



MINISTERO DELLE POLITICHE AGRICOLE
ALIMENTARI E FORESTALI



Gestione Commissariale
ex Agensud



Istituto Nazionale di Economia Agraria

USO DEL SUOLO E STIMA DEI FABBISOGNI IRRIGUI NELLE AREE NON SERVITE DA RETI COLLETTIVE DEI CONSORZI DI BONIFICA NELLE REGIONI MERIDIONALI

Rapporto irrigazione

a cura di

Pasquale Nino e Silvia Vanino

Dedicato ad Andrea

Istituto Nazionale di Economia Agraria

**USO DEL SUOLO E STIMA DEI
FABBISOGNI IRRIGUI NELLE AREE
NON SERVITE DA RETI COLLETTIVE DEI
CONSORZI DI BONIFICA
NELLE REGIONI MERIDIONALI**

a cura di

Pasquale Nino e Silvia Vanino

INEA 2009

Il presente lavoro è stato elaborato nell'ambito del progetto "Attività di assistenza tecnica e supporto agli Enti concessionari nel settore dell'uso irriguo delle risorse idriche", affidato all'INEA dal MIPAAF, Gestione Commissariale ex Agensud.

Lo studio è stato redatto dal personale INEA e da alcuni consulenti esterni, con la supervisione ed il referaggio di un comitato tecnico-scientifico all'uopo costituito, formato da:

Ing. Antonino Casciolo – Funzionario Gestione Commissariale ex Agensud, Responsabile unico del progetto;

Dr. Guido Bonati – Responsabile INEA Servizio 4;

Dr. Pasquale Nino – Coordinatore INEA del progetto;

Prof. Ing. Agostino Farroni – Professore aggregato del corso Idraulica e sistemazioni fluviali presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi dell'Aquila;

Ing. Giacomo Romano – Ingegnere idraulico, consulente della Gestione Commissariale ex Agensud.

AUTORI

Dr. Pasquale Nino ha redatto l'introduzione ed i paragrafi 2.1, 2.4.1, 3.1 e 4.5;

Dr.ssa Silvia Vanino ha redatto il capitolo 1, i paragrafi 2.2, 2.3, 2.4.3 e gli allegati I e II;

Dr. Francesco De Santis ha redatto i paragrafi dal 3.1.1 al 3.1.8;

Dr. Flavio Lupia ha redatto il paragrafo 2.4.2;

Dr. Rosario Napoli (CRA-RPS) ha curato il capitolo 4 e redatto i paragrafi 4.6 e 4.7;

Dr. Massimo Paolanti (consulente esterno) ha redatto il paragrafo 4.1;

Dr. Lorenzo Gardin (consulente esterno) ha redatto i paragrafi 4.2, 4.4;

Dr. Nicola Laruccia (consulente esterno) ha redatto il paragrafo 4.3.

Le elaborazioni GIS sono state curate da Pasquale Nino, Francesco De Santis, Flavio Lupia e Silvia Vanino.

I controlli di campo sono stati eseguiti da Francesco De Santis e Flavio Lupia per le regioni Molise, Campania, Basilicata, Calabria e Sardegna, e dalla società AGRI-IDEA (consulente esterno) per le regioni Abruzzo, Puglia e Sicilia.

Le elaborazioni grafiche relative alle immagini sono state curate da Pasquale Nino, Silvia Vanino e Flavio Lupia.

Coordinamento editoriale

Federica Giralico

Progettazione ed impaginazione grafica

Sofia Mannozi

Presentazione

L'irrigazione rappresenta uno dei fattori fondamentali nello sviluppo dell'agricoltura negli ultimi decenni, non solo perché ha consentito di ottenere produzioni elevate e di qualità, ma soprattutto perché ha reso possibile una flessibilità nella scelta degli ordinamenti produttivi da parte degli imprenditori agricoli, svincolandoli dalla scarsità ed incertezza degli apporti idrici derivanti dalle precipitazioni.

L'impiego dell'acqua in agricoltura, quale mezzo tecnico della produzione, pone delle problematiche peculiari rispetto agli altri fattori produttivi in quanto risorsa naturale e pertanto non producibile industrialmente e per la sua caratteristica di escludibilità nel consumo, che comporta una forte competizione con gli altri usi (civili, industriali, potabili, ricreativi, etc.).

L'INEA, con il servizio "Ricerche su ambiente e risorse naturali in agricoltura" ed in coerenza con gli attuali indirizzi comunitari tesi a garantire un approccio sostenibile alle risorse naturali, realizza studi specifici volti a promuovere un'efficiente gestione delle risorse idriche in agricoltura sia dal punto di vista economico che ambientale. Le attività del servizio pertanto, sono mirate allo sviluppo di strumenti agronomico-territoriali di supporto alla pianificazione e programmazione dell'uso delle acque, in un'ottica di contenimento dei consumi, e ad approfondire gli aspetti di carattere tecnico-ingegneristico, per fornire agli Enti gestori della risorsa un supporto per quanto riguarda le innovazioni tecnologiche adottate nei sistemi irrigui.

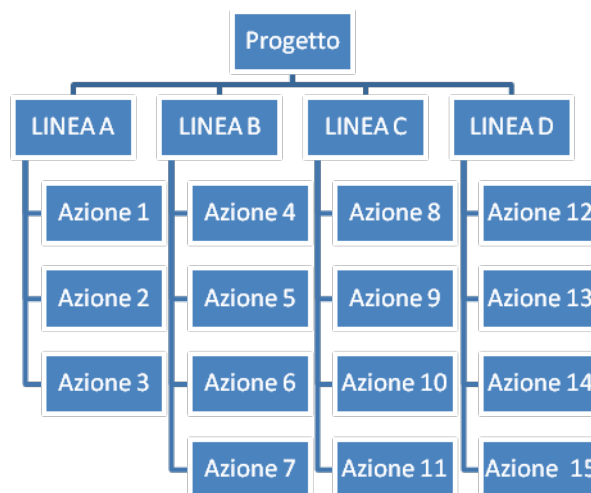
Questo lavoro in particolare, nasce dalla collaborazione tra INEA e Gestione Commissariale ex Agensud, che hanno dato vita al progetto di "Assistenza tecnica e supporto agli Enti concessionari nel settore dell'uso irriguo delle risorse idriche".

Il progetto costituisce la prosecuzione e l'approfondimento di precedenti studi effettuati dall'INEA ("Studio sull'uso irriguo della risorsa idrica, sulle produzioni agricole irrigate e sulla loro redditività", finanziato con le risorse del QCS 1994-1999 nell'ambito del Programma Operativo Multiregionale "Ampliamento e adeguamento della disponibilità e dei sistemi di adduzione e distribuzione delle risorse idriche nelle regioni dell'Obiettivo 1" – sottoprogramma III, misura 3; studio "Assistenza tecnica nel settore delle risorse idriche" linee C, D ed E del Progetto Operativo, facente parte del "Programma Operativo Nazionale Assistenza Tecnica e Azioni di Sistema QCS Obiettivo 1 2000-2006" (PON ATAS) – misura 1.2: Azioni di assistenza tecnica e supporto operativo per l'organizzazione e la realizzazione delle attività di indirizzo, di coordinamento e orientamento delle Amministrazioni Centrali), volti a fornire supporto scientifico, tecnico e operativo alla Gestione Commissariale ex Agensud per ampliare e approfondire le conoscenze sull'agricoltura irrigua nelle regioni meridionali, allo scopo di ottimizzare l'uso delle risorse finanziarie disponibili con l'individuazione degli interventi strutturali a maggiore valenza economica.

Dal punto di vista operativo il progetto è rivolto principalmente al sostegno dell'attività degli Enti operanti nel settore irriguo – Consorzi di Bonifica ed altri soggetti pubblici – ed è articolato nelle seguenti quattro linee direttrici:

- Linea A: studi a carattere territoriale sulle aree irrigue;*
- Linea B: studi ed indagini sull'utilizzo della risorsa idrica;*
- Linea C: elementi e linee guida per la progettazione di impianti irrigui;*
- Linea D: supporto tecnico agli enti concessionari per l'accelerazione degli interventi e per le attività connesse alla gestione degli impianti.*

Ciascuna Linea è articolata in diverse Azioni secondo lo schema seguente:



Nell'ambito delle diverse Linee del progetto sono state sviluppate le seguenti Azioni:

Azione 1 Uso della risorsa idrica, strutture di distribuzione e tecniche irrigue nelle aree non servite da reti collettive dei Consorzi di Bonifica;

Azione 2 – Monitoraggio qualitativo dei corpi idrici utilizzati a scopo irriguo;

Azione 4 Intrusione marina e possibilità di trattamento delle acque con elevato contenuto salino;

Azione 5 – Utilizzo delle acque delle reti di bonifica;

Azione 6 Controllo delle perdite nelle reti in pressione;

Azione 7 Utilizzazione a fini naturalistici degli invasi a prevalente uso irriguo;

Azione 8 Linee guida sulla scelta e l'impiego delle apparecchiature idrauliche, sugli impianti di sollevamento, sugli impianti di filtraggio;

Azione 11 Efficienza e sicurezza delle dighe e piccoli invasi;

Azione 12 Supporto all'attività di rendicontazione;

Azione 14 Supporto all'attività di progettazione;

Azione 15 Analisi di rilevanti esperienze di progettazione a livello internazionale.

L'azione 1 ha dato luogo a questa ricerca, il cui obiettivo principale è stato quello di analizzare un fenomeno scarsamente conosciuto quale quello dell'irrigazione praticata nelle aree extracomprendoriali delle regioni Meridionali (Basilicata, Calabria, Campania, Puglia, Sardegna, Sicilia incluso Abruzzo e Molise).

Il fenomeno interessa tutte le regioni, pur con delle differenze anche notevoli tra le stesse, denotando un'esigenza degli imprenditori agricoli di avere una maggiore flessibilità nella scelta degli ordinamenti produttivi, potendo orientarsi verso produzioni a maggior valore aggiunto

(ortofrutta, viticoltura ecc.), svincolandosi, attraverso il ricorso all'irrigazione, dalla scarsità ed incertezza degli apporti idrici derivanti dalle precipitazioni.

Tuttavia questo tipo di irrigazione, sfuggendo al controllo della gestione pubblica, crea una situazione complessa dal punto di vista del rapporto tra agricoltura e ambiente, in quanto, da un lato la mancanza di risorsa idrica potrebbe avere la conseguenza di abbandono dei terreni da parte degli imprenditori agricoli favorendo processi di degrado dei suoli, dall'altro può influire negativamente su problemi di carattere agro – ambientale quali la salinizzazione delle falde.

Il presente lavoro fornisce un'indicazione sulla localizzazione geografica del fenomeno, che può costituire base di riferimento per approfondimenti di maggior dettaglio volti a localizzare eventuali evasioni e/o prelievi indiscriminati della risorsa e nel contempo permette al programmatore di stimare la propensione da parte delle comunità ricadenti in un territorio attualmente non servito dall'irrigazione pubblica ad affrontare i rischi e gli oneri connessi alla riconversione colturale.

*On. Lino Carlo Rava
Presidente INEA*

*Ing. Roberto Iodice
Commissario Ad Acta
ex AgenSud*

INDICE

Introduzione	1
---------------------	----------

CAPITOLO 1

INDAGINE SULL'USO DELLA RISORSA IDRICA NELLE AREE TEST

1.1 Premessa	3
1.2 La struttura dell'indagine	3
1.3 Risultati	6

CAPITOLO 2

LA CARTOGRAFIA DI USO DEL SUOLO

2.1 Definizione dell'area di studio	13
2.2 Principi base	15
2.2.1 <i>Scala cartografica</i>	18
2.2.2 <i>Definizione unità spaziale di mappatura</i>	19
2.2.3 <i>Unità minima cartografabile</i>	19
2.2.4 <i>Sistema di classificazione e legenda</i>	19
2.2.5 <i>Sistema di coordinate</i>	21
2.3 Dati da elaborare	21
2.3.1 <i>Le immagini satellitari</i>	23
2.3.2 <i>Elaborazione digitale delle immagini (image processing)</i>	23
2.3.3 <i>Materiali ancillari</i>	28
2.4 Procedure ed elaborazioni dati	30
2.4.1 <i>Metodologia utilizzata nella realizzazione della cartografia di uso del suolo</i>	30
2.4.2 <i>Post-processing della copertura cartografica</i>	36
2.4.3 <i>Validazione finale</i>	40

CAPITOLO 3

CONSIDERAZIONI RELATIVE ALL'AGGIORNAMENTO DELL'USO DEL SUOLO

3.1 Copertura uso del suolo nelle aree extracomprendoriali nelle regioni meridionali	47
---	-----------

3.1.1	<i>Abruzzo</i>	54
3.1.2	<i>Molise</i>	54
3.1.3	<i>Campania</i>	54
3.1.4	<i>Puglia</i>	55
3.1.5	<i>Basilicata</i>	55
3.1.6	<i>Calabria</i>	56
3.1.7	<i>Sicilia</i>	56
3.1.8	<i>Sardegna</i>	56

CAPITOLO 4

STIMA DEI VOLUMI IRRIGUI NELLE AREE EXTRACOMPENSORIALI

4.1	Costruzione della banca dati pedologica	72
4.1.1	<i>Cenni di pedologia</i>	72
4.1.2	<i>Le Unità tipologiche di suolo per il progetto carta dei suoli d'Italia</i>	74
4.1.3	<i>Raccolta, armonizzazione ed archiviazione dei dati nella base dati pedologica</i>	76
4.1.4	<i>Pre – elaborazioni sui profili di suolo</i>	83
4.2	Costruzione della banca dati parametri colturali	87
4.2.1	<i>Scenari di strategie irrigue</i>	93
4.3	Costruzione della banca dati agrometeorologica	94
4.3.1	<i>Metodologia</i>	94
4.3.2	<i>Dati utilizzati</i>	94
4.3.3	<i>La tecnica di spazializzazione utilizzata</i>	95
4.3.4	<i>Dettaglio della procedura utilizzata</i>	96
4.3.5	<i>Il calcolo degli indici agroclimatici</i>	97
4.3.6	<i>Classificazione</i>	98
4.3.7	<i>Risultati</i>	98
4.4	Il modello di calcolo dei fabbisogni	101
4.4.1	<i>Riaggancio geografico delle elaborazioni del modello</i>	105
4.5	Risultati	107
4.6	Analisi di alcuni casi-studio di calcolo dei fabbisogni ed apporti sulla base del tipo di suolo, area climatica, coltura e tecnica irrigua	118
4.7	La valutazione di sostenibilità all'uso irriguo su base territoriale	128

4.8	Sviluppi futuri di approfondimento del modello	131
	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	133
	ALLEGATO I	
	Illustrazioni relative all'interpretazione	137
	ALLEGATO II	
	Glossario	147
	ALLEGATO III	
	ALLEGATI CARTOGRAFICI	155

INTRODUZIONE

Il presente rapporto di ricerca risponde all'obiettivo generale di indagare un fenomeno scarsamente conosciuto quale quello dell'irrigazione praticata nelle aree extracomprendoriali delle regioni Obiettivo 1 (Basilicata, Calabria, Campania, Puglia, Sardegna, Sicilia incluso Abruzzo e Molise).

Con il termine area extracomprendoriale si intende, ai fini del presente rapporto, la superficie localizzata al di fuori del perimetro dei comprensori irrigui, cioè di unità territoriali fisico - amministrative servite tutte o in parte da un sistema di opere irrigue, la cui gestione è affidata ai Consorzi di Bonifica.

Si tratta, in sostanza, di aree in cui la pratica irrigua è realizzata attraverso l'autoapprovvigionamento delle risorse idriche da parte delle aziende agricole, mediante all'utilizzo di acqua prelevata da pozzi privati, spesso realizzati senza le autorizzazioni previste dalla legge ed in parte a piccole reti interaziendali, con accumulo della risorsa idrica in invasi privati, oppure al prelievo dai corsi d'acqua con sollevamento più o meno autorizzato.

Il punto di partenza nella realizzazione della ricerca è costituito da una precedente indagine sull'uso della risorsa idrica in agricoltura condotta dall'INEA nel corso dello *"Studio sull'uso irriguo della risorsa idrica, sulle produzioni agricole irrigate e sulla loro redditività"*, finanziato con le risorse del QCS 1994-1999 nell'ambito del Programma Operativo Multiregionale *"Ampliamento e adeguamento della disponibilità e dei sistemi di adduzione e distribuzione delle risorse idriche nelle regioni dell'Obiettivo 1"*.

Tale indagine ha evidenziato come il fenomeno irriguo, nelle regioni Obiettivo 1, sia fortemente diffuso anche al di fuori dei limiti comprendoriali gestiti dai Consorzi di Bonifica.

In particolare è stato realizzato - attraverso il monitoraggio tramite telerilevamento - un data base geografico multiscala sull'uso del suolo (denominato CASI 3) in cui il territorio oggetto di studio è stato stratificato nelle seguenti tipologie:

- Aree di esclusione (a): sicuramente interessate dall'irrigazione (zone al di sopra di una certa fascia altimetrica, terreni al di sopra di una determinata pendenza, aree con uso del suolo non agricolo);
- Aree di inclusione (b): sicuramente interessate al fenomeno irrigazione in quanto ricadenti all'interno dei limiti dei comprensori irrigui,
- Aree extracomprendoriali (c): non comprese nelle due precedenti tipologie.

La definizione di tali aree ha determinato un diverso tipo di approccio e di metodologia di rilevamento di uso del suolo:

- nella zona a) non è stato fatto alcun rilievo;
- nella zona b) sono stati effettuati dei rilievi con scala di maggior dettaglio (1:50.000) con approfondimento delle classi CORINE Land Cover (con definizione di classi di uso del suolo in funzione della pratica irrigua);
- nella zona c) i rilievi si sono basati solo sul telerilevamento (integrati con controlli campione a terra) alla scala 1:100.000.

Con il presente lavoro si è focalizzata l'attenzione sulle aree extracomprendoriali, attraverso una serie di attività volte ad approfondirne la conoscenza dell'irrigazione praticata.

- Acquisizione di informazioni relative alle fonti di approvvigionamento, le colture e le tecniche irrigue adottate dalle aziende, attraverso una campagna di rilievi effettuata in alcune aree test;

- Aggiornamento dell'uso del suolo irriguo nelle aree extracomprendoriali con un approfondimento della scala di lavoro (1:50.000) rispetto alla precedente rilevazione, realizzato tramite interpretazione a video di immagini satellitari in combinazione con ortofoto digitali, con digitalizzazione, sempre a video, dei contorni delle aree interpretate - integrata da rilievi in campo soprattutto per quanto riguarda oliveti e vigneti - riferite alla stagione irrigua 2005;
- Messa a punto una metodologia di calcolo dei fabbisogni irrigui, per diverse combinazioni di suolo-cultura-caratteristiche climatiche e tecniche irrigue. Individuazione di una procedura di calcolo dell'uso sostenibile dell'agricoltura irrigua, quale strumento di supporto nella valutazione di aree "potenzialmente adatte" ad eventuali interventi di strutturazione irrigua.

In considerazione del fatto che le basi dati sia di uso del suolo che pedologiche hanno una continuità territoriale, è stato ritenuto utile effettuare tale valutazione anche per le aree comprendoriali, per potere avere una visione d'insieme della realtà dell'agricoltura irrigua nelle Regioni Meridionali, ed anche per avere un dato geografico di confronto utile per le situazioni già servite da reti irrigue.

Lo studio è organizzato come segue. Nel capitolo 1 si riportano i risultati dell'indagine effettuata nelle aree test. Il capitolo 2 fornisce indicazioni sull'approccio metodologico utilizzato nell'interpretazione e mappatura dell'uso del suolo nelle aree agricole extracomprendoriali. Nel capitolo 3 si presentano i principali risultati derivanti dalla fase di interpretazione. Il capitolo 4 descrive la metodologia adottata nella quantificazione dei fabbisogni irrigui e la valutazione della sostenibilità dell'irrigazione. Il testo è corredato da una serie di allegati. In particolare nell'allegato I sono evidenziati commenti e problemi nella delimitazione e interpretazione delle classi irrigue di uso del suolo, nell'allegato II si riporta un breve glossario di termini tecnici utile per approfondire alcuni argomenti trattati nel testo. Infine, nell'allegato III sono riportate le cartografie di uso del suolo per singola regione.

CAPITOLO 1

INDAGINE SULL'USO DELLA RISORSA IDRICA NELLE AREE TEST

1.1 Premessa

Al fine di poter acquisire una serie di informazioni relative alle fonti di approvvigionamento, alle colture ed alle tecniche irrigue adottate dalle aziende ricadenti nelle aree extracomprendoriali, è stata realizzata un'indagine in campo in 16 aree test (Fig. 1.1). Per la localizzazione delle aree test ci si è basati sui dati della cartografia di uso del suolo prodotta dall'INEA nel corso del POM "Ampliamento e adeguamento della disponibilità e dei sistemi di adduzione e distribuzione delle risorse idriche nelle regioni dell'Obiettivo 1" selezionando le aree sulla base dell'esistenza di rilevanti realtà irrigue extracomprendoriali.

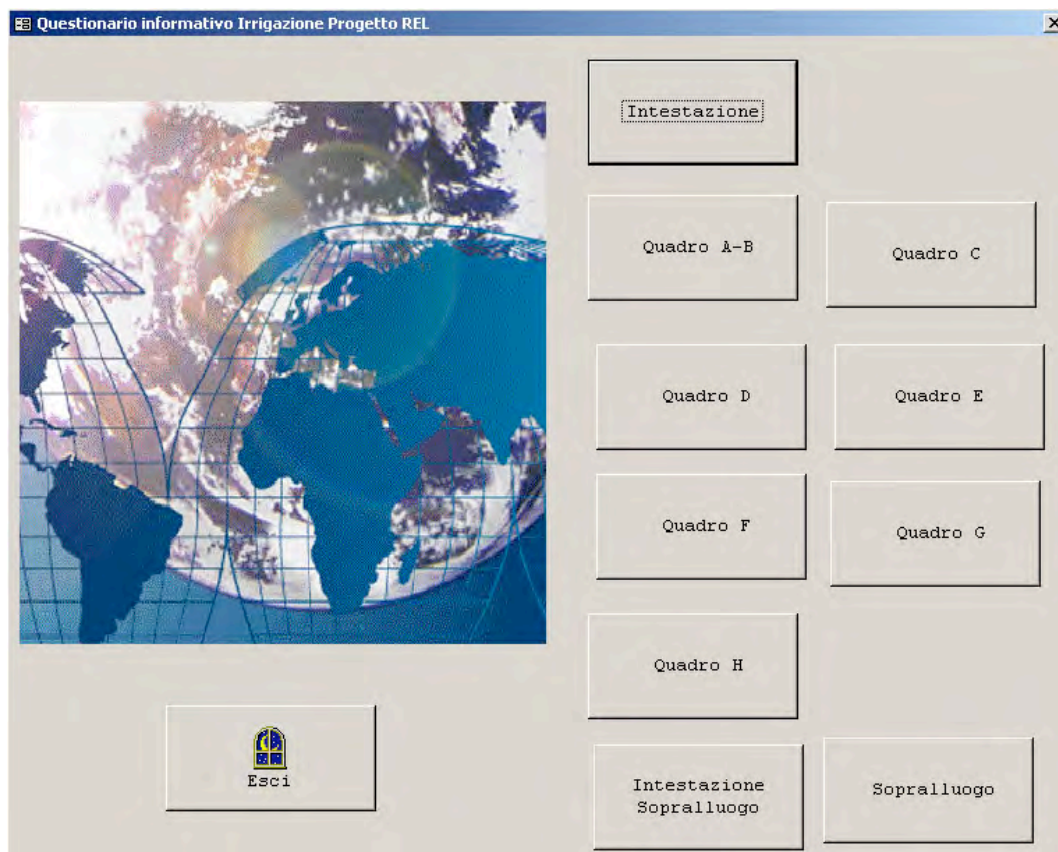
Figura 1.1 – Localizzazione delle aree test



1.2 La struttura dell'indagine

Per acquisire le suddette informazioni è stato realizzato un questionario (Fig. 1.2) da sottoporre ai conduttori delle aziende agricole ricadenti nelle aree test, mentre per l'individuazione delle aziende è stata utilizzata la Rete di Informazione Contabile Agricola (RICA).

Figura 1.2 – Interfaccia del questionario informativo



Il questionario è costituito da 8 sezioni, definite quadri, così suddivisi:

Quadro A-B – Notizie generali sull'azienda

Quadro C – Attività non irrigue

Quadro D – Attività irrigue

Per ogni coltura, sono state richieste all'agricoltore le seguenti informazioni:

- le caratteristiche colturali;
- se le colture sono state irrigate durante la stagione;
- il sistema di distribuzione idrica;
- la pressione di esercizio;
- il momento di intervento irriguo, specificando il metodo adottato dall'agricoltore;
- la data di inizio e fine della stagione irrigua;
- il turno tra due irrigazioni successive;
- la durata dell'irrigazione ed i volumi stagionali.

Quadro E – Impianti di adduzione

1.1. Per ogni tratto di tronco omogeneo, sono state richieste le seguenti informazioni

- il tipo di tronco, il materiale di costruzione, informazioni geometriche (lunghezza del tratto, diametro, la distanza tra i giunti);
 - le portate in ingresso ed in uscita;
 - la presenza o meno del telecontrollo;
 - la presenza o meno di sistemi di sollevamento.
- 1.2. Per ogni pompa presente, si è richiesto di inserire informazioni che riguardano la potenza, il consumo elettrico medio annuo ed il consumo di carburante.
- 1.3. Si sono richieste informazioni riguardo l'anno di costruzione o di ammodernamento anche parziale, dell'impianto.

Quadro F – Approvvigionamento idrico

1. Si sono richieste informazioni per ogni tipologia di fonte aziendale presente, nel dettaglio:

- il nome della fonte;
- il volume annuo prelevato medio;
- la pressione a cui l'acqua è disponibile alla fonte;
- la distanza della fonte rispetto al centro aziendale;
- se esiste uno stoccaggio dell'acqua in azienda;
- il volume medio stoccato, il volume di progetto dell'invaso e la superficie dell'invaso.

Si sono richieste informazioni anche riguardo all'ammodernamento dell'impianto, sulla disponibilità complessiva dell'acqua nell'azienda rispetto al mese più critico e sulla qualità dell'acqua di irrigazione.

Quadro G – Dati economici

In questa sezione vengono chieste all'agricoltore informazioni riguardo le spese sostenute per l'ammodernamento o la costruzione degli impianti di distribuzione ed adduzione idrica, la Produzione Lorda Vendibile media derivata da colture irrigate ed i costi sostenuti per l'acqua di irrigazione.

Quadro H – Altre informazioni

Le risposte a questi campi derivano essenzialmente dal colloquio con l'agricoltore e dalla sua disponibilità.

Inoltre, è stato predisposto un questionario semplificato, sia per sopperire ad eventuali rifiuti da parte dei conduttori delle aziende RICA, sia per poter disporre di maggiori informazioni qualora le aziende RICA non risultassero essere presenti in alcune aree test.

1.3 Risultati

La tabella (Tab.1.1) seguente riporta la ripartizione dei questionari all'interno delle singole aree test.

Tabella 1.1 – Questionari effettuati nelle aree test.

Regione	Area Test	Questionario normale	Questionari semplificati	Totale
Abruzzo	CdB Nord	29	21	50
Basilicata	Vulture Alto Bradano.		14	14
Calabria	Rosarno	29	1	30
	Sibari-Crati	30	2	32
Campania	C.B.I. Volturno	10	102	112
	Sarno	3	48	51
Molise	Destra Trigno	18	10	28
Puglia	Arneo	87	21	108
	Capitanata	28		28
	Terre d'Apulia	81	34	115
	Ugento Li Foggi	65		65
Sardegna	Sardegna Meridionale	50	122	172
Sicilia	Agrigento		11	11
	Catania	2	48	50
	Ragusa	20	103	123
	Siracusa	8	19	27
	Trapani	12	11	23
Totale complessivo		472	567	1.039

Sono stati effettuati 1.039 questionari nelle diciassette aree test, il 45,5% sono questionari normali, mentre i rimanenti 54,5 % sono questionari semplificati. Nelle aree in cui sono state fatte poche interviste agli agricoltori, i rilevatori hanno sopperito a questa mancanza compilando i questionari semplificati.

La tabella 1.2 presenta la distribuzione delle colture all'interno delle aree test. Da una prima analisi si nota che nei territori delle zone extracomprendoriali sono presenti delle specializzazioni colturali. Nelle aree test della Puglia si nota una specializzazione nella vite e nell'olivo, con valori che vanno dal 58 % all'80%, come ad esempio nelle aree test del Consorzio di Catania e del Consorzio di Bonifica Nord (Abruzzo) dove queste colture sono rappresentate rispettivamente per il 68% ed il 30% rispetto al totale delle colture presenti nella loro area. L'area test presente in Basilicata è altamente specializzata nelle colture foraggere, mentre nelle aree extracomprendoriali calabresi sono presenti soprattutto frutteti. Nell'area test del consorzio di Bonifica della Sardegna Meridionale le colture ortive sono le più diffuse con il 40% del totale, mentre in Sicilia c'è una specializzazione delle colture ortive, della vite e dell'olivo.

Colture	Questionario	Abruzzo	Basilicata	Calabria		Campania		Molise	Puglia				Sardegna	Sicilia					Totale Compl.
		CdB Nord	Vulture Alto Bradano.	Rosarno	Sibari- Crati	C.B.I. Vulturno	Sarno	Destra Trigno	Arneo	Capitanata	Terre d'Apulia	Ugento Li Foggì	Sardegna Meridionale	Agrigento	Catania	Ragusa	Siracusa	Trapani	
Cereali da granella	Semplificato	13				3		10											26
	Normale	13		1	9	2		13	4	15	16								73
	Totale	26	0	1	9	5	0	23	4	15	16	0	0	0	0	0	0	0	99
Piante Arboree	Semplificato	5		1	1	33	13	2			7		16	3	15	8	7	2	113
	Normale	4		26	21	3		9	5	3	40	2	18						131
	Totale	9	0	27	22	36	13	11	5	3	47	2	34	3	15	8	7	2	244
Piante Aromatiche e Officiali	Semplificato	1																	1
	Normale							1											1
	Totale	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Piante da radici e da tubero	Semplificato	2						2											4
	Normale	4						11											15
	Totale	6	0	0	0	0	0	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19
Piante Floricole	Semplificato	4					4								2	5			15
	Normale	3		1			1												5
	Totale	7	0	1	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	2	5	0	0	20
Piante Foraggere	Semplificato	12	10		1	43		2					4			1	1		74
	Normale	17		1	1			5	2	1			5						32
	Totale	29	10	1	2	43	0	7	2	1	0	0	9	0	0	1	1	0	106
Piante Oleaginose	Semplificato							3											3
	Normale	1								1									2
	Totale	1	0	0	0	0	0	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	5
Piante Ortive	Semplificato	4	1			11	30	10			1		55		1	65	9		187
	Normale	19		1	3	5	2	9		7	1		66						113
	Totale	23	1	1	3	16	32	19	0	7	2	0	121	0	1	65	9	0	300
Viticultura e Olivicoltura	Semplificato	23	3		1	5		2	28		11		17	10	30	24	2	9	165
	Normale	22		17	16			22	18	40	113	7	7						262
	Totale	45	3	17	17	5	0	24	46	40	124	7	24	10	30	24	2	9	427
Altri terreni SAU	Semplificato					4													4
	Normale	3								1	3								7
	Totale	3	0	0	0	4	0	0	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	11
Totale complessivo		150	14	48	53	109	50	101	57	68	192	9	188	13	48	103	19	11	

Tabella 1.3 – Distribuzione delle fonti all'interno delle aree test

Tipi di fonti	Questionari	Abruzzo	Basilicata	Calabria		Campania		Molise	Puglia				Sardegna	Sicilia					Totale complessivo
		CdB Nord	Vulture A.B.	Rosarno	Sibari Crati	C.B.I. Volturmo	Sarno	Destra Trigno	Arneo	Capitanata	Terre d'Apulia	Ugento Li Foggi	Sardegna Meridionale	Agrigento	Catania	Ragusa	Siracusa	Trapani	
Acque consortili	Semplificati	21	9		2	28		5							1				66
	Normali	11			9	2		16					26						64
	Totale	32	9	0	11	30	0	21	0	0	0	0	26	0	1	0	0	0	130
Acque sotterranee	Semplificati		3	1		79	90	12	18		15		71	10	47	103	19	11	479
	Normali	11		26	18	6	2		10	23	68	62	33			10			269
	Totale	11	3	27	18	85	92	12	28	23	83	62	104	10	47	113	19	11	748
Corsi d'acqua superficiali	Semplificati					15		2					17						34
	Normali	3								1	2		5			1			12
	Totale	3	0	0	0	15	0	0	2	1	2	0	22	0	0	1	0	0	46
Impianti di depurazione	Semplificati							22											22
	Normali																		0
	Totale	0	0	0	0	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22
Laghi artificiali	Semplificati							8						3					11
	Normali	7						5				5			1	2	1	1	22
	Totale	7	0	0	0	0	0	13	0	0	0	5	0	3	1	2	1	1	33
altro	Semplificati	1	2			24								15					42
	Normali				1														1
	Totale	1	2	0	1	24	0	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	43
Totale complessivo		54	14	27	30	154	92	68	30	24	85	67	152	28	49	116	20	12	1022

Tabella 1.4 – Associazione tra tecnica irrigua e colture presenti nelle aree test

Tecnica irrigua	Questionari	Cereali da granella	Piante arboree	Piante da radici o da tubero	Piante floricole	Piante foraggere	Piante oleaginose	Piante ortive	Viticultura Olivicoltura	Totale complessivo
Aspersione	Normali	9	35	15	1	19	1	47	9	136
	Semplificati	7	10	4	3	68		74	8	174
	Totale	16	45	19	4	87	1	121	17	310
Manichetta	Normali		2						25	27
	Semplificati		33		7			67	67	174
	Totale	0	35	0	7	0	0	67	92	201
Goccia	Normali		68		3			50	145	266
	Semplificati		44		5			40	62	151
	Totale	0	112	0	8	0	0	90	207	417
Goccia e pioggia	Normali							5		5
	Semplificati		2							2
	Totale	0	2	0	0	0	0	5	0	7
Condotte in pressione interrata	Normali									0
	Semplificati							1		1
	Totale	0	0	0	0	0	0	1	0	1
Pioggia	Normali							6	3	9
	Semplificati									0
	Totale	0	0	0	0	0	0	6	3	9
Scorrimento	Normali				1			1	3	5
	Semplificati		1			1		1	1	4
	Totale	0	1	0	1	1	0	2	4	9
No irrigazione	Normali	15	5			3			29	52
	Semplificati									0
	Totale	15	5	0	0	3	0	0	29	52
Totale complessivo		31	200	19	20	91	1	292	352	

Dall'analisi della tabella 1.3 dove viene presentata la distribuzione delle fonti di approvvigionamento idrico all'interno delle aree test, si nota che il 73% dell'acqua usata per l'irrigazione in queste aree deriva da acque sotterranee, cioè pozzi, mentre il 13% deriva da acque consortili. Questo ultimo dato si spiega col fatto che alcune aziende RICA, da noi selezionate per la compilazione del questionario, sono servite in parte anche da impianti Consortili.

La tabella 1.4 mostra le diverse colture presenti nelle aree test ed i diversi tipi di tecniche irrigue che si utilizzano. Da questi dati si evince che i cereali da granella nel 48% dei casi non vengono irrigati, oppure vengono irrigati per aspersione, mentre le piante arboree nel 56% dei casi vengono irrigate a goccia. La tecnica irrigua più utilizzata è quella a goccia - usata per i frutteti, i fiori, le ortive, viti ed olivo - seguita dall'aspersione e dalla manichetta forata.

I risultati ottenuti da questi questionari sono una conferma delle ipotesi fatte prima di questo studio: che esiste una specializzazione anche nelle aree extracomprendoriali e che l'acqua utilizzata dagli agricoltori per irrigare in queste zone deriva soprattutto dai pozzi.

Le seguenti foto riportano un piccolo esempio della documentazione fotografica raccolta sia nel corso dei rilievi sia in un'ampia campagna effettuata in alcune aree test (Fig. 1.1).

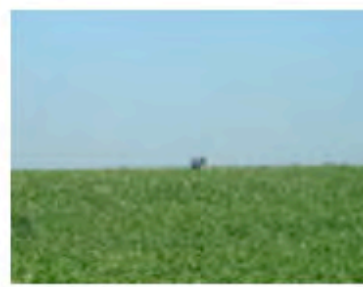
Vigneti irrigati



Oliveti irrigati



Seminativi irrigati



CAPITOLO 2

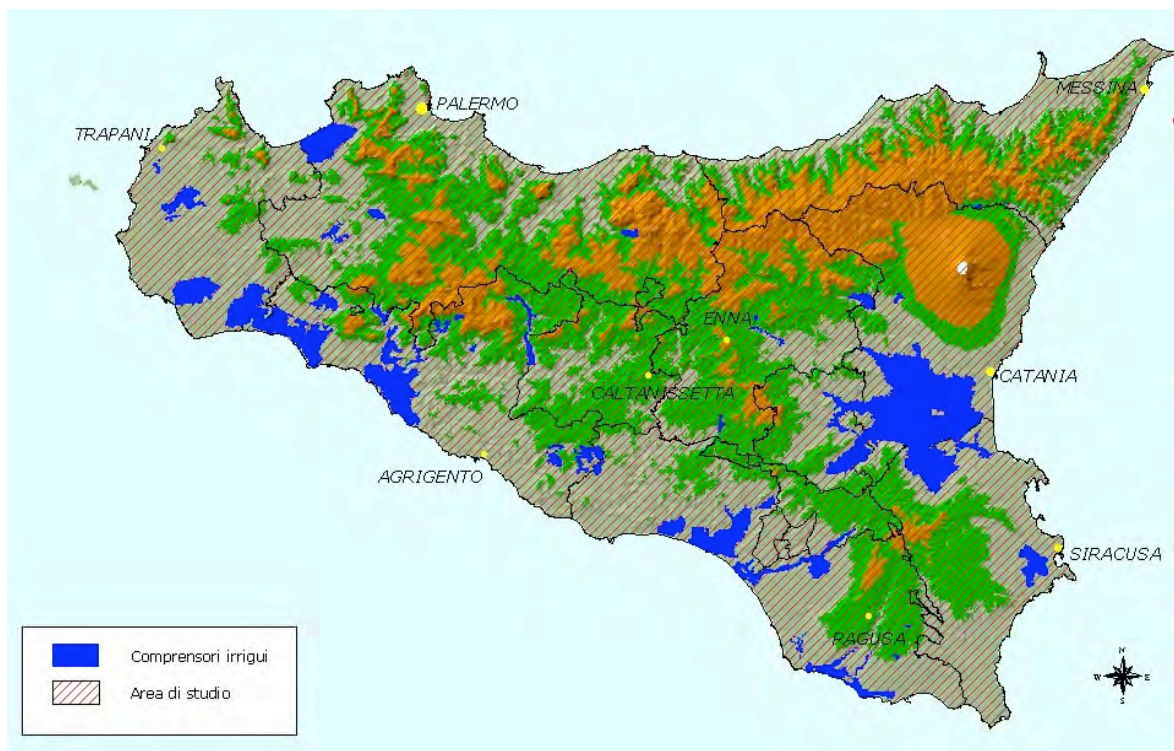
LA CARTOGRAFIA DI USO DEL SUOLO

2.1 Definizione dell'area di studio

L'area di studio è rappresentata dalla superficie agricola localizzata al di fuori delle aree con presenza di infrastrutturazione irrigua gestite dai Consorzi di Bonifica nelle regioni Obiettivo 1 (Basilicata, Calabria, Campania, Puglia, Sardegna, Sicilia, inclusi Abruzzo e Molise). La definizione dell'area di studio ha comportato una serie di passi, articolati nelle seguenti attività:

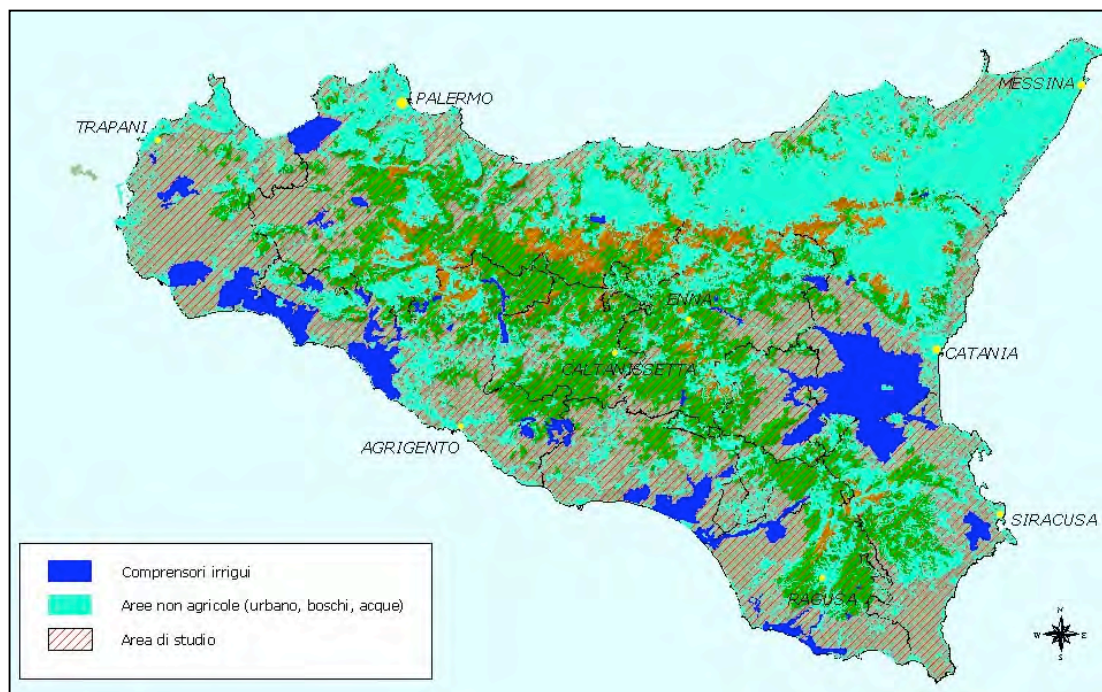
- Costruzione di un layer tematico in cui sono state estratte tutte le aree esterne ai limiti dei comprensori irrigui gestiti dai Consorzi di Bonifica, attraverso l'utilizzazione dei dati presenti nel database geografico realizzato dall'INEA nell'ambito del Programma Operativo Multiregionale "Risorse Idriche" 94 - '99 e denominato SIGRIA (Sistema Informativo per la Gestione delle Risorse Idriche in Agricoltura). In Fig. 2.1 si riporta un esempio relativo alla regione Sicilia.

Figura 2.1 – Prima delimitazione area di studio



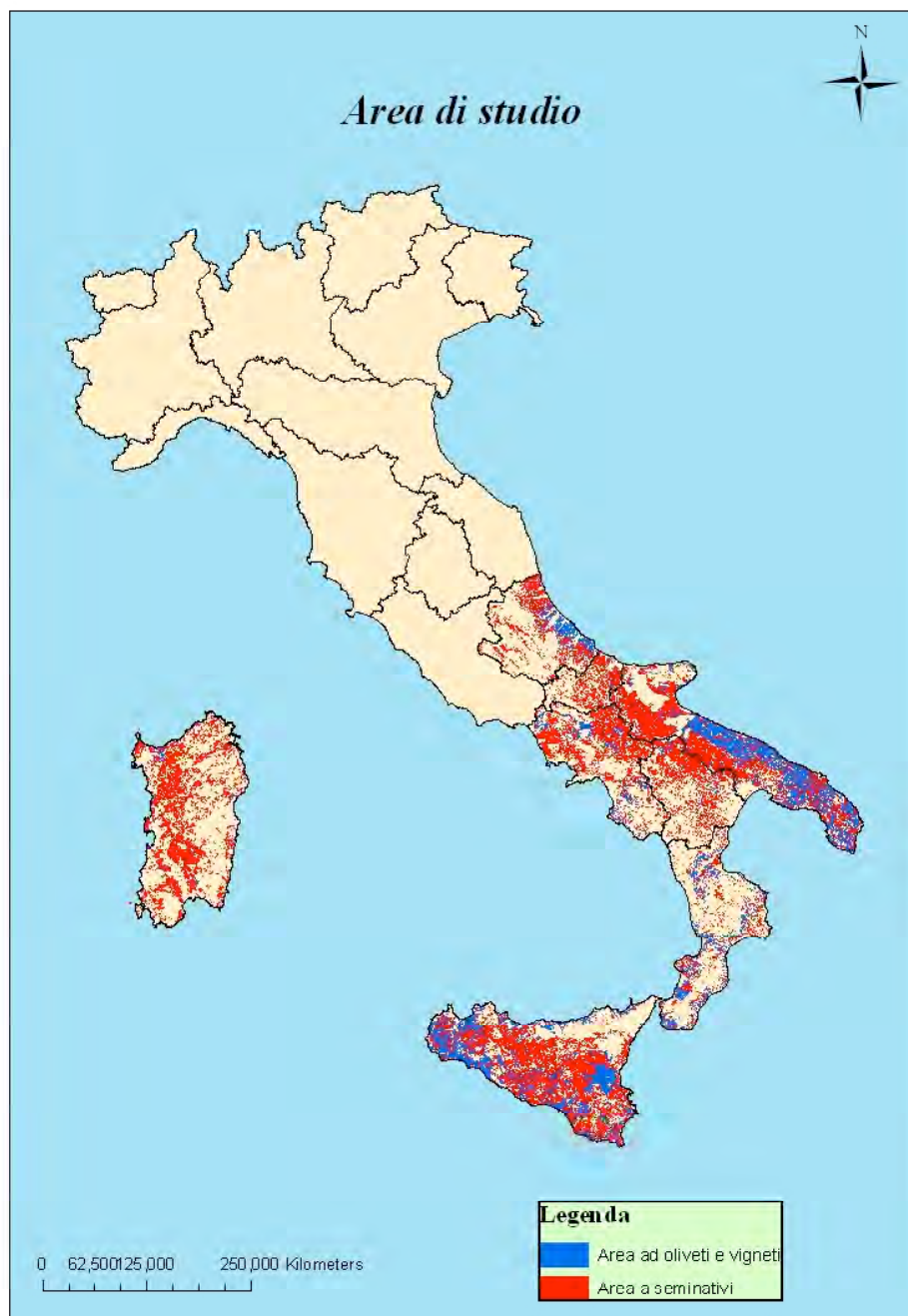
- Intersezione ed estrazione delle aree agricole – seminativi, colture protette, risaie, colture permanenti (vigneti, frutteti e oliveti), prati stabili - dalla cartografia di uso del suolo, prodotta dall'INEA nel citato POM "Ampliamento e adeguamento della disponibilità e dei sistemi di adduzione e distribuzione delle risorse idriche nelle regioni dell'Obiettivo 1" e denominata CASI 3. In Fig. 2.2 si riporta un esempio relativo alla regione Sicilia.

Figura 2.2 – Seconda delimitazione dell'area di studio



Un'ulteriore suddivisione del territorio è stata definita in funzione della metodologia di indagine che si è deciso di adottare. In particolare si sono individuate due tipologie di aree: una comprendente i seminativi ed i frutteti ed una seconda costituita da oliveti e vigneti. Nella prima tipologia si è ricorso in maggior misura alla classificazione di immagini telerilevate ed alla fotointerpretazione manuale, mentre nella seconda si è fatto un maggior ricorso ai rilievi diretti in campo, in considerazione della difficoltà di interpretare l'attributo 'irrigato' dall'analisi di immagini satellitari e/o ortofoto.

Fig. 2.3 - Delimitazione definitiva dell' area di studio



2.2 Principi base

Definita geograficamente l'area di studio, pari a circa 5.300.000 ha, si sono analizzati diversi approcci metodologici per la realizzazione di una banca dati geografica digitale in grado di descrivere l'entità del fenomeno dell'irrigazione nelle aree extra – comprensoriali. In particolare si è tenuto conto delle seguenti necessità:

- Disporre di un supporto informativo aggiornato ed omogeneo su tutta l'area di studio, a costi compatibili con il budget disponibile;

- Individuare una scala di lavoro idonea alla mappatura delle aree irrigate extra – comprensoriali, congruente con l'estensione dell'area di studio ed il tempo a disposizione.

Tra le varie metodologie individuate si è deciso di sperimentare le possibilità offerte dal telerilevamento¹ nella realizzazione di cartografie tematiche, in particolare per la produzione di mappe di uso del suolo. I vantaggi offerti dal telerilevamento sono molteplici:

- Visione sinottica del territorio;
- Osservazione ripetuta e costante, a intervalli di tempo regolari, delle modificazioni delle condizioni agricolo – ambientali del territorio;
- Aggiornata disponibilità dei dati.

Il supporto chiave nella tecnologia del telerilevamento è costituito dalle immagini satellitari, la cui scelta è stata un'attività fondamentale nella predisposizione del progetto, in quanto condiziona tutte le successive fasi del lavoro.

Lo sviluppo della tecnologia spaziale rende oggi disponibili diversi sensori montati a bordo di numerosi satelliti in orbita attorno alla Terra. Al tempo stesso l'evoluzione delle applicazioni informatiche offre strumenti sempre più semplici da usare ed a basso costo, per l'elaborazione delle immagini satellitari, per la loro georeferenziazione e la successiva integrazione in ambiente GIS, dove le stesse serviranno per estrarre informazioni aggiornate sul territorio oggetto dell'indagine.

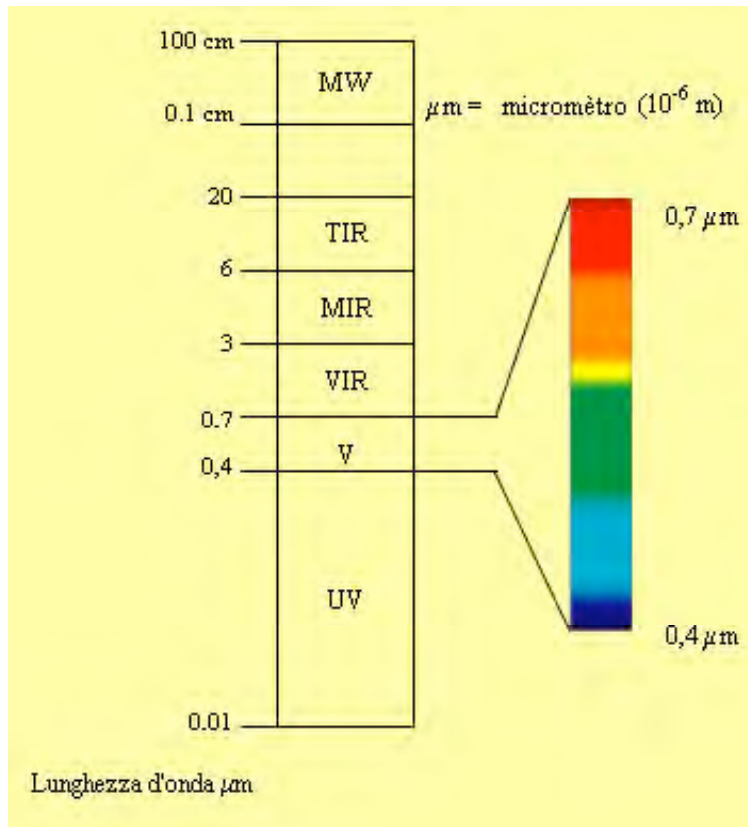
Nella scelta delle immagini si sono presi in considerazione una serie di parametri riguardanti:

1. La risoluzione, che nel campo del telerilevamento interessa le seguenti grandezze:

- Risoluzione spaziale: dimensioni dell'area elementare al suolo in cui si rileva l'energia elettromagnetica; un'immagine telerilevata è costituita da elementi base denominati *pixel* (*picture element*) dalla cui dimensione dipende la risoluzione geometrica, dalla quale deriva la scala di lavoro ottenibile;
- Risoluzione spettrale: intervallo di lunghezze d'onda a cui è sensibile lo strumento, essa influenza la possibilità di analisi spettrale delle superfici investigate. Le regioni dello spettro elettromagnetico (Fig. 2.4) maggiormente utilizzate nel campo del telerilevamento per lo studio delle risorse terrestri sono il visibile (LV) 0,4 – 0,7 μm , l'infrarosso vicino (VIR) 0,7 – 3 μm , medio (MIR) 3 – 6 μm , termico (TIR) 6 – 20 μm , e le microonde (MW) 0,1 – 100 cm.

¹ Con il termine di telerilevamento si intende “l'insieme di tecniche, strumenti e mezzi interpretativi che permettono l'acquisizione a distanza di informazioni qualitative e quantitative su fenomeni o oggetti, senza entrare in contatto con essi”. ed. AIT – *Glossario trilingue di telerilevamento*, Pietro Alessandro BRIVIO - Giovita ZANI.

Figura 2.4 – Regioni dello spettro elettromagnetico maggiormente utilizzate nel telerilevamento.



- Risoluzione radiometrica: minima energia rilevabile dal sensore;
 - Risoluzione temporale: periodo di tempo che intercorre tra due riprese successive di una stessa area, essa influenza la frequenza di aggiornamento dei dati.
2. La copertura geografica di una singola immagine, da cui dipende il numero di immagini necessarie alla copertura dell'area di studio e la mole di lavoro necessaria alla loro elaborazione;
 3. Il costo delle immagini.

Nel presente lavoro si sono prese in considerazione le sole immagini provenienti da sensori di tipo ottico, operanti nel campo del visibile e dell'Infrarosso vicino e medio.

Si è quindi proceduto alla rassegna dei dati satellitari disponibili per l'aggiornamento della cartografia di uso del suolo, analizzando in particolare le caratteristiche dei seguenti satelliti (tab. 2.1):

Tabella 2.1 Caratteristiche dei principali satelliti

	Ikonos	QuickBird	Spot 5	Landsat 5TM
Sensore pancromatico	Si	Si	Si	no
Sensore multispettrale (n° bande)	Si (3)	Si (4)	Si (4)	Si (7)
Dimensione scena	120 km ²	272 km ²	3.600 km ²	32.400 km ²
Risoluzione geometrica sensore pancromatico	0,82 m	0,61 m	5 m	–
Risoluzione geometrica del sensore multispettrale	4 m	2,44 m	10 m	30 m
Periodo di rivisitazione	2,9 giorni a 1 m di risoluzione; 1,5 giorni a 4 m di risoluzione	Da 2 a 5 giorni per acquisizioni 0°-25°	< 26 giorni secondo angolo di ripresa	16 giorni
Costo (€/kmq) ²	14,36	12,77	0,75	0,05
Numero di immagini necessarie	4.320	1.906	144	16

Dopo aver paragonato le caratteristiche tecniche dei diversi satelliti ed i relativi costi, si è scelto di utilizzare le immagini del Landsat TM, perché hanno dei costi relativamente bassi rispetto alle altre immagini satellitari, una maggior copertura del territorio con notevole riduzione del numero di immagini.

2.2.1 Scala cartografica

La scala operativa della cartografia di uso del suolo del progetto è di 1:50.000.

Per superare le limitazioni dovute alla risoluzione geometrica del sensore Thematic Mapper (30 metri) montato sui satelliti Landsat e raggiungere il dettaglio di scala previsto, l'interpretazione delle diverse classi di uso del suolo è stata derivata dall'osservazione delle immagini TM con opportune combinazioni di bande (in genere RGB 432, o 453), mentre la geometria dei relativi poligoni è stata digitalizzata sulle ortofoto digitali in toni di grigio (risoluzione geometrica di 1 metro) affiancate all'immagine satellitare.

La scelta di tale scala cartografica è dovuta alle seguenti ragioni;

- può costituire la base geometrica per la realizzazione di progetti di cartografia sull'uso/copertura del suolo a scala più grande su specifiche aree;
- può essere integrata (attraverso un procedimento di generalizzazione di scala) con database di livello nazionale;
- rappresenta la base per la stima dei fabbisogni irrigui colturali;
- è congruente con i tempi di realizzazione del Progetto e con il budget disponibile.

² I valori sono riferiti al 2005 e ricavati dalla consultazione dei siti web di produttori e distributori autorizzati delle immagini.

2.2.2 Definizione unità spaziale di mappatura

L'unità spaziale di mappatura definisce l'elemento geometrico di archiviazione delle varie classi di uso del suolo e, nel presente caso, è rappresentata dalla forma geometrica del poligono in forma vettoriale. A ciascun poligono è associato l'attributo in forma di codice numerico relativo alla classe di uso del suolo, così come previsto dal sistema di classificazione.

L'unità spaziale di mappatura corrisponde sia ad una copertura omogenea del suolo (foreste, aree urbane, acque) sia ad una aggregazione di piccole aree omogenee in grado di rappresentare la struttura della copertura del suolo (per es. aree caratterizzate da piccoli appezzamenti, ecc).

Le principali caratteristiche dell'unità spaziale di mappatura sono le seguenti:

- rappresenta una forma geometrica adeguata rispetto alla scala di lavoro;
- è ben distinguibile dalle altre unità circostanti;
- è sufficientemente stabile nel tempo.
-

2.2.3 Unità minima cartografabile

L'unità minima cartografabile è pari a 6,25 ha alla scala 1:50.000. Essa è rappresentata da un quadrato di 5 mm di lato. La larghezza minima mappabile, a questa scala, è di 1 mm che corrisponde a 50 m reali. L'errore grafico è pari a 0,2 mm, corrispondente ad un errore sul terreno di 10 m.

Per tutte le regioni l'unità minima cartografabile è di 6,25 ha, fatta eccezione per la Sardegna dove gli oliveti, i vigneti ed i corpi idrici hanno un'unità minima mappabile di 0,5 ha, in quanto si disponeva di dati ancillari aggiuntivi rispetto alle altre regioni.

2.2.4 Sistema di classificazione e legenda

Al fine di realizzare un prodotto inquadrabile in un sistema a diffusione europea, è stata adottata, come base di riferimento, la legenda del Progetto CORINE-Land Cover, che copre attualmente gran parte dell'Unione Europea e parte dei Paesi limitrofi dell'Est europeo e dell'area mediterranea.

Nella scelta del sistema di classificazione si è tenuto conto, da una parte della necessità di collegarsi alla nomenclatura CORINE, dall'altra di adeguarla al livello di dettaglio richiesto per l'individuazione dell'insieme delle colture e delle aree irrigue, attraverso la definizione di un quarto livello relativamente alla classe 2 (territori agricoli), mentre per aree urbanizzate, aree naturali, zone umide, corpi d'acqua la classificazione si ferma al primo livello CORINE.

Nel sistema di classificazione adottato esiste una sostanziale differenza tra il concetto di irriguo nei seminativi e negli arborati. I primi sono, in realtà, superfici irrigate al tempo in cui si riferiscono le immagini satellitari; i secondi sono stati classificati irrigui sulla base della presenza di strutture per l'irrigazione rilevate in loco.

Tabella 2.2 - Legenda

1 Aree urbanizzate
2.1 Seminativi
Superfici coltivate regolarmente arate e generalmente sottoposte ad un sistema di rotazione (cereali, leguminose in pieno campo, colture foraggere, coltivazioni industriali erbacee, radici commestibili e maggesi).
<i>2.1.1 Seminativi non irrigui.</i>
Vi sono inclusi i seminativi semplici, compresi gli impianti per la produzione di piante medicinali, aromatiche e culinarie e le colture foraggere (prati artificiali), ma non i prati stabili. La caratteristica “non irriguo” è riferita al momento della ripresa satellitare in quanto, molto spesso, anche nelle aree attrezzate per l’irrigazione sono praticate colture in asciutto stante la mancanza di acqua.
<i>2.1.2 Seminativi in aree irrigue.</i>
Colture irrigate stabilmente e periodicamente. La maggior parte di queste colture non potrebbe realizzarsi senza l’apporto artificiale di acqua.
2.1.2.5 Colture in serra e sotto plastica
2.1.3 Risaie
2.2 Colture permanenti
Colture non soggette a rotazione che forniscono più raccolti e che occupano il terreno per un lungo periodo prima dello scasso e del reimpianto: si tratta per lo più di colture legnose. Sono esclusi i prati, i pascoli e le foreste.
<i>2.2.1 Vigneti - Superfici investite a vigna.</i>
<i>2.2.1.1 Vigneti irrigui.</i>
<i>2.2.1.2 Vigneti non irrigui.</i>
<i>2.2.2 Frutteti e frutti minori.</i>
Impianti di alberi o arbusti fruttiferi. Colture pure o miste di specie produttrici di frutta o alberi da frutto in associazione con superfici stabilmente erbate. I frutteti di superficie inferiore a 1,5 ha compresi nei terreni agricoli (prati stabili o seminativi) ritenuti importanti sono da comprendere nella classe 2.4.2.
I frutteti con presenza di diverse associazioni di alberi sono da includere in questa classe.
<i>2.2.2.1 Frutteti e frutti minori irrigui.</i>
<i>2.2.2.2 Frutteti e frutti minori non irrigui.</i>
<i>2.2.3 Oliveti.</i>
Superfici investite a olivo, comprese particelle a coltura mista di olivo e vite.
<i>2.2.3.1 Oliveti irrigui.</i>
<i>2.2.3.2 Oliveti non irrigui.</i>
2.3 Prati stabili (Foraggere permanenti)
Superfici a copertura erbacea densa a composizione floristica, rappresentate principalmente da graminacee non soggette a rotazione.
Sono per lo più pascolate, ma il foraggio può essere raccolto meccanicamente. Ne fanno parte i prati permanenti e temporanei. Sono comprese, inoltre, aree con siepi.
<i>2.3.1 Prati stabili irrigui.</i>
<i>2.3.2 Prati stabili non irrigui.</i>
Le colture foraggere (prati artificiali inclusi in brevi rotazioni) sono da classificare come seminativi non irrigui (2.1.1.).
2.4 Zone agricole eterogenee
<i>2.4.1 Colture temporanee associate a colture permanenti.</i>
Colture temporanee (seminativo o foraggere) in associazione con colture permanenti sulla stessa superficie.
Sono comprese aree miste, ma non associate, di colture temporanee e permanenti quando queste ultime coprono meno del 25% della superficie totale.
<i>2.4.1.1 Colture miste con prevalenza di irrigazione.</i>
<i>2.4.1.2 Colture miste senza irrigazione.</i>
<i>2.4.2 Sistemi culturali e particellari complessi.</i>
Mosaico di appezzamenti singolarmente non cartografabile con varie colture temporanee, prati stabili e colture permanenti occupanti ciascuno meno del 75% della superficie dell'elemento cartografato.
Aree prevalentemente occupate da coltura agraria con presenza di spazi naturali importanti.
Le colture agrarie occupano più del 25% e meno del 75% della superficie totale dell'elemento cartografato.
<i>2.4.2.1 Sistemi culturali e particellari complessi con prevalenza di irrigazione.</i>
<i>2.4.2.2 Sistemi culturali e particellari complessi senza irrigazione.</i>
<i>2.4.3 Aree prevalentemente occupate da coltura agraria con presenza di spazi naturali importanti.</i>
Le colture agrarie occupano più del 25% e meno del 75% della superficie totale dell'elemento cartografato.
<i>2.4.4 Aree agroforestali</i>
3 Aree boscate
4 Zone umide
5 Corpi idrici
<i>5.1 Acque continentali</i>
<i>5.1.1 Corsi d'acqua, canali e idrovie</i>
<i>5.1.2 Bacini d'acqua</i>

2.2.5 Sistema di coordinate

Il lavoro è inquadrato nel sistema di riferimento cartografico UTM ED50 con origine Greenwich, di cui nelle seguenti tabelle si illustrano le caratteristiche.

Tabella 2.3 - Sistema di riferimento geodetico

Descrizione degli attributi	Valori	Note
Nome	“ED50”	
Nome completo	“European Datum 1950”	Viene riferito alla compensazione d’insieme delle reti di appoggio Europee
Centro di emanazione	“Potsdam Helmet Tower”	
Latitudine geodetica-gradi, primi, secondi	52°22’51”,4456	Del punto fondamentale
Longitudine geodetica- gradi, primi, secondi	13°3’58”,9283	Del punto fondamentale
Altezza del geoide	0,4 m	
Ellissoide	Internazionale di Hayford	
Semi asse maggiore	6.378.388 m	
Reciproco dello schiacciamento dell’ellissoide	297	
Valido dal	1951	

Tabella 2.4 - Caratteristiche della proiezione

Descrizione degli attributi	Valori	Note
Nome	“ED50”	
Nome	UTM	
Nome completo	Universal Transverse Mercator	
Unità di misura	m	
Fattore di scala	0,9996	
Parallelo standard	Equatore	
Denominazione fuso	32	In questo fuso è inquadrata la Sardegna
Meridiano centrale	9°	
Denominazione fuso	33	In questo fuso sono inquadrati le regioni Obiettivo I
Meridiano centrale	15°	
Direzione degli assi delle ascisse	Est (E)	
Direzione degli assi delle ordinate	Nord (N)	
Falsa origine Est	500 km	
Falsa origine Nord	0	
Zone interessate	32 T, 33 T, 34 T, 32 S, 33 S, 34 S	

2.3 Dati da elaborare

2.3.1 Le immagini satellitari

Per l’individuazione delle aree sono stati utilizzati dati multispettrali a media risoluzione derivanti dai sensori satellitari per il telerilevamento - le cui specifiche sono riassunte nella tabella seguente - del sistema Thematic Mapper (TM) dei satelliti Landsat.

Tabella 2.5 - Caratteristiche del satellite Landsat TM

Specifiche	LANDSAT 5
Sensore	Thematic Mapper (TM)
Intervalli spettrali (μm)	0.45-2.35 e 10.4-12.5 (IR Termico)
Risoluzione spettrale (n° bande)	7
Risoluzione radiometrica	8 bit, 256 livelli
Risoluzione geometrica (m)	30 e 120 (IR Termico)
Risoluzione temporale (giorni)	16
Area ripresa (km x km)	185x185
Dimensione del quarto di scena (km x km)	90x90

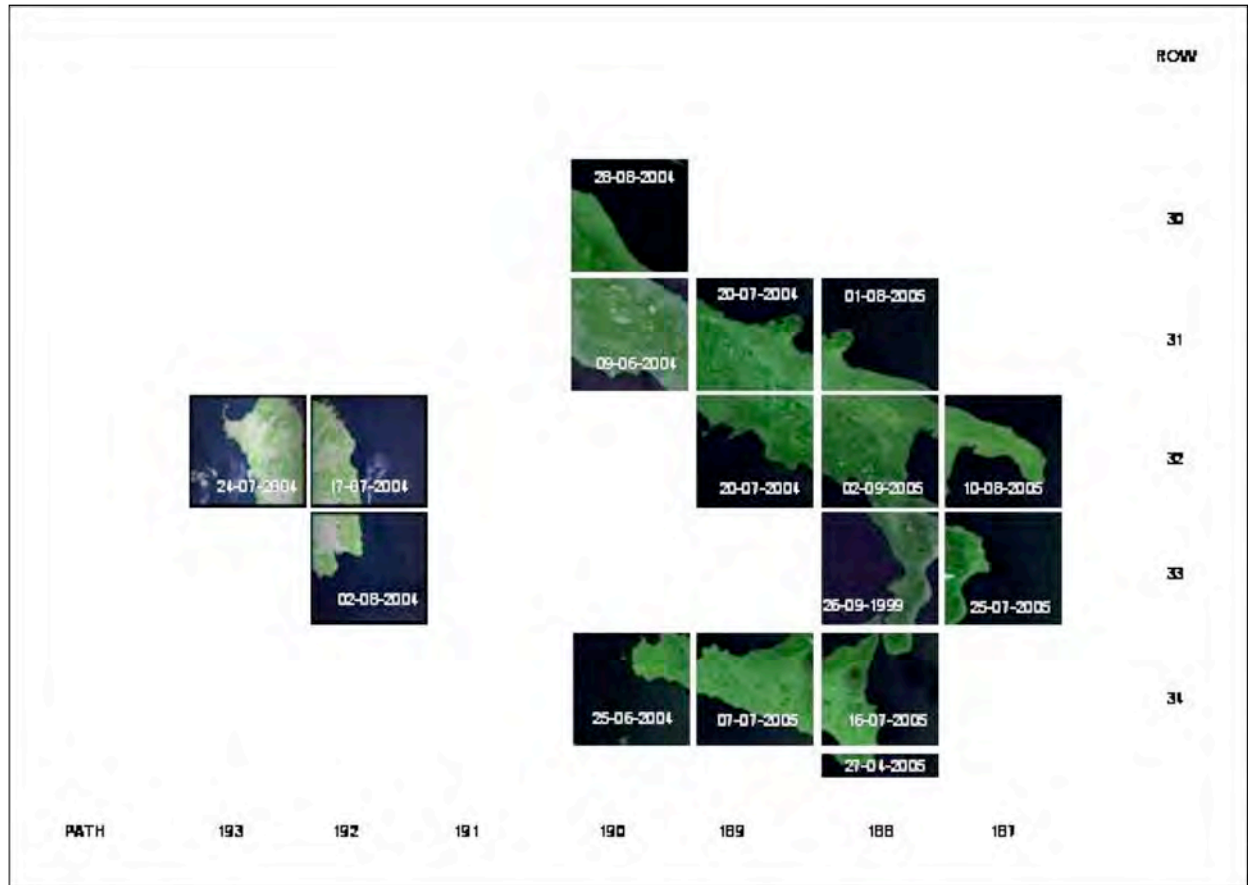
Sono stati quindi selezionati ed acquisiti i dati satellitari Landsat TM relativi alla stagione estiva di anni diversi (compresi tra il 2004 ed il 2005) scelti secondo i seguenti criteri:

- analisi visiva dei “*Quick Looks*” (QLs), sui quali è stata accertata la disposizione spaziale della copertura nuvolosa e sua tipologia (sparsa o concentrata), non superiore al 10%, per le aree ricadenti nell’area di studio, salvo integrazione della parte inaccettabile con altri dati provenienti da diversa/e scena/e Landsat TM;
- momento della ripresa: in considerazione del fatto che la pratica irrigua è adottata, di norma, per sopperire al deficit idrico dovuto alla differenza fra apporti meteorici ed evapotraspirazione, la presenza di vegetazione in aree ad elevato deficit idrico indica il ricorso all’irrigazione, ad eccezione di alcune colture particolarmente arido-resistenti (es. girasole e sorgo tra le erbacee, olivo tra le arboree). Pertanto i criteri adottati nella definizione della finestra temporale di scelta delle immagini sono stati i seguenti:
- Elevati valori del deficit idrico, tale situazione si raggiunge in molte regioni del Mezzogiorno, nel periodo aprile – settembre;
- Assenza di coltivazioni a ciclo autunno-vernino.

Non è stato possibile rispettare completamente i precedenti criteri per tutte le immagini acquisite: in particolare per una zona della regione Calabria si è dovuto utilizzare un’immagine del 1999.

Il seguente quadro d’unione mostra le immagini utilizzate per l’interpretazione (Fig. 2.5).

Figura 2.5 – Quadro d'unione delle immagini satellitari



2.3.2 Elaborazione digitale delle immagini (image processing)³

Un'immagine satellitare è un insieme di elementi organizzati per righe e colonne, è, cioè, una matrice. Ad ognuno di questi elementi, detti pixel, è associato un numero intero positivo (*Digital Number*, DN) che rappresenta la radianza media misurata su una piccola area. Ogni pixel è caratterizzato da tanti Numeri Digitali (DN) quante sono le bande spettrali, oltre alle coordinate-immagine. DN è una grandezza di tipo discreto, infatti varia a seconda del numero di bit che si utilizzano per misurare la radianza. Ad esempio, nel Landsat TM si utilizzano 8 bit per misurare questa informazione e quindi si possono rappresentare 256 diversi livelli di intensità, da 0 a 255.

Al fine di poter estrarre il maggior numero possibile di informazioni presenti nelle immagini satellitari, è necessario effettuare una serie di elaborazioni preliminari:

Georeferenziazione delle immagini e valutazione dell'accuratezza: poiché le immagini telerilevate vengono utilizzate assieme a dati di altre sorgenti, è necessario eseguire un processo di correzione in cui l'immagine in esame è resa geometricamente congruente con il riferimento prescelto, sia esso una carta o un'altra immagine. La georeferenziazione consiste nel posizionare, mediante punti a coordinate note denominati punti di controllo (*Ground Control Point* - GCP), l'immagine raster nella rispettiva zona del

³ Il termine "elaborazione digitale delle immagini" è comunemente riferito a tutte quelle operazioni che sono eseguite su di un'immagine per trasformarla, in modo da rendere più agevole l'estrazione di informazioni riguardanti gli oggetti in essa contenuti.

territorio reale secondo il sistema di riferimento utilizzato nel progetto, eliminando le deformazioni introdotte dal sistema di ripresa ed è indispensabile per la messa a registro delle immagini e la loro mosaicatura. Le immagini sono state acquistate “*system corrected*” in cui le distorsioni geometriche dovute al sistema “sensore-piattaforma-Terra” sono corrette dalla società distributrice dei dati. La georeferenziazione delle immagini è stata eseguita in modo compatibile con il riferimento cartografico UTM ED50 (fuso 32 per la Sardegna e fuso 33 per le altre Regioni), nelle sue fasi di descrizione matematica:

- **Rettificazione:** operazione con cui si trasformano le coordinate (in genere espresse in linee e colonne) di ognuno dei pixel dell’immagine digitale nelle nuove coordinate, i cui valori dipendono dal sistema di riferimento scelto. Il software utilizzato per la georeferenziazione (ENVI) offre differenti tecniche per eseguire la rettificazione, in funzione della tipologia di immagine e dei dati disponibili. E’ stata scelta una tecnica di tipo polinomiale di secondo grado, utilizzando le ortofoto digitali quale supporto per l’identificazione dei punti di controllo il cui numero dipende dalla seguente formula:

$$N^{\circ} \text{ GCP} > (\text{grado} + 1)^2$$

Per eseguire una rettificazione di II° grado occorrono minimo 9 GCP.

L’accuratezza della rettificazione è stata calcolata evidenziando l’errore quadratico medio RMSE (*Root Mean Square Error*), che rappresenta uno standard statistico di misurazione e descrive la differenza tra la posizione di un punto sull’immagine originale e la posizione assunta dal punto in seguito all’inserimento delle coordinate dei GCP, calcolata dalla funzione matematica utilizzata per la rettificazione.

L’RMSE calcolato per tutte le immagini georeferenziate (Tab.2.6), è risultato sempre inferiore a metà pixel (< 15 m).

Tabella 2.6- Esempio di report (parziale) sui GCP e calcolo dell’RMSE

ENVI Registration GCP File					
Image to map round control points					
Warp image: Puglia nord 20/07/04					
Projection info=(UTM, 33, North, European 1950 mean, units=Meters)					
ID point	Map (X,Y)	Image (X, Y)	Predict (X,Y)	Error (X,Y)	RMS
1	(555418.28,4641601.04)	(4553.38,2204.31)	(4553.39,2204.18)	(0.01,-0.13)	(0.13)
2	(452616.14,4688861.39)	(888.53,1311.27)	(888.35,1311.21)	(-0.18,-0.06)	(0.19)
3	(497783.75,4607854.62)	(2879.40,3673.27)	(2879.30,3673.28)	(-0.10,0.01)	(0.10)
4	(584544.19,4549697.37)	(6087.00,5025.80)	(6087.13,5025.67)	(0.13,-0.13)	(0.18)
Total RMS Error: 0.208262					

- **Ricampionamento:** Una volta effettuata la rettificazione, le coordinate dei pixel dell’immagine rettificata sono differenti da quelle dei pixel dell’immagine originale. Pertanto, anche l’informazione contenuta nei pixel (il valore medio della radianza espresso dai *Digital Number*) risulta essere alterato. Poiché è proprio questo valore l’informazione utilizzata nella discriminazione delle classi di uso del suolo, è necessario ricorrere a delle tecniche che consentano di assegnare ai pixel dell’immagine corretta dei valori radiometrici derivati da quelli contenuti sulla mappa digitale originaria. La tecnica più comunemente utilizzata per compiere tale operazione prende il nome di ricampionamento.

Tre sono gli algoritmi di ricampionamento più diffusi:

- prossimo più vicino (*nearest neighbor*): il nuovo numero digitale DN è dato dal numero digitale più

prossimo che ha le coordinate riga e colonna più vicine alle coordinate X,Y (reali) ottenute dalla rettificazione;

- bilineare (*bilinear*): il nuovo valore è definito dalla media pesata dei valori di un intorno costituito dai 4 pixel più vicini, con modifica dei valori di radianza originali;
- convoluzione cubica (*cubic convolution*): il nuovo numero digitale è assegnato sulla base di una valutazione dei 16 pixel più vicini, anche in questo caso con alterazione dei valori di radianza.

Nell'ambito della realizzazione della carta di uso del suolo è stato utilizzato l'algoritmo 'prossimo più vicino', in quanto con questo algoritmo i valori originali di radianza vengono mantenuti in maniera abbastanza fedele; inoltre le relazioni tra i pixel delle varie bande rimangono inalterate, consentendo più accurate operazioni nei rapporti tra bande.

Tecniche di miglioramento - Composizione in falso colore: Nell'elaborazione di immagini satellitari spesso sono prodotte immagini in falso colore, perché aumentano la possibilità di interpretare i dati. Un'immagine a falsi colori è una rappresentazione artificiale di un'immagine multispettrale. L'occhio umano riconosce molti più dettagli nelle immagini a colori che nelle immagini in bianco e nero. In un'immagine a falso colore si possono riconoscere addirittura più dettagli. Molti elementi ambientali appaiono nettamente più distinguibili quando le immagini dal satellite sono elaborate in immagini a composizione di colori falso colore. Gli intervalli di spettro dell'infrarosso sono tra i più utili per identificare la composizione di una superficie, poiché prendono in considerazione sia l'energia riflessa sia l'energia emessa. Le piante riflettono molta più energia nell'infrarosso che nelle bande del visibile e, dall'energia che una pianta riflette, si può capire il suo stato di salute. Per alcune applicazioni può essere utile associare gli elementi di copertura del suolo con colori consueti, per es. il verde all'erba. In altri casi si preferiscono colori contrastanti per evidenziare, nello sfondo, gli oggetti che interessano. Le bande specifiche utilizzate nelle immagini a composizione di colori a tre bande sono spesso identificate con i numeri di banda usati per il rosso, il verde e il blu, in questo ordine specifico. In questo modo un'immagine che utilizzi la banda sette per il rosso, la banda quattro per il verde e la banda due per il blu sarebbe designata come (RGB 742). La scelta delle bande da utilizzare e dei colori con cui sono rappresentate, dipendono dalla classe tematica oggetto dell'interpretazione.

Essendo il presente lavoro orientato alla discriminazione delle colture irrigue/irrigate al momento del passaggio del satellite Landsat, si è cercato di utilizzare la combinazione di bande più idonea al raggiungimento di tale scopo. E' di fondamentale importanza conoscere, da un lato il comportamento della vegetazione alle diverse lunghezze d'onda (λ) registrate dai sensori del satellite, dall'altro il contenuto informativo delle bande spettrali relative al sensore utilizzato.

Firma spettrale della vegetazione⁴: la vegetazione, così come qualsiasi altra superficie, ha nei confronti dell'energia elettromagnetica - alle diverse lunghezze d'onda (λ) - un comportamento che produce una caratteristica firma spettrale. La curva di riflettanza spettrale della vegetazione è influenzata da molti fattori, quali il tipo di vegetazione e la sua densità, lo stadio fenologico, lo stato fito-sanitario, il contenuto di umidità.

In particolare il suo andamento è regolato, nelle bande del visibile, vicino e medio infrarosso, rispettivamente dal contenuto e tipo di pigmenti fogliari, dalla struttura fogliare e dal contenuto in acqua:

⁴ Tratto da M.A. Gomasasca (1997) - Introduzione a telerilevamento e GIS per la gestione delle risorse agricole e ambientali, ed. AIT.

- pigmenti fogliari: la porzione di energia riflessa nel campo del visibile è correlata alla presenza di pigmenti fogliari, quali la clorofilla, la xantofilla e il carotene. La clorofilla, in particolare, determina l'assorbimento nel blu e nel rosso e una riflessione dell'energia incidente del 8-15% nel verde. L'epidermide e i pigmenti sono molto trasparenti all'infrarosso, consentendo, a tale radiazione, di raggiungere liberamente il parenchima. Allo stesso modo, le componenti verdi e gialla della radiazione, ma non quella rossa, vengono fortemente riflesse dal mesofillo, fuoriuscendo rapidamente dalla foglia e conferendo la colorazione verde nella banda del visibile;
- struttura fogliare: è responsabile del comportamento spettrale nelle bande dell'infrarosso vicino, tra 0,70 e 1,35 μm , provocando una riflessione molto elevata, nell'ordine del 30 - 70% dell'energia incidente. L'energia residua viene soprattutto trasmessa mentre quella assorbita è molto ridotta. Questo fenomeno, nel telerilevamento, è di importanza essenziale, in quanto è alla base delle possibilità di analisi più significative del mondo vegetale. Infatti, poiché il mesofillo è più o meno sviluppato a seconda dello stato di salute della pianta, della varietà specifica e dello stadio fenologico, lo studio della riflettanza nell'infrarosso vicino diventa un potente strumento di indagine, per poter discriminare specie diverse, per analizzare gli stadi evolutivi e per determinare eventuali patologie all'interno di una omogenea comunità vegetale;
- contenuto in acqua: nel dominio dell'infrarosso medio, tra 1,35 e 2,70 μm , le proprietà spettrali della vegetazione dipendono strettamente dal contenuto in acqua della foglia. In condizioni di stress idrico, si ha un innalzamento dei valori di radiazione riflessa, più accentuato in alcune bande di assorbimento.

Caratteristiche spettrali delle bande del satellite Landsat: gli intervalli spettrali del sensore Thematic Mapper sono sette e sono così definiti:

- TM1: 0,45-0,52 μm (Visibile, Blu). Utilizzato per la sua possibilità di penetrare l'acqua, è utile per analisi costiere, laghi e batimetria. Utile anche per differenziare il suolo dalla vegetazione, le conifere dalla flora decidua.
- TM2: 0,52-0,60 μm (Visibile, Verde). Utilizzato per misurare la riflettanza ed il vigore della vegetazione. Trova impiego nella cartografia della concentrazione dei sedimenti in acque torbide.
- TM3: 0,63-0,69 μm (Visibile, Rosso). Discriminante nell'analisi dell'assorbimento della luce da parte della clorofilla.
- TM4: 0,76-0,90 μm (Vicino Infrarosso). Utile nella determinazione della salute della vegetazione se rapportato con la TM3, si utilizza anche per la delimitazione dei limiti delle masse d'acqua (invasi, reticolo idrografico).
- TM5: 1,55-1,75 μm (Medio Infrarosso). Indicativo di suoli umidi e/o vegetazione idrofila. Di estrema utilità nell'individuazione delle colture irrigate. Discriminante tra neve e nuvole (basso DN per la neve ed elevato DN per le nuvole).
- TM7: 2,08-2,35 μm (Medio infrarosso). Utilizzata prevalentemente nella discriminazione della litologia, nella determinazione di alterazioni idrotermali.
- TM6: 10,4-12,5 μm (Infrarosso termico). Impiegato per analisi termiche, intensità di calore, stress della vegetazione ed inquinamento termico. Utilizzato per il calcolo dell'evapotraspirazione delle aree vegetate, anche se la risoluzione geometrica (120 m) ne limita l'utilizzo nelle applicazioni alla scala media.

Dall'osservazione degli intervalli spettrali del sensore TM e delle relative caratteristiche deriva la scelta delle bande spettrali più idonee ad essere utilizzate nell'ambito del progetto.

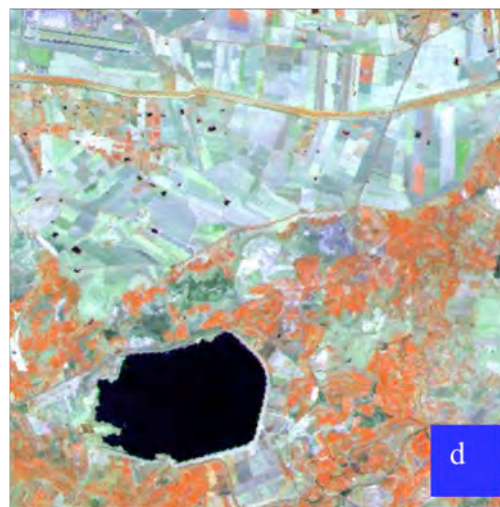
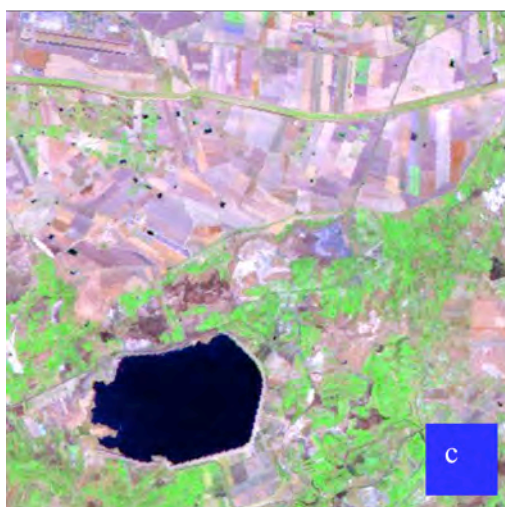
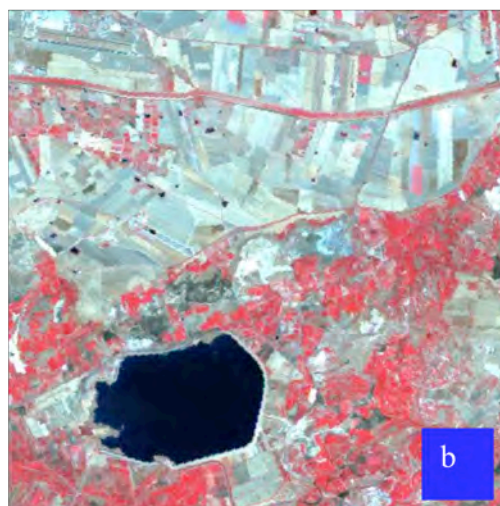
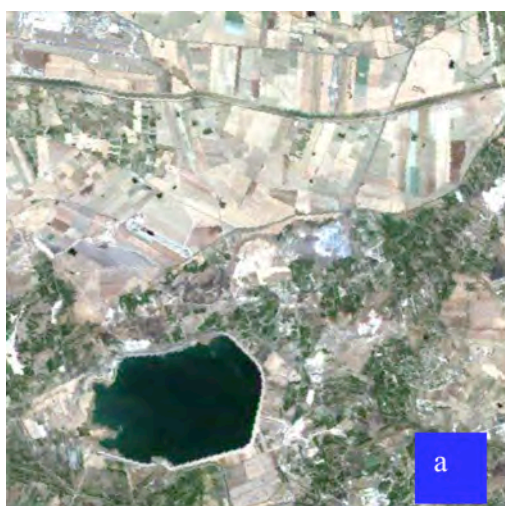
In particolare le bande più interessanti da questo punto di vista risultano essere la 2, 3, 4 e 5.

Tali bande possono essere rappresentate con diverse composizioni di colore partendo dai tre colori primari Blu (*Blue*), Verde (*Green*) e Rosso (*Red*), a seconda dei particolari e delle classi tematiche che si vogliono evidenziare sull'immagine satellitare.

Tabella 2-7 Combinazioni in falso colore e loro applicazioni

Combinazione di bande			Applicazioni principali
R	G	B	
3	2	1	Colori naturali, si possono osservare parti sommerse dall'acqua, colonne di fumo.
4	3	2	I colori sono simili a quelli osservabili nelle fotografie acquisite nell'infrarosso. La vegetazione é rossa, le zone urbane sono blu. Il limite acqua/terraferma é ben definito, ma si possono osservare parzialmente strutture immerse.
4	5	3	Il limite acqua/terraferma é netto, i terreni umidi appaiono scuri. Particolarmente utile nella discriminazione delle zone agricole.

Figura 2.6 - Diverse combinazioni in falso colore: a) RGB321; b) RGB432; c) RGB453; d) RGB 542. Sicilia orientale, comune di Lentini



Lo scopo finale della valutazione delle immagini satellitari è l'estrazione delle informazioni tematiche, rappresentate sottoforma di dati statistici o di mappe tematiche.

Un primo approccio è costituito dall'esame visivo delle immagini.

Per ben utilizzare le informazioni contenute in ciascuna banda di frequenza delle immagini e per trattare in tempi brevi le grandi quantità di dati presenti nelle immagini satellitari, si ricorre a procedure di classificazione con algoritmi appositamente sviluppati.

Le tecniche tradizionali di classificazione sono divise in due categorie: quella con i controlli a terra, chiamata "guidata" o "*supervised*", e quella senza controlli definita "non guidata" o "*unsupervised*".

La classificazione guidata si basa sulla conoscenza di alcune aree campione rappresentative delle classi di superficie, note e ben localizzate sull'immagine, che vengono utilizzate per classificare la scena (*training set*). Nel secondo caso si tratta di una classificazione che prescinde dalla conoscenza della realtà a terra e dalle conoscenze dell'operatore; l'analista, infatti, decide soltanto il numero delle classi in cui vuole categorizzare l'immagine.

Il risultato finale di entrambe le classificazioni è la creazione di una carta di uso/copertura del suolo che necessita di una verifica dell'accuratezza.

2.3.3 Materiali ancillari

Il termine materiali ancillari è riferito alla documentazione (cartografica, fotografica, dati statistici) relativa alla copertura del suolo utilizzata nella costruzione del database, che non proviene direttamente dalle immagini satellitari.

La documentazione ancillare utilizzata viene descritta, in maniera dettagliata nei seguenti paragrafi.

Ortofoto digitali: Le ortofoto digitali realizzate dall'AGEA costituiscono uno dei supporti più importanti per la realizzazione del progetto. Le ortofoto utilizzate per la copertura delle Regioni Obiettivo 1 sono del 1997, ad eccezione di quelle della regione Calabria che sono del 1996.

Caratteristiche delle riprese aeree

- Scala media dei fotogrammi: 1:40.000;
- Quota media: 6.000 m circa;
- Focale camera da presa: 150 mm;
- Formato utile dell'immagine: 230x230 mm.

Date delle riprese aeree

Le riprese aeree delle ortofoto utilizzate sono del 1996-1997. Per un maggior dettaglio si rimanda alla tabella sottostante.

Tabella 2.8- Date delle riprese aeree

Regione	Mese del volo	Anno del volo
Abruzzo	Luglio	1997
Basilicata	Giugno	1997
Calabria	Agosto	1996
Campania	Maggio	1997
Molise	Maggio	1997
Puglia	Luglio	1997
Sardegna (SS-OR)	Maggio	1997
Sardegna (CA-NU)	Luglio	1997
Sicilia	Agosto	1997

Caratteristiche delle ortofoto

- Le ortofoto sono fornite in formato ECW sottoforma di mosaico regionale;
- Il supporto comunemente utilizzato per la trasmissione dei suddetti dati è il CD-ROM/DVD;
- Risoluzione geometrica 1m.

Nell'ambito della realizzazione della cartografia di uso/copertura del suolo le ortofoto sono state utilizzate nelle seguenti attività:

- Correzione geometrica delle immagini (identificazione dei *Ground Control Points*) e verifica dell'accuratezza della correzione (tramite TCP);
- Nella fase di video-interpretazione, in cui hanno costituito la base geometrica su cui sono stati digitalizzati i poligoni delle classi di uso/copertura del suolo;
- Ausilio all'identificazione delle classi di difficile interpretazione sull'immagine satellitare in falsi colori (in particolare per quanto riguarda le colture permanenti);
- Verifica e collaudo finale della mappatura dell'uso/copertura del suolo.

Cartografia di uso/copertura del suolo (CASI3): A supporto della fase interpretativa è stata usata la carta di uso/copertura del suolo riferita alla stagione estiva, in scala 1:50.000 in formato digitale realizzata dall'INEA nel corso dello “*Studio sull'uso irriguo della risorsa idrica, sulle produzioni agricole irrigate e sulla loro redditività*”, finanziato con le risorse del QCS 1994-1999 nell'ambito del Programma Operativo Multiregionale “*Ampliamento e adeguamento della disponibilità e dei sistemi di adduzione e distribuzione delle risorse idriche nelle regioni dell'Obiettivo 1*”. Questa carta è stata usata in tutta l'area di studio ed in particolare per eliminare dall'interpretazione a video certe coperture già presenti sul territorio come le aree urbane, le zone boschive, le zone umide ed i bacini d'acqua.

Limiti amministrativi regionali e comunali: Per i limiti amministrativi di comuni, province e regioni ci si è avvalsi dei riferimenti ISTAT in formato vettoriale, scaricabili dal sito <http://www.istat.it/ambiente/cartografia/>.

Limiti amministrativi Consorzi di Bonifica: I limiti delle aree attrezzate utilizzati per determinare l'area di studio, sono derivati dal Piano Operativo Risorse Idriche, così come sono stati aggiornati dai Consorzi di Bonifica. Per tale progetto, nel 2001 sono stati raccolti e georeferenziati i limiti amministrativi dei Consorzi di Bonifica e delle aree da loro attrezzate. Tali informazioni, insieme ad altre, sono confluite in

un geodatabase pubblicato su internet al sito www.sigriaweb.inea.it, dove, attraverso apposite interfaccia e livelli di accesso, è possibile per i singoli consorzi aggiornarne il contenuto.

2.4 Procedure ed elaborazioni dati

2.4.1 Metodologia utilizzata nella realizzazione della cartografia di uso del suolo

L'ausilio del telerilevamento nella mappatura e monitoraggio delle aree irrigue è di notevole utilità in quanto consente, da un lato di indagare le proprietà spettrali di una stessa superficie in diverse regioni dello spettro elettromagnetico (lunghezza d'onda), consentendo di identificare per una determinata superficie la risposta spettrale alle diverse lunghezze d'onda (firma spettrale), dall'altro di acquisire immagini della stessa area in diversi periodi dell'anno. Per il monitoraggio della vegetazione sono di particolare interesse le bande del verde, del rosso e dell'infrarosso (vicino e medio). In questi intervalli è individuata la firma spettrale della vegetazione caratterizzata dal seguente comportamento:

- Forte assorbimento della lunghezza d'onda nella banda del rosso, utilizzata per l'attivazione della funzione clorofilliana; inoltre il disturbo dell'atmosfera è meno marcato che nel resto del visibile;
- Riflessione nella banda del verde;
- Valori massimi di riflessione nell'infrarosso vicino.

Al contrario la riflessione dal terreno nudo/scarsamente vegetato aumenta dall'intervallo dello spettro del visibile a quello dell'infrarosso. (Fig. 2.7 e 2.8)

Figura 2.7 - Firma spettrale di un suolo coperto da vegetazione

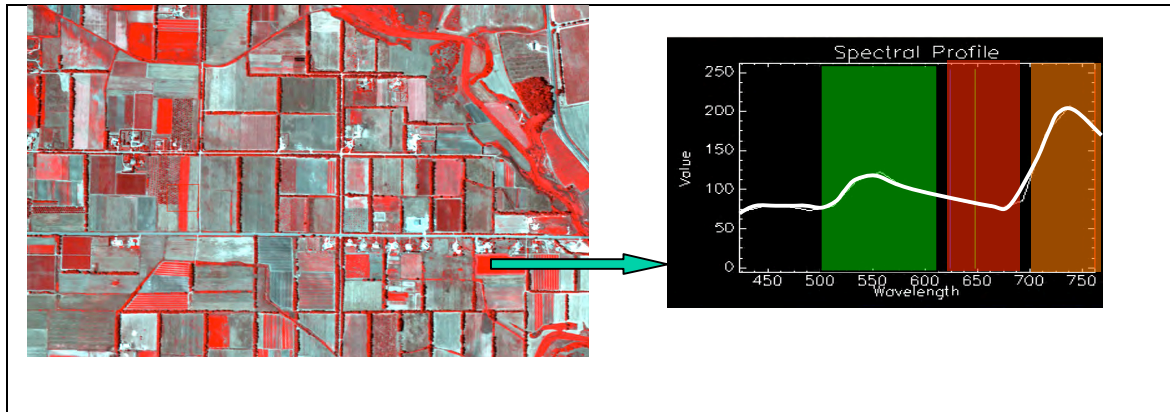
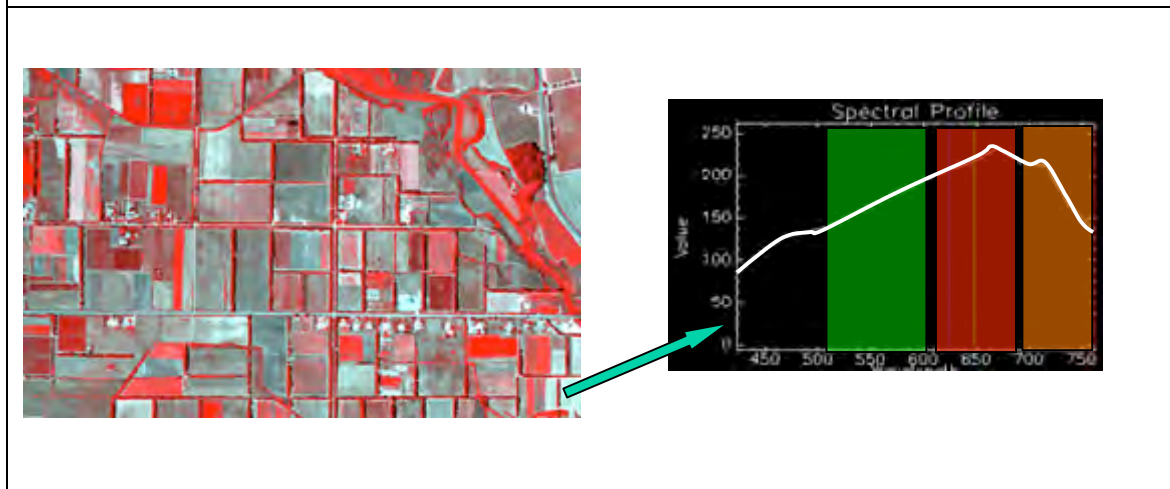


Figura 2.8 - Firma spettrale di un suolo nudo e/o scarsamente vegetato

Banda del verde
 Banda del rosso
 Banda Infrarosso vicino



Il progetto è essenzialmente basato sull'interpretazione a video delle immagini satellitari e delle ortofoto, pertanto tutti i dati a disposizione, dalle immagini alla cartografia di supporto, sono stati organizzati in modo tale da essere compatibili sia come formato file, per la loro gestione con i software utilizzati, sia come riferimenti geografici per poterli analizzare ed editare contemporaneamente. Considerando la suddivisione tra formato raster e vettoriale, l'organizzazione dei dati ha implicato l'uso di software dedicati alla georeferenziazione e al pre-trattamento delle immagini, di software GIS per la visualizzazione, conversione, gestione delle banche dati vettoriali e per l'editing a video.

Le workstation utilizzate non hanno particolari caratteristiche tecniche se non quelle legate ad un'elevata disponibilità di memoria per la gestione della grande quantità di dati da elaborare.

L'ambiente prevalente è Windows XP.

I software utilizzati si distinguono in base alla tipologia di dati considerati:

- ENVI ed ErMapper: pre-trattamento e gestione delle immagini satellitari;
- TNSharC: utilizzato per il passaggio dei dati vettoriali da un sistema di riferimento ad un altro;

- ArcGIS: utilizzato per il *post-processing* e per i layout di stampa;
- ArcView: la semplice interfaccia e la facilità di gestione dei layer raster e vettoriali permettono un *editing* veloce e preciso dei database.

Le considerazioni fatte, a proposito della correlazione fra firma spettrale e presenza di vegetazione in un'immagine satellitare, sono di notevole ausilio nell'individuazione di coperture vegetali omogenee – caratterizzate da elevati valori di copertura del suolo – quali i seminativi, mentre risultano di più difficile applicazione nel caso delle coltivazioni permanenti – soprattutto vigneti e oliveti – caratterizzate da una importante presenza della componente suolo nudo e/o inerbito.

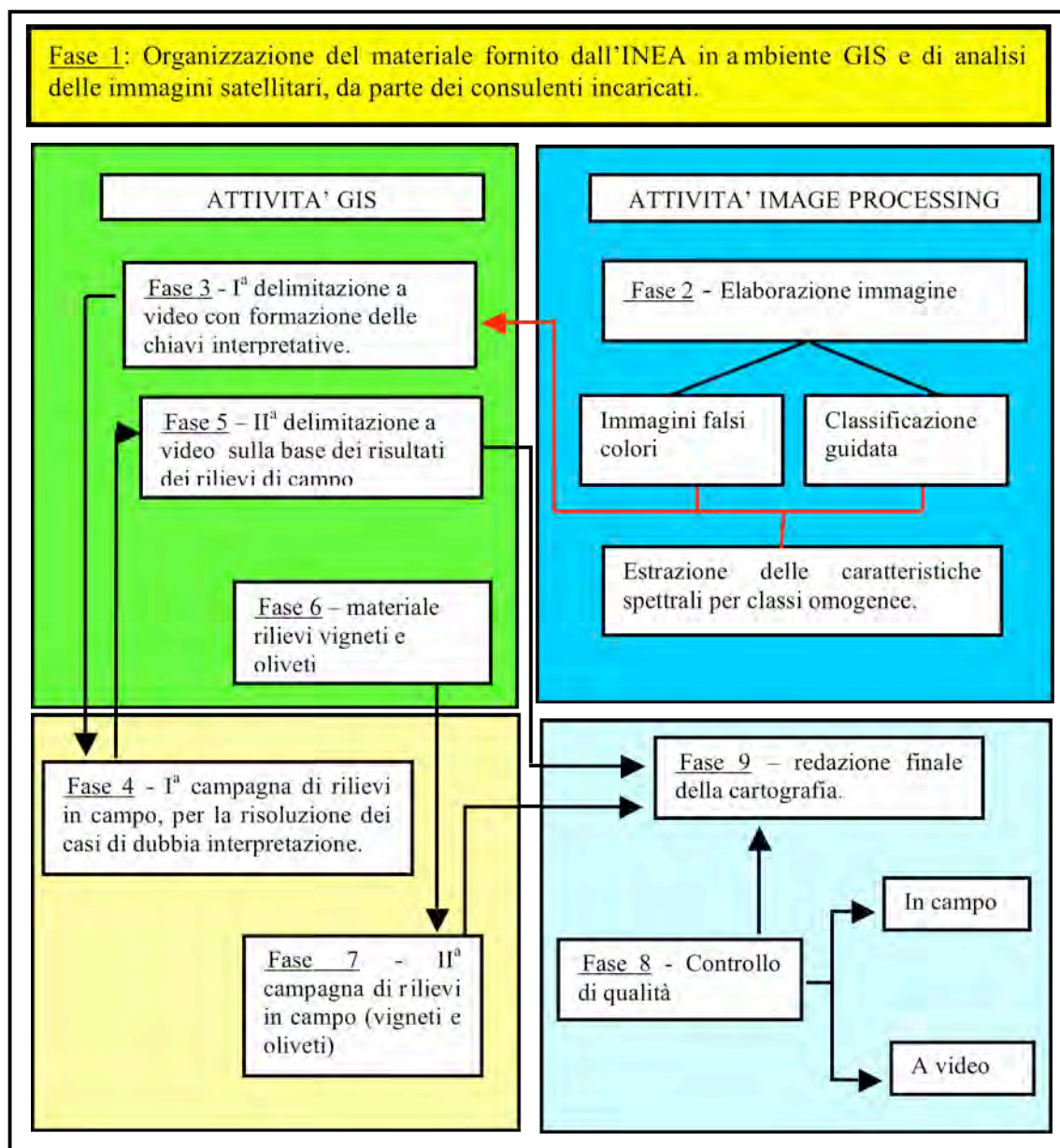
D'altro canto, anche se fosse possibile distinguere tali coltivazioni, non si avrebbero in ogni caso informazioni circa la natura irrigua o meno degli appezzamenti individuati.

Per tale motivo nella realizzazione della cartografia di uso del suolo si è scelto un approccio metodologico articolato nelle seguenti attività:

- fotointerpretazione a video e controlli in campo sui seminativi;
- verifica della presenza di strutture di distribuzione irrigua in vigneti ed oliveti.

Il seguente diagramma (fig. 2.9) illustra le fasi di elaborazione dei dati previste per la costruzione della cartografia di uso del suolo.

Figura 2.9 - Fasi di elaborazione dei dati



Il dettaglio delle attività per ciascuna fase è descritto di seguito.

Fase 1 - L'INEA, per la realizzazione della cartografia ha selezionato una serie di fotointerpreti privilegiando professionisti locali, allo scopo di sfruttare la loro conoscenza del territorio. E' stata, infatti, importante la possibilità di eseguire ricognizioni di controllo in loco per i casi dubbi, altrimenti non risolvibili. Gli stessi professionisti hanno anche svolto gran parte dell'attività relativa ai rilievi a terra per i controlli sui vigneti ed oliveti.

Per la realizzazione delle attività, l'INEA ha fornito a ciascun consulente i seguenti materiali:

- Immagini satellitari Landsat relative al periodo estivo anni 2004-2005, georeferenziate;
- Ortofoto digitali - realizzate dall'AGEA utilizzando riprese aeree in scala media 1:40.000 degli anni 1996/97 - mosaicate a livello di intera regione o di Consorzio di Bonifica;

- Shapefile degli oliveti e vigneti di cui verificare la presenza di strutture per l'irrigazione;
- Stampe con la localizzazione dei campioni di oliveto e vigneto da rilevare in campo su cartografia IGM ed ortofoto.

Fase 2 - Elaborazione immagine Landsat. Il trattamento dei dati telerilevati ha riguardato essenzialmente i seguenti aspetti:

- Produzione di immagini in falso colore quali supporto all'interpretazione tematica;
- Classificazione guidata dell'immagine in categorie omogenee di uso del suolo ben distinguibili dal punto di vista delle caratteristiche spettrali. In particolare sono state evidenziate le seguenti categorie:
 - Aree vegetate;
 - Aree a vegetazione rada o nulla.

Fase 3 - Prima delimitazione a video dei poligoni di classi di uso del suolo direttamente sulle ortofoto ed utilizzando l'immagine satellitare quale supporto per l'interpretazione tematica, con formazione delle chiavi interpretative, ed individuazione dei casi di dubbia interpretazione.

Fase 4 - Rilievi di campo per la risoluzione dei casi di dubbia interpretazione e prima delimitazione e perfezionamento delle chiavi di interpretazione.

Fase 5 - Delimitazione di secondo livello con la realizzazione di una prima carta di uso del suolo nella quale ad ogni unità cartografica o poligono, di unità minima mappabile pari a 6,25 ha, è stato attribuito uno ed un solo codice della legenda. Ad alcuni poligoni è stato attribuito il codice "dubbio" in quanto oggetto di ulteriore verifica in campo.

Figura 2.10 - Interpretazione immagine Landsat TM e digitalizzazione su ortofoto digitale



Fase 6 – Predisposizione, negli uffici dell’INEA, delle stampe aventi come base le ortofoto, la cartografia IGM sulle quali sono stati localizzati gli appezzamenti di oliveto e vigneto oggetto della rilevazione ed i poligoni ritenuti “dubbi” dai fotointerpreti.

Fase 7 – Rilievi di verifica in campo della presenza di strutture di distribuzione irrigua in vigneti ed oliveti, e risoluzione dei casi segnalati come “dubbi” dai fotointerpreti.

In totale sono stati effettuati rilievi su 6.457 poligoni, pari a 309.590 ha così distribuiti (tab. 2.9):

Tabella 2.9 - Superfici coltivate a vigneti ed oliveti rilevate in campo

Regioni	Superfici (ha)
Abruzzo	48.934
Basilicata	4.901
Calabria	25.186
Campania	12.775
Molise	6.816
Puglia	120.643
Sardegna	11.810
Sicilia	78.525

Fase 8 – Controllo di qualità del lavoro effettuato, al fine di verificare la qualità dell’interpretazione tematica e della precisione geometrica. Nel corso dell’esecuzione dei lavori ed a conclusione degli stessi sono stati eseguiti controlli della qualità del prodotto intesi, da un lato a verificarne la corrispondenza con le specifiche desiderate, dall’altro ad evitare, attraverso la verifica in corso d’opera, l’accumularsi di errori o manchevolezze, da eliminare quanto prima possibile, atti ad inficiare la qualità finale.

La fotointerpretazione dell'uso del suolo è stata sottoposta a collaudo sul 3% della superficie oggetto del lavoro, che corrisponde a circa il 5% del numero totale di poligoni, secondo le seguenti modalità:

1. Dalla copertura di uso del suolo sono stati estratti in modalità casuale i campioni - suddivisi per operatore che ha effettuato l'interpretazione - da sottoporre a controllo e ripartiti in percentuale a seconda dell'importanza per i fini irrigui:
 - - 35% per la classe 212;
 - - 35% per la classe 211;
 - - 10% per la classe 2411;
 - - 10% per la classe 2421;
 - - 5% per la classe 2412;
 - - 5% per la classe 2422.

Per quanto riguarda le verifiche sui rilievi diretti dei vigneti e degli oliveti, si è fatta un'estrazione casuale sul 2,5% dei poligoni classificati oliveti e 2,5% dei poligoni classificati a vigneto, indipendentemente dalla classificazione ad irriguo o non irriguo.

2. I campioni così estratti sono stati verificati a video e classificati nel seguente modo: "sì" (ben classificati), "no" (mal classificati), "dubbio".
3. Sono stati controllati in campo, attraverso la stampa dell'ortofoto su cui il campione ricadeva, tutti i campioni definiti dubbi e quelli mal classificati ("no"). Inoltre, i collaudatori hanno esaminato in campo anche i poligoni adiacenti a quelli selezionati per i controlli.

Fase 9 – Redazione finale della cartografia: la creazione del layer e del database finale è avvenuto a seguito dei rilievi di campo con riporto dei poligoni a vigneto ed oliveto irrigui e non irrigui e la risoluzione dei casi dubbi dei fotointerpreti sulla mappa di uso del suolo finale.

2.4.2 Post-processing della copertura cartografica

La fase finale della realizzazione delle coperture cartografiche di uso del suolo per tutte le regioni Obiettivo 1 è stata effettuata verificando la correttezza topologica e geometrica dei poligoni che costituiscono la copertura stessa. A tal scopo è stata sviluppata e applicata una specifica procedura di *post-processing* implementata in ambiente GIS.

L'analisi del dato cartografico vettoriale iniziale ha evidenziato, infatti, per ogni regione, diversi errori nella geometria dei poligoni generati nella fase di *pre-processing* (creazione delle maschere di poligoni da interpretare), di fotointerpretazione/digitalizzazione e di ricostruzione (unione tra i poligoni non interpretati e i poligoni interpretati). Tra gli errori più ricorrenti si citano gli *sliver polygon* (generati durante il *pre-processing*) e la sovrapposizione di poligoni (assenza di isole) causati da una non corretta digitalizzazione. Tra gli errori generati durante la fase di digitalizzazione si citano quelli relativi alla presenza di poligoni privi di etichetta o con etichetta errata (non appartenente al dominio delle etichette delle classi di uso del suolo). Ricorrenti sono anche gli errori generati durante l'unione delle varie maschere: durante questa fase si creano spesso delle zone vuote, prive di geometria poligonale, che devono essere ricostruite manualmente.

La procedura sviluppata è finalizzata alla ricostruzione geometrica e topologica dei poligoni delle coperture di uso del suolo create ed alla conservazione delle relazioni tra geometria ed attributo. La

procedura (il cui diagramma di flusso è riportato nella figura 2.11) consta di un insieme di operazioni automatiche di *geoprocessing* e da alcune fasi di controllo ed *editing* eseguite manualmente dall'operatore. Di seguito si elenca e descrive la sequenza di elaborazione della procedura di *post-processing*.

- Verifica e correzione preliminare della copertura di uso del suolo.
- Verifica della completezza della tabella attributi e della correttezza delle informazioni presenti. Si verifica la completezza della geometria poligonale (assenza di buchi) ed eventualmente si ricostruiscono i poligoni mancanti attraverso fotointerpretazione e confronto con la carta CASI 3 del 1997. La correzione manuale si esegue soltanto per tutte quelle zone che hanno una superficie superiore all'unità minima cartografabile (6,25 ettari), perchè quelle di superficie inferiore sono corrette automaticamente nella fase successiva.
- Ricostruzione della geometria e della topologia (conversione dal formato shapefile al formato coverage).
- “Esplosione” delle regioni poligonali ottenendo un insieme di poligoni distinti e indipendenti in cui le relazioni geometriche e topologiche sono definite dal formato dati coverage. Generalmente, per rendere efficace la conversione, occorre verificare la geometria del dato iniziale, apportando eventuali correzioni ai poligoni che presentano errori rilevanti (es. *self intersection*), questa fase si realizza utilizzando le funzioni *CheckGeometry* e *RepairGeometry* di ArcGis 9.2.
- Aggregazione ('*dissolve*'): aggregazione dei poligoni che hanno il medesimo attributo e che rispettano la relazione di adiacenza. L'applicazione della funzione genera una riduzione sensibile della numerosità complessiva dei poligoni per ogni copertura di uso del suolo favorendo una migliore gestione del dato in ambiente GIS durante le fasi di visualizzazione ed interrogazione.
- Calcolo della superficie dei poligoni.
- Eliminazione dei poligoni con superficie inferiore alla soglia prefissata (funzione '*Eliminate*'): la funzione di eliminazione produce un assorbimento del poligono di superficie inferiore alla soglia da parte del poligono adiacente con superficie maggiore. La soglia selezionata è di 1 ha. La funzione è stata ottimizzata al fine di conservare le informazioni relative ad invasi irrigui di dimensione inferiore ad 1 ha.
- Controllo ed eventuale correzione della tabella attributi. L'operazione è finalizzata alla ricostruzione degli attributi per i poligoni che possono aver perso l'etichetta relativa durante i passi di elaborazione precedentemente elencati.
- Aggiornamento della superficie dei poligoni.
- Verifica della qualità, con eventuale correzione e/o ripetizione della procedura in caso di bassi valori qualitativi.

La verifica della qualità è finalizzata al controllo del corretto funzionamento dell'intera procedura di *post-processing* e consiste in un'analisi statistica, basata sul controllo delle variazioni di superficie di ogni classe di uso del suolo tra il dato iniziale e quello ottenuto a valle del *post-processing*. Tale controllo è di fondamentale importanza data la possibilità che le operazioni di ricostruzione topologica e di eliminazione possono generare un trasferimento non realistico di poligoni tra diverse classi di uso del suolo, aumentando o diminuendo le superfici complessive delle classi di uso del suolo.

Il controllo della qualità della procedura è stato eseguito definendo e calcolando, per ogni classe di uso del suolo, l'indice seguente:

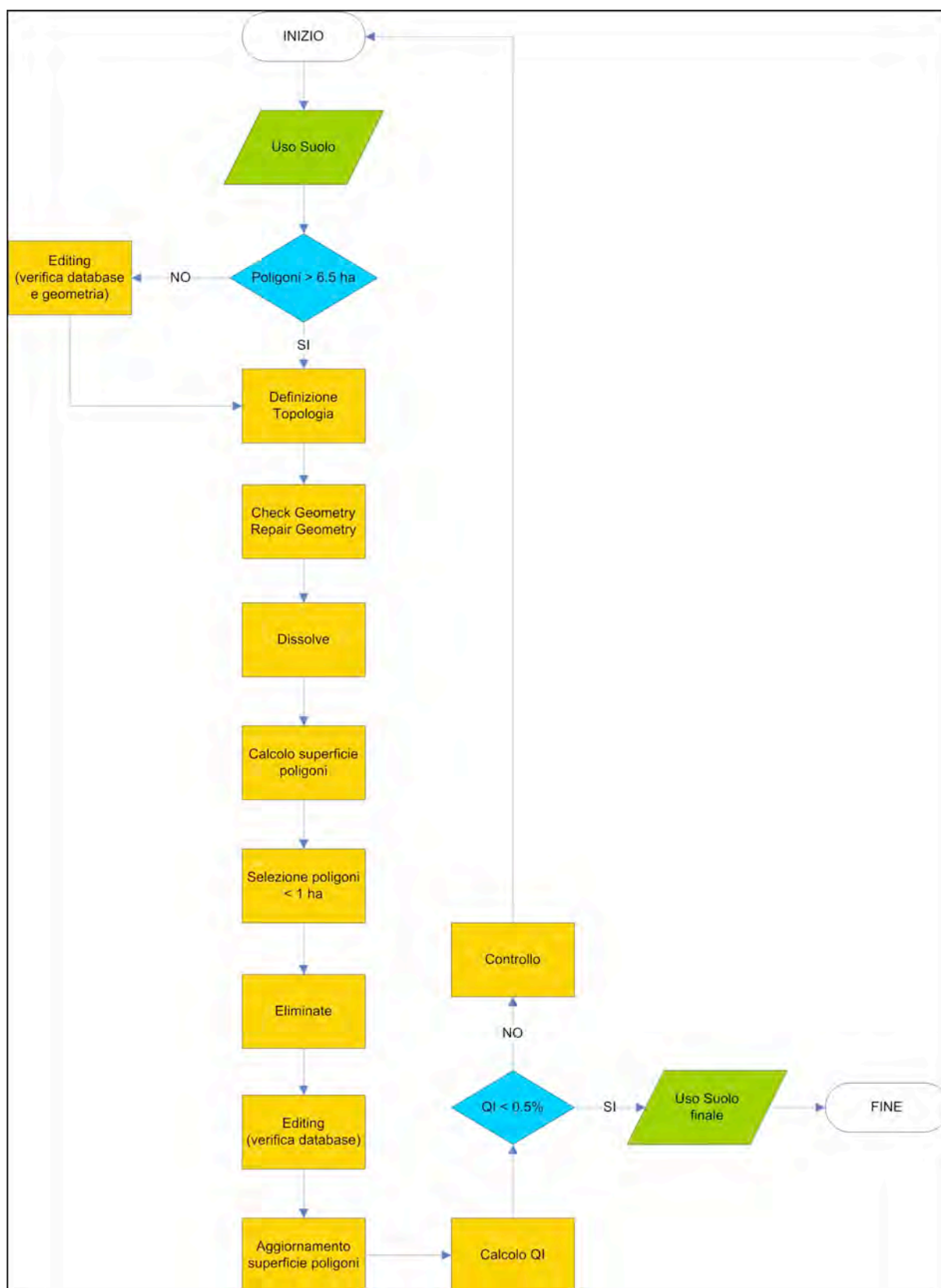
$$QI = |((S_{input}(classe_i) - S_{output}(classe_i)) / S_{input}(classe_i))| * 100$$

con

- Il operatore valore assoluto;
- $S_{input}(classe_i)$: la superficie complessiva dei poligoni appartenenti alla classe di uso del suolo i-esima della mappa di input;
- $S_{output}(classe_i)$: la superficie complessiva dei poligoni appartenenti alla classe di uso del suolo i-esima della mappa di output.

Si è stabilito che la qualità dell'esecuzione della procedura è da considerarsi accettabile se i valori di QI sono inferiori allo 0,5%.

Figura 2.11 - Diagramma di flusso della procedura di post-processing sviluppata



2.4.3 Validazione finale

I risultati dei vari collaudi - anche in seguito al rifacimento dell'interpretazione laddove l'esito è stato negativo - ha evidenziato che la cartografia prodotta è conforme ai requisiti previsti dalle specifiche tecniche.

I dati relativi ai collaudi sono stati organizzati a livello regionale per effettuare delle elaborazioni statistiche per testare la qualità della classificazione dell'uso del suolo. Per ciascuna regione è stata costruita una matrice d'errore a due dimensioni, in cui il numero di righe è dato dalle classi di uso del suolo ottenute dalla fotointerpretazione ed il numero di colonne è dato dalle classi controllate in campo con le operazioni di collaudo. Gli elementi della matrice sono il numero di classi che sono stati presi in considerazione per il collaudo. La diagonale principale rappresenta i dati su cui vi è coincidenza tra la fotointerpretazione ed i controlli e sono quindi ritenuti corretti. Gli elementi al di fuori della diagonale sono errori di "commissione" (lungo le righe), cioè il numero di campioni erroneamente inseriti all'interno di una certa classe, ed errori di "omissione" (lungo le colonne), ossia il numero di campioni di una classe che non sono stati classificati come tali.

L'utilizzazione della matrice nella validazione di cartografie tematiche è ritenuto uno strumento di fondamentale importanza, in quanto evidenzia chiaramente la corrispondenza tra dato reale e dato classificato.

In letteratura si ritrovano numerosi indici che cercano di esprimere l'accuratezza di una carta usando la tecnica dell'analisi multivariata; tra questi è stato scelto l'indice K o Khat (coefficiente di accordo) di Cohen (1980) che è ormai accettato come standard; ad esempio negli Stati Uniti è stato proposto come indicatore standard di accuratezza delle carte tematiche dal U.S.G.S., mentre in Italia è stato adottato dal consorzio I.T.A. nel progetto AGRIT (Adami, 1989). Il coefficiente K misura la corrispondenza tra la cartografia ottenuta per fotointerpretazione ed i dati di riferimento, tenendo conto, come già accennato, di come gli elementi della matrice siano dispersi intorno alla diagonale, i cui elementi rappresentano una classificazione corretta. Il valore di K è calcolato tramite la seguente formula (Cohen, 1960; Bishop, 1975):

$$K = \frac{Q_1 - Q_2}{1 - Q_2}$$

$$Q_1 = \sum_{i=1}^r N_{ii} / N$$
$$Q_2 = \sum_{i=1}^r N_{i+} * N_{+i} / N^2$$

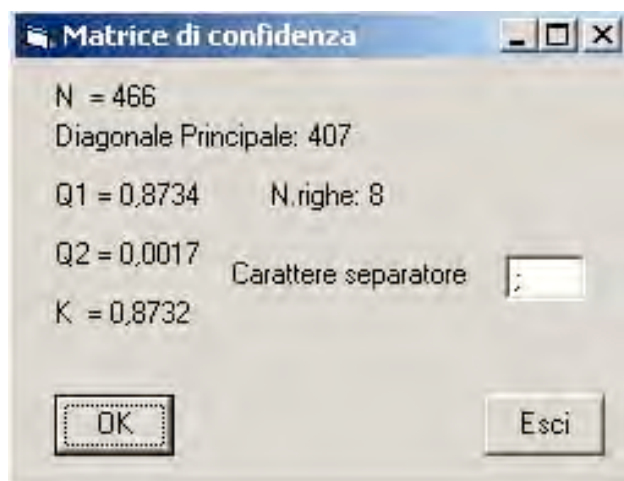
dove:

- r = numero totale delle righe e delle colonne della matrice;
- N_{ii} = numero totale delle osservazioni lungo la diagonale;
- N_{i+} = numero delle osservazioni lungo la riga;
- N_{+i} = numero delle osservazioni lungo la colonna;
- N = numero totale delle osservazioni.

L'indice K, variabile da zero a uno, è sensibile agli errori di inserimento (o commissione) e omissione sopracitati. Infatti, in una distribuzione assolutamente casuale degli elementi nella matrice l'indice K è uguale a zero, mentre quando tutti i punti sono correttamente classificati cioè si dispongono tutti lungo la diagonale è uguale ad uno. Se invece gli elementi si distribuiscono in maniera non casuale, e cioè preferenzialmente non sulla diagonale, K assume dei valori negativi (Cohen, 1960).

Per il calcolo dell'indice K è stato scritto un apposito software, i cui dati di input sono rappresentati dalla matrice in formato .txt, che calcola l'indice e i relativi coefficienti della formula

Fig. 2.12 - La maschera del software per il calcolo dell'indice K



I valori dell'indice K per la maggior parte delle regioni è superiore a 0,84, fatta eccezione per l'Abruzzo, la Campania e la Calabria. In queste regioni il valore è inferiore, perché inizialmente i fotointerpreti di queste regioni non avevano suddiviso le classi 241 e 242 in 'irriguo' o 'non irriguo'. Di conseguenza nell'analisi della matrice i dati reali riferiti a queste classi non si dispongono sulla diagonale, ma si disperdono nelle classi 2411, 2412, 2421 e 2422. Inoltre i valori si riferiscono agli esiti dei collaudi in corso d'opera, sulla base dei quali sono state operate le dovute modifiche e correzioni. In tal senso, non avendo incontrato ulteriori errori tematici nei successivi controlli a video, si può affermare che, in realtà, i valori dell'indice K sono ancora più prossimi ad 1, e di conseguenza l'errore tematico è stato ulteriormente ridotto, rientrando nei limiti fissati dalle specifiche tecniche.

Nelle tabelle seguenti si riportano le matrici di errore relative alle singole regioni.

Tabella 2.10 - Matrice di errore della classificazione-Regione Abruzzo

Classi di uso del suolo	Classi di verità a terra										Totale campioni
	211	212	2211	2212	232	2411	2412	2421	2422	3	
211	84	1	0	0	0	0	6	0	4	1	96
212	23	52	1	1	2	3	9	1	4	0	96
2211	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2212	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
232	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2411	2	0	0	0	0	14	12	0	0	0	28
2412	1	0	0	0	0	0	12	0	0	0	13
2421	0	0	0	0	1	0	0	14	2	0	17
2422	4	0	0	0	0	0	0	0	18	0	22
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Totale campioni	114	53	1	1	3	17	39	15	28	1	272
											K=0,71

Tabella 2.11 - Matrice di errore della classificazione-Regione Basilicata

Classi di uso del suolo	Classi di verità a terra											Totale campioni
	211	212	231	232	241	2221	2222	2411	2412	2421	2422	
211	74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	74
212	4	55	0	2	0	1	0	0	1	0	1	64
231	1	0	6	4	0	0	0	0	0	0	0	11
232	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	11
241	0	0	0	0	0	0	0	4	1	0	0	5
2221	0	0	0	0	0	10	1	0	0	0	0	11
2222	0	1	0	0	0	0	8	0	0	0	0	9
2411	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
2412	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2421	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	4	15
2422	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Totale campioni	79	56	6	17	0	11	9	4	3	11	6	202
												K=0,87

Tabella 2.12 - Matrice di errore della classificazione- Regione Calabria

Classi di uso del suolo	Classi di verità a terra																		Totale campioni
	211	212	232	241	242	243	2211	2212	2221	2222	2231	2232	2411	2412	2421	2422	1	3	
211	75	1	2	0	0	1	0	1	0	0	0	6	1	1	1	6	0	1	96
212	3	77	1	0	0	0	2	0	3	0	1	0	2	0	3	2	2	0	96
232	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
241	1	0	1	3	0	0	0	0	1	0	0	2	0	8	0	2	0	0	18
242	1	2	2	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	6	10	0	0	25
243	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2211	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2212	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2221	0	1	0	0	0	0	0	0	15	0	1	2	0	0	0	0	0	1	20
2222	0	2	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	5
2231	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2232	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	7	0	0	0	0	0	0	10
2411	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2412	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2421	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2422	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Totale campioni	80	83	8	3	1	1	2	1	22	0	6	18	4	9	10	20	2	2	272

K=0,66

Tabella 2.13 - Matrice di errore della classificazione- Regione Campania

Classi di uso del suolo	Classi di verità a terra																	Totale campioni
	1	3	211	212	232	241	243	2211	2212	2221	2222	2231	2232	2411	2412	2421	2422	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
211	1	0	72	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	77
212	0	1	13	58	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	9	86
232	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
241	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	8	20	0	0	30
243	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
2211	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
2212	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
2221	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	1	4
2222	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	2
2231	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3	0	0	0	0	0	4
2232	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
2411	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2412	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2421	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	22	0	24
2422	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10
Totale campioni	1	1	86	59	1	1	2	2	0	4	2	3	0	10	21	27	21	241

k=0,71

Tabella 2.14 - Matrice di errore della classificazione - Regione Molise

Classi di uso del suolo	Classi di verità a terra								Totale campioni
	211	212	232	2411	2412	2421	2422	243	
211	42	0	1	0	0	0	0	1	44
212	0	39	0	0	0	1	0	4	44
232	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2411	0	0	0	4	0	0	0	0	4
2412	1	0	0	0	12	0	0	0	13
2421	0	0	0	0	0	5	0	1	6
2422	0	0	0	1	0	0	13	0	14
243	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Totale campioni	43	39	1	5	12	6	13	6	125
									k=0,92

Tabella 2.15 - Matrice di errore della classificazione - Regione Puglia

Classi di uso del suolo	Classi di verità a terra										Totale campioni
	211	212	232	2211	2222	2411	2412	2421	2422	1	
211	206	0	0	1	0	2	0	0	0	0	209
212	1	193	1	8	1	4	0	0	0	1	209
232	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2211	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2222	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2411	0	0	0	0	0	56	4	0	0	0	60
2412	0	0	0	0	0	1	29	0	0	0	30
2421	0	0	0	0	0	0	0	60	0	0	60
2422	0	0	0	0	0	0	0	1	29	0	30
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Totale campioni	207	193	1	9	1	63	33	61	29	1	598
											K=0,96

Tabella 2.16 - Matrice di errore della classificazione - Regione Sicilia

Classi di uso del suolo	Classi di verità a terra														Totale campioni
	1	4	211	212	232	2125	2211	2212	2231	2411	2412	2421	2422	2221	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
211	1	1	187	10	1	1	8	1	0	4	0	3	1	1	219
212	0	0	15	140	2	3	10	1	1	3	0	5	2	2	184
232	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2
2125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2211	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2212	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2231	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2411	0	0	1	1	0	0	0	0	0	46	0	0	0	1	49
2412	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	24	0	1	0	27
2421	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	43	0	0	45
2422	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	4	20	0	26
2221	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2
Totale campioni	1	1	204	153	4	7	18	2	1	53	25	55	24	6	554
															K=0,84

Tabella 2.17 - Matrice di errore della classificazione - Regione Sardegna

Classi di uso del suolo	Classi di verità a terra								Totale campioni
	211	212	232	2411	2412	2421	2422	243	
211	155	1	0	0	5	0	2	0	163
212	10	136	2	7	0	5	3	0	163
232	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2411	2	1	0	36	8	0	0	0	47
2412	3	0	0	0	20	0	0	0	23
2421	0	0	0	0	0	41	4	2	47
2422	2	0	1	0	0	1	19	0	23
243	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Totale campioni	172	138	3	43	33	47	28	2	466
									K=0,87

CAPITOLO 3

CONSIDERAZIONI RELATIVE ALL'AGGIORNAMENTO DELL'USO DEL SUOLO

3.1 Copertura uso del suolo nelle aree extracomprendoriali regioni meridionali

I dati derivanti dall'aggiornamento della cartografia CASI3 vanno interpretati tenendo in considerazione le finalità del Progetto, cioè l'individuazione delle superfici irrigate ed irrigabili nelle aree extracomprendoriali con delle indicazioni relative alla distribuzione di alcune principali classi di uso del suolo irriguo (seminativi, vigneti, oliveti, frutteti, pascoli, aree miste) in funzione della scala di lavoro adottata.

Occorre considerare, infatti, che la cartografia tematica è una rappresentazione della realtà tanto più precisa quanto più grande è la scala di riferimento, la quale condiziona fortemente il livello di dettaglio ottenibile. Nelle aree irrigue del mezzogiorno – caratterizzate spesso da un elevato livello di frammentazione della struttura di uso del suolo – la verità a terra sull'uso reale del suolo agricolo è ottenibile con scale uguali o maggiori di 1:10.000, mentre per il presente Progetto, la scala di riferimento è di 1:50.000, corrispondente ad una superficie minima cartografabile pari a 6,25 ha. Ne deriva che in un poligono di 6,25 ha, soprattutto nelle aree ad orticoltura intensiva, possono coesistere diversi appezzamenti, irrigui e non irrigui, a differente investimento culturale. In tali situazioni si è cercato di ricorrere il meno possibile al codice “2.4” (superfici eterogenee), ma dove ciò non fosse stato possibile, sono state valutate, durante i sopralluoghi di controllo, le caratteristiche del poligono e la diffusione delle aree irrigate rispetto alla superficie totale, cercando di attribuire il codice più opportuno. Le caratteristiche considerate, per discriminare questi casi, al momento dell'interpretazione e dei controlli a terra, sono state tra l'altro, l'andamento orografico, la presenza di aree naturali, la presenza di una urbanizzazione diffusa ovvero di una agricoltura a carattere familiare.

In linea generale, è stato riscontrato che le classi miste localizzate in aree collinari o pianeggianti sono per lo più irrigue (ad esempio l'area della pianura di Nola), mentre quelle situate in aree con pendenze più accentuate sono soprattutto non irrigue, come ad esempio la costa tirrenica calabrese – area appunto non irrigua perché molto accidentata.

Può sussistere, inoltre, un certo grado di errore dovuto sia all'utilizzo come supporto geometrico delle ortofoto AGEA del 1997, sia alla differenza temporale tra fotointerpretazione e rilievi in campo, sia all'andamento climatico. Tale errore è concentrato essenzialmente nelle aree attigue alle città per la presenza di nuove costruzioni; nel caso di un'espansione vasta e continua (zone industriali, aeroporti) la stessa è stata rilevata tramite le immagini satellitari e quindi cartografata durante la digitalizzazione. In caso di aree ad urbanizzazione diffusa, con caratteristiche, tuttavia, ancora agricole, le stesse sono state classificate come “eterogenee prevalentemente non irrigue”.

Per quanto riguarda le zone agricole, si è cercato di ovviare all'errore con la definizione di numerose chiavi interpretative, controlli in campo ed interviste ad agricoltori locali per avere conferma delle colture effettivamente presenti.

Si può dire, tuttavia, che l'errore tematico si può concentrare maggiormente in alcune classi piuttosto che in altre. Ad esempio, nelle aree tradizionalmente vocate per colture protette, in cui si hanno significative superfici a serra mobile o fissa, ma con distribuzione frammentata sul territorio, non è stato materialmente possibile perimetrare (se non in minima parte) poligoni a serra inglobandoli in genere tra i seminativi irrigui.

Un ulteriore approfondimento merita la problematica legata alla distinzione tra superfici “irrigate” e “superfici irrigue”. Come già accennato, mentre sui seminativi si determinano le superfici effettivamente irrigate, sulla base dell’esame della risposta spettrale della vegetazione al momento della ripresa del satellite, per gli arboreti la distinzione viene fatta in base alla presenza, rilevabile da ortofoto o a terra, di strutture per l’irrigazione (laghetti, pozzi, condotte e bocchette di distribuzione, tubazioni mobili per l’irrigazione localizzata, ecc).

In sostanza, anche se tali superfici non sono irrigate per uno o più anni, potrebbero esserlo in presenza della risorsa acqua, e quindi considerate “potenzialmente irrigabili”.

L’analisi dettagliata per singolo poligono di vigneto ed oliveto nelle aree extracomprendoriali, ha determinato una certa diminuzione della superficie irrigua di tali colture rispetto alla fotointerpretazione effettuata nell’ambito del precedente studio.

In alcune zone, peraltro non segnalate all’INEA dai Consorzi, è stata riscontrata la presenza di tipiche utenze consortili, tuttavia non esiste la certezza che in tali zone il servizio irriguo sia attivo, ovvero sussista ancora un’irrigazione di carattere privato.

La tabella seguente riporta le superfici relative alle aree agricole irrigue extracomprendoriali.

Tabella 3.1 - Regioni Obiettivo 1: Aree agricole extracomprendoriali

	Superficie agricola extracomprendoriale	Superficie agricola irrigua extracomprendoriale	Incidenza percentuale	Di cui nel perimetro consortile	Incidenza percentuale
	(ha)	(ha)	(%)	(ha)	(%)
Regione	(a)	(b)	(b/a)	(c)	(c/b)
Abruzzo	334.039	35.969	10,8	34.652	96,3
Molise	181.881	8.652	4,8	7.636	88,3
Campania	605.274	66.072	10,9	65.138	98,6
Puglia	1.336.257	175.222	13,1	174.000	99,3
Basilicata	291.000	18.824	6,5	9.824	52,2
Calabria	442.403	38.151	8,6	37.000	97,0
Sicilia	1.459.009	112.897	7,7	112.897	100,0
Sardegna	514.101	44.993	8,8	19.916	44,3
TOTALE	5.302.113	500.781	9,4	449.152	92,1

Dall’analisi dei dati riportati in tabella si osserva come circa il 10% - 500.781 ha - della superficie agricola esterna ai comprensori attrezzati, sia interessata dalla pratica dell’irrigazione.

Il fenomeno interessa tutte le regioni, pur con delle differenze anche notevoli tra le stesse - dal 4,8 del Molise al 13% della Puglia - denotando un’esigenza degli imprenditori agricoli di avere una maggiore flessibilità nella scelta degli ordinamenti produttivi, potendo orientarsi verso produzioni a maggior valore aggiunto (ortofrutta, viticoltura ecc.), svincolandosi, attraverso il ricorso all’irrigazione, dalla scarsità ed incertezza degli apporti idrici derivanti dalle precipitazioni.

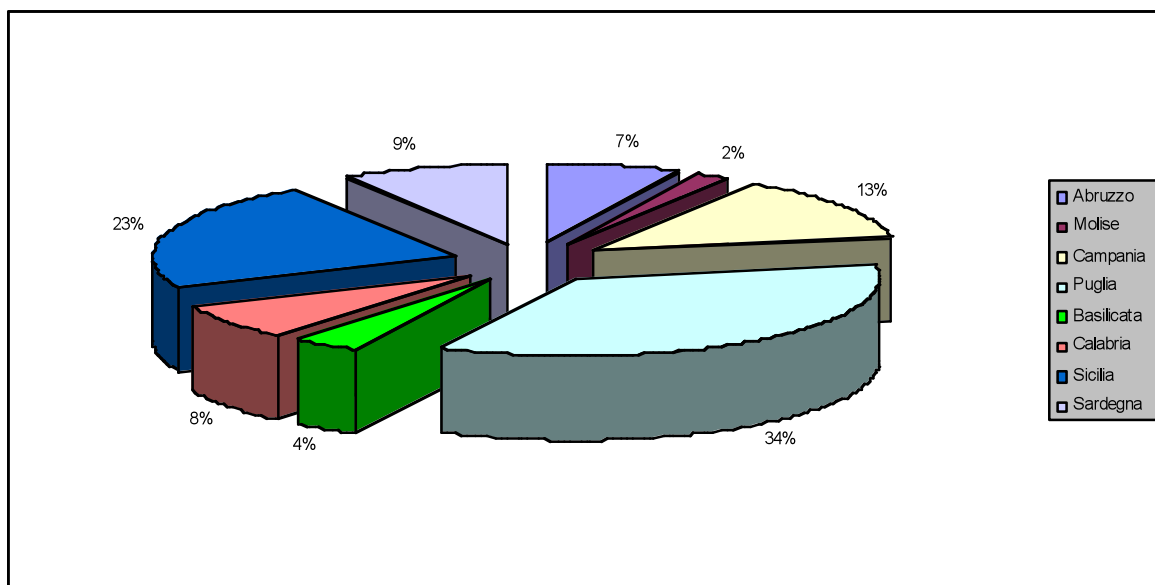
Tuttavia questo tipo di irrigazione, sfuggendo al controllo della gestione pubblica della risorsa idrica, può influire negativamente su problemi di carattere agro – ambientale in primo luogo la salinizzazione delle falde.

Inoltre, più del 90%, pari a 449.152 ha, di tale superficie si localizza all’interno dei perimetri amministrativi dei Consorzi di Bonifica, cioè nelle zone che pur essendo di competenza territoriale dei Consorzi, sono sprovviste di strutture di distribuzione della risorsa idrica ad uso irriguo, con percentuali

che, nelle Regioni in cui il territorio è completamente (Sicilia) o in maggior parte (Abruzzo, Calabria, Campania, Puglia) interessato da competenza amministrativa dei Consorzi di Bonifica, oscillano tra il 90 ed il 100%.

Il seguente grafico illustra la ripartizione della superficie irrigata extracomprenditoriale nelle diverse regioni.

Grafico 3.1 – Ripartizione percentuale della superficie irrigata extracomprenditoriale



Il fenomeno dell'irrigazione nelle aree agricole extracomprenditoriali è evidenziato anche dall'ISTAT, sia attraverso i Censimenti generali dell'Agricoltura che tramite l'indagine campionaria "Struttura e produzione delle aziende agricole (SPA)", eseguita in collaborazione con le Regioni e Province autonome competenti per territorio e in attuazione di diverse normative comunitarie.

Nella tabella seguente si riportano i dati relativi all'indagine realizzata con riferimento all'anno 2003.

Tabella 3.2 - Superficie irrigata per modalità di approvvigionamento e regione - Anno 2003 (valori assoluti in ettari)

Regioni	Modalità singola				Più di una modalità	Totale
	Auto-approvvigionamento	Consorzio	Da altre aziende agricole	Altra modalità		
Valori assoluti						
Abruzzo	10.117	18.133	9	1.844	1.603	31.706
Molise	840	14.607	-	107	-	15.554
Campania	57.871	31.131	1.682	3.407	5.822	99.913
Puglia	144.090	54.439	13.671	17.174	57.398	286.773
Basilicata	4.705	37.644	-	119	14.001	56.469
Calabria	39.436	29.717	618	4.364	10.346	84.481
Sicilia	90.465	58.670	5.822	5.946	26.660	187.563
Sardegna	20.129	32.979	204	132	11.990	65.435
Totale	367.653	277.320	22.007	33.093	127.821	827.894

Fonte: Istat, Indagine struttura e produzioni delle aziende agricole, Anno 2003.

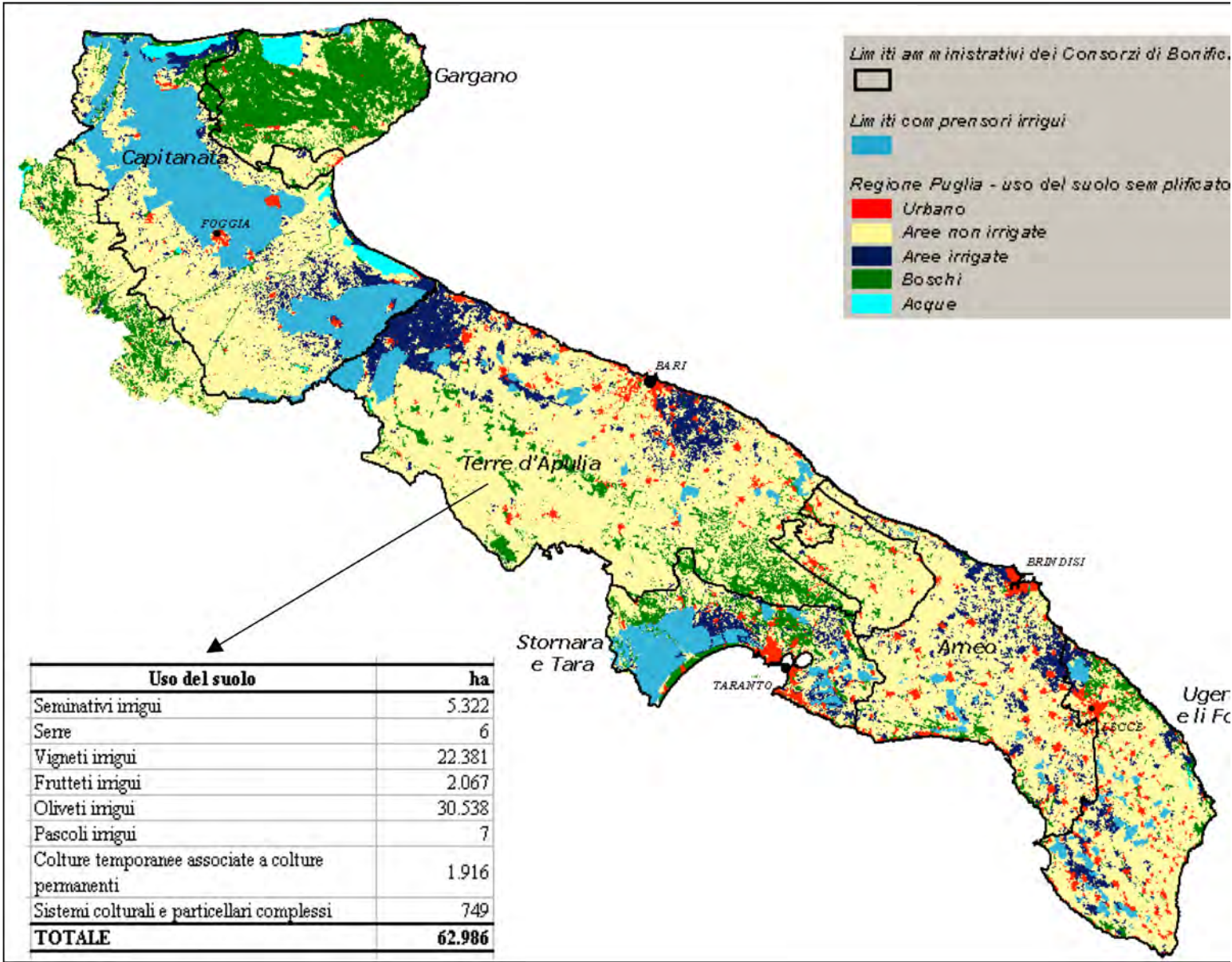
Considerando il dato riguardante la modalità di approvvigionamento della risorsa idrica delle aziende agricole, risulta che 367.653 ha sono irrigati con acque provenienti dall'auto approvvigionamento, cui è da aggiungere anche una quota parte delle altre modalità.

Inoltre la tabella conferma che le regioni in cui è maggiormente presente il fenomeno dell'irrigazione privata sono nell'ordine: Puglia, Sicilia e Campania.

E' importante rilevare che la presenza di superfici irrigate di una certa consistenza all'esterno dei comprensori irrigui dei consorzi, assume un ruolo rilevante dal punto di vista di una corretta ed oculata gestione della risorsa idrica, poiché, nella maggior parte dei casi si tratta di risorsa il cui uso sfugge al controllo diretto da parte degli Enti preposti.

Il presente lavoro fornisce un'indicazione sulla localizzazione geografica del fenomeno (nella Fig. 3.1 si riporta un esempio relativo alla regione Puglia), che può costituire base di riferimento per approfondimenti di maggior dettaglio volti a localizzare eventuali evasioni e/o prelievi indiscriminati della risorsa e nel contempo permette al programmatore di stimare la propensione da parte delle comunità ricadenti in un territorio attualmente non servito dall'irrigazione pubblica ad affrontare i rischi e gli oneri connessi alla riconversione colturale.

Figura 3.1 – Regione Puglia: localizzazione aree irrigate extracomprendoriali.



Nei grafici 3.2 e 3.3 si riportano le superfici irrigate complessive per classe di uso del suolo e la relativa distribuzione percentuale.

Si nota che nelle Regioni Obiettivo 1 gli ordinamenti culturali irrigui più diffusi sono i seminativi, i frutteti, la vite e l'olivo. In questa analisi non risultano presenti le colture ortive, ampiamente presenti nel mezzogiorno, perché esse sono accorpate nelle classi seminativi ed aree miste. Pascoli e serre sono presenti con una percentuale piuttosto bassa, rispettivamente 1,9% e 0,3% e quindi risultano essere poco significative a livello generale.

Grafico 3.2 – Superficie irrigata per classe di uso del suolo

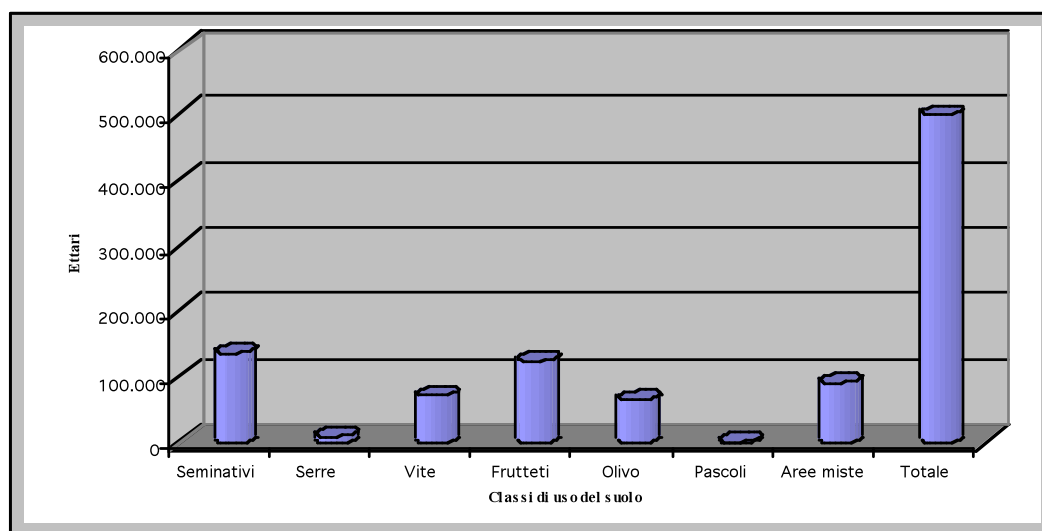
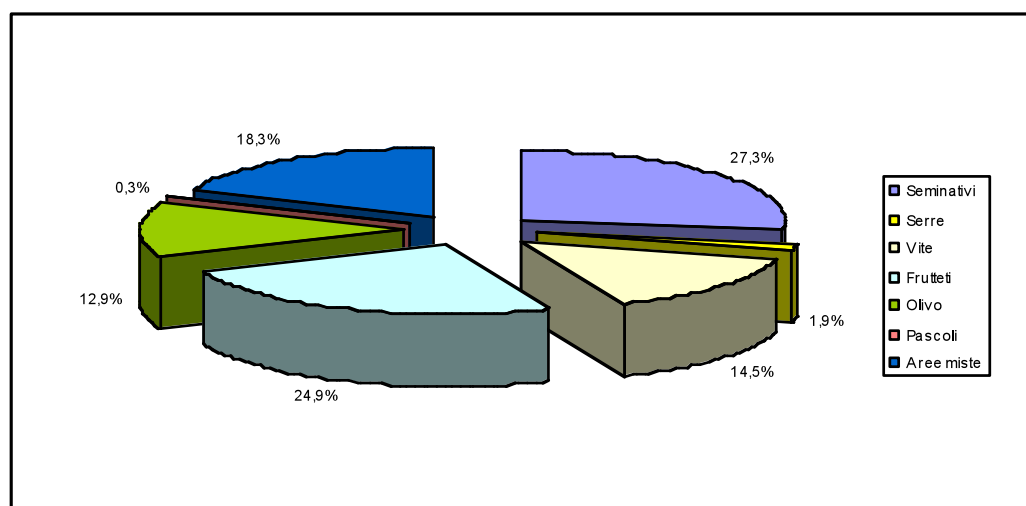


Grafico 3.3 – Distribuzione percentuale superficie irrigata per classe di uso del suolo



Nella seguente tabella 3.3 si riportano i dati relativi alla distribuzione della superficie irrigata per classi di uso del suolo a livello regionale.

Tabella 3.3 - Superficie irrigata per classi di uso del suolo per regione (Valori assoluti in ettari)

	Classi di uso del suolo							Totale
	Seminativi	Serre	Vite	Frutteti	Olivo	Pascoli	Aree miste	
Valori assoluti								
Regione								
Abruzzo	13.679	-	220	1.336	429	-	20.305	35.969
Basilicata	14.582	11	162	3.434	417	-	219	18.824
Calabria	6.009	24	267	26.588	3.716	-	1.546	38.151
Campania	32.178	1.197	1.316	26.316	811	-	4.255	66.072
Molise	7.558	-	258	30	663	-	144	8.653
Puglia	40.350	24	49.369	13.232	48.816	-	23.431	175.222
Sardegna	7.921	468	1.325	7.201	2.704	1.277	24.096	44.993
Sicilia	14.355	7.592	19.767	46.361	7.270	-	17.551	112.897
Totale	136.631	9.316	72.684	124.498	64.826	1.277	91.548	500.781
Incidenza percentuale su superficie irrigata regionale								
Abruzzo	38,0	-	0,6	3,7	1,2	-	56,5	100
Basilicata	77,5	0,1	0,9	18,2	2,2	-	1,2	100
Calabria	15,7	0,1	0,7	69,7	9,7	-	4,1	100
Campania	48,7	1,8	2,0	39,8	1,2	-	6,4	100
Molise	87,3	-	3,0	0,3	7,7	-	1,7	100
Puglia	23,0	0,0	28,2	7,6	27,9	-	13,4	100
Sardegna	17,6	1,0	2,9	16,0	6,0	2,8	53,6	100
Sicilia	12,7	6,7	17,5	41,1	6,4	-	15,5	100

Dall'analisi dei dati presenti in questa tabella si evince che nelle varie regioni meridionali è presente una specializzazione culturale. Abruzzo, Basilicata, Molise e Sardegna risultano essere le regioni in cui il principale ordinamento culturale è rappresentato dai seminativi e dalle aree miste. I frutteti irrigui sono, invece, la principale coltura irrigua in Calabria e Sicilia. La Campania è caratterizzata da due tipologie culturali: seminativi e frutteti, che assieme coprono l'88,5% degli ettari irrigui regionali, mentre la Puglia è definita da una varietà di colture, soprattutto vite, olivo e seminativi, rispettivamente con il 28,2%, 27,9% ed il 23% degli ettari irrigui. E' da notare che l'unica regione in cui i pascoli risultano essere irrigui è la Sardegna con 1.277 ha e che le serre occupano un ruolo importante in Sicilia ed in Campania.

Nei paragrafi seguenti si riportano alcune considerazioni relative al confronto con la precedente interpretazione per le diverse regioni e nelle tabelle finali i risultati sull'uso/copertura del suolo nelle aree agricole extracomprendoriali ricadenti nel perimetro amministrato dai Consorzi di Bonifica.

3.1.1 *Abruzzo*

L'agricoltura abruzzese è in gran parte sviluppata lungo la costa, le zone più pianeggianti e declivi e lungo i corsi dei fiumi; nell'Aquilano, la zona più importante dal punto di vista agricolo è rappresentata dalla Piana del Fucino e dalla Valle Peligna.

Rispetto alla precedente interpretazione si nota una sostituzione di seminativi irrigui e non irrigui con aree miste che sono passate da una superficie totale di circa 9.000 ha a circa 20.000 ha. In linea generale si può dire che i seminativi hanno diminuito la loro superficie totale, passando da 230.000 ha a 204.000 ha con contestuali trasformazioni di poligoni da asciutti ad irrigui e viceversa, soprattutto nella provincia di Teramo in cui sono presenti molti laghetti collinari, mentre le colture arboree in generale hanno mantenuto costante la superficie investita.

Raramente nella regione si sono rilevati attingimenti da torrenti in concessione demaniale, mentre si riscontra in maniera capillare la diffusione di pozzi privati destinati all'irrigazione di colture pregiate quali vigneti e ortive.

3.1.2 *Molise*

Come in Abruzzo, anche in Molise, l'agricoltura è maggiormente sviluppata lungo la costa e le zone collinari della provincia di Campobasso rispetto alle aree interne della provincia di Isernia.

Nelle aree costiere e collinari è diffusa la presenza di invasi aziendali e impianti di distribuzione privata.

Rispetto alla precedente classificazione, nella regione, la superficie investita a seminativo risulta essere stabile in termini di estensione, ma con una certa diminuzione del seminativo irriguo rispetto a quello asciutto, per effetto principalmente della rotazione colturale. Maggiori trasferimenti di classe si sono registrati dalle classi miste o non irrigue alle due classi di seminativi; le aree miste o non irrigue sono passate infatti, da 11.700 a 3.000 ha. Tale variazione potrebbe essere dovuta principalmente ad errori nella classificazione precedente.

In Molise, i Consorzi di Bonifica Trigno e Larinese, hanno fornito una nuova cartografia riguardo i limiti comprensoriali, che ha permesso un aggiornamento rispetto a quelli utilizzati per definire l'area di studio. Questa nuova cartografia fornitaci dopo l'interpretazione ed i controlli fatti in campo, conferma che in quelle aree si ha la presenza di una diffusa irrigazione. Questo fatto era stato evidenziato anche dai controlli effettuati in campagna. Di ciò si è tenuto conto nell'elaborazione delle statistiche finali e nel layout di stampa.

3.1.3 *Campania*

La Campania presenta una situazione molto eterogenea: in provincia di Caserta, zona tradizionalmente caratterizzata da colture irrigate, non si sono avuti problemi durante la fase di fotointerpretazione; nelle zone più interne delle province di Benevento ed Avellino si assiste da un lato ad un progressivo abbandono di alcune aree coltivabili, e dall'altro a nuovi investimenti a vite attrezzata con impianti irrigui; l'area della pianura di Nola è un'area ad agricoltura molto intensiva, ma molto frammentata ed irrigata principalmente con acqua prelevata da pozzi.

Nelle aree più interne della regione, in particolare nella provincia di Salerno, la superficie classificata a 231 (pascoli irrigui), potrebbe essere stata sovrastimata per effetto delle prime precipitazioni occorse nel periodo interessato dalle immagini (2/09/05).

La superficie a serre con strutture semifisse o mobili, potrebbe essere stata sottostimata, perché probabilmente interpretata come seminativi irrigui, soprattutto nelle aree in cui tale sistema è molto diffuso, determinando quindi una parcellizzazione troppo spinta del territorio.

Rispetto alla classificazione precedente, si segnala un'espansione dei seminativi non irrigui che sono passati da circa 275.000 ha a circa 296.000 ha. C'è stata, viceversa, una forte diminuzione dei seminativi irrigui passati da circa 115.000 ha a circa 32.000 ha. In generale, c'è stata una notevole dispersione dei poligoni classificati a seminativo verso le altre classi, in particolare quelle miste ed in misura minore le coltivazioni arboree. Le classi miste (2411, 2412, 2421, 2422, 243, 244) sono aumentate del 52% arrivando a 77.000 ha. Per quanto riguarda le colture arboree, i frutteti hanno aumentato la loro superficie, mentre sono sostanzialmente stabili vigneti e oliveti. Per gli oliveti, si registra una diminuzione delle aree irrigate (2231) ed un contemporaneo aumento delle aree non irrigue. Tra le classi arboree, sono presenti diversi spostamenti tra le classi, segno che probabilmente con la presente fotointerpretazione è stata rettificata la precedente.

I Consorzi Bacino Inferiore del Volturno, Ufita e Vallo di Diano - Tanagro hanno fornito nuova cartografia rispetto a quella utilizzata per definire i limiti comprensoriali. Di ciò si è tenuto conto nell'elaborazione delle statistiche finali e nel layout di stampa.

3.1.4 Puglia

In Puglia, per la parte settentrionale della regione, non c'erano a disposizione immagini dello stesso anno, si sono quindi utilizzate immagini di due anni diversi (2004 e 2005). Durante la fase di interpretazione, si è utilizzata ove possibile l'immagine del 2005; considerando la rotazione culturale degli appezzamenti irrigui, l'utilizzo dell'immagine satellitare del 2004 non ha comportato gravi inconvenienti, vista la finalità del Progetto, nell'individuazione di macroaree irrigue.

Rispetto alla classificazione precedente, si nota una forte diminuzione del seminativo irriguo a favore del seminativo non irriguo; la stessa trasformazione si è avuta anche tra vigneti ed oliveti; si registra un aumento delle aree miste, non irrigue senza tuttavia una corrispondente dispersione tra le classi.

Durante i rilievi ed il collaudo in campo, sono state segnalate aree attrezzate con impianti di irrigazione pubblica con attingimenti di acqua da pozzi gestite sia da Consorzi di Bonifica sia dalla Regione in via di attivazione o attivati negli ultimi anni come nei Consorzi Arneo, Terre d'Apulia ed Ugento li Foggi, che hanno fornito nuova cartografia per la delimitazione delle aree comprensoriali.

3.1.5 Basilicata

In Basilicata, rispetto alla classificazione precedente, si registra una forte diminuzione dei seminativi asciutti, controbilanciata da una espansione dei seminativi irrigui: i seminativi asciutti sono diminuiti di circa 30.000 ha mentre i seminativi irrigui sono aumentati di circa 28.000 ha. Tale dato, potrebbe tuttavia essere inficiato da errori nella precedente interpretazione. Sussiste, comunque, una forte dispersione di vecchi poligoni interpretati come seminativo asciutto (211) verso tutte le altre classi, nonché un discreto aumento delle classi miste e del pascolo asciutto (232) derivato quasi totalmente da poligoni interpretati come 231 nella precedente classificazione.

3.1.6 Calabria

In Calabria, la maggior parte del territorio agricolo più produttivo è occupata dai comprensori di bonifica. Escludendo le Piane di Sibari, di Lamezia e di Rosarno, nella restante parte della regione si ha la prevalenza di aree non irrigue o aree miste. Nelle piane di Sibari e Lamezia Terme, al di fuori dei comprensori irrigui, si ha una notevole diffusione di impianti irrigui nei frutteti con l'utilizzo di acqua emunta da pozzi.

Più che in altre regioni, in Calabria si assiste ad una notevole riduzione delle superfici irrigue di vigneto ed oliveto rispetto alla precedente interpretazione: oliveti irrigui (-11.500 ha), oliveti non irrigui (+8.000 ha). La differente metodologia di classificazione utilizzata per gli oliveti, ha permesso di discriminare meglio i poligoni con impianti, escludendo tutte le aree in cui l'irrigazione per caratteristiche proprie dell'area non poteva essere praticata.

Una significativa parte della superficie viticola e olivicola è distribuita su piccoli appezzamenti a conduzione familiare in consociazione tra loro e con altre colture. Per tale ragione, parte della loro superficie è da ricercarsi in quella classificata come area agricola eterogenea (classe 2.4).

Anche in Calabria, c'è una forte dispersione dalle classi di seminativi (211, 212) verso tutte le altre classi di uso del suolo.

3.1.7 Sicilia

La fotointerpretazione della regione Sicilia, in seguito ai controlli effettuati a video, è stata corretta dai fotointerpreti, perché ritenuta non adeguata. Un certo margine di errore potrebbe permanere per le superfici a serre con strutture semifisse o mobili, interpretate come 212 (seminativi irrigui) per via della frammentazione molto accentuata.

In Sicilia, la fotointerpretazione preliminare è stata svolta a campione su singole aree in modo da far partire subito i rilievi a terra; ciò potrebbe aver comportato una sottostima delle superfici irrigue investite a tali colture rendendo non del tutto affidabile il confronto tra la vecchia e la nuova fotointerpretazione.

In generale, si può dire che in Sicilia la coltivazione redditizia di vivai e serre, vigneti, frutteti, agrumeti e colture miste olivo/vite, avviene solo in aree dove esiste una falda idrica più o meno profonda e dove vi è la possibilità di accumulare acqua in laghetti interpoderali.

3.1.8 Sardegna

Dai rilievi in campo, è emerso in modo particolare un vistoso grado di abbandono colturale di aree coltivabili, anche di pianura; ciò è evidenziato da una maggiore diffusione di superfici interpretate a 211 e 232 ed aree miste o agroforestali rispetto alla precedente fotointerpretazione.

A supporto ed integrazione della fotointerpretazione e dei rilievi su oliveto e vigneto, sono stati utilizzati dati ancillari provenienti da strati del database geotopografico e dalla Carta Tecnica Regionale della regione.

Tabella 3.4 – Caratteristiche dell’uso del suolo nelle Aree Agricole Extracomprendoriali dei Consorzi (Regione Abruzzo)

COLTURE		CdB Nord		CdB Ovest		CdB Interno		CdB Centro		CdB Sud	
		uso/copertura del suolo									
COD.	DESCRIZIONE	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
211	seminativi non irrigui	56.746,97	72,24	6.434,44	22,03	14.878,63	51,91	37.147,39	42,38	51.788,85	47,09
212	seminativi irrigui	11.058,56	14,08	2.955,79	10,12	3.637,26	12,69	3.169,74	3,62	917,60	0,83
2125	serre	0,00	0,00	0,00	0,00	10,18	0,04	3,38	0,00	0,00	0,00
221	vigneti	553,71	0,70	7,30	0,02	19,49	0,07	13.820,13	15,77	14.370,94	13,07
2211	vigneti irrigui	86,36	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	93,76	0,11	112,52	0,10
2212	vigneti non irrigui	467,35	0,59	7,30	0,02	19,49	0,07	13.726,37	15,66	14.258,41	12,97
222	frutteti e frutti minori	2.456,36	3,13	21,95	0,08	7,53	0,03	975,18	1,11	527,47	0,48
2221	frutteti irrigui	1.086,96	1,38	0,00	0,00	0,00	0,00	300,95	0,34	223,71	0,20
2222	frutteti non irrigui	1.369,40	1,74	21,95	0,08	7,53	0,03	674,23	0,77	303,76	0,28
223	oliveti	4.628,70	5,89	916,05	3,14	1.567,71	5,47	29.762,12	33,95	28.438,63	25,86
2231	oliveti irrigui	10,55	0,01	0,00	0,00	7,83	0,03	210,51	0,24	212,46	0,19
2232	oliveti non irrigui	4.618,15	5,88	916,05	3,14	1.559,88	5,44	29.551,61	33,71	28.226,17	25,67
23	foraggiere permanenti	963,72	1,23	4.016,76	13,75	1.862,30	6,50	1.332,40	1,52	8.517,92	7,75
231	pascoli irrigui	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
232	pascoli non irrigui	963,72	1,23	4.016,76	13,75	1.862,30	6,50	1.332,40	1,52	8.517,92	7,75
241	colture temporanee associate a colture permanenti	366,05	0,47	2.098,34	7,19	287,07	1,00	800,28	0,91	763,35	0,69
2411	con prevalenza di irrigazione	69,05	0,09	1.259,01	1,60	150,41	0,19	4,40	0,01	197,85	0,25
2412	senza irrigazione	297,00	0,38	839,34	1,07	136,67	0,17	795,88	1,01	565,50	0,72
242	sistemi colturali e particellari complessi	1.334,55	1,70	11.278,09	38,62	5.869,78	20,48	356,53	0,41	279,88	0,25
2421	con prevalenza di irrigazione	46,70	0,06	5.368,20	6,83	3.382,17	4,31	72,72	0,09	4,13	0,01
2422	senza irrigazione	1.287,86	1,64	5.909,89	7,52	2.487,61	3,17	283,80	0,36	275,74	0,35
243	Aree agricole con presenza di spazi naturali	441,42	0,56	1.473,92	5,05	521,87	1,82	285,42	0,33	4.367,36	3,97
TOTALE COLT. IRRIGUE		12.358,17	15,83	9.582,99	47,94	7.187,84	33,29	3.855,45	4,46	1.668,27	1,64
TOTALE CASI 3 AGRICOLO EXTRACOMPRESORIALE		78.550,04	100,00	29.202,64	100,00	28.661,81	100,00	87.652,56	100,00	109.971,99	100,00

Tabella 3.5 – Caratteristiche dell’uso del suolo nelle Aree Agricole Extracomprendoriali dei Consorzi (Regione Molise)

COLTURE		Trigno e Basso Biferno		Larinese		Piana di Venafro	
		uso/copertura del suolo					
COD.	DESCRIZIONE	ha	%	ha	%	ha	%
211	seminativi non irrigui	15.323,07	75,81	29.335,92	80,50	167,86	56,19
212	seminativi irrigui	3.224,09	15,95	3.375,91	9,26	9,50	3,18
221	vigneti	175,24	0,87	258,73	0,71	0,00	0,00
2211	vigneti irrigui	99,02	0,49	152,05	0,42	0,00	0,00
2212	vigneti non irrigui	76,22	0,38	106,68	0,29	0,00	0,00
222	frutteti e frutti minori	11,07	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00
2221	frutteti irrigui	11,07	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00
2222	frutteti non irrigui	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
223	oliveti	1.219,33	6,03	3.385,84	9,29	118,56	39,69
2231	oliveti irrigui	436,34	2,16	182,90	0,50	41,78	13,99
2232	oliveti non irrigui	782,99	3,87	3.202,94	8,79	76,79	25,70
241	colture temporanee associate a colture permanenti	0,00	0,00	67,06	0,18	0,00	0,00
2411	con prevalenza di irrigazione	0,00	0,00	18,06	0,05	0,00	0,00
2412	senza irrigazione	0,00	0,00	49,01	0,13	0,00	0,00
242	sistemi colturali e particellari complessi	156,39	0,77	17,40	0,05	2,81	0,94
2421	con prevalenza di irrigazione	84,25	0,42	0,00	0,00	1,69	0,57
2422	senza irrigazione	72,14	0,36	17,40	0,05	1,13	0,38
243	Aree agricole con presenza di spazi naturali	103,79	0,51	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTALE COLT. IRRIGUE		3.854,76	19,07	3.728,92	10,23	52,96	17,73
TOTALE CASI 3 AGRICOLO EXTRACOMPRESORIALE		20.212,96	100,00	36.440,86	100,00	298,73	100,00

Tabella 3.6 – Caratteristiche dell’uso del suolo nelle Aree Agricole Extracomprendoriali dei Consorzi (Regione Campania) 1/2

COLTURE		Aurunco		Bacino Inferiore Volturno		Sannio Alifano		Ufita	
		uso/copertura del suolo							
COD.	DESCRIZIONE	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
211	seminativi non irrigui	943,42	10,87	16.203,69	17,01	28.114,28	34,60	45.348,41	83,06
212	seminativi irrigui	1.155,88	13,32	10.148,99	10,66	4.325,67	5,32	39,99	0,07
2125	serre	40,41	0,47	508,50	0,53	57,24	0,07	9,51	0,02
221	vigneti	31,33	0,36	112,69	0,12	4.802,41	5,91	90,99	0,17
2211	vigneti irrigui	31,33	0,36	47,27	0,05	1.217,11	1,50	0,00	0,00
2212	vigneti non irrigui	0,00	0,00	65,42	0,07	3.585,29	4,41	90,99	0,17
222	frutteti e frutti minori	397,42	4,58	38.890,43	40,83	4.818,69	5,93	128,07	0,23
2221	frutteti irrigui	375,55	4,33	23.768,36	24,96	3.825,05	4,71	15,21	0,03
2222	frutteti non irrigui	21,87	0,25	15.122,07	15,88	993,65	1,22	112,86	0,21
223	oliveti	4.543,39	52,37	6.902,28	7,25	21.539,49	26,51	6.071,88	11,12
2231	oliveti irrigui	17,35	0,20	64,32	0,07	30,35	0,04	0,00	0,00
2232	oliveti non irrigui	4.526,04	52,17	6.837,96	7,18	21.509,14	26,47	6.071,88	11,12
23	foraggiere permanenti	10,32	0,12	1.134,03	1,19	1.431,43	1,76	163,94	0,30
231	pascoli irrigui	0,00	0,00	149,64	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00
232	pascoli non irrigui	10,32	0,12	984,39	1,03	1.431,43	1,76	163,94	0,30
241	colture temporanee associate a colture permanenti	1.009,67	11,64	294,17	0,31	3.121,18	3,84	425,01	0,78
2411	con prevalenza di irrigazione	325,66	3,75	125,53	0,13	40,45	0,05	0,00	0,00
2412	senza irrigazione	684,00	7,88	168,64	0,18	3.080,74	3,79	425,01	0,78
242	sistemi colturali e particellari complessi	69,69	0,80	19.379,82	20,35	8.663,09	10,66	1.174,08	2,15
2421	con prevalenza di irrigazione	12,73	0,15	1.351,30	1,42	159,60	0,20	0,00	0,00
2422	senza irrigazione	56,96	0,66	18.028,52	18,93	8.503,49	10,46	1.174,08	2,15
243	Aree agricole con presenza di spazi naturali	144,99	1,67	890,48	0,93	4.287,90	5,28	1.060,80	1,94
244	Aree agroforestali	329,61	3,80	778,37	0,82	104,32	0,13	85,83	0,16
TOTALE COLT. IRRIGUE		1.958,91	22,58	36.163,92	37,97	9.655,46	11,88	64,70	0,12
TOTALE CASI 3 AGRICOLO EXTRACOMPRESORIALE		8.676,13	100,00	95.243,45	100,00	81.265,71	100,00	54.598,51	100,00

Tabella 3.7 – Caratteristiche dell’uso del suolo nelle Aree Agricole Extracomprendoriali dei Consorzi (Regione Campania) 2/2

COLTURE		Consorzio Sarno		Paestum - Sinistra Sele		Destra Sele		Velia - Bonifica bacino dell'Alento		Vallo di Diano e Tanagro	
		uso/copertura del suolo									
COD.	DESCRIZIONE	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
211	seminativi non irrigui	528,91	2,22	14.284,18	41,84	8.315,79	44,13	4.415,17	19,93	13.034,37	39,84
212	seminativi irrigui	2.624,90	11,04	806,64	2,36	1.600,74	8,50	778,58	3,51	3.680,64	11,25
2125	serre	155,93	0,66	22,65	0,07	465,10	2,47	25,24	0,11	0,00	0,00
221	vigneti	405,45	1,71	2,75	0,01	22,06	0,12	30,11	0,14	0,00	0,00
2211	vigneti irrigui	0,00	0,00	2,75	0,01	2,79	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
2212	vigneti non irrigui	405,45	1,71	0,00	0,00	19,28	0,10	30,11	0,14	0,00	0,00
222	frutteti e frutti minori	9.627,33	40,49	805,30	2,36	1.559,94	8,28	469,01	2,12	116,52	0,36
2221	frutteti irrigui	4.701,05	19,77	462,17	1,35	461,85	2,45	152,72	0,69	0,00	0,00
2222	frutteti non irrigui	4.926,28	20,72	343,13	1,00	1.098,08	5,83	316,29	1,43	116,52	0,36
223	oliveti	32,79	0,14	13.515,25	39,58	2.316,54	12,29	10.804,88	48,77	7.430,14	22,71
2231	oliveti irrigui	0,00	0,00	54,48	0,16	632,76	3,36	197,59	0,89	0,00	0,00
2232	oliveti non irrigui	32,79	0,14	13.460,77	39,42	1.683,78	8,94	10.607,29	47,88	7.430,14	22,71
23	foraggiere permanenti	216,97	0,91	3.473,86	10,17	1.142,69	6,06	4.769,13	21,53	7.599,19	23,23
231	pascoli irrigui	13,94	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
232	pascoli non irrigui	203,03	0,85	3.473,86	10,17	1.142,69	6,06	4.769,13	21,53	7.599,19	23,23
241	colture temporanee associate a colture permanenti	110,90	0,47	916,12	2,68	2.262,46	12,01	286,14	1,29	334,78	1,02
2411	con prevalenza di irrigazione	0,00	0,00	0,00	0,00	122,43	0,65	0,00	0,00	0,00	0,00
2412	senza irrigazione	110,90	0,47	916,12	2,68	2.140,04	11,36	286,14	1,29	334,78	1,02
242	sistemi colturali e particellari complessi	8.947,05	37,63	135,93	0,40	714,64	3,79	150,17	0,68	312,86	0,96
2421	con prevalenza di irrigazione	317,70	1,34	0,00	0,00	12,55	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00
2422	senza irrigazione	8.629,36	36,30	135,93	0,40	702,09	3,73	150,17	0,68	312,86	0,96
243	Aree agricole con presenza di spazi naturali	1.125,02	4,73	181,23	0,53	442,12	2,35	399,49	1,80	205,04	0,63
244	Aree agroforestali	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	28,05	0,13	5,82	0,02
TOTALE COLT. IRRIGUE		7.813,51	32,86	1.348,69	3,95	3.298,22	17,50	1.154,13	5,21	3.680,64	11,25
TOTALE CASI 3 AGRICOLO EXTRACOMPRESORIALE		23.775,25	100,00	34.143,92	100,00	18.842,08	100,00	22.155,97	100,00	32.719,37	100,00

Tabella 3.8 – Caratteristiche dell’uso del suolo nelle Aree Agricole Extracomprendoriali dei Consorzi (Regione Puglia)

COLTURE		Capitanata		Gargano		Terre d'Apulia		Stornata e Tara		Arneo		Ugento e Li Foggi	
		uso/copertura del suolo											
COD.	DESCRIZIONE	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
211	seminativi non irrigui	195.040,11	78,21	13.187,75	32,22	153.412,04	32,86	23.618,06	35,04	66.396,75	30,57	37.327,98	25,90
212	seminativi irrigui	20.907,04	8,38	915,53	2,24	5.321,73	1,14	1.346,11	2,00	10.354,88	4,77	1.837,30	1,28
2125	serre	0,00	0,00	0,00	0,00	6,25	0,00	0,00	0,00	32,91	0,02	2,99	0,00
221	vigneti	12.757,39	5,12	150,51	0,37	27.880,23	5,97	12.172,51	18,06	30.603,40	14,09	3.006,24	2,09
2211	vigneti irrigui	11.929,54	4,78	0,00	0,00	22.381,21	4,79	7.737,03	11,48	6.847,37	3,15	790,59	0,55
2212	vigneti non irrigui	827,86	0,33	150,51	0,37	5.499,02	1,18	4.435,48	6,58	23.756,03	10,94	2.215,65	1,54
222	frutteti e frutti minori	1.779,23	0,71	1.820,05	4,45	8.235,46	1,76	6.739,47	10,00	2.947,51	1,36	630,64	0,44
2221	frutteti irrigui	1.154,29	0,46	100,37	0,25	2.067,18	0,44	6.173,59	9,16	2.238,72	1,03	512,81	0,36
2222	frutteti non irrigui	624,94	0,25	1.719,69	4,20	6.168,28	1,32	565,87	0,84	708,79	0,33	117,83	0,08
223	oliveti	13.551,91	5,43	14.558,18	35,57	192.823,91	41,31	13.577,55	20,14	87.336,88	40,21	73.562,32	51,05
2231	oliveti irrigui	1.887,76	0,76	151,70	0,37	30.538,04	6,54	224,50	0,33	7.105,27	3,27	5.639,42	3,91
2232	oliveti non irrigui	11.664,15	4,68	14.406,48	35,20	162.285,87	34,76	13.353,06	19,81	80.231,61	36,93	67.922,90	47,14
23	foraggiere permanenti	1.964,82	0,79	9.725,04	23,76	61.749,04	13,23	5.291,74	7,85	4.623,10	2,13	5.860,89	4,07
231	pascoli irrigui	12,51	0,01	0,00	0,00	6,74	0,00	0,00	0,00	4,32	0,00	5,25	0,00
232	pascoli non irrigui	1.952,31	0,78	9.725,04	23,76	61.742,31	13,23	5.291,74	7,85	4.618,78	2,13	5.855,63	4,06
241	colture temporanee associate a colture permanenti	666,35	0,27	71,76	0,18	9.988,54	2,14	634,19	0,94	3.896,74	1,79	5.061,85	3,51
2411	con prevalenza di irrigazione	71,80	0,03	0,00	0,00	1.915,73	0,41	103,61	0,15	1.530,60	0,70	2.371,35	1,65
2412	senza irrigazione	594,55	0,24	71,76	0,18	8.072,80	1,73	530,58	0,79	2.366,13	1,09	2.690,50	1,87
242	sistemi colturali e particellari complessi	2.599,71	1,04	81,38	0,20	5.534,60	1,19	3.456,19	5,13	10.726,30	4,94	14.937,20	10,37
2421	con prevalenza di irrigazione	860,19	0,34	0,00	0,00	748,70	0,16	1.199,12	1,78	2.674,30	1,23	2.379,86	1,65
2422	senza irrigazione	1.739,52	0,70	81,38	0,20	4.785,90	1,03	2.257,07	3,35	8.052,01	3,71	12.557,34	8,71
243	Aree agricole con presenza di spazi naturali	123,14	0,05	417,02	1,02	1.872,55	0,40	566,03	0,84	306,10	0,14	1.870,19	1,30
TOTALE COLT. IRRIGUE		36.823,14	14,77	1.167,60	2,85	62.985,58	13,49	16.783,96	24,90	30.788,37	14,17	13.539,58	9,40
TOTALE CASI 3 AGRICOLO EXTRACOMPRESORIALE		249.389,70	100,00	40.927,23	100,00	466.824,34	100,00	67.401,84	100,00	217.224,57	100,00	144.097,59	100,00

Tabella 3.9 – Caratteristiche dell’uso del suolo nelle Aree Agricole Extracomprendoriali dei Consorzi (Regione Basilicata)

COLTURE		Vulture Alto Bradano		Bradano Metaponto		Alta Val d'Agri	
		uso/copertura del suolo					
COD.	DESCRIZIONE	ha	%	ha	%	ha	%
211	seminativi non irrigui	113.199,70	89,49	100.382,84	84,83	22.905,21	49,31
212	seminativi irrigui	1.093,97	0,86	597,46	0,50	12.570,04	27,06
2125	serre	0,00	0,00	11,35	0,01	0,00	0,00
221	vigneti	650,74	0,51	58,29	0,05	41,50	0,09
2211	vigneti irrigui	122,13	0,10	8,10	0,01	7,64	0,02
2212	vigneti non irrigui	528,61	0,42	50,20	0,04	33,86	0,07
222	frutteti e frutti minori	995,98	0,79	4.688,45	3,96	1.503,05	3,24
2221	frutteti irrigui	63,10	0,05	2.826,42	2,39	922,45	1,99
2222	frutteti non irrigui	932,88	0,74	1.862,03	1,57	580,60	1,25
223	oliveti	8.086,80	6,39	7.816,94	6,61	2.211,78	4,76
2231	oliveti irrigui	117,56	0,09	265,80	0,22	61,75	0,13
2232	oliveti non irrigui	7.969,23	6,30	7.551,15	6,38	2.150,03	4,63
241	colture temporanee associate a colture permanenti	47,43	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00
2411	con prevalenza di irrigazione	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2412	senza irrigazione	47,43	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00
242	sistemi colturali e particellari complessi	388,50	0,31	243,17	0,21	720,19	1,55
2421	con prevalenza di irrigazione	65,34	0,05	116,53	0,10	247,94	0,53
2422	senza irrigazione	323,16	0,26	126,64	0,11	472,25	1,02
243	Aree agricole con presenza di spazi naturali	493,86	0,39	197,57	0,17	2.447,32	5,27
TOTALE COLT. IRRIGUE		1.462,11	1,16	3.814,31	3,22	13.809,83	29,73
TOTALE CASI 3 AGRICOLO EXTRACOMPRESORIALE		126.496,70	100,00	118.337,65	100,00	46.447,61	100,00

Tabella 3.10 – Caratteristiche dell’uso del suolo nelle Aree Agricole Extracomprendoriali dei Consorzi (Regione Calabria) 1/2

COLTURE		Raggruppati Prov. Catanzaro		Piana Sant'Eufemia		Ferro e Sparviero		Lao - Bacini Tirrenici Cosentino		Piana Sibari - Media Valle Crati		Pollino	
		uso/copertura del suolo											
COD.	DESCRIZIONE	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
211	seminativi non irrigui	17.152,02	38,14	4.320,82	17,93	4.737,18	56,20	3.977,84	39,87	23.270,98	37,66	6.995,78	33,93
212	seminativi irrigui	223,91	0,50	695,88	2,89	610,68	7,24	73,79	0,74	2.077,52	3,36	307,73	1,49
2125	serre	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,40	0,01	0,00	0,00
213	risaie	0,00	0,00	0,00	0,00	3,14	0,04	0,00	0,00	377,48	0,61	0,00	0,00
221	vigneti	69,42	0,15	344,75	1,43	10,34	0,12	0,00	0,00	154,44	0,25	0,53	0,00
2211	vigneti irrigui	0,08	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00	27,42	0,04	0,00	0,00
2212	vigneti non irrigui	69,33	0,15	344,75	1,43	10,21	0,12	0,00	0,00	127,01	0,21	0,53	0,00
222	frutteti e frutti minori	2.307,58	5,13	989,65	4,11	593,78	7,04	271,25	2,72	5.175,44	8,38	259,67	1,26
2221	frutteti irrigui	1.438,11	3,20	668,90	2,78	468,40	5,56	106,15	1,06	4.125,30	6,68	239,32	1,16
2222	frutteti non irrigui	869,47	1,93	320,74	1,33	125,38	1,49	165,10	1,65	1.050,14	1,70	20,35	0,10
223	oliveti	22.382,96	49,77	16.889,91	70,09	1.621,45	19,24	2.675,89	26,82	27.382,30	44,32	9.938,30	48,20
2231	oliveti irrigui	169,71	0,38	2.503,43	10,39	163,27	1,94	0,02	0,00	89,35	0,14	2,83	0,01
2232	oliveti non irrigui	22.213,25	49,39	14.386,48	59,70	1.458,18	17,30	2.675,87	26,82	27.292,95	44,17	9.935,48	48,19
23	foraggiere permanenti	1.317,58	2,93	582,75	2,42	565,15	6,70	818,99	8,21	1.411,25	2,28	2.538,49	12,31
231	pascoli irrigui	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
232	pascoli non irrigui	1.317,58	2,93	582,75	2,42	565,15	6,70	818,99	8,21	1.411,25	2,28	2.538,49	12,31
241	colture temporanee associate a colture permanenti	1.015,07	2,26	1,17	0,00	208,65	2,48	127,22	1,28	253,80	0,41	68,79	0,33
2411	con prevalenza di irrigazione	0,00	0,00	0,00	0,00	1,67	0,02	2,36	0,02	42,45	0,07	41,27	0,20
2412	senza irrigazione	1.015,07	2,26	1,17	0,00	206,98	2,46	124,86	1,25	211,35	0,34	27,52	0,13
242	sistemi colturali e particellari complessi	242,82	0,54	203,02	0,84	0,00	0,00	1.276,55	12,79	1.199,14	1,94	7,46	0,04
2421	con prevalenza di irrigazione	1,43	0,00	20,00	0,08	0,00	0,00	66,64	0,67	513,19	0,83	0,00	0,00
2422	senza irrigazione	241,39	0,54	183,01	0,76	0,00	0,00	1.209,91	12,13	685,95	1,11	7,46	0,04
243	Aree agricole con presenza di spazi naturali	259,73	0,58	68,42	0,28	79,31	0,94	756,46	7,58	483,08	0,78	502,28	2,44
244	Aree agroforestali	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTALE COLT. IRRIGUE		1.833,24	4,08	3.888,22	16,14	1.247,29	14,80	248,95	2,50	7.257,11	11,74	591,14	2,87
TOTALE CASI 3 AGRICOLO EXTRACOMPRESORIALE		44.971,08	100,00	24.096,36	100,00	8.429,67	100,00	9.977,99	100,00	61.789,84	100,00	20.619,03	100,00

64

COLTURE		Bassa Val di Neto		Raggruppati Prov. Crotone		Area dello Stretto		Caulonia		Piana di Rosarno		Versante Calabro Jonico Meridionale		Poro Mesima Marepotamo	
		uso/copertura del suolo													
COD.	DESCRIZIONE	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
211	seminativi non irrigui	9.250,77	52,84	10.785,33	51,88	4.572,54	26,77	4.666,14	22,50	4.365,40	10,34	5.872,26	17,17	19.127,96	54,88
212	seminativi irrigui	601,31	3,43	834,92	4,02	0,00	0,00	70,83	0,34	130,12	0,31	9,67	0,03	149,77	0,43
2125	serre	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	67,47	0,20	12,01	0,03
213	risaie	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
221	vigneti	46,56	0,27	869,70	4,18	0,00	0,00	0,00	0,00	54,96	0,13	37,39	0,11	11,34	0,03
2211	vigneti irrigui	30,97	0,18	200,53	0,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2212	vigneti non irrigui	15,59	0,09	669,18	3,22	0,00	0,00	0,00	0,00	54,96	0,13	37,39	0,11	11,34	0,03
222	frutteti e frutti minori	338,24	1,93	332,87	1,60	956,83	5,60	1.294,23	6,24	15.737,28	37,27	1.976,27	5,78	1.301,91	3,74
2221	frutteti irrigui	241,21	1,38	158,64	0,76	914,37	5,35	817,33	3,94	15.440,99	36,56	1.633,36	4,78	1.058,64	3,04
2222	frutteti non irrigui	97,04	0,55	174,23	0,84	42,46	0,25	476,91	2,30	296,28	0,70	342,91	1,00	243,26	0,70
223	oliveti	4.425,27	25,28	5.802,70	27,91	6.208,06	36,35	10.842,22	52,29	19.570,60	46,34	20.980,22	61,35	12.441,48	35,70
2231	oliveti irrigui	41,28	0,24	55,01	0,26	0,00	0,00	11,84	0,06	4,94	0,01	0,00	0,00	448,66	1,29
2232	oliveti non irrigui	4.383,99	25,04	5.747,69	27,65	6.208,06	36,35	10.830,39	52,23	19.565,67	46,33	20.980,22	61,35	11.992,82	34,41
23	foraggiere permanenti	1.879,82	10,74	1.799,16	8,65	1.119,13	6,55	1.265,60	6,10	1.030,39	2,44	3.973,59	11,62	419,69	1,20
231	pascoli irrigui	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
232	pascoli non irrigui	1.879,82	10,74	1.799,16	8,65	1.119,13	6,55	1.265,60	6,10	1.030,39	2,44	3.973,59	11,62	419,69	1,20
241	culture temporanee associate a culture permanenti	298,46	1,70	119,49	0,57	1.009,32	5,91	279,23	1,35	285,89	0,68	399,83	1,17	299,95	0,86
2411	con prevalenza di irrigazione	6,39	0,04	0,00	0,00	16,31	0,10	27,74	0,13	1,03	0,00	13,34	0,04	39,59	0,11
2412	senza irrigazione	292,08	1,67	119,49	0,57	993,01	5,81	251,49	1,21	284,86	0,67	386,49	1,13	260,36	0,75
242	sistemi culturali e particellari complessi	439,41	2,51	83,07	0,40	1.526,76	8,94	428,04	2,06	360,22	0,85	131,45	0,38	605,98	1,74
2421	con prevalenza di irrigazione	96,57	0,55	6,61	0,03	6,58	0,04	2,90	0,01	0,00	0,00	30,20	0,09	31,77	0,09
2422	senza irrigazione	342,84	1,96	76,45	0,37	1.520,18	8,90	425,13	2,05	360,22	0,85	101,26	0,30	574,21	1,65
243	Aree agricole con presenza di spazi naturali	228,08	1,30	163,21	0,79	1.652,91	9,68	1.889,60	9,11	694,70	1,65	749,94	2,19	484,12	1,39
244	Aree agroforestali	0,00	0,00	0,00	0,00	34,97	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTALE COLT. IRRIGUE		1.017,72	5,81	1.255,71	6,04	937,25	5,49	930,64	4,49	15.577,08	36,89	1.754,03	5,13	1.740,44	4,99
TOTALE CASI 3															
AGRICOLI		17.507,93	100,00	20.790,45	100,00	17.080,52	100,00	20.735,88	100,00	42.229,57	100,00	34.198,09	100,00	34.854,20	100,00
EXTRACOMPENSORIALE															

Tabella 3.12 – Caratteristiche dell'uso del suolo nelle Aree Agricole Extracomprendoriali dei Consorzi (Regione Sicilia) ½

COLTURE		Trapani - N° 1		Palermo - N° 2		Agrigento - N° 3		Caltanissetta - N° 4		Gela - N° 5		Enna - N° 6	
		uso/copertura del suolo											
COD.	DESCRIZIONE	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
211	seminativi non irrigui	42.765,29	28,35	173.180,51	56,40	83.683,79	50,64	74.170,67	73,70	67.326,09	70,45	109.864,08	74,42
212	seminativi irrigui	2.770,45	1,84	2.828,60	0,92	537,08	0,33	95,98	0,10	418,47	0,44	97,65	0,07
2125	serre	189,94	0,13	2,13	0,00	0,00	0,00	75,40	0,07	147,87	0,15	0,00	0,00
221	vigneti	71.428,27	47,35	25.297,42	8,24	19.246,61	11,65	5.187,62	5,15	5.016,31	5,25	1.963,87	1,33
2211	vigneti irrigui	8.657,53	5,74	4.527,35	1,47	3.708,95	2,24	1.485,75	1,48	882,10	0,92	25,56	0,02
2212	vigneti non irrigui	62.770,74	41,61	20.770,06	6,76	15.537,67	9,40	3.701,87	3,68	4.134,21	4,33	1.938,30	1,31
222	frutteti e frutti minori	1.592,13	1,06	11.485,59	3,74	2.472,29	1,50	576,76	0,57	641,31	0,67	562,99	0,38
2221	frutteti irrigui	1.118,13	0,74	10.217,92	3,33	1.435,90	0,87	154,08	0,15	331,93	0,35	498,24	0,34
2222	frutteti non irrigui	474,00	0,31	1.267,67	0,41	1.036,39	0,63	422,68	0,42	309,38	0,32	64,75	0,04
223	oliveti	15.605,13	10,34	50.266,76	16,37	31.818,80	19,25	11.015,14	10,95	9.289,05	9,72	10.866,52	7,36
2231	oliveti irrigui	1.322,55	0,88	221,26	0,07	1.053,75	0,64	831,44	0,83	324,26	0,34	7,82	0,01
2232	oliveti non irrigui	14.282,58	9,47	50.045,50	16,30	30.765,05	18,62	10.183,70	10,12	8.964,79	9,38	10.858,70	7,36
241	colture temporanee associate a colture permanenti	2.333,07	1,55	4.465,18	1,45	3.025,66	1,83	635,84	0,63	1.000,86	1,05	1.624,73	1,10
2411	con prevalenza di irrigazione	634,27	0,42	1.542,64	0,50	422,97	0,26	162,51	0,16	26,76	0,03	289,73	0,20
2412	senza irrigazione	1.698,80	1,13	2.922,55	0,95	2.602,69	1,57	473,33	0,47	974,10	1,02	1.335,00	0,90
242	sistemi colturali e particellari complessi	4.629,21	3,07	5.013,12	1,63	2.222,50	1,34	1.286,76	1,28	2.230,73	2,33	2.704,67	1,83
2421	con prevalenza di irrigazione	769,34	0,51	1.515,25	0,49	375,49	0,23	349,09	0,35	9,58	0,01	542,42	0,37
2422	senza irrigazione	3.859,87	2,56	3.497,87	1,14	1.847,01	1,12	937,67	0,93	2.221,15	2,32	2.162,25	1,46
243	Aree agricole con presenza di spazi naturali	535,42	0,35	1.324,37	0,43	772,05	0,47	74,85	0,07	72,56	0,08	929,65	0,63
TOTALE COLT. IRRIGUE		15.272,27	10,12	20.853,02	6,79	7.534,13	4,56	3.078,85	3,06	1.993,11	2,09	1.461,43	0,99
TOTALE CASI 3 AGRICOLO EXTRACOMPRESORIALE		150.863,39	100,00	307.062,33	100,00	165.251,24	100,00	100.634,36	100,00	95.564,61	100,00	147.623,29	100,00

Tabella 3.13 – Caratteristiche dell’uso del suolo nelle Aree Agricole Extracomprendoriali dei Consorzi (Regione Sicilia) 2/2

COLTURE		Caltagirone - N° 7		Ragusa - N° 8		Catania - N° 9		Siracusa - N° 10		Messina - N° 11	
		uso/copertura del suolo									
COD.	DESCRIZIONE	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
211	seminativi non irrigui	70.061,44	74,82	59.881,48	51,02	30.874,16	31,68	46.249,11	34,66	4.224,28	8,44
212	seminativi irrigui	640,12	0,68	1.574,83	1,34	1.279,27	1,31	3.910,59	2,93	1.536,94	3,07
2125	serre	0,00	0,00	6.316,81	5,38	20,49	0,02	827,20	0,62	0,00	0,00
221	vigneti	4.777,70	5,10	4.075,44	3,47	2.009,90	2,06	5.242,43	3,93	128,09	0,26
2211	vigneti irrigui	696,30	0,74	51,59	0,04	75,89	0,08	426,91	0,32	6,53	0,01
2212	vigneti non irrigui	4.081,40	4,36	4.023,85	3,43	1.934,01	1,98	4.815,51	3,61	121,56	0,24
222	frutteti e frutti minori	3.054,80	3,26	5.693,91	4,85	31.859,45	32,69	21.482,25	16,10	6.531,20	13,05
2221	frutteti irrigui	2.647,64	2,83	3.013,22	2,57	30.721,72	31,52	17.109,43	12,82	6.432,47	12,86
2222	frutteti non irrigui	407,16	0,43	2.680,68	2,28	1.137,74	1,17	4.372,82	3,28	98,74	0,20
223	oliveti	6.684,09	7,14	23.482,81	20,01	8.712,20	8,94	16.972,88	12,72	28.279,70	56,52
2231	oliveti irrigui	600,25	0,64	1.991,55	1,70	3,00	0,00	914,04	0,68	186,35	0,37
2232	oliveti non irrigui	6.083,84	6,50	21.491,26	18,31	8.709,20	8,94	16.058,84	12,03	28.093,35	56,15
241	colture temporanee associate a colture permanenti	2.473,02	2,64	1.804,58	1,54	2.431,73	2,50	2.862,70	2,15	664,37	1,33
2411	con prevalenza di irrigazione	646,05	0,69	97,92	0,08	1.032,53	1,06	891,00	0,67	291,70	0,58
2412	senza irrigazione	1.826,97	1,95	1.706,66	1,45	1.399,20	1,44	1.971,70	1,48	372,67	0,74
242	sistemi colturali e particellari complessi	1.193,88	1,27	2.865,98	2,44	4.130,82	4,24	1.309,24	0,98	998,95	2,00
2421	con prevalenza di irrigazione	408,15	0,44	472,23	0,40	1.484,84	1,52	85,28	0,06	507,75	1,01
2422	senza irrigazione	785,73	0,84	2.393,76	2,04	2.645,98	2,71	1.223,96	0,92	491,20	0,98
243	Aree agricole con presenza di spazi naturali	856,09	0,91	159,19	0,14	2.093,72	2,15	854,41	0,64	1.427,00	2,85
TOTALE COLT. IRRIGUE		5.638,51	6,02	7.201,33	6,14	34.597,24	35,50	23.337,25	17,49	8.961,73	17,91
TOTALE CASI 3 AGRICOLO EXTRACOMPRESORIALE		93.641,53	100,00	117.364,08	100,00	97.461,28	100,00	133.442,15	100,00	50.031,44	100,00

Tabella 3.14 – Caratteristiche dell’uso del suolo nelle Aree Agricole Extracomprendoriali dei Consorzi (Regione Sardegna) 1/2

COLTURE		Basso Sulcis		Cixerri		D'Ogliastra		Gallura		Nord Sardegna	
		uso/copertura del suolo									
COD.	DESCRIZIONE	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
211	seminativi non irrigui	9.723,95	76,33	57,87	8,95	214,96	3,33	14.424,58	27,55	6.470,15	27,26
212	seminativi irrigui	242,53	1,90	175,37	27,13	148,55	2,30	424,18	0,81	214,69	0,90
2125	serre	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,41	0,03
213	risaie	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
221	vigneti	472,38	3,71	10,79	1,67	346,11	5,37	236,85	0,45	100,54	0,42
2211	vigneti irrigui	203,27	1,60	10,79	1,67	98,88	1,53	136,04	0,26	60,57	0,26
2212	vigneti non irrigui	269,11	2,11	0,00	0,00	247,23	3,84	100,81	0,19	39,97	0,17
222	frutteti e frutti minori	108,64	0,85	287,32	44,46	55,42	0,86	0,00	0,00	0,00	0,00
2221	frutteti irrigui	50,29	0,39	248,89	38,51	46,00	0,71	0,00	0,00	0,00	0,00
2222	frutteti non irrigui	58,35	0,46	38,43	5,95	9,42	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00
223	oliveti	116,44	0,91	23,44	3,63	171,89	2,67	3,04	0,01	0,00	0,00
2231	oliveti irrigui	91,14	0,72	0,00	0,00	20,00	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00
2232	oliveti non irrigui	25,30	0,20	23,44	3,63	151,89	2,36	3,04	0,01	0,00	0,00
23	foraggiere permanenti	1.326,65	10,41	91,50	14,16	565,82	8,78	33.008,91	63,05	12.707,14	53,53
231	pascoli irrigui	138,23	1,09	0,00	0,00	0,00	0,00	6,10	0,01	40,88	0,17
232	pascoli non irrigui	1.188,42	9,33	91,50	14,16	565,82	8,78	33.002,81	63,04	12.666,26	53,36
241	culture temporanee associate a culture permanenti	229,31	1,80	0,00	0,00	3.645,80	56,56	733,28	1,40	0,00	0,00
2411	con prevalenza di irrigazione	137,59	1,08	0,00	0,00	14,09	0,22	439,97	0,84	0,00	0,00
2412	senza irrigazione	91,72	0,72	0,00	0,00	3.631,71	56,34	293,31	0,56	0,00	0,00
242	sistemi colturali e particellari complessi	247,76	1,94	0,00	0,00	520,41	8,07	718,12	1,37	640,76	2,70
2421	con prevalenza di irrigazione	20,97	0,16	0,00	0,00	310,53	4,82	418,18	0,80	326,87	1,38
2422	senza irrigazione	226,79	1,78	0,00	0,00	209,88	3,26	299,94	0,57	313,89	1,32
243	Aree agricole con presenza di spazi naturali	271,95	2,13	0,00	0,00	776,77	12,05	2.806,33	5,36	3.598,17	15,16
244	Aree agroforestali	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTALE COLT. IRRIGUE		884,02	6,94	435,05	67,31	638,05	9,90	1.424,47	2,72	650,42	2,74
TOTALE CASI 3 AGRICOLO EXTRACOMPRESORIALE		12.739,61	100,00	646,29	100,00	6.445,73	100,00	52.355,29	100,00	23.738,86	100,00

Tabella 3.15 – Caratteristiche dell'uso del suolo nelle Aree Agricole Extracomprendoriali dei Consorzi (Regione Sardegna) 2/2

COLTURE		Nurra		Oristanese		Sardegna Centrale		Sardegna Meridionale	
		uso/copertura del suolo							
COD.	DESCRIZIONE	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
211	seminativi non irrigui	446,51	6,14	655,00	24,64	4.558,20	6,14	10.173,60	23,45
212	seminativi irrigui	166,18	2,29	515,10	19,38	262,63	2,29	2.577,72	5,94
2125	serre	11,44	0,16	43,80	1,65	0,00	0,16	490,37	1,13
213	risaie	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
221	vigneti	34,47	0,47	109,03	4,10	65,31	0,47	1.072,96	2,47
2211	vigneti irrigui	2,18	0,03	21,46	0,81	46,11	0,03	620,65	1,43
2212	vigneti non irrigui	32,29	0,44	87,57	3,29	19,20	0,44	452,31	1,04
222	frutteti e frutti minori	27,29	0,38	140,81	5,30	9,65	0,38	5.658,88	13,04
2221	frutteti irrigui	27,29	0,38	140,81	5,30	9,65	0,38	5.322,33	12,27
2222	frutteti non irrigui	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	336,55	0,78
223	oliveti	3.081,02	42,37	376,39	14,16	339,90	42,37	8.005,61	18,45
2231	oliveti irrigui	589,39	8,10	38,41	1,44	4,88	8,10	2.431,65	5,60
2232	oliveti non irrigui	2.491,63	34,26	337,98	12,71	335,02	34,26	5.573,96	12,85
23	foraggiere permanenti	2.703,66	37,18	587,36	22,09	6.618,94	37,18	5.709,64	13,16
231	pascoli irrigui		0,00	30,18	1,14		0,00	261,19	0,60
232	pascoli non irrigui	2.703,66	37,18	557,18	20,96	6.618,94	37,18	5.448,45	12,56
241	colture temporanee associate a colture permanenti	178,90	2,46	0,00	0,00	1.282,33	2,46	465,78	1,07
2411	con prevalenza di irrigazione	0,00	0,00	0,00	0,00	47,05	0,00	144,50	0,33
2412	senza irrigazione	178,90	2,46	0,00	0,00	1.235,28	2,46	321,28	0,74
242	sistemi colturali e particellari complessi	576,46	7,93	76,21	2,87	236,78	7,93	7.228,06	16,66
2421	con prevalenza di irrigazione	199,69	2,75	25,82	0,97	130,08	2,75	1.723,81	3,97
2422	senza irrigazione	376,77	5,18	50,39	1,90	106,70	5,18	5.504,25	12,69
243	Aree agricole con presenza di spazi naturali	46,29	0,64	152,82	5,75	498,31	0,64	2.004,19	4,62
244	Aree agroforestali	0,00	0,00	1,82	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTALE COLT. IRRIGUE		996,17	13,70	815,58	30,68	500,40	13,70	13.572,23	31,28
TOTALE CASI 3 AGRICOLO EXTRACOMPRESORIALE		7.272,22	100,00	2.658,34	100,00	13.872,05	100,00	43.386,81	100,00

CAPITOLO 4

STIMA DEI VOLUMI IRRIGUI NELLE AREE EXTRACOMPENSORIALI

La cartografia di uso del suolo realizzata è stata integrata con dati di diversa natura (pedologici, climatici, colturali) con lo scopo di stimare i volumi irrigui necessari all'irrigazione nelle aree extracomprendoriali.

La stima dei volumi è la risultante della sommatoria dei fabbisogni idrici delle colture presenti nell'area di studio.

Per la stima di tale valore possono essere utilizzati diversi criteri, ma il più corretto (e maggiormente utilizzato) è quello dell'equazione del bilancio idrico, in quanto strumento estremamente versatile che può essere utilizzato in un ampio intervallo di risoluzione spaziale (un intero comprensorio irriguo o una singola parcella) e temporale (giorno, decade, mese, stagione irrigua). Tale metodo consiste nello stimare le variazioni della riserva idrica del suolo misurando (o stimando) le voci in entrata (apporti idrici al netto delle perdite) e quelle in uscita (evapotraspirazione delle colture).

L'INEA ha sviluppato, in collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria Agraria ed Agronomia del Territorio dell'Università di Napoli Federico II, un modello di calcolo dei fabbisogni idrici colturali basato su un algoritmo di simulazione dinamica del moto dell'acqua nel sistema suolo-pianta-atmosfera.

Il modello richiede dati di estremo dettaglio – ottenuti da indagini dirette in campo – soprattutto per quanto riguarda l'uso del suolo. Infatti, il bilancio idrico è computato a livello di parcella irrigua omogenea dal punto di vista delle caratteristiche climatiche, pedologiche e colturali.

Come visto, il sistema di nomenclatura adottato nella realizzazione della cartografia di uso del suolo, definito in funzione dell'estensione dell'area di studio e del budget disponibile, nelle aree extracomprendoriali non raggiunge tale livello di dettaglio in grado di alimentare il modello “*Bilancio*”. A titolo di esempio nella classe 212 (seminativi irrigui) sono comprese tutte le colture erbacee, mentre per il suddetto modello è necessario disporre dell'informazione relativa alla singola coltura (es. mais).

Si è pertanto ravvisata la necessità di sviluppare - in collaborazione con il CRA-ABP¹ di Firenze – un modello di calcolo del bilancio idrico in grado di stimare i fabbisogni irrigui anche in assenza di dati di dettaglio sull'uso del suolo, attraverso la realizzazione delle seguenti attività:

- Costruzione banca dati pedologica;
- costruzione banca dati dei parametri colturali;
- costruzione banca dati agrometeorologica;
- definizione del modello;
- elaborazione della matrice casi suolo-clima-cultura-tecnica per tutte le aree del sud;
- ricollegamento alle geografie di uso del suolo e calcolo dei fabbisogni irrigui per superficie e cumulati per poligono di uso del suolo, attraverso media ponderata delle singole combinazioni presenti localmente.

¹ CRA-ABP: Centro per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura-Centro di ricerca per l'Agrobiologia e la Pedologia.

Il volume calcolato dal modello può essere definito come “*fabbisogno irriguo netto*” cioè la quantità di acqua che l’atmosfera richiede al sistema suolo-coltura attraverso l’evaporazione dal terreno e la traspirazione fogliare, al netto delle precipitazioni utili.

Al fine di poter avere un intervallo di variabilità dei volumi in gioco, è stata introdotta nel modello la possibilità di poter gestire anche la tecnica irrigua, dalla cui efficienza dipende il “*fabbisogno irriguo lordo*” culturale.

Non avendo a disposizione dati di dettaglio su tutta l’area di studio si sono definiti due scenari di tecniche irrigue con differenti livelli di efficienza:

- Tecnica con basso input tecnologico, caratterizzata da elevati volumi distribuiti con brevi durate (es. aspersione con rotolone, ali mobili ecc.);
- Tecnica con alto input tecnologico, caratterizzata da bassi volumi con durate maggiori (es. goccia, manichetta forata).

Non sono considerate le tecniche a minor efficienza, quali lo scorrimento superficiale, in quanto in progressiva diminuzione nelle regioni meridionali, ad eccezione della sommersione sul riso che permane in alcune aree della Calabria e, soprattutto, in Sardegna.

Inoltre, è stata inserita nel modello la possibilità di gestire differenti scenari climatici, derivanti dall’analisi statistica dei dati climatici:

- di riferimento: anno in cui è stata prodotta la cartografia di uso del suolo e sono stimati i volumi irrigui;
- medio: con valori del Deficit Idrico Potenziale (sommatoria delle differenze giornaliere tra la precipitazione e l’evapotraspirazione di riferimento). Esso fornisce un’informazione diretta sulla maggiore o minore aridità di una località e quindi, indirettamente, sulle potenzialità agricole del territorio e sui fabbisogni irrigui, rientranti nella media della serie climatica considerata;
- siccitoso: con valori del Deficit Idrico Potenziale maggiori della media;
- piovoso: con valori del Deficit Idrico Potenziale minori della media.

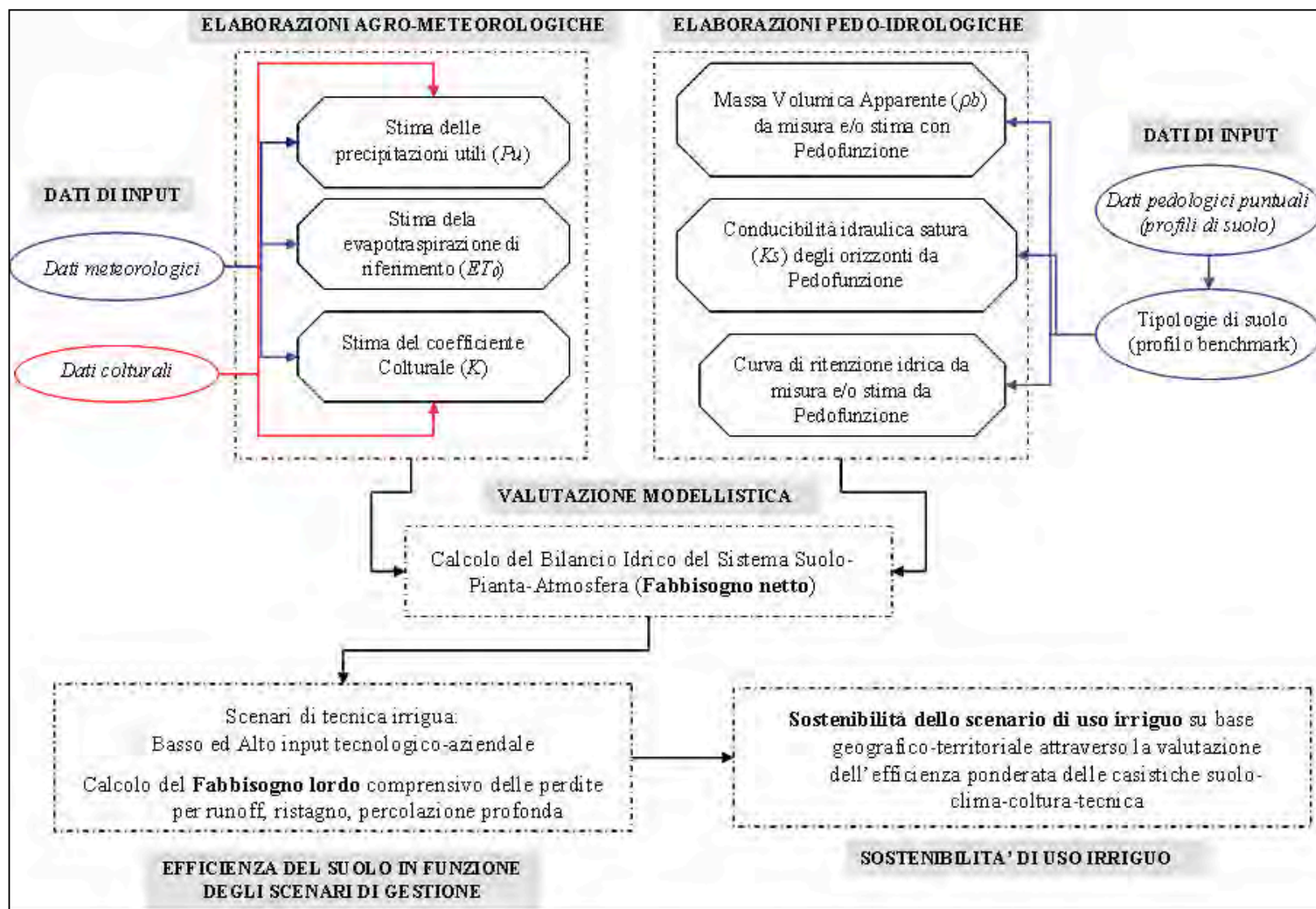
Il primo scenario fornisce un valore relativo al monitoraggio dell’irrigazione in un determinato anno, mentre gli altri tre scenari forniscono elementi statistici utili in fase di programmazione degli interventi irrigui.

Un ulteriore obiettivo che questo studio si è proposto è stato quello di valutare la sostenibilità dell’uso irriguo su base territoriale più ampia, in particolare legata alla copertura dei Pedopaesaggi in scala di riconoscimento (Sottosistemi Pedologici), attraverso un’analisi cartografica generale ed estesa, utile alla pianificazione degli interventi strutturali in relazione ad eventuali potenziamenti delle reti irrigue.

Quindi una valutazione che tenesse conto della efficienza media delle realtà irrigue (insieme delle situazioni suolo – clima – coltura – tecnica irrigua) di una porzione di territorio paesaggisticamente e geograficamente omogenea, tradotta in classi di uso sostenibile.

Lo schema seguente (Fig. 4.1) illustra le principali fasi delle elaborazioni effettuate.

Figura 4.1 - Schema concettuale del flusso operativo: tipologie di dati e fasi di elaborazione raccolte ed utilizzate per il calcolo dei fabbisogni irrigui lordi e la valutazione di sostenibilità di uso irriguo



4.1 - Costruzione della banca dati pedologica

Nel seguente paragrafo si intende fare un breve cenno riguardo la pedologia. Questo non vuole essere un trattato di pedologia, ma soltanto un'introduzione a dei concetti che possono aiutare a comprendere meglio l'argomento trattato.

4.1.1 Cenni di pedologia

Per suolo si intende lo strato superficiale che ricopre la crosta terrestre. Lo studio del suolo è basato sull'approccio deterministico formulato da Jenny (1941), il quale stabilì che il suolo (S) è il risultato di cinque fattori di formazione: il clima (c), gli organismi (o), la roccia (r), la morfologia (m) ed il tempo (t).

$$S = f(c, o, r, m, t) \quad (4.1)$$

Il suolo che noi osserviamo in una determinata posizione morfologica (*solum* per i francesi – Fig. 4.2 - *pedon* per gli americani – Fig 4.3) è il risultato delle trasformazioni della roccia avvenute per un determinato tempo, sotto l'azione del clima e degli organismi.

Figura 4.2 - Tipi di relazione tra sola e Référentiel nel sistema francese

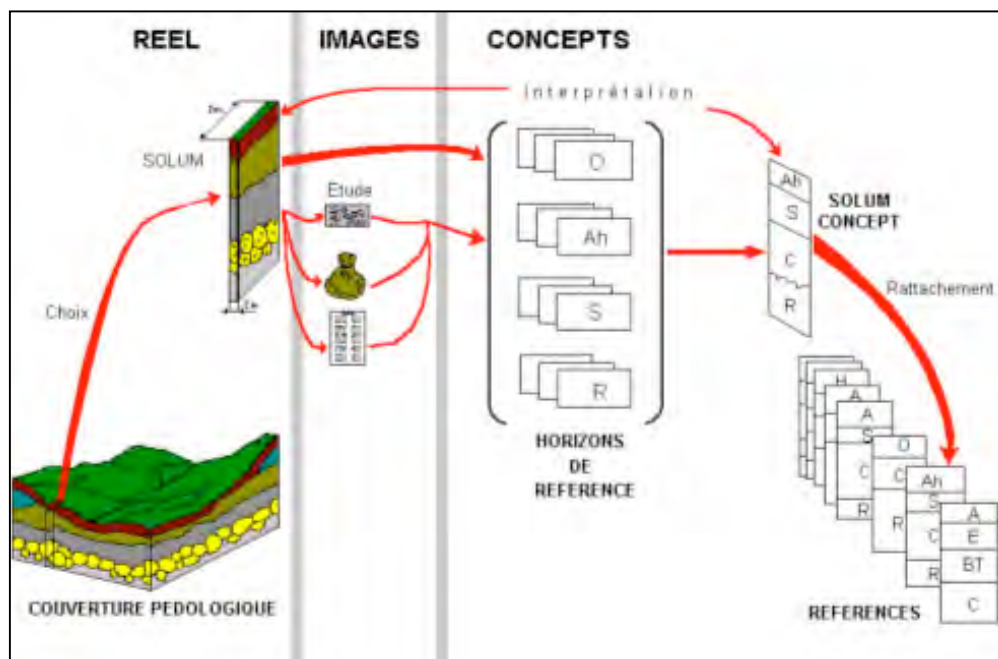
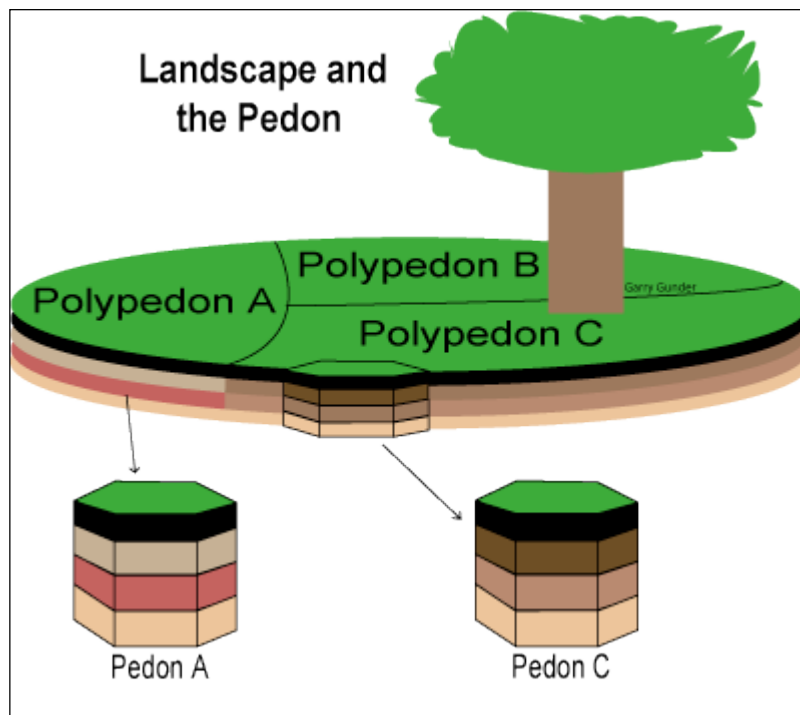


Figura 4.3 - Esempificazione di alcuni aspetti della Soil Taxonomy
(da <http://soils.missouri.edu/tutorial/page1.asp>)



Dopo il concetto di *pedon* si può introdurre quello di pedopaesaggio (*landscape*) che è l'insieme delle condizioni di clima, roccia, morfologia, suolo ed uso del suolo, che hanno una configurazione caratteristica e dove insistono dei processi che creano delle relazioni funzionali tra i singoli elementi che costituiscono l'insieme.

Il concetto di pedopaesaggio si applica a qualunque livello gerarchico nella classificazione dei paesaggi pedologici, ma quando è utilizzato per le scale di dettaglio il pedopaesaggio può costituire un insieme di pedon appartenenti ad una sola tipologia tassonomica, ma più spesso a più tipologie, più o meno simili per alcuni caratteri e proprietà (concetto di Unità Tipologiche di Suolo-UTS²).

Le proprietà del suolo che determinano differenze nella natura e nel grado di espressione degli orizzonti possono servire come caratteri guida per distinguere le tipologie pedologiche. In questo modo le Unità Tipologiche di Suolo assumono significato geografico e olistico, più che tassonomico, quindi possono contenere suoli appartenenti anche ad ordini diversi, ma con legami funzionali riconosciuti a livello geografico di riferimento.

Poiché una tipologia pedologica può presentarsi con varie sfaccettature, occorre prevedere le Sottounità Tipologiche di Suolo (STS³), che rappresentano i vari aspetti della tipologia. Le Sottounità hanno un significato geografico di maggior dettaglio; sono il contenitore di base delle informazioni sulle qualità dei suoli. Ogni UTS è sempre costituita da almeno una STS.

² Unità Tipologica di Suolo (UTS): insieme di siti pedologici con attributi geografici comuni e con caratteri genetici simili.

³ Sottounità Tipologica di Suolo (STS): insieme di siti pedologici con problematiche gestionali simili, appartenenti alla stessa Unità Tipologica di Suolo (UTS).

Per caratteri e qualità funzionali s'intendono tutti quei caratteri e qualità dell'osservazione che si rilevano in un'indagine pedologica e che possono essere utilizzati come criteri per la correlazione, in particolare: morfologia, substrato, uso del suolo, pendenza, quota, falda, drenaggio interno ed esterno, erosione, profondità utile, dati analitici del suolo, classificazione e capacità d'uso.

4.1.2. Le Unità tipologiche di suolo per il progetto carta dei suoli d'Italia

Il progetto “Metodologie Pedologiche per la creazione della carta dei suoli d'Italia a scala 1:250.000”, alle cui basi dati questo studio ha fatto riferimento, ha previsto l'organizzazione e correlazione delle informazioni pedologiche per unità (UTS) e sottounità (STS) tipologiche di suolo, individuando come UTS delle unità concettuali paragonabili a serie, e la successiva organizzazione delle informazioni in *soil body*. I *soil body*, infatti, vanno intesi come unità di gestione per il database europeo, ma non di rilevamento.

Le UTS e le STS sono dei contenitori di informazioni che, rilevati al dettaglio o semi dettaglio, possono essere utilizzati a tutti i livelli pedopaesaggistici, ad esempio per far diventare “pedologiche” le banche dati definite come “di terre” (Fig. 4.4).

L'informazione pedologica può essere trattata ad un livello pedopaesaggistico superiore (cioè a scale più piccole di quelle di dettaglio e semi dettaglio) utilizzando solo una parte delle relazioni tra i suoli, oppure individuando relazioni diverse (ad esempio: UTS per la scala 1:1.000.000).

4.1.3. Raccolta, armonizzazione ed archiviazione dei dati nella base dati pedologica

Per definire la pedologia dell'area di studio sono state effettuate le seguenti operazioni:

- Verifica delle UTS/STS già elaborate dalle regioni;
- Identificazione in banca dati delle relazioni suolo geografia;
- Identificazione nella banca dati di almeno un sito Caposaldo, per STS;
- Elaborazione di UTS/STS per le aree non coperte dai dati regionali disponibili.

L'attività di correlazione ha comportato l'analisi dei siti, traendo dal database le informazioni territoriali, se disponibili, e quindi procedendo all'analisi completa delle informazioni disponibili relative a stazioni ed orizzonti. Molte aree del territorio di indagine non hanno disponibili dati pedologici relativi a profili di suolo, ma solo a "pozzetti" (minipits). Per questa tipologia di osservazioni è disponibile solo un set ristretto di dati, infatti, mancano informazioni relative a qualità e tassonomia (orizzonti genetici), hanno informazioni relative a fisiografia e substrati molto generici, e con una notevole semplificazione dell'organizzazione del suolo.

La qualità e quantità di informazioni disponibili ha reso necessario per Campania, Molise, Sicilia e Sardegna, un'analisi puntuale dei dati. In questo caso le caratteristiche dei dati disponibili ha portato a non elaborare in fase di correlazione Unità Tipologiche di Suolo costituite da siti geograficamente distanti.

Il legame suolo geografia è stato identificato per 2.501 Unità Cartografiche.

Complessivamente sono state elaborate 1.385 UTS e 1.608 STS.

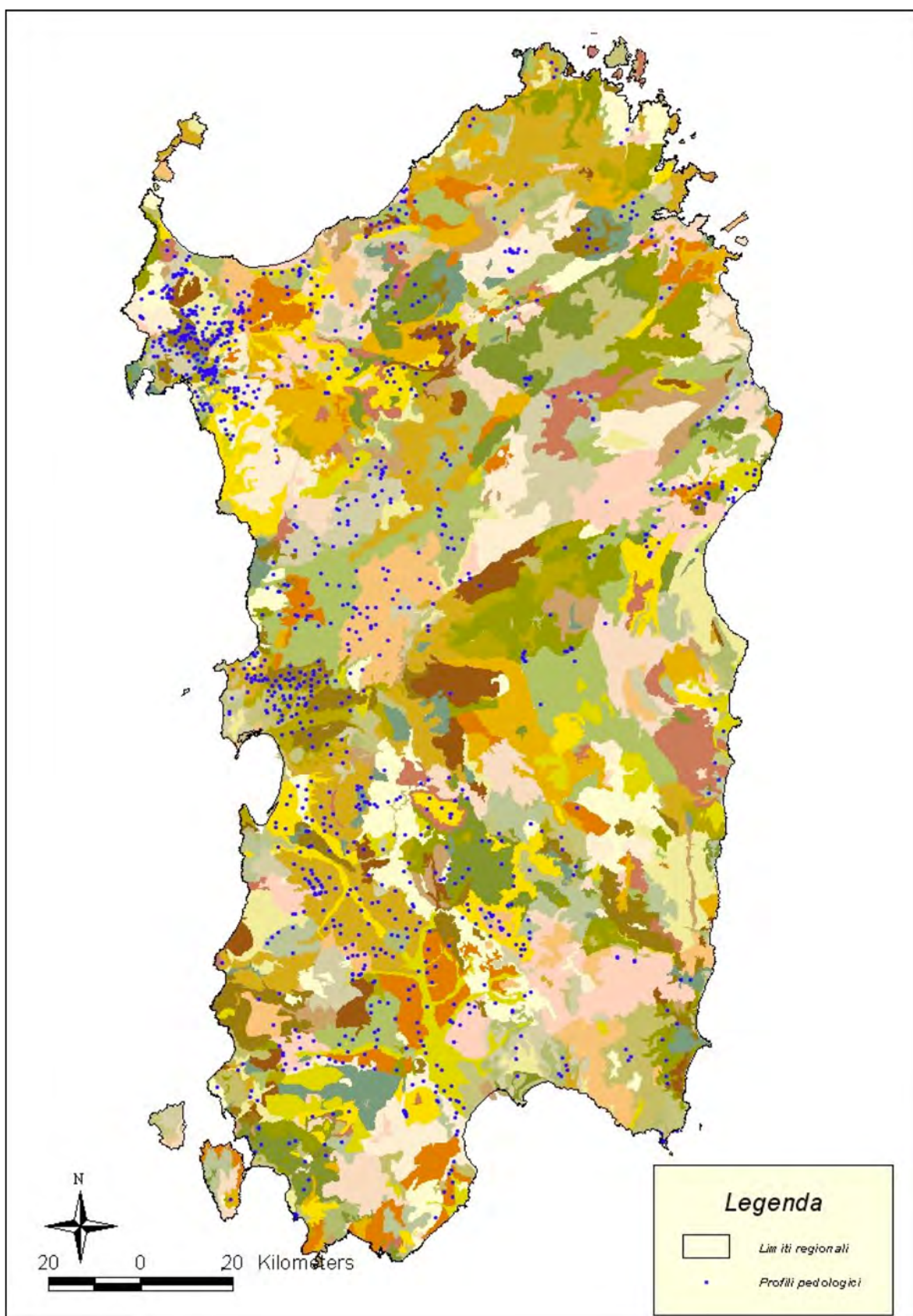
Per circa il 50% delle unità cartografiche, ai fini del progetto è stata individuata una sola STS di riferimento, per il 38% sono due le STS di riferimento e per il 12% sono più di due. Nei casi in cui la relazione ha individuato più di una STS di riferimento di ognuna di queste è stata individuata la percentuale di copertura.

Le STS utilizzate per l'elaborazione dei dati nel modello sono state 1.498, ritenute geograficamente valide e ricadenti effettivamente in aree da valutare.

La banca dati si riferisce alle unità cartografiche (UC) e alle tipologie pedologiche di suoli (UTS e STS); essa si relaziona alla base dati geografica (in formato *shape* file) dei Sottosistemi di Terre (SST), che rappresentano il riferimento geometrico pedologico e nella tabella correlata contiene i campi che definiscono i Sottosistemi.

La relazione tra Unità cartografiche e Sottosistemi di Terre (Fig. 4.5) definisce la percentuale di presenza di vari tipi di suolo individuati (STS) nelle Unità Cartografiche dello strato geografico.

Figura 4.5 - Dettaglio dei Sottosistemi di Terre in Sardegna. Nella regione Sardegna le unità cartografiche sono più di 120 e per motivi grafici non sono elencate nella legenda.



La base geometrica di riferimento utilizzata è quella dei Sottosistemi di Terre elaborata presso il Centro Nazionale di Cartografia Pedologica (CNCP) del CRA-ABP di Firenze, messe a punto attraverso il progetto “Atlante nazionale delle aree a rischio di desertificazione” (A.A.V.V.). Tale base è stata poi integrata con i seguenti dati:

Molise: Dati pedopaesaggistici e osservazioni puntuali provenienti dal Progetto Nazionale “Carta dei Suoli d’Italia in scala 1:250.000” e dal progetto Agrit, realizzato dal Ministero per le Politiche Agricole e Forestali; progetto Unità Operative Territoriali (UOT 1996), coordinato dalla Sezione Genesi, Classificazione e Cartografia dell’ISSDS di Firenze e realizzato in 13 aree sperimentali delle Regioni Obiettivo 1, per le aree con cartografie pedologiche 1:25.000 di Campomarino; inoltre sono stati utilizzati e rielaborati i dati delle cartografie pedologiche di semi-dettaglio “I suoli delle principali aree irrigue del Molise”, Quaderno divulgativo n. 4 dell’ERSAM Molise (Tito Reale, 2000).

Abruzzo: Progetto Nazionale “Carta dei Suoli d’Italia in scala 1:250.000”, integrato con: la prima approssimazione della carta dei pedopaesaggi e suoli della Regione Abruzzo realizzata dall’ARSSA in collaborazione con l’ISSDS (per la strutturazione dati) con un Programma Operativo Multifondo (dati concessi dall’ARSSA – Centro Pedologico di Avezzano); progetto UOT, per le aree con cartografie pedologiche 1:25.000 del Trigno; cartografie del Centro pedologico ARSSA di Avezzano, Val Vomano e Corfino in scala 1:25.000 e Val di Sangro (lavoro in corso di completamento, dati concessi dall’ARSSA); cartografia della tessitura e granulometria della Piana del Fucino in scala 1:25.000; cartografie delle unità di pedopaesaggio dei comuni di Castilenti e S.Demetrio ne’ Vestini, effettuate dall’Accademia di Scienze Forestali in collaborazione con l’ISSDS come aree sperimentali nell’ambito di studi metodologici sulla idoneità all’arboricoltura da legno per conto dell’Assessorato Agricoltura e Foreste della Regione Abruzzo.

Campania Progetto Nazionale “Carta dei Suoli d’Italia in scala 1:250.000, integrato con: dati pedopaesaggistici e sulle osservazioni pedologiche puntuali provenienti dal Progetto Agrit; sono stati inoltre consultati ed utilizzati i seguenti lavori di rilevamento di semi-dettaglio:

Carta pedologica 1:50000 dell’Agro Aversano (Di Gennaro A. e coll.) – Regione Campania, Assessorato Agricoltura (1996);

Carta pedologica 1:50000 dell’Agro Nocerino-Sarnese– Regione Campania, Assessorato Agricoltura (Di Gennaro A. e coll., 1996);

Carta pedologica 1:25000 del Comprensorio di Montoro - Consorzio Agro-Sarnese Nocerino (Gheri F., 1982);

Carta Pedologica 1:25000 del Comprensorio di S.Mauro - Consorzio Agro-Sarnese Noverino (Gheri F., 1982);

Carta pedologica 1:25000 del Comprensorio di Uscioli e Camerelle - Consorzio Agro-Sarnese Nocerino (Gheri F., 1982);

Carta pedologica 1:25000 del Destra Sarno - Consorzio Agro-Sarnese Nocerino (Gheri F., 1982);

Carta pedologica 1:25000 del Comprensorio di Sarno-S.Valentino Torio (Gheri F., 1982);

Carta pedologica 1:25000 del Comprensorio di Angri S.Gregorio Abate (Gheri F., 1982);

Carta pedologica 1:25000 del Comprensorio di Bottaro (Gheri F., 1982);

Carta pedologica 1:25000 del Comprensorio di Paludi (Gheri F., 1982);

Carta pedologica 1:50000 del Fortore beneventano - Istituto Idraulica Agraria Univ. Napoli (Buondonno C., Danise B., Leone A.P., Terribile F., 1988)

Carta pedologica 1:100000 della Provincia di Napoli - Provincia di Napoli (Di Gennaro A., 1994)

Basilicata: Progetto Nazionale “Carta dei Suoli d’Italia in scala 1:250.000 (Viviano e Cassi, 2006), integrato con: dati pedopaesaggistici e sulle osservazioni pedologiche puntuali provenienti dal Progetto Agrit, realizzato dal Ministero per le Politiche Agricole e Forestali; in parte dal progetto Unità Operative Territoriali (1996), coordinato dalla Sezione Genesi, Classificazione e Cartografia dell’ISSDS di Firenze e realizzato in 13 aree sperimentali delle Regioni Obiettivo 1, per le aree con cartografie pedologiche 1:25.000 dell’Alta Val D’Agri e del Medio Agri Sauro; inoltre sono stati utilizzati i dati delle cartografie pedologiche di semi-dettaglio e dettaglio nell’area del Sinni (regione Basilicata con coordinamento tecnico-scientifico ISSDS – Firenze) e nell’area di Scanzano (CNR – IGES, Firenze). Un controllo generale è stato infine effettuato con i dati acquisiti dal Progetto Speciale 14 della Cassa per il Mezzogiorno, in particolare con la Carta delle limitazioni d’uso del territorio regionale (dato originale acquisito in forma digitale dal progetto POM Irrigazione INEA).

Calabria: Progetto Nazionale “Carta dei Suoli d’Italia in scala 1:250.000”: dati pedopaesaggistici e sulle osservazioni puntuali provenienti dal Progetto Speciale 26 realizzato dal Ministero dei Lavori Pubblici (carta delle aree irrigue della Regione Calabria 1:25.000 – 1976-80); in parte dal progetto UOT (1996), per le aree con cartografie pedologiche 1:25.000 di Capo Vaticano, Eufemia Lamezia e Crati; inoltre sono stati utilizzati e rielaborati i dati delle cartografie pedologiche di semi-dettaglio prodotti e pubblicati dall’ISSDS (carta pedologica della Tavola del Lago di Cecita – Sila Grande) e del CNR-IGES di Firenze (Carta pedologica del Trionfo).

Puglia: “Carta dei Suoli d’Italia in scala 1:250.000”, integrato con: dati di maggiore dettaglio (1:100.000) provenienti sul “Progetto ACLA 1 – 2 ed INTERREG Puglia - Albania Studio per la caratterizzazione agronomica della regione Puglia e la classificazione del territorio in funzione della potenzialità produttiva” realizzato dalla Regione Puglia e dall’Istituto Agronomico Mediterraneo di Bari; un confronto ragionato è stato effettuato con i dati acquisiti dal Progetto Speciale 14 della Cassa per il Mezzogiorno, in particolare con la Carta delle limitazioni d’uso del territorio regionale;

Sicilia: “Carta dei Suoli d’Italia in scala 1:250.000”, per la parte pedogeografica tuttora in corso, integrato con: dalla monografia sulla Carta dei Suoli della Regione Sicilia in scala 1:250.000 (Fierotti et alii, 1983); tali informazioni sono state integrate in alcuni casi particolari dai dati pedopaesaggistici e osservazioni pedologiche puntuali provenienti dal Progetto Agrit. Un controllo generale è stato infine effettuato con i dati acquisiti dalla Carta delle aree irrigue in scala 1:250.000 (Fierotti et alii, 1965).

Sardegna: Sono stati utilizzati i dati provenienti da: Cartografia della Bassa valle del Flumendosa 1:10.000, Cartografia dell’Hinterland di Cagliari 1:30.000, Carta dei suoli 1:250.000 della Regione Sardegna, Cartografia della Bassa valle del Coghinas 1:25.000, Cartografia della Valle del Cixerri 1:25.000, Cartografia della Comunità Montana XXII del Basso Sulcis 1:100.000, Cartografia di Marmilla e Sarcidano 1:50.000, Cartografia del Distretto irriguo S. Maria-Marefoghe-Sinis NE 1:10.000, Cartografia connessa al Piano Acque Regione Sardegna 1:100.000, Cartografia del Campidano d’Oristano 1:25.000, Cartografia connessa al Progetto Speciale 13 1:25.000, Cartografia dell’Area Test POM INEA Marefoghe – Oristano 1:25.000 (CRA/ISSDS FI), Cartografia dell’Area Test Progetto INEA “MONIDRI” del Bacino del Rio Cuga (NURRA SS) 1:50.000.

Il lavoro, complessivamente, ha comportato l’armonizzazione delle nuove informazioni con quelle esistenti. La banca dati elaborata consiste in 12.863 poligoni. Si è trattato quindi di un aggiornamento corposo ma necessario, perché ha consentito, fra l’altro, di aumentare il grado di confidenza della correlazione fra suoli e geografia.

L'area di studio corrispondente con l'area potenzialmente irrigabile è stata definita, in prima approssimazione, tramite l'analisi dei seguenti fattori:

1. Caratteristiche morfometriche: sono riferite alla pendenza ed alla quota. E' stata definita come soglia limite il 20% di inclinazione e la quota di 1.200 m s.l.m.
2. Destinazione d'uso dei suoli: Esistono ovviamente superfici che non possono essere considerate potenzialmente irrigabili, in ragione del loro uso del suolo, quali:
 - Superfici artificiali (aree urbane, industriali o destinate a servizi, infrastrutture, cave, discariche ecc.);
 - Acque superficiali ed aree umide;
 - Aree naturali e seminaturali (comprendenti boschi, brughiere e cespugli, spiagge, aree con roccia affiorante ecc).

Sono state considerate idonee le aree agricole ed i pascoli.

Per questa fase sono state utilizzate le informazioni derivanti dal Corine Land Cover 2000 ed i dati derivati dalla cartografia CASI 3.

3. Superfici irrigue extracomprendoriali:
4. Comprensori irrigui:
5. Caratteristiche fisiografiche e dei substrati pedogenetici: Tramite fisiografia e substrati possono essere definiti, relativamente alla scala di riferimento del progetto, ambiti potenzialmente omogenei per tipologia e distribuzione dei suoli. Questi ambiti possono avere caratteri tali da escludere la possibilità di irrigazione anche in presenza di superfici pianeggianti o altresì includere superfici escluse in prima approssimazione. Le informazioni circa questi parametri sono costituite dalla banca dati dei Sottosistemi di Terre, elaborata dal CRA_CNCP nel corso del progetto Desertificazione e successive cartografie pedologiche elaborate a livello regionale
6. Caratteristiche climatiche: Possono esistere ambiti ubicati in condizioni climatiche tali da escludere la possibilità di prevedere la possibilità di irrigazione, quali alcune superfici pianeggianti localizzate ad alta quota.
7. Grado di frammentazione: In ultima analisi sono stati puntualmente verificati i casi di piccole superfici potenzialmente idonee isolate in contesti non idonei come ovviamente il contrario. Si è tenuto conto, in ogni caso, della superficie minima cartografabile, che è di 156 ha che corrispondente all'area minima cartografabile alla scala 1:250.000, propria dei SST.

Tutti i poligoni della banca dati dei Sottosistemi di Terre, oltre alle informazioni fisiografiche sulla cui base sono stati originariamente elaborati, sono stati caratterizzati relativamente ai fattori sopra elencati. Per i punti da 1 a 4 sono stati elaborati dei file raster con passo 100 m, in cui ogni pixel è stato classificato come idoneo o non idoneo. Quindi per ogni poligono dei Sottosistemi è stata calcolata la percentuale di superficie idonea per i fattori sopra evidenziati.

Il procedimento di analisi è stato piuttosto lungo ed articolato ed è passato per la definizione di:

- Aree potenzialmente idonee, per caratteristiche territoriali, ossia quelle con più del 25% di superfici potenzialmente idonee;
- Aree in cui l'analisi verifica come il poligono abbia meno del 25% di superficie potenzialmente idonea ma altre fonti informative riportavano come significative le superfici irrigate.

Entrambe queste due casistiche sono state considerate area di studio. Come si può facilmente evidenziare il criterio di valutazione utilizzato è stato ovviamente prudenziale, affinché non venissero tralasciate aree potenzialmente idonee. Il risultato della selezione è riportato nella tabella 4.1.

Tabella 4. 1- Risultati della selezione dei Sottosistemi di Terre dall'area di studio

Sottosistemi di Terre	Numero poligoni	Area (ha)	% Poligoni	% ha
	6.690	6.723.952	52%	54%
Esclusi	6.173	5.642.273	48%	46%
Totale	12.863	12.366.225	100%	100%

Dopo avere eseguito questa analisi parziale e strutturato la tabella del SST, sono stati incorporati anche i poligoni derivanti dal layer CASI3 per le classi definite come “escluse dalla valutazione”, vale a dire gli usi corrispondenti ai seguenti codici:

1 = urbano

3 = boschi ed assimilati

4 = aree umide

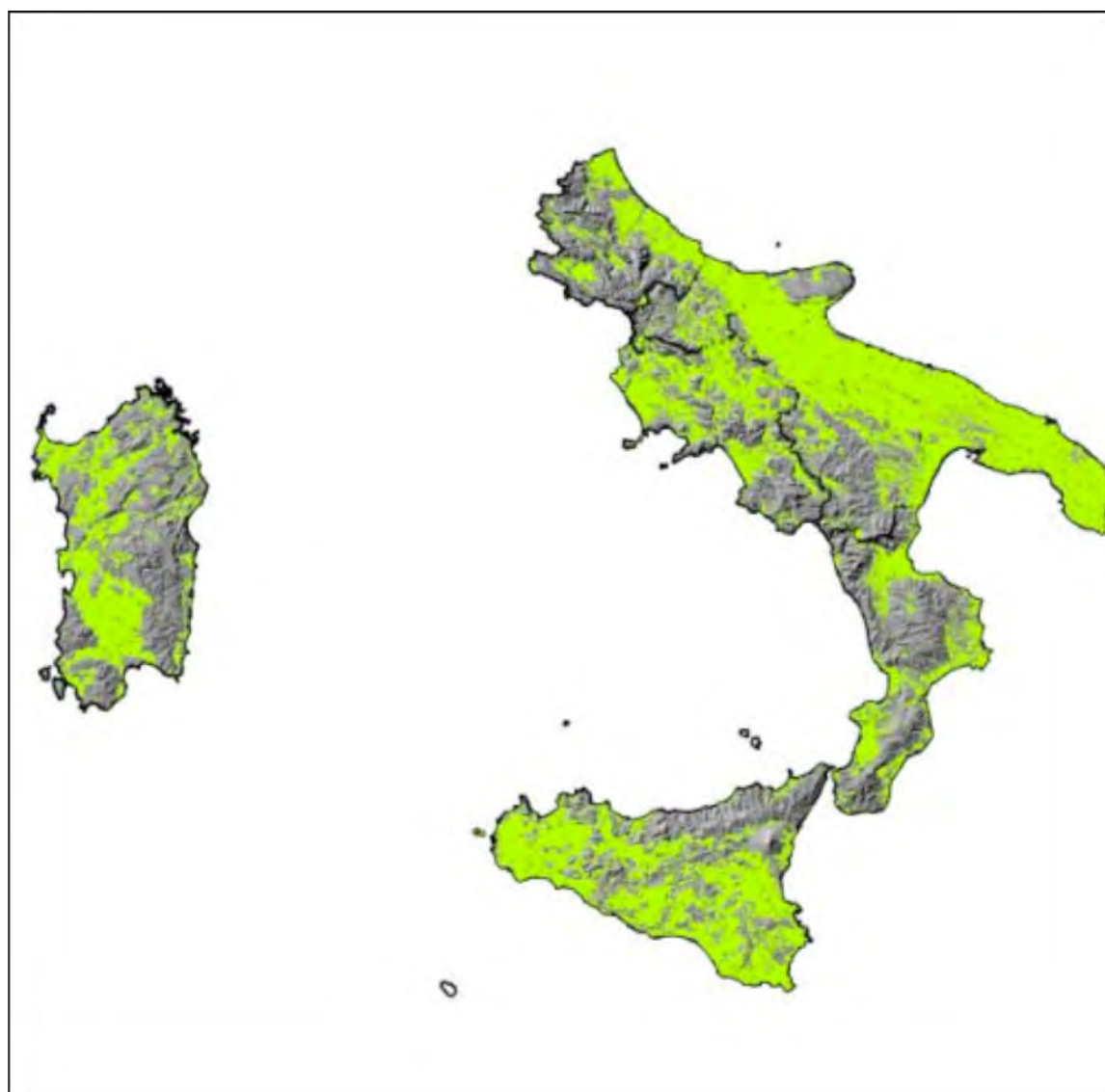
5 = acque superficiali.

Come si può vedere dalla tabella 4.2, la banca dati geografica di riferimento per le caratteristiche territoriali, cui si legano le Unità Tipologiche di Suolo (UTS) è assolutamente rilevante, componendosi di ben 33.784 poligoni e l'area di studio considerata comprende ben il 44,3 % dell'area totale. È ovvio che fra questi vi siano comprese anche superfici che ad una successiva valutazione potranno essere non idonee ad una o più tecniche irrigue, come ambiti nei quali le combinazioni di caratteristiche del suolo ed altre caratteristiche territoriali le renderanno non idonee all'irrigazione.

Tabella 4.2- Quadro riepilogativo dei risultati ottenuti dalla determinazione dell'area di studio.

Tipologia di area	N° Poligoni	Area Totale (ha)	% poligoni su totale regioni sud	% ha su totale regioni sud
Area inclusa nello studio	11.091	5.469.894,88	32,8	44,3
Area esclusa ⁴ dallo studio	22.693	6.891.382,07	67,2	55,7
Totale	33.784	12.361.276,95	100	100

Figura 4.6. Estensione geografica (in verde) dei Sottosistemi di terre inclusi nell'area di studio per le



Regioni Meridionali

⁴ Area esclusa dallo studio per morfologia, quota ed usi del suolo vincolati.

La costruzione definitiva del riferimento geometrico per la pedologia ha comportato i seguenti passaggi:

- Ritaglio secondo linea di costa e confini regionali;
- Ritaglio secondo strato dell'uso del suolo;
- Verifica dei poligoni isolati e ripulitura di micropoligoni creati dall'intersezione dell'uso del suolo "escluso" con i Sottosistemi di Terre con il limite minimo di 25 ha (corrispondente all'area minima cartografabile per una scala 1:100.000).

4.1.4 Pre – elaborazioni sui profili di suolo

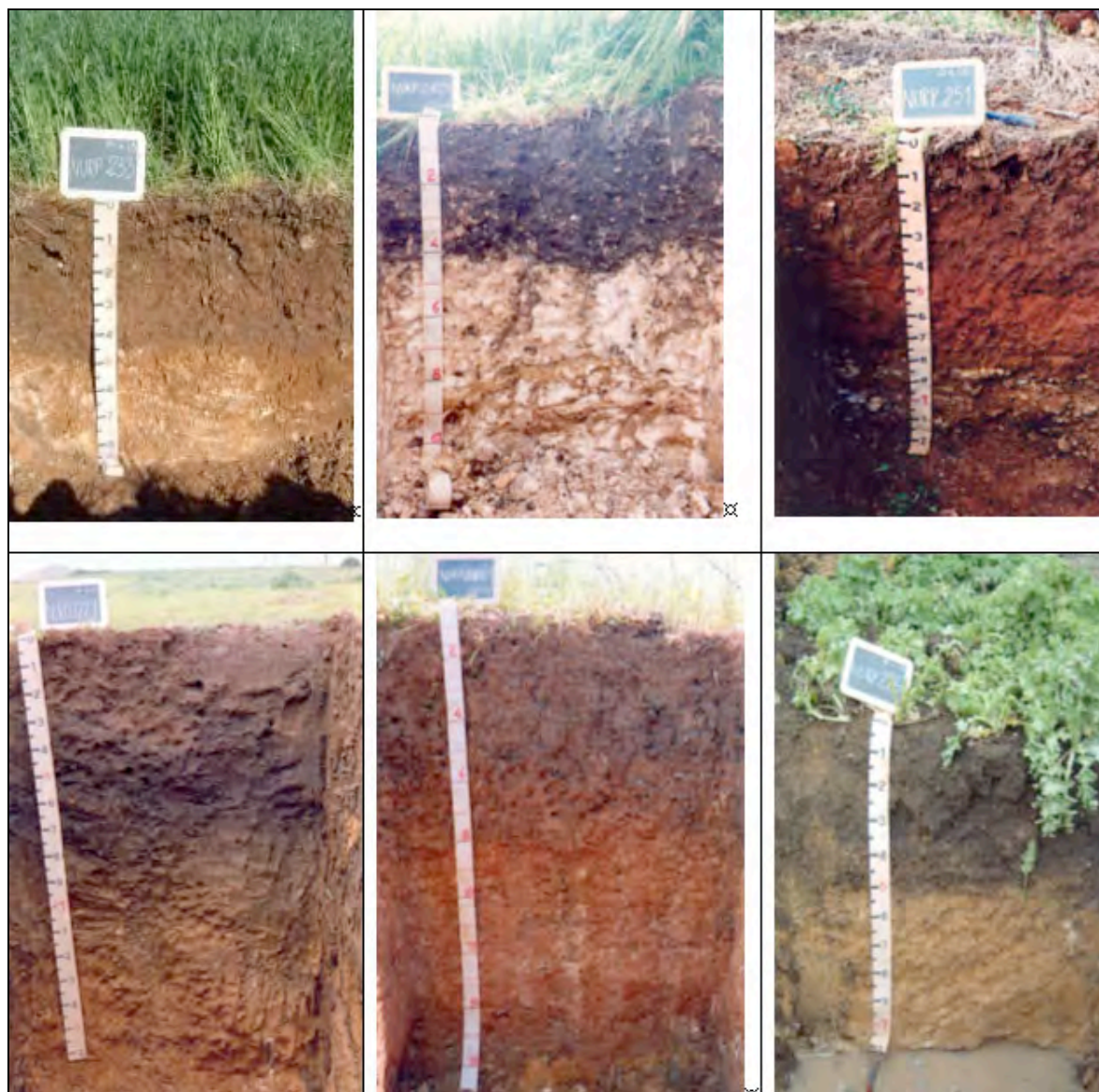
In questa sezione si riportano le metodologie e le classi utilizzate per caratterizzare i singoli profili di suolo dal punto di vista idrologico e funzionale, in maniera sintetica ed esaustiva. Questa caratterizzazione è necessaria al fine di fornire un criterio guida che agevolasse, nell'ambito della definizione delle Sottounità Tipologiche di Suolo (STS), il confronto tra profili, focalizzando l'attenzione su quei caratteri, in prima istanza idrologici, a cui il modello di valutazione si appoggia per il calcolo finale dei fabbisogni. La caratterizzazione ha riguardato solo i profili completi, ovvero quei profili in cui non vi sono "buchi" nella descrizione degli orizzonti e nel loro corredo analitico minimale (sabbia, limo, argilla e carbonio organico) entro una profondità di 150 cm dal piano campagna, a meno che entro tale profondità non si incontrino il substrato lapideo o comunque impenetrabile (strati di tipo R o Cr) oppure orizzonti fortemente restrittivi, quali petrocalcici o duripan.

Trattandosi di un numero elevato di osservazioni, è stato necessario predisporre una routine in grado di determinare se un profilo dispone o meno di tutti i dati necessari per definirlo come completo. La routine "scansiona", per ogni profilo, tutti i suoi orizzonti e determina se vi sono "buchi" nel corredo analitico o incongruenze (discontinuità o sovrapposizioni) tra le profondità di orizzonti successivi. I profili elaborati, corretti ed archiviati nella base dati CRA-ABP, su cui sono state lanciate le pedofunzioni per il calcolo dei parametri idrologici, sono stati in totale diverse migliaia (6.099) in tutte le regioni meridionali, distribuiti come da tabella 4.3.

Tabella 4.3- Distribuzione dei profili elaborati dalla Base Dati Nazionale per la creazione delle UTS ed STS

Regione	Numero Profili Completi
Abruzzo	734
Molise	915
Campania	433
Basilicata	586
Calabria	499
Puglia	756
Sicilia	1.405
Sardegna	756
Totale	6.099

Figura 4.7- Esempi di profili del suolo



Per ogni orizzonte di questi profili, fino a 150 cm di profondità o fino ad uno strato fortemente limitante (se presente entro 150 cm), sono stati calcolati i seguenti parametri fisici ed idrologici, direttamente o indirettamente utilizzati come input dal modello di calcolo idrologico di cui si parlerà più avanti:

Densità apparente: In assenza di misure dirette, per stimare la densità apparente (*bulk density*) sono state utilizzate delle funzioni di pedotrasferimento (PTF), ovvero delle funzioni che stimano la variabile obiettivo (in genere di difficile o non di routine determinazione) utilizzando parametri di più facile determinazione analitica. Per ogni orizzonte, in base al campo di applicabilità delle varie PTF e della disponibilità di dati analitici, possono essere utilizzati più metodi di calcolo. Viene selezionato il risultato restituito dal metodo caratterizzato dalla più elevata attendibilità. (Tab. 4.4)

Tabella 4.4 - Descrizione metodi e priorità delle PTF riguardanti il calcolo della densità apparente utilizzate nella base dati pedologica

Descrizione metodo	Priorità
BD per orizzonti organici, in assenza di PTF specifiche posta = 0.3	1
PTF Rawls & Brakensiek, 1985 "Prediction of soil water properties for hydrologic modelling"	2
PTF Hollis et al., 1995 "SEISMIC: User manual, Soil Survey and Land Research Centre, Cranfield University, Silsoe, UK"	2
PTF Leonaviciūtė, 2000 "Predicting soil bulk and particle densities by pedotransfer functions from existing soil data in Lithuania"	4
Media di misure	5

Conducibilità idraulica satura (Ksat): In assenza di misure dirette, analogamente a quanto fatto per la stima della densità apparente, sono state utilizzate delle funzioni di pedotrasferimento, come riportato nella seguente tabella.

Tabella 4.5 - Descrizione metodi, priorità, riferimenti e variabili di input per le PTF riguardanti la conducibilità idraulica satura nella banca dati pedologica

Descrizione metodo	Priorità
Media di misure	2
Wosten 2001 per suoli sabbiosi ($S \geq 70$)	1
Wosten 2001 per suoli loamy o argillosi ($S < 70$)	1
Wosten 1999	1
Saxton 1986	1
Jaynes_Tyler_1984_1	1
Cosby_1984	1
Campbell_Campbell_1982	1
Campbell_1985	1
Bloemen_1980	1
Jabro_1984	1
Jaynes_Tyler_1984_2	1
Vereecken_1980	1
Ksat per orizzonti organici, in assenza di PTF specifiche posta = 10 cm/h	1

Purtroppo, solo pochi autori esplicitano il campo di tessitura e/o di contenuto in C organico di applicabilità delle loro PTF, ad eccezione di Saxton e Wosten (2001).

Si è quindi stabilito di confrontare l'output di ogni PTF (escluse quelle che esplicitano il campo di applicabilità) con la seguente tabella di valori indicativi (desunti da letteratura) della Ksat (valori in cm/h) per classi tessiturali, accettando solo i risultati della PTF che rientrano nel range ammesso per la classe tessiturale dell'orizzonte (Tab. 4.6).

Tabella 4.6 - Range dei valori di variabilità per la conducibilità idraulica satura e classi tessiturali USDA⁵ di riferimento utilizzate per il confronto in prima fase di archiviazione risultati della corrispondente PTF.

Classe tessiturale USDA	Ksat Minima	Ksat massima
S	7,31	58,20
FS	1,03	37,09
SF	0,00	17,12
FSA	0,00010	8,49
FL	0,00010	3,90
F	0,00010	5,54
AS	0,00013	0,85
L	0,00731	1,03
FA	0,00010	2,17
A	0,00010	1,27
FLA	0,00067	0,58
AL	0,00309	0,35

Tutte le funzioni di pedotrasferimento per la stima della Ksat considerano, oltre che il carbonio organico, le singole frazioni granulometriche nella sola terra fine. In altri termini, non considerano lo scheletro. È viceversa unanimemente accettato il contributo della frazione più grossolana nel determinare la conducibilità idraulica.

L'effetto più macroscopico è l'aumento della Ksat al di sopra di valori soglia (in genere elevati) di contenuto di scheletro. Tale aumento è dovuto all'aumento della macroporosità da accatastamento dei clasti. Meno evidente, ma pure generalmente accettato (Brakensiek), è l'effetto di abbattimento della Ksat, rispetto a quella che risulterebbe considerando la sola terra fine, al di sotto del citato valore soglia. Tale effetto è dovuto all'interruzione delle linee di flusso idrico da parte dei frammenti grossolani.

È stata definita una funzione, partendo dai lavori di Hazen, Skirvin e Krumbein Monk, che restituisce l'andamento della Ksat in funzione della percentuale di scheletro e della tessitura della terra fine, rendendolo dapprima leggermente decrescente, poi fortemente crescente.

Curva di ritenzione idrica: Per la parametrizzazione in continuo della curva di ritenzione è stata adottata la forma funzionale proposta da Van Genuchten, che viene espressa come segue:

$$\theta = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) / [1 + (ah)^n]^m \quad (4.2)$$

dove:

θ è il contenuto idrico a una data tensione h ,

θ_r è il contenuto idrico residuale,

θ_s è il contenuto idrico a saturazione,

h è la tensione idrica,

a , n e m sono parametri dell'equazione.

Il parametro m è spesso posto uguale a $-1/n$.

Per gli orizzonti privi di determinazioni delle caratteristiche di ritenzione, che costituiscono la regola e non l'eccezione, sono state utilizzate delle PTF (Tab. 4.7) che stimano i parametri dell'equazione

⁵ United States Department of Agriculture

di Van Genuchten a partire da altri dati misurati, quali la tessitura, il carbonio organico e la densità apparente.

Tabella 4.7 - Metodo e relativa priorità utilizzati nella banca dati pedologica per il calcolo dei punti della curva di ritenzione idrica (Punti di pF)

Descrizione metodo	Priorità
Parametri della curva di Van Genuchten per orizzonti organici, in assenza di PTF specifiche	1
Parametri di Van Genuchten calcolati mediante fitting su dati misurati	2
Parametri della curva di Van Genuchten calcolati con la PTF di Hypres	3
Parametri della curva di Van Genuchten calcolati con la PTF di Scheinost (parametri θ_s θ_r) e di Simota (parametri α , n e m)	4
Parametri di Van Genuchten calcolati mediante la PTF di Vereecken	5
Parametri della curva di Van Genuchten calcolati con la PTF di Vereecken (parametri θ_s θ_r) e di Simota (parametri α , n e m)	6

Per ogni orizzonte, in base al campo di applicabilità delle varie PTF e della disponibilità di dati analitici, possono essere utilizzati più metodi di calcolo.

4.2 Costruzione della banca dati dei parametri culturali

La componente geometrica della banca dati è costituita dai poligoni della cartografia di uso del suolo, che come detto, non raggiungono un livello di dettaglio necessario alla discriminazione delle singole colture.

Per poter pervenire alla stima del fabbisogno irriguo cumulato per ciascun poligono della base cartografica si è proceduto ad una integrazione tra il dato geografico ed i dati di natura statistica.

In particolare sono stati presi a riferimento i dati annuali sulle coltivazioni pubblicati dall'ISTAT (<http://www.istat.it/agricoltura/datiagri/coltivazioni>).

Tali dati sono articolati a livello provinciale, pertanto si è creato – attraverso un'operazione di intersezione – uno strato geografico attribuendo a ciascun poligono la relativa provincia di appartenenza.

Si è quindi creata una tabella di corrispondenza per ogni combinazione di poligono di uso del suolo e dati ISTAT sulle colture, definendo dei raggruppamenti culturali omogenei (Tab. 4.8):

Tabella 4.8 – Raggruppamenti colturali omogenei

ID Gruppo Colturale	Descrizione
1	Brassicacee
2	Colture in serra
3	Colture industriali
4	Cucurbitacee
5	Foraggiere
6	Ortive a ciclo estivo primaverile sotterranee
7	Ortive a ciclo autunno primaverile di superficie
8	Ortive a ciclo estivo primaverile di superficie
9	Ortive a ciclo primaverile estivo di superficie
10	Solanacee
11	Riso
12	Frutta secca
13	Frutteti a raccolta autunno invernale
14	Frutteti a raccolta primaverile estiva
15	Vite
16	Olivo

Ciascun raggruppamento colturale comprende una serie di colture, tra cui ne è stata scelta una di riferimento come la più rappresentativa del gruppo nel contesto provinciale, su cui è stato effettuato il calcolo dei fabbisogni.

Nella tabella 4.9 si mostra per il codice 212 (seminativi irrigui) della cartografia di uso del suolo, relativo alla Provincia 87 (Catania) la percentuale di superficie occupata da ciascun gruppo colturale che compone il codice 212, e per ciascun gruppo il codice della coltura di riferimento.

Tabella 4.9 - Esempio della strutturazione delle relazioni tra province e percentuali di colture presenti nella base dati colture

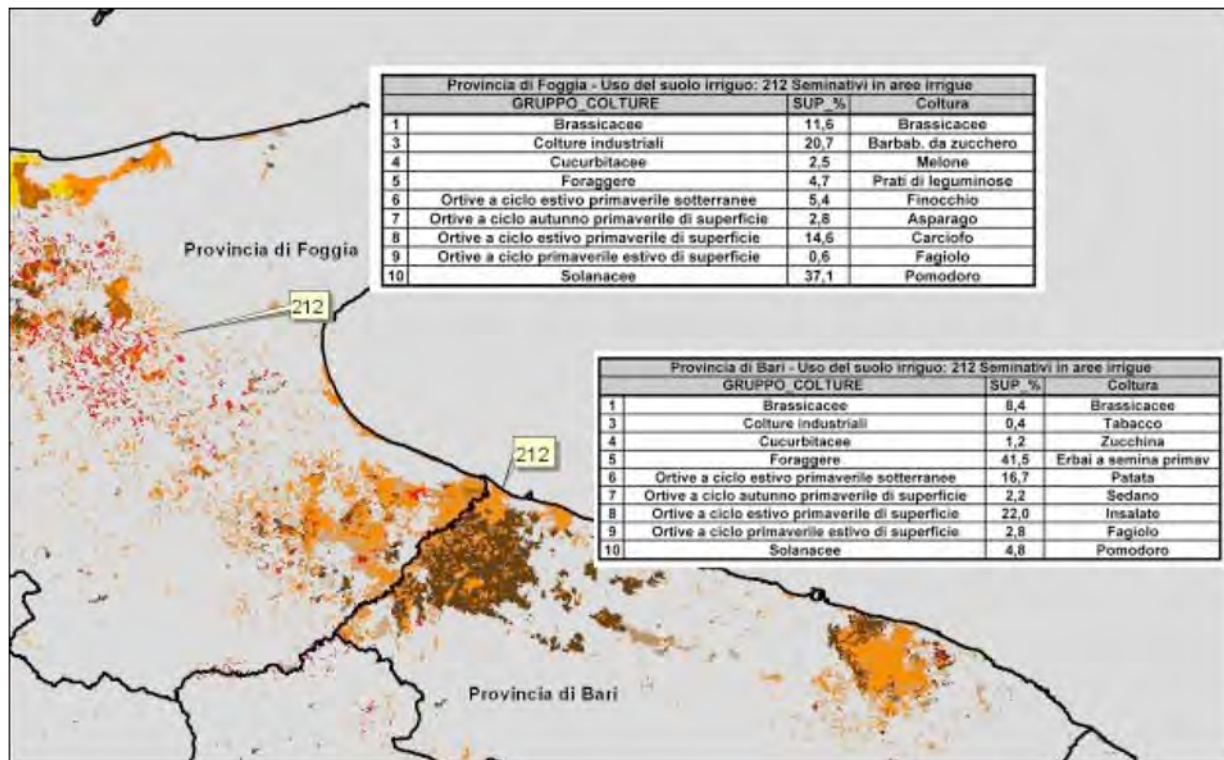
ID Provincia	Codice Uso del suolo	ID gruppo Colture	Superficie %	Coltura riferimento
87	212	3	5,0	Girasole
87	212	4	7,9	Anguria
87	212	5	4,3	Prati di leguminose
87	212	6	15,1	Patata
87	212	7	1,5	Barbabietola da orto
87	212	8	19,6	Carciofo
87	212	9	1,7	Pisello

I codici vigneti, oliveti, risaie hanno un solo gruppo colturale che li rappresenta per la totalità della superficie ed essi hanno una sola coltura di riferimento uguale per tutte le province.

Inoltre, non avendo dati sufficienti, sono stati attribuite alle colture miste (codici 2411 e 2421), le stesse percentuali dei gruppi colturali presenti nei seminativi.

La figura seguente fornisce un esempio in termini cartografici della distribuzione culturale.

Figura 4.8 - Esempio di differenti distribuzioni di percentuali di colture all'interno dei territori provinciali di due diverse province della regione Puglia.



Per ciascuna coltura presente nel database sono stati definiti i parametri necessari alla simulazione dello sviluppo della coltura e al calcolo dell'evapotraspirazione potenziale, quali il LAI⁶, il Coefficiente Culturale, la profondità dell'apparato radicale, la soglia dell'intervento irriguo e laddove disponibili parametri relativi alla data di semina, all'inizio e durata della stagione irrigua.

La tabella seguente riporta in maniera dettagliata, per alcune colture di esempio, tutti i dati presenti nel database colture, mentre la tabella 4.11 fornisce la relativa Metainformazione.

⁶Indice di area fogliare (m^2/m^2)

Tabella 4.10 - Parametri culturali presenti nella Base dati colture

06	Coltura	Profondità estraz.	Soglia intervento irriguo	Soglia T° min	Soglia Tmax	Inizio semina	Fine semina	Giorno II	Giorno FI	aLAI	bLAI	LAI min	LAI max	Kc max	E	Fase 3	Fase 4	c4 LAI	n4 LAI	PR Max	N tagli	SC	II
	Actinidia	80	30	10	40			120	300	0,10	-0.0061	0	3.07	1.00		610	1323	11	4	120		4	0
	Fragola	25	30	5	25			80	270	0,05	-0.0009	0.33	3.06	0.08	0	2100	1000	11	5	60		4	0
	Girasole	70	55	8	35	50	120	135	210	0,14	-0.0069	0	4.06	1.02	60	1053	1303	7	6	150		1	140
	Insalate	30	35	6	30	32	181	140	270	0,23	-0.0147	0	3.03	0.08	100	700	1000	10	4	50		7	0
	Mais	60	50	9	40	91	120	120	240	0,13	-0.0040	0	3.01	1.02	60	1437	474	8	4	150		1	145
	Mandarin o	80	55	12.08	38			120	270				3.03	0.07						150		7	0
	Melanzan a	60	45	10	30	60	90	135	270	0,12	-0.0046	0	4.06	1.02	100	1389	400	10	5	110		1	0
	Melo	55	45	5	40			150	270	0,17	-0.0057	0	3.07	1.00		1284	1214	9	4	120		4	0
	Melone	60	40	12	36	91	151	135	225	0,12	-0.0046	0	3.09	1.01	100	1393	148	11	5	140		1	0
	Nettarina	100	55	7	40			135	255	0,09	-0.0070	0	4.07	0.09		982	1953	9	4	150		4	0
	Olivo	150	70	10	40			120	300				3.02	0.06						150		7	0
	Patata	35	30	8	40	40	60	90	210	0,23	-0.0147	0	2.05	1.02	80	1500	600	10	4	60		1	0
	Peperone	40	30	11	35	50	90	135	270	0,11	-0.0114	0	3.08	1.01	100	479	842	10	6	100		1	0
	Pero	55	45	10	40			135	300	0,15	-0.0033	0	4.09	1.00		2200	0	10	4	120		4	0
	Pesco	70	45	7	40			135	255	0,09	-0.0070	0	4.07	0.09		982	1953	9	4	140		4	0
	Pisello	40	40	4.04	28	75	90	90	240	0,06	-0.0032	0	5.00	1.01	100	1350	0	9	4	100		1	0
	Pomodoro	70	40	10	40	60	90	135	225	0,13	-0.0066	0	4.00	1.03	100	1025	1095	7	4	150		1	135
	Prati polifiti	70	55	1	40		51	90	300	0,22	-0.0112	1	4.08	1.02		800	800	10	4	150	2	5	0
	Silomais	60	50	9	40	91		120	240	0,13	-0.0040	0	3.01	1.02	60	1437	474	8	4	150		1	145
	Tabacco	40	45	13	40	57		95	270	0,13	-0.0221	0	4.07	1.02	60	330	710	6	5	100		1	0
	Vite	80	45	10	40			150	240	0,07	-0.0070	0	4.06	0.08		825	945	7	4	150		4	0
	Zucchina	50	55	10	30	70	120	135	225	0,12	-0.0046	0	3.09	1.01	100	1343	614	11	5	90		1	0

Tabella 4.11 – Descrizione dei parametri culturali presenti nella Base dati colture

NOME CAMPO	DESCRIZIONE
Coltura	Nome della coltura
Profondità di estrazione	Profondità entro la quale avviene la maggior parte dell'assorbimento idrico
Soglia intervento irriguo	% della capacità di ritenzione idrica (AWC) al di sotto la quale la coltura andrebbe in stress idrico se non irrigata
Soglia Tmin	Soglia termica minima per lo sviluppo della coltura (°C)
Soglia Tmax	Soglia termica massima per lo sviluppo della coltura (°C)
Inizio semina	Giorno giuliano a partire dal quale il modello di simulazione dello sviluppo della coltura cerca le condizioni termiche che consentono la semina
Fine semina	Giorno giuliano in cui il modello di simulazione considera seminata la coltura, nel caso non si siano verificate le condizioni termiche ideali per la semina
Giorno II	Giorno giuliano a partire dal quale il modello di simulazione verifica la necessità di intervento irriguo
Giorno FI	Giorno giuliano dopo cui il modello di simulazione cessa la verifica della necessità di intervento irriguo
aLAI	Parametro di forma che descrive l'andamento del LAI nella fase crescente in funzione della sommatoria termica
bLAI	Parametro di forma che descrive l'andamento del LAI nella fase crescente in funzione della sommatoria termica
LAI Min	LAI minimo nel ciclo della coltura
LAI Max	LAI massimo nel ciclo della coltura
KC Max	Kc massimo della coltura
E	Sommatoria termica a partire dal giorno di semina necessaria per l'emergenza
Fase 3	Sommatoria termica dall'emergenza fino al giorno in cui la coltura raggiunge il LAI max
Fase 4	Sommatoria termica dal giorno in cui la coltura raggiunge il LAI max fino al giorno in cui la coltura raggiunge il LAI min
c4 LAI	Parametro di forma che descrive l'andamento del LAI nella fase decrescente in funzione della sommatoria termica
n4 LAI	Parametro di forma che descrive l'andamento del LAI nella fase decrescente in funzione della sommatoria termica
PR Max	Profondità massima di radicazione
N TAGLI	Numero di sfalci o tagli (per colture prative)
SC	Identificativo del tipo di procedura di calcolo dello sviluppo
II	Numero di giorni a partire dalla semina dopo i quali l'irrigazione viene cessata per favorire la maturazione del prodotto

Alcuni dei parametri (Soglie termiche, aLAI, bLAI, LAImin, LAImax, E, n4LAI, c4LAI) utilizzati per descrivere l'andamento dello sviluppo colturale e dell'evapotraspirazione in funzione dell'andamento termico (sommatoria gradi giorno), per molte colture sono stati ricavati da dati sperimentali esistenti, mentre per le colture in cui tali parametri non erano presenti, si sono utilizzati i dati sperimentali in combinazione con i dati termometrici della relativa stazione, calcolando, mediante regressioni, i suddetti parametri per le colture monitorate in campo ed estendendo i valori alle rimanenti colture con il criterio dell'affinità del comportamento fisiologico.

Nella tabella 4.12 si riportano le procedure di calcolo dello sviluppo colturale, definite per gruppi di colture omogenee.

ID	TIPO COLTURE	DESCRIZIONE STRATEGIA
1	Erbacee a ciclo primaverile-estivo	Il ciclo della coltura si svolge nel corso del medesimo anno solare. A partire dalla data di inizio semina, viene cercato il giorno in cui la temperatura dei 5 giorni precedenti è superiore alla soglia termica della coltura. Lo sviluppo del LAI è approssimato supponendo 3 fasi fenologiche, ciascuna con un proprio ritmo di crescita: - fase di emergenza: presente solo nelle colture erbacee - fase di crescita del LAI, fino al raggiungimento del LAI massimo - fase di decrescita del LAI La profondità delle radici varia nel corso della stagione in funzione del LAI. Raggiunta la sommatoria termica corrispondente alla fase 4, la coltura viene considerata come terminata (raccolta).
2	Erbacee a ciclo autunno-primaverile	Il ciclo della coltura si svolge a cavallo di due anni solari. A partire dalla data di inizio semina, viene cercato il giorno in cui la temperatura dei 5 giorni precedenti è superiore alla soglia termica della coltura. Lo sviluppo del LAI è approssimato supponendo 3 fasi fenologiche, ciascuna con un proprio ritmo di crescita: - fase di emergenza: presente solo nelle colture erbacee - fase di crescita del LAI, fino al raggiungimento del LAI massimo - fase di decrescita del LAI La profondità delle radici varia nel corso della stagione in funzione del LAI. Raggiunta la sommatoria termica corrispondente alla fase 4, la coltura viene considerata come terminata (raccolta).
4	Arboree caducifoglie	Il primo giorno dell'anno il LAI è = 0. Lo sviluppo del LAI è approssimato supponendo 2 fasi fenologiche: - fase 3: fase di crescita del LAI, fino al raggiungimento del LAI massimo - fase 4: fase di decrescita del LAI La profondità delle radici è costante, e corrisponde alla profondità massima di radicazione propria della specie (a meno che il suolo non sia più sottile). Raggiunta la sommatoria termica corrispondente alla fase 4, il LAI si riduce esponenzialmente, raggiungendo il valore minimo di LAI il 15 novembre.
5	Prative poliennali	Il primo giorno dell'anno il LAI è = LAI minimo (circa 1). Raggiunto il LAI massimo, viene "generato" uno sfalcio. Il numero di sfalci nell'anno è un dato in input. Dopo l'ultimo sfalcio, il LAI decresce fino a raggiungere il LAI minimo. La profondità delle radici è costante, e corrisponde alla profondità massima di radicazione propria della specie (a meno che il suolo non sia più sottile).
7	Arboree sempreverdi e ortive a ciclo breve	Il LAI è costante nel corso dell'anno. La profondità delle radici è costante, e corrisponde alla profondità massima di radicazione propria della specie (a meno che il suolo non sia più sottile). Le ortive a ciclo breve sono trattate con questa strategia di calcolo in quanto per esse non erano disponibili dati sufficienti per simulare la successione di più cicli nel corso dell'anno (ciascuno di essi caratterizzato da una fase di emergenza e da una di incremento del LAI).
8	Riso	Lo sviluppo della coltura non è simulato date le particolari condizioni di coltivazione, pertanto è stato attribuito un fabbisogno medio derivato da dati bibliografici.

Tabella 4.12 – Strategie di descrizione del ciclo culturale

4.2.1 Scenari di strategie irrigue

Per strategia irrigua si intende, in questo contesto, una combinazione univoca di tecnica di adacquamento, intensità oraria e durata della singola adacquata, criteri per l'individuazione del momento di intervento irriguo.

In assenza di informazioni sufficienti a definire sia le diverse strategie irrigue realmente adottate dagli agricoltori nei diversi ambiti territoriali e nelle differenti realtà produttive, sia ipotesi alternative e migliorative, sono stati definiti per ogni coltura, due diversi scenari di strategia irrigua, differenziati in base al tipo di organizzazione aziendale necessaria:

- Scenario a basso input tecnologico aziendale, caratterizzato dall'utilizzo diffuso di tecniche irrigue più estensive e meno efficienti;
- Scenario ad alto input tecnologico aziendale, caratterizzato dall'utilizzo diffuso di tecniche irrigue più intensive ed efficienti.

Per ogni coltura e per ogni scenario irriguo (Tab. 4.13), si sono definite, in termini di tipo, durata e intensità, le caratteristiche degli interventi irrigui standard. Le caratteristiche irrigue non variano in funzione dell'ambito territoriale, in quanto non erano disponibili informazioni sufficienti a differenziare le caratteristiche ad un maggiore livello di dettaglio.

Tabella 4.13 – Descrizione degli scenari irrigui utilizzati

Coltura	Basso input tecnologico aziendale			Alto input tecnologico aziendale		
	Tecnica	Intensità (mm/h)	Durata (h)	Tecnica	Intensità (mm/h)	Durata (h)
Carciofo	aspersione con ali mobili	12	7	goccia	3	6
Ciliegio	manichetta forata	17	1	goccia	3	7
Cocomero	aspersione con ali mobili	12	7	manichetta forata	17	1
Fragola	aspersione con ali mobili	12	7	manichetta forata	17	1
Insalate	aspersione con ali mobili	12	7	manichetta forata	17	1
Mais	Aspersione con semovente (Rotolone)	19	4	Pivot	20	5
Melanzana	aspersione con ali mobili	12	7	manichetta forata	17	1
Melone	aspersione con ali mobili	12	7	manichetta forata	17	1
Olivo irriguo	manichetta forata	17	1	goccia	3	7
Patata	aspersione con ali mobili	12	2	goccia	3	7
Pesco	manichetta forata	17	1	goccia	3	8
Pomodoro	aspersione con ali mobili	12	2	goccia	3	6
Vite	aspersione con ali mobili	15	7	goccia	3	7
Zucchini	aspersione con ali mobili	12	7	manichetta forata	17	1

4.3 Costruzione banca dati agrometeorologica

L'obiettivo di questa attività è stato quello di creare per le regioni del sud dell'Italia interessate nel progetto, aree climaticamente omogenee, secondo specifici indici agroclimatici funzionali all'uso irriguo.

Da un punto di vista geometrico le aree omogenee sono costituite da un gruppo di poligoni geografici (i Sottosistemi di Terre) già definiti e delineati con criteri paesaggistici.

Per raggiungere gli obiettivi sopra elencati sono state realizzate le mappe degli indici climatici scelti attraverso la spazializzazione dei dati climatici relativi ad alcune stazioni meteorologiche distribuite su tutta l'area di studio; si è infine effettuata una classificazione del territorio in aree omogenee mediante tecniche statistiche. Per ciascuna area omogenea si è poi individuata la stazione meteo più rappresentativa, utilizzando nel modello i dati climatici giornalieri dell'ultimo decennio.

4.3.1 Metodologia

La rappresentazione di un tema di interesse geografico di natura climatica in un sistema informativo geografico è generalmente effettuata in modalità raster; le informazioni provenienti da stazioni meteorologiche sono invece di natura puntuale. Pertanto, per meglio gestire a livello geografico questo tipo di informazione, si è reso necessario un preliminare trattamento statistico che ha permesso di passare dalla serie di dati puntuali originari a una distribuzione continua nello spazio.

Per eseguire questo passaggio possono essere impiegati diversi metodi che si rifanno al campo della statistica applicata. Qualunque sia la natura della tecnica usata (metodi basati sulla regressione, metodi geostatistici o altro) lo scopo è stimare il più fedelmente possibile, a partire dai valori noti della variabile in posizioni discrete, i valori incogniti della stessa variabile sull'intero grigliato regolare rappresentato dal raster.

Con il termine "spazializzazione" nel linguaggio tecnico si intende questo passaggio da dati puntuali a dati omogenei, mentre le varie "tecniche di spazializzazione" si distinguono a seconda dell'algoritmo di calcolo usato.

È importante osservare che non esiste una tecnica di spazializzazione che possa considerarsi ottimale per la ricostruzione di qualsiasi tipo di dato meteoroclimatico. Infatti, la distribuzione spaziale dipende dalla natura della variabile in esame. È essenziale, inoltre, il contesto di spazializzazione ovvero l'insieme di parametri che derivano dal formato temporale dei dati da spazializzare, dalle caratteristiche topografiche dell'area in cui viene effettuata l'interpolazione, dalla stagione e dalla numerosità dei dati a disposizione.

4.3.2 Dati utilizzati

È stato realizzato un database, dove per ciascun giorno giuliano, si sono riportati i dati di temperatura (T_{min} , T_{max}), di piovosità (P) ed evapotraspirazione potenziale (E_{t_0}), espressi come dati medi di ciascun giorno giuliano della serie storica.

Per la realizzazione delle spazializzazioni sono stati utilizzati i dati puntuali di 319 stazioni meteorologiche distribuite sul territorio in esame. Le variabili utilizzate sono state la temperatura minima, la temperatura massima e le precipitazioni aggregate mensilmente.

La variabile presente nelle tabelle dell'evapotraspirazione è stata calcolata successivamente e non spazializzata direttamente per una migliore rappresentazione del fenomeno.

Un dato ausiliario di fondamentale importanza in questo tipo di analisi è il modello digitale del terreno DTM derivato direttamente dal dato SRTM della missione Shuttle. La risoluzione a terra del pixel è stata ridotta a 250 m. In questo caso il DTM è stato utilizzato dalla procedura di calcolo della spazializzazione che restituisce come output un prodotto con la medesima risoluzione.

4.3.3 La tecnica di spazializzazione utilizzata

Per la spazializzazione dei dati di temperatura e di precipitazione è stato utilizzato un algoritmo di regressione lineare locale con la quota pesata sulla distanza dalle stazioni. Questo algoritmo ha riscontrato precisioni elevate rispetto ai consueti algoritmi di spazializzazione presenti anche nei software GIS (Poligoni di Thiessen, Kriging, inverso della distanza, ecc), ed è stato sviluppato ex novo e non è presente in nessun pacchetto commerciale.

La tecnica di spazializzazione della regressione lineare pesata impone, rispetto ad un modello di regressione lineare un sistema, di pesi variabili all'interno del dominio di interpolazione. Ne segue una ricerca dei regressori variabili localmente, che accresce la possibilità di una stima più fedele della variabile. La tecnica permette il rilevamento della non stazionarietà delle relazioni fra la variabile climatica ed i parametri caratteristici di un territorio e presenta una naturale flessibilità rispetto ai modelli regressivi lineari. La regressione pesata è stata utilizzata presso IBIMET da Maselli in contesti di analisi spettrale di immagini da remote-sensing (Maselli, 2001).

Un modello di regressione lineare con due variabili di predizione può essere scritto come segue:

$$\gamma(g) = \beta_0 + \beta_1\chi_1 + \beta_2\chi_2 + \varepsilon \quad (4.3)$$

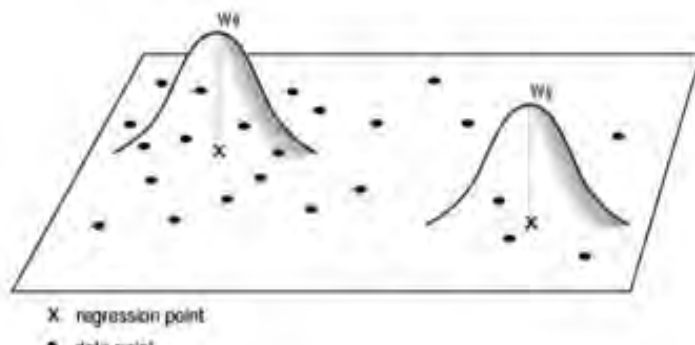
dove γ è la variabile dipendente, X_1 e X_2 sono le variabili indipendenti (in questo caso rappresentate dai metadata delle stazioni meteorologiche), β_0 , β_1 e β_2 sono i regressori e ε è un termine che esprime l'errore random. L'ipotesi è che i valori di β_0 , β_1 e β_2 siano costanti su tutta l'area di studio.

Invece, un modello regressivo lineare pesato può essere espresso come una funzione del vettore delle coordinate g:

$$\gamma(g) = \beta_0(g) + \beta_1(g)\chi_1 + \beta_2(g)\chi_2 + \varepsilon \quad (4.4)$$

Il calcolo di regressori è pesato da una funzione di peso locale $W(g)$ tale che i dati delle stazioni più vicine alla posizione g sono pesati maggiormente rispetto ai dati delle stazioni più lontane.

Figura 4.9 - Come agisce la funzione peso locale



La successione della metodologia è sintetizzata nella figura 4.9. In aggiunta all'approccio “pesato”, questa tecnica usa, nel calcolo della variabile da ricostruire, la correlazione con una covariata, in questo caso la quota. Il valore in ciascun pixel del raster è stimato dai valori normalizzati di quota e di pioggia (o di temperatura) come combinazione lineare dei rispettivi valori sulle stazioni localmente più vicine alla posizione del pixel da stimare.

Il peso della combinazione lineare, indicato con w_i nell'equazione che segue, dipende dalla distanza di ciascuna stazione dal pixel in esame e da due parametri che definiscono la curva di smorzamento.

$$w_i = e^{-d_i/R_f} \quad (4.5)$$

$$z_m = \frac{\sum_{i=1}^{N_{staz}} w_i * z_i}{\sum_{i=1}^{N_{staz}} w_i} \quad (4.6)$$

$$v_m = \frac{\sum_{i=1}^{N_{staz}} w_i * v_i}{\sum_{i=1}^{N_{staz}} w_i} \quad (4.7)$$

I due parametri che definiscono la curva di smorzamento, che è una funzione di tipo esponenziale negativo, sono la distanza massima da considerare (d_i), oltre la quale la curva è troncata con il conseguente azzeramento dei pesi, e il range R_f della regressione pesata, che in letteratura è espresso con il termine di *bandwidth*.

Al diminuire del parametro R_f la curva di smorzamento decresce più rapidamente. Il parametro d_i influisce invece sulla “località” dell'algoritmo di interpolazione. Con una serie di test svolti facendo variare R_f , è stato stabilito che il valore ottimale medio è pari a 50 km per il tipo di variabili considerate.

4.3.4 Dettaglio della procedura utilizzata

Utilizzando i dati puntuali (precipitazione, temperatura minima e massima) delle stazioni meteorologiche ed i dati raster del DTM si sono prodotti, utilizzando la procedura della spazializzazione, degli strati raster per ogni mese relativi alle precipitazioni ed alle temperature.

Sulla base di queste prime elaborazioni è stato calcolato il valore di ET_0 mensile secondo la seguente procedura che ha implementato la formula Hargreaves-Samani.

- Declinazione solare espressa in radianti:

$$\delta = 0.4093 * \sin\left(\frac{2\pi}{365}(284 + d)\right) \quad (4.8)$$

dove d è il giorno giuliano.

- Costante solare espressa in w/m^2 :

$$I_0 = 1367 * (1 + 0.033 * \cos(\frac{2\pi}{365} * d)) \quad (4.9)$$

- Angolo orario al tramonto, misurato in radianti a partire dal mezzogiorno:

$$H_r = \arccos(-\tan \delta * \tan \phi) \quad (4.10)$$

Nella formula ϕ è la latitudine. In questo caso è stato creato uno strato geografico, contenente per ogni cella il valore di latitudine, in modo da calcolare H_r .

- Radiazione extraterrestre giornaliera, espressa in KJ/(m² · giorno):

$$R_A = \frac{86.4 * I_0}{\pi} (\sin \delta \sin \phi * H_T + \cos \delta \cos \phi \sin H_T) \quad (4.11)$$

La radiazione è stata quindi calcolata anch'essa su base raster.

Dette Tmin e Tmax le temperature dell'aria minima e massima giornaliere in °C si ha:

Temperatura media in °C:

$$T = (T_{\max} + T_{\min}) / 2 \quad (4.12)$$

Escursione termica in °C:

$$\Delta T = (T_{\max} - T_{\min}) \quad (4.13)$$

Calore latente di evaporazione dell'acqua in KJ/kg:

$$\lambda = (2.501 - 0.002361 * T) * 10^3 \quad (4.14)$$

La formula di Hargreaves per la stima dell'evapotraspirazione di riferimento espressa in mm/giorno è a questo punto la seguente:

$$ET_0 = C * \frac{R_A}{\lambda} * \sqrt{\Delta T} * (T + 17.8) \quad (4.15)$$

ove in letteratura il parametro C è solitamente fissato al valore 0,0023.

Sono stati calcolati per ogni mese, in ciascuna cella del raster i valori relativi all'evapotraspirazione quali somma dei valori giornalieri.

4.3.5 Il calcolo degli indici agro-climatici

Per classificare il territorio in termini di omogeneità agro-climatica, sono stati considerati i due principali fattori che maggiormente regolano l'efficienza dell'attività agricola in senso lato e l'irrigazione nello specifico: la disponibilità idrica e la disponibilità di energia.

La disponibilità idrica è stata determinata attraverso il calcolo del Deficit Idrico Potenziale (DIP) che è il deficit teorico che si può misurare in un prato che copre completamente il terreno, in condizioni idriche ottimali e senza limitazioni per l'evapotraspirazione. Il deficit idrico potenziale rappresenta la sommatoria delle differenze giornaliere tra la precipitazione e l'evapotraspirazione di riferimento ($\Sigma(P - ET_0)$) e fornisce un'informazione diretta sulla maggiore o minore aridità di una località e quindi,

indirettamente, sulle potenzialità agricole del territorio e sui fabbisogni irrigui. Il calcolo è stato eseguito su ciascuna cella del raster dai dati mensili spazializzati.

La disponibilità di energia viene determinata attraverso il calcolo della sommatoria termica, definita come la sommatoria dei gradi giorno cumulati a partire dal 1 gennaio di ciascun anno.

La funzione standard per il calcolo della somma gradi giorno è la seguente:

$$SommaGG = (T_{min} + T_{max}) / 2 - Soglia \quad (4.16)$$

Dove:

SommaGG: somma gradi giorno [°C d]

T_{min} e T_{max} : temperature minime e massime giornaliere [°C d]

Soglia: valore minimo della temperatura, dipendente della coltura, che deve essere superato perché abbia inizio lo sviluppo delle radici e delle foglie [°C d]. Si è utilizzata come soglia inferiore il valore di 0°C.

Per le colture arboree e prative il calcolo della somma gradi giorno inizia il primo gennaio e viene azzerato il 31 dicembre di ogni anno. Per le colture erbacee e orticole invece si inizia il calcolo a partire dalla data di inizio semina della coltura. Anche in questo caso gli indici della sommatoria termica sono stati calcolati per ciascuna cella dai dati mensili spazializzati.

4.3.6 Classificazione

Utilizzando il file in formato raster della sommatoria termica e del deficit idrico potenziale è stata realizzata una classificazione di tipo *unsupervised* (analisi dei cluster).

Ogni cluster rappresenta quindi porzioni di territorio con caratteristiche climatiche simili.

Per ogni classe è stata selezionata la stazione meteorologica più simile in termini climatologici calcolando la minima distanza tra la media della classe e i valori della stazione sui termini del deficit e della sommatoria termica.

4.3.7 Risultati

L'immagine che segue mostra le aree climatiche omogenee determinate secondo la metodologia sopra descritta. Le classi sono state suddivise per ambito geografico e ove opportuno, sono state accorpate e riportate ai sottosistemi.

Figura 4.10 - Aree climatiche omogenee

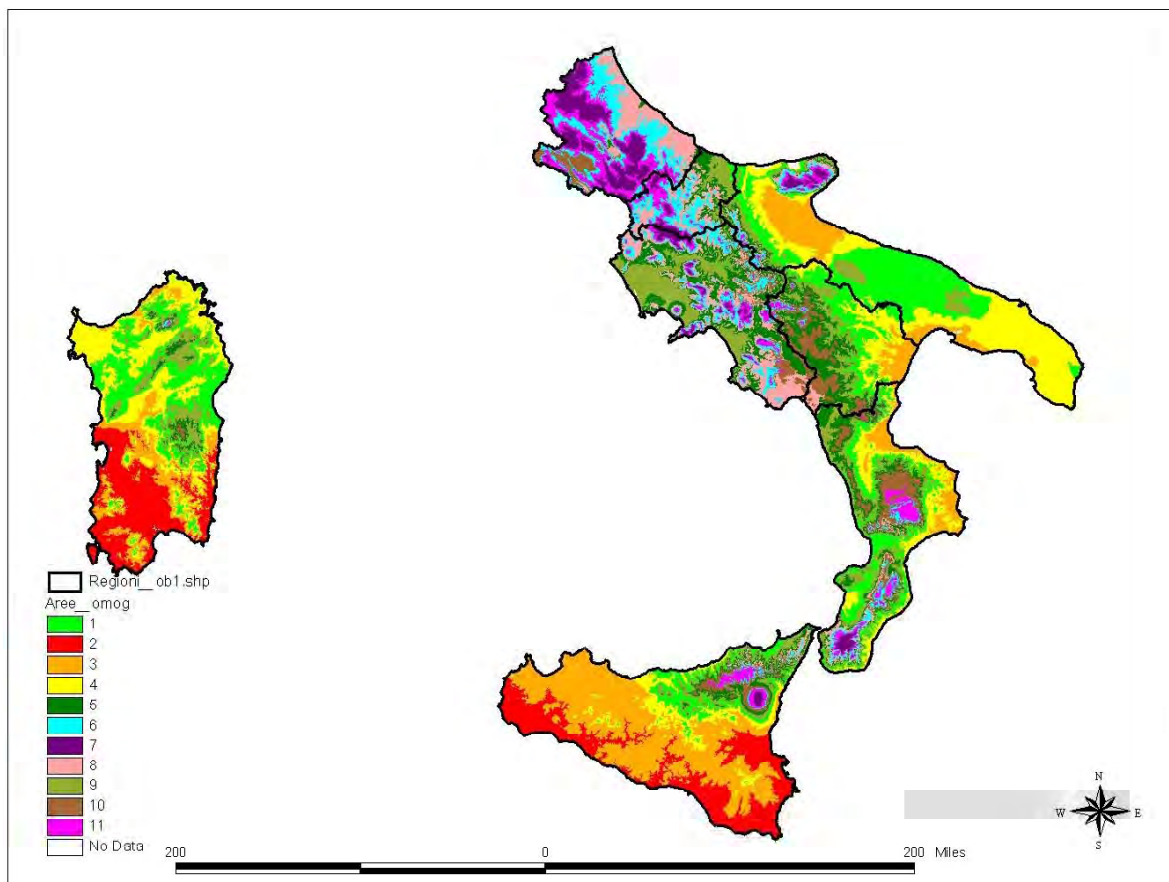


Tabella 4.14 - Descrizione e estensione delle 11 aree omogenee climatiche

ID_area	Descrizione	area (kmq)
1	Sicilia e Sardegna alto collinare; Murge e altro	17798
2	Campidano e piane costiere siciliane	12504
3	Sicilia e Sardegna basso collinare; basso Tavoliere; arco ionico tarantino; Piana di Sibari	20174
4	Salento, medio Tavoliere, basse colline ioniche calabre, colline sassaresi e nuoresi	19861
5	Strette fasce alte collinari	10414
6	Collinare Abruzzo Molise e Campania	6676
7	Alto Abruzzo e Molise, alto Aspromonte e alto Etna	3944
8	Costiero adriatico e parte del costiero campano e retrocostiero campano	7920
9	Costiero tirrenico campano calabro e fascia interna appenninica	12332
10	Montano calabro lucano, Sila	5750
11	Alto collinare e montano Abruzzo; Gargano, Sila, Aspromonte, Nebrodi e Etna	5700

Sulla base delle aree omogenee individuate è stato calcolato l'andamento statistico dei 4 indicatori scelti, Deficit idrico potenziale, Sommatoria termica, Precipitazione e temperature medie annue (Tab. 4.15).

Tabella 4.15 - Andamento statistico degli indicatori climatici selezionati per le 11 tipologie di aree omogenee individuate

ID_area	descrizione	Defici idrico potenziale (mm)			Sommatoria termica (°C)			Precipitazione media annua (mm)			Temperatura media annua (°C)		
		Min	Max	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean
1	Sicilia e Sardegna alto collinare; Murge e altro	-512	-583	-542,8	97	231	181,4	471,3	1188,9	743,1	7,9	19,3	15,1
2	Campidano e piane costiere siciliane	-669	-779	-710,8	186	226	206,4	295,4	813,7	554,9	15,6	18,7	17,2
3	Sicilia e Sardegna basso collinare; basso Tavoliere; arco ionico tarantino; Piana di Sibari	-610	-675	-641,2	145	232	195,1	406,6	1072,9	650,4	12,1	19,4	16,3
4	Salento, medio Tavoliere, basse colline ioniche calabre, colline sassaresi e nuoresi	-552	-613	-586,5	111	233	192,1	478,3	1112,7	697,7	9,1	19,4	16,0
5	Strette fasce alto collinari	-425	-488	-449,4	92	210	163,8	554,7	1464,6	973,5	7,4	17,5	13,6
6	Collinare Abruzzo Molise e Campania	-322	-387	-361,1	104	181	149,9	738,9	1665,3	992,9	8,5	15,1	12,5
7	Alto Abruzzo e Molise, alto Aspromonte e alto Etna	-173	-296	-257,1	86	156	105,6	872,5	2138,3	1119,3	6,9	12,9	8,7
8	Costiero adriatico e parte del costiero campano e retrocostiero campano	-375	-431	-405,9	148	201	170,5	651,2	1412,7	962,5	12,1	16,8	14,2
9	Costiero tirrenico campano calabro e fascia interna appenninica;	-461	-526	-492,0	92	223	175,1	469,4	1230,5	905,7	7,4	18,6	14,6
10	Montano calabro lucano, Sila	-362	-450	-402,5	86	151	129,8	733,3	1676,6	1072,0	7,0	12,9	10,8
11	Alto collinare e montano Abruzzo; Gargano, Sila, Aspromonte, Nebrodi e Etna	-277	-362	-318,6	86	168	123,9	812,9	1878,1	1095,0	6,9	13,9	10,3

All'interno di ciascuna area climatica sono state poi individuate le stazioni più rappresentative delle condizioni climatiche medie e per ciascuna di esse sono stati cercati e reperiti i dati giornalieri di temperatura minima e massima e le precipitazioni relativamente agli ultimi 10 anni (1996-2007). Notevoli sono state le difficoltà incontrate nel reperire tali dati, in quanto non sempre sono stati accessibili, non sempre vi erano i dati, non sempre un parametro era stato registrato con sufficiente continuità.

Gran parte dei dati delle stazioni sono state ottenute dal CRA-CMA (Unità di ricerca per la Climatologia e la Meteorologia applicate all'Agricoltura-ex UCEA), alcune dall'Istituto Idrografico della Regione Abruzzo e dell'Ufficio Idrografico della Regione Campania.

I dati giornalieri di queste stazioni sono stati tutti importati nella banca dati e sono stati elaborati; dapprima sono stati ricostruiti i dati mancanti: per la temperatura sono state prese le medie dei giorni precedenti e successivi al dato mancante mentre per la pioggia si sono guardati i dati delle stazioni limitrofe e, dove non ci fosse altra possibilità, si è lasciato il dato mancante.

In seguito si è calcolato l'evapotraspirazione potenziale con la formula di Hargreaves-Samani, introducendo tuttavia nel calcolo il fattore C ricavato dall'INEA (Thiery, 2001), sulla base di correlazioni locali fra la formula di Hargreaves e la più complessa formula di Penman-Monteith.

Con l'evapotraspirazione potenziale si è potuto calcolare il deficit idrico potenziale di ciascuna stazione per ciascun anno e conseguentemente indicare l'anno medio e l'anno più siccitoso del periodo a disposizione. Tale scelta si è basata anche sulla qualità dei dati giornalieri cioè sulla quantità di dati assenti o ricostruiti.

Le aree omogenee sono poi diventate un attributo delle geometrie dei pedopaesaggi che sono alla base delle valutazioni del progetto; ogni poligono, infatti, è stato attribuito ad un'area omogenea mediante tecniche GIS secondo il criterio della maggior frequenza (MAJORITY).

4.4 Il modello di calcolo dei fabbisogni irrigui

Il modello di calcolo dei fabbisogni irrigui si basa sulla determinazione del deficit idrico nel suolo, che deriva dal bilancio giornaliero tra quota utile degli apporti meteorici e richiesta evapotraspirativa della coltura.

$$D_i = (P_i + U_i + I_i) - (R_i + PE_i + ETM_i) \quad (4.17)$$

Dove

D_i = deficit nel giorno i

P_i = precipitazioni nel giorno i

I_i = apporto irriguo nel giorno i

U_i = risalita capillare dalla falda nel giorno i

R_i = quota delle precipitazioni persa per scorrimento superficiale nel giorno i

PE_i = perdite per percolazione al di sotto dello strato radicato nel giorno i

ETM_i = evapotraspirazione massima per la coltura nel giorno i

- Precipitazioni utili

La differenza tra apporto meteorico (P_i) e acqua persa per runoff (R_i) e percolazione profonda (PE_i) costituisce la quota utile della precipitazione (P_u).

$$Pu = Pi - Ri - PEi \quad (4.18)$$

Il primo aspetto da valutare nella determinazione della quantità utile del singolo apporto pluviometrico è, date le caratteristiche fisico-idrologico del suolo, il suo contenuto idrico iniziale e la durata e intensità dell'evento, la quota che è in grado di infiltrarsi nel terreno. Tra i vari metodi reperibili in letteratura per determinare la quantità di acqua infiltrabile, è stato scelto quello di Green & Ampt, in quanto di ampissimo utilizzo e di relativamente semplice implementazione.

Proposto nel 1911, era stato concepito per determinare l'infiltrazione nel terreno da un velo di acqua in eccesso che lo ricopre con altezza costante (*ponding infiltration*).

Esso è stato successivamente soggetto a numerose modifiche e aggiustamenti, che lo hanno reso idoneo a trattare il processo dell'infiltrazioni con diverse condizioni al contorno. In particolare la riscrittura dell'equazione di Green-Ampt operata da Mein e Larson, e ripresa dal modello di simulazione del bilancio idrico SWAT, è apparsa idonea agli scopi e adattabile alla struttura dei dati di cui si dispone. La formulazione di Mein-Larson viene risolta in SWAT nel seguente modo:

$$F_{inf,t} = F_{inf,t-1} + Ke * \Delta t + \Psi_{wf} * \Delta\Theta * \ln \left[(F_{inf,t} + \Psi_{wf} * \Delta\Theta) / (F_{inf,t-1} + \Psi_{wf} * \Delta\Theta) \right] \quad (4.19)$$

Dove

$F_{inf,t}$ è l'infiltrazione al tempo t,

$F_{inf,t-1}$ è l'infiltrazione al tempo t-1,

Ke è la conducibilità idraulica efficace (generalmente posta uguale a $0,5 * K_{sat}$),

$\Delta\Theta$ è la differenza tra contenuto idrico a saturazione e contenuto idrico iniziale,

Ψ_{wf} è il potenziale matriciale al fronte di umettamento, secondo Rawls e Brakensiek funzione della porosità totale, della percentuale di sabbia e di argilla.

I termini dell'equazione Ke e Ψ_{wf} possono essere considerati come parametri caratteristici delle varie tipologie di suolo. Il termine $\Delta\Theta$ è invece funzione del contenuto idrico al momento della precipitazione, e quindi del deficit idrico nel suolo.

In questa fase vengono determinate le seguenti grandezze:

- **Quantità di acqua infiltrata:** frazione della precipitazione giornaliera che si infila nel terreno; come differenza tra l'apporto meteorico e la quantità di acqua infiltrata, viene determinata la quantità di acqua di scorrimento superficiale (*runoff*). Se la precipitazione giornaliera è inferiore o uguale a 20 mm, essa viene considerata tutta infiltrata, in quanto generalmente si presuppone che la capacità di immagazzinamento superficiale del suolo, dovuta alla sua rugosità, sia pari a 20 mm;
- **Quantità di acqua percolata:** quota dell'acqua che, infiltrata nel terreno, percola al di sotto dello strato radicato, in quanto eccedente la capacità complessiva di trattenuta del terreno (capacità in acqua disponibile - AWC) fino alla profondità attuale di radicazione. La capacità di trattenuta è calcolata integrando la capacità di trattenuta tra la superficie del suolo e la profondità di radicazione, calcolata per il giorno in cui la precipitazione avviene; entro questo spessore possono essere presenti diversi orizzonti di suolo, di ognuno dei quali viene calcolata la capacità di trattenuta.

Tabella 4.16 - Esempio di calcolo della capacità di trattenuta

Orizzonte	Profondità (cm)	Spessore (cm)	Contenuto idrico %	Capacità di campo %	Capacità di trattenuta (mm)
1	0-20	20	23	41	36
2	21-40	20	28	38	20
3	41-80	40	27	36	36
4	81-120	40	28	35	28
				TOTALE (mm)	120

– Risalita capillare dalla falda

L'apporto per risalita capillare dalla falda non viene al momento considerato per carenza di dati sulla profondità dell'acquifero ipodermico e sulla variabilità stagionale della sua profondità

– Evapotraspirazione massima

Per il calcolo della evapotraspirazione massima a partire da quella potenziale è stato seguito, con qualche modifica, l'approccio di Driessen. Senza coltura o prima dell'emergenza, l'evapotraspirazione massima (ET_M) è posta uguale all'evapotraspirazione potenziale (ET₀).

Dopo l'emergenza della coltura, l'evapotraspirazione massima è calcolata mediante la formula:

$$ET_M = K_C * ET_0 \quad (4.20)$$

Dove:

ET_M = traspirazione massima

K_C = coefficiente colturale

Il problema risiede nell'individuazione di relazioni di validità generale che consentano di stimare il K_C in funzione sia della coltura che delle variabili climatiche (giorno, annata area climatica).

Sono numerosi i modelli che simulano lo sviluppo della coltura in funzione di suoi parametri specifici e dell'andamento climatico (= termico) dell'annata.

In questo lavoro si è adottato, con opportuni adeguamenti, il modulo di sviluppo colturale del modello CRITERIA, sviluppato dall'ARPA-Servizio IdroMeteo dell' Emilia-Romagna.

In questo modello il coefficiente colturale K_C dipende dal LAI secondo l'equazione:

$$K_c = 0.33 + 0.67 \left(1 - e^{-0.8LAI} \right) \quad (4.21)$$

Il passo successivo consiste nell'individuare una regola di dipendenza, specifica per ogni coltura, tra LAI_i e andamento termico fino al giorno *i*.

Lo sviluppo del LAI è approssimato supponendo 2 fasi di sviluppo (3 per le colture erbacee), ciascuna con un proprio ritmo di crescita:

- fase di emergenza: presente solo nelle colture erbacee
- fase di crescita del LAI, fino al raggiungimento del LAI massimo
- fase di decrescita del LAI.

La durata di ciascuna fase, espressa in termini di gradi giorno, varia da coltura a coltura.

Per le colture arboree e prative il calcolo della somma gradi giorno inizia il primo gennaio e viene azzerato il 31 dicembre di ogni anno. Per le colture erbacee e orticole, invece, il calcolo inizia a partire da una data, variabile in funzione della coltura ma, a parità di coltura, unica per tutta l'area di indagine, individuata come riferimento per l'inizio delle semine. La data "effettiva" di semina coincide con il primo giorno successivo a 5 giorni consecutivi in cui la temperatura media ha superato la soglia termica della coltura. Questa procedura realizza dunque un'individuazione dinamica (cioè dipendente dall'area climatica e dall'annata) della data di semina.

Il meccanismo della modellizzazione dello sviluppo della coltura consente dunque di calcolare il LAI (e conseguentemente il Kc) in maniera flessibile, in funzione della coltura e dell'andamento termico, variabile spazialmente (tra le varie aree climatiche) e temporalmente (tra anni diversi di una stessa area climatica).

– Irrigazione

Gli apporti irrigui sono al tempo stesso un input del bilancio idrico ma anche la variabile alla cui quantificazione mirano i calcoli dell'intero modello.

In quanto input del bilancio idrico, gli interventi irrigui sono stati definiti per ogni coltura e per ogni scenario in termini di:

- Criteri per il momento dell'intervento: il modello "genera" un intervento irriguo quando l' AFU (Acqua Facilmente Utilizzabile) residua nel suolo scende sotto una soglia, variabile da coltura a coltura; solo raggiunta tale soglia l'intervento irriguo è considerato agronomicamente opportuno e razionale.
- Caratteristiche dell'intervento: ovvero durata (h), intensità oraria e tecnica di adacquamento.

Le caratteristiche sono state stabilite per ogni coltura, ma in maniera uniforme per l'intera area di studio; la possibilità di differenziare le caratteristiche degli interventi non è quindi attualmente gestita a livello di contesto geografico o consortile, ma solo a livello di scenario di tecnica irrigua.

Come risultato finale il modello produce i seguenti valori:

- Il fabbisogno irriguo netto, inteso come reintegrazione dell'evapotraspirazione colturale, al netto delle piogge utili;
- Apporto Irriguo Lordo, corrispondente all'altezza di acqua somministrata, calcolata in base alle tecniche irrigue considerate e alla profondità dell'apparato radicale;
- Apporto Irriguo Netto, corrispondente alla quota d'acqua somministrata che risulta effettivamente disponibile per l'approvvigionamento idrico della coltura, dunque al netto delle perdite per *runoff* e percolazione profonda.

Inoltre, quale output finale dell'intero processo di calcolo, per ogni intervento irriguo viene calcolata la sua efficienza, ovvero la quota percentuale di acqua apportata che, al netto delle perdite per scorrimento superficiale e percolazione profonda, rimane effettivamente a disposizione delle piante.

Si tratta di un'efficienza "idrologica", nel senso che considera solo gli aspetti dell'infiltrazione (dipendente in gran parte, oltre che dal contenuto idrico iniziale, dalla permeabilità degli strati superficiali in relazione all'intensità e durata dell'intervento irriguo) e della capacità di trattenuta del terreno (dipendente in gran parte, oltre che dal contenuto idrico iniziale, dalla AWC nello strato radicato).

L'efficienza irrigua complessiva esprime, quindi, quale frazione dell'acqua complessivamente somministrata alla coltura resta effettivamente disponibile per il suo rifornimento idrico.

Le perdite per scorrimento superficiale e percolazione profonda sono calcolate in maniera del tutto analoga a quanto descritto per gli apporti meteorici.

L'efficienza complessiva degli apporti irrigui di un ciclo colturale corrisponde all'efficienza media ponderata di tutti gli interventi irrigui "generati" dal modello per lo stesso ciclo.

Ovvero:

$$\text{Efficienza} = \text{apporto al netto delle perdite} / \text{apporto lordo}$$

I valori di fabbisogno netto, apporto irriguo lordo, apporto irriguo netto, e l'indice di efficienza sono stati calcolati per tutte le combinazioni di coltura-suolo-area climatica- tipo di annata - scenario e sono state valutate 372.300 combinazioni. derivanti dall'incrocio possibile di:

- 1498 STS di suolo
- 56 colture
- 2 scenari di tecniche
- 11 dataset climatici per i 5 tipi di anni previsti (siccitoso, piovoso, medio, di riferimento ed ultimo)

4.4.1 Riaggancio geografico delle elaborazioni del modello

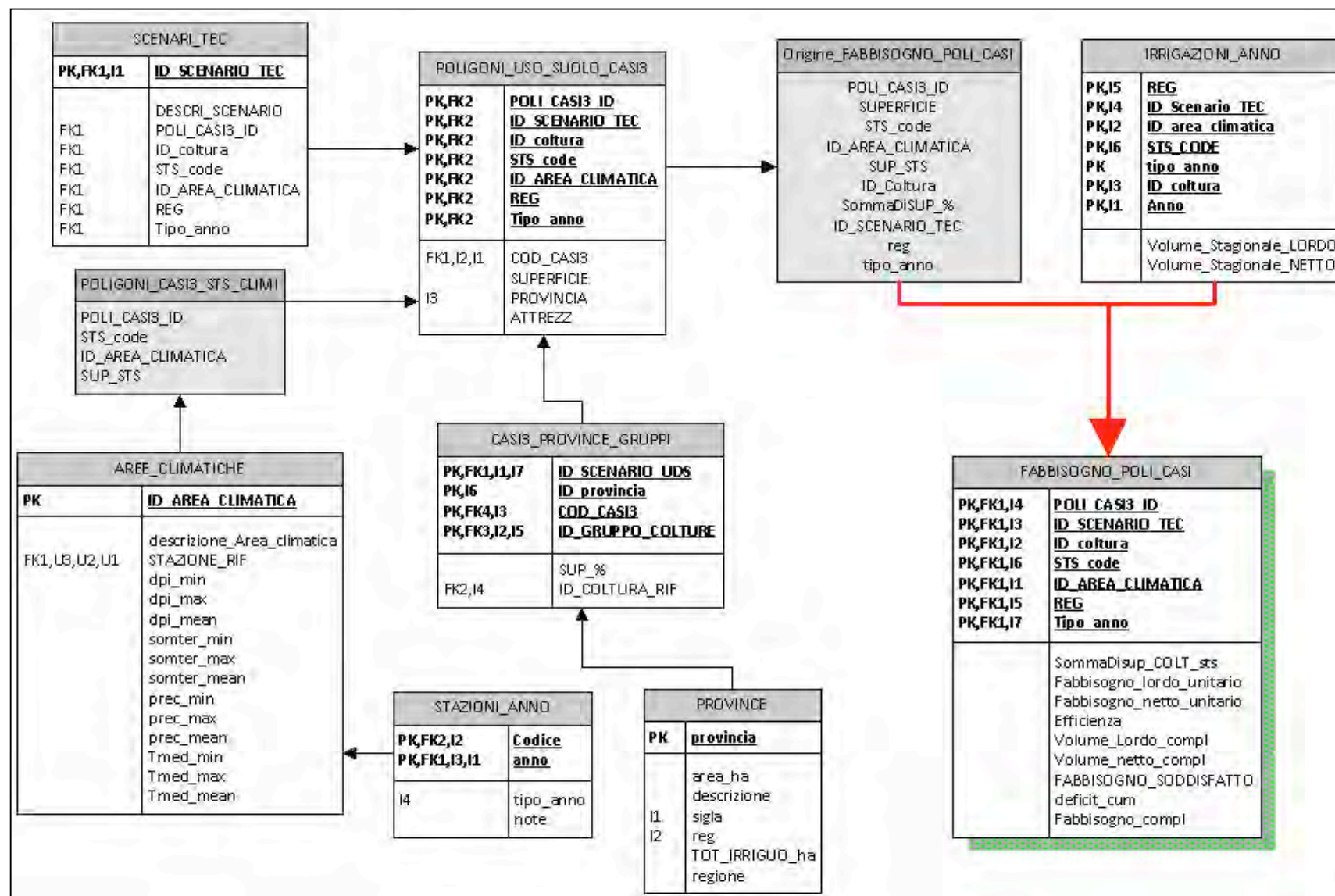
Il riaggancio geografico tra i risultati prodotti nella matrice suolo-clima -colture-tecniche viene gestito attraverso una procedura schematizzata in figura 4.11, che serve a produrre la tabella finale FABBISOGNI_POLI_CASI, dove sono riportati i risultati per ogni poligono di uso del suolo nella base dati geografica del 2005.

Quindi, come visibile nello schema, viene generata con una query (tabella in grigio) la parte di legame con la geografia della matrice di variabilità (Tabella Origine_FABBISOGNO_POLI_CASI), "pescando" la distribuzione dei parametri e codici relativi da considerare (suolo, scenario di tecniche, coltura, area climatica, regione e tipo di anno climatico) presenti nella tabella POLIGONI_USO_SUOLO_CASI3, a sua volta alimentata dal legame con le singole tabelle/query tematiche (Scenari_tec, Poligoni_Casi3_STS_Climi, Aree_climatiche, Stazioni_Anno, Casi3_Province_Gruppi, Province).

Dall'altro lato abbiamo la tabella IRRIGAZIONI_ANNO dove confluiscono i risultati della valutazione del modello, in termini di fabbisogni (deficit cum), volumi netti e lordi, oltre alla percentuale di fabbisogno soddisfatto.

La popolazione della tabella finale FABBISOGNI_POLI_CASI avviene quindi accodando (freccie in rosso di Fig. 4.11) nella tabella Origine_FABBISOGNO_POLI_CASI i dati di IRRIGAZIONI_ANNO per ogni caso di matrice (suolo, anno climatico, area climatica, coltura, scenario di tecniche), legando quindi i risultati del modello di calcolo alle parcelle di Uso del suolo del layer geografico attraverso l'ID di ogni singolo poligono (Poli_CASI3_ID).

Figura 4.11 -. Schema relazionale per la costruzione del legame con la geografia di uso del suolo casi3 dei risultati del calcolo



4.5. Risultati

Il modello genera, per ogni combinazione suolo-cultura e di scenario temporale (anno climatico) e di tecnica irrigua (a basso o alto input), una simulazione giornaliera temporanea che è in seguito aggregata con procedure automatiche per l'intero ciclo culturale stagionale. Nei grafici seguenti si riportano alcuni esempi relativi agli apporti irrigui simulati in funzione del deficit idrico (% della Riserva Idrica Disponibile – AWC - al di sotto la quale la coltura andrebbe in stress idrico se non irrigata), i dettagli sulle caratteristiche dei suoli e i parametri climatici sono riportati nel successivo § 4.6.

Grafico 4.1 - Andamento del deficit di risorsa idrica disponibile (mm) e interventi irrigui (apporti lordo e netto rispetto alle perdite per runoff e percolazione profonda) previsti da modello, per l'olivo (Regione Molise)

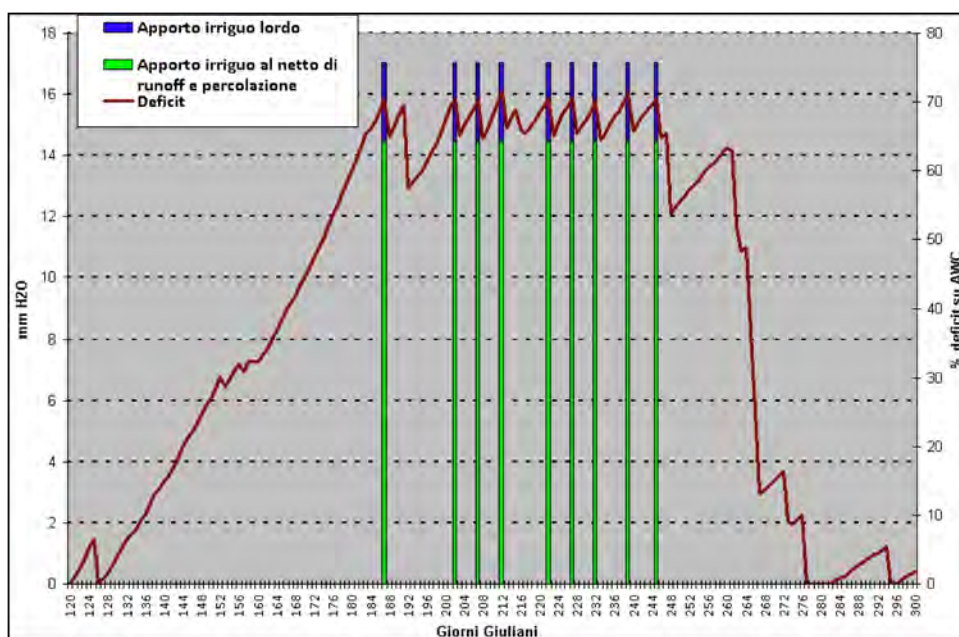


Grafico 4.2 - Andamento del deficit di risorsa idrica disponibile (mm) e interventi irrigui (apporti lordo e netto rispetto alle perdite per runoff e percolazione profonda) previsti da modello, per l'arancio (Regione Calabria)

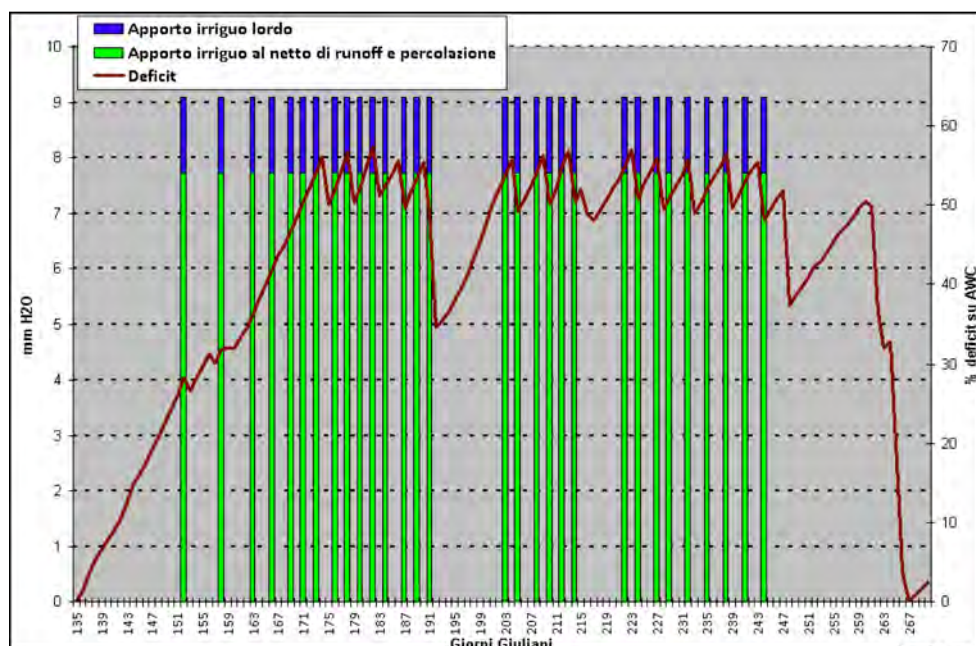
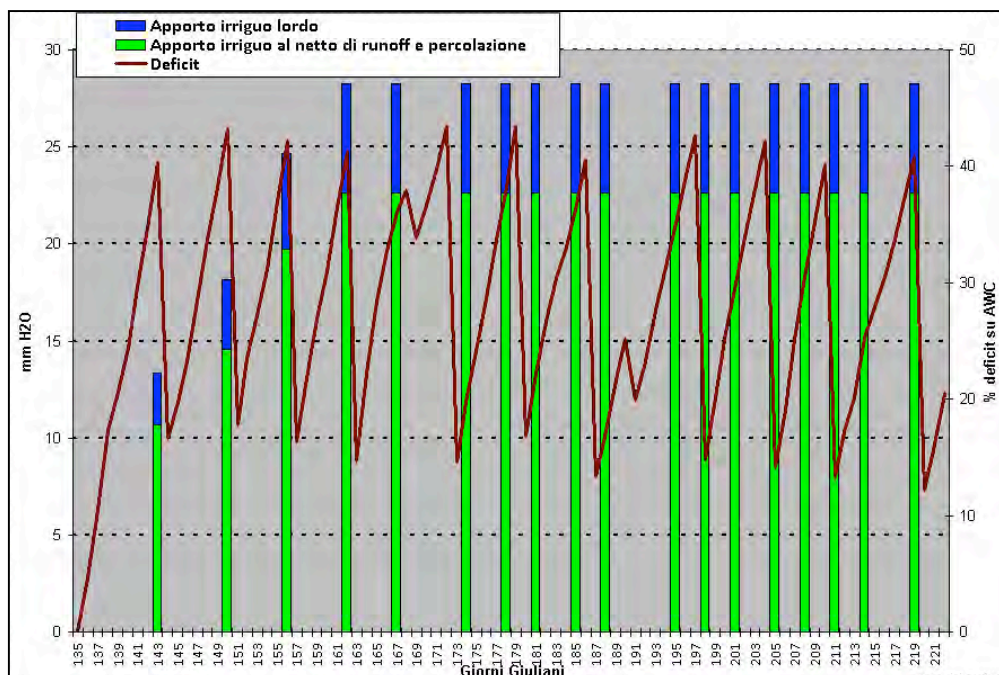


Grafico 4.3 - Andamento del deficit di risorsa idrica disponibile (mm) e interventi irrigui (apporti lordo e netto rispetto alle perdite per runoff e percolazione profonda) previsti da modello, per il pomodoro (Regione Sicilia)



Ogni combinazione dei suddetti parametri è stata legata agli strati geografici sia dell'uso del suolo irriguo che dei sottosistemi.

Per ciascun poligono è stata calcolata la superficie mediante apposite interrogazioni della banca dati, rese possibili dalla struttura relazionale, arrivando a definire per ciascun poligono il fabbisogno medio e cumulato.

Inoltre, i dati possono essere aggregati per diverse entità geografiche (aree comprensoriali ed extracomprendoriali, Consorzio di Bonifica, province e regioni).

Sul sito dedicato alla diffusione dei risultati del progetto alla pagina <http://www.gestcomagensud.it/relweb/> sono consultabili nel dettaglio i dati relativi all'intera banca dati.

Sebbene il presente studio focalizzi l'attenzione sulle aree extracomprendoriali, per poter avere dei dati di confronto anche con le aree comprensoriali sono stati utilizzati i dati della precedente interpretazione di uso del suolo al fine di poter fornire una stima complessiva dei volumi necessari all'irrigazione nelle Regioni Meridionali.

Nelle tabelle 4.17 e 4.18 si riportano i dati relativi alle superfici irrigate riscontrate sia all'interno dei comprensori irrigui che nelle aree extracomprendoriali, e la stima dei fabbisogni idrici netti, gli apporti irrigui netti e lordi relativamente ai due scenari di tecniche irrigue considerati (vedasi § 4.2.1), articolati a livello regionale.

Su una superficie irrigata complessiva di circa 900.000 ha, il 44% (387.888 ha) risulta essere localizzata all'interno dei comprensori irrigui ed il restante 56% (500.781 ha) nelle aree extracomprendoriali.

Riguardo la stima dei fabbisogni netti, apporti lordi e netti i grafici 4.4. e 4.5 riportano i dati riepilogativi a livello di Regioni Meridionali, per i due scenari di tecniche irrigue considerati.

Dall'analisi dei dati emerge che a fronte di un fabbisogno netto cumulato stimato in 2.353.158 Mm³ con tecniche ad alto input tecnologico sono necessari 3.342.323 Mm³ di apporto irriguo di cui 2.680.828 vengono effettivamente utilizzate per il rifornimento idrico delle colture, con una efficienza media dell'80%.

Considerando lo scenario di tecniche irrigue a basso input tecnologico per il soddisfacimento dello stesso fabbisogno sono necessari 3.864.168 Mm³ di apporto irriguo di cui 2.751.206 Mm³ vengono effettivamente utilizzate per il rifornimento idrico delle colture, con una efficienza media dell'71%.

Grafico 4.4 – Stima, con tecnica ad alto input tecnologico, del fabbisogno netto e degli apporti lordi e netti cumulati – Regioni Meridionali

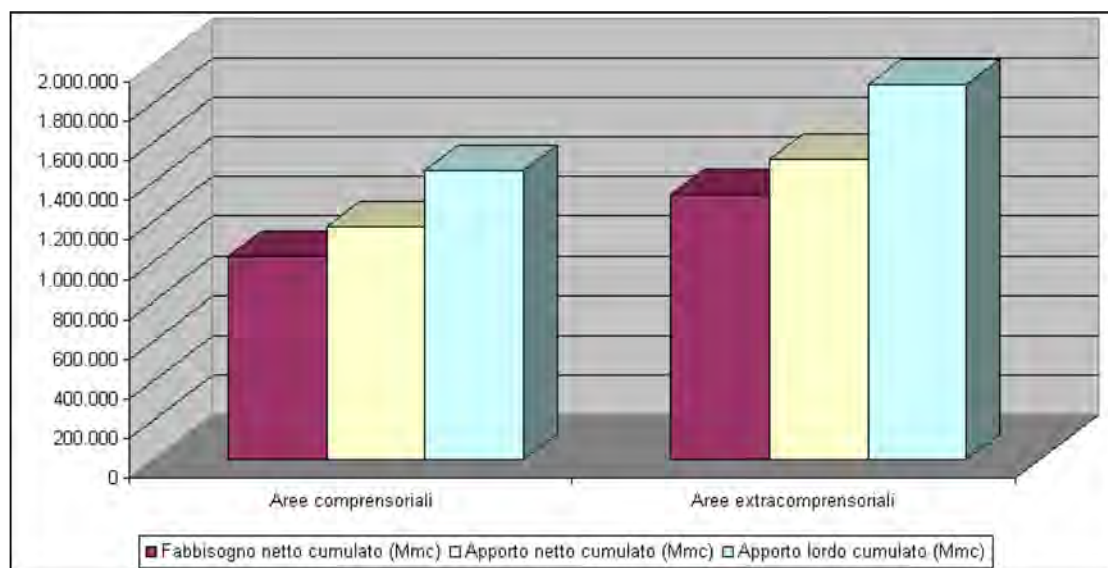


Grafico 4.5 – Stima, con tecnica a basso input tecnologico, del fabbisogno netto e degli apporti lordi e netti cumulati –Regioni Meridionali

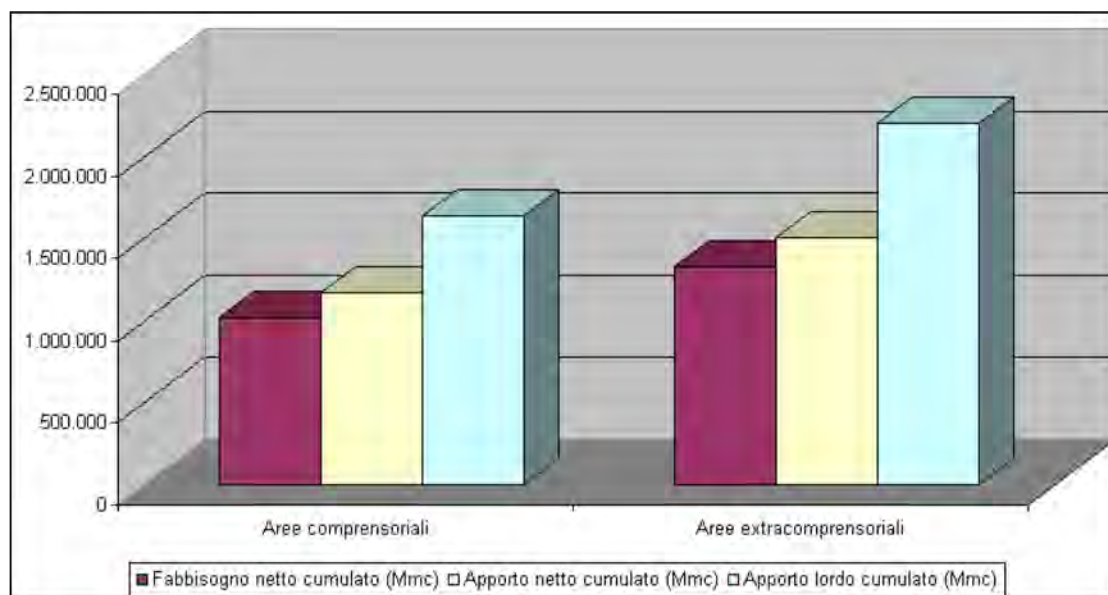


Tabella 4.17 - Fabbisogni e apporti irrigui totali per regioni le Obiettivo1 con tecnica ad alto input tecnologico

Regione	Fabbisogno medio ⁷ (mc)	Aree comprensoriali				Fabbisogno medio (mc)	Aree extracomprendoriali			
		Ettari	Fabbisogno netto cumulato (Mmc)	Apporto netto cumulato (Mmc)	Apporto lordo cumulato (Mmc)		Ettari	Fabbisogno netto cumulato (Mmc)	Apporto netto cumulato (Mmc)	Apporto lordo cumulato (Mmc)
Abruzzo	2.060	31.672	82.479	94.529	127.030	2.685	35.969	96.576	108.163	159.478
Basilicata	2.477	21.289	52.730	59.968	69.998	2.907	18.824	54.722	62.839	93.461
Calabria	2.354	45.748	107.699	123.469	144.748	2.191	38.151	83.579	96.793	114.905
Campania	2.577	49.957	128.716	152.827	198.694	2.596	66.072	171.504	199.971	261.038
Molise	2.491	13.150	32.759	38.359	54.962	2.565	8.652	22.196	25.905	40.393
Puglia	1.980	87.051	172.362	203.717	231.726	2.139	175.222	374.872	429.051	499.959
Sardegna	3.767	61.633	232.145	255.833	340.441	3.898	44.993	175.376	192.172	243.584
Sicilia	2.760	77.388	213.574	244.169	289.406	3.119	112.897	352.097	393.063	472.501
Totale		387.888	1.022.464	1.172.871	1.457.004		500.781	1.330.922	1.507.957	1.885.319

Tabella 4.18 - Fabbisogni e apporti irrigui totali per regioni le Obiettivo1 con tecnica a basso input tecnologico

Regione	Fabbisogno medio (mc)	Aree comprensoriali				Fabbisogno medio (mc)	Aree extracomprendoriali			
		Ettari	Fabbisogno netto cumulato (Mmc)	Apporto netto cumulato (Mmc)	Apporto lordo cumulato (Mmc)		Ettari	Fabbisogno netto cumulato (Mmc)	Apporto netto cumulato (Mmc)	Apporto lordo cumulato (Mmc)
Abruzzo	2.060	31.672	82.479	95.850	161.626	2.685	35.969	96.576	108.861	239.975
Basilicata	2.477	21.289	52.730	60.138	75.051	2.907	18.824	54.722	63.292	97.150
Calabria	2.354	45.748	107.699	122.849	158.861	2.191	38.151	83.579	96.351	126.664
Campania	2.577	49.957	128.716	155.192	229.327	2.596	66.072	171.504	200.662	291.849
Molise	2.491	13.150	32.759	38.620	57.709	2.565	8.652	22.196	26.166	41.669
Puglia	1.980	87.051	172.362	209.214	271.166	2.139	175.222	374.872	440.607	602.470
Sardegna	3.767	61.633	232.145	277.898	379.882	3.898	44.993	175.376	193.715	256.980
Sicilia	2.760	77.388	213.574	243.518	303.245	3.119	112.897	352.097	395.580	549.965
Totale		387.888	1.022.464	1.203.279	1.636.867		500.781	1.330.922	1.525.234	2.206.722

⁷ Valore medio pesato, ricavato dalla distribuzione percentuale delle varie combinazioni suolo-clima-coltura presenti nei poligoni di uso del suolo nell'area considerata.

Nei grafici 4.6, 4.7 e 4.8 si riportano dei dati di sintesi a livello di regioni Meridionali relativi alla distribuzione delle classi di uso del suolo distinte fra aree comprensoriali ed extracomprendoriali e la stima dei relativi fabbisogni ed apporti irrigui.

Grafico 4.6 – Distribuzione delle classi di uso del suolo per tipologia di area – Regioni Meridionali

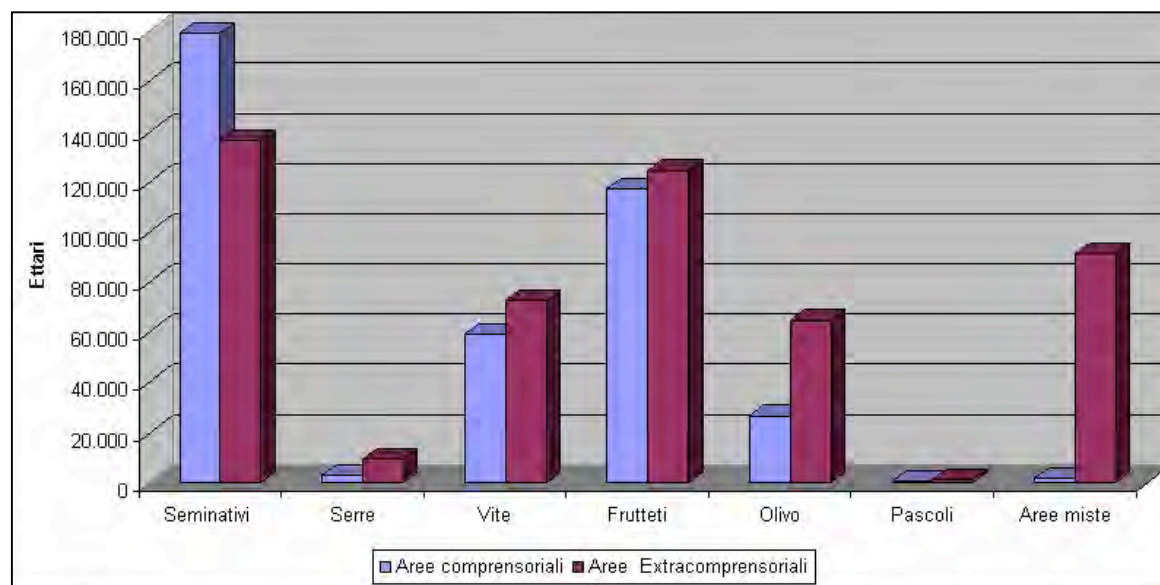
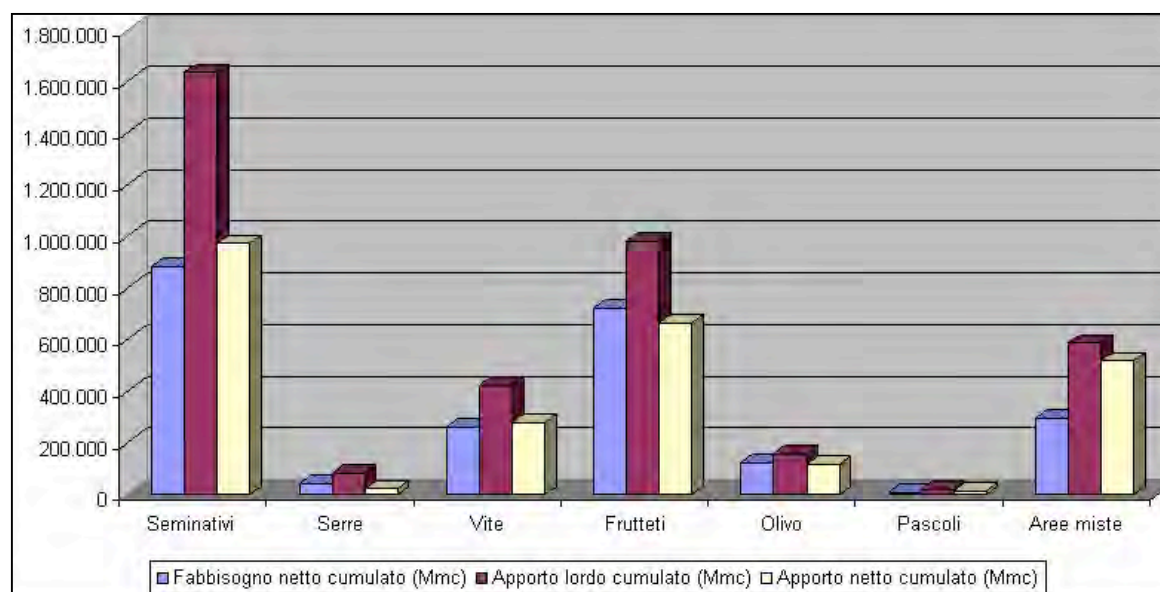


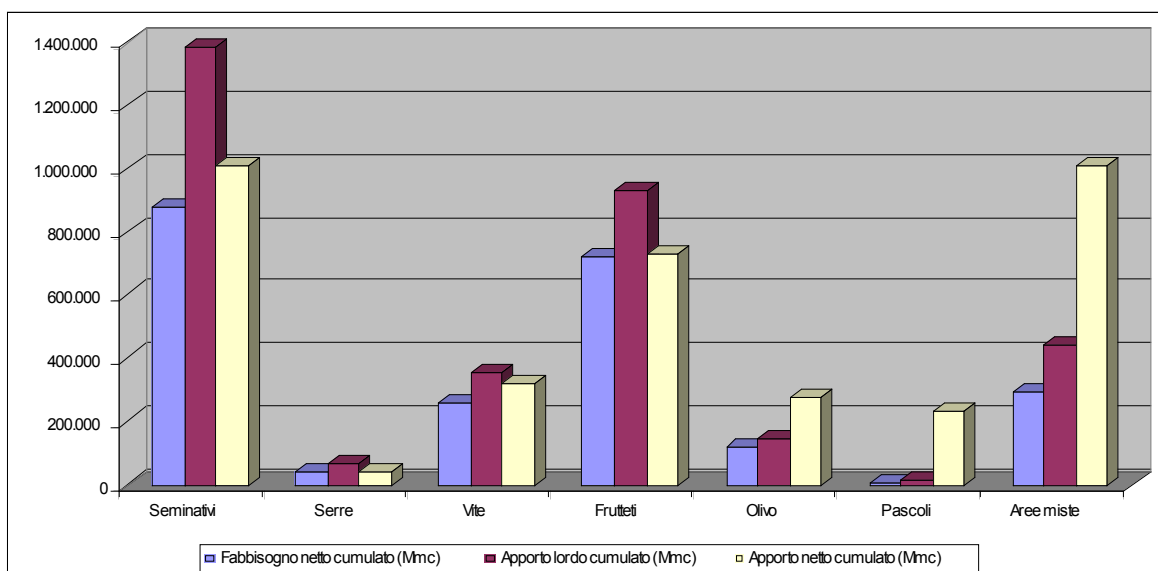
Grafico 4.7 – Stima, con tecnica a basso input tecnologico, del fabbisogno netto e degli apporti lordi e netti cumulati per classi di uso del suoli –Regioni Meridionali



Nel grafico 4.6 si nota che all'interno delle aree comprensoriali la classe dei seminativi rappresenta la coltura principale, seguita dai frutteti e dalla vite. Si può notare che non ci sono grandi differenze nei frutteti e nei vigneti tra aree comprensoriali ed aree al di fuori dei limiti comprensoriali, mentre si evidenzia una netta differenza di superficie nell'ambito delle classi aree miste ed olivi.

Dall'analisi dei grafici 4.7 e 4.8 si nota che, utilizzando le tecniche ad alto input tecnologico, si avrebbe un risparmio idrico totale di 501.266 Mm³; si evidenzia che i maggiori apporti idrici, in entrambi gli scenari, vengono richiesti dalla classe dei seminativi. Questo dato è spiegabile col fatto che in questa classe sono presenti le colture ortive che richiedono grandi quantitativi di acqua ed il mais che viene irrigato per aspersione.

Grafico 48 – Stima, con tecnica ad alto input tecnologico, del fabbisogno netto e degli apporti lordi e netti cumulati per classi di uso del suoli –Regioni Meridionali



Infine, nelle tabelle 4.19 e 4.20 si riportano i dati sulla distribuzione delle classi di uso del suolo per regione e tipologia di area (comprensoriale e extracomprendoriale) ed i relativi fabbisogni ed apporti irrigui per i due scenari di tecniche irrigue considerati.

Tabella 4.19 - Fabbisogni e apporti irrigui per classi di uso del suolo, con tecnica a basso input tecnologico (Abruzzo, Basilicata, Calabria, Campania)

Aree comprensoriali							Aree extracomprendoriali			
Regione	Classi di uso del suolo	Ettari	Fabbisogno medio (m ³ /ha)	Fabbisogno netto cumulato (Mm ³)	Apporto lordo cumulato (Mm ³)	Apporto netto cumulato (Mm ³)	Ettari	Fabbisogno netto cumulato (Mm ³)	Apporto lordo cumulato (Mm ³)	Apporto netto cumulato (Mm ³)
Abruzzo	Seminativi	24.754	2.779	68.785	137.732	78.768	13.679	35.948	82.819	40.697
	Vite	3.332	1.578	5.258	9.137	7.041	220	331	609	461
	Frutteti	1.968	2.667	5.249	7.359	6.328	1.336	3.321	4.504	3.837
	Olivo	233	1.086	253	339	288	429	359	503	427
	Aree miste	1.386	2.117	2.934	7.060	3.425	20.305	56.617	151.541	63.438
	TOTALE	31.672		82.479	161.626	95.850	35.969	96.576	239.975	108.861
Basilicata	Seminativi	4.404	3.041	13.605	21.515	15.882	14.582	44.462	83.185	51.677
	Serre	81	2.971	241	775	343	11	31	96	44
	Vite	1.625	1.629	2.647	4.372	3.463	162	259	461	366
	Frutteti	14.743	2.357	34.750	45.653	38.805	3.434	8.746	11.521	9.793
	Olivo	90	1.528	138	187	159	417	527	728	619
	Pascoli	346	3.900	1.348	2.548	1.487	-	-	-	-
	Aree miste	-	2.600	-	-	-	219	696	1.159	793
	TOTALE	21.289		52.730	75.051	60.138	18.824	54.722	97.150	63.292
Calabria	Seminativi	9.933	2.419	25.744	50.182	31.266	6.009	17.436	33.990	20.584
	Serre	98	2.877	283	484	327	24	68	110	79
	Vite	1.951	1.933	3.771	6.458	4.780	267	465	727	576
	Frutteti	27.770	2.467	68.509	89.398	75.988	26.588	55.268	74.608	63.417
	Olivo	5.996	1.566	9.391	12.339	10.488	3.716	5.440	7.134	6.064
	Aree miste	-	3.170	-	-	-	1.546	4.903	10.095	5.630
	TOTALE	45.748		107.699	158.861	122.849	38.151	83.579	126.664	96.351
Campania	Seminativi	44.243	2.596	114.872	204.008	138.727	32.178	85.498	161.750	100.775
	Serre	1.427	2.793	3.985	10.985	4.799	1.197	3.460	11.303	4.180
	Vite	563	1.506	847	1.533	1.190	1.316	2.233	3.796	2.943
	Frutteti	3.140	2.476	7.775	10.800	9.169	26.316	67.667	91.493	77.729
	Olivo	175	936	163	263	224	811	796	1.241	1.055
	Aree miste	349	2.619	-	-	-	4.315	12.010	22.266	13.980
	TOTALE	49.896		128.557	229.327	155.192	66.132	171.663	291.849	200.662

Tabella 4.20 - Fabbisogni e apporti irrigui per classi di uso del suolo, con tecnica a basso input tecnologico (Regioni Molise, Puglia, Sardegna, Sicilia)

Regione	Classi di uso del suolo	Aree comprensoriali					Aree extracomprendoriali			
		Ettari	Fabbisogno medio (m ³ /ha)	Fabbisogno netto cumulato (Mm ³)	Apporto lordo cumulato (Mm ³)	Apporto netto cumulato (Mm ³)	Ettari	Fabbisogno netto cumulato (Mm ³)	Apporto lordo cumulato (Mm ³)	Apporto netto cumulato (Mm ³)
Molise	Seminativi	10.247	2.796	28.648	50.751	33.144	7.558	20.722	39.134	24.243
	Vite	2.130	1.554	3.309	5.913	4.588	258	393	715	551
	Frutteti	115	2.608	299	407	346	30	76	103	87
	Olivo	632	681	430	638	542	663	606	870	739
	Aree miste	-	2.780	-	-	-	171	473	848	546
	TOTALE	13.123		32.686	57.709	38.620	8.679	22.270	41.669	26.166
Puglia	Seminativi	31.003	1.750	54.253	99.818	70.435	40.350	79.529	160.544	100.426
	Serre	8	3.015	23	351	28	24	84	118	94
	Vite	33.036	1.955	64.591	103.269	80.956	49.369	97.907	155.135	123.068
	Frutteti	11.050	2.531	27.970	36.130	30.711	13.232	32.115	39.839	33.863
	Olivo	11.876	2.133	25.333	31.597	26.858	48.816	107.759	133.782	113.715
	Pascoli	8	4.803	40	58	42	-	-	-	-
	Aree miste	70	2.387	-	-	-	23.431	57.478	113.053	113.053
	TOTALE	87.051	18.380	172.362	271.482	209.214	175.222	374.872	602.470	484.218
Sardegna	Seminativi	52.464	3.795	199.114	336.146	220.707	7.921	29.992	51.282	33.396
	Serre	107	3.242	420	644	459	468	1.956	2.848	2.077
	Vite	981	2.586	2.536	3.886	3.027	1.325	3.559	5.434	4.194
	Frutteti	6.420	3.578	22.974	29.450	25.032	7.201	25.653	32.847	27.920
	Olivo	1.011	3.123	3.159	4.106	3.490	2.704	8.557	11.195	9.516
	Pascoli	650	6.062	3.942	5.651	4.265	1.277	7.831	11.490	8.401
	Aree miste	-	3.500	-	-	-	24.096	97.827	162.802	108.211
	TOTALE	61.633	22.388	232.145	379.882	256.980	44.993	175.376	277.898	193.715
Sicilia	Seminativi	2.239	4.288	9.604	17.917	10.417	14355	54.600	102.377	67
	Serre	1.162	3.547	4.121	7.192	4.580	7592	27.163	47.626	5.111
	Vite	15.467	2.059	31.840	52.920	40.708	19767	41.579	68.840	1.741
	Frutteti	51.811	2.896	150.051	202.604	168.594	46361	146.356	189.522	3.497
	Olivo	6.711	2.677	17.964	22.611	19.220	7268	19.572	24.573	4.580
	Aree miste	-	3.500	-	-	-	17551	62.821	117.027	209.302
	TOTALE	77.390		213.579	303.245	243.518	112.895	352.092	549.965	224.298

Tabella 4.21 - Fabbisogni e apporti irrigui per classi di uso del suolo, con tecnica ad alto input tecnologico (Abruzzo, Basilicata, Calabria, Campania)

Regione	Classi di uso del suolo	Aree comprensoriali					Aree extracomprendoriali			
		Ettari	Fabbisogno medio (m³/ha)	Fabbisogno netto cumulato (Mm³)	Apporto lordo cumulato (Mm³)	Apporto netto cumulato (Mm³)	Ettari	Fabbisogno netto cumulato (Mm³)	Apporto lordo cumulato (Mm³)	Apporto netto cumulato (Mm³)
Abruzzo	Seminativi	24.754	2.779	68.785	107.281	77.734	13.679	35.948	59.835	40.407
	Vite	3.332	1.578	5.258	7.464	6.718	220	331	481	433
	Frutteti	1.968	2.667	5.249	7.072	6.364	1.336	3.321	4.297	3.867
	Olivo	233	1.086	253	336	302	429	359	500	450
	Aree miste	1.386	2.117	2.934	4.877	3.410	20.305	56.617	94.326	62.971
TOTALE		31.672		82.479	127.030	94.529	35.969	96.576	159.439	108.128
Basilicata	Seminativi	4.404	3.041	13.605	19.825	15.638	14.582	44.462	80.347	51.225
	Serre	81	2.971	241	378	321	11	31	49	42
	Vite	1.625	1.629	2.647	3.754	3.379	162	259	380	342
	Frutteti	14.743	2.357	34.750	43.320	38.988	3.434	8.746	10.910	9.819
	Olivo	90	1.528	138	173	155	417	527	698	628
	Pascoli	346	3.900	1.348	2.548	1.487	-	-	-	-
	Aree miste	-	-	-	-	-	219	696	1.077	783
TOTALE		21.289		52.730	69.998	59.968	18.824	54.722	93.461	62.839
Calabria	Seminativi	9.933	2.419	25.744	41.466	30.512	6.009	17.436	27.935	20.240
	Serre	98	2.877	283	352	317	24	68	87	78
	Vite	1.951	1.933	3.771	5.148	4.633	267	465	645	581
	Frutteti	27.770	2.467	68.509	85.987	77.392	26.588	55.268	71.361	64.225
	Olivo	5.996	1.566	9.391	11.794	10.615	3.716	5.440	6.787	6.108
	Aree miste	-	3.170	-	-	-	1.546	4.903	8.089	5.561
TOTALE		45.748		107.699	144.748	123.469	38.151	83.579	114.905	96.793
Campania	Seminativi	44.243	2.596	114.872	179.499	136.335	32.178	85.498	142.771	99.510
	Serre	1.427	2.793	3.985	5.681	4.804	1.197	3.460	5.294	4.063
	Vite	563	1.506	847	1.299	1.164	1.316	2.233	3.140	2.826
	Frutteti	3.140	2.476	7.775	10.274	9.221	26.316	67.667	88.425	78.642
	Olivo	175	936	163	245	221	811	796	1.173	1.056
	Aree miste	349	2.619	1.737	1.695	1.081	4.315	12.010	20.234	13.873
TOTALE		49.896		129.379	198.694	152.827	66.132	171.663	261.038	199.971

Tabella 4.22 - Fabbisogni e apporti irrigui per classi di uso del suolo, con tecnica ad alto input tecnologico (Regioni Molise, Puglia, Sardegna, Sicilia)

Aree comprensoriali							Aree extracomprendoriali			
Regione	Classi di uso del suolo	Ettari	Fabbisogno medio (m ³ /ha)	Fabbisogno netto cumulato (Mm ³)	Apporto lordo cumulato (Mm ³)	Apporto netto cumulato (Mm ³)	Ettari	Fabbisogno netto cumulato (Mm ³)	Apporto lordo cumulato (Mm ³)	Apporto netto cumulato (Mm ³)
Molise	Seminativi	10.247	2.796	28.648	48.983	32.977	7.558	20.722	38.010	23.963
	Vite	2.130	1.554	3.309	4.993	4.494	258	393	603	542
	Frutteti	115	2.608	299	386	348	30	76	98	88
	Olivo	632	681	430	600	540	663	606	854	769
	Aree miste	-	-	-	-	-	94	473	829	543
TOTALE		13.123		32.686	54.962	38.359	8.602	22.270	40.393	25.905
Puglia	Seminativi	31.003	1.750	54.253	79.781	66.995	40.350	79.529	120.964	95.448
	Serre	8	3.015	23	30	27	24	84	91	80
	Vite	33.036	1.955	64.591	87.360	78.624	49.369	97.907	130.455	117.409
	Frutteti	11.050	2.531	27.970	34.146	30.732	13.232	32.115	38.872	34.985
	Olivo	11.876	2.133	25.333	30.163	27.147	48.816	107.759	127.871	115.084
Sardegna	Pascoli	8	4.803	40	58	42	-	-	-	-
	Aree miste	70	2.387	153	188	150	23.431	57.478	81.705	66.045
TOTALE		87.051		172.362	231.726	203.717	175.222	374.872	499.959	429.051
Sicilia	Seminativi	52.464	3.795	199.114	299.244	219.577	7.921	29.992	43.216	33.061
	Serre	107	3.242	420	451	406	468	1.956	2.305	2.074
	Vite	981	2.586	2.536	3.330	2.997	1.325	3.559	4.531	4.078
	Frutteti	6.420	3.578	22.974	27.885	25.096	7.201	25.653	31.180	28.062
	Olivo	1.011	3.123	3.159	3.880	3.492	2.704	8.557	10.495	9.446
Sicilia	Pascoli	650	6.062	3.942	5.651	4.265	1.277	7.831	11.490	8.401
	Aree miste	-	-	-	-	-	24.096	97.827	140.367	107.050
TOTALE		61.633		232.145	340.441	255.833	44.993	175.376	243.584	192.172
Sicilia	Seminativi	2.239	4.288	9.604	14.603	10.316	14355	54.600	80.794	59.635
	Serre	1.162	3.547	4.121	4.918	4.426	7592	27.163	33.079	29.719
	Vite	15.467	2.059	31.840	44.227	39.804	19767	41.579	57.639	51.875
	Frutteti	51.811	2.896	150.051	204.259	170.380	46361	146.356	178.930	160.942
	Olivo	6.711	2.677	17.964	21.348	19.213	7268	19.572	23.489	21.140
Sicilia	Aree miste	-	-	-	50	30	17551	62.821	98.571	69.752
TOTALE		77.390		213.579	289.406	244.169	112.895	352.092	472.501	393.063

4.6. Analisi di alcuni casi-studio di calcolo dei fabbisogni ed apporti sulla base del tipo di suolo, area climatica, coltura e tecnica irrigua

Per comprendere bene la generazione dei risultati sintetici sopra riportati a partire dalla matrice di risultati analitica, si è deciso di illustrare una serie di casi-studio singoli, esemplificativi del massimo livello di dettaglio generato dal modello di calcolo messo a punto in questo studio.

Sono stati quindi scelte ed estratte dalla matrice di variabilità una serie di situazioni territoriali puntuali definite sulla base di suolo e clima, per ogni regione, per ognuna delle quali sono stati riportati:

- La localizzazione della Sottounità Tipologica di Suolo e del relativo profilo caposaldo ed una foto (laddove disponibile) del profilo;
- I parametri pedologici ed idrologici salienti ed importanti ai fini della modellizzazione stessa (tessitura, profondità, riserva idrica disponibile, conducibilità idraulica satura e densità-massa volumica apparente);
- I parametri climatici della stazione di riferimento (precipitazioni, temperature medie e evapotraspirazione di riferimento giornalieri).

Si sono quindi prodotte delle tabelle di sintesi volte ad illustrare come i valori, per alcune colture di esempio, di fabbisogno e di apporti irrigui possano variare anche notevolmente in funzione delle caratteristiche pedo-climatiche dell'area considerata.



Figura 4.12 - Ubicazione e Sottosistemi di riferimento (in azzurro)

Tabella 4.23 - Tipologia di suolo: Suoli COLLE STRAMPANATO moderatamente profondi (ABR_CST1)			
Numero orizzonte	1	2	3
Tipo Orizzonte	Ap	Bw	C
Limite superiore (cm)	0	25	50
Limite Inferiore (cm)	25	50	200
Scheletro (% in volume)	0	0	0
Sabbia Totale (%)	13,5	15,7	31
Argilla (%)	38	39,5	28,8
Massa Volumica Apparente (g/cm3)	1,38	1,42	1,45
Conducibilità Idraulica Saturata (Ksat, cm/h)	0,20	0,23	0,69
Riserva Idrica Disponibile (mm)	0,14	0,12	0,13
Conducibilità Elettrica	-	-	-
Descrizione sintetica del suolo e dei caratteri e delle qualità fisico - idrologiche			



Figura 4.13 – Foto del Profilo di riferimento

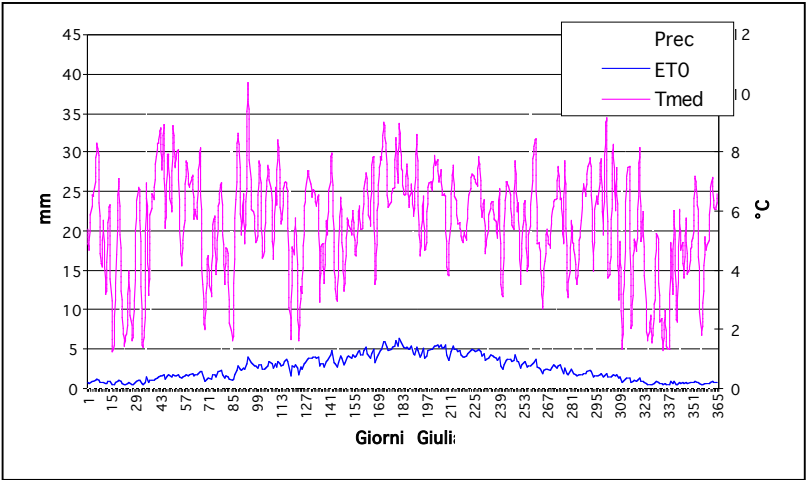


Grafico IV. 1 - Parametri climatici della stazione di riferimento (Pescara), anno 2005

SCHEDA N. 2 - REGIONE MOLISE: Profilo Caposaldo mLP4P11 Sottounità Tipologica di Suolo MOL_RAM1

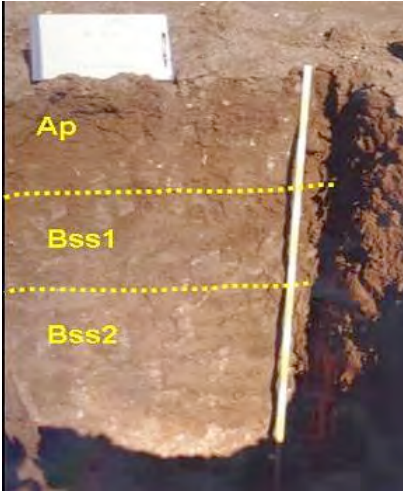
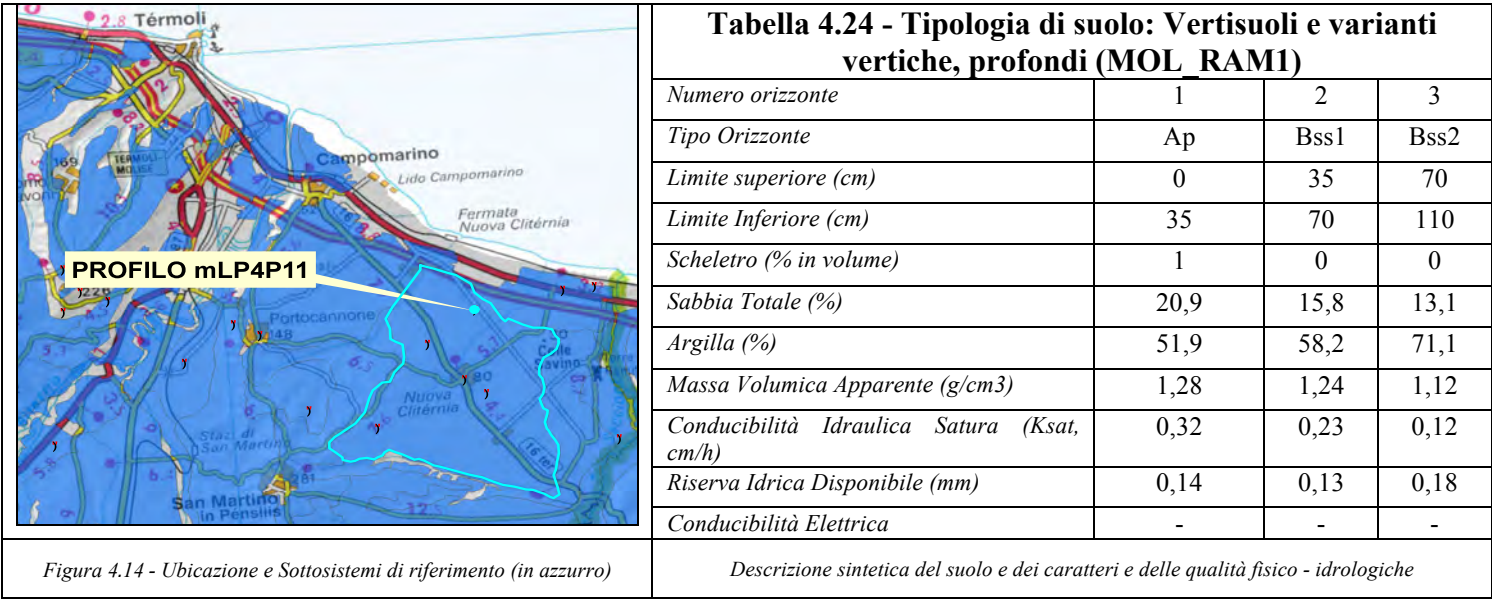


Figura 4.15 – Foto del Profilo di riferimento

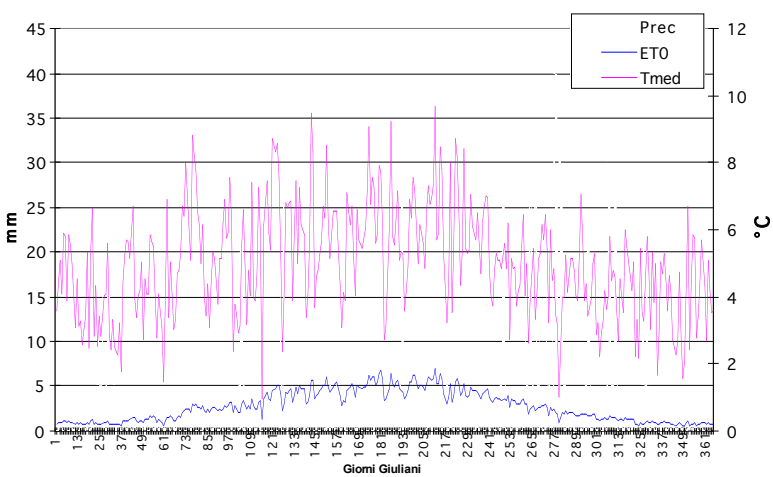


Grafico IV. 2 - Parametri climatici della stazione di riferimento (Turi), anno 2005

SCHEDA N. 3 - REGIONE BASILICATA: Profilo Caposaldo BASP71 – Sottounità Tipologica di Suolo BAS_ELE1

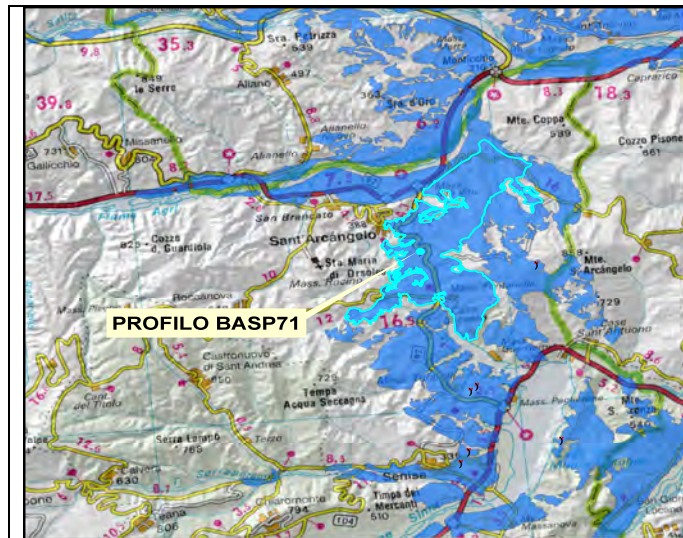


Figura 4.16 - Ubicazione e Sottosistemi di riferimento (in azzurro)

Tabella 4.25 - Tipologia di suolo: Vertisuoli e varianti vertiche, profondi (BAS_ELE1)

Numero orizzonte	1	2	3
Tipo Orizzonte	Ap	Bss1	Bss2
Limite superiore (cm)	0	45	90
Limite Inferiore (cm)	45	90	140
Scheletro (% in volume)	0	0	0
Sabbia Totale (%)	9,7	10,7	8,8
Argilla (%)	39,6	40,3	35,8
Massa Volumica Apparente (g/cm ³)	1,34	1,27	1,28
Conducibilità Idraulica Saturata (Ksat, cm/h)	0,18	0,13	0,19
Riserva Idrica Disponibile (mm)	0,14	0,13	0,14
Conducibilità Elettrica	-	-	-

Descrizione sintetica del suolo e dei caratteri e delle qualità fisico - idrologiche

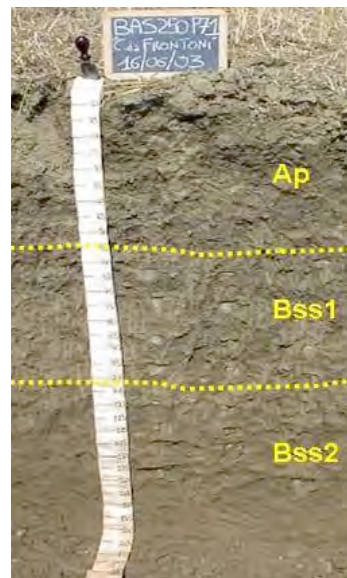


Figura 4.17 – Foto del Profilo di riferimento

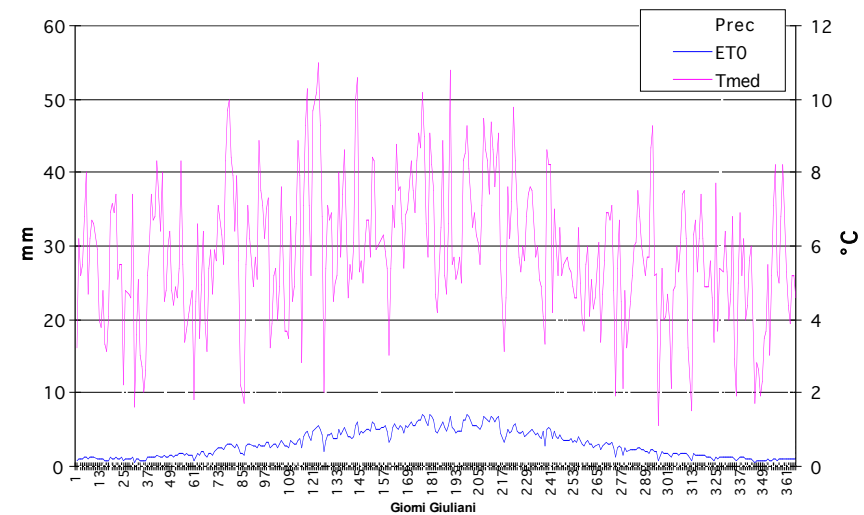


Grafico IV. 3 - Parametri climatici della stazione di riferimento (Lecce), anno 2005

SCHEDA N. 4 - REGIONE PUGLIA: Profilo Caposaldo gINTP96 – Sottounità Tipologica di Suolo PUG_SSP1

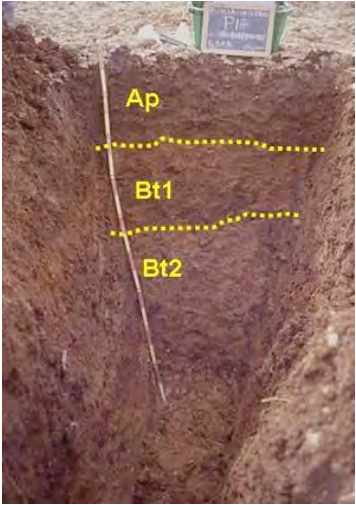
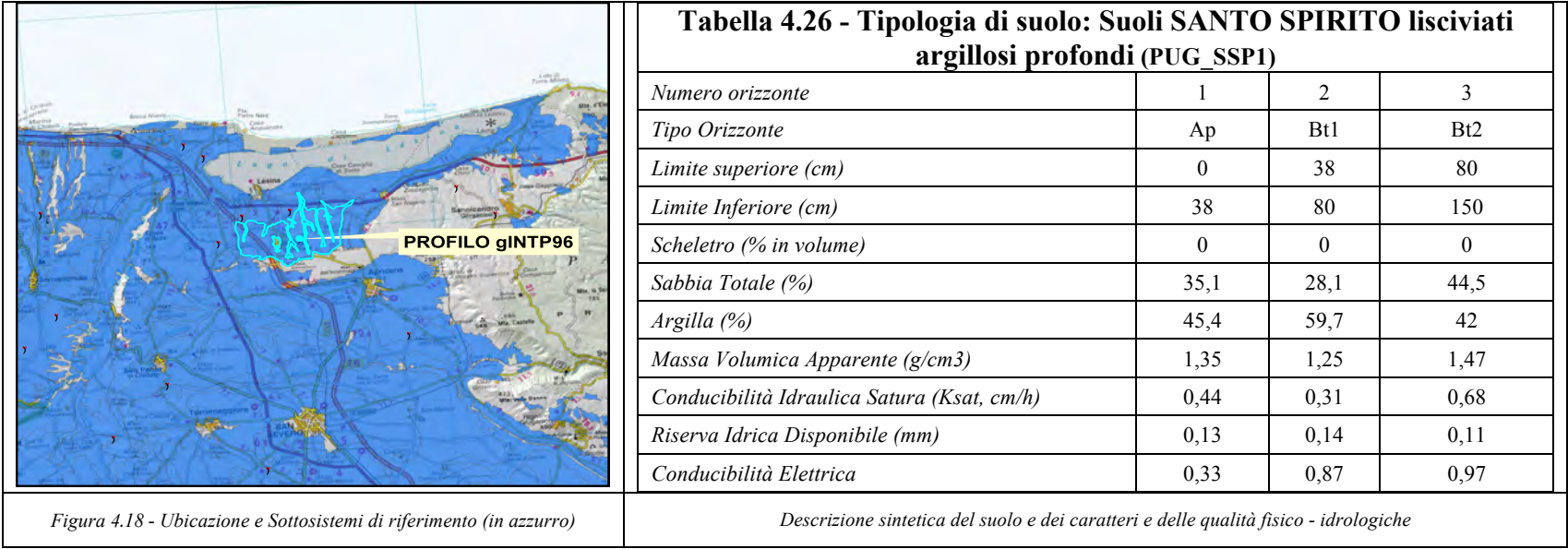


Figura 4.19 – Foto del Profilo di riferimento

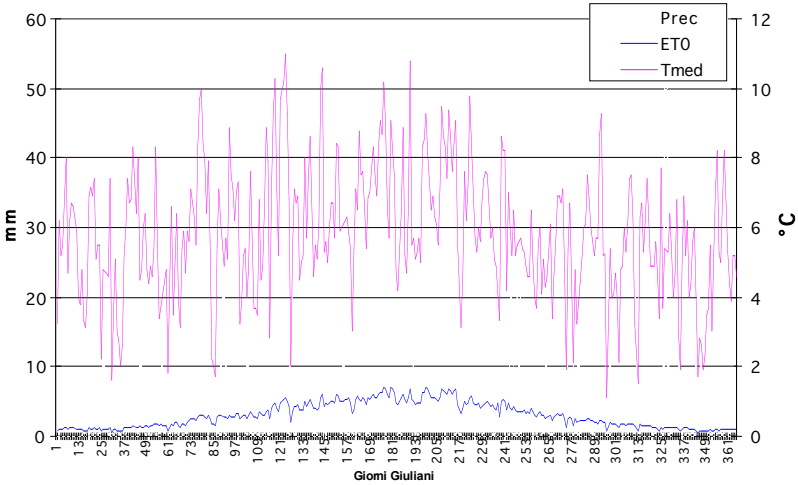


Grafico IV. 4 - Parametri climatici della stazione di riferimento (Lecce), anno 2005

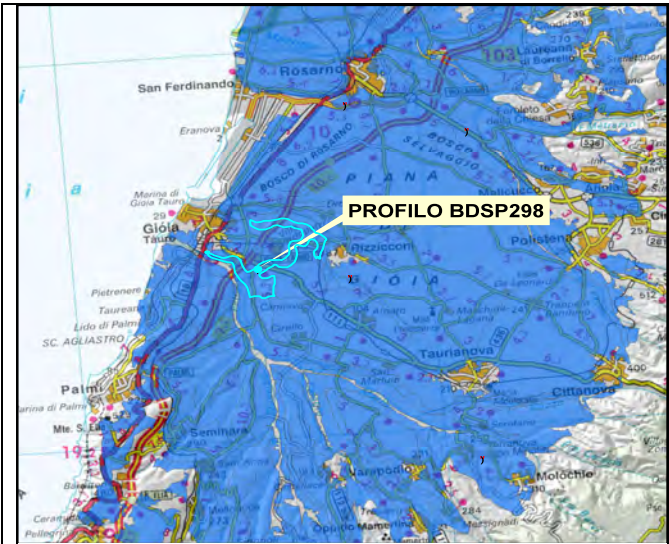


Figura 4.20 - Ubicazione e Sottosistemi di riferimento (in azzurro)

Tabella 4.27 - Tipologia di suolo: Suoli lisciviati franchi profondi (CAL_ERO2)				
Numero orizzonte	1	2	3	4
Tipo Orizzonte	Ap	Bt1	Bt2	Ct
Limite superiore (cm)	0	35	90	110
Limite Inferiore (cm)	35	90	110	150
Scheletro (% in volume)	0	0	0	0
Sabbia Totale (%)	51,5	30,5	58,7	58,7
Argilla (%)	13,6	25,6	4,6	4,6
Massa Volumica Apparente (g/cm3)	1,49	1,43	1,60	1,41
Conducibilità Idraulica Saturata (Ksat, cm/h)	1,69	0,70	2,43	4,00
Riserva Idrica Disponibile(mm)	0,13	0,13	0,12	0,13
Conducibilità Elettrica	0,14	0,20	0,13	nd

Descrizione sintetica del suolo e dei caratteri e delle qualità fisico - idrologiche

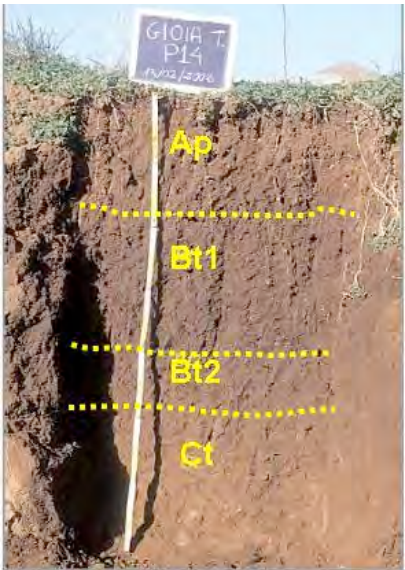


Figura 4.21 – Foto del Profilo di riferimento

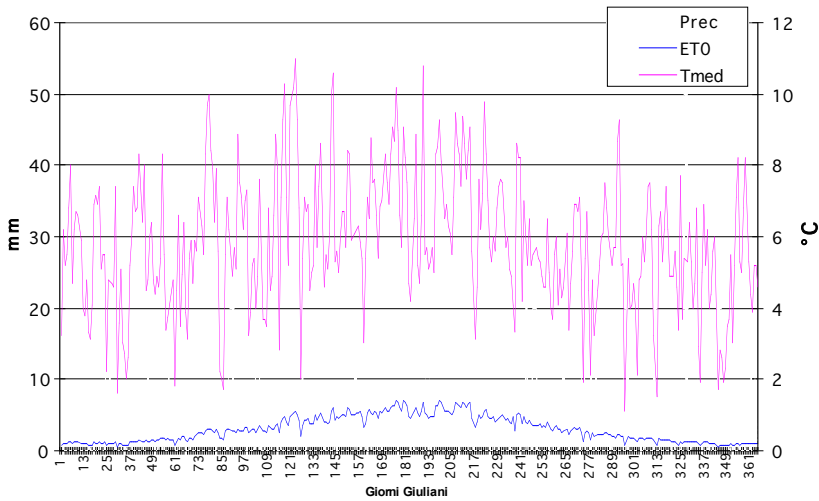


Grafico IV. 5 - Parametri climatici della stazione di riferimento (Lecce), anno 2005

SCHEDA N. 6 - REGIONE SICILIA - Profilo Caposaldo hQIPP38 – Sottounità Tipologica di Suolo SIC_PIE2

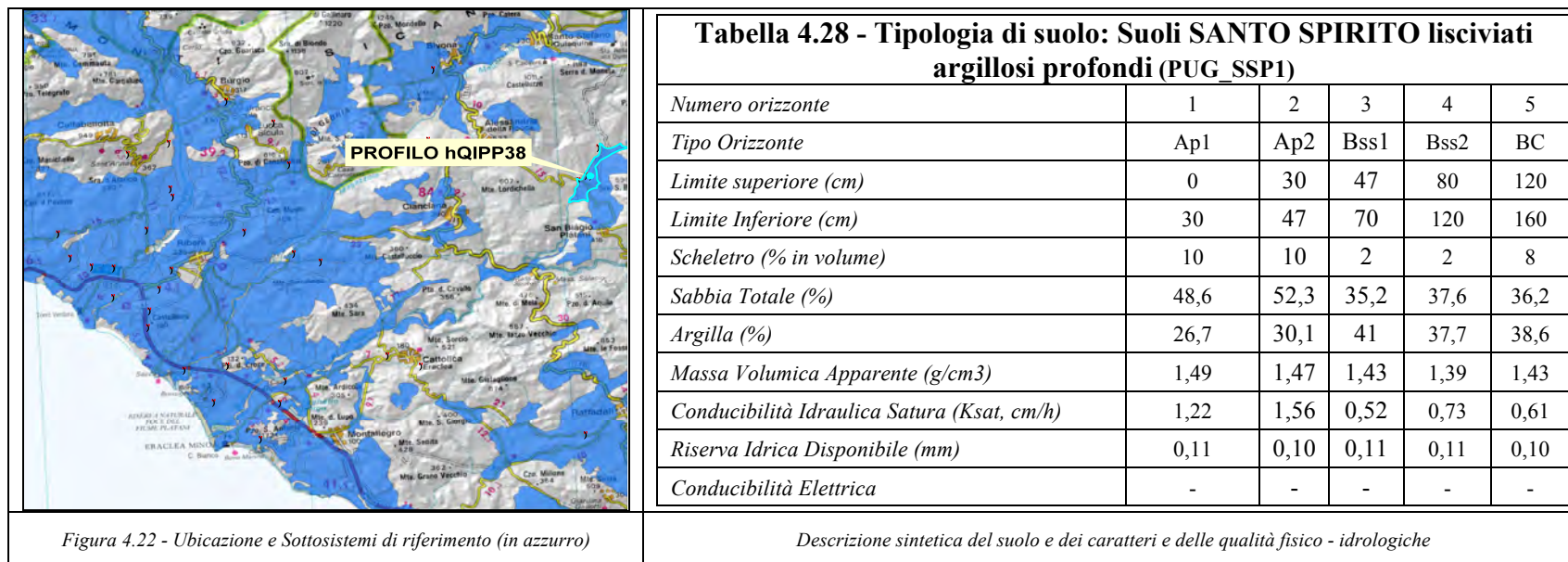


Figura 4.23 – Foto del Profilo di riferimento

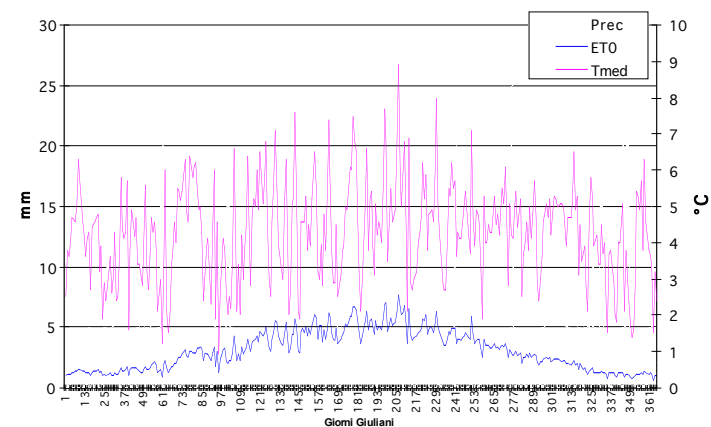


Grafico IV. 6 - Parametri climatici della stazione di riferimento (Trapani Birgi), anno 2005

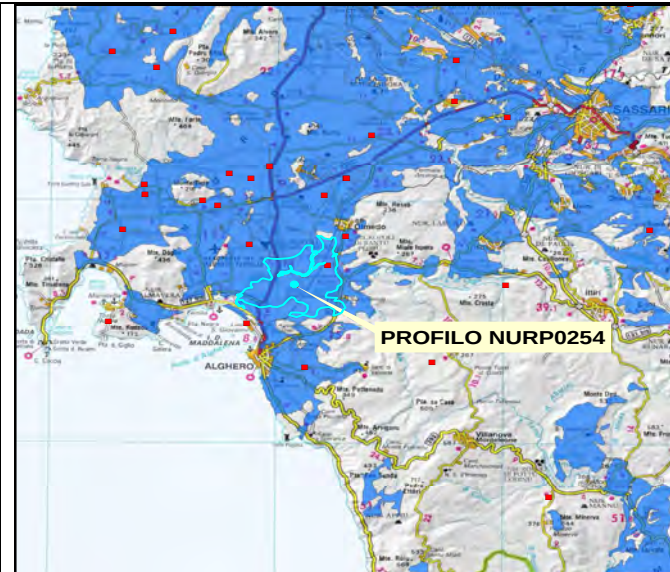


Figura 4.24 - Ubicazione e Sottosistemi di riferimento (in azzurro)

Tabella 4.29 - Tipologia di suolo: Suoli LUNAFRAS lisciviati franchi (SAR_LUN1)				
Numero orizzonte	1	2	3	4
Tipo Orizzonte	Ap	Bw	B1	B2
Limite superiore (cm)	0	25	50	110
Limite Inferiore (cm)	25	50	110	150
Scheletro (% in volume)	0	0	0	0
Sabbia Totale (%)	67,8	59,6	46,8	59,6
Argilla (%)	16,3	23,8	38,5	27,2
Massa Volumica Apparente (g/cm3)	1,5	1,4	1,5	1,5
Conducibilità Idraulica Saturata (Ksat, cm/h)	2,4	1,7	0,5	1,4
Riserva Idrica Disponibile (mm)	0,11	0,12	0,11	0,11
Conducibilità Elettrica	0,56	0,07	0,02	0,10

Descrizione sintetica del suolo e dei caratteri e delle qualità fisico - idrologiche

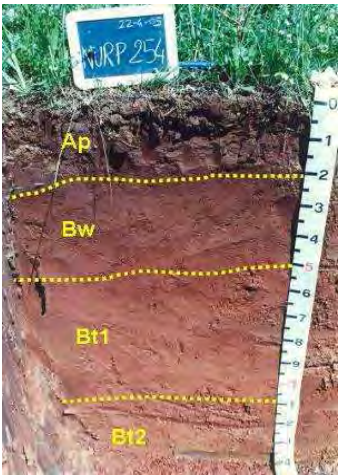


Figura 4.25 – Foto del Profilo di riferimento

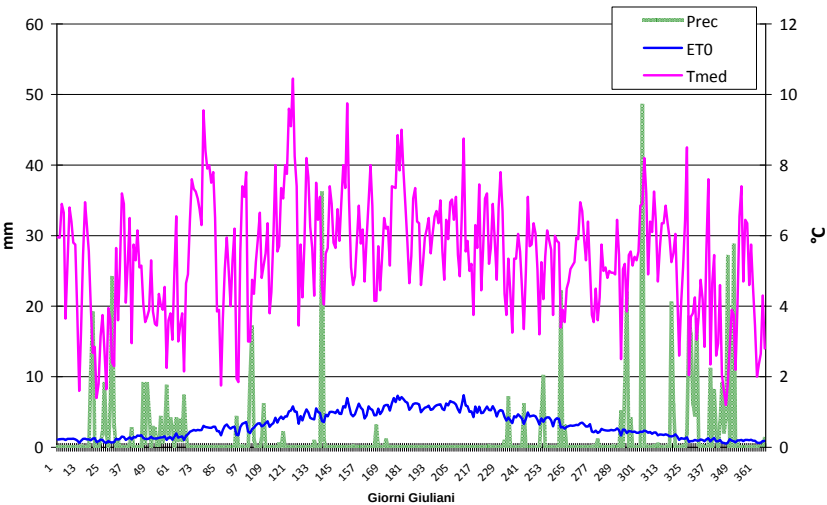


Grafico IV. 7 - Parametri climatici della stazione di riferimento (Olbia), anno 2005

Nelle tabelle seguenti si riportano – per alcune colture - i valori stimati degli apporti lordi e netti per le diverse tipologie di suoli e condizioni climatiche relative alle schede descritte in precedenza, in funzione del deficit idrico e della soglia intervento irriguo (% della Riserva Idrica Disponibile – AWC - al di sotto la quale la coltura andrebbe in stress idrico se non irrigata).

Tabella 4.30 - Fabbisogni e apporti irrigui totali per l'olivo con tecnica a basso (1) ed alto (2) input tecnologico

Regione	Sottounità Tipologica di Suolo	Coltura	Tecnica irrigua (1)	Deficit totale (Mc)	Apporto irriguo lordo totale (Mc)	Apporto irriguo netto totale (Mc)	Tecnica irrigua (2)	Apporto irriguo lordo totale (Mc)	Apporto irriguo netto totale (Mc)
Abruzzo	ABR_CST1	Olivo	Manichetta forata	930	1.360	1.158	Goccia	1.260	1.130
Basilicata	BAS_ELE1	Olivo	Manichetta forata	1.300	1.870	1.590	Goccia	1.680	1.510
Calabria	CAL_ERO2	Olivo	Manichetta forata	1.370	1.870	1.590	Goccia	1.680	1.510
Molise	MOL_RAM1	Olivo	Manichetta forata	1.110	1.530	1.300	Goccia	1.470	1.320
Puglia	PUG_SSP1	Olivo	Manichetta forata	1.450	2.040	1.730	Goccia	1.890	1.700
Sardegna	SAR_LUN1	Olivo	Manichetta forata	2.530	3.230	2.740	Goccia	3.150	2.830
Sicilia	SIC_PIE2	Olivo	Manichetta forata	2.450	3.060	2.600	Goccia	2.940	2.640

Tabella 4.31- Fabbisogni e apporti irrigui totali per la vite con tecnica a basso (1) ed alto (2) input tecnologico

Regione	Sottounità Tipologica di Suolo	Coltura	Tecnica irrigua (1)	Deficit totale (Mc)	Apporto irriguo lordo totale (Mc)	Apporto irriguo netto totale (Mc)	Tecnica irrigua (2)	Apporto irriguo lordo totale (Mc)	Apporto irriguo netto totale (Mc)
Abruzzo	ABR_CST1	Vite	Manichetta forata	1.560	2.900	2.180	Goccia	2.240	2.010
Basilicata	BAS_ELE1	Vite	Manichetta forata	1.850	3.230	2.400	Goccia	2.680	2.410
Calabria	CAL_ERO2	Vite	Manichetta forata	1.880	3.230	2.580	Goccia	2.680	2.410
Molise	MOL_RAM1	Vite	Manichetta forata	1.510	2.580	2.060	Goccia	2.350	2.110
Puglia	PUG_SSP1	Vite	Manichetta forata	1.850	3.230	2.580	Goccia	2.680	2.410
Sardegna	SAR_LUN1	Vite	Manichetta forata	2.650	3.870	3.100	Goccia	3.470	3.120
Sicilia	SIC_PIE2	Vite	Manichetta forata	2.190	3.230	2.580	Goccia	2.910	2.620

Tabella 4.32 - Fabbisogni e apporti irrigui totali per il pomodoro con tecnica a basso (1) ed alto (2) input tecnologico

Regione	Sottounità Tipologica di Suolo	Coltura	Tecnica irrigua	Deficit totale	Apporto irriguo lordo totale	Apporto irriguo netto totale	Tecnica irrigua	Apporto irriguo lordo totale	Apporto irriguo netto totale
			(1)	(Mc)	(Mc)	(Mc)	(2)	(Mc)	(Mc)
Abruzzo	ABR_CST1	Pomodoro	Aspersione	2.470	3.900	3.130	Goccia	3.340	3.010
Basilicata	BAS_ELE1	Pomodoro	Aspersione	3.030	4.660	3.720	Goccia	3.920	3.520
Calabria	CAL_ERO2	Pomodoro	Aspersione	3.060	4.650	3.720	Goccia	4.000	3.600
Molise	MOL_RAM1	Pomodoro	Aspersione	2.440	3.800	3.040	Goccia	3.250	2.930
Puglia	PUG_SSP1	Pomodoro	Aspersione	3.040	4.650	3.720	Goccia	3.910	3.520
Sardegna	SAR_LUN1	Pomodoro	Aspersione	3.740	4.640	4.180	Goccia	3.900	3.600
Sicilia	SIC_PIE2	Pomodoro	Aspersione	3.430	4.800	3.840	Goccia	4.250	3.830

Tabella 4.33 - Fabbisogni e apporti irrigui totali per il pomodoro con tecnica a basso (1) ed alto (2) input tecnologico

Regione	Sottounità Tipologica di Suolo	Coltura	Tecnica irrigua	Deficit totale	Apporto irriguo lordo totale	Apporto irriguo netto totale	Tecnica irrigua	Apporto irriguo lordo totale	Apporto irriguo netto totale
			(1)	(Mc)	(Mc)	(Mc)	(2)	(Mc)	(Mc)
Basilicata	BAS_ELE1	Arancio	Manichetta forata	2.160	2.810	2.390	Goccia	2.680	2.410
Calabria	CAL_ERO2	Arancio	Manichetta forata	1.980	2.630	2.230	Goccia	2.460	2.210
Sicilia	SIC_PIE2	Arancio	Manichetta forata	2.900	3.760	3.160	Goccia	3.580	3.220

4.7 La valutazione di sostenibilità all'uso irriguo su base territoriale

Un ulteriore obiettivo che questo studio si è proposto è quello di valutare la sostenibilità dell'uso irriguo su base territoriale più ampia, in particolare legata alla copertura dei Pedopaesaggi in scala di riconoscimento (Sottosistemi Pedologici).

La possibilità di avere una valutazione cartografica generale ed estesa può risultare di estrema utilità alla pianificazione degli interventi strutturali in relazione ad eventuali potenziamenti delle reti irrigue.

Quindi, una valutazione che tenesse conto della efficienza media delle realtà irrigue (insieme delle situazioni suolo-clima-coltura-tecnica) di una porzione di territorio paesaggisticamente e geograficamente omogenea, tradotta in classi di uso sostenibile.

Per effettuare tale valutazione non era possibile né corretto fare riferimento ad una mappatura di uso irriguo temporalmente definita; infatti ciò non avrebbe consentito di valutare le aree che sono state giudicate “potenzialmente irrigue” ma che attualmente sono prive di appezzamenti interessati da questo tipo di colture e tecniche.

Mantenendosi sull'uso irriguo ad una certa data potevano quindi risultare escluse aree messe a coltura irrigua in una fase temporale successiva.

Si è scelto, quindi di riferirsi, nell'ambito della valutazione, alla distribuzione percentuale media provinciale (Statistiche da fonte ISTAT) di colture irrigue per ogni Sottosistema ricadente in quella Provincia.

Quindi, sulla base dei valori di efficienza media ponderata del singolo poligono-Unità Cartografica, per ogni scenario considerato, è stata valutata l'efficienza media ponderata del singolo poligono di Pedopaesaggio, per tutta l'area di studio.

E' stato in ogni caso deciso, per completezza di informazione, di mantenere anche in tabella GIS il dato di superficie reale irrigata (riferita alla data di mappatura 2005) nella tabella informativa di ogni poligono di SST.

Sulla base della distribuzione dei risultati per l'intera area di studio “potenzialmente irrigabile” delle Regioni Meridionali, si sono proposte le seguenti classi di “uso irriguo sostenibile” (Tabella 4.25).

Tabella 4.34 - Classi di uso irriguo sostenibile in relazione ai range di efficienza e descrizione delle condizioni e/o limitazioni per la gestione del sistema suolo-clima-cultura-pianta

Classe	Descrizione	Range valori efficienza
Classe 1	Uso sostenibile: la condizione di uso irriguo con le colture e tecniche adottate è sostenibile senza condizioni	100-80
Classe 2	uso parzialmente sostenibile: la condizione di uso irriguo con colture e tecniche adottate è sostenibile condizionatamente al miglioramento dell'efficienza con poche modifiche di gestione (tecnica, scheduling irriguo) e/o con tecniche adeguate di miglioramento delle condizioni idrologiche dei suoli	80-40
Classe 3	Uso scarsamente sostenibile: la condizione di uso irriguo con colture e tecniche adottate è scarsamente sostenibile, e migliorabile con interventi di modifiche gestionali o riconversioni colturali, fatto salvo l'intervenire con sistemazioni idraulico-agrarie per modificare sostanzialmente le condizioni idrologiche dei suoli e procedere alla conseguente verifica della economicità di tali interventi.	40-20
Classe 4	Uso non sostenibile: le limitazioni climatiche e idrologiche dei suoli sono talmente forti che con l'attuale assetto colture-tecniche non è economicamente sostenibile nessun tipo di intervento migliorativo, e le aree sono da considerare non adatte a usi irrigui.	20-0

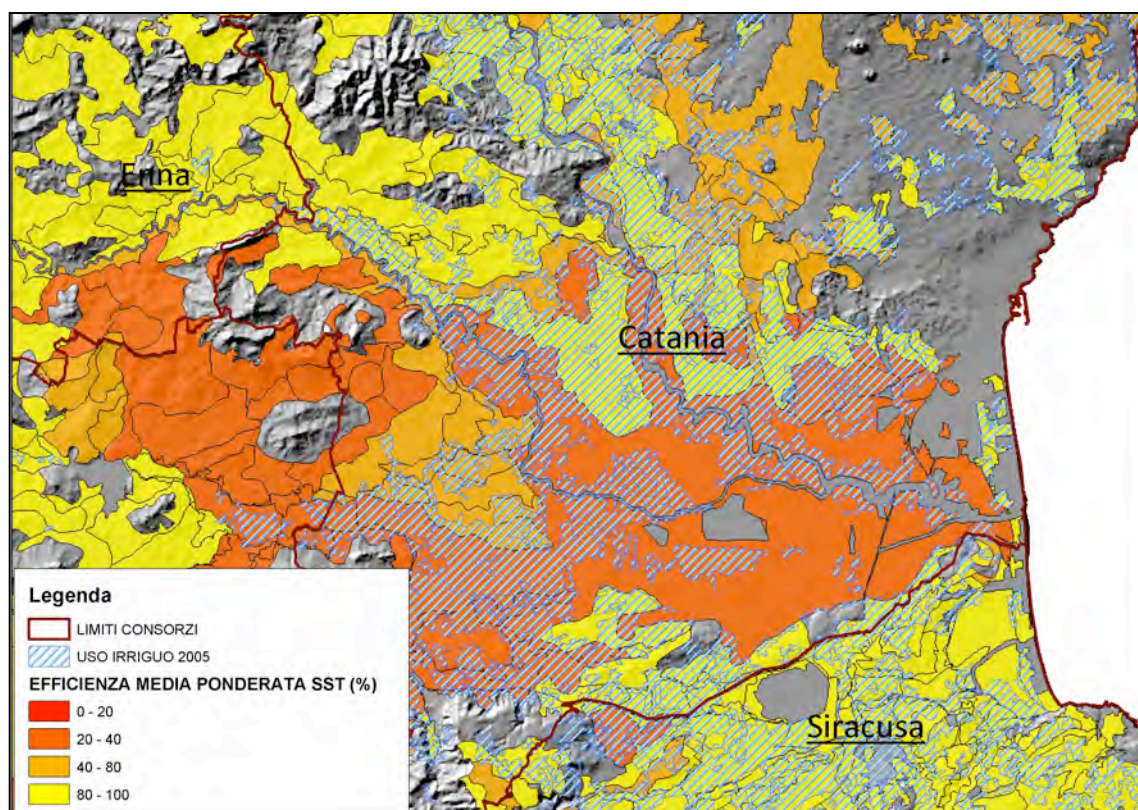
E' importante tener conte che la definizione di uso irriguo sostenibile, in relazione alla efficienza del sistema suolo-clima-cultura-tecnica, stabilisce quali sono le soglie di sostenibilità nel tempo in relazione al rapporto tra apporto netto e lordo, quindi in definitiva la percentuale di perdite che si hanno per runoff/ristagno superficiale e percolazione profonda dell'acqua fornita.

Ciò è legato sia a problemi di tipo gestionale che biofisico.

Nella classe 2 – parzialmente (o condizionatamente) sostenibile, tali problemi sono superabili con interventi di cambiamento di tecnica e/o miglioramento dei caratteri idrologici del suolo, a costi contenuti; una forte disefficienza e quindi una classe più alta (3 o 4, da scarsamente a non sostenibile) definisce dei problemi di ordine fisico-idrologico e climatico locale che non consentono, a costi economicamente vantaggiosi, interventi di miglioramento che permettano un tale uso continuativo senza mettere in conto lo spreco di grandi quantità di acqua.

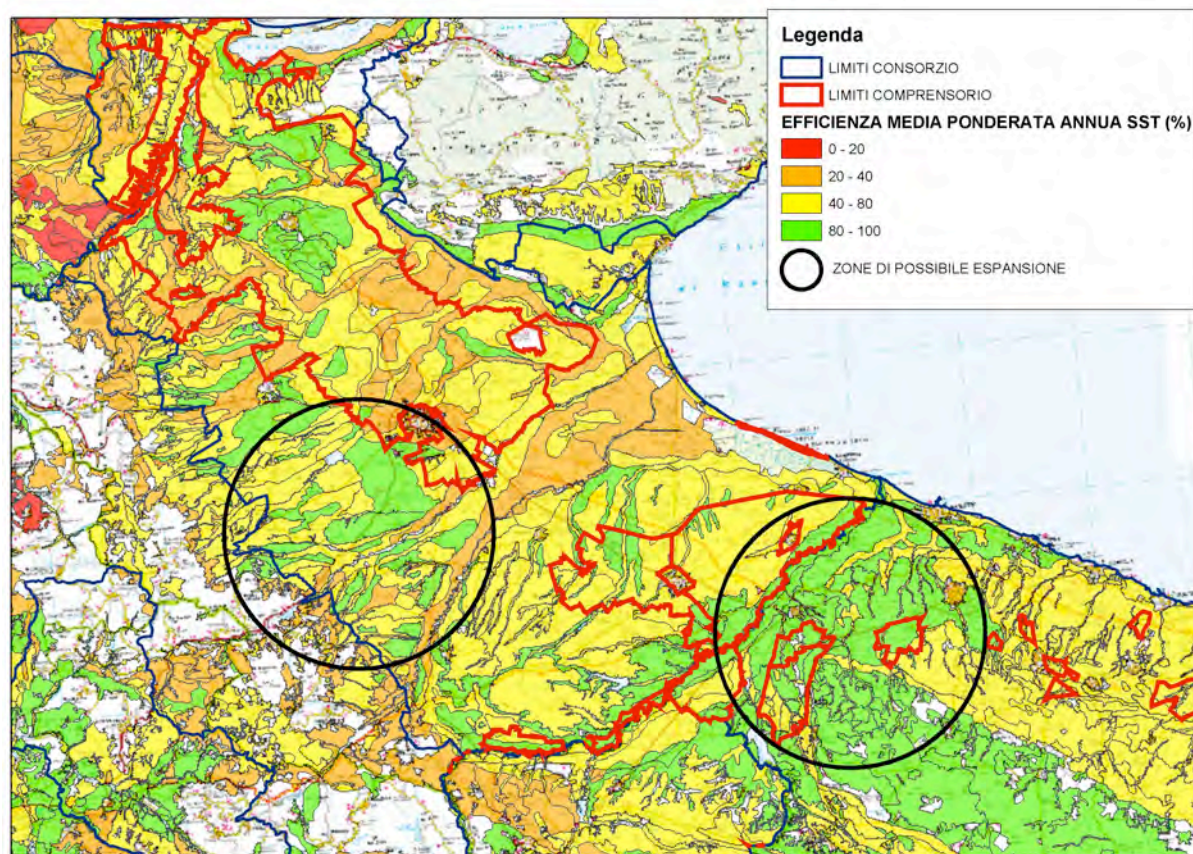
Si riportano di seguito alcuni esempi di possibile utilizzo dell'interrogazione e/o visualizzazione geografica. Si può vedere come a seconda delle diverse analisi di confronto tra i dati di uso irriguo reale e potenziale su base provinciale (Fig. 4.22) si possa confrontare l'estensione geografica di efficienze riferite ad una data reale (nel nostro caso mappatura dell'uso irriguo 2005) con le rimanenti aree.

Figura 4.26 - Individuazione dell'efficienza dei territori attualmente irrigui in confronto a quelli potenzialmente irrigui: Sottosistemi che hanno al loro interno uso irriguo e sottosistemi senza uso irriguo, ma dentro l'area di studio (potenzialmente irrigabili).



Un altro caso di rappresentazione utile alla pianificazione è mostrato in figura 4.13: si possono definire ed individuare gli ambiti geografici di possibile espansione nelle zone immediatamente attigue alle aree già attrezzate consortili dove l'efficienza media dei pedopaesaggi garantisce una sostenibilità a medio-lungo termine dell'intervento.

Figura 4.27 - Esempio di applicazione dei risultati della efficienza su base territoriale (SST): Visualizzazione delle aree adiacenti ai comprensori nel CdB della Capitanata (Puglia) con ipotesi di definizione delle aree a maggiore efficienza irrigua di possibile espansione delle reti attrezzate(indicate con i cerchi neri).



4.8 Sviluppi futuri di approfondimento del modello

Il modello di calcolo dei fabbisogni idrici colturali sviluppato nel presente studio attualmente presenta una complessità strutturale tale da poter essere gestito da utenti particolarmente esperti.

In particolare la configurazione della banca dati pedologica è molto complessa in quanto costituita da numerose tabelle e relative relazioni gestite da codice informatico di non facile intuizione.

Pertanto, nel prosieguo delle attività del progetto si prevede di costruire delle apposite interfacce che consentano anche ad utenti non esperti di poter inserire i dati di base necessari al funzionamento del modello.

Inoltre si procederà ad una fase di calibrazione/validazione del modello attraverso una campagna di misurazione da eseguirsi in alcune aree test in grado di coprire la variabilità pedoculturale del territorio - volta ad acquisire dati di dettaglio su proprietà idrologiche dei suoli, caratteristiche delle tecniche irrigue relativamente ai parametri di programmazione irrigua utilizzati realmente a livello locale (intensità e durata degli adacquamenti, scansione temporale).

Introduzione di metodi dinamici di acquisizione dei parametri biofisici delle superfici vegetate, quali l'Indice di Area Fogliare, il Coefficiente Culturale necessari all'aggiornamento del database dei parametri culturali, attraverso:

- L'acquisizione nelle aree test di dati rilevati con spettrometro, per la calibrazione e determinazione delle firme spettrali delle colture irrigue in diverse fasi della stagione
- L'elaborazione di immagini satellitari multispettrali e multitemporali con cadenza bisettimanale, nel corso di una stagione irrigua, al fine di poter misurare il range di variabilità della crescita culturale sia tra colture diversa che tra la stessa coltura;

Analisi di tecniche di ottimizzazione per l'individuazione delle strategia irrigue a maggiore efficienza. Per ogni combinazione di suolo, coltura e clima, saranno individuate, mediante tecniche informatiche di ottimizzazione, un certo numero di strategie irrigue, definite in termini di volume irriguo specifico, intensità e turno, caratterizzate da differente efficienza nell'impiego della risorsa idrica.

Mediante utilizzo di un modello di simulazione dello sviluppo culturale quale, ad esempio, CROPSYST (sviluppato dal Biological Systems Engineering Department, Washington State University), sarà stimata la resa conseguibile con ciascuna delle strategie individuate. Saranno effettuate delle analisi comparativi tra le rese e i costi relativi a ciascuna strategia (costo degli impianti, consumi idrici ed energetici, costo del lavoro), al fine di individuare quella che garantisce il miglior compromesso tra rese e costi.

CAPITOLO 4

STIMA DEI VOLUMI IRRIGUI NELLE AREE EXTRACOMPENSORIALI

La cartografia di uso del suolo realizzata è stata integrata con dati di diversa natura (pedologici, climatici, colturali) con lo scopo di stimare i volumi irrigui necessari all'irrigazione nelle aree extracomprendoriali.

La stima dei volumi è la risultante della sommatoria dei fabbisogni idrici delle colture presenti nell'area di studio.

Per la stima di tale valore possono essere utilizzati diversi criteri, ma il più corretto (e maggiormente utilizzato) è quello dell'equazione del bilancio idrico, in quanto strumento estremamente versatile che può essere utilizzato in un ampio intervallo di risoluzione spaziale (un intero comprensorio irriguo o una singola parcella) e temporale (giorno, decade, mese, stagione irrigua). Tale metodo consiste nello stimare le variazioni della riserva idrica del suolo misurando (o stimando) le voci in entrata (apporti idrici al netto delle perdite) e quelle in uscita (evapotraspirazione delle colture).

L'INEA ha sviluppato, in collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria Agraria ed Agronomia del Territorio dell'Università di Napoli Federico II, un modello di calcolo dei fabbisogni idrici colturali basato su un algoritmo di simulazione dinamica del moto dell'acqua nel sistema suolo-pianta-atmosfera.

Il modello richiede dati di estremo dettaglio – ottenuti da indagini dirette in campo – soprattutto per quanto riguarda l'uso del suolo. Infatti, il bilancio idrico è computato a livello di parcella irrigua omogenea dal punto di vista delle caratteristiche climatiche, pedologiche e colturali.

Come visto, il sistema di nomenclatura adottato nella realizzazione della cartografia di uso del suolo, definito in funzione dell'estensione dell'area di studio e del budget disponibile, nelle aree extracomprendoriali non raggiunge tale livello di dettaglio in grado di alimentare il modello “*Bilancio*”. A titolo di esempio nella classe 212 (seminativi irrigui) sono comprese tutte le colture erbacee, mentre per il suddetto modello è necessario disporre dell'informazione relativa alla singola coltura (es. mais).

Si è pertanto ravvisata la necessità di sviluppare - in collaborazione con il CRA-ABP¹ di Firenze – un modello di calcolo del bilancio idrico in grado di stimare i fabbisogni irrigui anche in assenza di dati di dettaglio sull'uso del suolo, attraverso la realizzazione delle seguenti attività:

- Costruzione banca dati pedologica;
- costruzione banca dati dei parametri colturali;
- costruzione banca dati agrometeorologica;
- definizione del modello;
- elaborazione della matrice casi suolo-clima-cultura-tecnica per tutte le aree del sud;
- ricollegamento alle geografie di uso del suolo e calcolo dei fabbisogni irrigui per superficie e cumulati per poligono di uso del suolo, attraverso media ponderata delle singole combinazioni presenti localmente.

¹ CRA-ABP: Centro per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura-Centro di ricerca per l'Agrobiologia e la Pedologia.

Il volume calcolato dal modello può essere definito come “*fabbisogno irriguo netto*” cioè la quantità di acqua che l’atmosfera richiede al sistema suolo-coltura attraverso l’evaporazione dal terreno e la traspirazione fogliare, al netto delle precipitazioni utili.

Al fine di poter avere un intervallo di variabilità dei volumi in gioco, è stata introdotta nel modello la possibilità di poter gestire anche la tecnica irrigua, dalla cui efficienza dipende il “*fabbisogno irriguo lordo*” culturale.

Non avendo a disposizione dati di dettaglio su tutta l’area di studio si sono definiti due scenari di tecniche irrigue con differenti livelli di efficienza:

- Tecnica con basso input tecnologico, caratterizzata da elevati volumi distribuiti con brevi durate (es. aspersione con rotolone, ali mobili ecc.);
- Tecnica con alto input tecnologico, caratterizzata da bassi volumi con durate maggiori (es. goccia, manichetta forata).

Non sono considerate le tecniche a minor efficienza, quali lo scorrimento superficiale, in quanto in progressiva diminuzione nelle regioni meridionali, ad eccezione della sommersione sul riso che permane in alcune aree della Calabria e, soprattutto, in Sardegna.

Inoltre, è stata inserita nel modello la possibilità di gestire differenti scenari climatici, derivanti dall’analisi statistica dei dati climatici:

- di riferimento: anno in cui è stata prodotta la cartografia di uso del suolo e sono stimati i volumi irrigui;
- medio: con valori del Deficit Idrico Potenziale (sommatoria delle differenze giornaliere tra la precipitazione e l’evapotraspirazione di riferimento). Esso fornisce un’informazione diretta sulla maggiore o minore aridità di una località e quindi, indirettamente, sulle potenzialità agricole del territorio e sui fabbisogni irrigui, rientranti nella media della serie climatica considerata;
- siccitoso: con valori del Deficit Idrico Potenziale maggiori della media;
- piovoso: con valori del Deficit Idrico Potenziale minori della media.

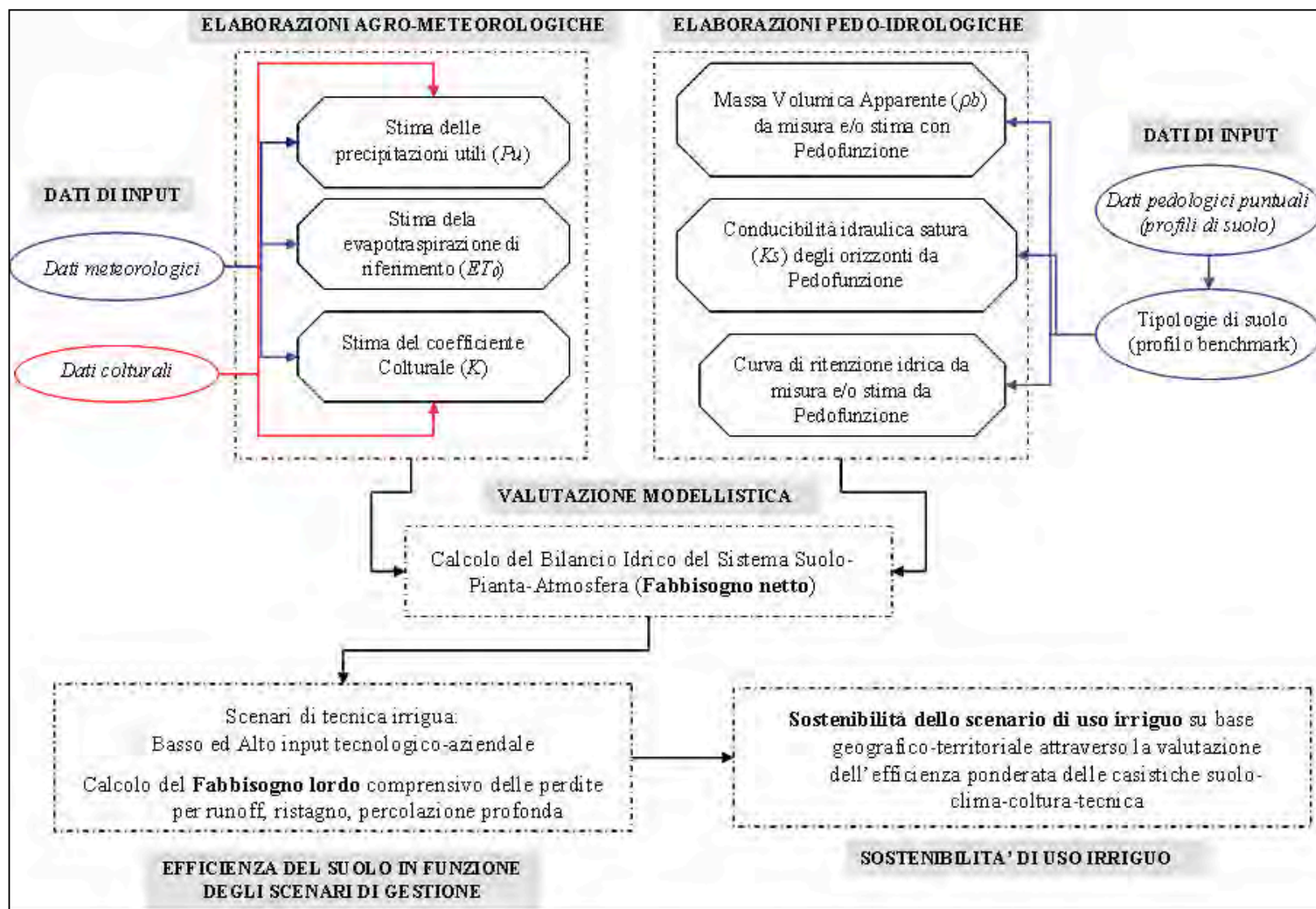
Il primo scenario fornisce un valore relativo al monitoraggio dell’irrigazione in un determinato anno, mentre gli altri tre scenari forniscono elementi statistici utili in fase di programmazione degli interventi irrigui.

Un ulteriore obiettivo che questo studio si è proposto è stato quello di valutare la sostenibilità dell’uso irriguo su base territoriale più ampia, in particolare legata alla copertura dei Pedopaesaggi in scala di riconoscimento (Sottosistemi Pedologici), attraverso un’analisi cartografica generale ed estesa, utile alla pianificazione degli interventi strutturali in relazione ad eventuali potenziamenti delle reti irrigue.

Quindi una valutazione che tenesse conto della efficienza media delle realtà irrigue (insieme delle situazioni suolo – clima – coltura – tecnica irrigua) di una porzione di territorio paesaggisticamente e geograficamente omogenea, tradotta in classi di uso sostenibile.

Lo schema seguente (Fig. 4.1) illustra le principali fasi delle elaborazioni effettuate.

Figura 4.1 - Schema concettuale del flusso operativo: tipologie di dati e fasi di elaborazione raccolte ed utilizzate per il calcolo dei fabbisogni irrigui lordi e la valutazione di sostenibilità di uso irriguo



4.1 - Costruzione della banca dati pedologica

Nel seguente paragrafo si intende fare un breve cenno riguardo la pedologia. Questo non vuole essere un trattato di pedologia, ma soltanto un'introduzione a dei concetti che possono aiutare a comprendere meglio l'argomento trattato.

4.1.1 Cenni di pedologia

Per suolo si intende lo strato superficiale che ricopre la crosta terrestre. Lo studio del suolo è basato sull'approccio deterministico formulato da Jenny (1941), il quale stabilì che il suolo (S) è il risultato di cinque fattori di formazione: il clima (c), gli organismi (o), la roccia (r), la morfologia (m) ed il tempo (t).

$$S = f(c, o, r, m, t) \quad (4.1)$$

Il suolo che noi osserviamo in una determinata posizione morfologica (*solum* per i francesi – Fig. 4.2 - *pedon* per gli americani – Fig 4.3) è il risultato delle trasformazioni della roccia avvenute per un determinato tempo, sotto l'azione del clima e degli organismi.

Figura 4.2 - Tipi di relazione tra sola e Référentiel nel sistema francese

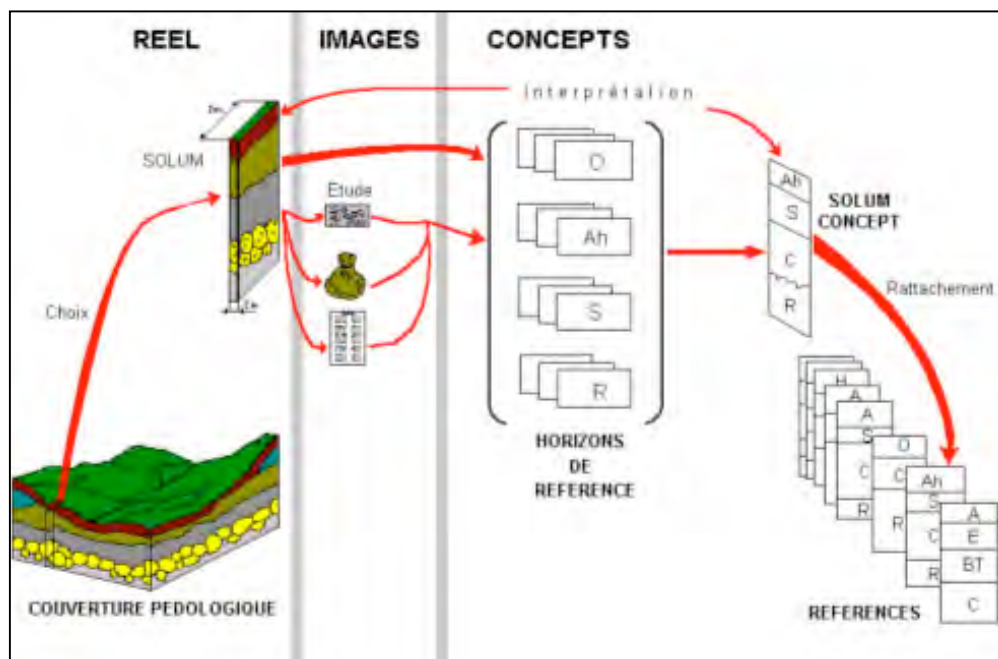
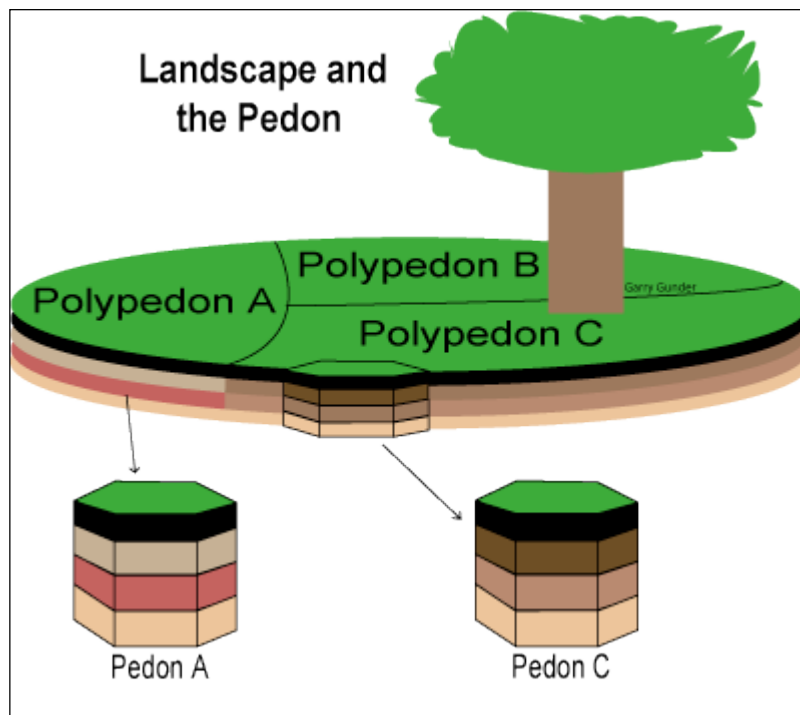


Figura 4.3 - Esempificazione di alcuni aspetti della Soil Taxonomy
(da <http://soils.missouri.edu/tutorial/page1.asp>)



Dopo il concetto di *pedon* si può introdurre quello di pedopaesaggio (*landscape*) che è l'insieme delle condizioni di clima, roccia, morfologia, suolo ed uso del suolo, che hanno una configurazione caratteristica e dove insistono dei processi che creano delle relazioni funzionali tra i singoli elementi che costituiscono l'insieme.

Il concetto di pedopaesaggio si applica a qualunque livello gerarchico nella classificazione dei paesaggi pedologici, ma quando è utilizzato per le scale di dettaglio il pedopaesaggio può costituire un insieme di pedon appartenenti ad una sola tipologia tassonomica, ma più spesso a più tipologie, più o meno simili per alcuni caratteri e proprietà (concetto di Unità Tipologiche di Suolo-UTS²).

Le proprietà del suolo che determinano differenze nella natura e nel grado di espressione degli orizzonti possono servire come caratteri guida per distinguere le tipologie pedologiche. In questo modo le Unità Tipologiche di Suolo assumono significato geografico e olistico, più che tassonomico, quindi possono contenere suoli appartenenti anche ad ordini diversi, ma con legami funzionali riconosciuti a livello geografico di riferimento.

Poiché una tipologia pedologica può presentarsi con varie sfaccettature, occorre prevedere le Sottounità Tipologiche di Suolo (STS³), che rappresentano i vari aspetti della tipologia. Le Sottounità hanno un significato geografico di maggior dettaglio; sono il contenitore di base delle informazioni sulle qualità dei suoli. Ogni UTS è sempre costituita da almeno una STS.

² Unità Tipologica di Suolo (UTS): insieme di siti pedologici con attributi geografici comuni e con caratteri genetici simili.

³ Sottounità Tipologica di Suolo (STS): insieme di siti pedologici con problematiche gestionali simili, appartenenti alla stessa Unità Tipologica di Suolo (UTS).

Per caratteri e qualità funzionali s'intendono tutti quei caratteri e qualità dell'osservazione che si rilevano in un'indagine pedologica e che possono essere utilizzati come criteri per la correlazione, in particolare: morfologia, substrato, uso del suolo, pendenza, quota, falda, drenaggio interno ed esterno, erosione, profondità utile, dati analitici del suolo, classificazione e capacità d'uso.

4.1.2. Le Unità tipologiche di suolo per il progetto carta dei suoli d'Italia

Il progetto "Metodologie Pedologiche per la creazione della carta dei suoli d'Italia a scala 1:250.000", alle cui basi dati questo studio ha fatto riferimento, ha previsto l'organizzazione e correlazione delle informazioni pedologiche per unità (UTS) e sottounità (STS) tipologiche di suolo, individuando come UTS delle unità concettuali paragonabili a serie, e la successiva organizzazione delle informazioni in *soil body*. I *soil body*, infatti, vanno intesi come unità di gestione per il database europeo, ma non di rilevamento.

Le UTS e le STS sono dei contenitori di informazioni che, rilevati al dettaglio o semi dettaglio, possono essere utilizzati a tutti i livelli pedopaesaggistici, ad esempio per far diventare "pedologiche" le banche dati definite come "di terre" (Fig. 4.4).

L'informazione pedologica può essere trattata ad un livello pedopaesaggistico superiore (cioè a scale più piccole di quelle di dettaglio e semi dettaglio) utilizzando solo una parte delle relazioni tra i suoli, oppure individuando relazioni diverse (ad esempio: UTS per la scala 1:1.000.000).

4.1.3. Raccolta, armonizzazione ed archiviazione dei dati nella base dati pedologica

Per definire la pedologia dell'area di studio sono state effettuate le seguenti operazioni:

- Verifica delle UTS/STS già elaborate dalle regioni;
- Identificazione in banca dati delle relazioni suolo geografia;
- Identificazione nella banca dati di almeno un sito Caposaldo, per STS;
- Elaborazione di UTS/STS per le aree non coperte dai dati regionali disponibili.

L'attività di correlazione ha comportato l'analisi dei siti, traendo dal database le informazioni territoriali, se disponibili, e quindi procedendo all'analisi completa delle informazioni disponibili relative a stazioni ed orizzonti. Molte aree del territorio di indagine non hanno disponibili dati pedologici relativi a profili di suolo, ma solo a "pozzetti" (minipits). Per questa tipologia di osservazioni è disponibile solo un set ristretto di dati, infatti, mancano informazioni relative a qualità e tassonomia (orizzonti genetici), hanno informazioni relative a fisiografia e substrati molto generici, e con una notevole semplificazione dell'organizzazione del suolo.

La qualità e quantità di informazioni disponibili ha reso necessario per Campania, Molise, Sicilia e Sardegna, un'analisi puntuale dei dati. In questo caso le caratteristiche dei dati disponibili ha portato a non elaborare in fase di correlazione Unità Tipologiche di Suolo costituite da siti geograficamente distanti.

Il legame suolo geografia è stato identificato per 2.501 Unità Cartografiche.

Complessivamente sono state elaborate 1.385 UTS e 1.608 STS.

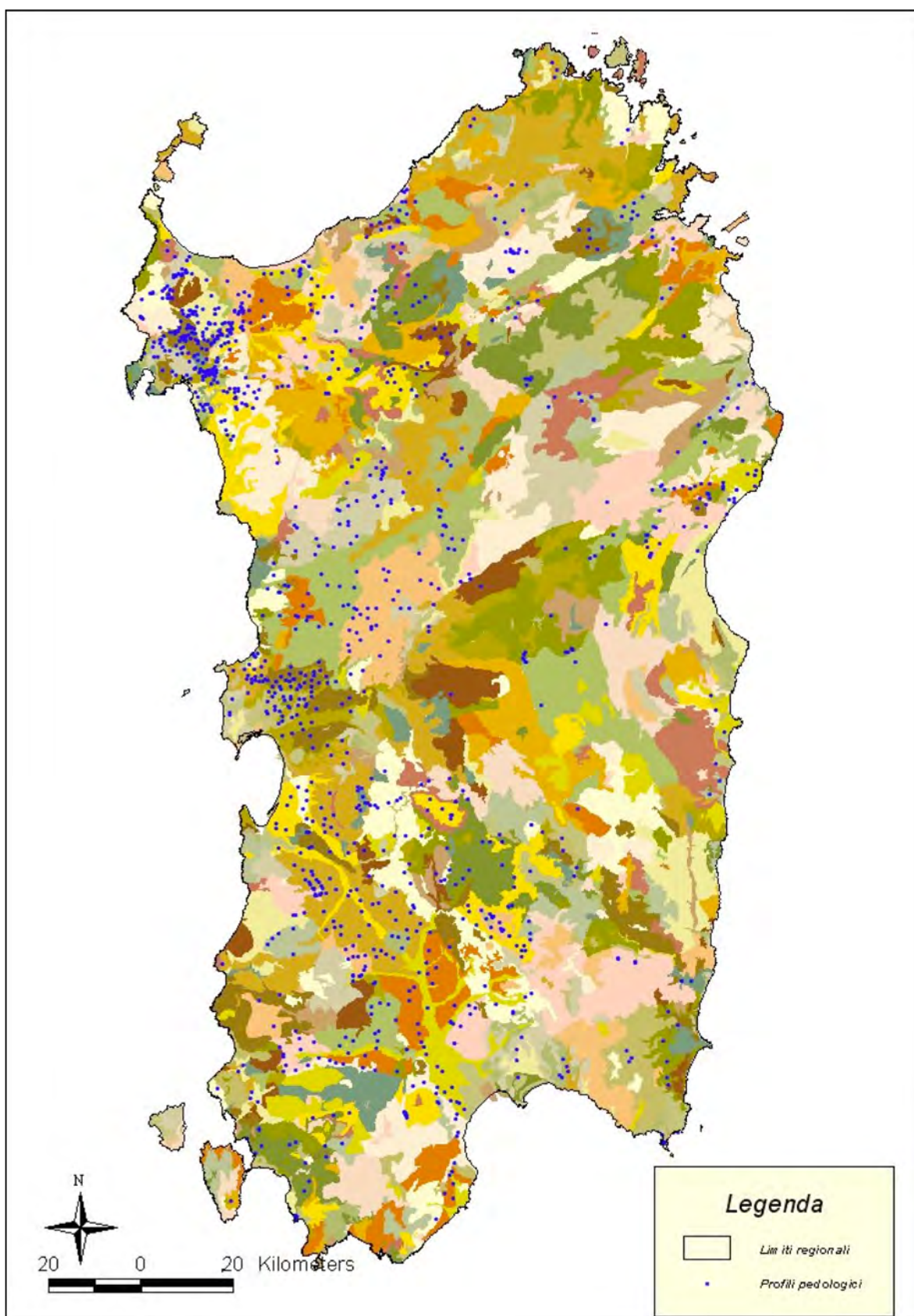
Per circa il 50% delle unità cartografiche, ai fini del progetto è stata individuata una sola STS di riferimento, per il 38% sono due le STS di riferimento e per il 12% sono più di due. Nei casi in cui la relazione ha individuato più di una STS di riferimento di ognuna di queste è stata individuata la percentuale di copertura.

Le STS utilizzate per l'elaborazione dei dati nel modello sono state 1.498, ritenute geograficamente valide e ricadenti effettivamente in aree da valutare.

La banca dati si riferisce alle unità cartografiche (UC) e alle tipologie pedologiche di suoli (UTS e STS); essa si relaziona alla base dati geografica (in formato *shape* file) dei Sottosistemi di Terre (SST), che rappresentano il riferimento geometrico pedologico e nella tabella correlata contiene i campi che definiscono i Sottosistemi.

La relazione tra Unità cartografiche e Sottosistemi di Terre (Fig. 4.5) definisce la percentuale di presenza di vari tipi di suolo individuati (STS) nelle Unità Cartografiche dello strato geografico.

Figura 4.5 - Dettaglio dei Sottosistemi di Terre in Sardegna. Nella regione Sardegna le unità cartografiche sono più di 120 e per motivi grafici non sono elencate nella legenda.



La base geometrica di riferimento utilizzata è quella dei Sottosistemi di Terre elaborata presso il Centro Nazionale di Cartografia Pedologica (CNCP) del CRA-ABP di Firenze, messe a punto attraverso il progetto “Atlante nazionale delle aree a rischio di desertificazione” (A.A.V.V.). Tale base è stata poi integrata con i seguenti dati:

Molise: Dati pedopaesaggistici e osservazioni puntuali provenienti dal Progetto Nazionale “Carta dei Suoli d’Italia in scala 1:250.000” e dal progetto Agrit, realizzato dal Ministero per le Politiche Agricole e Forestali; progetto Unità Operative Territoriali (UOT 1996), coordinato dalla Sezione Genesi, Classificazione e Cartografia dell’ISSDS di Firenze e realizzato in 13 aree sperimentali delle Regioni Obiettivo 1, per le aree con cartografie pedologiche 1:25.000 di Campomarino; inoltre sono stati utilizzati e rielaborati i dati delle cartografie pedologiche di semi-dettaglio “I suoli delle principali aree irrigue del Molise”, Quaderno divulgativo n. 4 dell’ERSAM Molise (Tito Reale, 2000).

Abruzzo: Progetto Nazionale “Carta dei Suoli d’Italia in scala 1:250.000”, integrato con: la prima approssimazione della carta dei pedopaesaggi e suoli della Regione Abruzzo realizzata dall’ARSSA in collaborazione con l’ISSDS (per la strutturazione dati) con un Programma Operativo Multifondo (dati concessi dall’ARSSA – Centro Pedologico di Avezzano); progetto UOT, per le aree con cartografie pedologiche 1:25.000 del Trigno; cartografie del Centro pedologico ARSSA di Avezzano, Val Vomano e Corfino in scala 1:25.000 e Val di Sangro (lavoro in corso di completamento, dati concessi dall’ARSSA); cartografia della tessitura e granulometria della Piana del Fucino in scala 1:25.000); cartografie delle unità di pedopaesaggio dei comuni di Castilenti e S.Demetrio ne’ Vestini, effettuate dall’Accademia di Scienze Forestali in collaborazione con l’ISSDS come aree sperimentali nell’ambito di studi metodologici sulla idoneità all’arboricoltura da legno per conto dell’Assessorato Agricoltura e Foreste della Regione Abruzzo.

Campania Progetto Nazionale “Carta dei Suoli d’Italia in scala 1:250.000, integrato con: dati pedopaesaggistici e sulle osservazioni pedologiche puntuali provenienti dal Progetto Agrit; sono stati inoltre consultati ed utilizzati i seguenti lavori di rilevamento di semi-dettaglio:

Carta pedologica 1:50000 dell’Agro Aversano (Di Gennaro A. e coll.) – Regione Campania, Assessorato Agricoltura (1996);

Carta pedologica 1:50000 dell’Agro Nocerino-Sarnese– Regione Campania, Assessorato Agricoltura (Di Gennaro A. e coll., 1996);

Carta pedologica 1:25000 del Comprensorio di Montoro - Consorzio Agro-Sarnese Nocerino (Gheri F., 1982);

Carta Pedologica 1:25000 del Comprensorio di S.Mauro - Consorzio Agro-Sarnese Noverino (Gheri F., 1982);

Carta pedologica 1:25000 del Comprensorio di Uscioli e Camerelle - Consorzio Agro-Sarnese Nocerino (Gheri F., 1982);

Carta pedologica 1:25000 del Destra Sarno - Consorzio Agro-Sarnese Nocerino (Gheri F., 1982);

Carta pedologica 1:25000 del Comprensorio di Sarno-S.Valentino Torio (Gheri F., 1982);

Carta pedologica 1:25000 del Comprensorio di Angri S.Gregorio Abate (Gheri F., 1982);

Carta pedologica 1:25000 del Comprensorio di Bottaro (Gheri F., 1982);

Carta pedologica 1:25000 del Comprensorio di Paludi (Gheri F., 1982);

Carta pedologica 1:50000 del Fortore beneventano - Istituto Idraulica Agraria Univ. Napoli (Buondonno C., Danise B., Leone A.P., Terribile F., 1988)

Carta pedologica 1:100000 della Provincia di Napoli - Provincia di Napoli (Di Gennaro A., 1994)

Basilicata: Progetto Nazionale “Carta dei Suoli d’Italia in scala 1:250.000 (Viviano e Cassi, 2006), integrato con: dati pedopaesaggistici e sulle osservazioni pedologiche puntuali provenienti dal Progetto Agrit, realizzato dal Ministero per le Politiche Agricole e Forestali; in parte dal progetto Unità Operative Territoriali (1996), coordinato dalla Sezione Genesi, Classificazione e Cartografia dell’ISSDS di Firenze e realizzato in 13 aree sperimentali delle Regioni Obiettivo 1, per le aree con cartografie pedologiche 1:25.000 dell’Alta Val D’Agri e del Medio Agri Sauro; inoltre sono stati utilizzati i dati delle cartografie pedologiche di semi-dettaglio e dettaglio nell’area del Sinni (regione Basilicata con coordinamento tecnico-scientifico ISSDS – Firenze) e nell’area di Scanzano (CNR – IGES, Firenze). Un controllo generale è stato infine effettuato con i dati acquisiti dal Progetto Speciale 14 della Cassa per il Mezzogiorno, in particolare con la Carta delle limitazioni d’uso del territorio regionale (dato originale acquisito in forma digitale dal progetto POM Irrigazione INEA).

Calabria: Progetto Nazionale “Carta dei Suoli d’Italia in scala 1:250.000”: dati pedopaesaggistici e sulle osservazioni puntuali provenienti dal Progetto Speciale 26 realizzato dal Ministero dei Lavori Pubblici (carta delle aree irrigue della Regione Calabria 1:25.000 – 1976-80); in parte dal progetto UOT (1996), per le aree con cartografie pedologiche 1:25.000 di Capo Vaticano, Eufemia Lamezia e Crati; inoltre sono stati utilizzati e rielaborati i dati delle cartografie pedologiche di semi-dettaglio prodotti e pubblicati dall’ISSDS (carta pedologica della Tavoletta del Lago di Cecita – Sila Grande) e del CNR-IGES di Firenze (Carta pedologica del Trionto).

Puglia: “Carta dei Suoli d’Italia in scala 1:250.000”, integrato con: dati di maggiore dettaglio (1:100.000) provenienti sul “Progetto ACLA 1 – 2 ed INTERREG Puglia - Albania Studio per la caratterizzazione agronomica della regione Puglia e la classificazione del territorio in funzione della potenzialità produttiva” realizzato dalla Regione Puglia e dall’Istituto Agronomico Mediterraneo di Bari; un confronto ragionato è stato effettuato con i dati acquisiti dal Progetto Speciale 14 della Cassa per il Mezzogiorno, in particolare con la Carta delle limitazioni d’uso del territorio regionale;

Sicilia: “Carta dei Suoli d’Italia in scala 1:250.000”, per la parte pedogeografica tuttora in corso, integrato con: dalla monografia sulla Carta dei Suoli della Regione Sicilia in scala 1:250.000 (Fierotti et alii, 1983); tali informazioni sono state integrate in alcuni casi particolari dai dati pedopaesaggistici e osservazioni pedologiche puntuali provenienti dal Progetto Agrit. Un controllo generale è stato infine effettuato con i dati acquisiti dalla Carta delle aree irrigue in scala 1:250.000 (Fierotti et alii, 1965).

Sardegna: Sono stati utilizzati i dati provenienti da: Cartografia della Bassa valle del Flumendosa 1:10.000, Cartografia dell’Hinterland di Cagliari 1:30.000, Carta dei suoli 1:250.000 della Regione Sardegna, Cartografia della Bassa valle del Coghinis 1:25.000, Cartografia della Valle del Cixerri 1:25.000, Cartografia della Comunità Montana XXII del Basso Sulcis 1:100.000, Cartografia di Marmilla e Sarcidano 1:50.000, Cartografia del Distretto irriguo S. Maria-Marefoghe-Sinis NE 1:10.000, Cartografia connessa al Piano Acque Regione Sardegna 1:100.000, Cartografia del Campidano d’Oristano 1:25.000, Cartografia connessa al Progetto Speciale 13 1:25.000, Cartografia dell’Area Test POM INEA Marefoghe – Oristano 1:25.000 (CRA/ISSDS FI), Cartografia dell’Area Test Progetto INEA “MONIDRI” del Bacino del Rio Cuga (NURRA SS) 1:50.000.

Il lavoro, complessivamente, ha comportato l’armonizzazione delle nuove informazioni con quelle esistenti. La banca dati elaborata consiste in 12.863 poligoni. Si è trattato quindi di un aggiornamento corposo ma necessario, perché ha consentito, fra l’altro, di aumentare il grado di confidenza della correlazione fra suoli e geografia.

L'area di studio corrispondente con l'area potenzialmente irrigabile è stata definita, in prima approssimazione, tramite l'analisi dei seguenti fattori:

1. Caratteristiche morfometriche: sono riferite alla pendenza ed alla quota. E' stata definita come soglia limite il 20% di inclinazione e la quota di 1.200 m s.l.m.
2. Destinazione d'uso dei suoli: Esistono ovviamente superfici che non possono essere considerate potenzialmente irrigabili, in ragione del loro uso del suolo, quali:
 - Superfici artificiali (aree urbane, industriali o destinate a servizi, infrastrutture, cave, discariche ecc.);
 - Acque superficiali ed aree umide;
 - Aree naturali e seminaturali (comprendenti boschi, brughiere e cespugli, spiagge, aree con roccia affiorante ecc).

Sono state considerate idonee le aree agricole ed i pascoli.

Per questa fase sono state utilizzate le informazioni derivanti dal Corine Land Cover 2000 ed i dati derivati dalla cartografia CASI 3.

3. Superfici irrigue extracomprendoriali:
4. Comprensori irrigui:
5. Caratteristiche fisiografiche e dei substrati pedogenetici: Tramite fisiografia e substrati possono essere definiti, relativamente alla scala di riferimento del progetto, ambiti potenzialmente omogenei per tipologia e distribuzione dei suoli. Questi ambiti possono avere caratteri tali da escludere la possibilità di irrigazione anche in presenza di superfici pianeggianti o altresì includere superfici escluse in prima approssimazione. Le informazioni circa questi parametri sono costituite dalla banca dati dei Sottosistemi di Terre, elaborata dal CRA_CNCP nel corso del progetto Desertificazione e successive cartografie pedologiche elaborate a livello regionale
6. Caratteristiche climatiche: Possono esistere ambiti ubicati in condizioni climatiche tali da escludere la possibilità di prevedere la possibilità di irrigazione, quali alcune superfici pianeggianti localizzate ad alta quota.
7. Grado di frammentazione: In ultima analisi sono stati puntualmente verificati i casi di piccole superfici potenzialmente idonee isolate in contesti non idonei come ovviamente il contrario. Si è tenuto conto, in ogni caso, della superficie minima cartografabile, che è di 156 ha che corrispondente all'area minima cartografabile alla scala 1:250.000, propria dei SST.

Tutti i poligoni della banca dati dei Sottosistemi di Terre, oltre alle informazioni fisiografiche sulla cui base sono stati originariamente elaborati, sono stati caratterizzati relativamente ai fattori sopra elencati. Per i punti da 1 a 4 sono stati elaborati dei file raster con passo 100 m, in cui ogni pixel è stato classificato come idoneo o non idoneo. Quindi per ogni poligono dei Sottosistemi è stata calcolata la percentuale di superficie idonea per i fattori sopra evidenziati.

Il procedimento di analisi è stato piuttosto lungo ed articolato ed è passato per la definizione di:

- Aree potenzialmente idonee, per caratteristiche territoriali, ossia quelle con più del 25% di superfici potenzialmente idonee;
- Aree in cui l'analisi verifica come il poligono abbia meno del 25% di superficie potenzialmente idonea ma altre fonti informative riportavano come significative le superfici irrigate.

Entrambe queste due casistiche sono state considerate area di studio. Come si può facilmente evidenziare il criterio di valutazione utilizzato è stato ovviamente prudenziale, affinché non venissero tralasciate aree potenzialmente idonee. Il risultato della selezione è riportato nella tabella 4.1.

Tabella 4. 1- Risultati della selezione dei Sottosistemi di Terre dall'area di studio

Sottosistemi di Terre	Numero poligoni	Area (ha)	% Poligoni	% ha
	6.690	6.723.952	52%	54%
Esclusi	6.173	5.642.273	48%	46%
Totale	12.863	12.366.225	100%	100%

Dopo avere eseguito questa analisi parziale e strutturato la tabella del SST, sono stati incorporati anche i poligoni derivanti dal layer CASI3 per le classi definite come “escluse dalla valutazione”, vale a dire gli usi corrispondenti ai seguenti codici:

1 = urbano

3 = boschi ed assimilati

4 = aree umide

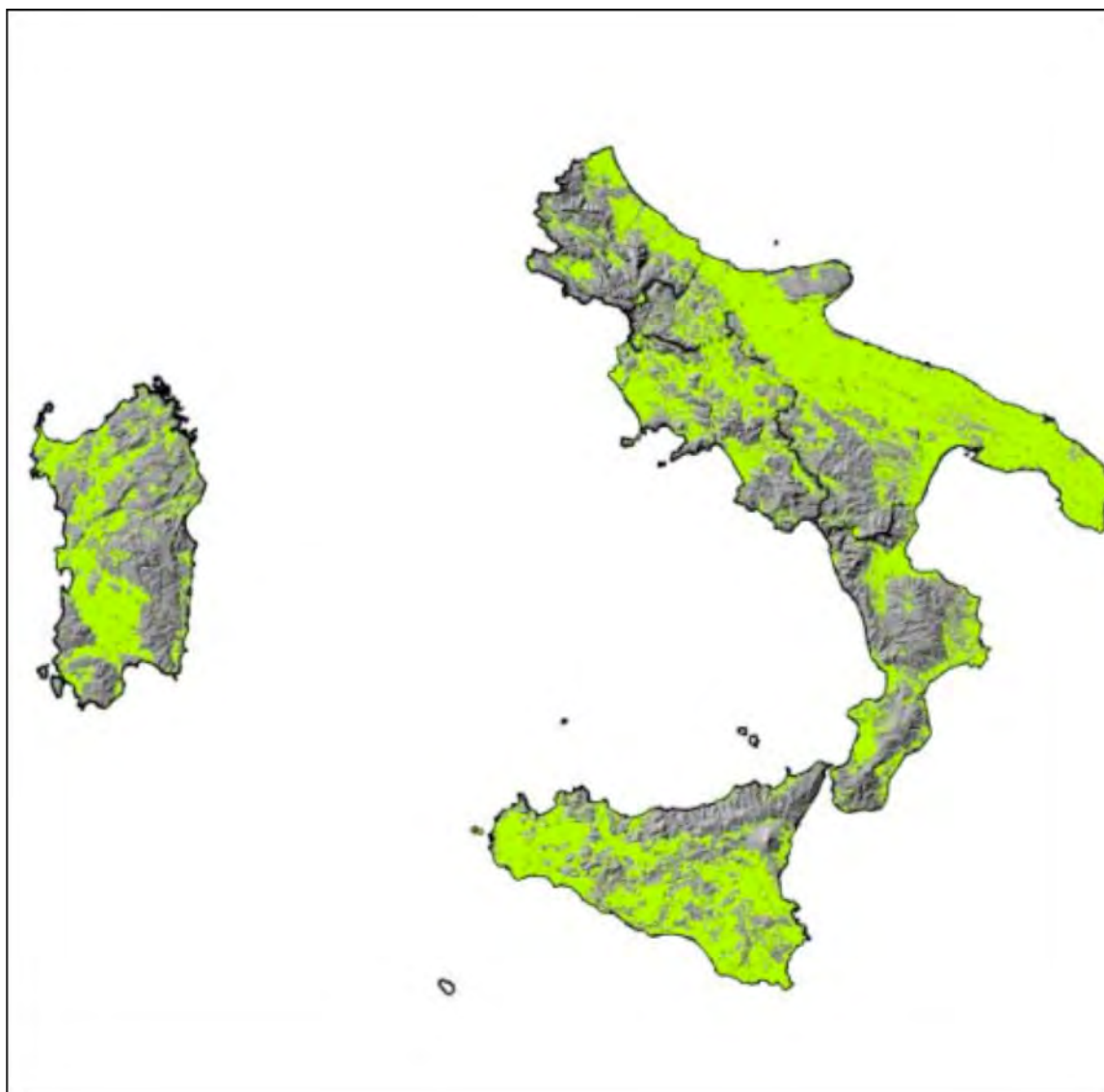
5 = acque superficiali.

Come si può vedere dalla tabella 4.2, la banca dati geografica di riferimento per le caratteristiche territoriali, cui si legano le Unità Tipologiche di Suolo (UTS) è assolutamente rilevante, componendosi di ben 33.784 poligoni e l'area di studio considerata comprende ben il 44,3 % dell'area totale. È ovvio che fra questi vi siano comprese anche superfici che ad una successiva valutazione potranno essere non idonee ad una o più tecniche irrigue, come ambiti nei quali le combinazioni di caratteristiche del suolo ed altre caratteristiche territoriali le renderanno non idonee all'irrigazione.

Tabella 4.2- Quadro riepilogativo dei risultati ottenuti dalla determinazione dell'area di studio.

Tipologia di area	N° Poligoni	Area Totale (ha)	% poligoni su totale regioni sud	% ha su totale regioni sud
Area inclusa nello studio	11.091	5.469.894,88	32,8	44,3
Area esclusa ⁴ dallo studio	22.693	6.891.382,07	67,2	55,7
Totale	33.784	12.361.276,95	100	100

Figura 4.6. Estensione geografica (in verde) dei Sottosistemi di terre inclusi nell'area di studio per le



Regioni Meridionali

⁴ Area esclusa dallo studio per morfologia, quota ed usi del suolo vincolati.

La costruzione definitiva del riferimento geometrico per la pedologia ha comportato i seguenti passaggi:

- Ritaglio secondo linea di costa e confini regionali;
- Ritaglio secondo strato dell'uso del suolo;
- Verifica dei poligoni isolati e ripulitura di micropoligoni creati dall'intersezione dell'uso del suolo "escluso" con i Sottosistemi di Terre con il limite minimo di 25 ha (corrispondente all'area minima cartografabile per una scala 1:100.000).

4.1.4 Pre – elaborazioni sui profili di suolo

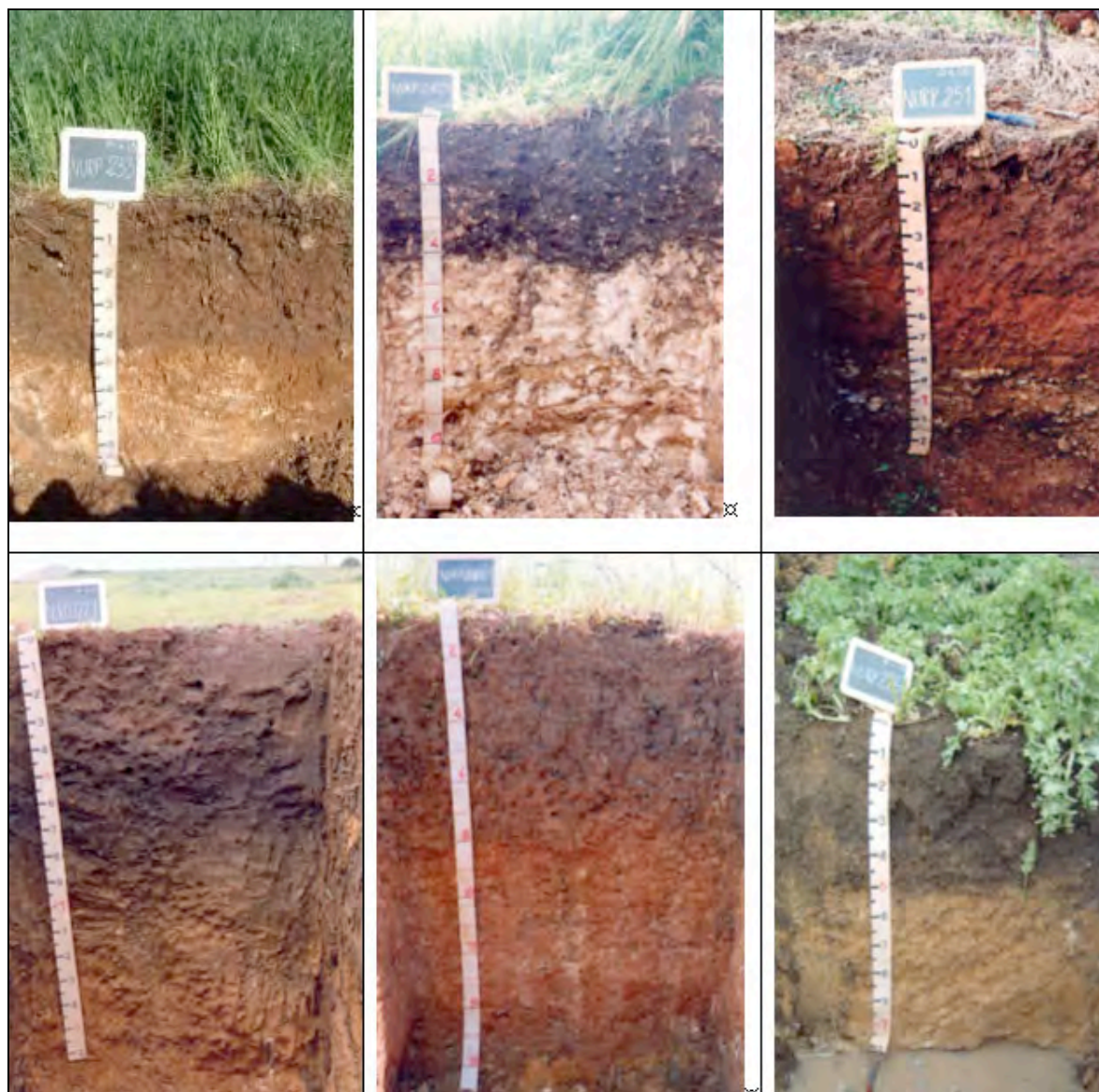
In questa sezione si riportano le metodologie e le classi utilizzate per caratterizzare i singoli profili di suolo dal punto di vista idrologico e funzionale, in maniera sintetica ed esaustiva. Questa caratterizzazione è necessaria al fine di fornire un criterio guida che agevolasse, nell'ambito della definizione delle Sottounità Tipologiche di Suolo (STS), il confronto tra profili, focalizzando l'attenzione su quei caratteri, in prima istanza idrologici, a cui il modello di valutazione si appoggia per il calcolo finale dei fabbisogni. La caratterizzazione ha riguardato solo i profili completi, ovvero quei profili in cui non vi sono "buchi" nella descrizione degli orizzonti e nel loro corredo analitico minimale (sabbia, limo, argilla e carbonio organico) entro una profondità di 150 cm dal piano campagna, a meno che entro tale profondità non si incontrino il substrato lapideo o comunque impenetrabile (strati di tipo R o Cr) oppure orizzonti fortemente restrittivi, quali petrocalcici o duripan.

Trattandosi di un numero elevato di osservazioni, è stato necessario predisporre una routine in grado di determinare se un profilo dispone o meno di tutti i dati necessari per definirlo come completo. La routine "scansiona", per ogni profilo, tutti i suoi orizzonti e determina se vi sono "buchi" nel corredo analitico o incongruenze (discontinuità o sovrapposizioni) tra le profondità di orizzonti successivi. I profili elaborati, corretti ed archiviati nella base dati CRA-ABP, su cui sono state lanciate le pedofunzioni per il calcolo dei parametri idrologici, sono stati in totale diverse migliaia (6.099) in tutte le regioni meridionali, distribuiti come da tabella 4.3.

Tabella 4.3- Distribuzione dei profili elaborati dalla Base Dati Nazionale per la creazione delle UTS ed STS

Regione	Numero Profili Completi
Abruzzo	734
Molise	915
Campania	433
Basilicata	586
Calabria	499
Puglia	756
Sicilia	1.405
Sardegna	756
Totale	6.099

Figura 4.7- Esempi di profili del suolo



Per ogni orizzonte di questi profili, fino a 150 cm di profondità o fino ad uno strato fortemente limitante (se presente entro 150 cm), sono stati calcolati i seguenti parametri fisici ed idrologici, direttamente o indirettamente utilizzati come input dal modello di calcolo idrologico di cui si parlerà più avanti:

Densità apparente: In assenza di misure dirette, per stimare la densità apparente (*bulk density*) sono state utilizzate delle funzioni di pedotrasferimento (PTF), ovvero delle funzioni che stimano la variabile obiettivo (in genere di difficile o non di routine determinazione) utilizzando parametri di più facile determinazione analitica. Per ogni orizzonte, in base al campo di applicabilità delle varie PTF e della disponibilità di dati analitici, possono essere utilizzati più metodi di calcolo. Viene selezionato il risultato restituito dal metodo caratterizzato dalla più elevata attendibilità. (Tab. 4.4)

Tabella 4.4 - Descrizione metodi e priorità delle PTF riguardanti il calcolo della densità apparente utilizzate nella base dati pedologica

Descrizione metodo	Priorità
BD per orizzonti organici, in assenza di PTF specifiche posta = 0.3	1
PTF Rawls & Brakensiek, 1985 "Prediction of soil water properties for hydrologic modelling"	2
PTF Hollis et al., 1995 "SEISMIC: User manual, Soil Survey and Land Research Centre, Cranfield University, Silsoe, UK"	2
PTF Leonaviciūtė, 2000 "Predicting soil bulk and particle densities by pedotransfer functions from existing soil data in Lithuania"	4
Media di misure	5

Conducibilità idraulica satura (Ksat): In assenza di misure dirette, analogamente a quanto fatto per la stima della densità apparente, sono state utilizzate delle funzioni di pedotrasferimento, come riportato nella seguente tabella.

Tabella 4.5 - Descrizione metodi, priorità, riferimenti e variabili di input per le PTF riguardanti la conducibilità idraulica satura nella banca dati pedologica

Descrizione metodo	Priorità
Media di misure	2
Wosten 2001 per suoli sabbiosi ($S \geq 70$)	1
Wosten 2001 per suoli loamy o argillosi ($S < 70$)	1
Wosten 1999	1
Saxton 1986	1
Jaynes_Tyler_1984_1	1
Cosby_1984	1
Campbell_Campbell_1982	1
Campbell_1985	1
Bloemen_1980	1
Jabro_1984	1
Jaynes_Tyler_1984_2	1
Vereecken_1980	1
Ksat per orizzonti organici, in assenza di PTF specifiche posta = 10 cm/h	1

Purtroppo, solo pochi autori esplicitano il campo di tessitura e/o di contenuto in C organico di applicabilità delle loro PTF, ad eccezione di Saxton e Wosten (2001).

Si è quindi stabilito di confrontare l'output di ogni PTF (escluse quelle che esplicitano il campo di applicabilità) con la seguente tabella di valori indicativi (desunti da letteratura) della Ksat (valori in cm/h) per classi tessiturali, accettando solo i risultati della PTF che rientrano nel range ammesso per la classe tessiturale dell'orizzonte (Tab. 4.6).

Tabella 4.6 - Range dei valori di variabilità per la conducibilità idraulica satura e classi tessiturali USDA⁵ di riferimento utilizzate per il confronto in prima fase di archiviazione risultati della corrispondente PTF.

Classe tessiturale USDA	Ksat Minima	Ksat massima
S	7,31	58,20
FS	1,03	37,09
SF	0,00	17,12
FSA	0,00010	8,49
FL	0,00010	3,90
F	0,00010	5,54
AS	0,00013	0,85
L	0,00731	1,03
FA	0,00010	2,17
A	0,00010	1,27
FLA	0,00067	0,58
AL	0,00309	0,35

Tutte le funzioni di pedotrasferimento per la stima della Ksat considerano, oltre che il carbonio organico, le singole frazioni granulometriche nella sola terra fine. In altri termini, non considerano lo scheletro. È viceversa unanimemente accettato il contributo della frazione più grossolana nel determinare la conducibilità idraulica.

L'effetto più macroscopico è l'aumento della Ksat al di sopra di valori soglia (in genere elevati) di contenuto di scheletro. Tale aumento è dovuto all'aumento della macroporosità da accatastamento dei clasti. Meno evidente, ma pure generalmente accettato (Brakensiek), è l'effetto di abbattimento della Ksat, rispetto a quella che risulterebbe considerando la sola terra fine, al di sotto del citato valore soglia. Tale effetto è dovuto all'interruzione delle linee di flusso idrico da parte dei frammenti grossolani.

È stata definita una funzione, partendo dai lavori di Hazen, Skirvin e Krumbein Monk, che restituisce l'andamento della Ksat in funzione della percentuale di scheletro e della tessitura della terra fine, rendendolo dapprima leggermente decrescente, poi fortemente crescente.

Curva di ritenzione idrica: Per la parametrizzazione in continuo della curva di ritenzione è stata adottata la forma funzionale proposta da Van Genuchten, che viene espressa come segue:

$$\theta = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) / [1 + (ah)^n]^m \quad (4.2)$$

dove:

θ è il contenuto idrico a una data tensione h ,

θ_r è il contenuto idrico residuale,

θ_s è il contenuto idrico a saturazione,

h è la tensione idrica,

a , n e m sono parametri dell'equazione.

Il parametro m è spesso posto uguale a $-1/n$.

Per gli orizzonti privi di determinazioni delle caratteristiche di ritenzione, che costituiscono la regola e non l'eccezione, sono state utilizzate delle PTF (Tab. 4.7) che stimano i parametri dell'equazione

⁵ United States Department of Agriculture

di Van Genuchten a partire da altri dati misurati, quali la tessitura, il carbonio organico e la densità apparente.

Tabella 4.7 - Metodo e relativa priorità utilizzati nella banca dati pedologica per il calcolo dei punti della curva di ritenzione idrica (Punti di pF)

Descrizione metodo	Priorità
Parametri della curva di Van Genuchten per orizzonti organici, in assenza di PTF specifiche	1
Parametri di Van Genuchten calcolati mediante fitting su dati misurati	2
Parametri della curva di Van Genuchten calcolati con la PTF di Hypres	3
Parametri della curva di Van Genuchten calcolati con la PTF di Scheinost (parametri θ_s θ_r) e di Simota (parametri α , n e m)	4
Parametri di Van Genuchten calcolati mediante la PTF di Vereecken	5
Parametri della curva di Van Genuchten calcolati con la PTF di Vereecken (parametri θ_s θ_r) e di Simota (parametri α , n e m)	6

Per ogni orizzonte, in base al campo di applicabilità delle varie PTF e della disponibilità di dati analitici, possono essere utilizzati più metodi di calcolo.

4.2 Costruzione della banca dati dei parametri culturali

La componente geometrica della banca dati è costituita dai poligoni della cartografia di uso del suolo, che come detto, non raggiungono un livello di dettaglio necessario alla discriminazione delle singole colture.

Per poter pervenire alla stima del fabbisogno irriguo cumulato per ciascun poligono della base cartografica si è proceduto ad una integrazione tra il dato geografico ed i dati di natura statistica.

In particolare sono stati presi a riferimento i dati annuali sulle coltivazioni pubblicati dall'ISTAT (<http://www.istat.it/agricoltura/datiagri/coltivazioni>).

Tali dati sono articolati a livello provinciale, pertanto si è creato – attraverso un'operazione di intersezione – uno strato geografico attribuendo a ciascun poligono la relativa provincia di appartenenza.

Si è quindi creata una tabella di corrispondenza per ogni combinazione di poligono di uso del suolo e dati ISTAT sulle colture, definendo dei raggruppamenti culturali omogenei (Tab. 4.8):

Tabella 4.8 – Raggruppamenti colturali omogenei

ID Gruppo Colturale	Descrizione
1	Brassicacee
2	Colture in serra
3	Colture industriali
4	Cucurbitacee
5	Foraggiere
6	Ortive a ciclo estivo primaverile sotterranee
7	Ortive a ciclo autunno primaverile di superficie
8	Ortive a ciclo estivo primaverile di superficie
9	Ortive a ciclo primaverile estivo di superficie
10	Solanacee
11	Riso
12	Frutta secca
13	Frutteti a raccolta autunno invernale
14	Frutteti a raccolta primaverile estiva
15	Vite
16	Olivo

Ciascun raggruppamento colturale comprende una serie di colture, tra cui ne è stata scelta una di riferimento come la più rappresentativa del gruppo nel contesto provinciale, su cui è stato effettuato il calcolo dei fabbisogni.

Nella tabella 4.9 si mostra per il codice 212 (seminativi irrigui) della cartografia di uso del suolo, relativo alla Provincia 87 (Catania) la percentuale di superficie occupata da ciascun gruppo colturale che compone il codice 212, e per ciascun gruppo il codice della coltura di riferimento.

Tabella 4.9 - Esempio della strutturazione delle relazioni tra province e percentuali di colture presenti nella base dati colture

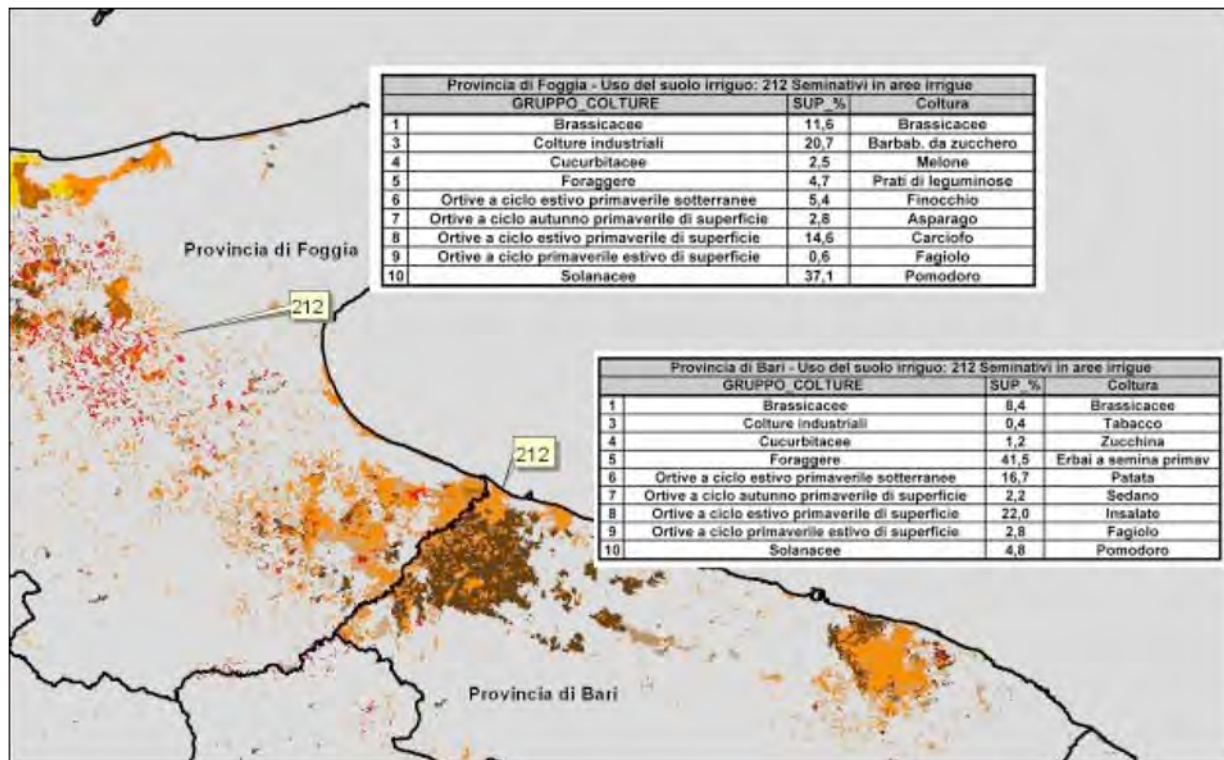
ID Provincia	Codice Uso del suolo	ID gruppo Colture	Superficie %	Coltura riferimento
87	212	3	5,0	Girasole
87	212	4	7,9	Anguria
87	212	5	4,3	Prati di leguminose
87	212	6	15,1	Patata
87	212	7	1,5	Barbabietola da orto
87	212	8	19,6	Carciofo
87	212	9	1,7	Pisello

I codici vigneti, oliveti, risaie hanno un solo gruppo colturale che li rappresenta per la totalità della superficie ed essi hanno una sola coltura di riferimento uguale per tutte le province.

Inoltre, non avendo dati sufficienti, sono stati attribuite alle colture miste (codici 2411 e 2421), le stesse percentuali dei gruppi colturali presenti nei seminativi.

La figura seguente fornisce un esempio in termini cartografici della distribuzione culturale.

Figura 4.8 - Esempio di differenti distribuzioni di percentuali di colture all'interno dei territori provinciali di due diverse province della regione Puglia.



Per ciascuna coltura presente nel database sono stati definiti i parametri necessari alla simulazione dello sviluppo della coltura e al calcolo dell'evapotraspirazione potenziale, quali il LAI⁶, il Coefficiente Culturale, la profondità dell'apparato radicale, la soglia dell'intervento irriguo e laddove disponibili parametri relativi alla data di semina, all'inizio e durata della stagione irrigua.

La tabella seguente riporta in maniera dettagliata, per alcune colture di esempio, tutti i dati presenti nel database colture, mentre la tabella 4.11 fornisce la relativa Metainformazione.

⁶Indice di area fogliare (m^2/m^2)

Tabella 4.10 - Parametri culturali presenti nella Base dati colture

06	Coltura	Profondità estraz.	Soglia intervento irriguo	Soglia T° min	Soglia Tmax	Inizio semina	Fine semina	Giorno II	Giorno FI	aLAI	bLAI	LAI min	LAI max	Kc max	E	Fase 3	Fase 4	c4 LAI	n4 LAI	PR Max	N tagli	SC	II
	Actinidia	80	30	10	40			120	300	0,10	-0.0061	0	3.07	1.00		610	1323	11	4	120		4	0
	Fragola	25	30	5	25			80	270	0,05	-0.0009	0.33	3.06	0.08	0	2100	1000	11	5	60		4	0
	Girasole	70	55	8	35	50	120	135	210	0,14	-0.0069	0	4.06	1.02	60	1053	1303	7	6	150		1	140
	Insalate	30	35	6	30	32	181	140	270	0,23	-0.0147	0	3.03	0.08	100	700	1000	10	4	50		7	0
	Mais	60	50	9	40	91	120	120	240	0,13	-0.0040	0	3.01	1.02	60	1437	474	8	4	150		1	145
	Mandarin o	80	55	12.08	38			120	270				3.03	0.07						150		7	0
	Melanzan a	60	45	10	30	60	90	135	270	0,12	-0.0046	0	4.06	1.02	100	1389	400	10	5	110		1	0
	Melo	55	45	5	40			150	270	0,17	-0.0057	0	3.07	1.00		1284	1214	9	4	120		4	0
	Melone	60	40	12	36	91	151	135	225	0,12	-0.0046	0	3.09	1.01	100	1393	148	11	5	140		1	0
	Nettarina	100	55	7	40			135	255	0,09	-0.0070	0	4.07	0.09		982	1953	9	4	150		4	0
	Olivo	150	70	10	40			120	300				3.02	0.06						150		7	0
	Patata	35	30	8	40	40	60	90	210	0,23	-0.0147	0	2.05	1.02	80	1500	600	10	4	60		1	0
	Peperone	40	30	11	35	50	90	135	270	0,11	-0.0114	0	3.08	1.01	100	479	842	10	6	100		1	0
	Pero	55	45	10	40			135	300	0,15	-0.0033	0	4.09	1.00		2200	0	10	4	120		4	0
	Pesco	70	45	7	40			135	255	0,09	-0.0070	0	4.07	0.09		982	1953	9	4	140		4	0
	Pisello	40	40	4.04	28	75	90	90	240	0,06	-0.0032	0	5.00	1.01	100	1350	0	9	4	100		1	0
	Pomodoro	70	40	10	40	60	90	135	225	0,13	-0.0066	0	4.00	1.03	100	1025	1095	7	4	150		1	135
	Prati polifiti	70	55	1	40		51	90	300	0,22	-0.0112	1	4.08	1.02		800	800	10	4	150	2	5	0
	Silomais	60	50	9	40	91		120	240	0,13	-0.0040	0	3.01	1.02	60	1437	474	8	4	150		1	145
	Tabacco	40	45	13	40	57		95	270	0,13	-0.0221	0	4.07	1.02	60	330	710	6	5	100		1	0
	Vite	80	45	10	40			150	240	0,07	-0.0070	0	4.06	0.08		825	945	7	4	150		4	0
	Zucchina	50	55	10	30	70	120	135	225	0,12	-0.0046	0	3.09	1.01	100	1343	614	11	5	90		1	0

Tabella 4.11 – Descrizione dei parametri culturali presenti nella Base dati colture

NOME CAMPO	DESCRIZIONE
Coltura	Nome della coltura
Profondità di estrazione	Profondità entro la quale avviene la maggior parte dell'assorbimento idrico
Soglia intervento irriguo	% della capacità di ritenzione idrica (AWC) al di sotto la quale la coltura andrebbe in stress idrico se non irrigata
Soglia Tmin	Soglia termica minima per lo sviluppo della coltura (°C)
Soglia Tmax	Soglia termica massima per lo sviluppo della coltura (°C)
Inizio semina	Giorno giuliano a partire dal quale il modello di simulazione dello sviluppo della coltura cerca le condizioni termiche che consentono la semina
Fine semina	Giorno giuliano in cui il modello di simulazione considera seminata la coltura, nel caso non si siano verificate le condizioni termiche ideali per la semina
Giorno II	Giorno giuliano a partire dal quale il modello di simulazione verifica la necessità di intervento irriguo
Giorno FI	Giorno giuliano dopo cui il modello di simulazione cessa la verifica della necessità di intervento irriguo
aLAI	Parametro di forma che descrive l'andamento del LAI nella fase crescente in funzione della sommatoria termica
bLAI	Parametro di forma che descrive l'andamento del LAI nella fase crescente in funzione della sommatoria termica
LAI Min	LAI minimo nel ciclo della coltura
LAI Max	LAI massimo nel ciclo della coltura
KC Max	Kc massimo della coltura
E	Sommatoria termica a partire dal giorno di semina necessaria per l'emergenza
Fase 3	Sommatoria termica dall'emergenza fino al giorno in cui la coltura raggiunge il LAI max
Fase 4	Sommatoria termica dal giorno in cui la coltura raggiunge il LAI max fino al giorno in cui la coltura raggiunge il LAI min
c4 LAI	Parametro di forma che descrive l'andamento del LAI nella fase decrescente in funzione della sommatoria termica
n4 LAI	Parametro di forma che descrive l'andamento del LAI nella fase decrescente in funzione della sommatoria termica
PR Max	Profondità massima di radicazione
N TAGLI	Numero di sfalci o tagli (per colture prative)
SC	Identificativo del tipo di procedura di calcolo dello sviluppo
II	Numero di giorni a partire dalla semina dopo i quali l'irrigazione viene cessata per favorire la maturazione del prodotto

Alcuni dei parametri (Soglie termiche, aLAI, bLAI, LAImin, LAImax, E, n4LAI, c4LAI) utilizzati per descrivere l'andamento dello sviluppo colturale e dell'evapotraspirazione in funzione dell'andamento termico (sommatoria gradi giorno), per molte colture sono stati ricavati da dati sperimentali esistenti, mentre per le colture in cui tali parametri non erano presenti, si sono utilizzati i dati sperimentali in combinazione con i dati termometrici della relativa stazione, calcolando, mediante regressioni, i suddetti parametri per le colture monitorate in campo ed estendendo i valori alle rimanenti colture con il criterio dell'affinità del comportamento fisiologico.

Nella tabella 4.12 si riportano le procedure di calcolo dello sviluppo colturale, definite per gruppi di colture omogenee.

ID	TIPO COLTURE	DESCRIZIONE STRATEGIA
1	Erbacee a ciclo primaverile-estivo	Il ciclo della coltura si svolge nel corso del medesimo anno solare. A partire dalla data di inizio semina, viene cercato il giorno in cui la temperatura dei 5 giorni precedenti è superiore alla soglia termica della coltura. Lo sviluppo del LAI è approssimato supponendo 3 fasi fenologiche, ciascuna con un proprio ritmo di crescita: - fase di emergenza: presente solo nelle colture erbacee - fase di crescita del LAI, fino al raggiungimento del LAI massimo - fase di decrescita del LAI La profondità delle radici varia nel corso della stagione in funzione del LAI. Raggiunta la sommatoria termica corrispondente alla fase 4, la coltura viene considerata come terminata (raccolta).
2	Erbacee a ciclo autunno-primaverile	Il ciclo della coltura si svolge a cavallo di due anni solari. A partire dalla data di inizio semina, viene cercato il giorno in cui la temperatura dei 5 giorni precedenti è superiore alla soglia termica della coltura. Lo sviluppo del LAI è approssimato supponendo 3 fasi fenologiche, ciascuna con un proprio ritmo di crescita: - fase di emergenza: presente solo nelle colture erbacee - fase di crescita del LAI, fino al raggiungimento del LAI massimo - fase di decrescita del LAI La profondità delle radici varia nel corso della stagione in funzione del LAI. Raggiunta la sommatoria termica corrispondente alla fase 4, la coltura viene considerata come terminata (raccolta).
4	Arboree caducifoglie	Il primo giorno dell'anno il LAI è = 0. Lo sviluppo del LAI è approssimato supponendo 2 fasi fenologiche: - fase 3: fase di crescita del LAI, fino al raggiungimento del LAI massimo - fase 4: fase di decrescita del LAI La profondità delle radici è costante, e corrisponde alla profondità massima di radicazione propria della specie (a meno che il suolo non sia più sottile). Raggiunta la sommatoria termica corrispondente alla fase 4, il LAI si riduce esponenzialmente, raggiungendo il valore minimo di LAI il 15 novembre.
5	Prative poliennali	Il primo giorno dell'anno il LAI è = LAI minimo (circa 1). Raggiunto il LAI massimo, viene "generato" uno sfalcio. Il numero di sfalci nell'anno è un dato in input. Dopo l'ultimo sfalcio, il LAI decresce fino a raggiungere il LAI minimo. La profondità delle radici è costante, e corrisponde alla profondità massima di radicazione propria della specie (a meno che il suolo non sia più sottile).
7	Arboree sempreverdi e ortive a ciclo breve	Il LAI è costante nel corso dell'anno. La profondità delle radici è costante, e corrisponde alla profondità massima di radicazione propria della specie (a meno che il suolo non sia più sottile). Le ortive a ciclo breve sono trattate con questa strategia di calcolo in quanto per esse non erano disponibili dati sufficienti per simulare la successione di più cicli nel corso dell'anno (ciascuno di essi caratterizzato da una fase di emergenza e da una di incremento del LAI).
8	Riso	Lo sviluppo della coltura non è simulato date le particolari condizioni di coltivazione, pertanto è stato attribuito un fabbisogno medio derivato da dati bibliografici.

Tabella 4.12 – Strategie di descrizione del ciclo culturale

4.2.1 Scenari di strategie irrigue

Per strategia irrigua si intende, in questo contesto, una combinazione univoca di tecnica di adacquamento, intensità oraria e durata della singola adacquata, criteri per l'individuazione del momento di intervento irriguo.

In assenza di informazioni sufficienti a definire sia le diverse strategie irrigue realmente adottate dagli agricoltori nei diversi ambiti territoriali e nelle differenti realtà produttive, sia ipotesi alternative e migliorative, sono stati definiti per ogni coltura, due diversi scenari di strategia irrigua, differenziati in base al tipo di organizzazione aziendale necessaria:

- Scenario a basso input tecnologico aziendale, caratterizzato dall'utilizzo diffuso di tecniche irrigue più estensive e meno efficienti;
- Scenario ad alto input tecnologico aziendale, caratterizzato dall'utilizzo diffuso di tecniche irrigue più intensive ed efficienti.

Per ogni coltura e per ogni scenario irriguo (Tab. 4.13), si sono definite, in termini di tipo, durata e intensità, le caratteristiche degli interventi irrigui standard. Le caratteristiche irrigue non variano in funzione dell'ambito territoriale, in quanto non erano disponibili informazioni sufficienti a differenziare le caratteristiche ad un maggiore livello di dettaglio.

Tabella 4.13 – Descrizione degli scenari irrigui utilizzati

Coltura	Basso input tecnologico aziendale			Alto input tecnologico aziendale		
	Tecnica	Intensità (mm/h)	Durata (h)	Tecnica	Intensità (mm/h)	Durata (h)
Carciofo	aspersione con ali mobili	12	7	goccia	3	6
Ciliegio	manichetta forata	17	1	goccia	3	7
Cocomero	aspersione con ali mobili	12	7	manichetta forata	17	1
Fragola	aspersione con ali mobili	12	7	manichetta forata	17	1
Insalate	aspersione con ali mobili	12	7	manichetta forata	17	1
Mais	Aspersione con semovente (Rotolone)	19	4	Pivot	20	5
Melanzana	aspersione con ali mobili	12	7	manichetta forata	17	1
Melone	aspersione con ali mobili	12	7	manichetta forata	17	1
Olivo irriguo	manichetta forata	17	1	goccia	3	7
Patata	aspersione con ali mobili	12	2	goccia	3	7
Pesco	manichetta forata	17	1	goccia	3	8
Pomodoro	aspersione con ali mobili	12	2	goccia	3	6
Vite	aspersione con ali mobili	15	7	goccia	3	7
Zucchini	aspersione con ali mobili	12	7	manichetta forata	17	1

4.3 Costruzione banca dati agrometeorologica

L'obiettivo di questa attività è stato quello di creare per le regioni del sud dell'Italia interessate nel progetto, aree climaticamente omogenee, secondo specifici indici agroclimatici funzionali all'uso irriguo.

Da un punto di vista geometrico le aree omogenee sono costituite da un gruppo di poligoni geografici (i Sottosistemi di Terre) già definiti e delineati con criteri paesaggistici.

Per raggiungere gli obiettivi sopra elencati sono state realizzate le mappe degli indici climatici scelti attraverso la spazializzazione dei dati climatici relativi ad alcune stazioni meteorologiche distribuite su tutta l'area di studio; si è infine effettuata una classificazione del territorio in aree omogenee mediante tecniche statistiche. Per ciascuna area omogenea si è poi individuata la stazione meteo più rappresentativa, utilizzando nel modello i dati climatici giornalieri dell'ultimo decennio.

4.3.1 Metodologia

La rappresentazione di un tema di interesse geografico di natura climatica in un sistema informativo geografico è generalmente effettuata in modalità raster; le informazioni provenienti da stazioni meteorologiche sono invece di natura puntuale. Pertanto, per meglio gestire a livello geografico questo tipo di informazione, si è reso necessario un preliminare trattamento statistico che ha permesso di passare dalla serie di dati puntuali originari a una distribuzione continua nello spazio.

Per eseguire questo passaggio possono essere impiegati diversi metodi che si rifanno al campo della statistica applicata. Qualunque sia la natura della tecnica usata (metodi basati sulla regressione, metodi geostatistici o altro) lo scopo è stimare il più fedelmente possibile, a partire dai valori noti della variabile in posizioni discrete, i valori incogniti della stessa variabile sull'intero grigliato regolare rappresentato dal raster.

Con il termine "spazializzazione" nel linguaggio tecnico si intende questo passaggio da dati puntuali a dati omogenei, mentre le varie "tecniche di spazializzazione" si distinguono a seconda dell'algoritmo di calcolo usato.

È importante osservare che non esiste una tecnica di spazializzazione che possa considerarsi ottimale per la ricostruzione di qualsiasi tipo di dato meteoroclimatico. Infatti, la distribuzione spaziale dipende dalla natura della variabile in esame. È essenziale, inoltre, il contesto di spazializzazione ovvero l'insieme di parametri che derivano dal formato temporale dei dati da spazializzare, dalle caratteristiche topografiche dell'area in cui viene effettuata l'interpolazione, dalla stagione e dalla numerosità dei dati a disposizione.

4.3.2 Dati utilizzati

È stato realizzato un database, dove per ciascun giorno giuliano, si sono riportati i dati di temperatura (T_{min} , T_{max}), di piovosità (P) ed evapotraspirazione potenziale (E_{t_0}), espressi come dati medi di ciascun giorno giuliano della serie storica.

Per la realizzazione delle spazializzazioni sono stati utilizzati i dati puntuali di 319 stazioni meteorologiche distribuite sul territorio in esame. Le variabili utilizzate sono state la temperatura minima, la temperatura massima e le precipitazioni aggregate mensilmente.

La variabile presente nelle tabelle dell'evapotraspirazione è stata calcolata successivamente e non spazializzata direttamente per una migliore rappresentazione del fenomeno.

Un dato ausiliario di fondamentale importanza in questo tipo di analisi è il modello digitale del terreno DTM derivato direttamente dal dato SRTM della missione Shuttle. La risoluzione a terra del pixel è stata ridotta a 250 m. In questo caso il DTM è stato utilizzato dalla procedura di calcolo della spazializzazione che restituisce come output un prodotto con la medesima risoluzione.

4.3.3 La tecnica di spazializzazione utilizzata

Per la spazializzazione dei dati di temperatura e di precipitazione è stato utilizzato un algoritmo di regressione lineare locale con la quota pesata sulla distanza dalle stazioni. Questo algoritmo ha riscontrato precisioni elevate rispetto ai consueti algoritmi di spazializzazione presenti anche nei software GIS (Poligoni di Thiessen, Kriging, inverso della distanza, ecc), ed è stato sviluppato ex novo e non è presente in nessun pacchetto commerciale.

La tecnica di spazializzazione della regressione lineare pesata impone, rispetto ad un modello di regressione lineare un sistema, di pesi variabili all'interno del dominio di interpolazione. Ne segue una ricerca dei regressori variabili localmente, che accresce la possibilità di una stima più fedele della variabile. La tecnica permette il rilevamento della non stazionarietà delle relazioni fra la variabile climatica ed i parametri caratteristici di un territorio e presenta una naturale flessibilità rispetto ai modelli regressivi lineari. La regressione pesata è stata utilizzata presso IBIMET da Maselli in contesti di analisi spettrale di immagini da remote-sensing (Maselli, 2001).

Un modello di regressione lineare con due variabili di predizione può essere scritto come segue:

$$\gamma(g) = \beta_0 + \beta_1\chi_1 + \beta_2\chi_2 + \varepsilon \quad (4.3)$$

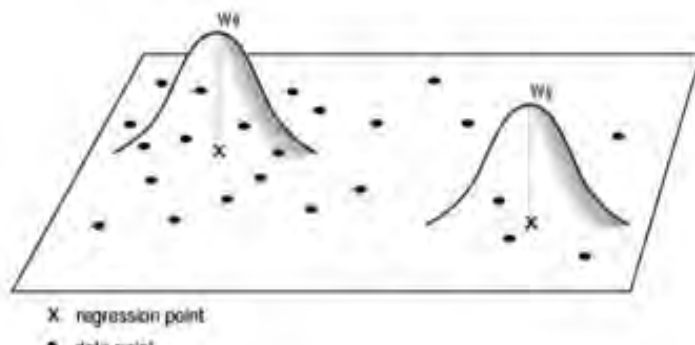
dove γ è la variabile dipendente, X_1 e X_2 sono le variabili indipendenti (in questo caso rappresentate dai metadata delle stazioni meteorologiche), β_0 , β_1 e β_2 sono i regressori e ε è un termine che esprime l'errore random. L'ipotesi è che i valori di β_0 , β_1 e β_2 siano costanti su tutta l'area di studio.

Invece, un modello regressivo lineare pesato può essere espresso come una funzione del vettore delle coordinate g:

$$\gamma(g) = \beta_0(g) + \beta_1(g)\chi_1 + \beta_2(g)\chi_2 + \varepsilon \quad (4.4)$$

Il calcolo di regressori è pesato da una funzione di peso locale $W(g)$ tale che i dati delle stazioni più vicine alla posizione g sono pesati maggiormente rispetto ai dati delle stazioni più lontane.

Figura 4.9 - Come agisce la funzione peso locale



La successione della metodologia è sintetizzata nella figura 4.9. In aggiunta all'approccio “pesato”, questa tecnica usa, nel calcolo della variabile da ricostruire, la correlazione con una covariata, in questo caso la quota. Il valore in ciascun pixel del raster è stimato dai valori normalizzati di quota e di pioggia (o di temperatura) come combinazione lineare dei rispettivi valori sulle stazioni localmente più vicine alla posizione del pixel da stimare.

Il peso della combinazione lineare, indicato con w_i nell'equazione che segue, dipende dalla distanza di ciascuna stazione dal pixel in esame e da due parametri che definiscono la curva di smorzamento.

$$w_i = e^{-d_i/R_f} \quad (4.5)$$

$$z_m = \frac{\sum_{i=1}^{N_{staz}} w_i * z_i}{\sum_{i=1}^{N_{staz}} w_i} \quad (4.6)$$

$$v_m = \frac{\sum_{i=1}^{N_{staz}} w_i * v_i}{\sum_{i=1}^{N_{staz}} w_i} \quad (4.7)$$

I due parametri che definiscono la curva di smorzamento, che è una funzione di tipo esponenziale negativo, sono la distanza massima da considerare (d_i), oltre la quale la curva è troncata con il conseguente azzeramento dei pesi, e il range R_f della regressione pesata, che in letteratura è espresso con il termine di *bandwidth*.

Al diminuire del parametro R_f la curva di smorzamento decresce più rapidamente. Il parametro d_i influisce invece sulla “località” dell'algoritmo di interpolazione. Con una serie di test svolti facendo variare R_f , è stato stabilito che il valore ottimale medio è pari a 50 km per il tipo di variabili considerate.

4.3.4 Dettaglio della procedura utilizzata

Utilizzando i dati puntuali (precipitazione, temperatura minima e massima) delle stazioni meteorologiche ed i dati raster del DTM si sono prodotti, utilizzando la procedura della spazializzazione, degli strati raster per ogni mese relativi alle precipitazioni ed alle temperature.

Sulla base di queste prime elaborazioni è stato calcolato il valore di ET_0 mensile secondo la seguente procedura che ha implementato la formula Hargreaves-Samani.

- Declinazione solare espressa in radianti:

$$\delta = 0.4093 * \sin\left(\frac{2\pi}{365}(284 + d)\right) \quad (4.8)$$

dove d è il giorno giuliano.

- Costante solare espressa in w/m^2 :

$$I_0 = 1367 * (1 + 0.033 * \cos(\frac{2\pi}{365} * d)) \quad (4.9)$$

- Angolo orario al tramonto, misurato in radianti a partire dal mezzogiorno:

$$H_r = \arccos(-\tan \delta * \tan \phi) \quad (4.10)$$

Nella formula ϕ è la latitudine. In questo caso è stato creato uno strato geografico, contenente per ogni cella il valore di latitudine, in modo da calcolare H_r .

- Radiazione extraterrestre giornaliera, espressa in KJ/(m² · giorno):

$$R_A = \frac{86.4 * I_0}{\pi} (\sin \delta \sin \phi * H_T + \cos \delta \cos \phi \sin H_T) \quad (4.11)$$

La radiazione è stata quindi calcolata anch'essa su base raster.

Dette T_{min} e T_{max} le temperature dell'aria minima e massima giornaliere in °C si ha:

Temperatura media in °C:

$$T = (T_{\max} + T_{\min}) / 2 \quad (4.12)$$

Escursione termica in °C:

$$\Delta T = (T_{\max} - T_{\min}) \quad (4.13)$$

Calore latente di evaporazione dell'acqua in KJ/kg:

$$\lambda = (2.501 - 0.002361 * T) * 10^3 \quad (4.14)$$

La formula di Hargreaves per la stima dell'evapotraspirazione di riferimento espressa in mm/giorno è a questo punto la seguente:

$$ET_0 = C * \frac{R_A}{\lambda} * \sqrt{\Delta T} * (T + 17.8) \quad (4.15)$$

ove in letteratura il parametro C è solitamente fissato al valore 0,0023.

Sono stati calcolati per ogni mese, in ciascuna cella del raster i valori relativi all'evapotraspirazione quali somma dei valori giornalieri.

4.3.5 Il calcolo degli indici agro-climatici

Per classificare il territorio in termini di omogeneità agro-climatica, sono stati considerati i due principali fattori che maggiormente regolano l'efficienza dell'attività agricola in senso lato e l'irrigazione nello specifico: la disponibilità idrica e la disponibilità di energia.

La disponibilità idrica è stata determinata attraverso il calcolo del Deficit Idrico Potenziale (DIP) che è il deficit teorico che si può misurare in un prato che copre completamente il terreno, in condizioni idriche ottimali e senza limitazioni per l'evapotraspirazione. Il deficit idrico potenziale rappresenta la sommatoria delle differenze giornaliere tra la precipitazione e l'evapotraspirazione di riferimento ($\Sigma(P - ET_0)$) e fornisce un'informazione diretta sulla maggiore o minore aridità di una località e quindi,

indirettamente, sulle potenzialità agricole del territorio e sui fabbisogni irrigui. Il calcolo è stato eseguito su ciascuna cella del raster dai dati mensili spazializzati.

La disponibilità di energia viene determinata attraverso il calcolo della sommatoria termica, definita come la sommatoria dei gradi giorno cumulati a partire dal 1 gennaio di ciascun anno.

La funzione standard per il calcolo della somma gradi giorno è la seguente:

$$SommaGG = (T_{min} + T_{max}) / 2 - Soglia \quad (4.16)$$

Dove:

SommaGG: somma gradi giorno [°C d]

T_{min} e T_{max} : temperature minime e massime giornaliere [°C d]

Soglia: valore minimo della temperatura, dipendente della coltura, che deve essere superato perché abbia inizio lo sviluppo delle radici e delle foglie [°C d]. Si è utilizzata come soglia inferiore il valore di 0°C.

Per le colture arboree e prative il calcolo della somma gradi giorno inizia il primo gennaio e viene azzerato il 31 dicembre di ogni anno. Per le colture erbacee e orticole invece si inizia il calcolo a partire dalla data di inizio semina della coltura. Anche in questo caso gli indici della sommatoria termica sono stati calcolati per ciascuna cella dai dati mensili spazializzati.

4.3.6 Classificazione

Utilizzando il file in formato raster della sommatoria termica e del deficit idrico potenziale è stata realizzata una classificazione di tipo *unsupervised* (analisi dei cluster).

Ogni cluster rappresenta quindi porzioni di territorio con caratteristiche climatiche simili.

Per ogni classe è stata selezionata la stazione meteorologica più simile in termini climatologici calcolando la minima distanza tra la media della classe e i valori della stazione sui termini del deficit e della sommatoria termica.

4.3.7 Risultati

L'immagine che segue mostra le aree climatiche omogenee determinate secondo la metodologia sopra descritta. Le classi sono state suddivise per ambito geografico e ove opportuno, sono state accorpate e riportate ai sottosistemi.

Figura 4.10 - Aree climatiche omogenee

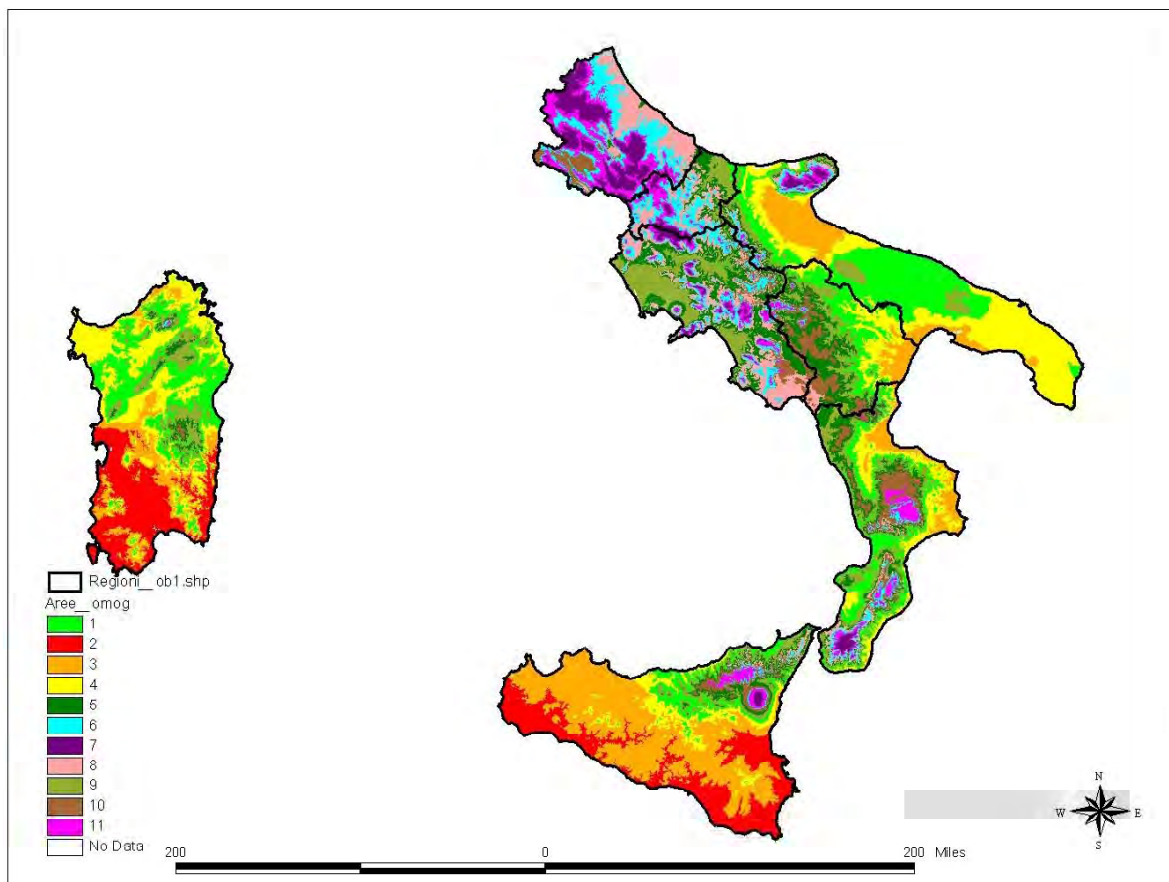


Tabella 4.14 - Descrizione e estensione delle 11 aree omogenee climatiche

ID_area	Descrizione	area (kmq)
1	Sicilia e Sardegna alto collinare; Murge e altro	17798
2	Campidano e piane costiere siciliane	12504
3	Sicilia e Sardegna basso collinare; basso Tavoliere; arco ionico tarantino; Piana di Sibari	20174
4	Salento, medio Tavoliere, basse colline ioniche calabre, colline sassaresi e nuoresi	19861
5	Strette fasce alte collinari	10414
6	Collinare Abruzzo Molise e Campania	6676
7	Alto Abruzzo e Molise, alto Aspromonte e alto Etna	3944
8	Costiero adriatico e parte del costiero campano e retrocostiero campano	7920
9	Costiero tirrenico campano calabro e fascia interna appenninica	12332
10	Montano calabro lucano, Sila	5750
11	Alto collinare e montano Abruzzo; Gargano, Sila, Aspromonte, Nebrodi e Etna	5700

Sulla base delle aree omogenee individuate è stato calcolato l'andamento statistico dei 4 indicatori scelti, Deficit idrico potenziale, Sommatoria termica, Precipitazione e temperature medie annue (Tab. 4.15).

Tabella 4.15 - Andamento statistico degli indicatori climatici selezionati per le 11 tipologie di aree omogenee individuate

ID_area	descrizione	Defici idrico potenziale (mm)			Sommatoria termica (°C)			Precipitazione media annua (mm)			Temperatura media annua (°C)		
		Min	Max	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean
1	Sicilia e Sardegna alto collinare; Murge e altro	-512	-583	-542,8	97	231	181,4	471,3	1188,9	743,1	7,9	19,3	15,1
2	Campidano e piane costiere siciliane	-669	-779	-710,8	186	226	206,4	295,4	813,7	554,9	15,6	18,7	17,2
3	Sicilia e Sardegna basso collinare; basso Tavoliere; arco ionico tarantino; Piana di Sibari	-610	-675	-641,2	145	232	195,1	406,6	1072,9	650,4	12,1	19,4	16,3
4	Salento, medio Tavoliere, basse colline ioniche calabre, colline sassaresi e nuoresi	-552	-613	-586,5	111	233	192,1	478,3	1112,7	697,7	9,1	19,4	16,0
5	Strette fasce alto collinari	-425	-488	-449,4	92	210	163,8	554,7	1464,6	973,5	7,4	17,5	13,6
6	Collinare Abruzzo Molise e Campania	-322	-387	-361,1	104	181	149,9	738,9	1665,3	992,9	8,5	15,1	12,5
7	Alto Abruzzo e Molise, alto Aspromonte e alto Etna	-173	-296	-257,1	86	156	105,6	872,5	2138,3	1119,3	6,9	12,9	8,7
8	Costiero adriatico e parte del costiero campano e retrocostiero campano	-375	-431	-405,9	148	201	170,5	651,2	1412,7	962,5	12,1	16,8	14,2
9	Costiero tirrenico campano calabro e fascia interna appenninica;	-461	-526	-492,0	92	223	175,1	469,4	1230,5	905,7	7,4	18,6	14,6
10	Montano calabro lucano, Sila	-362	-450	-402,5	86	151	129,8	733,3	1676,6	1072,0	7,0	12,9	10,8
11	Alto collinare e montano Abruzzo; Gargano, Sila, Aspromonte, Nebrodi e Etna	-277	-362	-318,6	86	168	123,9	812,9	1878,1	1095,0	6,9	13,9	10,3

All'interno di ciascuna area climatica sono state poi individuate le stazioni più rappresentative delle condizioni climatiche medie e per ciascuna di esse sono stati cercati e reperiti i dati giornalieri di temperatura minima e massima e le precipitazioni relativamente agli ultimi 10 anni (1996-2007). Notevoli sono state le difficoltà incontrate nel reperire tali dati, in quanto non sempre sono stati accessibili, non sempre vi erano i dati, non sempre un parametro era stato registrato con sufficiente continuità.

Gran parte dei dati delle stazioni sono state ottenute dal CRA-CMA (Unità di ricerca per la Climatologia e la Meteorologia applicate all'Agricoltura-ex UCEA), alcune dall'Istituto Idrografico della Regione Abruzzo e dell'Ufficio Idrografico della Regione Campania.

I dati giornalieri di queste stazioni sono stati tutti importati nella banca dati e sono stati elaborati; dapprima sono stati ricostruiti i dati mancanti: per la temperatura sono state prese le medie dei giorni precedenti e successivi al dato mancante mentre per la pioggia si sono guardati i dati delle stazioni limitrofe e, dove non ci fosse altra possibilità, si è lasciato il dato mancante.

In seguito si è calcolato l'evapotraspirazione potenziale con la formula di Hargreaves-Samani, introducendo tuttavia nel calcolo il fattore C ricavato dall'INEA (Thiery, 2001), sulla base di correlazioni locali fra la formula di Hargreaves e la più complessa formula di Penman-Monteith.

Con l'evapotraspirazione potenziale si è potuto calcolare il deficit idrico potenziale di ciascuna stazione per ciascun anno e conseguentemente indicare l'anno medio e l'anno più siccitoso del periodo a disposizione. Tale scelta si è basata anche sulla qualità dei dati giornalieri cioè sulla quantità di dati assenti o ricostruiti.

Le aree omogenee sono poi diventate un attributo delle geometrie dei pedopaesaggi che sono alla base delle valutazioni del progetto; ogni poligono, infatti, è stato attribuito ad un'area omogenea mediante tecniche GIS secondo il criterio della maggior frequenza (MAJORITY).

4.4 Il modello di calcolo dei fabbisogni irrigui

Il modello di calcolo dei fabbisogni irrigui si basa sulla determinazione del deficit idrico nel suolo, che deriva dal bilancio giornaliero tra quota utile degli apporti meteorici e richiesta evapotraspirativa della coltura.

$$D_i = (P_i + U_i + I_i) - (R_i + PE_i + ETM_i) \quad (4.17)$$

Dove

D_i = deficit nel giorno i

P_i = precipitazioni nel giorno i

I_i = apporto irriguo nel giorno i

U_i = risalita capillare dalla falda nel giorno i

R_i = quota delle precipitazioni persa per scorrimento superficiale nel giorno i

PE_i = perdite per percolazione al di sotto dello strato radicato nel giorno i

ETM_i = evapotraspirazione massima per la coltura nel giorno i

- Precipitazioni utili

La differenza tra apporto meteorico (P_i) e acqua persa per runoff (R_i) e percolazione profonda (PE_i) costituisce la quota utile della precipitazione (P_u).

$$Pu = Pi - Ri - PEi \quad (4.18)$$

Il primo aspetto da valutare nella determinazione della quantità utile del singolo apporto pluviometrico è, date le caratteristiche fisico-idrologico del suolo, il suo contenuto idrico iniziale e la durata e intensità dell'evento, la quota che è in grado di infiltrarsi nel terreno. Tra i vari metodi reperibili in letteratura per determinare la quantità di acqua infiltrabile, è stato scelto quello di Green & Ampt, in quanto di ampissimo utilizzo e di relativamente semplice implementazione.

Proposto nel 1911, era stato concepito per determinare l'infiltrazione nel terreno da un velo di acqua in eccesso che lo ricopre con altezza costante (*ponding infiltration*).

Esso è stato successivamente soggetto a numerose modifiche e aggiustamenti, che lo hanno reso idoneo a trattare il processo dell'infiltrazioni con diverse condizioni al contorno. In particolare la riscrittura dell'equazione di Green-Ampt operata da Mein e Larson, e ripresa dal modello di simulazione del bilancio idrico SWAT, è apparsa idonea agli scopi e adattabile alla struttura dei dati di cui si dispone. La formulazione di Mein-Larson viene risolta in SWAT nel seguente modo:

$$F_{inf,t} = F_{inf,t-1} + Ke * \Delta t + \Psi_{wf} * \Delta \Theta * \ln \left[(F_{inf,t} + \Psi_{wf} * \Delta \Theta) / (F_{inf,t-1} + \Psi_{wf} * \Delta \Theta) \right] \quad (4.19)$$

Dove

$F_{inf,t}$ è l'infiltrazione al tempo t,

$F_{inf,t-1}$ è l'infiltrazione al tempo t-1,

Ke è la conducibilità idraulica efficace (generalmente posta uguale a $0,5 * K_{sat}$),

$\Delta \Theta$ è la differenza tra contenuto idrico a saturazione e contenuto idrico iniziale,

Ψ_{wf} è il potenziale matriciale al fronte di umettamento, secondo Rawls e Brakensiek funzione della porosità totale, della percentuale di sabbia e di argilla.

I termini dell'equazione Ke e Ψ_{wf} possono essere considerati come parametri caratteristici delle varie tipologie di suolo. Il termine $\Delta \Theta$ è invece funzione del contenuto idrico al momento della precipitazione, e quindi del deficit idrico nel suolo.

In questa fase vengono determinate le seguenti grandezze:

- **Quantità di acqua infiltrata:** frazione della precipitazione giornaliera che si infila nel terreno; come differenza tra l'apporto meteorico e la quantità di acqua infiltrata, viene determinata la quantità di acqua di scorrimento superficiale (*runoff*). Se la precipitazione giornaliera è inferiore o uguale a 20 mm, essa viene considerata tutta infiltrata, in quanto generalmente si presuppone che la capacità di immagazzinamento superficiale del suolo, dovuta alla sua rugosità, sia pari a 20 mm;
- **Quantità di acqua percolata:** quota dell'acqua che, infiltrata nel terreno, percola al di sotto dello strato radicato, in quanto eccedente la capacità complessiva di trattenuta del terreno (capacità in acqua disponibile - AWC) fino alla profondità attuale di radicazione. La capacità di trattenuta è calcolata integrando la capacità di trattenuta tra la superficie del suolo e la profondità di radicazione, calcolata per il giorno in cui la precipitazione avviene; entro questo spessore possono essere presenti diversi orizzonti di suolo, di ognuno dei quali viene calcolata la capacità di trattenuta.

Tabella 4.16 - Esempio di calcolo della capacità di trattenuta

Orizzonte	Profondità (cm)	Spessore (cm)	Contenuto idrico %	Capacità di campo %	Capacità di trattenuta (mm)
1	0-20	20	23	41	36
2	21-40	20	28	38	20
3	41-80	40	27	36	36
4	81-120	40	28	35	28
				TOTALE (mm)	120

– Risalita capillare dalla falda

L'apporto per risalita capillare dalla falda non viene al momento considerato per carenza di dati sulla profondità dell'acquifero ipodermico e sulla variabilità stagionale della sua profondità

– Evapotraspirazione massima

Per il calcolo della evapotraspirazione massima a partire da quella potenziale è stato seguito, con qualche modifica, l'approccio di Driessen. Senza coltura o prima dell'emergenza, l'evapotraspirazione massima (ET_M) è posta uguale all'evapotraspirazione potenziale (ET₀).

Dopo l'emergenza della coltura, l'evapotraspirazione massima è calcolata mediante la formula:

$$ET_M = K_C * ET_0 \quad (4.20)$$

Dove:

ET_M = traspirazione massima

K_C = coefficiente colturale

Il problema risiede nell'individuazione di relazioni di validità generale che consentano di stimare il K_C in funzione sia della coltura che delle variabili climatiche (giorno, annata area climatica).

Sono numerosi i modelli che simulano lo sviluppo della coltura in funzione di suoi parametri specifici e dell'andamento climatico (= termico) dell'annata.

In questo lavoro si è adottato, con opportuni adeguamenti, il modulo di sviluppo colturale del modello CRITERIA, sviluppato dall'ARPA-Servizio IdroMeteo dell' Emilia-Romagna.

In questo modello il coefficiente colturale K_C dipende dal LAI secondo l'equazione:

$$K_c = 0.33 + 0.67 \left(1 - e^{-0.8LAI} \right) \quad (4.21)$$

Il passo successivo consiste nell'individuare una regola di dipendenza, specifica per ogni coltura, tra LAI_i e andamento termico fino al giorno *i*.

Lo sviluppo del LAI è approssimato supponendo 2 fasi di sviluppo (3 per le colture erbacee), ciascuna con un proprio ritmo di crescita:

- fase di emergenza: presente solo nelle colture erbacee
- fase di crescita del LAI, fino al raggiungimento del LAI massimo
- fase di decrescita del LAI.

La durata di ciascuna fase, espressa in termini di gradi giorno, varia da coltura a coltura.

Per le colture arboree e prative il calcolo della somma gradi giorno inizia il primo gennaio e viene azzerato il 31 dicembre di ogni anno. Per le colture erbacee e orticole, invece, il calcolo inizia a partire da una data, variabile in funzione della coltura ma, a parità di coltura, unica per tutta l'area di indagine, individuata come riferimento per l'inizio delle semine. La data "effettiva" di semina coincide con il primo giorno successivo a 5 giorni consecutivi in cui la temperatura media ha superato la soglia termica della coltura. Questa procedura realizza dunque un'individuazione dinamica (cioè dipendente dall'area climatica e dall'annata) della data di semina.

Il meccanismo della modellizzazione dello sviluppo della coltura consente dunque di calcolare il LAI (e conseguentemente il Kc) in maniera flessibile, in funzione della coltura e dell'andamento termico, variabile spazialmente (tra le varie aree climatiche) e temporalmente (tra anni diversi di una stessa area climatica).

– Irrigazione

Gli apporti irrigui sono al tempo stesso un input del bilancio idrico ma anche la variabile alla cui quantificazione mirano i calcoli dell'intero modello.

In quanto input del bilancio idrico, gli interventi irrigui sono stati definiti per ogni coltura e per ogni scenario in termini di:

- Criteri per il momento dell'intervento: il modello "genera" un intervento irriguo quando l' AFU (Acqua Facilmente Utilizzabile) residua nel suolo scende sotto una soglia, variabile da coltura a coltura; solo raggiunta tale soglia l'intervento irriguo è considerato agronomicamente opportuno e razionale.
- Caratteristiche dell'intervento: ovvero durata (h), intensità oraria e tecnica di adacquamento.

Le caratteristiche sono state stabilite per ogni coltura, ma in maniera uniforme per l'intera area di studio; la possibilità di differenziare le caratteristiche degli interventi non è quindi attualmente gestita a livello di contesto geografico o consortile, ma solo a livello di scenario di tecnica irrigua.

Come risultato finale il modello produce i seguenti valori:

- Il fabbisogno irriguo netto, inteso come reintegrazione dell'evapotraspirazione colturale, al netto delle piogge utili;
- Apporto Irriguo Lordo, corrispondente all'altezza di acqua somministrata, calcolata in base alle tecniche irrigue considerate e alla profondità dell'apparato radicale;
- Apporto Irriguo Netto, corrispondente alla quota d'acqua somministrata che risulta effettivamente disponibile per l'approvvigionamento idrico della coltura, dunque al netto delle perdite per *runoff* e percolazione profonda.

Inoltre, quale output finale dell'intero processo di calcolo, per ogni intervento irriguo viene calcolata la sua efficienza, ovvero la quota percentuale di acqua apportata che, al netto delle perdite per scorrimento superficiale e percolazione profonda, rimane effettivamente a disposizione delle piante.

Si tratta di un'efficienza "idrologica", nel senso che considera solo gli aspetti dell'infiltrazione (dipendente in gran parte, oltre che dal contenuto idrico iniziale, dalla permeabilità degli strati superficiali in relazione all'intensità e durata dell'intervento irriguo) e della capacità di trattenuta del terreno (dipendente in gran parte, oltre che dal contenuto idrico iniziale, dalla AWC nello strato radicato).

L'efficienza irrigua complessiva esprime, quindi, quale frazione dell'acqua complessivamente somministrata alla coltura resta effettivamente disponibile per il suo rifornimento idrico.

Le perdite per scorrimento superficiale e percolazione profonda sono calcolate in maniera del tutto analoga a quanto descritto per gli apporti meteorici.

L'efficienza complessiva degli apporti irrigui di un ciclo colturale corrisponde all'efficienza media ponderata di tutti gli interventi irrigui "generati" dal modello per lo stesso ciclo.

Ovvero:

$$\text{Efficienza} = \text{apporto al netto delle perdite} / \text{apporto lordo}$$

I valori di fabbisogno netto, apporto irriguo lordo, apporto irriguo netto, e l'indice di efficienza sono stati calcolati per tutte le combinazioni di coltura-suolo-area climatica- tipo di annata - scenario e sono state valutate 372.300 combinazioni. derivanti dall'incrocio possibile di:

- 1498 STS di suolo
- 56 colture
- 2 scenari di tecniche
- 11 dataset climatici per i 5 tipi di anni previsti (siccitoso, piovoso, medio, di riferimento ed ultimo)

4.4.1 Riaggancio geografico delle elaborazioni del modello

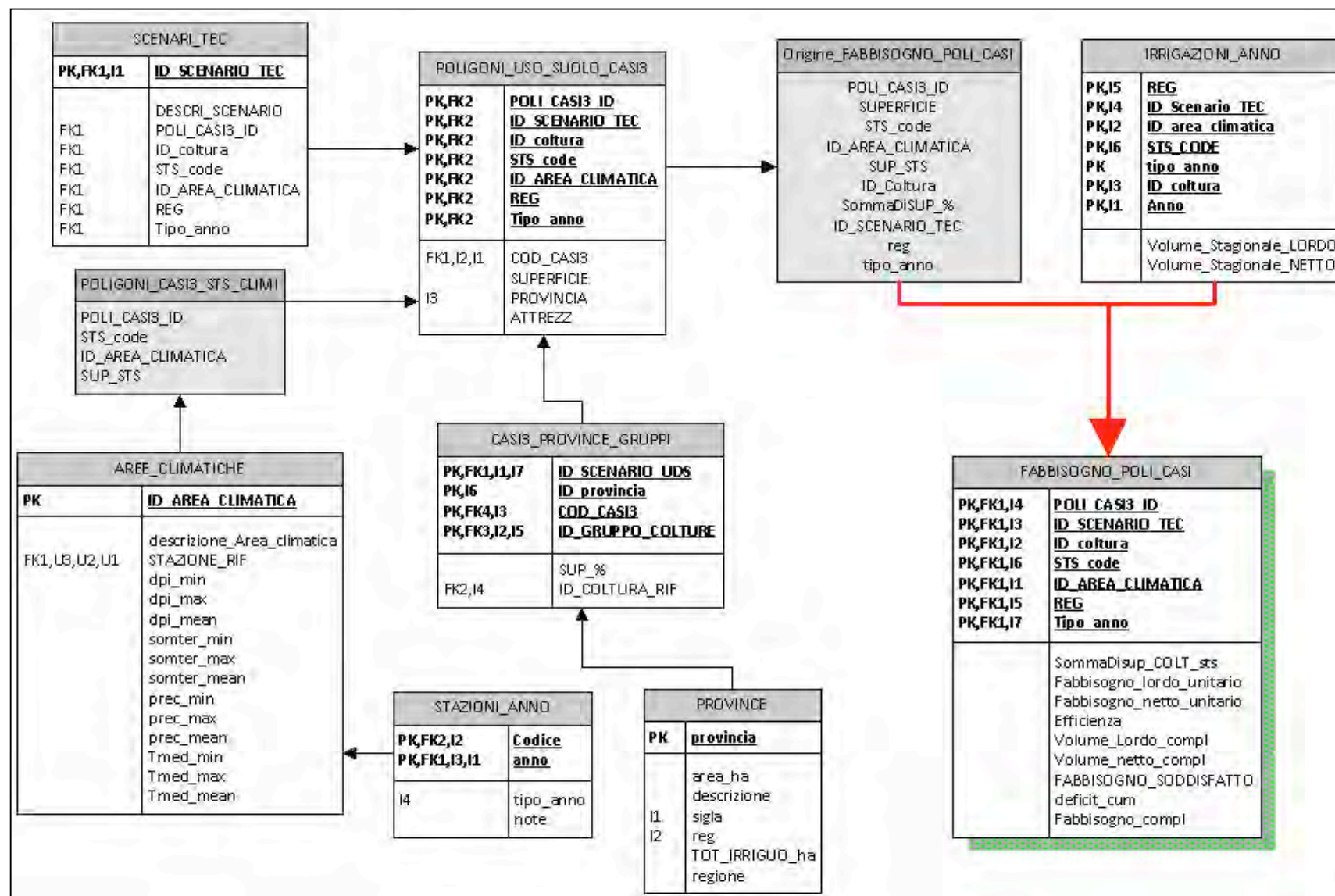
Il riaggancio geografico tra i risultati prodotti nella matrice suolo-clima -colture-tecniche viene gestito attraverso una procedura schematizzata in figura 4.11, che serve a produrre la tabella finale FABBISOGNI_POLI_CASI, dove sono riportati i risultati per ogni poligono di uso del suolo nella base dati geografica del 2005.

Quindi, come visibile nello schema, viene generata con una query (tabella in grigio) la parte di legame con la geografia della matrice di variabilità (Tabella Origine_FABBISOGNO_POLI_CASI), "pescando" la distribuzione dei parametri e codici relativi da considerare (suolo, scenario di tecniche, coltura, area climatica, regione e tipo di anno climatico) presenti nella tabella POLIGONI_USO_SUOLO_CASI3, a sua volta alimentata dal legame con le singole tabelle/query tematiche (Scenari_tec, Poligoni_Casi3_STS_Climi, Aree_climatiche, Stazioni_Anno, Casi3_Province_Gruppi, Province).

Dall'altro lato abbiamo la tabella IRRIGAZIONI_ANNO dove confluiscono i risultati della valutazione del modello, in termini di fabbisogni (deficit cum), volumi netti e lordi, oltre alla percentuale di fabbisogno soddisfatto.

La popolazione della tabella finale FABBISOGNI_POLI_CASI avviene quindi accodando (freccie in rosso di Fig. 4.11) nella tabella Origine_FABBISOGNO_POLI_CASI i dati di IRRIGAZIONI_ANNO per ogni caso di matrice (suolo, anno climatico, area climatica, coltura, scenario di tecniche), legando quindi i risultati del modello di calcolo alle parcelle di Uso del suolo del layer geografico attraverso l'ID di ogni singolo poligono (Poli_CASI3_ID).

Figura 4.11 -. Schema relazionale per la costruzione del legame con la geografia di uso del suolo casi3 dei risultati del calcolo



4.5. Risultati

Il modello genera, per ogni combinazione suolo-cultura e di scenario temporale (anno climatico) e di tecnica irrigua (a basso o alto input), una simulazione giornaliera temporanea che è in seguito aggregata con procedure automatiche per l'intero ciclo culturale stagionale. Nei grafici seguenti si riportano alcuni esempi relativi agli apporti irrigui simulati in funzione del deficit idrico (% della Riserva Idrica Disponibile – AWC - al di sotto la quale la coltura andrebbe in stress idrico se non irrigata), i dettagli sulle caratteristiche dei suoli e i parametri climatici sono riportati nel successivo § 4.6.

Grafico 4.1 - Andamento del deficit di risorsa idrica disponibile (mm) e interventi irrigui (apporti lordo e netto rispetto alle perdite per runoff e percolazione profonda) previsti da modello, per l'olivo (Regione Molise)

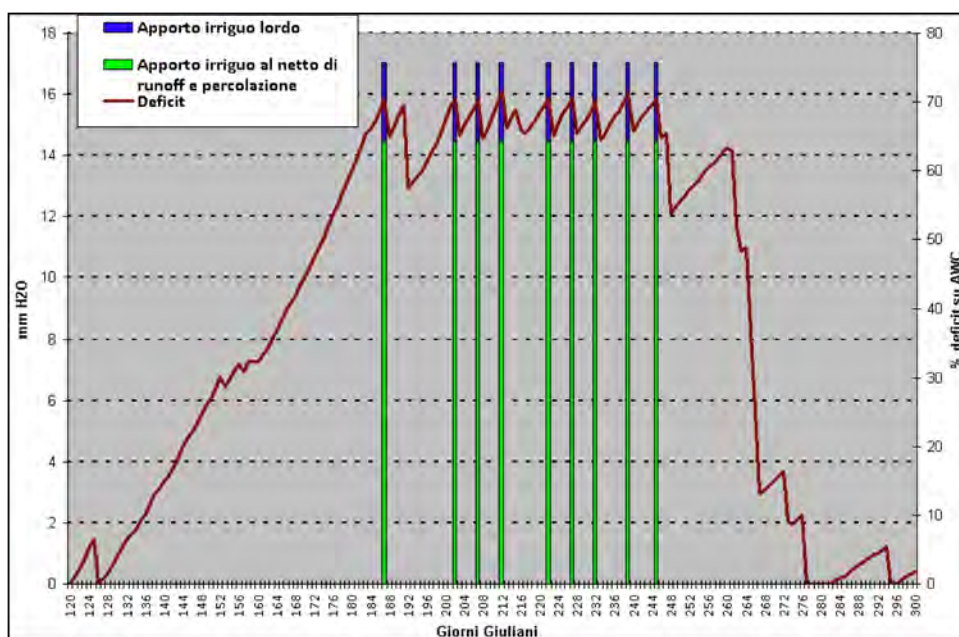


Grafico 4.2 - Andamento del deficit di risorsa idrica disponibile (mm) e interventi irrigui (apporti lordo e netto rispetto alle perdite per runoff e percolazione profonda) previsti da modello, per l'arancio (Regione Calabria)

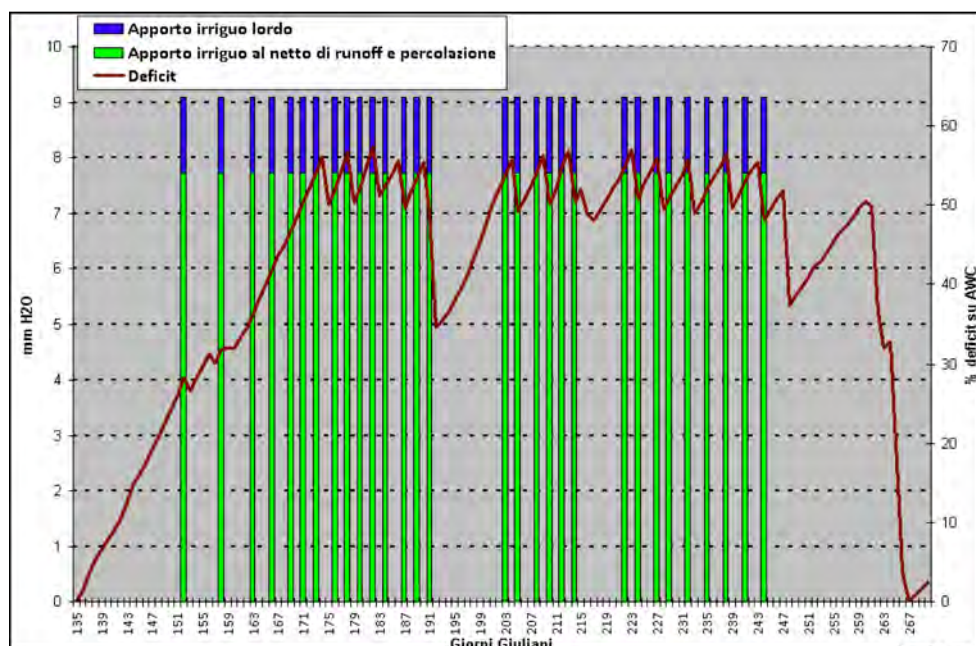
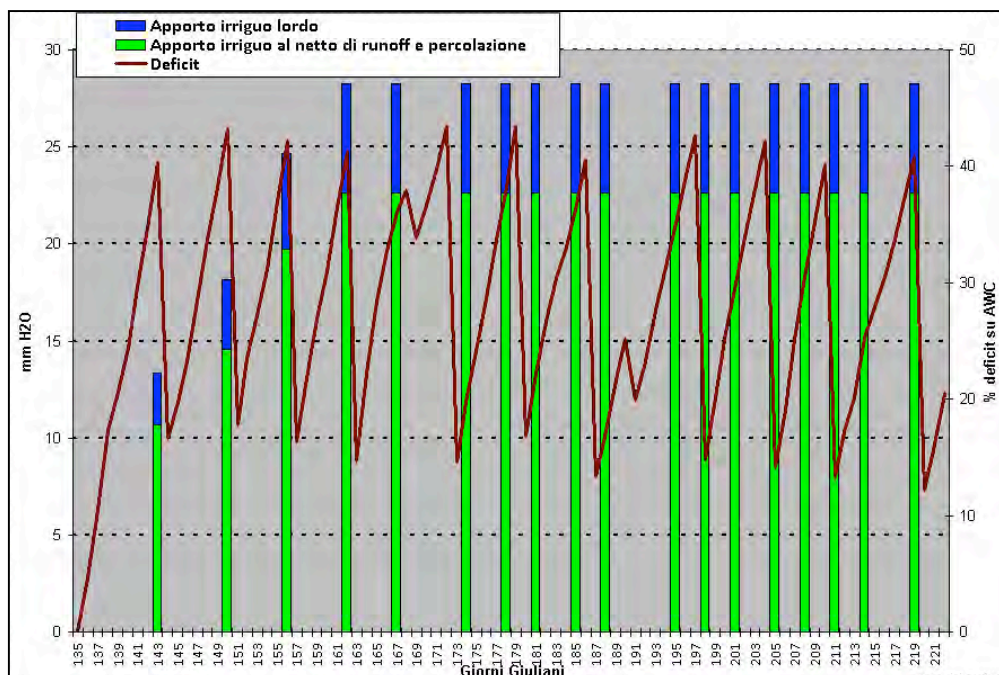


Grafico 4.3 - Andamento del deficit di risorsa idrica disponibile (mm) e interventi irrigui (apporti lordo e netto rispetto alle perdite per runoff e percolazione profonda) previsti da modello, per il pomodoro (Regione Sicilia)



Ogni combinazione dei suddetti parametri è stata legata agli strati geografici sia dell'uso del suolo irriguo che dei sottosistemi.

Per ciascun poligono è stata calcolata la superficie mediante apposite interrogazioni della banca dati, rese possibili dalla struttura relazionale, arrivando a definire per ciascun poligono il fabbisogno medio e cumulato.

Inoltre, i dati possono essere aggregati per diverse entità geografiche (aree comprensoriali ed extracomprendoriali, Consorzio di Bonifica, province e regioni).

Sul sito dedicato alla diffusione dei risultati del progetto alla pagina <http://www.gestcomagensud.it/relweb/> sono consultabili nel dettaglio i dati relativi all'intera banca dati.

Sebbene il presente studio focalizzi l'attenzione sulle aree extracomprendoriali, per poter avere dei dati di confronto anche con le aree comprensoriali sono stati utilizzati i dati della precedente interpretazione di uso del suolo al fine di poter fornire una stima complessiva dei volumi necessari all'irrigazione nelle Regioni Meridionali.

Nelle tabelle 4.17 e 4.18 si riportano i dati relativi alle superfici irrigate riscontrate sia all'interno dei comprensori irrigui che nelle aree extracomprendoriali, e la stima dei fabbisogni idrici netti, gli apporti irrigui netti e lordi relativamente ai due scenari di tecniche irrigue considerati (vedasi § 4.2.1), articolati a livello regionale.

Su una superficie irrigata complessiva di circa 900.000 ha, il 44% (387.888 ha) risulta essere localizzata all'interno dei comprensori irrigui ed il restante 56% (500.781 ha) nelle aree extracomprendoriali.

Riguardo la stima dei fabbisogni netti, apporti lordi e netti i grafici 4.4. e 4.5 riportano i dati riepilogativi a livello di Regioni Meridionali, per i due scenari di tecniche irrigue considerati.

Dall'analisi dei dati emerge che a fronte di un fabbisogno netto cumulato stimato in 2.353.158 Mm³ con tecniche ad alto input tecnologico sono necessari 3.342.323 Mm³ di apporto irriguo di cui 2.680.828 vengono effettivamente utilizzate per il rifornimento idrico delle colture, con una efficienza media dell'80%.

Considerando lo scenario di tecniche irrigue a basso input tecnologico per il soddisfacimento dello stesso fabbisogno sono necessari 3.864.168 Mm³ di apporto irriguo di cui 2.751.206 Mm³ vengono effettivamente utilizzate per il rifornimento idrico delle colture, con una efficienza media dell'71%.

Grafico 4.4 – Stima, con tecnica ad alto input tecnologico, del fabbisogno netto e degli apporti lordi e netti cumulati – Regioni Meridionali

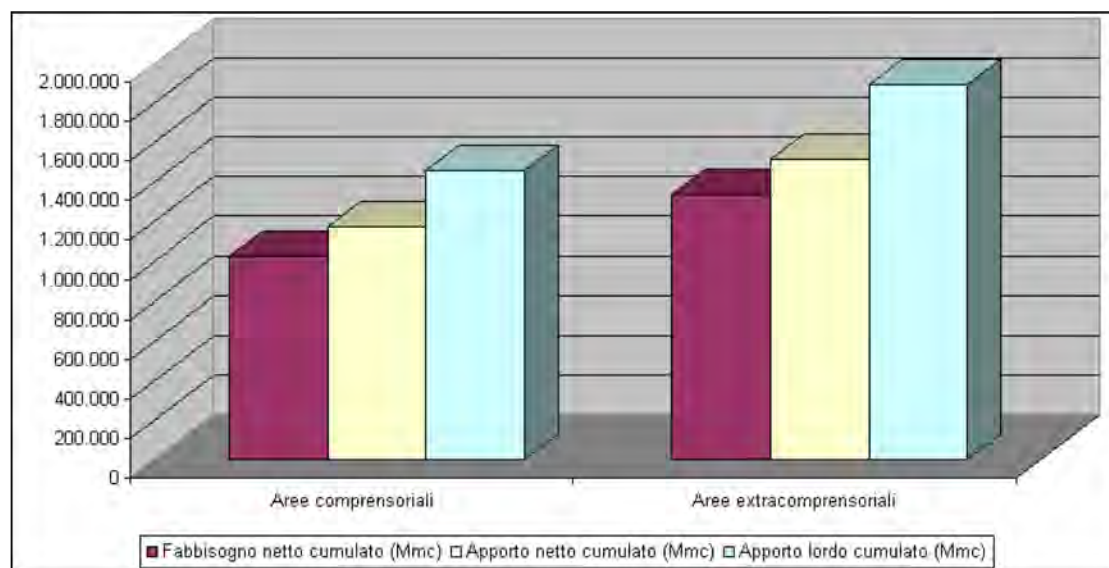


Grafico 4.5 – Stima, con tecnica a basso input tecnologico, del fabbisogno netto e degli apporti lordi e netti cumulati –Regioni Meridionali

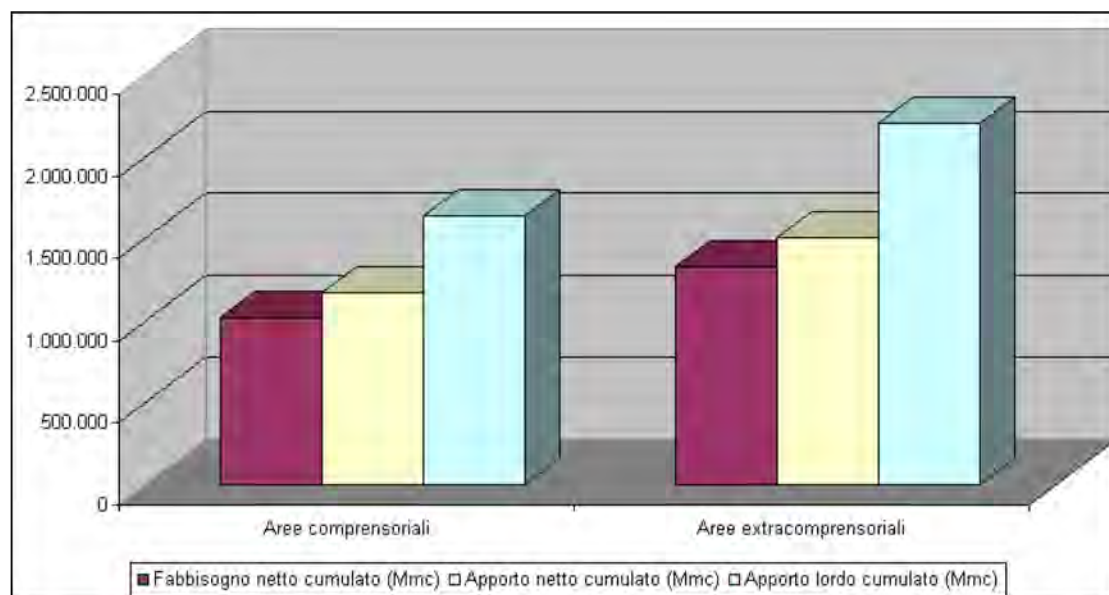


Tabella 4.17 - Fabbisogni e apporti irrigui totali per regioni le Obiettivo1 con tecnica ad alto input tecnologico

Regione	Fabbisogno medio ⁷ (mc)	Aree comprensoriali				Fabbisogno medio (mc)	Aree extracomprendoriali			
		Ettari	Fabbisogno netto cumulato (Mmc)	Apporto netto cumulato (Mmc)	Apporto lordo cumulato (Mmc)		Ettari	Fabbisogno netto cumulato (Mmc)	Apporto netto cumulato (Mmc)	Apporto lordo cumulato (Mmc)
Abruzzo	2.060	31.672	82.479	94.529	127.030	2.685	35.969	96.576	108.163	159.478
Basilicata	2.477	21.289	52.730	59.968	69.998	2.907	18.824	54.722	62.839	93.461
Calabria	2.354	45.748	107.699	123.469	144.748	2.191	38.151	83.579	96.793	114.905
Campania	2.577	49.957	128.716	152.827	198.694	2.596	66.072	171.504	199.971	261.038
Molise	2.491	13.150	32.759	38.359	54.962	2.565	8.652	22.196	25.905	40.393
Puglia	1.980	87.051	172.362	203.717	231.726	2.139	175.222	374.872	429.051	499.959
Sardegna	3.767	61.633	232.145	255.833	340.441	3.898	44.993	175.376	192.172	243.584
Sicilia	2.760	77.388	213.574	244.169	289.406	3.119	112.897	352.097	393.063	472.501
Totale		387.888	1.022.464	1.172.871	1.457.004		500.781	1.330.922	1.507.957	1.885.319

Tabella 4.18 - Fabbisogni e apporti irrigui totali per regioni le Obiettivo1 con tecnica a basso input tecnologico

Regione	Fabbisogno medio (mc)	Aree comprensoriali				Fabbisogno medio (mc)	Aree extracomprendoriali			
		Ettari	Fabbisogno netto cumulato (Mmc)	Apporto netto cumulato (Mmc)	Apporto lordo cumulato (Mmc)		Ettari	Fabbisogno netto cumulato (Mmc)	Apporto netto cumulato (Mmc)	Apporto lordo cumulato (Mmc)
Abruzzo	2.060	31.672	82.479	95.850	161.626	2.685	35.969	96.576	108.861	239.975
Basilicata	2.477	21.289	52.730	60.138	75.051	2.907	18.824	54.722	63.292	97.150
Calabria	2.354	45.748	107.699	122.849	158.861	2.191	38.151	83.579	96.351	126.664
Campania	2.577	49.957	128.716	155.192	229.327	2.596	66.072	171.504	200.662	291.849
Molise	2.491	13.150	32.759	38.620	57.709	2.565	8.652	22.196	26.166	41.669
Puglia	1.980	87.051	172.362	209.214	271.166	2.139	175.222	374.872	440.607	602.470
Sardegna	3.767	61.633	232.145	277.898	379.882	3.898	44.993	175.376	193.715	256.980
Sicilia	2.760	77.388	213.574	243.518	303.245	3.119	112.897	352.097	395.580	549.965
Totale		387.888	1.022.464	1.203.279	1.636.867		500.781	1.330.922	1.525.234	2.206.722

⁷ Valore medio pesato, ricavato dalla distribuzione percentuale delle varie combinazioni suolo-clima-coltura presenti nei poligoni di uso del suolo nell'area considerata.

Nei grafici 4.6, 4.7 e 4.8 si riportano dei dati di sintesi a livello di regioni Meridionali relativi alla distribuzione delle classi di uso del suolo distinte fra aree comprensoriali ed extracomprendoriali e la stima dei relativi fabbisogni ed apporti irrigui.

Grafico 4.6 – Distribuzione delle classi di uso del suolo per tipologia di area – Regioni Meridionali

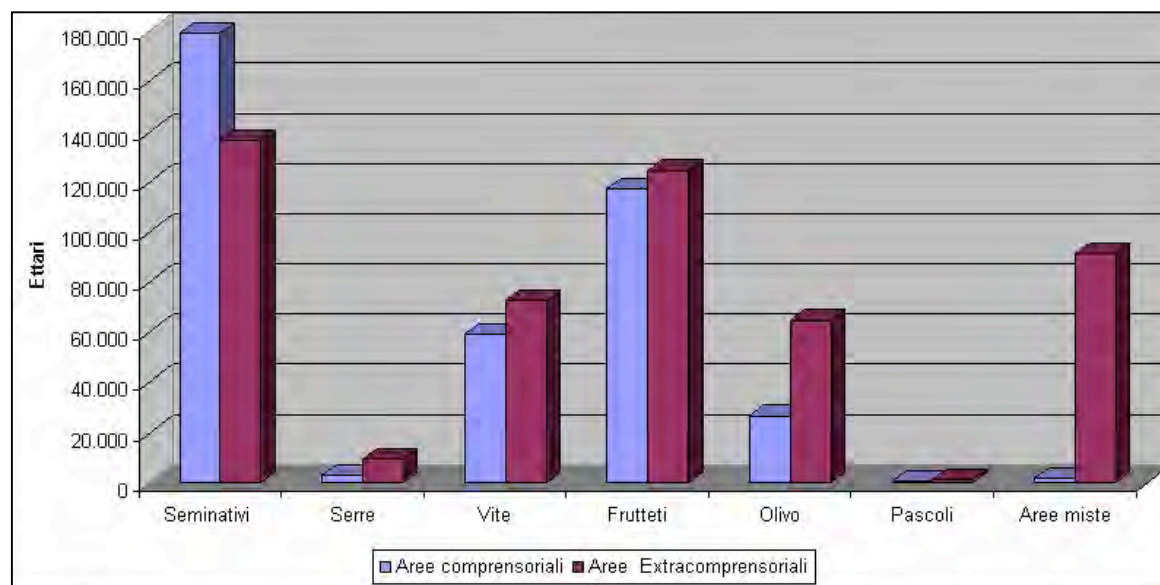
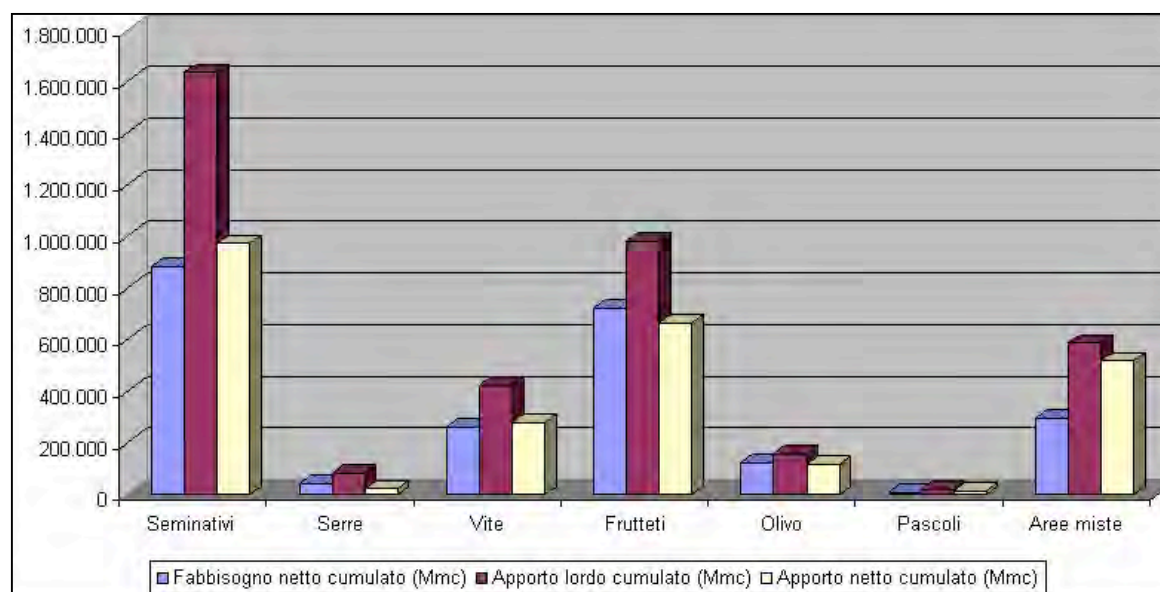


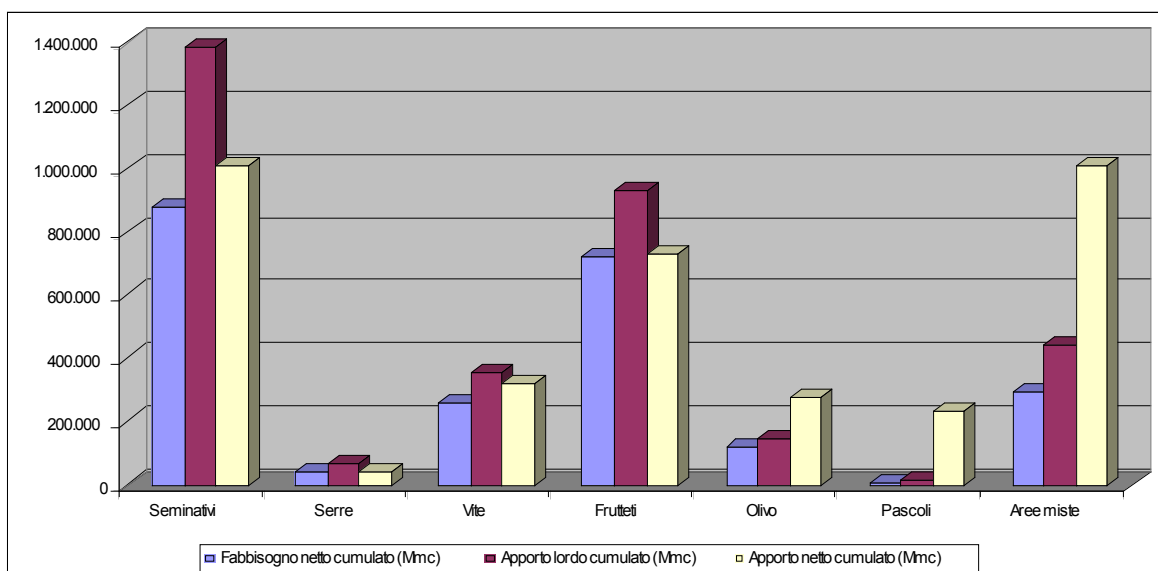
Grafico 4.7 – Stima, con tecnica a basso input tecnologico, del fabbisogno netto e degli apporti lordi e netti cumulati per classi di uso del suoli –Regioni Meridionali



Nel grafico 4.6 si nota che all'interno delle aree comprensoriali la classe dei seminativi rappresenta la coltura principale, seguita dai frutteti e dalla vite. Si può notare che non ci sono grandi differenze nei frutteti e nei vigneti tra aree comprensoriali ed aree al di fuori dei limiti comprensoriali, mentre si evidenzia una netta differenza di superficie nell'ambito delle classi aree miste ed olivi.

Dall'analisi dei grafici 4.7 e 4.8 si nota che, utilizzando le tecniche ad alto input tecnologico, si avrebbe un risparmio idrico totale di 501.266 Mm³; si evidenzia che i maggiori apporti idrici, in entrambi gli scenari, vengono richiesti dalla classe dei seminativi. Questo dato è spiegabile col fatto che in questa classe sono presenti le colture ortive che richiedono grandi quantitativi di acqua ed il mais che viene irrigato per aspersione.

Grafico 48 – Stima, con tecnica ad alto input tecnologico, del fabbisogno netto e degli apporti lordi e netti cumulati per classi di uso del suoli –Regioni Meridionali



Infine, nelle tabelle 4.19 e 4.20 si riportano i dati sulla distribuzione delle classi di uso del suolo per regione e tipologia di area (comprensoriale e extracomprendoriale) ed i relativi fabbisogni ed apporti irrigui per i due scenari di tecniche irrigue considerati.

Tabella 4.19 - Fabbisogni e apporti irrigui per classi di uso del suolo, con tecnica a basso input tecnologico (Abruzzo, Basilicata, Calabria, Campania)

Aree comprensoriali							Aree extracomprendoriali			
Regione	Classi di uso del suolo	Ettari	Fabbisogno medio (m ³ /ha)	Fabbisogno netto cumulato (Mm ³)	Apporto lordo cumulato (Mm ³)	Apporto netto cumulato (Mm ³)	Ettari	Fabbisogno netto cumulato (Mm ³)	Apporto lordo cumulato (Mm ³)	Apporto netto cumulato (Mm ³)
Abruzzo	Seminativi	24.754	2.779	68.785	137.732	78.768	13.679	35.948	82.819	40.697
	Vite	3.332	1.578	5.258	9.137	7.041	220	331	609	461
	Frutteti	1.968	2.667	5.249	7.359	6.328	1.336	3.321	4.504	3.837
	Olivo	233	1.086	253	339	288	429	359	503	427
	Aree miste	1.386	2.117	2.934	7.060	3.425	20.305	56.617	151.541	63.438
	TOTALE	31.672		82.479	161.626	95.850	35.969	96.576	239.975	108.861
Basilicata	Seminativi	4.404	3.041	13.605	21.515	15.882	14.582	44.462	83.185	51.677
	Serre	81	2.971	241	775	343	11	31	96	44
	Vite	1.625	1.629	2.647	4.372	3.463	162	259	461	366
	Frutteti	14.743	2.357	34.750	45.653	38.805	3.434	8.746	11.521	9.793
	Olivo	90	1.528	138	187	159	417	527	728	619
	Pascoli	346	3.900	1.348	2.548	1.487	-	-	-	-
	Aree miste	-	2.600	-	-	-	219	696	1.159	793
	TOTALE	21.289		52.730	75.051	60.138	18.824	54.722	97.150	63.292
Calabria	Seminativi	9.933	2.419	25.744	50.182	31.266	6.009	17.436	33.990	20.584
	Serre	98	2.877	283	484	327	24	68	110	79
	Vite	1.951	1.933	3.771	6.458	4.780	267	465	727	576
	Frutteti	27.770	2.467	68.509	89.398	75.988	26.588	55.268	74.608	63.417
	Olivo	5.996	1.566	9.391	12.339	10.488	3.716	5.440	7.134	6.064
	Aree miste	-	3.170	-	-	-	1.546	4.903	10.095	5.630
	TOTALE	45.748		107.699	158.861	122.849	38.151	83.579	126.664	96.351
Campania	Seminativi	44.243	2.596	114.872	204.008	138.727	32.178	85.498	161.750	100.775
	Serre	1.427	2.793	3.985	10.985	4.799	1.197	3.460	11.303	4.180
	Vite	563	1.506	847	1.533	1.190	1.316	2.233	3.796	2.943
	Frutteti	3.140	2.476	7.775	10.800	9.169	26.316	67.667	91.493	77.729
	Olivo	175	936	163	263	224	811	796	1.241	1.055
	Aree miste	349	2.619	-	-	-	4.315	12.010	22.266	13.980
	TOTALE	49.896		128.557	229.327	155.192	66.132	171.663	291.849	200.662

Tabella 4.20 - Fabbisogni e apporti irrigui per classi di uso del suolo, con tecnica a basso input tecnologico (Regioni Molise, Puglia, Sardegna, Sicilia)

Regione	Classi di uso del suolo	Aree comprensoriali					Aree extracomprendoriali			
		Ettari	Fabbisogno medio (m ³ /ha)	Fabbisogno netto cumulato (Mm ³)	Apporto lordo cumulato (Mm ³)	Apporto netto cumulato (Mm ³)	Ettari	Fabbisogno netto cumulato (Mm ³)	Apporto lordo cumulato (Mm ³)	Apporto netto cumulato (Mm ³)
Molise	Seminativi	10.247	2.796	28.648	50.751	33.144	7.558	20.722	39.134	24.243
	Vite	2.130	1.554	3.309	5.913	4.588	258	393	715	551
	Frutteti	115	2.608	299	407	346	30	76	103	87
	Olivo	632	681	430	638	542	663	606	870	739
	Aree miste	-	2.780	-	-	-	171	473	848	546
	TOTALE	13.123		32.686	57.709	38.620	8.679	22.270	41.669	26.166
Puglia	Seminativi	31.003	1.750	54.253	99.818	70.435	40.350	79.529	160.544	100.426
	Serre	8	3.015	23	351	28	24	84	118	94
	Vite	33.036	1.955	64.591	103.269	80.956	49.369	97.907	155.135	123.068
	Frutteti	11.050	2.531	27.970	36.130	30.711	13.232	32.115	39.839	33.863
	Olivo	11.876	2.133	25.333	31.597	26.858	48.816	107.759	133.782	113.715
	Pascoli	8	4.803	40	58	42	-	-	-	-
	Aree miste	70	2.387	-	-	-	23.431	57.478	113.053	113.053
	TOTALE	87.051	18.380	172.362	271.482	209.214	175.222	374.872	602.470	484.218
Sardegna	Seminativi	52.464	3.795	199.114	336.146	220.707	7.921	29.992	51.282	33.396
	Serre	107	3.242	420	644	459	468	1.956	2.848	2.077
	Vite	981	2.586	2.536	3.886	3.027	1.325	3.559	5.434	4.194
	Frutteti	6.420	3.578	22.974	29.450	25.032	7.201	25.653	32.847	27.920
	Olivo	1.011	3.123	3.159	4.106	3.490	2.704	8.557	11.195	9.516
	Pascoli	650	6.062	3.942	5.651	4.265	1.277	7.831	11.490	8.401
	Aree miste	-	3.500	-	-	-	24.096	97.827	162.802	108.211
	TOTALE	61.633	22.388	232.145	379.882	256.980	44.993	175.376	277.898	193.715
Sicilia	Seminativi	2.239	4.288	9.604	17.917	10.417	14355	54.600	102.377	67
	Serre	1.162	3.547	4.121	7.192	4.580	7592	27.163	47.626	5.111
	Vite	15.467	2.059	31.840	52.920	40.708	19767	41.579	68.840	1.741
	Frutteti	51.811	2.896	150.051	202.604	168.594	46361	146.356	189.522	3.497
	Olivo	6.711	2.677	17.964	22.611	19.220	7268	19.572	24.573	4.580
	Aree miste	-	3.500	-	-	-	17551	62.821	117.027	209.302
	TOTALE	77.390		213.579	303.245	243.518	112.895	352.092	549.965	224.298

Tabella 4.21 - Fabbisogni e apporti irrigui per classi di uso del suolo, con tecnica ad alto input tecnologico (Abruzzo, Basilicata, Calabria, Campania)

Regione	Classi di uso del suolo	Aree comprensoriali					Aree extracomprendoriali			
		Ettari	Fabbisogno medio (m³/ha)	Fabbisogno netto cumulato (Mm³)	Apporto lordo cumulato (Mm³)	Apporto netto cumulato (Mm³)	Ettari	Fabbisogno netto cumulato (Mm³)	Apporto lordo cumulato (Mm³)	Apporto netto cumulato (Mm³)
Abruzzo	Seminativi	24.754	2.779	68.785	107.281	77.734	13.679	35.948	59.835	40.407
	Vite	3.332	1.578	5.258	7.464	6.718	220	331	481	433
	Frutteti	1.968	2.667	5.249	7.072	6.364	1.336	3.321	4.297	3.867
	Olivo	233	1.086	253	336	302	429	359	500	450
	Aree miste	1.386	2.117	2.934	4.877	3.410	20.305	56.617	94.326	62.971
TOTALE		31.672		82.479	127.030	94.529	35.969	96.576	159.439	108.128
Basilicata	Seminativi	4.404	3.041	13.605	19.825	15.638	14.582	44.462	80.347	51.225
	Serre	81	2.971	241	378	321	11	31	49	42
	Vite	1.625	1.629	2.647	3.754	3.379	162	259	380	342
	Frutteti	14.743	2.357	34.750	43.320	38.988	3.434	8.746	10.910	9.819
	Olivo	90	1.528	138	173	155	417	527	698	628
	Pascoli	346	3.900	1.348	2.548	1.487	-	-	-	-
	Aree miste	-	-	-	-	-	219	696	1.077	783
TOTALE		21.289		52.730	69.998	59.968	18.824	54.722	93.461	62.839
Calabria	Seminativi	9.933	2.419	25.744	41.466	30.512	6.009	17.436	27.935	20.240
	Serre	98	2.877	283	352	317	24	68	87	78
	Vite	1.951	1.933	3.771	5.148	4.633	267	465	645	581
	Frutteti	27.770	2.467	68.509	85.987	77.392	26.588	55.268	71.361	64.225
	Olivo	5.996	1.566	9.391	11.794	10.615	3.716	5.440	6.787	6.108
	Aree miste	-	3.170	-	-	-	1.546	4.903	8.089	5.561
TOTALE		45.748		107.699	144.748	123.469	38.151	83.579	114.905	96.793
Campania	Seminativi	44.243	2.596	114.872	179.499	136.335	32.178	85.498	142.771	99.510
	Serre	1.427	2.793	3.985	5.681	4.804	1.197	3.460	5.294	4.063
	Vite	563	1.506	847	1.299	1.164	1.316	2.233	3.140	2.826
	Frutteti	3.140	2.476	7.775	10.274	9.221	26.316	67.667	88.425	78.642
	Olivo	175	936	163	245	221	811	796	1.173	1.056
	Aree miste	349	2.619	1.737	1.695	1.081	4.315	12.010	20.234	13.873
TOTALE		49.896		129.379	198.694	152.827	66.132	171.663	261.038	199.971

Tabella 4.22 - Fabbisogni e apporti irrigui per classi di uso del suolo, con tecnica ad alto input tecnologico (Regioni Molise, Puglia, Sardegna, Sicilia)

Aree comprensoriali							Aree extracomprendoriali			
Regione	Classi di uso del suolo	Ettari	Fabbisogno medio (m ³ /ha)	Fabbisogno netto cumulato (Mm ³)	Apporto lordo cumulato (Mm ³)	Apporto netto cumulato (Mm ³)	Ettari	Fabbisogno netto cumulato (Mm ³)	Apporto lordo cumulato (Mm ³)	Apporto netto cumulato (Mm ³)
Molise	Seminativi	10.247	2.796	28.648	48.983	32.977	7.558	20.722	38.010	23.963
	Vite	2.130	1.554	3.309	4.993	4.494	258	393	603	542
	Frutteti	115	2.608	299	386	348	30	76	98	88
	Olivo	632	681	430	600	540	663	606	854	769
	Aree miste	-	-	-	-	-	94	473	829	543
TOTALE		13.123		32.686	54.962	38.359	8.602	22.270	40.393	25.905
Puglia	Seminativi	31.003	1.750	54.253	79.781	66.995	40.350	79.529	120.964	95.448
	Serre	8	3.015	23	30	27	24	84	91	80
	Vite	33.036	1.955	64.591	87.360	78.624	49.369	97.907	130.455	117.409
	Frutteti	11.050	2.531	27.970	34.146	30.732	13.232	32.115	38.872	34.985
	Olivo	11.876	2.133	25.333	30.163	27.147	48.816	107.759	127.871	115.084
Sardegna	Pascoli	8	4.803	40	58	42	-	-	-	-
	Aree miste	70	2.387	153	188	150	23.431	57.478	81.705	66.045
TOTALE		87.051		172.362	231.726	203.717	175.222	374.872	499.959	429.051
Sicilia	Seminativi	52.464	3.795	199.114	299.244	219.577	7.921	29.992	43.216	33.061
	Serre	107	3.242	420	451	406	468	1.956	2.305	2.074
	Vite	981	2.586	2.536	3.330	2.997	1.325	3.559	4.531	4.078
	Frutteti	6.420	3.578	22.974	27.885	25.096	7.201	25.653	31.180	28.062
	Olivo	1.011	3.123	3.159	3.880	3.492	2.704	8.557	10.495	9.446
Sicilia	Pascoli	650	6.062	3.942	5.651	4.265	1.277	7.831	11.490	8.401
	Aree miste	-	-	-	-	-	24.096	97.827	140.367	107.050
TOTALE		61.633		232.145	340.441	255.833	44.993	175.376	243.584	192.172
Sicilia	Seminativi	2.239	4.288	9.604	14.603	10.316	14355	54.600	80.794	59.635
	Serre	1.162	3.547	4.121	4.918	4.426	7592	27.163	33.079	29.719
	Vite	15.467	2.059	31.840	44.227	39.804	19767	41.579	57.639	51.875
	Frutteti	51.811	2.896	150.051	204.259	170.380	46361	146.356	178.930	160.942
	Olivo	6.711	2.677	17.964	21.348	19.213	7268	19.572	23.489	21.140
Sicilia	Aree miste	-	-	-	50	30	17551	62.821	98.571	69.752
TOTALE		77.390		213.579	289.406	244.169	112.895	352.092	472.501	393.063

4.6. Analisi di alcuni casi-studio di calcolo dei fabbisogni ed apporti sulla base del tipo di suolo, area climatica, coltura e tecnica irrigua

Per comprendere bene la generazione dei risultati sintetici sopra riportati a partire dalla matrice di risultati analitica, si è deciso di illustrare una serie di casi-studio singoli, esemplificativi del massimo livello di dettaglio generato dal modello di calcolo messo a punto in questo studio.

Sono stati quindi scelte ed estratte dalla matrice di variabilità una serie di situazioni territoriali puntuali definite sulla base di suolo e clima, per ogni regione, per ognuna delle quali sono stati riportati:

- La localizzazione della Sottounità Tipologica di Suolo e del relativo profilo caposaldo ed una foto (laddove disponibile) del profilo;
- I parametri pedologici ed idrologici salienti ed importanti ai fini della modellizzazione stessa (tessitura, profondità, riserva idrica disponibile, conducibilità idraulica satura e densità-massa volumica apparente);
- I parametri climatici della stazione di riferimento (precipitazioni, temperature medie e evapotraspirazione di riferimento giornalieri).

Si sono quindi prodotte delle tabelle di sintesi volte ad illustrare come i valori, per alcune colture di esempio, di fabbisogno e di apporti irrigui possano variare anche notevolmente in funzione delle caratteristiche pedo-climatiche dell'area considerata.

SCHEDA N.1 - REGIONE ABRUZZO - Profilo Caposaldo BDSP32 – Sottounità Tipologica di Suolo ABR_CST1



Figura 4.12 - Ubicazione e Sottosistemi di riferimento (in azzurro)

Tabella 4.23 - Tipologia di suolo: Suoli COLLE STRAMPANATO moderatamente profondi (ABR_CST1)			
Numero orizzonte	1	2	3
Tipo Orizzonte	Ap	Bw	C
Limite superiore (cm)	0	25	50
Limite Inferiore (cm)	25	50	200
Scheletro (% in volume)	0	0	0
Sabbia Totale (%)	13,5	15,7	31
Argilla (%)	38	39,5	28,8
Massa Volumica Apparente (g/cm3)	1,38	1,42	1,45
Conducibilità Idraulica Saturata (Ksat, cm/h)	0,20	0,23	0,69
Riserva Idrica Disponibile (mm)	0,14	0,12	0,13
Conducibilità Elettrica	-	-	-
Descrizione sintetica del suolo e dei caratteri e delle qualità fisico - idrologiche			



Figura 4.13 – Foto del Profilo di riferimento

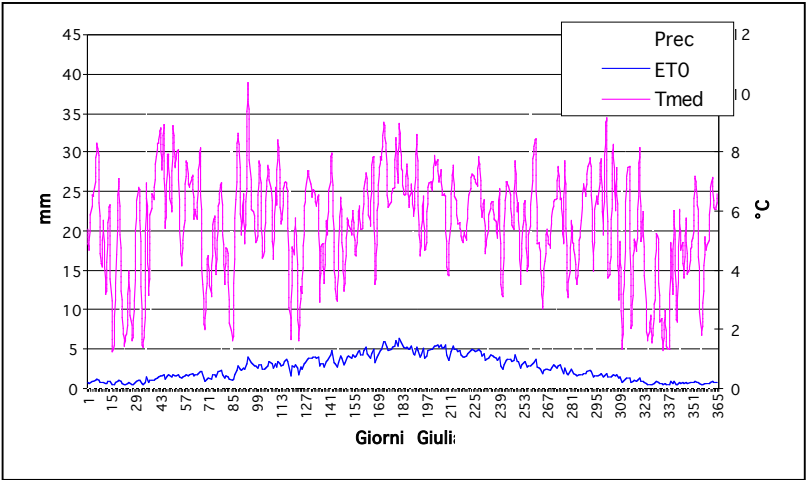


Grafico IV. 1 - Parametri climatici della stazione di riferimento (Pescara), anno 2005

SCHEDA N. 2 - REGIONE MOLISE: Profilo Caposaldo mLP4P11 Sottounità Tipologica di Suolo MOL_RAM1

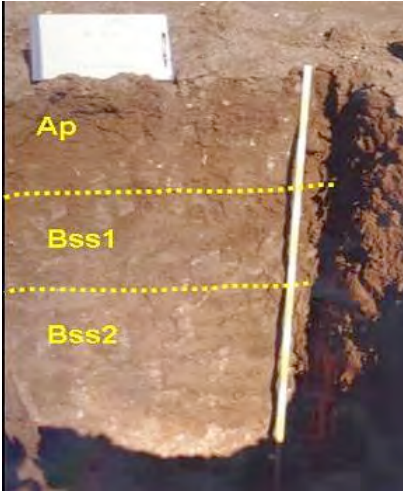
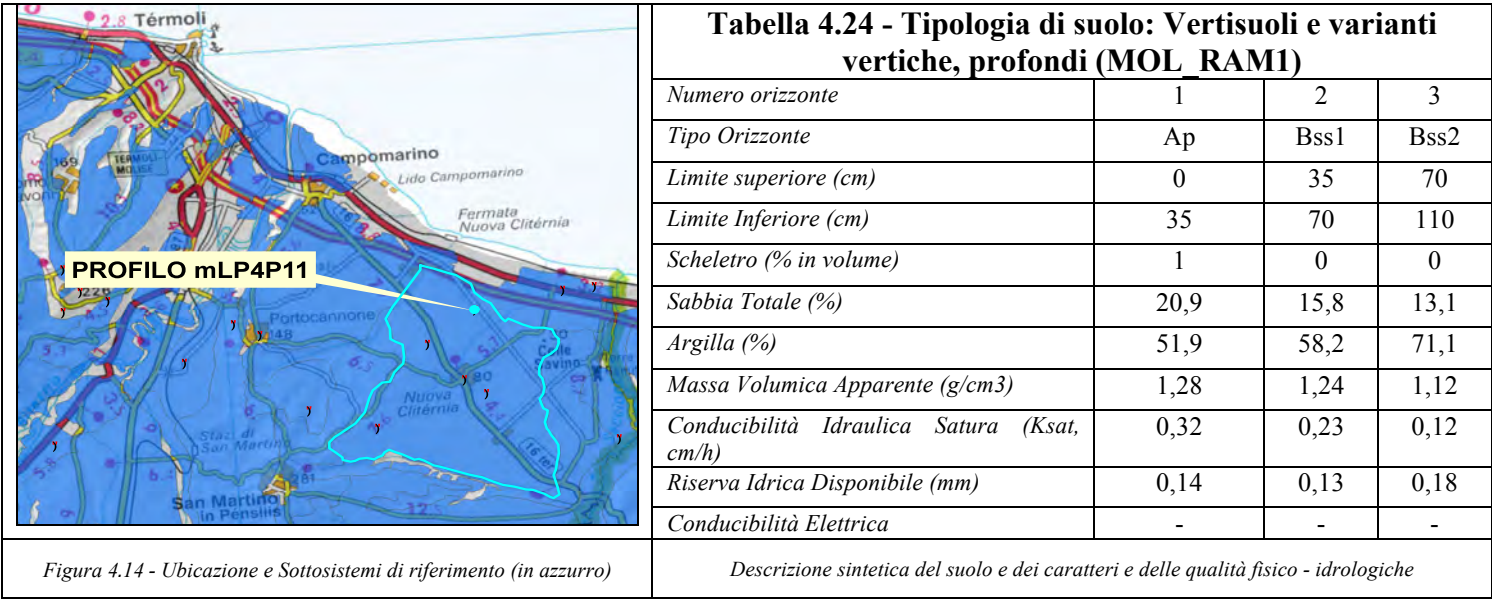


Figura 4.15 – Foto del Profilo di riferimento

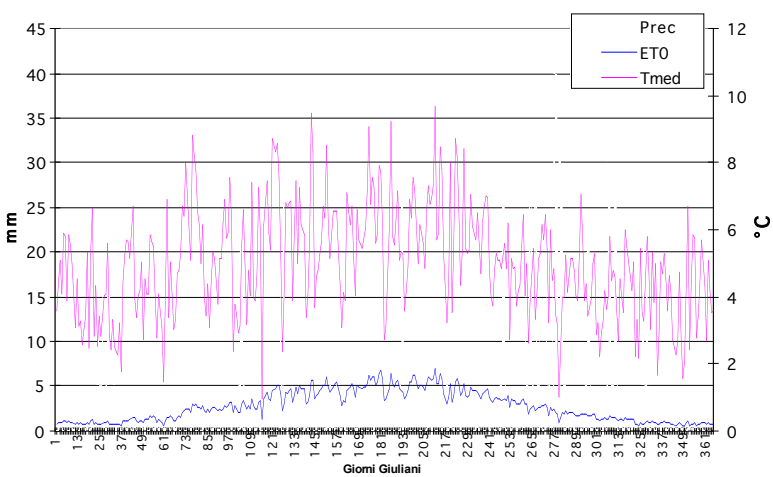


Grafico IV. 2 - Parametri climatici della stazione di riferimento (Turi), anno 2005

SCHEDA N. 3 - REGIONE BASILICATA: Profilo Caposaldo BASP71 – Sottounità Tipologica di Suolo BAS_ELE1

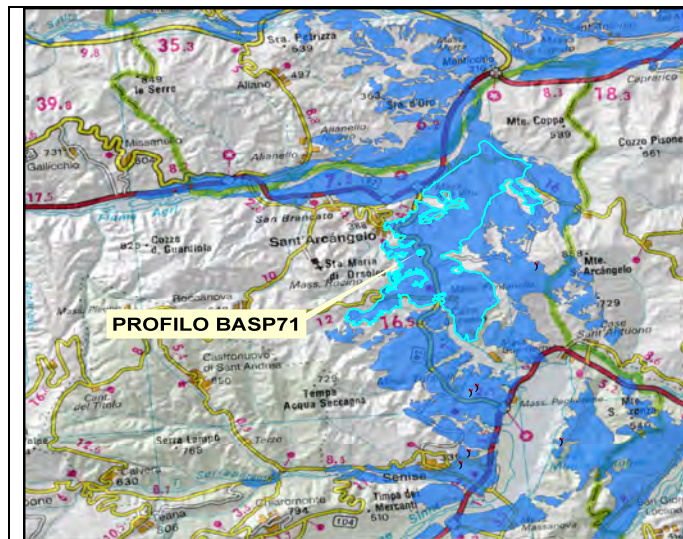


Figura 4.16 - Ubicazione e Sottosistemi di riferimento (in azzurro)

Tabella 4.25 - Tipologia di suolo: Vertisuoli e varianti vertiche, profondi (BAS_ELE1)

Numero orizzonte	1	2	3
Tipo Orizzonte	Ap	Bss1	Bss2
Limite superiore (cm)	0	45	90
Limite Inferiore (cm)	45	90	140
Scheletro (% in volume)	0	0	0
Sabbia Totale (%)	9,7	10,7	8,8
Argilla (%)	39,6	40,3	35,8
Massa Volumica Apparente (g/cm ³)	1,34	1,27	1,28
Conducibilità Idraulica Saturata (Ksat, cm/h)	0,18	0,13	0,19
Riserva Idrica Disponibile (mm)	0,14	0,13	0,14
Conducibilità Elettrica	-	-	-

Descrizione sintetica del suolo e dei caratteri e delle qualità fisico - idrologiche

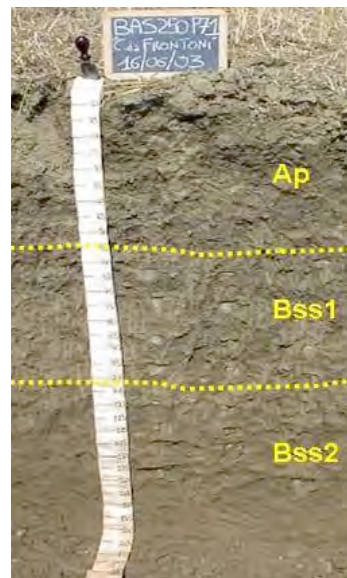


Figura 4.17 – Foto del Profilo di riferimento

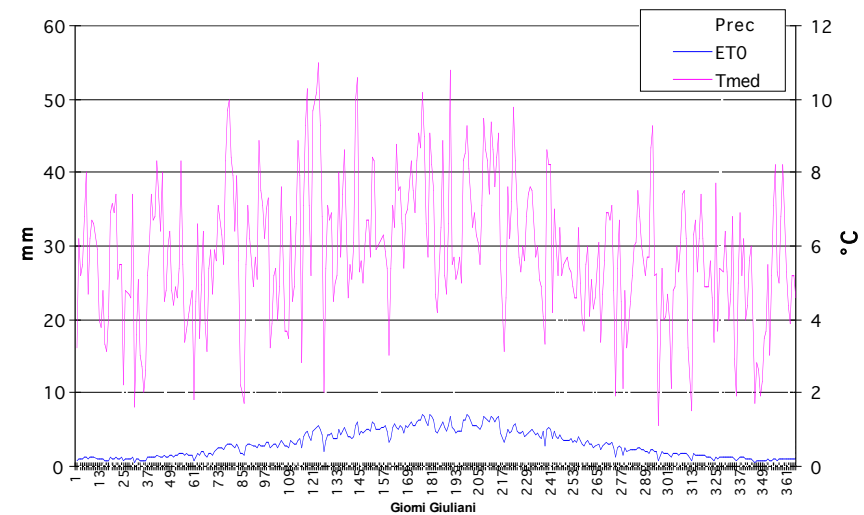


Grafico IV. 3 - Parametri climatici della stazione di riferimento (Lecce), anno 2005

SCHEDA N. 4 - REGIONE PUGLIA: Profilo Caposaldo gINTP96 – Sottounità Tipologica di Suolo PUG_SSP1

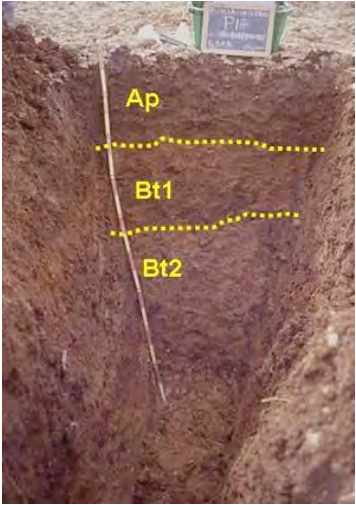
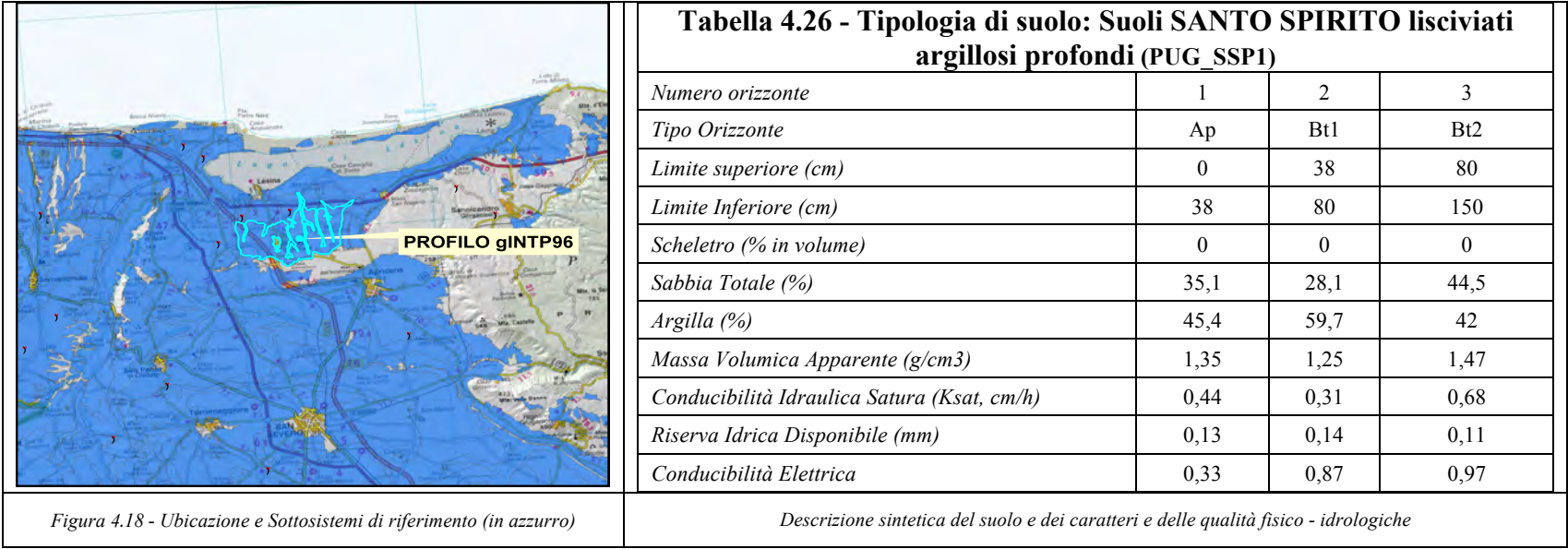


Figura 4.19 – Foto del Profilo di riferimento

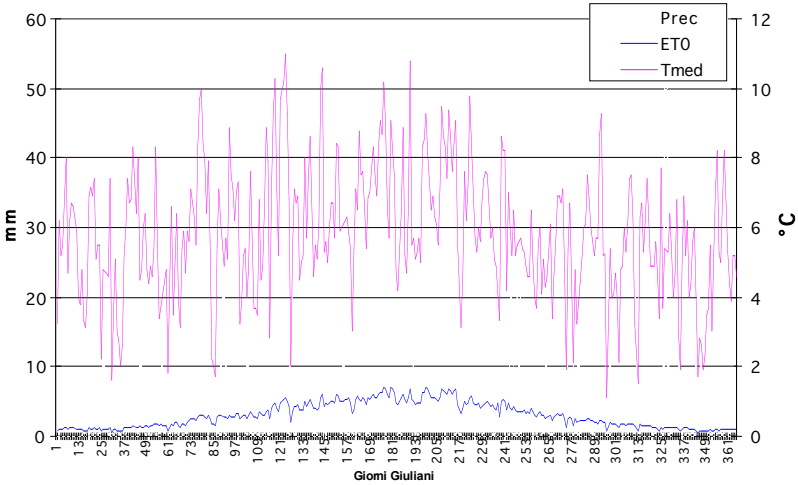


Grafico IV. 4 - Parametri climatici della stazione di riferimento (Lecce), anno 2005

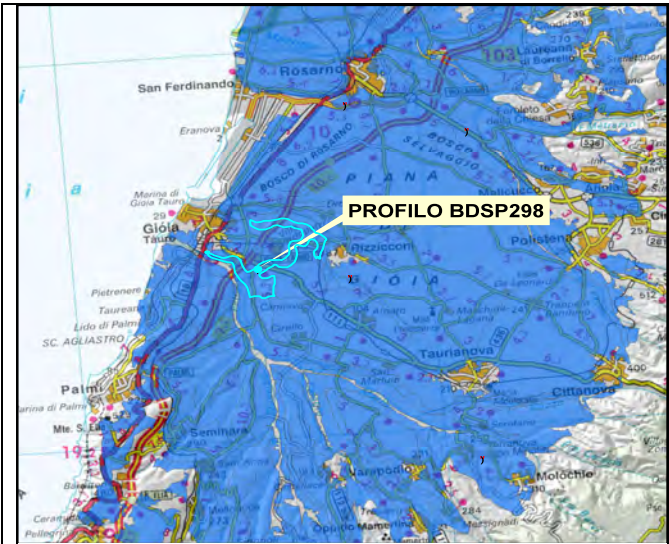


Figura 4.20 - Ubicazione e Sottosistemi di riferimento (in azzurro)

Tabella 4.27 - Tipologia di suolo: Suoli lisciviati franchi profondi (CAL_ERO2)				
Numero orizzonte	1	2	3	4
Tipo Orizzonte	Ap	Bt1	Bt2	Ct
Limite superiore (cm)	0	35	90	110
Limite Inferiore (cm)	35	90	110	150
Scheletro (% in volume)	0	0	0	0
Sabbia Totale (%)	51,5	30,5	58,7	58,7
Argilla (%)	13,6	25,6	4,6	4,6
Massa Volumica Apparente (g/cm3)	1,49	1,43	1,60	1,41
Conducibilità Idraulica Saturata (Ksat, cm/h)	1,69	0,70	2,43	4,00
Riserva Idrica Disponibile(mm)	0,13	0,13	0,12	0,13
Conducibilità Elettrica	0,14	0,20	0,13	nd

Descrizione sintetica del suolo e dei caratteri e delle qualità fisico - idrologiche

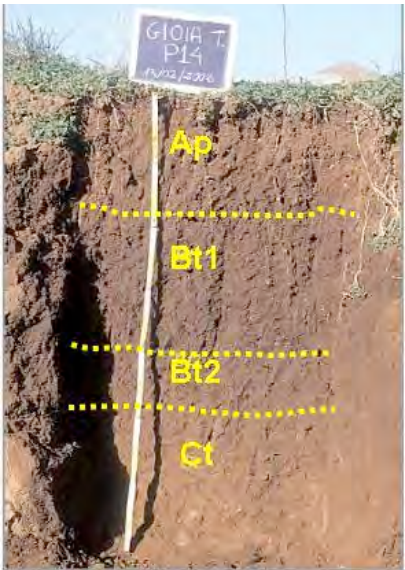


Figura 4.21 – Foto del Profilo di riferimento

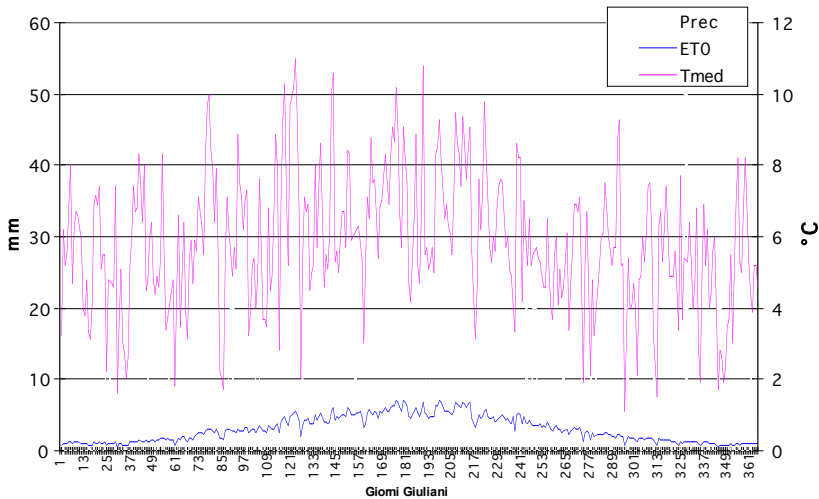


Grafico IV. 5 - Parametri climatici della stazione di riferimento (Lecce), anno 2005

SCHEDA N. 6 - REGIONE SICILIA - Profilo Caposaldo hQIPP38 – Sottounità Tipologica di Suolo SIC_PIE2

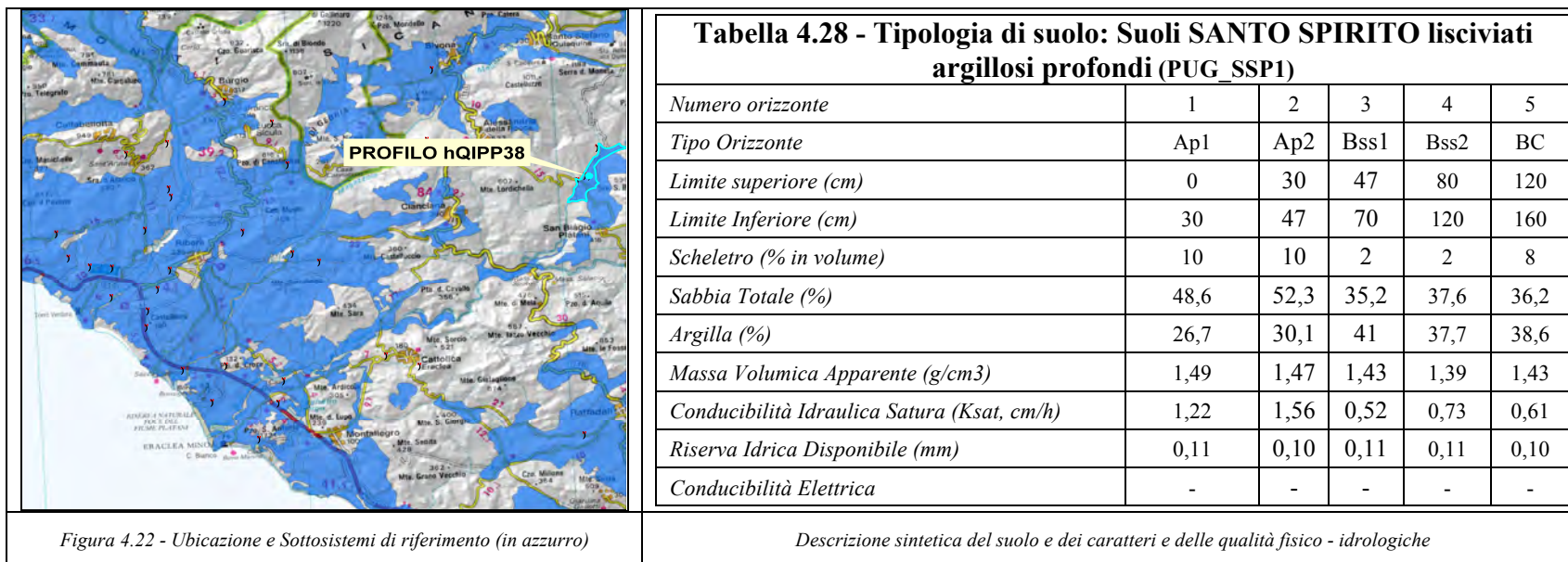


Figura 4.23 – Foto del Profilo di riferimento

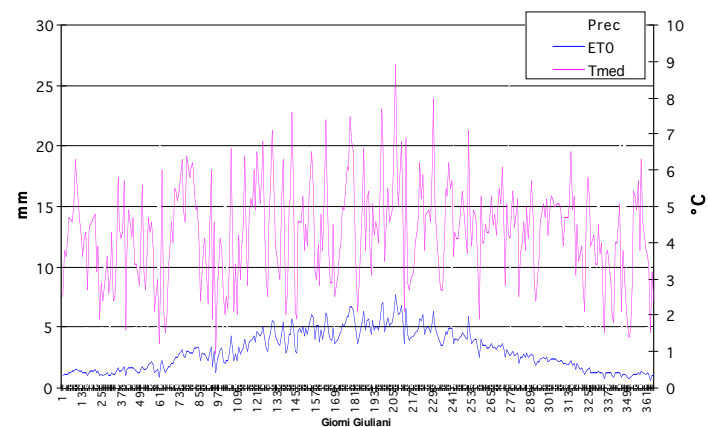


Grafico IV. 6 - Parametri climatici della stazione di riferimento (Trapani Birgi), anno 2005

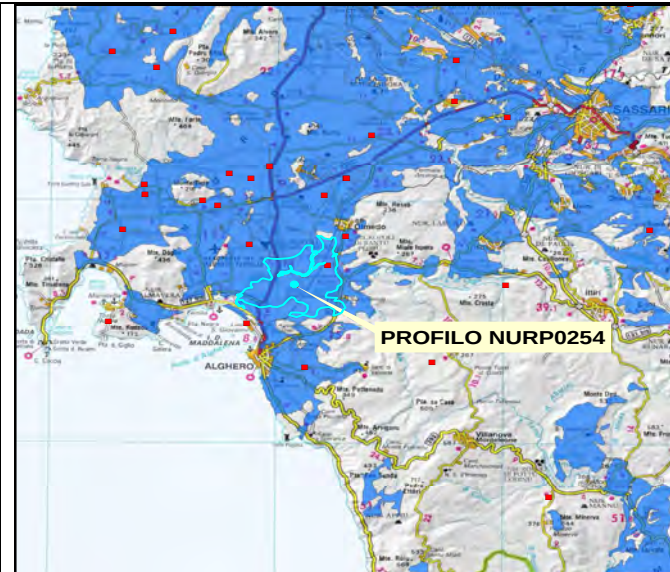


Figura 4.24 - Ubicazione e Sottosistemi di riferimento (in azzurro)

Tabella 4.29 - Tipologia di suolo: Suoli LUNAFRAS lisciviati franchi (SAR_LUN1)				
Numero orizzonte	1	2	3	4
Tipo Orizzonte	Ap	Bw	B1	B2
Limite superiore (cm)	0	25	50	110
Limite Inferiore (cm)	25	50	110	150
Scheletro (% in volume)	0	0	0	0
Sabbia Totale (%)	67,8	59,6	46,8	59,6
Argilla (%)	16,3	23,8	38,5	27,2
Massa Volumica Apparente (g/cm3)	1,5	1,4	1,5	1,5
Conducibilità Idraulica Saturata (Ksat, cm/h)	2,4	1,7	0,5	1,4
Riserva Idrica Disponibile (mm)	0,11	0,12	0,11	0,11
Conducibilità Elettrica	0,56	0,07	0,02	0,10

Descrizione sintetica del suolo e dei caratteri e delle qualità fisico - idrologiche

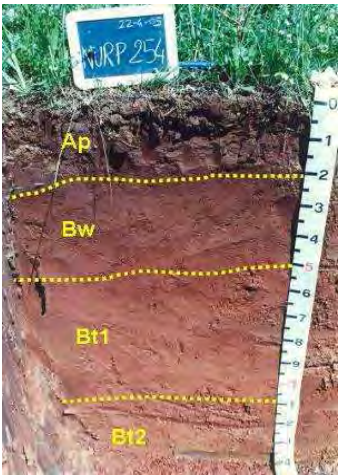


Figura 4.25 – Foto del Profilo di riferimento

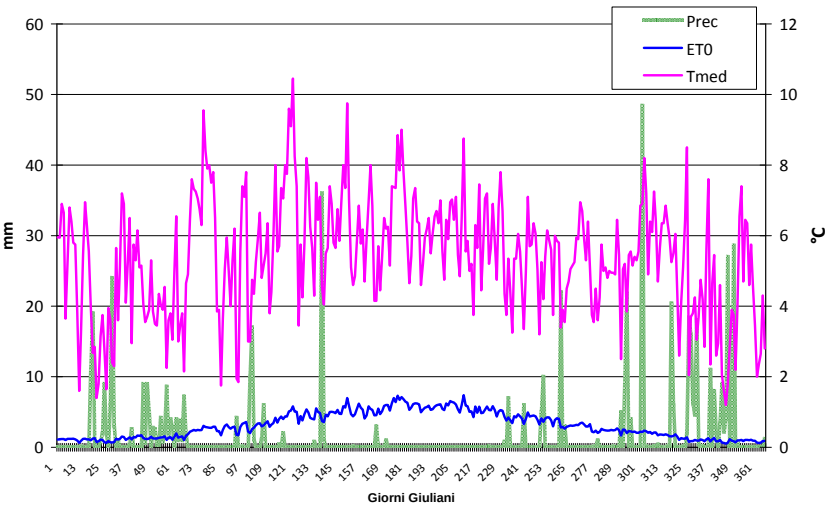


Grafico IV. 7 - Parametri climatici della stazione di riferimento (Olbia), anno 2005

Nelle tabelle seguenti si riportano – per alcune colture - i valori stimati degli apporti lordi e netti per le diverse tipologie di suoli e condizioni climatiche relative alle schede descritte in precedenza, in funzione del deficit idrico e della soglia intervento irriguo (% della Riserva Idrica Disponibile – AWC - al di sotto la quale la coltura andrebbe in stress idrico se non irrigata).

Tabella 4.30 - Fabbisogni e apporti irrigui totali per l'olivo con tecnica a basso (1) ed alto (2) input tecnologico

Regione	Sottounità Tipologica di Suolo	Coltura	Tecnica irrigua (1)	Deficit totale (Mc)	Apporto irriguo lordo totale (Mc)	Apporto irriguo netto totale (Mc)	Tecnica irrigua (2)	Apporto irriguo lordo totale (Mc)	Apporto irriguo netto totale (Mc)
Abruzzo	ABR_CST1	Olivo	Manichetta forata	930	1.360	1.158	Goccia	1.260	1.130
Basilicata	BAS_ELE1	Olivo	Manichetta forata	1.300	1.870	1.590	Goccia	1.680	1.510
Calabria	CAL_ERO2	Olivo	Manichetta forata	1.370	1.870	1.590	Goccia	1.680	1.510
Molise	MOL_RAM1	Olivo	Manichetta forata	1.110	1.530	1.300	Goccia	1.470	1.320
Puglia	PUG_SSP1	Olivo	Manichetta forata	1.450	2.040	1.730	Goccia	1.890	1.700
Sardegna	SAR_LUN1	Olivo	Manichetta forata	2.530	3.230	2.740	Goccia	3.150	2.830
Sicilia	SIC_PIE2	Olivo	Manichetta forata	2.450	3.060	2.600	Goccia	2.940	2.640

Tabella 4.31- Fabbisogni e apporti irrigui totali per la vite con tecnica a basso (1) ed alto (2) input tecnologico

Regione	Sottounità Tipologica di Suolo	Coltura	Tecnica irrigua (1)	Deficit totale (Mc)	Apporto irriguo lordo totale (Mc)	Apporto irriguo netto totale (Mc)	Tecnica irrigua (2)	Apporto irriguo lordo totale (Mc)	Apporto irriguo netto totale (Mc)
Abruzzo	ABR_CST1	Vite	Manichetta forata	1.560	2.900	2.180	Goccia	2.240	2.010
Basilicata	BAS_ELE1	Vite	Manichetta forata	1.850	3.230	2.400	Goccia	2.680	2.410
Calabria	CAL_ERO2	Vite	Manichetta forata	1.880	3.230	2.580	Goccia	2.680	2.410
Molise	MOL_RAM1	Vite	Manichetta forata	1.510	2.580	2.060	Goccia	2.350	2.110
Puglia	PUG_SSP1	Vite	Manichetta forata	1.850	3.230	2.580	Goccia	2.680	2.410
Sardegna	SAR_LUN1	Vite	Manichetta forata	2.650	3.870	3.100	Goccia	3.470	3.120
Sicilia	SIC_PIE2	Vite	Manichetta forata	2.190	3.230	2.580	Goccia	2.910	2.620

Tabella 4.32 - Fabbisogni e apporti irrigui totali per il pomodoro con tecnica a basso (1) ed alto (2) input tecnologico

Regione	Sottounità Tipologica di Suolo	Coltura	Tecnica irrigua	Deficit totale	Apporto irriguo lordo totale	Apporto irriguo netto totale	Tecnica irrigua	Apporto irriguo lordo totale	Apporto irriguo netto totale
			(1)	(Mc)	(Mc)	(Mc)	(2)	(Mc)	(Mc)
Abruzzo	ABR_CST1	Pomodoro	Aspersione	2.470	3.900	3.130	Goccia	3.340	3.010
Basilicata	BAS_ELE1	Pomodoro	Aspersione	3.030	4.660	3.720	Goccia	3.920	3.520
Calabria	CAL_ERO2	Pomodoro	Aspersione	3.060	4.650	3.720	Goccia	4.000	3.600
Molise	MOL_RAM1	Pomodoro	Aspersione	2.440	3.800	3.040	Goccia	3.250	2.930
Puglia	PUG_SSP1	Pomodoro	Aspersione	3.040	4.650	3.720	Goccia	3.910	3.520
Sardegna	SAR_LUN1	Pomodoro	Aspersione	3.740	4.640	4.180	Goccia	3.900	3.600
Sicilia	SIC_PIE2	Pomodoro	Aspersione	3.430	4.800	3.840	Goccia	4.250	3.830

Tabella 4.33 - Fabbisogni e apporti irrigui totali per il pomodoro con tecnica a basso (1) ed alto (2) input tecnologico

Regione	Sottounità Tipologica di Suolo	Coltura	Tecnica irrigua	Deficit totale	Apporto irriguo lordo totale	Apporto irriguo netto totale	Tecnica irrigua	Apporto irriguo lordo totale	Apporto irriguo netto totale
			(1)	(Mc)	(Mc)	(Mc)	(2)	(Mc)	(Mc)
Basilicata	BAS_ELE1	Arancio	Manichetta forata	2.160	2.810	2.390	Goccia	2.680	2.410
Calabria	CAL_ERO2	Arancio	Manichetta forata	1.980	2.630	2.230	Goccia	2.460	2.210
Sicilia	SIC_PIE2	Arancio	Manichetta forata	2.900	3.760	3.160	Goccia	3.580	3.220

4.7 La valutazione di sostenibilità all'uso irriguo su base territoriale

Un ulteriore obiettivo che questo studio si è proposto è quello di valutare la sostenibilità dell'uso irriguo su base territoriale più ampia, in particolare legata alla copertura dei Pedopaesaggi in scala di riconoscimento (Sottosistemi Pedologici).

La possibilità di avere una valutazione cartografica generale ed estesa può risultare di estrema utilità alla pianificazione degli interventi strutturali in relazione ad eventuali potenziamenti delle reti irrigue.

Quindi, una valutazione che tenesse conto della efficienza media delle realtà irrigue (insieme delle situazioni suolo-clima-coltura-tecnica) di una porzione di territorio paesaggisticamente e geograficamente omogenea, tradotta in classi di uso sostenibile.

Per effettuare tale valutazione non era possibile né corretto fare riferimento ad una mappatura di uso irriguo temporalmente definita; infatti ciò non avrebbe consentito di valutare le aree che sono state giudicate “potenzialmente irrigue” ma che attualmente sono prive di appezzamenti interessati da questo tipo di colture e tecniche.

Mantenendosi sull'uso irriguo ad una certa data potevano quindi risultare escluse aree messe a coltura irrigua in una fase temporale successiva.

Si è scelto, quindi di riferirsi, nell'ambito della valutazione, alla distribuzione percentuale media provinciale (Statistiche da fonte ISTAT) di colture irrigue per ogni Sottosistema ricadente in quella Provincia.

Quindi, sulla base dei valori di efficienza media ponderata del singolo poligono-Unità Cartografica, per ogni scenario considerato, è stata valutata l'efficienza media ponderata del singolo poligono di Pedopaesaggio, per tutta l'area di studio.

E' stato in ogni caso deciso, per completezza di informazione, di mantenere anche in tabella GIS il dato di superficie reale irrigata (riferita alla data di mappatura 2005) nella tabella informativa di ogni poligono di SST.

Sulla base della distribuzione dei risultati per l'intera area di studio “potenzialmente irrigabile” delle Regioni Meridionali, si sono proposte le seguenti classi di “uso irriguo sostenibile” (Tabella 4.25).

Tabella 4.34 - Classi di uso irriguo sostenibile in relazione ai range di efficienza e descrizione delle condizioni e/o limitazioni per la gestione del sistema suolo-clima-cultura-pianta

Classe	Descrizione	Range valori efficienza
Classe 1	Uso sostenibile: la condizione di uso irriguo con le colture e tecniche adottate è sostenibile senza condizioni	100-80
Classe 2	uso parzialmente sostenibile: la condizione di uso irriguo con colture e tecniche adottate è sostenibile condizionatamente al miglioramento dell'efficienza con poche modifiche di gestione (tecnica, scheduling irriguo) e/o con tecniche adeguate di miglioramento delle condizioni idrologiche dei suoli	80-40
Classe 3	Uso scarsamente sostenibile: la condizione di uso irriguo con colture e tecniche adottate è scarsamente sostenibile, e migliorabile con interventi di modifiche gestionali o riconversioni colturali, fatto salvo l'intervenire con sistemazioni idraulico-agrarie per modificare sostanzialmente le condizioni idrologiche dei suoli e procedere alla conseguente verifica della economicità di tali interventi.	40-20
Classe 4	Uso non sostenibile: le limitazioni climatiche e idrologiche dei suoli sono talmente forti che con l'attuale assetto colture-tecniche non è economicamente sostenibile nessun tipo di intervento migliorativo, e le aree sono da considerare non adatte a usi irrigui.	20-0

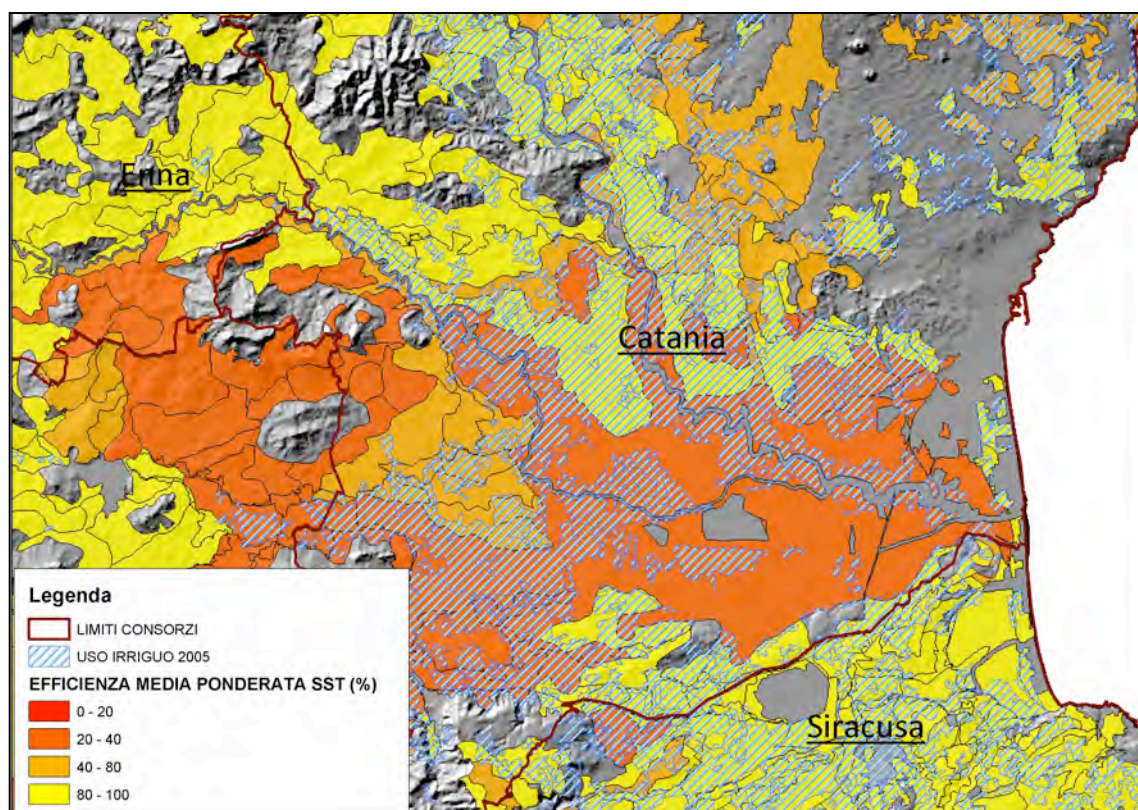
E' importante tener conte che la definizione di uso irriguo sostenibile, in relazione alla efficienza del sistema suolo-clima-cultura-tecnica, stabilisce quali sono le soglie di sostenibilità nel tempo in relazione al rapporto tra apporto netto e lordo, quindi in definitiva la percentuale di perdite che si hanno per runoff/ristagno superficiale e percolazione profonda dell'acqua fornita.

Ciò è legato sia a problemi di tipo gestionale che biofisico.

Nella classe 2 – parzialmente (o condizionatamente) sostenibile, tali problemi sono superabili con interventi di cambiamento di tecnica e/o miglioramento dei caratteri idrologici del suolo, a costi contenuti; una forte disefficienza e quindi una classe più alta (3 o 4, da scarsamente a non sostenibile) definisce dei problemi di ordine fisico-idrologico e climatico locale che non consentono, a costi economicamente vantaggiosi, interventi di miglioramento che permettano un tale uso continuativo senza mettere in conto lo spreco di grandi quantità di acqua.

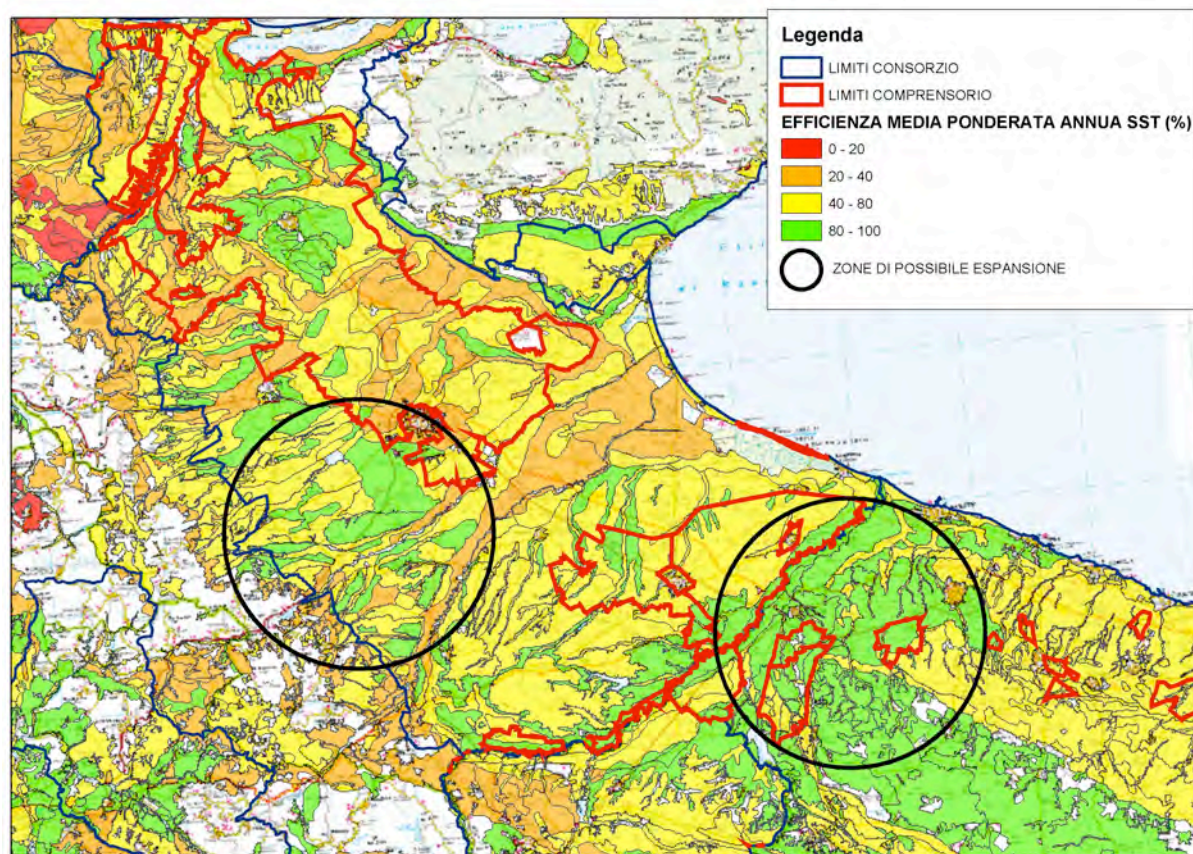
Si riportano di seguito alcuni esempi di possibile utilizzo dell'interrogazione e/o visualizzazione geografica. Si può vedere come a seconda delle diverse analisi di confronto tra i dati di uso irriguo reale e potenziale su base provinciale (Fig. 4.22) si possa confrontare l'estensione geografica di efficienze riferite ad una data reale (nel nostro caso mappatura dell'uso irriguo 2005) con le rimanenti aree.

Figura 4.26 - Individuazione dell'efficienza dei territori attualmente irrigui in confronto a quelli potenzialmente irrigui: Sottosistemi che hanno al loro interno uso irriguo e sottosistemi senza uso irriguo, ma dentro l'area di studio (potenzialmente irrigabili).



Un altro caso di rappresentazione utile alla pianificazione è mostrato in figura 4.13: si possono definire ed individuare gli ambiti geografici di possibile espansione nelle zone immediatamente attigue alle aree già attrezzate consortili dove l'efficienza media dei pedopaesaggi garantisce una sostenibilità a medio-lungo termine dell'intervento.

Figura 4.27 - Esempio di applicazione dei risultati della efficienza su base territoriale (SST): Visualizzazione delle aree adiacenti ai comprensori nel CdB della Capitanata (Puglia) con ipotesi di definizione delle aree a maggiore efficienza irrigua di possibile espansione delle reti attrezzate(indicate con i cerchi neri).



4.8 Sviluppi futuri di approfondimento del modello

Il modello di calcolo dei fabbisogni idrici colturali sviluppato nel presente studio attualmente presenta una complessità strutturale tale da poter essere gestito da utenti particolarmente esperti.

In particolare la configurazione della banca dati pedologica è molto complessa in quanto costituita da numerose tabelle e relative relazioni gestite da codice informatico di non facile intuizione.

Pertanto, nel prosieguo delle attività del progetto si prevede di costruire delle apposite interfacce che consentano anche ad utenti non esperti di poter inserire i dati di base necessari al funzionamento del modello.

Inoltre si procederà ad una fase di calibrazione/validazione del modello attraverso una campagna di misurazione da eseguirsi in alcune aree test in grado di coprire la variabilità pedoculturale del territorio - volta ad acquisire dati di dettaglio su proprietà idrologiche dei suoli, caratteristiche delle tecniche irrigue relativamente ai parametri di programmazione irrigua utilizzati realmente a livello locale (intensità e durata degli adacquamenti, scansione temporale).

Introduzione di metodi dinamici di acquisizione dei parametri biofisici delle superfici vegetate, quali l'Indice di Area Fogliare, il Coefficiente Culturale necessari all'aggiornamento del database dei parametri culturali, attraverso:

- L'acquisizione nelle aree test di dati rilevati con spettrometro, per la calibrazione e determinazione delle firme spettrali delle colture irrigue in diverse fasi della stagione
- L'elaborazione di immagini satellitari multispettrali e multitemporali con cadenza bisettimanale, nel corso di una stagione irrigua, al fine di poter misurare il range di variabilità della crescita colturale sia tra colture diversa che tra la stessa coltura;

Analisi di tecniche di ottimizzazione per l'individuazione delle strategia irrigue a maggiore efficienza. Per ogni combinazione di suolo, coltura e clima, saranno individuate, mediante tecniche informatiche di ottimizzazione, un certo numero di strategie irrigue, definite in termini di volume irriguo specifico, intensità e turno, caratterizzate da differente efficienza nell'impiego della risorsa idrica.

Mediante utilizzo di un modello di simulazione dello sviluppo colturale quale, ad esempio, CROPSYST (sviluppato dal Biological Systems Engineering Department, Washington State University), sarà stimata la resa conseguibile con ciascuna delle strategie individuate. Saranno effettuate delle analisi comparativi tra le rese e i costi relativi a ciascuna strategia (costo degli impianti, consumi idrici ed energetici, costo del lavoro), al fine di individuare quella che garantisce il miglior compromesso tra rese e costi.

Riferimenti Bibliografici

1. APAT, La realizzazione in Italia del progetto europeo Corine Land Cover, Dipartimento stato dell'ambiente e metrologia ambientale. Servizio gestione modulo nazionale SINAnet.Rapporti 36/2005, pp. 86, 2005, 2000.
2. Arangino F., Aru A., Baldaccini P., Vacca S., I suoli delle aree irrigabili della Sardegna. Regione Sardegna, Ente autonomo Flumendosa. Cagliari, Italia, 1986.
3. Aru A., Baldaccini P., Delogu G., Dessena M.A., Madrau S., Melis R., Carta dei Suoli della Sardegna, in scala 1/250.000. Assessorato alla programmazione e all'assestamento del territorio, Centro Regionale Programmazione, Dip. Sc. della Terra, Univ. di Cagliari, Italy, 1990.
4. Barbetti R., Costantini E.A.C., Fantappiè M., Magini S., Paolanti M., L'abate G., Le banche dati geografiche. In linee guida dei metodi di rilevamento e informatizzazione dei dati pedologici. Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali. Coordinatore: E. A. C. Costantini, 2007.
5. Bianco V., Pampini F. et al., Orticoltura. Patron editore, 1990.
6. Bishop Y. M. M., Feinberg S. E. e Holland P.W., *Discrete Multivariate Analysis-Theory and Practice*, MIT, Press, Cambridge Mass, 1975.
7. Bossard M., Feranec J., Otahel J., *CORINE land cover technical guide*. Addendum 2000. Technical report N°40. Copenhagen. European Environment Agency, pp. 105, 2000.
8. Campbell G.S., *Soil physics with BASIC*. In: Transport models for soil-plant system. Elsevier, New York, pp 150, 1985.
9. Campbell G.S. and Campbell M.D., *Irrigation scheduling using soil moisture measurements: Theory and practice*. Advances in Irrigation 1, 25-42, 1982.
10. Chiuchiarelli I., Napoli. R., Paolanti M., Santucci S., La Carta dei Sottosistemi di Terre della Regione Abruzzo in scala 1:250.000. Convegno ARSSA La Carta dei suoli della Regione Abruzzo 1:250.000, prospettive ed applicazioni. Avezzano, 2001.
11. Chiuchiarelli I., Paolanti M., Riveccio R., Santucci S., Criteri per la definizione delle unità e sottounità tipologiche di suolo (UTS e STS). Centro SAPA, ARSSA Abruzzo, 2004.
12. Chiuchiarelli I., Paolanti M., Riveccio R., Santucci S., Suoli e paesaggi d'Abruzzo - Carta dei suoli d'Abruzzo, in scala 1:250.000. Agenzia Regionale per i servizi di sviluppo agricolo, della regione Abruzzo (ARSSA). Centro Studi SAPA, 2006.
13. Cohen J., *Surveyor's Forum: Determining a Search*, ACM Computing Surveys, 12(3), 358, 1980.
14. Cohen J., *A coefficient of agreement for nominal scale*, Educational and psychological measurement, Vol.20, 1960.
15. Costantini E.A.C., Urbano F., Bonati G., Nino P., Fais A (Curatori) (2007). Atlante nazionale delle aree a rischio di desertificazione. INEA, Roma, pp.108.
16. Costantini E.A.C., Fantappiè M., Bocci M., Marzocchi S., Sacchi G., Paolanti M., Riveccio R., Giorgianni A., Perciabosco M., *Monitoring soil erosion and landslides in Sicily by an integrated physiographic and geomorphological gis*. Palermo convegno ESSC (Società Europea di Scienze del Suolo), 2007.
17. Costantini E.A.C., Metodi di valutazione dei suoli e delle terre. Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali, 2006.
18. Dal Monte G., Perini L., Brunetti A., Indici Agroclimatici - Quantità attese di precipitazione ed evapotraspirazione potenziale, UCEA, 1995.

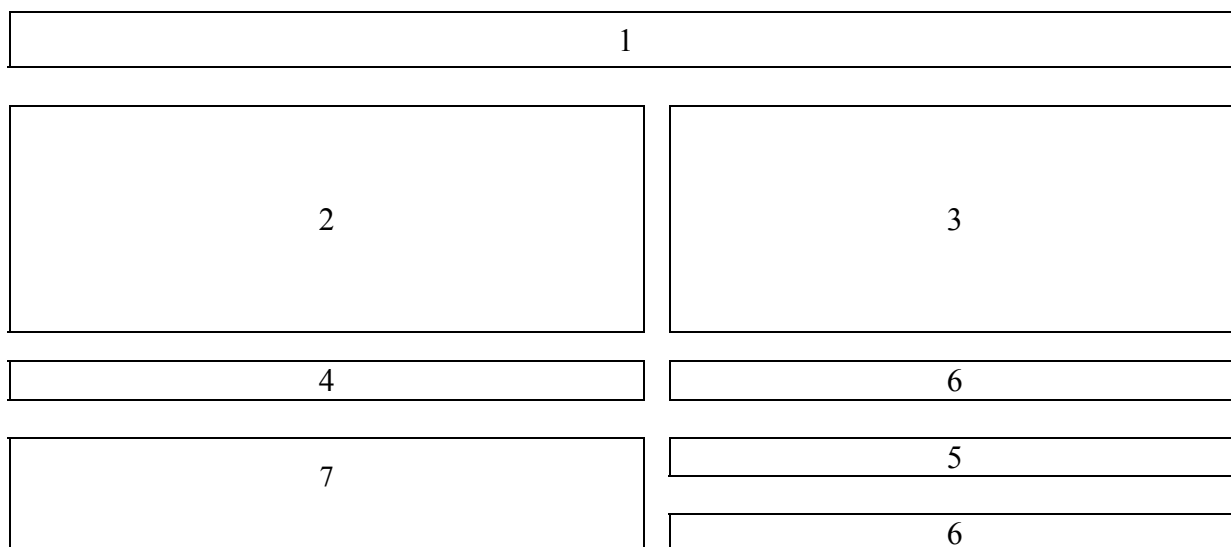
19. Dottori F., Marletto V., Van Soetendael M., Tomei F., CRITERIA Manuale Tecnico- ARPA Emilia-Romagna SIM, Bologna, 2007.
20. Duce P., Progetto Climagri - Cambiamenti Climatici e Agricoltura, sottoprogetto 2: Agricoltura Italiana e Cambiamenti Climatici, Linea di ricerca 2.2: "Individuazione delle aree agricole e delle colture a forte rischio per variazioni climatiche" Istituto per il Monitoraggio degli Agroecosistemi, C.N.R., Sassari, 2007.
21. European Commission, *Corine Land Cover – Technical Guide*, Directorate General Environment, 1993.
22. Fais. A., Nino P., Le iniziative INEA per la realizzazione di carte di uso del suolo e data base sulle colture irrigue nelle Regioni Obiettivo 1. Atti del Seminario di Roma, Orto Botanico "Cartografia e database di uso e copertura del suolo", Documenti del Territorio n° 42, Roma, 1999.
23. FAO, *Crop evapotranspiration- Guidelines for computing crop water requirements*. Technical Paper, 1998.
24. Fierotti G., Carta dei suoli della Sicilia. Regione Siciliana, Università degli Studi, Palermo, Italia, (cartografia), 1988.
25. Fierotti G., I suoli della Sicilia: con elementi di genesi, classificazione e valutazione dei suoli, Dario Flaccovio Editore, pp. 359, 1997.
26. Giardini L., Agronomia generale. Patron editore, 1992.
27. Gomasasca M. A., Introduzione a telerilevamento e GIS per la gestione delle risorse agricole e ambientali, Ed AIT, Firenze, 1997.
28. Green W. H., Ampt G.A., *Studies on soil physics:1. the flow of air and water through soils*. J.Agric. Sci.4:11-24, 1911.
29. Hargreaves G.H., Samani Z.A., *Estimating potential evapotranspiration*, Tech.Note, J.Irrig. and Drain Eng., ASCE, 108: 2205-230, 1982.
30. INEA, Il progetto CASI - Guida tecnica e presentazione risultati, Roma, 2001.
31. ISTAT, V Censimento Nazionale dell'Agricoltura. Database online, 2001.
32. ISTAT, Struttura e produzioni delle aziende agricole – Anno 2003.
33. IUSS WORKING GROUP WRB., *World reference base for soil resources 2006*. World Soil Resources Reports No. 103. Rome, FAO, 2006.
34. IUSS-ISRIC-FAO-ISSDS, *World Reference Base for Soil Resources*. Versione italiana a cura di E.A.C. Costantini e C. Dazzi. ISSDS, Firenze, pp. 98, 1999.
35. Jenny H., *Factors of Soil Formation*. McGraw-Hill, New York. 109p, 1941.
36. Krumbein-Monk citato in Lee, S.S., *A modeling study on vadose zone leaching, saturated zone mixing, and groundwater flow in heterogeneous aquifer* (Vadose-Groundwater Model). University of Rhode Island, Ph.D. dissertation., 1999.
37. Leonaviciutė, N., *Predicting soil bulk and particle densities by pedotransfer functions from existing soil data in Lithuania*. Geografijos metraštis 33 t, 2000.
38. Longo F., Coglitore M., Aramini G., Colloca C., Corea A.M., Paone R., I suoli della Calabria. Carta dei suoli in scala 1:250.000 della regione Calabria. Monografia divulgativa. Regione Calabria - Assessorato agricoltura caccia e pesca - Agenzia regionale per lo sviluppo e per i servizi in agricoltura. Cosenza, Italia, pp. 387, 2003.
39. Maselli F., *Definition of Spatially Variable Spectral Endmembers by Locally Calibrated Multivariate Regression Analyses*, Remote Sensing of Environment, 2001.
40. MIPA, Metodi di analisi chimica del suolo. Ministero per le Politiche Agricole Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo. Coord. P. Violante. Ed. Franco Angeli, 2000.

41. MIPA, Metodi di analisi fisica del suolo. Ministero per le Politiche Agricole Osservatorio Nazionale Pedologico e per la Qualità del Suolo. Coord. M. Pagliai. Ed. Franco Angeli, 1997.
42. Monteith J.L., Unsworth M.H., *Principles of environmental physics*, 2a ed. Edward Arnold, London, 1990.
43. Perini L. et al., Atlante Agroclimatico: agroclimatologia, pedologia, fenologia del territorio italiano. UCEA, 2004.
44. Progetto OTRIS, L'irrigazione e la fertirrigazione delle colture erbacee negli ordinamenti produttivi di Puglia e Basilicata, Coordinatore scientifico: Emanuele Tarantino.
45. Rawls, W.J., Brakensiek, D.L., *Prediction of soil water properties for hydrologic modeling*. In: Jones, E.B., Ward, T.J., (Eds.), *Proceedings of a Symposium Watershed Management in the Eighties*. April /May 1, Denver, CO. Am. Soc. Civil Eng., New York, NY. pp. 293/299, 1985.
46. Reale T. De Pari P. R. Rasio, Pedopaesaggi Molisani. Ente Regionale di Sviluppo Agricolo per il Molise, 2002.
47. Reale T. De Pari P., I Suoli delle principali aree irrigue del Molise. Ente Regionale di Sviluppo Agricolo per il Molise, 2000.
48. REGIONE ABRUZZO, Carta dell'uso del suolo 1:25.000. Servizio per l'informazione Territoriale e la cartografia, 2000.
49. Richards J.A., *Remote Sensing Digital image Analysis: an Introduction*. Springer, Verlag, Berlin, 1986.
50. Saxton K.E., W.J. Rawls, J.S. Romberger and R.I. Papendick., *Estimating generalized soil-water characteristics from texture*. Soil Science Society of America Journal, 50, 1031-1036, 1986.
51. SOIL SURVEY STAFF., *Keys to Soil Taxonomy* (Tenth Edition), USDA, Soil Conservation Service, Washington D.C., USA, 2006.
52. Thiery F., 2001. Costituzione della banca dati agrometeorologica nell'ambito del SIGRIA: risorse, problematiche e metodi, Istituto Nazionale di Economia Agraria.
53. Valli R., Arboricoltura generale e speciale. Ed agricole, 1999.
54. Van Genuchten M.Th., *A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils*. Soil Science Society of America Journal, 44: 892-898, 1980.
55. Van Wambeke A., Forbes T., *Guidelines for using Soil Taxonomy in the names of soil map units*, SMSS Technical Monograph n.10, USDA, Lincoln, Ne., USA, 1986.
56. Van Zuidam R.A., *Aerial photo-interpretation in terrain analysis and geomorphological mapping*. – ITC, Enschede, the Netherlands, 1985.
57. Vereecken, H., Maes, J., Feyen, J., *Estimating unsaturated hydraulic conductivity from easily measured soil properties*. Soil Science 149, 1-12, 1990.
58. Viviano L. Cassi F., I suoli della Basilicata. Carta dei suoli della Regione Basilicata in scala 1:250.000. Ente Regionale di Sviluppo Agricolo Basilicata, 2006.
59. Wösten, J.H.M., Lilly, A., Nemes, A. et Le Bas, C., *Development and use of a database of hydraulic properties of European soils*. Geoderma, 90: 169-185, 1999.
60. Wösten, J.H.M., Pachepsky, Y.A. and Rawls, W.J., *Pedotransfer functions: Bridging the gap between available basic soil data and missing soil hydraulic characteristics*. Journal of Hydrology 251 (3-4), 123-150, 2001.

ALLEGATO I

ILLUSTRAZIONI RELATIVE ALL'INTERPRETAZIONE

Le illustrazioni relative alla nomenclatura del progetto riportano, per le classi irrigue della legenda, l'immagine satellitare su cui la classe è stata interpretata, l'interpretazione vettoriale risultante, ed un esempio di documentazione utilizzata quale ausilio all'interpretazione, secondo lo schema seguente:



1 = Campo della nomenclatura e descrizione

2 = Immagine satellitare

3 = Interpretazione vettoriale o documentazione ancillare

4 = Categoria, locazione, satellite e sensore, combinazione spettrale, scala, data, path e row.

5 = Documentazione ancillare

6 = Tipo di materiale ancillare

7 = Commenti e problemi nella delimitazione e interpretazione della classe

212 - Superfici coltivate regolarmente arate e generalmente sottoposte ad un sistema di rotazione. Colture irrigate stabilmente e periodicamente. La maggior parte di queste colture non potrebbe realizzarsi senza l'apporto artificiale di acqua.

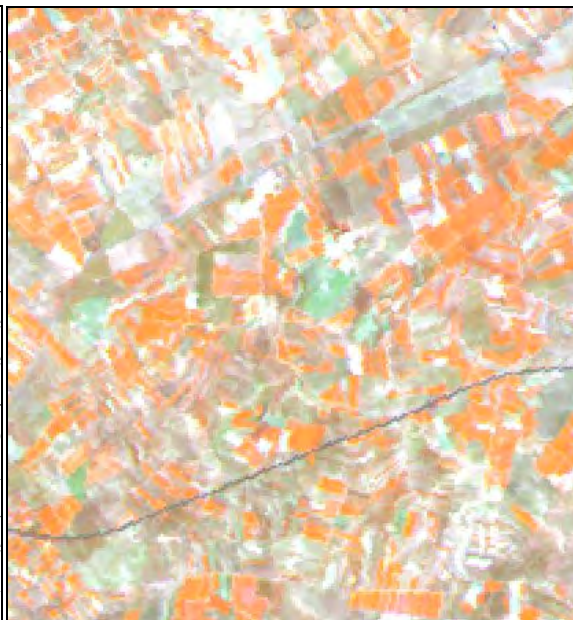


212. Puglia| Area: Cerignola. Landsat TM RGB432, 1:50000, 1 agosto 2005, path 188 row 31
© Immagini ESA/Eurimage, Nuova Telespazio S.P.A.

Interpretazione
© Immagini ESA/Eurimage, Nuova Telespazio S.P.A.

L'esempio presentato in queste immagini mostra un'area dove le colture irrigue caratterizzano in maniera significativa il territorio. Le colture irrigue si distinguono per le tonalità rosso-rosa nelle immagini in falsi colori RGB432 e per i toni arancione accesi nell'immagine in falsi colori RGB453.

Ciò è dovuto all'alta riflessione della vegetazione nella banda dell'infrarosso vicino (banda 4), per il forte assorbimento nella banda visibile del rosso (banda 3) e per il contenuto di umidità della copertura vegetazionale rappresentato dalla banda dell'infrarosso medio (banda 5). La delimitazione degli appezzamenti irrigui avviene sulla base della contemporanea presenza di colori rosso vivo ed arancione intenso nelle due immagini in falso colore e sulla base delle informazioni raccolte in campo ed estratte dalle ortofoto.



Elaborazione in falso colore RGB 453
© Immagini ESA/Eurimage, Nuova Telespazio S.P.A.

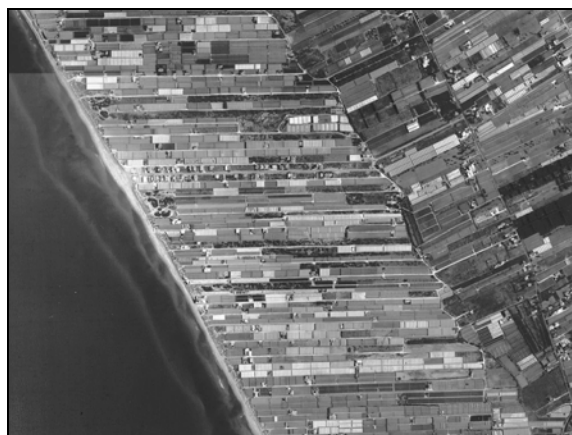


2125.Sicilia| Area: Vittoria. Landsat TM RGB453, 1:50000,
7 luglio 2005, path 189, row 34.
© Immagini ESA/Eurimage, Nuova Telespazio S.P.A.

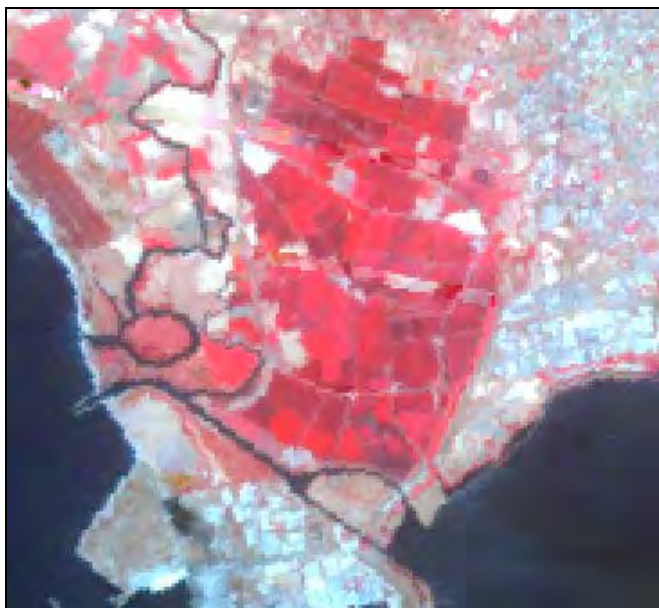


Interpretazione
© Immagini ESA/Eurimage, Nuova Telespazio S.P.A.

Le serre evidenziano una risposta spettrale molto particolare (tonalità violacea nell'immagine), pertanto risultano di facile interpretazione utilizzando le immagini in falsi colori RGB 453. Il problema maggiore risiede nelle piccole dimensioni degli appezzamenti, nei quali quindi il ricorso alle ortofoto ad una scala di dettaglio (1:7.500) è di fondamentale importanza per delimitare in maniera geometricamente corretta tale classe.



Ortofoto, scala 1:7500
© Ortofoto AGEA



213. Sardegna|Area: Campidano di Oristano. Landsat TM RGB 432, 1:50000, 24 luglio 2004, path 193, row 32.
© Immagini ESA/Eurimage, Nuova Telespazio S.P.A.

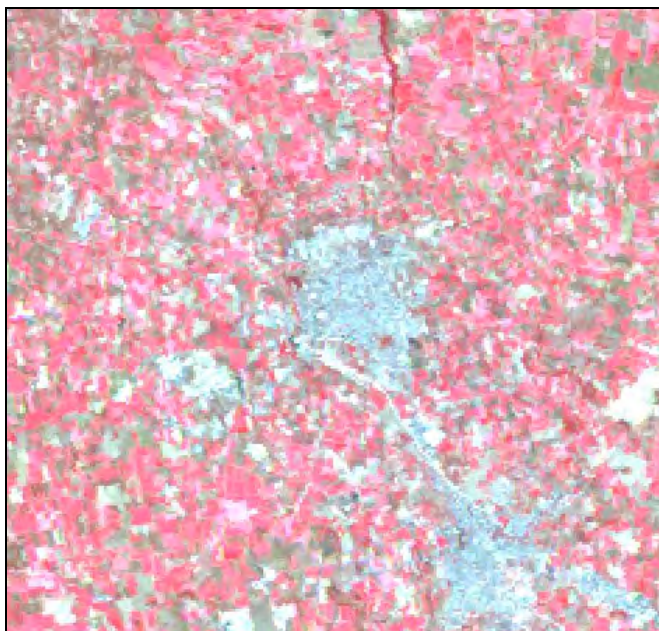


Interpretazione
© Immagini ESA/Eurimage, Nuova Telespazio S.P.A.

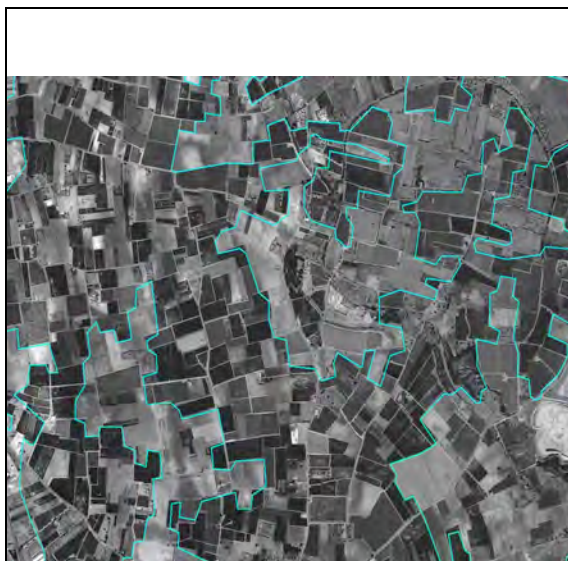
L'individuazione delle risaie è facilitata dall'uso integrato di immagini multitemporali. Infatti utilizzando immagini primaverili, in cui le camere sono inondate di acqua, in combinazione con immagini estive in cui le piante di riso hanno raggiunto una copertura totale delle camere tale da provocare una forte riflessione nella banda dell'infrarosso vicino (tonalità rosso- arancio nelle immagini in alto), si riesce a discriminare la coltura del riso con un alto grado di precisione.



Documentazione fotografica



2211. Puglia|Area: Noicattaro (Ba). Landsat TM RGB432 1 agosto 2005, path 188 row 31
© Immagini ESA/Eurimage, Nuova Telespazio S.P.A.



Ortofoto 1:7500
© Ortofoto AGEA

Non esiste una chiave interpretativa univoca per la discriminazione dei vigneti in generale e di quelli irrigui in particolare.

La risposta spettrale dei vigneti irrigui a tendone molto spesso viene confusa con quella dei seminativi irrigui (classe 212) e viceversa.

Quale ausilio all'interpretazione si sono utilizzati i seguenti materiali:

- ortofoto;
- numerosi rilievi di campo in tutte le aree di studio;
- dati statistici sull'uso del suolo.



Documentazione fotografica dei rilievi di campo



2221 Sicilia\Area: Catania Landsat TM RGB453, 1:50000, 16 luglio 2005, path 188, row 34.
© Immagini ESA/Eurimage, Nuova Telespazio S.P.A.



Documentazione fotografica dei rilievi di campo

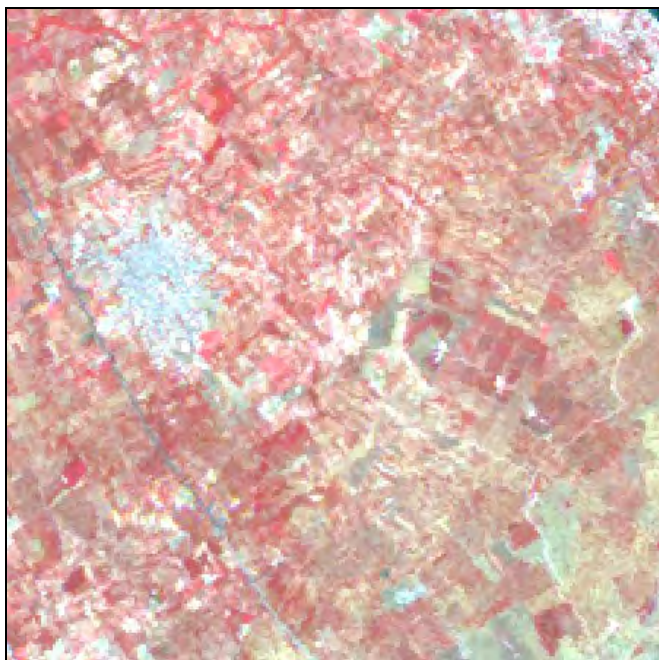
Non esiste una chiave interpretativa univoca per la discriminazione dei frutteti in generale e di quelli irrigui in particolare. Particolarmente utili sono le ortofoto analizzate ad una scala di dettaglio.

Quale ausilio all'interpretazione, oltre alle ortofoto, si sono utilizzati i seguenti materiali:

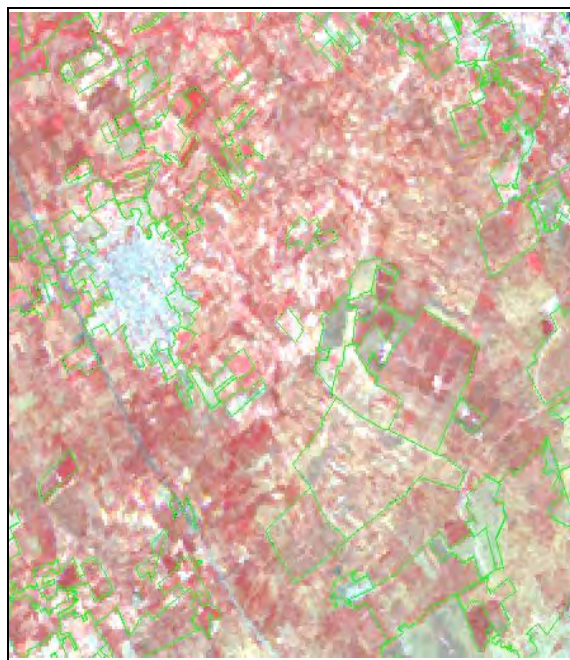
- rilievi di campo in aree test relative alle diverse immagini;
- dati statistici sull'uso del suolo.



Ortofoto 1:7500
© Ortofoto AGEA



2231. Puglia| Area: Torchiarolo(Le). Landsat TM RGB432, 1:50000, 10 agosto 2005, path 187, row 32.
© Immagini ESA/Eurimage, Nuova Telespazio S.P.A.

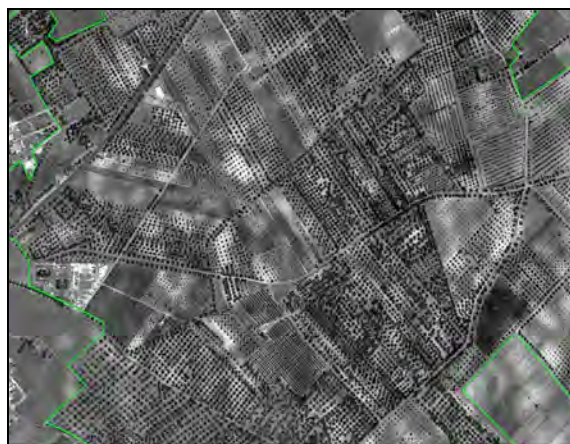


Interpretazione
© Immagini ESA/Eurimage, Nuova Telespazio S.P.A.

Non esiste una chiave interpretativa univoca per la discriminazione degli oliveti in generale e di quelli irrigui in particolare. Particolarmente utili sono le ortofoto analizzate ad una scala di dettaglio.

Quale ausilio all'interpretazione, oltre alle ortofoto, si sono utilizzati i seguenti materiali:

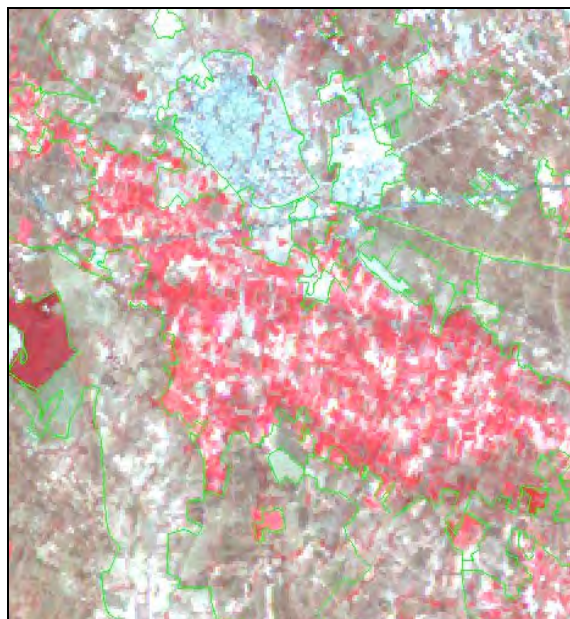
- numerosi rilievi di campo in tutte le aree di studio;
- dati statistici sull'uso del suolo.



Ortofoto 1:5000
© Ortofoto AGEA



2411. Puglia| Area:Ruvo di Puglia(Ba). Landsat TM RGB432, 1:50000, 1 agosto 2005, path 188 row 31
© Immagini ESA/Eurimage, Nuova Telespazio S.P.A.

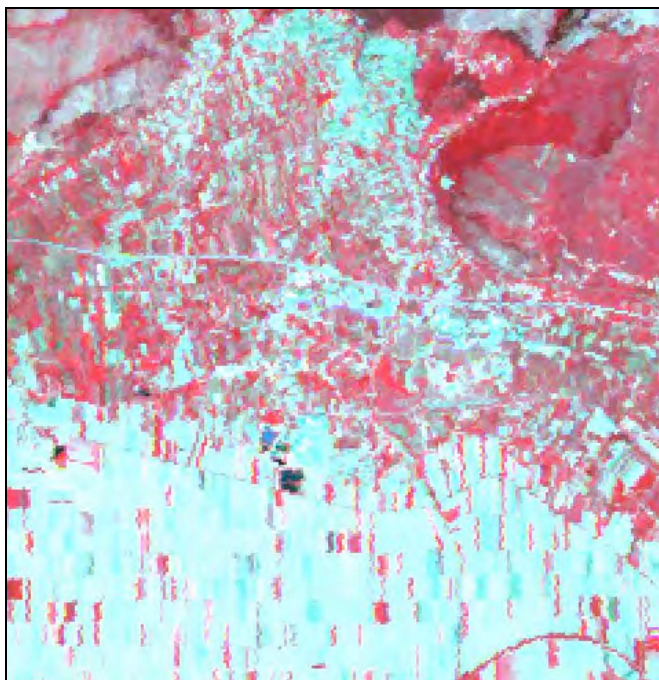


Interpretazione
© Immagini ESA/Eurimage, Nuova Telespazio S.P.A.

L'esempio mostrato in queste immagini rappresenta un'area caratterizzata da colture irrigue. Per definire quest'area mista bisogna utilizzare le ortofoto. Quest'area è definita mista, perché contiene tanti appezzamenti di piccole dimensioni con un'area inferiore all'unità minima mappabile, caratterizzata sia da colture di seminativi sia da colture arboree.

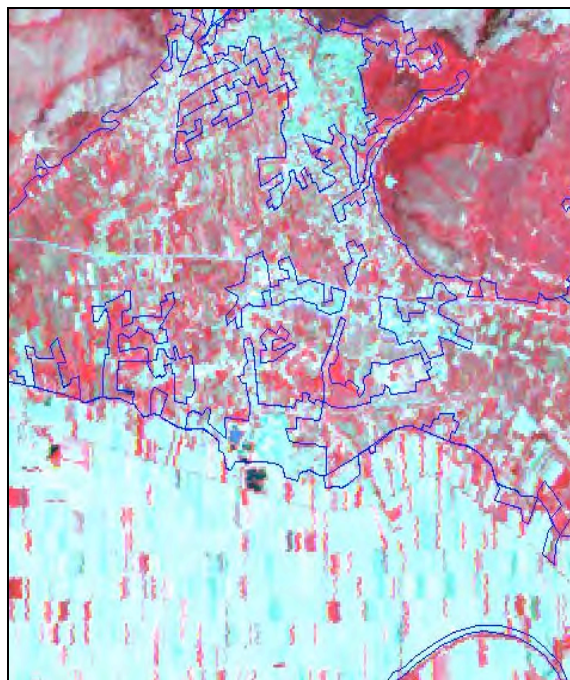


Ortofoto 1:10000
© Ortofoto AGEA



2421 Abruzzo | Area: Celano (AQ). Landsat TM RGB432, 1:50000,9 giugno 2004, path 188, row 31.

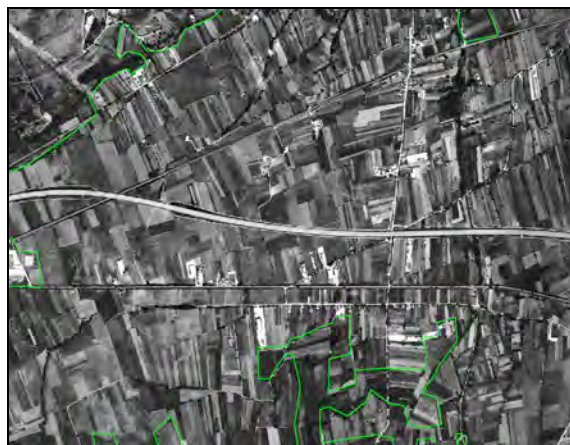
© Immagini ESA/Eurimage, Nuova Telespazio S.P.A.



Interpretazione

© Immagini ESA/Eurimage, Nuova Telespazio S.P.A.

L'esempio mostrato in queste immagini rappresenta un'area caratterizzata da colture irrigue. Per definire un sistema culturale particellare bisogna utilizzare le ortofoto. Quest'area è definita particellare, perché contiene tanti appezzamenti di piccole dimensioni con un'area inferiore all'unità minima mappabile, caratterizzata da colture di seminativi.



Ortofoto 1:10000

© Ortofoto AGEA

ALLEGATO II

GLOSSARIO

Glossario

Estratto, modificato e integrato da:

-P.A. Brivio e G. Zani, 1995

-Glossario Trilingue di Telerilevamento

-Edizione AIT

A

Alfanumerico

Insieme di caratteri costituito da lettere, numeri, segni di interpunzione e simboli speciali, normalmente usato per la rappresentazione di immagini satellitari.

Algoritmo

Procedura costituita da un insieme finito di operazioni semplici ordinate in sequenza per raggiungere un risultato determinato. Termine di uso comune nel campo dell'informatica (algoritmo di classificazione automatica, algoritmi di trasformazione di un'immagine..).

Analogico

Termine riferito alla rappresentazione di un fenomeno fisico, o modello, fatta attraverso una funzione di tipo continuo. Normalmente si usa in contrapposizione a discreto o digitale.

Altitudine

E' l'altezza di un qualsiasi oggetto riferita al livello del mare. Normalmente il termine si riferisce ad oggetti staccati dalla superficie terrestre quali aerei, satelliti, ecc.

Esempio: altitudine o quota di volo, altezza o quota dell'orbita.

Annotazioni

Testo descrittivo utilizzato per etichettare gli elementi di una mappa.

Attributi

Informazioni descrittive di tipo numerico e/o alfanumerico, relative agli oggetti presenti in una mappa.

B

Banca dati

Una ben definita raccolta sistematica di dati, normalmente dello stesso genere, gestita tramite computer sia per estrarre informazioni, sia per aggiornarne il contenuto.

Banda spettrale

Intervallo, nello spettro elettromagnetico, definito da due diverse lunghezze d'onda o frequenze.

Banda termica

Particolare banda spettrale che si riferisce all'intervallo di lunghezza d'onda tra 7 e 15µm, detta anche banda dell'infrarosso termico.

Base di dati (Data base)

Banca di dati organizzata secondo strati, ognuno dei quali contiene informazioni di un certo tipo, che possono essere messi in relazione tra di loro.

BIT

Unità elementare di informazione, abbreviazione dall'inglese *binary digit* (cifra binaria). In un alfabeto che utilizza due simboli, per esempio 0 e 1, il bit indica l'uno e l'altro di tali simboli.

BYTE

Nella terminologia del computer indica l'unità elementare di memoria costituita da un gruppo di 8 bit. Un byte può rappresentare uno dei 256 possibili stati ottenibili fra gli 8 bit elementari che lo compongono. Nel telerilevamento ciascun byte è associato ad

un pixel e contiene un Numero Digitale, compreso tra 0 e 255, che rappresenta la radianza rilevata dallo strumento.

C

Carta

Rappresentazione piana e bidimensionale delle caratteristiche fisiche, geometriche, naturali e/o artificiali di parte o dell'intera superficie terrestre secondo determinate proiezioni.

Carta tematica

Mappa che rappresenta, su una carta di base, qualitativamente o quantitativamente fenomeni specifici che costituiscono il tema di una determinata indagine. Nell'uso convenzionale questo termine esclude le carte geografiche e topografiche.

CASI 3

Carta delle aree di studio per l'Irrigazione n°3. Carta di uso/copertura del suolo, in scala 1:100.000, delle aree di inclusione e delle aree agricole.

CD-Rom

Supporti dove è possibile memorizzare grandi moli di dati (informazioni, immagini e suoni) in formato digitale intorno ai 700 MB.

Classe

Insieme omogeneo di elementi di una scena. Gli elementi, codificati in una o più immagini, appartengono a una data classe se rispondono a requisiti posti dall'operatore come condizioni necessarie perché un elemento sia considerato appartenente a quella classe.

Classificazione

Con questo termine si intende:

- scelta di requisiti che definiscono l'insieme delle classi o delle categorie;
- assegnazione degli elementi di un insieme, per esempio i pixel di una o più immagini multispettrale, ad una classe o ad una categoria.

Colore

Proprietà di un oggetto, o di una superficie, di assorbire e riflettere parte dell'energia

elettromagnetica incidente. Il colore è definito da tre grandezze: tinta, luminosità, saturazione.

Compensorio irriguo

Unità territoriale fisica- amministrativa servita tutta o in parte da un sistema di opere irrigue. Comprende più settori irrigui o sub-compensori.

Copertura fotografica

Insieme di fotografie aeree che permettono di realizzare un mosaico fotografico della zona interessata.

CORINE Land Cover

Progetto, previsto nel programma dell'Unione Europea CORINE, mirato alla realizzazione di una carta della copertura del suolo, in forma digitale alla scala 1:100.000, utilizzando immagini satellitari in combinazione con materiali ancillari di vario tipo.

D

Dati

Informazioni rappresentate mediante una codifica adatta alla comunicazione, trattamento ed interpretazione sia per l'uomo sia per i sistemi automatici.

Dati di riferimento a terra

Dati raccolti con campagne di misure eseguite a terra sulla zona della scena in esame per avere informazioni sulle caratteristiche delle superfici; costituiscono un supporto per l'interpretazione dei dati telerilevati. Rientrano in questa categoria anche i dati ricavati dalla documentazione cartografica esistente oltre alle misure radiometriche prese a distanze diverse (da qualche metro fino ad alcune centinaia di metri con un volo a bassa quota).

Digitalizzatore

Apparecchiatura elettrica o ottica – elettronica che opera la digitalizzazione di un segnale o di una immagine. Le due caratteristiche principali di questo sistema sono l'intervallo di campionamento o passo di campionamento e l'intervallo o somma di

valori numerici ottenibili (normalmente 256 codificati a 8 bit).

Digitalizzazione

Processo di conversione di una informazione analogica in un insieme di valori numerici, quindi discreti, caratterizzato da una dimensione di campionamento spaziale o temporale.

Distretto

Parte di un settore irriguo; comprende più comizi irrigui alimentati da un proprio ripartitore.

DTM (Digital Terrain Model)

Base di dati in forma numerica organizzata in modo che ogni strato contenga un certo tipo di informazioni riguardanti il terreno. In pratica viene ricostruita la dimensione tridimensionale del terreno mediante la creazione di una maglia di campionamento, in cui ogni punto della maglia è definito dalle sue coordinate e dalla sua quota.

E

Elaborazione di dati

Applicazione di procedimenti meccanici, elettrici, computazionali o altri, per mezzo dei quali i dati vengono trasformati da una forma all'altra.

Elaborazioni di immagini

Insieme di operazioni effettuate su immagini basate su metodi di trattamento dell'informazione in campo ottico statistico ed informatico, al fine di evidenziarne gli elementi significativi. Queste operazioni comprendono, fra l'altro la restaurazione, l'accentuazione, il filtraggio, la classificazione ed il riconoscimento di strutture.

Ellissoide

Rappresentazione della superficie terrestre mediante un modello geometrico - l'ellissoide - sul quale è possibile applicare formule matematiche per determinare la posizione di un punto qualsiasi sulla superficie terrestre.

F.....

Fabbisogno idrico culturale

Quantità di acqua necessaria per far fronte all'evapotraspirazione di una coltura (Etc) non affetta da malattie, allevata senza restrizioni idriche e di elementi nutrizionali, in grado di esprimere, in un dato ambiente climatico, la produzione massima potenziale (Doorendons e Pruitt, 1977).

Fotointerpretazione

Tecnica che consiste nell'esaminare immagini fotografiche con l'intento di identificare gli oggetti e valutare il loro significato in rapporto agli altri elementi dell'ambiente circostante. La fotointerpretazione è un atto tipicamente umano legato alla capacità soggettiva acquisita con l'esperienza. I parametri che si utilizzano per la fotointerpretazione sono nove: dimensione, forma, ombra, tono e colore, tessitura, modello, localizzazione, associazione, risoluzione.

Fotogrammetria aerea

Insieme di tecniche volto ad ottenere misurazioni attendibili dei soggetti ripresi - rispetto alla forma, dimensioni e posizione - in un sistema di riferimento legato alla terra, attraverso l'uso della fotografia aerea.

Fotografia aerea

Tecnica di ripresa fotografica eseguita da un aereo/Immagine fotografica ottenuta mediante una ripresa fotografica eseguita da aereo.

Firma spettrale

Insieme di misurazioni quantitative, in una o più bande spettrali, necessarie e sufficienti a identificare una superficie o un oggetto. Le più comuni caratteristiche misurate per determinare la firma spettrale dei soggetti presenti nella scena sono l'emissione, la riflessione e la polarizzazione.

G

Grande scala

Per una fotografia aerea è quella scala la cui frazione rappresentativa va da 1/500 fino a

1/10.000; per una mappa è quella scala la cui frazione rappresentativa è maggiore di 1/100.000.

I

Immagine

Funzione bidimensionale $f(x,y)$, dove il valore di “f”, nel punto di coordinate x,y, fornisce l’intensità luminosa dell’immagine in quel punto. Poiché la luce è una forma di energia, la funzione f deve soddisfare la condizione: $0 < f(x,y) < 1$.

La funzione $f(x,y)$ è caratterizzata da 2 componenti: la quantità di luce della sorgente (ad es. il Sole) che incide sulla scena, indicata con $i(x,y)$, e la quantità di luce riflessa dagli oggetti presenti sulla scena, indicata con $r(x,y)$. La funzione immagine può essere considerata come un prodotto del tipo: $f(x,y) = i(x,y) \times r(x,y)$

dove: $0 < i(x,y) < \infty$

$0 < r(x,y) < 1$

La natura della funzione “i” è determinata dalla sorgente di luce, mentre la funzione “r” è determinata dalle caratteristiche degli oggetti presenti sulla scena, ed è limitata dai valori 0 (quando tutta l’energia incidente viene assorbita) e 1 (quando tutta l’energia incidente viene riflessa). Le immagini che noi normalmente percepiamo derivano dall’interazione di queste 2 componenti. Per ‘immagine’ si intende una funzione che associa a un oggetto o fenomeno la sua rappresentazione.

Immagine digitale

Insieme di elementi discreti (pixel) organizzati per righe e colonne in modo da formare una matrice bidimensionale. Nel telerilevamento un insieme di pixel rappresenta o misura una scena (in realtà sostituisce una visione discreta ad una visione analogica della realtà). Tanto più piccola è la cella di risoluzione a terra corrispondente al pixel, tanto maggiori sono le informazioni conservate nella rappresentazione digitale, tanto più grande è il numero dei pixel necessari per tale rappresentazione. Ne deriva che ai vantaggi della grande quantità di informazioni si

oppongono gli svantaggi di dover memorizzare ed elaborare una gran mole di dati.

Immagine digitalizzata

Immagine analogica sottoposta all’operazione di digitalizzazione. Deriva dalle informazioni ricavate dai dati di riferimento a terra; nel telerilevamento sono usati come supporto per l’interpretazione delle immagini.

Infrarosso

Termine che si riferisce alla radiazione elettromagnetica che appartiene alla regione dello

spettro elettromagnetico posta oltre il rosso e la cui lunghezza d’onda è compresa da 0.7 a 1000 micron. Nel telerilevamento si distingue in:

- infrarosso vicino con lunghezza d’onda da 0.7 a 1.3 micron circa;

- infrarosso medio con lunghezza d’onda da 1.3 a 6 micron circa;

- infrarosso lontano con lunghezza d’onda da 7 a 15 micron circa.

Fino alla lunghezza d’onda di 3 micron la radiazione è sostanzialmente dovuta alla riflessione della radiazione solare e non contiene quindi informazioni circa le proprietà termiche delle superfici; viene quindi anche chiamata infrarosso riflesso. La radiazione con lunghezza d’onda da 7 a 15 micron viene chiamata infrarosso termico o infrarosso emesso poiché deriva dalla emissione delle superfici a causa della loro temperatura assoluta. Gli intervalli spettrali da 3 a 5 micron e da 8 a 15 micron circa, corrispondono, con il visibile alle finestre atmosferiche più

comuni. Nell’intervallo fra 5 e 7 micron circa si ha un forte fenomeno di assorbimento della radiazione da parte del vapore d’acqua: per tale motivo questa regione viene utilizzata dai satelliti meteorologici per gli studi climatici.

Interfaccia

Zona limite che unisce due punti di un sistema. In informatica indica la zona di scambio di informazioni tra due hardware o tra due software che permette loro di colloquiare mediante l’adozione di un

protocollo comune di colloquio fisico o logico.

L

Landsat

Abbreviazione di "Land Satellite". Questo termine indica sia un programma della NASA per lo studio delle risorse terrestri tramite l'uso di satelliti artificiali, sia una serie di satelliti dedicati a questo programma (5 al 1986). I primi tre utilizzavano la stessa piattaforma e lo stesso carico utile costituito dai sistemi MSS (Multispectral Scanner System) e RBV (Return Beam Vidicon). Il periodo di attività è stato:

Landsat 1 (23 luglio 1972 - 6 gennaio 1978);

Landsat 2 (22 gennaio 1975 - 25 febbraio 1982);

Landsat 3 (5 marzo 1978 - 31 marzo 1983).

Gli ultimi tre satelliti rappresentano una evoluzione della piattaforma e del carico utile che è costituito da due sistemi MSS come nei precedenti e TM (Thematic Mapper) nei Landsat 4 e 5, e la loro data di lancio è:

Landsat 4 (16 luglio 1982);

Landsat 5 (1 marzo 1984).

Recentemente (15 aprile 1999) è divenuto operativo il Landsat 7, che trasporta il sensore ETM+ e una banda pancromatica di 15 metri di risoluzione geometrica (a registro con le 7 bande multispettrali) e 2 bande nell'infrarosso termico con 60 metri di risoluzione geometrica. Questi satelliti hanno tutti un'orbita quasi polare ed eliosincrona. Le stazioni di ricezione delle immagini riprese dai vari satelliti Landsat sono sparse su tutti i continenti.

Legenda

Parte della carta che contiene la spiegazione dei simboli, dei colori e dei graficismi utilizzati per la codifica dei vari elementi della carta. In linea di principio i cartografi utilizzano sei parametri grafici per la simbolizzazione dei fenomeni geografici: la dimensione, la densità, la tessitura, il colore, l'orientazione e la forma. Questi sei parametri differiscono a seconda dell'applicazione; per esempio nell'illustrare le caratteristiche qualitative dei vari tipi di oggetti, come le specie vegetali, oppure le caratteristiche

quantitative dei vari attributi, come l'intensità delle emissioni gassose, il numero degli abitanti, ecc..

Lunghezza d'onda

Distanza media tra due minimi o due massimi di un'onda che rappresenta un fenomeno periodico. Per la radiazione elettromagnetica è il rapporto fra la velocità e la frequenza.

$$\lambda = v/v [m]$$

Spesso come unità di misura, si usano sottomultipli del metro: millimetri per le onde radar o microonde, micron (μm) per il visibile e infrarosso.

M

Modello digitale delle altezze

Rappresentazione numerica del terreno ottenuta a partire dalla digitalizzazione delle isoipse di una mappa topografica e mediante procedimenti di interpolazione. E' quindi uno strato primario della base di dati che costituisce il modello digitale del terreno.

Multispettrale

Termine specifico del telerilevamento che indica la possibilità per i sistemi di elaborazione e ripresa, fotografici o a scansione, di raccogliere la radiazione della scena osservata, in più bande spettrali contemporaneamente.

Multitemporale

Termine specifico del telerilevamento che indica la possibilità dei satelliti di riprendere immagini della stessa zona a intervalli regolari di tempo, nelle stesse condizioni di illuminazione solare.

O

Ortofoto

Immagine fotografica, con le stesse proprietà di una proiezione ortogonale, in cui le deformazioni dovute all'inclinazione dell'asse di ripresa e/o del rilievo del terreno, sono corrette mediante strumenti ottico-meccanici.

Ortofoto digitale

Immagine fotografica ottenuta impiegando strumenti elettronici (Scanner), che suddividono l'immagine fotografica in punti; ogni punto (pixel) è caratterizzato da un valore di densità di grigio (da 0 a 255) e da una terna di coordinate (x,y,z), desunte da un DTM inserito nel computer.

Operazioni effettuate sui dati originali

Operazioni che permettono di giungere alla realizzazione di una copertura ArcInfo corretta dal punto di vista spaziale, oppure elaborazione dei dati originale per costruire cartografia derivata.

P

Pixel

Termine derivato dalla fusione delle due parole inglesi "picture element". Data una immagine digitale si dice pixel ognuna delle superfici elementari che la costituiscono. Ogni pixel è caratterizzato da tre valori: due coordinate che individuano la posizione del pixel all'interno dell'immagine (numero di riga e numero di colonna quando l'immagine è considerata come matrice) e il numero di indice. L'insieme dei pixels costituisce una 'immagine' così come l'insieme delle celle di risoluzione costituisce una 'scena'. Ogni pixel corrisponde ad una cella di risoluzione a terra le cui dimensioni sono delimitate dalle caratteristiche dello strumento che riprende la scena, mentre il numero indice del pixel rappresenta la radianza media nel particolare intervallo spettrale in cui il sensore vede la cella di risoluzione a terra corrispondente a quel pixel. Rappresentare o misurare una scena con un insieme di pixel - immagine digitale - costituisce una forzatura poiché si sostituisce una visione discreta a una visione analogica della realtà. Tanto più piccola è la cella di risoluzione a terra corrispondente al pixel, maggiori sono i dettagli conservati nella rappresentazione digitale, ma tanto più grande sarà il numero dei pixel necessari a questa rappresentazione. Ai vantaggi della grande quantità di informazioni si oppongono gli svantaggi di dover elaborare una grande massa di dati.

Plotter

Una delle unità periferiche del calcolatore che permette di eseguire disegni e grafici sotto il controllo del calcolatore.

Precisione

Successo nella determinazione del valore reale di una grandezza. È la misura della dispersione dei valori osservati: ossia quanto si è più vicini, nella stima di una caratteristica, al valore reale di quella caratteristica di una popolazione.

Proiezione

Rappresentazione della superficie terrestre su una superficie piana, con passaggio da una dimensione tridimensionale ad una bidimensionale. Una proiezione si costruisce sia mediante procedura analitica di calcolo, sia mediante costruzione geometrica. Tali procedimenti implicano tutti una deformazione ed un errore. Il tipo di proiezione - e quindi di deformazione - viene scelto in base alle finalità redazionali della carta che si vuol realizzare. Si distinguono tre principali famiglie di proiezioni definite secondo le loro proprietà: proiezioni conformi, proiezioni equivalenti, proiezioni né conformi né equivalenti.

Proiezione Trasversa di Mercatore

Una delle più usate proiezioni conformi, detta anche proiezione conforme di Gauss. Il cilindro di proiezione è tangente ad un meridiano: tale proiezione viene utilizzata per la rappresentazione cartografica di zone che si estendono in direzione Nord-Sud. E' usata come base per il reticolato cartografico nazionale, per le immagini dei satelliti della serie Landsat, e in genere di quelli con orbita polare.

R

Raccolta di dati

Processo che consiste nell'acquisire ed immagazzinare insieme di dati prima di passare alla fase di elaborazione.

Raster

Modello predeterminato di linee a scansione che garantisce una copertura uniforme di

un'area. La modalità di organizzare l'informazione numerica sottoforma di matrice ordinata per righe e colonne e il modo in cui un tubo a raggi catodici viene esplorato da un fascio o pennello di elettroni sono tipici modelli raster.

Risoluzione

Capacità di un sistema, di ripresa o di misura, di distinguere due punti vicini di una immagine oppure due livelli di un fenomeno. La risoluzione viene precisata mediante il potere risolvante o il limite di risoluzione spaziale, essendo uno l'inverso dell'altro.

S

Satellite d'osservazione

Oggetto artificiale che ruota attorno ad un pianeta, destinato a raccogliere informazioni su di esso, e la cui orbita è determinata principalmente dal campo gravitazionale del pianeta.

Scala

Rapporto fra la distanza su una carta, immagine o cliché fotografico e la distanza corrispondente sul terreno. Si può esprimere.

- graficamente (come linea a segmenti);
- per unità rappresentativa (per esempio 1 cm./25.000 cm);
- come frazione (per esempio 1/25.000).

Nel linguaggio comune molto spesso i termini "grande scala" e "piccola scala" si confondono. Un prodotto è a grande scala se gli elementi del terreno sono rappresentati in maniera più grande o più dettagliata di come sarebbero rappresentati su un prodotto a piccola scala. La scala, per una fotografia, viene definita come rapporto fra la lunghezza focale del sistema di ripresa e la quota di volo misurata sull'altezza media del terreno. Essa può variare all'interno di uno stesso fotogramma, per gli spostamenti della camera durante la ripresa o per la distorsione causata dal rilievo. Dalla scala della carta dipendono i seguenti parametri che la caratterizzano dal punto di vista metrico:

1.il grado di risoluzione; cioè la dimensione lineare del particolare più piccolo rappresentabile sulla carta. È dato dal minimo spessore del tratto grafico con cui la carta

viene disegnata e che viene assunto, per convenzione, uguale a 0.2 mm, moltiplicato per il fattore di riduzione; ad es. per una carta alla scala 1:10.000 il grado di risoluzione è di 2 m, quindi non è possibile rappresentare su di essa particolari del terreno inferiori a tale grandezza;

2.l'errore massimo che si commette nel rilevare da essa la posizione di un punto; per convenzione esso deve essere inferiore al prodotto di 0.5 mm per il rapporto di riduzione della scala; ad es. per una carta alla scala 1:10.000 l'errore massimo di posizionamento di un punto è di 5 m.

Scala di input

Scala di restituzione utilizzata nella cartografia acquisita.

Scanner

Periferica per l'acquisizione numerica di immagini e carte in formato analogico. In telerilevamento: il dispositivo che permette di esplorare una scena striscia dopo striscia, combinando il modo di avanzamento della piattaforma su cui è montato ed il moto di oscillazione o di rotazione di uno specchio o di un prisma. L'energia elettromagnetica proveniente dalla scena, attraverso un sistema di ottiche, arriva ai rilevatori che la convertono in un segnale elettrico per ogni striscia esplorata.

Scena

Tutto ciò che esiste e che si verifica spazialmente e temporalmente nel campo di vista del sensore al momento della ripresa. Nel termine si comprende la superficie della Terra e l'atmosfera, cioè la radiazione elettromagnetica considerata sia nel tragitto dalla sorgente alla Terra sia nel ritorno dalla Terra al sensore.

Sensore

Strumento che raccoglie l'energia elettromagnetica proveniente dalla scena e la converte in segnale elettrico che porta informazioni relative alla scena stessa. In questo modo viene definita anche la 'macchina fotografica'.

Sistema

Organizzazione strutturata i cui elementi sono interconnessi e si scambiano in modo attivo o passivo materia, energia, e informazioni al fine di eseguire un insieme di compiti ben definiti.

Sistema di coordinate

Sistema utilizzato per la misura di distanze in orizzontale e in verticale.

Sistema di acquisizione dati

Insieme di apparecchiature e metodi che misurano variabili fisiche e registrano i valori prima di inviarli al sistema di trattamento.

Sistema Informativo Geografico

Sistema, basato sul computer, in grado di accettare, elaborare, estrarre e rappresentare tipi diversi di informazioni numeriche relative a un territorio. Queste informazioni sono correlate tra loro in quanto fanno tutte riferimento ad un sistema di coordinate comune.

Sistema per l'elaborazione digitale di immagini

Elaboratore elettronico dedicato al trattamento ed alla elaborazione delle immagini.

Sistema cartografico di riferimento

Sistema costituito dai seguenti elementi:

- sistema di riferimento geodetico (Datum);
- tipo di proiezione;
- meridiani fondamentali e paralleli standard.

Sistema geodetico di riferimento

Costituito dall'ellissoide scelto come modello geometrico di rappresentazione della superficie terrestre e dal suo orientamento rispetto ad un punto della superficie effettiva. Tale punto viene definito "centro di emanazione" o "punto di tangenza". Ellissoide, centro di emanazione e direzione di orientamento, costituiscono un Datum o sistema di riferimento geodetico.

Sistema universale di riferimento

Sistema di riferimento che utilizza le coordinate di paesaggio e di striscia per identificare i centri delle immagini riprese dai satelliti di osservazione della Terra.

Software

Termine che designa l'insieme delle procedure, dei programmi e della documentazione relativa che guidano l'hardware di un elaboratore.

Spettro elettromagnetico

Insieme ordinato, in genere secondo la lunghezza d'onda o la frequenza, delle radiazioni elettromagnetiche conosciute che si estendono dalle più corte, raggi cosmici, alle più lunghe, onde Hertiane o radio.

T

Telerilevamento

Insieme di tecniche, strumenti e mezzi interpretativi, che permettono l'acquisizione a distanza di informazioni qualitative e quantitative su fenomeni o oggetti, senza entrare in contatto con essi.

Topologia

Procedura matematica che consente di rendere esplicite le relazioni spaziali esistenti fra gli oggetti di una mappa, consentendo l'elaborazione, la modellazione e l'analisi dei dati spaziali.

TM (Thematic Mapper)

Sistema di ripresa utilizzato a bordo dei satelliti Landsat 4 e 5, in grado di effettuare riprese della superficie terrestre in 7 bande spettrali.

U

Umidità del suolo

Quantità d'acqua nel suolo in forma di vapore e di liquido.

ALLEGATO II
ALLEGATI CARTOGRAFICI