

I
U
A
V

UNIVERSITÀ IUAV DI VENEZIA

SCUOLA DI DOTTORATO

DOTTORATO DI RICERCA IN
NUOVE TECNOLOGIE E INFORMAZIONE TERRITORIO - AMBIENTE

CICLO XXIII

Smart Vineyard

*Nuove tecnologie per la sostenibilità ambientale dell'agricoltura:
un'applicazione in viticoltura di precisione*

Tiziana Antonietta De Filippis

RELATORE
Prof. Luigi Di Prinzio

COORDINATORE DEL CICLO
Prof. Domenico Patassini

ANNI ACCADEMICI
2008-2009-2010

Ringraziamenti

Molte sono le persone a cui rivolgo i miei ringraziamenti per avere contribuito alla realizzazione di questo lavoro ed avermi supportato durante il complesso e multi-disciplinare percorso di ricerca.

Per il contributo tecnico scientifico e le sinergie avute durante lo svolgimento delle attività di ricerca ringrazio innanzitutto i ricercatori ed i tecnici dell'IBIMET-CNR afferenti al gruppo di lavoro sulla viticoltura di precisione: Lorenzo Genesisio, Francesco Vaccari, Alessandro Matese, Filippo Di Gennaro, ed in particolar modo Leandro Rocchi ed Edoardo Fiorillo con cui quotidianamente ho condiviso le attività, l'entusiasmo, le idee e le difficoltà per la realizzazione dell'applicazione WebGis e le analisi dei dati.

Inoltre si ringraziano tutti i partner del progetto di ricerca del Consorzio Toscana per la condivisione dei dati, il continuo scambio di esperienze e per aver dato l'opportunità di testare le tecnologie dei sistemi informativi geografici distribuiti su web per applicazioni operative nel campo della viticoltura di precisione.

Per aver contribuito ad ampliare la mia visione e l'approccio di lavoro nell'analisi territoriale, nell'interpretazione e condivisione delle conoscenze multi-disciplinari, ringrazio tutti i docenti ed i colleghi del corso di Dottorato in NT&ITA.

Un ringraziamento speciale a Patrizio Vignaroli che da sempre mi ha supportato nel mio percorso formativo e professionale attraverso un confronto critico, analitico e costruttivo sulle scelte intraprese e nei lavori svolti, dandomi fiducia, forza ed aiuto nei momenti di maggior difficoltà.

Infine, anche se è il primo fra i miei pensieri, un grazie particolare al mio piccolo Alessandro che con pazienza e comprensione ha saputo adeguare i suoi bisogni affettivi ai tempi di lavoro richiesti per portare a conclusione questo elaborato di tesi.

Abstract

The industrial agrifood model that has become established over the last fifty years has led to the indiscriminate exploitation and irreversible deterioration of the natural resources erroneously considered unlimited and inexhaustible. The environmental and social costs of intensive agriculture have been enormous, especially as regards pollution, loss of biodiversity, reduction in soil fertility and the abandoning of marginal lands, creating obvious problems of sustainability.

This is the context for the present research, which identifies precision agriculture, also called site-specific, as a management strategy based on the use of new technologies for environmental, operative and production monitoring that is capable of reorienting the farming sector within a logic of environmental sustainability.

The study is applied to the wine-growing sector, which is of considerable economic importance in Italian agriculture but at the same time has a very high impact in environmental terms.

There are several limitations and constraints that must be resolved to sustain site-specific management. First of all collecting and managing large amounts of data, creating and delivering detailed-scale geo-information, refining existing and/or creating new analytical theories useful in viticulture within a multidisciplinary and multibusiness environment of cooperation, and modification of cropping practices to enhance environmental conservation.

The new technologies developed in the agricultural sector, in conjunction with the rapid evolution of Information Communication Technologies (ICT) and Geographical Science, offer enormous potential for the development of optimised solutions for distributing information in order to support precision viticulture.

The aim of this study was to create a common web-based framework where different actors, from the production and research sectors of agriculture, can share data, research results and advanced knowledge on viticulture and oenology.

Data acquisition, access and distribution, as well as a model of how information is used in agriculture, open up new possibilities for precision viticulture to improve product quality in terms of environmental sustainability and natural resource management.

Riassunto

Il modello agroalimentare industriale che si è affermato nel corso degli ultimi cinquant'anni ha determinato lo sfruttamento indiscriminato e il deterioramento irreversibile delle risorse naturali considerate erroneamente illimitate e inesauribili. I costi pagati in termini ambientali e sociali a causa dell'agricoltura intensiva sono stati enormi, soprattutto sotto l'aspetto dell'inquinamento, della perdita di biodiversità, della riduzione della fertilità dei suoli, dell'abbandono dei territori marginali creando evidenti problemi di sostenibilità.

Ed è in questo contesto che si inserisce il presente percorso di ricerca che individua nell'agricoltura di precisione, chiamata anche sito-specifica, una delle strategie gestionali basate sull'impiego di nuove tecnologie per il monitoraggio ambientale, operativo e produttivo capaci di imprimere un nuovo indirizzo al settore agricolo in una logica di sostenibilità ambientale.

L'indagine viene applicata al comparto vitivinicolo che per l'agricoltura italiana riveste un ruolo di notevole importanza economica ma nello stesso tempo determina anche un impatto molto elevato in termini ambientali.

Tuttavia ci sono molti problemi che devono essere risolti per supportare una gestione sito-specifica. Prima fra tutti la raccolta e la gestione di una considerevole quantità di dati, la creazione e distribuzione di informazioni georeferite molto dettagliate, la ridefinizione e/o lo sviluppo in un contesto di cooperazione multidisciplinare e diversificata di nuove metodologie di analisi applicabili in viticoltura, l'adozione di pratiche agronomiche per il miglioramento della tutela ambientale.

Le nuove tecnologie sviluppate per il settore agricolo in congiunzione con la rapida evoluzione dell'Information Communication Technologies (ICT) e dei Sistemi Informativi Geografici offrono ormai enorme potenzialità per lo sviluppo e l'ottimizzazione di soluzioni per la distribuzione delle informazioni a supporto della viticoltura di precisione.

Lo scopo del presente lavoro è stato quello di creare un ambiente di conoscenze condivise, basato su web, dove i diversi attori del mondo delle produzioni e della ricerca in agricoltura, possono condividere dati, risultati della ricerca e conoscenze avanzate per il comparto vitivinicolo.

Le tecnologie di acquisizione dei dati sia nelle modalità di accesso e distribuzione, sia, infine, nei modelli di utilizzo dell'informazione, offrono straordinarie opportunità anche per il settore della viticoltura di precisione nella prospettiva di migliorare la qualità delle produzioni, il grado di sostenibilità ambientale dell'agricoltura e l'efficacia nell'uso delle risorse naturali.

SOMMARIO

1. INTRODUZIONE	1
1.1 Obiettivi generali della ricerca.....	3
1.1.1 Obiettivi specifici.....	4
1.2 Struttura della tesi.....	5
2. LO SCENARIO DI RIFERIMENTO	8
2.1. I cambiamenti in atto nel settore agricolo.....	8
2.1.1. Agricoltura e cambiamento climatico	9
2.1.1. Sistemi di produzione e tecnologie	10
2.1.2. Il mercato e la globalizzazione	12
2.1.3. Sviluppo agricolo e capitale sociale.....	14
2.1.4. Consumi e qualità degli alimenti	15
2.2. Nuovi indirizzi in materia di politica agricola Europea	16
2.2.1. Le sfide da affrontare	17
2.2.1.1. <i>Sicurezza dell’approvvigionamento alimentare</i>	18
2.2.1.2. <i>Ambiente e cambiamento climatico</i>	19
2.2.1.3. <i>Equilibrio territoriale</i>	20
2.2.2. Obiettivi strategici della futura Politica Agricola Comune.....	20
2.2.2.1. <i>Una produzione alimentare efficiente</i>	21
2.2.2.2. <i>Una gestione sostenibile delle risorse naturali e un’azione per il clima</i>	21
2.2.2.3. <i>Uno sviluppo territoriale equilibrato</i>	22
2.2.3. La PAC nel contesto della strategia EUROPA 2020	23
2.3. La sostenibilità ambientale dell’agricoltura	24
2.3.1. Evoluzione del concetto di sostenibilità ambientale	24
2.3.1.1. <i>Il concetto di sostenibilità ambientale applicato all’agricoltura</i>	25
2.3.1.2. <i>Un approccio olistico della sostenibilità ambientale</i>	26
2.3.1.3. <i>La multifunzionalità dell’agricoltura</i>	28
3. L’AGRICOLTURA DI PRECISIONE: una strategia di gestione per la sostenibilità ambientale	29
3.1 Agricoltura di precisione: fra mito e realtà	29
3.1.1 Definizione del concetto di agricoltura di precisione	30
3.1.2 Agricoltura di precisione e gestione della variabilità spaziale e temporale.....	31
3.1.3 Nuove tecnologie e razionalizzazione dei sistemi produttivi	33
3.1.3.1 <i>Il monitoraggio ambientale</i>	33
3.1.3.2 <i>Il monitoraggio colturale</i>	35
3.1.3.3 <i>Il monitoraggio operativo</i>	36
3.2 Tecnologie dell’informazione territoriale a supporto dell’agricoltura di precisione..	38
3.2.1. Integrazione, gestione e diffusione dei dati	39
3.2.1.1 <i>Aspettative degli utenti finali nei confronti delle nuove tecnologie e delle informazioni</i>	40
3.2.2. Informazione geografica e tecnologie dell’informazione e della comunicazione	41
3.2.3. Soluzioni e tecnologie Open Source	43
3.2.4. Panoramica su gli strumenti di sviluppo di sistemi GIS distribuiti	43
3.2.4.1 <i>Strumenti proprietari</i>	44
3.2.4.2 <i>Strumenti Open Source</i>	44
3.2.5. Strategie d’implementazione di un sistema GIS distribuito	45
3.2.5.1 <i>Architetture WebGIS</i>	45
3.2.5.2 <i>Applicazioni Client-side</i>	46
3.2.5.3 <i>Applicazione Server-side</i>	48

3.2.5.4	<i>Il Database spaziale</i>	50
3.2.5.5	<i>Gestione dei Metadati</i>	51
3.2.6	Elementi di base per la diffusione della tecnologia Web GIS	55
3.2.6.1	<i>Trasferimento dei dati geospaziali</i>	55
3.2.6.2	<i>La visualizzazione interattiva delle mappe</i>	56
3.2.6.3	<i>Internet Map Servers</i>	57
3.2.7	Open geospatial web services e OpenGis standards in agricoltura di precisione.....	58
3.2.7.1	<i>Interoperabilità e standardizzazione</i>	59
3.2.7.2	<i>Web services</i>	60
3.2.7.3	<i>OpenGIS standards</i>	61
4.	LA VITICOLTURA DI PRECISIONE: nuove tecnologie, qualità e ambiente ...	64
4.1	Il comparto vitivinicolo Italiano	64
4.1.1	La produzione vitivinicola italiana	65
4.1.1.1	<i>Superfici vitate e produzioni di vino</i>	65
4.1.1.2	<i>Struttura dell'offerta</i>	70
4.1.1.3	<i>Caratteristiche della filiera vitivinicola</i>	72
4.1.2	Mercato del vino e consumi.....	76
4.1.2.1	<i>Caratteristiche della domanda</i>	76
4.1.2.2	<i>Gli scambi con l'estero</i>	77
4.1.2.3	<i>Dinamiche dei prezzi e canali di vendita</i>	80
4.1.3	Criticità, opportunità e scenari evolutivi	83
4.2	Una nuova strategia delle produzioni viti-vinicole: la viticoltura di precisione.....	86
4.2.1	Principi della viticoltura di precisione	88
4.2.2	Osservazioni e raccolta dati	90
4.2.3	Interpretazione e valutazione dei dati	91
4.2.4	Applicazione dei piani di gestione.....	92
4.2.5	La variabilità nei vigneti.....	93
4.2.5.1	<i>La variabilità spaziale</i>	93
4.2.5.2	<i>La variabilità temporale</i>	94
4.2.6	Cosa significa gestire la variabilità.....	95
4.3	Strumenti per la viticoltura di precisione	96
4.3.1	GPS - Global Position System	96
4.3.2	GIS e gestione dei dati	98
4.3.3	Telerilevamento aereo	99
4.3.4	Sensori e reti di monitoraggio a scala locale	101
4.3.5	Meccanizzazione per le produzioni viticole	103
4.3.6	Informatica per la viticoltura e l'enologia: dal software gestionale al WEB	107
5.	SMART VINEYARD: un sistema WebGIS Open Source per la viticoltura di	114
	precisione	114
5.1	Il contesto della ricerca applicata	115
5.1.1	Il Consorzio Toscana	116
5.1.2	Il progetto di ricerca "Monitoraggio integrato dell'attività nel vigneto e in cantina"	117
5.1.3	Obiettivi dello sviluppo del sistema SmartVineyard	120
5.2	L'acquisizione dei dati dei vigneti sperimentali	121
5.2.1	L'area di studio	121
5.2.2	Immagini acquisite da piattaforma aerea	123
5.2.2.1	<i>Georeferenziazione delle immagini aeree e del disegno sperimentale</i>	125
5.2.2.2	<i>Elaborazione dell'indice di vegetazione dei vigneti</i>	127
5.2.3	Indici di vegetazione da tecnologie di proximal sensing	128
5.2.4	Mappe di pedologia da rilievi di soil sensing	130
5.2.5	I parametri agrometeorologici da rete di sensori wireless	132
5.2.5.1	<i>Sensori dell'Unità Master</i>	134

5.2.5.2	<i>Sensori dell'Unità Slave</i>	136
5.2.6	I parametri ecofisiologici, proprietà ottiche e biochimiche delle piante.....	138
5.3	Ciclo di sviluppo di un applicazione Web GIS	140
5.3.1	Analisi dei requisiti	140
5.3.1.1	<i>Analisi dei bisogni degli utenti</i>	140
5.3.1.2	<i>La lista delle funzioni di base</i>	142
5.3.1.3	<i>La lista dei dati, geografici e tabulari disponibili e/o integrabili nel sistema</i>	143
5.3.1.4	<i>Difficoltà riscontrate e soluzioni adottate</i>	144
5.3.2	Disegno concettuale del sistema	146
5.3.3	Valutazione, acquisizione e configurazione hw e sw	147
5.3.3.1	<i>Configurazione hardware e software</i>	149
5.3.3.2	<i>Librerie esterne e pacchetti Open Source necessari</i>	150
5.3.4	Progettazione e sviluppo del GeoDB.....	151
5.3.4.1	<i>La modellazione concettuale e logica dei dati</i>	152
5.3.4.2	<i>Il modello fisico e strumenti di modellazione del database relazionale</i>	154
5.3.4.3	<i>Strumenti per l'implementazione del geodatabase</i>	155
5.3.5	Integrazione delle componenti del sistema WebGIS	159
5.3.6	Il general-purpose framework per applicazioni WebGIS personalizzate	159
5.3.6.1	<i>Moduli per la gestione del flusso dei dati</i>	161
5.3.6.2	<i>Connessione al geodb</i>	162
5.3.7	Uso e manutenzione del sistema	164
6.	RISULTATI	165
6.1	Accesso e distribuzione dell'informazione per la viticoltura di precisione	165
6.1.1	Un geoportale per viticoltura di precisione.....	167
6.1.2	La WebApp per Smartphone	172
6.1.2.1	<i>Flussi di lavoro collaborativo</i>	173
6.2	Trasferibilità del sistema Open Source	173
6.3	Analisi dei dati telerilevati: NDVI e parametri di qualità delle uve	175
6.3.1	Analisi multiscala per la classificazione della qualità delle uve.....	176
6.3.2	Utilizzo delle immagini NDVI per macchine ad alta specializzazione operativa	177
7.	DISCUSSIONE E CONCLUSIONI	179
7.1	Dalla ricerca alle applicazione operative di strategie di gestionali sito-specifiche	179
7.2	Criticità e prospettive future	180
7.2.1	Interoperabilità tecnica e semantica.....	181
7.2.2	Gestione e modellazione dei dati in agricoltura di precisione	181
7.2.3	Il flusso dei dati e delle informazioni	182
7.2.4	Trasferibilità dei risultati della ricerca	183
7.2.5	Sostenibilità delle applicazioni informatiche distribuite.....	184
7.2.6	Prospettive di ricerca in agricoltura di precisione.....	185
7.2.7	Indicazioni per sviluppi futuri del sistema Smart Vineyard	185
7.3	Conclusioni	188
BIBLIOGRAFIA		190
SITOGRAFIA		198
ALLEGATO 1 - Articoli e abstract pubblicati negli anni del Dottorato NT&ITA		199

INDICE DELLE FIGURE

FIGURA 2.1 - SOSTENIBILITÀ COME INTERAZIONE FRA TRE DISCIPLINE: ECOLOGIA, SOCIOLOGIA, ECONOMIA ..	26
FIGURA 2.2 - SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE DEL SETTORE AGRICOLO	27
FIGURA 2.3 - PRINCIPALI FUNZIONI DELL'ATTIVITÀ AGRICOLA.....	28
FIGURA 3.1- SCHEMA CONCETTUALE GENERALE DI UN SISTEMA WEBGIS	46
FIGURA 3.2 - MODELLO OPENGIS PER IL FLUSSO DELLA RAPPRESENTAZIONE SU WEB	57
FIGURA 4.1- PRODUZIONI DI VINO NEI PRINCIPALI PAESI PRODUTTORI.....	64
FIGURA 4.2 - RIPARTIZIONE DELLE SUPERFICI VITATE PER TIPO DI DENOMINAZIONE	65
FIGURA 4.3- DINAMICA DELLE SUPERFICI VITATE IN ITALIA	65
FIGURA 4.4 -RIPARTIZIONE SUPERFICI VITATE PER REGIONE.....	66
FIGURA 4.5 - VARIAZIONE DELLE SUPERFICI VITATE PER REGIONE	66
FIGURA 4.6 - ANDAMENTO DELLA PRODUZIONE ITALIANA DI VINO	68
FIGURA 4.7 - RIPARTIZIONE DELLE PRODUZIONI DI VINO PER TIPO DI DENOMINAZIONE.....	71
FIGURA 4.8 - NUMERO DI DENOMINAZIONI PER REGIONE E LORO DISTRIBUZIONE PER TIPOLOGIA.....	72
FIGURA 4.9 - RAPPORTO TRA DIMENSIONE D'IMPRESA E VOLUMI DI VINO PRODOTTI.....	74
FIGURA 4.10 - ANDAMENTO DEI CONSUMI IN ITALIA	77
FIGURA 4.11 - DEFINIZIONE OIV DI VITICOLTURA SOSTENIBILE	87
FIGURA 4.12 - SCHEMA DEL CONCETTO DI VITICOLTURA DI PRECISIONE.....	88
FIGURA 4.13 - LE TRE FASI DEL PROCESSO CICLICO DELLA VITICOLTURA DI PRECISIONE.....	90
FIGURA 4.14 - TRAPIANTATRICE EQUIPAGGIATA CON SISTEMA DI GUIDA SATELLITARE.	97
FIGURA 4.15 – SENSORE CROPCIRCLE E DGPS-RTK	97
FIGURA 4.16 - DISPOSITIVO GPS E RAPPRESENTAZIONE DEL SISTEMA DI ACQUISIZIONE DEL DATO.	97
FIGURA 4.17 - CARATTERISTICHE FIRME SPETTRALI DELLA COPERTURA DEL SUOLO.....	100
FIGURA 4.18 - FIRMA SPETTRALE DELLA VEGETAZIONE.....	100
FIGURA 4.19 - RETE DI SENSORI WIRELESS IN VIGNETO.....	102
FIGURA 4.20 - SISTEMA GEORADAR.....	104
FIGURA 4.21 - APPLICAZIONE DEL SISTEMA WEEDSEEKER IN VIGNETO SU QUAD 4x4.....	105
FIGURA 4.22 - SPANDICONCIME A RATEO VARIABILE.....	105
FIGURA 4.23 - MONITOR PER LA VISUALIZZAZIONE DELLE MAPPE DI PRESCRIZIONE.	106
FIGURA 4.24 - TERMINALE VIRTUALE DICKEY-JOHN DGPS-RTK	106
FIGURA 4.25 - SPOLLONATRICE IN AZIONE NEL VIGNETO.....	106
FIGURA 4.26 - SFOGLIATRICE A RATEO VARIABILE	106
FIGURA 4.27 – VENDEMMIATRICE MECCANICA	107
FIGURA 5.1 - SERBATOI PER LA VINIFICAZIONE DA 10 HL.....	118
FIGURA 5.2- MICRO VINIFICAZIONI - 100 L.....	118
FIGURA 5.3 - LOCALIZZAZIONE DEI VIGNETI IN TOSCANA.....	118
FIGURA 5.4 – I VIGNETI SPERIMENTALI DEL CONSORZIO TUSCANIA	119
FIGURA 5.5 – FOTO NEL VISIBILE E AREE DEL DISEGNO SPERIMENTALE NEI VIGNETI.	122
FIGURA 5.6 - PIATTAFORMA SKY ARROW ERA E SENSORI MONTATI A BORDO	124
FIGURA 5.7 - PUNTI RILEVATI CON GPS DIFFERENZIALE.....	126
FIGURA 5.8 - BLOCCHI SPERIMENTALI E IMMAGINI MULTISPETTRALI SKY ARROW.....	126
FIGURA 5.9 - PARCELLE SPERIMENTALI.....	126
FIGURA 5.10 - PIANTE PER CIASCUN BLOCCO.	127
FIGURA 5.11 - PIANTE CAMPIONE.....	127
FIGURA 5.12 - VALORI DI NDVI ESTRATTI PER BLOCCHI.	127
FIGURA 5.13 - QUAD ATTREZZATO CON SENSORI DI PROXIMAL SENSING.	130
FIGURA 5.14 - SISTEMA DI SCANSIONE ULTRASIONI	130
FIGURA 5.15 - RETE N.A.V. DEL VIGNETO SPERIMENTALE DI BROLIO E LINK DI TRASMISSIONE DATI	133
FIGURA 5.16 - SENSORI UNITÀ MASTER.....	134
FIGURA 5.17 - DATA LOGGER DELL'UNITÀ MASTER.....	134
FIGURA 5.18 - CARATTERISTICHE DEI SENSORI DELL'UNITÀ MASTER.....	136

FIGURA 5.19 - SENSORI UNITÀ SLAVE.....	136
FIGURA 5.20 – CARATTERISTICHE DEI SENSORI DELL’UNITÀ SLAVE.....	138
FIGURA 5.21 – DATI REGISTRATI DALLE STAZIONI SLAVE DEL VIGNETO DI BROLIO.....	158
FIGURA 5.22 - DATI DELLE STAZIONI SLAVE DEL VIGNETO DI BROLIO INSERITI NEL GEODB.....	158
FIGURA 5.23 - DATI IASMA FORMATO XLS /CSV.....	159
FIGURA 5.24 - DATI IASMA IMPORTATI NEL GEODB.....	159
FIGURA 5.25 - ARCHITETTURA DEL SISTEMA SMARTVINEYARD.....	160
FIGURA 5.26 - CONNESSIONE AL DB TUSCANIA CON DIRITTI “GUEST”.....	163
FIGURA 5.27 - CONNESSIONE AL DB TUSCANIA CON DIRITTI “AMMINISTRATORE”.....	163
FIGURA 6.1 – ARCHITETTURA DEL SISTEMA SMART VINEYARD.....	166
FIGURA 6.2 - PAGINA DI PRESENTAZIONE DEL GEOPORTALE.....	168
FIGURA 6.3 - PAGINA DI ACCESSO AL GEODATABASE.....	168
FIGURA 6.4 - INTERFACCIA DEL CATALOGO DEI DATI.....	168
FIGURA 6.5 - VISUALIZZATORE CON MAPPA DI PRESCRIZIONE DI UN VIGNETO.....	168
FIGURA 6.6 - VISUALIZZAZIONE DEL DISEGNO SPERIMENTALE DEL PROGETTO DI RICERCA.....	169
FIGURA 6.7 - VISUALIZZAZIONE ED INTERROGAZIONE DELLE SINGOLE PIANTE DEL DISEGNO SPERIMENTALE.....	169
FIGURA 6.8 - FOTO NEL VISIBILE, STAZIONI NAV E DATI METEO REGISTRATI IN CONTINUO.....	170
FIGURA 6.9 - INTERFACCIA DELLA FUNZIONE WMS.....	170
FIGURA 6.10 - LISTA DEI LAYER DISPONIBILI NEL GEODB.....	170
FIGURA 6.11 - VISUALIZZAZIONE DELLA CARTA PEDOLOGICA E DELLE STAZIONI NAV.....	171
FIGURA 6.12 - VISUALIZZAZIONE DELL’NDVI DEL VIGNETO.....	171
FIGURA 6.13 - APPLICAZIONE PER SMARTPHONE.....	172
FIGURA 6.14 - DIAGRAMMA DI FLUSSO PER LA REALIZZAZIONE DELLE MAPPE DI PRESCRIZIONE.....	177
FIGURA 6.15 - MAPPE DI PRESCRIZIONE A DUE CLASSI.....	178
FIGURA 6.16 - MAPPE DI PRESCRIZIONE A 5 CLASSI.....	178

INDICE DELLE TABELLE

TABELLA 4.1 - ANDAMENTO DELLE PRODUZIONI DI VINO E MOSTO PER AREA GEOGRAFICA.....	68
TABELLA 4.2 - ANDAMENTO DELLE PRODUZIONI DOP PER AREA GEOGRAFICA.....	69
TABELLA 4.3 - ANDAMENTO DELLE PRODUZIONI IGT PER AREA GEOGRAFICA.....	70
TABELLA 4.4 - ANDAMENTO DELLE PRODUZIONI DI VINO DA TAVOLA PER AREA GEOGRAFICA.....	70
TABELLA 4.5 - INCIDENZA DELLE PRODUZIONI DI VINI DI QUALITÀ SUL TOTALE DELLE PRODUZIONI.....	71
TABELLA 4.6 - VALORE DEL MERCATO VITIVINICOLO (M€) AI PREZZI DI ORIGINE.....	76
TABELLA 4.7 - DINAMICA DELL’EXPORT ITALIANO DI VINI E MOSTI (000 HL).....	78
TABELLA 4.8 - MODALITÀ DI DISTRIBUZIONE DEI VINI PER CANALE DI VENDITA.....	81
TABELLA 4.9 - MODALITÀ DI DISTRIBUZIONE DEI VINI OLTRE 25 € PER CANALE DI VENDITA.....	82
TABELLA 5.1 - VIGNETI SPERIMENTALI OGGETTO DI STUDIO.....	121
TABELLA 5.2 - VALORI NDVI ESTRATTI PER BLOCCHI FILTRATI E NON DALLA MAPPA DI VIGORE DI BROLIO.....	128
TABELLA 5.3 - VALORI MEDI NDVI E C.V. DEI I BLOCCHI SPERIMENTALI DEL VIGNETO DI CACCIAGRANDE.....	128
TABELLA 5.4 - CATALOGO DI MASSIMA DEI DATI DEL SISTEMA.....	144
TABELLA 5.5 - MODELLO CONCETTUALE DEL SISTEMA.....	147
TABELLA 5.6 - SCHEMA FISICO DEL BLOCCO DEI DATI STRUTTURALI DEI VIGNETI.....	155

1. INTRODUZIONE

Il modello agroalimentare industriale che si è affermato nel corso degli ultimi cinquant'anni, è una delle principali ragioni della più grave crisi ambientale e climatica che stiamo vivendo. Da un lato, ha determinato lo sfruttamento indiscriminato e il deterioramento irreversibile delle risorse naturali considerate erroneamente illimitate e inesauribili. Dall'altro, ha fatto un uso sempre più sfrenato di input esterni di origine fossile: fertilizzanti chimici, pesticidi, materiali plastici.

I recenti studi sui cambiamenti climatici attribuiscono al sistema agricolo ed alimentare un terzo delle emissioni globali responsabili dell'effetto serra, più di due volte di quelle imputabili al settore dei trasporti (IPCC, 2007; Harvey and Pilgrim, 2010).

Tutti i paesi industrializzati fino alla fine degli anni '90 hanno investito in maniera consistente nella ricerca agricola, con l'obiettivo di incrementare le produzioni tramite l'utilizzo di fitofarmaci e fertilizzanti, il ricorso all'ingegneria genetica e l'impiego di una meccanizzazione spinta, determinando in tal modo un progressivo abbandono delle varietà locali e delle tradizionali pratiche agronomiche. L'agricoltura contemporanea, detta anche intensiva, si è concentrata in zone maggiormente favorevoli alla crescita di colture a scapito del modello estensivo dove la coltivazione erano presenti in maniera distribuita sul territorio, anche in aree marginali meno produttive.

In parallelo la pressione economica e le tecnologie hanno cambiato profondamente il profilo degli agricoltori e le caratteristiche delle aziende agricole. Sono ormai le grandi imprese che detengono il primato della produzione e molto spesso la capacità di gestione dei capitali investiti nelle attrezzature, nel terreno, nel lavoro e nelle tecnologie contano più delle conoscenze agronomiche e delle buone pratiche colturali nel determinare i risultati economici delle aziende. L'influenza dell'economia di scala è stata il maggior fattore dell'attuale strategia dominante di gestione con la conseguente progressiva affermazione delle grandi estensioni monoculturali che non tengono conto della variabilità delle caratteristiche dei suoli e delle condizioni ambientali eterogenee.

Tuttavia, i costi pagati in termini ambientali e sociali a causa dell'agricoltura intensiva sono stati enormi, soprattutto sotto l'aspetto dell'inquinamento, della perdita di biodiversità, della riduzione della fertilità dei suoli, dell'abbandono dei territori marginali.

Tutto ciò comporta evidenti problemi di sostenibilità e per questo motivo di anno in anno cresce l'esigenza d'impiegare nuove tecnologie di settore sempre più attente alle problematiche ambientali. In questo senso, l'obiettivo non è più quello di massimizzare la produttività ma di ottimizzarla attraverso una visione più complessa di sistema di produzione che includa un uso efficiente delle risorse naturali, la valorizzazione del paesaggio, la tutela ambientale, lo sviluppo rurale e l'equità sociale (IAASTD, 2009; Godfray, 2010; Sachs, 2010).

La sfida è indirizzata anche verso lo sviluppo di politiche internazionali e nazionali, in un quadro che ormai possiamo definire di emergenza, che siano in grado di supportare forme più sostenibili di uso del suolo e forme più efficienti di produzioni agricole.

Anche la nuova Politica Agricola Comunitaria sta attraversando in questi anni un processo di rinnovamento che vede fra i propri obiettivi strategici i) una produzione alimentare efficiente, ii) una gestione sostenibile delle risorse naturali ed un'azione per il clima, iii) uno sviluppo territoriale equilibrato.

Fra le azioni volte ad una produzione ed una gestione sostenibile dell'agricoltura si guarda all'adozione di nuove tecniche di produzione, all'uso delle tecnologie dell'informazione e dalla comunicazione e alla valorizzazione ed integrazione dei risultati della ricerca.

Nei sistemi di produzione agricola esistono varie strategie che possono essere implementate per assicurare un uso razionale delle risorse ed una riduzione delle emissioni inquinanti che vanno dalle pratiche di lavorazione minima dei suoli, alla lotta integrata (che vede l'impiego in sinergia di mezzi biologici, bio-tecnici e metodi colturali), all'agricoltura di precisione (che nella sua essenza consiste nell'applicazione di principi e tecnologie per la gestione della variabilità spazio-temporale associata con tutti gli aspetti della produzione agraria).

Ed in questo contesto che si inserisce il lavoro di tesi che individua nell'agricoltura di precisione una delle strategie gestionali basate sull'impiego di nuove tecnologie per il monitoraggio ambientale, operativo e produttivo capaci di imprimere un nuovo indirizzo al settore agricolo in una logica di sostenibilità ambientale.

Sebbene in Italia l'agricoltura di precisione sia ancora in fase di definizione, nel settore viticolo si incominciano a realizzare applicazioni di eccellenza in Lombardia e in Toscana.

Il comparto vitivinicolo riveste, infatti, un ruolo di notevole importanza economica nell'ambito dell'agricoltura italiana ma nello stesso tempo determina anche un impatto

molto elevato in termini ambientali. Basti pensare che più un terzo degli anticrittogamici (prodotti chimici fungicidi) usati in agricoltura sono utilizzati nella produzione viticola.

Le nuove tecnologie dell'informazione territoriale coniugate alle tecnologie sito-specifiche vengono prese in conto nel presente lavoro per sviluppare una applicazione nel settore viti-vinicolo che risponda alle richieste di maggiore qualità, sia in termini di produzioni sia in termini ambientali per meglio affrontare le sfide del mercato globale. A questo scopo verrà presentato un approccio innovativo, dedicato gestione sito specifica del vigneto, concepito per supportare le attività di ricerca finalizzate all'identificazione della variabilità della copertura vegetale e alla correlazione tra quest'ultima e la qualità delle uve.

Si cercherà inoltre di identificare quali possano essere gli strumenti e le tecnologie dell'informazione e delle telecomunicazioni più appropriati per la messa in atto di strategie gestionali per una viticoltura sostenibile.

1.1 Obiettivi generali della ricerca

Le relazioni tra l'agricoltura e l'ambiente hanno un carattere specifico, in considerazione della natura biofisica dei processi produttivi agricoli e della loro stretta dipendenza con le caratteristiche degli ecosistemi locali. Indagare gli effetti dell'attività agricola sull'ambiente richiede pertanto una serie d'informazioni dettagliate per quanto riguarda l'uso dei fattori di produzione, l'uso del suolo e le pratiche di gestione agricola.

La rapida ed intensa trasformazione dell'informazione, sia nelle tecnologie di acquisizione dei dati sia nelle modalità di accesso e distribuzione, sia, infine, nei modelli di utilizzo, offre straordinarie opportunità anche per il settore della viticoltura di precisione nella prospettiva di migliorare la qualità delle produzioni, il grado di sostenibilità ambientale dell'agricoltura e l'efficacia nell'uso delle risorse naturali.

Le nuove tecnologie sviluppate per il settore agricolo in congiunzione con la rapida evoluzione dell'Information Communication Technologies (ICT) e dei Sistemi Informativi Geografici offrono ormai enorme potenzialità per lo sviluppo e l'ottimizzazione di soluzioni per la distribuzione delle informazioni a supporto dell'agricoltura di precisione.

La messa in atto di strategie gestionali per un'agricoltura sostenibile richiede oggi più che mai un approccio multidisciplinare ed una sinergia fra agricoltori, servizi tecnici di assistenza, industria, ricercatori per trasferimento dei risultati della ricerca e della sperimentazione alle diverse realtà aziendali.

Molto spesso la complessità e spesso la mancanza di un flusso di informazioni fra mondo scientifico, professionale ed attori politici aumenta le difficoltà invece di porre l'attenzione su politiche basate sulle evidenze (Defra, 2003; Sutherland, 2004, 2010b; Haddad, 2009).

Lo scopo del presente lavoro è stato quello di creare un ambiente di conoscenze condivise fra i diversi attori che operano nel settore della viticoltura, attraverso lo sviluppo di un Sistema Informativo Open Source distribuito su web che possa supportare le ricerche avanzate nel settore della viticoltura di precisione, favorisca il trasferimento del *know how* della ricerca verso applicazioni operative ed infine renda le informazioni disponibili direttamente in campo agli operatori del settore per un immediate applicazioni operative e/o supporto alla presa di decisione.

La sfida è stata inoltre quella di spingere la ricerca sull'analisi degli di indici di vegetazione, derivati da immagini multi spettrali ad alta risoluzione, acquisite da piattaforma aerea, sia in un'ottica di miglioramento delle qualità delle produzioni sia per un uso operativo finalizzato ad un uso più razionale della somministrazione degli agro farmaci.

Nel complesso l'approccio verso la condivisione di un così vasto patrimonio di dati puntuali da parte di istituzione di ricerca ed operatori del settore può favorire lo sviluppo di nuove metodologie di analisi sito-specifiche al fine di ampliare le conoscenze per un uso più razionale delle risorse naturali ed parallelamente la valorizzazione di prodotti di qualità che sappiano rispondere alle esigenze del mercato vitivinicolo in un contesto di forte competizione a livello globale.

1.1.1 Obiettivi specifici

La viticoltura di precisione richiede la raccolta, l'archiviazione, la condivisione e l'analisi di grandi moli di dati georiferiti. Per questo motivo per essere usati nella pratica devono essere trasferiti fra differenti piattaforme hardware, software e fra diverse organizzazioni e utilizzatori.

Allo stato attuale si può affermare che il flusso dei dati rappresenta un ostacolo per la comprensione dei reali benefici dell'agricoltura di precisione vista la presenza di una moltitudine di modelli dati, formati, interfacce e sistemi di riferimento che spesso risultano incompatibili.

Il lavoro di sperimentazione portato avanti nel caso di studio ha lo scopo di proporre soluzioni architettoniche e informatiche per l'interoperabilità tecnica fra sistemi di acquisizione, sistemi informativi aziendali e piattaforme mobili attraverso lo sviluppo di una sistema WebGis dedicato alla viticoltura di precisione per colmare alcune criticità per l'accesso delle informazioni ambientali e di produzione agli attori coinvolti nel settore vitivinicolo (viticoltori, produttori, tecnici, ricercatori e decisori politici).

Fra gli obiettivi specifici del lavoro possiamo quindi indicare:

- La creazione di un ambiente di conoscenze condivise, attraverso lo sviluppo di un sistema Open Source WebGIS, per l'accesso e le analisi dei dati geografici e tabulari dei vigneti acquisiti tramite una rete di sensori agrometeorologici, sensori su piattaforma aerea ultraleggera e rilievi in campo.
- L'applicazione di standard OGC (Open Geospatial Consortium) per sviluppo di applicazioni di agricoltura di precisione;
- Lo sviluppo di procedure automatiche per il flusso di dati, provenienti dalla sensoristica di campo e da altri differenti metodi di acquisizione, per applicazioni operative e di ricerca integrata per la sostenibilità ambientale del comparto vitivinicolo.
- Lo sviluppo di metodologie di analisi integrata per l'utilizzo del telerilevamento aereo nel settore della viticoltura di precisione.
- La caratterizzazione della variabilità spaziale nel vigneto per la pianificazione di tecniche di gestione sito-specifica.
- Lo sviluppo di nuove metodologie di analisi sito-specifiche e multi-scala per l'avanzamento delle conoscenze ambientali e produttive dei vigneti.

1.2 Struttura della tesi

Nel primo capitolo del presente elaborato, dopo una breve introduzione sugli impatti della moderna agricoltura sui cambiamenti climatici e sulla sostenibilità ambientale delle produzioni agricole, vengono presentati i principali obiettivi del lavoro.

Nel secondo capitolo viene presentato lo scenario di riferimento a cui afferisce il presente percorso di ricerca sull'uso delle tecnologie avanzate per la sostenibilità ambientale dell'agricoltura. Si descrive, quindi, l'evoluzione che il comparto agricolo ha avuto negli ultimi decenni e quelli che sono i nuovi indirizzi della politica agricola in materia di salvaguardia delle risorse naturali, riduzione delle emissioni inquinanti,

efficienza delle produzioni e sviluppo territoriale equilibrato. Ci si sofferma, infine, sull'evoluzione del concetto di sostenibilità ambientale, riconducendolo al settore agricolo ed ad una moderna visione olistica di sviluppo sostenibile.

Nel terzo capitolo si passa quindi ad analizzare una delle strategie di produzione sostenibile adottate in agricoltura, l'agricoltura di precisione, che più di altre misure utilizza in maniera innovativa nuove tecnologie per il monitoraggio operativo e produttivo ed ambientale delle colture. Viene quindi fatta una panoramica sulle tecnologie dell'informazione territoriale e della potenzialità offerte dalla loro integrazione con il mondo dell'ICT. Uno sguardo particolare viene dato alle nuove soluzioni e tecnologie Open Source nel settore dello sviluppo di sistemi GIS distribuiti, alle strategie di adozione di architetture WebGis, ai servizi web ed agli standards OpenGIS adottati anche per il settore agricolo.

Nel quarto capitolo, il campo d'indagine viene circoscritto al settore vitivinicolo, quale esempio di coltura ad alto reddito ma ad alto impatto ambientale che può beneficiare delle moderne strategie gestionali proprie dell'agricoltura di precisione. Il capitolo include una descrizione delle caratteristiche del comparto vitivinicolo, dell'importanza strategica che esso riveste nell'economia nazionale e le opportunità da cogliere nell'adozione delle nuove tecnologie per la gestione sito specifica delle produzioni. Inoltre vengono illustrati i principali strumenti in uso nella viticoltura di precisione relativi sia al settore della geomatica, della sensoristica e dell' ICT.

Il quinto capitolo è incentrato sul sistema integrato SmartVineyard, un caso applicativo sviluppato nell'ambito di un complesso progetto di ricerca sulla viticoltura di precisione in Toscana. Dopo la descrizione dell'area di studio si analizzano le diverse tipologie di dati acquisiti con tecnologie e sensoristica a diversa scala durante i tre anni di attività del progetto di ricerca "sul monitoraggio integrato dell'attività dei vigneti". Infine si ripercorre il ciclo di sviluppo del sistema WebGIS Open Source e le strategie adottate per l'implementazione di un geoportale dedicato alle attività di ricerca integrata in viticoltura di precisione e al trasferimento delle informazioni raccolte per applicazioni operative nel settore vitivinicolo.

Il capitolo sesto è completamente dedicato alla presentazione dei risultati inerenti all'accesso e distribuzione delle informazioni ed ai risultati raggiunti tramite un'analisi integrata di analisi di immagini multi-spettrali grazie ad un approccio di condivisione delle informazioni per la messa a punto di nuove metodologie di analisi sito specifiche.

Nel settimo ed ultimo capitolo vengono infine discussi i risultati le prospettive della ricerca, le possibili evoluzioni tenendo conto i bisogni degli utenti finali, l'evoluzione delle tecnologie nel settore dell'agricoltura di precisione e lo sviluppo delle metodologie di analisi in una prospettiva di sostenibilità ambientale dell'agricoltura. Infine una breve conclusione sull'insieme del percorso di ricerca svolto in questi anni.

2. LO SCENARIO DI RIFERIMENTO

2.1. I cambiamenti in atto nel settore agricolo

Nell'ultimo secolo l'agricoltura ha dovuto adeguarsi alla crescente domanda di prodotti alimentari e industriali, provocata dal vertiginoso incremento della popolazione mondiale e dall'innalzamento del tenore di vita di una parte di essa, adottando sistemi sempre più sofisticati per elevare la produttività del suolo e per espandere l'area coltivabile.

Tra gli anni Cinquanta e gli anni Sessanta, proprio per far fronte al problema della fame nel mondo, si è avviato un processo, noto col nome di “rivoluzione verde” basato sul miglioramento genetico delle varietà, più resistenti e più produttive, sull'uso massiccio di fertilizzanti e sull'introduzione di nuove tecniche agricole.

Tutti i paesi industrializzati fino alla fine degli anni '90 hanno investito in maniera consistente nella ricerca agricola cercando di incrementare la produzione alimentare attraverso l'uso di fitofarmaci e fertilizzanti, il ricorso all'ingegneria genetica con la conseguente introduzione di varietà geneticamente modificate (OGM), l'impiego di una meccanizzazione spinta, con il progressivo abbandono delle varietà locali e delle tradizionali pratiche agronomiche. L'agricoltura contemporanea, detta anche intensiva, si è pertanto concentrata nelle zone più favorevoli alla crescita delle colture (in termini di clima, fertilità dei suoli, morfologia, accesso ai servizi, etc.) a scapito del precedente modello estensivo, distribuito anche in aree marginali e meno produttive, che comportava maggiori costi di produzione e prodotti non sempre trasferibili, per qualità e logistica, sui mercati nazionali ed internazionali.

Dal punto di vista ambientale, tuttavia, il tributo pagato a causa dell'agricoltura intensiva è stato enorme, soprattutto sotto l'aspetto dell'inquinamento e delle alterazioni biologiche. In molte aree del pianeta tale modello ha generato impatti negativi comparabili a quelli causati dall'industria sia per quanto riguarda la conservazione degli ecosistemi che in termini di qualità della vita delle popolazioni, in virtù del paradigma, sostenuto per molti anni, che l'unica possibilità per far fronte alle maggiori richieste di cibo consiste nel produrre la massima quantità per unità di superficie coltivata utilizzando alti livelli di input esterni¹.

¹ Si veda a questo proposito: FAO/OECD, Food availability and natural resource use in a green economy

Anche nell'agricoltura europea le politiche settoriali adottate, il progresso tecnologico, la maggiore apertura dei mercati internazionali e il conseguente aumento della competizione, hanno conferito al settore agricolo un carattere sempre più intensivo, con conseguenze negative sul territorio e sulle risorse ambientali.

Se da un lato si è assistito, all'intensificazione dell'agricoltura nelle aree più produttive, dall'altro si è affermata la tendenza all'abbandono dei terreni agricoli marginali. Queste dinamiche hanno inciso sulla sostenibilità dell'agricoltura, tanto in termini settoriali che territoriali con ripercussioni sulla dimensione sociale, economica ed ambientale.

L'agricoltura intensiva, in ragione dell'eccessivo consumo di risorse, presenta perciò evidenti problemi di sostenibilità e per questo motivo cresce l'esigenza di impiegare nuove tecnologie di settore sempre più attente alle problematiche ambientali. Sull'onda di questa domanda, una serie di nuove ricerche si sono così avviate nell'ultimo decennio sull'agricoltura sostenibile, sullo sviluppo rurale, sull'integrazione fra agricoltura, ambiente e saperi locali.

2.1.1. Agricoltura e cambiamento climatico

La comunità scientifica è ormai concorde nel ritenere che la causa del riscaldamento globale sia da ricercare nell'aumentata concentrazione di gas serra in atmosfera, soprattutto anidride carbonica.

I recenti studi sui cambiamenti climatici attribuiscono al sistema agricolo e alimentare un terzo delle emissioni globali responsabili dell'effetto serra, ovvero più del doppio di quelle imputabili all'intero settore dei trasporti (IPCC, 2007; Harvey and Pilgrim, 2010).

Basti pensare che ogni prodotto agro-alimentare contiene in sé un bagaglio di energia "incorporata" - e quindi di emissioni di gas serra - derivanti dall'uso di combustibili fossili necessari alla sua produzione, trasporto, conservazione, imballaggio e smaltimento.

Gli studi dell'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) sui cambiamenti climatici prevedono che il riscaldamento globale del pianeta nei prossimi 50 anni determinerà forti variazioni sulla distribuzione e sulle intensità delle precipitazioni a livello globale (IPCC, 2007). L'aumento delle temperature degli oceani ed il conseguente impatto sulla circolazione atmosferica rappresenta un rischio tutt'altro che trascurabile anche alla luce della progressiva riduzione della capacità dell'ecosistema marino di sequestrare il carbonio generato dai processi antropici e dai fenomeni naturali, il cui potenziale di

assorbimento allo stato attuale è stimato pari a una volta e mezzo il totale delle emissioni (Henson, 2008).

Si rendono inoltre necessarie misure d'intervento a diversa scala, da quella di campo a quella di bacino idrografico, per razionalizzare l'uso della risorsa idrica (Humphreys, 2008). Basti pensare che in molti paesi l'85% delle disponibilità idriche sono dirette verso il settore agricolo, aumentando così la competizione per gli impieghi destinati a soddisfare la richiesta per uso urbano e industriale. Per questi motivi l'adozione di pratiche di gestione delle colture e dei terreni, finalizzate al contenimento e alla ottimizzazione dei consumi idrici diviene una necessità prioritaria e inderogabile.

Numerosi studi e ricerche sono stati intrapresi per valutare la criticità degli impatti generati dal cambiamento climatico sulle produzioni agricole e sull'ambiente e per fornire risposte alle questioni ancora aperte circa l'adattamento delle colture ai nuovi scenari (modifica dei cicli delle colture, diffusione di nuove patologie, aumento delle intensità e delle frequenze dei fenomeni meteorologici estremi, ecc.). La sostenibilità dell'attuale modello di sviluppo non potrà comunque prescindere dall'identificazione di nuove tecniche produttive e strategie gestionali in grado di assicurare la conservazione della fertilità dei terreni ed un uso più efficiente delle risorse idriche, coniugando convenienza economica e tutela degli ecosistemi naturali.

L'obiettivo, infatti, non è più quello di massimizzare la produttività, ma di ottimizzarla nel futuro attraverso una visione più complessa di sistema di produzione che includa la componente ambientale, la valorizzazione del paesaggio, lo sviluppo rurale e l'equità sociale (IAASTD, 2009; Godfray, 2010; Sachs, 2010).

Se il progresso tecnologico rappresenta una delle leve di questo processo, è altrettanto evidente che per vincere una simile sfida in un quadro che ormai possiamo definire di emergenza, sono indispensabili anche adeguate politiche internazionali e nazionali, che possano supportare forme più sostenibili di uso delle risorse naturali e sistemi più efficienti di produzione agricola sia nei paesi industrializzati sia in paesi in via di sviluppo (Pretty, 2008).

2.1.1. Sistemi di produzione e tecnologie

Secondo stime fatte a livello globale dalla FAO, entro il 2050 le produzioni agricole dovranno aumentare di oltre il 70% per soddisfare la domanda mondiale di prodotti alimentari (FAO 2009a).

Tenendo conto dei limiti esistenti in materia di disponibilità di suoli coltivabili e di acqua, appare evidente come tale aumento debba avvenire necessariamente attraverso un'accelerazione del processo d'innovazione tecnologica per supportare in modo adeguato e sostenibile un'intensificazione dei sistemi di produzione agricoli e zootecnici (World Bank, 2007; FAO, 2009b; Royal Society, 2009; Godfray, 2010;).

Nei sistemi di produzione agricola esistono molteplici strategie che possono essere implementate per favorire un uso razionale delle risorse e per limitare in particolar modo l'utilizzo di input chimici, senza per questo incidere negativamente sulla produttività e sulla redditività delle colture. Uno dei settori che ha conosciuto nel corso del tempo consistenti progressi è quello delle tecniche di difesa contro i patogeni. Accanto ai tradizionali trattamenti a calendario in cui la somministrazione dei fitofarmaci (anticrittogamici, insetticidi, ecc.) viene effettuata ad intervalli regolari lungo tutto il ciclo di sviluppo di una coltura, a partire dagli anni '80 hanno trovato sempre maggiore impiego, in particolare in Europa, tecniche di lotta guidata che consentono una sensibile riduzione del numero di interventi. Secondo tale approccio, i trattamenti sono effettuati in concomitanza di ben precisi stadi di sviluppo della coltura, al superamento di determinate soglie di infestazione del patogeno oltre le quali si potrebbe configurare un danno economico per il produttore (soglia economica di intervento). Una ulteriore evoluzione di tale principio è rappresentata dalla lotta biologica (immissione di insetti predatori o parassiti delle specie nocive alle colture, utilizzazione di trappole ormonali che ne impediscono la riproduzione o lo sviluppo, ecc.) e dalla lotta integrata che prevede l'impiego in sinergia di mezzi chimici, biologici, meccanici e di pratiche agronomiche volte a controllare lo sviluppo dei patogeni e delle erbe infestanti entro limiti economicamente convenienti (Kogan, 1998;)².

Da segnalare come anche i progressi tecnologici realizzati nel settore della meccanica agraria abbiano contribuito considerevolmente alla riduzione degli impatti e all'incremento della produttività agricola, migliorando l'efficienza e la precisione dei sistemi di distribuzione dei presidi chimici.

Tra gli elementi che hanno contribuito a modificare radicalmente il contesto di riferimento non va trascurato il ruolo rivestito dalla ricerca genetica e dalle bio-tecnologie per incrementare le rese delle colture. Se nelle prime decadi dello scorso secolo hanno

² Kogan, M 1998. Integrated Pest Management: Historical Perspectives and Contemporary Developments, Annual Review of Entomology Vol. 43: 243-270

prevalso le tecniche di ibridizzazione e selezione applicate prevalentemente sui cereali, la successiva adozione di una serie di tecnologie sempre più sofisticate ed avanzate, dalla crescita in vitro alla biogenetica, hanno fatto esplodere negli anni '60 e '70 il cosiddetto fenomeno della “rivoluzione verde”. In sintesi un grande aumento delle produzioni ed una omogeneizzazione degli standard qualitativi ottenuto manipolando il patrimonio genetico di molte specie e varietà, con l'obiettivo, in molti casi, di migliorare anche la resistenza alle malattie, agli attacchi parassitari e alle condizioni climatiche avverse (George, 2009). L'elevata richiesta di input (acqua, nutrienti e ed energia) e gli effetti ambientali determinati sia in termini di emissioni inquinanti e di gas serra, sia di perdita di biodiversità hanno tuttavia riaperto il dibattito sulla sostenibilità dei sistemi di produzione intensivi basati sui programmi di miglioramento genetico.

La contrapposizione tra sistemi di produzione intensivi e quelli basati sull'agricoltura biologica e conservativa si prefigura come uno scontro tra due visioni antitetiche e paradigmatiche dello sviluppo che hanno diviso profondamente anche gli addetti ai lavori nella definizione delle strategie d'intervento più opportune ed efficaci. Sebbene esista tuttora una mancanza di consenso nell'adozione contemporanea dei sistemi di produzione biologica e quelli basati su organismi geneticamente modificati (OGM), le linee emergenti dal dibattito in corso concordano comunque sull'opportunità di associare approcci differenti basati su un ampio numero di pratiche agronomiche e di sistemi di produzione (es: rotazioni colturali, agroforesteria, agro-zootecnia, lavorazioni minime, ed **agricoltura di precisione**). A questo riguardo la sfida che attende il mondo della ricerca è quella di comprendere come tali sistemi possano essere adattati a differenti contesti agro-ecologici e socio economici per determinare una intensificazione delle produzioni in un'ottica di maggiore sostenibilità e di salvaguardia delle specificità dei differenti contesti (Pretty, 2010).

2.1.2. Il mercato e la globalizzazione

Il mercato dei prodotti agricoli si caratterizza per una notevole complessità, in quanto si articola su molteplici piani (multiscalarità), coinvolgendo una pluralità di attori (settore pubblico, imprese private, società civile) (Lang, 2009).

Nelle ultime due decadi il fenomeno della globalizzazione ha modificato in maniera radicale il rapporto tra produzione e consumo e oggi è evidente come dipendiamo sia dal mercato nazionale che da quello internazionale per l'approvvigionamento degli alimenti e

dei mezzi tecnici necessari alla loro produzione. Per questa ragione, la spesa per le importazioni alimentari è in forte aumento a livello mondiale, come sottolinea d'altro canto il rapporto Food Outlook della Fao del 2007.

Sebbene i prezzi agricoli, rispetto a quelli industriali, abbiano sempre avuto una peculiare instabilità, a causa delle caratteristiche della produzione soggetta all'aleatorietà del clima, la progressiva "finanziarizzazione" dei mercati ha generato forme di transazione speculativa anche sulle principali commodities alimentari³ che influenzano in maniera sempre maggiore l'andamento dei prezzi delle materie prime destinate all'industria di trasformazione e, di conseguenza, dei prodotti di consumo.

Occorre tuttavia sottolineare come l'aumento di spesa per l'acquisto di beni alimentari sia dovuto in parte anche all'accresciuta incidenza dei costi di trasporto sul prezzo finale del prodotto che in molti casi percorre migliaia di chilometri prima di arrivare nel carrello della spesa del consumatore finale. Tale constatazione, unita alla progressiva sensibilizzazione di una parte dei consumatori nei confronti dei temi legati alla sostenibilità ambientale, sta determinando lo sviluppo di nuovi modelli di consumo. Così, accanto alla crescita del mercato dei prodotti ottenuti attraverso tecniche di agricoltura biologica⁴, negli ultimi anni si sta affermando la tendenza a ridurre quanto più possibile la distanza tra il luogo di produzione e quello di acquisto dei prodotti alimentari - la così detta "filiera corta" - abbattendo in questo modo la quota di gas serra contenuta negli alimenti e legata al loro trasporto (De Filippis, 2010).

Lo stesso premio Nobel per la Pace ed ex vicepresidente Usa, Al Gore nel suo libro (2007), inserisce l'acquisto diretto dei prodotti locali dagli agricoltori nell'elenco delle azioni rivolte alla riduzione del surriscaldamento globale.

In Italia, secondo un recente studio della Coldiretti, una famiglia può risparmiare fino a 1.000 chili di anidride carbonica (CO₂) l'anno consumando prodotti locali, di stagione e facendo attenzione agli imballaggi. Secondo questo studio, i costi della logistica incidono fino ad un terzo del prezzo finale per la frutta e la verdura ed assorbono in media un quarto del fatturato delle imprese agroalimentari. Il contenuto in CO₂ imputabile al trasporto dei prodotti agricoli è comunque uno dei tanti indicatori del ciclo di vita del

³ Secondo molti autori, i futures agricoli, la destinazione di sempre maggiori superfici a colture non alimentari per la produzione dei biocarburanti, le pratiche di acquisizione su larga scala di terreni in [paesi in via di sviluppo](#) da parte di compagnie transnazionali, governi e singoli soggetti (land grabbing), sono responsabili del forte incremento dei prezzi dei prodotti agricoli che si è registrato a partire dal 2007/2008.

⁴ Il Codex alimentarius definisce l'agricoltura biologica come un sistema globale di produzione agricola (vegetale e animale) che privilegia i metodi colturali biologici e meccanici rispetto all'impiego dei prodotti chimici di sintesi

prodotto (Martin , 2000), anche se recentemente l'espressione dei chilometri percorsi dagli alimenti sia comunemente utilizzata per caratterizzare prodotti a minor impatto sull'ambiente.

La maggior consapevolezza dei consumatori in termini di energia nascosta dei prodotti insieme a nuove politiche di produzione e consumo sostenibili potranno nel futuro certamente contribuire ad una riduzione dell'impatto dei trasporti nel ciclo di vita dei prodotti.

Accanto all'accresciuta consapevolezza dei consumatori, in un quadro così complesso e caratterizzato da forti dinamiche di cambiamento risulta evidente ruolo determinante delle politiche agricole nella definizione di nuovi meccanismi e strumenti di "governance" dei mercati nonché per minimizzare gli effetti di distorsione indotti da una globalizzazione selvaggia favorendo uno sviluppo sostenibile e duraturo del settore agricolo anche dal punto di vista ambientale e sociale

2.1.3. Sviluppo agricolo e capitale sociale

Il capitale sociale descrive l'importanza delle relazioni sociali nella vita culturale ed economica, includendo così concetti come la fiducia e la solidarietà che esiste fra gente che lavora in gruppo e in rete, ed usa la reciprocità e lo scambio per la costruzione delle relazioni allo scopo di raggiungere risultati che apportano benefici collettivi accettati di comune accordo. Le norme di comportamento - associate anche a sanzioni - aiutano in molti casi a formare (*determinare o influenzare*) i comportamenti individuali e di conseguenza incoraggiano la realizzazione di azioni collettive e di cooperazione finalizzate al bene comune.

Il capitale sociale è visto così come un importante pre-requisito per l'implementazione di nuove tecnologie finalizzate in particolar modo all'uso sostenibile delle risorse (Pretty, 2008).

L'estensione di un approccio partecipativo che consenta agli agricoltori di giocare un ruolo centrale nel processo di identificazione e adozione di tali tecnologie è stato da tempo sperimentato con successo in numerosi settori e trova oramai larga applicazione in molti programmi e progetti di Cooperazione Internazionale finalizzati in particolare alla conservazione dell'acqua e del suolo. Il coinvolgimento diretto degli agricoltori permette, infatti, un immediato e rapido apprendimento delle nuove tecnologie e delle pratiche di

gestione che possono essere così adattate a specifiche condizioni agro-ecologiche, sociali ed economiche (Godfray , 2010).

Un successivo passaggio è tuttavia rappresentato dal trasferimento di un simile approccio anche al settore della ricerca e della sperimentazione. Se fino ad ora l'agricoltore è stato visto come beneficiario finale dei risultati provenienti dal mondo della ricerca, in termini di nuove tecnologie e pratiche da applicare ed adattare a determinati contesti, il suo contributo nella identificazione e formulazione del progetto di ricerca e nelle fasi di sperimentazione in campo è senza dubbio meno affermato e diffuso.

A questo proposito, i risultati forniti da alcuni recenti studi hanno dimostrato che la collaborazione tra ricerca accademica e agricoltori determina un consistente aumento della produttività scientifica misurata sia come numero di pubblicazioni che in termini di tasso di innovazione delle nuove pratiche e delle tecnologie sviluppate (Rivera-Huerta, 2011)⁵.

2.1.4. Consumi e qualità degli alimenti

L'aumento del potere di acquisto da parte di una fetta sempre più vasta della popolazione, lo spostamento delle preferenze e dei gusti dei prodotti alimentari, l'accesso al mercato globale e la crescita demografica hanno determinato una forte spinta dei consumi alimentari, sostenuti anche da un modello di sviluppo dominante basato principalmente sulla necessità della crescita piuttosto che sulla sua sostenibilità. A tale modello, caratterizzato da un eccesso di apporti calorici nella dieta e da un elevato impatto in termini di emissioni di gas-serra conseguenti alla bassa efficienza energetica dei processi produttivi e di trasformazione, si sta tuttavia contrapponendo una nuova sensibilità che considera la modifica delle abitudini alimentari come elemento basilare della sostenibilità ambientale.

Negli ultimi anni si è evidenziata così una richiesta crescente da parte dei consumatori di comprendere quale sia l'impatto sull'ambiente dei prodotti, in particolare di quelli alimentari, che loro acquistano abitualmente. Grazie anche alle tecnologie di comunicazione ed alla rete internet, si stanno pian piano diffondendo una serie di strumenti

⁵ Rivera-Huerta, René & Dutrénit, Gabriela & Ekboir, Javier Mario & Sampedro, José Luis & Vera-Cruz, Alexandre O., 2011. "[Do linkages between farmers and academic researchers influence researcher productivity? The Mexican case.](#)" *Research Policy*, Elsevier, vol. 40(7), pages 932-942, September.

gratuiti e facili da consultare per poter conoscere sia la provenienza e le caratteristiche del prodotto acquistato, che per raccogliere per ottenere informazioni sull'azienda e sulle le tecniche colturali che sono state utilizzate per produrlo; il tutto in un'ottica di trasparenza e secondo un concetto di qualità estesa che riguarda non solo l'insieme delle qualità intrinseche del prodotto (valore nutritivo, caratteristiche organolettiche, salubrità) ma che comprende anche la sua tracciabilità, le eventuali pratiche e azioni messe in atto per la tutela dell'ambiente, la sicurezza dei processi di trasformazione, la valorizzazione del territorio e l'eticità del consumo (De Filippis, 2010).

La scommessa per il futuro sarà dunque quella di creare un sistema di conoscenze condiviso per rendere i produttori e i consumatori protagonisti e consapevoli dell'intero processo produttivo (tipicità, stagionalità, tracciabilità), in un'ottica di maggiore sostenibilità delle produzioni agro-alimentari.

2.2. Nuovi indirizzi in materia di politica agricola Europea

Il modello agroalimentare industriale, che si è affermato nel corso degli ultimi cinquant'anni, è una delle principali ragioni della più grave crisi ambientale e climatica che stiamo vivendo. Da un lato, ha determinato lo sfruttamento indiscriminato e il deterioramento irreversibile delle risorse naturali considerate erroneamente illimitate e inesauribili. Dall'altro, ha fatto un uso sempre più sfrenato di input esterni di origine fossile: fertilizzanti chimici, pesticidi, materiali plastici.

Alla metà degli anni '90 in seguito ai nuovi indirizzi della UE sull'agricoltura, si è avviato, se pur lentamente, un processo di riforma della Politica Agricola Comune (PAC), che si propone di modificare l'approccio basato sui sussidi alla produzione per assegnare all'agricoltura europea un nuovo ruolo in cui la funzione di presidio ambientale viene esplicitamente riconosciuta. Ciò anche in ragione degli effetti negativi determinati dai cambiamenti climatici e della globalizzazione economica sulla vitalità dei territori rurali.

La Politica Agricola Comune (PAC) dell'Unione Europea, così come è stata pensata e gestita fino a oggi, presenta, infatti, alcuni elementi di notevole criticità, che incidono negativamente sia sul versante della produzione che su quello dei consumi

La PAC attuale è caratterizzata, innanzitutto, da una grave ineguaglianza: le risorse finanziarie del cosiddetto "primo pilastro"⁶ (che comprende misure volte al sostegno del

⁶ L'attuale PAC si compone di tre assi fondamentali detti anche pilastri: il primo concerne la Politica dei Mercati e ha come strumenti fondamentali il FEOGA (Fondo Europeo Agricolo di Orientamento e Garanzia (FOAOG) e le Organizzazioni Comuni dei Mercati (OCM). Il secondo riguarda lo Sviluppo Rurale ed il terzo la Politica delle Strutture.

mercato e in particolare i pagamenti diretti ai produttori) sono distribuite in maniera fortemente sbilanciata tra le diverse produzioni e tra i diversi Stati membri in funzione essenzialmente del peso politico che questi rivestono all'interno dell'Unione, senza una vera e propria logica di sistema e senza una reale volontà di indirizzo comune.

In secondo luogo, favorisce un modello di consumo profondamente squilibrato; mentre il 50% della popolazione Europea accusa problemi di sovrappeso legati ad una dieta ipercalorica, troviamo fasce di popolazione che accusano forme anche gravi di carenze alimentari pur registrando livelli annuali di spreco di alimenti intorno ai 90 milioni di tonnellate (Eurostat 2010). Di fatto, il cibo ha perso il proprio valore intrinseco e il prezzo è rimasto l'unico parametro utile a orientare le scelte alimentari dei consumatori (www.slowfood.com).

In terzo luogo, svilisce l'importanza del lavoro nel settore agroalimentare: una recente indagine segnala che complessivamente l'occupazione agricola in Europa è calata del 25% in meno di 10 anni, comportando in totale la perdita di 3,7 milioni di posti di lavoro (Eurostat 2010). Nello stesso tempo, alla riduzione di occupazione non è corrisposto un aumento del reddito dei lavoratori del settore agricolo che sia paragonabile a quello registrato in altri settori; anzi, il livello di reddito degli imprenditori agricoli – e di conseguenza quello di tutte le figure professionali che operano nel settore – si è progressivamente abbassato. Tale dinamica negativa è una delle cause alla base della scomparsa di molte produzioni agricole.

2.2.1. Le sfide da affrontare

In questi ultimi anni, la Politica Agricola Comunitaria è oggetto di un ampio processo di riforma. Questa fase, che dovrebbe concludersi all'inizio del 2014 con l'entrata in vigore della “Nuova PAC”, è di fondamentale importanza per il futuro dell'Unione Europea in quanto dovrà fornire gli strumenti normativi e ridisegnare le strategie comuni per:

- garantire la sicurezza e la sovranità alimentare nell'area UE,
- offrire una risposta adeguata alla crisi ambientale e climatica,
- ridare vigore all'economia, specie nelle aree rurali, e rilanciare l'occupazione nel settore agricolo.

Per raggiungere tali obiettivi, la PAC dovrà assicurare il passaggio da una politica meramente agricola ad una politica agricola e alimentare che assicuri una maggiore

integrazione degli interventi promossi dai vari Stati membri. Ciò permetterà anche di affrontare in maniera più efficace problematiche trasversali che trascendono i confini nazionali dei singoli Paesi quali la tutela dell'ambiente, comprendendo in questo anche il valore paesaggistico, l'uso sostenibile delle risorse naturali e la lotta contro gli impatti generati dal cambiamento climatico.

Le tappe della nuova PAC

- Novembre 2010: Comunicazione ufficiale della Commissione sul futuro delle politiche comunitarie e sul bilancio 2014-2020;
- Luglio 2011: Proposte legislative sulla nuova PAC 2014-2020;
- Fine 2012: Approvazione della nuova PAC
- 1 Gennaio 2014: Entrata in vigore della nuova PAC

2.2.1.1. Sicurezza dell'approvvigionamento alimentare

Il ruolo primario dell'agricoltura è rappresentato dalla produzione di derrate alimentari ed in questo senso è importante che l'UE possa contribuire a soddisfare una domanda globale di prodotti alimentari in continua crescita a livello mondiale. Partendo da tale presupposto, è essenziale che il settore agricolo europeo mantenga e rafforzi la sua capacità di produzione rispettando nel contempo gli impegni assunti dall'UE nell'ambito delle relazioni commerciali internazionali e della coerenza delle politiche per lo sviluppo. Soltanto un settore agricolo forte permetterà all'industria alimentare, caratterizzata da un'elevata competitività, di mantenere una posizione importante nel sistema economico e commerciale.⁷ Vi è inoltre la richiesta, da parte dei cittadini europei, di ampliare la gamma dei prodotti alimentari di alta qualità, anche locali, che rispondano a standard elevati di sicurezza e siano rispettosi del benessere degli animali.

⁷ Il comparto alimentare fornisce il 13,5% dell'occupazione totale e contribuisce per oltre il 12% al valore aggiunto generato dall'industria manifatturiera europea; l'UE è il primo esportatore mondiale di prodotti agricoli, per lo più trasformati e ad alto valore aggiunto la cui quota rappresenta quasi il 7% del totale delle esportazioni dell'UE.

In tale contesto hanno assunto maggiore rilievo aspetti quali l'accesso, la disponibilità e l'accettabilità⁸ di prodotti alimentari sani e l'efficienza nutrizionale. L'agricoltura dell'UE è oggi confrontata ad un contesto molto più competitivo che in passato in virtù della progressiva integrazione dell'economia mondiale e della crescente liberalizzazione degli scambi. Se da un lato ciò rappresenta una sfida per gli agricoltori, dall'altro costituisce un'opportunità per le esportazioni di prodotti alimentari europei sui mercati dei paesi terzi.

La futura PAC entrerà in vigore in un periodo storico di profonda crisi economica che ha pesantemente colpito le zone agricole e rurali, coinvolgendole in dinamiche macroeconomiche più ampie, le cui conseguenze si sono tradotte in un aumento dei costi di produzione. Dopo un decennio di stagnazione, la netta flessione del reddito agricolo registrata nel 2009 non ha fatto che aggravare una situazione già critica, determinando un ulteriore allargamento della forbice rispetto agli altri settori economici, per cui attualmente il reddito unitario per abitante risulta essere nettamente più basso nelle zone rurali rispetto alle zone urbane.

2.2.1.2. *Ambiente e cambiamento climatico*

L'agricoltura e la silvicoltura svolgono un ruolo cruciale nella produzione di beni di pubblica utilità, segnatamente a valenza ambientale, come il paesaggio, la biodiversità degli ecosistemi, la stabilità del clima e una maggiore resilienza ai disastri naturali quali inondazioni, siccità e incendi. Nel contempo, molte pratiche agricole possono esercitare una pressione sull'ambiente e provocare degrado dei terreni, carenza e inquinamento delle acque, scomparsa di habitat naturali e perdita di biodiversità.

Sebbene dal 1990 le emissioni di gas serra di origine agricola siano diminuite nella UE del 20%, sarà comunque necessario intensificare gli sforzi per conseguire gli obiettivi ambiziosi che l'Unione si è fissata in materia di clima ed energia. Per questo occorrerà sfruttare maggiormente il potenziale del settore agricolo in materia di mitigazione e adattamento nonché la sua capacità di fornire un contributo positivo alla riduzione delle emissioni di gas serra attraverso i processi di fissazione e sequestro del carbonio e la produzione di energie rinnovabili.

⁸ Secondo il Reg. [CE 2073/2005](#), un criterio microbiologico definisce l'accettabilità di un prodotto, di una partita di prodotti alimentari o di un processo, in base all'assenza, alla presenza o al numero di microrganismi e/o in base alla quantità delle relative tossine/metaboliti, per unità di massa, volume, area o partita.

2.2.1.3. *Equilibrio territoriale*

La diversificazione della struttura socioeconomica del territorio fa sì che sempre più spesso lo sviluppo delle zone rurali dipenda da fattori estranei all'agricoltura. Tuttavia, nei Paesi dell'Unione Europea, l'agricoltura continua a svolgere un ruolo trainante nell'economia di numerose aree rurali la cui vitalità rimane strettamente associata alla presenza di un settore agricolo dinamico e competitivo, in grado di attrarre i giovani fornendo loro opportunità di lavoro.. Ciò è particolarmente vero nelle zone a prevalenza rurale, ma con un basso tasso di marginalità⁹ e nei nuovi Stati membri, dove è importante consolidare i recenti incrementi di produttività e sfruttare appieno il potenziale del settore agricolo. Occorre sottolineare, come in queste situazioni l'agricoltura svolga anche una importante funzione di “volano” economico generando ulteriori attività economiche strettamente legate all'industria alimentare, al turismo e al commercio, contribuendo al mantenimento delle tradizioni locali e dell'identità sociale.

Nelle aree rurali a forte marginalità, come quelle alto-collinari e montane, l'agricoltura riveste al contrario un prevalente ruolo di presidio ambientale il cui valore economico deve essere riconosciuto e garantito attraverso politiche di sostegno e valorizzazione delle produzioni a piccola scala, di qualità e fortemente “tipicizzate” (razze autoctone e varietà locali) che permettano di contrastare il fenomeno dell'abbandono. E' noto, infatti, come lo spopolamento di tali aree sia la causa primaria di gravi forme di dissesto idrogeologico, con costi pesanti che si riflettono sulla comunità in termini economici, sociali ed ambientali (www.protezionecivile.gov.it).

2.2.2. *Obiettivi strategici della futura Politica Agricola Comune*

Oggi la Politica Agricola Comune è chiamata ad affrontare le future sfide in un contesto di politiche economiche e di finanze pubbliche sostenibili. Per tali motivi, l'UE si trova a dover compiere scelte strategiche a lungo termine attraverso l'identificazione di obiettivi prioritari per dotarsi, in un secondo tempo, degli strumenti tecnico-finanziari più idonei ed efficaci per raggiungerli.

Come riportato dai documenti della Commissione Europea (COM -2010- 672/5) gli obiettivi strategici fondamentali della futura PAC possono sintetizzarsi nei seguenti punti:

- Una produzione alimentare efficiente

⁹ Sono quelle aree in cui il contributo del settore primario non supera il 5% del valore aggiunto ed il 16% del tasso di occupazione

- Una gestione sostenibile delle risorse naturali e un'azione per il clima
- Uno sviluppo territoriale equilibrato

2.2.2.1. Una produzione alimentare efficiente

In via prioritaria le misure dovranno garantire un sostegno ai redditi agricoli e limitarne le fluttuazioni, senza dimenticare che la volatilità dei prezzi e dei redditi, come pure i fattori di rischio sono più marcati di quelli che si riscontrano nella maggior parte degli altri settori e che i tassi di redditività del comparto agricolo sono mediamente inferiori a quelli registrati nel resto dell'economia.

Alla luce di tale premessa, diviene essenziale migliorare la competitività del settore agricolo promuovendo l'innovazione e la ristrutturazione per migliorare l'uso efficiente delle risorse e aumentare la percentuale di valore che esso rappresenta nella filiera alimentari. Il settore primario paga, infatti, l'eccessiva frammentazione rispetto agli altri comparti della filiera alimentare che, essendo meglio organizzati, dispongono di un maggiore potere negoziale. Gli agricoltori dell'UE devono inoltre far fronte alla concorrenza dei mercati mondiali, rispettando nel contempo le norme rigorose in materia di ambiente, sicurezza dell'approvvigionamento alimentare, qualità e benessere degli animali, richieste dai cittadini europei.

2.2.2.2. Una gestione sostenibile delle risorse naturali e un'azione per il clima

Garantire pratiche di produzione sostenibili e una maggiore offerta di beni pubblici ambientali, rappresentano una componente essenziale della nuova PAC; poiché molti dei vantaggi collettivi generati dall'agricoltura non sono remunerati attraverso il normale funzionamento dei mercati dovranno essere previste misure di sostegno e incentivi a chi impiega buone pratiche che tutelano le risorse ambientali, il paesaggio e la biodiversità.

L'innovazione gioca un ruolo chiave nel favorire una crescita del settore agricolo più equilibrata e rispettosa dell'ambiente: pertanto **l'adozione di nuove tecnologie**, lo sviluppo di nuovi prodotti e processi di produzione e la promozione di nuovi modelli di domanda, in particolare nel contesto della bio-economia emergente rappresentano punti essenziali di una strategia incentrata sulla maggiore sostenibilità.

Gli interventi di mitigazione e di adattamento al cambiamento climatico costituiscono un aiuto indispensabile per ridurre la vulnerabilità dell'agricoltura all'impatto di tale

fenomeno e per promuovere forme di adattamento che aumentino contemporaneamente anche la resilienza dell'ambiente .

2.2.2.3. Uno sviluppo territoriale equilibrato

L'occupazione rurale è un punto qualificante della nuova PAC per preservare il tessuto sociale delle zone rurali. Il miglioramento dell'economia rurale e la promozione della diversificazione dovranno consentire agli attori locali di esprimere appieno il loro potenziale e di fare un uso ottimale delle risorse.

In questo senso, le azioni volte a favorire la diversità strutturale dei sistemi agricoli, dovranno essere incentrate in particolar modo sul sostegno alle piccole aziende e sullo sviluppo dei mercati locali al fine di preservare l'eterogeneità delle strutture agricole e dei sistemi di produzione che contribuiscono all'attrattività e all'identità delle regioni rurali europee.

Specifiche misure di compensazione dovranno essere, infine, previste per sopperire alle difficoltà di produzione delle regioni che presentano particolari vincoli naturali e nelle quali è più forte il rischio di abbandono delle terre.

Questi obiettivi si raccordano pienamente con i futuri orientamenti dello sviluppo rurale. Gli investimenti, ad esempio, dovrebbero stimolare l'efficienza economica e ambientale del settore, le misure ambientali dovrebbero essere meglio adattate alle esigenze specifiche delle regioni o addirittura di particolari territori (quali le zone Natura 2000 e le zone di alto pregio naturale) e le misure destinate a liberare il potenziale delle zone rurali dovrebbero far leva su concetti innovativi per le imprese e le amministrazioni locali. Occorre sfruttare nuove opportunità di sviluppo locale, quali canali di distribuzione alternativi, che permettano di valorizzare le risorse dei territori. Un altro elemento importante è rappresentato dal sostegno destinato a promuovere le vendite dirette e i mercati locali (filieri a km0). Sarà infine prioritario rispondere alle esigenze specifiche dei giovani agricoltori e di coloro che iniziano l'attività con opportune misure di incentivo e di supporto al reddito.

E' evidente come tale processo di trasformazione per la sua complessità e dimensione richieda, in termini finanziari, un importante sostegno pubblico. Occorrerà per questo definire strategie a livello europeo che garantiscano al settore parità di condizioni e un insieme comune di obiettivi, regole e principi che assicurino un uso più efficiente delle

risorse di bilancio di quanto non sarebbe possibile in un contesto di singole politiche nazionali.

2.2.3. La PAC nel contesto della strategia EUROPA 2020

Il dibattito sulla PAC non è isolato dal contesto europeo; esso si inserisce nella nuova prospettiva della strategia dell'Unione europea per il 2020, lanciata dalla Commissione il 3 marzo 2010, dal titolo “*Europa 2020: una strategia per la crescita intelligente, sostenibile e inclusiva*”, i cui principi fondanti possono essere così riassunti:

- Crescita intelligente

Si propone di incrementare l'uso efficiente delle risorse e di migliorare la competitività grazie alla conoscenza e all'innovazione tecnologica, sviluppando prodotti di qualità e ad alto valore aggiunto, promuovendo l'uso di tecnologie verdi e, in particolare, di tecnologie dell'informazione e della comunicazione, investendo nella formazione, incentivando l'innovazione sociale nelle zone rurali e favorendo l'integrazione dei risultati della ricerca.

- Crescita sostenibile

Ha come obiettivo quello di preservare le basi per la produzione di prodotti alimentari, alimenti per animali ed energie rinnovabili, assicurando una gestione sostenibile delle terre, fornendo beni pubblici ambientali, lottando contro la perdita di biodiversità, promuovendo le energie rinnovabili, proteggendo la salute degli animali e delle piante, aumentando l'efficienza delle risorse grazie allo sviluppo tecnologico e valorizzando i risultati della ricerca, riducendo ulteriormente le emissioni, migliorando le riserve di carbonio e sviluppando pienamente il potenziale delle zone rurali;

- Crescita inclusiva

Prevede di liberare il potenziale economico delle zone rurali, sviluppando i mercati e l'occupazione locale, accompagnando il processo di ristrutturazione dell'agricoltura e sostenendo il reddito degli agricoltori al fine di preservare la sostenibilità dell'agricoltura in tutta l'Europa.

In accordo con tali obiettivi, si tratta quindi di promuovere una crescita verde del settore agricolo e dell'economia rurale che consenta di raggiungere un maggiore benessere grazie a una visione dello sviluppo economico realizzato nel rispetto dell'ambiente.

2.3. La sostenibilità ambientale dell'agricoltura

2.3.1. Evoluzione del concetto di sostenibilità ambientale

Il **concetto di sostenibilità** negli ultimi decenni è stato oggetto di numerosi dibattiti e sono state molte le definizioni proposte da vari studiosi.

Inizialmente il termine “*sostenibilità*”, a cui la cultura occidentale ha fin da subito affiancato la parola sviluppo, è stato usato in maniera generale per riferirsi alle tecnologie agricole e industriali che riducevano o prevenivano il degrado ambientale spesso associato alle attività economiche (Bongiovanni & Lowenberg-Deboer, 2004).

Da un punto di vista economico una definizione di sostenibilità è stata proposta da Hartwick (1978) e Solow (1974) come capacità di mantenere costane il consumo o la produttività attraverso l'intercambiabilità fra risorse naturali e capitale prodotto dall'uomo (*manmade capital*) nel processo produttivo. In questo contesto per capitale prodotto dall'uomo si intende qualsiasi cosa sviluppata dall'uomo incluso il capitale fisico (strumenti, strutture etc.) e capitale intellettuale (es: informazioni e conoscenza).

Questa definizione appare piuttosto debole facendo riferimento al mantenimento della quantità totale di capitale, ammettendo la sostituibilità tra le diverse forme di capitale (naturale, umano e quello prodotto dall'uomo).

Pearce and Atkinson (1993, 1995) invece definiscono il concetto di sostenibilità dal punto di vista ambientale dichiarando che le risorse naturali ed il capitale prodotto dall'uomo sono complementari nel processo di produzione e dato che le risorse naturali sono un fattore limitante nel processo di produzione queste vanno preservate.

Questa definizione più forte della precedente considera invece la conservazione del capitale nel suo complesso ovvero il mantenimento del cosiddetto *critical natural capital*, per quelle forme di capitale, quali il capitale naturale, che non sono sostituibili (Pearce, 1993).

Determinare il livello minimo di *critical natural capital* non è un compito semplice, anche in considerazione del progresso tecnologico che modifica continuamente il rapporto di sostituibilità tra le forme di capitale e le possibili variazioni nel livello di produttività delle risorse. Inoltre le potenzialità d'uso di una certa risorsa non sono sempre prevedibili e questo impone la necessità di valutare le risorse naturali disponibili anche con riferimento al loro valore di opzione all'uso (Rosselli, 2005).

La sostenibilità si basa anche sul concetto dell'efficienza, ossia la massimizzazione del benessere sociale presente e futuro. Si tratta di individuare un'allocazione inter e intra-generazionale ottimale delle risorse che non può essere garantita dal solo funzionamento del mercato ma necessita di essere perseguita mediante specifiche politiche di intervento. Il conseguimento dell'efficienza è condizione necessaria ma non sufficiente per il raggiungimento della sostenibilità.

Nel 1972 le Nazioni Unite definiscono la "sostenibilità" in un modo più generale "*aimed to meet the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs*" (WCED, 1987).

Ovvero "*lo sviluppo sostenibile è uno sviluppo che soddisfa i bisogni del presente senza compromettere la possibilità delle generazioni future di soddisfare i propri bisogni*".

Quest'ultima definizione pone l'attenzione anche sul benessere delle persone e quindi ad un concetto più esteso di qualità ambientale che non si riferisce soltanto all'ambiente in quanto tale.

Introduce un concetto etico che coinvolge le generazioni di oggi nei confronti delle generazioni future toccando due aspetti fondamentali della sostenibilità ambientale: il mantenimento delle risorse e l'equilibrio ambientale dell'intero pianeta.

2.3.1.1. Il concetto di sostenibilità ambientale applicato all'agricoltura

Applicando questo concetto al settore agricolo l'American Society of Agronomy (1989) definisce "*Sustainable Agriculture as the one that, over the long term, enhances environmental quality and the resource base in which agriculture depends; provides for basic human food and fiber needs; is economically viable; and enhances the quality of life for farmers and the society as a whole.*"

L'agricoltura sostenibile, detta anche eco-compatibile o integrata, in sintesi è quella che:

- fornisce cibo e fibre per i bisogni umani;
- è economicamente valida;
- migliora le risorse naturali dell'azienda agraria e la qualità complessiva dell'ambiente;
- migliora la qualità della vita per gli agricoltori e l'intera società;

L'ambizioso obiettivo di questo tipo di gestione dell'agricoltura è dunque quello di soddisfare le esigenze economiche (di alimenti di qualità per i consumatori e di reddito per gli agricoltori) senza compromettere il "capitale ambiente", patrimonio di tutti e risorsa per le future generazioni.

Questo nuovo approccio è indirizzato alla riduzione dell'impatto ambientale dell'agricoltura dovuto all'uso di sostanze chimiche di sintesi (pesticidi, concimi, ormoni, antibiotici), alle lavorazioni intensive del terreno, alle monocolture e monosuccessioni, nonché allo smaltimento indiscriminato dei rifiuti di produzione (ad esempio i liquami zootecnici e i reflui di frantoio) cercando inoltre di utilizzare il più possibile nelle coltivazioni e negli allevamenti zootecnici i processi naturali e fonti energetiche rinnovabili disponibili nelle stesse aziende.

2.3.1.2. Un approccio olistico della sostenibilità ambientale

Più recentemente al termine sostenibilità è stato associato un concetto più olistico di impatto economico, ambientale e sociologico su ogni forma di sviluppo (Caffey, 2001), come schematicamente rappresentato nella figura 2.1.

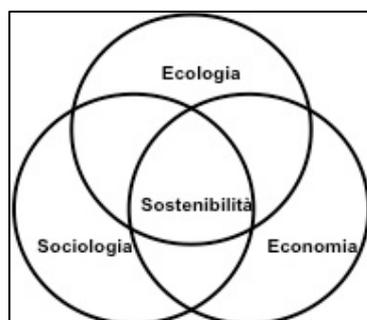


Figura 2.1 - Sostenibilità come interazione fra tre discipline: ecologia, sociologia, economia

Pertanto per agricoltura sostenibile si deve intendere un uso del suolo e delle risorse naturali per finalità produttive agricole tale che:

- le risorse naturali siano disponibili anche in futuro, includendo tra esse anche il paesaggio, gli habitat, la biodiversità, e la qualità delle risorse naturali (dimensione ecologica);
- le risorse disponibili siano utilizzate in maniera efficiente e tale da rendere il settore competitivo e vitale e contribuire allo sviluppo rurale del territorio (dimensione economica);
- garantisca opportunità di lavoro e accesso alle risorse e ai servizi delle aziende agricole (dimensione sociale).



Figura 2.2 - Sostenibilità ambientale del settore agricolo

Questo concetto se applicato all'agricoltura e alla produzione alimentare si propone di mettere insieme aspetti che, in genere, sono tenuti rigidamente separati: aspetti sociali (come il rapporto fra produttori e consumatori), ambientali (come la salvaguardia della biodiversità, la tutela delle risorse idriche e della fertilità del suolo, la distribuzione dei prodotti, la sostenibilità degli imballaggi, il riuso delle risorse) e culturali (la salvaguardia dei saperi tradizionali). Questo tipo di approccio è motivato dalla consapevolezza che vi sia una profonda interconnessione tra le comunità, il loro modo di produrre e consumare, la loro cultura e l'ambiente in cui vivono (Slow Food approach).

L'agricoltura non può essere sostenibile quindi se l'agricoltore non usa pratiche che non siano socialmente accettabili o vantaggiose e rispettose dell'ambiente. Ma la responsabilità etica allo stato attuale non può essere demandata al solo agricoltore o imprenditore agricolo, visto che non è un'entità isolata ma è parte di una più grande comunità, in un mercato globale, a cui fornisce prodotti agricoli e riceve in cambio beni, servizi e *inputs* (concimi, diserbanti ed altri prodotti) per la propria azienda (Bongiovanni, 2004).

Le relazioni tra l'agricoltura e l'ambiente hanno un carattere specifico, in considerazione della natura biofisica dei processi produttivi agricoli e della loro stretta dipendenza con le caratteristiche specifiche degli ecosistemi locali. Indagare gli effetti dell'attività agricola sull'ambiente richiede pertanto una serie di informazioni dettagliate per quanto riguarda l'uso dei fattori di produzione, l'uso del suolo e le pratiche di gestione agricola.

La messa in atto di strategie gestionali per un'agricoltura sostenibile richiede oggi più che mai una sinergia fra agricoltori, servizi tecnici di assistenza, industria, ricercatori e mondo politico per trasferimento dei risultati della ricerca e della sperimentazione alle diverse realtà aziendali.

Si rende dunque sempre più necessario ampliare le conoscenze dei sistemi di produzione agricola in una prospettiva di sostenibilità ambientale dell'agricoltura.

2.3.1.3. La multifunzionalità dell'agricoltura

La multifunzionalità dell'agricoltura è un concetto che attiene, allo stesso modo della sostenibilità, al ruolo multiplo dell'agricoltura e la sua capacità di produrre prodotti destinati al mercato ma anche externalità positive, oltre a svolgere delle funzioni sociali ed ambientali (Fig. 2.3). Tuttavia mentre la sostenibilità riguarda la disponibilità delle risorse la multifunzionalità attiene alle modalità secondo le quali le risorse vengono utilizzate nel processo produttivo agricolo e al loro contributo al soddisfacimento di determinati bisogni della società.

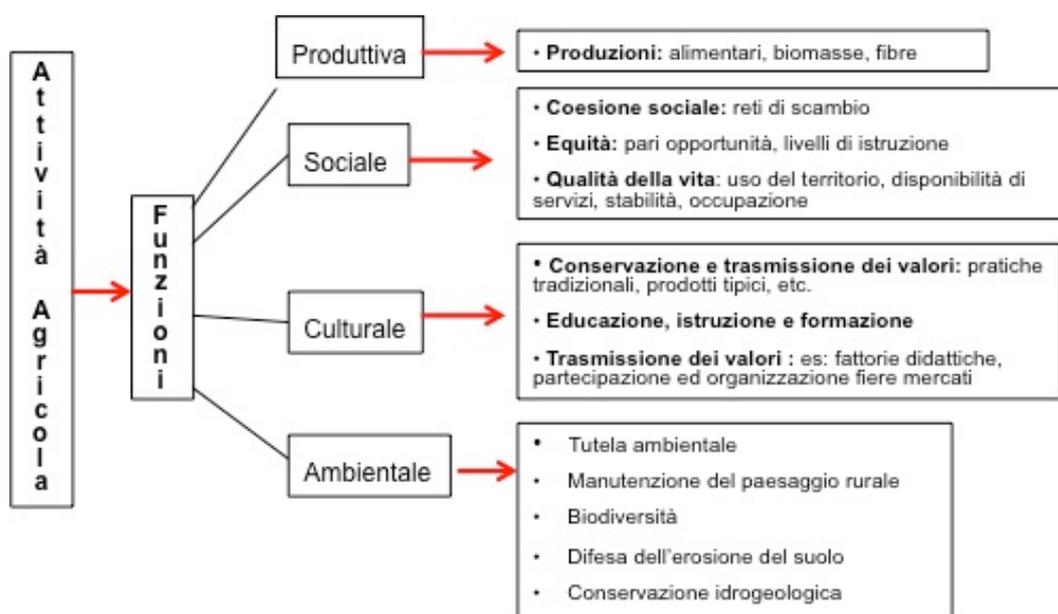


Figura 2.3 - Principali funzioni dell'attività agricola

3. L'AGRICOLTURA DI PRECISIONE: UNA STRATEGIA DI GESTIONE PER LA SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE

3.1 Agricoltura di precisione: fra mito e realtà

Il mondo delle produzioni agricole è cambiato radicalmente negli ultimi decenni ed ancora molti cambiamenti si profilano all'orizzonte. Se pensiamo che fino a pochi anni fa la produzione agricola era organizzata in piccole aziende agricole in cui il proprietario o altri operatori avevano conoscenze approfondite dell'azienda e delle risorse disponibili, di quanto poteva produrre ogni campo, delle peculiarità produttive, delle malattie da combattere, della vulnerabilità delle piante coltivate, dei problemi di erosione del suolo e della perdita di produttività.

La pressione economica e le tecnologie hanno cambiato profondamente il profilo degli agricoltori e la struttura aziendale. Oggigiorno la maggior parte delle aziende agricole di rilevata estensione sono gestite da grandi imprese (Gliessman, 2000.)

La capacità di gestione dei capitali investiti nelle attrezzature, nel terreno, nel lavoro e nelle tecnologie contano più delle conoscenze agronomiche e delle buone pratiche colturali nel determinare i risultati economici delle aziende. L'influenza dell'economia di scala è stata il maggior fattore della strategia dominante di gestione con la conseguente, progressiva affermazione delle grandi estensioni monoculturali che non tengono conto della variabilità delle caratteristiche dei suoli e delle condizioni ambientali eterogenee.

Questo tipo di gestione omogenea dei trattamenti provoca o un sovradosaggio o una sottovalutazione degli input¹⁰ necessari alla produzione delle colture (Schnug, 1998).

L'obiettivo di mantenere ad un livello basso e competitivo il prezzo dei prodotti a fronte del progressivo aumento dei costi di produzione è una sfida che la gestione delle aziende agricole ha affrontato attraverso l'adozione di nuove strategie basate su applicazione mirata degli input avvalendosi di nuove tecnologie come il telerilevamento, GPS, meccanizzazione avanzata, modelli matematici di crescita delle colture, sistemi informativi geografici, tecniche di analisi statistica, e tutte quelle soluzioni che potessero supportare i manager aziendali nel mantenere i bilanci economici delle aziende entro certi limiti prefissati.

¹⁰ Con il termine *input* si intendono pesticidi, fertilizzanti, fitofarmaci e tutti quei prodotti che contribuiscono allo sviluppo delle colture.

Questo contesto è stato appunto l'origine dell'agricoltura di precisione, termine generico per indicare l'uso di nuove tecnologie nella gestione e controllo delle attività aziendali e delle produzioni agricole con l'obiettivo di ottimizzare la distribuzione geografica degli input con la finalità di incrementare le rese di produzione, la qualità ed i profitti.

3.1.1 Definizione del concetto di agricoltura di precisione

La definizione di Agricoltura di Precisione (AdP) è in continua evoluzione come lo sono in parallelo i cambiamenti delle tecnologie e la crescita della consapevolezza su come si può utilizzarla al meglio (Bongiovanni, 2004). Negli anni sono state adottate varie definizioni di agricoltura di precisione, da quella più semplice di “farming by soil” (Robert, 1993), a quella di tecnologia a rateo variabile, a definizione di “sistemi avanzati per la guida di veicoli agricoli”, e recentemente sta evolvendo verso il concetto di “produzioni di qualità e gestione ambientale”. Altri nomi adottati per l'agricoltura di precisione sono *precision farming*, *gestione sito specifica*, *prescription farming* e molti altri (McBratney, 2005; Willers, 2009).

Le definizioni di AdP abbondano in letteratura scientifica (Zhang, 2002; Auernhammer, 2001; Lowenberg-DeBoer and Swinton, 1997) ma una delle più generiche può essere sintetizzata come segue: “quel tipo di agricoltura che incrementa il numero di decisioni (*corrette*), a cui sono associati benefici netti, per unità di area e per unità di tempo”. Questa generica definizione non prende in considerazione soltanto l'informazione da ottimizzare in relazione alla scala spaziale ma evolve verso l'importanza delle decisioni da prendere nello spazio e nel tempo. Inoltre non prende in considerazione nessuna particolare tecnologia o un insieme di tecnologie, le decisioni possono essere prese con il semplice supporto di sensori elettronici, GPS, GIS, etc., o dal solo operatore senza nessun ausilio di tecnologia.

Non è tuttavia facile definire quali sono i “benefici netti” che sono indicati in una così generica definizione. In maniera semplice si può parlare di “un concomitante aumento della quantità e/o della qualità delle produzioni e/o dell'ambiente utilizzando le stesse o minori quantità di “*inputs*” (McBratney, 2005)

Anche se una tale definizione è molto elusiva per i termini di quantità di inputs da utilizzare è sicuramente quella che fa evolvere il concetto di AdP verso obiettivi maggiormente focalizzati sullo sviluppo sostenibile non trascurando in ogni caso il

tradizionale obiettivo di convenienza economica delle produzioni da raggiungere congiuntamente ai benefici sociali ed ambientali.

Questa ultima ipotesi può far sconfinare verso un dibattito ancora più ampio a livello globale ovvero se l'adozione di strategie gestionali basate sull'agricoltura di precisione può essere una soluzione per lo sviluppo sostenibile in agricoltura. L'ipotesi formulata da McBratney (2005) è che questa scelta può essere sicuramente un'opportunità e una sfida ben definita, poi bisogna rendere questa ipotesi verosimile e convincente.

Ci sono pochi dati sull'utilizzo dell'AdP nel mondo. Un'ampia panoramica è fornita da Zhang (2002) che propone inoltre degli indici, spaziali e ambientali, riguardo le potenzialità di ogni nazione di adottare l'AdP. Fanno riflettere i dati riportati per l'Italia il cui un indice spaziale (Ha di colture/lavoratori impiegati nel settore) è piuttosto basso (9,1) mentre quello ambientale (159,4), relativo all'uso dei fertilizzanti (kg per ha di coltura), è ben al di sopra di paesi come gli Stati Uniti (103,4) la cui produzione agricola è stata da sempre caratterizzata da produzioni monoculturali intensive.

3.1.2 Agricoltura di precisione e gestione della variabilità spaziale e temporale

L'agricoltura di precisione nella sua essenza consiste nell'applicazione di principi e tecnologie per la gestione della variabilità spazio-temporale, associata con tutti gli aspetti della produzione agraria. Senza la variabilità i concetti dell'agricoltura di precisione avrebbero poco significato e probabilmente non si sarebbero mai sviluppati.

Molti tipi di variabilità che troviamo in natura sono sia spaziali che temporali come ad esempio le infestazioni, i parametri climatici.

Le variabilità che influenzano le produzioni agricole possono essere sintetizzate in 8 categorie:

- variabilità delle produzioni (distribuzione storica ed attuale delle colture);
- variabilità di campo (legata alla morfologia del territorio, alla vicinanza a corsi d'acqua agli effetti bordo);
- variabilità pedologica (legata alla fertilità dei campi, alle proprietà fisiche dei suoli (porosità, tessitura, conducibilità elettrica, proprietà chimiche dei suoli quali pH, sostanza organica, salinità, etc.) profondità dei suoli, conducibilità idraulica;
- variabilità delle colture (densità delle piante, altezza, stress idrici, proprietà biofisiche (LAI) contenuto di clorofille etc.)

- variabilità di fattori anomali quali malattie, infestanti insetti, danni da grandine e vento;
- variabilità dovuta alla gestione quali pratiche agronomiche (semina, irrigazione, lavorazioni tecniche colturali, applicazioni di fitofarmaci e fertilizzanti, etc.).

La gestione della variabilità può essere fatta utilizzando due differenti approcci:

- un approccio basato sulla cartografia;
- un approccio basato sulla sensoristica.
- un approccio semplificato basato sulla zonazione

Con la disponibilità di tecnologia GPS, *remote sensing*, monitoraggio dei rendimenti, tecnologie di *soil sensing*, l'approccio basato sulla cartografia risulta molto più semplice da applicare. Tuttavia non sono da trascurare le procedure da adottare (metodologiche ed elaborazione dati) per l'applicazione di queste tecnologie e per la trasferibilità delle mappe ai dispositivi utilizzati per l'applicazione a rateo variabile degli *input*.

L'approccio basato sulla sensoristica, ovvero la misura delle proprietà del suolo o della pianta che si vogliono indagare, fa uso di una vasta gamma di strumenti che possono andare dalla misura in tempo reale installati su dispositivi mobili e sui dispositivi delle macchine operatrici che effettuano le operazioni di campo a rateo variabile.

Molti sistemi sperimentali in agricoltura di precisione sono basati sull'approccio cartografico dato che i dispositivi di sensori mobili spesso sono molto più costosi o non molto accurati o non sempre disponibili a livello aziendale.

Ad integrazione dei sistemi di acquisizione sono invece oramai molto diffusi i Sistemi Informativi Geografici e geodatabase, che gestiscono in un unico ambiente relazionale mappe, derivate da varie piattaforme di acquisizione, e dati della sensoristica di campo. Disponendo di un ambiente integrato metodi geostatistici avanzati vengono applicati per l'analisi della variabilità spaziale e temporale delle produzioni agricole. Da non trascurare inoltre l'uso che della modellistica delle colture per la generazione di mappe di potenzialità dei rendimenti per la prescrizione di fertilizzanti (Werner, 2000). Queste mappe possono essere utilizzate per lo studio della variabilità della crescita delle colture e della diffusione delle malattie con l'integrazione delle previsioni meteorologiche.

L'agricoltura di precisione diviene così un strumento per la valutazione dei rischi di produzione e per una gestione razionale dei lavori aziendali.

La gestione della zonazione invece prevede la suddivisione in zone omogenee, per caratteristiche proprietà omogenee rispetto all'intero campo, per le applicazioni sito specifiche nella distribuzione degli *inputs* (Zhang, 2010). La gestione di zone omogenee è molto pratica da realizzare per applicazioni molto più speditive, ovvero filtrando spazialmente le informazioni per ridurre gli effetti di disturbo dovuti alla misura di innumerevoli fattori di variabilità. Rimuovere gli eccessivi dettagli all'interno di un medesimo appezzamento semplifica così le operazioni di zonazione e riduce le richieste per i dispositivi a rateo variabile (Chang, 2000).

3.1.3 Nuove tecnologie e razionalizzazione dei sistemi produttivi

Uso razionale delle risorse naturali, risparmio energetico, riduzione delle emissioni inquinanti, razionalizzazione della mobilità dei prodotti sono solo alcune delle parole d'ordine che oggi la logica della sostenibilità ambientale richiede al settore produttivo agricolo.

Le nuove tecnologie disponibili in agricoltura per il monitoraggio ambientale, operativo e produttivo possono oggi facilmente coniugarsi alle tecnologie dell'informazione e delle comunicazioni per ampliare le conoscenze dei sistemi di produzione sostenibili (De Filippis, 2010).

Le tipologie di monitoraggio aziendale necessarie ad ampliare il quadro di conoscenze può schematicamente essere suddiviso in tre ambiti (Vieri, 2010):

- il monitoraggio ambientale che prevede l'acquisizione di diversi parametri di natura fisica come temperatura, umidità, tessitura del terreno, radiazione solare; e/o chimica come il pH, la sostanza organica presente, connessi con l'ambiente in cui la coltura si sviluppa;
- il monitoraggio colturale che prevede l'acquisizione di informazioni riguardanti stadi fenologici, nutrizionali, fitosanitari e produttivi.
- il monitoraggio operativo che prevede l'acquisizione di tutti quei dati relativi allo svolgimento delle attività produttive come l'organizzazione aziendale ed i metodi di lavoro.

3.1.3.1 Il monitoraggio ambientale

Nello sviluppo delle colture l'ambiente assume grande importanza nel condizionare l'espressione quali-quantitativa e nel definire la delimitazione degli areali di coltivazione.

Per ambiente si intendono i vari fattori relativi al clima ed al suolo, a loro volta influenzati dalle componenti geomorfologiche quali latitudine, altitudine, esposizione.

Un attento monitoraggio dei parametri meteorologici e una loro corretta valutazione sono quindi, senza dubbio, fattori critici per l'ottenimento di prodotti di qualità e per una corretta gestione delle risorse naturali.

In tale chiave l'agrometeorologia (ramo della meteorologia che studia le interazioni dei fattori meteorologici e idrologici con l'ecosistema agricolo-forestale) fornisce utili indicazioni per la migliore gestione dell'attività agricola.

Le centraline meteorologiche, un tempo limitate alle sole reti di monitoraggio meteorologico, sono oggi sempre più diffuse a livello aziendale e spesso gestite, tramite connessione a PC da campo o a terminali remoti, dagli agricoltori per un diretto monitoraggio delle colture (stress idrici, gelate, soglie di intervento per attacchi parassitari e fungini). Stiamo assistendo inoltre ad un notevole miglioramento del software di gestione e di acquisizione dei dati di campo tramite appunto al collegamento diretto con la centralina di acquisizione, al *download* dei dati sotto forma di file testo ed ad una pre-elaborazione analitica e grafica dei dati misurati con intervalli di acquisizione sempre più ravvicinati (da intervalli orari a intervalli di poche decine di minuti).

Oltre alla visualizzazione quotidiana dei dati microclimatici è di fondamentale importanza la possibilità di creare un database storico relativo agli andamenti climatici delle diverse annate agrarie, utilissimo sia dal punto di vista organizzativo dell'azienda sia per applicazioni mirate ai protocolli di tracciabilità di prodotto e di processo (Vieri, 2010).

Il monitoraggio agrometeorologico, di cui la letteratura di settore propone numerosi esempi applicativi, mostra interessanti applicazioni anche in ambito di razionalizzazione delle risorse idriche (irrigazione e controllo dei turni irrigui attraverso il monitoraggio dello stress idrico delle colture).

L'evoluzione della sensoristica inoltre ha contribuito negli anni all'evoluzione delle semplici centraline meteorologiche, limitate alla misura di parametri meteorologici quali precipitazione, vento umidità dell'aria, in stazioni agro-meteorologiche in grado di misurare parametri ambientali più complessi quali ad esempio temperatura ed umidità del suolo, temperatura fogliare, temperatura dei frutti, evapotraspirazione,. Inoltre la sensoristica supportata da tecnologia *wireless* consente anche un monitoraggio in continuo e la messa a punto di network di sensori collegati ad un'unica centralina remota. Si sono

afferme così procedure di controllo a distanza degli interventi da effettuare in campo e automazione di alcuni processi quali l'irrigazione automatica.

Da non trascurare l'utilizzo dei parametri meteorologici per l'applicazione di modelli di simulazione della crescita delle colture, dello sviluppo di patologie e per i recenti studi sugli impatti dei cambiamenti climatici sull'agricoltura.

Il controllo micro-meteorologico ambientale è inoltre al centro di continue sperimentazioni, volte a comprendere gli effetti di diverse gestioni delle colture per ampliare le conoscenze in una logica di sostenibilità dell'agricoltura.

3.1.3.2 Il monitoraggio colturale

La variabilità delle produzioni delle colture è ben conosciuta da sempre dagli agricoltori. La conoscenza della variabilità interna dei singoli appezzamenti è sempre stata alla base delle scelte dei piccoli agricoltori per la pianificazione delle proprie operazioni colturali. Le moderne imprese agricole e l'aumento delle dimensioni aziendali necessitano di strumenti innovativi con i quali poter rendere disponibili a tutti gli operatori del settore notevoli quantità di dati per arrivare allo stesso grado di conoscenza specifica su larga scala. Gli strumenti che il mercato e la ricerca ci mette a disposizione per lo studio della variabilità, e quantificare così i parametri che determinano l'eterogeneità delle colture per interventi sito-specifici, alla base della sostenibilità, eco-compatibilità e rintracciabilità dei processi produttivi appartengono appunto al settore dell'agricoltura di precisione.

Fra gli strumenti più diffusi per l'osservazione ed il monitoraggio dei parametri colturali a diversa scala possiamo ricordare:

- Il Remote sensing (il telerilevamento) mediante sensori installati su differenti piattaforme che vanno dai satelliti, agli aerei ultraleggeri ai droni telecomandati.
- Il Proximal Sensing che utilizza sensori in prossimità della coltura.

I principi alla base delle due tecniche sono pressoché identici: un sistema di immagine è utilizzato per rilevare e memorizzare la riflessione della luce solare da parte della superficie di un bersaglio al suolo che, nel caso delle colture include la copertura vegetale ed il suolo.

La quantità di luce solare riflessa dal bersaglio viene descritta in termini di profilo di riflettanza spettrale (o firma spettrale). Le immagini derivanti da remote sensing principalmente forniscono informazioni circa le caratteristiche superficiali delle colture per quanto riguarda la zona di sviluppo orizzontale (*canopy*).

La tecnologia digitale attualmente più utilizzata è quella dei sistemi di immagine multispettrale che permettono di analizzare le colture mediante più di una lunghezza d'onda. I sistemi più comuni utilizzano quattro sensori di immagine separati (uno per colore) che analizzano la luce solare riflessa nelle lunghezze d'onda del blu, verde, rosso e vicino infrarosso (NIR, *Near Infrared*).

A partire da questa prerogativa, ovvero di associare a specifiche lunghezze d'onda dello spettro elettromagnetico degli specifici elementi, si comprende come le possibili applicazioni possano essere sempre più complesse e diversificate in funzione delle specifiche finalità di monitoraggio.

Dal punto di vista dell'analisi mediante uso del telerilevamento satellitare, il mercato ormai offre una larga gamma di prodotti derivanti da satelliti multi spettrali ad alta risoluzione, come ad esempio il sensore Ikonos (con risoluzione di 1 m nella banda pancromatica - bianco e nero - e di 4 m nel multi spettrale - 4 bande: blu, verde, rosso, vicino infrarosso) o il sensore QuickBird (con una risoluzione di 0,60 m nel pancromatico e di 2,40 m nel multi spettrale con le stesse 4 bande: blu, verde, rosso, vicino infrarosso).

Parallelamente alle tecnologie di rilievo di remote sensing, negli ultimi anni si stanno sviluppando una serie interessante di sensori per l'indagine delle colture denominati sistemi di *proximal sensing* o *side looking sensors*. Questi sistemi di monitoraggio a distanza ravvicinata sono in grado di fornire dati georeferenziati con elevata accuratezza ed attualmente si dividono in sensori ad analisi di immagini e sensori di analisi di riflettanza spettrale. La scelta della tecnologia da utilizzare ed il sensore più opportuno va chiaramente valutato in base alla tipologia di coltura da monitorare e dagli obiettivi che ci si prefigge in base alla disponibilità economica dell'investimento previsto ed ai benefici ottenibili.

L'acquisizione di dati multispettrali, sia derivanti da *remote* che *proximal sensing*, necessita di appropriate elaborazioni geostatistiche per la produzione di mappe tematiche in grado di descrivere visivamente lo stato vegetativo delle colture. A tale scopo sono stati elaborati nel corso degli anni una serie di indici di vegetazione per confrontare analiticamente la biomassa delle colture misurata in diverse lunghezze d'onda.

3.1.3.3 Il monitoraggio operativo

Le tecnologie impiegate in agricoltura vedono un grande utilizzo della meccanizzazione per le operazioni aziendali dell'intero ciclo colturale, dalle lavorazioni del terreno, la

semina, i trattamenti fitosanitari fino alla raccolta. Ridurre l'impatto dovuto all'utilizzo delle meccanizzazioni, sia in termini di riduzioni delle emissioni inquinanti sia per quanto riguarda gli effetti compattanti sul suolo, sono obiettivi che il mondo dell'ingegneria meccanica agraria sta affrontando con l'introduzione di nuove tecnologie di monitoraggio integrate ai dispositivi avanzati.

Emergente tecnologia è la telemetria, una tecnologia informatica che permette la misurazione e la trascrizione di informazioni di interesse al progettista di sistema o all'operatore (Vieri, 2010).

La telemetria consiste nella raccolta e valutazione di una grande quantità di dati meccanici e produttivi, grazie a una serie di sensori applicati strategicamente in punti chiave di una macchina (per l'agricoltura si va dal trattore, alla vendemmiatrice, ecc.) in modo da non intralciarne il funzionamento. Il numero ed il tipo di sensori varia a seconda delle necessità di chi controlla il lavoro della macchina.

Sistemi di controllo accoppiati alle macchine li troviamo sulle trattrici, sulle mietitrebbie, su macchine per la raccolta meccanica dei prodotti o su macchine a rateo variabile per l'applicazione di prodotti fitosanitari.

Questi sistemi permettono un controllo integrato della produttività delle colture.

3.2 Tecnologie dell'informazione territoriale a supporto dell'agricoltura di precisione

E' ormai ben noto quanto i sistemi di produzione agricola abbiano tratto notevoli benefici dall'inclusione di tecnologie avanzate già sviluppate da altri settori industriali.

In agricoltura nel tempo abbiamo visto come l'era industriale abbia apportato la meccanizzazione e l'uso di fertilizzanti, l'era tecnologica sia stata caratterizzata dallo sviluppo dell'ingegneria genetica e dall'automazione dei processi. Attualmente possiamo dire che l'era dell'informazione ha offerto grandi potenzialità per l'integrazione delle tecnologie avanzate nell'agricoltura di precisione .

La valutazione della variabilità spaziale e temporale delle produzioni è stata da sempre presa in considerazione nel corso dei secoli ed o oggi è riconosciuta come elemento basilare dell'agricoltura di precisione. Prima dell'era della meccanizzazione, la dimensione ridotta dei campi permetteva agli agricoltori di variare manualmente i trattamenti delle colture. In seguito, con l'aumento delle dimensioni dei campi e l'intensiva meccanizzazione, è diventato più difficile tenere in considerazione la variabilità all'interno degli appezzamenti senza un rivoluzionario sviluppo delle tecnologie (Stafford, 2000).

L'AdP si basa sulla ri-organizzazione dell'intero sistema agricolo a basso utilizzo di input, ma ad alto livello di efficienza e sostenibilità (Stafford, 2000). Questo nuovo approccio beneficia prevalentemente dalla diffusione e convergenza di alcune tecnologie innovative, tra le quali il Global Positioning System (GPS), i Sistemi Informativi Geografici (GIS), i componenti miniaturizzati di computer, i sistemi di controllo automatici, il remote sensing e proximity sensing, i sistemi avanzati di elaborazione delle informazione delle telecomunicazioni (Gibbson, 2000).

La tecnologia impiegata in agricoltura è ormai in grado di raccogliere molti più dati comprensibili sulla variabilità delle produzioni sia nello spazio che nel tempo. L'ambizione di rispondere a questa variabilità ad una scala sempre più di dettaglio è diventato così l'obiettivo dell'AdP (Whelan, 1997).

Dopo più di 10 anni di sviluppi, l'AdP ha raggiunto un bivio, composto da molta più tecnologia necessaria e disponibile rispetto ai benefici economici ed ambientali riscontrabili, ancora non del tutto dimostrati ed evidenti (Stafford, 2000). Nel corso degli anni ci si è ampiamente avvalsi delle miglorie derivanti dall'innovazione tecnologica ma lo sviluppo di principi agronomici ed ecologici per raccomandazioni mirate ad un uso razionale e localizzato degli input è stato generalmente molto più lento.

Conseguentemente, ad esempio, anche gli agricoltori sono attualmente molto incerti sulle modalità di utilizzo delle tecnologie disponibili per AdP nelle loro aziende. In tal proposito una spinta all'utilizzo dell'agricoltura di precisione potrebbe venire da una legislazione ambientale più restrittiva, da una sensibilizzazione di interesse pubblico riguardo l'eccessivo uso dei prodotti agro-chimici e dal vantaggio economico nella riduzione di uso di input ed infine dal miglioramento dell'efficienza della gestione aziendale. Dopotutto a valle di questa evoluzione, il successo delle tecnologie dell'AdP potrà essere misurato sui reali benefici economici ed ambientali.

3.2.1. Integrazione, gestione e diffusione dei dati

L'evoluzione tecnologica della sensoristica, dei computers e dei dispositivi di comunicazione continua a incidere profondamente nei cambiamenti dell'agricoltura (Kitchen, 2008). La moderna agricoltura si è basata per decenni su una gestione pilotata dalle informazioni disponibili fintanto che le decisioni da prendere sono state semplici e di largo spettro. Negli ultimi 20 anni è cresciuta in maniera quasi smisurata la capacità di acquisire informazioni differenziate e massive, a diversa scala spaziale e temporale, tanto da dover richiedere un'accelerazione dei processi necessari a trasformare le informazioni in decisioni. Così ricercatori, professionisti ed agricoltori hanno riempito le loro attività di immagini, mappe, dati, tabelle al punto da arrivare alla consapevolezza che *“stiamo annegando nelle informazioni ma siamo carenti di conoscenza”* Rutheford D. Roger, cioè utilizzando la pletera di informazioni come il fine e non come il tramite.

Un esempio di sistema agricolo dove l'informazione è forza trainante è rappresentato dell'agricoltura di precisione, in quest'ambito il principio basilare della gestione delle risorse non può certamente essere trascurato. Il tempo ed i capitali investiti nella raccolta di dati relativi alle produzioni e le azioni necessarie a trasformarle in decisioni hanno spesso bisogno di essere compensate e bilanciate dai miglioramenti, anche nell'immediato, che è possibile ottenere. Se queste aspettative non vengono realizzate in tempi utili, la tendenza del produttore è quella di tornare ad una gestione tradizionale o già consolidata in precedenza. Chiaramente, in una economia di mercato, il primo test di valutazione dei miglioramenti ottenuti mediante l'impiego di informazioni così di dettaglio è la redditività. Così la valutazione economica ha effetti più pesanti sulla decisione del produttore agricolo circa l'adozione di pratiche di lungo periodo o meno (Griffin, 2005).

Peraltro, negli anni più recenti, si è fatta avanti l'idea che l'agricoltura di precisione potesse includere misure di salvaguardia ambientale (Barry, 2003; Kitchen, 2005). In quest'ambito, l'attrattiva dei risultati sui raccolti esercitata negli anni '90 è stata via via stemperata dalla consapevolezza di non aver sempre assunto le decisioni migliori. Oltre a questo aspetto, va notificato il fatto che l'eccesso di raccolta di informazioni, per quanto disponibili, spesso ha demotivato il proprio uso. Da qui un noto detto “ *non è conveniente sapere di più finché non si fa di più con quello che si ha già*”.

Emerge il presupposto fondamentale per cui l'informazione dell'agricoltura di precisione aumenta di valore quando i dati raccolti elaborati e le azioni di gestione, sono integrate. Anche nel caso delle ricerche e degli sviluppi sull'agricoltura di precisione si potrà avere successo se saranno portate avanti azioni di integrazione di diverse discipline (Bullok, 2007).

3.2.1.1 Aspettative degli utenti finali nei confronti delle nuove tecnologie e delle informazioni

Un'ulteriore riflessione va fatta anche sulle aspettative degli utenti finali: molto spesso essi vogliono sapere se e quali scienze e tecnologie vengono utilizzate, ma non vogliono necessariamente sapere i dettagli sul “come” e sul “perché” certe informazioni siano necessarie per determinare un'attività o un risultato. Questo è un atteggiamento tipico di tutti i “consumatori” di applicazioni di scienze e nuove tecnologie innovative. In sintesi, le aziende agricole moderne che impiegano l'agricoltura di precisione sono spesso complesse e richiedono molta assistenza, d'altro canto i produttori sono alla ricerca continua di miglioramenti che scaturiscano nell'immediato all'adozione di scienza e tecnologia purché non ne aumentino la complessità di gestione. A conferma dell'indole economica dell'AdP, l'aspetto della convenienza è anche in questo caso il maggior motivo trainante nell'adozione di AdP.

A valle di queste considerazioni ci si chiede allora quali siano le caratteristiche praticabili per l'impiego di sistemi basati sull'agricoltura di precisione per il futuro. In proposito Kitchen (2008) indica prevalentemente 4 punti fondamentali:

ove possibile, il processo di informazione-decisione-azione deve essere

- 1) basato su sensori in situ;
- 2) automatizzato per dare informazioni in tempo reale (o vicino al tempo reale) con l'inclusione delle elaborazioni nel processo di decisione (l'attività di post elaborazione è divenuto un passaggio ormai troppo obsoleto);

3) confezionato in modo che la sensoristica e l'elaborazione delle informazioni sia tutta inclusa nello stesso dispositivo (attrezzatura) usato per portare avanti le azioni necessarie alla gestione;

4) trasparente agli operatori e manager per la aver conferma delle decisioni prese.

Questo ultimo punto sembra fondamentale per due ragioni, che di seguito si cerca di esplicitare. In primo luogo i produttori vogliono e intendono naturalmente mantenere il controllo in ogni momento ed in ogni fase, ritenendo indispensabile, il “tocco umano” che, come descritto da Griffin (2005), nella gestione fa persistere più una connotazione di “arte” piuttosto che di una applicazione delle “scienze”. In secondo luogo, fintanto che la tecnologia non risulta completamente affidabile e testata, l'operatore necessita di una priorità del controllo basata soprattutto sulla propria esperienza e sul buon senso. I quattro punti precedenti sono attualmente all'ordine del giorno di diversi studi e dibattiti di approfondimento della tematica così come possono essere citati molti esempi che trattano dell'impatto nell'adozione delle tecnologie emergenti, della sensoristica, delle informazioni in tempo reale e delle tecniche di integrazione per la presa di decisione, abbracciando un vasto *range* di applicazioni, che va dalle indagini scientifiche di approfondimento fino alla commercializzazione di prodotti di supporto alle decisioni. Molti casi illustrano il processo dall'acquisizione del dato, all'archiviazione e gestione fino alla presa di decisione che comporta un'azione. Tuttavia in molti casi per definire il futuro dell'agricoltura di precisione è evidente la necessità di coniugare le scienze ingegneristiche e quelle agronomiche. Inoltre, molto spesso, le aspettative di un incremento della redditività dall'impiego di tecnologie avanzate non è del raggiungibile nel breve termine, lasciando spesso delusi o molto scettici gli agricoltori del settore. In molti lavori vengono esaminate le motivazioni degli attori coinvolti nel processo di sviluppo delle tecnologie utilizzate in AdP, sviluppatori, rivenditori di attrezzature per l'agricoltura di precisione e utenti finali. Molto spesso lo scetticismo è dovuto ad alcune lacune del processo che potrebbero essere colmate con l'adozione di alcuni standard o protocolli adottati per nuovi prodotti e servizi da parte delle industrie produttrici per ridurre i rischi dell'adozione di nuove tecnologie.

3.2.2 Informazione geografica e tecnologie dell'informazione e della comunicazione

Nell'ultimo decennio la tecnologia e le metodologie di analisi proprie dei Sistemi Informativi Geografici si sono largamente diffuse in agricoltura rendendo così più facile

agli utenti finali la visualizzazione dei dati spaziali. Come risultato oggi si può affermare che l'interpretazione dei dati spaziali è diventata più facile e semplice da capire. Ma non tutti gli operatori del settore hanno accesso ai GIS né tanto meno hanno le competenze ed il tempo necessario per usare i software GIS in modo corretto ed efficiente.

La sostenibilità delle applicazioni GIS che si basano su prodotti commerciali è strettamente dipendente dalla disponibilità economica delle singole aziende. In questa situazione, la possibilità di interfacciarsi ed interagire via web con fonti remote di dati spaziali tramite strumenti GIS di tipo Open Source permette di sviluppare e gestire a costi relativamente contenuti applicazioni operative personalizzate per la produzione e la diffusione d'informazioni a differenti scale spazio-temporali. Grazie alla loro flessibilità d'impiego, tali sistemi possono effettivamente divenire la pietra angolare su cui costruire una nuova cultura dell'informazione non più condizionata dalla disponibilità di dati, ma piuttosto orientata ai bisogni degli utilizzatori, ed in grado pertanto di supportare in maniera efficace e tempestiva i processi di presa di decisione.

La distribuzione dell'informazione geospaziale attraverso Internet è stata una rivoluzione tecnologica che ha fatto avvicinare tutti i livelli della società all'informazione geografica, fenomeno che ha sicuramente favorito lo sviluppo di applicazioni GIS sviluppate in ambiente Web. Le applicazioni Web GIS inoltre incominciano ad essere economiche e rappresentano un modo molto semplice per la disseminazione di dati, per le funzioni di analisi e come strumento a supporto delle decisioni.

Molte organizzazioni ed aziende del settore agricolo sono ormai interessate alla distribuzione di mappe tematiche e strumenti di analisi ma, per una reale applicazione operativa, fra gli ostacoli da superare vi sono i vincoli dovuti alla localizzazione di chi produce l'informazione e chi ne usufruisce o al tempo da investire per renderla immediatamente fruibile. Internet in questo sta giocando un ruolo fondamentale rendendo più facile la disseminazione delle informazioni spaziali anche in agricoltura.

Ma per far sì che lo sviluppo di un'applicazione WebGIS sia valida ed abbia successo bisogna considerare tale attività come un processo piuttosto che una semplice applicazione di tecnologie informatiche. Lo sviluppo deve essere portato avanti considerando la tecnologia disponibile e i requisiti dell'applicazione (servizi, funzioni e personalizzazioni tematiche e/o settoriali).

3.2.3 Soluzioni e tecnologie Open Source

La crescente diffusione dei programmi e dei sistemi operativi *Open Source (OS)* rappresenta un fenomeno in continua espansione. Con il termine Open Source s'intende un programma (*software*) il cui codice sorgente è disponibile ad una comunità di sviluppatori che contribuiscono, spesso gratuitamente, al suo miglioramento, fino a fargli raggiungere gradi di complessità e di affidabilità comparabili, se non superiori ai corrispondenti prodotti commerciali. Se da un lato l'adozione di soluzioni *OS* corrisponde quasi sempre ad un abbattimento dei costi d'acquisto del *software*, (spesso questi sono distribuiti gratuitamente), dall'altro verso il suo utilizzo richiede una notevole componente di risorse umane specializzate (programmatori ed informatici) per lo sviluppo delle funzioni e per la configurazione del sistema sul server.

3.2.4 Panoramica su gli strumenti di sviluppo di sistemi GIS distribuiti

Nel mondo dell'informatica vi è molto fervore riguardo lo sviluppo di applicazioni e infrastrutture orientate al Web in grado di gestire in modo efficiente i dati geografici e di renderli fruibili agli utenti che ne fanno richiesta. Negli ultimi anni si sta investendo molto nella stesura degli standard proprio per segnare delle linee guida per gli sviluppatori e gli amministratori delle banche dati geografiche in modo tale da favorire l'interoperabilità tra applicativi e sistemi diversi.

Esistono tantissimi strumenti a disposizione degli sviluppatori e progettisti che vengono utilizzati per l'implementazione di sistemi Web GIS ed in linea di massima possiamo dividerli in due grandi categorie:

- Strumenti Proprietari
- Strumenti OpenSource

Questi strumenti sono costituiti da librerie di sviluppo, applicativi per la creazione e l'editing dei dati, database geografici, piattaforme per la pubblicazione delle applicazioni web, ecc...

La scelta degli strumenti per lo sviluppo di applicazioni Web GIS è un passo che richiede un'attenta valutazione sia delle componenti che andranno a costituire il sistema informativo geografico distribuito su Internet (Tecnologie delle telecomunicazioni, linguaggi avanzati di programmazione, librerie, software, supporto hardware, geodatabase) sia della sostenibilità del servizio e della sua interoperabilità in un sistema più globale di infrastrutture dei dati spaziali.

3.2.4.1 *Strumenti proprietari*

Gli ‘Strumenti Proprietari’ sono caratterizzati da un pacchetto software curato e testato, da un supporto tecnico fornito direttamente dalle società che produce questi strumenti. Per questa ragione gli strumenti proprietari risultano spesso essere più semplici da usare, richiedono meno conoscenze informatiche di base (soppiantate spesso da *utilities* pre-configurate) e permettono in genere la creazione di sistemi WebGIS in un tempo modesto. Tutto questo però a fronte di costi spesso molto elevati sia per l'acquisto dei diritti all'uso di questi oggetti (es.:software), sia per il loro mantenimento ed aggiornamento. Per questa ragione, questi strumenti proprietari trovano largo impiego nello sviluppo di applicazioni per grosse istituzioni sia pubbliche che private che necessitano di dover rendere disponibili i propri dati ad un gran numero di utenti all'interno della propria istituzione o al di fuori della propria struttura, potendo così ammortizzare i costi dei prodotti commerciali e riducendo gli investimenti in manutenzione e sviluppo. Fra i principali strumenti proprietari utilizzati per lo sviluppo di infrastrutture di dati spaziali possiamo citare:

Microsoft Windows OS (Sistemi operativi)

Microsoft IIS - Internet Information Services (Gestore per la pubblicazione dei siti web)

ESRI ArcGIS (Software GIS)

ESRI ArcIMS (Strumento per la gestione e pubblicazione di dati geografici su web e sviluppo applicazioni WebGIS)

ESRI ArcObjects, MapObjects (Strumenti per lo sviluppo di applicazioni GIS)

Microsoft VisualBasic, VisualStudio, .NET (Linguaggi di programmazione)

3.2.4.2 *Strumenti Open Source*

Gli strumenti OpenSource nascono dalla collaborazione di sviluppatori e progettisti sparsi nel mondo. OpenSource non è solo un insieme di regole e tecnologie ma costituisce anche una filosofia ben precisa. La maggior parte degli strumenti, librerie, software e sistemi operativi Open Source sono distribuibili liberamente senza restrittivi vincoli di copyright; spesso sono rilasciati insieme ai codici sorgente in modo tale da permettere ad altri sviluppatori di poter liberamente modificare e personalizzare il codice al fine di rispondere alle proprie esigenze; così facendo inoltre, si permette di auto-alimentare la comunità OpenSource con software sempre evoluti e sempre aggiornati. Questo tipo di approccio trova ampio respiro in tutte quelle situazioni nelle quali si ha disponibilità economiche limitate (istituti non a fini di lucro, istituti di ricerca pubblica, ecc...) o

esigenze di sviluppo di funzioni personalizzate e/o avanzate rispetto a pacchetti commerciali chiusi. L'uso degli strumenti *Open Source* richiede però conoscenze informatiche approfondite e una maggiore dimestichezza nelle tecniche di progettazione e sviluppo software. Gli sviluppatori devono possedere anche uno spiccato senso per la ricerca delle soluzioni alle problematiche che possono insorgere durante lo sviluppo ed essere disponibili alla condivisione globale di codice e know-how per far fronte e risolvere prontamente i problemi che si incontrano durante la progettazione di un'applicazione.

Fra i principali strumenti *Open Source* utilizzati per lo sviluppo di sistemi informativi su web possiamo enumerare i seguenti:

- Linux OS (sistema operativo)
- Apache (strumento per la pubblicazione di siti web)
- TomCat, Jetty (application server per la pubblicazione di applicazioni web oriented)
- Quantum GIS (applicazione GIS)
- MapServer, GDAL, GEOS (strumenti e librerie per la gestione e distribuzione di dati geografici e per lo sviluppo di applicazioni GIS e WebGIS)
- PHP, Java, Jsp, Ajax (Linguaggi di programmazione)

3.2.5 Strategie d'implementazione di un sistema GIS distribuito

3.2.5.1 Architetture WebGIS

L'ampio panorama di strumenti a disposizione permette una grande flessibilità nello sviluppo di un sistema GIS distribuito. Le scelte dipendono molto dagli obiettivi che si vogliono raggiungere e dalle funzioni che si vogliono rendere disponibili agli utenti.

In generale possiamo dividere il sistema di un GIS distribuito in tre macro-blocchi (Fig. 3.1):

- Applicazione Client-side
- Applicazione Server-side
- Database spaziale

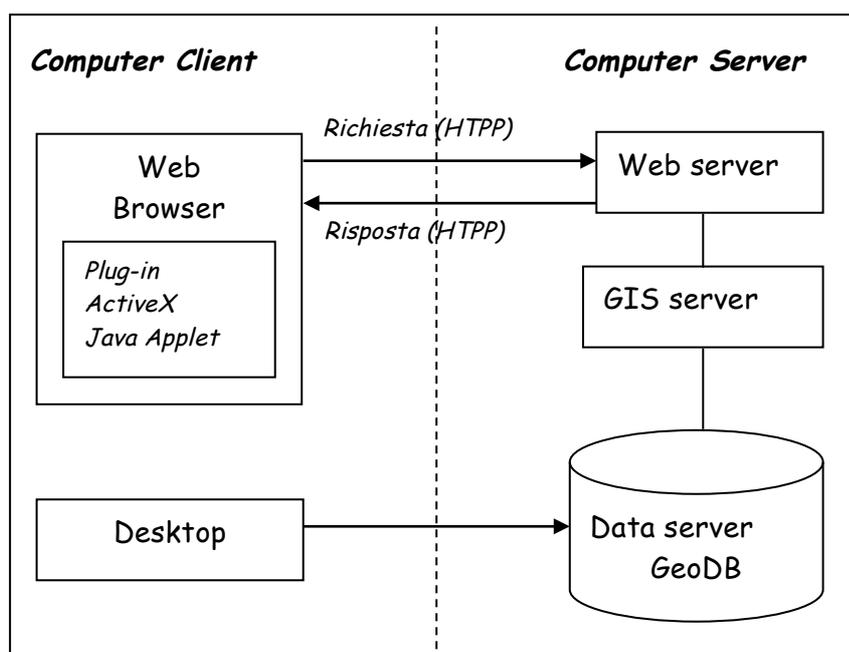


Figura 3.1- Schema concettuale generale di un sistema WebGIS

3.2.5.2 Applicazioni Client-side

L'applicazione *Client-side* fornisce all'utente l'interfaccia attraverso la quale è possibile interrogare il database spaziale ed accedere a tutte le funzioni GIS che sono state sviluppate. L'applicazione *Client-side* può essere costituita da:

- Applicazione *stand-alone* con capacità di connessione remota alla parte server
- Applicazione *web-oriented* caricabile direttamente da un qualsiasi browser internet

L'applicazione *stand-alone* offre tutti i vantaggi forniti da un'applicazione vera e propria che gira localmente sulla macchina dell'utente; vantaggi di velocità nell'esecuzione, nei calcoli e nella possibilità di fornire funzioni che necessitano di interagire direttamente con il sistema operativo locale (ad esempio caricare file e dati o funzioni che permettono di stoccare sulla propria macchina i risultati di un'elaborazione).

Inoltre un'applicazione *stand-alone* potrebbe essere progettata per il funzionamento autonomo con dati locali, senza cioè la necessaria connessione ad un'applicazione *server-side*. I linguaggi di programmazione più indicati per lo sviluppo di queste applicazioni sono quelli più diffusi allo stato attuale e qui di seguito sono riportati i più importanti:

- VisualStudio / VisualStudio.Net
- Java
- Python

La scelta del linguaggio di programmazione è strettamente legato alle esigenze e agli obiettivi che ci si prefigge; nonché alla piattaforma alla quale è destinato. E' da prendere anche in considerazione il fatto che alcuni linguaggi non appartengono al mondo *OpenSource/Linux* ma solo a quello *Windows*. Questi aspetti influenzano molto la scelta del linguaggio di programmazione da utilizzare.

Le applicazioni *web-oriented* hanno invece il grosso vantaggio di essere implementabili trasversalmente su più piattaforme; questo permette di avere una maggiore diffusione senza la necessità di dover ricompilare il codice dell'applicativo per le piattaforme alle quali è destinato. Gli applicativi *web-oriented* hanno però lo svantaggio di essere più limitati di quelli *stand-alone*, anche se le ultime versioni dei più importanti linguaggi di programmazione *web-oriented* hanno raggiunto un grado di maturità tale da poter sopperire (con un certo sforzo da parte degli sviluppatori) alle carenze tipiche dell'architettura basata su *browser* e *web-application*.

Un applicazione *web-oriented* è sostanzialmente basata su una o più pagine HTML opportunamente sviluppate seguendo varie tecnologie. Si possono distinguere tre grossi gruppi di esempi:

- Pagina HTML statica contenente codice procedurale in grado di automatizzare l'interfaccia e rendere la pagina dinamica; alcuni linguaggi che permettono questo sono Vbscript, Javascript o il più moderno Ajax.
- Pagine HTML generate dinamicamente dalla struttura *server-side* attraverso script procedurali che vengono processati direttamente dal server in fase di richiesta dal browser e che producono come output la pagina applicativa; quest'ultima può a sua volta contenere codice procedurale (ad esempio codice Ajax) in grado di fornire procedure, funzionalità e automatismi direttamente nell'applicazione che gira localmente. I più famosi linguaggi script che vengono impiegati in questo tipo di applicativi distribuiti sono: ASP, JSP e PHP.

Pagine HTML che contengono al loro interno riferimenti a librerie o Applet in grado di fornire le funzionalità client necessarie; un Applet in questo caso rappresenta un vero e proprio programma (simile nel funzionamento a quelli stand alone) che però gira all'interno di una pagina web. Il linguaggio più diffuso per questo tipo di soluzione è senza ombra di dubbio Java; ma si ritrovano in questa categoria anche applicazioni .Net. L'uso invece di programmi già compilati che forniscono librerie per lo svolgimento di compiti specifici prendono il nome di librerie API. Queste ultime utilizzano tecnologia ActiveX,

tecnologia però pienamente supportata solo dai sistemi operativi Windows, e per questo motivo sono poco diffuse nel panorama delle applicazioni *web-oriented*.

Come per le applicazioni *stand-alone* classiche, la scelta degli strumenti di sviluppo delle applicazioni *web-oriented* dipende da una serie di fattori; in generale possiamo asserire che la scelta dovrebbe essere orientata su quei linguaggi e tecnologie che garantiscono la maggiore diffusione e compatibilità. Discorso a parte merita invece l'uso di Java per la creazione di Applet in quanto questa tecnologia permette di creare delle applicazioni molto simili a quelle stand alone ma con la possibilità di essere inserite in una pagina web e di girare su qualsiasi tipo di piattaforma senza la necessità di rilasciare versioni ad hoc per i vari sistemi. Lo svantaggio di questo approccio però è quello della velocità di esecuzione che spesso è inferiore alle web-applications generate con JSP, PHP o simili.

3.2.5.3 *Applicazione Server-side*

L'applicazione Server-side è costituita da un'infrastruttura che permette di soddisfare le richieste effettuate dall'applicazione client e di fornire anche tutti i moduli necessari per il recupero dei dati e delle informazioni dal database spaziale, di processarle e di renderle disponibili per l'applicazione client. La sezione *server-side* può essere sviluppata anche per gestire il trasferimento delle informazioni geografiche anche su più client sviluppati con tecniche diverse; in sostanza l'applicazione server costituisce il nocciolo fondamentale di un web service.

La sezione *server-side* è composta da una serie di moduli con compiti specifici, si possono schematizzare come di seguito:

- Infrastrutture per la gestione dell'applicativo web-oriented
 - Librerie per la manipolazione dei dati geografici
 - Moduli di analisi per l'esecuzione di calcoli specifici
 - Infrastruttura per la gestione del database spaziale
- *Infrastrutture per la gestione dell'applicativo web-oriented*

E' costituito da una serie di *moduli-interpreti* che permettono l'esecuzione di procedure in grado di far funzionare l'applicazione client. A seconda dei linguaggi utilizzati verrà sfruttato un interprete o un *application-server* idoneo; l'interprete o l' *application-server*

sarà accoppiato anche ad un servizio web-server che permetterà di rendere disponibile su Internet l'applicazione.

Come accennato precedentemente, vi sono svariati interpreti di linguaggio, molto diffusi sono PHP e JSP; il primo sfrutta un suo interprete specifico e si appoggia al web-server per generare dinamicamente le pagine HTML; il secondo si basa sul linguaggio di programmazione Java, è estremamente versatile e completo, sfrutta un *application-server* (ad esempio TomCat) per il *rendering* delle pagine finali dell'applicazione.

Per la pubblicazione delle pagine dell'applicazione occorre utilizzare un *web-server*. I più diffusi sono IIS di Microsoft e Apache, quest'ultimo è molto diffuso anche per la sua natura *OpenSource* e la sua capacità di essere multiplatforma.

- *Librerie per la manipolazione dei dati geografici*

Una componente molto importante dell'infrastruttura server è rappresentata dalle librerie per la manipolazione dei dati geografici che consentono alle applicazioni di gestire le diverse tipologie di dati geografici. Queste librerie sono in grado di fornire allo sviluppatore una serie di funzioni che supportano lo sviluppo della parte *backend* dell'applicazione, per esempio funzioni che permettono di svolgere svariate attività di *query*, di editing e di operazioni GIS avanzate. Queste librerie si occupano anche di recuperare i dati geografici stoccati su file o in un database spaziale virtualizzando l'operazione allo sviluppatore che non si dovrà preoccupare di dove tali dati siano memorizzati e del loro formato.

Inoltre tali librerie possono appoggiarsi ad altre librerie esterne al fine di fornire funzionalità aggiuntive che estendono le capacità della libreria principale.

L'utilizzo di tali librerie varia a seconda del linguaggio adottato e delle modalità di interfacciamento di quest'ultimo con i moduli delle librerie medesime.

- *Moduli di analisi per l'esecuzione di calcoli specifici*

Se l'applicazione fornisce anche funzionalità di analisi, quest'ultime possono essere sviluppate direttamente sul lato server. Questi moduli avranno compiti specifici, l'utente interagirà con essi indirettamente attraverso chiamate provenienti dall'applicazione client.

Data la natura di questi moduli, si possono adottare molti linguaggi per il loro sviluppo, anche linguaggi compilati nel codice nativo della macchina server, in modo da renderli più

rapidi in esecuzione. L'output verrà direttamente rilasciato dai singoli moduli sull'applicazione client.

- *Infrastruttura per la gestione del database spaziale*

Composto da un DBMS (Data Base Management System) presente sul server che mantiene e gestisce i dati geografici e i metadati.

Le modalità di memorizzazione dell'informazione geografica hanno subito grosse evoluzioni con il susseguirsi degli anni. Come per tutte le tipologie di dati il primo e tradizionale metodo di archiviazione dell'informazione è stato quello di semplice formato "file". Questi però non permettono una gestione avanzata di condivisione in quanto non supportano funzionalità di gestione dell'accesso concorrente al dato, di estrazione di informazioni risultato della combinazione di vari file (Join) e moltissime altre proprietà tipiche dei database relazionali.

Tutti i database tradizionali contemplano le tipologie di dati più comuni, come "numero", "testo", "data" e le rispettive operazioni che possono essere effettuate su di essi. Nel caso particolare di un Sistema Informativo Geografico i dati, ovvero gli strati informativi, includono le componenti "spaziali", e per questo motivo è essenziale che la base di dati utilizzata contempli anche la componente geometrica del dato. Da questo nasce il "database spaziale".

3.2.5.4 Il Database spaziale

Il database spaziale è una soluzione per la gestione della componente spaziale che consente di utilizzare un'unica struttura basata su un RDBMS (Relational Data Base Management System) per la gestione dell'informazione geografica nella sua interezza. Inoltre in questi anni è stata svolto un ampio lavoro di standardizzazione dei formati nel settore dei Sistemi Informativi Geografici distribuiti, quindi allo stato attuale la tendenza è quella di abbandonare la vecchia soluzioni dei Sistemi Informativi Geografici basati su file ed adottare i direttamente i RDBMS con componente spaziale. Il fatto che i dati geografici non abbiano più una struttura basata su file ma siano integrati in una base dati centralizzata presenta vantaggi notevolissimi sia per quanto riguarda l'interoperabilità che la gestione del dato stesso. Non si utilizzano quindi più file diversi, spesso in gran numero e di notevoli dimensioni e non correlati fra di loro, ma un unico insieme di dati strutturati, sia per quanto riguarda la componente geografica che tabulare.

I principali vantaggi di un database spaziale possono essere sintetizzati come segue:

- Tutti i dati geografici sono memorizzati in un database relazionale;
- Memorizzazione logica centralizzata dei dati geografici e tabulari per una migliore amministrazione;
- Si introducono indici spaziali che consentono un aumento delle prestazioni del sistema;
- La ridondanza è minimizzata;
- Possibilità di soluzioni scalabili (da personal DB a *webserver oriented*)
- Inclusione di regole per mantenere l'integrità dei dati (domini, relazioni, topologia)
- Regole comportamentali standard facili da usare;
- Consente lo sviluppo di opzioni di personalizzazione;
- Editing multi-utente;
- Esiste un linguaggio per la gestione e l'interrogazione del database (SQL3);
- Supporta una varietà di funzioni per la modellazione, la gestione e l'analisi.

L'adozione di un database spaziale inoltre apre le possibilità di sviluppo verso architetture di sistemi distribuiti e tra loro interoperabili dando la possibilità ad altri utenti, dotati di *software client* in forma di *tool GIS desktop* o SQL, di accedere via Internet all'informazione geografica e tabulare.

Esistono vari database che, tramite opportune estensioni, hanno la possibilità di gestire i dati spaziali. Tra i più comuni citiamo:

- IBM DB2 con estensione IBM DB2 Spatial Extender
- ORACLE con estensione Oracle Spatial
- PostgreSQL con estensione PostGIS
- MySQL con estensione MySQL Spatial

Tra di essi, PostgreSQL/PostGIS è un database completamente *Open Source* che si ripropone di rispettare le direttive dell'Open Geospatial Consortium e sempre più supportato dalla maggior parte dei software GIS.

3.2.5.5 Gestione dei Metadati

I metadati sono una componente essenziale dell'informazione. Si può dire che non c'è informazione completa senza metadati, ovvero l'informazione nasce solo quando al dato

viene affiancato il metadato. I metadati sono composti da tutte quelle indicazioni che rendono il dato fruibile nella sua completezza che possono essere riassunte nelle seguenti parole chiave adattate ai dati spaziali:

What – titolo e descrizione del dato;

Why – riassunto contenente una descrizione del dato e gli usi ai quali è mirato;

When – data di creazione ed eventuale aggiornamento del dato;

Who – da chi deriva il dato, chi l'ha elaborato ed eventuali ideali beneficiari;

Where – l'estensione del dato in termini di coordinate geografiche e/o di aree amministrative;

How – come il dato è stato realizzato e come accedervi.

I metadati agevolano il personale addetto all'uso del dato spaziale nella ricerca dell'informazione che meglio risponde alle proprie necessità. All'interno di qualunque realtà, privata o istituzionale che sia, si può tranquillamente affermare che i metadati conferiscono valore aggiunto al dato, e benché la stesura di metadati possa comportare una immediata spesa in termini di tempo, in un secondo momento tale sforzo porterà indubbiamente a giovamenti sia nel riutilizzo del dato in loco che nella distribuzione di esso all'esterno.

- *Standard dei metadati*

Nella compilazione dei metadati è importante rispettare uno standard. Ciò porta a vari benefici quali la garanzia di fornire tutte le informazioni ritenute utili se non essenziali dalla comunità di esperti che ha definito lo standard, oltre alla facilità di estrarre successivamente l'informazione desiderata.

Nel corso degli anni sono stati definiti vari standard, sia a livello istituzionale che di organizzazioni private. Esistono e sono esistiti gruppi di lavoro e seminari finalizzati alla definizione sia in termini di contenuti che di sintassi. Alcuni principali standard esistenti sono:

- Content Standard for Digital Geospatial Metadata (www.fgdc.gov). Negli USA il Federal Geographic Data Committee (FGDC) ha approvato tale standard nel 1994, si tratta di uno standard nazionale di metadati sviluppato a supporto del National Spatial Data Infrastructure. Tale standard è stato adottato ed implementato negli USA, Canada ed in Gran Bretagna.

- Il CEN Pre-standard Nel 1992 il Comité Européen de Normalization (CEN) ha creato il comitato tecnico responsabile per gli standard nell'informazione geografica.

Sono state sviluppate varie iniziative a carattere regionale o nazionale. Queste includono le iniziative gestite dal “The Australian and New Zeland Land Information Council” (ANZLIC) ed i due progetti della Commissione Europea (LaClef e ESMI) attualmente completati ed assimilati dal progetto INSPIRE. Queste iniziative hanno avuto simili approcci nel proporre un limitato set di metadati (definiti “Core Metadata” o “Discovery Metadata”) che le organizzazioni dovrebbero usare al fine di incrementare la conoscenza, la consapevolezza e l'accessibilità delle fonti di dati spaziali.

ISO 19115 e ISO 19139 <http://www.isotc211.org/> Si tratta di due standard definiti dall'”International Organization for Standardization” derivati dagli input di vari organismi nazionali e le loro implementazioni dei rispettivi standard. Infatti molti degli attuali standard nazionali hanno già molto in comune, e grazie ad una comune discussione è stato possibile definire dei punti fermi per stabilire degli ISO standard. L'ISO 19115 fornisce un sommario, un modello logico per la stesura di metadati spaziali, mentre l'ISO 19139, recentemente rilasciato (17/4/2007) definisce la codifica “Geographic MetaData XML”, l'implementazione di uno Schema XML derivato dall' ISO 19115. Ovvero, l'ISO 19139 standardizza l'espressione dell'ISO 19115.

L'Open Geospatial Consortium (OGC, <http://www.opengeospatial.org>) è un'organizzazione composta da membri di varie nazionalità che si impegna al fine di favorire la cooperazione nella definizione di open standard comuni nel mondo del geoprocessing. I metadati formano anche un importante componente dell' OGC Abstract Specification; tra gli altri, l'OGC ha adottato gli standard ISO nel campo dei metadati.

- *Cataloghi di dati geospaziali*

Il volume di dati disponibili in Internet è in continuo aumento e le loro corretta gestione e fruibilità sono considerate essenziali per soddisfare le quotidiane necessità di riutilizzo delle informazioni. In una società che sempre più si muove in un'ottica “globale” è fondamentale che tali dati abbiano una ben preciso riferimento spaziale, e che tale riferimento sia ben descritto, organizzato ed accessibile. Per ottemperare a tali richieste è quindi necessario un sistema che, a livello globale, permetta di cercare le informazioni

richieste andando ad investigare nelle sorgenti di informazioni che devono essere quindi predisposte ad un accesso condiviso e distribuito. Queste sono le premesse che hanno portato alla definizione di “*geospatial data catalogue*”, ovvero cataloghi di accesso a dati spaziali che permettano di organizzare, gestire ed accedere ai dati contenuti.

Al fine di ottenere veramente l’informazione ricercata i dati devono essere sempre accompagnati da metadati correttamente compilati seguendo gli standard definiti dalle comunità.

In un futuro in cui l’informazione di potrà dire veramente distribuita, ogni singolo catalogo dovrà essere solo una “porta d’accesso” alla banca dati globale e/o settoriale , e da ogni singolo catalogo dovrà essere possibile ricavare informazioni e dati che fisicamente risultino risiedere in un qualunque altro server connesso a Internet.

Ovviamente tale filosofia di condivisione del dato trova molte resistenze dovute soprattutto a questioni di *copyright* e di indisponibilità da parte di molte istituzioni pubbliche e/o private di distribuire gratuitamente il dato. GeoNetwork Opensource è l’esempio di un progetto che si ripropone di creare un network di cataloghi ovviamente gratuiti.

GeoNetwork opensource (<http://geonetwork-opensource.org/>) è una applicazione di catalogazione gratuita ed Open Source, rilasciata sotto la GNU General Public Licence, per gestire fonti di dati spaziali. Si tratta di un ambiente di gestione di informazioni spaziali standardizzato e decentralizzato finalizzato alla accessibilità di database spaziali, prodotti cartografici ed i relativi metadati da svariate fonti, e pone l’attenzione nello scambio e nella condivisione dei dati spaziali tra le organizzazioni ed il loro pubblico per mezzo di internet. Tale software è stato inizialmente sviluppato e promosso da FAO, <http://www.fao.org/geonetwork/>.

3.2.6 Elementi di base per la diffusione della tecnologia Web GIS

Due sono gli elementi chiave che hanno favorito la diffusione delle applicazioni Web GIS: uno è la rapidità di visualizzazione ed interazione con i dati e l'accessibilità diffusa. Attraverso un applicativo client (client GIS Internet browser) si possono produrre mappe e pubblicarle attraverso un web server, un altro client può inoltrare la richiesta e visualizzare così la mappa aggiornata e accedere alle medesime informazioni o visualizzarne immediatamente eventuali cambiamenti e velocizzare anche un eventuale il processo di analisi e valutazione (Alesheikh, 2002).

Un secondo elemento chiave è la natura ubiquitaria propria di Internet per cui le informazioni sono accessibili ormai da ogni luogo. Sono proprio questi due elementi ad aver spinto chi si occupa di scienze geografiche ad orientarsi verso queste nuove tecnologie distribuite su Web. Ma la combinazione dell'accesso e della visualizzazione grafica delle informazione sono anche due elementi che mettono in evidenza le difficoltà da superare quali la velocità di accesso e la pesantezza dei dati o che rendono lenti i processi in tempi non più tollerati dall'utente abituato alla risposta in tempo reale delle ricerche su Internet. Se da un lato per le applicazioni su Web GIS non si raggiungono ancora le performance di elaborazione di sw client GIS (sia commerciali che Open Source) dall'altra parte esse non richiedono, specie se sviluppate con tecnologie Open Source, investimenti in licenze, computer potenti o formazione avanzata per il loro utilizzo.

3.2.6.1 Trasferimento dei dati geospaziali

Il trasferimento dei dati geospaziali è rappresentato principalmente dai formati raster e vettoriali. La tecnologia WebGIS gestisce i due formati in modo differente sia relativamente alla velocità di visualizzazione grafica lato client (il dato vettoriale è più leggero per la visualizzazione a video) sia per le funzioni da sviluppare lato server (es: pan, zoom, interrogazioni, selezioni). Non sono in uso dei formati standard per il trasferimento, elemento di criticità fra componenti tecnologiche che si stanno affermando nel campo della agricoltura di precisione (es: display su macchine operatrici, sistemi informativi aziendali, sensoristica di campo etc.), ma l'uso di standard de facto largamente in uso al momento è sembrata la scelta più opportuna da adottare (grid ESRI, Geotiff, shape). Eventuali funzioni di conversione dati possono essere tuttavia integrate nelle evoluzioni delle applicazioni. Esistono peraltro Consorzi che lavorano per la definizione di standard geografici di interscambio su web e favorire l'interoperabilità tecnica dei dati spaziali.

L'Open Gis Consortium (OGC) presenta come standard per i dati geografici il formato GML (Geography Markup Language), formato in grado di inglobare la parte di informazione geografica nel formato XML (eXensible Markup Language). Infatti l'informazione geografica include sia la parte relativa alle proprietà dell'elemento sia le informazioni sulla geometria delle componenti geografiche (*geographic features*) (www.opengis.org).

Il Word Wide Web Consortium per la parte grafica propone il formato SVG (Scalable Vector Graphic) che è un linguaggio che descrive due vettori dimensionali ed una forma mista vettoriale/raster per la rappresentazione grafica in XML (www.w3.org). Dall'analisi dei bisogni dei diversi attori coinvolti nelle attività di progetto non ci sono ancora i presupposti per poter spingere la sperimentazione all'adozione di standard geomatici che vedono invece, se pur lenta, l'affermazione nella costruzione delle Infrastrutture di Dati Spaziali Nazionali. I dispositivi mobili in uso nella meccanizzazione agricola stanno uscendo da poco da una logica di sviluppo di sw chiusi con uso di formati non geografici o proprietari (es: file ascii per i soli formati vettoriali o immagini Jpeg o gif per i raster).

Il cambiamento in atto nell'interoperabilità dei dati per diverse piattaforme vede nella distribuzione delle informazioni geografiche su web un valido percorso per agevolare il flusso dei dati fra diversi operatori del settore ad alta specializzazione tecnologica quale appunto l'agricoltura di precisione.

3.2.6.2 La visualizzazione interattiva delle mappe

Esistono vari livelli tecnologici per la pubblicazione delle informazioni geografiche su web che vanno dalla pubblicazione di mappe ed informazioni statiche fino ad applicazioni molto avanzate che supportano mappe dinamiche, la possibilità di interagire direttamente sulla mappa e personalizzarla e multi piattaforme e sistemi operativi.

Per le applicazioni GIS la sfida è la disponibilità di mappe interattive. All'interno della OGC un gruppo di interesse (Special Interest Group for WWW Mapping) ha lavorato sui problemi legati alla pubblicazione delle mappe per GIS sviluppati in ambiente WEB. Questo gruppo di lavoro ha sviluppato un modello di riferimento (Doyle, 1999) per la rappresentazione interattiva (Fig.3.2)

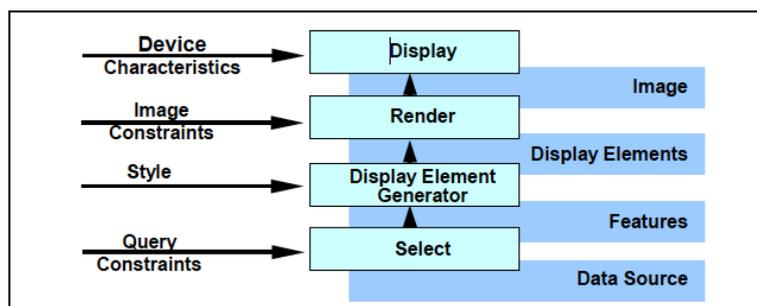


Figura 3.2 - Modello OpenGis per il flusso della rappresentazione su web

Questo modello di riferimento è molto utile per valutare le diverse Architetture per Internet Map Servers o altre applicazioni Web GIS.

In sintesi la rappresentazione interattiva si basa su 4 livelli :

- Il processo di selezione che estrae i dati generalmente dal geodatabase del sistema in accordo con i vincoli imposti dalla selezioni (es.: area geografica, tema, arco temporale).
- Il processo che genera la visualizzazione degli elementi selezionati in una sequenza di elementi da visualizzare con le proprie caratteristiche (es: simbologia, stile delle linee, trasparenze o riempimento degli elementi).
- Il processo di renderizzazione che prende gli elementi selezionati e restituisce una mappa renderizzata (es.: lista di mappe da visualizzare presenti in memoria).
- Il processo di visualizzazione rende la mappa renderizzata visibile sul dispositivo di visualizzazione dell'utente.

In questi passaggi si generano tre tipi differenti di dati:

- I dati vettoriali o raster che sono disponibili nel sistema e vengono selezionati all'inizio del processo di selezione.
- Gli elementi grafici generati dal livello "Display Element Generator" .
- Le immagini generate dalla renderizzazione.

Infine un'altra capacità della visualizzazione interattiva delle *Web mapping* è la possibilità di permettere all'utente di aggiungere altri temi alla mappa visualizzata o attingendo al catalogo dei dati disponibili o da altre fonti distribuite su Web.

3.2.6.3 Internet Map Servers

L'applicativo Internet Map Server (IMS) permette al GeoDB di sistema di rendere accessibile i propri dati spaziali all'utente attraverso un interfaccia caricabile da un

normale browser Internet. Questo processo, richiedendo un banda di trasmissione dati abbastanza larga, può risultare più o meno veloce a seconda che l'accesso ai dati avvenga in ambiente intranet o sia collegata in remoto via internet a dataserwer remoti.

IMS per una corretta funzionalità ha bisogno di *i*) un motore, sempre lato server, per l'elaborazione dei dati spaziali (applicazioni Servlet o CGI – Common Gateway Interface) e *ii*) di un webservice standard che riceve le richieste e le restituisce sotto forma di mappe al browser del client o alla finestra di visualizzazione dell'applicazione WebGIS. Il risultato è un'immagine JPEG o GIF o un file vettoriale.

Fra i più comuni IMS possiamo menzionare motori proprietari, come quelli delle più conosciute aziende di sviluppo sw GIS (ESRI, Intergraph, Autodesk, Oracle), o motori Open Source come MapServer (UMN), GeoServer, etc.,. Nella scelta del motore da utilizzare nell'architettura di sistema bisognerà fare molta attenzione ad altre caratteristiche incluse nella suite del prodotto: compatibilità con l'ambiente operativo Win o Unix, disponibilità di un ambiente di sviluppo per una eventuale personalizzazione delle funzioni, i formati dei dati geospaziali supportati (raster e/o vector), estensioni necessarie al browser (HTML e/o Applet e plug-in, ActiveX), interfacce dati (shape, SDE layers, coverage's raster format.)

3.2.7 Open geospatial web services e OpenGis standards in agricoltura di precisione

L'agricoltura di precisione richiede la raccolta, l'archiviazione, la condivisione e l'analisi di grandi moli di dati georiferiti.

Per questo motivo per essere usati nella pratica devono essere trasferiti fra differenti piattaforme hardware, software, fra diverse organizzazioni e utilizzatori.

Allo stato attuale si può affermare che il flusso dei dati rappresenta un ostacolo per la comprensione dei reali benefici dell'agricoltura di precisione vista la presenza di una moltitudine di modelli, dati, formati, interfacce e sistemi di riferimento che spesso sono incompatibili fra loro (Nash, 2009).

L'analisi dei dati georiferiti riveste un ruolo importantissimo per le applicazioni operative dell'agricoltura di precisione. Molto spesso la complessità dei software e l'alto costo in termini sia monetari sia di richiesta di tempo per la loro gestione sta trovando delle barriere per una diffusione di questa nuova strategia di gestione dell'agricoltura anche alla luce delle limitate esperienze degli agricoltori in informatica nelle nuove tecnologie emergenti.

In particolare la mancanza di inter-operabilità fra diversi software è vista come un problema reale (Kitchen, 2005). Il problema dunque dell'inter-operabilità dei dati georiferiti fra diversi sw e sistemi è stato oggetto di molti lavori all'interno della comunità dell'informazione geografica (GI) negli ultimi 15 anni dando luogo a molte iniziative che ruotano intorno al lavoro che svolge l'Open Geospatial Consortium, Inc. e l'ISO/TC211 Geographic Information/Geomatics. Il lavoro che svolge l'OGC si può applicare in molti settori che utilizzano la geomatica compresa l'agricoltura di precisione.

L'interesse particolare nel settore della AdP è quello del trasferimento di standard per il trasferimento di dati geospaziali utilizzando *web-services*, i quali permettono di scambiare l'informazione *on-demand* fra sistemi distribuiti.

L'utilizzo di questi standard di trasferimento può essere utile per automatizzare il flusso dei dati per le procedure in uso nell'agricoltura di precisione.

3.2.7.1 Interoperabilità e standardizzazione

Le iniziative sulla standardizzazione dei formati dati nel settore agricolo riguardano essenzialmente lo standard LBS (DIN 9684, 'Landwirtschaftliches Bus-System'/'Agricultural Bus System') e la sua evoluzione nello standard ISOBUS (ISO11783, 'Tractors and machinery for agriculture and forestry-serial control and communications data network'). Questi due progetti sono essenzialmente focalizzati sulla compatibilità dell'hardware.

Sebbene ISOBUS include degli aspetti (ISO/FDIS 11783-10, 'Task controller and management information system data interchange') che riguardano la comunicazione a livello di software fra computer delle macchine operatrici e sw di sistemi informativi di gestione aziendale (Management Information Systems - FMIS), al momento non esistono standard internazionali per la comunicazione fra diversi sistemi informativi aziendali. Il problema d'incompatibilità fra sistemi è stato rimarcato in molti studi (Pedersen, 2004; Reichardt and Juergens 2006) come reale ostacolo dell'adozione dell'agricoltura di precisione. In particolare quando vengono utilizzati in agricoltura modelli e software particolari (es: modelli di crescita della colture o di diffusione delle infestanti e /o dei patogeni), questi in genere girano su sw stand-alone che richiedono in input specifici formati di dati, alle volte già disponibili in formato digitale nei sistemi informativi aziendali in uso o perché sono appositamente raccolti da sensori montati a bordo di trattori o perché

provengono da connessioni in diretta comunicazione con la piattaforma bus (secondo gli standard ISOBUS) o perché raccolti da sensori wireless installati in campo.

L'adozione di formati standard per questi dati, basando il trasferimento diretto sul formato dati, potrebbe migliorare sensibilmente il problema connesso al flusso dei dati. Al presente esistono alcune iniziative per definire questi formati, con alcune specifiche estensioni che includono dati molto complessi per l'agricoltura di precisione (Steinberger, 2007). Molte di queste iniziative contribuiscono a produrre uno schema XML ((eXtensible Markup Language (Bray, 1998)) che definisce una codifica (*encoding*) per i dati agronomici. Ma come accennato prima anche lo scambio dati fra diverse organizzazioni ed utenti è molto importante per far avanzare le applicazioni dell'agricoltura di precisione. L'adozione di Service-Oriented Architecture (SOA) attraverso la quale è possibile scambiare dati su richiesta (*on-demand*) usando *web services* con interfacce standard e formati-dati di trasferimento può giocare a sua volta un ruolo molto importante nell'ottimizzazione del flusso dei dati nell'AdP.

3.2.7.2 *Web services*

I servizi web (*web services*) definiscono le funzionalità offerte da sistemi attraverso delle interfacce distribuite su web. È molto importante distinguere i *web services* da generiche pagine web o da altre generiche applicazioni web-based. Queste ultime sono accessibili da utilizzatori generici utilizzando un web browser; i *web services* sono invece accessibili da particolari software client (es: client GIS come QGIS o ARCGIS) o da altre applicazioni WebGIS che includono servizi web.

Attraverso questi *client* è possibile connettersi ad altri server ed esplorare quali altre funzioni e/o dati sono disponibili. In genere i servizi web sono sviluppati per usare l'XML sia per descrivere l'interfaccia sia per il trasferimento dei dati attraverso standard quali Web Service Definition Language (WSDL – Christensen, 2001) nel primo caso, e Simple Object Access Protocol (SOAP- Gudgin, 2003) per il secondo. Nelle architetture SOA (Service-Oriented Architecture) ogni servizio mette a disposizione funzioni e dati creando così un network di applicazioni proprie ed accessibili da più organizzazioni o utilizzatori. Questa interoperabilità di servizi e dati è supportata dall'uso di standard e reti tecnologiche pervasive che connettono ogni piattaforma come ad esempio server, client desktop e client mobili (pc portatili, smartphone e tablet o computer on-board) ad internet tramite connessione wired o wireless (Curbera, 2003).

Le applicazioni dei servizi web non sono una novità nel settore agricolo ma sono più diffuse per applicazioni a larga scala offerte da organizzazioni internazionali (es: FAO), nazionali o di ricerca. Alcuni servizi sono stati implementati anche per la gestione a distanza di servizi per l'irrigazione basati sulla sensoristica di campo (Casadesus, 2007). Anche l'agricoltura di precisione potrebbe avvalersi di tali servizi distribuiti per trarne notevoli vantaggi per la gestione dei dati geospaziali ma ciò richiede il disegno di un'architettura di sistema distribuito dedicato alla AdP e l'implementazione di standard dedicati. La comunità afferente alle scienze dell'informazione geografica ha quindi il compito di descrivere le specifiche dei requisiti per web services specializzati per l'AdP e andare verso forme di standardizzazione da includere negli standard dell'OGC.

3.2.7.3 OpenGIS standards

Gli OpenGIS standard sono sviluppati dall'OGC, organizzazione composta da più di 400 membri compresi tra aziende, università e enti di ricerca, industria ed organismi governativi. Lavora in stretta collaborazione con il gruppo ISO/TC 211 ('Geographic information/Geomatics') che assicura l'ISO-compatibilità per gli standard OGC per favorire la creazione di protocolli condivisi per applicazioni web (Geo Enabled Web) e l'interoperabilità dei dati spaziali.

Di particolare interesse per il settore agricolo sono gli standard per gli web services ed i formati di trasferimento per le informazioni georiferite.

Se ci sono degli svantaggi ad usare degli standard OpenGis, che non sono appositamente disegnati per il flusso dei dati dell'AdP attraverso web services, la disponibilità di questi standard di riferimento può tuttavia rappresentare dei vantaggi in questo settore, quali:

- Usufruire di interfacce standard (multi-purpose) già disponibili e molte applicazioni già sviluppate;
- Usufruire dei progressi in campo di standardizzazione fatti dall'OpenGIS per la gestione di dati geografici alla base dell'AdP, per esempio avere dei dati su porzioni di appezzamenti agricoli di riferimento;
- Usare le interfacce standard ISO già in uso dal settore industriale;
- Trarre benefici per la definizione delle future specifiche avendo già degli standard di riferimento;

Molti data set utilizzabili in AdP (es.: morfologia, immagini ad alta risoluzione) sono già disponibili in versioni standard e già inclusi in Infrastrutture di Dati Spaziali nazionali, regionali o europee (INSPIRE, EU 2007)

Esistono varie modalità per distribuire web services a carattere geografico; l'Open Geospatial Consortium ha a tal proposito definito alcuni standard. Di seguito vengono menzionati i principali servizi di interesse per l'agricoltura di precisione:

- WMS (Web Mapping Service)

Il servizio si connette a banche dati sia raster che vettoriali. Tutti i layer vengono aggregati in un unico strato e successivamente distribuiti in sotto forma di immagini nei più comuni formati (PNG, JPEG, TIF...). Nel contesto del flusso delle informazioni in AdP potrebbe essere usato per estrarre le immagini in background come ad esempio le mappe topografiche o le ortofoto.

- WFS (Web Feature Service)

Finalizzato alla distribuzione di soli dati vettoriali; le singole feature vengono inviate separatamente e rielaborate dal client.

Nel contesto agricolo può essere usato per estrarre dati sui rendimenti da altri processi di data services (es: risultati di modelli o da processi di supporto alle decisioni) o per estrarre dati dai risultati di campionamento dei suoli e relative informazioni georiferite per la localizzazione di quantità di fertilizzanti.

- WCS (Web Coverage Service)

Orientato alla distribuzione di dati raster ed eventuali informazioni aggiuntive interrogabili.

Molte delle informazioni usate in AdP, immagini di proximal sensing o remote sensing, interpolazione dei rendimenti sono utilizzate e distribuite in formato raster.

- WPS (Web Processing service)

Questo servizio offre ogni tipo di funzionalità GIS, elaborate lato server, che può essere fruibile via rete su richiesta dell'utente. Questo servizio offre notevoli potenzialità di utilizzo in AdP per sviluppo di funzioni di analisi su dati georeferiti e/o non geografici.

- SWE (Sensor Web Enablement)

E' un servizio finalizzato alla consultazione, scambio ed analisi di dati rilevati da sensori. Questo servizio è molto interessante se pensiamo alla diffusione delle reti di sensori wireless. Può giocare un ruolo molto importante per la gestione ed integrazione e diffusione di dati in tempo reale che sono utilizzati per il monitoraggio ambientale.

Altri standard sono attualmente in via di discussione come ad esempio lo standard per la sicurezza. Questo ultimo aspetto è molto importante se pensiamo alla tutela dei dati delle aziende ed ai dati sensibili sugli agricoltori. Questa può essere una vera chiave per incentivare l'uso dei web services in agricoltura.

4. LA VITICOLTURA DI PRECISIONE: NUOVE TECNOLOGIE, QUALITÀ E AMBIENTE

4.1 Il comparto vitivinicolo Italiano

La vitivinicoltura in Italia rappresenta storicamente un comparto produttivo che ha caratterizzato e contraddistingue tuttora in maniera determinante la nostra agricoltura e ne costituisce uno dei principali settori in termini di rilevanza economica. Nel 2011 Il Pil prodotto dell'intero settore vitivinicolo è stato di circa 13,5 miliardi di euro, di cui 3,9 dovuti all'esportazione, mentre il giro di affari generato dall'indotto viene stimato in altri 2 miliardi di euro. Il numero di occupati supera complessivamente il milione di unità, di cui oltre 200 mila stagionali, con una crescita del 50% nel corso dell'ultimo decennio.

I dati forniti dall'OIV (Organisation Internationale de la Vigne et du Vin) all'anno 2010 accreditano l'Italia come seconda produttrice mondiale di vino (42,6 milioni hl), di poco preceduta dalla Francia (44,8 milioni di hl) e seguita dalla Spagna. In termini percentuali la produzione vinicola italiana all'anno 2010 rappresenta il poco meno del 17% della produzione mondiale ed oltre il 28% di quella europea (Fig.4.1).

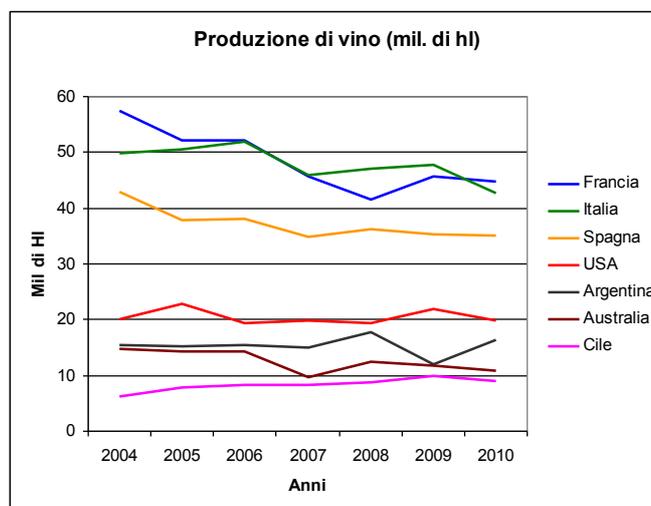


Figura 4.1- Produzioni di vino nei principali paesi produttori
(Fonte: Statistiche OIV 2011)

Rispetto ai suoi principali *competitors*, l'Italia presenta tuttavia alcune sostanziali differenze, in particolare per quanto concerne la qualificazione delle superfici vitate. Solo il 42 % dei vigneti sono infatti destinate alla produzione dei vini DOC, contro il 65% della Francia e l'85% della Spagna (Fig. 4.2). Tale valore è ben inferiore anche della media Europea che si attesta oltre il 62%. Ancora importante la quota occupata dalle produzioni

destinate a vino da tavola (30%), mentre diviene sempre più rilevante il peso delle superfici vitate con qualifica IGT (Indicazione Geografica Tipica)¹¹ in forte crescita tendenziale nel corso degli ultimi anni. (Eurostat, 2010)

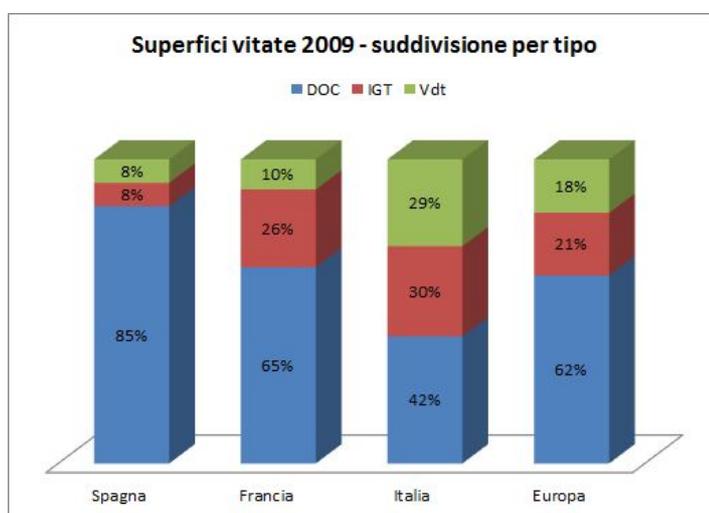


Figura 4.2 - Ripartizione delle superfici vitate per tipo di denominazione (Fonte Eurostat, 2010)

4.1.1 La produzione vitivinicola italiana

4.1.1.1 Superfici vitate e produzioni di vino

Nel corso degli ultimi venti anni, le superfici investite ad uva da vino in Italia hanno fatto segnare una progressiva contrazione, fino a toccare la soglia dei 650 mila ettari nel 2010 (Fig. 4.3).

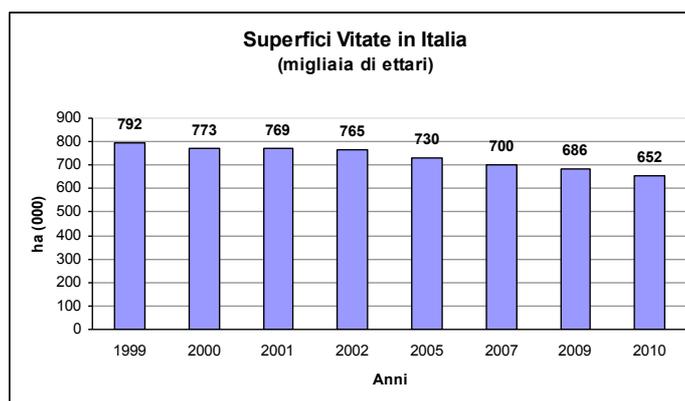


Figura 4.3- Dinamica delle superfici vitate in Italia (Fonte: Elaborazione ISMEA su dati Agea 2011)

¹¹ Il Decreto Legislativo n. 61 del 11 Maggio 2010 adegua la normativa italiana alle norme europee (Legge Comunitaria 2008) in materia di tutela delle denominazioni di origine e delle indicazioni geografiche dei vini, introduce la denominazione DOP (Denominazione di Origine Protetta) che include i vini DOC (Denominazione di origine Controllata) e DOPG (Denominazione di Origine Controllata e Garantita), mentre la denominazione IGP (Indicazione Geografica Protetta) sostituisce la nozione di IGT (Indicazione Geografica Tipica)

Particolarmente rilevante la flessione registrata nel corso degli ultimi tre anni, anche a causa dei premi d'incentivazione all'espianto disciplinati dalla nuova Organizzazione Comune del Mercato vitivinicolo (Reg. CE n. 479/2008) che hanno determinato la scomparsa di oltre trentamila ettari di superfici vitate.

Circa i due terzi delle superfici destinate alla produzione di uve da vino si concentra in 6 regioni (Fig. 4.4). Puglia e Sicilia, da sole, detengono oltre il 31% delle aree vitate presenti in Italia. A fronte di una così forte concentrazione, le dinamiche riscontrate in tali regioni (Sicilia - 6%, Puglia ed Emilia Romagna -5%, Piemonte -8%), spiegano la progressiva contrazione delle superfici che si è osservata nell'ultimo quinquennio a livello dell'intero territorio nazionale.

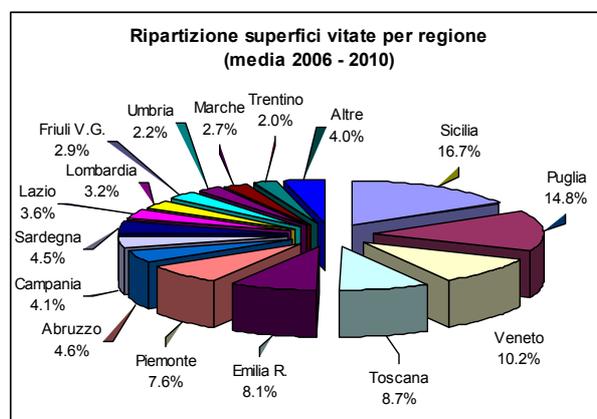


Figura 4.4 -Ripartizione superfici vitate per regione
(Fonte: Elab. ISMEA su dati Agea 2011)

Tra le regioni grandi produttrici di uve da vino Veneto e Toscana si sono al contrario caratterizzate per una dinamica complessivamente positiva in termini di espansione delle superfici (Fig. 4.5).

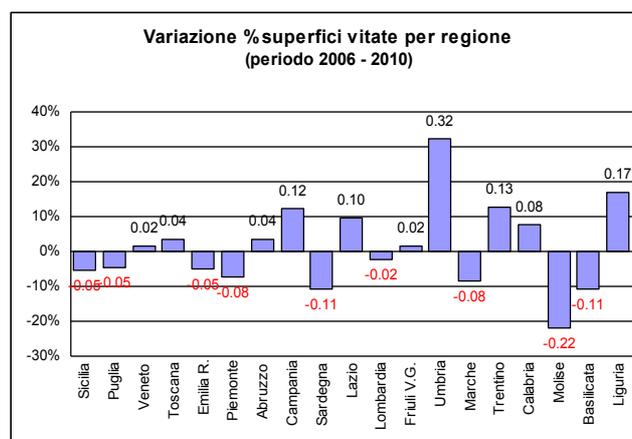


Figura 4.5 - Variazione delle superfici vitate per regione
(Fonte: Elab. ISMEA su dati Agea 2011)

Trend positivi si segnalano ugualmente per Abruzzo, Campania e Lazio, mentre spicca il dato dell'Umbria che ha incrementato di quasi un terzo l'areale di produzione viticola tra il 2006 ed il 2010. Ugualmente positivo il bilancio per Trentino, Calabria e Liguria che, sebbene incidano in maniera modesta sul totale nazionale, hanno fatto segnare ottime performance di crescita delle superfici vitate. Crollano, al contrario, le superfici in Sardegna (-11%), nelle Marche (-8%) e in Basilicata (-11%). Fanalino di coda il Molise, dove la contrazione delle superfici ha superato la soglia del 22%.

Nel suo complesso, il patrimonio varietale italiano è molto ricco e fortemente caratterizzato su base regionale. L'ultimo Inventario Viticolo Nazionale censisce circa 240 differenti varietà di vitigni che coprono l'85% della superficie totale a uva da vino. Soltanto 6 sono tuttavia le varietà che superano i 20.000 ettari di estensione¹², mentre sono 16 quelle che raggiungono 10.000 ettari di superficie coperta.

In base alla destinazione, il 42% delle superfici vitate in Italia è rivolto alla produzione di vini DOP (DOC e DOCG), mentre il 30% è rappresentato da vitigni IGT ed il rimanente da uve per vini comuni o da tavola. In termini di ripartizione per aree geografiche, le superfici DOP prevalgono in particolare nel Nord-Est, con una quota elevata in alcune regioni del Centro (Toscana ed Abruzzo), mentre le IGT hanno trovato una marcata diffusione anche nel Sud-Italia, rappresentando un fenomeno relativamente nuovo ed in progressiva ascesa.

Parallelamente alle superfici vitate, anche la produzione italiana è tendenzialmente in flessione (Fig. 4.6), sebbene questa sia parzialmente attenuata dall'incremento delle rese unitarie legate alla progressiva sostituzione dei vecchi vigneti con impianti più razionali e produttivi e dal miglioramento delle tecniche colturali.

¹² Il vitigno più diffuso in Italia è il Sangiovese che con oltre 70.000 ettari, copre il 10,3 % delle superfici ad uva da vino, segue il Catarratto Bianco Comune con 44.000 ettari, il Trebbiano Toscano con 43.000, il Montepulciano con 30.000 ettari, il Barbera con 29.000 e il Prosecco (Calò A., 2009)

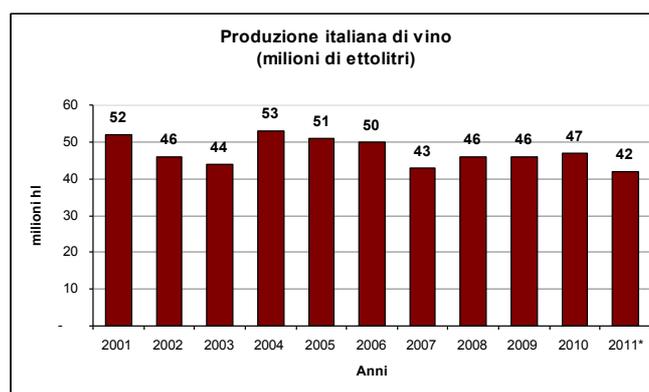


Figura 4.6 - Andamento della produzione italiana di vino
(Fonte: ISTAT, (*) stima Ismea/Uiv)

Dopo una leggera ripresa susseguente al minimo fatto segnare nell'annata 2007, le previsioni per il 2011 sono tuttavia fortemente negative, con una produzione stimata a poco più di 42 milioni di ettolitri, il valore più basso fatto registrare dal comparto nel corso degli ultimi dieci anni. Oltre alle cause di natura congiunturale, concorrono a questo risultato anche l'entrata in vigore della nuove normative comunitarie (vedere box n. 1) che regolano il settore del vino. In particolare, le estirpazioni e la pratica della "vendemmia verde", adottata soprattutto in Sicilia, si stima possano aver contribuito a togliere dal mercato - e quindi dalla trasformazione - oltre un milione di quintali di uva (MPS-ISMEA, 2011)

L'analisi per aree geografiche dei dati ISTAT riferiti all'ultimo quinquennio (Tab. 4.1) evidenzia tuttavia come la riduzione delle produzioni abbia interessato in modo particolare il Centro e il Sud Italia, mentre nelle regioni del Nord-Ovest e del Nord-Est si osserva una tenuta sostanziale dei volumi produttivi che in alcune regioni hanno fatto segnare per il periodo osservato addirittura una netta tendenza positiva (Veneto e Lombardia).

Tabella 4.1 - Andamento delle produzioni di vino e mosto per area geografica
(Fonte: dati ISTAT)

Area Geografica	2006	2007	2008	2009	2010	Variazione media annua
Nord-Ovest	4387	3912	3801	4218	4425	0.2%
Nord-Est	16294	16287	16628	17367	16874	0.9%
Centro	11096	8898	9684	9039	9214	-4.3%
Sud e Isole	17980	13383	16132	15011	15637	-3.3%
Italia	49757	42480	46245	45635	46550	-1.8%

Particolarmente interessanti sono le dinamiche riguardanti i vini di qualità (DOC, DOCG e IGT) se comparate a quelle dei vini comuni (Tab. 4.2).

Nel periodo 2006 - 2010 le produzioni di vini DOP (DOC e DOCG) aumentano nel nord Italia, specie nell'area del Nord-Est dove si osserva un incremento tendenziale medio superiore all'8% con punte del 27% e 14% rispettivamente in Trentino e Veneto. In lieve decrescita il Sud, mentre le regioni del Centro, penalizzate in particolare dalla performance negativa del Lazio (-14%) fanno registrare un'evidente diminuzione dei volumi prodotti nonostante i buoni risultati della Toscana (+3,3%).

Tabella 4.2 - Andamento delle produzioni DOP per area geografica
(Fonte: dati ISTAT)

Area Geografica	2006	2007	2008	2009	2010	Variazione media annua
Nord-Ovest	3208	3395	2982	2873	3341	1.0%
Nord-Est	4860	5457	5443	5505	6474	8.3%
Centro	4699	4301	4518	4467	4165	-2.9%
Sud e Isole	1724	1666	1553	1491	1692	-0.5%
Italia	14491	14819	14496	14336	15672	2.0%

I vini IGT sono in forte crescita nel Nord Ovest e nel Sud dell'Italia (Tab. 4.3). Nel primo caso si tratta di un fenomeno allo stadio ancora iniziale che riguarda volumi di prodotto contenuti rispetto alla produzione di vini DOP, da sempre tradizionale cavallo di battaglia di regioni come il Piemonte. Per il Sud i dati confermano al contrario il consolidamento di una tendenza che si sta affermando da qualche tempo in varie realtà produttive (Calabria, Puglia, Sicilia), dove l'espansione di questa denominazione controbilancia la riduzione delle produzioni DOP.

Il dato riguardante le regioni dell'Italia centrale fa segnare una tendenza negativa anche per questo segmento, ma nasconde tuttavia forti differenze tra le varie realtà. Accanto alla tendenziale contrazione di volumi registrata in particolare nel Lazio e nelle Marche, si contrappone il forte sviluppo delle produzioni IGT dell'Abruzzo che nel periodo osservato sono più che raddoppiate, costituendo al 2010 oltre il 25% delle produzioni totali di vino di qualità di questa regione.

Tabella 4.3 - Andamento delle produzioni IGT per area geografica
(Fonte: dati ISTAT)

Area Geografica	2006	2007	2008	2009	2010	Variazione media annua
Nord-Ovest	170	189	188	243	315	21.3%
Nord-Est	7014	7264	7206	7553	6379	-2.3%
Centro	2089	2000	2005	2007	2016	-0.9%
Sud e Isole	2967	3000	2952	3140	4703	14.6%
Italia	12240	12453	12351	12943	13413	2.4%

Il settore dei vini da tavola (Tab. 4.4) mostra a livello nazionale una consistente riduzione delle produzioni, con una tendenza che si conferma, seppure con differenti intensità, anche in tutte le aree geografiche. Le regioni del Sud Italia sono quelle che fanno segnare in particolare i decrementi più forti. Una delle cause di questo fenomeno va sicuramente ricercata nei nuovi indirizzi della OCM vitivinicola, ed in particolare nel progressivo smantellamento di quelle misure di intervento, quali la distillazione delle rimanenze, che assicuravano comunque un reddito garantito alle produzioni che non riuscivano a trovare una collocazione sul mercato

Tabella 4.4 - Andamento delle produzioni di vino da tavola per area geografica
(Fonte: dati ISTAT)

Area Geografica	2006	2007	2008	2009	2010	Variazione media annua
Nord-Ovest	846	810	725	694	769	-2.3%
Nord-Est	3598	2820	2959	3015	3366	-1.6%
Centro	4002	3170	3146	2780	3040	-6.0%
Sud e Isole	11777	9425	8977	8298	7929	-8.2%
Italia	20223	16225	15807	14787	15104	-6.3%

4.1.1.2 Struttura dell'offerta

Come accennato nel capitolo precedente, a fronte di una sostanziale contrazione delle produzioni il segmento dei vini DOP e IGT mostra una certa vivacità e rappresenta anche alla luce delle nuove politiche settoriali, l'unica risposta per un rilancio dell'intero comparto.

I dati ISTAT riferiti al quinquennio 2006 - 2010 mostrano a livello nazionale una tendenziale crescita dei vini di qualità (Tab. 4.5). Secondo tale fonte, la produzione

enologica italiana al 2010 è ripartita in maniera quasi uniforme fra le tre principali denominazioni, con una leggera predominanza dei vini DOP (DOC e DOCG) che costituiscono il 36% del totale (Fig 4.7). I vini da tavola rappresentano ancora una fetta consistente della produzione (34%) mentre la quota degli IGT si attesta intorno al 30%.

La situazione nelle varie aree geografiche si presenta tuttavia alquanto variegata con differenze anche marcate tra una zona e l'altra (Fig 4.7).

Il Nord Italia si caratterizza per la forte incidenza dei vini DOP che nel Nord-Ovest valgono, da soli, il 76% del totale. Nell'area Nord-Est tale quota è nettamente più contenuta (40%), sebbene i vini di qualità (DOC, DOCG e IGT) sfiorino nel loro insieme l'80% dei volumi prodotti.

La zona del Centro Italia approssima i valori medi nazionali, facendo segnare tuttavia una migliore presenza in termini percentuali delle denominazioni DOC e DOCG (46%) a scapito delle produzioni IGT.

Nelle regioni meridionali, infine, il rapporto tra vini di qualità e vini da tavola volge in netto favore di questi ultimi che costituiscono ben il 55% delle produzioni enologiche, sebbene la quota dei vini IGT si collochi su valori superiori alla media nazionale (33%)

Tabella 4.5 - Incidenza delle produzioni di vini di qualità sul totale delle produzioni
(Fonte: dati ISTAT)

	2006	2007	2008	2009	2010
Nord-Ovest	80%	82%	81%	82%	83%
Nord-Est	77%	82%	81%	81%	79%
Centro	63%	67%	67%	70%	67%
Sud e Isole	28%	33%	33%	36%	45%
Italia	57%	63%	63%	65%	66%

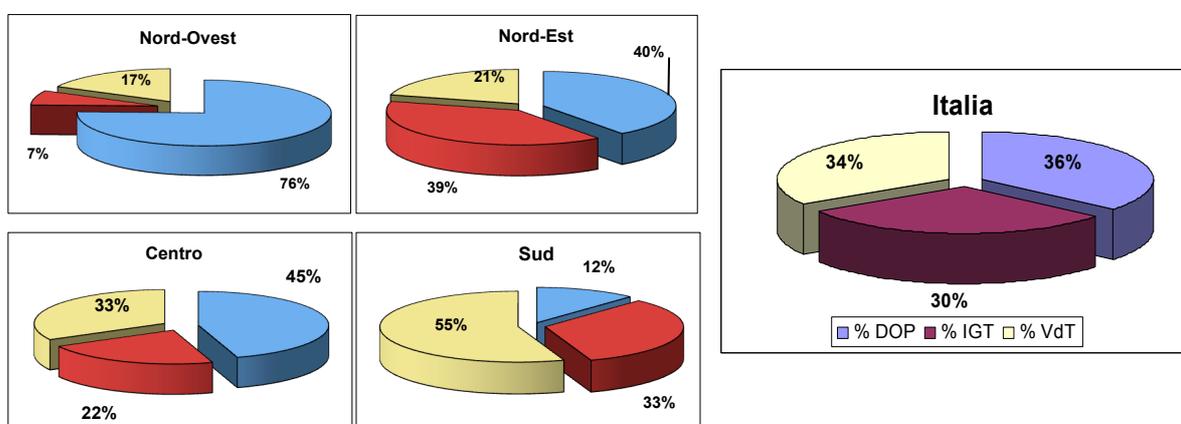


Figura 4.7 - Ripartizione delle produzioni di vino per tipo di denominazione
(Fonte: dati ISTAT 2010)

Nel 2010 in Italia sono state recensite 483 denominazioni relative ai vini di qualità, con un incremento di 6 riconoscimenti rispetto all'anno precedente. Le più rappresentate sono le DOC, che costituiscono circa i due terzi del totale, seguite dalle IGT (24%), mentre solo 46 sono le DOCG.

Dal punto di vista della distribuzione geografica, oltre il 40% delle denominazioni di qualità (DOC, DOCG e IGT) si concentra in Italia settentrionale (196); segue l'area dal Sud e le Isole che ne conta 69 e quindi quella del Centro Italia con circa 118 denominazioni (23,7%) (Fonte: ISMEA, 2010). La regione che vanta il maggior numero di denominazioni è il Piemonte (58) seguito dalla Toscana e dal Veneto. Sardegna, Puglia, Lombardia, Emilia Romagna e Lazio possono comunque contare su un numero di denominazioni superiore a trenta (Fig. 4.8).

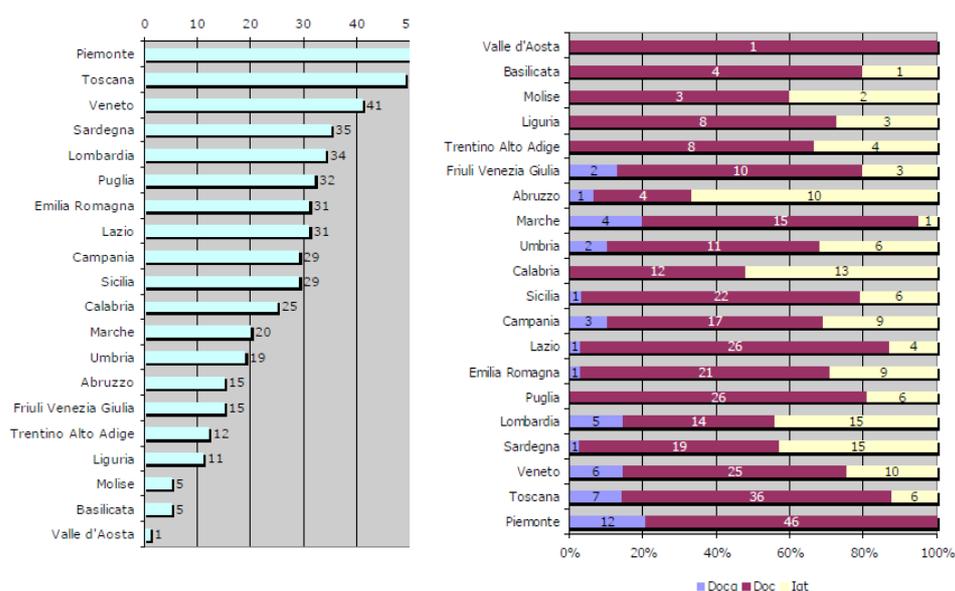


Figura 4.8 - Numero di denominazioni per Regione e loro distribuzione per tipologia (Fonte; Elborazioni ISMEA su dati Mipaaf 2010)

Sia nel caso delle Doc-Docg che delle Igt si osserva una forte concentrazione della produzione su poche denominazioni. Le prime dieci Doc-Docg rappresentano infatti circa il 42% del totale di questo segmento, mentre tale percentuale sale addirittura ad oltre il 74% nel caso delle Igt. (Ismea, 2010).

4.1.1.3 Caratteristiche della filiera vitivinicola

Per filiera si intende l'itinerario seguito da un prodotto per arrivare dallo stadio iniziale di produzione a quello finale di utilizzazione, nonché il complesso delle interazioni tra tutti

gli agenti coinvolti in tale percorso, collegati da una sorta di contiguità economica dovuta al loro coinvolgimento nei processi di produzione e di scambio (Il comparto vitivinicolo, NOMISMA 2007).

In tale ottica la filiera vitivinicola può essere scomposta nelle seguenti articolazioni fondamentali: produzione dell'uva, produzione del vino, conservazione e imbottigliamento, distribuzione.

Tralasciando per il momento la fase distributiva che presenta caratteristiche del tutto peculiari e che sarà trattata nel capitolo dedicato alla domanda, il quadro d'insieme che emerge dall'analisi della filiera vitivinicola è quello di un sistema produttivo molto parcellizzato, con un'età media piuttosto bassa, ma fortemente ancorato alle forme societarie più semplici e contraddistinto da un notevole grado di internalizzazione incorporando le principali fasi del processo produttivo (produzione, trasformazione, conservazione e imbottigliamento).

Tali caratteristiche sono però in rapida evoluzione, in quanto il numero delle imprese si riduce in tutto il Paese, sia pure con alcune significative eccezioni e una parte sempre maggiore di queste si orienta verso modelli giuridici più complessi. Diviene, inoltre, sempre più frequente la scelta di esternalizzare alcune fasi del processo produttivo, come testimoniato ad esempio dall'aumento delle imprese specializzate nell'imbottigliamento.

La vitivinicoltura italiana, presenta una struttura produttiva molto frammentata, con una moltitudine di imprese che detengono tuttavia una quota estremamente ridotta del totale dei volumi prodotti (Fig. 4.9). A fine 2005, si contavano nei registri delle Camere di commercio oltre 180.000 imprese afferenti al settore, con un grado di attività pari al 98% . Il numero delle unità locali (183.423) è di poco superiore a quello delle imprese, segno che queste ultime sono poco ramificate sul territorio, cioè tendono a concentrare le diverse attività, sia quelle propriamente produttive, sia quelle più strumentali, presso un'unica sede. (Nomisma, 2006).

La distribuzione geografica delle imprese appare abbastanza disomogenea, con una netta prevalenza nel Sud Italia. Nel Mezzogiorno risultano, infatti, localizzate circa 100.000 sedi, pari ad oltre la metà del tessuto di impresa vitivinicolo.

Tra le regioni a maggiore vocazione vitivinicola, o comunque a più alta densità d'impresa in questo settore, si segnalano nell'ordine la Puglia e la Sicilia con oltre 30.000 imprese vitivinicole attive e a seguire Piemonte, Emilia Romagna, Veneto e Abruzzo che presentano valori compresi tra 13.000 e 15.000 imprese (Nomisma, 2006).

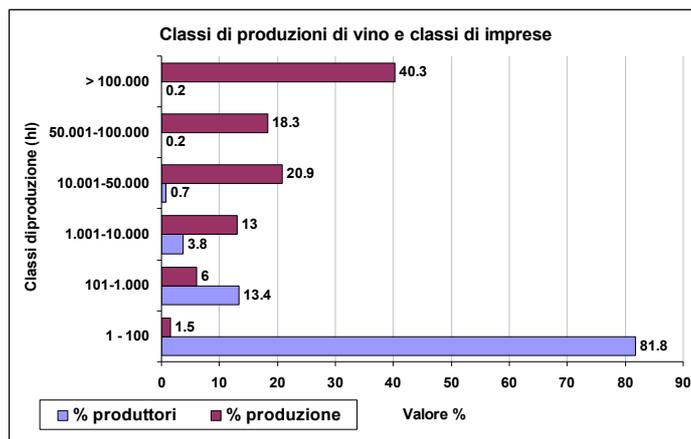


Figura 4.9 - Rapporto tra dimensione d'impresa e volumi di vino prodotti
Rielaborazione dati NOMISMA 2006

Relativamente alla natura giuridica, quasi il 95% delle imprese vitivinicole attive è organizzato in forma di ditta individuale. Si tratta di imprese che producono vino da uve prevalentemente di produzione propria che e che per questo sono caratterizzate da una bassa incidenza dei costi per le materie prime e da una elevato peso dei costi del personale, che si traduce in una forte incidenza del valore aggiunto sul fatturato (36% nel 2010).

Le società di capitale e quelle di persone rappresentano rispettivamente il 3,7% e l'1,5% del totale. Le imprese della fase industriale generalmente acquistano uve per la vinificazione e sono caratterizzate da una forte incidenza dei costi per le materie prime e da ridotta incidenza dei costi per il personale, per un processo di lavorazione a minore valore aggiunto.

La restante percentuale è coperta dalle altre forme; all'interno di queste ultime rientrano le cooperative e i consorzi che rivestono un ruolo di assoluto rilievo in termini di produzione e di vendite. Si tratta infatti di soggetti in rapida trasformazione, sempre più orientati al mercato e proiettati verso l'estero. Le Cooperative, in particolare, pur rappresentando appena l'1% del totale delle imprese di vinificazione, concentrano oltre il 54 % delle uve destinate alla trasformazione raggiungendo punte di oltre l'80% in Sicilia e Abruzzo, del 75% in Trentino Alto Adige e del 69% in Emilia Romagna. Si tratta, pertanto, di strutture di notevoli dimensioni con una elevata dotazione finanziaria e tecnologica. Un quarto di esse ha una capacità produttiva che supera i 50.000 ettolitri e realizza quasi l'80% della intera produzione cooperativa. Rispetto alle differenti tipologie di vino, le società cooperative detengono in Italia oltre il 50% della produzione di vini comuni, 52% delle Dop (DOC e DOCG) e il 65% delle Igp (IGT).

Box n. 1

Principali aspetti dell'OCM vitivinicola riformata

Con il Reg. CE n. 479/2008, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea (GUUE) L148 del 6 giugno 2008, è stata introdotta una nuova profonda riforma dell'Organizzazione Comune di Mercato del settore Vitivinicolo.

Obiettivo prioritario di tale riforma è di conferire un maggiore equilibrio al mercato vitivinicolo attraverso la progressiva eliminazione di interventi sul mercato inefficaci e costose e permettendo di destinare il bilancio a misure più positive e dinamiche per aumentare la competitività dei vini europei.

La riforma si propone innanzi tutto di incoraggiare e accompagnare una rapida ristrutturazione del settore attraverso l'istituzione di un regime triennale di estirpazione su base volontaria, volto ad offrire un'alternativa per i produttori che non sono in grado di far fronte alla concorrenza e ad eliminare dal mercato le eccedenze e i vini non competitivi.

Gli aiuti per la distillazione di crisi e la distillazione di alcool per usi alimentari saranno progressivamente soppressi e gli importi corrispondenti, ripartiti in dotazioni nazionali, saranno resi disponibili per la promozione dei vini sui mercati dei paesi terzi, per l'innovazione e per la ristrutturazione e la modernizzazione dei vigneti e delle cantine.

La riforma garantirà la protezione dell'ambiente nelle regioni vinicole e la salvaguardia delle politiche di qualità tradizionali e consolidate. In questo senso i vini con indicazione geografica protetta e quelli con denominazione d'origine protetta costituiranno la base del concetto di vini di qualità dell'Unione europea. Si procederà, inoltre ad una semplificazione delle norme di etichettatura nell'interesse di produttori e consumatori.

Una parte dei fondi verrà destinata, infine, a misure di sviluppo rurale riservata alle regioni vitivinicole. Tali misure possono includere l'insediamento di giovani agricoltori, il miglioramento della commercializzazione, la formazione professionale, il sostegno alle organizzazioni di produttori, i finanziamenti destinati a coprire le spese supplementari e le perdite di reddito derivanti dal mantenimento dei paesaggi di valore culturale, nonché forme di prepensionamento.

A partire dal 1° gennaio 2016 sarà inoltre abolito il sistema estremamente restrittivo dei diritti di impianto a livello dell'UE.

4.1.2 Mercato del vino e consumi

Dopo un 2010 tra luci ed ombre il 2011 è iniziato con qualche segnale di ottimismo in più, soprattutto sul fronte del valore del mercato vitivinicolo all'origine, dove si registrano aumenti in tutti i segmenti del mercato, sebbene con modalità differenti a seconda del colore e del segmento qualitativo che si analizza (Tab. 4.6).

Tabella 4.6 - Valore del mercato vitivinicolo (M€) ai prezzi di origine
(Fonte: ISMEA 2011)

		2006	2007	2008	2009	2010	10/09	10/06
Imprese Agricole	Viticoltura	379.1	309.3	342.6	337.6	354.9	5.1%	-1.6%
	Produzione vino	334.2	253.2	304.9	299.0	315.0	5.3%	-1.5%
Imprese Industriali	Viticoltura	3,188	3,070	3,374	2,977	3,033	1.9%	-1.2%
	Produzione vino	1,779	1,671	1,973	1,875	1,803	-3.8%	0.3%

La nota dolente, ormai consueta negli ultimi anni, è data dal calo della domanda interna. Dopo i ribassi del 2010, infatti, il primo trimestre del 2011 non si discosta dal trend flessivo. Nell'industria, pur restando positivo, cala però il clima di fiducia perché gli ordini non sembrano all'altezza delle aspettative.

Intanto, i dati Istat sul commercio con l'estero, hanno archiviato un 2010 da record con 21,5 milioni di ettolitri esportati e quasi 4 miliardi di euro di incassi.

4.1.2.1 Caratteristiche della domanda

Nel corso degli ultimi anni il vino ha assunto la connotazione di bene voluttuario. Sono cambiate le modalità, le frequenze e le occasioni di consumo. Da bevanda in accompagnamento ai pasti quotidiani, il vino viene sempre più consumato nell'ambito di occasioni sociali e conviviali. Tanto è vero che in Italia e nei principali Paesi tradizionalmente produttori (come, ad esempio, la Francia) i consumi di vino sono in continua e progressiva diminuzione (in termini quantitativi), ma registrano una significativa riallocazione in termini qualitativi ed economici.

Per quanto riguarda il mercato interno, il 2010 si è chiuso con ulteriori ribassi per i consumi. Sebbene l'analisi dei dati si limiti a quelli domestici, non si può non prendere atto del fatto che l'agroalimentare nel suo complesso perde l'1% in volume. Al settore vinicolo, nello specifico, è andata peggio con un -3% dei volumi registrato su base annua, accompagnato da un -5% del valore. Ed il calo dei consumi sembra non arrestarsi. Anche il

primo trimestre del 2011, secondo Ismea ha registrato un'ulteriore flessione su base tendenziale, determinata interamente dai vini comuni e IGP, mentre per i vini DOC e DOCG si osserva un recupero anche piuttosto significativo (Fig. xx10).

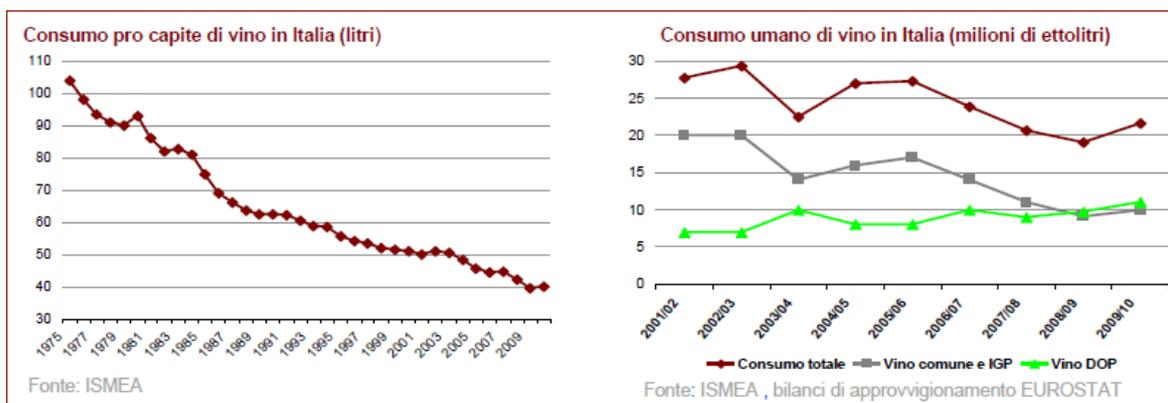


Figura 4.10 - Andamento dei consumi in Italia
(Fonte ISMEA, 2010)

Scendendo nel dettaglio delle aree geografiche si evidenzia che, nell'ultimo trimestre in esame, i cali più significativi si sono registrati nel Nord-Est, a fronte di una sostanziale tenuta nell'Italia Centrale. Nelle altre aree la riduzione è piuttosto contenuta

In termini generali, si osserva come il consumatore italiano nella scelta di un vino attribuisca rilevante importanza alla presenza di un marchio DOC, DOCG o IGT o alla produzione attraverso l'utilizzo di un vitigno autoctono.

L'importanza attribuita all'origine e alla tradizione locale trova fondamento nella considerazione che il consumatore italiano ripone nei marchi DOC, DOCG e IGT come sinonimi di qualità. Tuttavia, è bene sottolineare come tale "associazione" non trovi identico riscontro negli altri mercati, in particolare extraeuropei (o anche del Nord Europa), dove lo stesso concetto di qualità si esplicita in differenti declinazioni dove il consumatore orienta le proprie scelte tenendo conto di altri elementi (servizio, immagine, adattamento al proprio stile di vita, collegamento tra etichetta e moda, ecc.), tra cui anche gli aspetti di tutela ambientale.

4.1.2.2 Gli scambi con l'estero

In tema di commercio con l'estero si deve sottolineare un 2010 particolarmente brillante per l'Italia. I dati, infatti, attestano l'export a 21,5 milioni di ettolitri (+10% rispetto al

2009) che rappresenta il miglior risultato degli ultimi trent'anni. Record anche per il fatturato che ha sfiorato i 4 miliardi di euro, con un incremento del 12% su base annua (Tab. 4.7).

Tale performance, sebbene, in misura differente, è da attribuire a tutti i segmenti del settore. I confezionati, con 12 milioni di ettolitri, hanno segnato una +6%, mentre i 7 milioni di sfusi si sono aggiudicati un +14%. Ottimo è anche il +19% dei vini spumanti, che in volume assoluto si attestano a 1,6 milioni di ettolitri.

Da segnalare che l'Italia anche nel 2009, in controtendenza rispetto agli andamenti complessivi degli scambi mondiali, aveva registrato un incremento dell'8% delle consegne oltre i confini nazionali, a fronte comunque di una flessione degli introiti (Tab. xx7).

Tabella 4.7 - Dinamica dell'export Italiano di vini e mosti (000 hl)

(Fonte: elaborazione ISMEA su dati ISTAT e GTA, * provvisorio)

Anno	Export		Import	
	hl (000)	M€	hl (000)	M€
2000	17640	2472	623	205
2001	15856	2609	728	182
2002	15794	2785	1075	216
2003	13283	2701	1613	240
2004	14123	2865	1786	256
2005	15736	3000	1835	282
2006	18390	3228	1463	295
2007	18827	3542	1779	360
2008	18080	3673	1840	330
2009	19519	3511	1461	252
2010*	21492	3917	1657	259
Var.% 10/09	10.1	11.7	13.4	2.5

L'aumento dei volumi è imputabile in primo luogo al segmento degli sfusi. In soli 3 anni questo segmento è passato da una quota in volume pari al 31%, ad una del 35%. Di pari passo è scesa dal 61 al 56 per cento quella dei confezionati.

Questi dati dimostrano che le aziende italiane, nonostante un periodo non facile, hanno avuto la capacità non solo di non perdere quote di mercato, ma addirittura di conquistarle anche se a scapito del prezzo. Il valore medio all'export dei vini sfusi, infatti, è sceso progressivamente da 0,59 euro al litro del 2008 a 0,44 euro al litro del 2010. Flessione parallela, peraltro, a quella che si è registrata sul mercato alla produzione per il comparto dei vini comuni.

Il valore medio dei vini confezionati, invece, dopo la battuta d'arresto del 2009, nel 2010 ha guadagnato un 5%. Segnale, anche in questo caso, della flessibilità mostrata dalle aziende italiane e della capacità di leggere i cambiamenti internazionali.

Sebbene la propensione all'export rappresenti una caratteristica peculiare del comparto vitivinicolo nazionale l'Italia resta, comunque, un Paese importatore di vini sfusi che tuttavia nel 2010, con 1,2 milioni di ettolitri, hanno segnato una riduzione del 2% su base annua. Nella sezione passiva della bilancia commerciale si evidenzia, tuttavia, un incremento delle importazioni di vini confezionati (+13% nel 2010 rispetto al 2009) che con un volume di 207 mila ettolitri, hanno fatto segnare una progressione del 50%.

Scendendo nel dettaglio dell'export, si osserva come nel 2010 i primi dieci Paesi clienti del ranking abbiano mostrato, sebbene con intensità differente, incrementi della domanda di vino italiano in volume, accompagnati da aumenti anche degli esborsi.

A trainare l'export italiano, sono stati più i Paesi extra Ue che quelli comunitari. Negli USA determinante è stato il +9% fatto registrare dai volumi, quasi totalmente ascrivibile ai vini confezionati (+8%), segmento che rappresenta l'85% dell'intera domanda di vino italiano. Ottima anche la performance degli spumanti la cui richiesta è cresciuta del 10%. I vini sfusi che coprono appena il 3% del totale esportato dall'Italia sul mercato statunitense, risultano in progressione del 56%.

In Russia l'export italiano del 2010 è cresciuto del 64%, grazie ai quasi 663 mila ettolitri di sfuso che rappresentano il 61% del totale. Più che raddoppiate anche le spedizioni italiane di bollicine, mentre i 227 mila ettolitri di confezionati hanno segnato una progressione del 54%.

Nella Ue si registra la buona tenuta delle esportazioni in Germania, sia in termini quantitativi che di valore. Si segnala, infatti, un aumento rispettivamente del 3 e 4 per cento. Nel paniere della domanda tedesca sono cresciuti in volume i vini sfusi (+6%), che rappresentano il 52% del totale, e gli spumanti (+1%), a fronte di una leggera flessione dei confezionati (-1%).

Stabile il Regno Unito. Tra i paesi emergenti si segnala la Cina dove l'export italiano è più che raddoppiato in valore e quasi triplicato in volume. A trainare la domanda cinese è il segmento dei confezionati con una quota pari al 78%.

Sul fronte passivo non si può non notare che, nell'ultimo anno in esame, l'Italia ha praticamente raddoppiato la domanda di vino dalla Spagna, maturata interamente nel

segmento dei vini sfusi e dei mosti. In flessione, invece, l'import dagli Stati Uniti e Francia.

La domanda italiana nel Paese transalpino è particolare perché con solo il 13% dei volumi rappresenta il 60% della spesa. Nel 2010, in particolare l'import è sceso di quasi un terzo in termini di quantità, mentre gli esborsi sono rimasti pressoché inalterati. Questo per la dinamica del paniere della domanda. Sono infatti cresciute le richieste di vini confezionati, praticamente raddoppiate. Altra particolarità è che a fronte di una flessione in volume dell'import di Champagne è aumentato il valore della spesa. Da sottolineare che dei 158 milioni di euro destinati ai prodotti provenienti dalla Francia, ben 124 sono stati destinati alle bollicine più famose del panorama enologico.

4.1.2.3 Dinamiche dei prezzi e canali di vendita

Il settore vinicolo ha chiuso il 2010 con prezzi in sostanziale pareggio rispetto al 2009, anno in cui però le perdite erano state decisamente sostenute. Questo risultato, peraltro, è dato da dinamiche differenti nel corso dell'anno e tra i diversi segmenti. A fronte, infatti, di una flessione delle varie denominazioni si è registrata una crescita, seppur contenuta dei vini comuni. In termini temporali, invece, si evidenzia come i prezzi alla produzione abbiano cominciato a dare segnali di ripresa solo nella seconda metà del 2010. Ripresa che, peraltro, è continuata nei primi mesi del 2011, spingendo l'indice Ismea dei prezzi alla produzione del comparto vitivinicolo a +8%, rispetto al +7% calcolato per il totale agricoltura. Si sale al +20% se il confronto diventa tendenziale.

Anche in questo caso i buoni risultati fatti segnare del settore del vino sono dipendono tuttavia dal colore e del segmento qualitativo che si analizza. Nel primo trimestre del 2011, infatti, i vini comuni e IGT, sono cresciuti del 10% a fronte di una più modesta risaliti dei vini DOC-DOCG (+3%). Nelle denominazioni DOP sono i rossi ad aver registrato le performance migliori. A trainare verso l'alto le quotazioni sono stati soprattutto i vini piemontesi. Da segnalare ad esempio il Barolo, che dopo le difficoltà degli ultimi due anni è tornato a sfiorare i 500 euro al quintale. In decisa ripresa anche i Lambruschi e rossi veneti.

Per il settore vinicolo il primo trimestre 2011 si è chiuso con costi pressoché invariati rispetto all'ultimo trimestre dell'anno prima. Questo in una situazione di sostanziale stabilità anche per quanto riguarda l'aggregato coltivazioni e per l'agricoltura nel complesso.

Il settore agroalimentare ha chiuso il 2010 con una riduzione dei prezzi al consumo dell'1% rispetto all'anno precedente, mentre quelli del settore vinicolo hanno registrato un -2%. Il 2011 si è aperto con un'ulteriore flessione dei prezzi al consumo dei vini sia su base tendenziale che congiunturale. Questo in controtendenza rispetto ai prezzi dell'agroalimentare in generale che nei primi tre mesi dell'anno hanno fatto segnare aumenti sia rispetto al periodo precedente che al corrispondente del 2010.

Per quanto riguarda il settore della distribuzione, i dati del rapporto Mediobanca 2011 confermano alcune importanti tendenze (Tab. 4.8):

- (1) il ruolo crescente della grande distribuzione nella vendita di vino, sebbene questo non riguardi le etichette di fascia alta con un prezzo a bottiglia superiore a 25 € (Tab 4.9);
- (2) la crisi del settore alberghiero e della ristorazione (Ho.Re.Ca)¹³, che è continuata nel 2010 nonostante la stabilizzazione dello scenario economico;
- (3) il ruolo predominante di ristorazione ed enoteche nella distribuzione dei grandi vini.

Totale vini - Indagine su canali di vendita - Mediobanca						
(% penetrazione)	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Italia						
Vendita diretta	7.5	8.4	9.4	8.8	8.3	8.0
Grande distribuzione	41.8	44.2	43.7	39.1	44.1	44.8
Ho.Re.Ca.	23.0	20.5	19.9	23.1	21.7	20.3
Enoteche e wine bar	11.5	9.9	8.3	10.4	10.8	10.1
Grossista/Intermediario						14.3
Altri canali	16.2	17.0	18.7	18.6	15.1	2.5
Totale	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Estero						
Rete propria	9.8	13.6	11.6	9.2	10.4	8.3
Intermediario importato	81.4	77.6	72.9	77.8	83.2	81.4
Altri canali	8.8	8.8	15.5	13.0	6.4	10.3
Totale	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Tabella 4.8 - Modalità di distribuzione dei vini per canale di vendita

¹³ Acronimo di Hotellerie-Restaurant-Café che si riferisce al settore dell'industria alberghiera, alle imprese che preparano e servono alimenti e bevande (ristoranti, bar, caffè).

Vini oltre 25 euro - Indagine su canali di vendita - Mediobanca						
(% penetrazione)	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Vendita diretta	12.7	9.9	11.9	11.6	12.8	10.5
Grande distribuzione	9.1	9.4	6.8	6.9	9.0	6.5
Ho.Re.Ca.	41.2	41.2	44.6	45.8	40.7	42.7
Enoteche e wine bar	28.1	29.5	28.6	28.4	29.4	29.3
Grossista/Intermediario						9.4
Altri canali	8.9	10.0	8.1	7.3	8.1	1.6
Totale	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Estero						
Rete propria	9.9	13.1	10.4	9.1	9.0	6.4
Intermediario importato	79.1	83.8	83.1	85.2	84.5	87.1
Altri canali	11.0	3.1	6.5	5.7	6.5	6.5
Totale	100.0	100.0	100.0	100	100	100

Tabella 4.9 - Modalità di distribuzione dei vini oltre 25 € per canale di vendita

Lo studio analizza anche la distribuzione all'estero suddividendo i dati tra cooperative e aziende vinicole. I risultati sembrano confermare che i vini italiani continuano a essere distribuiti all'estero in maniera predominante attraverso reti di terzi (81% del totale dei vini, addirittura 87% per i grandi vini), il che dimostra la dimensione poco significativa delle nostre aziende che non possono permettersi reti proprie. In questo contesto, le cooperative avendo una dimensione più significativa sono meglio posizionate. Allo stesso modo, data la dimensione rilevante, le cooperative restano delle controparti ideali per le grandi catene distributive: di conseguenza una quota maggiore dei loro prodotti viene veicolata attraverso la GDO¹⁴.

Le altre considerazioni che si possono fare sui dati di vendita della grande distribuzione sono le seguenti: (1) i vini VQPRD¹⁵ vanno meglio dei vini da tavola; (2) all'interno dei VQPRD le bottiglie da più di 5 euro, pur restando una minoranza, cavalcano l'onda con un rialzo del 9% contro il +4% di quelle da meno di 5 euro; (3) nessuna delle grandi denominazioni italiane appare in calo e, anzi, si segnalano forti rialzi per 5 o 6 di esse (Prosecco +20%, Vermentino +15%, Bonarda +10, Muller Thurgau +11%).

Questi numeri, presi nel loro contesto, mettono tuttavia in luce una forte difficoltà dei canali di vendita alternativi alla grande distribuzione: se quest'ultima, che rappresenta circa il 40% del mercato, incrementa di +2.5%, significa che il resto del mercato scende del 13% circa. (fonte: Mediobanca)

¹⁴ GDO è l'acronimo di Grande Distribuzione Organizzata che comprende i supermercati e gli ipermercati

¹⁵ Vini di Qualità Prodotti in Regioni Determinate, tale denominazione ai sensi del DL n. 61/2010 saranno ricompresi nella categoria dei vini IGP (Indicazione Geografica Protetta)

4.1.3 Criticità, opportunità e scenari evolutivi

L'aumento della propensione all'export di tutti i maggiori esportatori mondiali, la crescita delle importazioni anche nei grandi Paesi produttori di vino, la generazione di grandi multinazionali e la crescente segmentazione del mercato sono tutti elementi che indicano come sia cambiato e continui ad evolvere lo scenario di riferimento per il vino.

La reazione delle imprese a tali mutamenti si concretizza in una ristrutturazione profonda del settore, lungo una serie di direttrici, tipicamente al centro del vantaggio competitivo in ogni mercato globalizzato: tra queste basti ricordare il posizionamento produttivo e commerciale su fasce di prodotto, le relazioni con i canali distributivi, la promozione e valorizzazione del marchio, l'innovazione tecnologica.

I cambiamenti che stanno, quindi, interessando il contesto competitivo in cui si trovano inserite le imprese vitivinicole italiane presentano in larga parte tratti comuni con lo scenario evolutivo che riguarda nel complesso tutti i prodotti agroalimentari.

Il progressivo abbassamento del rapporto ricavi/costi rappresenta una delle principali criticità del settore che viene percepita equanimente da tutti gli operatori ma in modo particolare dalle aziende di medio-piccole dimensioni. La causa di tale fenomeno va ricercata, da un lato, nell'aumento della competizione sia sul mercato interno che su quello internazionale e dall'altro da una contrazione dei consumi, in parte di origine strutturale ed in parte dovuta a cause di congiuntura economica.

Il mercato attuale del vino non si differenzia, tuttavia, da quello di dieci anni fa solo per il riproporsi dell'eccesso di offerta a fronte di una riduzione della domanda. Alla dinamica quantitativa si è unita infatti una profonda evoluzione delle preferenze e dei gusti dei consumatori che anche nel segmento dei vini più economici manifestano una attenzione sempre più marcata al rapporto qualità/prezzo e alla diversificazione dei profili sensoriali dei vini. Tale fatto diviene ancor più evidente nel segmento dei vini di maggiore pregio e prezzo dove, accanto ad una elite di consumatori sensibili al valore di marche esclusive percepite come status symbol, si è sviluppata sempre di più una domanda sensibile al fascino della ricerca di tipicità legate al territorio e dell'eccellenza sensoriale come frutto

del lavoro di una comunità di produttori associato a vini style symbol (Spawton, 2005; Codeluppi, 2000).

L'evoluzione della domanda, unitamente ad altri fenomeni, sia interni sia esterni al comparto del vino, riconducibili all'evoluzione dei sistemi di produzione e distribuzione nel mercato delle bevande e al costante ampliamento del ruolo della grande distribuzione nella commercializzazione del vino, hanno accelerato nel nuovo decennio un'evoluzione della struttura imprenditoriale. Questa ha tra i suoi aspetti macroscopici il consolidamento di operatori di grandi e medio-grandi dimensioni specializzati nel vino, la penetrazione nel mercato del vino delle multinazionali delle bevande, e, contemporaneamente, il consolidamento di una galassia di piccole e piccolissime imprese focalizzate su specifiche nicchie di mercato (Pomarici e Sardone, 2008).

Di particolare interesse, per comprendere le opportunità e gli scenari evolutivi del settore vitivinicolo, è l'analisi effettuata nel 2007 su un campione di aziende vitivinicole italiane leader che hanno saputo nel tempo conseguire e mantenere dei vantaggi competitivi di costo o di differenziazione, tali da assumere una posizione privilegiata sui mercati (Nomisma, 2007). Dal punto di vista della forma di conduzione, il campione selezionato comprende sia società di capitali, che aziende cooperative e consortili, tutte comunque di grandi dimensioni e dislocate principalmente nel Centro-Nord Italia, seppure con una forte presenza su tutto il territorio nazionale. Le aziende del panel differiscono anche in modo marcato in termini di organizzazione della rete distributiva e per la rilevanza dell'export sui fatturati, ancorchè per tutte, indistintamente, la diversificazione del mercato di vendita abbia rappresentato e rappresenti tuttora un elemento di forte caratterizzazione strategica.

Tra i principali chiavi di successo che hanno permesso alle aziende di perseguire buoni risultati, più della metà di esse pone al primo posto l'aggiornamento delle tecniche di produzione lungo tutta la filiera: dal reimpianto dei vigneti, all'uso di tecnologie innovative sia nella fase agricola che di trasformazione. Tali fattori oltre che migliorare il grado di efficienza economica dei processi e la qualità del prodotto finale, rappresentano, infatti, anche una formidabile leva di marketing per rafforzare il marchio e l'immagine dell'azienda nei mercati di riferimento.

Per quanto concerne, infine, gli obiettivi da perseguire nel medio periodo per mantenere ed espandere la propria presenza sul mercato, il profilo che emerge dalle risposte degli intervistati mostra in maniera inequivocabile che la ricerca della qualità della produzione è un “must” per le aziende del settore viticolo. La diversificazione dei mercati e lo sviluppo della rete distributiva appaiono, in questo senso obiettivi secondari. Importante è, altresì, il contenimento dei costi e soprattutto la tutela ambientale, tema, quest’ultimo che, anche alla luce delle recenti normative comunitarie, sta divenendo fondamentale per assicurare uno sviluppo equilibrato e sostenibile delle produzioni vitivinicole. Vale la pena di sottolineare come in materia di certificazione DOC, il quadro che emerge dalle interviste sembra offrire sostanzialmente due posizioni su tutte. La prima è che la certificazione è ancora uno strumento valido per le imprese leader, mentre l’altra limita la valenza della certificazione solo per le vendite sui mercati emergenti.

A conclusione di questo capitolo sul comparto vitivinicolo italiano occorre sottolineare come la principale sfida che attende il settore sia rappresentata dalla capacità di ricomporre gli interessi variegati e talvolta contrastanti delle differenti categorie di attori, in una visione strategica che dia fiducia in un nuovo sviluppo del mercato, in grado di garantire tutti opportunità e prospettive. A parte il problema della mediazione tra tanti interessi, risulterà ugualmente indispensabile concepire, anche dal punto di vista tecnico e tecnologico modelli di intervento che tengano conto di esigenze e specificità tra loro molto diverse e che sappiano coniugare le politiche agroindustriali con il rispetto dei principi di eticità e sostenibilità.

4.2 Una nuova strategia delle produzioni viti-vinicole: la viticoltura di precisione

Nel settore vitivinicolo, si avverte ormai la necessità di mettere a punto una strategia utile, capace di rendere produttivo, redditizio ed ecocompatibile il sistema delle produzioni enologiche, attraverso il passaggio da un'agricoltura "generalizzata" all'intera superficie aziendale (concimazione, irrigazione, diserbo, varietà, densità di semina uniformi) ad una "sito-specifica" che parta da una conoscenza dettagliata dell'ambiente e sappia accordare l'uso dei fattori produttivi alle caratteristiche specifiche locali.

E' in questa logica che si inserisce la viticoltura di precisione, "*precision viticulture o viticulture raisonnée*" che si può sinteticamente definire come un approccio gestionale e produttivo sito-specifico finalizzato, da un lato, a massimizzare il potenziale enologico dei territori, e dall'altro all'ottimizzazione degli input in un'ottica di minimizzazione dei costi e di salvaguardia ambientale.

La sfida quindi della moderna viticoltura è quella di utilizzare le moderne tecnologie sia per identificare i processi alla base della produzione che per gestire la variabilità spazio-temporale, al fine di massimizzare i ricavi economici, sempre nel rispetto dei vincoli ambientali.

Il settore vitivinicolo italiano, essendo uno dei comparti dell'agricoltura italiana in grado di produrre qualità ed avere un buon riscontro sul mercato, risulta molto sensibile alle nuove proposte tecnologiche ed agli eventuali aggiornamenti che possono arrivare in questo campo proprio per il fatto che un prodotto di qualità deve essere supportato da sistemi avanzati adeguati.

Anche l'attenzione nei confronti della tutela delle risorse naturali vede un cambiamento culturale in atto nel mondo dei produttori e dei coltivatori. L'obiettivo di molti viticoltori sta diventando quello di migliorare la produzione nel rispetto dell'ambiente con una ottimizzazione degli input immessi per ottenere un incremento delle qualità che nello stesso tempo si accompagna con un aumento del reddito, fattore trainante in qualsiasi processo di cambiamento di strategia di produzione.

Oltre a questi aspetti la viticoltura moderna cerca di comunicare al consumatore la qualità del proprio prodotto ed il valore del territorio che lo produce. Le aziende viti-vinicole sono quindi sempre più attente alla sostenibilità ambientali delle produzioni ed all'uso di tecnologie innovative per adeguarsi inoltre a quello che le nuove politiche agricole richiedono in materia di tutela ambientale.

Basti pensare che tra tutte le colture agrarie in Europa, la vite è quella che richiede i quantitativi più elevati di anticrittogamici (fungicidi). Dati riferiti a qualche anno fa, riportano che l'utilizzo di fungicidi, insetticidi ed erbicidi in agricoltura era intorno alle 258 mila tonnellate all'anno, corrispondenti a circa sei miliardi di euro di spesa. La viticoltura da sola rappresentava il 40% di quei valori (Bavaresco, 2009).

La normativa internazionale sta tracciando in questi anni le linee guida per le aziende vitivinicole che desideravano produrre in maniera ecocompatibile, adottando tecniche colturali che oltre alla qualità garantiscano la salubrità delle uve, il rispetto dell'equilibrio vegeto-produttivo della piante, la tutela dell'ambiente e dell'uomo.

In materia di sostenibilità ambientale delle produzione l'Organizzazione Internazionale della Vigna e del Vino (OIV), l'organizzazione scientifica e tecnica mondiale di riferimento per la vite e il vino, con la "Risoluzione CST 1-2004", definisce la vitivinicoltura sostenibile come un *"approccio globale commisurato ai sistemi di produzione e di trasformazione delle uve, associando contemporaneamente la longevità economica delle strutture e dei territori, l'ottenimento di prodotti di qualità, la presa in considerazione delle esigenze di una viticoltura di precisione, dei rischi legati all'ambiente, alla sicurezza dei prodotti, alla salute e dei consumatori e la valorizzazione degli aspetti patrimoniali, storici, culturali, ecologici e paesaggistici"*.



Figura 4.11 - Definizione OIV di viticoltura sostenibile

Riguardo gli Aspetti ambientali, la Risoluzione OIV CST 1/2008, stabilisce i principi generali e le linee direttrici per una produzione sostenibile a livello ambientale di ognuna delle attività relative alla produzione di vino.

Nella Risoluzione 2008 si ribadisce che per mettere in atto un approccio sostenibile è *necessario sviluppare degli strumenti di diagnosi attraverso una viticoltura di precisione che miri all'ottimizzazione delle tecnologie in funzione delle specificità di ogni parcella (ammendamento, irrorazione), nonché attraverso la creazione, quando possibile, di metodi biologici e biotecnologici basati su meccanismi di regolazione naturale.*

Come riportato dalle linee guida OIV alla viticoltura sostenibile, le attività del settore della vite e del vino dipendono molto dalle risorse naturali quali l'energia solare, il clima, l'acqua, il terreno ed anche dalla integrazione completa di questi elementi con i processi ecologici. Di conseguenza, è un dovere proteggere e preservare questo bene naturale attraverso le pratiche di sviluppo sostenibile per la durata a lungo termine delle attività vitivinicole.

L'OIV quindi, nell'ambito dell'armonizzazione della normativa internazionale, raccomanda agli Stati membri di fare riferimento a questa guida come base per lo sviluppo, l'aggiornamento e/o, se necessario, la revisione dei disciplinari nazionali o regionali per gli aspetti ambientali di una vitivinicoltura sostenibile rispetto alla produzione e alla trasformazione dell'uva così come rispetto al condizionamento dei prodotti.

4.2.1 *Principi della viticoltura di precisione*

I vigneti, come altri ambienti agrari, presentano un'elevata variabilità delle proprie caratteristiche biofisiche ed i numerosi fattori che le definiscono possono essere classificati in "statici", come il clima ed alcune grandezze che descrivono le proprietà di un suolo (ad esempio: tessitura, pH, contenuto in carbonati, profondità, ecc...), e "dinamici", come i valori termici ed idrici dei suoli, il contenuto di elementi nutritivi e l'andamento climatico annuale.



Figura 4.12 - Schema del concetto di viticoltura di precisione

Le caratteristiche dei vigneti, determinate dall'interazione tra andamento meteorologico, suolo e pratiche colturali, presentano, oltre ad una variabilità spaziale, anche una variabilità temporale e determinano in modo sostanziale le risposte vegeto-produttive e qualitative della vite. Le pratiche colturali dovrebbero pertanto essere modulate in funzione della variabilità spaziale presente sul territorio e quindi legate alle reali esigenze della coltura. Il concetto di viticoltura di precisione o sito-specifica, si basa su una gestione differenziata della coltura in relazione alle caratteristiche dell'ambiente di coltivazione.

Il termine "viticoltura di precisione" include inoltre una vasta gamma di strumenti e tecnologie che permettono ai viticoltori e ai produttori viti-vinicoli di essere più informati sulle caratteristiche produttive del vigneto ed indirizzare così al meglio le proprie strategie di gestione.

La VdP è un approccio nelle produzioni viticole che riconosce come la produttività dei vigneti, e delle zone all'interno di un medesimo vigneto, può essere per propria natura variabile. E' per questo che la gestione del vigneto viene condotta a "zone" che hanno caratteristiche simili in termini di performance produttive.

I motivi principali che spingono all'utilizzo di queste tecnologie sono dunque finalizzati a:

- Identificare le zone omogenee, all'interno di uno stesso vigneto, che hanno le stesse caratteristiche di sviluppo vegeto-produttivo.
- Quantificare come queste aree, o zone, all'interno dello stesso vigneto producono e si manifestano.
- Usare i dati e le informazioni per capire le ragioni di diversi comportamenti nell'accrescimento e nelle produzioni.
- Prendere le decisioni migliori per una gestione finalizzata ad aumentare l'efficienza, la convenienza economica e la sostenibilità ambientale.

L'applicazione della VdP consiste quindi in un processo ciclico continuo (Bramley, 2001) che comprende tre fasi (Fig.4.13):

- Osservazioni e raccolta dati
- Interpretazione e valutazione dei dati
- Attuazione dei piani di gestione

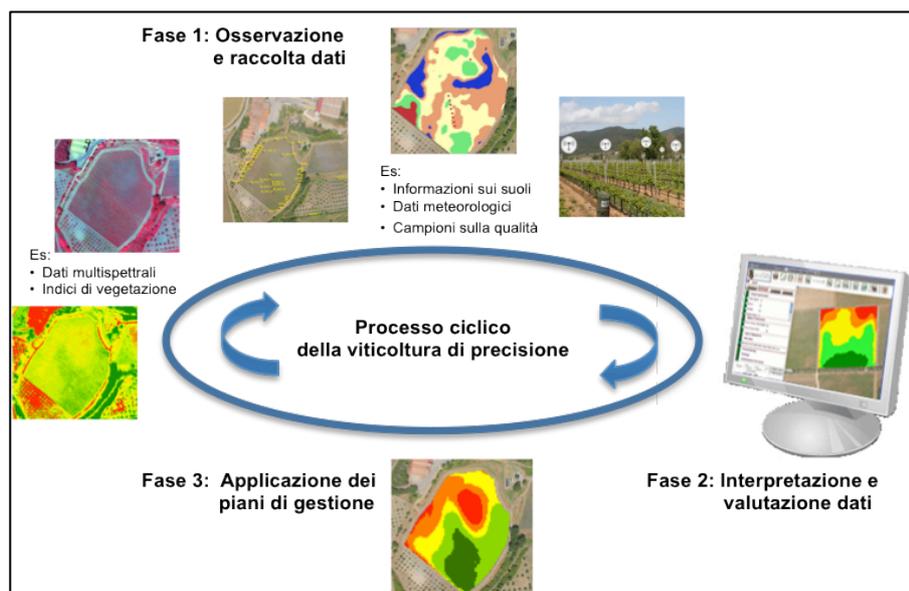


Figura 4.13 - Le tre fasi del processo ciclico della viticoltura di precisione (rielaborazione da Bramley, 2001)

Questo processo può essere migliorato in ogni fase in base ai risultati che si ottengono in ciascun passaggio o alla fine di ogni ciclo per aumentare l'efficienza degli interventi di gestione. Interventi agronomici che saranno valutati in base ai risultati raggiunti alla fine del ciclo di produzione annuale in termini di miglioramento delle qualità e dell'uso efficiente ed efficace delle risorse impiegate nel ciclo di sviluppo delle piante.

C'è da sottolineare che i vigneti, appartenendo ad un sistema di produzione composto da piante perenni (il ciclo è di circa 30 anni), si prestano perciò bene all'applicazione di tecniche di agricoltura di precisione poiché danno l'opportunità di effettuare osservazioni sul lungo periodo potendo così ripetere o modificare le pratiche di gestione per migliorarne l'efficienza.

4.2.2 Osservazioni e raccolta dati

Il processo dell'applicazione delle strategie di gestione sito-specifica incomincia con le osservazioni su come si sono sviluppate le piante e come producono utilizzando a tale scopo le informazioni già in possesso delle aziende o raccogliendo nuovi dati che possono essere acquisiti con diversi strumenti e tecniche disponibili in agricoltura. La scelta degli strumenti più idonei per le osservazioni dipende dalla loro disponibilità, dal loro costo e dalla difficoltà di utilizzo. La tipologia di dati, le modalità ed il tempo necessario per la

loro acquisizione sono fattori che incidono notevolmente sulla validità degli stessi e sull'interpretazione dei risultati delle analisi.

Se un tempo gli agricoltori basavano tutto il proprio lavoro su osservazioni empiriche che gli permettevano di scegliere i giusti momenti per effettuare le operazioni agronomiche indispensabili per ottenere un'uva idonea a soddisfare gli obiettivi enologici prefissati, oggi nelle realtà aziendali che introducono la strategia di gestione sito-specifica, l'osservazione diretta è sempre di più integrata strumenti che vanno dalla semplici stazioni meteorologiche a sofisticati strumenti di acquisizione dei dati a diversa scala spazio-temporale.

La tecnologia di rilevazione impiegata in viticoltura, sia dei parametri meteorologici sia di altri fattori biofisici, ha compiuto un notevole balzo in avanti negli ultimi decenni. La raccolta dei dati può essere fatta con molti strumenti che ormai sono a disposizione a livello aziendale (pensiamo alle semplici capannine meteorologiche), a livello dei servizi di assistenza agli agricoltori (servizi per la fornitura previsioni meteo), dalle associazioni di categorie e da grandi consorzi che investono in tecnologie più avanzate (telerilevamento, proximal sensing, analisi di laboratorio).

Ancora una volta il loro uso, nelle diverse realtà vitivinicole italiane, dipende dal costo, dalla tempistica con cui queste osservazioni sono disponibili e dal supporto che viene dato per la corretta interpretazione dei risultati per poter prendere delle decisioni sugli interventi agronomici e operativi da effettuare in campo.

4.2.3 Interpretazione e valutazione dei dati

Una volta che i dati vengono raccolti, questi devono essere valutati e interpretati. Mentre un'analisi esplorativa può essere condotta con semplici software di elaborazioni dati come i fogli di calcolo, le analisi di dati spaziali, insieme alla loro contestuale visualizzazione, richiedono l'utilizzo di software più professionali quali ad esempio i software GIS o software ancora più mirati all'elaborazioni di immagini telerilevate acquisite da diverse piattaforme.

C'è da considerare che gli strumenti di elaborazione dei dati, da soli non servono a dare delle corrette interpretazione dei fenomeni osservati. Spesso sono il solo mezzo attraverso il quale è possibile estrarre delle informazioni da data set molto complessi ma la correttezza del processo di elaborazione e la valutazione dei risultati ottenuti dipende in gran parte dall'esperienza di campo e dalla conoscenza agronomica degli aspetti legati

all'ambiente di sviluppo della coltura. Nel processo di interpretazione e valutazione oggi più che mai riveste un ruolo fondamentale il viticoltore che più di ogni altro, basandosi sulle proprie osservazioni empiriche e sulle conoscenze acquisite nel corso degli anni, ha da sempre deciso quali interventi agronomici effettuare per ottimizzare le produzioni. Il coinvolgimento nelle attività di sperimentazione e ricerca di agronomi di campo ed enologi diviene quindi strategico per l'interpretazione corretta di alcune particolarità che emergono dai risultati delle elaborazioni dei dati e che spesso altre figure professionali non sanno cogliere nella loro specificità.

4.2.4 Applicazione dei piani di gestione

La gestione, che sta alla base dei principi di viticoltura di precisione, non viene più effettuata in maniera uniforme su l'intero vigneto ma, in base alle informazioni raccolte, viene indirizzata su aree con caratteristiche omogenee. Vista la variabilità inter-annuale è consigliabile monitorare lo sviluppo del vigneto su almeno un paio di anni prima di cambiare strategie di gestione.

La gestione mirata può interessare sia i tempi di somministrazione sia le quantità di input da somministrare come ad esempio l'acqua, i fertilizzanti, i fitofarmaci, il lavoro richiesto per le operazioni colturali, l'impiego delle macchine agricole, la raccolta selettiva alla vendemmia. Nella realtà italiana, ancora alle prime esperienze nell'adozione sistematica di pratiche di viticoltura di precisione, la presa di decisione per gli interventi è ancora molto ancorata alle conoscenze storiche dell'ambiente viticolo ed il cambio di strategia gestionale basata sulla variabilità intra-vigneto in molte aziende è ancora in fase sperimentale. Gli interventi sui piani di gestione riguardano spesso il breve periodo, grazie alle osservazioni di monitoraggio meteorologico in tempo reale, piuttosto che strategie gestionali di lungo periodo i cui benefici in termini economici non sono ancora facilmente misurabili.

Il trasferimento dei risultati della ricerca avanzata in viticoltura di precisione può sicuramente dare un notevole contributo a consolidare le conoscenze del sistema suolo, pianta e ambiente per agevolare un passaggio a questa nuova strategia di gestione anche per il lungo periodo.

4.2.5 La variabilità nei vigneti

La variabilità all'interno di un vigneto si ripercuote fortemente sulle rese e sulla qualità dei prodotti. Sebbene la percezione della variabilità sia spesso un dato acquisito per il viticoltore, la sua quantificazione è complessa e ancor di più lo è l'individuazione di meccanismi che consentano di controllarla per migliorare le performance produttive. Conoscere la variabilità significa saperla gestire ovvero essere in grado di aumentare l'efficienza nella somministrazione dell'irrigazione e dei fertilizzanti, diminuire gli impatti ambientali e aumentare il valore delle produzioni.

All'interno di uno stesso vigneto possiamo distinguere due tipi di variabilità: la variabilità spaziale e la variabilità temporale.

4.2.5.1 La variabilità spaziale

La variabilità spaziale può essere imputata a molti fattori di natura fisica, chimica e ambientale.

Fra i fattori che determinano la variabilità spaziale distinguiamo la morfologia del territorio (esposizione, pendenze), le caratteristiche dei suoli, le pratiche di gestione agronomica, lo stato fitosanitario delle piante, il micro-clima.

La variabilità spaziale influenza lo sviluppo delle piante e le pratiche di gestione. In sintesi possiamo dire che la conoscenza della variabilità spaziale dei vigneti ha influenza su:

- sviluppo radicale delle piante;
- scelta dei sistemi di irrigazione in funzione delle caratteristiche dei suoli;
- quantità di fertilizzanti e modo di somministrazione;
- gestione agronomica e controllo delle infestanti;
- preparazione del terreno per l'applicazione delle tecniche agronomiche;
- scelta del sesto di impianto;
- sui rendimenti e qualità della produzione.

La ricerca in agricoltura mette a disposizione dei viticoltori una serie di tecnologie che consentono di delineare la variabilità spaziale in tempi brevi e a prezzi sempre più competitivi. Le tecnologie più usate in viticoltura si basano sull'acquisizione di misure della riflettanza spettrale, sulle mappe di resa e sull'uso di sensori di tipo geofisico.

4.2.5.2 *La variabilità temporale*

La variabilità temporale è invece riconducibile a fattori quali l'andamento delle condizioni meteorologiche fra annate diverse e all'interno del medesimo anno o al manifestarsi di fenomeni eccezionali e/o occasionali quali ad esempio le gelate o fenomeni di stress idrico.

Anche l'incidenza delle malattie delle piante e di attacchi parassitari, il cambiamento delle tecniche di gestione del vigneto in diverse annate sono fenomeni che influiscono sulla variabilità temporale dei vigneti. Chiaramente le condizioni meteorologiche sono strettamente correlate anche allo sviluppo degli agenti patogeni e quindi alle rese delle colture ed in generale su tutto il ciclo di sviluppo delle piante.

La variabilità temporale ha forti ripercussioni sulle qualità delle uve, qualità che abitualmente viene valutata attraverso degli indici ben conosciuti nel settore vitivinicolo quali:

- il contenuto di zucchero nelle uve (°Brix)
- l'acidità totale (pH)
- la quantità di acido tartarico (g/l)
- il colore (antociani e polifenoli in mg/g per peso della bacca)
- il peso delle bacche

Gli indicatori di qualità sono utilizzati dai produttori per determinare l'uso finale del prodotto raccolto e quindi indirizzare le scelte enologiche di produzione.

I valori di questi indicatori al momento della raccolta, in particolare il coefficiente di variabilità (CV %), sono forniti da studi fatti in enologia e viticoltura e sono utilizzati per monitorare le qualità della vendemmia ai fini delle produzioni di vino.

Ma la variabilità di questi indici non dà alcuna indicazione sulla distribuzione spaziale della variabilità dei parametri di qualità.

Infatti la misura della variabilità spaziale delle qualità viene effettuata con metodi di campionamento e con analisi statistiche per poter ricavare mappe della variabilità delle qualità.

Recentemente sono stati introdotti nuovi metodi che incrociano i valori di vigoria delle piante (sviluppo vegetativo) e parametri qualitativi. Anche in questo studio, nel capitolo relativo ai risultati finali, saranno riportati alcuni risultati della ricerca relativi alle correlazioni fra indici di vegetazione derivati da telerilevamento e parametri di qualità per

la definizione di mappe tematiche di vigoria utilizzabili per la vendemmia selettiva basata sulla variabilità spaziale delle qualità delle uve.

4.2.6 Cosa significa gestire la variabilità

Gestire concretamente la variabilità significa conoscere quali sono i fattori che influenzano qualità e resa e in che misura questi possono essere modificati dalla gestione agronomica.

Lo stato delle chiome, così come la mappa di resa, sono il risultato dell'effetto integrato delle condizioni climatiche e pedologiche ma anche dello stato fitosanitario, della disponibilità di nutrienti e dello stress idrico.

L'integrazione di questi dati con uno strato di informazione riguardante la variabilità spaziale, specialmente quella del suolo, risulta estremamente utile per separare i fattori di variazione.

Le informazioni ottenute con questo tipo di indagini hanno ovviamente moltissime applicazioni gestionali. In primo luogo caratterizzare la variabilità spaziale permette di valutare se l'azienda possa o meno ricorrere a tecniche di viticoltura di precisione. La possibilità di definire zone di gestione uniformi, macro-aree cioè in cui il suolo può essere ritenuto relativamente omogeneo, è infatti un requisito fondamentale per poter implementare tecniche di gestione sito-specifiche. Le diverse possibilità di applicazione dipendono dal momento colturale in cui viene effettuata l'indagine ma certamente, senza adottare alcun ulteriore investimento tecnologico, si può monitorare in maniera più efficace l'andamento della qualità selezionando – in base alla mappa di variazione del suolo – i punti di campionamento delle uve per l'analisi qualitativa.

Le ricadute a livello pratico sono quelle menzionate nei principi della viticoltura di precisione, basati essenzialmente sulla conoscenza della variabilità, finalizzate alla qualità e sostenibilità ambientale delle produzioni.

4.3 STRUMENTI PER LA VITICOLTURA DI PRECISIONE

La tecnologia moderna per monitoraggio ambientale in viticoltura ha messo a punto molteplici strumenti per la classificazione del territorio quali il telerilevamento, le tecnologie di monitoraggio dei parametri agro-meteorologici, i sistemi per la trasmissione, archiviazione ed analisi statistica dei dati, i Sistemi Informativi Geografici e la modellistica. Questi strumenti sono in grado di raccogliere molte informazioni, anche apparentemente difficili da coniugare, e possono essere utilizzati in modo integrato per offrire al viticoltore il quadro più esauriente possibile per indirizzare i propri interventi, volti ad ottenere una produzione di qualità, nel rispetto dell'ambiente e della sua sostenibilità. In particolare la conoscenza del livello qualitativo delle produzioni prima della maturazione è di primaria importanza per pianificare l'attività di vendemmia al fine di indirizzare verso la vinificazione popolazioni di uve che siano il più possibili omogenee. L'analisi del vigore vegetativo delle piante attraverso le varie tecniche di telerilevamento può inoltre indirizzare le pratiche agronomiche relative alla somministrazione di input in sia in termini di maggior efficienza degli interventi sia per una somministrazione più limitata di agro-farmaci apportando benefici in termini economici ed ambientali.

4.3.1 GPS - Global Position System

La gestione sito-specifica richiede informazioni di elevata accuratezza e precisione geometrica specialmente quando i dati puntuali devono essere trasferiti su macchine operatrici ad alta specializzazione operativa per operazioni colturali nei vigneti. Il Global Position System (GPS), un sistema di posizionamento geografico automatico che fornisce dati di latitudine, longitudine e quota, è ormai uno strumento in largo uso su trattrici, trapiantatrici, erogatori di fitofarmaci a rateo variabile, vendemmiatrici di precisione, defogliatrici.



Figura 4.14 - Trapiantatrice equipaggiata con sistema di guida satellitare.



Figura 4.15 – Sensore CropCircle e DGPS-RTK

Data la natura degli impianti dei vigneti (spazio interfila e distanza fissa delle piante) si può ben capire come sia richiesta una precisione centimetrica per operare correttamente in campo (Fig. 4.14). In viticoltura di precisione è largamente diffuso l'uso dei GPS differenziali (DGPS) con tecnologia RTK (*Real Time Kinematic Differential*) in grado di fornire una precisione fino a 1,5 cm.. Un esempio è dato dal laboratorio mobile per il monitoraggio colturale dei vigneti (Fig. 4.15), allestito dal DEISTAF di Firenze, provvisto di sensore di riflettanza CropCircle, computer di bordo 8" e sistema satellitare DGPS-RTK. Il GPS differenziale, attraverso il collegamento ad una stazione ricevente fissa in posizione nota, calcola l'errore corrente che grava sul segnale ricevuto localmente (Fig. 4.16).

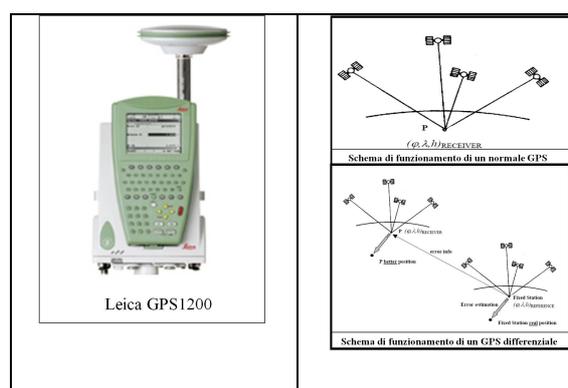


Figura 4.16 - Dispositivo GPS e rappresentazione del sistema di acquisizione del dato.

Anche per risolvere i problemi di ortorettifica delle immagini telerilevate da piattaforma aerea o da droni telecomandati è opportuno utilizzare punti di controllo a terra acquisiti

con tale strumento. Infatti molto spesso i vigneti si trovano su aree morfologicamente complesse e si dispone di pochi punti idonei come Ground Control Point (GCP) per la correzione geometrica delle immagini acquisite. Al fine di ottenere immagini con un elevatissimo grado di precisione è quindi opportuno effettuare una serie di rilievi tramite l'utilizzo di un GPS differenziale (DGPS). Nel caso applicativo presentato in questo lavoro sarà illustrata la metodologia utilizzata nella fase di pre-processing per la correzione geometrica delle immagini acquisite da aereo ultraleggero.

4.3.2 GIS e gestione dei dati

I software GIS ed i processi di elaborazione ed analisi dei dati spaziali sono ormai correntemente utilizzati nella pratica professionale e nelle attività di ricerca in viticoltura. I software GIS negli anni sono diventati sempre più conviviali per operatori anche non specializzati in scienze geomantiche ma ciò non toglie che si possono raggiungere gradi avanzati di analisi a seconda delle funzioni disponibili nella piattaforma informatica utilizzata.

Negli ultimi anni abbiamo inoltre assistito alla diffusione di Software Open Source quali ad esempio GRASS, QGis, GVsìg con diverso grado di complessità a seconda delle funzioni di analisi geospaziali disponibili. Questo fenomeno ha sicuramente contribuito ad ampliare notevolmente gli utilizzatori e a far comprendere meglio i vantaggi nella gestione e rappresentazione geografica delle informazioni in agricoltura.

Siamo comunque già in un'era in cui le funzioni proprie dei software desktop GIS si stanno, almeno quelle che possiamo definire di base, espandendo verso piattaforme distribuite su web. La tecnologia dell'informazione e delle comunicazioni hanno sicuramente aperto la strada alla evoluzione delle applicazioni geomatiche ad un largo pubblico di utenti e facilitato l'interoperabilità di sistemi e dati. Si potrebbe parlare molto a lungo dei principi, delle funzionalità, delle componenti, delle metodologie e delle applicazioni dei Sistemi Informativi Geografici in agricoltura ed in viticoltura ma sarebbe una dissertazione che nel contesto di questo paragrafo non riuscirebbe in ogni caso a presentare, anche se in modo sintetico, quello che la vasta letteratura in materia offre per ogni livello di applicazione specifica. In questo elaborato invece, appunto nella descrizione di un sistema WebGIS sviluppato per la viticoltura di precisione, saranno trattate in maniera più approfondita le caratteristiche dei Sistemi Informativi Geografici distribuiti.

4.3.3 Telerilevamento aereo

I sistemi di osservazione remota, sia da satellite che da piattaforma aerea (*remote sensing*) che da supporti terrestri (*proximal sensing*) sono destinati a diventare la principale fonte di informazioni per il controllo e la gestione dei vigneti, permettendo l'aggiornamento continuo dei piani informativi e fornendo prodotti per applicazioni operative in campo. Grazie alle migliori tecniche di acquisizione ed al contenimento dei costi, questi sistemi sono ormai il routinario complemento di molte analisi e procedure di valutazione che vengono svolte con metodologie tradizionali. Le potenziali applicazioni del telerilevamento in agricoltura devono comunque essere valutate sulla base delle caratteristiche dei sensori e dei satelliti, e sulla loro appropriatezza a rappresentare il mondo reale e soddisfare le esigenze operative e le priorità degli utenti finali. In particolare l'applicabilità del telerilevamento (*remote sensing*) al monitoraggio dei processi ecofisiologici dipende da tre importanti elementi: le caratteristiche elettromagnetiche, la risoluzione spaziale e la risoluzione temporale.

Esiste una ricca bibliografia che testimonia come le immagini satellitari non siano sempre in grado di fornire la risoluzione spaziale e temporale (tempo di ritorno) necessaria per applicazioni operative in viticoltura di precisione. A seguito di ciò, l'uso di immagini digitali da piattaforma aerea sta rapidamente diffondendosi, in quanto questa tecnologia è in grado di evidenziare lo stadio di crescita, la fase fenologica ed è quindi in grado di supportare decisioni di gestione del vigneto anche a livello operativo. Oggi grazie al telerilevamento da aereo è possibile colmare numerose lacune dei sistemi esistenti ed in particolare:

- lavorare a risoluzioni elevate, dell'ordine delle decine di centimetri potendo così discriminare l'informazione proveniente dallo spazio interfilare rispetto a quella della vegetazione;
- scegliere con maggior esattezza la tempistica dei passaggi aerei, svincolandosi dalla cadenza spesso inadeguata delle rilevazioni satellitari, che incorrono inoltre nei problemi dovuti alla copertura nuvolosa;

La viticoltura moderna, che si basa su produzioni di elevato standard qualitativo può trarre grande vantaggio da questo contesto tecnologico riuscendo ad assicurare un controllo più completo di tutte le fasi della filiera produttiva. Va ricordato, infine, che ad oggi gli indicatori di produzione e qualità interferiscono tra di loro anche se queste relazioni

variano significativamente tra un vigneto e l'altro e spesso all'interno dello stesso vigneto. A ciò si aggiunge che frequentemente le aree a bassa ed alta produttività all'interno di un vigneto rimangono stabili nel tempo, così da suggerire un significativo ruolo delle condizioni ambientali, soprattutto pedologiche, sulla variabilità.

- *Indici di vegetazione dalle immagini telerilevate*

Il contributo di specifici indici vegetazionali all'agricoltura è stato ampiamente studiato e dimostrato. Generalmente gli indici relativi alla vegetazione sono legati alla lunghezza d'onda relativa ai pigmenti fotosintetici nella porzione Rosso del visibile, e all'Infrarosso Vicino (Fig.4.17 e Fig. 4.18).

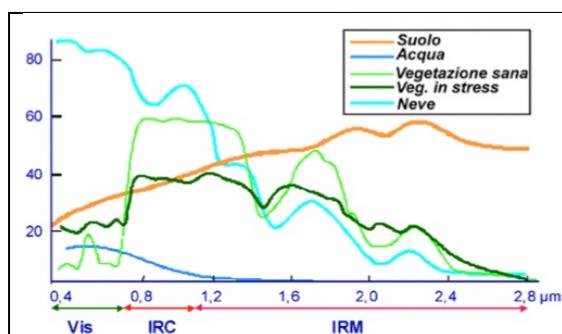


Figura 4.17 - Caratteristiche firme spettrali della copertura del suolo.

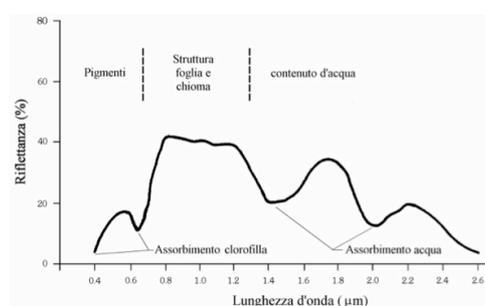


Figura 4.18 - Firma spettrale della vegetazione.

Gli indici spettrali vegetazionali riducono i valori multispettrali di ogni pixel dell'immagine a un singolo valore numerico (index), e ne sono stati sviluppati vari con lo scopo di evidenziare i cambi delle condizioni vegetative.

Gli indici di vegetazione più utilizzati a tale scopo sono due (Hall, 2002): l'indice NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e l'indice RVI (*Ratio Vegetation Index*) chiamato anche PCD (*Plant Cell Density*) (Proffitt, 2006) entrambi adimensionali.

Il più utilizzato è senza dubbio il Normalised Difference Vegetation Index (NDVI) che viene ricavato in base alla seguente relazione:

$$(R_{NIR} - R_{RED}) / (R_{NIR} + R_{RED})$$

dove RNIR e RRED sono rispettivamente le riflettanze nelle bande del vicino infrarosso e rosso. Il valore di NDVI è un valore compreso fra -1 e +1 (Drissi, 2009; Jarocinska e Zagajewski, 2009), ed è l'indice più usato come indicatore del vigore della pianta o di biomassa relativa. Per aree altamente vegetate, il valore NDVI sarà un valore vicino

all'unità, mentre per aree non vegetate sarà vicino a 0. Un vantaggio importante di questo tipo di indici è che l'intensità della luce totale riflessa non influenza il calcolo. Un oggetto o una pianta in ombra avrà una riduzione di luce riflessa approssimativamente uguale su tutto lo spettro elettromagnetico. Quindi attraverso l'uso di indici vegetazionali, le ombre, che altrimenti sarebbero un problema significativo in immagini come quelle di vigneti con filari vicini l'uno all'altro, sono efficacemente ridotte.

L'indice RVI o PCD è invece calcolato a partire dalla formula:

$$PCD.RVI = NIR/red$$

dove NIR e *red* corrispondono rispettivamente al valore di riflettanza nelle due diverse lunghezze d'onda.

I valori di questo indice, concettualmente più facile da ottenere, sono elevati per biomassa fotosinteticamente molto attiva e bassi per situazioni opposte.

Entrambi gli indici sono correlati con la quantità di biomassa per unità di superficie fogliare (LAI) del vigneto e inoltre con il vigore delle piante (Mazzetto, 2009).

Alcune differenze nella firma spettrale delle caratteristiche della foglia e della fenologia, come il rapporto forma e dimensione, suggeriscono che è possibile discriminare tra questi elementi anche attraverso mappe dedicate, utilizzando tecniche di telerilevamento ad alta risoluzione. Le differenze comunque in molti casi possono essere talmente piccole che la risoluzione delle immagini satellitari non riescono ad evidenziarle, per questo motivo in viticoltura di precisione le ricerche sono orientate verso l'uso di immagini acquisite da sensori multispettrali montati su aerei ultra leggeri o droni telecomandati.

Prendendo in ogni caso come base l'elaborazione dell'NDVI è possibile calcolare una serie di parametri secondari che possono essere quindi utilizzati come dati di input per modelli di simulazione di crescita, come l'evapotraspirazione e l'efficienza fotosintetica (Myneni, 1997).

4.3.4 Sensori e reti di monitoraggio a scala locale

Numerosi studi dimostrano come le variabili meteorologiche e micrometeorologiche ricoprono un importante ruolo sulla risposta vegeto-produttiva della vite e di conseguenza sulla qualità delle produzioni.

Il clima riveste un ruolo di primaria importanza, infatti i fattori che determinano la qualità delle uve prodotte dal vigneto sono riconducibili all'ambiente di coltura. Possiamo

definire il clima come la successione delle condizioni atmosferiche nell'anno, tipica di un dato punto della superficie terrestre. Gli elementi che lo definiscono, per quanto concerne i parametri fisici misurabili, sono: la radiazione solare, la temperatura, la pressione atmosferica, le precipitazioni. Diversi sono i metodi che hanno preso in considerazione le variabili climatiche più importanti al fine di stabilire la diversa predisposizione enologica dei territori, soprattutto allo scopo di individuare i vitigni che meglio vi si possono adattare.

In particolare la radiazione solare e la temperatura a livello del grappolo sono riconosciuti in bibliografia come parametri fondamentali per la composizione e il metabolismo degli acini, direttamente in relazione con la produzione degli zuccheri, ma anche di altri metaboliti secondari che caratterizzano la qualità delle uve (Spayd, 2002). Considerata l'importanza dei parametri micro-meteorologici ai fini del risultato qualitativo, in un contesto di viticoltura di precisione, la conoscenza della loro variabilità all'interno del vigneto ed dei fattori che stanno alla base di questa variabilità, diventa fondamentale per comprendere ed applicare la strategia di gestione migliore.

In questo quadro, le tecnologie che utilizzano reti di sensori wireless (WSN), possono essere utili ed efficaci per consentire il monitoraggio remoto e in tempo reale dei parametri micrometeorologici.



Figura 4.19 - Rete di sensori wireless in vigneto

Una WSN (Wireless Sensor Network) è composta da vari moduli-sensore collegati ad un nodo attraverso un ponte radio, che trasmette i dati dai moduli ad una stazione base in cui sono memorizzati i dati (Fig. 4.19). Nella viticoltura di precisione la WSN può essere fondamentale in tutti quei casi in cui l'accesso per la misura dei parametri ambientali è

difficile e quando si richiede la presenza di una stazione di monitoraggio multi-puntuale. I principali parametri micro meteorologici che svolgono un ruolo importante nella PV sono:

- il profilo di temperatura giornaliera, in particolare nel mese precedente alla maturazione che è uno dei fattori ambientali più importanti per la qualità delle uve e di conseguenza per la qualità del vino (Winkler, 1974.);
- la temperatura del grappolo che fornisce informazioni importanti sulla maturazione fenolica composti (Castia, 1992.);
- il potenziale idrico del suolo che consente di monitorare le disponibilità d'acqua per ogni fase fenologica, al fine di fornire irrigazione nei periodi di stress idrico (Sivilotti, 2005);
- i dati di bagnatura fogliare che permettono di gestire con precisione i trattamenti in vigneto, dal momento che micro-aree con alta umidità sono più suscettibili alle malattie fungine (Johnson and Robinson, 2001);
- la radiazione solare che ha una notevole influenza sulla biosintesi dei composti fenolici (Downey, 2006).

Una panoramica dei recenti sviluppi nelle tecnologie di sensori wireless e standard per la comunicazione wireless hanno dimostrato che ne esistono molti tipi, Wi-Fi (IEEE 802.11b) (Pierce and Elliott, 2008) Bluetooth (IEEE 802.15.1), ZigBee (IEEE 802.15.4) (Morais, 2008) e comunicazione radio a 433MHz. Lo standard di trasmissione a 433MHz fornisce una performance migliore tra i protocolli di trasmissione elencati in termini di portata del segnale, infatti consente la migliore copertura a distanza (433MHz 200m, Wi-Fi 100m, e ZigBee 70m e Bluetooth 10m (Wang, 2006) che è un fattore molto importante in un sistema di monitoraggio del vigneto.

4.3.5 Meccanizzazione per le produzioni viticole

Nel concetto emergente di viticoltura di precisione (sinonimo anche di agricoltura razionale) tutte le risorse produttive (ambientali, biologiche, strutturali e umane) ritrovano la loro importanza nella sinergia che esprimono nell'impresa agricola. Come è stato evidenziato nei capitoli precedenti, la tendenza in atto è rivolta ad una maggiore razionalizzazione dei fattori di produzione e, riguardo la gestione delle risorse strumentali utilizzate nell'azienda, la scelta delle macchine agricole deve oggi più che mai rispondere a precise esigenze di efficacia agronomica, efficienza tecnologica ed operativa (Vieri, 2003).

Di questi parametri l'efficacia agronomica è alla base della conduzione "sostenibile" del vigneto in quanto scaturisce dalla complessità biologica del sistema colturale e dagli effetti che le macchine e le modalità operative avranno su questo sistema sul breve, medio e lungo periodo. Gli altri due parametri, l'efficienza tecnologica e operativa, sono invece più legati alle caratteristiche delle macchine ed alla struttura nella quale si troveranno ad operare.

Le fasi operative e i relativi rapporti fra tecnologie, qualità e ambiente più importanti nella conduzione di un'azienda viticola che impiega la meccanizzazione sono sinteticamente riconducibili a:

- la gestione del suolo ed il controllo delle infestanti;
- la concimazione a rateo variabile;
- la gestione della chioma e la potatura verde;
- la difesa delle colture con prodotti fitosanitari irrorati;
- la vendemmia meccanica in relazione con le qualità delle uve.

Quasi tutti i modelli più evoluti di macchine, utilizzate nelle diverse operazioni nei vigneti, sono equipaggiati da dispositivi mecatronici¹⁶ e da dispositivi GPS e si basano sui presupposti di interventi sito-specifici che utilizzano mappe di prescrizione precedentemente elaborate attraverso un attento monitoraggio colturale e pedologico (Fig. 4.20).

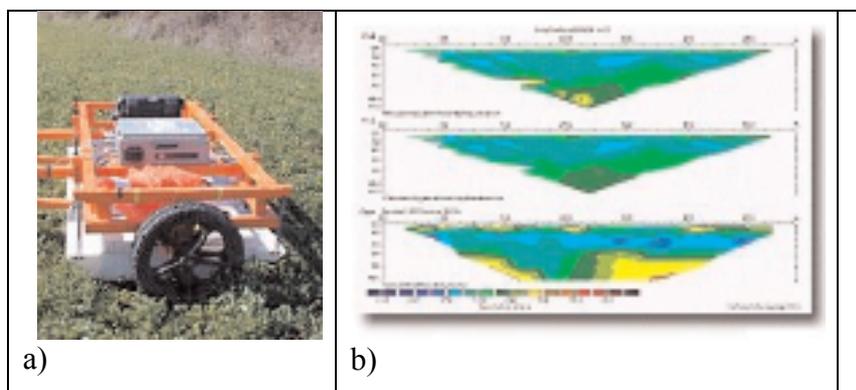


Figura 4.20 - Sistema Georadar
Rilevamento dei suoli (a); visualizzazione di una struttura sotterranea (b).

Ad esempio per le operazioni di diserbo chimico il sistema Weedseeker (Fig. 4.21) permette di ottimizzare i trattamenti e ridurre sensibilmente le dosi di formulario necessario.

¹⁶ La mecatronica è la scienza che studia il modo di far interagire tre discipline, quali la meccanica, l'elettronica e l'informatica al fine di automatizzare i sistemi di produzione semplificando il lavoro umano.

Questa tecnologia si basa sull'allestimento di sensori di riflettanza direttamente sulle irroratrici; il sensore, fulcro del sistema, emette un Led combinato nelle lunghezze d'onda dell'infrarosso e del rosso che viene proiettato sul bersaglio nel sottofila. La luce riflessa dal bersaglio viene elaborata dal sistema di controllo del sensore che determina la presenza o meno dell'infestante e provvede se necessario ad aprire il circuito di distribuzione della barra irroratrice. L'applicazione di diserbo chimico assistito da sensori ottici consente una notevole riduzione (fino al 65%) dei volumi di miscela applicati per ettaro rispetto alle irroratrici convenzionali, garantendo comunque un'elevata efficacia del trattamento (Balsari, 2007).

La concimazione invece è stata la prima operazione colturale interessata da applicazioni a dosi variabili ai fini di una maggiore sostenibilità economica e ambientale della gestione viticola. La somministrazione a dosi variabili consiste nel distribuire le sostanze nutritive solamente nelle aree e nelle quantità strettamente necessarie alle richieste della pianta e del terreno. Per fare questo occorre partire dalle mappe di monitoraggio colturale e di produzione, individuare le zone spazialmente e temporaneamente omogenee e stabili, campionare il terreno e, attraverso modelli di simulazione, individuare le modalità di concimazione ottimali per ciascuna zona (Bertocco, 2005).



Figura 4.21 - Applicazione del sistema Weedseeker in vigneto su Quad 4x4. (fonte: Vieri, 2010).



Figura 4.22 - Spandiconcime a rateo variabile (fonte: Vieri, 2010).

In viticoltura conta per adesso su un solo prototipo di questo tipo (Fig.4.22) sviluppato da una collaborazione tra aziende agricole (Antinori Agricola), case costruttrici (Same, Deutz-Fahr) e società specializzate in applicazioni di agricoltura di precisione (Cefriel, Tecnovict e Terradat).

Anche in questa macchina la mappa di prescrizione (Fig.4.23), generata incrociando i dati telerilevati e l'esperienza dei tecnici aziendali per la valutazione delle dosi da assegnare alle singole classi, viene caricata su un terminale virtuale (Fig. 4.24) montato sulla macchina. Questo comunica con il controller a bordo dello spandiconcime e trasferendo in tempo reale la dose istantanea assegnata alla zona in cui l'attrezzo si trova all'interno della mappa. Il controller riceve inoltre l'informazione della velocità mediante un sensore GPS.



Figura 4.23 - Monitor per la visualizzazione delle mappe di prescrizione.



Figura 4.24 - Terminale virtuale DICKY-John DGPS-RTK

Le ricerche avanzate nel settore dell'ingegneria del vigneto presentano analoghi sistemi sviluppati su macchine utilizzate per la gestione della chioma¹⁷, quindi per la spollonatura¹⁸ (Fig. 4.25), la cimatura¹⁹ e la defogliazione (Fig. 4.26).



Figura 4.25 - Spollonatrice in azione nel vigneto



Figura 4.26 - Sfogliatrice a rateo variabile

Non meno importante nel mondo delle macchine ad alta specializzazione operativa nel vigneto è la vendemmiatrice meccanica. I prototipi più avanzati, oltre ad essere integrati come per le altre macchine di monitor per la gestione delle mappe telerilevate e tecnologia VRT (Variable Rate Technology) e GPS uniscono dispositivi in grado di misurare quantità e qualità del prodotto.

¹⁷ Il termine gestione della chioma si riferisce al complesso delle operazioni meccaniche che si effettuano sulla vegetazione delle piante arboree e del vigneto.

¹⁸ Per spollonatura si intende l'eliminazione dei germogli provenienti dalle radici (polloni) o da tronchi (succhioni).

¹⁹ La cimatura dei germogli è fra le operazioni estive più importanti che vengono svolte nel vigneto che può essere fatta una o più volte nel corso dell'anno in tre differenti periodi di sviluppo della pianta.



Figura 4.27 – Vendemmiatrice meccanica

Questi dispositivi, ancora in fase sperimentale, si basano sull'integrazione di sensori a bordo (usando tecnologia spettroscopia del vicino infrarosso – NIRS) in grado di analizzare i parametri qualitativi delle uve permettendo inoltre di ottenere una mappatura della variabilità spaziale quali-quantitativa del vigneto. Questa tecnologia consentirebbe di creare archivi storici di dati da essere utilizzati per poter programmare meglio gli interventi colturali e supportare le future scelte vendemmiali sito-specifiche.

In conclusione l'incessante e rivoluzionario sviluppo del settore innovativo della meccanizzazione del vigneto, definito anche con il termine di ingegneria delle produzioni viticole, presenta una vasta gamma di tecnologie meccaniche a cui oggi si affiancano le importanti tecnologie geoinformatiche e mecatroniche, attraverso le quali è possibile raggiungere i fondamentali obiettivi di sostenibilità delle produzioni, risparmio dei costi di produzione e valorizzazione della qualità del prodotto finale, nell'ottica di una generale razionalizzazione dei processi produttivi.

Come già evidenziato da Vanacht (2001) l'impiego della tecnologia in agricoltura è passato dal “horse power” - la cultura della potenza meccanica, al “brain power” - il controllo intelligente delle macchine.

L'evoluzione degli strumenti operativi è oggi tesa alla capitalizzazione informatico-tecnologica di quell'insieme di conoscenze e competenze che, pur con strumenti e obiettivi più semplici, facevano parte della profonda cultura rurale (Vieri, 2010).

4.3.6 Informatica per la viticoltura e l'enologia: dal software gestionale al WEB

Le potenzialità offerte dalle applicazioni tecnologiche per il miglioramento dell'efficienza dell'azienda agricola sono molteplici, basti pensare alla tecnologia impiegata nell'agricoltura di precisione, ai software gestionali, ai dispositivi mobili per le comunicazioni (palamari, smartphone, tablet). Spesso non è facile per gli agricoltori, sia

per il poco tempo che per una diffidenza culturale, destreggiarsi nell'intricato mondo delle offerte commerciali nel campo dei software o soluzioni informatiche proposte per la gestione delle aziende viticolo-enologiche.

Si stanno affermando anche in Italia software viticolo-enologici che spesso vengono adattati su piattaforme già sviluppate per prodotti gestionali specifici per aziende agricole. Possono nascere anche perché commissionati direttamente dall'azienda viticola o dalla cantina con una personalizzazione molto spinta ai bisogni di gestione ordinaria. Molti di questi software sono proprietari e sviluppati per ambiente Windows e sono molto spesso caratterizzati da essere composti da moduli indipendenti che vanno incontro alle esigenze dell'imprenditore. Questa struttura permette di contenere costi di investimento iniziale nell'adozione di un sw o ripartirli negli anni sviluppando, in un secondo momento, moduli personalizzati magari nel caso si siano ampliate le attività aziendali o viene positivamente valutata la ricaduta in termini di efficienza gestionale ed ammortamento delle spese. La scelta delle soluzioni informatiche da adottare chiaramente è in funzione della tipologia dell'azienda dato che l'impiego di tecnologie avanzate quali GPS o cartografia digitale implica un impegno differente nella gestione delle informazioni e nella programmazione e costi dei rilievi da fare in campo.

Leggendo le riviste del settore viti-vinicolo e le promozioni delle software-house per prodotti sviluppati per questo specifico segmento una vasta gamma di soluzioni informatiche presenti sul mercato. Di seguito viene fatta una rassegna dei principali prodotti divisi per tipologia di applicazione:

- **Software gestionali avanzati** per la gestione integrata dei dati aziendali e delle cantine strutturati in moduli commerciali ma sempre con l'opzione di essere personalizzati dalla ditta fornitrice

- Moduli per la gestione della cartografia e delle foto aeree o satellitari, parametri dei vigneti, del vino e dei soci.
- Moduli web per l'accesso alle informazioni da più postazioni.
- Moduli per la gestione dei dati GPS per l'importazione diretta del disegno del perimetro disegnato.
- Moduli di gestione della produzione di vino e delle bottiglie prodotte.
- Moduli per la gestione delle produzioni viticole, degli attrezzi, dei trattamenti da applicare al vigneto.
- Moduli per la gestione delle ore uomo per attività colturale.
- Moduli per la gestione anagrafica dei soci e delle produzioni di ogni socio.

- Moduli di supporto alla progettazione di nuovi impianti.

- Software per la gestione tecnico-enologica della cantina e della tracciabilità

- Moduli per le produzioni, la logistica , acquisti, commerciale, amministrativa e finanziaria.
- Moduli per adempimenti burocratici (conferimenti delle cooperative, registri di cantina, albo imbottiglieri).
- Moduli per la tracciabilità con tecnologia RFID.
- Moduli Web per interagire con il mercato di vendita.

- Software per la tracciabilità delle attività in campo e della cartografia aziendale

- Moduli per esecuzione dei lavori e trattamenti a dosaggio variabile.
- Moduli per la tracciabilità, redazione dei registri di campagna e dei costi colturali
- Piattaforme palmari o pc di campo e dispositivi touch screen ed interazione macchine con dispositivi a guida satellitare o di mappatura (John Deer, Trimble, Class, Agco, etc. montati su macchine agricole) controller per trattamenti a volume variabile di molte case costruttrici.
- Moduli per disegnare impianti di vigneti
- *Moduli per cantine sociali, imbottiglieri e distillerie*
- Moduli per vendita, acquisti rintracciabilità distributiva prevendemmia/ vendemmia / post vendemmia

- Software per la gestione tecnica, economica, cartografica del vigneto e tracciabilità delle produzioni

- Moduli per i tecnici di cantina monitoraggio della fermentazione, in generale operazioni di vinificazione dall’uva alla bottiglia.

- Software per il controllo dei costi industriali

- Tariffe vettori, depositi remoti, registri vinificazione e commercializzazione
- Rete vendita
- In sintesi tracciabilità e rintracciabilità.

- Software on line

- In un unico ambiente tutti i dati relativi alla produzione, lavorazioni dei vigneti fino alla vinificazione invecchiamento e affinamento.

- Software per archiviazione di dati ed evoluzione in corso

La diffusione di applicazioni WebGIS dedicati alla viticoltura di precisione è ancor oggi molto limitata e da un indagine svolta su web possiamo affermare che è più delle volte orientata alla zonizzazione dei vigneti piuttosto che al monitoraggio o alla gestione di

informazioni sito-specifiche. Possiamo classificare le applicazioni, spesso presenti in forma prototipale, in applicazioni gestionali per aziende e consorzi vitivinicoli, applicazioni commerciali per la distribuzione di prodotti, quali immagini da satellite e mappe di prescrizione.

Molte applicazioni WebGIS presenti nelle pagine web delle aziende vitivinicole sono il risultato di collaborazioni a progetti di ricerca o studi di filiera sulla viticoltura e spesso sono presentati come casi di studio a convegni e su riviste di settore ma sono pochi i siti accessibili liberamente da tutti su web.

Di seguito alcune delle applicazioni più significative censite su web.

- **AgroMap**

E' un applicativo gestionale e cartografico per aziende agricole e vitivinicole (http://www.gis3w.it/content/it/applicativo_agromap.php,ultimo accesso 15/12/2011). Non è presente l'URL per la connessione on web.



Si tratta della presentazione di un applicativo WebGis semplice ed automatizzato per la gestione delle operazioni agricole e per il controllo della produzione vitivinicola (Bitella, 2011) .

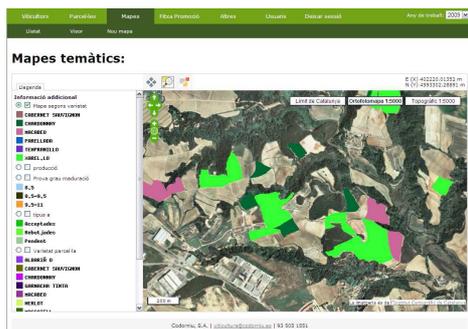
L'applicativo permette di gestire gli interventi ed i trattamenti agricoli interagendo direttamente su cartografie tematiche.

Specifici moduli permettono di gestire i risultati delle analisi sulle uve per ottenere rapidamente indici e curve di maturazione. Fra le funzioni disponibili:

- La gestione di storici (annuali e trimestrali) delle colture realizzate
- La gestione gli interventi agricoli ed i trattamenti fitosanitari in termini di costi e tempistica

L'applicazione si basa su database PostgreSQL/GIS con un interfaccia grafica sviluppata in Php e Interfaccia WebGis basata su pMapper.

- VITIVI



Quest'applicazione sviluppata dall'università di Girona (Spagna) è finalizzata alla gestione della vendemmia nel Codorniu. Fra le funzioni disponibili:

- la gestione i dati storici relativi ai vitigni;
- la gestione viticoltori/fornitori
- la visualizzazione delle parcelle dei viticoltori;

- GeoVine

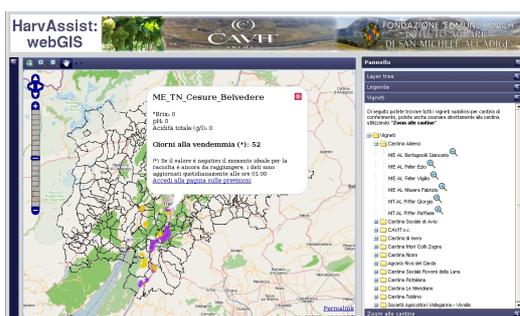


Il sistema GeoVine fornisce alla filiera vitivinicola un supporto nelle attività di management, nelle attività decisionali ed una struttura efficiente per la banca dati sui vigneti. Il sistema permette inoltre all'utente di selezionare un'area poligonale di interesse e di effettuare una RFQ (Richiesta di Quotazione) o un ordine di uno o più prodotti forniti da GeoVine.

Il servizio GeoVine permette di integrare, su una piattaforma WebGIS, prodotti ottenuti da dati di osservazione della Terra con dati ancillari rilevanti ad essi connessi. Le immagini satellitari ad altissima risoluzione utilizzate in GeoVine sono state acquisite dai sensori multispettrali Quickbird e Ikonos.

Questa applicazione, indirizzata all'agricoltura di precisione, è stata sviluppata dall'[ESA \(Agenzia Spaziale Europea\)](#) nell'ambito del Frascati Living Lab, parte della rete europea ENOLL – (European Network of Living Labs), piattaforme per l'innovazione che radunano e coinvolgono attivamente partecipanti, dai cittadini ai ricercatori, dagli industriali ai policy-maker. Tali centri, virtuali e non solo, prevedono la creazione di un processo d'innovazione, al fine di sperimentare concetti emergenti e stabilirne il loro potenziale valore, sia per le industrie che per i privati.

- HarvAssist



Il portale HarvAssist è stato pensato e realizzato esclusivamente con software libero presso l'Istituto Agrario di San Michele all'Adige – Fondazione Edmund Mach (FEM), per la gestione e la previsione della qualità delle uve alla vendemmia. È stato sviluppato

nell'ambito di una convenzione ed è finalizzato alla gestione dei vigneti del progetto qualità "I Masi" della Cavit s.c.

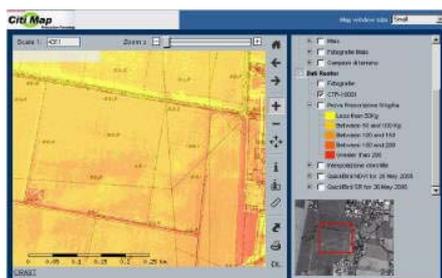
Il sistema si basa su un database geospaziale Postgre-SQL/PostGIS e su di una semplice interfaccia web, sviluppata con componenti Open Source, per la gestione e la visualizzazione dei dati. L'accesso al portale (<http://harvassist.fmach.it/>), richiede l'autenticazione e prevede categorie di utenti sia in modalità di sola consultazione, sia come amministratori. Il sistema comprende servizi web, secondo standard OGC, e vari moduli eseguibili via web:

- un modulo per l'individuazione e caratterizzazione dei vigneti a partire dal vettoriale catastale della Provincia Autonoma di Trento;
- un modulo per la consultazione dei dati prevendemmiali storici, a cui vengono automaticamente associati - per ciascun vigneto e data di raccolta - i valori calcolati di tre indici bioclimatici (Winkler, Huglin, Gladestone).

Dati e funzioni vengono visualizzati graficamente per permettere la consultazione rapida dell'andamento storico di ciascun vigneto.

- un ulteriore modulo per accedere alle previsioni della maturazione delle uve nell'anno corrente. L'andamento nel tempo di un indice di vendemmia (IV) permette di individuare per ciascun vigneto il momento migliore per la vendemmia.

- Citimap Roads



È un servizio web commerciale per l'agricoltura che consiste nella fornitura di mappe-indice di vegetazione da satellite per le aziende agricole.

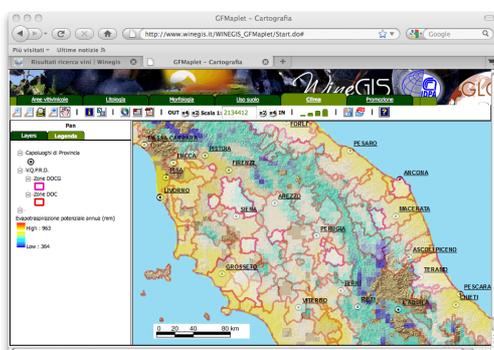
Il servizio offre anche un'assistenza per acquisire di immagini - da satellite e da sensori aerotrasportati - ad alta ed altissima risoluzione

spaziale e spettrale della superficie aziendale, elaborare e distribuire alle imprese (industrie meccaniche, imprese agromeccaniche, associazioni di produttori, aziende agricole) mappe-indice utilizzabili per produrre mappe di prescrizione

Le mappe possono essere utilizzate per:

- ottimizzare la concimazione azotata in copertura;
- ottimizzare i turni e le dosi irrigue;
- controllare l'omogeneità delle produzioni quali/quantitative in campo;
- controllare patologie ed infestazioni.

- WineGIS



Un esempio a scala nazionale è rappresentato dall'applicazione “WineGIS: terroir dei vini italiani” (<http://www.winegis.it/> ultimo accesso 16/12/2011) sviluppato dal CNR-IDPA (Istituto per la Dinamica dei Processi Ambientali) e Globo srl.

L'applicazione permette l'analisi di dati ambientali volti alla definizione delle caratteristiche peculiari di areali destinati alla produzione di particolari tipologie di uve e vitigni. Obiettivo del progetto è quello di valorizzare i prodotti nati dal connubio tra i caratteri dei luoghi e la selezione secolare delle varietà vitivinicole e mettere a disposizione di Enti, ditte e privati i risultati conseguiti.

WineGIS fornisce in maniera integrata strumenti di carattere tecnico e scientifico, in grado di rappresentare in modo unitario la complessa e ricca realtà delle zone di produzione tipiche dei vini italiani e di rappresentare un punto di partenza per una moderna politica di valorizzazione del territorio.

5. SMART VINEYARD: UN SISTEMA WEBGIS OPEN SOURCE PER LA VITICOLTURA DI PRECISIONE

Le nuove tecnologie sviluppate per il settore agricolo in congiunzione con la rapida evoluzione dell'Information Communication Technologies (ICT) e dei Sistemi Informativi Geografici offrono ormai enorme potenzialità per lo sviluppo e l'ottimizzazione di soluzioni per la distribuzione delle informazioni a supporto della viticoltura di precisione.

Negli ultimi anni il progressivo affermarsi dell'uso di tecnologie Open Source per la gestione dei dati e la loro distribuzione attraverso Internet ha favorito lo sviluppo di geoportali basati su tecnologie GIS distribuite permettendo così un facile accesso ai dati geografici e delle informazioni correlate al territorio ad un ampio pubblico di utenti finali. Come riportato da Jabeur and Moulin (2005), la domanda di servizi web sta crescendo in tutto il mondo da quando è esploso l'utilizzo di internet per la disseminazione delle informazioni geospaziali.

Tsou (2004) riporta come la combinazione delle potenzialità dei sistemi informativi geografici distribuiti su web insieme a strumenti on-line per il telerilevamento possono ridurre significativamente i costi elevati ed il lavoro associato con il monitoraggio ambientale e la gestione delle risorse naturali.

Come già evidenziato nei precedenti capitoli, il valore aggiunto delle tecnologie e metodologie impiegate nell'agricoltura di precisione è dato dall'integrazione della raccolta ed elaborazione dei dati e dalle azioni richieste per la loro gestione. Anche nel caso delle ricerche e sviluppi in viticoltura di precisione l'integrazione dei dati, il flusso delle informazioni e le azioni che favoriscono un approccio multidisciplinare all'ampliamento delle conoscenze dell'ambiente agrario rivestono un ruolo fondamentale per la trasferibilità dei risultati per applicazioni operative. Le moderne imprese agricole vitivinicole sono complesse e richiedono molto tempo e risorse per la loro gestione, così i produttori che sono alla ricerca di miglioramenti nell'impiego di nuove tecnologie richiedono dal mondo scientifico risultati e prodotti che non aumentino la complessità delle loro attività (Kitchen, 2008). Sembra così evidente che l'adozione delle nuove strategie di gestione indicate dalla viticoltura di precisione richieda la disponibilità di prodotti e soluzioni che sappiano coniugare competenze ingegneristiche, informatiche ed agronomiche in modo semplice e dinamico.

Da questi presupposti nasce l'idea di sviluppare il sistema *Smart Vineyard*, un'architettura di sistema WebGIS in grado di integrare in un unico ambiente condiviso su web i dati strutturali dei vigneti, i risultati della ricerca integrata in viticoltura di precisione ed i dispositivi di monitoraggio agro-meteorologico per facilitare l'applicazione del processo ciclico che sta alla base della gestione sito-specifica della viticoltura. Il flusso delle informazioni e l'accessibilità distribuita su più piattaforme informatiche è alla base di un sistema intelligente che dal campo può raggiungere tutti gli attori coinvolti nei processi di raccolta dei dati, di ricerca avanzata, di analisi integrata e di presa di decisione per produzioni sempre più sostenibili, economicamente vantaggiose e competitive sui mercati.

5.1 Il contesto della ricerca applicata

Il caso di studio presentato in questo elaborato di tesi si inserisce in un complesso ed ampio progetto di ricerca coordinato dal Consorzio Tuscania (www.consorziotuscania.it, ultimo accesso 15/12/2011) dal titolo "*Monitoraggio integrato dell'attività nel vigneto e in cantina finalizzato al miglioramento della qualità del vino*" in un contesto di rintracciabilità di filiera e gestione integrata di qualità/ambiente/sicurezza.

Il progetto di durata quadriennale (2007-2010) è nato per rispondere alle istanze qualitative e di sostenibilità ambientale del mondo viticolo ed enologico toscano con particolare riferimento alla varietà Sangiovese. Il progetto vede impegnate nelle attività di ricerca Istituzioni scientifiche con diverse competenze nel campo della viticoltura, della scienze agronomiche, statistiche, enologiche, agro-meteorologiche come pure aziende viticole, agronomi, enologi e produttori seguendo un approccio multidisciplinare per l'ampliamento delle conoscenze sulla viticoltura di precisione. Nel complesso il Consorzio Tuscania, secondo gli obiettivi di progetto, approfondisce tutte quelle pratiche gestionali che nel vigneto ed in cantina influenzano in grande misura il risultato enologico finale.

L'idea progettuale della creazione di un ambiente di conoscenze condivise fra i diversi attori coinvolti nelle varie linee di ricerca si traduce in pratica nello sviluppo di una architettura di sistema per la creazione di un geoportale dedicato alla viticoltura di precisione e di un database relazionale che possa far confluire in un unico ambiente tutti i dati raccolti durante le attività di ricerca. La proposta operativa è stata presentata dalla scrivente al Consorzio Tuscania ottenendo un finanziamento che ha permesso la realizzazione, mediante l'acquisto di un server ed il coinvolgimento di un programmatore

informatico esperto in sviluppo di applicazioni WebGIS, del prodotto operativo che sarà descritto nei dettagli nei successivi capitoli di questo elaborato.

Lo sviluppo del sistema *SmartVineyard* si inserisce inoltre nel quadro delle attività svolte dall'Istituto di Biometeorologia del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR-IBIMET), partner scientifico di progetto, che approfondendo la ricerca nel settore del telerilevamento ad alta risoluzione da aereo, dell'analisi multi-scala e del monitoraggio agro-meteorologico propone innovativi strumenti e metodologie di analisi per ottenere valide informazioni utilizzabili da viticoltori e agronomi di campo per uno sviluppo sostenibile del comparto.

5.1.1 Il Consorzio Toscana

La continua evoluzione dei mercati, la competitività del settore enologico sempre crescente a livello internazionale, la necessità di ridurre l'impatto delle produzioni viticole sull'ambiente, richiede alle imprese vitivinicole un'attenzione e una sensibilità continua e crescente all'innovazione tecnologica e gestionale.

“Il Consorzio Toscana nasce per iniziativa di alcune primarie aziende del settore vitivinicolo della Toscana con lo scopo di commissionare ed eseguire studi e ricerche destinati allo sviluppo e al miglioramento delle tecniche di coltivazione della vite, di vinificazione, di commercializzazione e di marketing” (<http://www.consorziotuscandia.it>).

Le attività di ricerca applicata del Consorzio vengono svolte presso la Cantina Sperimentale, sede operativa del Consorzio, e presso quattro Vigneti Sperimentali ubicati nelle diverse aree viticole di eccellenza della Toscana.

Lo staff del Consorzio è costituito da tecnici e professionisti, enologi ed agronomi, tutti con una profonda conoscenza ed esperienza della realtà produttiva e delle problematiche legate alle necessità di innovazione delle imprese vitivinicole.

Il Consorzio Toscana raccoglie le istanze di ricerca, approfondimento e innovazione dei soci e le trasforma in tematiche di ricerca con l'obiettivo di creare nuove conoscenze e rispondere alle domande e alle problematiche che i produttori si trovano ad affrontare quotidianamente in vigneto e in cantina. Per fare ciò il Consorzio si avvale della collaborazione degli Istituti universitari e degli Enti di ricerca che più sono attivi nelle discipline attinenti ad ogni singolo approfondimento necessario.

La collaborazione con le strutture di ricerca avviene attraverso specifiche convenzioni di ricerca e con il finanziamento di borse di studio e/o assegni di ricerca aventi la finalità,

tra le altre, di creare nuove figure di giovani ricercatori in effettivo contatto con il mondo vitivinicolo. Solo in questo modo si ritiene si possano creare i rapporti e il trasferimento delle conoscenze necessarie tra il mondo della produzione e il mondo della ricerca, propedeutici al conseguimento di innovazione e di risultati realmente applicabili.

5.1.2 Il progetto di ricerca “Monitoraggio integrato dell’attività nel vigneto e in cantina”

Sono oramai consolidate le conoscenze che indicano la qualità intrinseca del vino come direttamente dipendente dalla qualità dell'uva. Il Consorzio Tuscania, secondo gli obiettivi di progetto, studia tutte quelle pratiche gestionali che nel vigneto ed in cantina influenzano in grande misura il risultato enologico finale. Allo scopo di interpretare correttamente gli eventuali effetti delle operazioni viticole ed enologiche oggetto di studio e le loro interazioni, è stato costruito un rigido protocollo sperimentale che fino dalle fasi critiche di impostazione del progetto ha consentito di definire le variabili oggetto della ricerca e che porterà a definire strumenti e modelli statistici utili nella valutazione dei risultati.

La messa a punto di metodi e strumenti documentali e tecnologici innovativi per la gestione integrata della qualità e della rintracciabilità aziendale costituiscono un'ulteriore linea di ricerca del progetto.

Il Consorzio Tuscania svolge le proprie ricerche e sperimentazioni in una struttura dedicata, completamente funzionale che è al tempo stesso una cantina sperimentale e uno stabilimento di produzione a tutti gli effetti.

La cantina ha una capacità complessiva di 1000 hl suddivisi in 72 serbatoi per la vinificazione da 10 hl termocondizionati, 4 serbatoi da 50 hl, 4 da 10 hl e 148 serbatoi da 100 litri, tutti in acciaio inox, per lo stoccaggio delle vinificazioni sperimentali su scala di meso e microvinificazione.



Figura 5.1 - Serbatoi per la vinificazione da 10 hl Figura 5.2- Micro vinificazioni - 100 l

fonte:<http://www.consorziotuscania.it/content.php?page=7&action=CA>

Le attività di sperimentazione in campo del Consorzio Toscana si svolgono in tre differenti aree appartenenti alle principali denominazioni di origine della Toscana (Chianti Classico, Monteregio di Massa Marittima e Bolgheri) su quattro vigneti messi a disposizione dai soci ai fini di attività di ricerca.

(<http://www.consorziotuscania.it/content.php?page=34&action=3>)



Figura 5.3 - Localizzazione dei vigneti in Toscana

I vigneti oggetto della sperimentazione sono stati scelti omogenei per età, varietà, densità d'impianto e forma di allevamento in modo da eliminare le eventuali cause di variabilità diverse dalle variabili applicate e indagate.

 <p><i>Vigneto di Brolio</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Varietà: Sangiovese</i> • <i>Clone: R24</i> • <i>Portinnesto: 420A</i> • <i>Densità d'impianto: 6250 piante/ha</i> • <i>Anno d'impianto: 2000</i> • <i>Forma di allevamento: Cordone Speronato</i> • <i>Esposizione: Est-Ovest</i> • <i>Orientamento dei filari: 80° est</i> • <i>Tipologia di terreno: argilloso, ricco di scheletro, galestro ed alberese</i>
 <p><i>Le Mortelle - Vigneto Cacciagrande</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Varietà: Cabernet Sauvignon</i> • <i>Clone: 191</i> • <i>Portinnesto: 101-14</i> • <i>Densità d'impianto: 6250 piante/ha</i> • <i>Anno d'impianto: 2000</i> • <i>Forma di Allevamento: Cordone Speronato</i> • <i>Tipologia di terreno: franco-sabbioso</i> • <i>Orientamento dei filari: Est-Ovest</i> • <i>Esposizione: Est</i>
 <p><i>Le Mortelle - Vigneto Cortigliano</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Varietà: Sangiovese</i> • <i>Clone: R23 e R24</i> • <i>Portinnesto: 420A</i> • <i>Densità d'impianto: 6250 piante/ha</i> • <i>Forma di Allevamento: Cordone Speronato</i> • <i>Anno d'impianto: 2000</i> • <i>Tipologia di terreno: franco sabbioso</i> • <i>Orientamento dei filari: Nord-Sud</i>
 <p><i>Vigneto di Donna Olimpia</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Varietà: Cabernet Sauvignon</i> • <i>Clone: 191</i> • <i>Portinnesto: 101-14</i> • <i>Forma di allevamento: Cordone Speronato</i> • <i>Densità d'impianto: 6250 piante/ha</i> • <i>Anno d'impianto: 2000</i> • <i>Tipologia di terreno: franco-sabbioso</i> • <i>Orientamento dei filari: 90,0611° da Nord</i> • <i>Esposizione: Est-Ovest</i>

Figura 5.4 – I vigneti sperimentali del Consorzio Tuscania

fonte: <http://www.consorziotuscania.it/content.php?page=53&action=21>

5.1.3 Obiettivi dello sviluppo del sistema SmartVineyard

L'obiettivo generale dello sviluppo del sistema Smart Vineyard (chiamato anche SmartV) è stato quello di creare un ambiente accessibile via web dove i diversi attori coinvolti nelle attività del progetto di ricerca Tuscania possono condividere dati e risultati della ricerca avanzata per contribuire all'ampliamento di conoscenze nel settore della viticoltura e dell'enologia non solo in termini qualitativi ma anche con la prospettiva di contribuire alla sostenibilità ambientale delle produzioni.

Il processo di condivisione, attraverso le diverse componenti e le funzioni di un geoportale tematico, può così facilitare l'accesso e le analisi dei dati geografici e tabulari dei vigneti sperimentali oggetto di studio e incentivare lo sviluppo di nuove metodologie di analisi integrata e multi-scala per la viticoltura di precisione. Il sistema, attraverso specifici canali e moduli software, ha inoltre lo scopo di facilitare l'archiviazione dei dati e la gestione dei flussi degli stessi in ingresso ed in uscita fra i diversi attori coinvolti nelle attività di ricerca e, per alcuni prodotti che hanno un'immediata ricaduta operativa, agevolare la distribuzione verso gli utilizzatori finali.

L'obiettivo specifico perseguito è stato quello di disegnare un modello logico e fisico dei dati raccolti per la creazione di un geodatabase di supporto sia alla ricerca integrata sulla viticoltura di precisione sia allo sviluppo di un'applicazione WebGIS per una facile e immediata visualizzazione di prodotti e dati delle attività di ricerca in corso. Lo scopo è stato quello di supportare e facilitare l'elaborazione e le analisi dei dati facendo confluire in un unico database relazionale tutti i dati sperimentali della linea di ricerca del progetto "Monitoraggio integrato del vigneto finalizzato al miglioramento della qualità dell'uva" per la gestione di un sistema integrato qualità/ambiente/sicurezza.

L'attività sperimentale di creazione di un sistema accessibile via Internet vuole inoltre fornire delle soluzioni informatiche, tecnologiche e metodologiche per favorire l'interoperabilità dei dati, a diversa scala spazio-temporale e in diversi formati, raccolti ed elaborati durante lo svolgimento delle attività di ricerca ed ad orientare i partner del Consorzio verso la costruzione di percorsi di analisi basati sulla "convergenza delle evidenze" per un loro maggiore coinvolgimento nelle fasi di analisi e valutazione dei risultati della ricerca.

La sfida del presente lavoro è inoltre quella di voler applicare le nuove tecnologie dell'informazione territoriale e degli standard geomatici propri delle *Spatial Data*

Infrastructures (SDI), afferenti all’OGC e ISO, ad una scala di dettaglio tale da poter gestire ed utilizzare i dati dei vigneti sperimentali in maniera integrata per applicazioni sito specifiche tenendo in considerazione i bisogni dei partner coinvolti nelle diverse linee di ricerca e la prospettiva di un trasferimento operativo delle conoscenze acquisite nelle diverse fasi delle attività.

5.2 L’acquisizione dei dati dei vigneti sperimentali

5.2.1 L’area di studio

Nell’ambito delle attività del progetto di ricerca del Consorzio Toscana sono stati raccolti i dati e le informazioni di quattro vigneti sperimentali di cultivar Sangiovese e Cabernet Sauvignon (Tab. 5.1) posti in aree agricole della Toscana vocate alla viticoltura di qualità (De Filippis, 2010)

Vigneto	Denominazione d’origine	Località	Varietà	Superficie
Donna Olimpia	DOC Bolgheri	Castagneto Carducci (LI)	Cabernet Sauvignon	5.28 ha
Brolio	DOCG Chianti Classico	Gaiole in Chianti (SI)	Sangiovese	1.9 ha
Le Mortelle - Cortigliano	DOC Montereale di Massa Marittima	Castiglione della Pescaia (GR)	Sangiovese	3.9 ha
Le Mortelle - Cacciagrande	DOC Montereale di Massa Marittima	Castiglione della Pescaia (GR)	Cabernet Sauvignon	3.68 ha

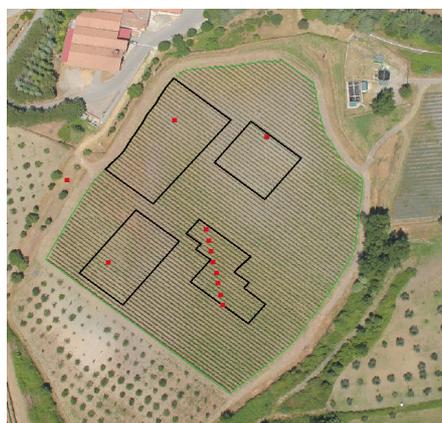
Tabella 5.1 - Vigneti sperimentali oggetto di studio.

I vigneti sono localizzati in aree pianeggianti vicino al mare e solo uno di essi, Brolio, è posto su un’area in pendenza con un’elevazione compresa fra i 408 e i 436 m s.l.m. La zona è caratterizzata da un tipico clima mediterraneo, principalmente influenzato dall’anticiclone delle Azzorre e da depressioni Mediterranee (Grifoni, 2006). Le precipitazioni sono concentrate fra primavera e autunno con un periodo secco in estate (precipitazioni annue fra 620 e 860 mm). La stagione vegetativa è caratterizzata da una primavera temperata e da una calda estate (temperatura media annuale fra 12.5 e 15°C). Il suolo di Donna Olimpia è Typic Haploxerepts; quello di Brolio è Typic Haplustepts; quello di Cacciagrande e Cortigliano è Aquic Haplustepts, (ref. : Mappa dei Suoli della Toscana, classificazione USDA Soil Taxonomy).

All’interno dei vigneti sperimentali sono disposti 14 blocchi sperimentali distribuiti su zone omogenee di Vigore Vegetativo (mappe NDVI) a loro volta individuate per mezzo

dell'analisi multi spettrale delle foto aeree. All'interno di ciascun Blocco Sperimentale sono definite n. 8 Tesi Sperimentali, relative alle differenti modalità di gestione della chioma indagate (Carica di gemme, Sfogliatura precoce, Diradamento del grappolo e loro relative interazioni). In ogni tesi sperimentale sono gestite 85 piante, per cui in totale il piano sperimentale gestisce e rileva informazioni da 9520 piante distribuite su 4 vigneti.

Le piante delle parcelle sperimentali dei quattro vigneti sono state monitorate seguendo il disegno sperimentale definito all'inizio delle attività di ricerca (www.consorziotuscania.it) e sono stati raccolti dati a diverso livello di dettaglio e con diverse piattaforme di acquisizione.



Vigneto sperimentale Brolio



Vigneto sperimentale Cacciagrande



Vigneto sperimentale Cortigliano



Vigneto sperimentale Donna Olimpia

Figura 5.5 – Foto nel visibile e aree del disegno sperimentale nei vigneti.

Sui quattro vigneti sperimentali i principali dati e fonti di acquisizione sono:

- Le immagini multi-spettrali ad alta risoluzione (30cm) acquisite nelle stagioni 2007-2008-2009 e 2010 per mezzo dell'aereo SKY ARROW 650 TC/TCNS, in tre importanti periodi fenologici della pianta nel periodo da giugno a settembre;
- I parametri qualitativi delle uve (pH, tenore zuccherino - °Brix, acidità totale, antociani e polifenoli) derivati dalle analisi chimiche effettuate sui campioni delle uve (bucce e sui mosti) raccolti alla vendemmia tecnologica e alla vendemmia tardiva (circa due settimane dopo) sulle parcelle sperimentali;
- I parametri agro-meteorologici acquisiti in continuo (temperatura, pioggia, velocità del vento, umidità del terreno, bagnatura fogliare, etc.) dalla rete di sensori wireless NAV installati nei vigneti (Matese, 2009). Circa 15.000 dati al giorno sono stati trasmessi, tramite GSM/GPRS, dalle stazioni in campo al server remoto di progetto.
- I dati pedologici differenziati in più di 30 mappe georeferite dei vigneti, in formato raster, relative ai parametri di tessitura, capacità di campo, conduttività elettrica;
- dati di proximal sensing acquisiti da piattaforma mobile quad da cui sono state derivate mappe di NDVI e spessore della chioma (Carnevali, 2009).
- I dati enologici²⁰.

5.2.2 Immagini acquisite da piattaforma aerea

Le immagini tele-rilevate utilizzate nel presente lavoro sono state acquisite nelle stagioni 2008-2010 per mezzo dell'aereo SKY ARROW ERA (Environmental Research Aircraft) 650 TC (Gioli, 2006) costruito dalle Iniziative Industriali Italiane Spa. (Fig. 5.6) ed operativo in linee di ricerca ambientale (Belli, 2008).

²⁰ Sebbene i dati enologici siano inclusi nel geodatabase del sistema non vengono trattati in questo elaborato di tesi.

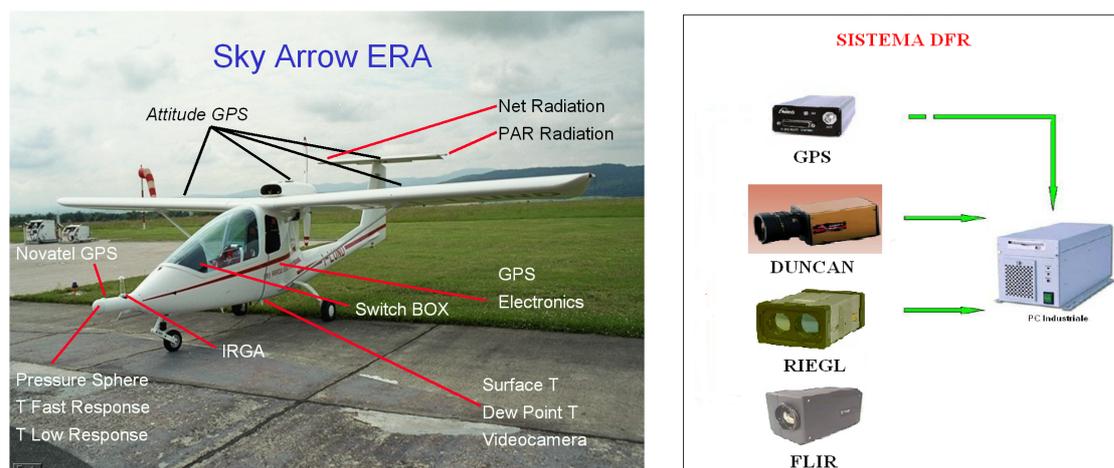


Figura 5.6 - Piattaforma SKY ARROW ERA e sensori montati a bordo

Semplici operazioni permettono di alloggiare e rimuovere i sensori che vengono posizionati su apposite piastre.

Questo aereo è certificato FAA/JAR ed è interamente realizzato in carbonio e kevlar. Il velivolo è equipaggiato con motore Rotax da 100 HP ed ha un'autonomia al volo di 3.5 ore. Estremamente maneggevole e flessibile nell'uso, può decollare e atterrare da aeroporti ed aviosuperfici con lunghezza della pista di appena 500 m. I sorvoli possono essere effettuati ad quota compresa tra i 300 e i 4000 m s.l.m.. Il sistema (Fig. 5.6) che acquisisce nelle bande del visibile, del vicino infrarosso e termico, è composto da camere multispettrali, termiche e digitali a colori reali, sistemi GPS e GPS/INS, altimetro laser:

- Camera Duncan Multispettrale MS4100, CCD da 1920x1080 RGB, 12 bit e calibrata radiometricamente e geometricamente, FOV 58°
- Flir SC500/A40M thermal infrared camera
- GPS unit: Ashtech DG14, Novatel OEM4
- INS/GPS unit: Systron Donner C MIGITS III
- Laser altimeter: Riegl LD90 series
- Camera digitale Canon EOS 20D

Questi apparati sono integrati in un unico sistema di acquisizione, flessibile e configurabile dall'utente. Un software di gestione permette l'acquisizione di tutti i parametri acquisiti dai sensori, e di memorizzare la posizione e l'assetto del velivolo associati alle immagini acquisite, oltre a tutti gli altri parametri accessori. La sincronizzazione tra sistemi GPS e le camere è gestita tramite segnali di trigger TTL.

Le immagini Sky Arrow utilizzate in questo lavoro sono state fornite dalla società Terrasystem s.r.l., Spin-off dell'Università degli Studi della Tuscia di Viterbo

(<http://www.terrasystem.it/>), ad una risoluzione spaziale di 30cm e programmate a riprendere le bande spettrali del visibile e del vicino infrarosso. Ogni volo di campionamento è stato corretto radiometricamente e geometricamente. La correzione radiometrica converte il digital number di ogni pixel (valore di brightness) a un valore di radianza spettrale applicando i parametri di calibrazione delle camere stesse. Questo è un fattore importante per l'uso delle immagini processate in analisi avanzate poiché permette di lavorare su immagini uniformi dal punto di vista radiometrico, specialmente quando è richiesta la correzione atmosferica (Fiorillo, 2009).

I voli sono stati effettuati nelle ore centrali delle giornata (mezzogiorno circa) in tre importanti periodi fenologici quali allegagione (metà giugno) pre-invaiaitura (metà luglio) e maturazione del grappolo (metà agosto).

La camera Duncan (disponibile per questi voli) è stata utilizzata per acquisire immagini in valori di radianza nelle bande rosso, verde e vicino infrarosso (corrispondenti rispettivamente a 0.63-0.69 μm , 0.52-0.60 μm , 0.76-0.90 μm). La camera ha un Field of View (FOV) di 58° e una risoluzione del sensore CCD di 1920x1080 pixel che ha permesso di ottenere immagini con risoluzione geometrica di 30 cm. Le immagini sono state georiferite, ortorettificate e convertite in valori di riflettanza secondo la formula sviluppata da Iqbal (Iqbal, 1983). Le immagini sono state quindi elaborate al fine di derivare mappe di Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), indice usato come indicatore del vigore della pianta o di biomassa relativa. Le mappe, per il calcolo delle correlazioni con i parametri di qualità delle uve, sono state poi filtrate al fine di separare la chioma delle viti dalla copertura dello spazio interfilare tramite un filtro a finestra mobile (Fiorillo, 2009).

5.2.2.1 Gereferenziazione delle immagini aeree e del disegno sperimentale

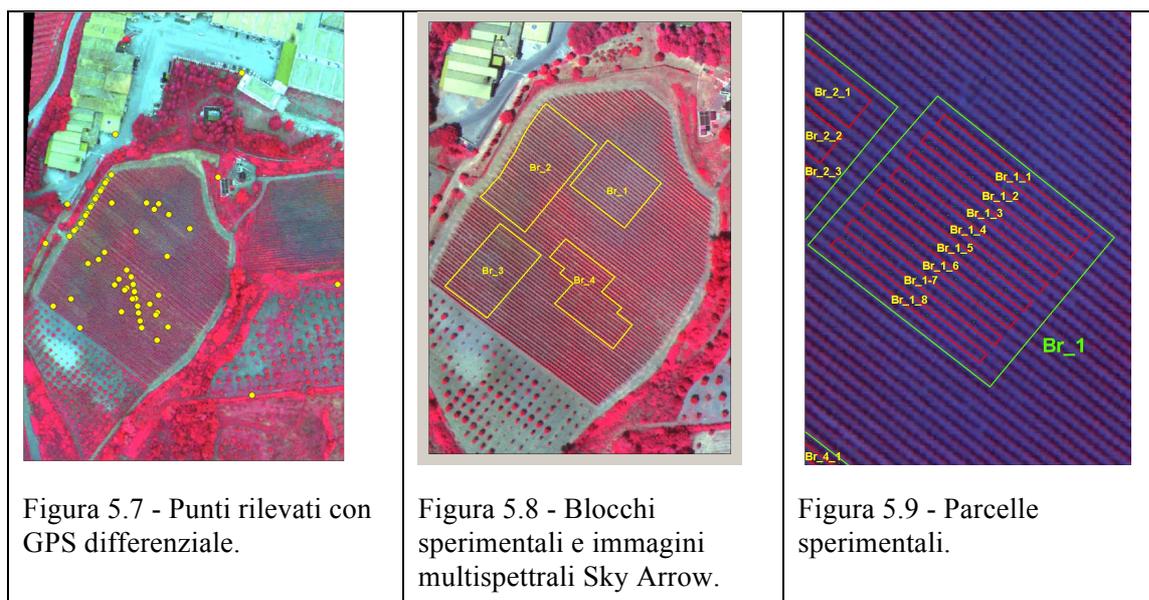
L'attività preliminare all'integrazione nel geodatabase dei dati provenienti dalle diverse fonti di acquisizione ha riguardato la gereferenziazione sia delle immagini aeree ad alta risoluzione e sia del disegno sperimentale adottato dal progetto di ricerca Tuscania.

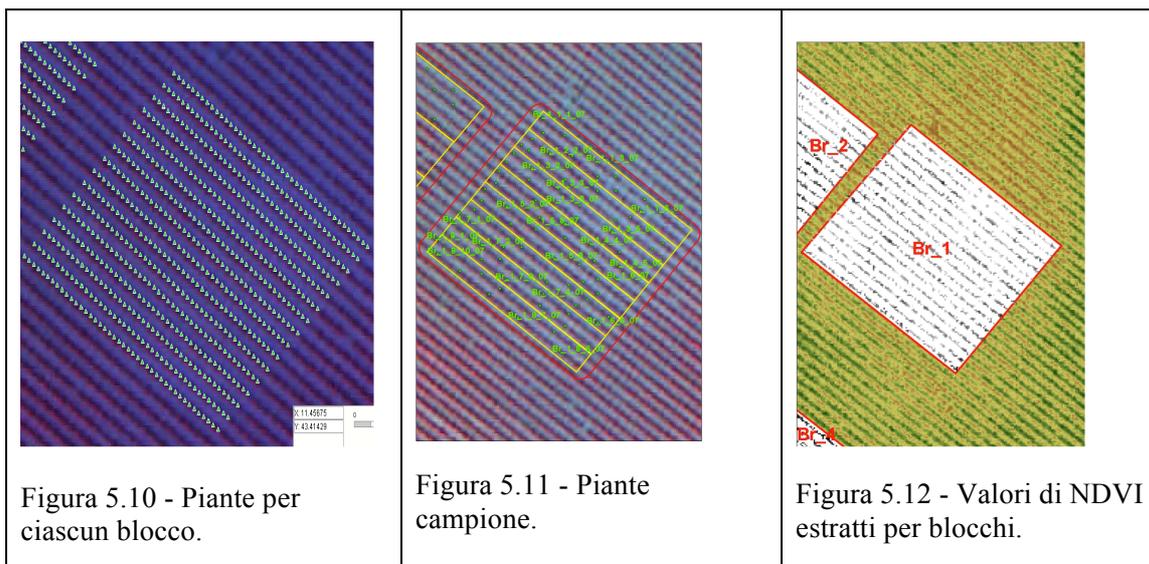
L'alta risoluzione geometrica richiesta dal progetto di ricerca ha richiesto un lavoro di ortorettifica delle immagini più accurato di quello normalmente necessario anche a causa del fatto che le immagini riguardanti vigneti sono fra le più difficili da ortorettificare. I problemi sono dovuti al fatto che di solito i vigneti si trovano su aree morfologicamente complesse e per il fatto che si hanno pochi punti idonei come Ground Control Point (GCP).

A tal fine sono stati effettuati una serie di rilievi ad alta precisione (Fig. 5.7) tramite l'utilizzo di un GPS differenziale (DGPS) raggiungendo così una precisione dell'ordine di un paio di centimetri (Fiorillo, 2009). Inoltre per consentire una corretta elaborazione delle immagini multitemporali nel corso degli anni del progetto di ricerca, all'inizio di ogni stagione estiva sono stati montati dei pannelli a coordinate note di colore bianco e dimensione 1*1 m.

Una tale integrazione di dati puntuali ha permesso una migliore georeferenziazione delle ortofoto Sky Arrow anche grazie all'ausilio di un Modello Digitale del Terreno (DEM) di passo 5*5m. Queste immagini inoltre sono state utilizzate come base per la creazione dei vari strati informativi vettoriali, come per esempio gli shapefile dei blocchi (Fig. 5.7), delle parcelle e delle piante (Fig. 5.8 e Fig. 5.10) del disegno sperimentale oggetto di ricerche sugli effetti di diverse pratiche agronomiche effettuate nei vigneti sperimentali. Tale procedura non solo ha risolto il problema della migliore georeferenziazione delle immagini aeree, ma il Geodatabase ha raggiunto una posizione di eccellenza nei confronti di progetti analoghi riguardo alla precisione spaziale, permettendo analisi e interpolazioni spaziali di alta precisione.

Infatti la precisione spaziale richiesta in un progetto di ricerca sulla viticoltura di precisione, dove vengono fra l'altro raccolti dati georiferiti che riguardano le singole piante (Fig. 5.11) per effettuare analisi dei parametri qualitativi, deve essere molto alta in un'ottica di trasferimento dei risultati verso applicazioni operative, quali ad esempio l'utilizzo nel vigneto di macchine ad alta specializzazione operativa.





5.2.2.2 Elaborazione dell'indice di vegetazione dei vigneti

Le immagini dopo la fase di correzione geometrica, sono state elaborate per ottenere mappe di NDVI. In questa ricerca al fine di distinguere il filare dall'interfila, sono stati studiati e valutati dei filtri per immagini digitali a finestra mobile applicati ai blocchi sperimentali di differente vigoria (Fig.5.12). Il loro funzionamento consiste nell'estrarre il valore del pixel al centro della finestra mobile nel caso questo sia il valore massimo fra quello dei pixel presenti all'interno della finestra. L'applicazione di filtri porta ad un aumento dei valori medi di indice di vegetazione nel caso di vigneti non o scarsamente inerbiti nell'interfilare. Infatti i valori di NDVI del suolo nudo sono molto bassi, per cui includendoli nella media per parcella l'abbassamento è chiaramente significativo (Tab.5.2). Sono stati confrontati nella prima fase del progetto quattro filtri differenti per la dimensione della finestra mobile, 3*3, 5*5, 7*7, 9*9 pixel. I test effettuati hanno indicato che più grande è la finestra mobile del filtro, maggiore è il valore medio di NDVI per parcella a scapito però del coefficiente di variabilità (C.V.). Visto che uno degli scopi della ricerca è quello di identificare la variabilità delle produzioni intra-vigneto e capire se i trattamenti agronomici della chioma influiscono significativamente sulla qualità delle uve, è preferibile scegliere un filtro a finestra mobile che mantenga il valore più alto possibile di coefficiente di variabilità (Tab. 5.3). A tal fine si è scelto di usare il filtro con la finestra mobile più piccola, 3*3 pixel. Nessun tipo di filtro però è risultato idoneo a discriminare il filare dall'interfila nel caso in cui quest'ultima sia altamente inerbita, cioè abbia degli alti valori vegetazionali. Questo è il caso ad esempio del vigneto sperimentale di Donna

Olimpia, dove l'interfila nei mesi estivi è invaso da erbe infestanti autoctone molto vigorose che raggiungono anche l'altezza di un metro.

Tabella 5.2 - Valori NDVI estratti per blocchi filtrati e non dalla mappa di vigore di Brolio.

Blocco	Vigoria	Trattamento	Min	Max	Media
Br 1	Bassa	Non filtrato	-0.157	0.961	0.504
Br 1	Bassa	filtrato	0.534	0.961	0.707
Br 2	Media	Non filtrato	-0.222	0.964	0.557
Br 2	Media	filtrato	0.416	0.964	0.719
Br 3	Media	Non filtrato	-0.037	0.937	0.547
Br 3	Media	filtrato	0.463	0.937	0.723
Br 4	Alta	Non filtrato	0.000	0.951	0.613
Br 4	Alta	Filtrato	0.642	0.971	0.794

Tabella 5.3 - Valori medi NDVI e C.V. dei i blocchi sperimentali del vigneto di Cacciagrande.

	Filtro 3*3	Filtro 5*5	Filtro 7*7	Filtro 9*9
Media blocchi	0,611	0,729	0,753	0,757
C.V. interna	0,088	0,056	0,048	0,047

I rilevamenti effettuati durante le stagioni 2007-08-09 evidenziano la potenza dell'indice di vegetazione come descrittore della micro-zonazione del vigneto. Le indagini statistiche condotte hanno evidenziato una buona correlazione tra l'NDVI ed alcuni indici qualitativi delle uve. Grazie alla ripetizione delle rilevazioni è stato inoltre possibile evidenziare la variazione del grado di correlazione nel corso della stagione (Fiorillo, 2009.).

5.2.3 *Indici di vegetazione da tecnologie di proximal sensing*

La disponibilità di sensori compatti e di facile automazione ha portato allo sviluppo di applicazioni del NDVI nel campo dell'agricoltura di precisione con telerilevamento di prossimità (*proximal sensing*), per il monitoraggio del vigore vegetativo (D'Urso, 2011). La derivazione di vari indici di "stress", in particolare legati a carenza idrica e misurati con dispositivi portatili, ha costituito una delle prime applicazioni del *proximal sensing* nell'agricoltura di precisione (Jackson, 1972).

In viticoltura, Mazzetto (2010) ha utilizzato dei sensori di tipo commerciale installati su piccole piattaforme mobili tra filari di vite, con lo scopo di individuare anomalie nello stato fitosanitario dell'impianto.

Il GreenSeeker RT100 (Ntech Industries, Inc. Ukiah, California) e il CropCircle (Holland Scientific Inc., Lincoln, NE) sono due dispositivi ottici commerciali normalmente

impiegati per il monitoraggio proximal sensing di colture di pieno campo, al fine della gestione della fertilizzazione azotata secondo i principi della Variable Rate Application (VRA) (Calcante, 2011). La loro applicazione in attività di monitoraggio del vigore vegetativo in vigneto e delle patologie vegetali che alterano i valori di NDVI è stata proposta da Drissi (2009) e Mazzetto (2010).

Entrambi i dispositivi hanno una fonte luminosa interna di tipo attivo (LED, Light Emitting Diode), che emette luce pulsata nella banda del rosso e del NIR, e misurano la frazione di luce emessa dalla vegetazione (riflettanza) nella porzione indagata. I valori di riflettanza vengono utilizzati per il calcolo in tempo reale dell'indice NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), secondo la formula largamente conosciuta (Rouse, 1974):

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{ROSSO}}{\text{NIR} + \text{ROSSO}}$$

Il GreenSeeker è dotato di due LED che emettono luce pulsata nel Rosso a 660 ± 10 nm FWHM e nel NIR a 770 ± 15 nm FWHM, e restituisce valori di NDVI con una frequenza di 10 Hz. Il CropCircle è provvisto di un LED policromatico con picco di emissione a 650 nm (rosso) e a 880 nm (NIR), e di una coppia di fotodiodi che catturano selettivamente la radiazione visibile (<700 nm) e infrarossa (>800 nm). La frequenza di acquisizione del NDVI può essere impostata tra 1 e 20 Hz. (Calcante, 2011).

Nel caso del presente progetto di ricerca, i rilievi di NDVI effettuati con tecniche di *proximal sensing* sono stati condotti dal Dip. Produzione Vegetale - Università degli Studi Milano (DIPROVE) utilizzando un mezzo mobile (quad) attrezzato con GPS differenziale, un Pc portatile ArvaPC, 2 coppie di sensori ottici (GreenSeeker[®]), 3 coppie di sensori ad ultrasuoni (Fig. 5.13 e Fig. 5.14).

Il rilievo in continuo, ad una velocità del veicolo durante il passaggio fra i filari di circa 4 Km/h, è stato eseguito sull'intera estensione dei vigneti sperimentali (Genesio, 2009).



Figura 5.13 - Quad attrezzato con sensori di *proximal sensing*.

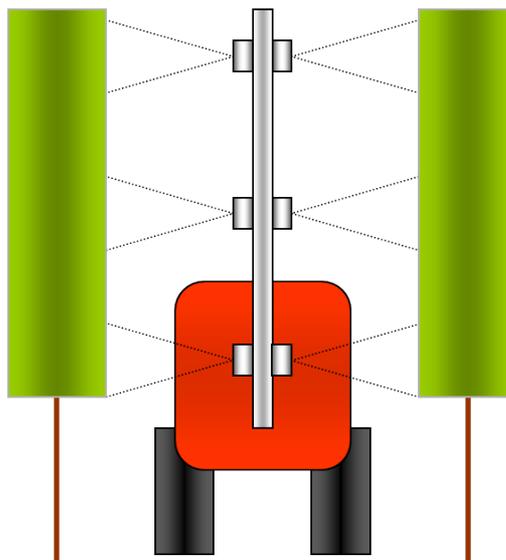


Figura 5.14 - Sistema di scansione ultrasuoni.

I sensori GreenSeeker, montati a una distanza di 1.16 m dal terreno in modo da rilevare la vegetazione a livello della zona di crescita dei grappoli, hanno restituito una visione laterale della vegetazione del vigneto ad una risoluzione di 610 x 10 mm. L'acquisizione è stata effettuata ogni 30-35 cm ed in seguito è stata interpolata linearmente per la derivazione delle mappe di NDVI (Carnevali, 2009).

Nel presente lavoro sono state acquisite dal 2008 al 2010 le immagini dei vigneti sperimentali con tecniche di *proximal sensing*, nello stesso periodo di acquisizione delle immagini telerilevate da aereo ultraleggero. Sono state così prodotte circa 30 mappe di NDVI per l'insieme dei vigneti messi a disposizione per la sperimentazione della ricerca.

5.2.4 Mappe di pedologia da rilievi di soil sensing

La variabilità spaziale del suolo all'interno di un vigneto si ripercuote fortemente sulle rese e sulla qualità dei prodotti. Sebbene la percezione della variabilità sia spesso un dato acquisito per il viticoltore, la sua quantificazione è complessa e soprattutto lo è l'individuazione di meccanismi che consentano di controllarla per migliorare le performance produttive. Conoscere la variabilità significa gestirla: aumentare l'efficienza di somministrazione di irrigazione e fertilizzanti, diminuire gli impatti ambientali e aumentare il valore delle produzioni. La ricerca in agricoltura mette a disposizione dei viticoltori una serie di tecnologie che consentono di delineare la variabilità spaziale in tempi brevi e a prezzi sempre più competitivi. Le tecnologie non distruttive più usate in viticoltura per caratterizzare le proprietà del suolo si basano sull'uso di sensori di tipo

geofisico usati per la misura della resistività elettrica – o del suo inverso, la conducibilità elettrica. La resistività elettrica ha enormi potenzialità in viticoltura ed è molto sensibile infatti a variabili legate sia alla produzione che alla qualità.

Essa varia in funzione del contenuto idrico, del contenuto di argilla, della salinità e della porosità, è correlata con il contenuto di scheletro, ma anche con i contenuti di sostanza organica e calcare, nonché con la capacità di scambio cationico. Il *range* di resistività per le diverse variabili del suolo si sovrappone ed è frequente l'interazione fra fattori. L'interpretazione dei dati richiede dunque la raccolta di un numero minimo di campioni di suolo per effettuare la calibrazione. La resistività è un ottimo indicatore delle proprietà permanenti del suolo, come la tessitura, che ha un ben noto effetto sul bilancio idrologico. Uno studio condotto da Costantini (1996) ha dimostrato come suoli a tessitura grossolana che vanno incontro a un moderato stress idrico durante la stagione estiva tendano a produrre vini con buone caratteristiche di struttura e tipicità. Molto importante è infine l'elevata sensibilità della resistività alla variazione di argilla, un parametro associato alla qualità del vino. La variazione di resistività ha mostrato forte correlazione con il contenuto di argilla e si è rivelata un buon predittore del contenuto di antociani, dell'intensità di colore e acidità del mosto.

La difficoltà di ottenere le caratteristiche dei suoli in maniera rapida ed economica è una delle maggiori criticità nelle applicazioni di viticoltura di precisione. Molte ricerche ed industrie del settore hanno provato negli anni a sviluppare dispositivi mobili attrezzati con sensori che potessero misurare le proprietà meccaniche, fisiche e elettromagnetiche dei suoli. I sensori sono stati basati su misure di proprietà elettriche ed elettromagnetiche, ottiche o radiometriche, meccaniche, acustiche pneumatiche ed elettrochimiche (Adamchuk, 2004).

Il rilevamento pedologico dei vigneti sperimentali del presente caso di studio è stato realizzato tramite tecniche non distruttive basate l'utilizzo di sensori ad induzione elettromagnetica (Adamchuk, 2004), un nuovo approccio per la produzione di cartografia dettagliata dei suoli.

Le mappe digitali dei parametri pedologici dei vigneti sono state fornite dalla John Deer, azienda specializzata nell'utilizzo di tecniche speditive di rilevamento basate su sensori ad induzione elettromagnetica (Electromagnetic Induction Sensor - EMI) montati su veicoli mobili (es: quad). Il parametro principale misurato dai sensori ad induzione elettromagnetica è la conducibilità elettrica (Priori, 2006). Questa è la capacità di un

materiale di condurre corrente elettrica e in geofisica viene generalmente misurata in mS/m.

Dall'interpolazione dei dati rilevati è possibile ricavare cartografia dei principali parametri dei suoli come la tessitura, la capacità di campo, stato di disponibilità idrica per le piante ed altre informazioni pedologiche utili agli agronomi di campo per una migliore gestione delle risorse ed ottimizzazione delle pratiche colturali.

Per i quattro vigneti sperimentali le aziende sperimentali del Consorzio hanno messo a disposizione più di 30 carte dei suoli, archiviate in formato raster e georiferite per analisi integrate per la viticoltura.

Sono così state archiviate nel database del sistema le seguenti mappe, relative ai principali parametri misurati:

- Capacità di campo 10-25 cm
- Capacità di campo 25-40 cm
- Capacità di campo 40-100 cm
- Conduttività elettrica
- Tessitura 10-25 cm
- Tessitura 25-40 cm
- Tessitura 40-100 cm

Le informazioni pedologiche oltre ad essere impiegate in studi di zonazione agro-pedologica delle aree alla viticoltura ricoprono una fondamentale importanza anche per ricerche integrate sulla variabilità intra-vigneto e le relative applicazioni operative in viticoltura di precisione.

5.2.5 I parametri agrometeorologici da rete di sensori wireless

All'interno di ogni vigneto e per ogni tesi è stato installato un sistema avanzato di rilevamento micro-meteorologico (sistema NAV - Network Avanzato per il Vigneto) in grado di acquisire dati relativi al microclima della pianta e del grappolo e di trasferirli in tempo reale con l'applicazione della tecnologia wireless (Fig. 5.15).

Il Network Avanzato per il Vigneto (N.A.V.) è un network wireless automatico di stazioni di monitoraggio per la raccolta di parametri micrometeorologici del vigneto, allo scopo di comprendere gli effetti di differenti pratiche di gestione della copertura vegetale sulla qualità del vino (Matese, 2009).

Il sistema N.A.V è stato progettato e realizzato dall'Istituto di Biometeorologia del Consiglio Nazionale delle Ricerche e comprende una stazione base accessibile da remoto

attraverso un modem GSM (stazione Master), e una serie di stazioni periferiche wireless che utilizzano la frequenza radio libera a 433MHz (stazioni Slave) dislocate nel vigneto (Fig.5.15)

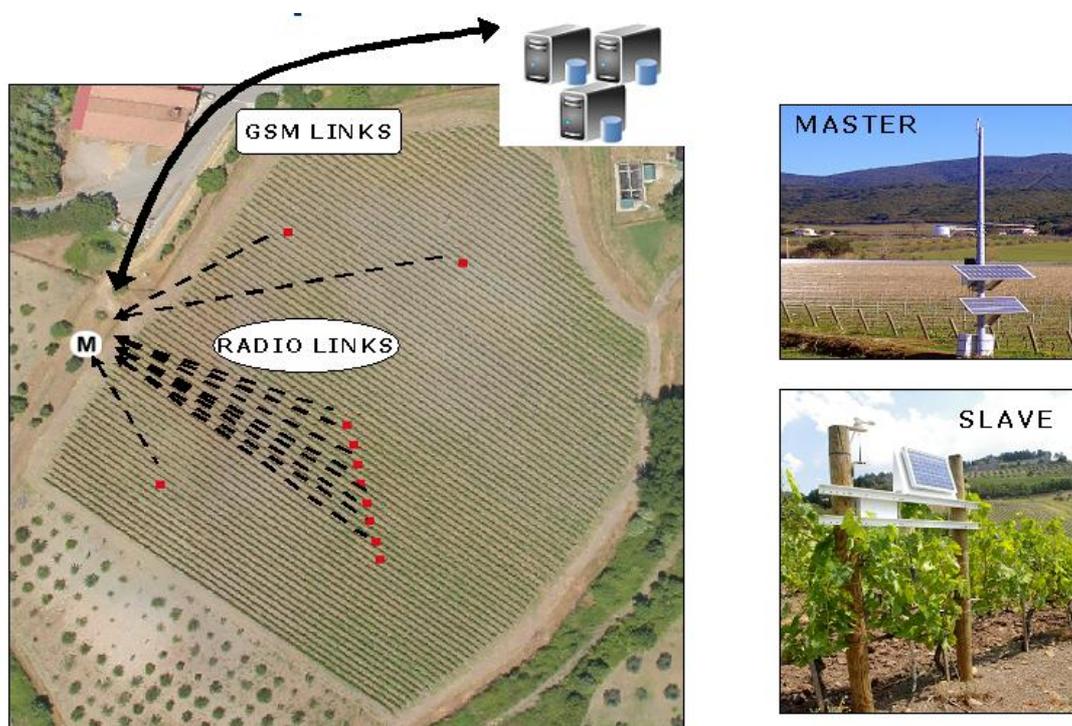


Figura 5.15 - Rete N.A.V. del vigneto sperimentale di Brolio e link di trasmissione dati

L'unità master (Fig. 5.16) è una stazione meteorologica che acquisisce i parametri standard definiti dal WMO (World Meteorological Organization). La stazione acquisisce ogni cinque minuti i parametri meteorologici come temperatura dell'aria, velocità e direzione del vento, piovosità, pressione atmosferica, umidità dell'aria e radiazione solare globale.

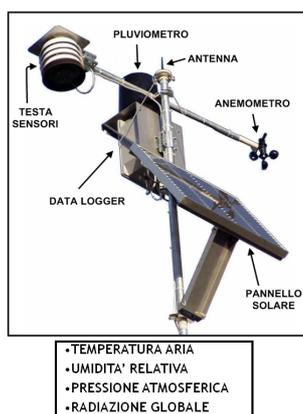


Figura 5.16 - Sensori Unità Master
(fonte: Matese, 2009)



Figura 5.17 - Data logger dell'Unità Master
(fonte: Matese, 2009)

5.2.5.1 Sensori dell'Unità Master

Come dettagliatamente riportato da Matese (2008, 2009) e Di Gennaro (2009) nei lavori di ricerca su sviluppo ed applicazione di Wireless Sensor Network (WSN) in viticoltura di precisione, la centralina meteorologica dell'Unità Master è composta da un data logger (Fig. 5.17) per l'acquisizione dei dati, una testa sensori (per la misura della radiazione solare globale, della temperatura e dell'umidità dell'aria e la pressione barometrica), da un anemometro e da un pluviometro (Fig. 5.18).

Il data logger consente l'acquisizione di 3 canali digitali, 8 ingressi analogici (0÷5V oppure 4÷20 mA) con una risoluzione di 16bit, 4 ingressi analogici (0÷5V oppure 4÷20 mA) con risoluzione 10bit. Per i canali analogici esiste la possibilità di impostare, tramite switch, il guadagno (x1, x10, x100) rendendoli adattabili a vari tipi di sensori.

Il data logger vero e proprio è costituito da una scheda a microprocessore 16 bit, dispone di memoria flash per la memorizzazione dei software applicativi, una memoria ram on board per la gestione dei dati acquisiti e una memoria USB esterna per l'archiviazione dei dati raccolti.

La centralina può essere alimentata dalla rete (tramite apposito alimentatore) oppure tramite pannello solare, è presente una batteria tampone per garantire la continuità del funzionamento in caso di mancanza di alimentazione principale.

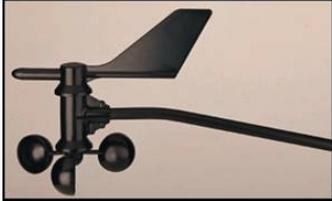
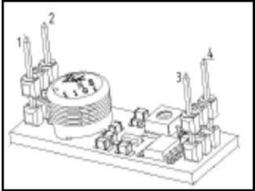
Inoltre la scheda dispone di un modem GSM per la trasmissione dati in remoto.

All'interno dell'unità master è presente un dispositivo di comunicazione seriale radio in banda libera 433MHz, frequenza di trasmissione libera non soggetta a concessioni

governative, connesso alla scheda data logger, per la comunicazione con i dispositivi periferici con una portata dell'ordine di alcune centinaia di metri.

Questa caratteristica, derivante dalla necessità di mantenere il sistema di trasmissione non vincolato al rilascio di concessioni governative, limita la distanza delle stazioni periferiche dalla master che in ogni caso deve essere verificata in campo perché la corretta trasmissione dei dati dipende molto dall'orografia dell'ambiente in cui viene posto il sistema. I dati raccolti dai dispositivi periferici vengono archiviati sull'unità USB di memoria di massa.

La connessione al sistema si può effettuare anche tra un PC con l'apposito software d'interfaccia tramite una seriale di servizio RS232.

	<p>Pluviometro (DeltaT) Range di misura: 500 mm/ora Ø imbuto: 254 mm Risoluzione: 0.2 mm Temp. di funzionamento: 0 ÷ 60 °C</p>
	<p>Anemometro Davis (7911) Velocità del vento Range di misura: 1.5 to 79 m/s, 5 to 282 km/h Risoluzione: 0.1 m/s, 1 km/hr Precisione: ±5 km/h, 1.5 m/s, or ±5% Direzione del vento Range di misura: 0° to 360° Risoluzione: 1 grado Precisione: ±7°</p>
  	<p>“Testa Sensori” Schermo antiradiazione con sistema di ricircolo dell'aria a convezione naturale oltre a aspiratore temporizzato contenente i sensori meteo</p> <p>Sensore di temperatura dell'aria (PT100 1/3 DIN) Range di misura: -30 ÷ 70°C Risoluzione: 0.1°C Temp. di funzionamento: -20 ÷ 80°C Precisione: ± 0.1°C</p> <p>Sensore di umidità dell'aria (HUMIREL HTM1505) Range di misura: 0 ÷ 100% Risoluzione: 0.1% Isteresi : Precisione: ± 5% (10 ÷ 95% RH) Range di funzionamento: -30 ÷ 85°C (Ta) ; 0 ÷ 100%(RH)</p>

	<p>Sensore di radiazione globale (Fotocella al silicio) Sensibilità spettrale: 400 ÷ 1100nm Range di misura: 0 ÷ 1400 W m² Risoluzione: 0.1 W m² Temp. di funzionamento: -20 ÷ 75°C Linearità: ≤ 5%</p> <p>Sensore di pressione atmosferica (XFAM 115KPA) Range di misura: 150 ÷ 1150hpa Risoluzione: 0.1hpa Temp. di funzionamento: -20 ÷ 85°C Precisione: ± 0.1hpa</p>
---	---

Figura 5.18 - Caratteristiche dei sensori dell'unità Master.

Fonte: Matese, 2009

5.2.5.2 Sensori dell'Unità Slave

Le unità Slave (Fig. 5.19) acquisiscono con intervallo orario i parametri micrometeorologici come: temperature dell'aria, temperature interna del grappolo, bagnatura fogliare, temperatura infrarossa della copertura fogliare, potenziale idrico matriciale del suolo misurato a due profondità (30 e 60 cm), velocità del vento e radiazione superficiale del grappolo, allo scopo di stimare la variabilità dovuta alle diverse pratiche di gestione del vigneto come sfogliatura, diradamento dei grappoli e potatura. Le caratteristiche dei sensori, di cui alcuni prototipi appositamente progettati nell'ambito del progetto di ricerca, sono riportate in Fig. 5.20.

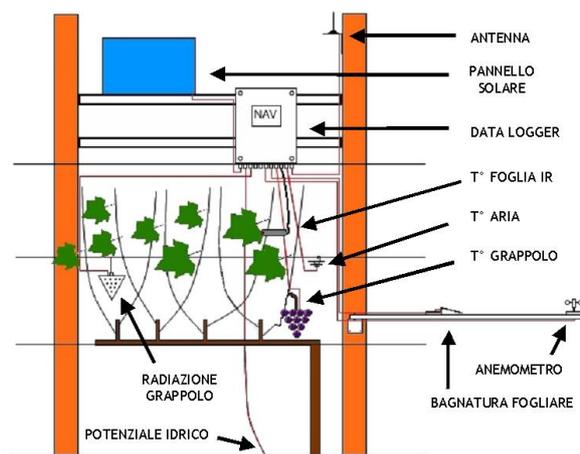


Figura 5.19 - Sensori Unità Slave

(fonte: Di Gennaro, 2009)

L'unità Slave è dotata di un data logger che consente l'acquisizione di un canale digitale impulsivo e 5 ingressi analogici per termocoppia di cui 2 dedicati ai sensori di potenziale idrico del suolo/temperatura del suolo (utilizziamo lo stesso sensore per entrambe le misure).

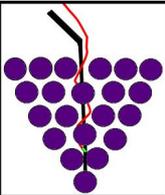
Una memoria non volatile di tipo FRAM (Ferroelectric Nonvolatile RAM, memoria più adatta rispetto alle convenzionali Eeprom all'utilizzo in campo) con autonomia di una settimana circa.

Porta seriale RS232 per la riprogrammazione e lo scarico manuale dei dati dall'unità.

La scheda integra inoltre un dispositivo di comunicazione seriale radio in banda libera 433MHz per la comunicazione con l'unità Master.

Quotidianamente l'unità Master interroga le unità periferiche scaricando da queste i dati raccolti che vengono memorizzati sul dispositivo USB presente sull'unità Master stessa, che a sua volta viene interrogata da remoto tramite un modem GSM.

Sulla scheda è inoltre presente il circuito caricabatteria con pannello solare e batteria tampone che garantisce l'autonomia dell'unità.

	<p>Sensore temperatura dell'aria Range di funzionamento: -30/+70°C Tipo di termocoppia: rame/constantana (T) Tempo di misura: 150ms Precisione: 1% Dimensioni: 80x60mm Peso: 50g</p>
	<p>Sensore temperatura interna del grappolo Range di funzionamento: -30/+70°C Tipo di termocoppia: rame/constantana (T) Tempo di misura: 150ms Precisione: 1% Dimensioni: 3x1mm Peso: 5g</p>
	<p>Sensore radiazione del grappolo Range di funzionamento: -10/+60°C Tempo di misura: 1s Precisione: prototipo da verificare Dimensioni: 120x90mm Peso: 70g</p>
	<p>Sensore radiazione del grappolo - nuovo prototipo con fotocella al silicene Range di funzionamento: -di/+ 75 °C Tempo di misura: 1s Precisione: prototipo da verificare Dimensioni: 120x90mm Peso: 70g</p>

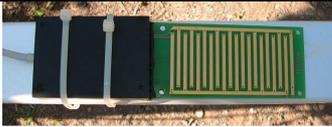
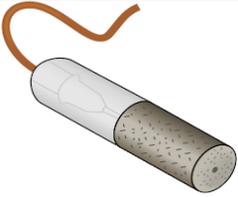
	<p>Sensore di bagnatura fogliare Range di funzionamento: 0-60°C no ice Tempo di misura: 1s Precisione: n.d. Dimensioni: 80x40mm Peso: 100g</p>
	<p>Anemometro Velocità del vento Range di misura: 0.9 ÷ 30m/s Risoluzione: 0.2m/s Precisione: ± 5%</p>
	<p>Sensore di temperatura fogliare a IR (OS36SM) Range di funzionamento: -20 ÷ 85°C Field of View : 1:2 (distance:spot) Sensore di output: termocoppia di tipo K Tempo di risposta : 150 ms Precisione : 1% Peso: 30g</p>
	<p>Sensore di potenziale idrico (Campbell 229-L) Range di funzionamento: -10 ÷ -2500kPa Tipo di termocoppia: rame/constantana (T) Tempo di misura: 30s Resistenza del riscaldatore: ~34ohms Precisione: ~1kPa Dimensioni: 15x60mm Peso: 10g (peso del cavo 23g/m)</p>

Figura 5.20 – Caratteristiche dei sensori dell’Unità Slave.

Entrambe le stazioni Master e Slave sono alimentate usando un pannello solare di piccole dimensioni ed una batteria in tampone.

Il sistema offre grande flessibilità nel dislocamento dei sensori per l’acquisizione dati, e la possibilità spostare facilmente sensori in campo, nodi e punti di misura anche dopo che il sistema è stato completamente installato. Il software scarica automaticamente ogni ora i dati raccolti dalle stazioni Slave tramite una connessione radio. I dati vengono salvati nella memoria di massa USB della stazione MASTER ed inviati presso la sede di raccolta (in questo caso presso la sede del CNR di Firenze) ogni giorno a mezzanotte tramite un collegamento GSM. Il disegno semplice e molto robusto, di entrambi gli apparati Master e Slave, assicura un’alta affidabilità in pieno campo.

5.2.6 I parametri ecofisiologici, proprietà ottiche e biochimiche delle piante

Una delle linee di ricerca del Consorzio Tuscania si basa su indagine puntuali per valutare gli effetti dei trattamenti agronomici sulla qualità delle uve (www.consorziotuscania.it). Sulla base del protocollo sperimentale, che ha previsto la

combinazione di differenti tecniche di gestione della chioma (carica di gemme/ceppo, defogliazione, diradamento dei grappoli) secondo uno schema a blocchi randomizzati, che contempla otto tesi sperimentali per ogni blocco, con tre repliche per vigneto è stata organizzata la raccolta dei parametri ecofisiologici delle piante (Pedò, 2008).

Durante la stagione vegeto-produttiva sono state caratterizzate le singole piante con indagini non invasive a breve distanza (NDVI, SPAD, conteggio grappoli e germogli, indice di Ravaz, rilievi fenologici). In fase vendemmiale sono stati compiuti due campionamenti per ciascuna tesi sperimentale, ripetuti in due momenti diversi: alla maturazione tecnologica e circa quindici giorni più tardi (vendemmia tardiva). Su tali campioni è stato effettuato l'ammestamento e l'analisi chimica dei mosti (*FOSS analytical*) con determinazione di: zuccheri solubili (°brix), ac. titolabile (g/L), pH, ac. malico e tartarico (g/L), ione potassio (mg/L), azoto prontamente assimilabile (APA - mg/L), polifenoli totali (mg/kg) ed antociani totali (mg/kg).

I dati raccolti nei quattro anni di sperimentazione sono stati strutturati e relazionati ai fattori micro-meteorologici e strutturali del vigneto (gestione agronomica, vigoria ed epoca di raccolta) per approfondire le interazioni fra fattori ed il loro peso sulla variabilità qualitativa delle produzioni.

5.3 Ciclo di sviluppo di un applicazione Web GIS

Lo sviluppo di un'applicazione Web GIS è qualcosa di più che l'acquisto di appropriate componenti hardware e software del sistema (Murakami, 2007; Nash, 2009).

Per lo sviluppo del sistema proposto in questo caso di studio è stato disegnato un ciclo di sviluppo (Helali, 2002) che descrive le principali attività partendo dall'analisi dei bisogni degli utenti per approdare al test applicativo e alla manutenzione corrente di un sistema Web GIS dedicato alla viticoltura di precisione che possono essere sintetizzate come segue:

- Analisi dei requisiti
- Disegno concettuale del sistema
- Valutazione acquisizione e configurazione hw e sw
- Progettazione e sviluppo del GeoDB
- Integrazione e test delle componenti del sistema WebGIS
- Sviluppo di *general frame work* per applicazioni WebGIS personalizzate
- Uso e manutenzione del sistema

5.3.1 Analisi dei requisiti

Come abbiamo accennato nei precedenti paragrafi, uno degli obiettivi che sta alla base dello sviluppo del sistema WebGis è quello di condividere attraverso Internet le informazioni necessarie allo sviluppo di strategie di gestione sito-specifica, in modo tale che il gran numero di dati raccolti, i prodotti intermedi di alcune elaborazioni ed i risultati delle ricerche siano facilmente accessibili agli attori coinvolti nelle attività di ricerca e sviluppo sulla viticoltura di precisione.

La definizione dei requisiti del sistema è stata svolta attraverso un'attenta analisi e continua verifica dei bisogni degli utenti che ha portato alla definizione di due importanti elementi necessari alle successive fasi di sviluppo del sistema:

- La lista delle funzioni di base del sistema
- La lista dei dati, geografici e tabulari disponibili e/o integrabili nel sistema

5.3.1.1 Analisi dei bisogni degli utenti

Nel caso di studio presentato per la sperimentazione di sviluppo di questa applicazione, possiamo raggruppare gli utenti del sistema in 3 grandi categorie fra i partner scientifici e tecnici del Consorzio:

- Ricercatori che si occupano di agronomia, viticoltura, eco-fisiologia delle piante, agrometeorologia, scienze statistiche, scienze pedologiche, scienze enologiche, scienze geografiche e telerilevamento, microbiologia e chimica degli alimenti. Nello specifico, per l'analisi dei bisogni, si sono svolte riunioni tecniche con il personale delle seguenti istituzioni di ricerca:
 - *Dip. Produzione Vegetale - Università degli Studi Milano*
 - *Istituto Agrario San Michele all'Adige (TN) Fondazione Edmund Mach*
 - *Istituto di Biometeorologia – CNR Firenze*
 - *Dip. Biotecnologie agrarie – Università degli Studi Firenze*
 - *Dip. Ingegneria Agraria e Forestale - Università degli Studi Firenze*
 - *Dip. Scienza del Suolo e Nutrizione della Pianta - Università degli Studi Firenze*
 - *Centro Interdipartimentale di Ricerca per la valorizzazione degli alimenti – Univ. Firenze*
 - *Dip. Statistica - Università degli Studi Firenze.*
- Agronomi aziendali ed enologi delle aziende coinvolte nella sperimentazione.
- Partner tecnici di aziende private, referenti per le analisi di laboratorio.

Una prima analisi dei bisogni degli utenti era stata già effettuata nella fase esplorativa precedente alla proposta di finanziamento della presente attività. Tuttavia durante tutte le fasi di sviluppo del sistema, seguendo un approccio partecipativo, si sono susseguiti svariati incontri con i diversi attori coinvolti, non sempre gli stessi dall'inizio delle attività del progetto Toscana, allo scopo di capire quali integrazioni di dati, di volta in volta, fossero necessarie per l'applicazione di nuove metodologie di analisi richieste dal percorso di ricerca sulla viticoltura di precisione. Un esempio è dato dalla richiesta, espressa quasi alla fine delle attività di progetto, di integrare nel Geodatabase del sistema anche i dati della linea di ricerca enologica, coinvolgendo microbiologi, enologi e chimici con un proprio disegno sperimentale da seguire.

Durante gli incontri, per gruppi di lavoro o collettivi, è stata fatta un'analisi approfondita dei bisogni relativi all'accessibilità al geodatabase, esigenza espressa come prioritaria rispetto ad altre funzioni che può offrire un sistema WebGIS. Questo per supportare:

- le elaborazioni finalizzate alla ricerca integrata;
- la conoscenza delle caratteristiche strutturali delle aree di studio
- il monitoraggio ambientale
- il monitoraggio operativo

Definire le modalità di accesso e le possibili interrogazioni alla base dati ha richiesto un approfondimento gli obiettivi specifici di indagine dei vari gruppi di ricerca e degli operatori del settore vitivinicolo ed enologico.

In questa fase la richiesta principale espressa dagli utenti è stata molto generale espressa in termini di “accessibilità a tutti dati” in modo tale da rendere il geodatabase idoneo a diversi usi (elaborazioni statistiche, applicazioni di modelli, analisi multiscala, analisi geostatistiche, panel test, applicazioni operative, etc.) e favorire allo stesso tempo l’integrazione delle informazioni provenienti da diverse fonti di acquisizione dati.

I dati, essendo utilizzati in maniera diversa dai vari partner, devono essere disponibili a scale diverse di aggregazione spaziale e temporale. Per esempio alcuni soggetti hanno richiesto la piena accessibilità ai dati grezzi registrati dai sensori in campo allo scopo di compiere personalmente le proprie elaborazioni (elaborazioni statistiche avanzate), mentre altri hanno trovato più utile e funzionale avere accesso a dati di base pre-elaborati o elaborati come ad esempio le immagini telerilevate pre-classificate o dati meteorologici aggregati (giorno, settimana, mese). Inoltre sono state censite, in modo più analitico, le diverse categorie di utilizzatori diretti del GeoDB per definire le procedure di archiviazione dei dati, sviluppo di funzioni, estrazione dati o semplice accesso all’informazione, al fine di definire i percorsi di accesso al database e le relative autorizzazioni. Questa analisi ha permesso di definire le funzioni personalizzate per l’aggiornamento, la gestione e l’estrazione dei dati.

Ai fini della ricerca integrata e sviluppo di metodologie sito-specifiche, la priorità è stata data alla costruzione delle relazioni fra dati multi-scala e multi-precisione ed alla redazione dei metadati che documentassero i dati raccolti in ogni fase della ricerca.

Ai fini operativi si è cercato invece di rendere le informazioni di campo (es: parametri meteorologici) ed alcuni dati di base (es: pedologia, indici di vegetazione, disegno sperimentale) facilmente fruibili per gli agronomi ed enologi aziendali secondo i tempi (ciclo colturale) e formati (es: report, immagini) che potessero essere verificati e utilizzati anche in pieno campo.

5.3.1.2 La lista delle funzioni di base

Le funzioni di base identificate per rispondere ai bisogni degli utenti, non solo in questa circostanza di ricerca ma anche in vista di una trasferibilità del sistema al Consorzio o ad altri potenziali utenti del settore, sono riconducibili allo stato attuale alla:

- Visualizzazione dei dati georiferiti con funzioni di base quali Pan, Zoom e altre funzioni avanzate come l'identificazione degli oggetti o le interrogazioni spaziali (es: una funzione per la selezione delle stazioni meteo dei vigneti e visualizzazione contestuale dei dati registrati dai sensori.);
- Accesso a tutti i dati archiviati nel geodatabase attraverso sw clientGIS o sw clientSQL (funzioni per utenti autorizzati con competenze avanzate in RDBMS);
- Accesso diretto al Geodb attraverso il geoportale (solo per utenti autorizzati);
- Integrazione e distribuzione di dati geografici tramite servizi web secondo standard OGC (Web Map Service);
- Consultazione della consistenza della banca dati disponibile attraverso un catalogo dati (consultazione dei metadati, preview e download);
- Consultazione dei dati attraverso delle interfacce personalizzate e conviviali (accesso guidato all'interrogazione del Geodb);
- Download diretto dei dati geografici visualizzati dall'interfaccia grafica del Geoportale (solo per utenti autorizzati)
- Possibilità future di integrare plug-in con funzioni analisi avanzate dei dati.
- Possibilità future di integrazione con servizi di connessione remota a reti di sensori secondo standard OGC-SWE (Sensor Web Enablement).
- Possibilità di supportare applicazioni per dispositivi mobili (smarthphone, tablet)

5.3.1.3 *La lista dei dati, geografici e tabulari disponibili e/o integrabili nel sistema*

Gli incontri con gli attori coinvolti nel processo di sviluppo del sistema sono stati finalizzati anche ad una indagine sulla natura dei dati da gestire. Questo ha portato alla redazione di un sintetico catalogo di dati (Tab. 5.4) suddiviso per aree tematiche, tipologia, contenuti, formato ed eventuali proiezione, estensione geografica e risoluzione raster ottenendo la strutturazione dei dati per categorie logiche. A questa prima bozza si sono aggiunti nel corso delle attività di ricerca altri dati relativi a tecniche di proximal sensing e della linea enologica²¹.

²¹ *Nel presente lavoro, anche se il Sistema SmartV include il geodatabase della linea di ricerca enologica, non saranno presentati i dati né discussi i risultati correlati per il livello specialistico e la complessità della ricerca del settore enologico che richiederebbe una trattazione a parte.*

Le informazioni raccolte in questa fase sono state inoltre la base per lo sviluppo del disegno concettuale e logico del GeoDB e del successivo disegno fisico.

Tabella 5.4 - Catalogo di massima dei dati del sistema

Aree tematiche	Tipologia	Contenuti	Formato	Proiezione	Datum	Estensione Geografica	Risoluzione raster
Cartografia di base	Dati raster	DEM	esri grid	UTM 32	WGS 84	quadro 10k	10 m
		Hillshade	esri grid	UTM 32	WGS 84	quadro 10k	10 m
		Toscana 250k	ecw	UTM 32	WGS 84	regionale	31 m
	Dati vettoriali	Limiti Amministrativi	shape	UTM 32	WGS 84	regionale	
		Rete viaria	shape	UTM 32	WGS 84	regionale	
		Rete idrica	shape	UTM 32	WGS 84	regionale	
Cartografia area di studio	Dati raster	Ortofoto voli Sky Arrow					
		Proximal sensing	tif	UTM32	WGS 84	azienda	30/60 cm
	Dati vettoriali	Vigneto	shape	UTM 32	WGS 84	vigneto	
		Piante	shape	UTM 32	WGS 84	vigneto	
		Campioni	shape	UTM 32	WGS 84	vigneto	
		Blocchi	shape	UTM 32	WGS 84	vigneto	
		Parcelle	shape	UTM 32	WGS 84	vigneto	
		Stazioni meteo	shape	UTM 32	WGS 84	vigneto	
Dati SIS	Dati Raster	Analisi pedologiche	esri grid	UTM 32	WGS 84	vigneto	1 m
Dati Meteo	Dati tabulari	Dati raccolti da stazioni master	Files comma delimited				
		Dati raccolti da stazioni slave	Files comma				
Dati IASMA	Dati tabulari	Analisi su parametri ecofisiologici	excell				
Dati DOC	Documenti	Caratteristiche stazioni meteo	word				
		Mappe del vigore nei	bmp	no	no	vigneto	no
		Dati gestione aziende	word				
		Protocollo Tuscania	word				
		Relazioni varie di avanzamento lavori	word				

5.3.1.4 Difficoltà riscontrate e soluzioni adottate

Nel contesto in cui è inserito questo lavoro di sviluppo e ricerca, vista la molteplicità degli attori coinvolti e l'eterogeneità della formazione di ciascun partecipante, non è stato molto facile definire i bisogni degli utenti anche perché ancor oggi in viticoltura di precisione le metodologie di analisi, che utilizzano dati così puntuali raccolti con

tecnologie così avanzate, sono tutte da sperimentare. E' stato dunque necessario adottare soluzioni e strategie diverse per definire i reali bisogni di informazioni nelle modalità, tempi e contenuti per le differenze esigenze di ricerca e di sperimentazione.

Fra le difficoltà riscontrate in questa fase del ciclo di sviluppo del sistema possiamo segnalare sicuramente i problemi collegati all'uso di una semantica propria di ogni settore specialistico sia di ricerca sia tecnico. Anche la non padronanza della terminologia e dei concetti di base di strumenti informatici, propri del mondo dei sistemi informativi geografici e dei database relazionali, ha rappresentato una criticità nella definizione delle specifiche tecniche del Geodb. Questa difficoltà è stata in parte superata mediante l'erogazione ad alcuni collaboratori del progetto di ricerca e al personale del consorzio di brevi corsi di formazione in DB relazionali e software GIS open source. Inoltre la realizzazione immediata di un primo prototipo di applicazione WebGis ha fatto meglio comprendere ai partner di ricerca il perché della necessità di attenersi a delle specifiche tecniche ben definite per la raccolta e trasferimento dei dati sperimentali. Questa è stata dunque una soluzione adottata per facilitare un approccio partecipativo alla creazione dell'applicazione distribuita su web e alla definizione delle funzioni di base del sistema. La creazione quindi di una piattaforma comune dove visualizzare i primi dati messi a disposizione dai partner della ricerca ha stimolato la discussione e fatto emergere così le richieste più dettagliate sui vari elementi quali:

- Formato standard di interscambio dei dati;
- Relazioni fra parametri viticoli ed enologici;
- Priorità nella scelta di visualizzazione delle informazioni;
- Identificazione di prodotti e dati utili alla ricerca multidisciplinare;
- Identificazione di prodotti e dati per un immediata ricaduta operativa;
- Definizione delle utenze e permessi di aggiornamento e manutenzione del GeoDB.

Il processo è stato affinato durante tutta la durata del progetto di ricerca, essendo la natura stessa dell'applicazione sperimentale e mai adottata in precedenza in studi sulla viticoltura di precisione.

Se ci riferiamo ai tre criteri fondamentali dell'interoperabilità dei dati per lo sviluppo di procedure di analisi territoriale, ovvero all'interoperabilità tecnica, semantica e politica, i risultati possono essere considerati più che soddisfacenti anche se molto c'è ancora da fare per tutti e tre i livelli.

○ *Interoperabilità tecnica*

Dal punto di vista tecnico ci sono ancora molte difficoltà a trattare grandi moli di dati che richiedono competenze nella gestione dei database relazionali piuttosto che l'utilizzo di semplici fogli di calcolo. Inoltre ci sono ancora molte lacune da colmare riguardo l'adozione di un formato standard di riferimento per il trasferimento delle immagini digitali a dispositivi montati su macchine agricole ad alta specializzazione operativa. Infine i laboratori di analisi chimica usano dei formati proprietari integrati al processo automatico dei dispositivi utilizzati per le analisi ed i risultati spesso sono forniti ai committenti in formato cartaceo o al massimo in file pdf. Per superare questa criticità sono state predisposte delle *form* di specifiche tecniche che fossero il più vicine possibili ai formati già correntemente in uso dai partner scientifici (es: fogli excel già impostati per l'immissione dei dati) e sono stati sviluppati dei programmi eseguibili che leggessero il formato nativo per poi trasformarlo nel formato del geodatabase del sistema.

○ *Interoperabilità semantica*

Dal punto di vista semantico le difficoltà riscontrate sono quelle che molto spesso si affrontano nei lavori che richiedono un approccio multidisciplinare e che vedono quindi specialisti di settore usare una terminologia e dei linguaggi più in uso nella propria materia.

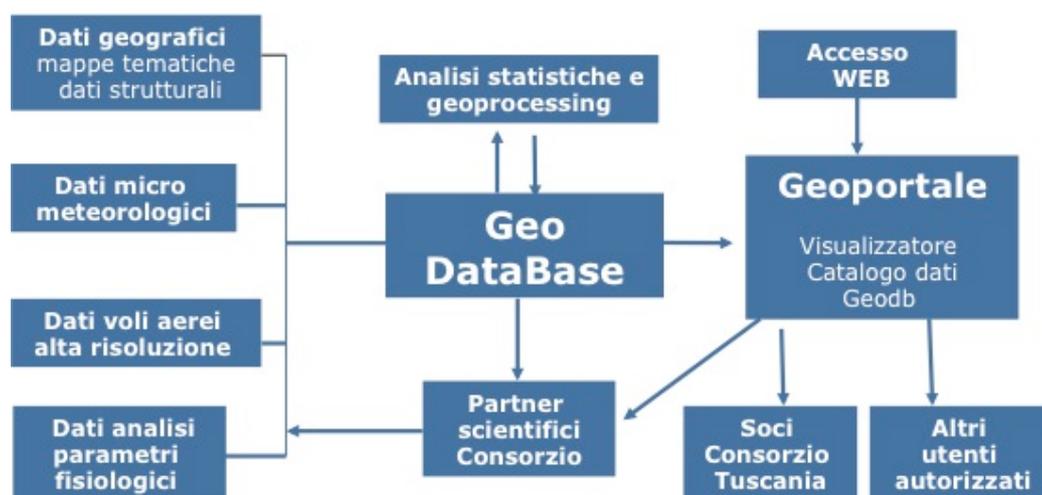
○ *Interoperabilità politica*

Dal punto di vista politico la condivisione dei dati è ancora uno scoglio abbastanza duro da superare ma la definizione di regole per l'utilizzo e l'accesso alle informazioni (*data policy*) può sicuramente aiutare a vincere quel "diritto di proprietà" sia da parte di istituzioni pubbliche che di settori privati. Infatti molte volte i dati e l'uso integrato delle informazioni rimangono di proprietà del privato, per motivi legati alla concorrenza dei mercati, o nei "cassetti" dei ricercatori per motivi legati alla "competitività scientifica" delle pubblicazioni secondo la formula ormai largamente conosciuta nel mondo della ricerca come sindrome del "*publish or perish*" (Hengl and Gould, 2006)

5.3.2 Disegno concettuale del sistema

Identificati i dati disponibili è stato disegnato il modello concettuale dell'intero sistema (Fig.5.4) che aiuta a definire le connessioni fra le componenti del sistema a prescindere dalla piattaforma tecnologica che sarà utilizzata. I dati sono centralizzati e distribuiti da un "data server" ed gli utilizzatori possono aver accesso ai dati in formato raster, vettoriale e tabulare in maniera diretta (in caso di utenti esperti, quali i partner scientifici) o attraverso

un interfaccia web (nel nostro caso sarà una componente del geoportale) che sarà personalizzata per l'applicazione sviluppata per il Consorzio. L'architettura per lo sviluppo dell'applicazione GIS web oriented permetterà inoltre all'utente di visualizzare in maniera interattiva la cartografia georiferita del sistema, consultare i parametri raccolti nel corso delle attività di ricerca e visualizzare in tempo reale i dati acquisiti della rete wireless di sensori agro-meteorologici.



Modello concettuale del sistema

5.3.3 Valutazione, acquisizione e configurazione hw e sw

La scelta dello “stack tecnologico” è una fase molto importante per il buon risultato dello sviluppo dell'applicazione WebGIS e richiede un'attenta valutazione delle caratteristiche hardware e software disponibili sul mercato e nella community dell'Open Source.

Nel presente caso di studio, per lo sviluppo dei servizi di Geoportale e di un GeoDB multi-utente è stato dedicato un server configurato con sistema operativo Linux. La scelta di Linux è raccomandabile sia per le sue origini Open Source, che ci svincolano dai diritti di Copyright, sia per la compatibilità con le componenti software scelte per le applicazioni di Web Services (Mapserver) e del RDBMS (PostGreSQL + PostGis). In questo caso di studio è stata scelta una distribuzione relativamente ben supportata e su cui sono già stati provati altri tentativi di piattaforme GIS - Open Source, Fedora Core 5. La scelta di una distribuzione in cui sono stati tentati altri approcci con strumenti simili a quelli che intendiamo utilizzare ci permette di trovare supporto in rete da forum e siti specializzati

per la risoluzione di problemi tecnici come le compatibilità tra i vari pacchetti o i loro comportamenti anomali.

Per la scelta delle caratteristiche è necessario quantificare un ipotetico carico di lavoro ed esaminare che tipo di assorbimento di risorse questo lavoro genererà e in che tempi. Una premessa importante riguarda quindi l'organizzazione della catena di produzione, infatti risulta importante ottimizzare in modo adeguato i meccanismi di simbiosi dei vari prodotti Open Source adoperati e creare degli *script ad hoc* per migliorare la velocità di caricamento. Primaria, in ordine di importanza, è sicuramente la pianificazione di un sistema di *pre-caching* dei layer informativi presenti sulla banca dati del server; il fatto che i dati una volta archiviati non abbiano una frequenza di aggiornamento alta consente di trarre un grande beneficio in termini di performance da questa attività. In pratica periodicamente si effettua un controllo dei dati presenti nel db e utilizzando appositi comandi andiamo a pre-calcolare e memorizzare i singoli *tile* dei nuovi *layer* a tutte le scale di visualizzazione previste ottenendo così una notevole velocizzazione della fase di caricamento a solo discapito di un modesto incremento dello spazio necessario sui dischi fissi. C'è da considerare che il carico di lavoro nelle fasi di *pre-caching* sul server non risulta troppo eccessivo anche grazie al fatto che l'inserimento dei dati nel RDBMS è progressivo.

Una volta scelto l'ambiente e l'organizzazione della catena di produzione nell'ottica di garantire una buona performance del sistema SmartVineyard, risulta fondamentale una scelta adeguata della piattaforma hardware. Il server deve essere in grado di garantire un alto livello di comunicazione fra l'utente (colui che sta utilizzando il web browser per accedere al geoportale) ed i web services (consultazione dei dati, visualizzazione della cartografia etc.), deve essere in grado di sopperire a molteplici richieste contemporanee di informazioni da parte dei vari utenti anche sui medesimi layer informativi, inoltre è importante che garantisca un agevole recupero della operatività in caso di *crash* e un buono spazio di *storage*.

Nel lavoro di *rendering* e caricamento dei *layer* e soprattutto quando ci sono più richieste contemporanee, spesso il collo di bottiglia risulta essere la capacità di elaborazione del dato cosa che porta a dover scegliere delle architetture hardware molto costose per non cadere in una situazione di decadimento della performance; in questo caso spalmando questa attività più omogeneamente riusciamo a attutire gli effetti dei picchi e ci

dobbiamo preoccupare soprattutto della velocità e affidabilità degli Hard Disk anche grazie alla snellezza dei servizi dei sistemi operativi Linux .

La scelta è quindi caduta su HD di tipo SATA implementando un sistema di backup bi-settimanale che non sovraccarica la macchina nel suo normale stato operativo, pianificando in un orario normalmente di basso carico una sincronizzazione di un secondo HD normalmente off-line. La RAM richiesta da questi tipi di operazione anche in caso di molte sessioni aperte contemporaneamente non è elevata e quindi è stato usato 1 Gbyte prediligendo una tipologia più veloce.

Per quanto riguarda il processore la scelta ha previsto qualcosa di più di quello che è immediatamente necessario nell'ottica di una già prevista evoluzione del server con funzioni di analisi che dovranno girare lato server.

5.3.3.1 Configurazione hardware e software

La scelta tecnologica adottata per lo sviluppo del sistema si è basata sull'esperienza maturata della scrivente in sviluppo di geoportali tematici (ref.) e su una approfondita indagine delle recenti evoluzioni delle scienze geografiche e del' ICT e dell'affermarsi di soluzioni informatiche Open Source e di standard geomatici. Anche il fattore economico, la trasferibilità e la sostenibilità nel tempo sono stati elementi presi in considerazione nella scelta delle caratteristiche tecniche della della componente hw e sw del sistema.

Il server utilizzato sia per l'archiviazione e gestione dei dati sia per lo sviluppo di applicazioni WebGIS è un unica macchina che include le funzioni di un *Data server* e un *Application server*, ed è un Server HP ML350T G4P con le seguenti le caratteristiche:

Processore	Intel Xeon Processor 3.0 GHz/800-2 MB L2
Ram	512 MB PC2-3200 DDR2 SDRAM (400MHz) 6 slot - capacità max 12GB - 2 GB a bordo
Cache	Integrated 2 MB Level 2 cache
Hard disk	Massima espandibilità' 2 x 250 GB with standard controller + 4 x 250 GB with 2 x 250 GB a bordo
Optional	SATA array controller
Versione	Tower
Controller	HP integrated 2 Port SATA controller (bypassato con sistema di backup a copia fisica)
Scheda di Rete (NIC)	Embedded NC7761 PCI 10/100/1000T Gigabit network adapter

Scheda grafica	Integrated ATI RAGE XL Video Controller with 8-MB SDRAM
CD-ROM	48x IDE (ATAPI) CD-ROM Drive
Sistemi operativo	GNU/LINUX Distribuzione Fedora Core 6
Alimentatore	Hot plug models include: 725 Watt, Power Factor Correction (PFC), Hot Plug 100 to 240 VAC Rated Input Voltage (Auto-sensing), CE Mark Compliant Optional 2 nd power supply for hot-pluggable 1 + 1 redundancy
Tastiera	Opzionale
Mouse	Opzionale

5.3.3.2 Librerie esterne e pacchetti Open Source necessari

In seguito all'esperienza maturata e gli approfondimenti svolti in questi ultimi anni si è deciso di usare esclusivamente Componenti Open Source per evitare chiusure e limiti nella distribuzione dei prodotti da parte dei proprietari dei prodotti commerciali e contenere le spese riguardo la componente software del sistema.

Il web server utilizzato è Apache HTTP server.

Il web MapServer, ovvero il motore che gestisce l'informazione geografica attraverso la pagina web, è invece l'UMN (University of Minnesota) MapServer (<http://mapserver.gis.umn.edu/>). Quest'ultimo è stato configurato in modo che comunichi con il web server ed assembli i livelli dei dati geografici in un'immagine visualizzabile sulla nostra web page. Mapserver possiede una interfaccia web di default ma per questa applicazione è stata utilizzata un'interfaccia web sviluppata con tecnologia Java. Ka-Map (<http://ka-map.maptools.org>) è sempre un progetto Open Source creato per fornire una interfaccia Ajax (Asynchronous JavaScript e XML) per sviluppare applicazioni di Web-mapping altamente interattive sfruttando le funzionalità disponibili nei più comuni browsers web. Questo tipo di interfaccia (lato cliente) ha come vantaggio principale quello di rendere asincrona l'interazione fra utente e server. Inoltre l'interfaccia può essere personalizzata da programmatori esperti tramite l'utilizzo di API (Application Programming Interface) per espandere le potenzialità del Ka.Map aggiungendo nuove funzionalità o modificando le esistenti. La compatibilità è altissima con i più diffusi web browsers.

Per quanto riguarda la scelta del Geo-RDBMS, l'introduzione delle funzionalità spaziali fa di PostgreSQL e PostGIS la scelta migliore per l'implementazione di un GeoDB.

Infatti PostGIS rappresenta in un Sistema Informativo un ruolo centrale, come deposito di tutti i dati in entrata, dalle immagini satellitari a i dati sperimentali di campo e la loro

integrazione per una localizzazione dei fenomeni correlati ad uno studio mirato della variabilità delle produzioni ed alla loro qualità.

Lo stack software necessario per rendere operativo il Server Linux ed assicurare la fornitura dei servizi richiesti dall'applicazione WebGIS e per la connessione al Geodb con client SQL e/o Client GIS ha richiesto l'installazione dei seguenti prodotti sw Open Source:

Apache	Web server Apache 2.2.6
PHP	Per PHP/MapScript 5.1.2
MapServer	5.0.0
libpng	v. 1.2.23
freetype	2.2.1
GD	v. 2.0.35
Zlib	1.2.3 - 3
PostgreSQL	DB relazionale a oggetti - v. 8.2.5
PostGIS	DB spaziale per informazioni geografiche - v. 1.3.2
Proj4	Libreria che permette la riproiezione delle coordinate spaziali x PostGIS e MapServer - v.4.5.0
GEOS	Libreria che permette il test delle geometrie con PostGIS v. 2.2.3
GDAL	Librerie per l'accesso a 42 tipi di formati raster v. 1.4.2 + OGR per l'accesso a 18 tipi di formati vettoriali.

5.3.4 Progettazione e sviluppo del GeoDB

Il disegno del GeoDB di supporto alle ricerche avanzate in viticoltura di precisione è stata un fase di lavoro molto complessa che è iniziata dall'analisi delle metodologie di raccolta dei dati sperimentali fino alla restituzione, di tabelle, grafici e mappe tramite *query* costruite in base ai bisogni di elaborazioni dati dei partner scientifici. Il GeoDB è alla base dello sviluppo di funzioni di rappresentazione dei dati (grafici, simboli, colori, etc.), della struttura dei file geografici, dei file tabellari, quali layer devono essere attivi, con quali priorità e scala, come i dati geografici saranno presentati (layout, report format etc.) ed infine la definizione dei diritti per la gestione e l'accesso alla BD.

In sintesi una volta definita la consistenza dei dati le fasi principali per lo sviluppo del geodb del sistema sono state:

- Disegno concettuale e logico del GeoDB;
- Disegno fisico del GeoDB;
- Definizione delle procedure per l'import/export dei dati nei diversi formati definiti;
- Definizione delle procedure per la manutenzione e l'aggiornamento.

5.3.4.1 La modellazione concettuale e logica dei dati

La fase di progettazione e modellazione concettuale del Geodatabase è finalizzata ad approfondire le problematiche di usabilità e di possibile evoluzione allo scopo di:

- descrivere i contenuti in maniera formale ed indipendente dalla piattaforma tecnologica in un modello concettuale tale da consentirne l'interpretazione univoca e lo sviluppo su piattaforme differenti;
- ipotizzare eventuali processi di aggiornamento ed integrazione del GeoDB realizzato;
- descrivere le informazioni in maniera indipendente dalla modellazione spaziale, essendo questa strettamente correlata dalla modalità di acquisizione, dalla frequenza e dall'accuratezza, in genere dagli aspetti di qualità del dato rilevato;
- ipotizzare possibili sviluppi di contenuto e di qualità del dato in funzione dei flussi informativi cui tale archivio potrebbe essere sottoposto;
- consentire lo sviluppo di applicazioni specifiche che utilizzino l'archivio come *repository* per evolvere su modellazioni di tipo specialistico ed ad hoc.

Per tutte queste ragioni, a monte della formulazione di uno schema fisico ben definito, è stata approfondita la problematica del modello da adottare e su questa base definire "gli oggetti" di riferimento per la modellazione del DB.

Nella fase iniziale sono stati quindi raccolti ed organizzati i dati acquisiti dalle diversi soggetti coinvolti nelle attività di ricerca dl progetto Tuscania.

Lo sforzo compiuto in questa fase di lavoro è stato quello di progettare e prevedere su un modello concettuale le possibili integrazioni ed aggiornamenti, rendendo tuttavia possibile l'elaborazione ed l'implementazione sin dalle fasi iniziali del progetto, consapevoli che nel corso dello svolgimento delle ricerche sarebbero stati integrati altri

dati di diversa fonte. La fase di progettazione del GeoDB fa riferimento alla modellazione dei contenuti secondo l'approccio tecnologico dei Database relazionale ad oggetti (*Object-Relational Database*). In particolare ogni oggetto è stato completamente ed autonomamente definito a prescindere dalla struttura spaziale con la quale è disponibile, che invece è funzione della sorgente di rilevazione e della accuratezza con la quale è stato acquisito.

Lo schema logico è stato realizzato utilizzando l'ambiente di sviluppo integrato Eclipse, attraverso il quale è stato possibile disegnare la struttura del database.

Lo schema è stato progettato con l'obiettivo di organizzare diverse tipologie di dati e di metterli facilmente in correlazione tra loro facendo attenzione a creare un database funzionale e snello nella consultazione e manutenzione dei dati.

Il database di Toscana può essere suddiviso in quattro sezioni principali; ogni sezione è strutturata per contenere specifici dati, ma allo stesso tempo questi quattro macro blocchi sono messi in correlazione tra di loro; ciò permetterà di collegare logicamente i dati analitici con i dati meteo e con le loro posizioni geografiche.

Il database è dunque composto dai seguenti blocchi logici:

Blocco meteo: contiene tutti i dati pervenuti dalle stazioni meteo Master e Slave, lo schema permette di censire le singole stazioni mettendole in correlazione con le piante (nel caso delle Slave) e con le parcelle dei vigneti. Per ogni stazione il database è in grado di associare tutti i dati temporali raccolti.

Blocco analisi: contiene tutti i dati di analisi sulle piante, le varie tesi sono tutte messe in correlazione con i dati della loro ubicazione spaziale

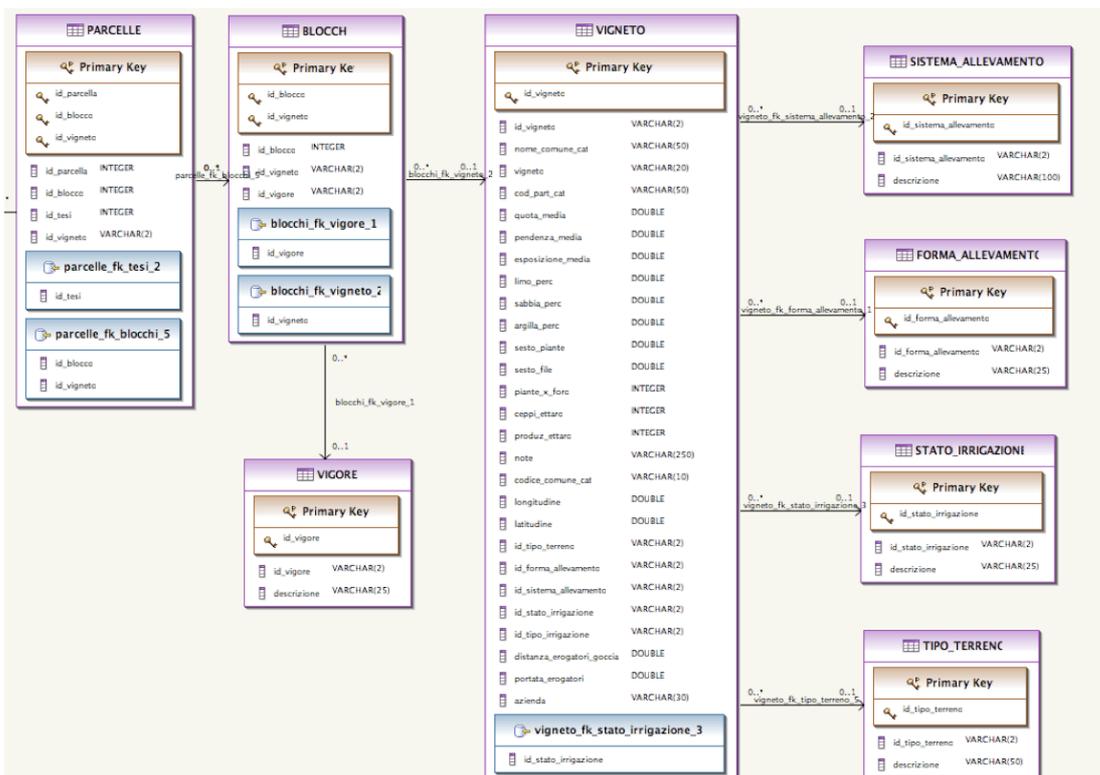
Blocco geografico: grazie all'utilizzo della libreria PostGIS i dati geografici vettoriali saranno inseriti direttamente nel database sottoforma di tabelle spaziali; ogni singolo elemento dei vari strati informativi sarà identificato univocamente record per record; inoltre attraverso un apposito campo identificativo sarà legato alle piante e ai relativi dati analitici.

Blocco strutturale: contiene i dati strutturali e fondamentali dei vari vigneti, cioè le informazioni tabulari su piante, vigneti, blocchi e parcelle.

5.3.4.2 Il modello fisico e strumenti di modellazione del database relazionale

Mentre il livello concettuale analizza e progetta tutti i contenuti possibili e opportuni al caso in esame, il disegno fisico si limita a formalizzare gli elementi al momento esistenti e disponibili. Per i futuri aggiornamenti dello schema fisico, ove vi fossero integrazioni e revisioni, occorrerà ripartire dal livello concettuale per verificare come implementare la nuova versione di database fisico.

In questa fase sono state indicate le varie tipologie di entità spaziali/geografiche e non, raggruppabili attraverso un insieme di caratteristiche comuni. Anche in questo caso il dialogo con gli altri partner del progetto è stato fondamentale, in particolare con l'Istituto Agronomico di San Michele all'Adige che, compiendo gran parte delle analisi di campo sui vigneti, è anche fornitore della maggior parte dei dati da immettere ciclicamente nel GeoDB. Le azioni previste sono state l'identificazione e descrizione delle entità e delle relazioni fra le diverse categorie di oggetti. Si è così ottenuto la descrizione degli oggetti (ovvero tabelle, cartografia tematica, delle regole e dei documenti informativi oggetto del GeoDB) la descrizione delle relazioni fra le diverse categorie di oggetti e il disegno del diagramma del GeoDB (disegno del modello dati con UML). Il disegno del diagramma del GeoDB, di cui solo una parte è rappresentato in Figura, è stato effettuato utilizzando il software OpenSource Eclipse opportunamente dotato del plug-in 2UML della Soyatec. Tale software offre chiari vantaggi di natura economica e il suo utilizzo si sposa bene con le scelte fatte precedentemente sull'utilizzo di un OpenSource RDBMS come PostgreSQL. Bisogna comunque tener presente che lo schema del GeoDB potrebbe in futuro essere modificato o ampliato in base a specifiche richieste.



Schema fisico del blocco dei dati strutturali dei vigneti.

5.3.4.3 Strumenti per l'implementazione del geodatabase

Il GeoDB del progetto è stato realizzato usando il software Open Source PostgreSQL con la componente PostGIS. PostgreSQL è un “free object-relational database server” ovvero un DBMS realizzato sotto licenza BSD (Berkeley Software Distribution) ed appartiene ad una famiglia di software a licenza libera che offrono un'alternativa alle soluzioni commerciali. Come altri progetti Open Source (Apache, Linux, e Mediawiki) PostgreSQL non è controllato da una singola compagnia ma è realizzato da una comunità globale di sviluppatori e compagnie. PostGIS, sviluppato dalla Refraction Research, come progetto di ricerca nel campo della tecnologia dei database Open Source, aggiunge la componente spaziale a PostgreSQL, permettendo il suo uso anche nell'ambito dei Sistemi Informativi Geografici. Ovvero permette a PostgreSQL server di essere il DB spaziale per un Sistema Informativo Geografico (GIS) come potrebbero essere, nel caso di software commerciale, lo Spatial Data Engine ESRI o la Spatial Extension di Oracle.

PostGIS è stato realizzato sotto licenza GNU ed il suo sviluppo, tuttora in corso, ha sempre seguito la specifica di Simple Features Specification for SQL dell'OGC (Open Geospatial Consortium).

Ovviamente la scelta di un software OpenSource ha permesso di abbattere notevolmente i costi rinunciando all'acquisto di licenze dei software commerciali, ma ha richiesto l'impegno di più risorse umane per lo sviluppo e la configurazione del sistema. In questo lavoro è stata infatti fondamentale la collaborazione con l'IBIMET-CNR grazie al supporto dell'amministratore di sistema e del tecnico informatico che hanno configurato il server e sviluppato l'applicazione, seguendo le specifiche messe a punto nel corso di questo lavoro.

I vantaggi dell'interoperabilità nello sviluppo lato server consentono l'accesso diretto da parte dell'utente, la personalizzazione dell'interfaccia per normali operazioni di popolamento del database, aggiornamento e manutenzione. La soluzione Open Source permette notevoli potenzialità per lo sviluppo di funzioni personalizzate anche per nuove applicazioni.

I risultati ottenuti sono stati la descrizione della tipologia di dati geografici e loro gerarchizzazione in funzione della scala, la definizione delle unità minime di riferimento in base allo schema sperimentale, l'identificazione della cartografia di base di riferimento, la definizione dei metadati e l'archiviazione di tutti i dati di riferimento.

- *Trasferimento dello Schema sul DBMS PostgreSQL*

Dopo aver effettuato le prime verifiche sulle caratteristiche dello schema (capacità di stoccaggio dati, congruità delle relazioni, ridondanza dei dati) è stato effettuato il trasferimento dello stesso sul server Toscana opportunamente configurato con il DBMS PostgreSQL; si è ottenuta così la prima versione ufficiale del database.

Il trasferimento è stato possibile utilizzando un plugin commerciale per l'ambiente Eclipse; EclipseDatabase; grazie ad esso è stato possibile integrare in un unico ambiente di sviluppo la parte riguardante gli applicativi e quella riguardante lo schema concettuale della banca dati. EclipseDatabase ha fornito alcune funzionalità che hanno permesso una più efficiente stesura dello schema e delle verifiche inerenti la congruità della struttura; inoltre ha permesso in seguito di riversare in pochi passaggi lo schema (comprensivo di tabelle, relazioni, definizione dei campi, delle chiavi, etc) direttamente sul DBMS PostgreSQL precedentemente installato e configurato; il plugin fornisce inoltre un'ottima interfaccia per le modifiche e le revisioni successive dello schema e dei contenuti del database.

- *Popolamento del database*

Il popolamento di un database è una fase molto importante e delicata in quanto permette di fare una prima verifica sulle capacità del database nella gestione dei dati e la congruità degli stessi; in un database complesso e composto a sua volta da più substrati come quello per applicazioni in viticoltura di precisione, il popolamento dei dati avviene a fasi separate coinvolgendo di volta in volta i dati appartenenti ad un unico gruppo logico; nel nostro caso dati meteo, dati di analisi, dati geografici e dati strutturali.

Le procedure per popolare il database possono variare a seconda dei casi e delle esigenze richieste; in generale tre sono le modalità per l'inserimento dei dati:

- Accesso diretto: utilizzando applicativi specifici per l'accesso ai database come pgAdminIII, è possibile eseguire manualmente le query di inserimento dei dati, questo è sicuramente il procedimento più macchinoso nel caso di inserimento di grosse quantità di dati; sicuramente è il modo più consigliato per piccole variazioni su un esiguo numero di dati.
- Applicativo personalizzato: attraverso un applicativo sviluppato ad hoc in grado di eseguire compiti di inserimento ed interrogazione diretti. Tali applicativi possono essere sviluppati come programmi web-oriented o stand alone conformemente alle esigenze di progetto. Questo sistema permette un accesso al DB di tipo semi-automatico dove l'utente è comunque in grado di decidere le modalità di accesso e di manipolazione dei dati.
- Moduli background ETL (Extract Transform Load module): sono anche questi applicativi ma non prevedono un'interazione con l'utente, vengono eseguiti in background, attivati tramite una chiamata ciclica o attraverso eventi; questi moduli si aspettano un flusso dati in ingresso che seguono determinate specifiche, ne estraggono i dati e li riformattano per la loro importazione nel database.

Nel corso dello sviluppo del sistema sono stati sviluppati vari strumenti per l'accesso ai dati che rispondono ai criteri degli esempi sopra riportati; i moduli sviluppati sono quelli per il trattamento dei dati provenienti dalle stazioni meteo, dati delle analisi dei parametri qualitativi delle uve e dati della linea enologica (non trattati in questo elaborato di tesi); riguardo i dati meteo data la natura degli stessi flussi è stato deciso per orientarsi sullo sviluppo di moduli ETL (Extract Transform Load) richiamabili automaticamente.

I due moduli ETL sviluppati per il caricamento dei dati meteo sono stati sviluppati utilizzando il linguaggio Java (versione 1.5.0) ed hanno il compito di

- prelevare i file ASCII (Fig. 5.21) provenienti dalle stazioni meteo (slave e master),
- di elaborarli per renderli compatibili con la struttura dati del database, ovvero interpretano i valori contenuti ed effettueranno l’inserimento dei dati rimodulati per essere congrui con le specifiche del database.
- di inserirli nel Geodb al fine di popolare le relative tabelle (Fig 5.22).

data	hra	tcjc	tair	tgrap	tleaf	tsoil1	tsoil2	t_heatsoil1	t_heatsoil2	vw	bat	bagn	leaf
01/01/08	11	11.100000	10.200000	8.400000	16.500000	7.200000	10.900000	10.300000	7.700000	0.300000	6744.000000	0.000000	0.000000
01/01/08	12	12.700000	11.000000	9.500000	19.000000	8.500000	11.700000	10.800000	8.600000	0.000000	6759.000000	0.000000	0.000000
01/01/08	13	13.700000	11.900000	10.400000	18.300000	11.000000	17.100000	12.600000	20.500000	0.000000	6767.000000	0.000000	0.000000
01/01/08	14	12.900000	11.300000	10.200000	16.300000	8.000000	16.700000	9.500000	19.200000	0.000000	6773.000000	0.000000	0.000000
01/01/08	15	12.600000	10.300000	9.400000	16.000000	8.500000	16.000000	11.300000	20.700000	0.000000	6776.000000	0.000000	0.000000
01/01/08	16	10.900000	8.500000	8.300000	11.500000	11.300000	13.100000	13.900000	17.700000	0.000000	6746.000000	0.000000	0.000000
01/01/08	17	7.300000	6.500000	6.600000	6.500000	9.400000	11.700000	11.800000	14.500000	0.000000	6269.000000	1.000000	1.000000
01/01/08	18	6.300000	6.100000	6.100000	6.000000	9.200000	10.600000	11.700000	14.000000	0.000000	6211.000000	1.000000	1.000000
01/01/08	19	5.800000	5.700000	5.600000	5.800000	8.600000	10.200000	11.800000	14.100000	0.000000	6200.000000	1.000000	1.000000
01/01/08	20	5.700000	5.500000	5.400000	5.700000	8.500000	10.400000	12.000000	14.000000	0.300000	6194.000000	1.000000	1.000000
01/01/08	21	5.500000	5.500000	5.500000	5.100000	9.300000	11.000000	11.800000	14.100000	0.000000	6190.000000	1.000000	1.000000
01/01/08	22	5.000000	4.900000	4.900000	4.900000	8.100000	9.600000	11.700000	14.100000	0.300000	6185.000000	1.000000	1.000000
01/01/08	23	5.100000	4.500000	4.800000	5.100000	10.300000	10.500000	11.800000	13.900000	0.000000	6180.000000	1.000000	1.000000

Figura 5.21 – Dati registrati dalle stazioni slave del vigneto di Brolio.

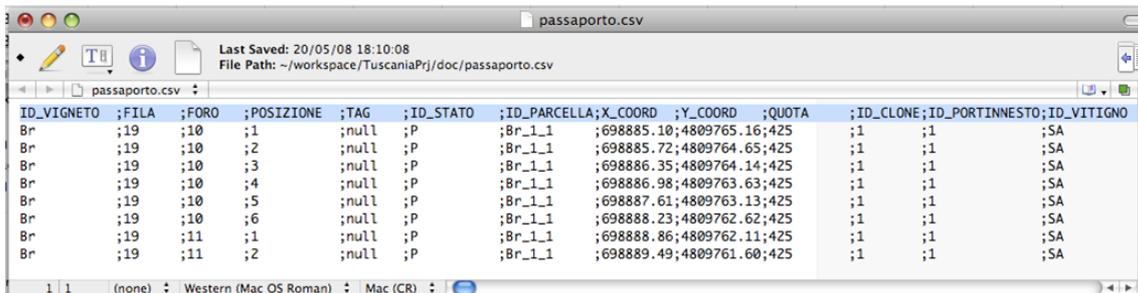
id_staz_me	data	data_str	tcjc	tair	tgrap	tleaf	tsoil1	tsoil2	t_heatsoil1	t_heatsoil2
[PK] charac	date	[PK] charac	double prec	double pr						
BR_2_4_S	2008-01-01	20080101	12.7	11	9.5	19	8.5	11.7	10.8	8.6
BR_2_4_S	2008-01-01	20080101	13.7	11.9	10.4	18.3	11	17.1	12.6	20.5
BR_2_4_S	2008-01-01	20080101	12.9	11.3	10.2	16.3	8	16.7	9.5	19.2
BR_2_4_S	2008-01-01	20080101	12.6	10.3	9.4	16	8.5	16	11.3	20.7
BR_2_4_S	2008-01-01	20080101	10.9	8.5	8.3	11.5	11.3	13.1	13.9	17.7
BR_2_4_S	2008-01-01	20080101	7.3	6.5	6.6	6.5	9.4	11.7	11.8	14.5
BR_2_4_S	2008-01-01	20080101	6.3	6.1	6.1	6	9.2	10.6	11.7	14
BR_2_4_S	2008-01-01	20080101	5.8	5.7	5.6	5.8	8.6	10.2	11.8	14.1
BR_2_4_S	2008-01-01	20080101	5.7	5.5	5.4	5.7	8.5	10.4	12	14
BR_2_4_S	2008-01-01	20080101	5.5	5.5	5.5	5.1	9.3	11	11.8	14.1
BR_2_4_S	2008-01-01	20080101	5	4.9	4.9	4.9	8.1	9.6	11.7	14.1

Figura 5.22 - Dati delle stazioni slave del vigneto di Brolio inseriti nel GeoDB.

La procedura di importazione dei dati meteo nel GeoDB è stata completamente automatizzata attraverso lo sviluppo di un sistema capace di monitorare il flusso dei dati provenienti dalle stazioni e che richiamerà all’occorrenza i due moduli ETL per la loro importazione.

Gli altri moduli analoghi per il popolamento di tutte le parti della banca dati del sistema, le modalità e il loro funzionamento possono variare a seconda delle effettive specifiche dei

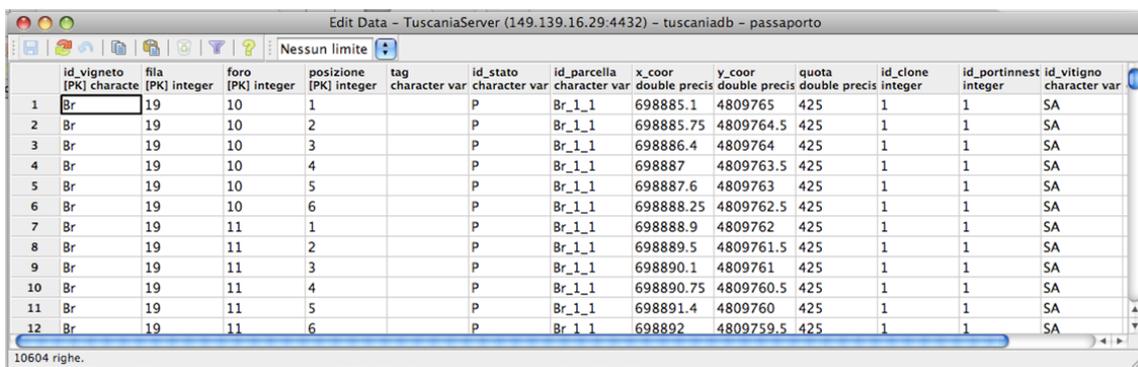
dati in ingresso e dalle esigenze procedurali per la loro importazione. Le Fig.5.23 e Fig. 5.24 rappresentano un esempio delle tabelle relative all'import dei dati strutturali dei vigneti a cui sono relazionati i dati dei campioni delle uve raccolte ogni anno.



The screenshot shows a spreadsheet window titled 'passaporto.csv'. The table contains the following data:

ID_VIGNETO	FILA	FORO	POSIZIONE	TAG	ID_STATO	ID_PARCELLA	X_COORD	Y_COORD	QUOTA	ID_CLONE	ID_PORTINNESTO	ID_VITIGNO
Br	:19	:10	:1	;null	;P	;Br_1_1	;698885.10	;4809765.16	;425	;1	;1	;SA
Br	:19	:10	:2	;null	;P	;Br_1_1	;698885.72	;4809764.65	;425	;1	;1	;SA
Br	:19	:10	:3	;null	;P	;Br_1_1	;698886.35	;4809764.14	;425	;1	;1	;SA
Br	:19	:10	:4	;null	;P	;Br_1_1	;698886.98	;4809763.63	;425	;1	;1	;SA
Br	:19	:10	:5	;null	;P	;Br_1_1	;698887.61	;4809763.13	;425	;1	;1	;SA
Br	:19	:10	:6	;null	;P	;Br_1_1	;698888.23	;4809762.62	;425	;1	;1	;SA
Br	:19	:11	:1	;null	;P	;Br_1_1	;698888.86	;4809762.11	;425	;1	;1	;SA
Br	:19	:11	:2	;null	;P	;Br_1_1	;698889.49	;4809761.60	;425	;1	;1	;SA

Figura 5.23 - Dati IASMA formato xls /csv



The screenshot shows a database application window titled 'Edit Data - ToscanaServer (149.139.16.29:4432) - tuscaniadb - passaporto'. The table contains the following data:

id_vigneto [PK] caractere	fila [PK] integer	foro [PK] integer	posizione [PK] integer	tag character var	id_stato character var	id_parcella character var	x_coor double precis	y_coor double precis	quota double precis	id_clone integer	id_portinnest integer	id_vitigno character var	
1	Br	19	10	1		P	Br_1_1	698885.1	4809765	425	1	1	SA
2	Br	19	10	2		P	Br_1_1	698885.75	4809764.5	425	1	1	SA
3	Br	19	10	3		P	Br_1_1	698886.4	4809764	425	1	1	SA
4	Br	19	10	4		P	Br_1_1	698887	4809763.5	425	1	1	SA
5	Br	19	10	5		P	Br_1_1	698887.6	4809763	425	1	1	SA
6	Br	19	10	6		P	Br_1_1	698888.25	4809762.5	425	1	1	SA
7	Br	19	11	1		P	Br_1_1	698888.9	4809762	425	1	1	SA
8	Br	19	11	2		P	Br_1_1	698889.5	4809761.5	425	1	1	SA
9	Br	19	11	3		P	Br_1_1	698890.1	4809761	425	1	1	SA
10	Br	19	11	4		P	Br_1_1	698890.75	4809760.5	425	1	1	SA
11	Br	19	11	5		P	Br_1_1	698891.4	4809760	425	1	1	SA
12	Br	19	11	6		P	Br_1_1	698892	4809759.5	425	1	1	SA

Figura 5.24 - Dati IASMA importati nel GeoDB

L'obiettivo finale è stato quello di concentrare tutti i moduli ETL in un unico sistema centrale col compito di gestire in maniera efficiente il flusso dati.

5.3.5 Integrazione delle componenti del sistema WebGIS

Una volta definite le componenti del sistema questa fase è dedicata all'integrazione hw e sw ed alla fase di test. Sono state testate le procedure e le funzioni GIS implementate; i test sono stati effettuati anche da utenti non esperti del Consorzio per ricevere i primi feedback sull'accessibilità in remoto e sulle funzioni principali sviluppate.

5.3.6 Il general-purpose framework per applicazioni WebGIS personalizzate

Il sistema SmartVineyard si basa su un *general-purpose framework* personalizzato per applicazioni mirate a ricerche avanzate sulla viticoltura di precisione finalizzate alla sostenibilità ambientale della viticoltura.

Il *framework* sviluppato per questo caso di studio è composto da un'applicativo WebGIS (WGViewer), da un GeoDataBase (GeoDB), da un catalogo di Metadati (*Catalog*) e da moduli ETL (*Extract Transformation Load*) per la gestione del flusso dei dati agrometeorologici dei vigneti sperimentali e dei dati provenienti dai laboratori di analisi dei campioni delle uve.

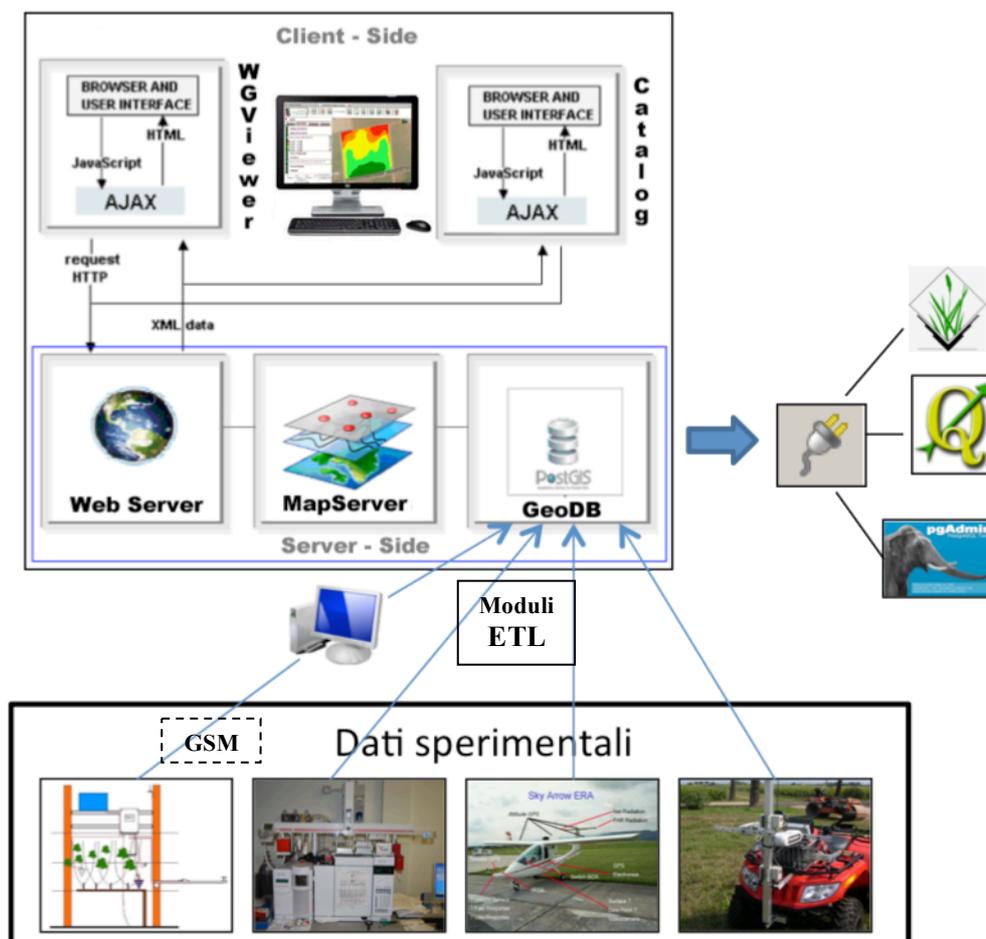


Figura 5.25 - Architettura del sistema SmartVineyard

L'applicazione WebGIS è stata sviluppata utilizzando tecnologie PHP/Ajax ed è basata su KaMap 0.2 (ka-Map, 2010), un progetto *Open Source* per la creazione di interfacce Ajax (*Asynchronous JavaScript e XML*) per applicazioni di web-mapping.

L'interfaccia GUI (Graphical User Interface) del visualizzatore (chiamata genericamente WGViewer) comprende funzioni di analisi e di interrogazione dati completamente personalizzabili mediante il database di sistema in grado di lavorare con differenti dataset e profili personalizzati.

La GUI è stata sviluppata usando tecnologie AJAX per la gestione delle componenti lato *client* come ad esempio risultati delle interrogazioni ed altre interazioni con l'utilizzatore.

Tutta la cartografia tematica relativa all'area di studio è archiviata nel DBMS (*DataBaseManagementSystem*) PostgreSQL/PostGIS (Refraction Research, 2010) ed è accessibile tramite Mapserver (Mapserver, 2010). Quest'ultimo strumento *Open Source* è stato sviluppato dall'Università del Minnesota ed include una libreria di funzioni per la generazioni di mappe che possono essere usate negli *scripts* CGI (Common Gateway Interface).

Per esempio in questa applicazione web le richieste inoltrate dall'utente, che si connette alla pagina web del geoportale tramite un comune *web browser*, sono indirizzate al *server web* delle applicazioni (*web application server*) il quale invia a MapServer i parametri necessari alla visualizzazione delle mappe. MapServer genera la mappa e la invia indietro al *web server* il quale la trasmette al browser dell'utente (Mitchell, 2005).

Il presente progetto usa il *wrapper* PHP MapScripts come linguaggio di programmazione web per interagire direttamente con le API (*Application Programming Interface*) di Mapserver consentendo così l'accesso e la gestione dei dati spaziali.

I principali servizi web implementati in questa applicazione includono un WMS (*Web Map Service*) ed un catalogo di metadati.

WMS, come già illustrato nei paragrafi precedenti, è un protocollo di comunicazione standard per *Internet map servers* e *image servers*, indicato dall'*Open Geospatial Consortium* (OGC), per applicazioni WebGIS.

5.3.6.1 Moduli per la gestione del flusso dei dati

Al fine di avere una banca dati con specifiche omogenee per analisi ed applicazioni operative in viticoltura di precisione sono stati sviluppati, come descritto prima, dei moduli software che hanno il compito di acquisire, riformattare e archiviare i dati provenienti dalle varie fonti. I moduli software, denominati *ETL – Extract Transform Load*, sono stati sviluppati utilizzando il linguaggio Java.

Per la gestione del flusso dati agrometeorologici di campo è stato sviluppato un ETL composto da due singoli moduli:

- *FTP_Sender*: preparare i dati situati sulla macchina dedicata all'archiviazione dei dati grezzi provenienti dalle stazioni della rete N.A.V. per la loro spedizione al data server;
- *ETL_Manager*: verifica ed archivia nel GeoDB i dati ricevuti, in conformità al modello dati implementato per l'intero progetto.

I moduli vengono lanciati automaticamente ogni giorno in modo da garantire l'aggiornamento in continuo del GeoDB e facilitare l'applicazione metodologie di analisi sito-specifiche. I due moduli software effettuano dei controlli sui dati per verificare eventuali errori nel flusso dati. A seconda del tipo di errore riscontrato (formato, valori oltre soglie predefinite, etc.), il modulo apporterà delle correzioni oppure impedirà l'inserimento dei dati aberranti nel database. In questo ultimo caso l' ETL_Manager spedisce in automatico un e_mail di avvertimento ad una mail list che avverte il personale responsabile della gestione del server e dell'elaborazione dati con i dettagliato di tutti i valori non importati. Questo sistema di *auto feedback* è molto importante per il controllo della qualità dei dati archiviati che in alcuni casi si alterano durante la spedizione remota o possono registrare le anomalie di funzionamento della sensoristica di campo. Grazie a questo sistema automatico di "allerta" gli operatori possono agire tempestivamente anche sulla singola stazione agrometeorologica al fine di apportare le correzioni necessarie al buon funzionamento del sistema di acquisizione installato nei vigneti sperimentali.

5.3.6.2 Connessione al geodb

La connessione al Geodatabase PostgreSQL può essere garantita sia attraverso un'interfaccia del Geoportale che con i più diffusi Client SQL e/o Client GIS Open Source quali:

- pgAdmin3 : Client SQL OpenSource
<http://www.postgresql.org/ftp/pgadmin3/release/v1.8.2/win32/>
- qGIS : Client GIS OpenSource
http://download.osgeo.org/qgis/win32/qgis_setup0.9.1.18_12_2007.exe
- Grass: Client GIS OpenSource
<http://grass.osgeo.org/download/>

I partner del progetto e gli utenti che ne fanno richiesta possono infatti connettersi al GeoDB Toscana tramite l'interfaccia conviviale pgAdmin III di PostgreSQL

(<http://www.postgresql.org/ftp/pgadmin3/release/>) come “user” definiti dall’amministratore di sistema nelle seguenti modalità:

- Per l’amministratore di sistema con autorizzazione alle operazioni di editing:
User: mapadmin
Pw: riservata
- Per il generico utente senza autorizzazione all’editing.
User: mapguest
Pw: non richiesta

Un esempio di connessione al DB PostgreSQL, mediante interfaccia di accesso pgAdmin III è rappresentato in Fig. 5.26, nel caso di connessione in qualità di “guest”, e in Fig. 5.27, nel caso di accesso con diritti di amministratore di sistema.

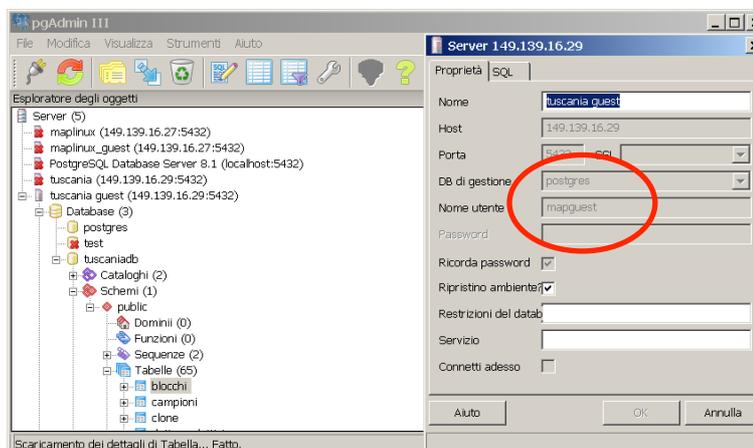


Figura 5.26 - Connessione al DB Tuscania con diritti “guest”.

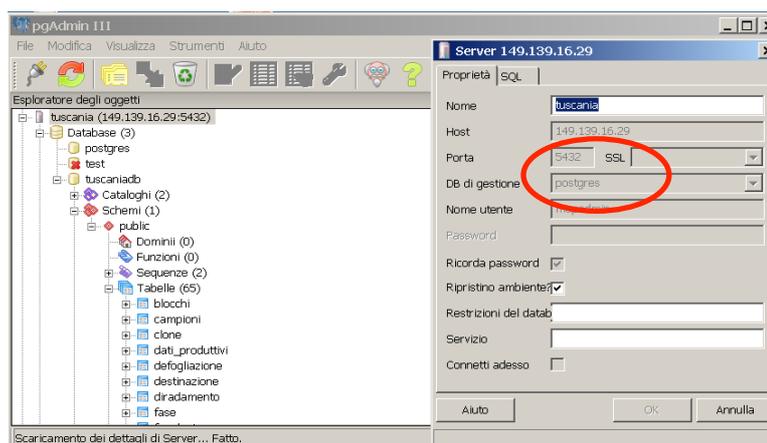


Figura 5.27 - Connessione al DB Tuscania con diritti “amministratore”.

5.3.7 *Uso e manutenzione del sistema*

La fase finale di questo ciclo ha permesso la messa in linea del sistema per un accesso a tutte le tipologie di utenti. Tale fase ha richiesto la pianificazione di

- Un servizio di supporto tecnico in modo da definire lo sviluppo di eventuali nuove funzioni;
- Un servizio di manutenzione (hw, sw e geodb) per garantire il buon funzionamento dell'applicazione.

Per quanto riguarda le attività di manutenzione ed aggiornamento della componente hardware e software sono state definite le seguenti azioni:

- monitoraggio log di sistema per servizi fondamentali;
- procedure di backup pianificate;
- verifica funzionamento delle procedure di ottimizzazione del DB (indici, tablespace, access log, etc.) verifica release di sw OpenSource.

6. RISULTATI

I risultati di questo complesso percorso di ricerca, che per la propria caratteristica multidisciplinare ha visto l'indagine abbracciare molti settori che potrebbero aprire altrettante linee di ricerca specialistiche da approfondire, possono essere sinteticamente riportati a due aspetti principali:

- Soluzioni per l'accesso e distribuzione dell'informazione sito-specifica per l'ampliamento delle conoscenze sulle interazioni suolo-pianta-ambiente per il miglioramento delle qualità dei prodotti e la sostenibilità ambientale della viticoltura.
- Analisi ed interpretazione della variabilità spaziale dei vigneti e della qualità delle produzioni mediante tecniche di telerilevamento ad alta risoluzione.

I risultati vengono inoltre presentati in una prospettiva di ricaduta operativa dei prodotti, derivati dall'approccio metodologico e ciclico proprio della viticoltura di precisione, per una validazione dell'efficacia delle pratiche sito-specifiche e l'adozione di nuove proposte gestionali che sappiano coniugare benefici economici, qualità e ambiente.

6.1 Accesso e distribuzione dell'informazione per la viticoltura di precisione

Le rapide ed intense trasformazioni nelle tecnologie di acquisizione dei dati e nelle modalità di accesso, distribuzione ed utilizzo dell'informazione, offrono straordinarie opportunità anche per il settore della viticoltura di precisione nella prospettiva di migliorare la qualità delle produzioni, il grado di sostenibilità ambientale e l'efficienza nell'uso delle risorse.

Le tecnologie impiegate nella viticoltura di precisione, come già visto nei precedenti capitoli, sono in continua espansione per applicazioni operative a livello aziendale.

Se da una parte l'evoluzione tecnologica e di ricerca consente oggi di identificare la variabilità intra-vigneto in maniera sempre più spinta, non sono da trascurare i processi a valle della raccolta dell'informazione, ovvero, la gestione di ingenti moli di dati, la loro integrazione, l'accessibilità in tempo reale a queste informazioni e la loro trasferibilità a dispositivi montati sulle macchine agricole.

Negli ultimi anni il progressivo affermarsi di soluzioni *Open Source* per la distribuzione e la gestione di dati tramite *World Wide Web* hanno favorito la nascita di portali geografici basati sulle tecnologie dei Sistemi Informativi Geografici (GIS) permettendo il facile

accesso a dati e informazioni di tipo territoriale a un pubblico di utenti finali sempre più ampio e favorendo un abbattimento dei costi di distribuzione e gestione delle applicazioni informatiche per le aziende.

Anche la fruibilità delle informazioni è diventata più semplice grazie alla diffusione di dispositivi molto diversi fra loro. Dal personal computer da scrivania siamo rapidamente passati all'uso di portatili, notebook, palmari, smartphone e tablet in un percorso di crescente flessibilità di accesso ad informazioni condivise. In questo contesto oggi la nuova frontiera è quella dell'interattività, ovvero lo sviluppo di applicazioni per dispositivi tascabili da usare in pieno campo che consentano agli operatori di alimentare il flusso di informazioni dei sistemi informativi aziendali.

L'integrazione delle tecnologie geospaziali, delle informazioni e delle comunicazioni è stata alla base della realizzazione del sistema Smart Vineyard messo a punto nel corso del presente lavoro. Smart Vineyard è un sistema (Fig. 6.1) progettato per l'archiviazione, gestione, accesso e diffusione dei dati e informazioni tramite Web per applicazioni e ricerche avanzate in viticoltura di precisione.

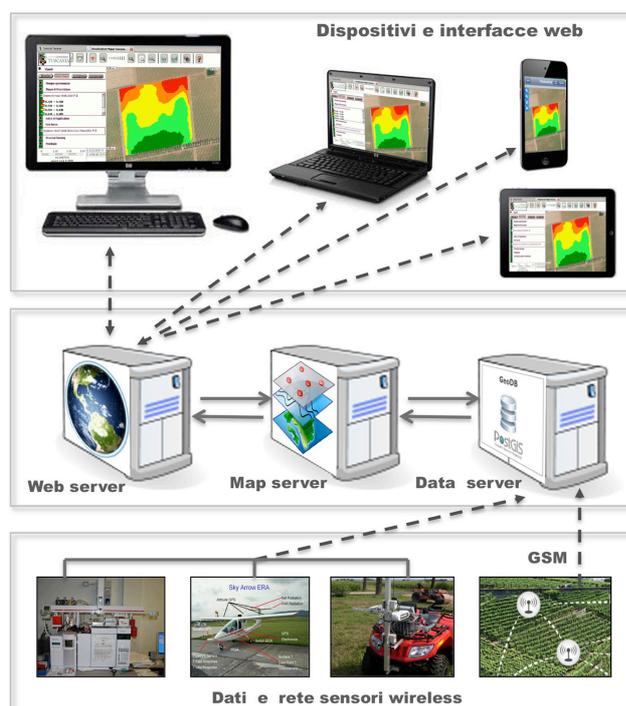


Figura 6.1 – Architettura del sistema Smart Vineyard

E' finalizzato all'utilizzo distribuito e integrato di dati agro-meteorologici, telerilevati, di analisi chimico-fisiche, dati pedologici e morfologici ed è stato testato su vigneti sperimentali messi a disposizione da aziende coinvolte nel progetto di ricerca del Consorzio Toscana (www.consorziotuscandia.it). L'obiettivo è stato quello di favorire l'integrazione di informazioni in un sistema a basso costo grazie all'utilizzo di software libero (open source) e favorire così la creazione di un ambiente di conoscenze condivise per supportare nuove metodologie di analisi ed il trasferimento dei risultati per applicazioni operative sito-specifiche. Il sistema ha inoltre lo scopo di testare il flusso d'informazioni utilizzabili sia dalle macchine operatrici a rateo variabile, sia dagli operatori del settore quali ad esempio agronomi di campo, enologi e ricercatori. Da una prima fase di test e sperimentazione, emerge come le criticità dei flussi di dati e informazioni siano legate non soltanto dalla tecnologia impiegata ma anche alle specifiche adottate da ciascun dispositivo collegato in remoto. Invece la fruibilità dell'informazione è molto dipendente dal disegno e progettazione delle interfacce web, che devono essere immediate ed intuitive anche per un operatore non esperto nell'utilizzo di sistemi informativi geografici, e corredate da funzioni specifiche che rispondano ai bisogni degli utenti finali.

6.1.1 Un geoportale per viticoltura di precisione

La fase di sviluppo del sistema, benchè molto laboriosa e complessa, ha permesso di arrivare alla definizione di una applicazione WebGIS funzionale alle ricerche ed alla sperimentazione in corso sulla viticoltura di precisione.

La personalizzazione dell'interfaccia grafica del visualizzatore, del general framework del sistema SmartVineyard, ha permesso di creare un applicativo WebGIS integrato in un geoportale dedicato alle attività del progetto di ricerca Toscana.

Il Geoportale (Fig.6.2) del Consorzio, sviluppato seguendo questo standard di riferimento, ed utilizzando soluzioni informatiche OpenSource e CrossPlatform, è un punto di accesso su Web dove le informazioni geografiche relative ad attività di ricerca sui vigneti sperimentali possono essere facilmente visualizzate ed interrogate.

Il geoportale organizza i dati dei vigneti sperimentali ed i servizi web attraverso un **geodatabase**, un **catalogo** di dati e metadati e un **visualizzatore**.



Figura 6.2 - Pagina di presentazione del Geoportale.

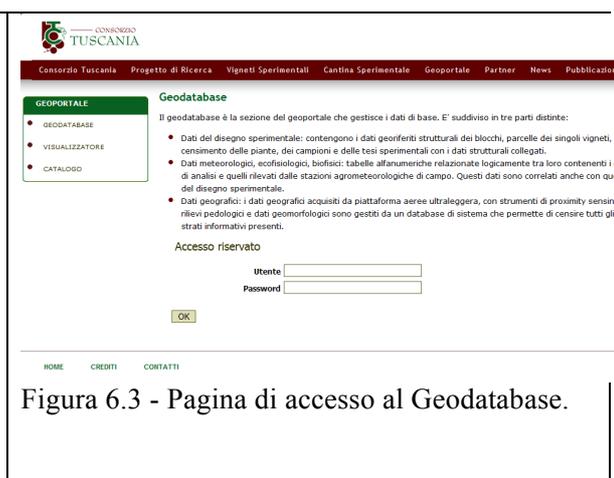


Figura 6.3 - Pagina di accesso al Geodatabase.



Figura 6.4 - Interfaccia del catalogo dei dati.

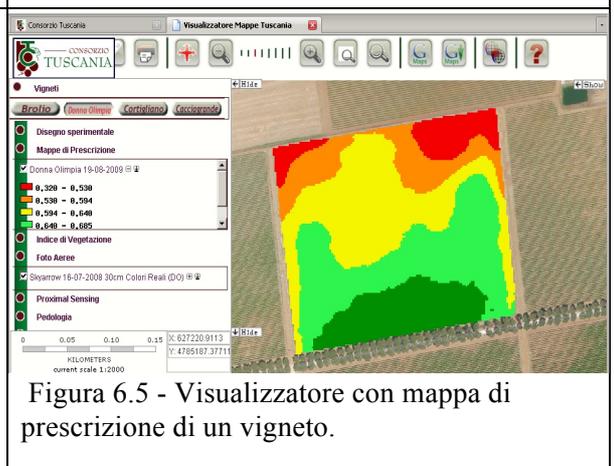


Figura 6.5 - Visualizzatore con mappa di prescrizione di un vigneto.

A supporto dell'applicazione web, come già illustrato dal punto di vista tecnico, è stato sviluppato un Geodatabase per l'archiviazione, la gestione ed il trasferimento ai partner del progetto di tutti i dati raccolti durante le attività di ricerca e mantenere la continuità delle applicazioni di visualizzazione della cartografia su web. Il GeoDB è accessibile dal geoportale immettendo nome utente e password, secondo le autorizzazioni concordate con gli utenti (Fig. 6.3).

Nel corso delle attività di ricerca, dal 2008 al 2011, sono stati archiviati e gestiti i seguenti dati:

- Parametri qualitativi delle uve: pH, tenore zuccherino, °Brix, acidità totale, antociani e polifenoli. Sono gestite più di 9000 piante di cultivar di Sangiovese e Cabernet Sauvignon e 400 campioni-anno.
- Parametri agro-meteorologici dalla rete di sensori wireless: T° aria, pioggia, velocità del vento, bagnatura fogliare, T° interna del grappolo, T° fogliare, radiazione assorbita dal grappolo, potenziale idrico del suolo (30 e 60 cm). Sono

stati archiviati circa 15.000 dati al giorno trasmessi tramite GSM/GPRS, dalle stazioni in campo al server remoto.

- Dati pedologici: più di 30 mappe georeferite dei vigneti, in formato raster, relative ai parametri di tessitura, capacità di campo, conduttività elettrica.
- Immagini aeree multi-spettrali ad alta risoluzione (30cm): dati acquisiti nei periodi fenologici della fioritura, pre-allegagione e maturazione del grappolo; sono visualizzabili 12 immagini NDVI e le relative mappe di prescrizione derivate.
- Dati di *proximity sensing*: immagini acquisite da piattaforma mobile *quad*. Sono archiviate 18 mappe di NDVI e spessore della chioma.

Per garantire inoltre la massima divulgazione ed accesso all'informazione archiviata e gestita dal sistema, il geoportale include un catalogo on-line (Fig. 6.4) attraverso il quale l'utente autorizzato può effettuare una ricerca mirata o generica all'interno del geodatabase del progetto analizzando i metadati, visualizzando l'anteprima del dato geografico e scaricando i dati di interesse tramite un servizio di download disponibile via web.

Il visualizzatore (Fig. 6.5) è invece la componente del geoportale attraverso la quale è possibile osservare le informazioni relative ai risultati delle analisi ecofisiologiche e produttive contestualmente alle aree geografiche di interesse, in particolare quelle del disegno sperimentale;

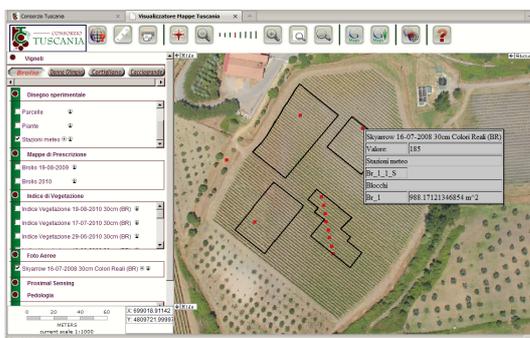


Figura 6.6 - Visualizzazione del disegno sperimentale del progetto di ricerca.

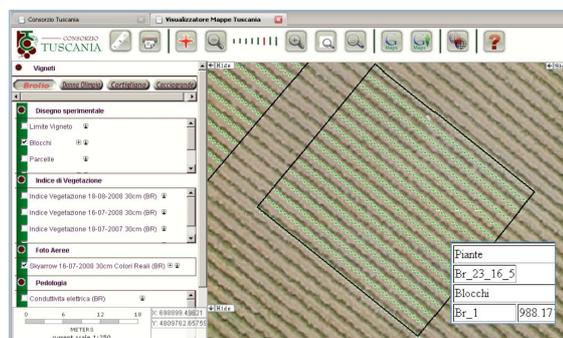


Figura 6.7 - Visualizzazione ed interrogazione delle singole piante del disegno sperimentale.

L'utente può facilmente identificare blocchi, parcelle, singoli filari, piante e richiamare, attraverso un'interrogazione spaziale, le informazioni legate ad una particolare pianta piuttosto che ad una parcella (Fig. 6.6; Fig. 6.7); può altresì controllare i dati meteorologici (Fig. 6.8) registrati in continuo dalla rete di stazioni agrometeorologiche N.A.V (Network Avanzato per il Vigneto) installata nei vigneti sperimentali.

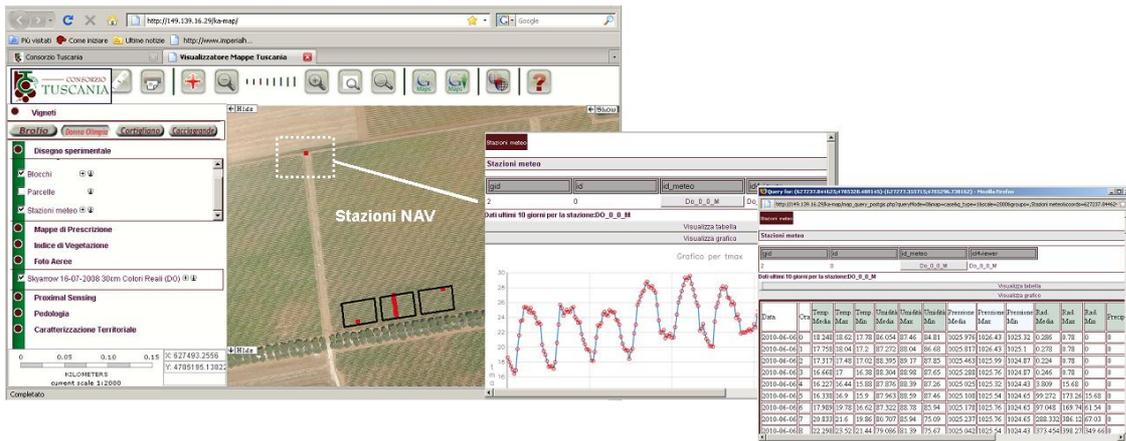


Figura 6.8 - Foto nel visibile, stazioni NAV e dati meteo registrati in continuo.

Ad integrazione delle funzioni base di visualizzazione (pan, zoom), di interrogazione, di stampa, di misura delle distanze, in questa versione del visualizzatore è stata integrata anche una funzione che apre GoogleMap in corrispondenza del punto o della zona selezionata. Inoltre, grazie al servizio web (WMS) implementato secondo gli standard OGC, è possibile caricare nella pagina corrente anche altri strati informativi che sono archiviati nel Geodatabase (si pensi agli archivi storici di dati) o da altri servizi WebGIS esterni che dispongono ugualmente di servizio WMS.

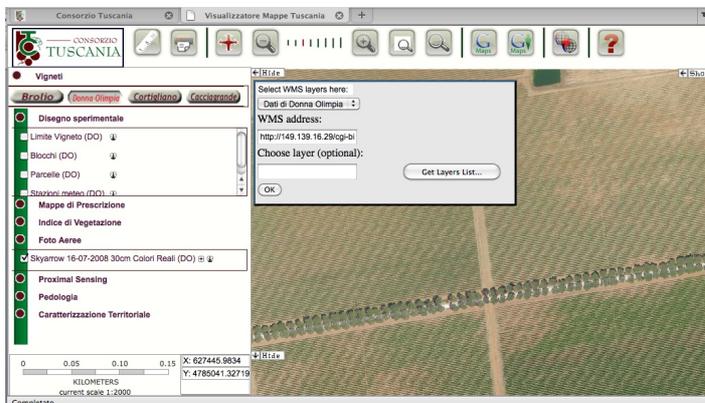


Figura 6.9 - Interfaccia della funzione WMS.

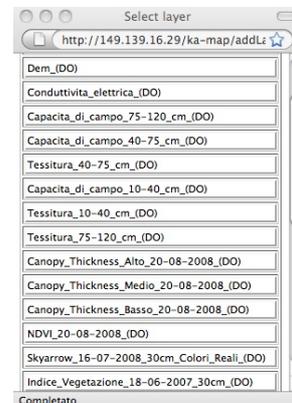


Figura 6.10 - Lista dei layer disponibili nel geodb.

L'applicazione WebGIS così realizzata fornisce uno strumento di analisi ed interrogazione dati da parte dei partner scientifici, degli operatori e dei manager delle aziende vitivinicole del Consorzio diventando così la porta di accesso al vasto patrimonio di informazioni territoriali, raccolte ed elaborate durante l'attività di ricerca, per la condivisione e l'uso efficiente delle conoscenze acquisite (Fig. 6.11; Fig. 6.12).



Figura 6.11 - Visualizzazione della carta pedologica e delle stazioni NAV.

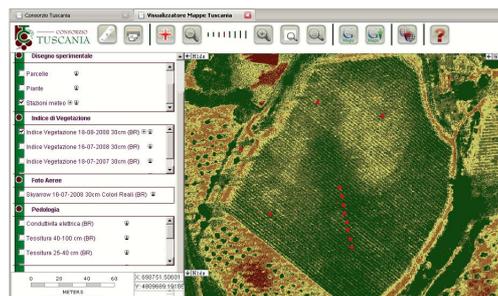


Figura 6.12 - Visualizzazione dell'NDVI del vigneto.

Il geoportale apre così nuove strade per l'utilizzo di applicazioni WebGIS nella viticoltura di precisione favorendo lo sviluppo di nuove funzioni di analisi lato server accessibili attraverso dispositivi mobili dotati di GPS (Smartphone e Palmari) ed utilizzabili in pieno campo per la gestione sito-specifica dei vigneti. L'accesso alle informazioni distribuite su web, secondo standard di interoperabilità, vede inoltre notevoli potenzialità nel trasferimento diretto delle mappe di prescrizione verso dispositivi e software in dotazione alle macchine agricole impiegate sia per una raccolta mirata al miglioramento qualitativo delle produzioni enologiche sia per applicazioni di tecniche VRT (Variable Rate Technology).

6.1.2 La WebApp per Smartphone

Possiamo sicuramente affermare che la connessione mobile è lo strumento più efficace per portare l'Information & Communications Technology (ICT) anche in campo. Da qui è nata l'idea di sviluppare un'applicazione ad hoc per dispositivi tascabili e raggiungere gli operatori del settore vitivinicolo fornendo strumenti complementari e di supporto alle strategie operative e di monitoraggio dei vigneti.



Figura 6.13 - Applicazione per smartphone



iTuscania-Web2.0 è un'applicazione mobile per la viticoltura di precisione basata sul framework Smart Vineyard ed è stata sviluppata sia come App per dispositivi Android sia come WebApp eseguibile con i browser degli smartphone Android®, iPhone® e iPad®.

Le funzioni di base (zoom e pan) sono fornite per un'agile navigazione all'interno dei dati spaziali caricati. Alcune informazioni utili sono visualizzate direttamente sulla schermata principale e inoltre la WebApp è in grado di leggere le informazioni del GPS integrato relative al punto di osservazione dell'operatore in campo.



Attraverso le funzioni offerte dal framework Smart Vineyard l'applicazione visualizza i dati memorizzati nel GeoDB e permettere all'utente, attraverso una semplice interfaccia di attivare o disattivare gli strati informativi disponibili su un geo-server remoto.

E' possibile inoltre integrare l'applicazione tramite plug-in con funzioni personalizzate per la visualizzazione di dati da stazioni agro-meteorologiche in campo o per le analisi più complesse di supporto alle operazioni di monitoraggio in campo.

6.1.2.1 *Flussi di lavoro collaborativo*

La WebApp, nella logica di flusso bidirezionale del web 2.0, permette all'utente di non essere solo fruitore dei contenuti del sito web ma di inserire informazioni georiferite (geo-tag) relative ad una singola pianta, filare o area del vigneto, archiviandole automaticamente nel GeoDB del sistema.

I dati acquisiti a diversa risoluzione spaziale e temporale possono essere integrati anche da informazioni multimediali (es: foto o note vocali). La mappa diviene quindi consultabile ed arricchita da nuovi contenuti attraverso l'utilizzo di appositi *tool* per la condivisione di dati ed informazioni sulla base di diversi profili di utenza, personalizzabili per gruppi o singoli utenti. Una maggiore partecipazione degli operatori del settore in un medesimo ambiente distribuito su web può così favorire l'evoluzione dei sistemi informativi aziendali verso sistemi dinamici, autonomi e con le caratteristiche proprie all'azienda viticola.

Le potenzialità offerte oggi dalla rapidissima evoluzione e diffusione delle tecnologie della comunicazione, dell'informazione e delle scienze geografiche offrono grandi potenzialità per lo sviluppo di soluzioni ottimizzate volte alla distribuzione delle informazioni sito-specifiche.

L'applicazione Smartphone sviluppata in forma semplificata rimane aperta a futuri sviluppi per l'integrazione di funzioni adatte a operazioni specifiche di monitoraggio, verifica e acquisizione di nuovi dati. La scelta di soluzioni Open Source favorisce inoltre un abbattimento dei costi di sviluppo, distribuzione e gestione delle applicazioni informatiche specifiche per il settore viti-vinicolo ancor più se condivisi fra aziende viticole consorziate o per appartenenza a zone geografiche a vocazione ben definita del territorio.

6.2 TRASFERIBILITÀ DEL SISTEMA OPEN SOURCE

Come già descritto il sistema SmartVineyard si basa su un “*general frame work*” sviluppato con soluzioni Open Source e questa scelta presenta grandi opportunità di trasferibilità ad altre realtà sia di ricerca sia applicative nel settore della viticoltura.

Una prima esperienza di trasferimento, grazie appunto alla filosofia Open Source che sta alla base dello sviluppo del sistema SmartV, è stata fatta con l'Istituto Agrario di San Michele all'Adige - Fondazione Edmund Mach (<http://www.iasma.it/>) riguardo il modello fisico dei dati e del relativo database geospaziale sviluppato con PostgreSQL/PostGIS.

Questo è stato la base per lo sviluppo del portale HarvAssist (Delucchi, 2009), basato su un'architettura di sistema e scelte OS simili a quella di SmartV, per la gestione e la previsione della qualità delle uve alla vendemmia finalizzato alla gestione dei vigneti, come già illustrato nel paragrafo 4.3.6.

L'accesso al portale (<http://harvassist.fmach.it/>), richiede l'autenticazione e prevede categorie di utenti sia in modalità di sola consultazione, sia come amministratori.

Altri contatti e richieste di trasferimento stanno provenendo dai centri di ricerca sulla viticoltura del CRA (Consiglio per la Ricerca e la sperimentazione in Agricoltura), un Ente nazionale di ricerca e sperimentazione con competenza scientifica generale nel settore agricolo, agroindustriale, ittico e forestale.

Incontri mirati ad attivare progetti di collaborazione si stanno svolgendo di recente con aziende agricole sperimentali della Regione Toscana che hanno compreso le potenzialità che un sistema basato su soluzioni OS può offrire in materia di personalizzazione e di risparmio nell'acquisto di sw commerciali. Inoltre sono in corso contatti, ed è in corso la definizione del percorso di collaborazione, con il Dipartimento di Ingegneria e Meccanica Agraria dell'Università di Firenze per l'approfondimento delle ricerche riguardo il flusso dei dati e standard geomatici per le macchine ad alta specializzazione operativa impiegate in agricoltura di precisione.

6.3 Analisi dei dati telerilevati: NDVI e parametri di qualità delle uve

Il vastissimo dataset a disposizione nel geodatabase ha permesso di approfondire aspetti legati alla viticoltura di precisione che ancora non erano stati del tutto chiariti o ottimizzati nell'ottica di un'applicazione operativa su vasta scala di queste nuove tecnologie e metodologie di indagine. Il vigneto di Brolio, caratterizzato da un alto grado di eterogeneità, è stato oggetto di uno specifico lavoro di ricerca (Fiorillo, 2012) finalizzato alla valutazione del cambiamento delle correlazioni fra NDVI e parametri di qualità delle uve (contenuto zuccherino, pH, contenuto polifenolico e antocianico) a due diversi gradi di maturazione, tecnologica e tardiva. Fino ad oggi le precedenti ricerche nell'ambito della viticoltura di precisione non avevano mai preso in considerazione questo aspetto, che invece è emerso e può avere notevoli ricadute operative in quanto talvolta per ottenere uve con un elevato grado zuccherino si tende a superare la maturazione tecnologica e a vendemmiare successivamente. I parametri di qualità presi in esame non hanno analoghe curve di maturazione e inoltre le loro dinamiche possono cambiare anche in base all'andamento climatico stagionale; è perciò emerso che mentre le correlazioni fra contenuto zuccherino e pH tendono a variare moderatamente fra vendemmia tecnologica e tardiva, diversamente, riguardo a contenuto polifenolico e antocianico, i valori di correlazione possono variare fortemente. Tale aspetto non è da sottovalutare in quanto i polifenoli e gli antociani, che sono un sottogruppo dei primi, sono composti fondamentali per caratteristiche del prodotto finale quale colore, gusto e astringenza. Di conseguenza i risultati di questa ricerca suggeriscono che la classificazione delle uve basata su tecniche di remote sensing è efficace sia alla vendemmia tecnologica che alla vendemmia tardiva per quanto riguarda il contenuto zuccherino e pH, mentre per contenuto polifenolico e antocianico il valore predittivo delle mappe NDVI perde generalmente efficacia alla vendemmia tardiva. Più in generale è emerso che le mappe NDVI sono efficaci a identificare popolazioni omogenee di uve riguardo ai loro parametri qualitativi, i quali sono però caratterizzati da specifiche dinamiche di maturazione. Sempre nella stessa ricerca, raffinate tecniche di analisi statistica (ANOVA) hanno permesso di identificare come periodo ideale per il monitoraggio del vigneto, in ottica di vendemmia selettiva, il periodo corrispondente allo stato fenologico dell'allegagione (giugno).

Per il carattere specialistico della ricerca non vengono riportati nel presente elaborato ulteriori dettagli sulle analisi svolte tuttavia per approfondimenti si rimanda all'articolo, *“Airborne high-resolution images for grape classification: changes in correlation between*

technological and late maturity in a Sangiovese vineyard in Central Italy”, del quale la scrivente è coautrice, pubblicato da pochi giorni ed allegato fra le pubblicazioni effettuate durante questi anni di studio.

6.3.1 *Analisi multiscala per la classificazione della qualità delle uve*

Obiettivo di questa analisi è stato la comparazione di due tecniche di monitoraggio della vegetazione, che hanno caratteristiche differenti in termini di punto di vista e vicinanza della rilevazione (remote sensing e proximal sensing).

Sfruttando sempre l'ampio dataset del geodatabase del sistema è stato svolto, sui due vigneti sperimentali locati presso Castiglione della Pescaia, un lavoro di analisi volto alla comparazione di mappe NDVI per la classificazione delle uve acquisite con tecniche di remote sensing e proximal sensing adottate da due diversi istituti di ricerca (IBIMET-CNR e DIPROVE), partner scientifici del Consorzio Toscana. I dati relativi alla biomassa fotosinteticamente attiva delle piante, misurata tramite l'utilizzo dell'indice di vegetazione NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), sono stati rilevati nelle stagioni 2008-2009-2010 in tre periodi fenologicamente importanti quali pre-invaiaitura (15 giugno circa), pre-allegagione (15 luglio circa) e maturazione del grappolo (15 agosto circa).

Il lavoro ha evidenziato che le mappe acquisite con le due diverse tecniche tendono a coincidere nella delimitazione di macro-aree omogenee per vigore, mentre differenze notevoli si possono trovare a livello di singola pianta. Le differenze a livello di singola scala sono presumibilmente dovute a vari aspetti quali: non perfetta coincidenza spaziale fra le mappe, non perfetto filtraggio interferenziale nelle mappe acquisite da aereo, diverso angolo di vista del sensore rispetto alla canopy (nadirale per remote sensing e laterale per proximal sensing). Le mappe comunque tendono ad essere sempre più simili man mano che la stagione avanza e ciò è probabilmente dovuto a fenomeni localizzati di stress idrico che facilitano l'instaurarsi di correlazioni statisticamente significative. Le mappe ottenute da remote sensing sono risultate più efficaci nella caratterizzazione delle uve per la vendemmia selettiva, soprattutto in vigneti a medio ed alto vigore, aspetto questo che in precedenza altri studi hanno evidenziato come aspetto limitante per l'indice vegetazionale NDVI; questo ultimo tende infatti a saturare ad alti livelli di Leaf Area Index (LAI) perdendo perciò la propria efficacia. La maggior efficacia delle mappe ottenute da aereo è presumibilmente legata al fatto che l'indice vegetazionale è una misura sia dell'efficienza fotosintetica delle piante sia della loro quantità di biomassa, ma appare più influenzato da

questo ultimo fattore. La posizione verticale del sensore di acquisizione in misure di remote sensing appare avvantaggiata rispetto a quella laterale del proximal sensing in quanto misurando implicitamente anche lo spessore della parete fogliare è più efficace quindi nella stima della biomassa con conseguente maggior capacità nella classificazione qualitativa delle uve.

I risultati di questo studio possono dare indicazioni significative per indirizzare le scelte su quali sensori utilizzare per applicazioni operative, quindi valutazioni che dovranno essere fatte in funzione degli obiettivi (epoca della vendemmia o monitoraggio ai fini della gestione della chioma) e dei costi dei rilievi. I risultati di questo lavoro sono in corso di pubblicazione ed i riferimenti sono inclusi nella lista delle pubblicazioni allegata a questo elaborato di tesi.

6.3.2 Utilizzo delle immagini NDVI per macchine ad alta specializzazione operativa

I notevoli risultati ottenuti tramite l'utilizzo dei dati NDVI hanno dato l'impulso allo sviluppo di metodologie per l'utilizzo delle mappe in ambito aziendale.

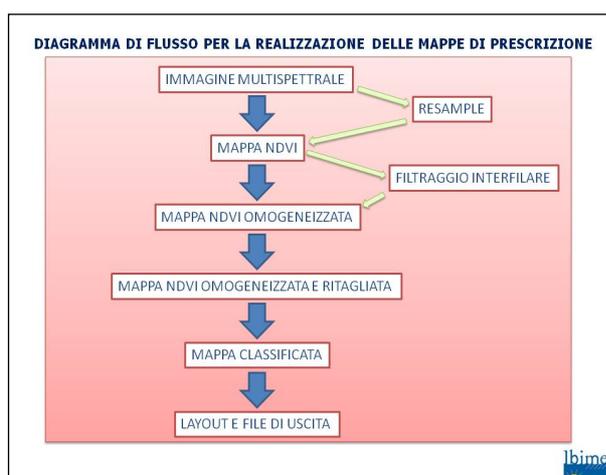


Figura 6.14 - Diagramma di flusso per la realizzazione delle mappe di prescrizione (fonte: Fiorillo, 2009).

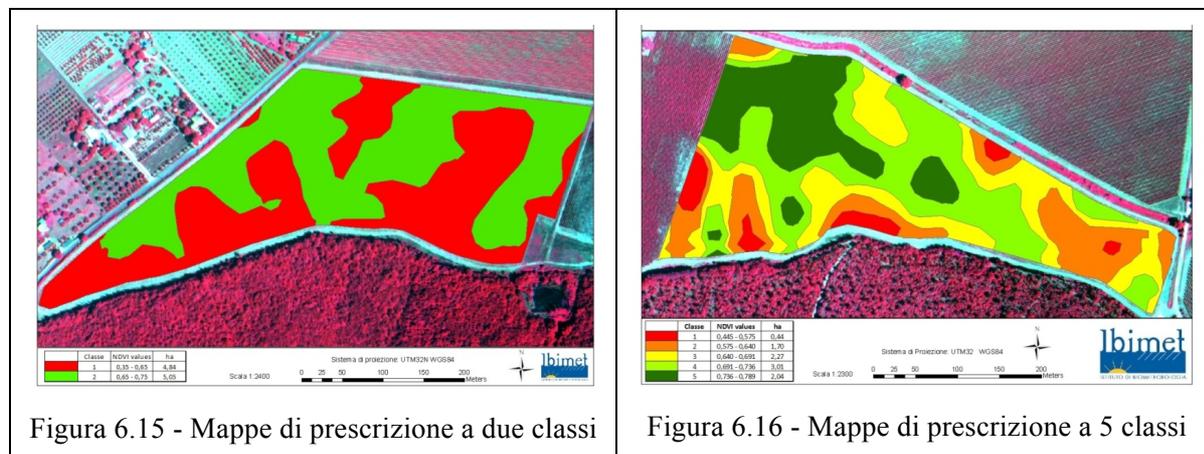
Fattore fondamentale, per un utilizzo in chiave operativa di tali mappe, è l'omogeneizzazione delle differenti aree di vigore e la creazione di mappe, definite mappe di prescrizione, in formati informatici compatibili con i *devices* montati a bordo di macchinari agricoli dotati di VRT (Variable Rate Technology) e vendemmiatrici a doppia tramoggia per vendemmie selettive.

La metodologia sviluppata, rappresentata in Fig. 6.14, si basa su varie tecniche di elaborazioni di immagini digitali ed è adattabile ad altri contesti in base alle caratteristiche

del vigneto cui è riferita e al tipo di mappa che si vuole ottenere. La collaborazione diretta con aziende del settore ha infatti indicato che le mappe di prescrizione, per un utilizzo ottimale da parte degli agronomi o più in generale dei “decision-maker”, devono avere delle peculiari caratteristiche in base alle finalità con cui vengono utilizzate.

In particolare si è evidenziata l’esigenza di realizzare mappe di prescrizione a 2 e 5 classi (Fig. 2.2 e 2.3) a seconda se tali mappe vengano utilizzate rispettivamente su macchinari agricoli a rateo variabile (VRT) o su vendemmiatrici a doppia tramoggia.

Le mappe di prescrizione sono state inoltre efficacemente utilizzate per la raccolta di uve omogenee riguardo al grado di maturazione per un'altra linea di ricerca inclusa nel progetto di ricerca dl Consorzio Tuscania (linea di ricerca B4 “Massimizzazione del potenziale enologico per mezzo di diverse tecniche di vinificazione”).



I risultati relativi all’utilizzazione delle mappe di prescrizione per la somministrazione di fertilizzanti, e quindi indirizzati ad una gestione del vigneto sostenibile, sono in corso di presentazione dalla società che ha sviluppato il dispositivo per macchine a rateo variabile e per questo motivo non possono essere riportati al momento in questo elaborato.

7. DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

7.1 Dalla ricerca alle applicazioni operative di strategie di gestione sito-specifiche

Partendo dal principio che la viticoltura di precisione consiste nell'applicazione di tecnologie per la gestione della variabilità spazio-temporale, associata con tutti gli aspetti della produzione vitivinicola, possiamo dividere le procedure di applicazione di strategie gestionali sito-specifiche in tre fasi distinte:

1. La prima fase della sua applicazione consiste nella misura e interpretazione della variabilità.
2. La seconda fase utilizza questa informazione per gestire la variabilità, adattando gli input agronomici alle condizioni locali all'interno del campo.
3. La terza fase, forse la più importante, consiste nella validazione dell'approccio proposto, mediante l'impiego di indicatori in grado di misurare l'efficacia delle pratiche "sitospecifiche".

Nel caso in cui i risultati non siano soddisfacenti, le proposte gestionali devono essere opportunamente modificate prima di trasferirle agli agricoltori.

In questo lavoro è stata affrontata ai fini della ricerca la prima fase per interpretare la variabilità dello sviluppo del vigore vegetativo in relazione ai parametri di qualità delle uve. Il miglioramento della qualità delle produzioni è un interesse prioritario emerso dallo studio del comparto vitivinicolo e dalle esigenze espresse anche dai produttori coinvolti in questo caso di studio. La convenienza economica inoltre è l'elemento che spinge il viticoltore ad adottare nuove strategie di gestione ma non è così evidente che l'eventuale maggior costo di una gestione eco-compatibile sia prerogativa esclusivamente degli agricoltori del comparto. In questo un ruolo fondamentale deve essere svolto dalle politiche di sviluppo agricolo e di ricerca ed innovazione in agricoltura.

La seconda fase è stata invece limitata alla distribuzione di mappe di prescrizione, attraverso il portale web, finalizzate alla sperimentazione su macchine ad alta specializzazione operativa come ad esempio le vendemmiatrici di precisione della New Holland (<http://agriculture.newholland.com/italy>) o lo spandiconcime a rateo variabile per l'erogazione a volumi differenziati di fertilizzanti sviluppato da Spezia Srl in collaborazione con azienda Antinori Agricola ed i cui risultati della sperimentazione saranno pubblicati a breve.

La terza fase di validazione si spera possa essere portata avanti nelle future sperimentazioni in campo anche grazie alla creazione di un geodatabase condiviso per approfondimenti delle ricerche in corso.

Da non dimenticare che i processi di ricerca e sperimentazione in agricoltura sono legati al ciclo di sviluppo annuale delle colture e quindi i risultati per essere significativi devono essere valutati su più annate agrarie.

Il vigneto essendo una coltura composta da piante perenni con un ciclo circa trentennale, si presta bene a sperimentazioni sul lungo periodo potendo così ripetere o modificare le pratiche di gestione per migliorarne l'efficienza in una prospettiva di produzioni di qualità e sempre più sostenibili.

7.2 Criticità e prospettive future

Le riflessioni che sono esposte in questo paragrafo scaturiscono dall'esperienza svolta in un progetto di ricerca sulla viticoltura di precisione che per la prima volta sperimenta un approccio multidisciplinare di così ampia portata.

La creazione di un ambiente di conoscenze condivise che possa supportare le ricerche avanzate per la sostenibilità ambientale del settore vitivinicolo è un concetto che apparentemente sembra molto semplice da applicare in contesti in cui gli attori coinvolti operano nello stesso settore. La realizzazione di percorsi comuni e la costruzione di un'infrastruttura basata sulle potenzialità offerte dall'integrazione delle scienze geografiche e delle tecnologie dell'informazione e delle comunicazioni, attraverso cui far confluire dati acquisiti da tecnologie avanzate e informazioni, e approdare a nuovi quadri di conoscenza per la riduzione degli impatti dell'agricoltura sull'ambiente, nella pratica presenta non poche difficoltà.

L'esperienza condotta in questo percorso di ricerca che ha portato allo sviluppo di un sistema integrato e all'implementazione di un geoportale tematico dedicato alla ricerca e alla sperimentazione sulla viticoltura di precisione ha dimostrato come l'adozione di soluzioni distribuite via web possa facilitare l'accesso e le analisi dei dati geografici e tabulari dei vigneti sperimentali oggetto di studio e incentivare lo sviluppo di nuove metodologie di analisi integrata e multiscala per la misura e l'interpretazione della variabilità della produzione, quale base per l'applicazione di strategie gestionali sito-specifiche. Il sistema sviluppato, attraverso specifici canali e moduli software, può così

interagire con diversi attori coinvolti nelle attività di ricerca sia per la gestione dei flussi dati in ingresso sia per la loro fornitura di prodotti operativi verso gli utenti finali.

Tuttavia non sono poche le difficoltà riscontrate durante la fase di sviluppo dell'applicazione WebGIS, che non sono solo riconducibili alla ricerca di soluzioni tecnologiche appropriate a creare la connessione fra dati e dispositivi ma piuttosto sono rappresentate dalla capacità di coinvolgere gli attori nei processi di sviluppo di applicazioni diversificate o di servizi trasversali.

Di seguito proveremo a tracciare alcuni i punti di forza nelle soluzioni adottate e gli sforzi che andrebbero fatti per migliorare i quadri di conoscenza e flussi d'informazione.

7.2.1 Interoperabilità tecnica e semantica

Vista la vasta gamma dei formati dei dati gestiti dal sistema possiamo affermare, che alla luce degli strumenti informatici disponibili nel mondo delle applicazioni geomatiche, ormai abbiamo raggiunto dei buoni livelli di interoperabilità tecnica dati.

Tuttavia per la favorire la comprensione semantica dei dati, in gruppi di lavoro multidisciplinari, oltre a creare momenti di confronto, come fatto nella fase di definizione dei requisiti del sistema, andrebbero compiuti ancora molti sforzi per superare quelle difficoltà legate all'uso di linguaggi che caratterizzano le diverse discipline di ricerca ed i diversi settori professionali e produttivi.

Un contributo in questa direzione è stato dato, nel corso di questo percorso di ricerca, dalla redazione di una prima bozza di *thesaurus* specifico per la viticoltura di precisione. Allo stato attuale una bozza sta circolando fra specialisti di diversi settori (agronomi, informatici, ingegneri meccanici, viticoltori, etc.) per un feedback tecnico-scientifico. Una volta completato, il *thesaurus* potrà essere messo in linea ed essere un riferimento comune per tutti gli utenti del geoportale ed in particolare per gli attori coinvolti nei processi di ricerca e sviluppo nel settore della viticoltura di precisione.

7.2.2 Gestione e modellazione dei dati in agricoltura di precisione

Questo è un problema che ha riguardato più gli attori appartenenti al settore tecnico-scientifico.

Le metodologie adottate in agricoltura di precisione richiedono, come già visto, la raccolta e la gestione di un gran numero di dati, specie se raccolti ad intervalli temporali molto ravvicinati o in tempo reale. La gestione ed elaborazione dei dati richiede quindi

l'adozione di strumenti informatici molto più complessi dei classici fogli elettronici o personal database.

Capire inoltre le relazioni che intercorrono fra le diverse variabili ambientali non è solo un problema d'integrazione di formati di dati. L'adozione di nuove metodologie di analisi richiede una modellazione dei dati che va testata e sperimentata in base agli obiettivi dell'indagine. L'adozione di database relazionali e strumenti di modellazione di dati, quali ad esempio quelli adottati per la costruzione del geodatabase del sistema Smart Vineyard, possono sicuramente aiutare a gestire ed esplorare al meglio i dati multi-scala e multi-precisione per lo sviluppo di nuove metodologie di analisi sito-specifiche.

In questo lavoro l'adozione di un geodatabase Open Source consente a molti utilizzatori di utilizzare una piattaforma comune per interrogare il sistema, estrarre i dati che interessano e consentire ulteriori manipolazione ed elaborazione della base dati a costo zero. Ma non è così evidente che nel mondo scientifico e professionale ci sia una conoscenza così diffusa sull'uso di questi strumenti che consentono analisi più complesse del patrimonio informativo che oggi le nuove tecnologie di acquisizione dei dati mettono a disposizione.

Il sistema, presentato in questo percorso di ricerca, allo stato attuale permette l'utilizzo di linguaggi SQL per l'estrazione e manipolazione dei dati ma in prospettiva andranno fatti maggiori sforzi nello sviluppo di interfacce conviviali per l'estrazione e combinazione dei dati. Anche questo obiettivo non è così facile da raggiungere quando i percorsi metodologici non sono definiti, anzi sono tutti da costruire e da inventare come appunto il caso di metodologie per l'applicazione dell'agricoltura sito-specifica. Quindi, non è nemmeno così semplice creare dei modelli di estrazione dati, che sono alla base della costruzione di sistemi di gestione dei dati (DBMS), per lo sviluppo di interfacce personalizzate per analisi ed applicazioni specifiche.

Per risolvere queste criticità forse l'investimento migliore da fare è nell'aumento di competenze delle risorse umane, favorendo la formazione avanzata del personale tecnico scientifico e contribuire nello stesso tempo alla preparazione di nuove figure professionali necessarie al trasferimento dell'innovazione nel settore agricolo e non solo.

7.2.3 Il flusso dei dati e delle informazioni

Il flusso dei dati è uno dei principali colli di bottiglia per la sperimentazione e l'adozione operativa di prodotti e risultati che provengono dall'adozione di nuove

tecnologie e dai risultati delle ricerche avanzate in agricoltura. Come già riportato nel paragrafo relativo agli strumenti in uso in agricoltura di precisione, il flusso di dati spesso è circoscritto alla trasmissione fra sistema di acquisizione ed il relativo software di gestione (es: fra sensori meteorologici e software di gestione della sensoristica di campo) ed al massimo, in casi molto avanzati, con l'integrazione degli stessi nel software di gestione aziendale. Non esistono al presente sistemi che mettano in comunicazioni aziende diverse o un sistema di gestione aziendale a sistemi diversificati di acquisizione o distribuzione dei dati.

Lo sviluppo del un sistema Smart Vineyard ha perciò l'obiettivo di colmare questo gap offrendo una piattaforma comune per l'accesso e la distribuzione via web dei dati spaziali, e non solo, grazie anche alla disponibilità di web services standard, come il Web Map Service, già molto usato a livello di infrastrutture dei dati spaziali (SDI). Anche lo sviluppo di moduli che lavorano in backend, come quelli illustrati per l'archiviazione dei dati della rete di sensori agrometeorologica di campo, è una soluzione adottata per ricevere, visualizzare e distribuire in tempo reale dati meteorologici via web.

Ulteriori vantaggi si potrebbero ottenere sviluppando delle interfacce multiutente per l'upload dei dati usando direttamente dall'applicativo WebGIS. Seguendo questa direzione è stata già sviluppata una funzione, in forma prototipale, per la raccolta speditiva di dati in campo mediante l'uso della WebApp per dispositivi mobili del sistema SmartV.

Infine la diffusione di standard geomatici per l'agricoltura di precisione, che già in ricerche internazionali viene presentata come possibile soluzione per l'interoperabilità di sistemi di acquisizione e gestione dati, è ancora un argomento che sia nel mondo della ricerca in informatica per l'agricoltura e dell'ingegneristica meccanica è tutto da esplorare.

7.2.4 Trasferibilità dei risultati della ricerca

Questo percorso ha messo in evidenza come ci siano ancora molte difficoltà nella comprensione dei risultati della ricerca da parte degli operatori vitivinicoli. Se fra professionalità che hanno un feedback di formazione simile, quali ad esempio agronomi appartenenti al mondo della ricerca e agronomi che operano nel mondo delle produzioni vitivinicole, si raggiunge un buon grado di comunicazione, risulta invece ancora molto problematico superare le difficoltà di traduzione dei risultati che derivano da studi e ricerche specialistiche di settore. Un esempio è dato dal trasferimento dei risultati delle statistiche avanzate, che spesso vengono presentati solo in forma di tabelle, coefficienti e

grafici non comprensibili dai coloro che devono tradurli in azioni di gestione e sperimentazione in campo.

L'uso di un linguaggio comune, l'approccio di lavoro, l'interpretazione delle informazioni, la comunicazione divulgativa, la promozione dei risultati operativi sono solo alcune delle azioni che andrebbero potenziate per un reale cambiamento delle tendenze rivolte all'adozione di pratiche sostenibili per l'agricoltura.

7.2.5 Sostenibilità delle applicazioni informatiche distribuite

La consapevolezza dei benefici apportati da un'infrastruttura di dati sviluppata su web anche per l'agricoltura ormai si è consolidata grazie all'uso pervasivo delle nuove tecnologie dell'informazione e delle comunicazioni.

Come tutte le infrastrutture anche quelle delle informazioni vanno tuttavia gestite ed aggiornate per rendere sempre attuali gli scenari di conoscenza dell'ambiente agrario.

Questo è un problema di grande attualità quando si adottano soluzioni informatiche avanzate e quando le applicazioni sono il risultato di finanziamenti alla ricerca.

La domanda da porsi, alla conclusione di questo lavoro, è quale possa essere la sostenibilità economica, in termini di risorse umane dedicate alla corretta manutenzione di un sistema distribuito su web, sia da parte di strutture di ricerca sia da parte di privati quando il finanziamento della ricerca finisce.

E' da verificare inoltre quanto i privati, senza un supporto di finanziamento pubblico, siano disposti ad investire in ricerca e sviluppo per l'avanzamento delle conoscenze su nuove strategie per la sostenibilità ambientale dell'agricoltura.

Nell'adozione di nuove strategie di gestione spesso il primo elemento di valutazione da parte degli agricoltori è la convenienza economica, sia nella fase sperimentale sia nel cambiamento sul lungo periodo.

Senza una concreta valutazione in termini economici dei benefici che si possono trarre dall'adozione di nuove strategie di gestione, è molto difficile sensibilizzare, specialmente in un periodo di crisi economica come questo che stiamo attraversando, il settore delle produzioni agricole ad investire, sul lungo periodo, in ricerca e sviluppo.

Nel caso dello sviluppo del sistema SmartV la sostenibilità del sistema è basata più sull'impegno personale, quindi su base volontaria, di un ristretto gruppo di lavoro, dettato dalle motivazioni di innovazione e crescita scientifica, che non dal contributo dei produttori privati che, nella fase di trasferimento del sistema presso le proprie strutture,

sono disponibili a sostenere al massimo le spese per la manutenzione ordinaria del data-application server.

7.2.6 *Prospettive di ricerca in agricoltura di precisione*

La ricerca ha bisogno di fondi per essere portata avanti ed arrivare a sviluppi e risultati che vedano una reale ricaduta operativa delle sperimentazioni. Anche questo lavoro ha richiesto risorse, almeno nella realizzazione della parte applicativa, per poter essere testato e valutato riguardo alle scelte tecniche e metodologiche adottate nell'implementazione di un servizio WebGis distribuito. La criticità degli stadi di avanzamento della ricerca è da imputare alle prospettive spesso aleatorie di continuità delle indagini, specialmente in percorsi di ricerca così lunghi e complessi e che richiedono fra l'altro un largo impiego di tecnologie.

Un ruolo fondamentale per un maggiore investimento in ricerca e sviluppo è sicuramente quello delle politiche di sviluppo ed innovazione del settore agricolo ed ancor di più delle direttive della nuova politica agricola europea in materia di ricerca sulla sostenibilità ambientale dell'agricoltura che può sicuramente dare speranza su percorsi innovativi da seguire anche nel futuro.

Infine, una considerazione che viene spontanea è anche quella che, con i vantaggi e svantaggi che comporta, non possiamo essere solo ricercatori scientifici ma dobbiamo divenire anche ricercatori di finanziamenti se vogliamo dare continuità ai lavori di ricerca che ci coinvolgono ed appassionano.

In un periodo di crisi finanziaria, come quella che sta attraversando l'Europa ed in particolare l'Italia, si spera che si ricominci ad investire in ricerca ed innovazione come volano per una ripresa della crescita economica anche nella prospettiva di creare nuovi modelli di sviluppo per una migliore sostenibilità ambientale dell'agricoltura.

7.2.7 *Indicazioni per sviluppi futuri del sistema Smart Vineyard*

A conclusione del lavoro svolto molte sono le idee emerse che potrebbero facilitare e migliorare sia lo sviluppo dell'applicazione WebGIS sia il contesto di ricerca ed operativo per l'adozione di nuove strategie di gestione della viticoltura in una logica di sostenibilità ambientale. Le indicazioni che seguono, per eventuali sviluppi futuri, sono elencate sia in funzione degli sviluppi informatici sia in funzione dei bisogni della ricerca integrata sia dal punto di vista delle ricadute operative.

- **Sviluppo di funzioni di analisi da integrare nell'applicazione WebGIS**
 - Funzioni per il calcolo di indicatori microclimatici;
 - Funzioni per la costruzione di indicatori di sviluppo della vegetazione;
 - Funzioni di interpolazione dei dati puntuali;
 - Funzioni di base per l'editing (più indicate se disponibili su dispositivi portatili);
 - Inclusione *form* per immissione dati (per un maggior controllo sulle specifiche dei formati);
 - Funzioni di controllo remoto della sensoristica di campo.

- **Evoluzione dell'architettura di sistema adottata e dello sviluppo di funzioni avanzate lato server**
 - Evoluzione di formati standards di dati specifici per l'agricoltura di precisione: dal sensore – ai sistemi informativi aziendali – ai dispositivi mobili /macchine operatrici;
 - Servizi web: sviluppo di Web Processing Services (WPS) per l'agricoltura di precisione;
 - Evoluzioni delle reti agro-meteorologiche da WSN (Wireless Sensor Network) a WSE (Web Enablement Sensor);
 - Sviluppo di interfacce multi-utente (es: per applicazioni operative, sviluppi della ricerca, monitoraggio in real-time, tracciabilità, sicurezza operativa e meccatronica)
 - Interoperabilità fra diversi sistemi aziendali;
 - Funzioni per la sicurezza e della proprietà dei dati.

- **Dal punto di vista della ricerca**
 - Potenziare lo sviluppo di metodologie di analisi basate sull'integrazione di dati sito-specifici;
 - Potenziare la disponibilità di serie storiche di dati per la sperimentazioni;
 - Sviluppo e sperimentazione di sensoristica a basso costo e configurazione basata su soluzioni Open Source;
 - Uso diffuso di ambienti di sviluppo Open Source;
 - Sviluppo di sistemi di controllo remoto della sensoristica di campo;

- Accesso a finanziamenti sul lungo periodo per il progresso dell'innovazione e della sostenibilità delle produzioni;
 - Creazioni di piattaforme di lavoro inter-disciplinari;
 - Incentivare le sinergie fra mondo della ricerca e settore imprenditoriale (aziende agricole; sw house; ingegneria meccanica; chimica, biologica; produttori e reti di commercializzazione);
 - Agevolare i processi di trasferimento dei risultati della ricerca: dalla complessità alla semplificazione;
 - Favorire l'ingresso dei giovani al mondo della ricerca e dare maggior sicurezza di continuità ai giovani ricercatori a contratto;
- **Dal punto vista delle ricadute operative**
 - Produzione di mappe digitali per una diretta integrazione nei dispositivi delle macchine ad alta specializzazione operativa (es: dispositivi a rateo variabile e vendemmiatrici di precisione).
 - Produzione e condivisione dei dati strutturali sulla variabilità spaziale dei vigneti;
 - Diffusione ed adozione di reti di monitoraggio ambientale a basso costo;
 - Adozione di strumenti di supporto alla presa di decisione;
 - Accessibilità in situ delle informazioni sito-specifiche.

7.3 Conclusioni

Nei sistemi di produzione agricola esistono molteplici strategie che possono essere implementate per favorire l'uso razionale delle risorse naturali e per limitare l'utilizzazione di input chimici senza necessariamente incidere in maniera negativa sulla produttività e la redditività delle colture.

Grazie anche al cambiamento in atto nelle strategie delle politiche agricole comunitarie e nazionali, il sistema della produzione agroalimentare è ormai orientato verso un approccio di agricoltura integrata che utilizza differenti metodi e mezzi produttivi e di difesa fitosanitaria, volti a ridurre al minimo l'uso delle sostanze chimiche di sintesi e a razionalizzare la fertilizzazione, nel rispetto dei principi ecologici, economici e di sicurezza alimentare.

Il complesso percorso di ricerca presentato in questo elaborato di tesi ha voluto approfondire solo una delle possibili strategie gestionali che è possibile adottare per uno sviluppo sostenibile delle produzioni primarie, l'agricoltura sito-specifica, che più di altre è basata sull'uso di tecnologie avanzate per il monitoraggio operativo, ambientale e produttivo delle produzioni.

Molti casi presentati in letteratura sull'adozione di questa nuova strategia di gestione delle colture illustrano nei dettagli il processo dall'acquisizione del dato, usando, come abbiamo già visto sensori e strumenti avanzati che vanno dalla micro-meteorologia di campo, a varie forme di telerilevamento, alla mecatronica per descrivere quella variabilità spaziale dell'ambiente agrario che dovrebbe indirizzare la scelta gestionale dell'agricoltore nel raggiungimento di obiettivi di produzione di qualità, redditività ed eco-compatibilità.

Il mito che accompagna l'uso della tecnologia dell'acquisizione dei dati deve tuttavia confrontarsi con la realtà di come utilizzarli, come gestirli ed integrarli fra di loro, come interpretarli, quanto le informazioni derivate siano importanti e quanto della variabilità identificata sia gestibile ed accettabile per la presa di decisione e per le conseguenti azioni che ne derivano.

Questi dati per essere effettivamente usati devono, quindi, essere trasferiti attraverso diversi sistemi hardware, software, agli utenti finali.

Il flusso di dati e informazioni al momento rappresenta una delle maggiori criticità per le applicazioni operative e lo sviluppo di nuove metodologie di analisi sito-specifiche, a causa dei problemi di compatibilità con i modelli, i formati, le interfacce e i sistemi di riferimento in uso nelle diverse realtà di ricerca, aziendali e produttive.

Nel caso di studio applicato al settore viti-vinicolo, comparto di produzione che più di altri può trarre benefici nell'adozione di queste tecnologie avanzate per la riduzione degli impatti sull'ambiente, abbiamo sperimentato come la coniugazione della tecnologia dei sistemi di acquisizione dei dati, le scienze geomatiche e le tecnologie ICT offra grandi potenzialità di sviluppo per superare criticità relative al flusso dei dati e delle informazioni. Inoltre, la creazione di un ambiente di conoscenze condivise può dare nuovi impulsi alla ricerca, alla sperimentazione in campo da parte degli agricoltori, al settore delle produzioni meccaniche e dei servizi per l'agricoltura sostenibile.

Per definire il futuro della viticoltura di precisione è evidente, tuttavia, la necessità di promuovere l'integrazione tra scienze ingegneristiche, agronomiche, statistiche, informatiche e di favorire la partecipazione attiva degli agricoltori nei programmi di ricerca e sviluppo.

Il percorso che va da rilevamento del dato puntuale, alla produzione d'informazione, fino alla decisione/azione da parte dell'utilizzatore finale è un processo che richiede ancora molto impegno, non solo da un punto di vista tecnico-scientifico ma anche da un punto di vista politico nel tracciare le direttive e le linee guida che supportino i vari attori nel raggiungimento di obiettivi comuni mirati alla salvaguardia e tutela dell'ambiente e ad uno sviluppo sostenibile delle produzioni.

L'agricoltura sostenibile è alla base della nuova normativa comunitaria che regolerà nei prossimi anni l'utilizzo dei fitofarmaci in agricoltura e pertanto anche la viticoltura italiana dovrà ristrutturare la sua filiera coniugando sostenibilità ambientale ed economica con la qualità delle produzioni enologiche.

Il presente lavoro vuole essere solo l'avvio di un percorso di ricerca inserito nell'ambito di un processo ciclico in continua evoluzione, quale è appunto quello che caratterizza la viticoltura di precisione, i cui sviluppi futuri non possono prescindere dalla creazione di un'infrastruttura di dati spaziali, appositamente dedicata a questa nuova strategia gestionale.

La forte dinamicità ed il contenuto innovativo di questo settore rappresentano, infine, indubbi stimoli, sia dal punto di vista della ricerca di nuove soluzioni tecnologiche, più efficienti e funzionali, sia nella creazione di reti e partenariati di collaborazione tra i differenti soggetti che operano a vario titolo nel comparto vitivinicolo, allo scopo di garantire quelle sinergie indispensabili per assicurarne l'applicazione operativa e la loro futura sostenibilità.

BIBLIOGRAFIA

- Alesheikh A., Helali H., & Behroz H. A. (2002). ACSG Web GIS : Technologies and its Applications.
- Balsari P., Marucco P., 2007. Tecnologie innovative per il controllo della flora infestante nel vigneto. Atti del convegno nazionale Associazione Italiana di Ingegneria Agraria,(Volterra).
- Bavaresco, L. 2009. “La difesa della vite contro le malattie”, Slowfood, Bra, Slow Food Editore, 38, p.182-183.
- Bertocco M., Basso B., Sartori L., 2005. Metodi per definire le dosi variabili di fertilizzante. *Informatore Agrario* 1, 27-29.
- Bongiovanni, R., & Lowenberg-Deboer, J. 2004. Precision Agriculture and Sustainability. *Precision Agriculture*, 5(4), 359-387. doi:10.1023/B:PRAG.0000040806.39604.aa.
- Bramley, R.G.V., 2001. Progress in the development of precision viticulture – Variation in yield, quality and soil properties in contrasting Australian vineyards. Precision Tools for Improving Land Management. Eds. L.D. Currie and P. Loganathan. Occasional report No. 14, pp. 25-43.
- Bray, T., Paoli, J., & Sperberg, C. M. (Eds.). (1998). Extensible Markup Language (XML) 1.0. W3C Recommendation 10-February-1998. World Wide Web Consortium, Cambridge, MA, USA. Available from <http://www.w3.org/TR/1998/REC-xml-19980210>.
- Brivio P.A., Zani G., 1995 - Glossario trilingue di telerilevamento. Associazione Italiana di Telerilevamento, Milano.
- Bullock, D.S., Kitchen, N.R., Bullock, D.G., 2007. Multi-disciplinary teams—a necessity for research in precision agriculture systems. *Crop Sci.* 47, 1765–1769.
- Codeluppi, V., 2000. Il marketing e il nuovo consumatore *MicroMacro Marketing*, n. 1: 9-2
- Caffey, R. H., Kazmierczak, R. F. and Avault, J. W. 2001. Incorporating Multiple Stakeholder Goals into the Development and Use of a Sustainable Index: Consensus Indicators of Aquaculture Sustainability. Department of AgEcon and Agribusiness of Louisiana State University, USA. Staff Paper 2001–8. 40 pp.
- Calò A., D. Gaeta, C. Zavaglia, M. Antoniazzi. 2009. “Evoluzione del vigneto Italia” Vol. II, Ed. Tipse.
- Calcante, A., A. Mena,, F. Mazzetto, 2011. Valutazione di sistemi ottici per la diagnosi di peronospora su piante di *Vitis vinifera* L. Memorie del Convegno di Medio Termine dell'Associazione Italiana di Ingegneria Agraria. Belgirate, 22-24 settembre 2011.
- Carnevali P., Failla O., Brancadoro L. 2009. Continuous proximal sensing mapping tools for determining vineyards variability. Proceeding of 16th International GiESCO Symposium, July 12-15, University of California, Davis, pp. 317-321.
- Casadesus, J., Biel, C., & Bonany, J., 2007. Architecture and requirements for sensor-controlled irrigation. In C. Parker (Ed.), Proceedings of EFITA/WCCA 2007, Glasgow Caledonian University.

Castia, T., M.A. Franco, F. Mattivi, G. Muggioli, G. Sferlazzo, e G. Versini. 1992. Characterization of grapes cultivated in Sardinia: chemometric methods applied to the anthocyanic fraction. *Sciences des aliments*. 12(2): 239–255.

Christensen, E., Curbera, F., Meredith, G., & Weerawarana, S. 2001. Web services description language (WSDL) 1.1. World Wide Web Consortium, Cambridge, MA, USA. Available from <http://www.w3.org/TR/wsdl>. Last accessed 25/03/2009.

Cox, S., Daisey, P., Lake, R., Portele, C., & Whiteside, A. (Eds.). 2003. OpenGIS_ geography markup language (GML) implementation specification, Version 3.1.1. Wayland, MA, USA: Open Geospatial Consortium, Inc.

Curbera, F., Khalaf, R., Mukhi, N., Tai, S., & Weerawarana, S. 2003. The next step in web services. *Communications of the ACM*, 46(10), 29–34.

Dabas, M., Tabbagh, A., 2003. A comparison of EMI and DC methods used in soil mapping-theoretical considerations for precision agriculture. In: Stafford, J., Werner, A. (Eds.), *Precision Agriculture*. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands, pp. 121–127.

De Filippis T., L. Di Prinzi, P. Minguzzi, S. Chiarato, 2010. Tecnologie e reti di conoscenza per un'agricoltura sostenibile. *Territorio*, n.52, Franco Angeli, Milano, pp.60-63.

De Filippis T., L. Rocchi, E. Fiorillo , L. Genesio. 2012. Quando il vigneto è SMART: SmartVineyard un sistema WebGIS OpenSource per la viticoltura di precisione. *VQ Vite, Vino & Qualità* 1- pp.34-36.

De Filippis T., L. Rocchi, E. Fiorillo , L. Genesio. 2010. A WebGis application for Precision Viticulture: from research to operative practices. *WebMGS 2010, 1st International Workshop on Pervasive Web Mapping, Geoprocessing and Services*. August 26-27 – Como, Italy. *Proceedings WebMGS 2010*.

Genesio L., A. Zaldei, A. Matese, F. Di Gennaro, F. P. Vaccari, P. Toscano, B. Gioli, **T. De Filippis**, E. Fiorillo. 2008. Vineyard integrated multi-scale monitoring: from micrometeorology to airborne remote sensing. *Terzo Simposi Internazionale del Sangiovese*. Firenze 3-5 dicembre 2008. Abstract

Di Gennaro F., L. Genesio, A. Matese, A. Zaldei, F. P. Vaccari (2009). Rete di stazioni wireless per il monitoraggio microclimatico in viticoltura di precisione. *ENOFORUM - Innovazione ed Eccellenza*. Piacenza 21-23 Aprile.

Doyle, A. (1999). *Web Map Server Interface Specification*. OpenGIS Project Document 99-077.

Downey, M.O., N.K. Dokoozlian, e M.P. Krstic. 2006. Cultural practice and environmental impacts on the flavonoid composition of grapes and wine: a review of recent research. *American Journal of Enology and Viticulture*. 57(3): 257.

Drissi, R., J. P. Goutouly, D. Forget e J. P. Gaudillère, 2009. Nondestructive measurement of grapevine leaf area by ground normalized difference vegetation index. *Agronomy Journal* [101], 226-231.

D'Urso, G.. (2011). L'osservazione della terra nell'ingegneria agraria e forestale. *Memorie del Convegno di Medio Termine dell'Associazione Italiana di Ingegneria Agraria*. Relazione introduttiva. Belgirate, 22-24 settembre 2011.

EC (European Commission). (2007). Directive 2007/2/EC of the European Parliament and of the Council of 14 March 2007 establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community (INSPIRE).

Available from <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:108:0001:0014:EN:PDF>.

FAO, 2009a, World Summit on Food Security, FAO, Rome [available at www.fao.org/wsfs/world-summit/en/].

FAO, 2007, Food Outlook, Global Market Analysis, June.

Fiorillo E., A. Crisci, **T. De Filippis**, S. F. Di Gennaro, S. Di Blasi, A. Matese, J. Primicerio, F. P. Vaccari and L. Genesisio. 2012. Airborne high-resolution images for grape classification: changes in correlation between technological and late maturity in a Sangiovese vineyard in Central Italy. Australian Journal of Grape and Wine Research. doi: 10.1111/j.1755-0238.2011.00174.x - Rivista ISI

Fiorillo E., **T. De Filippis**, S. F. Di Gennaro, A. Matese, F. P. Vaccari, P. Carnevali, S. Pedò, S. Di Blasi and L. Genesisio. 2011. Comparison of three different methods of NDVI acquisition for vineyard canopy monitoring and their suitability for grape quality classification. Proceeding of 17th International GiESCO Symposium. August 29th – September 2nd, Asti, Alba-Italy, pp 209-212.

Fiorillo E., **T. De Filippis**, L. Genesisio, B. Gioli, F. Maselli, M. Pieri and F.P Vaccari. 2010. Uso di immagini multi spettrali termiche per il monitoraggio del vigneto e predizioni di qualità. Atti del III Convegno Nazionale di Viticoltura, 5-9 Luglio, S. Michele all'Adige (TN).

Fiorillo E., **T. De Filippis**, L. Genesisio, F. Maselli, B. Gioli, P. Toscano. 2009. Mapping the spatial variability of vineyard canopy using high-resolution airborne multispectral images. Proceeding of 16th International GiESCO Symposium. July 12-15, 2009 University of California, Davis, pp 19-24.

Fiorillo E., F. Maselli, **T. De Filippis**, B. Gioli, P. Toscano. 2008. Variability mapping of vineyard canopy using high-resolution airborne multispectral images. Terzo Simposio Internazionale del Sangiovese. Firenze 3-5 dicembre 2008. Abstract

George, R. A. T., 2009, Vegetable Seed Production (3rd edn), CABI Publishing, Wallingford, UK

Genesisio L., **T. De Filippis**, S. Di Blasi, F. Di Gennaro, E. Fiorillo, B. Gioli, A. Matese, P. Toscano, F.P. Vaccari, A. Zaldei (2009). Strumenti Integrati per la Caratterizzazione ed il Monitoraggio del Vigneto. Vinitaly, Verona 3 Aprile 2009.

Genesisio L., A. Zaldei, A. Matese, F. Di Gennaro, F. P. Vaccari, P. Toscano, B. Gioli, **T. De Filippis**, E. Fiorillo. 2008. Vineyard integrated multi-scale monitoring: from micrometeorology to airborne remote sensing. Terzo Simposio Internazionale del Sangiovese. Firenze 3-5 dicembre.

Gore Albert, 2007. Una scomoda verità. Come salvare la terra dal riscaldamento Globale. Ed. Rizzoli, pp 333.

Gibbons, G., 2000. Turning a farm art into science: an overview of precision farming. URL: <http://www.precisionfarming.com>.

Gioli, B., Miglietta, F., Vaccari, F.P., Zaldei, A., De Martino, B. (2006). The Sky Arrow ERA, an innovative airborne platform to monitor mass, momentum and energy exchange of ecosystems. *Annals of Geophysics*, 49, n. 1, pp 109-116.

Gliessman, S. T. 2000. *Agroecology: Ecological Processes in Sustainable Agriculture*. Lewis Publishers, an imprint of CRC Press, Boca Raton, FL.

Godfray, C., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., Pretty, J., Robinson, S., Thomas, S. M., Toulmin, C., 2010, 'Food security: the challenge of feeding 9 billion people', *Science* 327, 812–818.

Gomarasca M., 2004 - *Elementi di geomatica*. Associazione Italiana di Telerilevamento, Milano.

Griffin, T.W., Lowenberg-DeBoer, J., 2005. Worldwide adoption and profitability of precision agriculture: implications for Brazil. *Revista de Politica Agricola* 14 (4), 20–38.

Gore A., 2007, *Una scomoda verità. Come salvare la terra dal riscaldamento Globale*, Rizzoli, Milano, pp. 333

Grifoni D. , Mancini M. , Maracchi G., Orlandini S., Zipoli G. (2006). Analysis of Wine Quality Using Meteorological Information. *Am. J. Enol. Vitic.* 57:3

Gudgin, M., Hadley, M., Mendelsohn, N., Moreau, J., & Nielsen, H. F. (Eds.). (2003). SOAP version 1.2 part 1: Messaging framework. World Wide Web Consortium, Cambridge, MA, USA. Available from <http://www.w3.org/TR/soap12-part1/>. Last accessed 25/03/2009.

Hall, A., Louis, J., Lamb, D.W., 2003. Characterising and mapping vineyard canopy using high-spatial-resolution aerial multispectral images. *Computers & Geosciences*, 29: 813-822.

Hall A., Lamb D.W., Holzapfel B., Louis J., 2002. Optical remote sensing applications in viticulture - a review. *Australian journal of grape and wine research*, 8, 36-47.

Hartwick, J. 1978. Substitution among exhaustible resources and intergenerational equity. *The Review of Economic Studies*. XLV-2 140, 347–354.

Harvey, M., Pilgrim, S., 2010, 'Competition for land: food and energy', paper prepared for UK Government Foresight Project on Global Food and Farming Futures, UK Government, London.

Hengl, T., Gould, M., 2006. The unofficial guide for authors (or how to produce research articles worth citing). EUR 22191 EN, 54 pp. Office for Official. Publications of the European Communities, Luxemburg. ISBN: 92-79-01703-9

Henson, R., 2008, *A Rough Guide to Climate Change* (2nd edn), Rough Guides Ltd, London. Mediterranean: a local feature or a lager-scale effect? *International Journal of Climatology*, 26, 1477-1487.

Humphreys, E., Peden, D., Twomlow, S., Rockstro" M, J., Oweis, T., Huber-Lee, A., Harrington, L., 2008, *Improving Rainwater Productivity: Topic 1 Synthesis Paper*, CGIAR Challenge Program on Water and Food, Colombo.

IAASTD (International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development), 2009, 'Agriculture at a crossroads', in *International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development: Global Report*, Island Press, Washington, DC.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2007, in: S. Solomon, D. Quin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor, H. L. Miller (eds), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group 1 to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Chapter 11, *Regional Climate Projections*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.

ISMEA, *Analisi della struttura del mercato dei vini DOC, DOCG e IGT*, Marzo 2010

Jackson, R.D., Reginato, R.J., Idso S.B. What canopy temperatures: a practical tool for evaluating water requirements. *Water Resour. Res.* 1972 (13): pp. 651-656

Johnson, H., J. Robinson, e O.P.G. Limited. 2001. *The world atlas of wine*. Mitchell Beazley.

Jarocinska A., Zagajewski B., 2009. Remote sensing for analysis of vegetation condition in extensively used agricultural areas. 6th EARSeL SIG IS workshop, Tel- Aviv (Israel).

Ka-Map 1.0 - Documentation retrieved from <http://ka-map.mapttools.org/> (last access date : May 10, 2010)

Kitchen, N. R., Snyder, C. J., Franzen, D. W., & Wiebold, W. J. (2005). Educational needs of precision agriculture. *Precision Agriculture*, 3(4), 341–351.

Kitchen, N. R. (2008). Emerging technologies for real-time and integrated agriculture decisions. *Computers and electronics in agriculture* (61) 1-3

Lang, T., Barling, D., Caraher, M., 2009, *Food Policy: Integrating Health, Environment and Society*, Oxford University Press, Oxford.

Lowenberg-DeBoer, J. and Swinton, S. 1997. Economics of site-specific management in agronomic crops. In: *The State of Site-Specific Management for Agriculture USA*. edited by F. Pierce and E. Sadler, (ASA-CSSA-SSSA, Madison, Wisconsin, USA), pp. 369–396.

Maguire, D. J. and Longley, P., 2005. The emergence of geoportals and their role in spatial data infrastructures. *Computers, Environment and Urban Systems*. 29, pp. 3-14.

Matese A., L. Genesio, A. Zaldei, F. Di Gennaro, F.P. Vaccari, P. Toscano, B. Gioli, T. **De Filippis**, E. Fiorillo (2008). Monitoraggio integrato multi-scala dei vigneti: dalla micro-meteorologia al telerilevamento aereo. III Simposio Internazionale sul Sangiovese. Firenze 3-5 dicembre.

Mazzetto F., Calcante A., Mena A., 2009. Comparing commercial optical sensors for crop monitoring tasks in precision viticulture. *Rivista di Ingegneria Agraria*, 1, 11-18.

Mazzetto, F., Calcante, A.; Mena, A., Vercesi A. Integration of optical and analogue sensors for monitoring canopy health and vigour in precision viticulture. *Precision Agriculture*, 2010 (6)14: pp. 636-649

Martin C., Keoleian H. and G.A., 2000, *Life Cycle-based Sustainability Indicators for Assessment of the US Food System*, Center for Sustainable Systems, Univ. of Michigan, Report n. CSS00-04.

Matese A., F. S. Di Gennaro, L. Genesio, F. P. Vaccari, A. Crisci, A. Zaldei, P. Toscano, B. Gioli, E. Fiorillo, **T. De Filippis**, S. Di Blasi. 2009. An integrated multi-scale monitoring approach to understand the relationships between climate, agricultural practices on grapes quality. *Proceeding*

of 16th International GiESCO Symposium. July 12-15, 2009 University of California, Davis, pp 437-441.

McBratney, A., Whelan, B., Ancev, T., Bouma, J. 2005. Future directions of precision agriculture. *Precision Agriculture* 6: 7–23.

Mapserver. Documentation for the Mapserver project, Retrieved from: <http://www.mapserver.org/> (last access date: May 7, 2010).

Mitchell, T., 2005. *Web Mapping Illustrated: Using Open Source GIS Toolkits*. O'Reilly, Sebastopol, CA.

Monte dei Paschi di Siena, ISMEA. *Tendenze e prospettive della filiera vitivinicola*, Siena 2011

Nash, E., Korduan, P., & Bill, R. (2009). Applications of open geospatial web services in precision agriculture: a review. *Precision Agriculture*, 10(6), 546-560. doi:10.1007/s11119-009-9134-0

NOMISMA, Unioncamere, Istituto G. Tagliacarne. *Rapporto sul settore vitivinicolo 2007*, Retecamere Scrl, Roma, 2007, ISBN 978-88-6077-020-2

Open GIS Consortium, Inc. (OGC) 2002. *OpenGIS Web Map Server Interface Implementation Specification (Version 1.1.1)*. Open GIS Consortium, Inc., Wayland, Massachusetts, URL: <http://www.opengis.org/techno/implementation.htm> (last access date: May 18, 2010)

Pedò S., R. Zorer, M. Bertamini, S. Benedettelli, S. Di Blasi (2008). *Sperimentazione viticola integrata attraverso differenti modalità di gestione della chioma. Terzo Simposio Internazionale sul Sangiovese. Modelli di terroir per vini d'eccellenza*. Firenze 3-5 dicembre.

Pearce, D. and Atkinson, G. 1993. Capital theory and the measurement of sustainable development. *As Indicator of Weak Sustainability*. *Ecological Economics* 8(3), 103–108.

Pearce, D. and Atkinson, G. 1995. *Measuring of Sustainable Development*. In: D. Bromley ed., *The Handbook of Environmental Economics*, pp. 166–181.

Pedersen, S. M., Fountas, S., Blackmore, B. S., Gylling, M., & Pedersen, J. L. (2004). Adoption and perspective of precision farming in Denmark. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B, Soil and Plant Science*, 54(1), 2–6.

Pierce, F.J., e T.V. Elliott. 2008. Regional and on-farm wireless sensor networks for agricultural systems in Eastern Washington. *Computers and Electronics in Agriculture*. 61(1): 32–43.

Pomarici E., Sardone R.(2008). *Ragioni, vincoli e complessità della riforma dell'OCM vino*, in *Agriregionieuropa*, anno IV, n.12: 3-5

Pretty, J., 2008, 'Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence', *Philosophical Transactions of the Royal Society* 363, 447–465

Profitt T., R. Bramley, D. Lamb, E. Winter, 2009. *Precision Viticulture: a new era in vineyard management and wine production*. Winetitles (Australia).

Refraction Research. *What is PostGIS?* Retrived from: <http://postgis.refrations.net/> (last access date: May 20, 2010).

Reichardt, M., & Juergens, C. (2006). The farmers view on the usability of precision farming in Germany—results of a multi-temporal survey. In *Agricultural engineering for a better world: Proceedings of XVI CIGR world congress* (VDI Verlag GmbH Dußseldorf). ISBN 3-18-091958-2 (book of abstracts)/ISSN 0083-5560 (CD-ROM of full papers)

Rocchi L., **T. De Filippis**, R. Magno. 2010. An open source general purpose framework for implementing WebGis applications. FOSS4G Conference, 6- 9 September, Barcelona, Spain.

Rosselli L. 2005. Sviluppo rurale e agricoltura sostenibile nelle aree protette. Il caso del parco nazionale dell'alta Murgia. Tesi di dottorato del XVIII ciclo "Valorizzazione e gestione delle risorse agro-forestali. Università degli studi di Napoli "Federico II". Facoltà di Agraria. Dipartimento di economia e politica agraria.

Sachs, J. D., Remans, R., Smukler, S., Winowiecki, L., Andelman, S. J., Cassman, K. G., Castle, D., DeFries, R., Denning, G., Fanzo, J., Jackson, L. E., Leemans, R., Lehmann, J., Milder, J. C., Naeem, S., Nziguheba, G., Palm, C. A., Pingali, P. L., Reganold, J. P., Richter, D. D., Scherr, S. J., Sircely, J., Sullivan, C., Tomich, T. P., Sanchez, P. A., 2010, 'Monitoring the World's agriculture', *Nature* 466, 558–560.

Schnug, E., Panten, K. and Haneklaus, S. 1998. Soil sampling and nutrient recommendations – the future. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 29(11–14): 1455–1462.

Sivilotti, P., C. Bonetto, M. Paladin, e E. Peterlunger. 2005. Effect of soil moisture availability on Merlot: from leaf water potential to grape composition. *American Journal of Enology and Viticulture*. 56(1): 9.

Solow, R. 1974. The Economics of resources or the resources of economics. *American Economic Review* 64(2),

Spayd S.E., Tarara J.M., Mee D.L., Ferguson J.C. – 2002 – Separation of sunlight and temperature effects on the composition of *Vitis vinifera* cv 'Merlot' berries. *Am. J. Enol. Vitic.*, 53, 3, 171-182. 1–13.

Spawton A. (2005). Marketing mix, Wine marketing lectures at CIHEAM International Wine Marketing Strategies Course, Mediterranean Agronomic Institute of Zaragoza, 16-20 May 2005.

Stafford, J.V., 2000. Implementing precision agriculture in the 21st century. *Journal of Agricultural Engineering Research* 76, 267_/275.

Steinberger, G., Rothmund, M., Martini, D., Spietz, C., Mallon, D., & Nash, E. (2007). Integrating agroXML into an agricultural spatial data infrastructure. *Landtechnik*, 62(2), 114–115.

Tsou, MH., 2004. Integrating Web-based GIS and image processing tools for environmental monitoring and natural resource management. *Journal of Geographical Systems* 6, pp.155-174.

Vanacht M., 2001, *The business of Precision Agriculture*, USDA (Washington, DC).

Vieri, Marco, Spezia, G., Pagni, Paolo, Frutti-viticultura, I., Cattolica, U., & Parmense, E., 2010. Ingegneria delle produzioni viticole: stato dell'arte e future applicazioni. *Review n.11 Italus Hortus* 17(1), 33-57.

Vieri M., 2003. Forme di allevamento della vite e modalità di distribuzione dei fitofarmaci. Cap. 7. Volume "Forme di allevamento della vite e modalità di distribuzione dei fitofarmaci. Bayer Crop Science, (Milano). Distribuzione Informatore Agrario.

Whelan, B.M., McBratney, A.B., Boydell, B.C., 1997. The Impact of Precision Agriculture. Proceedings of the ABARE Outlook Conference, 'The Future of Cropping in NW NSW', Moree, UK, July 1997, p. 5.

Wang, N., N. Zhang, e M. Wang. 2006. Wireless sensors in agriculture and food industry—Recent development and future perspective. *Computers and electronics in agriculture*. 50(1): 1–14.

WCED (World Commission on Environment and Development) 1987. Advisory Panel on Food Security, Agriculture, Forestry, and Environment. *Food 2000: Global Policies for Sustainable Agriculture*. Zed Books, London, New Jersey.

Willers Jeffrey L., Eric Jallas, James M. McKinion, Michael R. Seal, and S. T. (2009). *Advances in Modeling Agricultural Systems*. (P. J. Papajorgji, Ed.) *Advances in Modeling Agricultural Systems*, 25. Boston, MA: Springer US. doi:10.1007/978-0-387-75181-8

Winkler, A.J., J.A. Cook, W.M. Kliever, e L.A. Lider. 1974. *General viticulture*. Berkeley. University of California Press.

WMO, W. 2006. *Guide to meteorological instruments and methods of observation*. World Meteorological Organization, Geneva–Switzerland. World Bank, 2007, *World Development Report 2008: Agriculture for Development*, World Bank, Washington, DC.

Zhang N., W. Maohua , N.Wang 2002. Precision agriculture-a worldwide overview. *Computers and Electronics in Agriculture* 36 (2002) 113_132 131

SITOGRAFIA

<http://www.isotc211.org/>
<http://www.sparxsystems.eu/>
<http://www.consortioTuscania.it>
<http://www.osgeo.org/>
<http://www.gfoss.it/drupal/>
<http://www.opengis.org>
<http://www.opengeospatial.org/standards>
<http://www.esri.com>
<http://www.oracle.com>
<http://www.postGIS.com>
<http://www.postgreSQL.com>
<http://www.mysql.com>
<http://ka-map.maptools.org>
<http://ka-map.ominiverdi.org>
<http://maps.google.com>
<http://www.google.com/transit>
<http://www.gisdevelopment.net/technology/gis/index.htm>
<http://www.gisdevelopment.net/application/agriculture/overview/index.htm>
<http://geosdi.nsd.it/index.php>
<http://dapple.geosoft.com/>
<http://worldwind.arc.nasa.gov/>
<http://www.w3.org>
<http://www.geoportail.fr/>
<http://www.ec-gis.org/inspire/>
<http://sdi.jrc.it/>
<http://ijsdir.jrc.it/>
<http://ec.europa.eu/idabc/en/chapter/469>
<http://wms-sites.com/>
<http://www.gsdi.org/Default.asp>
<http://www.intesagis.it/>
<http://www.gvsig.gva.es>
<http://zonemap.umac.org/#>

ALLEGATO 1 - Articoli e abstract pubblicati negli anni del Dottorato NT&ITA

Fiorillo E., **T. De Filippis**, F. Di Gennaro, A. Matese, J. Primicerio, P. Vaccari and L. Genesisio. 2012.

Comparison of remote and proximal sensing NDVI acquisition for vineyard canopy monitoring and their suitability for grape quality classification. Submitted: Australian Journal of Grape and Wine Research. Febbraio 2012

De Filippis T., L. Rocchi, E. Fiorillo, L. Genesisio. 2012.

Quando il vigneto è SMART: SmartVineyard un sistema WebGIS OpenSource per la viticoltura di precisione. VQ Vite, Vino & Qualità 1- pp.34-36. Febbraio 2012.

Fiorillo E., A. Crisci, **T. De Filippis**, S. F. Di Gennaro, S. Di Blasi, A. Matese, J. Primicerio, F. P. Vaccari and L. Genesisio. 2012.

Airborne high-resolution images for grape classification: changes in correlation between technological and late maturity in a Sangiovese vineyard in Central Italy. Australian Journal of Grape and Wine Research. doi: 10.1111/j.1755-0238.2011.00174.x - Rivista ISI

Fiorillo E., **T. De Filippis**, S. F. Di Gennaro, A. Matese, F. P. Vaccari, P. Carnevali, S. Pedò, S. Di Blasi and L. Genesisio. 2011.

Comparison of three different methods of NDVI acquisition for vineyard canopy monitoring and their suitability for grape quality classification. Proceeding of 17th International GiESCO Symposium. August 29th – September 2nd, Asti, Alba-Italy, pp 209-212.

De Filippis T., L. Di Prinzio, P. Minguzzi, S. Chiarato. 2010.

Tecnologie e reti di conoscenza per un'agricoltura sostenibile. Territorio, n.52, FrancoAngeli, Milano, pp.60-63.

De Filippis T., L. Rocchi, E. Fiorillo, L. Genesisio. 2010

A WebGis application for Precision Viticulture: from research to operative practices. WebMGS 2010, 1st International Workshop on Pervasive Web Mapping, Geoprocessing and Services. August 26-27 – Como, Italy. Proceedings WebMGS 2010.

Fiorillo E., **T. De Filippis**, L. Genesisio, B. Gioli, F. Maselli, M. Pieri and F.P Vaccari. 2010.

Uso di immagini multi spettrali termiche per il monitoraggio del vigneto e predizioni di qualità. Atti del III Convegno Nazionale di Viticoltura, 5-9 Luglio, S. Michele all'Adige.

De Filippis T., L. Rocchi, E. Fiorillo, L. Genesisio, A. Matese, F. Di Gennaro, F.P. Vaccari. 2010.

Nuove tecnologie dell'informazione a supporto della viticoltura di precisione: il geoportale del Consorzio Toscana. Atti del III Convegno Nazionale di Viticoltura, 5-9 Luglio, S. Michele all'Adige (TN).

Rocchi L., **T. De Filippis**, R. Magno. 2010

An open source general purpose framework for implementing WebGis applications. FOSS4G Conference 2010, 6-9 September, Barcelona, Spain. Abstract

Fiorillo E., **T. De Filippis**, L. Genesio, F. Maselli, B. Gioli, P. Toscano. 2009
Mapping the spatial variability of vineyard canopy using high-resolution airborne multispectral images. Proceeding of 16th International GiESCO Symposium. July 12-15, 2009 University of California, Davis, pp 19-24.

Matese A., F. S. Di Gennaro, L. Genesio, F. P. Vaccari, A. Crisci, A. Zaldei, P. Toscano, B. Gioli, E. Fiorillo, **T. De Filippis**, S. Di Blasi. 2009
An integrated multi-scale monitoring approach to understand the relationships between climate, agricultural practices on grapes quality. Proceeding of 16th International GiESCO Symposium. July 12-15, 2009 University of California, Davis, pp 437-441.

De Filippis T., L. Di Prinzio, P. Andrich, P. Minguzzi, S. Chiarato. 2009
Nuove tecnologie e reti di conoscenza condivisa per la sostenibilità ambientale dell'agricoltura. Convegno ETTARO ZERO - Fare paesaggio, costruire natura, prendersi cura del suolo. Milano, 7 - 8 maggio 2009. Abstract

Genesio L., A. Zaldei, A. Matese, F. Di Gennaro, F. P. Vaccari, P. Toscano, B. Gioli, **T. De Filippis**, E. Fiorillo. 2008
Vineyard integrated multi-scale monitoring: from micrometeorology to airborne remote sensing. Terzo Simposi Internazionale del Sangiovese. Firenze 3-5 dicembre 2008. Abstract

De Filippis T., E. Fiorillo, L. Genesio, L. Rocchi, F. Straccali. 2008
Geodata and WebGIS applications for vineyard precision farming in Tuscany.
Terzo Simposi Internazionale del Sangiovese. Firenze 3-5 dicembre 2008. Abstract

Fiorillo E., F. Maselli, **T. De Filippis**, B. Gioli, P. Toscano. 2008
Variability mapping of vineyard canopy using high-resolution airborne multispectral images. Terzo Simposi Internazionale del Sangiovese. Firenze 3-5 dicembre 2008. Abstract

Airborne high-resolution images for grape classification: changes in correlation between technological and late maturity in a Sangiovese vineyard in Central Italy

E. FIORILLO¹, A. CRISCI¹, T. DE FILIPPIS¹, S.F. DI GENNARO¹, S. DI BLASI², A. MATESE¹, J. PRIMICERIO¹, F.P. VACCARI¹ and L. GENESIO¹

¹ Institute of Biometeorology – National Research Council (IBIMET-CNR), Via G. Caproni 8 – 50145 Florence, Italy

² Consorzio Tuscania, Piazza Strozzi 1 – 50100 Florence, Italy

Corresponding author: Mr Edoardo Fiorillo, fax +39055308910, email e.fiorillo@ibimet.cnr.it

Abstract

Background and Aims: The goal of this study was to investigate the relationships between NDVI values at different phenological stages and measurements of grape parameters at two different harvest dates.

Methods and Results: The research was done on a Sangiovese vineyard in Central Italy. Over four seasons, airborne NDVI measurements acquired between June and August were related to grape parameters (yield per vine, pH, °Brix, anthocyanins and polyphenols) at technological harvest (H1) and two weeks later (H2). Correlations were higher at H1 and decreased at H2 with a different rate depending on the parameter. °Brix and pH correlations showed a moderate rate of variation between H1 and H2; bigger differences and a different inter-annual dynamic were observed in anthocyanins and polyphenols between H1 and H2.

Conclusions: The ability of NDVI to discriminate different grape classes was confirmed, but its efficacy substantially varies depending on the harvest date. These results suggest the existence, within the same vineyard, of different grape populations having specific timing and shape of ripening curve; as a consequence, distinct vigour zones of the vineyard show a different evolution of the content of grape parameters between the two harvests thus influencing the degree of correlation between grape quality and NDVI measurements.

Significance of the Study: This is the first study in which harvest date has been considered for its influence on the predictive skill of RS. It therefore highlights not only the importance of spatial variation within the single vineyard, but also the importance of ripening dynamics.

Abbreviations

H1 harvest date 1; H2 harvest date 2; NDVI normalised difference vegetation index; PAB photosynthetically active biomass; PV precision viticulture; RS remote sensing.

Keywords: grape quality, NDVI, precision viticulture, remote sensing, ripening dynamics, yield

Introduction

Vineyards, as other agricultural cropping systems, have environmental characteristics that vary in both space and time. Environmental factors, including land morphology, soil physical and chemical characteristics, inter-annual climate variability and incidence of pest and diseases, might influence vine health and growth–yield response and, as a consequence, production quality and quantity at the single vineyard block scale. Bramley and Hamilton (2004), during 4 years of investigation in two Australian vineyards, observed a ten-fold spatial variation in yield (i.e. 2 to 20 t/ha) in any given year. Moreover, Bramley (2005) reported that for several grape parameters, such as juice pH, soluble sugars, anthocyanins and phenolics, variations in any given year showed marked spatial structure, with patterns of variation within zones being broadly consistent for each parameter in each year of study. Knowledge of the impact because of spatial heterogeneity on the resulting end product and the opportunities offered by the latest technological developments should lead viticulturists to a new type of vineyard management. Vineyard agronomic practices should be targeted

to manage variability in vine growth, as well as fruit quality and, rather than being managed uniformly, individual blocks should be split into zones in which the management of both inputs-to and outputs-from the production system could be applied differentially.

The study and monitoring of variability in the vineyard, and consequently its management, are the basis of the precision viticulture (PV) approach (Proffitt et al. 2006). Implementing PV, agronomic practices can therefore be modulated in relation to the spatial variability observed in the field, in order to meet the real cultural requirements. One of the most powerful monitoring tools in PV is the use of remote sensing (RS) analysis through its ability to rapidly provide a synoptic view of grapevine shape, size and vigour over entire vineyards by the use of vegetation indices. Spectral vegetation indices reduce multispectral values of canopy reflectance to a single numerical value (index) and have been developed to show vegetative condition changes (Wiegand et al. 1991, Price and Bausch 1995). Canopy reflectance, in the visible and near-infrared bands, is strongly dependent on both structural (e.g. leaf area index) and biochemical

properties (e.g. chlorophyll) of the canopy (Goel 1988, Jacquemoud et al. 2000, Zarco-Tejada et al. 2001), therefore, vegetation indices don't provide (Haboudane et al. 2004) a univocal measurement of a specific variable of interest such as pigment content, plant geometry or canopy architecture. In approaching this issue, Hall et al. (2002) defined the combination of vine-leaf biomass and leaf chlorophyll content measured through vegetation indices as photosynthetically active biomass (PAB), a term that integrates canopy size, density and vigour. Grapevine PAB is influenced by site-specific geo-pedo-morphological conditions, and their spatial variation within a vineyard causes a spatial variation in canopy development and vigour. Vine vigour, which, in viticulture, is traditionally measured through parameters like trunk cross-sectional area, average shoot length and pruning weight, is reported to have a considerable effect on fruit yield and quality (Tisseyre et al. 1999, Dry 2000, Haselgrove et al. 2000, Petrie et al. 2000). Airborne measurements of the vine canopy can therefore be used to estimate differences in harvest fruit yield and quality.

Several studies demonstrated that measures of vine vigour, by means of vegetation indices like the Normalised Difference Vegetation Index (NDVI), can provide useful information to optimise management for grape production and thereby increase the profitability for viticulturists. RS of spatial variations in vine PAB (or its equivalent) has been linked to spatial variations in grape yield (Baldy et al. 1996; Lamb and Bramley 2001) and quality. Johnson et al. (2001) reported that NDVI measurements were related to the content of malic acid. Lamb et al. (2004) established a link between physical descriptors of grapevine canopies derived from remotely sensed images and subsequent measurements of grape phenolics and anthocyanins at harvest. Proffitt and Pearse (2004) stated that, for two vineyards located in Margaret River region (Australia), multispectral measurements of canopy vigour were related to the grape content of sugar, pH and titratable acidity, and that economic benefits could be gained by adopting PV. Moreover, Trought and Bramley (2011) have demonstrated that, in order to be optimal, strategies such as selective harvesting need to incorporate knowledge of crop phenology, rather than rely on knowledge of spatial variation alone; this emerged considering that crop ripening is spatially variable, and that there may also be temporal variations in the rate of maturation. In this context, an aspect that has not been fully investigated is the persistence and evolution of the relationships between NDVI measurements and grape quality parameters according to their ripening dynamics.

In general, grape maturation results from several biochemical transformations that are not necessarily related to each other. While for sugar content and pH, a gradual increase in the final stages of the berry ripening prior and in correspondence of the chosen harvest date is usually recorded, for other parameters like polyphenols and anthocyanins, the trend can be different. The importance of polyphenols and anthocyanins, a subgroup of the former, is directly related to the colour, flavour and astringency of the resulting wines. Anthocyanins appear at veraison and accumulate throughout the ripening process, reaching a maximum at full maturity and then in decline (Ribéreau-Gayon 1972; Pirie and Mullins 1977, Roggero et al. 1986, Darné 1993). This maximum does not always correspond to the technological vintage, usually assessed as sugar content/acid ratio. Glories (1986) reported that although this pattern is valid for all grape varieties and most vineyard conditions, the accumulation of anthocyanins and the maximum values vary according to the environment and climate. Indeed, depending on the environment, the maximum may coincide with the requested sugar content/acid ratio, but it may also occur earlier,

later or not at all. Also regarding polyphenols, a decrease in the last stages of the berry ripening can be recorded (Ribéreau-Gayon et al. 2000) as a result both of the decrease in anthocyanins and in the tannin concentration in the seeds.

This study was done over four seasons (2007–2010) on a vineyard in Tuscany, Central Italy planted to Sangiovese to understand how the relationships between airborne NDVI values and grape quality parameters evolve in relation to different harvest dates. The in-depth examination and enlightenment of this aspect could be very useful for specific PV strategies like selective harvesting, considering that the date of harvest can be chosen in order to exploit a certain grape quality parameter rather than another. The other goals of the study are: determination of the optimal phenological development stage for airborne RS monitoring and assessment of the usefulness of additional monitoring flights to add significant information for delineation of spatial patterns of grape quality parameters within single vineyards.

Materials and methods

Site description

The research was done in a 1.9 ha vineyard located in the Chianti Classico Domain (43.41° N 11.45° E) in Tuscany, Central Italy. The vineyard, part of the Castello di Brolio estate, was planted in 2000 to Sangiovese in a Northwest – Southeast direction with a vine and row spacing of 0.8 and 2.00 m, respectively. It is cordon trained, not irrigated and located on a steep slope at between 408 and 436 m above sea level. Average climatic conditions (Table S1) and some classical bioclimatic indices (Table S2) are summarised in Supporting Information.

Four zones of homogeneous PAB were identified with a preliminary airborne multispectral survey at the beginning of the research (May 2007). In this way, one block of low PAB, two blocks of medium PAB and one of high PAB were identified (Figure 1) through the use of an equal interval classification (ArcGIS software®, ESRI, Redlands, Ca, USA). Specifications on

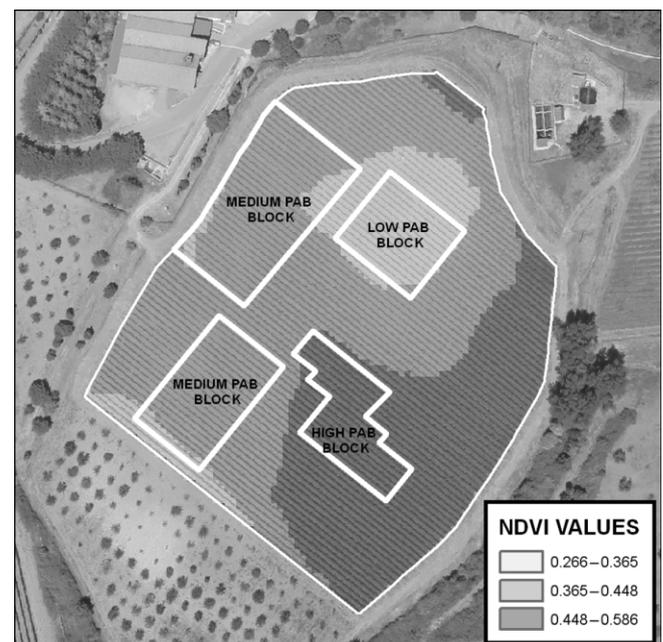


Figure 1. Normalised difference vegetation index (NDVI) classification (equal interval classification) of the Brolio vineyard in three classes and photosynthetically active biomass (PAB) blocks selected for the analysis.

Table 1. 2007 season vine growth and yield between PAB blocks (average grape weight, pruning weight, SPAD) for the Brolio vineyard.

PAB block	SPAD	Average grape weight (g)	Average shoot weight (g)	Average weight of pruning weight (g)
Low	32.40	126	28.5	200
Medium	32.54	145	30.1	216
High	38.58	255	53.6	399

PAB, photosynthetically active biomass; SPAD, soil and plant analyzer development.

Table 2. Dates of image overflight and harvest dates in the 4 years of experiment.

Year	Overflight date	Harvest 1	Harvest 2
2007	18 June	19 September	03 October
	18 July		
	25 September		
2008	–	22 September	06 October
	16 July		
	18 August		
2009	16 June	23 September	05 October
	19 July		
	19 August		
2010	29 June	29 September	15 October
	17 July		
	19 August		

airborne acquisition and elaboration are described in the section later. Within each class of PAB, ground measurements relative to vine vigour (Table 1) were collected on 80 plants per block to confirm the PAB delineation obtained by the preliminary airborne multispectral survey. Data on estimated leaf chlorophyll content through measures of soil and plant analyzer development (SPAD) (SPAD-502, Konica-Minolta Inc., Tokyo, Japan), average grape weight, average shoot weight, average weight of pruning wood were acquired on 7 August 2007, 19 September 2007, 12 December 2007 and 24 January 2008, respectively. In each block eight experimental plots were defined as having composed of between 84 and 164 plants. The plots were characterised by a combination of different agronomic treatments being used in a parallel experiment. For the purposes of the present study, the eight plots within each block were considered as replicates, and the effects of the agronomic treatments were not investigated.

Airborne RS and image processing

Three flights per year (2007–2010) were made from June to August to monitor phenological vine stages such as: fruitset, veraison and softening of berries during grape ripening. In 2007, the third flight was made at grape maturity, just prior to harvest (25 September). The first flight in 2008 was not made. The flight dates are given in Table 2.

Airborne RS was performed with a SKY ARROW 650 TC/TCNS (Iniziativa Industriali Italiane SpA, Roma, Italy) airplane equipped with a Duncan Multispectral Camera MS4100

(1920x1080 3CCD camera, Redlake Inc., San Diego, CA, USA). Images were acquired at a flight altitude of 500 m with a spatial resolution of 0.3 m and recorded visible and near-infrared bands with centre wavelengths at 550, 670, 800 nm, respectively. Image overflights were taken in clear sky conditions around noon. Each image was corrected for camera-induced radiometric and geometric distortions. A specific correction for each charge-coupled device (devignetting) was applied to compensate for brightness fall-off as a function of distance from image centre. A radiometric correction process was used to convert the digital number of each pixel (brightness value) into spectral radiance by the application of calibration functions specific to the camera, derived from a laboratory spectral bench. Radiance values were converted into reflectance values using the spectral solar irradiances provided by Iqbal (1983).

The high spatial resolution required an accurate orthorectification. For this reason, a high precision survey was conducted in the initial stages of the investigation using a differential global positioning system DGPS in order to define 75 ground control points (readily identifiable features of known coordinates). At the beginning of each summer season, ten white panels of 1 m² each were placed at known coordinates to facilitate orthorectification. The orthorectification processes also made use of a digital elevation model with a pixel size of 5*5 m. This processing chain allowed a spatial accuracy of the processed images lower than 0.30 m to be obtained, thus also ensuring an accurate multi-temporal comparison at pixel level between different flights.

The NDVI has been computed according to Equation 1:

$$NDVI = (RNIR - RRED) / (RNIR + RRED)$$

where RNIR and RRED are the spectral reflectances in near-infrared and red bands, respectively (Rouse et al. 1973).

The NDVI maps were then processed to eliminate inter-row signal (Figure 2), thus ensuring a more reliable correlation with vine biophysical parameters (Hall et al. 2003, Delenne et al. 2010, Smit et al. 2010). In this study, a convolution filter with moving window was used (Fiorillo et al. 2009); it extracts the pixel value in the centre of the 3*3-pixel moving window when this is the maximum value between those inside the window, thus selecting the higher NDVI values related to canopy. Finally, average values per plot were extracted from each NDVI map by the use of ArcGIS software® (ESRI, Redlands, Ca, USA).

Fruit sampling and extraction

For each PAB block, grapes from ten vines distributed evenly over each plot were hand picked on two dates every year (Table 2); the first one (H1), defined as 'technological harvest', is determined according to the usual operational criterion of the cooperating winery, based on an assessment of soluble sugars, total acidity, anthocyanin content and sensory assessment for quality; sampling for harvest date determination is carried out randomly, not considering the differences in grape composition because of vine PAB areas. The second harvest date (H2) was arbitrarily set 2 weeks after the first one. Vine yield was measured on site (grams of grapes per sample vine), and the grapes were then immediately packed in a cool box for transport to the laboratory and stored frozen prior to further analyses. After sample crushing, chemical analyses on musts were conducted using a Fourier Transform Infrared Grape Scan 2000 (Foss, Hillerød, Denmark) to measure: soluble sugars (°Brix), pH, total polyphenol content (mg/kg of grapes) and total anthocyanin content (mg/kg of grapes) (Mattivi 2006). In 2007, only one of the two medium PAB blocks was sampled.

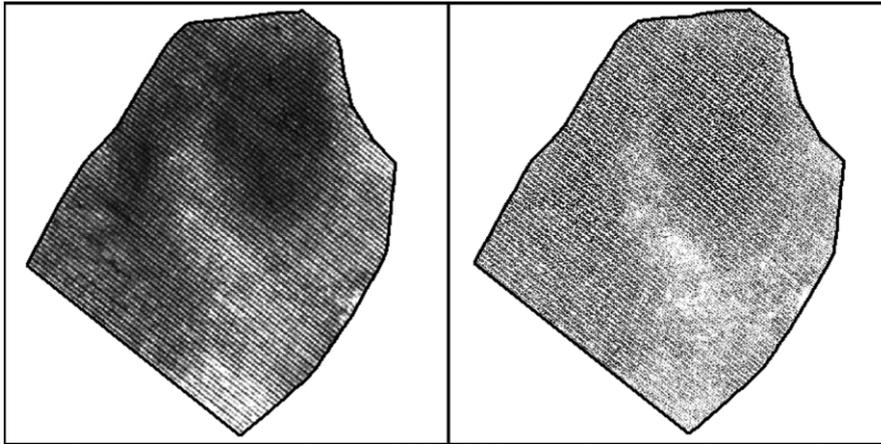


Figure 2. Normalised difference vegetation index (NDVI) map and processed NDVI map through application of 3*3 convolution moving filter.

Statistical analysis

Statistical analyses were performed using: average plot values of NDVI samples extracted from flight images and grape quality parameters at H1 and H2 of each experimental plot. In this work, yearly datasets were managed separately as previous surveys (Fiorillo et al. 2009) have indicated that it is not possible to consider the year variable as independent factor in a model framework because inter-annual variability produces an excessive bias in grape quality parameter surveys. Two methods of analysis were applied with the aim of investigating linear relationships between the grape parameters and NDVI values and their evolution between H1 and H2. The first method was Pearson's correlation analysis (using SYSTAT 12 ©, San Jose, CA, USA), which provides a measure of the rate of correlation without considering the variability because of agronomic treatments; probability values of Pearson's correlations were calculated according to the Bonferroni method. The second method was an inferential framework of four (year) * five (grape parameters) * two (harvest data) linear models (using R STAT, R Foundation for Statistical Computing, Wien, Austria). It allows (i) removal of the biases because of agronomic treatments and their interaction; (ii) understanding which NDVI flight is the most effective as discriminator for grape quality prediction; and (iii) assessing of the additional significant information provided by other flights. In this last method, NDVI data at the different phenological stages of each season were considered as separate independent variables, while agronomic treatments and their interactions were considered as factors. In order to assess model robustness with respect to individual flight data, the analysis of variance table associated to each model was investigated calculating the respective coefficient of determination and its significance for each single flight.

Ancillary data – soil water potential measurements

For three PAB blocks, in the 2008–2009–2010 seasons, two soil water potential sensors (Campbell-299 L, Campbell Scientific Inc., Logan, Utah, USA) were located in the same position at depths of 0.3 and 0.6 m (Matese et al. 2009). Sensors were calibrated following the Flint et al. (2002) methodology. The measurements of the two sensors, acquired hourly, were averaged and used to evaluate the water status of the vines in the different PAB blocks (Figure 3).

Results

NDVI and grape parameters statistics

Average NDVI values for each PAB block at the different flight dates are reported in Figure 4. Over the 4 years, the different blocks always showed the same relative level of PAB. Generally,

NDVI values decreased from June to August, except for 2010, when the highest values were recorded in July. Average grape parameters at H1 and H2 for each PAB block are reported in Table 3, and changes between the two harvest dates are given in Figure 5. Compared with °Brix and pH, inter-annual variability of changes is much higher for anthocyanins and polyphenols, showing a divergent evolution of these compounds between the two harvests. Grape productivity, measured as yield per vine, generally increased with PAB, and coefficients of variation were higher than those recorded for grape quality parameters. Up to four-fold variations in production per vine were observed between the different PAB blocks and seasons. There was usually a consistent yield increase per vine between H1 and H2 in the high PAB block; only small variations were detected in the other blocks.

The highest values of soluble sugar content (°Brix) in the grapes (Table 3) were measured in 2009 and 2010. Coefficients of variation always showed low values. There was always an increase in °Brix between H1 and H2 as a consequence of the ripening process. The medium PAB blocks usually showed the highest values and high PAB block the lowest. The highest pH values were usually observed in the low PAB block, while values were lower in the medium PAB blocks, in some cases, even lower than those measured for the high PAB one. Coefficients of variation of pH were very low. An increase in juice pH was always observed between H1 and H2.

The highest values of polyphenols (Table 3) at H1 were recorded in the medium PAB block in 2008 and 2010 and in the low PAB block in 2007 and 2009. The high PAB block always had the lowest values. Within blocks, coefficients of variation of polyphenols showed a high rate of variability compared with pH and °Brix, ranging from 0.09 to 0.23. Generally, polyphenol content decreased between H1 and H2, except in 2009. Over the 4 years, within each block, the average anthocyanin content (Table 3) had similar values, except for the 2010 season that showed values up to two-fold higher. The medium PAB blocks tended to have berries with the highest anthocyanin contents both at H1 and H2. Coefficients of variation ranged from 0.06 to 0.27. There was usually a decrease in anthocyanins at H2 except for the high and low PAB blocks in 2009, although for the latter, the increase was very moderate.

Pearson's correlations

Results from simple Pearson's correlations analyses of NDVI data summaries versus grape parameters are reported in Table 4. Yield production per vine appeared to be always significantly and positively correlated with NDVI measurements. Grape quality parameters always showed negative correlations, even if

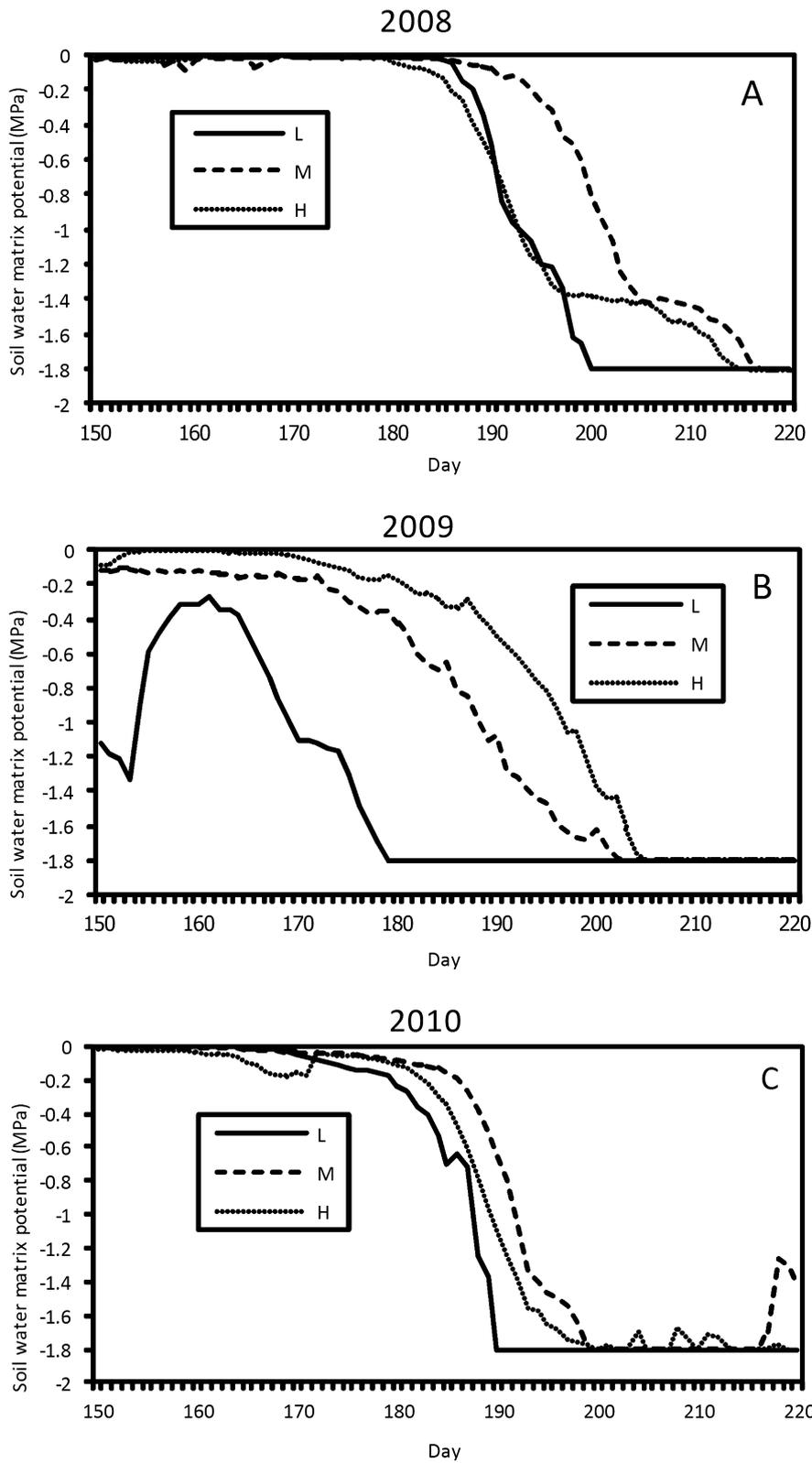


Figure 3. Soil water potential (MPa) trends for (L) low, (M) medium and (H) high photosynthetically active biomass blocks in the Brolio vineyard over 2008–2009–2010 seasons.

not always significant. Correlations for °Brix values are significant only in 2010 at H1 and H2. pH never showed significant correlations with NDVI values. Polyphenols and anthocyanins showed similar behaviour in all seasons at H1: correlations are significant for 2009 and 2010; in 2007, results show a good rate of correlation, but *P*-values are affected by the lower number of samples (24); in 2008, results show significant correlations only between anthocyanins and flight 2. A different trend has been

found at H2: significant correlations have only been recorded for both polyphenols and anthocyanins in 2009.

Linear models

Linear models results for grape parameters are reported in Table 5. As expected, removing the bias effect because of the different agronomic treatments increased the number of cases where significant results were found with respect to Pearson's

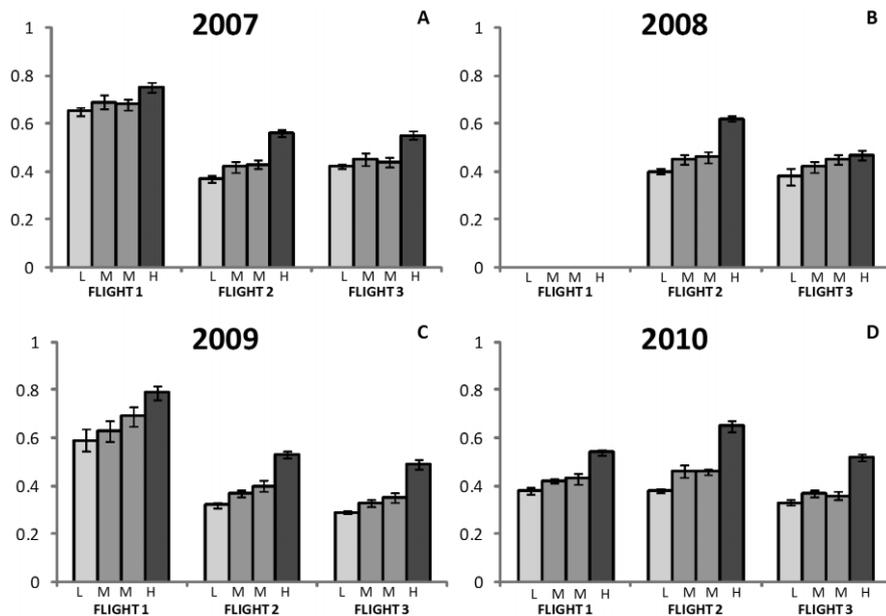


Figure 4. Average normalised difference vegetation index values for (L) low, (M) medium and (H) high photosynthetically active biomass blocks at the different flight dates. Error bars are standard deviation.

correlations analysis. Generally, NDVI measurements taken during fruitset phenological stage, i.e. flights made in mid-June, show the best discriminating capacity in relation to grape parameters. In 2008, because of the fact that there was no June flight, the best result is obtained by the flight in July. It thus emerges that subsequent NDVI measurements usually don't add significant information. Only for pH, a different and clear behaviour has been detected, and significant results were found in several cases with flights made in July and August. Furthermore, compared with Pearson's correlation, linear models showed that NDVI measurements have a discriminating predictive skill also for °Brix, pH and polyphenols in 2007 at H1. Significant results have also been recorded for some parameters at H2, such as for polyphenols in 2009 and 2010, and for anthocyanins in 2008–2009–2010.

Discussion

The spatial pattern of vine PAB identified with the preliminary flight always had the same structure over the four seasons (Figure 4). This is in agreement with the results of investigations on Australian vineyards (Bramley and Hamilton 2004, 2006), which indicated that patterns of vineyard variation tended to be stable over time. Moreover, the strong spatial structure of these patterns and the similar values recorded over the different years suggest that in situations like those encountered in the Brolio vineyard, remotely sensed data for spatial PAB vine delineation may not need to be acquired every year.

Pearson analysis highlighted different levels of correlation between grape parameters and NDVI values. As a general consideration, it must be pointed out that results always had a steady trend, with yield per plant and quality parameters positively and negatively correlated to PAB measurements, respectively. Results were often significant even if the strength of the correlations was negatively affected by the bias effect caused by different agronomic treatments and their interactions over the different experimental plots, and by the low number of samples on which the statistical analysis was done. In particular in the 2007 dataset, with fewer samples (24) than the others (32), significant correlations were found only for yield per grape. Not surprisingly, grape yield showed a very strong correlation with NDVI in all seasons, confirming the results of past researches (Bramley and Hamilton 2004, Proffitt and Pearse 2004, Hall

et al. 2011). At the same time, correlation strength with NDVI was higher for anthocyanins and polyphenols than for °Brix and pH, as previously assessed by Hall et al. (2011). An interesting aspect that emerges from Pearson's correlations is that generally analogous results have been found at the different phenological stages of NDVI acquisition; this suggests that NDVI measurements for discriminating prediction of grape parameters can be taken from June to August without substantially affecting classification results. This is in agreement with findings by Hall et al. (2011), who observed that correlation strength remained consistently high and even increased after veraison, and differs from what had previously been found by Lamb et al. (2004), who reported that correlations were low in early phenological stages, reached a maximum at veraison then diminished as grapes ripened.

The results confirmed that there are negative correlations between vine PAB (NDVI related), and selected quality parameters. However, medium PAB blocks usually showed the highest grape quality parameters, and this may have been because of the moderate water deficit and moderate light exposure in the fruiting zone compared with the more extreme conditions of low PAB block. Indeed, as reported by Van Leeuwen and Seguin (1994), plants under moderate water deficit produce grapes with higher concentrations of reducing sugars, anthocyanins and tannins, while the malic content is lower. When water stress becomes more consistent, grape quality decreases; in fact, in the case of severe water stress, photosynthesis is too severely restricted, and ripening may halt completely. On the other hand, excessive water supply may delay the ripening process and substantially alter the chemical composition of the grapes. The lower grape quality observed in low PAB block suggests an inadequate water holding capacity of the soil in this area, as confirmed by measurements of soil water potential indicating that the low PAB block tends to reach water stress conditions, depending on the year, from 1 to 3 weeks earlier than the other blocks (Figure 3). This is consistent with Acevedo-Opazo et al. (2008), who proved, through measurements of NDVI and vine water status, that severe water restrictions can cause a strong attenuation of vine growth and decreases in the values of harvest parameters. A further aspect to explain the negative correlation of NDVI versus polyphenols and anthocyanins is their relation to berry size. Berry size generally increases with

Table 3. Summary statistics for grape parameters (yield per vine, °Brix, pH, polyphenols, anthocyanins) of PAB blocks at harvest dates 1 (H1) and 2 (H2) for the Brolio vineyard.

Year	PAB block	Yield per vine (g)						°Brix						pH						Polyphenols (mg/kg)						Anthocyanins (mg/kg)					
		Harvest 1		Harvest 2		Harvest 1		Harvest 2		Harvest 1		Harvest 2		Harvest 1		Harvest 2		Harvest 1		Harvest 2		Harvest 1		Harvest 2							
		Avg	C.V.	Avg	C.V.	Avg	C.V.	Avg	C.V.	Avg	C.V.	Avg	C.V.	Avg	C.V.	Avg	C.V.	Avg	C.V.	Avg	C.V.	Avg	C.V.	Avg	C.V.						
2007	Low	737	0.37	814	0.44	21.78	0.04	24.04	0.04	24.04	0.04	0.04	3.21	0.01	3.32	0.01	1580	0.13	1177	0.18	922	0.12	596	0.2							
	Medium	1150	0.43	1207	0.37	22.46	0.05	23.24	0.1	23.24	0.1	3.15	0.02	3.26	0.03	1506	0.17	1276	0.09	912	0.19	781	0.1								
	High	2032	0.18	2226	0.27	20.35	0.05	21.78	0.07	21.78	0.07	3.12	0.01	3.28	0.01	1164	0.18	1038	0.16	702	0.2	620	0.22								
2008	Low	869	0.19	831	0.24	21.41	0.03	22.69	0.03	22.69	0.03	3.25	0.01	3.27	0.01	1662	0.17	1404	0.22	933	0.15	700	0.21								
	Medium	859	0.23	835	0.48	23.25	0.03	24.23	0.06	24.23	0.06	3.19	0.01	3.22	0.02	1963	0.17	1751	0.23	1117	0.13	853	0.2								
	Medium	1075	0.27	1119	0.31	21.99	0.05	23.09	0.06	23.09	0.06	3.12	0.02	3.17	0.02	1888	0.2	1787	0.23	971	0.12	949	0.11								
2009	Low	1681	0.17	2184	0.23	20.49	0.07	21.99	0.04	21.99	0.04	3.14	0.01	3.23	0.01	1359	0.14	1600	0.14	729	0.1	689	0.11								
	Medium	609	0.49	592	0.33	22.99	0.04	24.12	0.04	24.12	0.04	3.38	0.01	3.42	0.01	2027	0.22	2188	0.17	989	0.18	1019	0.2								
	High	1598	0.32	1730	0.51	21.72	0.06	23.63	0.05	23.63	0.05	3.28	0.06	3.48	0.054	1377	0.08	1595	0.11	587	0.14	731	0.14								
2010	Low	550	0.19	516	0.35	24.09	0.03	25.74	0.01	25.74	0.01	3.26	0.01	3.32	0.01	2143	0.13	1682	0.14	1536	0.11	1114	0.13								
	Medium	705	0.31	692	0.34	24.6	0.02	25.73	0.01	25.73	0.01	3.16	0.02	3.16	0.01	2502	0.09	1854	0.17	1769	0.06	1240	0.16								
	High	1572	0.42	1611	0.43	21.77	0.06	22.8	0.04	22.8	0.04	3.14	0.01	3.16	0.01	1493	0.15	1238	0.19	1055	0.15	781	0.17								

Average (Avg) and coefficient of variation (C.V.) are calculated considering the eight plots in each block as repetitions.

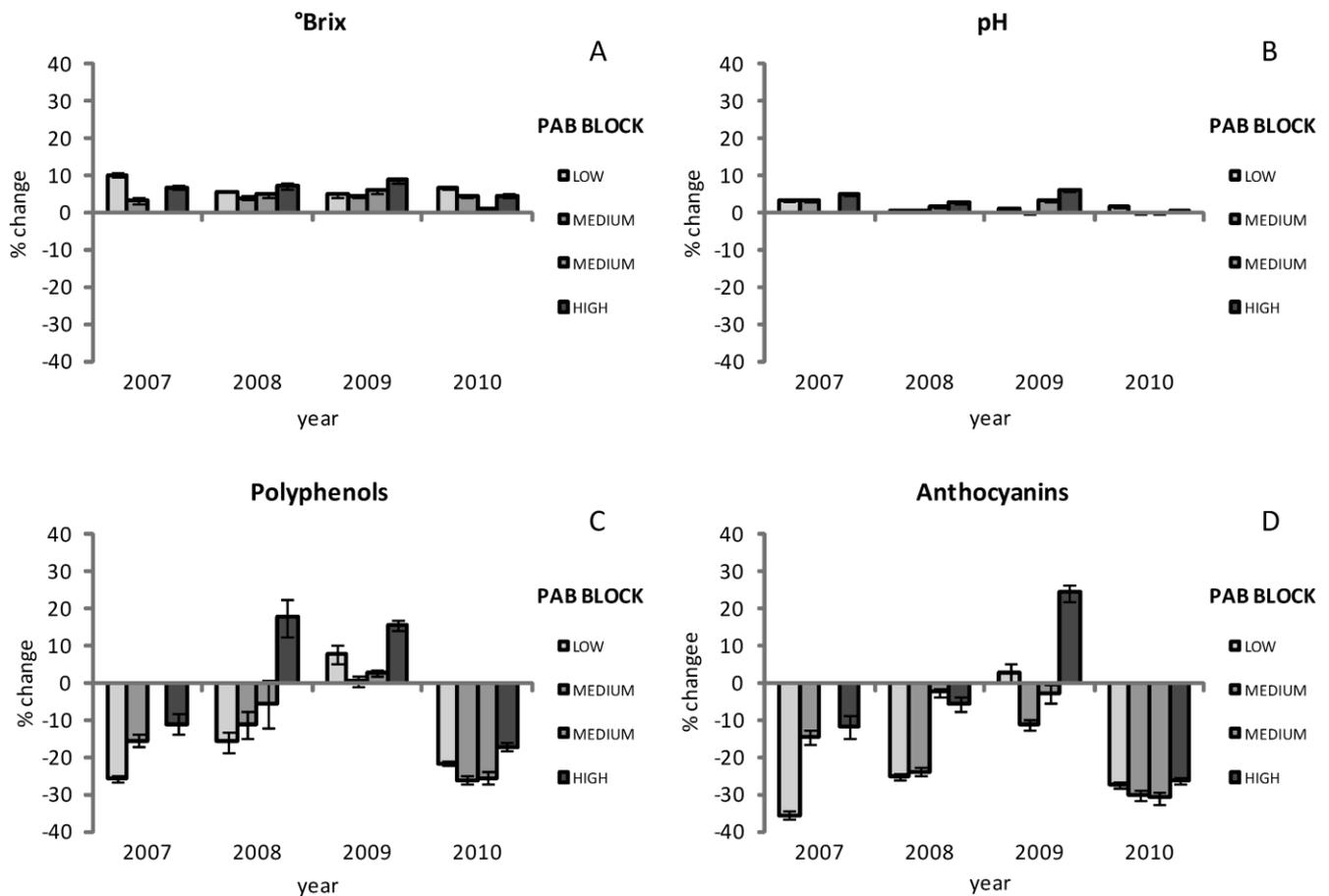


Figure 5. Percentage changes in grape quality parameters ($^{\circ}$ Brix, pH, polyphenols, anthocyanins) between the two harvest dates [$((H2 - H1) * 100) / H1$] in PAB blocks. Error bars are standard deviation. PAB, photosynthetically active biomass.

fruit or leaf shading (Morrison 1988, Haselgrove et al. 2000), a phenomenon most likely to be associated with high canopy NDVI values. Larger berries, because of a lower skin-to-pulp ratio and the fact that anthocyanins are exclusively contained in the skins, will therefore have an increased dilution of skin constituents in the musts as assessed by Coombe et al. (1987). The analysis made on musts highlighted that the anthocyanin content (Table 3) was always lower for the high PAB block. In some cases, as in 2009 and 2010, the content recorded for the high PAB block (587 and 1055 mg/kg) was slightly more than half that of the medium PAB block (1080 and 1769 mg/kg).

Linear models give a deeper insight into the relations between NDVI measurements and grape parameters. First of all, it must be noted that removing the bias effect of the agronomic treatments, significant results have also been found for the 2007 dataset and for $^{\circ}$ Brix and pH parameters. Moreover, linear models suggest that for parameters like yield, $^{\circ}$ Brix, polyphenols and anthocyanins, the correlations of July and August flights with grape parameters are hierarchically subordinated to the strong correlation that there is between the June flights and grape parameters. In other words, these models show that flights made around fruitset usually have the highest discriminating capacity, and following flights rarely add significant information. Linear models for the 2008 season, when there was no June flight, indicate that if fruitset monitoring is not available, the discriminating capacity is acquired by that done during veraison. This result, therefore, remarks that the best NDVI intra-vineyard grape quality delineation capacities are recorded in the earlier phenological stages and then tend to

decrease when approaching the harvest. pH showed a different trend, as significant results have also been found several times for flights made at maturity, suggesting that confident forecasts of spatial variability in pH across a vineyard cannot be based on canopy alone. This could be caused by the effect that rainfall during the final stage of fruit ripening may have on the fruit juice pH in the different PAB areas according to their root capacities.

Both Pearson's correlations and linear models results show that the discriminating capacity of NDVI measurements generally have a better performance at H1 than at H2. This is probably a consequence of the senescence processes that begin with grape overripeness and that weaken the relation between NDVI and grape parameters. However, relevant differences in the correlations between NDVI and grape parameters at different harvests have been recorded depending on the selected parameter. The percentages of change between harvests [$((H2 - H1) * 100) / H1$] for each quality parameter are summarised in Figure 5. For parameters like $^{\circ}$ Brix and pH, the percentages of change always showed a positive and moderate rate, usually under +10% and +5%, respectively. This is consistent with the fact that between H1 and H2, there is generally the same linear trend over the different blocks, i.e. $^{\circ}$ Brix and pH increase. Therefore, similar results of Pearson's correlations and linear models for these parameters were usually found at both H1 and H2. On the contrary, regarding polyphenols and anthocyanins, contrasting results were found according to the year and two harvest dates. In fact, for anthocyanins, the maximum of ripening curve may not correspond to the technological vintage and may vary

Table 4. Correlation values and their significance between the normalised difference vegetation index values of each flight and the grape parameters (yield per vine, °Brix, pH, polyphenols, anthocyanins) for the Brolio vineyard over the four monitored years at harvest dates 1 (H1) and 2 (H2).

	2007			2008			2009			2010		
	Flight 1	Flight 2	Flight 3	Flight 2	Flight 3	Flight 1	Flight 2	Flight 3	Flight 1	Flight 2	Flight 3	
Yield												
H1	0.851***	0.827***	0.817***	0.829***	0.681***	0.789***	0.769***	0.764***	0.796***	0.74***	0.728***	
H2	0.776***	0.774***	0.775***	0.841***	0.729***	0.695***	0.677***	0.661***	0.784***	0.73***	0.712***	
°Brix												
H1	-0.408	-0.512	-0.547	-0.425	-0.255	-0.624*	-0.497	-0.485	-0.725***	-0.72*	-0.775*	
H2	-0.405	-0.457	-0.467	-0.338	-0.238	-0.483	-0.278	-0.253	-0.837***	-0.837***	-0.837***	
pH												
H1	-0.412	-0.504	-0.443	-0.482	-0.547	-0.375	-0.372	-0.328	-0.47	-0.519	-0.429	
H2	-0.113	-0.152	-0.093	-0.099	-0.4	-0.205	-0.264	-0.302	-0.504	-0.536	-0.431	
Polyphenols												
H1	-0.6	-0.634	-0.658	-0.503	-0.259	-0.849***	-0.742***	-0.741***	-0.707*	-0.683*	-0.743***	
H2	-0.229	-0.34	-0.363	0.093	0.195	-0.784***	-0.69*	-0.671*	-0.554	-0.534	-0.573	
Anthocyanins												
H1	-0.463	-0.555	-0.58	-0.607*	-0.403	-0.742***	-0.743***	-0.748***	-0.682*	-0.684*	-0.729*	
H2	0.057	-0.043	-0.064	-0.226	-0.01	-0.643*	-0.641*	-0.626*	-0.556	-0.551	-0.583	

*** $P < 0.001$; ** $P < 0.01$; * $P < 0.05$.

Table 5. Coefficients of determination (R^2) for individual flights and their significance for linear models related to grape parameters (yield per vine, °Brix, pH, polyphenols, anthocyanins) considering normalised difference vegetation index summaries as separate independent variables and agronomic treatments and their interactions as factors over the four monitored years at harvest dates 1 (H1) and 2 (H2) for the Brolio vineyard.

	2007			2008			2009			2010		
	Flight 1	Flight 2	Flight 3	Flight 2	Flight 3	Flight 1	Flight 2	Flight 3	Flight 1	Flight 2	Flight 3	
Yield												
H1	0.914***	NS	NS	0.866***	NS	0.891***	NS	NS	0.925***	NS	NS	
H2	0.935***	NS	NS	0.918***	NS	0.859***	NS	NS	0.880***	NS	NS	
°Brix												
H1	0.616*	NS	NS	0.399*	NS	0.794***	NS	NS	0.854***	NS	0.574*	
H2	NS	NS	NS	0.299*	NS	0.527*	0.331*	NS	0.824***	NS	NS	
pH												
H1	0.935***	0.896*	0.897*	0.373*	NS	0.534*	NS	0.534*	0.521*	NS	0.450*	
H2	NS	NS	NS	NS	0.508*	NS	NS	0.508*	0.69***	NS	0.691***	
Polyphenols												
H1	0.707*	NS	NS	0.476*	NS	0.868***	NS	NS	0.794***	NS	0.49*	
H2	NS	NS	NS	NS	NS	0.755***	NS	NS	0.574*	NS	NS	
Anthocyanins												
H1	NS	NS	NS	0.704***	NS	0.817***	NS	NS	0.629***	NS	NS	
H2	NS	NS	NS	0.292*	0.423*	0.593***	NS	NS	0.520*	NS	NS	

*** $P < 0.001$; ** $P < 0.01$; * $P < 0.05$. NS, not significant.

according to the environment and climate. In this research, different grapes harvested according to the PAB blocks show different anthocyanin ripening dynamics with implications comparable with those reached by Glories (1986): at technological harvest the different grapes, and hence the different PAB blocks, may or may not have reached the maximum anthocyanin content. In 2007 and 2008 seasons, the anthocyanin percentage changes between H1 and H2 were always negative and were much higher for the low PAB block (–35% and –24%) than for the high PAB one (–11% and –5%), causing a decrease of NDVI correlation at H2. In 2009, the percentage changes from H1 to H2 ranged between –10% and +24% depending on PAB block, thus highlighting a different evolution trend; nevertheless, in this season the spatial pattern of the anthocyanin content at H2 was significantly correlated to NDVI measurements. In 2010, despite the generalised anthocyanin decrease recorded over the four PAB blocks between H1 and H2 (suggesting similar ripening dynamic), the bigger reduction of anthocyanin for medium PAB blocks caused a moderate decrease in the correlation with NDVI measurements, negatively affecting its significance.

Conceptually analogous considerations can be inferred about polyphenols. Polyphenol contents showed generally a decrease between H1 and H2 (except in 2009) as a consequence of the degradation of anthocyanins and of the likely decrease in the tannin concentration in the seeds as the grapes ripen. The amount of the decrease/increase varied depending on the PAB block and the year (Figure 5). In 2007 and 2008 seasons, the percentage changes were much higher for the low PAB block (–25% and –15%) than for the medium and high PAB ones (usually around –10%); in 2008 season, an increase (+17%) of the polyphenolic content for high PAB block was even recorded. All these wide changes between harvest dates caused a decrease in NDVI discriminating capacity at H2. In 2009, there was an increase (between +1% and +15%) in the polyphenol content between H1 and H2, and correlations with PAB remained significant at the second harvest. In 2010, coherently with the reduction observed for anthocyanins, the substantial decrease (between –17% and –21%) of polyphenols between H1 and H2 in medium PAB blocks caused a reduction of correlation with NDVI measurements, negatively affecting its significance.

An operative interpretation of these results is therefore that NDVI capacity for grape sugar content and acidity spatial delineation is unrelated to the harvest date. Otherwise, if the primary enological target is the maximisation of the anthocyanin and polyphenol compounds, NDVI capacity related to these grape parameters must be used carefully in case of late maturity.

Conclusions

This investigation showed that information provided by airborne RS is relevant to characterise the spatial variability of plant PAB at a single vineyard scale. While RS is not directly sensitive to the chemical constituents of the grapes and responds primarily to structural and biochemical properties of the canopy, differences in PAB (measured through NDVI) were related to differences in resulting parameters of harvested grapes. The spatial pattern of vine PAB always had the same structure over the four seasons, whereas grape parameters from different PAB blocks showed distinct trend depending on the year and on the date of harvest. Therefore, correlations between PAB and grape parameters showed different results in the four seasons. Our results highlight that airborne RS may provide a useful instrument for discriminating classes of grapes in heterogeneous vineyards at technological harvest, while poor performance was observed at late maturity harvest. These classes of grapes differ

not only by the grape quality parameters' contents, but also by their dynamics in the ripening processes. The existence, within a single vineyard, of grape populations with different behavioural responses in different seasons can have important management implications. Indeed, the timing of harvesting is usually assessed with a random fruit sampling in order to obtain a representative value of key maturity indices, and little regard is paid to either the variability around that mean or the location of sample collection. As a result, because of the fact that vineyards are variable, regarding specific berry parameters, grapes in some areas may be unripe in some areas and overripe in others. Consequently, sampling should be done considering the spatial patterns present in the vineyards and paying attention to the specific ripening curve of the grape parameter that the wine-maker wants to maximise for the targeted end product. In this context, therefore, RS not only provides opportunities for targeted agronomic management and/or selective harvesting, but may also supply guidelines for more representative samplings to assess quality parameters' ripeness through the identification of different classes of grapes. The results of this investigation indicate also that, for technological harvest, NDVI measurements for discriminating prediction of grape parameters can be taken from June to August without substantially affecting classification results. More in depth linear models suggest that the strongest correlations are recorded in June and that, except for pH, additional monitoring flights do not add significant information for delineation of spatial patterns of grape quality parameters within single vineyards. In summary, the results of this work, confirming the efficacy of RS in identifying classes of grape within the same vineyard, highlight the importance not only of the knowledge of spatial variability but also of its interaction with different vine PAB ripening processes.

Acknowledgements

This research was part of the Research Project of Consorzio Tuscania (<http://www.consorziotuscania.it>), which has provided technical and financial support in the implementation of this study. The authors want to thank Alessandra Biondi Bartolini, Manuel Pieri, Marco Valentini, Alessandro Magrini and all the staff of the 'Consorzio Tuscania S.r.l.' for their support in some phases of the work; project partners Stefano Pedò and Roberto Zorer (IASMA-FEM) for sharing the data of grape quality surveys; Stefano Benedettelli (University of Florence) for his helpful suggestions about the statistical analyses.

References

- Acevedo-Opazo, C., Tisseyre, B., Guillaume, S. and Ojeda, H. (2008) The potential of high spatial resolution information to define within-vineyard zones related to vine water status. *Precision Agriculture* **9**, 285–302.
- Baldy, R., DeBenedictis, J., Johnson, L., Weber, E., Baldy, M., Osborn, B. and Burleigh, J. (1996) Leaf colour and vine size are related to yield in a phylloxera-infested vineyard. *Vitis* **35**, 201–205.
- Bramley, R.G.V. (2005) Understanding variability in winegrape production systems. 2. Within vineyard variation in quality over several vintages. *Australian Journal of Grape and Wine Research* **11**, 32–42.
- Bramley, R.G.V. and Hamilton, R.P. (2004) Understanding variability in winegrape production systems. 1. Within vineyard variation in quality over several vintages. *Australian Journal of Grape and Wine Research* **10**, 32–45.
- Bramley, R.G.V. and Hamilton, R.P. (2006) Terroir and precision viticulture: are they compatible? *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin* **41**, 1–8.
- Coombe, B.G., Bovio, M. and Schneider, A. (1987) A solute accumulation by grape pericarp cells: v. relationship to berry size and effects of defoliation. *Journal of Experimental Biology* **38**, 1789–1798.
- Darné, G. (1993) Nouvelles hypothèses sur la synthèse des anthocyanes dans les baies et dans les feuilles de vigne. *Vitis* **32**, 77–85.

- Delenne, C., Durrieu, S., Rabatel, G. and Deshayes, M. (2010) From pixel to vine parcel: a complete methodology for vineyard delineation and characterization using remote-sensing data. *Computers and Electronics in Agriculture* **70**, 78–83.
- Dry, P.R. (2000) Canopy management for fruitfulness. *Australian Journal of Grape and Wine Research* **6**, 109–115.
- Fiorillo, E., Genesio, L., Maselli, F., De Filippis, T., Gioli, B. and Toscano, P. (2009) Mapping the spatial variability of vineyard canopy using high-resolution airborne multispectral images. Proceedings of the 16th International GIESCO Symposium, July 12–15 2009, University of California, Davis, 19–25.
- Flint, A.L., Campbell, G.S., Ellett, K.M. and Calissendorff, C. (2002) Calibration and temperature correction of heat dissipation matrix potential sensors. *Soil Science Society of America Journal* **66**, 1439–1445.
- Glories, Y. (1986) Proceedings of the Symposium sur le critères modernes de macération pour la production des vins blancs et rouge. Associations des Oenologues Italiens, Vignale Monferrato, Italy.
- Goel, N.S. (1988) Models of vegetation canopy reflectance and their use in estimation of biophysical parameters from reflectance data. *Remote Sensing Reviews* **4**, 1–212.
- Haboudane, D., Miller, J.R., Pattey, E., Zarco-Tejada, P.J. and Strachan, I.B. (2004) Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: modeling and validation in the context of precision agriculture. *Remote Sensing of Environment* **90**, 337–352.
- Hall, A., Lamb, D.W., Holzapfel, B. and Louis, J. (2002) Optical remote sensing applications for viticulture – a review. *Australian Journal of Grape and Wine Research* **8**, 36–47.
- Hall, A., Louis, J. and Lamb, D. (2003) Characterizing and mapping vineyard canopy using high-spatial-resolution aerial multispectral images. *Computer & Geosciences* **29**, 813–822.
- Hall, A., Lamb, D.W., Holzapfel, B.P. and Louis, J.P. (2011) Within-season temporal variation in correlations between vineyard canopy and winegrape composition and yield. *Precision Agriculture* **12**, 103–117.
- Haselgrove, L., Botting, D., van Heeswijck, R., Dry, P.R., Ford, C. and Iland, P.G. (2000) Canopy microclimate and berry composition: the effect of bunch exposure on the phenolic composition of *Vitis vinifera* L. cv Shiraz grape berries. *Australian Journal of Grape and Wine Research* **6**, 141–149.
- Iqbal, M. (1983) An introduction to solar radiation (Academic Press: Toronto).
- Jacquemoud, S., Bacour, C., Poilve, H. and Frangi, J.P. (2000) Comparison of four radiative transfer models to simulate plant canopies reflectance: direct and inverse model. *Remote Sensing of Environment* **74**, 417–481.
- Johnson, L.F., Bosch, D.F., Williams, D.C. and Lobitz, B.M. (2001) Remote sensing of vineyard management zones: implications for wine quality. *Applied Engineering in Agriculture* **17**, 557–560.
- Lamb, D.W. and Bramley, R.G.V. (2001) Managing and monitoring spatial variability in vineyard productivity. *Natural Resource Management* **4**, 25–30.
- Lamb, D.W., Weedon, M.M. and Bramley, R.G.V. (2004) Using remote sensing to predict grape phenolics and colour at harvest in a Cabernet Sauvignon vineyard: timing observations against vine phenology and optimizing image resolution. *Australian Journal of Grape and Wine Research* **10**, 46–54.
- Matese, A., Di Gennaro, S.F., Zaldei, A., Genesio, L. and Vaccari, F.P. (2009) A wireless sensor network for precision viticulture: the NAV system. *Computers and Electronics in Agriculture* **69**, 51–58.
- Mattivi, F. (2006) Gli indici di maturazione delle uve e la loro importanza. *Quaderni di Scienze Viticole ed Enologiche* **28**, 27–40.
- Morrison, J.C. (1988) The effects of shading on the composition of Cabernet Sauvignon grape berries. Proceedings of the Second International Symposium on Cool Climate Viticulture and Oenology. New Zealand Society of Viticulture and Oenology, Auckland, New Zealand, 144–146.
- Petrie, P.R., Trought, M.C.T. and Howell, G.S. (2000) Fruit composition and ripening of Pinot Noir (*Vitis vinifera* L.) in relation to leaf area. *Australian Journal of Grape and Wine Research* **6**, 40–45.
- Pirie, A. and Mullins, M.G. (1977) Interrelationships of sugars, anthocyanins, total phenols and dry weight in the skin of grape berries during ripening. *American Journal of Enology and Viticulture* **28**, 204–209.
- Price, J.C. and Bausch, W.C. (1995) Leaf area index estimation from visible and near-infrared reflectance data. *Remote Sensing of Environment* **52**, 55–65.
- Proffitt, T. and Pearse, B. (2004) Adding value to the wine business precisely: using precision viticulture technology in Margaret River. *The Australian & New Zealand Grapegrower & Winemaker* **Dec**, 40–44.
- Proffitt, T., Bramley, R.G.V., Lamb, D.W. and Winter, E. (2006) Precision viticulture – a new era in vineyard management and wine production (Winetitles: Adelaide).
- Ribéreau-Gayon, P. (1972) Evolution des composés phénoliques au cours de la maturation du raisin. II. Discussion des résultats obtenus en 1969, 1970 et 1971. *Connaissance de la Vigne et du Vin* **6**, 161–175.
- Ribéreau-Gayon, P., Glories, Y., Maujean, A. and Dubourdiou, D. (2000) *Handbook of enology: volume 2. The chemistry of wine stabilization and treatments* (John Wiley & Sons: Chichester).
- Roggero, J.P., Coen, S. and Ragonnet, B. (1986) High performance liquid chromatography survey on changes in pigment content in ripening grapes of Syrah. An approach to anthocyanin metabolism. *American Journal of Enology and Viticulture* **37**, 77–83.
- Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A. and Deering, D.W. (1973) Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. The 3rd ERTS Symposium, NASA SP-351, 1 (U.S. Government Printing Office: Washington, DC) pp. 309–317.
- Smit, J.L., Sithole, G. and Strever, A.E. (2010) Vine signal extraction – an application of remote sensing in precision viticulture. *South African Journal of Enology and Viticulture* **31**, 65–73.
- Tisseyre, B., Ardoin, N. and Sevila, F. (1999) Precision viticulture: precise location and vigour mapping aspects. Proceedings 2nd European Conference on Precision Agriculture (Sheffield Academic Press: Sheffield) pp. 319–330.
- Trought, M.C.T. and Bramley, R.G.V. (2011) Vineyard variability in Marlborough, New Zealand: characterizing spatial and temporal changes in fruit composition and juice quality in the vineyard. *Australian Journal of Grape and Wine Research* **17**, 79–89.
- Van Leeuwen, C. and Seguin, G. (1994) Incidences de l'alimentation en eau de la vigne, appréciée par l'état hydrique du feuillage, sur le développement de l'appareil végétatif et la maturation du raisin (*Vitis vinifera* variété Cabernet franc, Saint-Emilion, 1990). *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin* **28**, 81–110.
- Wiegand, C.L., Richardson, A.J., Escobar, D.E. and Gerbermann, A.H. (1991) Vegetation indices in crop assessments. *Remote Sensing of Environment* **35**, 105–119.
- Zarco-Tejada, P.J., Miller, J.R., Noland, T.L., Mohammed, G.H. and Sampson, P.H. (2001) Scaling-up and model inversion methods with narrow band optical indices for chlorophyll content estimation in closed forest canopies with hyper-spectral data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* **39**, 1491–1507.

Manuscript received: 14 April 2011

Revised manuscript received: 4 November 2011

Accepted: 16 November 2011

Supporting information

Additional Supporting Information may be found in the online version of this article: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1755-0238.2011.00174.x/abstract>

Table S1. 1961–1990 monthly average temperature (°C), rainfall (mm) and average relative humidity (%) for the study area.

Table S2. Bioclimatic indices (Huglin Index, Winkler index, Gladstones Index) relative to the 4 years of experiment for the Brolio vineyard.

Please note: Wiley-Blackwell are not responsible for the content or functionality of any supporting materials supplied by the authors. Any queries (other than missing material) should be directed to the corresponding author for the article.



QUANDO IL VIGNETO È SMART

**SMARTVINEYARD: QUESTO IL NOME DI UN SISTEMA
WEBGIS-OPENSOURCE PER LA VITICOLTURA DI PRECISIONE**

■ TIZIANA DE FILIPPIS*, LEANDRO ROCCHI*, EDOARDO FIORILLO*, LORENZO GENESIO*

Le rapide e intense trasformazioni nelle tecnologie di acquisizione dei dati e nelle modalità di accesso, distribuzione e utilizzo dell'informazione offrono straordinarie opportunità anche per il settore della viticoltura di precisione nella prospettiva di migliorare la qualità delle produzioni, il grado di sostenibilità ambientale e l'efficienza nell'uso delle risorse. Le tecnologie impiegate nella viticoltura di precisione, come ad esempio i GPS (Global Positioning System) integrati in macchine ad alta specializzazione operativa, la sensoristica agro-meteorologica, i dispositivi di monitoraggio di parametri fisiologici, il telerilevamento satellitare, aereo o tramite drone telecomandato, sono in continua espansione per applicazioni operative aziendali. Se da una parte l'evoluzione tecnologica e di ricerca consente oggi di identificare la variabilità intravigneto in maniera sempre più spinta, non sono da trascurare i processi a valle della raccolta dell'informazione, ovvero la gestione di ingenti moli di dati, la loro integrazione, l'accessibilità in tempo reale a

queste informazioni e la loro trasferibilità a dispositivi montati sulle macchine agricole. Negli ultimi anni il progressivo affermarsi di soluzioni *Open Source* per la distribuzione e la gestione di dati tramite *World Wide Web* hanno favorito la nascita di portali geografici basati sulle tecnologie dei Sistemi Informativi Geografici (GIS), permettendo il facile accesso a dati e informazioni di tipo territoriale a un pubblico di utenti finali sempre più ampio e favorendo un abbattimento dei costi di distribuzione e gestione delle applicazioni informatiche per le aziende. Anche la fruibilità delle informazioni è diventata più semplice grazie alla diffusione di dispositivi molto diversi fra loro. Dal personal computer da scrivania siamo rapidamente passati all'uso di portatili, notebook, palmari, smartphone e tablet in un percorso di crescente flessibilità di accesso a informazioni condivise. In questo contesto oggi la nuova frontiera è quella dell'interattività, ovvero lo sviluppo di applicazioni per dispositivi tascabili da usare in pieno campo, che consentano agli operatori di alimentare il flusso di informazioni dei sistemi informativi aziendali.

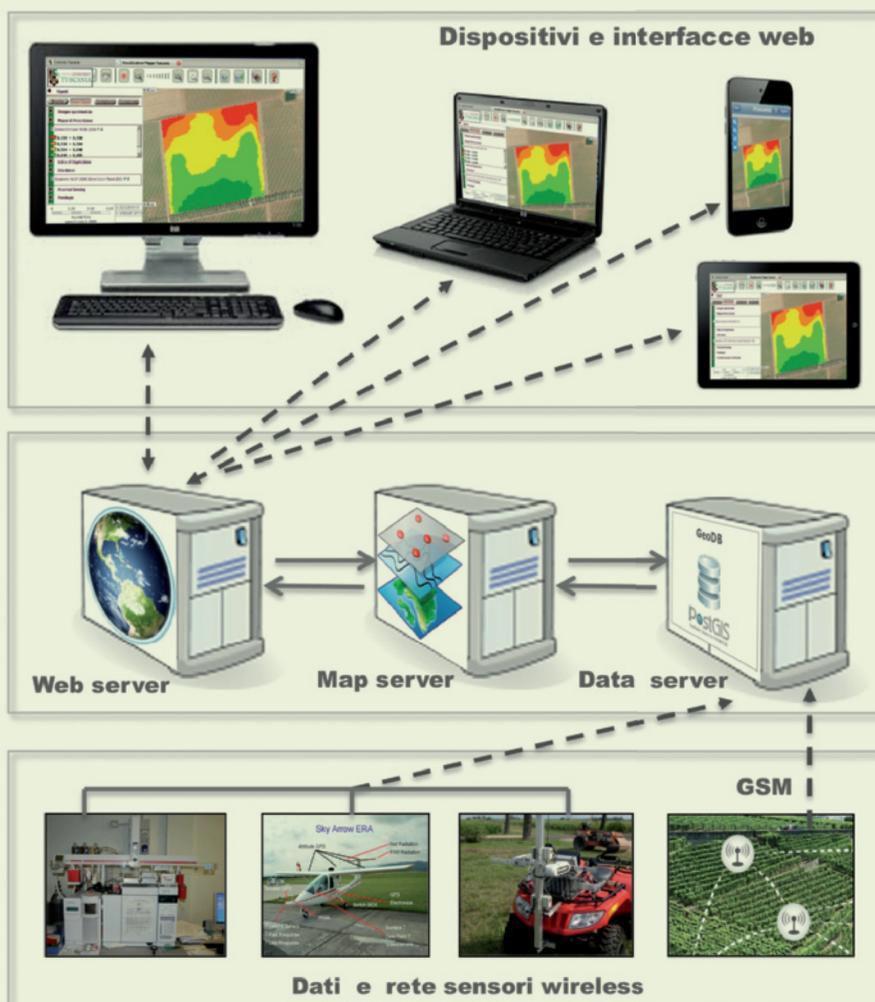
CONOSCENZE CONDIVISE

L'integrazione delle tecnologie geospaziali, delle informazioni e delle comunicazioni è alla base dello sviluppo del sistema Smart Vineyard messo a punto dall'Istituto di Biometeologia del CNR di Firenze. SmartV è un sistema progettato per l'archiviazione, gestione, accesso e diffusione dei dati e informazioni tramite Web per applicazioni e ricerche avanzate in viticoltura di precisione. Esso è finalizzato all'utilizzo distribuito e integrato di dati agrometeorologici, telerilevati, di analisi chimico-fisiche, dati pedologici e morfologici ed è stato testato su vigneti sperimentali messi a disposizione da aziende coinvolte nel progetto di ricerca del Consorzio Toscana (www.consorziotuscany.it). L'obiettivo è quello di favorire l'integrazione di informazioni in un sistema a basso costo grazie all'utilizzo di software libero (open source) e favorire così la creazione di un ambiente di conoscenze

LA TECNOLOGIA OPEN SOURCE DEL SISTEMA

L'architettura di sistema web è stata realizzata utilizzando soluzioni informatiche Open Source e CrossPlatform. Il sistema sviluppato si basa su un general-purpose framework personalizzato per applicazioni mirate alla sostenibilità ambientale della viticoltura. Gli elementi principali che fanno parte dell'architettura del sistema server oriented (figura) per applicazioni distribuite su web e accessibili da diversi operatori del settore sono:

- un **GeoDataBase** basato su PostgreSQL/PostGIS in grado di memorizzare i dati micro-meteorologici, strutturali, di analisi di laboratorio e immagini tele rilevate;
- una **rete wireless di sensori** (Wireless Sensor Network) con software completamente basato sulla piattaforma OpenSource TinyOS e programmabili tramite nesC e Java;
- una **WebGIS Application** - WGViewer - per la gestione e interrogazione dei dati georiferiti di base e per potenziali interazioni con specifici modelli agro-meteorologici e funzioni di analisi spaziale. WGViewer è sviluppata utilizzando PHP/AJAX e si interfaccia con il GeoDataBase tramite le librerie MapServer e GDAL;
- la **WebApp Mobile per Smartphone** (Android®, iPhone® e iPad®) è implementata utilizzando la tecnologia PHP (v. 5.x) e Ajax e sfrutta la libreria MapServer (v. 5.2) e GDAL (1.7.x) per l'utilizzo delle funzionalità GIS. L'interfaccia utente è stata disegnata seguendo lo standard di accessibilità delle applicazioni mobili utilizzando la libreria OpenSource iWebKit.



condivise per supportare nuove metodologie di analisi e il trasferimento dei risultati per applicazioni operative sito-specifiche. Il sistema ha inoltre lo scopo di testare il flusso d'informazioni utilizzabili sia dalle macchine operatrici a rateo variabile, sia dagli operatori del settore quali ad esempio agronomi di campo, enologi e ricercatori. Da una prima fase di test e sperimentazione emerge come le criticità dei flussi di dati e informazioni siano legate non soltanto dalla tecnologia impiegata ma anche alle specifiche adottate da ciascun dispositivo collegato in remoto. Invece la fruibilità dell'informazione è molto dipendente dal disegno e progettazione delle interfacce web, che devono essere immediate e intuitive anche per un operatore non esperto nell'utilizzo di sistemi informativi geografici, e corredate da funzioni specifiche che rispondano ai bisogni degli utenti finali.

I DAI GESTITI

Nel periodo 2007-2011, il sistema WEBGIS ha gestito i seguenti dati:

Parametri qualitativi delle uve: pH, tenore zuccherino, °Brix, acidità totale, antociani e polifenoli. Sono gestite più di 9000 piante della varietà Sangiovese e Cabernet sauvignon e 400 campioni-anno.

Parametri agro-meteorologici dalla rete di sensori wireless: T° aria, pioggia, velocità del vento, bagnatura fogliare, T° interna del grappolo, T° fogliare, radiazione assorbita dal grappolo, potenziale idrico del suolo (30 e 60 cm). Sono stati archiviati circa 15.000 dati al giorno trasmessi tramite GSM/GPRS, dalle stazioni in campo al server remoto.

Dati pedologici: più di 30 mappe georiferite dei vigneti, in formato raster, relative ai parametri di tessitura, capacità di campo, conduttività elettrica.

Immagini aeree multi-spettrali ad alta risoluzione (30cm): dati acquisiti nei periodi fenologici della fioritura, pre-allegagione e maturazione del grappolo; sono visualizzabili 12 immagini NDVI e le relative mappe di prescrizione derivate.

Dati di proximity sensing: immagini acquisite da piattaforma mobile quad. Sono archiviate 18 mappe di NDVI e spessore della chioma.

IL VISUALIZZATORE WEBGIS

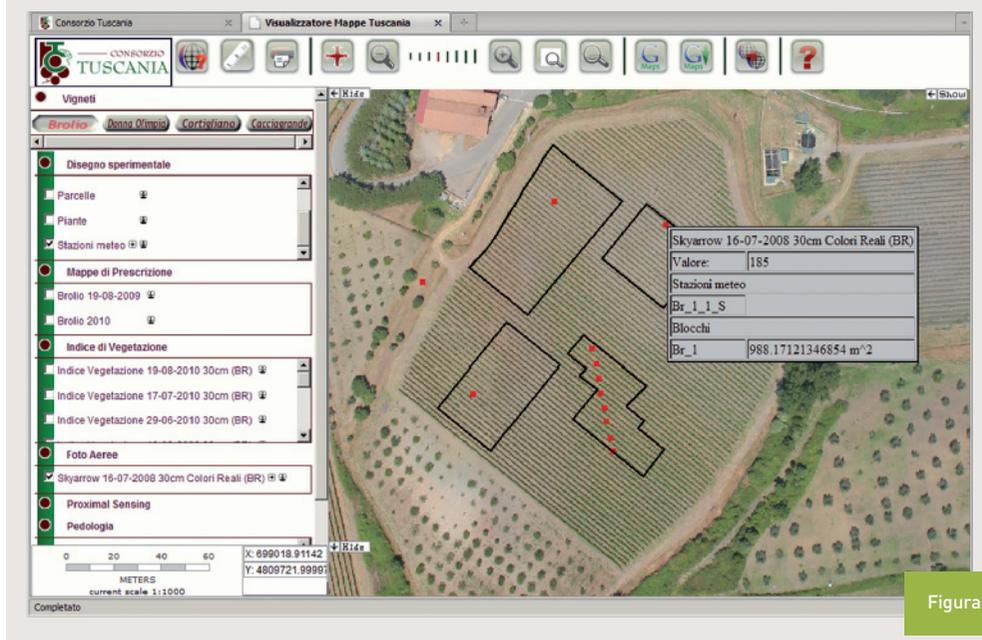


Figura 1

RACCOLTA, ARCHIVIAZIONE E FRUIZIONE

L'infrastruttura del sistema è stata progettata nel corso delle ricerche sulla viticoltura di precisione del Consorzio Toscana per supportare lo sviluppo di un Geoportale (www.consorziotuscancia.it/content.php?page=42&action=15) composto da un visualizzatore WebGIS, da una banca dati spaziale (GeoDataBase) con il corrispettivo catalogo di dati, utilizzando gli standard adottati dall'OGC (Open Geospatial Consortium) per le infrastrutture dei dati spaziali.

Il visualizzatore (figura 1) è la componente del geoportale attraverso la quale l'utente può facilmente identificare blocchi, parcelle, singoli filari, piante e richiamare, attraverso un'interrogazione spaziale, le informazioni legate ad una particolare pianta piuttosto che a una parcella; egli può altresì visualizzare i dati agro-meteorologici registrati in continuo dalla rete wireless di sensori installata in ciascun vigneto sperimentale e le mappe pedologiche e degli indici di vegetazione.

A supporto dell'applicazione web è stato sviluppato un geodatabase per l'archiviazione, la gestione e il trasferimento ai partner del progetto di tutti i dati raccolti durante le attività di ricerca e mantenere la continuità delle applicazioni di visualizzazione della cartografia dei vigneti su web. Infine un catalogo on-line permette all'utente autorizzato di poter effettuare una ricerca mirata all'interno del geodatabase analizzando i metadati, visualizzando l'anteprima del dato geografico e scaricando i dati di interesse tramite un servizio di download disponibile via web.

LA WEBAPP PER SMARTPHONE

Possiamo sicuramente affermare che la connessione mobile è lo strumento più efficace per portare l'Information & Communication Technology (Ict) anche in campo. Da qui è nata l'idea di sviluppare un'applicazione ad hoc per dispositivi tascabili e raggiungere gli operatori del settore vitivinicolo fornendo strumenti complementari e di supporto alle strategie

operative e di monitoraggio dei vigneti. iTuscania - Web 2.0 è un'applicazione mobile per la viticoltura di precisione basata sul framework Smart Vineyard ed è stata sviluppata sia come App per dispositivi Android sia come WebApp eseguibile con i browser degli smartphone Android®, iPhone® e iPad®.

Le funzioni di base (zoom e pan) sono fornite per un'agile navigazione all'interno dei dati spaziali caricati. Alcune informazioni utili sono visualizzate direttamente sulla schermata principale e inoltre la WebApp è in grado di leggere le informazioni del GPS integrato relative al punto di osservazione dell'operatore in campo.

Attraverso le funzioni offerte dal framework SmartV l'applicazione visualizza i dati memorizzati nel GeoDB e permette all'utente, attraverso una semplice interfaccia (figura 2), di attivare o disattivare i dati disponibili su un geo-server remoto.

È possibile inoltre integrare l'applicazione tramite plug-in con funzioni personalizzate per la visualizzazione di dati da stazioni agrometeorologiche in campo o per le analisi più complesse di supporto alle operazioni di monitoraggio in campo.

FLUSSI DI LAVORO COLLABORATIVO

La WebApp, nella logica di flusso bidirezionale del web 2.0, permette all'utilizzatore di non essere solo fruitore dei contenuti del sito web ma di inserire informazioni georiferite (geo-tag) relative a una singola pianta, filare o area del vigneto, archiviandole automaticamente nel GeoDB del sistema.

L'INTERFACCIA SMARTPHONE



Fig. 2 - Interfaccia Smartphone per la scelta e attivazione delle informazioni da visualizzare.

I dati acquisiti a diversa risoluzione spaziale e temporale possono essere integrati anche da informazioni multimediali (es: foto o note vocali). La mappa diviene quindi consultabile e arricchita da nuovi contenuti attraverso l'utilizzo di appositi tool per la condivisione di dati e informazioni sulla base di diversi profili di utenza, personalizzabili per gruppi o singoli utenti. Una maggiore partecipazione

degli operatori del settore in un medesimo ambiente distribuito su web può così favorire l'evoluzione dei sistemi informativi aziendali verso sistemi dinamici, autonomi e con le caratteristiche proprie all'azienda viticola.

VANTAGGI E SVILUPPI FUTURI

Le potenzialità offerte oggi dalla rapidissima evoluzione e diffusione delle tecnologie della comunicazione, dell'informazione e delle scienze geografiche offrono grandi possibilità per lo sviluppo di soluzioni ottimizzate volte alla distribuzione delle informazioni sito-specifiche.

L'applicazione Smartphone sviluppata in forma semplificata rimane aperta a futuri sviluppi per l'integrazione di funzioni adatte a operazioni specifiche di monitoraggio, verifica e acquisizione di nuovi dati. La scelta di soluzioni Open Source favorisce inoltre un abbattimento dei costi di sviluppo, distribuzione e gestione delle applicazioni informatiche specifiche per il settore vitivinicolo ancor più se condivisi fra aziende viticole consorziate o per appartenenza a zone geografiche a vocazione ben definita del territorio.

* CNR - Istituto di Biometeorologia (IBIMET)
Firenze

Gli autori desiderano ringraziare lo staff IBIMET del gruppo di lavoro sulla viticoltura di precisione e i partner del progetto di ricerca del Consorzio Toscana per la condivisione dei dati e per aver dato l'opportunità di testare le tecnologie dei sistemi informativi distribuiti su web per applicazioni operative nel campo della viticoltura di precisione.

© RIPRODUZIONE RISERVATA

COMPARISON OF THREE DIFFERENT METHODS OF NDVI ACQUISITION FOR VINEYARD CANOPY MONITORING AND THEIR SUITABILITY FOR GRAPE QUALITY CLASSIFICATION

Edoardo FIORILLO ^{1*}, Tiziana DE FILIPPIS ¹, Salvatore Filippo DI GENNARO ¹, Alessandro MATESE ¹, Francesco Primo VACCARI ¹, Paolo CARNEVALI ², Stefano PEDÒ ³, Stefano DI BLASI ⁴, and Lorenzo GENESIO ¹

¹ Ibimet-Cnr, Istituto di Biometeorologia, Via Caproni 8, 50145 FIRENZE, Italy

² Diprove- Unimi, Dipartimento di Produzione Vegetale, sezione di Coltivazioni Arboree, Via Celoria 2, 20133 MILANO, Italy

³ FEM-IASMA - Istituto Agrario San Michele all'Adige, Via E. Mach 1, 38010 S. MICHELE ALL'ADIGE (TN), Italy.

⁴ Consorzio Toscana, Via Sangallo 43, SAMBUCA TAVARNELLE VAL DI PESA (FI), Italy

*Corresp. author :Edoardo Fiorillo, Tel. +39 055 3033711, Fax +39 055 308910, Email: e.fiorillo@ibimet.cnr.it

Summary

NDVI maps, from remote and proximal sensing, recognizing different vigor areas in heterogeneous vineyards, can effectively provide useful information for precision viticulture. The information derived from NDVI maps can nowadays be exploited at operational level with environmental and economical benefits. In the last years different techniques and sensors have been developed in order to obtain flexible and cheap instruments for vineyard monitoring. In this paper three different NDVI monitoring techniques are compared: airborne multispectral remote sensing, ATV (All Terrain Vehicle) mounted proximal sensing and hand-held portable spectrometer proximal sensing. Two vineyards placed in Tuscany (Italy) were monitored at three different phenological stages during the 2008-2009-2010 growing seasons. The NDVI values are analyzed to evaluate and compare the spatial variability recorded by the different methods and are then related with ground measurements of a set of grape quality parameters. The analysis confirms the capacity of the three NDVI acquiring systems to discriminate vigor and grape quality zones providing valuable information for viticulturists and vineyard managers. Various levels of correlation within the set of quality parameters are recorded, due to the different point of view of the sensor. A discussion on the operational application of those techniques is also provided.

INTRODUCTION

Precision Viticulture (PV) may be defined as the methodologies that allow site-specific vineyard monitoring and management. It considers aspects of the monitoring and management of quantity and quality of spatial variations in productivity within a single vineyard. In particular, PV places great importance on crop monitoring, which concerns the gathering of information obtained through crop observations, such as phenological phases, nutritional state, plant health, production expectations and production maps (Mazzetto, 2009).

NDVI (Normalised Difference Vegetation Index) is one of the most used vegetation indices and can effectively provide useful information for precision viticulture identifying the vegetative vigour levels of crop canopies, on

PAV - 17th GIESCO Meeting, 2011

which production depends. The information derived from NDVI maps can nowadays be exploited at operational level with environmental and economical benefits.

In the last years different techniques and sensors have been developed in order to obtain flexible and cheap instruments for vineyard monitoring, mainly based on remote and proximal sensing acquisition. The difference between proximal and remote sensing is mostly related to the distance from which acquisition is made, in the first case around 1 meter and in the second case from some hundreds to thousands of meter according if the device is mounted on an airplane or on a satellite. Several authors reported in previous investigations the capacity and feasibility of the two different techniques in providing useful information for vineyard management. Through airborne remote sensing monitoring, spatial variations in vine vigour have been linked to spatial variations in grape yield (Baldy *et al.* 1996; Lamb *et al.* 2001). Johnson *et al.* (2001) proved that NDVI measurements were related to key fruit characteristics such as soluble sugar content, titratable acidity, pH and malic acid. Lamb *et al.* (2004) established a link between physical descriptors of grapevine canopies derived from remotely sensed images and subsequent measurements of grape phenolics and anthocyanins at harvest. Proffitt and Pearse (2004) stated that, for two vineyards located in Margaret River region (Australia), multispectral measurements of canopy vigour were related to grape content of sugar, pH and titratable acidity, and that economic benefits could be gained by adopting PV. Regarding proximal sensing, Stamatiadis *et al.* (2006) demonstrated the potential of ground-based canopy sensors in predicting biomass production and quality attributes of grapes in two Merlot vineyards. Multispectral sensors were mounted on a tractor and recorded canopy reflectance from two different viewing angles and fields of view along selected rows of vines. Drissi *et al.* (2009) reported that NDVI measurements delivered by a hand-held portable spectrometer linked to a GPS were sensitive to the variations of vertical leaf area index (LAI) and could be used to derive vine vigour maps. Mazzetto *et al.* (2010) proved that a mobile lab, consisting of two spectrometers and a DGPS receiver mounted on tractor, could enable a simultaneous evaluation of canopy health and vigour status.

In this paper three different NDVI monitoring techniques are compared: airborne multispectral remote sensing, proximal sensing by the use of a hand-held

portable radiometer and by the use of two spectroradiometers mounted on a manned ATV (All Terrain Vehicle). Surveys were made at three different phenological stages on two experimental vineyards placed in Tuscany (Italy) during the 2008-2009-2010 growing seasons. One of the goals of this investigation was to compare the sensitivity of the three techniques regarding the changes in vine vigour related to different agronomic treatments. The other goal of the study is to evaluate the relationships between NDVI values acquired with the three different techniques and subsequent measurements for a set of grape quality parameters at harvest.

MATERIAL AND METHODS

STUDY AREA AND EXPERIMENTAL DESIGN

Two vineyards in Tuscany have been chosen as test sites: Brolio (1.9 ha) and Cortigliano (3.9 ha). Brolio vineyard, was planted in 2000 to Sangiovese in a NW-SE direction with a vine and row spacing of 0.8 and 2.00 m, respectively; it is cordon trained, not irrigated, and located on a steep slope at between 408 and 436 m a.s.l.. Cortigliano vineyard was planted in 2001 to Sangiovese with a vine and row spacing of 0.8 and 2.00 m, respectively; it is cordon trained, irrigated, and located on a flat area near the sea. A preliminary airborne multispectral survey was done at the beginning of the research (May 2007) to characterize areas (block) homogeneous for vine vigour. Within each block, 8 experimental plots, characterized by a combination of different agronomic treatments, were defined. The treatments were: presence or not of leaf removal of the first 6 basal nodes, 2 types of bud load (1 or 3 per spur), presence or not of cluster thinning. This gave 32 experimental plots per vineyard, each one composed of between 84 and 164 plants. According to the aims of the investigation the 8 plots within each block were considered as repetitions.

NDVI ACQUISITION SYSTEMS

Vineyard monitoring was made three times per year (2008-2010) from June to August during phenological vine stages such as: fruit set, veraison and grape ripening. The three different kinds of acquisition were performed contemporaneously or within few hours.

Airborne remote sensing (RS) was performed by researchers of IBIMET and details can be found elsewhere (Fiorillo et al. 2009), but briefly, images with a 30 cm spatial resolution were recorded in visible and near infrared bands. Images were orthorectified and NDVI maps were derived. Convolution filters were applied to distinguish canopy from inter-row space. Average values per parcel were extracted from each NDVI map by the use of ArcGIS software.

ATV (All Terrain Vehicle) mounted proximal sensing (PS) was performed by researchers of DIPROVE and

methodology has been described elsewhere (Carnevali *et al.* 2009). Concisely, an ATV vehicle was equipped with a couple of Greenseeker spectroradiometers and a GPS receiver. NDVI maps were derived and average values per plot were extracted by the use of ArcGIS software.

Hand-held PS was performed by researchers of FEM-IASMA making use of Spectrosense 2+ (Skye instruments, Llandrindod, Wells, Powys, UK). Measurements were made on 10 plants per plot during each survey and were later averaged for the following statistical analyses.

The main difference between these NDVI acquiring systems is related to the different point of view from which NDVI monitoring is made. Values related only to the higher part of the canopy are recorded making use of airborne RS due to the fact that the device is parallel to the trellis system; values related to all the vegetation of the monitored vines can be recorded using ATV mounted PS taking advantage of the fact that the device is perpendicular to the trellis system. With Hand-held PS, monitoring is more similar to airborne RS than to ATV mounted PS because the device acquires NDVI measures from a diagonal point of view.

Ground samples were collected for each experimental plot by researchers of the Istituto Agrario di San Michele all'Adige (IASMA). The ground data collection was carried out every year following a previously defined experimental design. Chemical analyses were carried out on the obtained musts and peels to determine several wine quality parameters like pH, °Brix, anthocyanins and polyphenols at the technological ripening.

STATISTICAL ANALYSIS

The investigation on the sensitivity of the three NDVI acquiring techniques to the above described agronomic treatments was performed computing an analysis of variance (ANOVA). Pearson's correlation analysis was used to investigate linear relationships between the grape parameters and NDVI values. For kind of analysis, yearly datasets were managed separately; previous surveys (Fiorillo et al. 2009) have indicated that inter-annual variability produces an excessive bias in grape quality parameter surveys. Probability values (P) of Pearson's correlations have been calculated according to the Bonferroni method. All statistical analyses were conducted using SYSTAT 12® software.

RESULTS AND DISCUSSION

The sensitivity of three NDVI acquiring techniques has been tested regarding the capacity of discriminating different agronomic practices (Tab.1). Significant differences in NDVI average values between plots with different type of bud load (1 or 3 per spur) were recorded in June surveys by the three NDVI acquiring systems. In July

Table 2. Average NDVI values acquired with tested monitoring techniques for plots with different agronomical practices. ARS: airborne remote sensing; HH PS: hand-held proximal sensing; ATV PS: all terrain vehicle mounted proximal sensing; E: executed; NE: not executed. Average values accompanied by different letter within each agronomical practice and column are significantly different at $P < 0.05$.

AGRONOMICAL PRACTICES		ARS June	ARS July	ARS August	HH PS June	HH PS July	HH PS August	ATV PS June	ATV PS July	ATV PS August
BUD LOAD	1	0.577 a	0.520 a	0.589 a	0.649 a	0.673 a	0.647 a	0.820 a	0.806 a	0.784 a
	3	0.584 b	0.514 b	0.583 b	0.663 b	0.666 a	0.643 a	0.831 b	0.809 a	0.784 a
LEAF REMOVAL	NE	0.596 a	0.516 a	0.588 a	0.666 a	0.671 a	0.644 a	0.839 a	0.812 a	0.782 a
	E	0.565 b	0.518 a	0.584 a	0.646 b	0.668 a	0.646 a	0.812 b	0.803 b	0.785 a
CLUSTER THINNING	NE	0.591 a	0.539 a	0.589 a	0.651 a	0.672 a	0.648 a	0.827 a	0.812 a	0.786 a
	E	0.597 a	0.535 a	0.582 b	0.662 a	0.667 a	0.641 b	0.823 a	0.802 a	0.781 a

and August surveys, significant differences were recorded only for airborne RS monitoring. An interesting aspect that emerges is that, in June airborne RS surveys, higher values were recorded for plots with 3 buds per spur, while in the following surveys this trend is reversed. This result has been found also for hand-held PS surveys, but not for ATV mounted PS surveys; in this latter case higher values have always been recorded in plots with 3 buds per spur, but, as said above, both results are not statistically significant. An explanation to airborne RS results could be related to the matter that plants with a lower bud load per spur have more available resources in long term and therefore develop less shoots, but more vigorous and with a thicker canopy; this last aspect can be recorded only by airborne RS because a survey made perpendicularly to the trellis system, like ATV mounted PS monitoring is not able to record the influence on NDVI values related to the thickness of the canopy.

About the effect on NDVI values of leaf removal of the first six basal nodes, statistically significant differences have been recorded for all types of surveys made in June, while afterwards only for July surveys made using ATV mounted PS. This result highlights that the detection of this type of agronomical practice can be more effectively made with a sensor mounted in a position perpendicular to the trellis system. Higher average NDVI values have been generally found in not defoliated plots, especially in June, that is few days after the execution of this agronomical practice. Furthermore differences between defoliated and not defoliated plots, while the season proceeds, decrease due to the fact that defoliated vines tend to re-establish the removed leaf area through a higher emission of lateral shoots.

Cluster thinning induces significant differences only on August NDVI values recorded by airborne RS and by hand-held PS. August surveys are made before executing cluster thinning (usually executed around August 25th), therefore the recorded significant differences are caused by the effect of same practice of the previous year. This result suggests that agronomical practices influence not only the current season, but also the following ones. An explanation to this phenomena, from a physiological point of view, is related to the fact that decreasing the number of fruits causes a reduction in the "sinks" all to the good of the remaining vegetation. This aspect emerges considering June values due to the fact that plots that have been defoliated during the previous year show higher average values, even if not statistically significant.

Pearson analysis highlighted different levels of correlation between grape parameters and NDVI values. As

general consideration, it must be pointed out that results quite always have a logic trend, with quality parameters negatively correlated to NDVI measurements. Results are often significant even if the strength of the correlations is negatively affected by the bias effect caused by different agronomic treatments and their interactions over the different experimental plots, and by the low number of samples (32) on which the statistical analysis was conducted. Correlations appear to be influenced both by the environmental conditions and by the climatic annual trend. Higher values of correlation have been recorded for Brolio vineyard than for Cortigliano vineyard. This is caused by the fact that Brolio is a more heterogeneous vineyard than Cortigliano. NDVI maps for the first vineyard indicate that three areas, homogeneous about NDVI, can be recognized, respectively of low, medium and high vigour; for the second vineyard, only medium and high vigour areas were identified. This higher variability of Brolio vineyard surely facilitates the establishment of a link between NDVI values and quality parameters of grapes; indeed the latter are influenced by factors like the degree of fruit shading and the skin-to-pulp ratio that are directly influenced by the vigour of the plants. Anyway, the variability of the values of correlation recorded over the three years indicates that the seasonal trend plays a basic role causing increase or decrease of this link between NDVI and quality parameters according to the year. Regarding the three NDVI acquiring systems, differences in the degree of the correlation were found, but a clear trend was not identified to prefer a method to the others only on this base. Therefore the choice of the proper NDVI acquiring system appears to be related to economical and/or operational considerations. Hand-held PS acquiring system proves to be an useful tool for scientific purposes or to monitor a very exiguous number of plants. ATV mounted PS acquiring system can be preferable from an economical point of view in order to monitor areas of few hectares and shows the advantage over airborne RS monitoring of a higher flexibility respect to meteorological conditions. Airborne RS acquiring system remains however an essential tool to monitor wide areas both for economical reasons and for its synoptic capacity of acquiring informations of different vineyards simultaneously. Finally, the results of this work confirm the capacity of the three NDVI acquiring systems to discriminate vigor and grape quality zones providing valuable information for viticulturists and vineyard managers.

Table 2. Pearson's correlation coefficients between NDVI values acquired with different techniques and selected grape quality parameters for Brolio vineyard. ARS: airborne remote sensing; HH PS: hand-held proximal sensing; ATV PS: all terrain vehicle mounted proximal sensing; ANT: Anthocyanins; POL: polyphenols; NA: not available. (***) Significant at P <0.001; ** Significant at P <0.01; * Significant at P <0.05; NS= not significant).

		ARS June	ARS July	ARS August	HH PS June	HH PS July	HH PS August	ATV PS June	ATV PS July	ATV PS August
2008	BRIX	NA	-0.43	-0.26	-0.30	-0.53	0.05	-0.67*	-0.69*	-0.49
	pH	NA	-0.48	-0.55	0.01	-0.23	0.19	-0.39	-0.43	-0.52
	ANT	NA	-0.61	-0.40	-0.52	-0.74**	0.12	-0.63	-0.79***	-0.61
	POL	NA	-0.50	-0.26	-0.48	-0.67*	-0.04	-0.43	-0.66*	-0.54
2009	BRIX	-0.62	-0.50	-0.49	-0.59	-0.46	-0.32	-0.57	-0.63	-0.48
	pH	-0.38	-0.37	-0.33	-0.31	-0.02	-0.10	-0.26	-0.36	-0.44
	ANT	-0.74**	-0.74**	-0.75**	-0.77***	-0.62	-0.59	-0.43	-0.69**	-0.73**
	POL	-0.85***	-0.74**	-0.74**	-0.81***	-0.59	-0.51	-0.53	-0.71**	-0.67*
2010	BRIX	-0.73**	-0.72**	-0.78***	-0.12	-0.69**	-0.71**	-0.41	-0.69**	-0.75***
	pH	-0.47	-0.52	-0.43	-0.25	-0.15	-0.30	-0.20	-0.25	-0.27
	ANT	-0.68**	-0.68**	-0.73**	0.06	-0.54	-0.56	-0.48	-0.73**	-0.78***
	POL	-0.71**	-0.68**	-0.74***	-0.01	-0.63*	-0.62*	-0.53	-0.75***	-0.78***

Table 3. Pearson's correlation coefficients between NDVI values acquired with different techniques and selected grape quality parameters for Cortigliano vineyard. ARS: airborne remote sensing; HH PS: hand-held proximal sensing; ATV PS: all terrain vehicle mounted proximal sensing; ANT: Anthocyanins; POL: polyphenols; NA: not available. (***) Significant at P <0.001; ** Significant at P <0.01; * Significant at P <0.05; NS= not significant).

		ARS June	ARS July	ARS August	HH PS June	HH PS July	HH PS August	ATV PS June	ATV PS July	ATV PS August
2008	BRIX	NA	-0.52	-0.31	-0.03	-0.12	-0.09	-0.46	0.00	-0.14
	pH	NA	0.54	0.61*	-0.20	0.14	0.60	0.33	0.13	0.58
	ANT	NA	-0.18	0.01	0.09	-0.06	0.04	-0.27	-0.28	0.00
	POL	NA	-0.18	-0.11	0.08	-0.04	0.00	-0.38	-0.33	-0.09
2009	BRIX	-0.54	-0.12	-0.44	-0.45	-0.18	-0.38	-0.04	-0.20	-0.11
	pH	-0.34	-0.50	-0.68**	-0.69*	-0.42	-0.43	0.39	-0.46	-0.60
	ANT	-0.58	-0.56	-0.72**	-0.53	-0.53	-0.53	0.22	-0.15	-0.44
	POL	-0.49	-0.258	-0.412	-0.423	-0.274	-0.462	0.088	-0.08	-0.216
2010	BRIX	-0.28	-0.57	-0.60*	0.03	0.44	-0.35	0.00	-0.14	-0.15
	pH	0.07	-0.11	-0.20	0.19	0.24	0.18	0.26	-0.04	0.04
	ANT	-0.34	-0.66**	-0.81***	0.38	0.50	-0.71**	0.35	0.03	-0.32
	POL	-0.29	-0.41	-0.59	0.28	0.33	-0.70**	0.27	-0.11	-0.39

LITERATURE

- CARNEVALI P., FAILLA O., BRANCADORO L. 2009. Continuous proximal sensing mapping tools for determining vineyards variability. *Proceedings of the 16th International GIESCO Symposium*, July 12-15 2009, University of California, Davis, 317-321.
- DRISSI R., GOUTOLY J., FORGET D., GAUDILLERE J. 2009. Nondestructive measurement of grapevine Leaf Area by Ground Normalized Difference Vegetation Index. *Agronomy Journal*, 101, 226-231.
- FIORILLO E., GENESIO L., MASELLI F., DE FILIPPIS T., GIOLI B., TOSCANO P. 2009. Mapping the spatial variability of vineyard canopy using high-resolution airborne multispectral images. *Proceedings of the 16th International GIESCO Symposium*, July 12-15 2009, University of California, Davis, 19-25.
- JOHNSON L., BOSCH D.F., WILLIAMS D. C., LOBITZ B.M. 2001. Remote sensing of vineyard management zones: implications for wine quality. *Applied Engineering in Agriculture*, 17(4), 557-560.
- LAMB D.W., BRAMLEY R.G.V. 2001. Managing and monitoring spatial variability, in vineyard productivity. *Natural Resource Management*, 4, 25-30.
- LAMB D.W., WEEDON M.M., BRAMLEY R.G.W. 2004. Using remote sensing to predict grape phenolics and colour at harvest in a Cabernet Sauvignon vineyard: Timing observations against phenology and optimizing image resolution. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 10, 46-54.
- MAZZETTO F., CALCANTE A., MENA A., VERCESI A. 2010. Integration of optical and analogue sensors for monitoring canopy health and vigour in precision viticulture. *Precision Agriculture* 11, 636-649.
- PROFFITT T., PEARSE B. 2004. Adding value to business precisely using precision viticulture technology in Margaret River. *The Australian & New Zealand Grapegrower & Winemaker*. December. 40-44.
- STAMATIADIS S., TASKOS D., TSADILAS C., CHRISTOFIDES C., TSADILA E., SCHEPERS J. 2006. Relation of ground-sensor canopy reflectance to biomass production and grape color in two merlot vineyards. *American Journal of Enology and Viticulture*, 57 4, 415-422.

ACKNOWLEDGEMENTS

The investigation was conducted as part of the Research Project of Consorzio Toscana (www.consorziotoscana.it), which has provided technical and financial support in the implementation of this study. The authors want to thank Alessandra Biondi Bartolini, Manuel Pieri, Marco Valentini, Alessandro Magrini and all the staff of the "Consorzio Toscana S.r.l." for their support in some phases of the work; project partners Stefano Pedò and Roberto Zorer (IASMA-FEM) for sharing the data of grape quality surveys; Stefano Benedettelli (University of Florence) for his helpful suggestions about the statistical analyses

Nuove tecnologie e reti di conoscenza condivisa per la sostenibilità ambientale dell'agricoltura

Tiziana De Filippis*, Luigi Di Prinzio**, Paolo Minguzzi**, Sandra Chiarato***

* Centro Nazionale delle Ricerche, Istituto di Biometeorologia (Cnr-Ibimet), Firenze (t.de.filippis@ibimet.cnr.it)

** Iuav, Facoltà di Pianificazione del Territorio, Venezia (luigi@iuav.it)

*** Federazione Regionale Coldiretti Veneto, Mestre (sandra.chiarato@coldiretti.it)

Uso razionale delle risorse naturali, risparmio energetico, riduzione delle emissioni inquinanti, razionalizzazione della mobilità dei prodotti sono solo alcune delle parole d'ordine che la logica della sostenibilità ambientale richiede al settore produttivo agricolo. Le nuove tecnologie disponibili in agricoltura per il monitoraggio ambientale, operativo e produttivo possono oggi facilmente coniugarsi alle tecnologie dell'informazione e delle comunicazioni per ampliare le conoscenze dei sistemi di produzione sostenibili.

Viene qui presentato un Sistema Informativo Territoriale (Sit) finalizzato alla creazione di reti di conoscenza condivisa fra produttori, consumatori, enti pubblici, operatori della trasformazione e distribuzione. Tale sistema oltre ad indirizzare gli agricoltori verso forme di produzioni 'sostenibili' permette di garantire il consumatore in termini di sicurezza alimentare, qualità dei prodotti ed etica del consumo

Parole chiave: agricoltura sostenibile; reti di conoscenza; Km0

Introduzione

La comunità scientifica è ormai concorde nel ritenere che la causa del riscaldamento globale sia da ricercare nell'aumentata concentrazione di gas serra in atmosfera, soprattutto anidride carbonica (Aa.Vv., 2006). L'agricoltura a livello nazionale concorre alle emissioni complessive di gas serra per il 6,7% del totale ed è pertanto la seconda fonte dopo il settore emissivo energia (Ispra, 2009).

Basti pensare che ogni prodotto agro-alimentare porta con sé un bagaglio di energia 'incorporata' e quindi di emissioni di gas serra, derivanti dall'uso di combustibili fossili necessari per la produzione, il trasporto, la conservazione, l'imballaggio e lo smaltimento.

Fra le azioni mirate a ridurre le emissioni in agricoltura si stanno affermando, come elemento di sostenibilità ambientale, nuove politiche di promozione e sostegno alla filiera corta, lo sviluppo di reti produttori/consumatori, la promozione di mercati locali, la modifica delle abitudini alimentari. Inoltre un approccio integrato e scientifico all'analisi dell'intera filiera di produzione (dall'azienda al consumatore) si sta consolidando grazie all'introduzione di misure e strumenti innovativi per il monitoraggio operativo, produttivo ed ambientale che ruotano intorno ad una serie di concetti chiave volti a indirizzare gli agricoltori verso forme di produzioni 'sostenibili' ed a garantire il consumatore in termini di sicurezza alimentare ed etica del consumo.

Le nuove tecnologie informatiche e lo sviluppo dell'ITC (Information Communication Technology) oggi offrono straordinarie opportunità per migliorare il sistema delle conoscenze sullo stato e sui problemi del territorio e dell'ambiente, da condividere tra attori pubblici e privati nella prospettiva di migliorare il grado di equità ed efficacia nell'uso delle risorse.

Informazione e reti di conoscenza condivisa

Negli ultimi anni si è evidenziata una richiesta crescente da parte dei produttori e di altre organizzazioni di categoria di comprendere e comunicare l'impatto dei propri prodotti e servizi sull'ambiente.

Parallelamente stiamo vivendo una rapida ed intensa trasformazione dell'informazione territoriale sia nelle tecnologie di acquisizione dei dati sia nelle modalità di accesso e distribuzione che nei modelli di utilizzo.

In un contesto di sostenibilità dell'agricoltura, la disponibili-

lità e l'accesso all'informazione per la creazione di quadri di conoscenza condivisa diviene pertanto un elemento essenziale per offrire servizi alle imprese agricole ed alle associazioni di categoria attraverso la creazione di Sistemi Informativi Aziendali, favorire la ricerca, l'innovazione e la divulgazione di nuovi strumenti di supporto alla sostenibilità dell'agricoltura, sviluppare la rete di relazioni necessarie al funzionamento dei 'gruppi di acquisto', favorire i processi di educazione al consumo consapevole (fig. 1).

Le nuove tecnologie dell'informazione territoriale vengono utilizzate nel presente lavoro per la gestione dei dati georiferiti, sia sul versante delle unità produttive, sia sul versante delle unità di consumo in contesto distrettuale. Inoltre si cerca di approfondire le relazioni tra distretti di produzione e distretti di consumo, con attenzione specifica agli aspetti logistici delle relazioni territoriali.

Tale attività di ricerca è stata avviata per rispondere alla domanda di conoscenza su territorio ed ambiente in relazione alla legge della Regione Veneto (2008) per orientare e sostenere il consumo dei prodotti agricoli di origine regionale. Tra gli obiettivi di tale legge vi è la promozione del patrimonio agro-alimentare nelle mense di scuole, università, ospedali e caserme nella misura del 50%. L'articolato prevede inoltre che il 20% degli spazi pubblici nei mercati di dettaglio ed il 30% delle superfici negli esercizi commerciali siano riservati agli agricoltori.

Rete Km0 strumento di gestione e di supporto all'acquisto sostenibile

La spesa per le importazioni alimentari è in forte aumento a livello globale secondo il rapporto Food Outlook della Fao del 2007.

L'aumento di spesa è dovuto in parte per l'accresciuta domanda di biocarburanti per il trasporto delle merci che di conseguenza influenza il valore dell'importazione di prodotti alimentari. Lo stesso premio Nobel per la Pace ed ex vicepresidente Usa, Al Gore nel suo libro (2007), ha inserito l'acquisto dei prodotti locali direttamente dagli agricoltori nell'elenco delle azioni rivolte alla riduzione del surriscaldamento globale. In Italia, secondo un recente studio della Coldiretti consumando prodotti locali, di stagione e facendo attenzione agli imballaggi, una famiglia può risparmiare fino a 1.000 chili di anidride carbonica (CO₂) l'anno. La stessa organizzazione di categoria sottolinea che i costi della logistica incidono fino ad un terzo per frutta e verdura ed assorbono in media un quarto del fatturato delle imprese agro-alimentari.

Il contenuto in CO₂ imputabile al trasporto dei prodotti agricoli è comunque uno dei tanti indicatori del ciclo di vita del prodotto (Martin, Keoleian, 2000) ma recentemente l'espressione dei Km percorsi dagli alimenti è stata usata per indicare i prodotti in una filiera corta e quindi a minor impatto sull'ambiente.

La recente iniziativa lanciata dalla Coldiretti a favore degli esercizi commerciali etichettati a 'chilometri zero', che usano cioè prodotti locali, si ispira in realtà all'espressione Food Miles di Tim Lang (2005), usata nei paesi anglosassoni per calcolare l'impatto ambientale del cibo che consumiamo

ogni giorno, basato sui chilometri percorsi dal prodotto per arrivare sui nostri piatti.

Il merito della ricerca anglosassone in questo settore è stato di mettere in evidenza quanto sia decisiva, in termini di sostenibilità, la provenienza del nostro cibo che arriva ad incidere, in termini di emissione di gas serra, quasi quanto i metodi di agricoltura intensiva praticati.

Il Sistema Informativo KmZero-Sikz

Il Sistema Informativo KmZero (Sikz) (Minguzzi, 2008), progettato a supporto della creazione di quadri di conoscenza condivisa, è basato su forme e strumenti informatici quali i geodatabase relazionali e Sistemi Informativi Geografici per la gestione dell'informazione territoriale. Poiché un presupposto fondamentale è la conoscenza approfondita dei prodotti offerti, delle aziende produttrici e della documentazione sui vari rapporti commerciali, il Sistema KmZero si basa sulle connessioni fra un Sistema Informativo delle Aziende Agricole (Siaa), relazionato ad altri Sistemi Informativi Agricoli presenti a livello nazionale e regionale (es: Sian, Sim, Agrea, Arbea, Avepa), e i Sistemi Informativi che gravitano nell'orbita del Circuito KmZero (fig. 2).

La componente Siaa ha il compito di redigere una vera e propria 'carta d'identità' delle aziende agricole partendo dalla localizzazione geografica delle unità produttive, la loro estensione, le tecniche colturali adottate, le produzioni e la disponibilità di approvvigionamento del mercato locale.

Il Sistema Informativo KmZero mette così in relazione i vari produttori locali con gli esercizi commerciali e le attività di distribuzione e ristorazione che aderiscono al progetto di 'rete'. L'obiettivo primario è quello di porre le basi per un sistema di tracciabilità e rintracciabilità del prodotto in un progetto di filiera corta. Il Sistema si propone di monitorare il prodotto, dalla terra alla tavola, facendo conoscere al consumatore tutti i passaggi: dalle materie prime (chi le ha prodotte, come le ha prodotte) ai processi di trasformazione effettuati e soprattutto quanti chilometri ha percorso l'alimento per essere messo in vendita sullo scaffale di un punto vendita o nel piatto di un esercizio di ristorazione nonché il numero di soggetti coinvolti nel processo.

Il Sistema KmZero, essendo un progetto a filiera corta, si basa sulle relazioni esistenti tra *produttori* che possono anche trasformare o vendere direttamente il prodotto e gli *esercizi* di distribuzione e ristorazione. Tra i primi rientrano numerose tipologie d'impresa (dagli agricoltori, agli allevatori, ai caseifici, ai molini), ovvero tutte quelle attività che operano le fasi di produzione e/o la trasformazione delle materie prime agro-alimentari (fig. 3). Il Sikz tramite una funzione Gis chiamata *Spider Gram* (fig. 3c), permette di calcolare la distanza chilometrica tra vari esercizi commerciali ed i produttori aderenti al Circuito, creando una rete di entità lineari che li collega in modo statico (modalità questa ritenuta sufficiente alla finalità del progetto). Grazie al calcolo della distanza e alla definizione del modello di rapporti commerciali tra esercizi e produttori, è possibile tramite il Sikz definire tutte le distanze percorse dai singoli alimenti o la sommatoria delle distanze di quelli che compongono ad esempio un menù proposto da un ristorante.

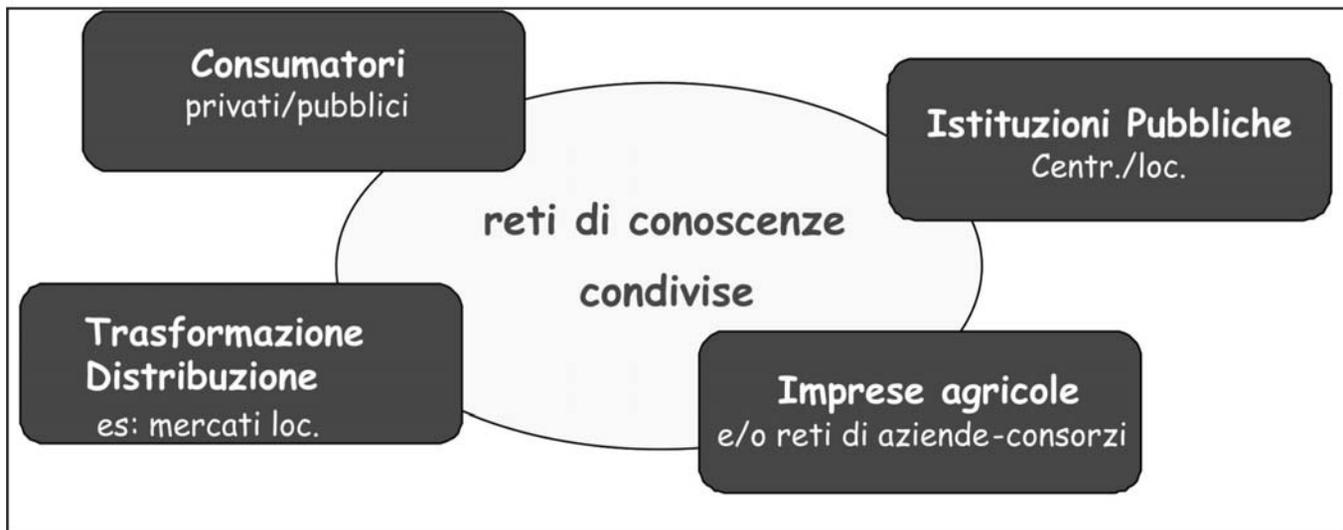


Fig. 1 – Principali attori di una rete di conoscenze condivise

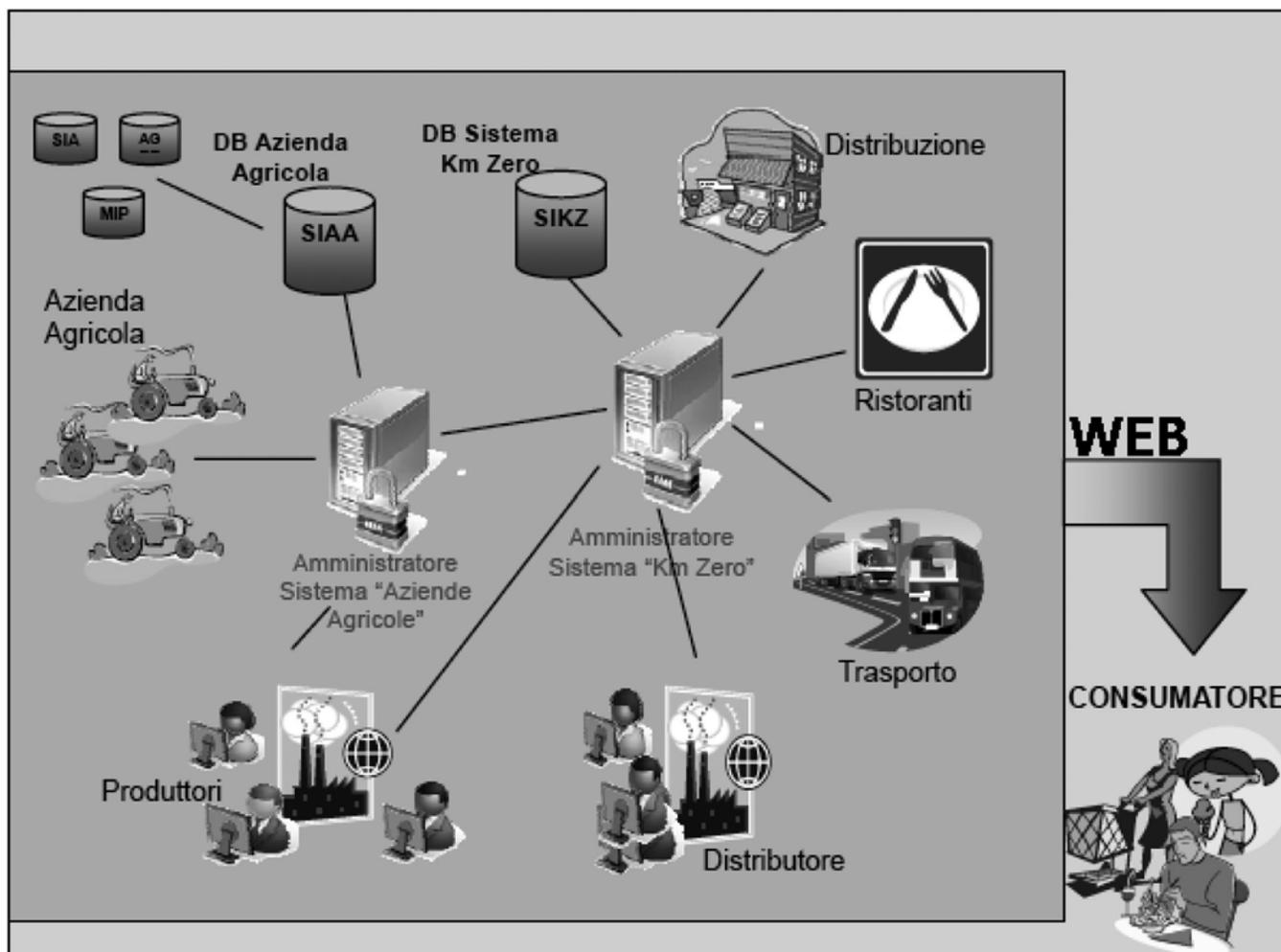


Fig. 2 – Architettura del Sistema Informativo KmZero

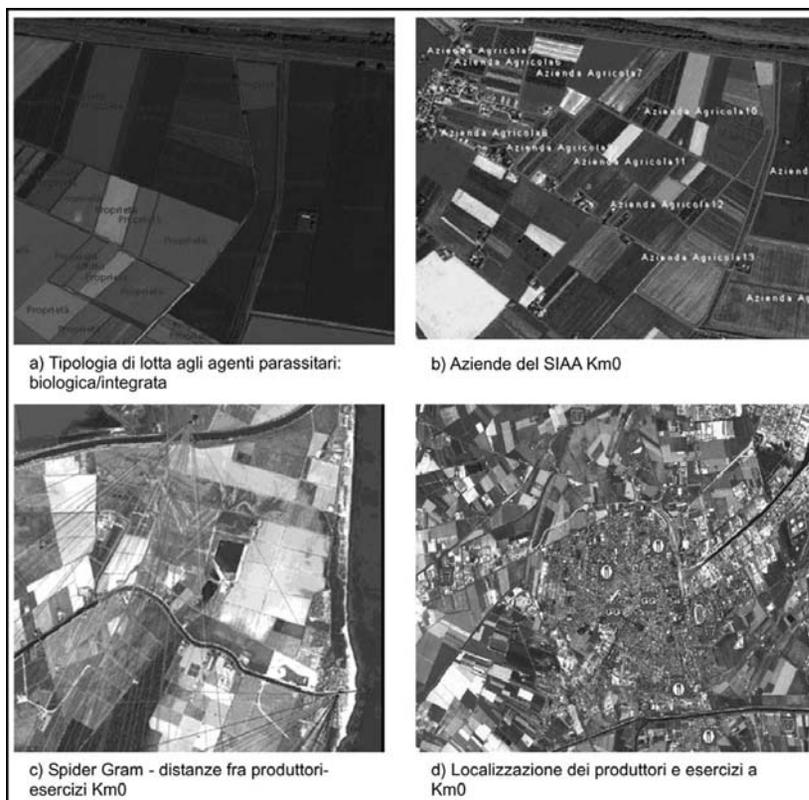


Fig. 3 – Esempio di strati informativi del Sistema Informativo Km0

Lo strumento garantisce anche un aiuto nella programmazione degli acquisti da parte degli esercizi di vendita, sottolineando quali sarebbero le scelte economicamente più vantaggiose a fronte delle richieste dell'imprenditore. Ad esempio un' esercente può interrogare il Sisk per sapere quale è il produttore o venditore del prodotto richiesto a lui più vicino, selezionandolo tra tutti i produttori o tra quelli che hanno già rapporti commerciali con lui. Il Sistema dispone di funzioni di ponderazione che tengono conto sia della distanza che del prezzo del prodotto richiesto. Il sistema è progettato per essere interrogato a vari livelli di dettaglio a seconda del profilo dell'utente, su diverse piattaforme ed in maniera distribuita su web.

Prospettive e conclusioni

Il Sisk è stato implementato, oltre che per la determinazione delle distanze e la relativa restituzione del dato, come aiuto alle aziende aderenti al Circuito Km0 per organizzare e pianificare le proprie strategie di mercato e definire le scelte commerciali. Naturale sbocco per l'applicazione progettata è la pubblicazione del Sistema Informativo su Internet mediante tecnologie webGis OpenSource per una massima diffusione ed accesso alle informazioni in relazione alle autorizzazioni in possesso del navigatore. In tal modo si offre la possibilità al consumatore di disporre di uno strumento gratuito e facile da consultare per poter determinare la provenienza e le caratteristiche qualitative del prodotto acquistato, facendo conoscere le caratteristiche dell'azienda e le tecniche colturali, il tutto in un ottica di trasparenza e qualità. Qualità degli alimenti intesa come l'insieme delle qualità

intrinseche del prodotto (valore nutritivo, caratteristiche organolettiche, salubrità) e di una qualità estesa che comprende la tracciabilità, la tutela dell'ambiente, la sicurezza dei processi di trasformazione, la valorizzazione del territorio e l'eticità del consumo.

La scommessa è quella di creare un sistema di conoscenze per rendere i produttori e consumatori protagonisti e consapevoli dell'intero processo produttivo (tipicità, stagionalità, tracciabilità), in un ottica di sostenibilità delle produzioni agro-alimentari.

Riferimenti bibliografici

- Aa.Vv., 2006, *Cambiamenti climatici e sostenibilità: il problema e le soluzioni in Toscana*, Ed. Ibimet-Cnr, Firenze.
- Fao, 2007, *Food Outlook, Global Market Analysis*, june.
- Gore A., 2007, *Una scomoda verità. Come salvare la terra dal riscaldamento Globale*, Rizzoli, Milano, pp. 333.
- Ispra, 2009, *Italian Greenhouse Gas Inventory 1990-2007*, National Inventory Report 2009, Ispra Rapporto tecnico 98. Roma.
- Martin C., Keoleian H. and G.A., 2000, *Life Cycle-based Sustainability Indicators for Assessment of the US Food System*, Center for Sustainable Systems, University of Michigan, Report n. CSS00-04.
- Minguzzi P., 2008, *Un Sistema Informativo Territoriale - progetto chilometro zero - strumento di gestione e supporto all'acquisto sostenibile*, tesi di laurea, rel. prof. L. Di Prinziò, Iuav, Facoltà di Pianificazione del Territorio, Venezia.
- Pretty J.N., Ball A.S., Lang T., Morison J.I.L., 2005, «Farm Costs and Food Miles: An Assessment of the Full Cost of the UK Weekly Food Basket», *Food Policy*, bol. 30, n. 1, pp. 1-20.
- Regione Veneto, 2008, *Norme per orientare e sostenere il consumo dei prodotti agricoli di origine regionale*, Lr. 25 luglio 2008, n. 7, Venezia.

A WEBGIS APPLICATION FOR PRECISION VITICULTURE: FROM RESEARCH TO OPERATIVE PRACTICES

T. De Filippis^{a,*}, L. Rocchi^a, E. Fiorillo^b, L. Genesio^a

^a CNR, Institute of Biometeorology, via G.Caproni 8, 50145 Firenze, Italy - (t.de.filippis, l.rocchi, l.genesio)[@ibimet.cnr.it](mailto:ibimet.cnr.it)

^b Consorzio Tuscania, Piazza Strozzi 1, 50123 Firenze, Italy - edoardo.fiorillo@consorziotuscania.it

KEY WORDS: Viticulture, research, geodatabase, GIS, Webservice, Open Source, Geoportal.

ABSTRACT:

Demands for geospatial information and geodata accessibility to support vineyard management using new technology for precision farming are increasing worldwide.

In this paper a WebGIS application is presented, it has been developed to support the on-going researches of Consorzio Tuscania Project on precision viticulture in Tuscany, aiming at the assessment of the impact of different vineyard canopy management techniques on grape quality. Within this framework, a parallel goal was also to build a Web service to support operational applications for agronomic treatments and grape harvest and to provide digital images for mobile devices that can be also integrated on agricultural machineries.

A geoportal has been developed to organize geospatial data and services through (i) a viewer, (ii) a catalogue containing metadata records and (iii) a geodatabase where all data and results of Research Project are stored.

Thanks to web services, users can view, analyse and download vegetation indices derived from airborne remote sensing high-resolution products, agrometeorological data of a Wireless Sensor Network located in the vineyards and others reference data to support vineyard precision farming practices.

The web architecture as well as the user interface were implemented using open source tools in order to guarantee the web application sustainability and the implementation of customized geospatial functions required by the project stakeholders. MapServer was used with PHP/Ajax technologies to develop all components of Web mapping application and PostgreSQL was used as data warehouse for geodata and alphanumeric data management.

On-the-fly processing and map visualization show the high potentialities in a reliable, accessible and personalized use of Internet to monitor the vineyards characteristics during the growing season and to improve grape harvest management.

1. INTRODUCTION

1.1 Motivation

Demands for geospatial information and geodata accessibility to support vineyard management using new technology for precision farming are increasing worldwide. Precision Viticulture (Cook and Bramley, 1998; Bramley, 2001) involves the collection of large amounts of data relating to crop performance and the attributes of individual production areas at a high spatial resolution. Precision viticulture is also a general term to describe the use of new technologies in the management and control of vineyard activities and production, with the scope of site-specific optimisation of inputs for increasing yield, quality and profits (McBratney, 2005).

There are several limitations and constrains that must be solved to respond to information needs in this productive sector. First of all collecting and manage a large amounts of data, creating and delivering detailed-scale geo-information, testing communication protocol for agricultural equipment according with georeferenced prescription maps. This approach requires to have personnel informed on advancements in developing technologies applied to agriculture and to redefine new methodological approach to vineyard analysis with a multidisciplinary, and multibusiness environment of cooperation with the final purpose of applying agricultural practices that enhance environmental conservation and facing

economic constraints to remain profitable (Willers, 2009). Moreover the cross cooperation of the production and research sectors of agriculture is necessary to solve this constrain.

1.2 Sharing knowledge on precision viticulture

The new technologies developed in the agricultural sector, in conjunction with the rapid evolution of Information Communication Technologies (ICT) and Geographic Science offer nowadays enormous potentialities for the development of optimised solutions for distributed information in order to support precision viticulture.

In the last years the progressive affirmation of open source solutions for data management and distribution through World Wide Web has promoted the coming up of geographic portals based on distributed Geographic Information Systems allowing free access to geographic data and information for a wider and wider final user public. As reported by Jabeur and Moulin (2005), demands for web mapping services are increasing worldwide since the rise of Internet that became a growing medium to disseminate geospatial information. Tsou (2004), described that the combined powers of Web-based geographic information systems (GIS) and on-line remote sensing tools can significantly reduce the high cost and labour associated with environmental monitoring and natural resource management.

* Corresponding author. t.de.filippis@ibimet.cnr.it

1.3 Aims

The aim of present study was to create a common web-based framework where different actors can share data, research results and advanced knowledge on viticulture and oenology.

In this paper we present a WebGIS application developed to support the on-going researches of Consorzio Tuscania Research Project in Tuscany (Central Italy) aiming at the assessment of the impact of different vineyard canopy management techniques on grape quality. The project has been also set to comprehensively investigate the pedo-climatic and agronomic variables that can influence the final product. For this reason for each vineyard, a characterization of the different vigour index areas was carried out; afterwards, inside each vigour block, experimental parcels were defined and characterized by a combination of different agronomic treatments (leaf removal from the six basal nodes, different levels of bud load, cluster thinning).

The experiment is conducted in renowned areas for wine production on vineyards planted to cultivars Sangiovese and Cabernet Sauvignon, both with the same plant density (2m x 0.8m) and canopy architecture (single curtain). Several Research Institutes, involved in the Project, are carrying out, each year, physiological surveys, remote sensing and proximal sensing analyses as well as productive analyses on grapes. Farmers and wine growers are also involved in research activities sharing their agronomic knowledge and supporting the experimental field activities.

Within this context, a parallel goal was to build a web service to support the operational applications for agronomic treatments and grape harvest and to provide digital images for mobile devices that can be also integrated on agricultural machineries. It should also be highlighted that the technological profile of farmers has changed and improved in the last ten years and that the diffusion of geobrowsers (e.g. Google Earth) and mobile devices are facilitating the transfer of know-how from research on spatial data integration to operational practices with the obvious and consequent advantages of a distributed georeferenced information on web.

2. METHODOLOGY

2.1 System architecture

The system architecture was designed to support the research activities through WebGIS applications finalized to share results with scientific community, decision-makers and/or other stakeholders that work in viticulture sectors.

The client/server architecture proposed (Figure 1), as well as the user interface, has been implemented using open source tools in order to guarantee the web application sustainability and the implementation of customized geospatial functions required by the research project.

The framework developed for this precision viticulture research project is composed by a WebGIS application (WGViewer), a GeoDataBase (GeoDB) and a metadata catalogue.

WebGIS application has been developed using PHP/Ajax technologies and based on KaMap 0.2, an Open Source project to create Ajax (Asynchronous JavaScript e XML) interfaces for Web-mapping applications (ka-Map, 2010). The WGViewer GUI (Graphical User Interface) with analysis and querying functions are completely customizable using a system database through which the application is able to work with different profiles and datasets. The GUI has been developed using AJAX

technologies to manage all client-side components as well as events, results and user interactions.

All georeferenced maps related to study area are stored into a PostgreSQL/PostGIS DBMS and are processed by MapServer. This open source tool, developed by University of Minnesota (Mapserver, 2010) and contains a library of functions for the construction of maps that can be used in CGI (Common Gateway Interface) scripts. In this web application the requests by user's Web browser goes to the application's Web server, which sends the parameters necessary to display the maps to MapServer. MapServer generates the map and sends it back to the web server, which transmits it to the user's web browser (Mitchell, 2005). Several programming languages use functionalities that interact with MapServer's API (Application Programming Interface). This project uses the PHP MapScripts wrapper as web programming language to directly interact with the MapServer's API to access and manage spatial data.

The main web services implemented in this application include a WMS and a metadata catalogue.

WMS (Web Map Server) is one of the Internet map servers and image servers communication protocol standard indicated by Open GIS Consortium (OGC) for Web-based GIS. WMS Implementation Interface Specifications provides guidelines for current image-based Internet map servers with the specifications of HTTP contents and Uniform Resource Locators (URLs) communication syntax (OGC, 2002).

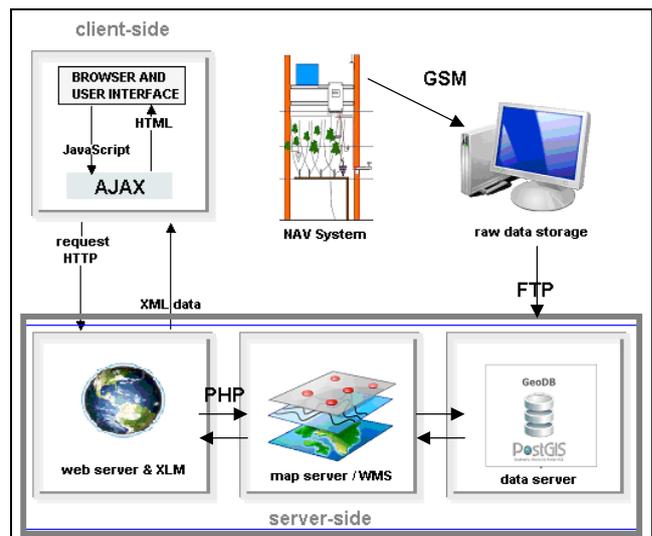


Figure 1. System architecture

2.2 Geographical Database

One of the goals of this project is to provide a useful, geographically coherent, multi-source and site-specific data base to support the ongoing research on precision viticulture carried out by the Consortium partners.

The GeoDataBase is the real core business of system architecture. It is a relational database designed to store, query, and manipulate geographic information and spatial data. The primary advantage of spatial databases, over file-based data storage, is that they allow implementing geospatial functions and GIS procedures. This includes support for SQL and ability to generate complex geospatial queries. Moreover a database's client/server architecture supports multiple users and allows them to view, edit, and query the database without conflict.

For the purposes of research project, the GeoDB has been implemented using PostgreSQL and its extension PostGIS.

PostgreSQL is an object-relational database management system released under a BSD-style license, and is thus free and open source software. PostGIS adds support for geographic objects to PostgreSQL object-relational database. In effect, PostGIS "spatially enables" the PostgreSQL server, allowing it to be used as a backend spatial database for Geographic Information Systems. PostGIS follows Simple Feature Specification for SQL as OGC Standard; it was developed by Refractions Research (2010) as Open Source Spatial Data Base and it was released under GNU General Public Licence.

The geodatabase for precision viticulture researches is composed by four sub-databases and it's fed by both geographical and alphanumeric data from different sources and formats. In this version raster data have been stored outside PostgreSQL/PostGIS Database, they have been allocated into the file system in their original raster formats. All these data are managed by the database management through an engine code-system that allows relations between the different elements stored.

The geographical information mainly consists of digital cartography and remote and proximity sensing images provided by research partners as well as field data collection in the parcels, results of quality control samples.

2.2.1 Data modeling

Conceptual design of the database is based on the entity-relation model; a participative approach with the research partners involved in data collection and analysis has been adopted for application schema implementation.

UML (Unified Modeling Language) as formal language adopted in the ISO TC/211 context for geomatic data description has been used for formal data sets definition.

UML model (Figure 2) of main data domains was generated using Enterprise Architect (EA) case tool of © Sparx System.

Adoption of an application schema allows to update, modify and integrate easily the GeoDB during the different phases of research project. Moreover UML is platform independent, and can facilitate implementation procedures of physical database.

More than 9000 plants over experimental plots of the four vineyards are monitored; all the yearly collected and analysed data micro-scale level are related with airborne images, soil parameters, vineyard geography.

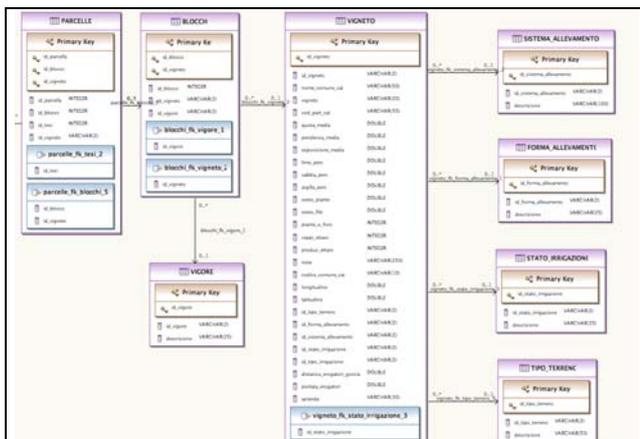


Figure 2. UML diagram of experimental vineyards.

Physiological and productive analyses are carried out each year by different Research Groups involved in the research Project. Ground samples were collected for each experimental parcel by researchers of Fondazione Edmund Mach (San Michele

all'Adige, Trento). Ground data collection was carried out every year following a previously defined experimental design. Chemical analyses were performed on grapes (musts and peels) to determine several wine quality parameters like pH, °Brix, total acidity, anthocyanins and polyphenols at technological ripening and two weeks later (late vintage).

Similarly a huge amount of sub-daily agro-meteorological parameters (temperature, rainfall, wind speed, etc..) is monitored by a wireless sensor network. All these analytical data are here stored in specific tables linked to geographic features (vector data) by relations allowing spatial queries.

The whole structure of GeoDB has been built to support georeferenced queries and data retrieval for advanced statistical analysis of site-specific measurements with the potentiality to expand the relations with new data for new research goals.

2.3 Meteorological data flow

Each experimental vineyard is equipped with the NAV (Advanced Vineyard Network) system, a wireless sensor network designed and developed with the aim of remote real-time monitoring and collecting of micrometeorological parameters in a vineyard (Matese, 2009).

The NAV system includes, for each experimental vineyard, a base station (Master Unit) and a series of peripheral wireless nodes (Slave Units) located in the vineyard. The Master Units (MU) are typical single-point monitoring stations placed outside the vineyard and collect data for the whole vineyard. Slave Units (SU) are multiple stations placed in the vineyard with specific sensors for monitoring and storage of site-specific agro-meteorological data; they use wireless technology to transmit daily collected data to the master unit (MU). Each MU sends daily about 15.000 data stored to the remote central server using the GSM/GPRS device.

An acquisition sub-system was developed in order to supply a high security level for data quality to be stored into GeoDB. This structure makes web-server isolated and protected by unauthorized access. It is a Java based application composed by two modules. The first one is installed in the external server that receives meteorological data by GSM modem and provides real time control checking for data errors and consistency before sending agro-meteorological data to data server via FTP connection.

The second module is installed on the data server, it always runs as a "demon" and looks for new incoming data from the first module; when new data are incoming, an ETL (Extract Transform Module) stores the data into the GeoDatabase. It also supplies a log system with automatic feedback by email to the system administrator.

2.4 Airborne remote sensing and image processing

One of the most powerful tools in precision viticulture is the use of airborne remote sensing though its ability to rapidly provide a synoptic view of grapevine shape, size and vigour over entire vineyards (Hall, 2003).

In the Consorzio Tuscania Research Project image acquisition is carried out three times per year, in a period between June and September, which comprises important phenological stages like flowering, fruit set and veraison.

Airborne remote sensing is performed with SKY ARROW 650 TC/TCNS airplane. Airborne images are acquired with Duncan Multispectral Camera MS4100 (1920x1080 RGB colors CCD); they have 30 cm spatial resolution and record visible and near infrared bands. Images, radiometrically and geometrically corrected, were processed in order to derive

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) (Rouse, 1973) maps.

2.5 Proximal sensing

A new way to monitor vineyards in precision viticulture is quickly spreading by the use of quad-vehicles. This kind of vehicle offers the advantage of low exercise costs and more flexibility of use not being influenced by meteorological conditions. In the Tuscania Research Project, the Dipartimento di Produzione Vegetali (DIPROVE) of University di Milano tested a quad-vehicle equipped with photosynthetically active biomass and ultrasonic sensors in order to obtain respectively NDVI and canopy thickness maps (Carnevali, 2009).

2.6 Soil sensing

It has been proved that the spatial variation in soil characteristics can be associated with the spatial variation in vine characteristics within the vineyard. New soil non-destructive soil mapping techniques are based on electromagnetic induction (EMI) sensors mounted on quad-vehicles. An EMI sensor measures the bulk electrical conductivity of the soil and by interpolation it is possible to derive several kinds of maps useful for decision makers, like texture, field capacity, plant availability water and saturation maps. More than 30 soil maps related to the experimental vineyards are stored in raster format and available for integrated analysis.

3. RESULTS

3.1 Geoportal components

Geoportals are gateways to spatial information providing integrated access to knowledge, including maps, applications, geographic webservices, analytical models, reports, as well as related text material (Maguire, 2005). Many geoportals are focused on specific application domains. Geoportal developed for this precision viticulture research project (<http://www.consoziotuscania.it>) emphasizes user-oriented services, distributed network environments, metadata standards, communication protocols, client/server computation, and ubiquitous access. It is composed by three main components: the viewer, the data catalogue and the geodatabase.

Restricted permission are defined for different users profiles in accord to project data policy on data acquisition, data management, access and use.

3.2 Map Viewer

WGViewer is the viewer developed for this web application and it is able to utilize both vector-based and raster-based on a single view. Thanks to web services users can view and analyze updated parameters, indices derived from airborne remote sensing high-resolution products and reference data to support vineyard precision farming researches.

Additional thematic maps useful for spatial analysis (DEM, hydrography, administrative units etc.) of the study areas are also provided. Thus, available cartography includes different layers of information that can be combined to generate customized maps and facilitate holistic approach in research studies and vineyard management (Figure 3).



Figure 3. Soil, NAV system and airborne visible images of experimental vineyard.

First research results on variability of NDVI and its correlation with grape quality parameters (Fiorillo, 2009), as well as derived prescription maps, have been distributed on web for operative applications finalized to support mechanic grape harvest and agronomic treatments.

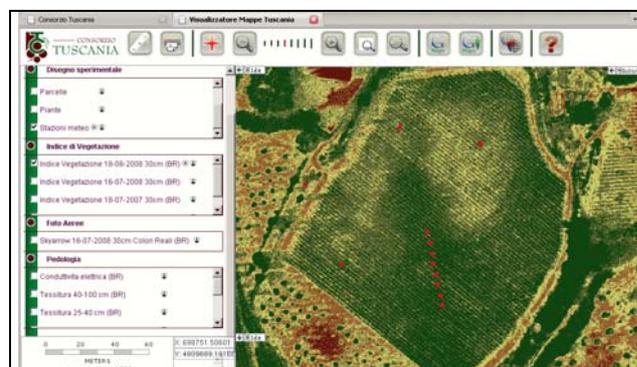


Figure 4. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

Vine vigour is reported to have a considerable effect on fruit yield and quality (Fiorillo, 2009; Dry, 2000; Haselgrave, 2000; Petrie, 2000; Tisseyre, 1999); NDVI (Figure 4) is a vegetation index able to effectively detect the different vigour areas present in vineyards. Prescription maps (Figure 5) are filtered and classified NDVI maps (in order to homogenize the vigour areas) that can be interpreted by special devices mounted on agricultural machineries. To each detected vigour area, a value indicating different quantities of fertilizers or pesticides or different classes of grape quality at vintage can be assigned.

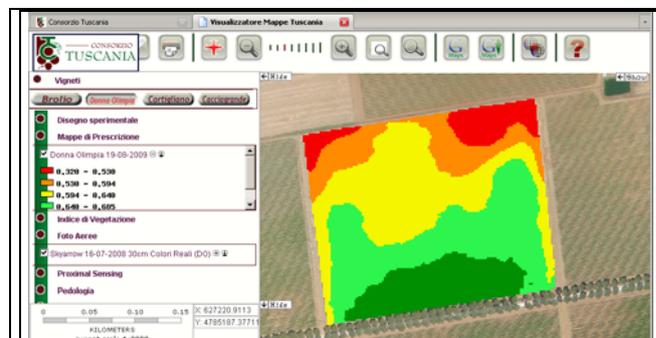


Figure 5. Prescription map of Donna Olimpia vineyard.

Prescription maps are an essential tool for the application of precision viticulture in the modern agricultural mechanization. In fact farmers require new information to reduce fertilizers,

pesticides and herbicide for the environmental sustainability of viticulture.

The interface supplies a lot of analysis functions and measurement tools. For this specific application, an advanced query system was developed; it is able to perform a spatial query on single points (identify function) or on area drawing a box on the screen viewer (Figure 6). The web application connects PostgreSQL using Mapserver and runs directly the requested query on the GeoDatabase. The WebServer creates a result page on the fly showing all retrieved information using a customized GUI. A pop-up window will be created to show the result page on the same screen (Figure 7).

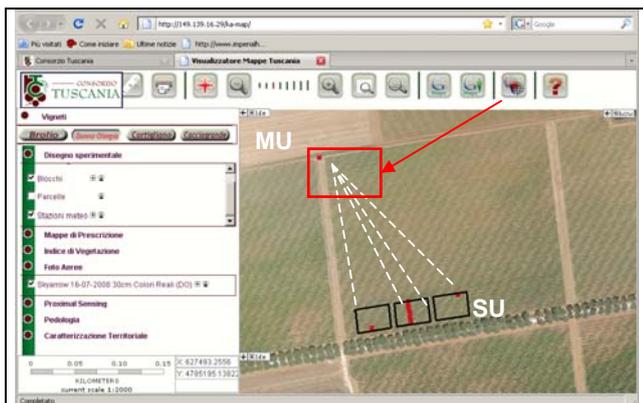


Figure 6. NAV system: query on Master Unit

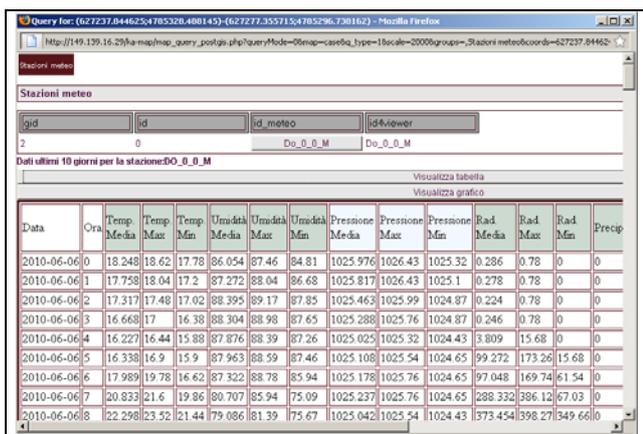


Figure 7. Results of spatial query on NAV points: real – time meteorological data (graphics or tabular representation)

The web application is able to supply data through WMS standard protocol. All client-GIS software with WMS capabilities can access to GeoDatabase and retrieve required data using HTTP link to WMS service. Moreover WGViewer supplies a WMS Tool in order to connect with external GeoDatabase using WMS protocol.

3.3 Catalogue

Catalogue is a web application that supplies a search engine for fast data retrieving helping users in research information. Four major functions were provided by the data the catalogue implemented: metadata display, data preview, data download, and metadata search/index. These functions provide an easy to use mechanism for stakeholders to access or download GIS data and remotely sensed images that can be readily combined or integrated with their own local GIS software projects.

Data catalogue (Figure 8) and search engine was developed using Ajax technology (for client-side application) and PHP language (for server-side service). GUI was implemented with ExtJS, an Ajax development library. By mean of this interface users are able to perform research for data, documentation and metadata, download all geographical data in their original format (compressed .zip files), view a quick look for geographical data, view documents (pdf, doc and excel formats) and metadata.

Currently, ISO 19115 Metadata Standard is the international metadata standard adopted for this application. The major advantage of ISO 19115 is its flexibility in creating extensions and profiles for various applications. Well-documented data can so guarantee a right information use and data traceability for research studies.

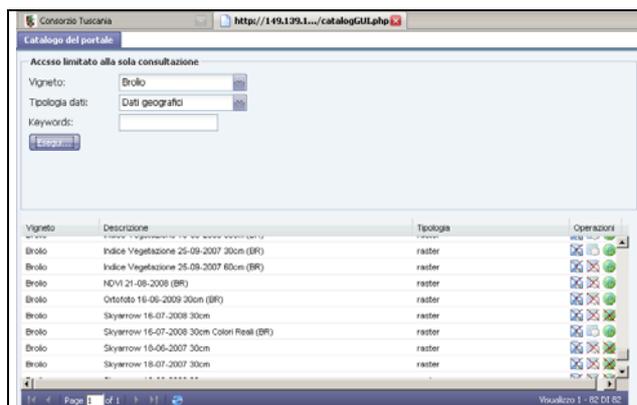


Figure 8. Data catalogue

3.4 GeoDataBase connection

The GeoDataBase can be accessed and queried through the stand-alone application pgAdmin, the most popular and feature rich Open Source administration and development platform for PostgreSQL, and through others Client-side GIS applications (e.g.: QGIS, GRASS). A user-friendly interface (Figure 9) for agro-meteorological queries is also under development in order to support no-expert users in SQL language.

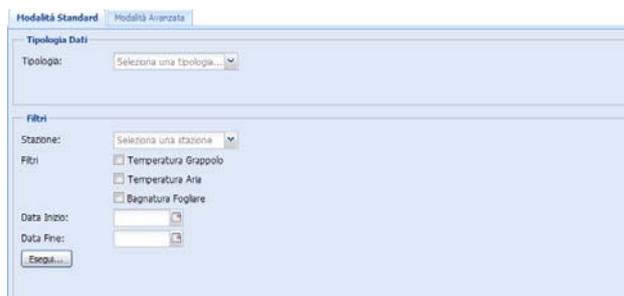


Figure 9. Customized query interface for agro-meteorological database.

The richness of this large geodatabase implies a large research potential based on data integration, whose images were demonstrated to be a powerful tool for research and monitoring of vineyard (Silva et al., 2009).

4. CONCLUSIONS

Data acquisition, access and distribution as well as the model of how information is used in agriculture, open a new way in precision viticulture to improve the product quality in terms of

environmental sustainability of agriculture and natural resource management.

By implementing dynamic Web mapping services, farmers, producer and researchers can access geographic information and high resolution remotely sensed data using a typical desktop computer without installing expensive GIS and remote sensing software packages.

The bet is also to build a web service to support the operational applications during the grape harvest and to provide digital images for mobile device that would be also integrated on farm machines. Moreover future developments of this web applications are addressed forward a full customizable GUI with statistical and data correlation tools, dynamic data loading system and multi-user system, analysis function to support new vineyard management practices for operative use.

Further research on distributed GIS applications are addressed towards the interoperability between geographic standard formats and protocol ISO/FDIS 11783 and its XML data transfer files.

ACKNOWLEDGEMENTS

The development of the GeoDB and Web-GIS application was carried out with the support of the "Consorzio Toscana" Project. The authors thank Stefano Di Blasi, Manuel Pieri (Consorzio Toscana). Thanks to IASMA Fondazione Edmund Mach of San Michele all'Adige and Dipartimento di Produzione Vegetali (DIPROVE – University of Milan) for cooperation, help and assistance about respectively grape-production data and proximity sensing images. Alessandro Matese (IBIMET-CNR) and Filippo Di Gennaro (Consorzio Toscana) for NAV system management and support in agro-meteorological data modeling.

REFERENCES

Bramley, R.G.V., 2001. Progress in the development of precision viticulture – Variation in yield, quality and soil properties in contrasting Australian vineyards. *Precision Tools for Improving Land Management*. Eds. L.D. Currie and P. Loganathan. Occasional report No. 14, pp. 25-43.

Carnevali, P., 2009. Continuous proximal sensing mapping tools for determining vineyards variability. *Proceeding of 16th International GiESCO Symposium*, July 12-15, University of California, Davis, pp. 317-321.

Cook, S.E., Bramley, R.G.V., 1998. Precision Agriculture - Opportunities, Benefits and Pitfalls. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 38, pp.753-763.

Dry, P.R., 2000. Canopy management for fruitfulness. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 6, pp. 109-115.

Fiorillo, E., Genesio, L., Maselli, F., De Filippis, T., Gioli, B., Toscano, P., 2009. Mapping the spatial variability of vineyard canopy using high-resolution airborne multispectral images *Proceeding of 16th International GiESCO Symposium*, July 12-15, University of California, Davis, pp. 19-24.

Hall, A., Louis, J., Lamb, D.W., 2003. Characterising and mapping vineyard canopy using high-spatial-resolution aerial multispectral images. *Computers & Geosciences*, 29: 813-822.

Jabeur, N., Moulin, B. A., 2005. Multiagent-based approach for progressive web map generation. On the Move to Meaningful

Internet Systems 2005: OTM 2005 Workshops, *Proceedings Lecture Notes in Computer Science*, 3762, pp. 99-108.

Ka-Map 1.0 - Documentation retrieved from <http://ka-map.maptools.org/> (last access date : May 10, 2010)

Maguire, D. J. and Longley, P., 2005. The emergence of geoportals and their role in spatial data infrastructures. *Computers, Environment and Urban Systems*. 29, pp. 3-14.

Mapserver. Documentation for the Mapserver project, Retrieved from: <http://www.mapserver.org/> (last access date: May 7, 2010).

Matese, A., Di Gennaro S.F., Zaldei A., Genesio, L., Vaccari F.P., 2008. A wireless sensor network for precision viticulture: The NAV system. *Computers and Electronics in Agriculture* 69, pp. 51–58

McBratney, A., Whelan, B., Ancev, T., Bouma, J., 2005. Future directions of precision agriculture. *Precision Agriculture* 6, pp. 7-23.

Mitchell, T., 2005. *Web Mapping Illustrated: Using Open Source GIS Toolkits*. O'Reilly, Sebastopol, CA.

Open GIS Consortium, Inc. (OGC) 2002. OpenGIS Web Map Server Interface Implementation Specification (Version 1.1.1). Open GIS Consortium, Inc., Wayland, Massachusetts, URL: <http://www.opengis.org/techno/implementation.htm> (last access date: May 18, 2010)

Petrie, R.P., Throught, M.C.T. and Howell, G.S., 2000. Fruit composition and ripening of Pinot Noir (*Vitis Vinifera* L.) in relation to leaf area. *Australian Journal of grape and Wine Research* 6, pp. 40-45.

Refraction Research. What is PostGIS? Retrived from: <http://postgis.refrations.net/> (last access date: May 20, 2010).

Rouse, J. W. Jr., Haas, R. H., Schell, J. A., Deering, D. W., 1973. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. *The 3rd ERTS Symposium, NASA SP,351* (1) pp. 309-317.

Silva, P.R., Ducati, J.R., 2009. Remote sensing and radiometric techniques applied to vineyards in two regions of Rio Grande del Sul, Brazil. *International Journal of Remote Sensing* 30(23), pp. 60085-6098.

Tisseyre, B., Ardoin, N. and Sevila F., 1999. Precision viticulture: precise location and vigour mapping aspects. *Proceedings 2nd European Conference on Precision Agriculture*, Sheffield Academic Press, Sheffield, UK, pp.319-330.

Tsou, MH., 2004. Integrating Web-based GIS and image processing tools for environmental monitoring and natural resource management. *Journal of Geographical Systems* 6, pp.155-174.

Willers, J.L., Jallas, E., McKinion, J., Seal M.R., Turner, S., 2009. Precision Farming, Myth or Reality: Selected Case Studies from Mississippi Cotton Fields. *Advances in Modeling Agricultural Systems*. P.J. Papajorgji, P. M. Pardalos, (eds). Springer Science, pp. 243- 271.



5 – 9 luglio 2010
S. Michele all'Adige
(TN)



III Convegno Nazionale di Viticoltura

Uso di immagini multi spettrali termiche per il monitoraggio del vigneto e predizioni di qualità

Fiorillo E.*, De Filippis T., Genesio L.**, Gioli B.**, Maselli F.**, Pieri M.*,
and Vaccari F.P.****

*Consorzio Tuscania, Via Sangallo 43 - località Sambuca, Tavarnelle Val di Pesa (FI)
** Istituto di Biometeorologia (IBIMET), Via Giovanni Caproni 8 - Firenze

I vigneti, come altri ambienti agrari, presentano una elevata variabilità delle proprie caratteristiche biofisiche; l'interazione tra andamento meteorologico, suolo e pratiche colturali provoca, oltre ad una variabilità spaziale, anche una variabilità temporale ed influenza in modo sostanziale le risposte vegeto-produttive e qualitative della vite. Su questa premessa si basa la viticoltura di precisione o sito-specifica, che mira a una gestione differenziata della coltura in relazione alle caratteristiche puntuali dell'ambiente di coltivazione. Il telerilevamento da aereo ad alta risoluzione è uno strumento innovativo per la produzione di informazioni per il monitoraggio operativo, produttivo ed ambientale in viticoltura di precisione grazie alla sua capacità di fornire una visione sinottica dell'andamento del vigore delle piante. Infatti, attraverso la combinazione delle bande del rosso visibile e dell'infrarosso vicino ottenute da immagini telerilevate, è possibile derivare l'indice NDVI (Normalised Difference Vegetation Index) che rappresenta efficacemente il vigore delle piante. È ormai ampiamente provato che il vigore delle piante è inversamente correlato ai parametri di qualità delle uve (quali contenuto zuccherino, polifenoli, pH) ed è perciò efficacemente usato per vendemmie selettive e per una gestione fito-specifica più efficace e rispettosa dell'ambiente. Negli ultimi anni numerose ricerche sono volte alla valutazione delle potenzialità di utilizzo in agricoltura di immagini nell'infrarosso termico, cioè immagini che rappresentano le temperature dell'area vegetata monitorata. L'uso di immagini nell'infrarosso termico per la viticoltura di precisione è difficoltoso e ancora in fase di studio. Infatti i sensori utilizzati solo negli ultimi anni stanno raggiungendo la risoluzione geometrica appropriata. Tali immagini sono caratterizzate dall'aver una valenza temporale istantanea essendo fortemente influenzate dall'ora di acquisizione e da parametri meteorologici. Altro fattore poi particolarmente complesso è quello del filtraggio delle immagini per rimuovere i dati non legati alla canopy come quelli dell'interfilare. La maggior parte degli studi scientifici su tale argomento sono stati indirizzati a cercare di derivare da queste immagini indici che rappresentino lo stato di stress idrico della coltura. Nella ricerca presentata, partendo invece dall'idea che l'informazione dell'NDVI è il risultato dello sviluppo vegetativo delle piante fino al momento dell'acquisizione delle immagini, mentre l'informazione termica indica lo stato fisiologico della pianta in quel determinato istante, vengono indagate le relazioni esistenti fra vigore e temperatura della canopy per cercare di capire

se la seconda sia in grado di fornire informazioni utili e/o integrare i risultati ottenuti dall'indice NDVI. Per il presente lavoro è stato utilizzato un sistema aereo di acquisizione di immagini multispettrali ad alta risoluzione per il monitoraggio di vigneti sperimentali nell'ambito del Progetto di Ricerca del Consorzio Tuscania (www.consorziotuscania.it). Viene qui presentata una procedura in grado di eliminare efficacemente i valori dell'interfilare. Dai risultati emerge che esiste una correlazione inversa altamente significativa fra NDVI e temperatura della canopy, dovuta alla maggior capacità evapotraspirativa delle piante più vigorose. Queste correlazioni tendono ad abbassarsi da luglio ad agosto probabilmente a causa di fenomeni di stress idrico che insorgono nelle piante. Inoltre sono state realizzate delle mappe, definite mappe di scostamento termico, che si basano sulla spazializzazione dello scostamento dei valori termici di aree del vigneto rispetto alla linea di tendenza che descrive il rapporto fra temperatura e NDVI delle piante.

Progetto coordinato e finanziato da



Piazza Strozzi, 1 – Firenze

Modalità di presentazione preferita (barrare la casella corrispondente)	Orale <input checked="" type="checkbox"/>
	Poster <input type="checkbox"/>
Indirizzo e-mail dell'Autore di riferimento per i futuri contatti	edoardo.fiorillo@consorziotuscania.it

N.B. la scheda compilata va inviata all'indirizzo events@iasma.it entro il giorno 28 febbraio 2010



5 – 9 luglio 2010
S. Michele all'Adige
(TN)



III Convegno Nazionale di Viticoltura

Nuove tecnologie dell'informazione a supporto della viticoltura di precisione: il geoportale del Consorzio Toscana.

De Filippis T. *, Rocchi L. *, Fiorillo E. **, Genesio L. *, Matese. A. *, Di Gennaro F. **, Vaccari F.P. *

(*) Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto of Biometeorologia (CNR-IBIMET), Firenze
(**) Consorzio Toscana, Piazza Strozzi, 1, Firenze .

Le nuove tecnologie disponibili in agricoltura per il monitoraggio ambientale, operativo e produttivo possono oggi facilmente coniugarsi alle tecnologie dell'informazione e delle comunicazioni per ampliare le conoscenze nel settore vitivinicolo.

La rapida ed intensa trasformazione dell'informazione, sia nelle tecnologie di acquisizione dei dati sia nelle modalità di accesso e distribuzione sia infine nei modelli di utilizzo, offre straordinarie opportunità anche per il settore della viticoltura di precisione nella prospettiva di migliorare la qualità delle produzioni, il grado di sostenibilità ambientale dell'agricoltura e l'efficacia nell'uso delle risorse naturali.

Parallelamente negli ultimi anni il progressivo affermarsi di soluzioni Open Source per la distribuzione e la gestione di dati tramite World Wide Web ha favorito la nascita di portali geografici basati sulle tecnologie dei Sistemi Informativi Geografici (GIS) permettendo il facile accesso a dati ed informazioni di tipo territoriale ad un pubblico di utenti finali sempre più ampio.

Le nuove tecnologie dell'informazione territoriale vengono utilizzate nel presente lavoro per la gestione dei dati dei vigneti sperimentali del Progetto di Ricerca sulla viticoltura di precisione del Consorzio Toscana (www.consorziotoscana.it) tenendo in considerazione i bisogni degli utenti e la prospettiva di un trasferimento operativo delle conoscenze acquisite nelle diverse fasi della ricerca.

Lo scopo del presente lavoro è stato quello di creare un ambiente di conoscenze condivise attraverso lo sviluppo di un geoportale che faciliti l'accesso e le analisi dei dati geografici e tabulari dei vigneti oggetto di studio. Il sistema, attraverso specifici canali e moduli software, può interagire con diversi attori sia per la gestione dei flussi dati in ingresso sia per la loro fornitura verso gli utenti e operatori finali.

Il geoportale organizza i dati dei vigneti sperimentali ed i servizi web attraverso un geodatabase, un visualizzatore ed un catalogo di dati e metadati. Il *geodatabase* è la sezione del geoportale che gestisce i dati di base divisi in tre macro blocchi relazionati:

- dati del disegno sperimentale adottato dal progetto di ricerca, ovvero i dati georiferiti dei blocchi, delle parcelle, delle piante, dei campioni e delle tesi;
- dati meteorologici, ecofisiologici, biofisici e produttivi provenienti dalla sensoristica di campo e da analisi di laboratorio.
- dati geografici acquisiti da piattaforma aerea ultraleggera o con strumenti di proximity sensing o con rilievi pedologici.

Il *visualizzatore* è la componente del geoportale attraverso la quale è possibile osservare le informazioni relative ai risultati delle analisi ecofisiologiche e produttive contestualmente alle aree geografiche di interesse, in particolare quelle del disegno sperimentale; l'utente può facilmente identificare blocchi, parcelle, singoli filari, piante e richiamare, attraverso un'interrogazione spaziale, le informazioni legate ad una particolare pianta piuttosto che ad una parcella; può altresì controllare i dati meteo registrati in continuo dalla rete di stazioni agrometeorologiche NAV (Network Avanzato per il Vigneto). L'applicazione WebGIS che supporta il visualizzatore oltre a fornire alcuni strumenti di analisi statistica di base permette di sovrapporre più strati informativi lavorando in tempo reale su immagini di sintesi e dati vettoriali.

Per garantire infine la massima divulgazione ed accesso all'informazione il geoportale include un *catalogo* on-line attraverso il quale l'utente autorizzato può effettuare una ricerca mirata o generica all'interno del geodatabase del progetto analizzando i metadati, visualizzando l'anteprima del dato geografico e scaricando i dati di interesse tramite un servizio di download disponibile via web.

L'intero framework (geodatabase, servizi, applicazioni web) è stato progettato utilizzando soluzioni informatiche OpenSource e CrossPlatform. In particolare si è fatto uso di PostgreSQL/PostGIS per l'implementazione del geodatabase e MapServer con le tecnologie e linguaggi Java/PHP/Ajax per lo sviluppo di tutte le componenti delle applicazioni di WebGIS.

Il Sistema così realizzato fornisce uno strumento di analisi ed interrogazione dati da parte dei partner scientifici, degli operatori e dei manager delle aziende vitivinicole del Consorzio diventando così la porta di accesso al vasto patrimonio di informazioni territoriali, raccolte ed elaborate durante l'attività di ricerca, per la condivisione e l'uso efficiente delle conoscenze acquisite.

Il geoportale apre inoltre nuove strade per l'utilizzo di applicazioni WebGIS nella viticoltura di precisione favorendo lo sviluppo di nuove funzioni di analisi lato server accessibili in futuro attraverso dispositivi mobili dotati di GPS (Smartphone e Palmari) ed utilizzabili in pieno campo per la gestione sito-specifica dei vigneti. L'accesso alle informazioni distribuite su web, secondo standard di interoperabilità, vede inoltre notevoli potenzialità nel trasferimento diretto delle mappe di prescrizione verso dispositivi e software in dotazione alle macchine agricole impiegate sia per una raccolta mirata al miglioramento qualitativo delle produzioni enologiche sia per applicazioni di tecniche VRT (Variable Rate Technology).

Progetto coordinato e finanziato da



Piazza Strozzi, 1 – Firenze

Modalità di presentazione preferita (barrare la casella corrispondente)	Orale <input checked="" type="checkbox"/>
	Poster <input type="checkbox"/>
Indirizzo e-mail dell'Autore di riferimento per i futuri contatti	Tiziana De Filippis: t.de.filippis@ibimet.cnr.it

N.B. la scheda compilata va inviata all'indirizzo events@iasma.it entro il giorno 28 febbraio 2010

AN OPEN SOURCE GENERAL PURPOSE FRAMEWORK FOR IMPLEMENTING WEBGIS APPLICATIONS

L. Rocchi, T. De Filippis, R. Magno
National Research Council - Institute of Biometeorology (CNR-IBIMET)
via G.Caproni, 8. 50145 Firenze (Italy)

ABSTRACT

In the last years the increasing needs of geographical information for environmental analysis and monitoring purposes have encouraged the development of web-oriented GIS architectures.

In this paper we present the implementation of a *general purpose framework* devoted to support the research activities through WebGIS applications finalized to share results with scientific community, decision-makers and/or other stakeholders.

The architecture proposed as well as the user interface have been implemented using open source tools in order to guarantee the web application sustainability and the implementation of customized geospatial functions required by research projects.

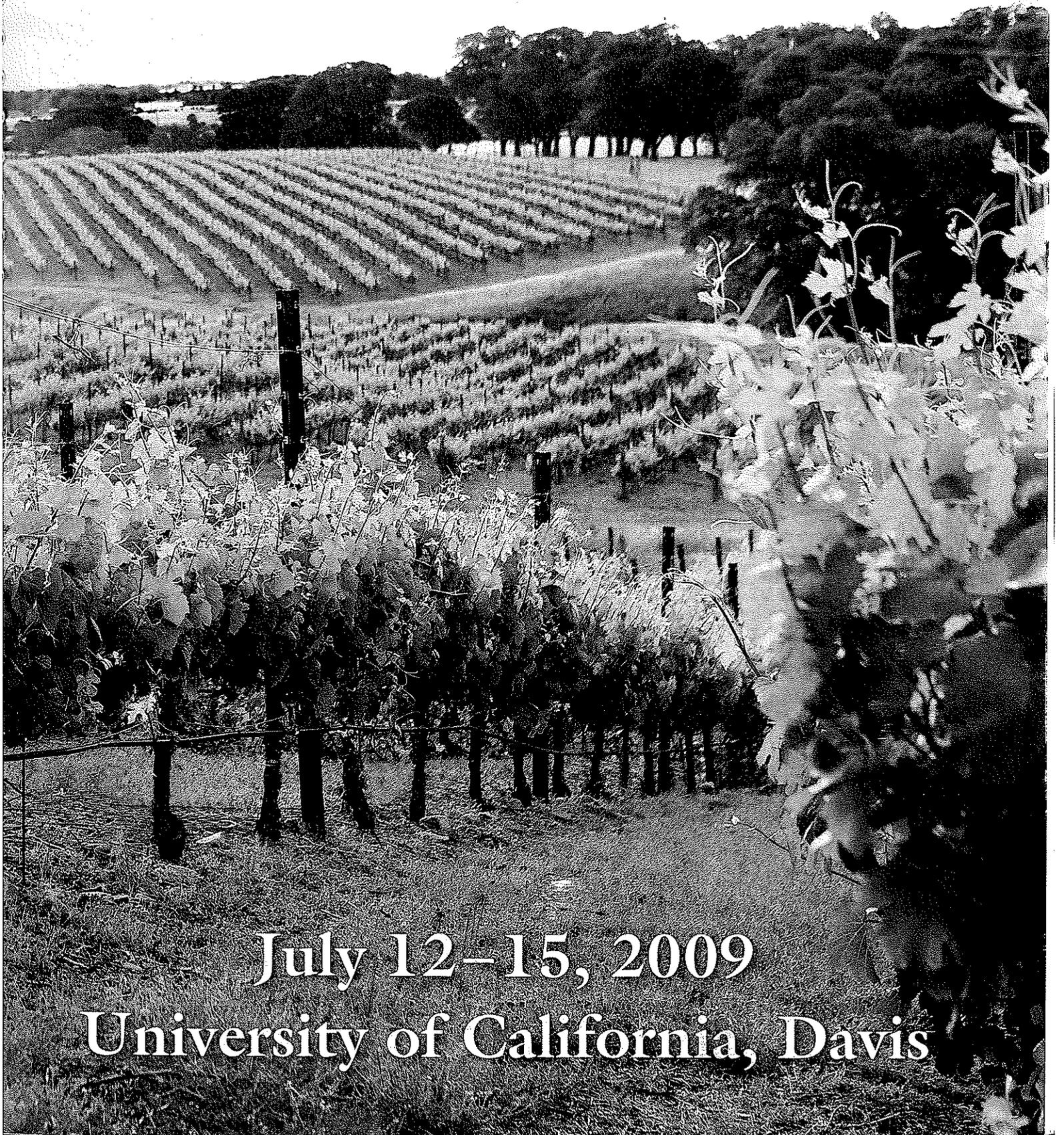
The framework is composed by a WebGIS application (WGViewer) developed using PHP/Ajax technologies and based on KaMap (0.2) project. The GUI with analysis and querying functions are completely customizable using a system database through which the application is able to work with many different profiles and datasets. The PHP application is able to access and manage spatial data through MapServer library and its php_mapscript wrapper.

The framework can manage different projects at the same time and can access to specific Geo Databases; datasets can be composed by georeferenced files or stored into a PostgreSQL/PostGIS DBMS.

The main services include a WMS and a metadata catalogue, a J2EE application based on GeoNetwork project.

The Kyoto Observatory geoportal of Tuscany Regional Government is one of scientific projects where this framework has been used in order to store, visualize and integrate datasets of CO₂ carbon balance at different spatial and time scales. This web application has been developed to monitor the response of ecosystems to the inter-annual climate variations implementing specific queries and grid-based extraction functions.

16th International GiESCO Symposium



July 12–15, 2009

University of California, Davis

MAPPING THE SPATIAL VARIABILITY OF VINEYARD CANOPY USING HIGH-RESOLUTION AIRBORNE MULTISPECTRAL IMAGES

E. Fiorillo - L. Genesisio - F. Maselli - T. De Filippis - B. Gioli - P. Toscano.

IBIMET-CNR, Istituto di Biometeorologia, Via Caproni, 8 - 50145 Firenze, Italy

Corresponding author: Edoardo Fiorillo,

email: e.fiorillo@ibimet.cnr.it

Abstract: Airborne remote sensing applied to vineyards is an innovative tool to obtain valuable information for viticulturists and vineyard managers. This contribution presents a method to collect and analyze high spatial resolution (0.3 m) airborne multispectral images, with the aim of deriving physical variables of the vineyard canopy and specific grape characteristics. Four vineyard experimental areas located in Tuscany (Central Italy) were monitored and images collected in three different periods during the 2007-2008 growing seasons were geometrically and radiometrically corrected and calibrated in order to obtain reflectance data. The normalized difference vegetation index (NDVI) was then calculated, and a semi-automatic procedure was applied to extract the image pixels corresponding to the vineyard canopy. The NDVI values of these pixels were analyzed to evaluate the spatial variability within the canopy and were then related with ground measurements of a set of grape quality parameters. This work is part of a larger project that aims at applying newest technologies to evaluate the influence of different agronomic and enological practices on the final product. The analysis confirmed the capacity of the NDVI high resolution images to provide useful information for driving vineyard management practices.

Vineyards, as other agricultural environments, show a high variability of their characteristics both in space and time (Brancadoro *et al.*, 2006). The factors that define the vineyard environment can be classified as "static", like quantities that describe the soil properties (texture, pH, carbonates, soil depth, ecc...) and "dynamic", like soil temperature, moisture and nutrient content and canopy temperature. Such quantities are driven by the interaction between the atmosphere, the soil and the canopy, and are strictly related to cultural management practices; they show a high spatial and temporal variability which strongly affects the vegetative and productive levels of the vine plants. The cultural practices should therefore be modulated in relation with the spatial variability observed in the field, in order to be linked to the real cultural requirements. The concept of precision viticulture is based on the application of differential management practices based on the characteristics of the cultural environment.

Precision Viticulture (Cook and Bramley, 1998; Pierce and Nowak, 1999) involves the collection of large amounts of data relating to crop performance and the attributes of individual production areas at a high spatial resolution.

Implementation of a Precision Viticulture approach to vineyard management is a continual cyclical process (Bramley and Proffitt 1999, Bramley 2001, Bramley *et al.* 2003, Bramley and Hamilton, 2004) which begins with observation of vineyard performance and associated vineyard attributes, followed by interpretation and evaluation of the collected data, leading to implementation of either targeted management of inputs and/or selective harvesting at vintage.

One of the most powerful tools in precision viticulture is the use of remote sensing (Hall *et al.*, 2003) through its ability to rapidly provide a synoptic view of grapevine shape, size and vigour over entire vineyards. The use of satellite remote sensing, however, is often limited by the low time flexibility and by the inadequate spatial resolution of the main sensors.

The use of airborne multi-spectral remote sensing is quickly spreading, due to the fact that this technology is able to flexibly follow vine growing conditions and the phenological phases, allowing to support operational vineyard management decisions (Lamb, 2000).

Nowadays airborne remote sensing is able to fill in the lack of existing systems allowing to:

Work at high geometric resolutions, down to few centimeters with the possibility to discriminate the canopy information and separate it from the soil contribution of the inter-row space;

Choose the timing of the aerial passages with high accuracy and flexibility, improving the often inadequate sampling frequency of satellite surveys and allowing to avoid cloud cover conditions.

The research presented in this paper makes use of an airborne remote sensing system to monitor four experimental vineyards in the Tuscany region in central Italy. High spatial resolution vegetation index images were acquired and processed to provide information useful to precision viticulture. The results obtained from preliminary analyses of data taken in the 2007 and 2008 growing seasons are presented. New data acquisition technologies are tested to provide information useful for im-

proving the wine quality in a context of integrated management of wine quality, environment and safety.

MATERIAL AND METHODS

THE STUDY AREA

Four vineyards in Tuscany (Central Italy), have been chosen as test sites (Fig.1): Donna Olimpia (Cabernet Sauvignon, 5.28 ha), Brolio (Sangiovese, 1.9 ha), Cortigliano (Sangiovese, 3.9 ha), Cacciagrande (Cabernet Sauvignon, 3.68 ha).

All vineyards are located between 43°30'N and 42°40'N in latitude; one of them (Brolio) is on a steep area with an elevation between 408 and 436 m a.s.l., all the others are on flat areas near the sea.

The region is characterized by a typical Mediterranean climate, mainly affected by Azores and Russian anticyclones and by Mediterranean depressions (Grifoni et al. 2006). Precipitation is concentrated in spring and autumn with a dry period in summer (annual rainfall between 620 and 860 mm). The growing season is characterized by a temperate spring and a hot summer (annual average temperature between 12.5 and 15°C). The soil type of Donna Olimpia is Typic Haploxerepts sandy, mixed, thermic; that of Brolio is Typic Haplustepts coarse-loamy mixed, mesic; that of Cacciagrande and Cortigliano is Aquic Haplustepts, fine, mixed, thermic (ref. : soil map of Tuscany).

EXPERIMENTAL DESIGN

A preliminary flight was carried out at the beginning of the research in order to obtain, for each vineyard, a characterization of the different vigor index areas, essential factor to create the experimental design. The project has been planned to investigate also the agronomic variables that can influence the final product and for this reason, inside each vigor block, experimental parcels were defined and characterized by a combination of different agronomic treatments: early defoliation of the first 6 basal nodes, 1-3 buds per spur thinning, bunch cutting.

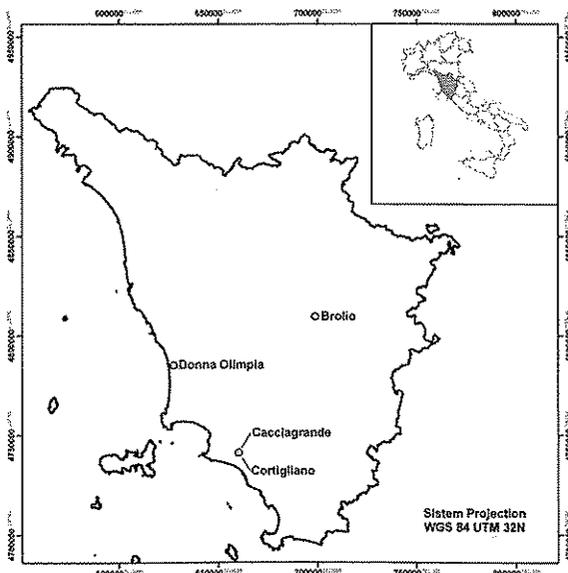


Fig.1 – Location of the experimental vineyards.

AIRBORNE REMOTE SENSING

The current monitoring strategy is based on three flights per year (2007 and 2008), carried out in a period between June and September, which comprises important phenological stages like flowering, fruit set and veraison.

Airborne remote sensing is performed with SKY ARROW 650 TC/TCNS airplane (fig. 2). Simple operations allow lodging and removing the sensors that are positioned on proper plates. This airplane is completely built with carbon and Kevlar and has a 3.5 hours autonomy. It is extremely manageable, flexible and can take off and land from airports and airfields with airstrip length equal to 500 meters. The overflights can be carried out at an altitude between 300 and 400 m s.l.m. The system, that can acquire visible, near infrared and thermic bands, is composed of multispectral, thermic and real color digital cameras.

The images used in this work have been acquired with Duncan Multispectral Camera MS4100 (1920x1080 RGB colors CCD); they have 30 cm spatial resolution and record visible and near infrared bands. Each flight has been radiometrically and geometrically corrected. A radiometric correction process converts the digital number of each pixel (brightness value) into spectral radiance by the application of calibration functions specific for the cameras, derived from a laboratory spectral bench.

ELABORATION AND DATA PROCESSING

The high geometric resolution requires a more accurate orthorectification than usual, also due to the fact that images representing vineyards are difficult to be corrected. Problems are caused by the fact that usually vineyards are situated on morphologically complex areas and by the fact that there are few points suitable like Ground Control Points (GCP). For this reason a high precision survey was executed using a Differential GPS. At the beginning of each summer season, white panels (1*1 m dimension) were placed at known coordinates to facilitate the orthorectification. The orthorectification processes



Fig.2 - SKY ARROW 650 TC/TCNS airplane.

made also use of a Digital Elevation Model (DEM) with a pixel size of 5*5m. This overall processing chain allowed to obtain a spatial accuracy of the processed images lower than 0.30 m, thus ensuring also an accurate multi-temporal comparison at pixel level between different flights.

Without considering the impact of topography and atmosphere, radiance values were converted into apparent reflectance values using the spectral solar irradiances provided by Iqbal (Iqbal, 1983).

The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) has been currently computed by the classical equation:

$$NDVI = (R_{NIR} - R_{RED}) / (R_{NIR} + R_{RED})$$

where R_{NIR} and R_{RED} are the reflectances in NIR and RED bands, respectively (Rouse *et al.*, 1973). Spectral vegetation indexes reduce multi-spectral values of each pixel to a single numeric value (index), and have been developed to show vegetative condition changes (Wiegand *et al.*, 1991; Price and Bausch, 1995).

The NDVI maps are processed to distinguish the canopy from inter-row space. In this research convolution filters with mobile windows were studied and evaluated. They extract the pixel value in the center of the mobile window if this is the maximum value between those inside the window. Four filters with different moving windows (3*3, 5*5, 7*7, 9*9 pixels), were considered. Average values per parcel were extracted from each NDVI map by the use of ArcGIS software.

Ground samples were collected for each experimental parcel by researchers of the Istituto Agrario di San Michele all'Adige (IASMA). The ground data collection was carried out every year following a previously defined experimental design. Chemical analyses were carried out on the obtained musts and skins to determine several wine quality parameters like pH, °Brix and polyphenols at the technological ripening and two weeks later.

STATISTICAL ANALYSIS

The investigation of the effects of environmental and/or agronomic practices on the recorded NDVI values was performed

by applying SYSTAT 9 to compute an analysis of variance (ANOVA) and correlation matrices. Statistical analyses on the NDVI values for the two vine varieties were performed considering the flights of the same period in the two study years as "dependent" factors against "independent" factors like: year, locality, different levels of vigor, different agronomic practices and their interactions. Each flight was represented by 128 and 96 mean parcel values for Sangiovese and Cabernet Sauvignon vineyards, respectively. The first flight in the second year was not carried out due to technical problems. For this reason, the independent factor year and its interactions were not considered in the analysis of variance for this dependent factor. The significance of bunch cutting and its interactions was computed only for the third flight because this practice is carried out in August after the first two flights. Correlation matrices were constructed for each vineyard by computing conventional Pearson coefficients for continuous data.

RESULTS AND DISCUSSION

The application of the spatial filters to poorly grassed vineyards causes an increase of the vegetation index values by removing the signal from inter-row spaces (Tab.1). In general, the larger is the dimension of the filter moving window, the higher is the NDVI average value per parcel with a decrease in variation coefficient (Tab.2). One of the objectives of the whole research is to identify the variability of the production inside the vineyard and to understand if the canopy agricultural treatments influence the grape quality significantly; for this reason a spatial filter that maintains the highest variation coefficients is preferable. Thus, a filter with the smallest moving window (3*3 pixels), was chosen. No filter was found to be suitable to discriminate row from inter-row spaces when the latter are highly grassed, i.e. they have high vegetation index. This happened in the Donna Olimpia vineyard, where the inter-row space in the summer season is invaded by highly vigorous autochthonous weeds that can reach the height of 1 meter.

Block	Vigour	Treatment	Min	Max	Average
Br_1	Low	not filtered	0.161	0.621	0.337
Br_1	Low	filtered	0.201	0.621	0.399
Br_2	Mean	not filtered	0.157	0.737	0.381
Br_2	Mean	filtered	0.220	0.737	0.449
Br_3	Mean	not filtered	0.162	0.710	0.391
Br_3	Mean	filtered	0.213	0.710	0.461
Br_4	High	not filtered	0.249	0.811	0.546
Br_4	High	filtered	0.321	0.811	0.620

Tab.1 - NDVI statistics from filtered and non filtered images for the experimental blocks from the map of the Brollo Vineyard of 18-07-07.

	Filter 3*3	Filter 5*5	Filter 7*7	Filter 9*9
Blocks Average	0,533	0,688	0,717	0,721
Inside C.V.	0,112	0,072	0,061	0,060

Tab.2 - Average NDVI values and variation coefficients of the experimental blocks in the Cacciagrande vineyard of 16-7-08.

Sources Of Variation	Variables					
	Sangiovese			Cabernet Sauvignon		
	NDVI Flight 1	NDVI Flight 2	NDVI Flight 3	NDVI Flight 1	NDVI Flight 2	NDVI Flight 3
Y	-	0.000	0.000	-	0.146	0.000
L	0.000	0.000	0.000	0.053	0.000	0.000
BT	0.730	0.002	0.002	0.538	0.854	0.990
D	0.000	0.166	0.027	0.119	0.826	0.742
BC	-	-	0.005	-	-	0.733
L * Y	-	0.000	0.000	-	0.506	0.000
BT * Y	-	0.464	0.110	-	0.898	0.906
D * Y	-	0.924	0.327	-	0.541	0.900
BC * Y	-	0.831	0.631	-	0.782	0.791
BC * L	0.723	0.732	0.112	0.162	0.274	0.378
D * L	0.008	0.055	0.001	0.034	0.969	0.653
BT * L	0.784	0.938	0.019	0.366	0.981	0.254
D * BT	0.002	0.309	0.108	0.403	0.097	0.120
BC * BT	0.014	0.068	0.422	0.109	0.065	0.008
BC * D	0.021	0.775	0.384	0.594	0.830	0.690
B (L)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Y * B (L)	-	0.000	0.001	-	0.000	0.274

Tab. 3. - Results from the analyses of variance: significance values from the sources of NDVI variation in the Sangiovese and Cabernet Sauvignon vineyards. The sources of variation considered with relevant interactions are: year ([Y] 2007 and 2008), localities ([L] Brolio and Cortigliano in Sangiovese vineyards; Donna Olimpia and Cacciagrande in Cabernet Sauvignon vineyards), different kind of bud per spur thinning ([BT] 1 or 3 buds per spur), early defoliation of the first six basal leaves ([D] presence or absence of early defoliation), bunches cutting ([BC] presence or absence of bunch cutting), vigour ([B] blocks of the experimental design)

The results of the analysis of variance are summarized in Tab.3. The independent factors year, locality, vigour and their interactions were highly significant for the two varieties ($P < 0.01$) indicating that in the study environment the climatic and geo-pedo-morphologic conditions play a basic role for plant development. Agronomic practices had a different effect on the NDVI values of the two grape varieties. Vineyards planted to Sangiovese were found to be sensitive to the agronomic practices and to their interactions with other factors, with the exception of the early defoliation practice that did not affect any NDVI vineyard mean value; this is due to the fact that aerial im-

ages are able to record differences on the high canopy and not differences due to practices that work on the basal nodes. This "sensitivity" of Sangiovese is one of the reasons for which it is the preferred grape variety in heterogeneous environments like that of Tuscany. NDVI values for vineyards planted to Cabernet Sauvignon were found to be not affected by agronomic practices, with the exception of the third flight that was influenced by the interaction of bunch cutting and bud thinning.

The results of correlation analyses between NDVI values and grape quality parameters are shown in Tab.4. These results were in accordance with what expected, with negative corre-

			Technological Vintage			Late Vintage		
			°Brix	pH	Polyphenols	°Brix	pH	Polyphenols
Sangiovese	Brolio	NDVI Flight 1	-0.408	-0.412	-0.379	-0.405	-0.113	-0.287
		NDVI Flight 2	-0.512	-0.504	-0.538	-0.457	-0.152	-0.407
		NDVI Flight 3	-0.547	-0.443	-0.546	-0.467	-0.093	-0.442
	Cortigliano	NDVI Flight 1	-0.439	-0.469	-0.483	-0.323	-0.158	-0.293
		NDVI Flight 2	-0.346	-0.48	-0.305	-0.425	-0.169	-0.359
		NDVI Flight 3	-0.306	-0.509	-0.294	-0.494	-0.316	-0.273
Cabernet Sauvignon	Donna Olimpia	NDVI Flight 1	0.186	0.113	0.178	0.093	0.379	0.147
		NDVI Flight 2	0.063	0.233	0.321	0.19	0.4	0.126
		NDVI Flight 3	0.133	0.152	0.408	0.258	0.38	0.219
	Cacciagrande	NDVI Flight 1	-0.263	-0.099	-0.363	-0.443	-0.249	-0.191
		NDVI Flight 2	-0.505	-0.387	-0.433	-0.567	-0.419	-0.173
		NDVI Flight 3	-0.513	-0.355	-0.435	-0.574	-0.368	-0.276

Tab.4 – Correlation matrix between the NDVI values and the grape quality parameters of each vineyard.

lations between the NDVI values and the grape parameters, except for the Donna Olimpia vineyard planted to Cabernet Sauvignon. This last result could be partially explained by the higher spatial homogeneity of the former vineyard with respect to the others. Such homogeneity causes small variations of the examined independent and dependent factors, which might reduce the "signal-to-noise ratio" of the applied analyses. The unexpected behavior of this vineyard can be due also to the previously mentioned spread of weeds, which reduces the efficiency in the observed NDVI values and introduces noise in the correlation analyses.

Another interesting aspect is that in most cases the correlation coefficient for °Brix and polyphenols tends to increase while approaching the vintage. This observation is not valid for pH, that has always the highest correlation coefficient with the second flight. On this basis we can suppose that July is the best period for the acquisition of NDVI images aimed at controlling wine pH.

CONCLUSIONS

The use of the Sky Arrow airplane and the DFR system was found to be flexible, cheap and not complex. The high geometric resolution of the images allows acquisition of important

information about the vegetative condition of the single vine plants. In a complex environment like that of Tuscany, where the climatic and geo-morpho-pedologic characteristics are highly variable and affect the quality parameters, the Sky Arrow can be an efficient instrument to record the variability inside the vineyards and to monitor the seasonal NDVI trends related to different vigor areas.

The digital filters developed in this research allowed an efficient extraction of NDVI values relative only to the vine rows, increasing the value of the information obtained by aerial remote sensing.

The analysis of variance showed that the environment, the climatic seasonal trend and their interactions affect significantly both Sangiovese and Cabernet Sauvignon NDVI vineyard values. The agronomic practices were significant only in the vineyards planted to Sangiovese, with the exception of the early defoliation practice that did not affect any NDVI vineyard mean value.

Correlation matrices built between NDVI mean values and grape quality parameters indicated that there are logic correlations between these factors and that these correlations tend to increase with the advance of the season. This is less the case for vineyards which are grown in very homogeneous environmental conditions or are invaded by weeds, since in this case NDVI

variations can be poorly representative for relevant variations in vine quality.

The next research activities will be oriented to better understanding the dynamics emerged in the first two study years by integrating remote sensing and quality grape indicators with agro-meteorological and pedologic parameters. Another objective of the research will be to define remote sensing indexes of vineyard enological capacities in a context of a "terroir" model (Fregoni *et al.*, 2003)).

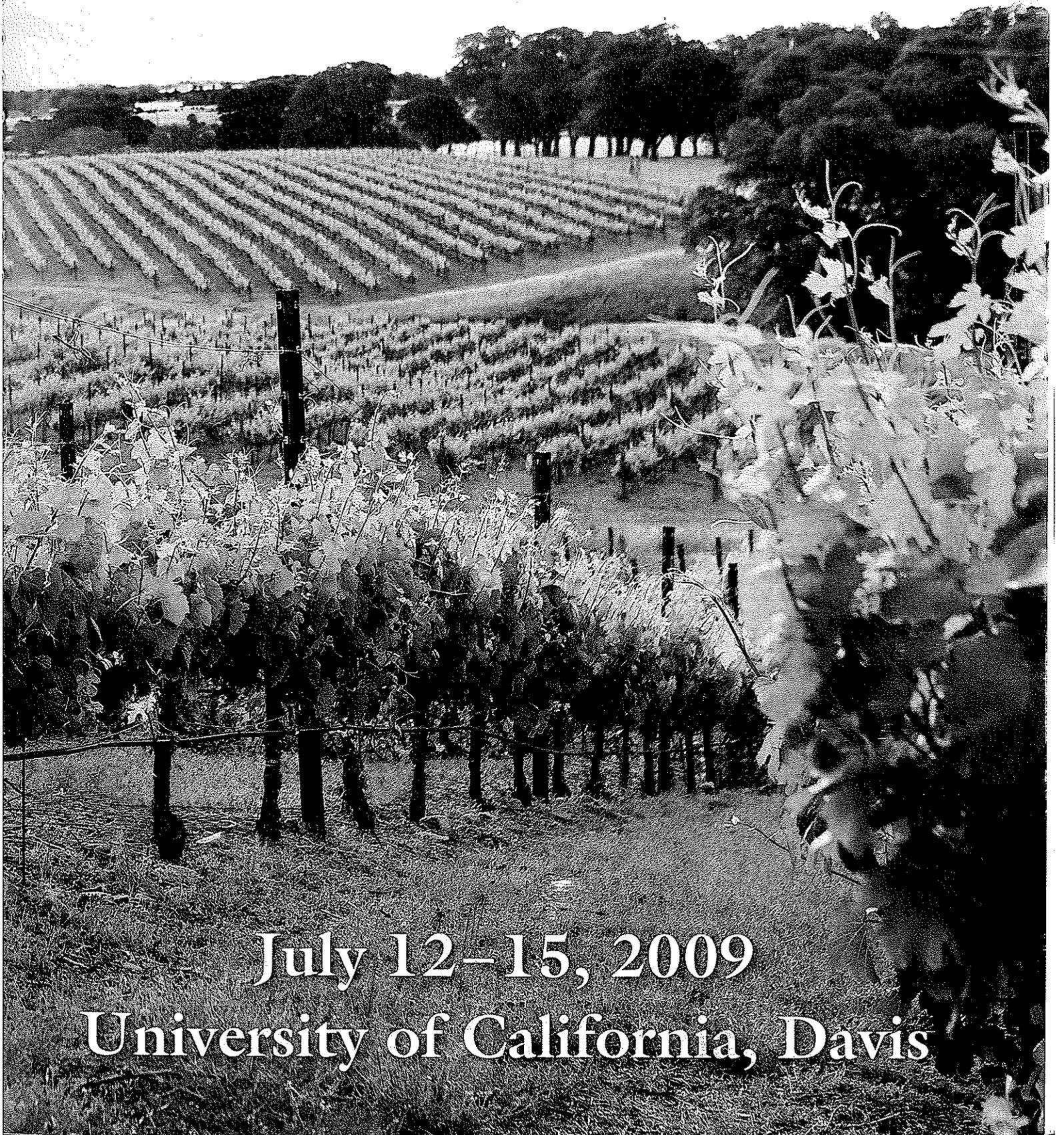
ACKNOWLEDGEMENTS

The investigation was conducted within the Consorzio Toscana Research Project. The authors want to thank the project partners Stefano Pedò and Roberto Zorer (IASMA) for sharing the data of grape quality surveys and Stefano Benedettelli (University of Florence) for his helpful suggestions about the statistical analyses.

LITERATURE CITED

- Bramley R.G.V., Proffitt A.P.B., 1999. Managing variability in viticultural production. *Grapgrower and Winemaker* 427: 11-16.
- Bramley R.G.V., 2001. Progress in the development of precision viticulture – Variation in yield, quality and soil properties in contrasting Australian vineyards. Precision Tools for Improving Land Management. Eds. L.D. Currie and P. Loganathan. Occasional report No. 14: 25-43.
- Bramley R.G.V., Pearse B., Chamberlain P., 2003. Being Profitable Precisely – A case study of Precision Viticulture from Margaret River. *Australian Grapgrower and Winemaker* 473a: 84-87.
- Bramley R.G.V., Hamilton R.P. (2004). Understanding variability in winegrape production systems. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 10: 32-45.
- Brancadoro L., Donna P., Dosso P., Faccincani M., Scienza A., Serina F., Usanza L., 2006. Telerilevamento per un'agricoltura sostenibile. *Atti di Workshop Citimap*: 1-18.
- Cook S.E., Bramley R.G.V., 1998. Precision Agriculture – Opportunities, Benefits and Pitfalls. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 38: 753-763.
- Fregoni, M., D. Schuster, and A. Paoletti. 2003. *Terroir Zonazione Viticoltura*. 648 pp. Phytoline, Rivoli Veronese, Verona.
- Grifoni D., Mancini M., Maracchi G., Orlandini S., Zipoli G. (2006). Analysis of Wine Quality Using Meteorological Information. *Am. J. Enol. Vitic.* 57:3
- Hall A., Louis J., Lamb D., 2003. Characterizing and mapping vineyard canopy using high-spatial-resolution aerial multispectral images. *Computer & Geosciences* 29: 813-822.
- Iqbal M., 1983. *An introduction to solar radiation*. Toronto: Academic Press.
- Lamb D.W., 2000. The use of qualitative airborne multispectral imaging for managing agricultural crops – A case study in southeastern Australia. *Aust. J. Exp. Ag* 40 (5): 725-738.
- Price J.C., Bausch W.C., 1995. Leaf area index estimation from visible and near-infrared reflectance data. *Remote Sensing of Environment* 52: 55-65.
- Rouse J. W. Jr., Haas R. H., Schell J. A., Deering, D. W. (1973). Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. *The 3rd ERTS Symposium, NASA SP-351 1*: 309-17.
- Wiegand C.L., Richardson A.J., Escobar D.E., Gerbermann A.H., 1991. Vegetation indices in crop assessments. *Remote Sensing of Environment* 35: 105-19.

16th International GiESCO Symposium



July 12–15, 2009

University of California, Davis

AN INTEGRATED MULTI-SCALE MONITORING APPROACH TO UNDERSTAND THE RELATIONSHIPS BETWEEN CLIMATE, AGRICULTURAL PRACTICES ON GRAPES QUALITY

A. Matese ¹, F. S. Di Gennaro ¹, L. Genesio ¹, F. P. Vaccari ¹, A. Crisci ¹, A. Zaldei ¹, P. Toscano ¹,
B. Gioli ¹, E. Fiorillo ¹, T. De Filippis ¹, S. Di Blasi ²

(¹) National Research Council - Institute of Biometeorology (CNR-IBIMET), Via G. Caproni 8, 50145 Firenze (Italy)

(²) Consorzio Tuscania - P.zza Strozzi 1, 50123 Firenze (Italy)

Corresponding author: Alessandro Matese - e-mail: a.matese@ibimet.cnr.it

Abstract: Meteorological and micro-meteorological variables play an important role on the growth-yield response of grapevine and as a consequence on quality of productions.

Since growing regions are characterized by their climate, many authors have investigated the effects of weather related factors, such as temperature and pluviometry, on the best vintage definition. Moreover, they have found that the influence of management practices on grape quality, tends to be show a interannual variability in function to the dynamic of seasonal weather pattern.

The purpose of the work is to investigate how specific the agronomical practices widely applied in canopy management (i.e. bud load, early leaf removal, bunch thinning) by farmers could have directly and indirectly an influence on the grape quality.

The research was carried out in four vineyards located in three different geographical areas of Tuscany. Randomized block field scheme has been adopted in homogeneous areas for vigour inside each vineyard. A local sensor network based on wireless technology (4 base station and 40 peripheral wireless nodes located in the vineyards) was developed and installed in order to acquire main micrometeorological parameters. Vineyard spectral vegetation indexes were analysed in different time steps along the growing season by high-resolution (30cm) airborne images in order to highlight variability in canopy development and to establish a correlation with management practices. Agrometeorological measurements and vegetation index calculated from airborne images, were compared with the analysis of the grape at harvest.

This study gives an overview of the technical solution adopted in the multi-scale monitoring approach and presents the preliminary results of the on-going research in four experimental vineyards.

Modern viticulture can be considered as a sort of precision agriculture, where different management among the different vineyards and within the vineyard is now recognized as a prerogative for a quality production. Precision viticulture, therefore, must necessarily take into account in order to manage the quality the interactions occurring in vineyard between plant physiology and the environmental factors. In modern environmental monitoring technology, has been developed several tools for land classification such as remote sensing storage and analysis of statistical data and Geographic Information Systems. Other technologies are useful for the weather parameters monitoring and for data transmission and storage. Today is possible to achieve much information from farm system, and this one is can be used in an integrated way to offer at the grower a comprehensive view of the status of cultivations in order to lead a better management of interventions and to obtain the prefixed target in quality production, in respect of environment and its sustainability.

In particular, the knowledge of the qualitative and quanti-

tative level of production before ripening provide a best planning for harvest activity.

The novel WSN technology (Wireless Sensor Network) have shown its usefulness and it could be considered an efficient tool allowing a true real-time monitoring to optimize both the quality of production and the production processes (Pierce et al., 2007). The WSN is a network of nodes equipped with sensors. These ones transmit collected information using a radio connection to a mother node device called base station and its task consist in data storage. The NAV system (Vineyard Advanced Network) is a specific WSN device that could be installed in a vineyard. It is designed and realised by Institute of Biometeorology, CNR (Consiglio Nazionale delle Ricerche). The prototypal system has been realised for the aims of Consorzio Tuscania Project, with the task to monitor and collect agrometeorological parameters in order to study the effect of different management practices on grape quality.

Besides, we have coupled another innovative technology, installed on a airborne platform, for to achieve auxiliary remote

sensing measurements. Multispectral remote sensing is a tool widely used at local and global scale in land surveys (Dobrowski et al., 2002). It's well known that the continuous advances in processing of remote sensed data and the increasing number of sensors generally used, allows a more performing use of remote sensing for the most kind of spatial applications. For example DFR system (Duncan-Riegl-Flir) installed on a Sky-Arrow platform has been developed for the acquisition of high resolution multispectral images and in recent years is become as a powerful tool in precision farming, especially in viticulture. The application of satellite images in precision agriculture (Bramley, 2001) is limited both by the narrow spectral range than in time, while the high spatial and temporal resolution is a standard feature of DFR system. It is able to assess vine phenological stages and their status in vigour. The spatial resolution of the DFR (0.3 m to 8 m at the flight altitude of 4000 m) allows to discriminate small spatial details such as inter-row of a vineyard and the spectral resolution is more performing in respect to the traditional vegetation indices.

These technologies are able to produce a large set of information at different levels and different scales, which necessarily must be integrated. Obviously in operative context an integrated approach it is necessary to create and maintain a relational database.

MATERIALS AND METHODS

Experimental plot

The experimental plot (EP) was set up in three different areas of Tuscany: Chianti Classico, Montegio di Massa Maritima and Bolgheri on four vineyards of Sangiovese and Cabernet Sauvignon, homogeneous for age, spacing of the vines and training system. The EP was designed using the results given by high resolution (30 cm) multispectral images processing. Homogeneous areas of high, medium and low vigor or photosynthetic efficiency have been yet identified using multispectral images thanks to a preliminary flights. Parcels have been designed within every blocks, where different canopy management were employed (bud load, defoliation, thinning). The combination of the three treatments provide 8 thesis be applied to each vigor block, 85 plants per thesis and 680 plants per block, for a total of 9520 plants on the experimental design.

Vineyard monitoring system

The NAV system was installed on 4 experimental vineyards. The system include a base agrometeorological station called Master, located outside the vineyard, and 40 sensor units called Slave devices (Fig. 1) placed as nodes within the 4 experimental vineyards. Every Slave units had monitored one of the 8 thesis of canopy management. The data collected from the units was acquired by the Slave and Master by radio connection, only to be sent trough GSM modem to the server Data Base which is located in Florence at the Institute of Biometeorology (Fig. 2).

The master manages up to 20 peripheral units per site, with

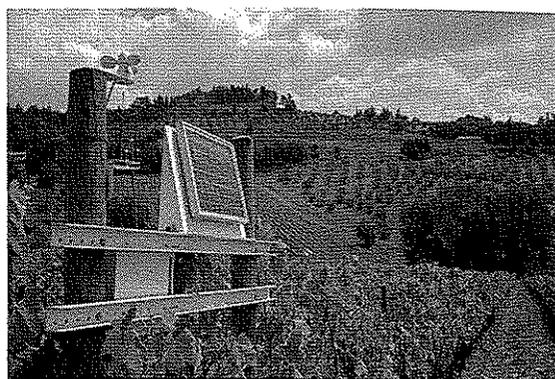


Figure 1: Peripheral wireless nodes (Slave unit) located in the vineyard.

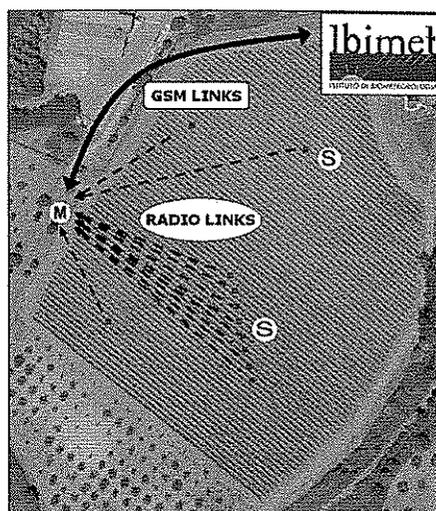


Figure 2: Transmission scheme between Master Unit, Slave Units and Remote Central Server (M=Master Unit; S=Slave Units).

a signal coverage of 200 m. This includes sensors for the measurement of the main agrometeorological parameters such as: air temperature, barometric pressure, humidity, speed and wind direction, global solar radiation and rainfall. The sensors follow the standards provided by the WMO recommendations obtained by "Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation" World Meteorological Organization, 2008). The Slave units are designed to be compatible with the management practices of the vineyard, and to acquire supplementary and useful micro-meteorological parameters such as: canopy infrared temperature, soil water matrix potential measured at two depths (0.3 m and 0.6 m), internal temperature of the bunch, air temperature and surface radiation of the bunch. These one are collected even in order to estimate the variability due to specific vineyard management practices as leaf removal, bunch thinning and bud load. Both base stations and devices are powered using a solar panel and a small battery to assure continuous energy alimentation. The NAV system is also equipped by a system managers software which allows to load the firmware and run the setup of the main functions. Moreover, the software was developed to

allow a robust real-time monitoring of acquisition data.

Remote Sensing

The research activities have included the multi-scale monitoring through the acquisition of aerial imagery (Hall et al., 2002). Airborne remote sensing is performed with SKY ARROW 650 TC/TCNS airplane (Fig. 3). The aircraft is equipped with engine Rotax 100 HP. The flights can be made between 300 and 400 m a.s.l. depending on the type of application requested. The system is equipped with multispectral camera, thermal infrared camera, GPS and GPS / INS, laser altimeter. The images were acquired at a spatial resolution of 0.3 m and 0.6 m. Each sampling was radiometric and geometrically corrected. The radiometric correction converts the digital number of each pixel (brightness value) to a value of spectral radiance using the calibration parameters of the cameras. The GPS and GPS / INS aboard acquire data during flight at high frequency. The flight transect were planned in order to reduce the variation in solar radiation and the shadow effect on the ground, then agreeing to an acquisition under conditions of clear skies and high solar elevation. Airborne images are used to obtain Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) maps. Spectral vegetation indexes reduce multi-spectral values of each pixel to a single numeric value (index), and have been developed to show vegetative condition changes (Wiegand et al., 1991; Price e Bausch, 1995). NDVI is created by transforming each multi-spectral image pixel according to the relation:

$$(R_{NIR} - R_{RED}) / (R_{NIR} + R_{RED})$$

where R_{NIR} and R_{RED} are the reflectances in each band, respectively (Rouse et al., 1973).



Figure 3: Sky Arrow 650 Tc/Tcns aircraft.

Geodatabase and geoportal (storage, management and data accessibility)

The geodatabase was designed to store, manage and transfer to the project partners all the geodata and related analytical data, collected during the research activities. Moreover the Geodatabase is the main component on which to develop web services and guide the application of a website that allows access to the geographic area in various type (summary tables, charts, graphs, bulletins, with reference to a geographical area).

The Geoportal is the entry point, on the Web, where all

geodata information and services can be easily visualized and queried. It was composed by three areas

The Viewer: a web application for querying and accessing to GeoData

The GeoDB portal: an interface to manage the GeoDatabase

The Catalogue: a research tool for browsing all data and metadata of the project

RESULTS AND DISCUSSION

The full set of components previously described can be considered an integrated system. The products of this system consist in a comprehensive framework provided by individual modules, where is possible to find different sources of information such as multispectral images, blocks images and experimental georeferenced plots, agrometeorological data acquired from weather stations of the NAV, vegetation indices calculated pixel by pixel, maps of soil surveys (electrical conductivity, texture and ability to field), maps of quality grapes and eco-physiological information. This integrated approach allows the extraction of information on many points within the vineyard through overlapping layers of geo-related information, both continuous variables (meteorological data) and environmental factors of vineyard (i.e. soil and topography). The system allows to carry out a multi-factorial analysis within each parcel of vineyard, with the aim of linking all the variables from the qualitative data verified for single parcel.

The integrated system could be also a useful tool for terroir characterization . The data acquired by the monitoring system on the ground, topography and soil analysis, along with human factors, contribute to a complete characterization of the vine vigor areas. The data derived from remote sensing and proximity sensing framework confirm the topographical definition of these areas linking to the definition of terroir (O.I.V.). This one affirm that the vine vigor areas can be defined geographic areas influenced by the interaction between physical environment (climate and soil), biological interactions and human activities (agricultural practices management).

The resultant of the combined effect of all these variables is

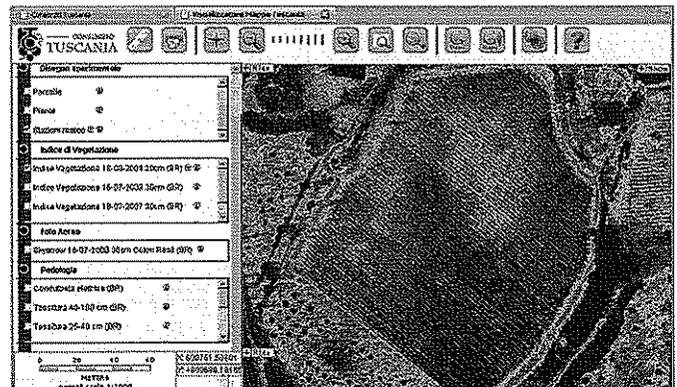


Figure 4: Geoportal for data management and access to geospatial information.

the quality level of the grape.

Therefore, the goal of NAV related surveys is to identify how the management practices are able to provide a best quality level in grapes and wine in the definition of terroir.

Preliminary results have confirmed these affirmations. The classification of homogeneous areas accordingly to vegetation is well correlated with NDVI profile values and have furnished a good indication of blocks location for experimental plot (high, medium and low vigor). The analysis also showed a marked variability intra-vineyard in terms of growth.

Other preliminary analysis based on the meteorological data were made to evaluated which kind of relations exists between a general vineyard climatic signature (land indicator) and other eventual proximal indicators, that have the task to give the feature of every potential microclimatical situation. The land indicator is useful to provide a comprehensive indication

of vineyard climate characterization and can be used to compare the meteorological parameters of different vineyards. This indicator indexes are calculated using the meteorological data monitored by the Master station that is located outside the vineyard. The proximal indicator, instead, give a deep indication of the environmental variability found in areas due essentially to vineyard canopy thanks to micrometeorological data monitored by the Slave units located inside the vineyard.

A climatic profile of land indicator is can be done by bioclimatic indices that are shown in Fig. 5. The Winkler index (Winkler *et al.*,1974), Huglin index (Huglin *et al.*,1978), SET index and Gladstone index (Gladstone, 1992) are calculated for the 4 experimental vineyards.

Another example of a land indicator has shown in the Fig. 6 where the temperature differences between Slave and Master highlight the land indicator and proximal indicator. The figure

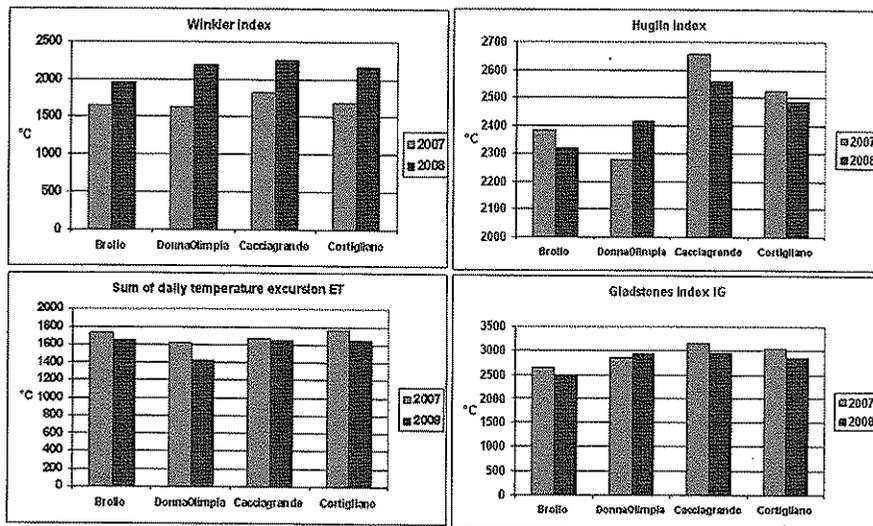


Figure 5: Main bioclimatic indexes calculated for the 4 experimental vineyards

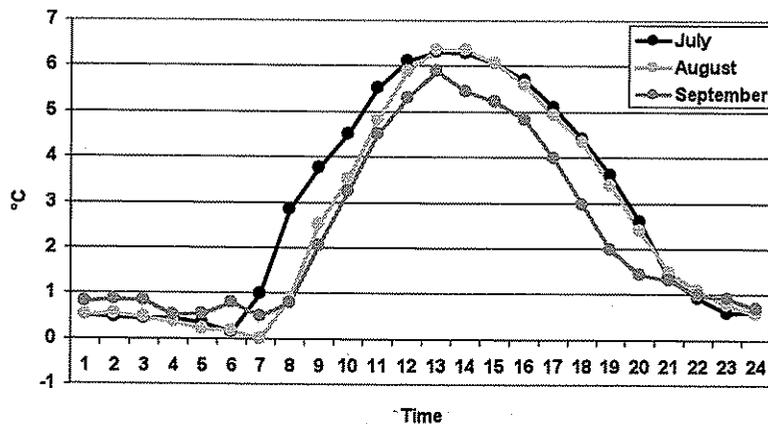


Figure 6 : Average diurnal courses of temperature between Slave units and Master calculated for three months.

6 shows the average diurnal courses of temperature calculated for three months (July, August and September) and point out the difference from Slave and Master temperature reach 6 °C in the central part of the day.

Concerning the analysis of the proximity indicator, the figures 7-8 show examples about the variability of micrometeorological parameters within the vineyard and between agricultural practices management. The figure 7 shows the temperature differences between Slaves and Master, where every Slaves value is characteristic of a canopy management (thesis). While the figure 8 shows the bunch temperature of every Slave. In these figures show the micrometeorological variability is due by in areas with different treatment but located in the same vineyard and which is the climatological difference between the Master (land indicator) and the Slave (proximal indicator).

These tests are still at a preliminary stage and will require further investigations for a better testing in the next years.

CONCLUSIONS

The integrated system responds in exhaustive way to the aim of the Tuscania project, but is also provide a complete multisource system characterized by its flexibility of design, installation and use. The real-time monitoring really allows the best suggestions for to fit the optimal choice in management strategies to obtain quality wines. The system also may allow to topographical identification of different areas in vineyard in terms of microclimate and, therefore, to plan a differentiated harvest. They can also be a source of information used by machinery in

the case of fertilizing, processing and other operations specific to areas of the vineyard..

LITERATURE CITED

- Bramley R.G.V.**, 2001. Progress in the Development of Precision Viticulture – Variation in yield, quality and soil properties in contrasting Australian vineyard. In: Currie L.D. and Loganathan P. (Eds). Precision tools for improving land management. Occasional Report No.14, Massey Univ., New Zealand;
- Dobrowski S.Z., Ustin S.L. and Wolpert J.A.**, 2002. Remote Sensing estimation of vine canopy density in vertically shoot positioned vineyard; determining optimal vegetation index. Australian Journal of Grape and Wine Research, 8: 118-125;
- Gladstone, J.** 1992. Viticulture and Environment. 310pp. Winetitles, Adelaide.
- Hall A., Lamb D.W., Holzapfel B. and Louis J.**, 2002. Optical Remote Sensing applications in viticulture: A review. Austr. J. Grape and Wine Res., 8: 36-47;
- Huglin, P.** 1978. Nouveau mode d'évaluation des possibilités héliothermiques d'un milieu viticole. C.R. Acad. Agric. Fr. 64: 1117-1126.
- Pierce, F.J., Elliot, T.V.**, 2007. Regional And On-Farm Wireless Sensor Networks For Agricultural Systems In Eastern Washington, Comput. Electron. Agri., doi:10.1016/j.compag.2007.05.007.
- Price J.C., Bausch W.C.**, 1995. Leaf area index estimation from visible and near-infrared reflectance data. Remote Sensing of Environment 52: 55-65.
- Rouse J. W. Jr., Haas R. H., Schell J. A., Deering, D. W.**, 1973. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. The 3rd ERTS Symposium, NASA SP-351 1: 309-17.
- Wiegand C.L., Richardson A.J., Escobar D.E., Gerbermann A.H.**, 1991. Vegetation indices in crop assessments. Remote Sensing of Environment 35: 105-19.
- Winkler, A., Cook, J., Kliewer, W. and Lider, L.**, 1974. General Viticulture. 710 pp. University of California, Berkeley.
- World Meteorological Organization**, 2008. Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation, WMO-No. 8, Seventh edition, Geneva.

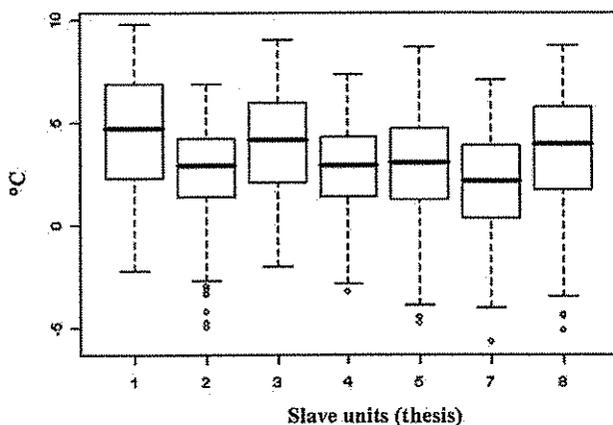


Figure 7. Box plot of temperature differences between Slaves and Master of every Slave units (thesis) for the ripening period.

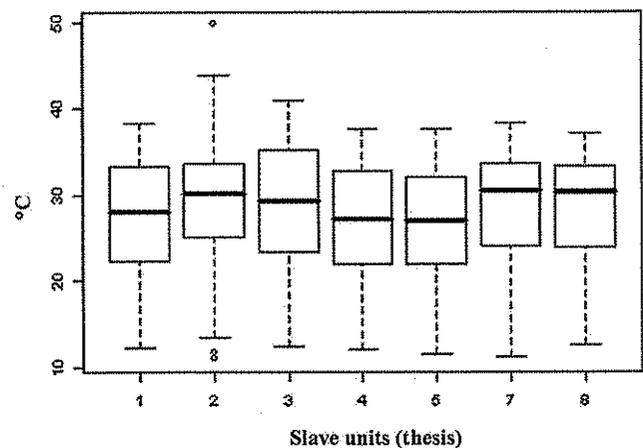


Figure 8: Box plot of bunch temperature of every Slave units (thesis) for the ripening period

Monitoraggio integrato multi-scala dei vigneti: dalla micro-meteorologia al telerilevamento aereo.

L. Genesio, A. Zaldei, A. Matese, F. Di Gennaro, F. P. Vaccari, P. Toscano, B. Gioli, T. De Filippis, E. Fiorillo.

Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto of Biometeorologia (CNR-IBIMET)
via G. Caproni, 8 50145 Firenze (Italia)

Autore di riferimento: e-mail: l.genesio@ibimet.cnr.it

Riassunto

Le variabili meteorologiche e micro-meteorologiche ricoprono un importante ruolo sulla risposta vegeto-produttiva della vite (*Vitis vinifera* L.) e di conseguenza sulla qualità delle produzioni. Nel contesto del progetto di ricerca del Consorzio Tuscania, è stata sviluppata una rete di sensori, basata su tecnologia wireless, al fine di monitorare i parametri micro-meteorologici in differenti condizioni di gestione agronomica dei vigneti. Gli indici spettrali di vegetazione e le condizioni termiche dei vigneti sono stati analizzati in differenti periodi della stagione di crescita con immagini aeree ad alta risoluzione (30cm) al fine di mettere in risalto la variabilità nello sviluppo della chioma all'interno dei vigneti e stabilire una correlazione con le pratiche di gestione agronomica. L'articolo illustra le soluzioni tecniche adottate nell'approccio di monitoraggio multi-scala e presenta i risultati preliminari della ricerca in corso in quattro vigneti sperimentali in tre località in Toscana.

Vineyard integrated multi-scale monitoring: from micrometeorology to airborne remote sensing.

L. Genesio, A. Zaldei, A. Matese, F. Di Gennaro, F. P. Vaccari, P. Toscano, B. Gioli, T. De Filippis, E. Fiorillo.

National Research Council - Institute of Biometeorology (CNR-IBIMET)
via G. Caproni, 8 50145 Firenze (Italy)

Corresponding author: e-mail: l.genesio@ibimet.cnr.it

Abstract

Meteorological and micro-meteorological variables play an important role on the growth-yield response of grapevine (*Vitis vinifera* L.) and as a consequence on quality of productions. In the framework of Consorzio Tuscania research project, a sensor network based on wireless technology was developed in order to monitor micrometeorological parameters on different grapevine management conditions. Moreover, vineyard spectral vegetation indexes and thermal conditions were analysed in different time steps along the growing season with high-resolution (30cm) airborne images in order to highlight variability in canopy development and to establish a correlation with management practices. The paper gives an overview of the technical solution adopted in the multi-scale monitoring approach and presents the preliminary results of the on-going research in four experimental vineyards in three locations in Tuscany.

Tuscania Consortium Geoportal for vineyard precision farming

T. De Filippis, E. Fiorillo, L. Rocchi, F. Straccali, L. Vallebona
National Research Council - Institute of Biometeorology (CNR-IBIMET)
via G.Caproni, 8 50145 Firenze (Italy)
Corresponding author: e_mail: t.de.filippis@ibimet.cnr.it

Abstract

The Tuscania Consortium Geoportal (geographic portal) is the entry point on the Web where geographic information on vineyards research in Tuscany can be easily visualized and queried. The geoportal organizes geospatial data and services through a viewer, a catalogue containing metadata records and a geodatabase where all data and results of Consortium research project are stored. In this paper we present an innovative approach in the development of a geoportal devoted to precision farming practices in order to support the research activities finalized to the identification of vineyard canopy variability and potential grape quality.

The technical solution proposed for the sharing of spatial data and information by optimizing their use in a distributed mode is described.

The web architecture as well as the user interface were developed using open source tools in order to guarantee the web application sustainability and the implementation of customized geospatial functions required by the project stakeholders. MapServer was used with PHP/Ajax technologies to develop all components of Web mapping application and PostgreSQL was used as data warehouse for geodata and alphanumeric data management.

This activity is strongly oriented to the “interoperability” approach of the data sharing. Thanks to web services users can view and analyze updated parameters, indicators derived from airborne remote sensing high-resolution products and reference data to support vineyard precision farming practices.

The goal is also to build a web service to support the operational applications during the grape harvest and provide digital image for mobile device that would be also integrated on farm machines.

Furthermore this application was developed to respond to the requirements of consortium partners concerning the management and analysis of spatial-reference data in order to produce information useful for decision makers in handling wine quality production.

Uso di immagini aeree multispettrali ad alta risoluzione per la generazione di mappe di variabilità della copertura vegetale dei vigneti.

E. Fiorillo, F. Maselli, T. De Filippis, B. Gioli, P. Toscano.

Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto of Biometeorologia (CNR-IBIMET)

via G.Caproni, 8 50145 Firenze (Italia)

Autore di riferimento: e_mail: e.fiorillo@ibimet.cnr.it

Riassunto

Il telerilevamento da aereo applicato al monitoraggio dei vigneti è un innovativo strumento per ottenere valide informazioni utili a viticoltori e agronomi di campo. Questo articolo illustra un metodo per analizzare immagini aeree ad alta risoluzione dei vigneti e stimare le variabili fisiche e le caratteristiche dell'uva. Le immagini sono state raccolte in tre differenti periodi durante la stagione agricola 2007, sono state corrette sia geometricamente che radiometricamente e calibrate al fine di ottenere dati di riflettanza per pixel. È stato successivamente calcolato un indice di vegetazione normalizzato (NDVI) ed è stata applicata una procedura semi-automatica per estrarre i valori di pixel corrispondenti alla sola copertura vegetale delle viti. I valori di NDVI di tali pixel sono stati poi analizzati confrontandoli con le misure quantitative e qualitative effettuate in campo sui grappoli. Queste analisi confermano la capacità delle immagini NDVI di fornire informazioni utili per indirizzare le pratiche di gestione del vigneto.

Variability mapping of vineyard canopy using high-resolution airborne multispectral images.

E. Fiorillo, F. Maselli, T. De Filippis, B. Gioli, P. Toscano.

National Research Council - Institute of Biometeorology (CNR-IBIMET)

Via G.Caproni, 8 50145 Firenze (Italy)

Corresponding author: e_mail: e.fiorillo@ibimet.cnr.it

Abstract

Airborne remote sensing applied to vineyards is an innovative tool to obtain valuable information for viticulturists and vineyard managers. This paper presents a method to analyse high resolution airborne multispectral vineyards images and estimate physical variables and grape characteristics. The images were collected in three different periods during the 2007 growing season, and were geometrically and radiometrically corrected and calibrated in order to obtain pixel based reflectance data. A normalized difference vegetation index (NDVI) was then calculated, and a semi-automatic procedure was applied to extract the image pixels corresponding to the vine canopies. The NDVI values of these pixels were analysed in comparison with ground measurements of grape quantity and quality. This analysis confirmed the capacity of the NDVI images to provide information for guiding vineyard management practices."