

CONSORZIO GENERALE DI BONIFICA DEL BACINO INFERIORE DEL VOLTURNO

VIA ROMA, 80 - CASERTA

“Comprensorio irriguo in sx Regi Lagni ~Lavori di costruzione della rete di adduzione primaria, secondaria e terziaria per il completamento dell’impianto irriguo in sinistra Regi Lagni”

PROGETTO ESECUTIVO I Lotto 2° Stralcio ~ Sub Comprensorio Alto II Lotto ~ Sub Comprensorio Medio

ALLEGATO B	Relazione agronomica
-----------------------	----------------------

IL PROGETTISTA: Dott.Ing. Massimiliano Capezzuto	IL R.U.P.: Dott.Ing. Camillo Mastracchio
IL GRUPPO DI PROGETTAZIONE: Geom. Giuseppe Conte Geom. Francesco Piccirillo P.I. Antonio D’Aiello	

Rev.	Data		Cod.
0	Novembre 2014	Emissione	P.E. 05-2014

1.1 INTRODUZIONE

La gestione sostenibile dell'acqua in un comprensorio irriguo necessita di una corretta valutazione dell'entità e della variabilità spaziale (cartografia) delle esigenze idriche delle colture in esso presenti.

Tale valutazione è tradizionalmente basata sull'analisi dei diversi elementi che concorrono a determinare la domanda irrigua delle colture, includenti le caratteristiche del clima, la fisiologia delle piante, le proprietà dei suoli. Questi elementi sono utilizzati come dati *input* in bilanci idrologici, i cui risultati forniscono indicazioni sulla entità e durata dei *deficit* idrici, quindi sulla quantità di acqua che occorre fornire alle colture attraverso l'irrigazione per compensarne le perdite per evapotraspirazione (Bonciarelli, 1999; Landi, 1999).

Le informazioni riguardanti le caratteristiche dell'ambiente fisico sono normalmente acquisite attraverso indagini *ad hoc*, sostanzialmente basate sulla foto-interpretazione, il rilevamento di campo, l'analisi di laboratorio e la sperimentazione agronomica. Tali indagini, anche se rilevanti e spesso insostituibili, soprattutto per studi a scala di grande dettaglio (es. 1:10.000 o maggiore), sono talvolta difficilmente realizzabili, a causa dei costi e dei tempi lunghi di cui necessitano. Per questa ragione, in alcuni casi esse sono sostituite e/o precedute da studi basati su dati esistenti, in grado di dare una prima risposta alle esigenze di conoscenze e di contribuire concretamente alla programmazione di future e più dettagliate indagini.

Le esigenze idriche delle colture sono, fra l'altro, influenzate dallo stato di salinità e/o alcalinità dei suoli (Bonciarelli, 1999; Landi, 1999; Brady and Weil, 2002). L'aumento di sali lungo il profilo determina, infatti, un aumento del potenziale osmotico e, di conseguenza, una riduzione dell'ammontare di acqua disponibile per le piante, con effetti evidenti sulla crescita e la produzione. Di qui la necessità di intervenire, dove necessario, per eliminare o mitigare l'eccessivo accumulo di sali nella zona radicale.

Il problema della salinità dei suoli, indotto soprattutto dall'irrigazione con acqua di falda, sempre più ricca di sali (per effetto combinato dei cambiamenti climatici in corso e del sovra-impiego di acqua per uso agricolo, domestico e industriale), è oggi particolarmente sentito dagli agricoltori delle aree del basso Volturno più prossime alla costa (Leone e Menenti, 1999; Leone *et al.*, 2001, 2007). Tuttavia, allo stato attuale delle conoscenze, mancano ancora dati analitici relativi a campagne sistematiche di rilevamento dei suoli, in grado di consentire una valutazione "quantitativa" del livello di salinità reale delle predette aree.

Obiettivo principale della presente indagine è quello di realizzare una carta preliminare dei *deficit idrici* (o delle esigenze irrigue) delle colture del territorio basso Volturno, basata sull'analisi e sull'elaborazione di informazioni esistenti, con il supporto di sistemi computerizzati di informazione geografica (GIS).

Obiettivo ulteriore dell'indagine è quello di fornire una prima valutazione dello stato di salinità dei suoli di aree agricole costiere del predetto territorio.

Pertanto:

- Nella presente **Parte A** è riportato lo Studio agronomico appositamente svolto;
- Nella **Parte B** sono riportati l'analisi e le calcolazioni svolte per la valutazione delle idroesigenze del comprensorio irriguo complessivo.

Sommario

PARTE I.....	3
1. – CARTA DELLE ESIGENZE IRRIGUE DELLE COLTURE	3
1.1 – Sintesi delle attività	3
1.2 – Acquisizione delle informazioni in ambiente GIS	4
1.3 – Limiti delle aree d'indagine	5
1.4 – Carta dei sistemi di terre	5
1.4.1 – Alcuni concetti essenziali	5
1.4.2 – Acquisizione della carta in ambiente GIS.....	6
1.4.3 – Uso di immagini satellitari.....	6
1.4.4 – Attribuzione alle unità cartografiche di informazioni sulle proprietà dei suoli.....	7
1.5 – Carta dell'Utilizzazione Agricola del Suolo (CUAS)	11
1.5.1 – Alcuni concetti essenziali	11
1.5.2 – Acquisizione della carta in ambiente GIS.....	11
1.5.3 – Carta dell'Utilizzazione Agricola dei sottosistemi di terre.....	12
1.6 – Caratterizzazione climatica	13
1.7 – Bilancio idrologico	14
1.8 – “Correzione” dei bilanci	17
1.9 – Conclusioni	20
PARTE II.....	21
2. – SALINITA' DEI SUOLI	21
2.1 – Alcuni concetti essenziali	22
2.1.1 – Caratterizzazione dei suoli affetti da salinità	22
2.1.2 – Classificazione dei suoli affetti da salinità	22
2.1.3 – Suoli salini	23
2.1.4 – Suoli salino-sodici.....	23
2.1.5 – Suoli sodici	24
2.2 – Risposta delle colture alla salinità e sodicità.....	25
2.3 – Bonifica dei suoli affetti da salinità	26
2.3.1 - Bonifica dei suoli salini	26
2.3.2 – Bonifica dei suoli sodici e salino-sodici	28
2.4 – Indagine preliminare sulla salinità dei suoli del Basso Volturno.....	29
2.5 – Materiali e metodi.....	30
2.5.1 – Ubicazione dei siti e campionamento dei suoli	30
2.5.2 – Analisi dei suoli.....	31
2.5.3 – Risultati e discussione.....	32
2.6 – Conclusioni	35
2.7 – Bibliografia	37

TAVOLE	39
ALLEGATO A	45
Bilanci idrici dei suoli.....	45
ALLEGATO B	215
Fotografie dei siti di campionamento dei suoli	215
ALLEGATO C	245
Analisi dei suoli	245

PARTE I

1. – CARTA DELLE ESIGENZE IRRIGUE DELLE COLTURE

1.1 – Sintesi delle attività

La realizzazione della Carta delle esigenze irrigue (o dei *deficit idrici*) delle colture del basso Volturno ha comportato: l'acquisizione in ambiente GIS dei limiti dell'intero territorio del basso Volturno, quelli del "Consorzio a ruolo" e della "Zona di ampliamento" (Fig. 1); l'acquisizione in ambiente GIS della Carta dei Sistemi di Terre della Campania (di Gennaro, 2002), limitatamente al territorio del basso Volturno; l'acquisizione in ambiente GIS della Carta dell'Utilizzazione Agricola del Suolo (CUAS) della Campania (Regione Campania, 2004), limitatamente al territorio del basso Volturno; l'acquisizione, dalla bibliografia, delle informazioni riguardanti le proprietà dei suoli, con particolare attenzione alle proprietà d'interesse per la realizzazione dei bilanci idrologici (tessitura, profondità e AWC, *available water capacity*) e l'attribuzione delle stesse alle unità cartografiche della Carta dei Sistemi di Terre; la definizione, attraverso l'analisi bibliografica, delle profondità di massima estrazione di acqua da parte delle radici delle colture; l'intersezione in ambiente GIS della CUAS con la Carta dei Sistemi di Terre e l'attribuzione a ciascuna classe di uso del suolo relativa alle singole unità cartografica dei Sistemi di Terre della profondità di massima estrazione; la correzione della profondità di massima estrazione in funzione della tessitura dominante dell'unità cartografica e il calcolo dell'AWC relativa alla profondità di massima estrazione; l'acquisizione e l'elaborazione di serie storiche di dati climatici (precipitazioni, P, evapotraspirazione potenziale, ETo e temperature, T); l'acquisizione, dalla letteratura e l'elaborazione delle informazioni riguardanti i coefficienti colturali (Kc) delle colture dominanti nel basso Volturno; il calcolo della pioggia efficace (o pioggia utile, Pu) e dell'evapotraspirazione massima (ETo x Kc) delle diverse colture; la realizzazione di un bilancio idrologico per ciascuna classe di uso del suolo delle singole unità cartografiche dei Sistemi di Terre; la correzione dei valori ottenuti in funzione dell'effettivo grado di copertura del suolo, valutato, per ciascun tipo di copertura e per ciascuna unità di terre, in base all'indice normalizzato di vegetazione (*Normalised Difference Vegetation Index*, NDVI), ottenuto dalla elaborazione di immagini satellitari Landsat ETM+; l'*editing* e la stampa delle diverse carte di base e della Carta delle esigenze idriche (o dei *deficit idrici*) delle colture del basso Volturno.

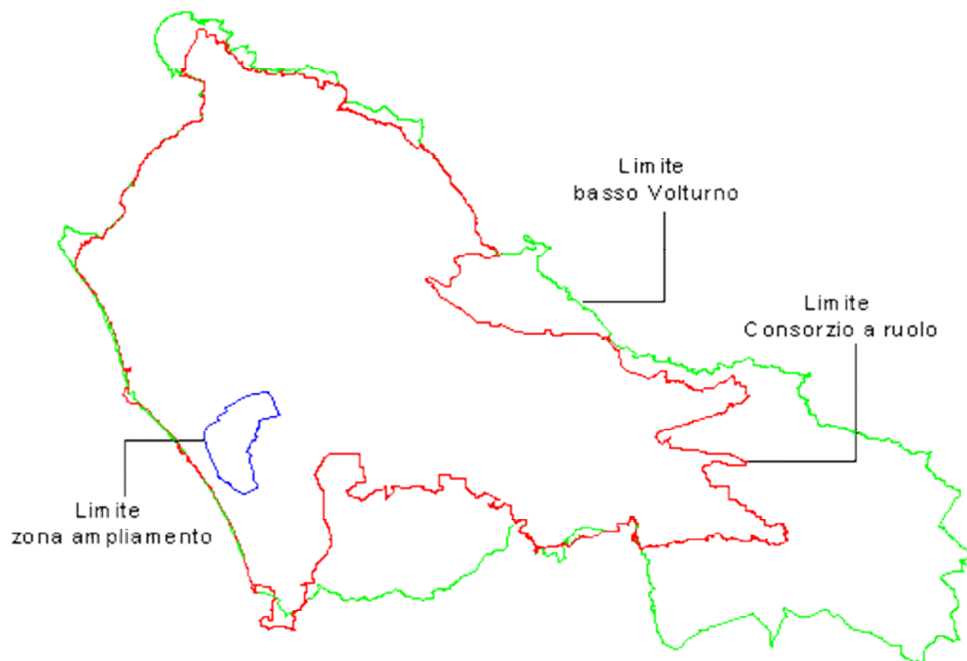


Fig. 1. Limiti geografici del basso Volturno, del Consorzio di bonifica a ruolo e dell'area di ampliamento della rete irrigua.

I risultati sono stati restituiti sia in formato digitale (*shape files*) (CD allegato), sia in formato cartaceo (Carte tematiche e grafici).

1.2 – Acquisizione delle informazioni in ambiente GIS

Tutte le informazioni acquisite in ambiente GIS sono state georeferite rispetto al sistema cartografico GaussBoaga. Le elaborazioni GIS sono state realizzate in ambiente ArcView 3.2 e ArcMap 9.2. Le informazioni acquisite ed i metodi di acquisizione in ambiente GIS sono di seguito discussi.

1.3 – Limiti delle aree d'indagine

I limiti delle aree d'indagine (intero territorio del basso Volturno, Consorzio a regime e zona di ampliamento) sono stati forniti dal Consorzio di Bonifica del bacino inferiore del Basso Volturno in formato *shape-file* di linee. Il lavoro di acquisizione si è pertanto concretizzato nella revisione degli *shape-file* di linee (correzioni di *dangle* nodi e linee sovrapposte) e nella successiva trasformazione degli stessi in *shape-file* di poligoni.

1.4 – Carta dei sistemi di terre

1.4.1 – Alcuni concetti essenziali

La Carta dei Sistemi di Terre (di Gennaro, 2002), realizzata secondo un “approccio analitico di tipo fisiografico ed integrato”, suddivide il territorio in “ambiti geografici ragionevolmente omogenei per quanto riguarda i fattori ambientali che ne influenzano l'uso potenziale e le possibili dinamiche degradative. Essa pertanto illustra le strutture ambientali più o meno permanenti, legate all'azione integrata, nel tempo, del clima, dei substrati, della morfologia, delle comunità biotiche e delle modificazioni antropiche permanenti”.

In accordo con di Gennaro (2002), il concetto di “terre” è, pertanto, sostanzialmente differente da quello di “uso delle terre”. Queste ultime rappresentano, infatti, “un aspetto più dinamico, legato al tipo di controllo sistematico che l'uomo applica in un determinato momento storico ad un sistema di terre allo scopo di soddisfare i suoi molteplici bisogni”.

Considerata la più lenta dinamica temporale delle unità di “terre” rispetto alle unità di “uso delle terre”, si è ritenuto opportuno considerare le prime come ambiti di riferimento per la valutazione delle esigenze idriche delle colture del basso Volturno.

“La legenda della Carta dei sistemi di terre si articola in tre livelli gerarchici: grandi sistemi di terre, sistemi di terre e sottosistemi di terre”. “I grandi sistemi di terre rappresentano il repertorio essenziale di tipologie ambientali necessarie a strutturare e a descrivere la complessa articolazione territoriale” a scala regionale. “All'interno di ciascun grande sistema le interazioni complesse tra clima, morfologia, suoli, manto vegetale indirizzano secondo modalità date i processi idrogeologici, ecologici, e quelli legati alle produzioni agro-forestali”. I grandi sistemi sono suddivisi in sistemi di terre, “caratterizzati”, rispetto ai grandi sistemi, “da maggiore uniformità climatica, lito-morfologica, pedologica, vegetazionale e agro-

forestale”. “Ad un livello di dettaglio ancora superiore, ciascun sistema si articola in sottosistemi di terre, caratterizzati da una ancora maggiore omogeneità di condizioni ambientali”.

1.4.2 – Acquisizione della carta in ambiente GIS

La Carta dei Sistemi di Terre, disponibile in formato cartaceo, è stata acquisita in formato digitale operando nel modo seguente: a) scansione della Carta con produzione di un file-immagine formato TIF; b) georeferenziazione in ambiente ENVI del file-immagine; c) digitalizzazione in ambiente ArcView delle linee (archi) corrispondenti ai confini delle unità cartografiche; d) produzione di uno *shape-file* di punti identificativi delle singole unità cartografiche; e) controllo e correzione di eventuali errori di digitalizzazione e attribuzione dei punti ai temi (unità cartografiche); f) trasformazione dello *shape-file* di linee e punti in uno *shape-file* di poligoni.

Lo *shape-file* di poligoni è stata ulteriormente elaborato in ambiente ArcMap per la produzione di una Carta dei Sistemi di Terra del basso Volturno (Tav I).

1.4.3 – Uso di immagini satellitari

Ai fini della realizzazione dei bilanci idrologici, alcune importanti (per estensione) sottounità della Carta dei Sistemi di Terra sono state ulteriormente suddivise nei diversi poligoni che le componevano, tenuto conto di evidenti differenze nel *pattern* spettrale rilevate attraverso l'analisi di mappe spettrali risultanti dalla elaborazione di un'immagine satellitare Landsat ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper*)¹ del 2 agosto 2000, includente l'area di studio. La suddivisione è stata realizzata assumendo che il *pattern* spettrale sia espressione delle caratteristiche della copertura vegetale e del suolo sottostante (Leone *et al.*, 1995; Leone e Menenti, 1999; Leone and Sommer, 2000; Leone *et al.*, 2001; Aronoff, 2005; Leone *et al.*, 2007).

¹ L'immagine utilizzata è stata georeferita rispetto al sistema di coordinate GaussBoaga e processata per la produzione di composizioni in falso colore e colore vero, di una mappa dell'indice di vegetazione, NDVI (*Normalised Difference Vegetation Index*) e di una mappa delle componenti “greenness”, “wetness” e “brightness” risultanti dall'applicazione della *Tasseled Cap Transform* all'immagine originale. Tutti i prodotti delle elaborazioni sono stati individualmente analizzati. Tuttavia, nel presente lavoro sono state riportate soltanto le composizioni in falso colore e in colore vero, in quanto meglio rispondevano alle specifiche esigenze (separazione dei poligoni di alcuni sottosistemi di terre). Tutte le operazioni di *image processing* sono state realizzate in ambiente ENVI 4.4.

La **figura 2** riporta la composizione RGB in falso colore [banda 4 (infrarosso vicino, 750-900 nm), banda 5 (onde corte infrarosse, 1550-1750 nm), banda 3 (visibile, rosso, 630-690 nm)] della predetta immagine Landsat ETM+. La **figura 3** riporta, invece, la composizione in colore vero [banda 3 (visibile, rosso, 630-690 nm), banda 2 (visibile, verde, 525-605 nm), banda 1 (visibile, blu, 450-515 nm)] della stessa immagine. Su entrambe le composizioni sono stati sovrapposti i limiti dei sottosistemi di terre. Dall'analisi delle due figure, ma particolarmente dei loro ingrandimenti (**Figg. 4 e 5**) risultano evidenti, in alcuni casi, le differenze tra i *pattern* spettrali dei diversi poligoni di uno stesso sottosistema, differenze che, come già detto, hanno portato a trattare detti poligoni in modo separato, ai fini della realizzazione dei bilanci idrologici.

1.4.4 – Attribuzione alle unità cartografiche di informazioni sulle proprietà dei suoli

Ciascuna unità cartografia a livello di sottosistema di terre è stata “arricchita” di informazioni riguardanti alcune proprietà dei suoli essenziali ai fini della realizzazione dei bilanci idrologici. Tali proprietà, che hanno specificamente riguardato la profondità del profilo, il valore dell'AWC e la tessitura, sono state prevalentemente estratte dall'Atlante Agroclimatico d'Italia, prodotto dall'UCEA (2002), Ufficio Centrale di Ecologia Agraria. La necessità di acquisire informazioni aggiuntive sui suoli è scaturita dal fatto che la Carta dei sistemi di terre non riporta alcuna informazione utile riguardante l'AWC, mentre riporta una descrizione della tessitura solo in termini generali (grossolana, moderatamente grossolana, media, moderatamente media, fine), senza indicazioni riguardanti le classi tessiturali fondamentali (es., sabbiosa, franca, argillosa, franco-sabbiosa, ecc.), aggregate nelle classi generali.

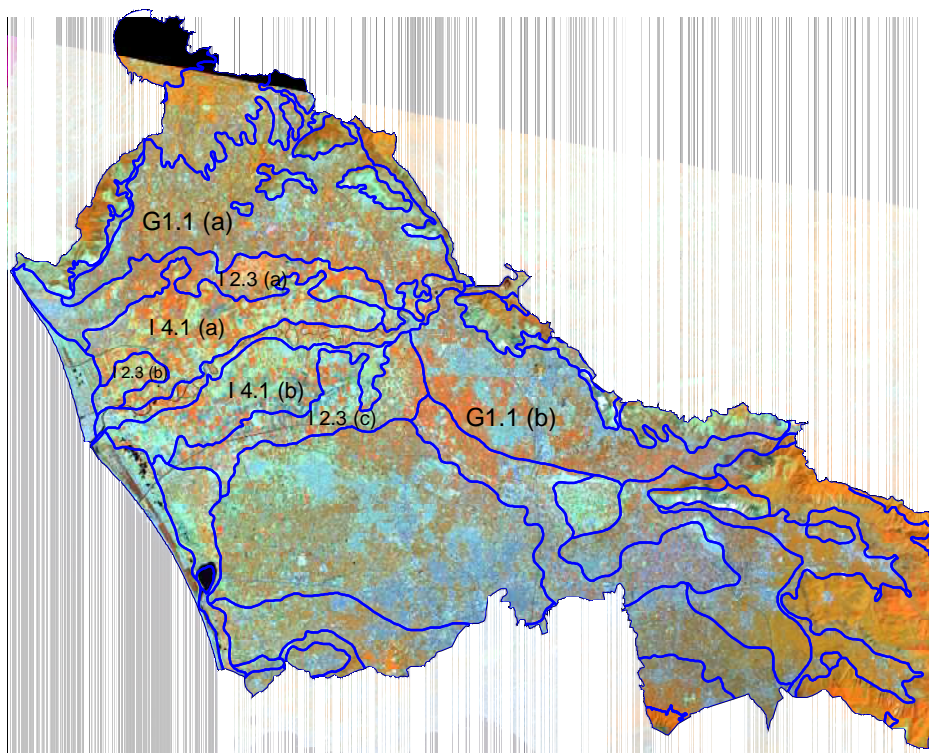


Fig. 2. Composizione RGB in falso colore ottenuta dalla combinazione delle bande 4,5 e 3 dell'immagine satellitare Landsat ETM+ del 2 agosto 2002. Le aree vegetate appaiono in rosso, i suoli nudi in blu, le aree urbane in blu chiaro, le acque in nero. La parte alta del territorio, a ridosso di Roccamonfina, appare anch'essa in nero in quanto non coperta da ripresa satellitare. All'immagine sono stati sovrapposti i limiti dei sottosistemi di terre. Le sigle indicano alcuni sottosistemi, le lettere tra parentesi indicano, invece, poligoni diversi di uno stesso sottosistema. I sottosistemi riportati nell'esempio sono: G1.1 "Pianura pedemontana dei monti Massico, Maggiore e Tifatini"; I 4.1 "Aree relativamente depresse della pianura alluvionale del fiume Volturno"; I 2.3 "Aree bordiere della pianura alluvionale del fiume Volturno".



Fig. 3. Composizione RGB in colore vero ottenuta dalla combinazione delle bande 3,2 e 1 dell'immagine satellitare Landsat ETM+ del 2 agosto 2002. La parte alta del territorio, a ridosso di Roccamonfina, appare anch'essa in nero in quanto non coperta da ripresa satellitare. All'immagine sono stati sovrapposti i limite dei sottosistemi di terre. Le sigle indicano alcuni sottosistemi, le lettere tra parentesi indicano, invece, poligoni diversi di uno stesso sottosistemi. I sottosistemi riportati nell'esempio sono: G1.1 "Pianura pedemontana dei monti Massico, Maggiore e Tifatini"; I 4.1 "Aree relativamente depresse della pianura alluvionale del fiume Volturno"; I 2.3 "Aree bordiere della pianura alluvionale del fiume Volturno".

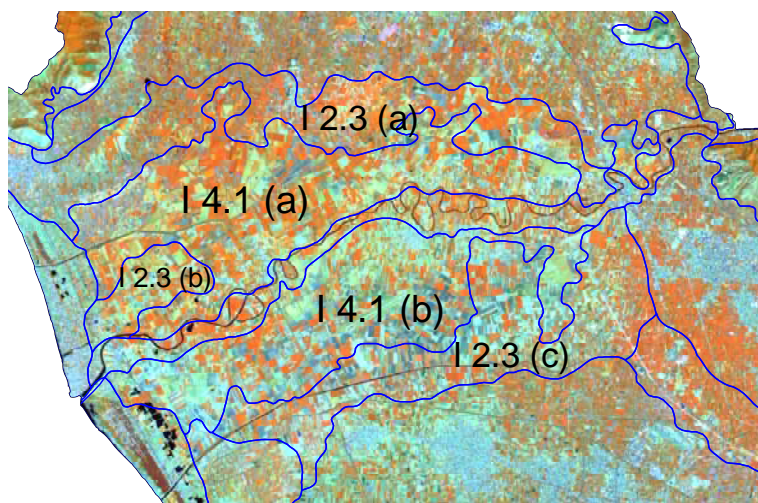


Fig. 4. Particolare ingrandito della figura 2

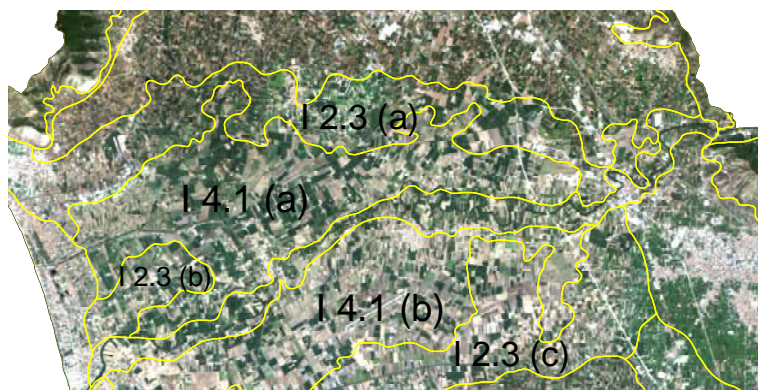


Fig. 5. Particolare ingrandito della figura 3

1.5 – Carta dell’Utilizzazione Agricola del Suolo (CUAS)

1.5.1 – Alcuni concetti essenziali

La Carta dell'Utilizzazione Agricola del Suolo (CUAS) suddivide il territorio in aree omogenee in termini di tipi d'uso. Essa è stata realizzata a diversi livelli gerarchici. Ad un livello gerarchico più alto sono state separate 11 classi. Le prime tre riguardano: “Ambiente urbanizzato e superfici artificiali” (classe U), “Acque” (A) e “Colture protette (serre)” (classe S); le altre otto classi, riguardano: aree agricole (classe 1 “seminativi”, classe 2 “colture permanenti”, classe 3 “foraggiere permanenti”; classe 4 “zone agricole omogenee”), “superfici boscate” (classe 5), “coperture vegetali prevalentemente arbustive e/o erbacee di evoluzione” (classe 6), “zone coperte da vegetazione rada o assente” (Classe 7) e “zone umide” (classe 8). All'interno delle classi principali, la Cuas realizza ulteriori suddivisioni della copertura del suolo ad uno o più livelli gerarchici inferiori, in base ad un numero crescente di elementi presi in considerazione. Così, ad esempio, i “seminativi” sono suddivisi, in relazione alla durata del ciclo della coltura, in “seminativi autunno-vernini” e “seminativi primaverili-estivi”. A loro volta, i primi sono ulteriormente suddivisi, in base al tipo di coltura, in “cereali da granella”, “ortive”, “legumi secchi”, “piante da tubero”, “colture industriali”, ecc..

1.5.2 – Acquisizione della carta in ambiente GIS

La Carta dell'Utilizzazione Agricola del Suolo del basso Volturno (**Tav II**) è stata ottenuta per intersezione della carta dell'Utilizzazione Agricola del Suolo della Campania, già disponibile in formato *shape-file*, con i limiti dell'area del basso Volturno.

1.5.3 – Carta dell'Utilizzazione Agricola dei sottosistemi di terre

Come detto in precedenza, ai fini della valutazione e della cartografia delle esigenze irrigue delle colture, sono stati realizzati i bilanci idrologici per ciascun tipo di uso del suolo ricadente all'interno dei singoli sottosistemi di terra (o di singoli poligoni di alcuni sottosistemi). Per poter operare praticamente, le unità di paesaggio corrispondenti ai sottosistemi di terra (o ai loro singoli poligoni) sono state “estratte” dalla Carta dei sistemi di terre e salvate come specifici *shape-file*. Ciascun *shape-file* è stato quindi intersecato con la CUAS per produrre carte “parziali” dell'Utilizzazione Agricola del Suolo, relative a specifici sottosistemi (Fig. 6).

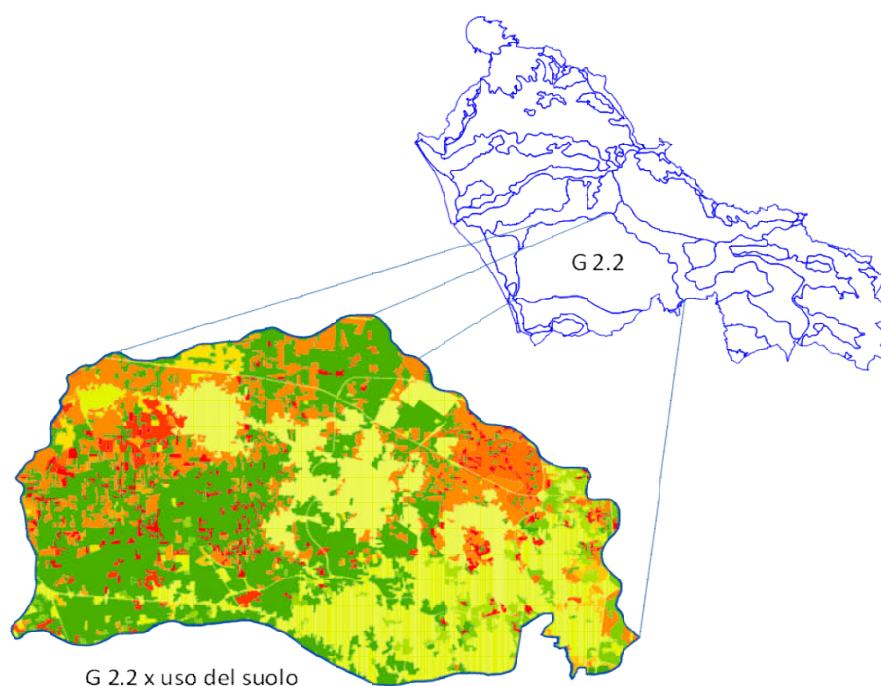


Fig. 6. Esempio di Carta dell'Utilizzazione Agricola del Suolo di un sottosistema di terre, ottenuta per intersezione del perimetro del sottosistema con la Carta dell'Utilizzazione Agricola del Suolo dell'intera area di studio.

A ciascun tipo di uso del suolo sono stati quindi associati i valori di AWC (mm di acqua/100 cm di profondità del suolo) tipici del sottosistema di terre e i valori della profondità delle radici di massima estrazione dell'acqua, tenuto conto della tessitura dominante del suolo. Il valore dell'AWC è stato quindi moltiplicato per la profondità delle radici di massima estrazione di acqua per ottenere il valore di AWC da utilizzare nel bilancio idrologico.

Per l'attribuzione della profondità di massima estrazione dell' acqua da parte delle radici si è fatto riferimento al quaderno 56 della FAO (FAO, 1998) e ad un lavoro di Mannini (2004). La

predetta bibliografia riporta però i valori di massima estrazione per singole colture (es., pesco, albicocco, melo, ecc.). Per calcolare i valori riferiti ai gruppi di colture delle diverse classi di uso del suolo (es., frutteti) è stata fatta una media ponderata delle profondità di massima estrazione delle singole colture. I tipi di colture individuali presenti in ciascuna classe di uso del suolo ed il loro peso relativo nel calcolo della profondità media ponderata sono state desunte dalla interpretazione dell'Annuario Statistico Campano (Regione Campania, 2003) e da esperienze dirette dei progettisti sul campo.

Il valore della profondità di massima estrazione è stato riferito ad un suolo a tessitura franca. Nel caso di suoli a tessitura fine (argillosa, franco-argillosa e franco-limoso-argillosa) i valori stimati sono stati ridotti del 15%; nel caso di suoli a tessitura più grossolana (sabbioso-franca) i valori stimati sono stati aumentati del 15%. L'aggiustamento è stato ritenuto opportuno tenuto conto dell'influenza della tessitura sull'approfondimento dell'apparato radicale. È noto che, nei suoli più sciolti, le radici tendono ad approfondirsi di più mentre, nei suoli più fini e compatti, gli apparati radicali tendono ad essere più superficiali. Il valore percentuale del 15% è coerente con quanto riportato nella relazione realizzata da Morano (Anno) per il Consorzio Generale di Bonifica del Bacino Inferiore del Volturno, riguardante uno "Studio economico-agrario" per la "progettazione (di) opere irrigue in sinistra Regi Lagni".

1.6 – Caratterizzazione climatica

La caratterizzazione climatica dell'area di studio è stata realizzata a partire dai dati di precipitazione (P), temperatura (T) ed evapotraspirazione potenziale (ET_o)² registrati dalla stazione meteorologica del Campo Sperimentale di Vitulazio del CNR-ISA FoM nel periodo 1993-2006.

² Notoriamente, di tutta l'acqua assorbita dalle piante, solo una piccola parte viene impegnata nel metabolismo e nella crescita, la rimanente viene traspirata. L'acqua ceduta all'atmosfera dalle piante per traspirazione sommata a quella persa direttamente dal terreno per evaporazione viene indicata come evapotraspirazione. Essa rappresenta il "consumo idrico" di una coltura.

La quantità di acqua consumata da una coltura foraggera sfalcata di frequente che, in condizioni ottimali di umidità del suolo, può mantenere costante il massimo consumo idrico e, quindi, un elevato ritmo di crescita viene definita evapotraspirazione potenziale (ET_o) o, più correttamente, evapotraspirazione potenziale di riferimento. Così intesa, l'ET_o dipende unicamente dalle condizioni meteorologiche (temperatura, umidità dell'aria, radiazione solare, velocità del vento) e diventa, pertanto, un parametro climatico (MAF, 1983).

Le serie storiche dei dati climatici utilizzati (P, ETo, ma anche temperatura, T), registrate su base giornaliera, sono state rielaborate per produrre i valori mensili delle variabili considerate (precipitazioni mensili, evapotraspirazione media mensile, temperature medie mensili). È stato quindi calcolato il valore mediano mensile di ciascun parametro climatico. La mediana è stata preferita alla media in quanto offre il vantaggio di essere più robusta (più “resistente” ad eventuali valori anomali).

I valori di ETo considerati derivano da misure di evaporato da evaporimetro di Classe A (o di Pan), moltiplicati per un coefficiente di correzione (Kp o coefficiente di Pan) calcolato in base ai valori registrati di radiazione netta, velocità del vento e umidità relativa dell'aria ed al fattore temperatura-latitudine della stazione (Landi, 1999).

1.7 – Bilancio idrologico

I valori di P ed ETo rappresentano i primi due termini del bilancio idrologico. Le differenze mensili tra i due parametri nel periodo in cui $P < ETo$ consentono di definire l'entità (mensile e totale) del **deficit idrico climatico**.

L'evapotraspirazione potenziale è valutata, come detto in precedenza, rispetto ad una coltura di riferimento. Tuttavia, nella realtà agricola le condizioni della vegetazione sono assai diverse da quelle *standard* sulle quali ci si basa per la definizione convenzionale di ETo. Di conseguenza, l'evapotraspirazione potenziale delle colture (ETc) è diversa dall'evapotraspirazione potenziale di riferimento. I valori di ETo necessitano, pertanto, di essere corretti mediante l'adozione di coefficienti colturali (Kc) specifici delle colture e delle loro fasi fenologiche.

$$ETc = ETo \times Kc$$

L'evapotraspirazione potenziale della coltura (ETc) rappresenta il terzo parametro del bilancio idrologico.

Ai fini del presente studio, i valori di Kc delle diverse colture sono stati dedotti dalla letteratura, con particolare attenzione a quanto riportato nel quaderno 56 della FAO, già citato e ad un lavoro di Ravelli e Rota (2002). A partire dai valori di Kc delle singole colture sono stati calcolati i valori di Kc dei diversi tipi di uso del suolo, facendo ricorso al criterio di

attribuzione dei pesi relativi a ciascuna coltura precedentemente adottato per la determinazione della profondità di massima estrazione di acqua da parte delle radici.

La letteratura non sempre riporta i valori di K_c mensili. Più frequentemente i K_c sono riferiti alle diverse fasi fenologiche delle colture. Quando il bilancio idrologico è realizzato (come nel nostro caso) su base mensile è invece necessario disporre di valori K_c mensili. È allora necessario valutare tali valori di K_c mensili a partire da quelli relativi alle fasi fenologiche.

Ai fini del presente studio, la valutazione del K_c mensili delle diverse colture è stata realizzata utilizzando il metodo grafico proposto dalla FAO (Fig. 7) nel già citato Quaderno 56.

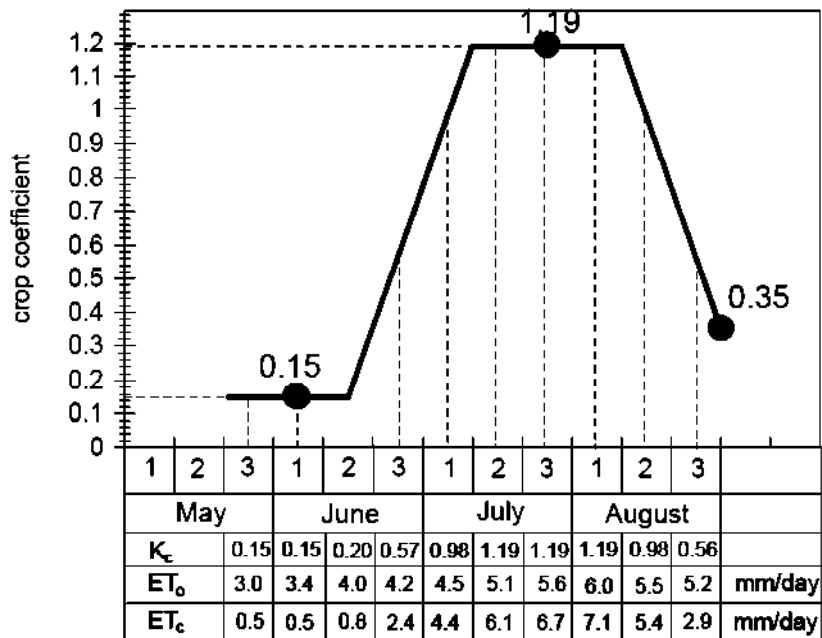


Fig. 7. Curva del K_c e valori decadali di K_c ed ET_c derivati dal grafico. Esempio per una coltura di fagiolo (da FAO, Quaderno 56).

Nella precedente definizione di bilancio idrico climatico sono state considerate le piogge mensili (P). In effetti, la pianta è in grado di utilizzare solo una frazione di acqua di pioggia, definita pioggia efficace (o , in inglese, *effective rainfall*) o pioggia utile (P_u) o utilizzabile. Il termine si presta a numerose interpretazioni da parte dei differenti specialisti che lavorano nei vari settori agronomici. In questa sede, in accordo con Landi (1999), intendiamo come pioggia utile quella rilevata dal pluviometro meno quella che bagna la vegetazione, quella

che è perduta per ruscellamento superficiale, quella che percola nel sottosuolo e quella che è ancora disponibile dopo la raccolta delle colture.

Sono stati proposti numerosi metodi per il calcolo della pioggia utile; alcuni si avvalgono di misure dirette, altri applicano tecniche statistiche o si avvalgono di certi caratteri delle precipitazioni; altri tengono conto della natura e dell'umidità del suolo, altri fanno riferimento alla coltura, ecc. In alcuni casi viene applicata una relazione empirica basata sulla piovosità mensile. Il *Bureau of Reclamation* degli Stati Uniti (USBR) suggerisce l'applicazione della seguente relazione:

$$PU = P \times (125 - 0.2 \times P) / 125$$

Tale relazione è stata utilizzata ai fini del presente studio.

La PU è il quarto termine del bilancio idrico. Le differenze mensili tra PU e ET_c nel periodo in cui PU < ET_c consente di definire l'entità (mensile e totale) del **deficit idrico di una coltura**.

Tuttavia, il calcolo del deficit, così definito, non tiene conto della riserva idrica del suolo (o acqua disponibile, in inglese *available water capacity*, AWC)³. Tale riserva si esaurisce gradualmente nel tempo, se non compensata da apporti idrici di pioggia e/o dall'irrigazione.

La variazione della riserva idrica del suolo è il quinto elemento del bilancio. Se considerata, essa consente di valutare il **deficit idrico effettivo di una coltura** vale a dire, la richiesta di acqua da fornire attraverso la pratica irrigua per compensare i consumi per evapotraspirazione.

Ai fini del presente studio, per ogni tipo di coltura all'interno di ciascuna sottosistema di terre (o di singoli poligoni dei sottosistemi) è stato realizzato un bilancio idrologico.

La **figura 8** riporta, in forma grafica, un esempio di bilancio applicato alla classe di uso del suolo 22 "frutteti" ricadente nel sottosistema di paesaggio G22 "pianura pedemontana flegrea". Il set completo dei grafici dei bilanci prodotti è riportato in Allegato A⁴.

³L'AWC rappresenta la frazione di acqua del suolo compresa tra la capacità idrica di campo ed il punto di appassimento, normalmente disponibile per la crescita delle piante (Brady e Weil, 2002; White 2003)

⁴Le curve sono state costruite a partire dai bilanci tabellari, operando in ambiente Matlab vers. R2008a, utilizzando un programma appositamente implementato.

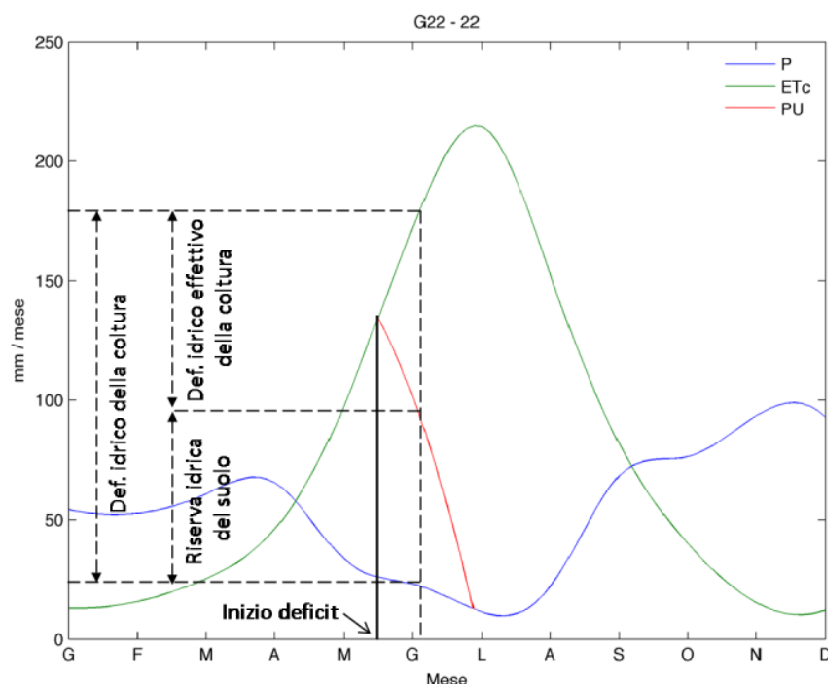


Fig. 8 – Esempio di bilancio idrico per la classe di uso del suolo 22 “frutteto” ricadente nel sotto-sistema di terre G22 “pianura pedemontana flegrea”. (da: *Quaglietta Chiarandà et al. 1986, mod.*)

1.8 – “Correzione” dei bilanci

Il bilancio idrico della coltura, realizzato secondo le modalità sopra illustrate, assume che ciascuna unità cartografica di uso del suolo sia completamente coperta da vegetazione (ovvero sia totalmente utilizzata). Nella realtà, solo una percentuale dell’ unità è normalmente coltivata. Pertanto, il relativo bilancio idrologico necessita di essere corretto, tenuto conto dell’effettiva copertura del suolo. Un contributo importante, a tal fine, è dato dall’uso di immagini telerilevate da satellite. Nel presente studio, la percentuale di copertura delle singole unità di uso del suolo, necessaria alla correzione dei bilanci, è stata valutata a partire da una mappa spettrale dell’indice normalizzato di vegetazione (NDVI, *Normalised Difference Vegetation Index*) risultante dalla elaborazione dell’immagine satellitare Landsat ETM+ del mese di agosto già precedentemente citata.

L’NDVI è calcolato utilizzando la banda rossa del visibile (Xred) e la banda vicina infrarossa (Xnir), nel modo seguente:

$$NDVI = \frac{X_{red} - X_{nir}}{X_{red} + X_{nir}}$$

Nel caso del sistema Landsat ETM+ X_{red} = banda 3, compresa nell'intervallo spettrale 630÷690 nm, e X_{nir} = banda 4, compresa nell'intervallo spettrale 750÷900 nm. Pertanto, il calcolo dell'NDVI è ottenuto da

$$NDVI = \frac{banda4 - banda\ 3}{banda4 + banda\ 3}$$

Poiché la vegetazione ha il suo massimo di riflettanza in banda 4 ed il suo minimo in banda 3 (Fig. 9), mentre il suolo ha una riflettanza minore della vegetazione in banda 4 e maggiore della vegetazione in banda 3, ne deriva che maggiore è il livello di copertura vegetale del suolo, maggiore è il valore di NDVI. Di conseguenza, in caso di coperta erbacea o arborea densa, l'NDVI si avvicina all'unità. Man mano che il livello di copertura vegetale diminuisce, anche l'NDVI diminuisce fino ad avvicinarsi a zero nel caso di suolo nudo (Aronoff., 2005).

Fig. 9 – Sovrapposizione delle bande Landsat ETM+ sugli spettri di riflettanza del suolo (in rosso) e della vegetazione (in verde) nella regione ottico-riflessiva 350÷2500 nm

Ai fini del presente studio, operando direttamente, attraverso “*visual inspection*”, sulla composizione RGB 453 dell'immagine Landsat ETM+ originale e sull'immagine NDVI (Tav III), è stata definita una soglia di NDVI al disotto e al disopra della quale ciascun *pixel* della scena poteva essere considerato coperto da coltura o sostanzialmente privo di coltura (suolo nudo o scarsamente vegetato). Il risultato è stato una Carta della copertura vegetale delle aree agricole (Tav IV) nella quale sono state innanzitutto separate le aree non agricole (aree

urbane, boschi, corsi d'acqua, rocce affioranti, ecc.), sulla base delle informazioni contenute nella CUAS e, successivamente, le aree agricole coperte da vegetazione da quelle non coperte dalla vegetazione, sulla base dell'NDVI.

In accordo con la letteratura scientifica specialistica e con quanto riportato nella relazione Morano già citata, il *deficit* idrico calcolato secondo la procedura sopra illustrata identifica il fabbisogno irriguo massimo (netto) necessario al sistema suolo-pianta per far fronte totalmente alla capacità evaporante dell'atmosfera, al soddisfacimento della quale corrisponde generalmente il massimo della produzione.

Occorre però tener conto che il massimo di produzione, per quasi tutte le colture, non corrisponde alla produzione di massima convenienza economica. La dotazione irrigua da adottare è allora quella che, nella curva della produttività dell'acqua irrigua (Fig. 10) contempera una contrazione delle dotazioni irrigue massime con una contenuta diminuzione della produzione massima. In generale, il più conveniente rapporto tra dotazione e livello qualitativo e quantitativo di produzione è da ritenere assimilabile ad un abbattimento del 30% del fabbisogno irriguo netto (Morano, xxxx).

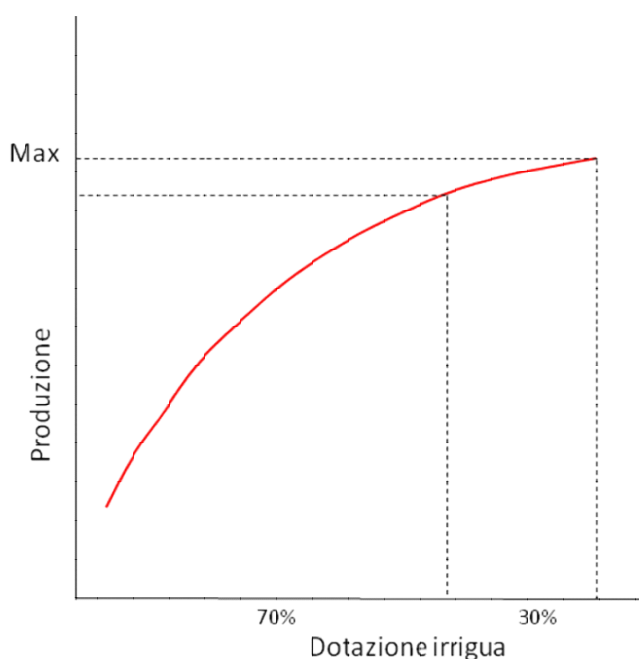


Fig. 10 – Variazione della produzione in funzione della dotazione irrigua (Fonte: Consorzio di Bonifica del basso Volturno, *mod.*)

Il risultato del lavoro sopra illustrato è stato una **Carta delle esigenze irrigue effettive delle colture (Tav V)**. Tenuto conto che l'area di reale interesse dello studio era quella confinata all'interno del Comprensorio a Ruolo, la Carta delle esigenze idriche effettive delle colture è stata prodotta limitatamente alla predetta area.

1.9 – Conclusioni

Il presente studio ha consentito una prima valutazione e cartografia delle esigenze idriche delle colture del territorio del basso Volturno, con particolare attenzione alle aree ricadenti nel limite del "Consorzio a ruolo".

Lo studio è stato realizzato utilizzando prevalentemente dati disponibili in bibliografia. Tuttavia, l'accuratezza posta nell'analisi dei dati disponibili e nella scelta della metodologia di elaborazione rendono la Carta utile per una prima, valutazione delle esigenze idriche delle colture a scala territoriale e creano i presupposti concreti per la realizzazione di future, più dettagliate indagini.

L'attendibilità dei risultati ottenuti è valutabile anche dalla loro coerenza con quelli di precedenti indagini realizzate dal Consorzio di Bonifica.

PARTE II

2. – SALINITA' DEI SUOLI

La salinità dei suoli è uno dei principali fattori limitanti la produttività agricola nella Regione mediterranea (Leone et al., 2000). Suoli affetti da salinità possono essere rinvenuti non soltanto nelle vaste aree desertiche e semi-desertiche, ma frequentemente anche in aree fertili dove tutte⁵ le condizioni naturali, eccetto la salinità, sono favorevoli alla produzione di colture (Szalbocs, 1995). Nel sud Italia, ampie aree costiere ad uso agricolo intensivo stanno diventando progressivamente “salinizzate” o sono a rischio di salinizzazione, soprattutto a causa dell'irrigazione con acqua salina di falda (Tedeschi, 1999). Tra queste aree è inclusa, come già accennato in precedenza, quella del basso Volturno.

Il termine “salinità” riguarda la presenza nel suolo e nell'acqua di soluti minerali elettrolitici in concentrazioni pericolose per le colture agrarie (Hillel, 2006). La ricerca ha mostrato che gli effetti negativi sulle piante derivano non soltanto dagli elevati contenuti di sale, ma anche dal livello di sodio nel suolo, specialmente in relazione ai livelli di calcio e magnesio (Brady e Weil, 2002). Pertanto, come vedremo meglio in seguito, i suoli salini (*salt-affected*) in senso stretto saranno distinti da quelli sodici (*sodium-affected*).

Considerati gli effetti negativi sul suolo e sulle piante, l'accumulo di sali nel suolo dovrebbe essere evitato o almeno efficientemente controllato, attraverso l'adozione di adeguate pratiche agricole, includenti l'uso di acqua di buona qualità, la lisciviazione (*leaching*), l'uso ammendanti chimici e di piante tolleranti.

⁵ L'acqua di irrigazione contiene, generalmente, apprezzabili quantità di sali. Per esempio, utilizzando un volume/ha/stagione di 10.000 mm di acqua di qualità relativamente buona (contenenti non più di 0.3 kg m⁻³ di sali) si ha un accumulo di sali nel suolo di circa 3.00 kg ha⁻¹. Le colture normalmente estraggono l'acqua dal suolo lasciando dietro gran parte dei sali. A meno che non siano lisciviati (in modo continuo o intermittente), questi sali presto o tardi finiscono per ostacolare la crescita delle piante (Hillel, 2006). Evidentemente il problema si amplifica quando la quantità di sali disciolti nell'acqua aumenta.

2.1 – Alcuni concetti essenziali

2.1.1 – Caratterizzazione dei suoli affetti da salinità

La salinità totale è generalmente espressa in termini di soluti totali disciolti (*total dissolved solutes*, TDS) in milligrammi per litro di soluzione (approssimativamente equivalenti a parti per milioni, ppm). La salinità può essere anche caratterizzata dalla misura della conducibilità elettrica (*electrical conductivity*, EC) della soluzione, generalmente esprimibile in termini di decisimens per metro (dSm^{-1}).

Criteri quantitativi per diagnosticare la salinità del suolo sono stati originariamente formulati dall'*US Salinity Laboratory* in Riverside, California (nel suo *Handbook* 60), in termini di EC dell'estratto saturo del suolo (cioè, la soluzione estratta dal campione di suolo presaturato di acqua).

La sodicità (o alcalinità) del suolo è invece valutata attraverso la misura dell'ESP, *Exchangeable Sodium Percentage*, che identifica il grado di saturazione del complesso di scambio da parte del sodio:

$$ESP = \frac{\text{sodio scambiabile (cmol /kg)}}{\text{capacità di scambio cationico (cmol /kg)}}$$

L'ESP è complementato da un secondo carattere, più facile da misurare: il SAR, *Sodium Adsorption Ratio*, il quale fornisce informazioni sulla concentrazione comparativa di Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} nella soluzione del suolo ed è calcolato come segue:

$$SAR = \frac{[\text{Na}^+]}{\sqrt{1/2 ([\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}])}}$$

Dove $[\text{Na}^+]$, $[\text{Ca}^{2+}]$ ed $[\text{Mg}^{2+}]$ sono le concentrazioni (in cmol/kg) degli ioni sodio, calcio e magnesio nella soluzione del suolo. Il SAR della soluzione dell'estratto del suolo prende in considerazione il fatto che gli effetti negativi del sodio sono moderati dalla presenza di ioni calcio e magnesio. Il SAR è altresì utilizzato per caratterizzare l'acqua d'irrigazione somministrata al suolo.

2.1.2 – Classificazione dei suoli affetti da salinità

Utilizzando i valori di EC, ESP (il SAR) e il pH del suolo, i suoli affetti da salinità sono classificati come **salini**, **sodici** e **salino-sodici** (Fig. 11). I suoli che non sono affetti da salinità sono classificati **normali**.

2.1.3 – Suoli salini

I suoli salini sono quei suoli che contengono sufficiente salinità da produrre un valore di EC maggiore di 4 dSm^{-1} , ma hanno un ESP inferiore a 15 (o un SAR inferiore a 13) nell'estratto saturo. Pertanto, il complesso di scambio dei suoli salini è dominato dal calcio e dal magnesio e non dal sodio. Il pH dei suoli salini è usualmente al disotto di 8.5. Poiché i Sali solubili aiutano a prevenire la dispersione dei colloidi, la crescita delle piante nei suoli salini non è generalmente impedita da scarsa infiltrazione, stabilità degli aggregati o areazione. In molti casi, l'evaporazione dell'acqua crea una crosta salina bianca alla superficie del suolo (Fig. 12) che prende il nome di “*white alkali*”.

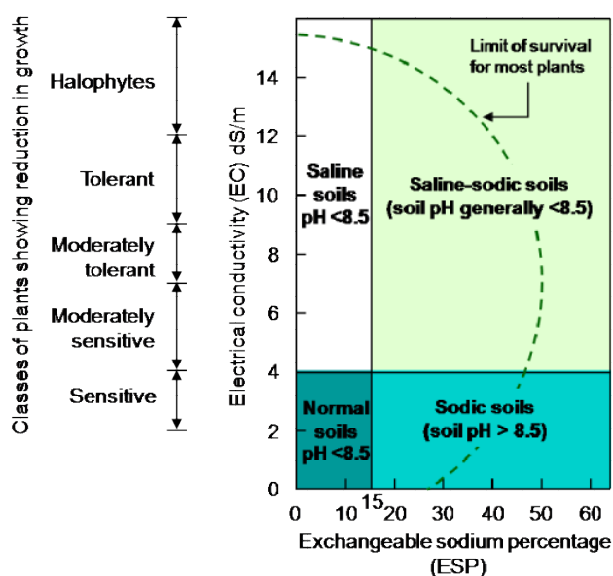


Fig. 11. Diagramma che illustra la classificazione dei suoli affetti da salinità in relazione al pH, alla EC e all'ESP. Sono mostrati anche gli intervalli di “sensibilità” delle piante alla salinità (da Brady and Weil, 2006, mod.)

2.1.4 – Suoli salino-sodici

Suoli che hanno entrambi i livelli detrimenti dei Sali solubili neutri (EC maggiore di 4 dS m^{-1}) ed elevate proporzioni di ioni sodio (ESP maggiore di 15 o SAR maggiore di 13) sono classificati come salino-sodici. La crescita delle piante in questi suoli può essere influenzata negativamente sia dagli eccessi di sali sia dall'elevato livello di sodio.

I suoli salino-sodici esibiscono condizioni fisiche intermedie tra quelle dei suoli salini e quelle dei suoli sodici. L'elevata concentrazione di Sali neutri modera l'influenza disperdente del sodio. I sali forniscono cationi in eccesso che si muovono vicino alle particelle dei colloidi a carica negativa, riducendo, in tal modo, la loro tendenza alla reciproca repellenza o alla

dispersione. Pertanto, questi sali, aiutano a tenere le particelle colloidali associate reciprocamente in aggregati.



Fig. 12. Croste saline bianche alla superficie di parcelle sperimentali irrigate con acqua salina nel basso Volturno

Sfortunatamente, questa situazione è soggetta ad un cambio piuttosto rapido se i sali solubili sono lisciviati dal suolo, specialmente se il SAR dell'acqua di lisciviazione è elevato. In tal caso, la salinità precipiterà, ma l'ESP aumenterà, e i suoli salino-sodici diventeranno sodici.

2.1.5 – Suoli sodici

I suoli sodici sono, probabilmente, i più “preoccupanti” tra i suoli influenzati da salinità. Mentre il loro livello di Sali solubili è basso (EC inferiore a 4 dSm^{-1}), essi hanno un livello di sodio nel complesso di scambio relativamente alto (valori di ESP e SAR superiore a 15 e 13, rispettivamente). Il valore di pH dei suoli sodici eccede 8.5, arrivando a 10 ed oltre in alcuni casi. I livelli estremamente elevati di pH sono largamente dovuti al fatto che il carbonato di sodio è molto più solubile del carbonato di calcio e di magnesio e, pertanto, mantiene elevate concentrazioni di CO_3^{2-} e HCO_3^- nella soluzione del suolo.

Gli ioni di Na^+ scambiabile, che sono attratti solo debolmente dai colloidi del suolo, si diffondono per formare uno sciame relativamente ampio di ioni idrati trattenuti in un'atmosfera di deboli complessi intorno ai colloidi. Questo strato di ioni monovalenti

scambiabili Na^+ è molto più sottile di quello che si formerebbe con ioni bivalenti come il Ca^{2+} , molto più fortemente attratti. Pertanto, i colloidi molto saturati di sodio sono tenuti molto distanti, cosicché le forze di coesione non possono agire per attrarre la superficie di un colloide a quella di un altro colloide. Per contro, l'elettronegatività poco bilanciata della superficie di ciascun colloide repelle altri colloidi elettronegativi e il suolo diventa disperso. Di conseguenza, gli aggregati si rompono e i colloidi dispersi intasano i pori del suolo, muovendosi verso la parte bassa del profilo. La mancanza di larghi pori nei suoli dispersi dà luogo a livelli estremamente bassi di conducibilità idraulica e infiltrazione idrica. La velocità d'infiltrazione è ridotta a tal punto che l'acqua tende a formare pozzanghere piuttosto che strati umidi. Il suolo è pertanto detto essere "impantanato", condizione caratteristica dei suoli sodici.

Poche piante possono tollerare queste condizioni. Le piante che crescono in questi suoli sono ostacolate dalla tossicità specifica degli ioni Na^+ , OH^- e HCO_3^- , oltre che dalle condizioni fisiche molto scarse e dalla bassa permeabilità all'acqua.

A causa del livello estremamente elevato del pH risultante dall'alto contenuto di sodio, la sostanza organica si disperde. L'humus disperso si muove verso il basso nel flusso di acqua capillare e, quando l'acqua evapora, conferisce alla superficie del suolo un colore nero. Il nome "*black alkali*" (alcali neri) è stato un tempo adoperato per descrivere questi suoli. Talvolta localizzati in piccole aree chiamate "*slick spots*", i suoli sodici possono essere circondati da suoli considerevolmente più produttivi. I suoli sodici hanno usualmente un orizzonte A molto sottile sovrapposto a uno strato argilloso con struttura colonnare.

2.2 – Risposta delle colture alla salinità e sodicità

La salinità influenza la crescita delle piante attraverso tre meccanismi (Shainberg and Lery, 2006):

1. effetti osmotici: limitano la capacità delle piante di assorbire acqua dalla soluzione del suolo;
2. specifica tossicità degli ioni, risultante dalla concentrazione eccessiva di ioni Na e Cl;
3. cambiamenti nelle proprietà fisiche e chimiche del suolo.

La produttività delle colture non è ridotta fino a quando non viene superato un certo livello di salinità. Al di là di tale livello, la produttività declina liberalmente con l'aumentare della salinità. Il valore di salinità corrispondente allo zero produttivo fornisce una stima della

salinità massima che le piante possono tollerare. In accordo con la loro risposta alla salinità, le piante possono essere suddivise in quattro gruppi (da sensibili a tolleranti) (Fig. 11). Ad esempio, tra quelle normalmente allevate nel basso Volturno, l'olivo, la barbabietola da zucchero, appartengono al gruppo delle piante tolleranti; l'orzo da foraggio, il sorgo, il fagiolo, il grano appartengono al gruppo delle piante moderatamente tolleranti; la medica il mais, la vite, il pisello, appartengono al gruppo delle piante moderatamente sensibili; il melo, l'albicocco, il limone, l'arancio, il pesco, la patata, il pomodoro, il peperone appartengono al gruppo delle piante sensibili (Brady and Weil, 2006).

La risposta delle piante alla salinità dipende anche da fattori legati al suolo, al clima e alla pianta stessa. Il contenuto di acqua nel suolo e la frequenza delle irrigazioni influenza la tolleranza delle piante alla salinità. L'accorciamento degli intervalli irrigui minimizza l'effetto deleterio della salinità. La tolleranza di molte colture è migliorata quando si fa ricorso ad irrigazione a goccia giornaliera. Anche il clima modifica la risposta della pianta alla salinità. La tolleranza è spesso ridotta in condizioni calde e secche; inoltre, le colture sembrano essere maggiormente tolleranti al sale in aree con inquinamento atmosferico che limita la crescita delle piante.

Fattori legati alla pianta, quali la fase di crescita, la varietà e il portainnesto influenzano la risposta alla salinità. Riso, orzo, grano e mais sono più sensibili alla salinità durante le prime fasi di crescita delle piantine. Barbabietola e girasole sono più sensibili alla salinità durante la germinazione che durante le successive fasi di crescita. Normalmente la salinità sopprime la crescita della parte epigea della pianta più che quella ipogea.

2.3 – Bonifica dei suoli affetti da salinità

Per bonifica dei suoli affetti da salinità si intende il restauro delle proprietà chimiche e fisiche in modo da garantire la massima produttività (Brady and Weil, 2006).

2.3.1 - Bonifica dei suoli salini

Per prevenire l'accumulo di Sali nella zona radicale durante ripetuti cicli di irrigazione ed evapotraspirazione, il rimedio più ovvio è quello di applicare acqua in quantità superiore all'evapotraspirazione, di modo che una frazione dell'acqua defluisca attraverso la zona radicale dilavando l'eccesso di sali (Hillel, 2006). Tuttavia, a meno che la falda non sia molto

profonda o il drenaggio laterale della falda sia sufficientemente rapido, l'irrigazione extra può causare un progressivo innalzamento della falda stessa. Il concetto di “*leaching requirement*” fu sviluppato per la prima volta dall’*US Salinity Laboratory* in Riverside, California. Esso è stato definito come la frazione di acqua d’irrigazione che deve percolare oltre la parte basse della zona radicale al fine di prevenire l’innalzamento della salinità dei suoli al disopra di certi specifici livelli.

In accordo con gli *standard* sviluppati a Riverside (e come già precedentemente detto), la concentrazione massima di soluzione del suolo nella zona radicale, espressa in termini di EC, deve mantenersi al disotto di 4 dSm^{-1} , anche se alcune piante sale-tolleranti, come ad esempio la medica, possono dare produzioni soddisfacenti anche a valori di EC superiori a 8 dSm^{-1} .

La richiesta di *leaching* è determinata dalla concentrazione di sale e dalla composizione dell’acqua di irrigazione, dall’ammontare dell’acqua dal suolo da parte delle colture e dalla tolleranza delle colture, che determinano la massima concentrazione consentita della soluzione del suolo nella zona radicale. Assumendo condizioni immutabili di flusso e non apprezzabili dissoluzioni e precipitazioni di sali nel suolo e rimozioni non significative di sali da parte delle piante o per risalita capillare di acqua salina dal basso, si ottiene la seguente semplice equazione:

$$V_d/V_i = C_i/C_d$$

nella quale V_d e V_i sono i volumi di drenaggio e irrigazione, rispettivamente, e C_d e C_i le corrispondenti concentrazioni di sali. I volumi di acqua sono normalmente espressi per unità di area di territorio come profondità equivalente di acqua e le concentrazioni di sali sono generalmente misurate e riportate in termini di EC. Poiché il volume di acqua drenata è la differenza tra i volumi d’irrigazione e di evapotraspirazione (cioè $V_d = V_i - V_{et}$), possiamo trasformare l’ultima equazione come segue:

$$V_i = [C_d/(C_d - C_i) + 1] V_{et}$$

che è l’equivalente della formula fornita dall’*US Salinity Laboratory’s Department of Agriculture (USDA) Handbook* n. 60:

$$d_i = [E_d/(E_d - E_i) + 1] d_{et}$$

dove d_i è la profondità dell’irrigazione, d_{et} la profondità equivalente dell’ “consumo d’uso” da parte delle piante (evapotraspirazione), ed E_d ed E_i le conducibilità elettriche dell’acqua di drenaggio e di irrigazione, rispettivamente.

Il concetto di richiesta di *leaching* non tiene conto della distribuzione dei sali nella zona radicale, come essa è influenzata dalla frequenza e dalla variabilità spaziale dell'irrigazione, così come della quantità e qualità dell'acqua. In particolare, della salinità nella zona radicale è influenzata dal pattern e grado del consumo di umidità tra le irrigazioni. Meno frequente è il regime irriguo, maggiore è l'accumulo di sali tra irrigazioni successive. In alcuni casi, la frazione di *leaching* comunemente raccomandata potrebbe essere non sufficiente per prevenire la riduzione della produzione al disotto del suo potenziale, specialmente se la quantità di evapotraspirazione imposta dal clima è elevata e l'acqua d'irrigazione è salmastra.

Con i moderni metodi di irrigazione ad elevata frequenza, è possibile mantenere la soluzione del suolo nella zona superficiale ad una concentrazione quasi uguale a quella dell'acqua irrigua. Questa zona può essere approfondita aumentando il volume di acqua applicata. Oltre questa zona, la concentrazione della soluzione del suolo aumenta con la profondità ad un livello di salinità dipendente dalla frazione di *leaching*. Irrigazioni molto frequenti non solo abbassano la concentrazione della soluzione del suolo nella zona superficiale (dove molte radici proliferano), ma tende anche a minimizzare la suzione matriciale dell'umidità del suolo.

Numerose ricerche hanno mostrato che suoli lisciviati ad un contenuto idrico superiore alla saturazione (es., sotto aspersione a bassa intensità o ponding intermittente) possono produrre un *leaching* più efficiente di quello che può essere ottenuto con un metodo standard di inondazione continua. In un suolo con macropori – fenditure, fori prodotti da vermi o canali prodotti da radici marcite – molta dell'acqua sotto ponding si muove rapidamente verso il basso attraverso questi larghi passaggi, bypassando il più ampio volume di suolo contenente il sale, risultando, in tal modo, molto poco efficiente nella lisciviazione dei micropori della matrice del suolo. In contrasto, in condizioni di springlink a bassa intensità, il suolo non diviene mai saturo. Pertanto, una grande porzione dell'acqua applicata si muove attraverso la matrice del suolo, producendo, in tal modo, una più efficace lisciviazione per unità di volume di acqua infiltrata. Tuttavia, il processo di infiltrazione ed il flusso insaturo sotto sprinkling a bassa intensità sono intrinsecamente più lenti e richiedono più tempo rispetto all'infiltrazione satura sotto ponding.

2.3.2 – Bonifica dei suoli sodici e salino-sodici

La bonifica dei suoli sodici e salino-sodici implica la sostituzione del Na scambiabile con il Ca scambiabile. La fonte di calcio per rimpiazzare il Na adsorbito può essere esterna al suolo, come il gesso (solfato idrato di calcio), la calcio-clorite e l'acqua irrigua contenente ioni calcio

o può essere il suolo stesso, attraverso la dissoluzione di minerali contenenti calcio (Keren, 2006).

Il gesso è l'ammendante più comunemente utilizzato per la bonifica dei suoli sodici e salino-sodici e per la riduzione dell'effetto negativo dell'irrigazione con acqua contenente elevate concentrazioni di sodio, a causa della sua solubilità, il suo basso costo e la sua disponibilità. Il gesso addizionato ad un suolo sodico determina cambiamenti nella permeabilità, aumentando la EC e l'effetto dei cationi di scambio. Il significato relativo dei due effetti è importante per due ragioni: a) se l'effetto elettrolitico è sufficientemente elevato da prevenire la dispersione della frazione argillosa del suolo, l'applicazione superficiale di gesso può essere efficace. In questo caso, la quantità di gesso richiesto dipende dall'ammontare e dalla elevata qualità dell'acqua applicata, oltre che dalla percentuale di gesso disciolto. È praticamente indipendente dalla quantità di sodio scambiabile nel profilo del suolo; b) in suoli in cui l'effetto della EC non è sufficiente, a causa dell'elevato livello di ESP, o se si vuole ottenere un miglioramento permanente, l'ammontare di gesso richiesto dipende dall'ammontare di Na nella profondità del suolo d'interesse.

Una discussione dettagliata sull'uso delle tecniche di bonifica dei suoli sodici e salino-sodici esula dagli scopi del presente lavoro. Per un approfondimento in materiale si rimanda il lettore a pubblicazioni tecnico-scientifiche, alcune delle quali già citate nel presente testo.

2.4 – Indagine preliminare sulla salinità dei suoli del Basso Volturno

Considerato quanto sopra riportato, il pre-requisito essenziale per la programmazione sostenibile della pratica irrigua in aree a rischio o già affette da salinità (e/o alcalinità) dei suoli è la valutazione dello stato reale di salinità (e/o alcalinità).

Il presente lavoro intende fornire una valutazione preliminare dello stato di salinità e di sodicità dei suoli del basso Volturno, con particolare attenzione all'area più prossima alla costa, a maggior rischio, a causa delle elevate condizioni di salinità della falda (causata da ingressione di acqua marina) da cui è attinta acqua per uso irriguo.

2.5 – Materiali e metodi

2.5.1 – Ubicazione dei siti e campionamento dei suoli

Per lo studio in esame sono stati utilizzati i suoli campionati in corrispondenza di 30 siti, distribuiti lungo la fascia costiera. Gran parte dei siti sono stati localizzati nell'area di espansione irrigua. Il campionamento è stato realizzato alla fine di febbraio 2009.

I siti sono stati inizialmente identificati su ortofoto a colori, in scala 1:10.000, operando direttamente in ambiente ArcView GIS e, conseguentemente, su carta topografica. Ciascun sito è stato successivamente rilocalizzato in campo, con estrema precisione, anche con l'aiuto di un GPS di precisione. La localizzazione dei siti definitivi di campionamento è riportata sulle ortofoto.

La necessità di ubicare con precisione i siti, a livello metrico, si è resa necessaria al fine di costituire una *base-line* di riferimento per il monitoraggio dello stato di salinità/alcalinità nel tempo.

L'ubicazione dei trenta siti selezionati è riportata nella **figura 13**.

In corrispondenza di ciascun sito sono stati prelevati due campioni di suolo, alle profondità comprese tra 0-30 e 30-60 cm, con l'aiuto di trivellate speditive. I siti ed i relativi campioni di suolo sono stati fotografati per avere memoria visiva dello stato dei luoghi e delle condizioni (osservabili) dei campioni. Alcune delle fotografie più significative dei siti campionati sono riportati in **Allegato B**.



Fig. 13. Ubicazione dei siti di campionamento sulla composizione RGB 453 dell'immagine satellitare Landsat ETM+ del 2 agosto 2002. È riportato il limite della zona di ampliamento.

2.5.2 – Analisi dei suoli

I suoli campionati sono stati essiccati all'aria, setacciati a 2 mm ed analizzati in laboratorio per la determinazione dei parametri necessari alla valutazione dello stato di salinità/sodicità dei suoli. In particolare, sono state realizzate le seguenti analisi: conducibilità elettrica (EC)⁶, capacità di scambio cationico (CEC), pH, calcare totale (CaCO_3). Le analisi sono state realizzate in accordo con i Metodi di Analisi Chimica del Suolo (MIPAF, 2000). I dati disponibili sono stati utilizzati per il calcolo dell'ESP, *Exchangeable Sodium Percentage*.

In aggiunta alle analisi canoniche di laboratorio, è stata fatta una valutazione di campo della tessitura dei suoli e del colore Munsell.

I dati relativi alle proprietà dei suoli analizzati e all'ESP sono stati statisticamente descritti in termini di valori medi, minimi e massimi e di coefficiente di variazione (rapporto percentuale tra deviazione standard e media). In accordo con Ameyan (1984), una variabile mostra una variabilità piccola, moderata o grande quando il coefficiente di variazione (CV) è rispettivamente inferiore al 20%, compreso tra il 20 e il 50%, superiore al 50%.

⁶ La conducibilità elettrica (EC) è stata misurata estratto acquoso e poi trasformata in EC in pasta satura (ECe) utilizzando un'equazione di regressione ($\text{ECe} = 3.69 \text{ EC}$; $R^2 = 0.98$) trovata per i suoli del Volturno da Sorrentino *et al.* (1999).

2.5.3 – Risultati e discussione

I dati analitici relativi alle singole proprietà di suoli campionati e all'ESP da esse derivato, oltre alle descrizioni di campo del colore Munsell e della tessitura degli stessi suoli, sono riportati in **Allegato C**. La statistica descrittiva delle predette proprietà e dell'ESP è riportata nella **tabella 1**.

Tab.1. Statistica descrittiva delle proprietà chimiche e dell'ESP dei campioni di suolo prelevati negli strati 0-30 e 30-60 cm in corrispondenza dei 30 siti di campionamento

Profondità 0-30 cm									
	pH	CE (dS m ⁻¹)	CaCO ₃ (%)	CSC (cmolkg ⁻¹)	Basi di scambio (Cmol kg ⁻¹)				ESP
					Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	
Media	8.10	1.06	6.59	34.11	24.44	3.50	1.63	2.54	3.44
Minimo	6.76	0.31	0.20	4.64	4.39	0.15	0.03	0.07	0.56
Massimo	8.71	9.56	21.92	88.40	64.13	14.28	21.56	7.81	24.39
CV (%)	6.01	153.66	102.96	56.12	53.47	87.92	237.49	86.92	131.29
Profondità 30-60 cm									
	pH	CE (dS m ⁻¹)	CaCO ₃ (%)	CSC (cmolkg ⁻¹)	Basi di scambio (Cmol kg ⁻¹)				ESP
					Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	
Media	8.20	2.67	5.35	33.71	25.02	3.71	2.59	2.39	5.05
Minimo	6.26	0.19	0.39	2.20	2.05	0.08	0.03	0.03	0.71
Massimo	8.95	5.14	18.01	89.92	59.12	13.84	38.26	8.72	42.43
CV (%)	6.51	345.43	109.75	59.59	54.37	93.03	266.91	94.67	150.74

Il pH dei suoli analizzati (**Tab. 1**) si attesta intorno a valori medi di moderata alcalinità, senza grosse differenze tra i campioni più superficiali (8.10) e quelli più profondi (8.20). I valori estremi oscillano tra minimi di 6.26 (reazione debolmente acida) e 6.76 (reazione neutra) e massimi di 8.95 e 8.71 (reazione fortemente alcalina in entrambi i casi). Tuttavia, il coefficiente di variazione è basso (6.01%), stante ad indicare una sostanziale, limitata variabilità di questo parametro.

La conducibilità elettrica dello strato superficiale dei suoli ha un valore medio di 1.06 dS m⁻¹, con oscillazioni che vanno da un minimo di 0.31 dS m⁻¹ ad un massimo di 9.56 dS m⁻¹. Il

valore medio aumenta con la profondità (2.67 dS m^{-1}), anche se gli estremi di variazione diminuiscono leggermente, nel caso del valore minimo (0.19 dS m^{-1}) o sensibilmente, nel caso del valore massimo (5.14 dS m^{-1}). I CV sono, in entrambi i casi (ma soprattutto in quello dei campioni prelevati a maggior profondità), elevati (153.66% e 345.43%).

I dati statistici sopra riportati indicano che, a parte qualche situazione locale, la CE non raggiunge mai la soglia di salinità (4 dS m^{-1}). Tuttavia, sembra ragionevole ipotizzare che i suoli esaminati – sostanzialmente rappresentativi dell'intera fascia costiera del basso Volturno – siano a rischio di salinizzazione. Tale sospetto deriva soprattutto dalla considerazione che i suoli del basso Volturno, in situazioni di non trattamento con acqua salina, hanno normalmente valori medi di EC intorno a 1 dS m^{-1} (Leone et al., 2007); nel nostro caso il valore medio di EC dei campioni prelevati nello strato più profondo raggiunge 2.67 dS m^{-1} , mentre si mantiene sui livelli “ordinari” della zona nei campioni prelevati in superficie. Questo comportamento potrebbe essere attribuito ad un processo riassumibile nei seguenti punti a) c'è stato un (probabile) apporto di sali nel suolo (con acqua irrigua) tale da far innalzare il valore di EC; b) il valore di EC non raggiunge (al momento del campionamento) la soglia di salinità a causa di una elevata lisciviazione prodotta delle piogge abbondantissime e continue che hanno caratterizzato il periodo autunno 2008-primavera 2009⁷; c) la lisciviazione ha prodotto un gradiente positivo di EC dall'alto verso il basso.

I suoli campionati sono, in media, moderatamente dotati di carbonati⁸ ($\text{CaCO}_3 = 6.59\%$ e 5.35% , rispettivamente per i campioni più superficiali e quelli più profondi), anche se si registrano situazioni estreme di suoli “poveri” e “ricchi” di carbonati ($\text{CaCO}_3 < 0.4\%$ e $> 18\%$, rispettivamente). Come frequentemente accade, il CV di CaCO_3 è elevato ($> 100\%$), in conseguenza dell'elevata mobilità di questo costituente del suolo.

La capacità di scambio cationico (CSC) supera mediamente 33 Cmol kg^{-1} , sia in superficie che in profondità, in conseguenza della dominanza, nella frazione argillosa, di argille di tipo smectitico. Si registrano, tuttavia, situazioni estreme di valori molto bassi ($\text{CSC} < 5 \text{ Cmol kg}^{-1}$), associabili alla dominanza della componente sabbiosa nella frazione fine dei suoli, o molto alti ($\text{CSC} > 80 \text{ Cmol kg}^{-1}$), associabili alla dominanza della componente argillosa nella predetta frazione. Il CV è alto ($> 50\%$), ma sostanzialmente tendente a medio.

⁷ In accordo con quanto registrato dalla stazione meteo di x della regione Campania, nel periodo ottobre 2008-marzo 2009 sono caduti x mm di pioggia.

⁸ La classificazione dei suoli in relazione ai contenuti di carbonati, alla CSC e alle basi di scambio è stata fatta con riferimento con quanto riportato nel Manuale 33 del SeSIRCA Regione Campania “Guida alla Concimazione”.

Il complesso di scambio è dominato dal Ca^{2+} , che in entrambi gli strati supera mediamente il 75% dalla CSC. Il contenuto percentuale di Mg^{2+} è leggermente alto (valore medio dei due strati intorno al 9% della CSC); quello di K alto a molto alto, attestandosi intorno all'8.5% della CSC. Infine il contenuto di Na^+ è normale in superficie (media: 3.44% della CSC) e al limite del leggermente alto (media 5.05% della CSC in profondità)

L'ESP si mantiene, in media, abbondantemente al disotto della soglia di 15, fatta eccezione per due casi (vedi allegato B), ricollegabili, come detto già in precedenza, a situazioni locali. Lo studio precedentemente citato (Leone et al., 2007) indica che in condizioni di irrigazioni con acque non saline, l'ESP di un suolo rappresentativo del basso Volturno ha un valore medio di 3.08 dS m^{-1} ; l'ESP dello stesso suolo, dopo trattamento con acque mediamente ed altamente saline, raggiunge valori medi di 24.56 dS m^{-1} e 54.15 dS m^{-1} . Confrontando tali valori con quelli ottenuti nel presente lavoro, è ragionevole ipotizzare che: a) si è verificato un apporto di Na^+ al suolo con acqua irrigua ricca di sali solubili; b) che tale apporto è stato rimosso per lisciviazione prodotta dalle acque di pioggia (come detto in precedenza); c) tuttavia, una certa quantità del Na^+ apportato con l'irrigazione sia rimasta sul complesso di scambio degli strati di suolo più profondi. Il contenimento dei valori dell'ESP deve essere attribuito anche alla dominanza, nella maggior parte dei suoli, Ca^{2+} sul complesso di scambio.

Tenuto conto dei valori di EC ed ESP, solo pochissimi (tre) campioni di suolo, tra quelli analizzati, sono classificati salini o salino-sodici (Fig. 14). Tale situazione rimane anche nel caso in cui si adotti un coefficiente di conversione da EC in estratto acquoso a EC in pasta satura superiore a 3.69 da noi adottato, come suggerito da alcuni autori. I tre campioni classificati come salini o salino-sodici sono stati prelevati in corrispondenza dei siti T13 e T14, entrambi ricadenti all'interno della zona di ampliamento, in posizione molto vicina alla costa (Fig. 13).

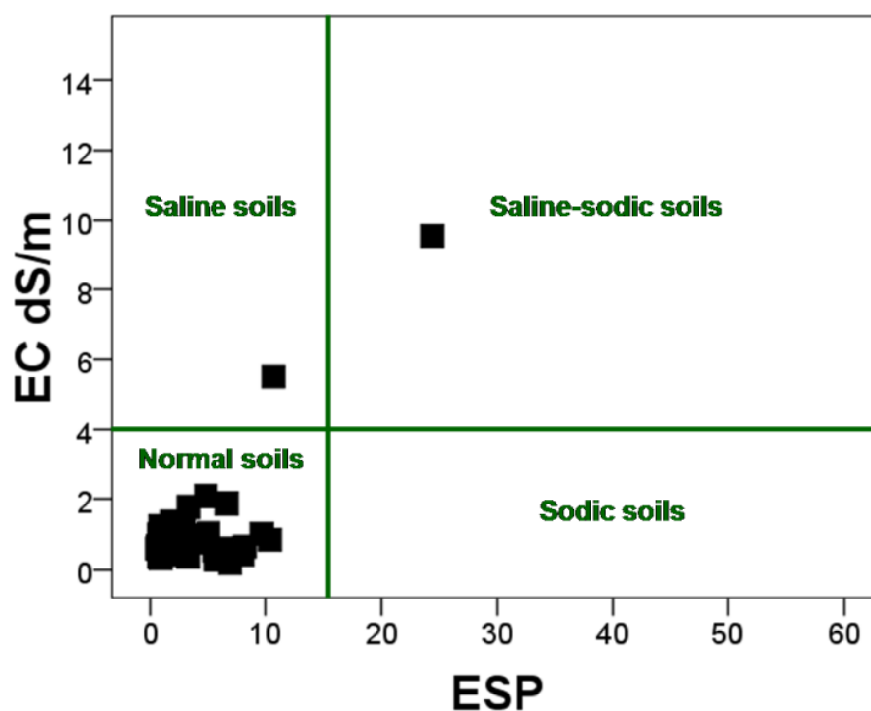


Fig. 14. Distribuzione dei suoli esaminati nello scatterplot definito dall'ESP e dalla CE. Sono riportati 59 dei 60 campioni analizzati. Uno dei campioni, con valori estremamente alti di ESP ed EC non è stato riportato per problemi di rappresentazione grafica

2.6 – Conclusioni

I risultati dello studio preliminare oggetto del presente lavoro portano alle seguenti conclusioni:

- al momento del campionamento dei suoli esaminati (febbraio 2009) i suoli della fascia costiera del basso Volturno non sono classificabili (salvo alcune eccezioni) come affetti da salinità/alcalinità;
- i valori di EC e ESP, anche se mediamente al disotto delle soglie di salinità e alcalinità, lasciano intravedere sintomi evidenti di salinizzazione/alcalinizzazione attribuibili all'uso di acqua irrigua ricca di sali solubili;
- tale affermazione è confortata dal confronto dei suoli esaminati con quelli di suoli di siti sperimentali del basso Volturno irrigati con acque non saline ed acque a differente grado di salinità;

- d) i bassi livelli di salinità/alcalinità riscontrati sono attribuibili, con ogni probabilità, anche all'azione lisciviante delle piogge abbondanti e frequenti che hanno caratterizzato il periodo autunno 2008-primavera 2009;
- e) i livelli attuali di salinità/alcalinità attribuibili ad un effetto lisciviante della pioggia lasciano ipotizzare la concreta possibilità di controllare l'accumulo di Sali lungo il profilo attraverso la somministrazione di acqua non salina attraverso la pratica irrigua, a condizioni che si tenga conto di quanto detto in precedenza ("Alcuni concetti essenziali") nel presente capitolo.

Una verifica di quanto sopra affermato è necessaria e passa attraverso un monitoraggio attento dello stato di salinità/alcalinità nel corso dell'anno, con riferimento ai siti già selezionati per il presente studio.

2.7 – Bibliografia

Ameyan, O., 1984. *Surface soil variability of a map unit on Niger river alluvium*. Soil Sci. Soc. Am. J., vol 50, 1289-1293.

Aronoff S., 2005. *Remote sensing for GIS managers*. ESRI Press, Redland, California. pp 487

Bonciarelli F., 1999. *Fondamenti di agronomia generale*. Edagricole, Bologna. pp 372

di Gennaro A., 2002. *I sistemi di terra della Campania*. SELCA, Firenze. pp 63

FAO, 1998. *Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop requirements*. FAO Irrigation and Grainage paper 56. pp 299

Landi R., 1999. *Agronomia e ambiente*. Edagricole, Bologna. pp 655

Leone A.P., Menenti M., 1999. *Telerilevamento dei suoli salini*. Atti del convegno sul tema “Le acque salmastre come risorsa idrica: limiti e prospettive”, POM, Misura 2, Progetto ‘OTRIS’, (a cura di E. Tarantino), Foggia, 5 Maggio 1999, pp 107-121.

Leone A.P., Menenti, M., Buondonno A., Letizia A., Maffei C., Sorrentino G., 2007. *A field experiment on spectrometry of crop response to soil salinity*. Agricultural Water Management, Vol. 80, n. 12, 39-48

Leone A.P., Menenti M., Sorrentino G., 2001, *Reflectance spectroscopy to study crop response to soil salinity*. Italian Journal of Agronomy, 4, 2, 75-85

Leone A.P., Sommer S., 2000. *Multivariate analysis of laboratory spectra for assessment of soil development and soil degradation in southern Apennines (Italy)*. Remote Sensing of Environment, 72: 346-359

Leone A.P., Wright G.G., Corves C., 1995. *The application of satellite remote sensing for soil studies in upland areas of Southern Italy*. Int. J. Remote Sensing;16:1087-1105.

MAF, Ministero dell'Agricoltura e delle Foreste, Direzione Generale della Produzione Agricola, 1983. *Proposta metodologica di classificazione attitudinale del territorio*. Supplemento degli Annali dell'Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Vol, XIV. pp 55

Mannini P., 2004. *Le buone pratiche agricole per risparmiare acqua*. I supplementi di agricoltura, n. 18.

MIPAF-UCEA, 2002. *Atlante Agroclimatico. Agroclimatologia, pedologia, fenologia del territorio italiano*. Agrosian, pp 64

Morano N., *Progettazione opere irrigue in sinistra regi lagni. Studio economico- agrario*. Consorzio Generale di Bonifica del Bacino Inferiore del Volturo, Caserta. pp 193

Ravelli F., Rota P., 2002. *Research on crop water requirements and water production functions in the context of the irrigation programme of the southern Italy Development Found (Cassa per lo Sviluppo del Mezzogiorno) (1950-1980)*. In, A.P. Leone and A. Basile eds, *Proceedings of the Trans-national Workshop on "Managing water demand in agriculture through pricing. Research issues and lessons learned"*, Telese Terme, May 24-25 2001, 136-149.

Regione Campania, Assessorato all'Agricoltura, Settore SIRCA, 2004. *Progetto CUAS, Carta dell'Utilizzazione Agricola del Suolo*.

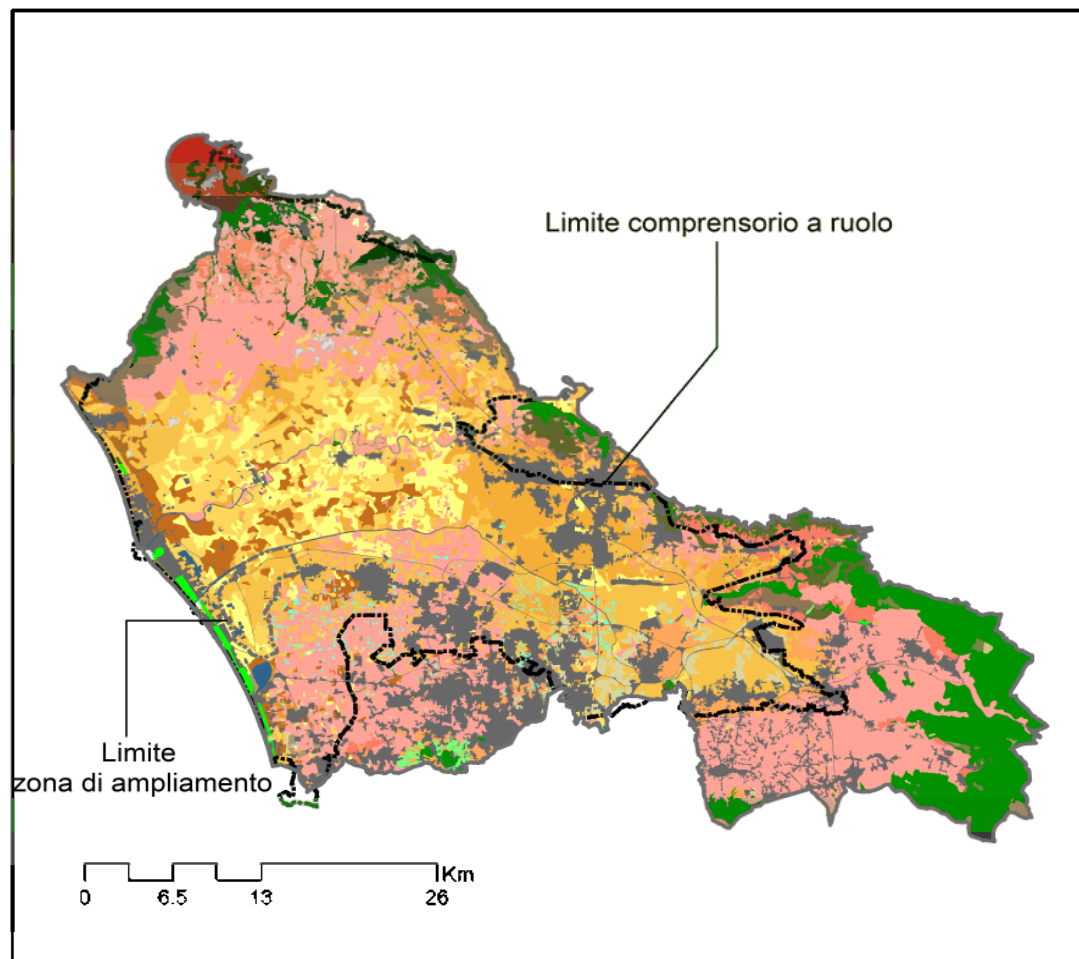
Regione Campania, Assessorato all'Università e Ricerca Scientifica, Innovazione Tecnologica e Nuova Economia. Sistemi Informativi e Statistica, 2003. *Annuario statistico campano*. pp 441

Sorrentino G., Albrizio R., Giorio P., Lavini A., d'Andria R., Tedeschi P., 1999. *Physiological response and productivity of sunflower under saline conditions in southern Italy*. *Agricoltura Mediterranea*, 130, 48-55.

TAVOLE

Tav I	Carta dei sistemi di terre del basso Volturno
Tav II	Carta dell'utilizzazione Agricola dei suoli del basso Volturno
Tav III	Carta dell'NDVI
Tav IV	Carta della copertura vegetale delle aree agricole
Tav V	Carta delle esigenze idriche delle colture

TAV II - Carta dell'utilizzazione agricola dei suoli del basso Volturno*



* Relaborata da: Regione Campania, Assessorato all'Agricoltura, Settore SIRCA, 2004. Progetto CUAS. Carta dell'Utilizzazione Agricola del Suolo

CONSORZIO GENERALE DI BONIFICA
DEL BACINO INFERIORE DEL VOLTURNO
INDAGINE DI BASE PER L'AMPLIAMENTO DELL'IMPIANTO
IRRIGUO COLLETTIVO DI SUQUETRA REGILAGNA

STUDIO DI FATTIBILITA'

INDAGINE AGRONOMICA

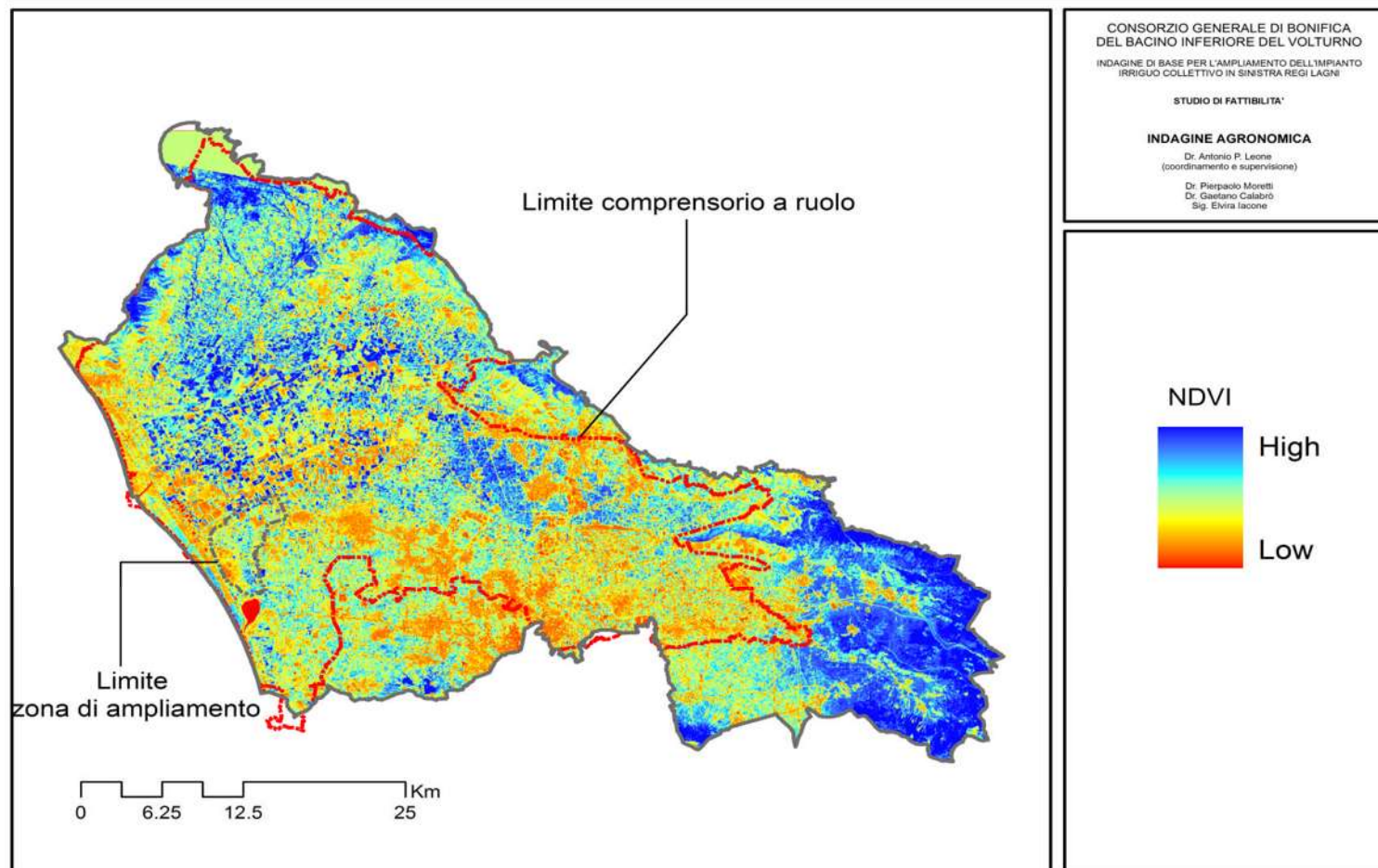
Dr. Antonio P. Leone
(coordinamento e supervisione)

Dr. Pierpaolo Moretti
Dr. Gaetano Calabrò
Sig. Elvira Iacone

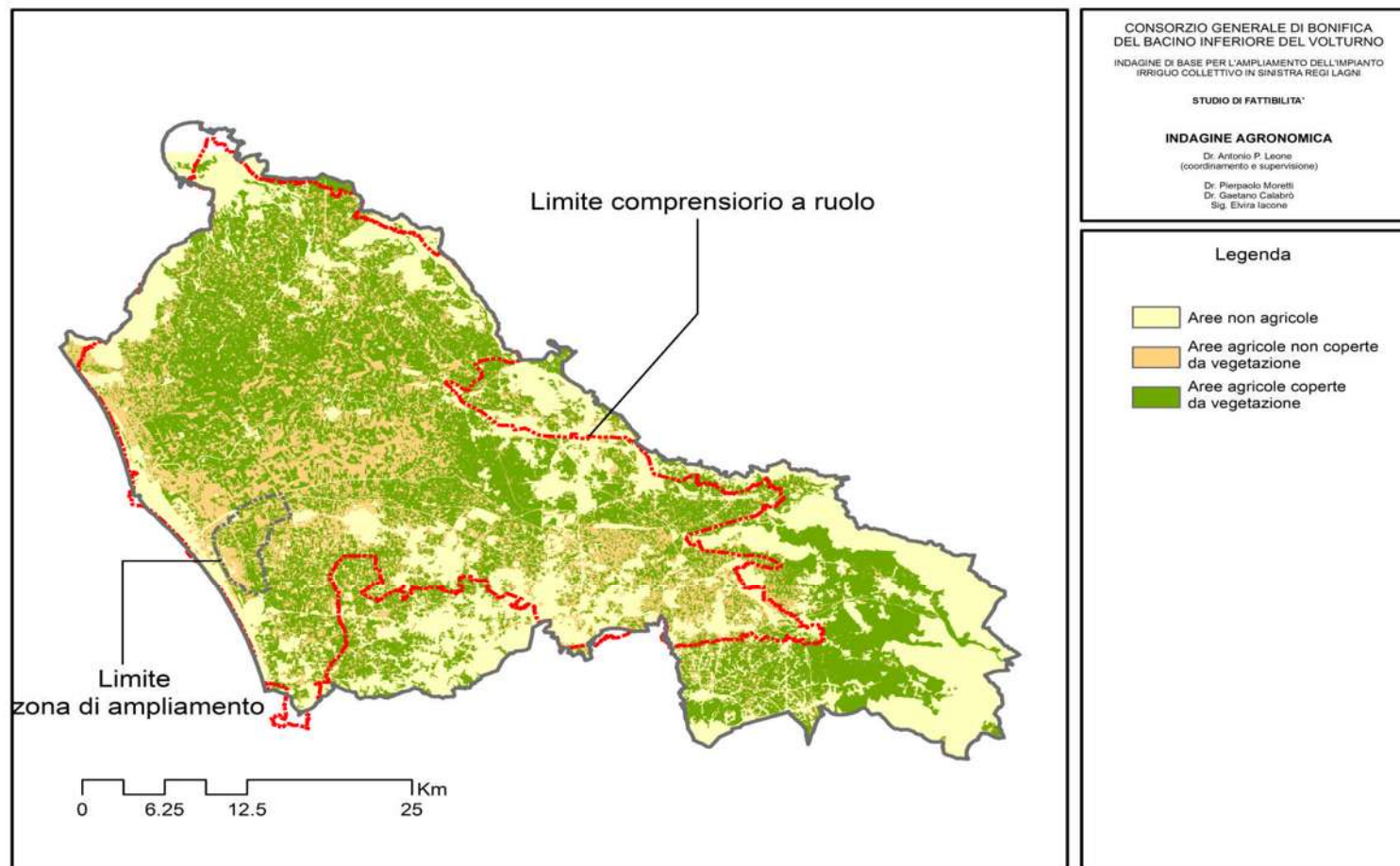
Legenda

1. Semestrali
11. Semestrali autunno-vernive
111 Cereali da grano
114 Rapa da sili
22. Semestrali primavera-estate
121 Cereali da grano
122 Orzo
125 Culture industriali
13. Foraggere associate
131 Fieno
132 Fieno
2. Culture permanenti
21 Vigneti
22 Oliveti e frutteti neri
23 Oliveti
24 Agrumi
25 Campi da frutto
26 Piantati, salici, altre latifoglie
3. Foraggere permanenti
31 Prati permanenti, prati pascoli e pascoli
32 Prati non utilizzati o di recente utilizzo
4. Zone agricole eterogenee
41 Culture temporanee associate a culture permanenti
42 Sistemi colturali e particolari complessi
5. Superfici boscate
51 Boschi di latifoglie
52 Boschi di conifere
53 Boschi misti di conifere e latifoglie
6. Coperture vegetali prevalentemente erbacee o a foglie caduche in evoluzione
61 Area a copertura naturale o protetta di alta quota. Area foraggiera a base produttiva
62 Cespugli e arbusti
63 Area a ricostituzione naturale
64 Area a ricostituzione naturale (invecchiamento)
7. Zone aperte con vegetazione rada o assente
71 Spoglie, dune e sabbie
72 Roca nuda ed affioranti
73 Area con vegetazione rada
74 Area degradata da incendi o per altri eventi
8. Zone urbane
81 Zone urbane
82. Ambiente urbano e superfici artificiali
83. Zone urbane
84. Culture protette
841 Orticole e frutticole
842 Marciapiedi, piante ornamentali e viali

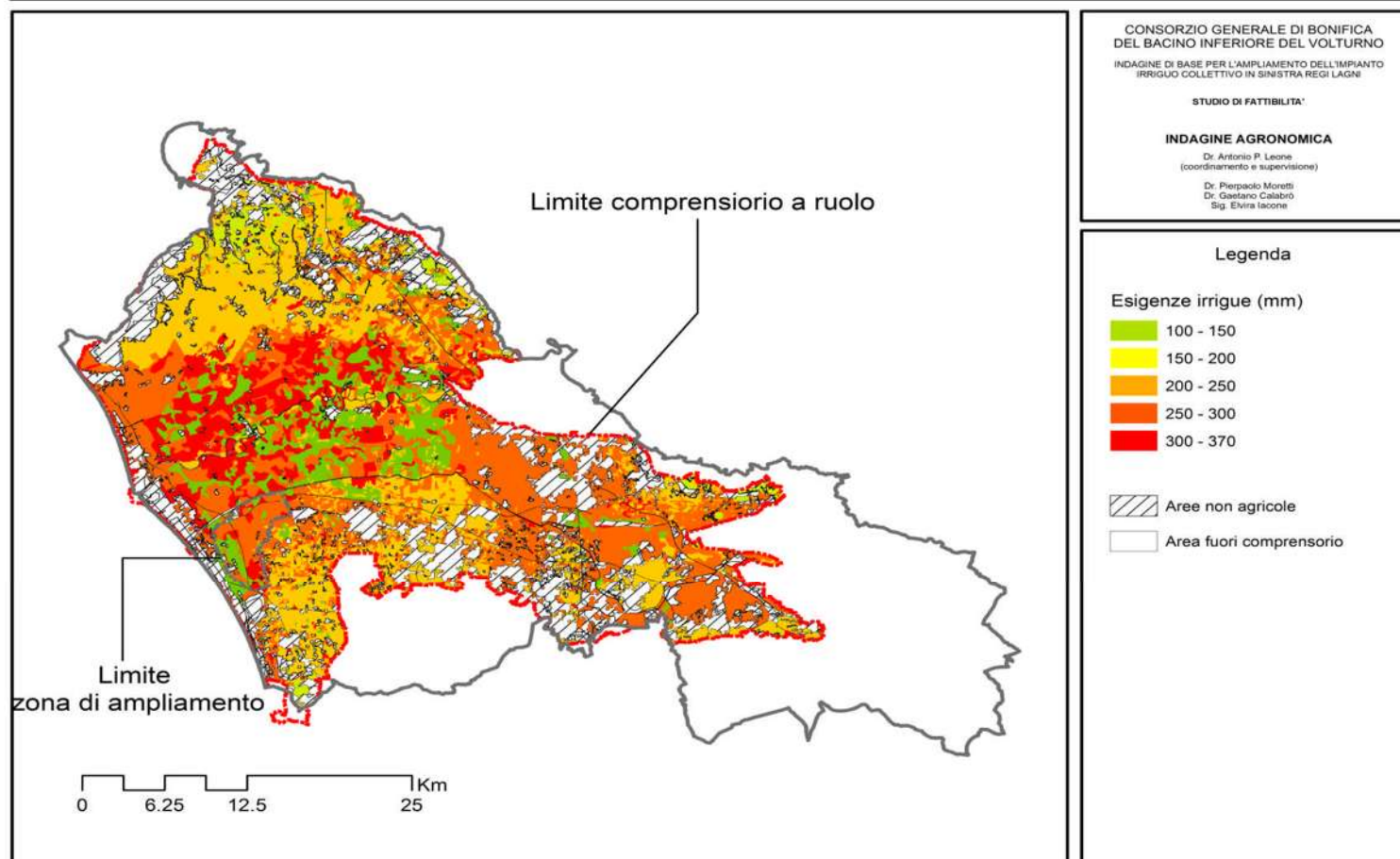
TAV III - Carta dell'NDVI (Normalised Difference Vegetation Index)



TAV IV - Carta della copertura vegetale delle aree agricole



TAV V - Carta delle esigenze irrigue delle colture del comprensorio a ruolo



ALLEGATO A

Bilanci idrici dei suoli

Per l'uso dei grafici, si tenga conti che

- ciascun bilancio è identificato con una sigla, es "G11-22". La prima parte della sigla "G11" indica il sottosistema di paesaggio; la seconda parte della sigla "22" indica la classe di uso del suolo.
- in alcuni casi, la sigla relativa ai sottosistemi di paesaggio è seguita da una lettera minuscola, ad esempio "G11a", "G11b". Le lettere indicano differenti poligoni di uno stesso sottosistema di paesaggio. Per ulteriori chiarimenti si rimanda alla testo del report.

Errata corrige: la sigla "141" (errata) corrisponde alla sigla identificativa del sottosistema si terre "I41" (corretta).

ALLEGATO B

Fotografie dei siti di campionamento dei suoli

Sito T1



Panoramica

Sito T1



Particolare

Sito T2



Panoramica
Sito T3



Panoramica

Sito T3



Particolare
Sito T4



Panoramica

Sito T5



Panoramica
Sito T5



Particolare

Sito T6



Panoramica
Sito T6



Particolare

Sito T7



Panoramica
Sito T7



Particolare

Sito T8



Panoramica
Sito T8



Particolare

Sito T9



Panoramica
Sito T9



Particolare

Sito T10



Panoramica Sito T10



Particolare

Sito T11



Panoramica Sito T11



Particolare

Sito T12



Panoramica
Sito T12



Particolare

Sito T13



Panoramica Sito T13



Particolare

Sito T14



Panoramica Sito T14



Particolare

Sito T15



Panoramica
Sito T15



Particolare

Sito T16



Panoramica Sito T16



Particolare

Sito T17



Panoramica
Sito T17



Particolare

Sito T18



Panoramica
Sito T18



Particolare

Sito T19



Panoramica Sito T19



Particolare

Sito T20



Panoramica
Sito T20



Particolare

Sito T21



Panoramica Sito T21



Particolare

Sito T22



Panoramica Sito T22



Particolare

Sito T23



Panoramica
Sito T23



Particolare

Sito T24



Panoramica
Sito T24



Particolare

Sito T25



Panoramica
Sito T25



Particolare

Sito T26



Panoramica
Sito T26



Particolare

Sito T27



Panoramica Sito T27



Particolare

Sito T28



Panoramica
Sito T28



Particolare

Sito T29



Panoramica
Sito T29



Particolare

Sito T30



Panoramica
Sito T30



Particolare

ALLEGATO C

Analisi dei suoli

Sito	Profondità	Colore Munsell	Tessitura*	pH	EC (dS m ⁻¹)	CaCO3 (%)	CSC (Cmol kg ⁻¹)	Basi di scambio (Cmol kg ⁻¹)				ESP
								Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	
T1	0-30	2.5Y 3/1	A	8.07	0.62	9.4	50.8	44.8	4.1	0.4	1.4	0.87
	30-60	2.5Y 3/1	A	8.20	0.67	4.9	51.1	43.6	5.1	1.0	1.4	1.96
T2	0-30	2.5Y 4/1	A	8.59	0.90	21.9	40.6	29.6	6.4	1.8	2.8	4.47
	30-60	2.5Y 4/1	A	8.52	2.09	16.9	43.8	32.1	8.0	2.1	1.6	4.81
T3	0-30	10YR 4/3	FAS	8.00	0.85	2.6	49.0	40.3	4.3	2.1	2.3	4.31
	30-60	10YR 4/1	FAS	8.41	1.04	2.0	42.9	35.2	3.8	2.2	1.8	5.04
T4	0-30	10YR 3/3	FLA	7.89	0.51	0.8	34.1	23.8	3.2	0.7	6.5	1.94
	30-60	10YR 3/4	FA	8.04	0.42	1.2	33.8	23.2	2.9	0.7	7.0	2.13
T5	0-30	2.5Y 5/1	FA	8.26	0.98	4.1	34.7	28.5	2.4	0.6	3.1	1.73
	30-60	2.5Y 5/1	FA	8.40	0.99	3.1	33.8	27.4	2.4	0.9	3.1	2.74
T6	0-30	2.5Y 4/2	A	8.27	0.89	10.6	26.6	22.5	2.1	0.4	1.6	1.58
	30-60	2.5Y 3/2	A	8.39	0.81	9.0	23.2	18.8	2.2	0.8	1.4	3.28
T7	0-30	2.5Y 5/1	A	8.22	0.89	6.3	43.4	35.6	5.4	0.9	1.5	1.98
	30-60	2.5Y 5/1	A	8.33	0.80	6.4	42.6	34.3	5.5	1.3	1.6	3.01
T8	0-30	7.5YR 3/2	FLA	7.86	1.00	1.9	59.2	51.3	5.7	0.4	1.8	0.74
	30-60	7.5YR 3/3	FA	7.77	1.36	1.3	60.1	50.2	7.4	1.1	1.4	1.90

T9	0-30	10YR 5/2	FA	8.28	1.11	3.8	41.1	33.1	2.7	1.2	4.1	2.86
	30-60	10YR 3/2	FLA	8.09	1.77	1.2	59.6	47.3	7.1	2.0	3.2	3.28
T10	0-30	10YR 4/1	FA	8.34	0.60	1.0	35.4	25.8	3.6	2.2	3.8	6.28
	30-60	10YR 4/2	FA	8.59	0.65	1.1	30.1	21.5	2.7	2.5	3.4	8.22
T11	0-30	10YR 3/3	FLA	7.71	0.37	0.6	35.6	26.1	3.2	2.1	4.2	5.81
	30-60	10YR 4/3	FA	8.07	0.42	0.8	32.2	23.5	2.4	2.6	3.7	8.02
T12	0-30	2.5Y 5/1	A	8.09	1.20	8.1	48.0	38.6	6.3	1.2	1.8	2.53
	30-60	2.5Y 4/1	A	8.51	1.88	1.0	45.1	32.7	7.4	3.0	2.0	6.67
T13	0-30	10YR 2/2	FL	6.93	9.56	0.8	88.4	50.0	14.3	21.6	2.5	24.39
	30-60	10YR 2/1	FL	6.26	51.14	1.0	89.9	35.2	13.8	38.2	2.7	42.43
T14	0-30	10YR 3/1	FLA	7.24	0.98	1.2	81.0	64.1	10.9	3.7	2.3	4.57
	30-60	10YR 3/2	FLA	7.48	5.50	0.8	82.5	59.1	12.9	8.8	1.6	10.70
T15	0-30	2.5Y 4/1	A	8.24	0.77	0.6	44.8	32.5	5.9	2.2	4.2	4.81
	30-60	2.5Y 4/1	A	8.32	0.54	0.8	34.2	24.5	4.5	1.9	3.3	5.52
T16	0-30	10YR 4/4	SF	8.67	0.67	15.6	4.6	4.4	0.1	0.0	0.1	0.62
	30-60	10YR 3/3	SF	8.95	0.49	18.0	2.2	2.1	0.1	0.0	0.0	1.53
T17	0-30	10YR 4/3	A	8.61	1.02	1.2	24.7	15.4	2.1	2.4	4.8	9.66

	30-60	10YR 5/2	A	8.37	0.85	1.2	22.5	12.5	2.1	2.3	5.6	10.38
T16	0-30	10YR 4/4	SF	8.67	0.67	15.6	4.6	4.4	0.1	0.0	0.1	0.62
	30-60	10YR 3/3	SF	8.95	0.49	18.0	2.2	2.1	0.1	0.0	0.0	1.53
T17	0-30	10YR 4/3	A	8.61	1.02	1.2	24.7	15.4	2.1	2.4	4.8	9.66
	30-60	10YR 5/2	A	8.37	0.85	1.2	22.5	12.5	2.1	2.3	5.6	10.38
T18	0-30	10YR 3/3	FL	7.26	0.38	0.4	25.4	14.8	2.0	0.8	7.8	3.25
	30-60	10YR 3/4	FLA	7.55	0.30	0.4	20.3	11.2	1.3	1.1	6.7	5.61
T19	0-30	10YR 4/5	F	6.76	0.31	0.2	17.6	9.9	1.1	1.0	5.6	5.81
	30-60	10YR 4/2	F	7.02	0.19	1.0	16.5	9.3	0.8	1.1	5.2	6.94
T20	0-30	10YR 3/4	F	8.14	0.75	2.3	23.8	14.9	0.7	0.6	7.7	2.40
	30-60	10YR 3/1	F	8.35	0.63	1.6	24.2	14.1	0.6	0.7	8.7	3.06
T21	0-30	10YR 3/3	FS	8.09	0.45	1.2	23.7	20.1	2.4	0.4	0.9	1.57
	30-60	10YR 3/1	FS	8.19	0.68	0.8	22.8	17.9	2.5	0.4	2.0	1.86
T22	0-30	2.5Y 5/1	A	8.38	0.85	9.8	34.6	29.7	3.1	0.3	1.5	0.86
	30-60	2.5 Y5/3	A	8.53	1.17	11.4	35.2	29.0	3.8	1.0	1.4	2.75
T23	0-30	2.5Y 4/3	A	8.22	1.24	14.8	8.2	7.0	0.7	0.1	0.3	0.86
	30-60	2.5Y 4/1	A	8.31	1.37	15.3	9.7	8.2	0.9	0.2	0.4	1.89

T24	0-30	2.5Y 4/3	FLA	8.43	0.85	19.5	19.9	18.0	1.3	0.2	0.5	0.88
	30-60	2.5Y 4/3	FLA	8.50	0.69	9.8	24.6	22.9	1.2	0.2	0.3	0.77
T25	0-30	2.5Y 4/4	A	8.45	0.75	15.4	29.1	25.1	2.8	0.5	0.7	1.82
	30-60	2.5Y 4/4	A	8.58	0.87	16.6	30.3	25.9	3.1	0.7	0.6	2.37
T26	0-30	10YR 3/2	FS	8.40	0.38	3.5	7.8	7.3	0.3	0.1	0.2	0.76
	30-60	10YR 3/3	FS	8.47	0.34	2.8	5.8	5.5	0.2	0.1	0.1	0.87
T27	0-30	10YR 4/2	FSA	8.19	0.52	1.5	30.0	26.7	2.4	0.3	0.6	0.86
	30-60	10YR 4/2	FSA	8.47	0.50	1.6	21.5	19.6	1.3	0.2	0.3	1.08
T28	0-30	10YR 4/1	FA	8.51	0.60	13.9	29.3	24.8	3.6	0.2	0.6	0.56
	30-60	10YR 5/1	FA	8.63	0.61	15.6	22.3	18.9	2.9	0.2	0.3	0.90
T29	0-30	10YR 3/1	FA	8.71	0.87	19.7	14.9	12.7	1.2	0.5	0.6	3.23
	30-60	10YR 4/1	FA	8.25	0.59	6.4	35.2	32.5	1.9	0.2	0.6	0.71
T30	0-30	2.5Y 4/1	F	8.26	0.87	5.1	17.1	15.8	0.6	0.2	0.5	1.09
	30-60	2.5Y 4/1	F	8.56	0.59	6.5	13.1	12.2	0.5	0.1	0.2	1.05

*Classi di tessitura: A = argillosa, FAS = franco-argillosa-sabbiosa; FLA = franco-limosa-argillosa, FA = franco-argillosa, FL = franco-limosa, SF = sabbioso-franca; FS = franco sabbiosa; F = franca.

1. - PREMESSA.....	4
1.1 – Contenuti del documento preliminare a base dello studio di fattibilità4	
1.1.1 - Generalità	4
1.1.2 - Incompatibilità dei prelievi da falda ed uso razionale delle risorse idriche	6
1.1.3 - Intrusione dell'acqua di mare	7
1.1.4 – Finalità dello Studio di Fattibilità.....	8
1.2 – Attività svolte nell'ambito dello Studio di fattibilità	9
2. - QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO NEL SETTORE DELLA BONIFICA INTEGRALE	11
3. - IL PIANO GENERALE DI BONIFICA	16
3.1 – Il Piano generale di Bonifica del 1951	16
3.1.1 - Progetto di massima delle opere di competenza statale	16
3.1.2 - Indagini di base progettazioni di massima per il comprensorio irriguo nel consorzio di bonifica del Basso Volturno	19
4. - CARATTERIZZAZIONE FISICA ED AMMINISTRATIVA DELL'AREA OGGETTO DI STUDIO	21
4.1 – Caratterizzazione amministrativa	21
4.2 – Caratterizzazione geologica	25
4.3 – Caratterizzazione orografica	27
4.4 – Caratterizzazione climatica	27
4.5 – Caratterizzazione pedologica	28
4.6 – Caratterizzazione chimica	28
4.7 – Caratterizzazione idrogeologica	29
5. - DEFINIZIONE DEL FABBISOGNO IRRIGUO.....	33

5.1	- Definizione delle esigenze idriche delle colture	33
5.1.1	- Carta dei sistemi di terre e informazioni sulle proprietà dei suoli	34
5.1.2	- Carta dell'Utilizzazione Agricola del Suolo (CUAS)	35
5.1.3	- Carta dell'Utilizzazione Agricola dei sottosistemi di terre.....	36
5.1.4	- Caratterizzazione climatica	37
5.1.5	- Bilancio idrologico	37
5.2	- Definizione del Fabbisogno Irriguo Lordo	40
5.2.1	- Determinazione delle perdite dovute al sistema di trasporto e distribuzione	40
	<i>Coefficiente correttivo relativo alla rete di trasporto</i>	<i>41</i>
	<i>Coefficiente correttivo relativo al metodo irriguo adottato</i>	<i>41</i>
5.3	- Determinazione della SAU	42
5.3.1	- Definizione dei compensori e sub – compensori irrigui	42
5.3.2	- Determinazione delle piccole tare.....	44
5.4	- Calcolo del volume d'adacquamento nella stagione irrigua	45
5.5	- La portata nel mese di maggiore richiesta.....	45
5.5.1	- Definizione del mese di punta.....	45
5.5.2	- Calcolo della portata massima nel mese di maggiore richiesta	46
5.6	- Risultati	46
6.	- CARATTERISTICHE DI SALINITÀ DEI SUOLI NELL'AREA OGGETTO DI INDAGINE	49
6.1	- Stato di salinità dei suoli nell'area oggetto di indagine.....	49
6.2	- Caratterizzazione dei suoli affetti da salinità	49
6.3	- Classificazione dei suoli affetti da salinità.....	50
6.3.1	- Suoli salini	50
6.3.2	- Suoli salino-sodici	51
6.3.3	- Suoli sodici	51

6.4	- Risposta delle colture alla salinità e sodicità	52
6.5	- Bonifica dei suoli affetti da salinità	53
6.5.1	- Bonifica dei suoli salini.....	54
6.5.2	- Bonifica dei suoli sodici e salino-sodici	56
6.6	- Indagine preliminare sulla salinità dei suoli del Basso Volturno	57
6.7	- Materiali e metodi	57
6.7.1	- Ubicazione dei siti e campionamento dei suoli	57
6.7.2	- Analisi dei suoli	58
6.7.3	- Risultati	58
7.	- STATO AMBIENTALE E SALINITÀ DELLE ACQUE NELL'AREA OGGETTO DI INDAGINE	60
7.1	- Generalità.....	60
7.2	- Aspetti idrogeologici locali e qualità delle acque sotterranee.....	60
7.2.1	- Caratteristiche degli acquiferi e disponibilità della risorsa	60
7.2.2	- Stato chimico ed ambientale.....	64
7.2.3	- Attività di monitoraggio preliminare	71
7.3	- Conclusioni.....	73

1. -PREMESSA

1.1 – Contenuti del documento preliminare a base dello studio di fattibilità

1.1.1 - Generalità

Il Consorzio Generale di Bonifica del Bacino Inferiore del Volturno nel settembre 2006 ha redatto un documento preliminare per la richiesta di finanziamento dello studio di fattibilità sull' "Estendimento dell'impianto irriguo collettivo "Sinistra Regi Lagni" al territorio di Villa Literno ad ovest della ferrovia Roma - Napoli".

Tale documento partiva dallo stato conoscitivo derivante da precedenti studi ed indagini effettuati sul territorio nonché sullo stato di attuazione delle opere di cui al "Progetto Generale Irriguo in Sinistra Regi Lagni", redatto nel 1980 dal prof. ing. Michele Viparelli recependo tutte le varianti ed integrazioni apportate dal 1980 al 2006.

In tale epoca nella programmazione del Consorzio, dette opere erano state suddivise in quattro lotti esecutivi, dei quali il terzo era stato a sua volta suddiviso in tre stralci (Sub) così come riportato nella *Tabella 1* che segue, in essa si è evidenziato anche lo stato di attuazione alla data odierna:

<i>Tabella 1</i>			
Lotto	Descrizione	Stato di attuazione	Stato di attuazione
		anno 2006	anno 2009
1° Lotto	Opera di Adduzione Principale, Vasca Bassa	Completato	Completato
2° Lotto	Opere di Adduzione vasca Media e Alta	Completato	Completato
3° Lotto Sub A	Opere di distribuzione bacino "Alto" per i terreni ad est della F.S.	Sono stati attrezzati circa 680 ha	Sono stati attrezzati circa 680 ha
3° Lotto Sub B	Opere di distribuzione bacino "Basso" per i terreni ad est della F.S.	Il Sud B è in via di ultimazione con il 3° stralcio per il completamento del Sub "B"; le opere sono finanziate e in fase di affidamento	Completato
3° Lotto Sub M	Opere di distribuzione bacino "Medio" per i terreni ad est della F.S.	Completato	Completato
4° Lotto	Opere di distribuzione bacini per i terreni ad ovest della F.S.	Non eseguite	Non eseguite

Come si evince dalla tabella che precede, nel 2006, con il completamento delle opere del 3° lotto – sub B, restavano da completare esclusivamente le opere inerenti al 3° lotto – sub A ed al 4° lotto. Considerando i soli territori ad est della ferrovia Roma – Napoli, nel 2006, era stata attrezzata il 90% della superficie di progetto mentre, considerando anche i territori ad ovest della ferrovia, tale percentuale scendeva al 65% mancando ancora un impianto irriguo collettivo per una estensione di circa 2900 ha (SAU).

Nel richiamato Documento preliminare la finalità assegnata al redigendo Studio di fattibilità era quella di estendere l'irrigazione in un territorio, ad ovest della ferrovia Roma - Napoli, non incluso nel “Progetto Generale Irriguo in Sinistra Regi Lagni” del 1980; territorio all'epoca suddiviso convenzionalmente in 5 aree omogenee rispetto agli ordinamenti produttivi ed alla qualità dell'acqua di falda con le seguenti caratteristiche:

*“(...) **Area A – estesa 840 ha**, risulta interamente **desertificata**, è situata interamente al di sotto del livello del mare ed è interessata da una falda superficiale fortemente inquinata da acqua marina che per risalita capillare trasporta i Sali nello strato arabile **rendendo i terreni non idonei a coltivazioni di qualsiasi genere**. I terreni sono porosi e quindi facilmente dilavabili nel breve periodo (circa due anni). **L'apporto di acqua dolce** ad uso irriguo, oltre agli ordinari benefici, **ha il grande valore aggiunto della correzione dei terreni salini**, attraverso il dilavamento all'agricoltura con il ripristino delle coltivazioni intensive precoci ad alto reddito.*

***Area B – estesa 250 ha**, si trova mediamente ad un metro al di sopra del livello del mare e risulta coltivata con specie resistenti alla salinità, **non è possibile l'irrigazione** in quanto l'acqua di falda, unica fonte idrica, **è interessata da severo inquinamento salino**; i terreni hanno struttura porosa dilavabile.*

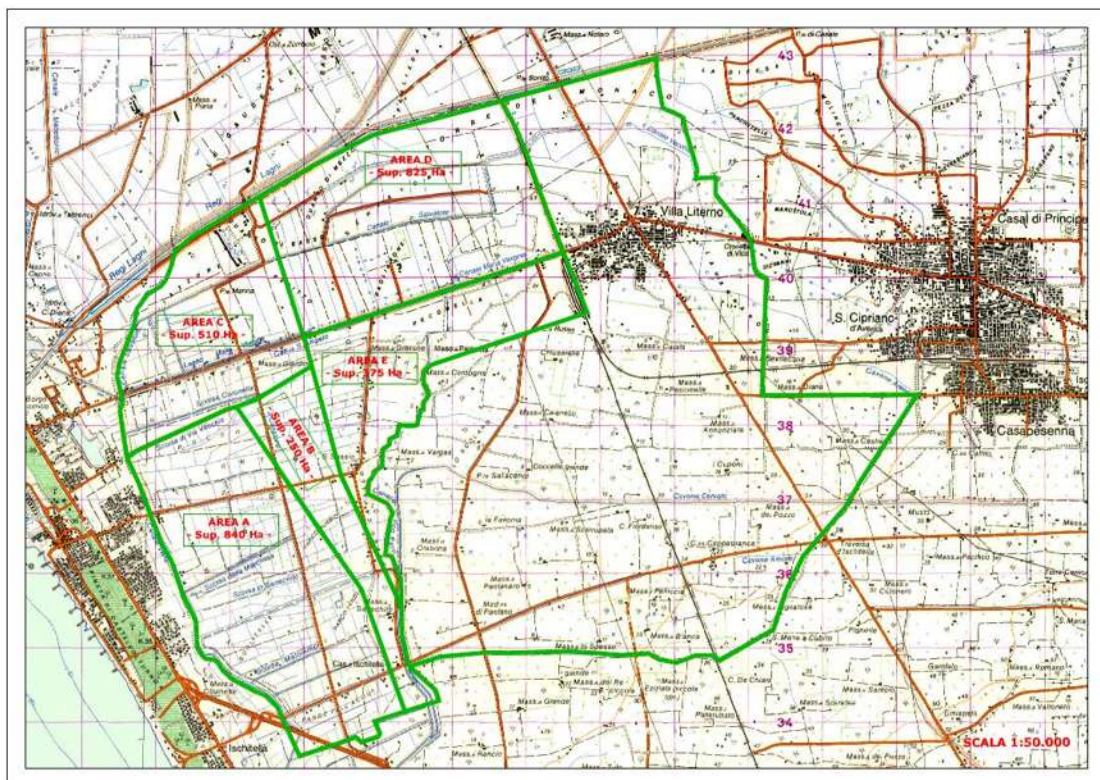
***Area C – estesa 510 ha**, ha giacitura compresa tra zero e meno 1 rispetto allo zero medio marino, vi sono praticate colture in asciutta ed irrigue con acqua, di incerta qualità, prelevata dai canali di bonifica poiché l'acqua di falda, oltre che leggermente salina, risulta rossastra e putrida non idonea per l'irrigazione dei campi; i terreni hanno struttura compatta.*

***Area D – estesa 825 ha**, è situata tra +1 e +2 metri rispetto allo zero medio marino, i terreni di elevata fertilità sono coltivati soprattutto a pomodori, l'acqua per uso*

irriguo è prelevata dalla falda che si trova a circa 1 metro dal piano campagna; la struttura dei terreni è moderatamente compatta.

Area E – estesa 375 ha, è situata tra +2 e +3 rispetto allo zero medio marino, i terreni a tessitura equilibrata sono ben strutturati e pertanto molto adatti all'esercizio dell'agricoltura, sono presenti fra l'altro frutteti specializzati e colture protette. L'acqua per la necessaria pratica irrigua è prelevata in quantità rilevante dalla falda poco profonda. (...)”

Le aree da A ad E individuate sono riportate nella figura che segue.



1.1.2 - Incompatibilità dei prelievi da falda ed uso razionale delle risorse idriche

La ricchezza di acque sotterranee a limitata profondità dal piano campagna ha fatto sì che la porzione di comprensorio di che trattasi risulti caratterizzato da prelievi indiscriminati di acqua di falda per usi irrigui, incompatibili con la capacità di ricarica

degli acquiferi; il continuo prelievo di acqua ha significato, inoltre, nel tempo, un maggiore dispendio energetico, un aumento del fenomeno della salinizzazione delle falde e dei terreni (fenomeno quest'ultimo propedeutico ai processi di desertificazione) e, di conseguenza, una minore possibilità di emungimento della falda acquifera con una diminuzione di idonei punti di presa per usi irrigui.

La situazione idrogeologica della zona è contraddistinta dalla presenza di una falda depauperata da emungimenti attuati mediante una vasta rete di pozzi privati, in contrasto con gli obiettivi del Consorzio di una più razionale utilizzazione delle risorse idriche di qualità.

Di qui l'esigenza di sostituire il sistema irriguo alimentato con acque da pozzi in tale zona del comprensorio della Sinistra Regi Lagni, onde recuperare per usi più pregiati le risorse idriche della falda.

La realizzazione di un sistema consortile di consegna dell'acqua alle utenze agricole che distribuisca una risorsa irrigua alternativa ai prelievi in falda riporta in riequilibrio l'alterato bilancio di circolazione e disponibilità idrica dell'area.

Le risorse vengono infatti prelevate dalle fluenze superficiali, da quelle parti cioè che non partecipano all'equilibrio globale degli acquiferi, salvaguardando così le acque della falda.

1.1.3 - Intrusione dell'acqua di mare

Come detto, l'emungimento dai pozzi ha determinato l'avanzamento dell'intrusione di acqua di mare generato dalla depressione della falda di acqua dolce, e ha comportato, come del resto tutt'oggi comporta, la tendenza "medio-tempore" alla desertificazione dell'area con abbattimento della produzione agricola e con effetti ecologici ed ambientali dequalificanti. Il risultato è stato l'abbandono dei terreni, naturalmente fertili, che hanno sfamato buona parte della popolazione locale da quando furono conquistati alla palude negli anni '20.

Va aggiunto che un recente studio idrogeologico ha confermato il fenomeno di progressiva intrusione di acqua di mare nell'entroterra, anche a diversi chilometri di distanza dalla costa, con situazione particolarmente grave nella zona occidentale del territorio comunale di Villa Literno. Il fenomeno è responsabile del grave pericolo di danni da inquinamento salino alla qualità delle acque di falda.

1.1.4 – Finalità dello Studio di Fattibilità

Per quanto sommariamente riportato fin qui con l'attivazione di un impianto irriguo collettivo, i benefici attesi possono riassumersi così:

- *arresto dell'avanzamento del cuneo salino;*
- *correzione dei terreni salini e restituzione degli stessi all'agricoltura;*
- *possibilità fornita agli agricoltori di realizzare ordinamenti produttivi più intensivi e dunque più redditizi;*
- *recupero della risorsa idrica a favore di altri utilizzi quale quello potabile e quello industriale;*
- *aumento occupazionale per tutto il periodo di realizzazione dell'opera;*
- *arresto dell'esodo rurale.*

Il documento preliminare del settembre 2006 si concludeva con le richieste al Ministero delle Politiche Agricole e Forestali di finanziamento di uno "Studio di Fattibilità" che affrontasse i seguenti argomenti:

- *Analisi territoriale delle trasformazioni urbanistiche del territorio in cui ricade il comprensorio irriguo Sinistra Regi Lagni ivi incluse le aree di estendimento da effettuare attraverso i PRG di tutti i Comuni interessati; tale analisi è finalizzata all'aggiornamento delle grandi tare per il ricalcolo delle SAU ad oggi. Detto studio è rivolto sia alla individuazione delle aree già attrezzate dismesse o in via di dismissione, ovvero alle superfici non ancora realizzate che vanno escluse dai progetti esistenti.*
- *Aggiornamento ed estendimento dello studio agrario sulle SAU già considerate in precedenti progettazioni ovvero nelle aree di estendimento. Tale studio è finalizzato alla rideterminazione delle dotazioni dei diversi sub-comprensori in funzione dei parametri pedo - agronomici e degli ordinamenti colturali attuali.*
- *Aggiornamento dello studio idrogeologico della falda nell'area d'interesse con riferimento all'avanzamento del "cuneo salino".*
- *Realizzazione della cartografia di grande scala a supporto dello studio di fattibilità e della cartografia specifica delle aree di estendimento.*
- *Realizzazione delle indagini di campo a supporto dell'aggiornamento dello studio agronomico e dello studio geoidrologico.*

- *Redazione di una Proposta di Intervento (Master Plan) di infrastrutturazione irrigua del comprensorio sinistra Regi Lagni esteso alle aree ad ovest della ferrovia ROMA-NAPOLI.*

1.2 – Attività svolte nell’ambito dello Studio di fattibilità

Con finanziamento n.° 160 del 04 luglio 2007 il MIPAF – Commissario ad Acta – finanziava lo Studio di Fattibilità richiesto dal Consorzio relativo all’*“Estendimento dell’impianto irriguo collettivo “Sinistra Regi Lagni” al territorio di Villa Literno ad ovest della ferrovia Roma-Napoli”*.

Con Decreto n.° 2481/AG del 09 gennaio 2008 il Consorzio procedeva all’aggiudicazione del servizio di consulenza al RTP ing. Di Marco, STCV Srl, Infoproget Srl precisando che i possibili estendimenti della pratica irrigua al territorio di Villa Literno in Sinistra Regi Lagni sono vincolati alla disponibilità della risorsa idrica nei limiti della concessione assentita al Consorzio.

Per addivenire alle finalità innanzi citate dello Studio di Fattibilità, nei Capitoli che seguono sono state affrontati numerosi argomenti inerenti alla caratterizzazione del territorio del Basso Volturno, alla definizione della salinità dei suoli, del fabbisogno irriguo, della dotazione irrigua, degli schemi irrigui attualmente esistenti e delle opere realizzate. In particolare:

- Nel Capitolo 2 si elencano le normative inerenti al settore della bonifica integrale;
- Nel Capitolo 3 si descrive il Piano di Bonifica del 1951 e le modifiche intervenute nel tempo;
- Nel Capitolo 4 vengono caratterizzate le aree oggetto dello studio dai punti di vista amministrativo, geologico, orografico, climatico, pedologico, chimico e idrogeologico;
- Nel Capitolo 5 si definisce il fabbisogno irriguo;
- Nei Capitoli 6, 7 si descrive diffusamente il fenomeno della salinità;
- Nel Capitolo 8 si descrivono le opere esistenti della Sinistra Regi Lagni, mentre nel Capitolo 9 si espongono i criteri di fattibilità sia per disponibilità irrigua, sia per

capacità delle vasche e della rete primaria di trasporto esistente, sai per la salinità dei suoli;

- Nel Capitolo 10 si espone la proposta d'intervento.

2. - QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO NEL SETTORE DELLA BONIFICA INTEGRALE

L'attività legislativa riguardante il settore della bonifica è stata esplicitata essenzialmente con i seguenti provvedimenti:

Legislazione Nazionale

- R.D. 13 febbraio 1933, n.° 215,
- L. 18 maggio 1989, n.° 183,
- L. 5 gennaio 1994, n.° 36,
- D.L. 11 maggio 1999, n.° 152,
- D. Lgs 3 aprile 2006, n. 152 e s.m.i.

Legislazione Regionale

- Legge REG. 11 aprile 1985, n.° 23,
- Legge REG. 7 febbraio 1994, n.° 8,
- Legge REG. 5 agosto 1999, n.° 5,
- Legge REG. 25 febbraio 2003, n.° 4.

Prima della costituzione dello Stato Italiano la legislazione vigente riservava spazi limitati all'intervento pubblico in materia di bonifica idraulica, essendo prevalente la concezione meramente privatistica dell'istituto consortile. In tale contesto tutte le attività di tipo consortile furono lasciate alla libera iniziativa degli stessi proprietari dei terreni da bonificare, i quali intervenivano singolarmente o con associazioni di carattere provvisorio.

La prima norma che, sia pure in modo sommario regolamentava l'istituto consortile ignorato dal precedente codice Napoleonico e da quello Albertino, compare nel Codice Civile del 1865, art. 657 disponendo che *"Coloro che hanno interesse comune nella derivazione e nell'uso dell'acqua, e nella Bonificazione e nel prosciugamento dei terreni, possono riunirsi in consorzio al fine di provvedere all'esercizio, alla conservazione e alla difesa dei loro diritti. L'adesione degli interessati e il regolamento del Consorzio debbono risultare da scritto"*.

Successivamente le Leggi speciali emanate in materia di bonifica delinearono meglio la figura del consorzio orientandosi verso la natura pubblicistica di questo ente in virtù dell'interesse pubblico che la bonifica realizza con il risanamento igienico delle terre paludose e con la trasformazione delle strutture agricole. Significativa in tale

senso fu la Legge 25.6.1882 n° 269, nota come "*Legge Baccarini*", che rese possibile l'intervento dello Stato per l'esecuzione di bonifiche di prima categoria e, cioè, delle opere ed attività dirette ad un grande miglioramento igienico o agricolo del territorio.

La Legge Baccarini prevedeva che, per tali opere, lo Stato sostenesse il 50% della spesa, che il 25% fosse a carico di Comuni e Province e che il restante spettasse ai privati direttamente beneficiati. Le bonifiche di seconda categoria, ritenute di minore importanza in quanto non assumevano rilevanza di interesse pubblico, restavano a carico dei privati, salvo i casi in cui l'interesse pubblico si dimostrava non trascurabile; in questo caso lo Stato e gli altri enti locali intervenivano per il 30% della spesa.

E' importante rilevare che la Legge Baccarini per la prima volta poneva il problema della personalità giuridica dei Consorzi, implicita nella affermazione della loro capacità di stare in giudizio ed imporre tributi ai propri consorziati con i privilegi consentiti allo Stato. Leggi successive (4.7.1886, n.° 3962; 6.8.1893, n.° 236; 18.6.1899, n.° 236; Testo Unico 22.3.1900, n.° 195) stabilirono che l'esecuzione delle opere di bonifica di prima categoria potesse essere affidata in concessione anche a favore dei Consorzi dei proprietari, delle Province e dei Comuni interessati. In virtù di tale norma ai Consorzi concessionari delle opere di bonifica di prima categoria veniva riconosciuta non solo personalità giuridica ma anche veste di veri e propri enti pubblici.

Con il Testo Unico 22.3.1900, n.° 195 ed il successivo Regolamento di attuazione approvato con R.D.L. 8.5.1904, n.° 368, tuttora in vigore, risultò ampliato il concetto di bonifica giacché accanto alla bonifica idraulica furono considerate le opere riguardanti le strade di comunicazione interessanti il territorio bonificato, i lavori di arginatura dei fiumi e dei torrenti ed i lavori di rimboschimento dei bacini montani, purché collegati alle opere di bonifica.

In seguito vennero emanati due ulteriori atti legislativi, il D.L. 18.8.1918, n.° 1255 ed il Testo Unico approvato con R.D. 30.12.1923, n.° 3256, i quali precisarono ulteriormente le modalità di costituzione dei Consorzi, i loro compiti e i criteri di classifica delle opere di bonifica.

Con il Testo Unico approvato con R.D. 13.2.1933, n° 215, che tuttora rappresenta la Legge fondamentale in materia di bonifica, fu ordinata organicamente e sistematicamente tutta la legislazione riguardante lo specifico settore. In particolare fu introdotto per la prima volta nell'ordinamento italiano un regime giuridico unitario per quell'insieme di interventi, definiti di bonifica integrale, costituiti da tutte le opere

pubbliche e private aventi finalità di difesa, tutela e valorizzazione del territorio (opere di sistemazione idraulica, opere di scolo, drenaggio, dighe di ritenuta, casse di espansione, opere di utilizzazione delle acque a fini irrigui). Il meccanismo previsto per assicurare l'effettiva realizzazione degli interventi di bonifica fu quello di integrare l'intervento pubblico con l'attività privata.

Allo Stato fu riservata la competenza ad eseguire le opere pubbliche di bonifica mentre i privati erano obbligati ad eseguire le opere private, complementari rispetto alle opere pubbliche e necessarie per la migliore utilizzazione di queste ultime.

I Consorzi di Bonifica vennero espressamente definiti "*persone giuridiche pubbliche*" e ad essi fu attribuito il potere di imporre contributi alle proprietà consorziate per l'adempimento dei propri fini istituzionali in modo proporzionale al beneficio ricevuto: esecuzione, manutenzione ed esercizio delle opere pubbliche di bonifica (art. 59).

Il Codice Civile del 1942 (artt. 857 e segg.) ha sostanzialmente recepito i criteri ispiratori del R.D. n.° 215/1933.

L'attività di bonifica ha anche rilievo costituzionale, giacché l'art. 44 della Costituzione configura la bonifica delle terre, seppure nel quadro della disciplina pubblicistica della proprietà terriera, come uno degli strumenti essenziali al fine di conseguire il razionale sfruttamento del suolo e di stabilire equi rapporti sociali nell'agricoltura.

A seguito della istituzione delle Regioni a statuto ordinario il legislatore, con D.P.R. 24.7.1977, n° 616, in attuazione della delega contenuta nell'art. 1 della Legge 22.7.1975, n° 382, ha provveduto a disciplinare il trasferimento e le deleghe delle funzioni amministrative alle Regioni nelle materie indicate nell'art. 117 della Costituzione, fra le quali figura quella della "agricoltura e foreste" nel cui ambito è ricompresa la bonifica.

Pertanto attualmente la disciplina dei Consorzi di bonifica e delle opere di bonifica e di miglioramento fondiario rientra nelle competenze regionali.

Recentemente la Legge 18.5.1989, n° 183, con la quale è stata attuata la fondamentale disciplina della difesa del suolo, ha ricompreso anche i Consorzi di Bonifica tra i soggetti preposti alla difesa del suolo in relazione alle proprie competenze. Consorzi esplicitamente citati anche nella Legge 5.1.1994, n° 36, che dà disposizioni in materia di risorse idriche e nel D.Lgs. 11 maggio 1999, n° 152 dove si

indica che i Consorzi di Bonifica concorrono alla realizzazione di azioni di salvaguardia ambientale e di risanamento delle acque anche al fine della loro utilizzazione irrigua, della rinaturalizzazione dei corsi d'acqua e della *fitodepurazione*, e in ultimo dal D. Lgs.

Il quadro normativo è completato dalle Leggi in materia emesse dalle singole regioni.

Di particolare rilievo è la Legge Regionale 25/02/2003 “Nuove norme in materia di bonifica integrale” in quanto definisce i compiti dei Consorzi di Bonifica, le finalità e gli obiettivi da raggiungere per garantire un ordinato assetto del territorio e delle sue risorse. In particolare, la finalità che si pone la regione attraverso la norma è quella di promuovere ed attuare, attraverso i Consorzi di Bonifica, la bonifica integrale quale attività pubblica permanente di conservazione, valorizzazione e tutela del territorio, di razionale utilizzazione delle risorse idriche per uso agricolo e di salvaguardia dell’ambiente rurale. A tal fine, è necessario adeguare il regime di intervento dei Consorzi di Bonifica disciplinandone l’attività nel quadro della programmazione regionale e nel contesto dell’azione pubblica nazionale, anche in applicazione dei principi contenuti nelle leggi 5 gennaio 1994, n. 36, e 18 maggio 1989, n. 183, ed in accordo con le disposizioni di cui alla legge regionale 7 febbraio 1994, n. 8.

La norma prevede che i Consorzi debbano svolgere i seguenti compiti:

- ✓ provvedere, su concessione dello Stato e della Regione, alla realizzazione di quegli interventi di cui alla legge 183/1989, articolo 3, da eseguirsi nei comprensori di bonifica previsti dai programmi di cui alla stessa legge e dall’articolo 10 della legge regionale 8/1994, ovvero negli schemi previsionali e programmatici di cui all’articolo 31 della legge 183/1989;
- ✓ provvedere, in applicazione delle disposizioni di cui alla legge 36/1994, nei rispettivi comprensori, a realizzare e gestire gli impianti a prevalente uso irriguo, gli impianti per l’utilizzazione in agricoltura di acque reflue, gli acquedotti rurali e gli altri impianti, compresi i sistemi promiscui, funzionali ai sistemi civili e irrigui di bonifica.
- ✓ utilizzare le acque fluenti nei canali e nei cavi consortili per usi che comportino la restituzione delle acque e siano compatibili con le successive utilizzazioni, ivi compresi la produzione di energia idroelettrica e l’approvvigionamento di imprese produttive.

- ✓ realizzare quelle azioni di salvaguardia dell'ambiente ad essi affidate dallo Stato e dalla Regione secondo le indicazioni contenute nei programmi di tutela dell'ambiente.

Inoltre, ai Consorzi di Bonifica la Regione, gli enti da essa dipendenti e gli enti locali territoriali possono affidare la progettazione e l'esecuzione di interventi, anche al di fuori dei comprensori di bonifica. In tali casi il provvedimento di affidamento in concessione deve indicare anche da quali soggetti le opere sono gestite successivamente all'esecuzione.

Altro elemento di rilievo sancito dalla norma è la predisposizione del Piano di Bonifica. In particolare, i Consorzi di Bonifica sono tenuti a redigere, con riferimento al comprensorio di rispettiva competenza, il Piano generale di bonifica che, in coerenza con gli strumenti di programmazione regionale e provinciale vigenti, deve prevedere:

- ✓ la possibilità di valorizzazione dei diversi ambiti del territorio comprensoriale, attraverso il razionale impiego della risorsa idrica, la tutela dello spazio rurale, la difesa del suolo e dell'ambiente;
- ✓ le opere pubbliche di bonifica da realizzare per il perseguimento delle predette finalità.

La norma ha come ulteriore finalità la riorganizzazione delle funzioni dei Consorzi, il risanamento finanziario dei medesimi ed il riordino dei relativi comprensori. A tal fine, l'art. 33 prevede, al fine della razionalizzazione l'esercizio delle funzioni dei Consorzi di Bonifica in rapporto alle esigenze di unitarietà della programmazione e attuazione degli interventi di competenza la revisione delle aree classificate di bonifica integrale, la loro ridelimitazione ed alla corrispondente ridefinizione dei perimetri consortili, tenendo conto degli ambiti di riferimento delle Autorità di Bacino individuate dalla legge 183/1989 e dalla legge regionale 8/1994. Per quanto concerne il comprensorio di bonifica relativo al Consorzio Generale di Bonifica del Bacino Inferiore del Volturno, denominato "Volturno - Garigliano", risulta ricomprendere i bacini rio d'Auriva, Savone, Agnena, Regi Lagni, Lago Patria, Alveo Camaldoli, Bacini Flegrei, Volla, la frazione inferiore del bacino del fiume Garigliano ricadente nei Comuni di Sessa Aurunca e Cellole, nonché la frazione inferiore del bacino nazionale Volturno - Garigliano, da Capua alla foce del fiume.

3. - IL PIANO GENERALE DI BONIFICA

3.1 - Il Piano generale di Bonifica del 1951

L'istituto del "Piano Generale di Bonifica", introdotto nella Legislazione italiana con il R.D. n. 215 del 13/02/1933, ha costituito fin dagli anni '60 il documento programmatico dei Consorzi di Bonifica, anche se spesso gli obiettivi posti a base del Piano sono stati conseguiti con notevoli ritardi connessi per lo più a carenze dei finanziamenti pubblici.

Il Piano generale di bonifica del Consorzio venne redatto nel dicembre 1951 da un gruppo di esperti e di docenti universitari affiancati da dirigenti del Consorzio di II grado allora esistente (il Consorzio Generale di Bonifica del Bacino Inferiore del Volturno fu costituito nel febbraio 1952 attraverso la fusione di cinque "consorzi elementari" che avevano dato vita, appunto, preliminarmente al "Consorzio di II grado per la bonifica ed irrigazione" del comprensorio del basso Volturno).

Esso si articola, in conformità a quanto sancito dall'art. 4 del R.D. 13/02/1933 n. 215, nel progetto di massima delle opere di competenza statale e nelle direttive fondamentali della conseguente trasformazione agraria.

Gli obiettivi posti a base di tali elaborati furono prevalentemente quello della valorizzazione irrigua di buona parte del comprensorio (circa 47.000 ettari di superficie territoriale e circa 40.000 ettari di superficie agraria irrigabile) mediante impianti collettivi di adduzione e di distribuzione con attingimento delle acque occorrenti dal corso medio del fiume Volturno, nonché quello dell'adeguamento delle opere idrauliche e stradali esistenti o da realizzare alle maggiori esigenze di sanità dei terreni irrigandi (è opportuno ricordare che la larga fascia costiera da Mondragone a Licola, costituente l'estremo territorio occidentale del comprensorio, fino agli anni '40 era caratterizzata da terreni paludosi e dalla malaria).

3.1.1 - Progetto di massima delle opere di competenza statale

Quanto al settore irriguo, esso risultò articolato in una parte propedeutica, nella quale furono trattati e definiti i principali parametri occorrenti per la progettazione (provvista di acqua e dotazioni specifiche - determinazione del comprensorio da irrigare - regime idrico del fiume Volturno - individuazione delle risorse idriche secondarie) ed in una seconda parte nella quale vennero esaminate le alternative per

gli schemi irrigui da adottare ed affrontati i problemi tecnico-costruttivi delle opere inserite nel contesto dello schema prescelto (opera di presa, tipi di canali e di opere d'arte, impianti di sollevamento, impianti di produzione di energia elettrica). Per la determinazione dei parametri e, quindi, dei fabbisogni irrigui, fu eseguito apposito studio agronomico, che, partendo dalle poche esperienze irrigue del Comprensorio e dai dati pluriennali raccolti in altre aree caratterizzate da fattori ambientali simili a quelli del territorio consortile, consentì di definire per ciascuno degli ordinamenti colturali previsti dalle direttive della trasformazione agraria, i consumi idrici per unità di superficie per tipi di terreni e nell'ambito della stagione irrigua (fabbisogni mensili). Nell'ambito dello stesso studio fu, per quanto possibile in rapporto all'estrema difficoltà di prevedere variazioni in un arco di tempo alquanto lungo di collocamento e di prezzo delle produzioni agricole interessate, data dimostrazione di una convenienza di massima dell'investimento che si andava a proporre, sia per quanto concerneva quello statale che quello privato.

Quanto agli schemi irrigui posti a base del Piano, quello di adduzione prevedeva:

- due grossi adduttori, l'uno in sinistra, l'altro in destra Volturno, dipartenti dall'opera di presa e raggiungenti il comprensorio da irrigare;
- due adduttori costeggianti il fiume Volturno da Capua al mare a servizio delle zone comprese tra lo stesso fiume ed il canale Regi Lagni, in sinistra, ed il canale Agnena, in destra;
- un lungo adduttore in sinistra Volturno, che, partendo da Capua, superava la depressione dei Regi Lagni e, dopo un percorso parallelo allo stesso canale nella direzione est-ovest a servizio di una fascia di terreni in sinistra del menzionato canale Regi Lagni, raggiungeva l'estrema propaggine sud-occidentale del comprensorio (Licola);
- un canale adduttore in destra Volturno definito "mediano" dal punto di vista altimetrico perché ubicato al limite della dominabilità a pelo libero dei terreni, che, partendo dalla località Maltempo raggiungeva, con un percorso est-ovest alquanto tortuoso per i motivi sopra esposti, la zona di Mondragone;
- canali adduttori "alti" in destra Volturno a servizio di zone pedo-collinari non dominabili a gravità e alimentati da condotte forzate e da due impianti di sollevamento, ubicati, il primo, lungo il canale adduttore principale in destra

(località Triflisco), il secondo lungo il canale adduttore "mediano" (località "Mazzamauro").

Completavano lo schema irriguo previsto dal Piano Generale alcuni impianti minori di sollevamento a servizio di piccole aree non dominabili a gravità, prevalentemente ubicate nelle fasce dunali, nonché le opere connesse all'utilizzazione delle acque cloacali di Napoli per la fertirrigazione, che sfociavano in mare all'altezza dell'Acropoli di Cuma (impianto per la depurazione delle portate estive delle acque cloacali - impianto di sollevamento - condotta di adduzione al centro di diluizione ubicato in posizione di dominio rispetto al territorio fertirrigabile (circa ha 7000), dove sarebbero state addotte anche le acque del fiume Volturno attraverso il canale adduttore in sinistra Regi Lagni). In definitiva lo schema sopra descritto prevedeva l'irrigazione con metodi gravimetrici (scorrimento infiltrazione) di 40.150 ettari, dei quali 23.461 dominati con la quota d'invaso (m 26,50), 9.658 ettari con sollevamenti ed Ha 7031 con l'impianto di fertirrigazione ed era imperniato sulla realizzazione delle opere, di cui in seguito si riportano in sintesi alcune caratteristiche.

- Opera di presa sul fiume Volturno: venne prevista 300/400 metri a monte di "Ponte Annibale" (zona denominata "Scafa di Caiazzo") per la derivazione di 23 m³/s alla quota di rigurgito, di m 26,50 s.l.m. (circa 8,5 metri sul livello medio del fiume nel periodo di magra) con tre luci della larghezza di m 20, nelle quali andavano inserite paratoie a settore alte m 8,50 (parti inferiori alte m 5,70, costituenti le paratoie a settore vere e proprie, e parti superiori abbattibili automaticamente - ventole - alte m 2,80); completavano tale opera i manufatti di derivazione di due grandi canali adduttori, ubicati l'uno in sponda destra, l'altro in sinistra poco a monte dello sbarramento e corredati di griglie, paratoie piane e venturimetri.
- Canali adduttori: quelli a pelo libero furono previsti a sezione pressoché trapezia di dimensioni variabili in funzione delle portate e delle pendenze adottate, con rivestimento in calcestruzzo (lastroni, getti continui lungo il fondo - cordoli - in rapporto alle dimensioni dei canali); quelli in pressione con tubazioni in cemento armato per diametri superiori ai 500 mm e con tubazioni in cemento - amianto per quelli di diametro inferiore.
- manufatti e opere d'arte: derivazioni, attraversamenti ferroviari e stradali, salti, vasche di carico e di arrivo dei tratti in sifone, tombini a sifone e ponticelli

stradali, ponti-canali in corrispondenza di alvei o di canali di sezione ragguardevole.

Quanto ai settori idraulico e stradale, il Piano di bonifica prevedeva interventi di completamento delle opere di sgrondo esistenti e la realizzazione di nuovi canali soprattutto in sinistra Lagni (zone dell'Aversano e di Casal di Principe), nonché la costruzione di nuove strade sia in destra, sia in sinistra Volturno, costituenti per lo più collegamenti tra strade di bonifica e tra queste e la maglia a livello provinciale e nazionale. Tra le opere pubbliche di bonifica nel richiamato Piano vennero anche inserite diramazioni di condotte idriche ad uso potabile per gli insediamenti rurali (circa 100 Km di reti dipartenti da serbatoi ubicati lungo le condotte principali dell'acquedotto "Terra di Lavoro" ed integrazioni della rete di elettrodotti, circa 40 km in sinistra Volturno e 35 km in destra).

3.1.2 - Indagini di base progettazioni di massima per il comprensorio irriguo nel consorzio di bonifica del Basso Volturno

Con il decentramento amministrativo a livello regionale ed il trasferimento delle competenze in materia di agricoltura e, quindi, anche di quelle relative al settore della bonifica, a partire dalla prima metà degli anni '60 il Piano Generale di bonifica ha dovuto sempre di più raccordarsi con le politiche regionali ed i relativi bilanci. Da quel momento in buona parte delle regioni, ed in particolare in Campania, la legislazione riguardante i Consorzi fa riferimento, ai fini programmatici, ai piani pluriennali di intervento e non ai piani di Bonifica. Ciò nonostante, nell'ambito delle attività promosse dall'Assessorato Agricoltura, Caccia e Pesca della Regione Campania finanziate con la Legge n. 64 dell'Agenzia per la promozione e lo sviluppo del Mezzogiorno, si stabilì di aggiornare i piani di Bonifica dei Consorzi rientranti nel territorio Regionale.

Nel 1989 l'Ufficio Tecnico del Consorzio e la Società Generale Studi e Ricerche ha provveduto ad aggiornare il Piano generale di Bonifica redatto nel 1951. Tale esigenza si manifestava in considerazione di una serie di fattori determinanti che erano mutati nel trentennio trascorso. In particolare si faceva riferimento alle modifiche avvenute a livello delle istituzioni pubbliche, alle innovazioni tecnologiche nel settore dei manufatti e delle macchine operatrici, all'esigenza di preservare i territori e, soprattutto quelli rurali, dall'uso indiscriminato delle proprie risorse, nonché il determinante contributo finanziario e di formazione professionale dato per più di un

ventennio dalla ex Cassa per il Mezzogiorno, che aveva notevolmente influenzato anche le scelte operative dei Consorzi di bonifica con ampliamenti dei compiti loro affidati.

L'aggiornamento del Piano è consistito nella disamina comparata tra le situazioni e le problematiche degli anni '50 e quelle del Comprensorio del Volturno nel 1989 per poter tracciare un quadro programmatico a breve e medio termine dell'attività del Consorzio. Talune soluzioni tecniche che sono state prospettate nel documento finale dovevano essere confortate da studi e ricerche in corso di esecuzione al momento della stesura degli elaborati (ad esempio, per il settore irriguo, la realizzazione di nuovi bacini di accumulo e di schemi idrici interdipendenti e l'individuazione di eventuali risorse idriche alternative costituite dalle falde e dai corsi d'acqua secondari, la elaborazione della carta di utilizzazione dei territori irrigui) i cui risultati non sono noti.

In particolare l'aggiornamento del Piano dopo avere effettuato un'analisi del Piano generale di bonifica redatto nel 1951, della legislazione intervenuta tra il 1951 ed il 1989 e delle caratteristiche principali del Consorzio di Bonifica ha provveduto a descrivere:

1. lo schema irriguo esistente;
2. le caratteristiche delle opere realizzate;
3. le portate destinate alle aree attrezzate ed in corso di attrezzamento o di riconversione;
4. alla individuazione delle aree di riconversione e di estendimento;
5. alla determinazione dei fabbisogni irrigui per gli interventi di riconversione e di estendimento e verifica del bilancio irriguo complessivo;
6. alla definizione della scala di priorità per gli interventi previsti;
7. alla definizione della gestione delle opere irrigue – organizzazione e tariffe.

Infine, in appositi capitoli venivano trattate anche:

- A. il problema della bonifica idraulica del territorio di competenza del Comprensorio;
- B. le altre attività del Consorzio;
- C. la valutazione di massima degli interventi previsti a medio e lungo termine distinti per settori (irrigazione, opere idrauliche, alte attività).

4. - CARATTERIZZAZIONE FISICA ED AMMINISTRATIVA DELL'AREA OGGETTO DI STUDIO

4.1 - Caratterizzazione amministrativa

Come in precedenza indicato, il comprensorio attuale raggiunge la superficie territoriale di 186.000 ettari circa. A tale estensione si è pervenuti a partire da quella originaria del momento costitutivo del Consorzio (1952), di ha 42.000 circa attraverso quattro successivi ampliamenti: il primo avvenuto nel 1954 con aggregazione dei bacini di Licola e Varcaturò per ha 5.000 circa; il secondo intervento nel 1965 con aggregazione del bacino del Savone - Rio Lanzi per ha 21.000 circa; il terzo avvenuto nel 1975 attraverso aggregazioni di territori in destra e sinistra Volturno (ricadenti questi ultimi prevalentemente nel bacino medio del canale Regi Lagni) per complessivi ha 55.000 circa; l'ultimo avvenuto a seguito dell'approvazione della L.R. 04/03, che ha portato all'attuale configurazione del Consorzio.

Ricadono nel perimetro consortile 116 comuni, suddivisi tra la provincia di Caserta e la provincia di Napoli.

Nella *Tabella 2* per ognuno di tali comuni è riportata la superficie territoriale totale e la parte inclusa nel perimetro consortile, in valore assoluto ed in percentuale.

Comune	Superficie territoriale totale (ha)	Superficie territoriale ricadente in comprensorio (ha)	%
ACERRA	5436	5428	100%
AFRAGOLA	1808	1767	98%
ARIENZO	1416	1416	100%
ARPAIA	518	495	95%
ARZANO	443	431	97%
AVELLA	2937	2929	100%
AVERSA	855	855	100%
BAIANO	1241	1241	100%
BELLONA	1170	1165	100%
BRUSCIANO	569	569	100%
CAIVANO	2740	2740	100%
CALVI RISORTA	1590	1590	100%

Comune	Superficie territoriale totale (ha)	Superficie territoriale ricadente in comprensorio (ha)	%
CALVIZZANO	391	391	100%
CAMIGLIANO	607	606	100%
CAMPOSANO	324	324	100%
CANCELLO ED ARNONE	4924	4924	100%
CAPODRISE	336	336	100%
CAPUA	4844	4840	100%
CARBONARA DI NOLA	367	365	100%
CARDITO	314	314	100%
CARINARO	622	622	100%
CARINOLA	6140	6137	100%
CASAGIOVE	647	647	100%
CASAL DI PRINCIPE	2324	2324	100%
CASALUCE	998	998	100%
CASAMARCIANO	612	612	100%
CASANDRINO	318	318	100%
CASAPESENNA	317	317	100%
CASAPULLA	294	294	100%
CASERTA	5314	3172	60%
CASTEL VOLTURNO	7374	7342	100%
CASTELLO DI CISTERNA	398	388	97%
CERVINO	797	795	100%
CESA	280	280	100%
CICCIANO	719	719	100%
CIMITILE	279	279	100%
COMIZIANO	243	243	100%
CRISPANO	707	707	100%
CURTI	166	166	100%
DOMICELLA	631	631	100%
FALCIANO DEL MASSICO	4424	4422	100%
FORCHIA	536	536	100%
FRANCOLISE	4077	4077	100%
FRATTAMINORE	230	230	100%
FRIGNANO	1027	1027	100%
GIANO VETUSTO	1077	1077	100%

Comune	Superficie territoriale totale (ha)	Superficie territoriale ricadente in comprensorio (ha)	%
GIUGLIANO IN CAMPANO	10861	10855	100%
GRAZZANISE	4675	4675	100%
GRICIGNANO DI AVERSA	972	972	100%
GRUMO NEVANO	286	286	100%
LAURO	1112	1112	100%
LIVERI	274	274	100%
LUSCIANO	456	456	100%
MACERATA CAMPANIA	760	760	100%
MADDALONI	3987	3987	100%
MARANO DI NAPOLI	1553	1547	100%
MARCIANISE	3055	3055	100%
MARIGLIANELLA	310	310	100%
MARIGLIANO	2254	2254	100%
MARZANO DI NOLA	467	467	100%
MELITO DI NAPOLI	346	346	100%
MONDRAGONE	5534	5521	100%
MONTEFORTE IRPINO	2610	1414	54%
MOSCHIANO	1331	1331	100%
MUGNANO DEL CARDINALE	1198	1196	100%
MUGNANO DI NAPOLI	550	550	100%
NAPOLI	11850	1551	13%
NOLA	3894	3894	100%
ORTA DI ATELLA	1062	1062	100%
OTTAVIANO	1975	663	34%
PAGO DEL VALLO DI LAURO	465	465	100%
PALMA CAMPANIA	2064	975	47%
PARETE	556	556	100%
PASTORANO	1410	1410	100%
PIGNATARO MAGGIORE	3201	3201	100%
PORTICO DI CASERTA	180	180	100%
POZZUOLI	4328	656	15%
QUADRELLE	689	687	100%
QUALIANO	1051	1051	100%

Comune	Superficie territoriale totale (ha)	Superficie territoriale ricadente in comprensorio (ha)	%
QUINDICI	2380	2372	100%
RECALE	319	319	100%
ROCCAMONFINA	3092	3065	99%
ROCCARAINOLA	2824	2824	100%
ROCCHETTA E CROCE	1295	1292	100%
SAN CIPRIANO D AVERSA	599	599	100%
SAN FELICE A CANCELLO	2687	2687	100%
SAN GENNARO VESUVIANO	696	684	98%
SAN MARCELLINO	421	421	100%
SAN MARCO EVANGELISTA	226	226	100%
SAN NICOLA LA STRADA	492	492	100%
SAN PAOLO BEL SITO	291	291	100%
SAN PRISCO	775	775	100%
SAN TAMMARO	3676	3676	100%
SAN VITALIANO	578	578	100%
SANT ANTIMO	590	590	100%
SANT ARPINO	325	325	100%
SANTA MARIA A VICO	1058	1058	100%
SANTA MARIA CAPUA VETERE	1586	1586	100%
SANTA MARIA LA FOSSA	2978	2978	100%
SAVIANO	1385	1385	100%
SCISCIANO	528	528	100%
SIRIGNANO	632	631	100%
SOMMA VESUVIANA	3073	3064	100%
SPARANISE	1858	1858	100%
SPERONE	333	333	100%
SUCCIVO	702	702	100%
TAURANO	974	974	100%
TEANO	8880	7639	86%
TEVEROLA	643	643	100%
TRENTOLA-DUCENTA	657	657	100%
TUFINO	516	516	100%

Comune	Superficie territoriale totale (ha)	Superficie territoriale ricadente in comprensorio (ha)	%
VILLA DI BRIANO	871	871	100%
VILLA LITERNO	6139	6139	100%
VILLARICCA	342	342	100%
VISCIANO	1116	1116	100%
VITULAZIO	2275	2275	100%

Tabella 2: Superfici territoriali dei comuni ricadenti nel limite del comprensorio di bonifica (ai sensi della L.R. 04/03)

4.2 - Caratterizzazione geologica

La Piana Campana si estende su un'enorme superficie di circa 135.000 ha, che parte dalle fasce pedemontane dei rilievi carbonatici che la contornano (Monte Massico a N, Monti Tifatini a NE, Monti di Durazzano e di Avella – Vergine - Alvano ad E, Monti Lattari a S) ed arriva fino al mare.

Essa è il risultato del riempimento di un grande *graben* da parte di sedimenti quaternari di origine sia detritico - alluvionale sia vulcanoclastica. I margini della struttura sono ben individuati da faglie ad andamento appenninico ed anti-appenninico poste ai bordi della pianura e con le quali sono connessi i fenomeni vulcanici dell'area flegrea, del Roccamonfina e del Somma - Vesuvio.

I caratteri stratigrafici e strutturali dei depositi di riempimento della Piana Campana sono così sintetizzabili:

Terreni sciolti piroclastici ed alluvionali limoso - sabbiosi recenti, talora con torba nelle zone del basso Volturno, dei Regi Lagni e del Fosso Volla, di spessore variabile da qualche metro a 15÷20 metri, sostituiti verso mare da depositi prevalentemente sabbiosi, dunari e di spiaggia, e depositi limoso-argillosi di interduna.

Tufo Giallo Napoletano, formazione omogenea ed unitaria dovuta ad un unico evento eruttivo, cui fece seguito la formazione della caldera flegrea; si presenta in una facies litoide ed in una facies incoerente di pozzolana; la facies litoide si estende radialmente dai Campi Flegrei al Fosso Volla, ai Ponti Rossi (Napoli) a Qualiano; la

facies pozzolanica borda esternamente la facies litoide; ambedue le facies vanno assottigliandosi verso l'esterno.

Tufo Grigio Campano (Ignimbrite Campana), rinvenuto in tutta la zona tranne che in una stretta fascia nei pressi del basso corso del Fiume Volturno, in corrispondenza della depressione del Volla, nella zona di Marigliano, ed in un'area ristretta dell'Alveo dei Camaldoli; gli spessori massimi si rinvencono nella zona di Caserta (70 m), in una ristretta area ad E di Giugliano (50 m) ed in un'area tra Aversa, Giugliano ed il Lago Patria (40 m); esso può essere in facies litoide o incoerente localmente intercalata da brecce sovrapposte, intercalate e sottoposte ad esso si ritrovano, con spessori variabili da 1 a 7 metri, lave scoriacee e compatte in una vasta area compresa fra il Lago Patria, Aversa, Giugliano e Casoria.

L'Ignimbrite Campana che, per spessore ed estensione, esplica un importante ruolo nell'ambito dell'idrodinamica sotterranea, si rinviene a profondità via via crescente man mano che ci si avvicina alla linea di costa.

Lo spessore di tale formazione varia da un minimo in corrispondenza dell'area Volturno-Regi Lagni, ad un massimo (dell'ordine dei 50÷60 m) nelle zone marginali della piana.

Depositi alluvionali, costituiti da piroclastiti sciolte, rimaneggiate, con granulometria da sabbioso-grossolana a limoso-argillosa che fa sovente passaggio lateralmente a terreni non dissimili ma di ambiente marino; lo spessore complessivo oscilla dai 100 ai 150 metri.

Unità limoso-sabbiosa e limoso-argillosa, di probabile ambiente marino; si rinviene a profondità maggiori di 150÷200 metri.

Ai margini della piana, e lungo l'intera fascia pedemontana, si rinvencono, infine, **depositi detritici di conoide** che "segnano" il passaggio ai rilievi carbonatici circostanti.

L'intera successione sedimentaria risulta di spessore assai elevato in quanto le rocce carbonatiche che costituiscono i rilievi bordieri sprofondano rapidamente verso la parte centrale di essa anche a diverse migliaia di metri.

L'assetto stratigrafico che ne deriva risulta particolarmente complesso per la presenza di differenti litologie, tra loro interdigitate ed aventi un comportamento eterogeneo nei confronti del flusso idrico sotterraneo.

4.3 - Caratterizzazione orografica

Dal punto di vista orografico il comprensorio è pianeggiante per la maggior parte della sua estensione essendo stato interessato dalle alluvioni del fiume Volturno e dei Regi Lagni oltre che di corsi d'acqua minori; solo in destra Volturno esistono aree più acclivi, che raggiungono anche quote di $700 \div 800$ m l. m. e più (crinali dei monti Tifatini, di Monte Croce e Monte Maggiore). Le pendenze dei terreni pianeggianti sono in genere modeste ($0.5 \div 1.5\%$) mentre in destra Volturno, per le ragioni sopra esposte, i terreni coltivati possono anche raggiungere pendenze del 10-12%; la pendenza generale del comprensorio e, ovviamente, quella verso il mare e, cioè, Est-Ovest, mentre sono variabili nella direzione Nord-Sud in funzione delle incisioni che i corsi d'acqua, a cominciare dal fiume Volturno, hanno determinato nei territori attraversati.

Dal punto di vista altimetrico si distinguono sia nella piana del Volturno che in quella dei Regi Lagni aree comprese tra i $30 \div 35$ m l. m. e pochi m l. m. (nella zona costiera esistono aree con quote negative di qualche metro), e nelle aree pedo - collinari, che dai $30 \div 35$ m l. m. raggiungono quote di $100 \div 120$ m l.m.. Non mancano, tuttavia, aree coltivate a quote superiori, ma, in genere, oltre la quota $150 \div 200$ m l. m. si possono rinvenire solo sporadici oliveti e vigneti ma, soprattutto, selve e boschi con essenze arbustive e legnose tipiche della macchia mediterranea.

4.4 - Caratterizzazione climatica

Dal punto di vista climatico, salvo che per le aree più interne e pedemontane, tutto il comprensorio è caratterizzato da clima di tipo mediterraneo, con inverni non eccessivamente rigidi ed estati siccitose ma non caldissime (le temperature minime scendono solo in alcuni giorni al di sotto degli 0° , mentre quelle massime superiori ai 30° si riscontrano solo nei mesi di luglio ed agosto). Tuttavia è possibile rinvenire anche nelle aree interne particolari microclimi legati alla particolare protezione dai venti settentrionali (in effetti la catena del sub - Appennino protegge il territorio lungo il perimetro settentrionale dal grecale e da altri venti nord-orientali) .

Rarissime, in generale, sono le nevicate, mentre non mancano le grandinate e le nebbie (intense e persistenti soprattutto lungo le fasce litoranee) nonché le gelate, delle quali quelle tardive sono molto temute dagli agricoltori.

4.5 - Caratterizzazione pedologica

Per quanta concerne l'aspetto pedologico, come si è accennato in precedenza, la genesi dei terreni è stata caratterizzata da due distinti fattori:

- le alluvioni dei corsi d'acqua;
- le esplosioni vulcaniche del complesso di Roccamonfina a Nord e dei Flegrei a Sud.

Sicché si rinvencono nel territorio in esame terreni alluvionali, che prevalgono nella piana del Volturno da Capua al mare e dalle zone pede - collinari settentrionali alla piana dei Regi Lagni a Sud-Ovest e quelli vulcanici, che prevalgono in destra Volturno nelle aree pede - collinari da Sparanise a Mondragone ed in ristrette fasce dell'area sud-occidentale (Licola). Sotto il profilo fisico, nelle zone centro-occidentali della Piana del Volturno dal canale Savone ai Regi Lagni, prevalgono i terreni limo-argillosi (quelli limi - argillosi si rinvencono lungo l'Agnena in destra Volturno e nell'area ricadente nei tenimenti di Cancellio Arnone e di Castelvoturno, delimitata ad Est dalla Strada Provinciale Vaticali e ad Ovest dal canale Macedonio, in sinistra Volturno). La presenza, però, di una consistente frazione sabbiosa fa sì che tali terreni possano essere definiti "franchi" o "franco-argillosi" per tessitura. Terreni con minore presenza delle frazioni limo-argillose, da classificare per tessitura "franco-sabbiosi", si rinvencono in tutta la residua parte del territorio del basso Volturno (zona centro-orientale, zona in destra del canale Savone e zone in sinistra Lagni) mentre in molte zone golenali ed in quelle costituite dalle fasce costiere prevalgono, infine, i terreni sabbiosi. Nei terreni della pianura centrale dei Regi Lagni prevale sempre la frazione sabbiosa, il che porta ad una classificazione degli stessi tra i "sabbiosi", i "franco-sabbiosi" ed i "franco-sabbioso-argillosi". In linea di massima, in tale bacino, i terreni più sabbiosi si individuano nelle zone limitrofe alla Strada Statale Appia, quelli più argillosi nel cosiddetto "Pantano di Acerra"; in tutte le altre zone i terreni sono da ascrivere per tessitura ai "franco-sabbiosi".

4.6 - Caratterizzazione chimica

Sotto il profilo chimico, vanno distinti i terreni della piana bassa del Volturno da quelli della destra Savone e della pianura media dei Regi Lagni. I primi sono sempre carenti di sostanza organica (raramente essa supera contenuti superiori al 3%) ed in

anidride fosforica (valore medio $35 \div 40$ Kg/ha), mentre risultano mediamente dotati di ossido di potassio scambiabili (kg 500600/Ha) o, addirittura ben dotati (1200-1300 kg/ha) per la presenza di elementi di origine vulcanica (aree pede - collinari a nord del canale Agnena - Licola). Senz'altro migliore è la dotazione dei terreni ricadenti nel bacino medio dei Regi Lagni, soprattutto per contenuti in sostanza organica, legati sia alle più abbondanti concimazioni che alle intensità colturale e, quindi, al conseguimento di una buona struttura.

4.7 - Caratterizzazione idrogeologica

Il corpo idrico sotterraneo Basso Volturno - Regi Lagni è costituito da notevoli spessori (fino a diverse migliaia di metri) di depositi quaternari, prevalentemente piroclastici e detritico - alluvionali, all'interno dei quali si intercalano orizzonti di origine marina e palustre (Civita, 1973; Corniello, 1990).

All'interno della porzione di piana idrogeologicamente più significativa (qualche centinaio di metri dal p.c.) si distinguono depositi alluvionali e piroclastici prevalentemente sabbiosi, depositi dunari e di spiaggia, depositi limoso - argillosi di ambiente palustre e marino.

Lungo il basso corso del Volturno e dei Regi Lagni si rinvencono depositi prevalentemente limoso - sabbiosi, di origine alluvionale, orizzonti torbosi e livelli di paleosuoli.

L'elemento caratterizzante questo acquifero consiste nella presenza, in tutta la Piana, dell'*Ignimbrite Campana* (35.000 anni b.p.) che ha un grado di permeabilità relativa inferiore a quello dei litotipi ad essa giustapposti.

La circolazione idrica sotterranea che ne deriva si esplica localmente secondo uno schema "a falde sovrapposte" ed intercomunicanti a grande scala, tramite flussi verticali di drenanza diretti, generalmente, dal basso verso l'alto attraverso la formazione ignimbritica; le acque sotterranee defluiscono preferenzialmente nei depositi a granulometria più grossolana e/o negli orizzonti litoidi dell'*Ignimbrite Campana* più fessurati e/o incoerenti.

Solo localmente si possono riconoscere due falde.

La prima più "superficiale", avente carattere freatico, ha sede nei depositi piroclastici ed alluvionali incoerenti presenti a tetto dell'*Ignimbrite Campana*; essa è in genere poco produttiva in funzione delle eteropie laterali che ne limitano l'estensione,

dei ridotti spessori dei corpi sedimentari a granulometria più grossolana, nonché delle modalità di alimentazione connesse quasi esclusivamente con le acque di infiltrazione efficace diretta.

La seconda più “profonda”, avente carattere di “semiconfinamento” e/o “confinamento”, è contenuta nei depositi vulcano-clastici sottoposti all’*Igimbrite Campana* defluendo all’interno di questa ove essa si rinviene più fessurata e/o più incoerente.

Tuttavia, a grande scala, è possibile fare riferimento ad un’unica circolazione idrica sotterranea in quanto i diversi orizzonti acquiferi sono frequentemente interconnessi per la presenza di soluzioni di continuità nei livelli impermeabili o semipermeabili, di flussi di drenanza diretti, in condizioni indisturbate, dal basso verso l’alto, di un elevatissimo numero di pozzi che, quando mal condizionati, consentono la comunicazione diretta tra i diversi livelli piezometrici.

I gradienti idraulici sono variabili da poche unità per mille a poche unità per cento. I valori relativamente più elevati sono rilevabili ai margini della piana e sono imputabili, tra l’altro, a processi di “sovralimentazione” connessi con i travasi provenienti dai rilievi carbonatici.

In generale, le acque sotterranee presenti nella Piana Campana in corrispondenza del bacino scolante dei Regi Lagni rappresentano “*corpi idrici sotterranei significativi*” ai sensi del D.L. 152/06 – All. 1 – 1.2.1) in quanto accumuli di acqua contenuti da:

- Falde freatiche e profonde contenute in formazioni permeabili
- Orizzonti saturi di grande estensione e continuità all’interno di una litozona di notevole importanza idrogeologica (economica, assetto geologico, subsidenza del secondo acquifero, controllo ingressione salina) e rilevante significato ecologico (un tempo acquitrini ed aree umide lungo le fasce costiere da Lago Patria e la foce del Volturno)

Dal punto di vista idrogeologico, il corpo idrico sotterraneo dell’area Basso Volturno - Regi Lagni è delimitato:

- a nord-ovest, dal rilievo di Monte Massico. Lungo tale contatto gli interscambi appaiono piuttosto limitati sia per la presenza di litotipi poco permeabili al di sotto dei sedimenti quaternari della piana, sia perché il

deflusso sotterraneo all'interno della struttura carbonatica risulta prevalentemente orientato verso nord-est (basso corso del Garigliano);

- a nord, dal complesso del Roccamonfina. In tale settore non esiste in realtà alcun "limite" tra il dominio più strettamente vulcanico e l'adiacente settore di piana, cosicché è ragionevole presupporre la presenza di importanti interscambi idrici tra l'idrostruttura vulcanica e l'acquifero di piana;
- ad est e nord-est, dai rilievi dei Monti Tifatini e di Durazzano, e di Monte Maggiore;
- a sud, dal complesso vulcanico dei Campi Flegrei (essendo il "limite" costituito dal torrente Camaldoli);
- a sud-est, dall'allineamento Cancellò – Caivano - Marano. Anche in questo caso trattasi di un "limite" convenzionale in quanto non esistono motivi di ordine stratigrafico, morfologico, idrogeologico e/o strutturale per definirlo con esattezza;
- ad ovest, dal mare.

Il settore di piana corrispondente all'area a sud del F. Volturno, compresa tra i Monti Tifatini e di Durazzano a nord-est ed i Campi Flegrei a sud, viene alimentato, oltre che dalle precipitazioni dirette, anche dagli apporti idrici sotterranei provenienti dai massicci carbonatici bordieri e dal complesso vulcanico dei Campi Flegrei.

Le acque sotterranee defluiscono secondo un verso di deflusso preferenziale orientato da Est ad Ovest. Nella zona pedemontana prossima ai massicci carbonatici, la profondità della falda è di alcuni metri dal p.c.; nella zona di recapito è affiorante o pressoché affiorante. La zona di recapito è rappresentata da una fascia che va dai Regi Lagni fino al Lago Patria, interna rispetto alla costa, ma che si sviluppa parallelamente ad essa. Si tratta di un'area topograficamente depressa, precedentemente paludosa, bonificata mediante una serie di canali; questi ultimi, che si trovano qualche metro sotto il livello del mare, drenano la falda. Verso gli stessi canali confluisce anche parte della falda delle dune sabbiose costiere ed una certa aliquota di acqua marina; infatti il grado di mineralizzazione totale è generalmente elevato.

La falda che si genera nelle dune costiere si adatta alla superficie topografica; infatti una porzione di essa confluisce verso i canali di bonifica, mentre l'altra porzione va verso il mare. Questa falda galleggia sull'acqua salata ed ha uno spessore medio

variabile tra 6 e 10 metri. L'emungimento di acqua dolce dal sottosuolo lungo la fascia costiera provoca la risalita dell'interfaccia acqua dolce/acqua salata, oltre che la diminuzione degli apporti idrici sotterranei nella zona depressa retrodunare, facilitando così l'ingressione marina. L'erosione del litorale sabbioso, inoltre, sposta continuamente verso l'entroterra il confine tra terra e mare, facilitando anch'essa l'ingressione marina.

A ciò va aggiunta la problematica generata dall'estrazione di sabbia da grandi cave ubicate lungo la fascia costiera, che hanno generato veri e propri laghi e, quindi, l'affioramento della falda per aree complessivamente molto ampie, le quali risultano più facilmente soggette all'immissione diretta in falda di sostanze nocive.

5. - DEFINIZIONE DEL FABBISOGNO IRRIGUO

5.1 - Definizione delle esigenze idriche delle colture

La gestione sostenibile dell'acqua in un comprensorio irriguo necessita di una corretta valutazione dell'entità e della variabilità spaziale delle esigenze idriche delle colture in esso presenti.

Tale valutazione è tradizionalmente basata sull'analisi dei diversi elementi che concorrono a determinare la domanda irrigua delle colture, includenti le caratteristiche del clima, la fisiologia delle piante, le proprietà dei suoli. Questi elementi sono utilizzati come dati *input* in bilanci idrologici, i cui risultati forniscono indicazioni sulla entità e durata dei *deficit* idrici, quindi sulla quantità di acqua che occorre fornire alle colture attraverso l'irrigazione per compensarne le perdite per evapotraspirazione (Bonciarelli, 1999; Landi, 1999).

Le informazioni riguardanti le caratteristiche dell'ambiente fisico sono normalmente acquisite attraverso indagini *ad hoc*, sostanzialmente basate sulla foto-interpretazione, il rilevamento di campo, l'analisi di laboratorio e la sperimentazione agronomica. Tali indagini, anche se rilevanti e spesso insostituibili, soprattutto per studi a scala di grande dettaglio (es. 1:10.000 o maggiore), sono talvolta difficilmente realizzabili, a causa dei costi e dei tempi lunghi di cui necessitano. Per questa ragione, in alcuni casi esse sono sostituite e/o precedute da studi basati su dati esistenti, in grado di dare una prima risposta alle esigenze di conoscenza e di contribuire concretamente alla programmazione di future e più dettagliate indagini.

In tale ottica, l'obiettivo principale della presente indagine è quello di effettuare una valutazione preliminare dei *deficit idrici* (o delle esigenze irrigue) delle colture del territorio basso Volturno, basata sull'analisi e sull'elaborazione di informazioni esistenti, con il supporto di sistemi computerizzati di informazione geografica (GIS).

Le elaborazioni a tal fine effettuate e successivamente descritte in sintesi (per il dettaglio si rimanda alla relazione specialistica) sono riferite al territorio Comprensorio del Consorzio i cui limiti sono stati forniti dallo stesso Consorzio di Bonifica.

5.1.1 - Carta dei sistemi di terre e informazioni sulle proprietà dei suoli

Il primo step è consistito nell'acquisizione della *Carta dei Sistemi di Terre* della Campania (di Gennaro, 2002), che suddivide il territorio in *“ambiti geografici ragionevolmente omogenei per quanto riguarda i fattori ambientali che ne influenzano l'uso potenziale e le possibili dinamiche degradative”*. Essa pertanto illustra le strutture ambientali più o meno permanenti, legate all'azione integrata, nel tempo, del clima, dei substrati, della morfologia, delle comunità biotiche e delle modificazioni antropiche permanenti.

In accordo con di Gennaro (2002), il concetto di *“terre”* è, pertanto, sostanzialmente differente da quello di *“uso delle terre”*. Queste ultime rappresentano, infatti, *“un aspetto più dinamico, legato al tipo di controllo sistematico che l'uomo applica in un determinato momento storico ad un sistema di terre allo scopo di soddisfare i suoi molteplici bisogni”*.

Considerata la più lenta dinamica temporale delle unità di *“terre”* rispetto alle unità di *“uso delle terre”*, si è ritenuto opportuno considerare le prime come ambiti di riferimento per la valutazione delle esigenze idriche delle colture del basso Volturno.

La *Carta dei Sistemi di Terre* include tre livelli gerarchici: grandi sistemi di terre, sistemi di terre e sottosistemi di terre.

I grandi sistemi di terre rappresentano il repertorio essenziale di tipologie ambientali necessarie a strutturare e a descrivere la complessa articolazione territoriale a scala regionale. All'interno di ciascun grande sistema le interazioni complesse tra clima, morfologia, suoli, manto vegetale indirizzano secondo modalità date i processi idrogeologici, ecologici, e quelli legati alle produzioni agro-forestali. I grandi sistemi sono suddivisi in sistemi di terre, *“caratterizzati”*, rispetto ai grandi sistemi, *“da maggiore uniformità climatica, lito - morfologica, pedologica, vegetazionale e agro - forestale”*. *“Ad un livello di dettaglio ancora superiore, ciascun sistema si articola in sottosistemi di terre, caratterizzati da una ancora maggiore omogeneità di condizioni ambientali”*.

Ai fini della realizzazione dei bilanci idrologici, alcune importanti (per estensione) sottounità della *Carta dei Sistemi di Terra* sono state ulteriormente suddivise nei diversi poligoni che le componevano, tenuto conto di evidenti differenze nel *pattern spettrale* rilevate attraverso l'analisi di mappe spettrali risultanti dalla

elaborazione di un'immagine satellitare Landsat ETM+ (Enhanced Thematic Mapper) del 2 agosto 2000, includente l'area di studio.

Ciascuna unità cartografica a livello di sottosistema di terre è stata "arricchita" di informazioni riguardanti alcune proprietà dei suoli essenziali ai fini della realizzazione dei bilanci idrologici. Tali proprietà, che hanno specificamente riguardato la profondità del profilo, il valore dell'AWC (in inglese Available Water Capacity, - mm di acqua/100 cm di profondità del suolo) e la tessitura, sono state prevalentemente estratte dall'Atlante Agroclimatico d'Italia, prodotto dall'UCEA (2002), Ufficio Centrale di Ecologia Agraria. La necessità di acquisire informazioni addizionali sui suoli è scaturita dal fatto che la *Carta dei sistemi di terre* non riporta alcuna informazione utile riguardante l'AWC, mentre riporta una descrizione della tessitura solo in termini generali (grossolana, moderatamente grossolana, media, moderatamente media, fine), senza indicazioni riguardanti le classi tessiturali fondamentali (es., sabbiosa, franca, argillosa, franco-sabbiosa, ecc.), aggregate nelle classi generali.

5.1.2 - Carta dell'Utilizzazione Agricola del Suolo (CUAS)

La Carta dell'Utilizzazione Agricola del Suolo (CUAS) suddivide il territorio in aree omogenee in termini di tipi d'uso. Essa è stata realizzata a diversi livelli gerarchici. Ad un livello gerarchico più alto sono state separate 11 classi. Le prime tre riguardano: "*Ambiente urbanizzato e superfici artificiali*" (classe U), "*Acque*" (A) e "*Colture protette (serre)*" (classe S); le altre otto classi, riguardano:

- aree agricole: "seminativi" (classe 1), "colture permanenti" (classe 2), "foraggiere permanenti" (classe 3), "zone agricole omogenee" (classe 4), "superfici boscate" (classe 5), "coperture vegetali prevalentemente arbustive e/o erbacee di evoluzione" (classe 6), "zone coperte da vegetazione rada o assente" (classe 7) e "zone umide" (classe 8).

All'interno delle classi principali, la CUAS realizza ulteriori suddivisioni della copertura del suolo ad uno o più livelli gerarchici inferiori, in base ad un numero crescente di elementi presi in considerazione. Così, ad esempio, i "*seminativi*" sono suddivisi, in relazione alla durata del ciclo della coltura, in "*seminativi autunno-vernini*" e "*seminativi primaverili-estivi*". A loro volta, i primi sono ulteriormente suddivisi, in base al tipo di

coltura, in cereali da granella, ortive, legumi secchi, piante da tubero, colture industriali, ecc..

5.1.3 - Carta dell'Utilizzazione Agricola dei sottosistemi di terre

Ai fini della valutazione e della cartografia delle esigenze irrigue delle colture, è stata realizzata la “*Carta dell'utilizzazione Agricola dei sottosistemi di terre*” nella quale è rappresentato ciascun tipo di uso del suolo ricadente all'interno dei singoli sottosistemi di terra (o di singoli poligoni di alcuni sottosistemi). Gli elementi unitari di tale carta sono stati di riferimento per le successive calcolazioni. A ciascun tipo di uso del suolo sono stati associati i valori della riserva idrica del suolo AWC tipici del sottosistema di terre e i valori della profondità delle radici di massima estrazione dell'acqua, tenuto conto della tessitura dominante del suolo. Il valore dell'AWC è stato quindi moltiplicato per la profondità delle radici di massima estrazione di acqua per ottenere il valore di AWC da utilizzare nel bilancio idrologico.

Per l'attribuzione della profondità di massima estrazione dell'acqua da parte delle radici si è fatto riferimento al quaderno 56 della FAO (FAO, 1998) e ad un lavoro di Mannini (2004) che riporta però i valori di massima estrazione per singole colture (es., pesco, albicocco, melo, ecc.). Per calcolare i valori riferiti ai gruppi di colture delle diverse classi di uso del suolo (es., frutteti) è stata fatta una media ponderata delle profondità di massima estrazione delle singole colture. I tipi di colture individuali presenti in ciascuna classe di uso del suolo ed il loro peso relativo nel calcolo della profondità media ponderata sono state desunte dalla interpretazione dell'Annuario Statistico Campano (Regione Campania, 2003) e da esperienze dirette dei progettisti sul campo.

Il valore della profondità di massima estrazione è stato riferito ad un suolo a tessitura franca. Nel caso di suoli a tessitura fine (argillosa, franco-argillosa e franco-limoso-argillosa) i valori stimati sono stati ridotti del 15%; nel caso di suoli a tessitura più grossolana (franco-sabbiosi) i valori stimati sono stati aumentati del 15%. L'aggiustamento è stato ritenuto opportuno tenuto conto dell'influenza della tessitura sull'approfondimento dell'apparato radicale. È noto che, nei suoli più sciolti, le radici tendono ad approfondirsi di più mentre, nei suoli più fini e compatti, gli apparati radicali tendono ad essere più superficiali.

5.1.4 - Caratterizzazione climatica

La caratterizzazione climatica dell'area di studio è stata realizzata a partire dai dati di precipitazione (P), temperatura (T) ed evapotraspirazione potenziale (ET_0) registrati dalla stazione meteorologica del Campo Sperimentale di Vitulazio del CNR-ISA FoM nel periodo 1993-2006.

Le serie storiche dei dati climatici utilizzati (P, ET_0 , T), registrate su base giornaliera, sono state rielaborate per produrre i valori mensili delle variabili considerate ed in particolare per calcolare il valore mediano mensile di ciascun parametro climatico. La mediana è stata preferita alla media in quanto offre il vantaggio di essere più robusta (più "resistente" ad eventuali valori anomali).

5.1.5 - Bilancio idrologico

Il bilancio idrologico è stato realizzato per ciascun elemento della "Carta dell'Utilizzazione Agricola dei sottosistemi di terre" cioè per ciascun tipo di uso ricadente all'interno dei singoli sottosistemi di terra.

I valori di P ed ET_0 rappresentano i **primi due termini del bilancio idrologico**. Le differenze mensili tra i due parametri nel periodo in cui $P < ET_0$ consentono di definire l'entità (mensile e totale) del deficit idrico climatico.

L'evapotraspirazione potenziale è valutata, rispetto ad una coltura di riferimento. Tuttavia, nella realtà agricola le condizioni della vegetazione sono assai diverse da quelle standard sulle quali ci si basa per la definizione convenzionale di ET_0 . Di conseguenza, l'evapotraspirazione potenziale delle colture (ET_c) è diversa dall'evapotraspirazione potenziale di riferimento. I valori di ET_0 necessitano, pertanto, di essere corretti mediante l'adozione di coefficienti colturali (K_c) specifici delle colture e delle loro fasi fenologiche. In particolare risulta:

$$ET_c = ET_0 \times K_c$$

L'evapotraspirazione potenziale della coltura (ET_c) rappresenta il **terzo** parametro del bilancio idrologico.

Ai fini del presente studio, i valori di K_c delle diverse colture sono stati dedotti dalla letteratura, con particolare attenzione a quanto riportato nel quaderno 56 della FAO, già citato e ad un lavoro di Ravelli e Rota (2002). A partire dai valori di K_c delle singole colture sono stati calcolati i valori di K_c dei diversi tipi di uso del suolo, facendo

ricorso al criterio di attribuzione dei pesi relativi a ciascuna coltura precedentemente adottato per la determinazione della profondità di massima estrazione di acqua da parte delle radici. Per trasformare tali valori, riferiti alle diverse fasi fenologiche delle colture si è fatto riferimento al metodo grafico proposto dalla FAO nel già citato Quaderno 56.

Nella precedente definizione di bilancio idrico climatico sono state considerate le piogge mensili (P). In effetti, la pianta è in grado di utilizzare solo una frazione di acqua di pioggia, definita pioggia efficace (o, in inglese, effective rainfall) o pioggia utile (P_u) o utilizzabile. In accordo con Landi (1999), intendiamo come pioggia utile quella rilevata dal pluviometro meno quella che bagna la vegetazione, quella che è perduta per ruscellamento superficiale, quella che percola nel sottosuolo e quella che è ancora disponibile dopo la raccolta delle colture.

Per il calcolo di P_u è stata applicata una relazione empirica basata sulla piovosità mensile. Il Bureau of Reclamation degli Stati Uniti (USBR) suggerisce l'applicazione della seguente relazione:

$$P_u = P \times (125 - 0.2 \times P) / 125$$

La P_u è il **quarto** termine del bilancio idrologico. Le differenze mensili tra P_u e ET_c nel periodo in cui $P_u < ET_c$ consente di definire l'entità (mensile e totale) del deficit idrico di una coltura.

Tuttavia, il calcolo del deficit, così definito, non tiene conto della riserva idrica del suolo (o acqua disponibile, in inglese "available water capacity", AWC) . Tale riserva si esaurisce gradualmente nel tempo, se non compensata da apporti idrici di pioggia e/o dall'irrigazione.

La variazione della riserva idrica del suolo è il **quinto** elemento del bilancio. Se considerata, essa consente di valutare il deficit idrico effettivo di una coltura, vale a dire la richiesta di acqua da fornire attraverso la pratica irrigua per compensare i consumi per evapotraspirazione.

Per tener conto di tale elemento, per ogni tipo di coltura all'interno di ciascuna sottosistema di terre (o di singoli poligoni dei sottosistemi) è stato realizzato un bilancio idrologico (cfr. Allegato A alla relazione specialistica).

Il bilancio idrico della coltura, realizzato secondo le modalità sopra illustrate, assume che ciascuna unità cartografica di uso del suolo sia completamente coperta da vegetazione (ovvero sia totalmente utilizzata). Nella realtà, solo una percentuale

dell'unità è normalmente coltivata. Pertanto, il relativo bilancio idrologico necessita di essere corretto, tenuto conto dell'effettiva copertura del suolo. Un contributo importante, a tal fine, è dato dall'uso di immagini telerilevate da satellite. Nel presente studio, la percentuale di copertura delle singole unità di uso del suolo, necessaria alla correzione dei bilanci, è stata valutata a partire da una mappa spettrale dell'indice normalizzato di vegetazione (NDVI, Normalised Difference Vegetation Index) risultante dalla elaborazione dell'immagine satellitare Landsat ETM+ del mese di agosto già precedentemente citata.

In accordo con la letteratura scientifica specialistica, il deficit idrico calcolato secondo la procedura sopra illustrata identifica il fabbisogno irriguo massimo (netto) necessario al sistema suolo-pianta per far fronte totalmente alla capacità evaporante dell'atmosfera, al soddisfacimento della quale corrisponde generalmente il massimo della produzione.

Occorre però tener conto che il massimo di produzione, per quasi tutte le colture, non corrisponde alla produzione di massima convenienza economica. La dotazione irrigua da adottare è allora quella che, nella curva della produttività dell'acqua irrigua contemperisce una contrazione delle dotazioni irrigue massime con una contenuta diminuzione della produzione massima. In generale, il più conveniente rapporto tra dotazione e livello qualitativo e quantitativo di produzione è da ritenere assimilabile ad un abbattimento del 30% del fabbisogno irriguo netto (Morano).

Il presente studio ha consentito una prima valutazione e la redazione di una cartografia delle esigenze idriche delle colture del territorio del basso Volturno, con particolare attenzione alle aree ricadenti nel limite del "Consorzio a ruolo".

Lo studio è stato realizzato utilizzando prevalentemente dati disponibili in bibliografia. Tuttavia, l'accuratezza posta nell'analisi dei dati disponibili e nella scelta della metodologia di elaborazione rendono la Carta utile per una prima valutazione delle esigenze idriche delle colture a scala territoriale e creano i presupposti concreti per la realizzazione di future, più dettagliate indagini.

L'attendibilità dei risultati ottenuti è valutabile anche dalla loro coerenza con quelli di precedenti indagini realizzate dal Consorzio di Bonifica.

5.2 - Definizione del Fabbisogno Irriguo Lordo

L'analisi effettuata al paragrafo 5.1 ha consentito di definire il fabbisogno irriguo per le aree che sono attualmente destinate ad uso agricolo. Tale fabbisogno è stato calcolato, in riferimento all'intera stagione irrigua e nel mese di maggiore richiesta, al netto delle perdite connesse al sistema di trasporto e a quello di distribuzione.

Noto il fabbisogno irriguo netto, il fabbisogno irriguo lordo può essere determinato attraverso le seguenti relazioni:

$$F_{IL,S} = \frac{F_{IN,S}}{k_T \times k_d}$$
$$F_{IL,M} = \frac{F_{IN,M}}{k_T \times k_d}$$

in cui:

$F_{IL,S}$ = Fabbisogno idrico lordo stagionale (mm),

$F_{IL,M}$ = Fabbisogno idrico lordo mensile (mm),

$F_{IN,S}$ = Fabbisogno idrico netto stagionale (mm),

$F_{IN,M}$ = Fabbisogno idrico netto mensile (mm),

k_T = coefficiente correttivo adimensionale relativo alle perdite dovute alla rete di trasporto,

k_d = coefficiente correttivo adimensionale relativo alle perdite dovute alla rete di distribuzione.

Pertanto risulta necessario definire preliminarmente l'entità delle perdite dovute al trasporto ed alla distribuzione.

5.2.1 - *Determinazione delle perdite dovute al sistema di trasporto e distribuzione*

La quantità di acqua non utilizzata dalle piante per perdite, evaporazione, infiltrazione profonda, scorrimento superficiale, errate manovre etc., varia notevolmente in relazione al sistema di trasporto (in canali o in condotte), alla lunghezza della rete, al sistema di distribuzione (gravità, aspersione, puntuale), alla sistemazione del terreno, e a molteplici altri fattori legati alla natura del terreno ed alla sua capacità di immagazzinamento dell'acqua e alla velocità di infiltrazione legati al corpo d'acqua, al

volume di adacquamento e al turno adottato. La percentuale di acqua effettivamente consumata dalla pianta rispetto alla quantità derivata costituisce il cosiddetto *indice di efficienza del trasporto e dell'efficienza sul campo*.

Coefficiente correttivo relativo alla rete di trasporto

Non sono state considerate perdite del sistema di trasporto in quanto all'anno orizzonte in cui verrà esaurito l'intero programma di trasformazione ed ampliamento della rete irrigua lo stesso sistema viene ipotizzato totalmente in pressione e, quindi, con perdite che possono considerarsi trascurabili per le finalità del presente studio.

Coefficiente correttivo relativo al metodo irriguo adottato

L'efficienza della distribuzione dell'acqua sull'appezzamento può variare invece entro limiti molto più ampi in relazione al metodo irriguo applicato, all'adozione più o meno oculata dei vari elementi che caratterizzano la somministrazione dell'acqua alle colture (corpo d'acqua, volume di adacquamento, turno) ed anche alle condizioni ed al momento della somministrazione. Sulla base delle attuali conoscenze è possibile ritenere che i coefficienti correttivi da adottare, in funzione della metodologia irrigua adottata, siano quelli riportati nella *Tabella 3* seguente (Bonciarelli, 1999)

Metodo irriguo	Coefficiente correttivo
Infiltrazione laterale	0,50 – 0,60
aspersione	0,80 – 0,90
goccia	0,90

Tabella 3: Coefficienti correttivi da adottare in funzione della metodologia irrigua.

Nel caso in esame, considerando che il metodo irriguo utilizzato è prevalentemente quello per aspersione si è optato per un coefficiente correttivo k_d pari a 0,87.

5.3 - Determinazione della SAU

La definizione del fabbisogno irriguo netto è stata effettuata sulla scorta della “carta dell'utilizzazione agricola dei sottosistemi di terre” nella quale l'area “utilizzata ai fini agricoli” è l'area del comprensorio potenzialmente irrigabile (in termini di ambiti geografici omogenei) a cui sono state detratte le grandi tare (centri abitati, strutture viarie di maggiore importanza, superfici impermeabilizzate). Per completezza, sono stati analizzati gli strumenti urbanistici dei comuni ricadenti nel territorio di interesse al fine di verificare l'incidenza delle aree di espansione urbanistica non ancora realizzate in termini di riduzione delle aree potenzialmente irrigabili. Tale incidenza è stata ritenuta trascurabile ai fini delle conclusioni del presente studio.

Ai fini della valutazione del fabbisogno irriguo lordo risulta però necessaria la conoscenza della Superficie Agraria Utilizzata (SAU), intesa come la superficie fondiaria depurata delle ulteriori tare improduttive (strade interpoderali, piccole aree impermeabilizzate tipo edifici ad uso agricolo, case sparse, ...).

Per consentire la stima della SAU si è provveduto a definire:

1. i limiti dei comprensori e dei sub – comprensori irrigui in cui è suddiviso il territorio di competenza del Consorzio di Bonifica;
2. le piccole tare esistenti all'interno dei singoli comprensori irrigui.

5.3.1 - Definizione dei comprensori e sub – comprensori irrigui

Al fine di progettare le opere irrigue di distribuzione delle acque e definire univocamente le aree irrigate e/o oggetto di intervento, il territorio di competenza del Consorzio di Bonifica è stato suddiviso in quattro Comprensori (cfr.: *Tabella 4*), la cui denominazione deriva dalla posizione occupata rispetto al fiume Volturno ed al canale Regi Lagni:

Comprensorio
<i>Destra Volturno</i>
<i>Sinistra Volturno</i>
<i>Sinistra Regi Lagni</i>
<i>Medio Regi Lagni</i>

Tabella 4: Suddivisione del territorio in Comprensori irrigui

La suddivisione in comprensori, adottata di fatto già nella redazione del Piano di Bonifica, è stata successivamente ampliata attraverso la definizione di sub – comprensori che rispecchiavano il susseguirsi degli interventi per la riconversione irrigua delle aree. Tale denominazione (riportata nella *Tabella 5* che segue) è stata mantenuta nel presente studio al fine di consentire ai tecnici del Consorzio una facile identificazione delle zone di interesse ed un agevole confronto con gli studi pregressi.

Comprensorio	Sub comprensorio	Superficie topografica (ha)
Destra Volturno	Ampliamento 1: Bellona-Vitulazio	1.593
	Ampliamento 2: Alta-Carinola	7.359
	Destra Agnena	7.366
	Capua	1.964
	Borgo Appio	1.832
	Mazzafarro	2.913
Sinistra Volturno	Carditello 1	2.704
	Carditello 2	2.574
	Carditello 3	408
	Grazzanise	2.812
	Ampliamento1: Sinistra Volturno	497
	Castel Volturno	3.571
Sinistra Regi Lagni	Bassa - ssl Sub B1	2447
	Bassa - ssl Sub B2	1442
	Bassa - ssl Sub B3	768

Comprensorio	Sub comprensorio	Superficie topografica (ha)
	Media – ssII Sub M	2.305
	Alta – ssII Sub A	934
	Ampliamento 3: Sinistra Regi Lagni	711
	Ampliamento 2: Sinistra Regi Lagni	3.432
	Ampliamento 1: Sinistra Regi Lagni	2.881
Medio Regi Lagni	Ampliamento 1: Medio Regi Lagni	1.305
	Ampliamento 2: Medio Regi Lagni	7.502
	Ampliamento 2: Medio Regi Lagni	322
	Ampliamento 3: Medio Regi Lagni	141
	Ampliamento 3: Medio Regi Lagni	607

Tabella 5: Suddivisione del territorio in sub - Comprensori irrigui

5.3.2 - Determinazione delle piccole tare

La determinazione analitica delle piccole tare improduttive avviene attraverso l'individuazione di tutte quelle aree che non sono irrigabili in quanto a servizio dell'irrigazione (strade interpoderali, edifici rurali, depositi,). Tale conoscenza di dettaglio, in considerazione anche della vastità del territorio in esame, può essere acquisita in fasi progettuali di maggiore dettaglio rispetto allo studio in oggetto. Per poter comunque considerare, con un sufficiente ordine di approssimazione, l'effettiva area agraria utilizzata, si è provveduto a definire attraverso un'analisi visuale speditiva delle immagini ortofoto disponibili per un'area campione, l'incidenza percentuale di queste aree sul totale. Si è verificato che l'incidenza delle piccole tare su totale è pari a circa il 6% e, quindi, si è adottato un coefficiente correttivo per la superficie pari a 0,94.

5.4 - Calcolo del volume d'adacquamento nella stagione irrigua

Come detto precedentemente, l'analisi effettuata al paragrafo 5.1 ha consentito di definire il fabbisogno irriguo, al netto delle perdite dovute al sistema di trasporto e distribuzione. Tale fabbisogno è stato valutato per ogni coltura di riferimento all'interno di ciascun sottosistema di terre, in corrispondenza della stagione irrigua e del mese di massima richiesta. Per effettuare il calcolo del volume di adacquamento, ossia il volume d'acqua che è necessario somministrare per colmare il deficit idrico della coltura di riferimento all'interno di ciascun sottosistema di terre, è stata definita preliminarmente la stagione irrigua, intesa come il periodo all'interno del quale il bilancio idrologico, come definito al paragrafo 5.1.5, risulta negativo.

Per l'area di interesse la stagione irrigua va dalla metà di maggio alla metà di settembre.

Il calcolo del volume di adacquamento è stato, in definitiva, effettuato attraverso la seguente formula:

$$V_a = 10 \times F_{IL,S} \times SAU$$

in cui

V_a = volume di adacquamento (m^3),

$F_{IL,S}$ = Fabbisogno idrico lordo stagionale (mm),

SAU = Superficie Agricola Utilizzata (ha).

5.5 - La portata nel mese di maggiore richiesta

5.5.1 - Definizione del mese di punta

In base alle analisi effettuate per la definizione delle idroesigenze si è riscontrato che le colture praticate nel Comprensorio manifestano la maggiore richiesta d'acqua nel mese di luglio. Solo per i cereali da granella e le piante da tubero il mese di maggiore richiesta è invece giugno. Considerando che i cereali da granella e le piante da tubero nei mesi di giugno e di luglio non vengono irrigate in quanto la maggiore resa si attua mantenendo alla pianta la condizione di stress idrico, il mese per la definizione della portata massima è chiaramente il mese di luglio.

5.5.2 - Calcolo della portata massima nel mese di maggiore richiesta

Il calcolo della portata massima nel mese di maggiore richiesta e nelle 24 ore (o come si suol dire *ad acqua continua*) è indispensabile per proporzionare e/o verificare la rete di adduzione dello schema irriguo. Il calcolo della portata è stato effettuato in ambiente GIS sulla scorta dei dati risultanti dalla caratterizzazione delle colture in termini di idroesigenze. In particolare è stata utilizzata, per ogni coltura elementare, la seguente formula:

$$q_{\max} = \frac{10 \times F_{IL,M} \times SAU}{86400 \times 31}$$

in cui

q_{\max} = portata massima nel mese di maggior richiesta (m^3/s),

$F_{IL,M}$ = Fabbisogno idrico lordo mensile (mm),

SAU = Superficie Agricola Utilizzata (ha).

5.6 - Risultati

Di seguito nelle *Tabelle 6* si restituiscono i risultati ottenuti suddivisi per compensori e sub – compensori. In particolare sono riportati:

- S = superficie topografica (ha),
- SAU = superficie agraria utilizzata (ha),
- V_a = Volume di adacquamento stagionale lordo (m^3),
- $V_{a,s}$ = Volume di adacquamento specifico lordo (m^3/ha),
- q_{\max} = portata massima nel mese di maggiore richiesta (m^3/s) e (l/s),
- $q_{\max,s}$ = portata specifica massima nel mese di maggiore richiesta (l/s*ha),

Tabella 6.1

Compr.	Sub comprensorio	Sup. topografica (ha)	SAU (ha)	Va (m ³)	V _{a,s} (m ³ /ha)	q _{max} (m ³ /s)	q _{max} (l/s)	q _{max,s} (l/s ha)
Destra Volturno	Ampliamento 1: Bellona Vitulazio	1.593	1.553	4.305.431	2.772	0,65	651	0,42
	Ampliamento 2: Alta Carinola	7.359	7.016	18.372.754	2.619	2,97	2.973	0,42
	E-destra Agnena	7.366	7.259	21.760.161	2.998	5.31	3.233	0,45
	F-Capua	1.964	1.840	4.976.110	2.704	0,66	662	0,36
	G-Borgo Appio	1.832	1.783	5.704.714	3.199	0,81	814	0,46
	H Mazzafarro	2.913	2.839	9.283.927	3.270	8.24	1.355	0,48
	TOTALE	23.027	22.291	64.403.098	2.889	9,69	9.688	0,43

Tabella 6.2

Compr.	Sub comprensorio	Sup. topografica (ha)	SAU (ha)	Va (m ³)	V _{a,s} (m ³ /ha)	q _{max} (m ³ /s)	q _{max} (l/s)	q _{max,s} (l/s ha)
Sinistra Volturno	I: Carditello	2.704	2.655	6.291.992	2.369	0,82	822	0,31
	I: Carditello	2.574	2.537	6.672.944	2.630	0,93	931	0,37
	I: Carditello	408	403	1.127.619	2.795	0,16	159	0,39
	L: Grazzanise	2.812	2.756	6.961.867	2.526	0,91	915	0,33
	Ampliamento 1: Sx Volturno	497	496	1.330.943	2.684	0.18	179	0,36
	N: Castel Volturno	3.571	3.287	10.136.189	3.084	1.51	1.510	0,46
	TOTALE	12.567	12.135	32.521.554	2.680	4.52	4.515	0,37

Tabella 6.3

Compr.	Sub comprensorio	Sup. topografica (ha)	SAU (ha)	Va (m ³)	V _{a,s} (m ³ /ha)	q _{max} (m ³ /s)	q _{max} (l/s)	q _{max,s} (l/s ha)
Sinistra Regi Lagni	B-bassa-ssII - Sub B1	2.447	2.347	5.743.029	2.447	0,96	956	0,41
	B-bassa-ssII - Sub B2	1.442	1.392	3.592.562	2.581	0,51	510	0,37
	B-bassa-ssII - Sub B3	768	701	1.892.443	2.699	0,31	314	0,45
	M-media ssII - Sub M	2.305	2.057	4.892.014	2.378	0,85	851	0,41
	A-alta ssII - Sub A	934	770	1.793.753	2.328	0,32	317	0,41
	Ampliamento 3: sx Regi Lagni	711	557	1.235.994	2.217	0,22	225	0,40
	Ampliamento 2: sx-Regi Lagni	3.432	3.106	7.383.495	2.377	1,27	1.271	0,41
	Ampliamento 1: sx-Regi Lagni	2.881	2.641	7.440.220	2.817	1,01	1.006	0,38
	TOTALE	14.921	13.573	33.973.511	2.503	0,24	5.449	0,40

Tabella 6.4

Compr.	Sub comprensorio	Sup. topografica (ha)	SAU (ha)	Va (m ³)	V _{a,s} (m ³ /ha)	q _{max} (m ³ /s)	q _{max} (l/s)	q _{max,s} (l/s ha)
Medio Regi Lagni	Ampliamento 1: medio Regi Lagni	1.305	1.092	3.170.621	2.905	0,49	488	0,45
	Ampliamento 2: medio Regi Lagni	7.502	5.249	14.752.391	2.810	2,16	2.156	0,41
	Ampliamento 2: medio Regi Lagni	322	278	790.171	2.845	0,12	119	0,43
	Ampliamento 3: medio Regi Lagni	141	141	378.033	2.687	0,06	61	0,44
	Ampliamento 3: medio Regi Lagni	607	599	1.576.022	2.632	0,26	259	0,43
	TOTALE	9.877	7.358	20.667.237	2.809	3,09	3.086	0,42

Tabella 6.5

	Sup. topografica (ha)	SAU (ha)	Va (m ³)	V _{a,s} (m ³ /ha)	q _{max} (m ³ /s)	q _{max} (l/s)	q _{max,s} (l/s ha)
TOTALE GENERALE COMPENSORIO	60.392	55.357	151.565.400	2.738	22,74	22.739	0,41

6. - CARATTERISTICHE DI SALINITÀ DEI SUOLI NELL'AREA OGGETTO DI INDAGINE

6.1 - Stato di salinità dei suoli nell'area oggetto di indagine

Le esigenze idriche delle colture sono, fra l'altro, influenzate dallo stato di salinità e/o alcalinità dei suoli (Bonciarelli, 1999; Landi, 1999; Brady and Weil, 2002). L'aumento di sali lungo il profilo determina, infatti, un aumento del potenziale osmotico e, di conseguenza, una riduzione dell'ammontare di acqua disponibile per le piante, con effetti evidenti sulla crescita e la produzione. Di qui la necessità di intervenire, dove necessario, per eliminare o mitigare l'eccessivo accumulo di sali nella zona radicale.

Il problema della salinità dei suoli, indotto soprattutto dall'irrigazione con acqua di falda, sempre più ricca di sali (per effetto combinato dei cambiamenti climatici in corso e del sovra-emungimento di acqua per uso agricolo, domestico e industriale), è oggi particolarmente sentito dagli agricoltori delle aree del basso Volturno più prossime alla costa (Leone e Menenti, 1999; Leone *et al.*, 2001, 2007). Tuttavia, allo stato attuale delle conoscenze, mancano ancora dati analitici relativi a campagne sistematiche di rilevamento dei suoli, in grado di consentire una valutazione *"quantitativa"* del livello di salinità reale delle predette aree.

Nell'ambito del presente studio è stata svolta un'indagine specifica con l'obiettivo di fornire una prima valutazione dello stato di salinità dei suoli di aree agricole costiere del basso Volturno con particolare attenzione all'area più prossima alla costa, a maggior rischio, a causa delle elevate condizioni di salinità della falda (causata da ingressione di acqua marina) da cui è attinta acqua per uso irriguo.

I risultati di detta indagine sono riportati nei paragrafi che seguono. Per un maggior dettaglio si rimanda alla relazione specialistica

6.2 - Caratterizzazione dei suoli affetti da salinità

La salinità totale è generalmente espressa in termini di soluti totali disciolti (*total dissolved solutes*, TDS) in milligrammi per litro di soluzione (approssimativamente equivalenti a parti per milioni, ppm). La salinità può essere anche caratterizzata dalla misura della conducibilità elettrica (*electrical conductivity*, EC) della soluzione, generalmente esprimibile in termini di decisimens per metro (dSm^{-1}).

Criteri quantitativi per diagnosticare la salinità del suolo sono stati originariamente formulati dall'*US Salinity Laboratory* in Riverside, California (nel suo *Handbook* 60), in termini di EC dell'estratto saturo del suolo (cioè, la soluzione estratta dal campione di suolo pre-saturato di acqua).

La sodicità (o alcalinità) del suolo è invece valutata attraverso la misura dell'ESP, *Exchangeable Sodium Percentage*, che identifica il grado di saturazione del complesso di scambio da parte del sodio:

$$ESP = \frac{\text{sodio scambiabile (cmol /kg)}}{\text{capacità di scambio cationico (cmol /kg)}}$$

L'ESP è complementato da un secondo carattere, più facile da misurare: il SAR, *Sodium Adsorption Ratio*, il quale fornisce informazioni sulla concentrazione comparativa di Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} nella soluzione del suolo ed è calcolato come segue:

$$SAR = \frac{[\text{Na}^+]}{\sqrt{1/2 ([\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}])}}$$

Dove $[\text{Na}^+]$, $[\text{Ca}^{2+}]$ ed $[\text{Mg}^{2+}]$ sono le concentrazioni (in cmol/kg) degli ioni sodio, calcio e magnesio nella soluzione del suolo. Il SAR della soluzione dell'estratto del suolo prende in considerazione il fatto che gli effetti negativi del sodio sono moderati dalla presenza di ioni calcio e magnesio. Il SAR è altresì utilizzato per caratterizzare l'acqua d'irrigazione somministrata al suolo.

6.3 - Classificazione dei suoli affetti da salinità

Utilizzando i valori di EC, ESP (il SAR) e il pH del suolo, i suoli affetti da salinità sono classificati come **salini**, **sodici** e **salino - sodici**. I suoli che non sono affetti da salinità sono classificati **normali**.

6.3.1 - Suoli salini

I suoli salini sono quei suoli che contengono sufficiente salinità da produrre un valore di EC maggiore di 4 dSm^{-1} , ma hanno un ESP inferiore a 15 (o un SAR inferiore a 13) nell'estratto saturo. Pertanto, il complesso di scambio dei suoli salini è dominato dal calcio e dal magnesio e non dal sodio. Il pH dei suoli salini è usualmente al disotto di 8.5. Poiché i sali solubili aiutano a prevenire la dispersione dei colloidi, la crescita delle piante nei suoli salini non è generalmente impedita da scarsa infiltrazione,

stabilità degli aggregati o areazione. In molti casi, l'evaporazione dell'acqua crea una crosta salina bianca alla superficie del suolo che prende il nome di "*white alkali*".

6.3.2 - Suoli salino-sodici

Suoli che hanno entrambi i livelli detrimenti dei sali solubili neutri (EC maggiore di 4 dS m^{-1}) ed elevate proporzioni di ioni sodio (ESP maggiore di 15 o SAR maggiore di 13) sono classificati come salino-sodici. La crescita delle piante in questi suoli può essere influenzata negativamente sia dagli eccessi di sali sia dall'elevato livello di sodio.

I suoli salino-sodici esibiscono condizioni fisiche intermedie tra quelle dei suoli salini e quelle dei suoli sodici. L'elevata concentrazione di Sali neutri modera l'influenza disperdente del sodio. I sali forniscono cationi in eccesso che si muovono vicino alle particelle dei colloidi a carica negativa, riducendo, in tal modo, la loro tendenza alla reciproca repellenza o alla dispersione. Pertanto, questi sali, aiutano a tenere le particelle colloidali associate reciprocamente in aggregati.

Sfortunatamente, questa situazione è soggetta ad un cambio piuttosto rapido se i sali solubili sono lisciviati dal suolo, specialmente se il SAR dell'acqua di lisciviazione è elevato. In tal caso, la salinità precipiterà, ma l'ESP aumenterà, e i suoli salino-sodici diventeranno sodici.

6.3.3 - Suoli sodici

I suoli sodici sono, probabilmente, i più "preoccupanti" tra i suoli influenzati da salinità. Mentre il loro livello di sali solubili è basso (EC inferiore a 4 dSm^{-1}), essi hanno un livello di sodio nel complesso di scambio relativamente alto (valori di ESP e SAR superiore a 15 e 13, rispettivamente). Il valore di pH dei suoli sodici eccede 8.5, arrivando a 10 ed oltre in alcuni casi. I livelli estremamente elevati di pH sono largamente dovuti al fatto che il carbonato di sodio è molto più solubile del carbonato di calcio e di magnesio e, pertanto, mantiene elevate concentrazioni di CO_3^{2-} e HCO_3^- nella soluzione del suolo.

Gli ioni di Na^+ scambiabile, che sono attratti solo debolmente dai colloidi del suolo, si diffondono per formare uno sciame relativamente ampio di ioni idrati trattenuti in un'atmosfera di deboli complessi intorno ai colloidi. Questo strato di ioni monovalenti

scambiabili Na^+ è molto più sottile di quello che si formerebbe con ioni bivalenti come il Ca^{2+} , molto più fortemente attratti. Pertanto, i colloidi molto saturati di sodio sono tenuti molto distanti, cosicché le forze di coesione non possono agire per attrarre la superficie di un colloide a quella di un altro colloide. Per contro, l'elettronegatività poco bilanciata della superficie di ciascun colloide repelle altri colloidi elettronegativi e il suolo diventa disperso. Di conseguenza, gli aggregati si rompono e i colloidi dispersi intasano i pori del suolo, muovendosi verso la parte bassa del profilo. La mancanza di larghi pori nei suoli dispersi da luogo a livelli estremamente bassi di conducibilità idraulica e infiltrazione idrica. La velocità d'infiltrazione è ridotta a tal punto che l'acqua tende a formare pozzanghere piuttosto che strati umidi. Il suolo è pertanto detto essere "impantanato", condizione caratteristica dei suoli sodici.

Poche piante possono tollerare queste condizioni. Le piante che crescono in questi suoli sono ostacolate dalla tossicità specifica degli ioni Na^+ , OH^- e HCO_3^- , oltre che dalle condizioni fisiche molto scarse e dalla bassa permeabilità all'acqua.

A causa del livello estremamente elevato del pH risultante dall'alto contenuto di sodio, la sostanza organica si disperde. L'humus disperso si muove verso il basso nel flusso di acqua capillare e, quando l'acqua evapora, conferisce alla superficie del suolo un colore nero. Il nome "*black alkaly*" (alcali neri) è stato un tempo adoperato per descrivere questi suoli. Talvolta localizzati in piccole aree chiamate "*slick spots*", i suoli sodici possono essere circondati da suoli considerevolmente più produttivi. I suoli sodici hanno usualmente un orizzonte A molto sottile sovrapposto a uno strato argilloso con struttura colonnare.

6.4 - Risposta delle colture alla salinità e sodicità

La salinità influenza la crescita delle piante attraverso tre meccanismi (Shainberg and Lery, 2006):

- effetti osmotici: limitano la capacità delle piante di assorbire acqua dalla soluzione del suolo;
- specifica tossicità degli ioni, risultante dalla concentrazione eccessiva di ioni Na e Cl;
- cambiamenti nelle proprietà fisiche e chimiche del suolo.

La produttività delle colture non è ridotta fino a quando non viene superato un certo livello di salinità. Al di là di tale livello, la produttività declina liberalmente con l'aumentare della salinità. Il valore di salinità corrispondente allo zero produttivo fornisce una stima della salinità massima che le piante possono tollerare. In accordo con la loro risposta alla salinità, le piante possono essere suddivise in quattro gruppi (da sensibili a tolleranti). Ad esempio, tra quelle normalmente allevate nel basso Volturno, l'olivo, la barbabietola da zucchero, appartengono al gruppo delle piante tolleranti; l'orzo da foraggio, il sorgo, il fagiolo, il grano appartengono al gruppo delle piante moderatamente tolleranti; la medica il mais, la vite, il pisello, appartengono al gruppo delle piante moderatamente sensibili; il melo, l'albicocco, il limone, l'arancio, il pesco, la patata, il pomodoro, il peperone appartengono al gruppo delle piante sensibili (Brady and Weil, 2006).

La risposta delle piante alla salinità dipende anche da fattori legati al suolo, al clima e alla pianta stessa. Il contenuto di acqua nel suolo e la frequenza delle irrigazioni influenza la tolleranza delle piante alla salinità. L'accorciamento degli intervalli irrigui minimizza l'effetto deleterio della salinità. La tolleranza di molte colture è migliorata quando si fa ricorso ad irrigazione a goccia giornaliera. Anche il clima modifica la risposta della pianta alla salinità. La tolleranza è spesso ridotta in condizioni calde e secche; inoltre, le colture sembrano essere maggiormente tolleranti al sale in aree con inquinamento atmosferico che limita la crescita delle piante.

Fattori legati alla pianta, quali la fase di crescita, la varietà e il portainnesto influenzano la risposta alla salinità. Riso, orzo, grano e mais sono più sensibili alla salinità durante le prime fasi di crescita delle piantine. Barbabietola e girasole sono più sensibili alla salinità durante la germinazione che durante le successive fasi di crescita. Normalmente la salinità sopprime la crescita della parte epigea della pianta più che quella ipogea.

6.5 - Bonifica dei suoli affetti da salinità

Per bonifica dei suoli affetti da salinità si intende il restauro delle proprietà chimiche e fisiche in modo da garantire la massima produttività (Brady and Weil, 2006).

6.5.1 - Bonifica dei suoli salini

Per prevenire l'accumulo di sali nella zona radicale durante ripetuti cicli di irrigazione ed evapotraspirazione, il rimedio più ovvio è quello di applicare acqua in quantità superiore all'evapotraspirazione, di modo che una frazione dell'acqua defluisca attraverso la zona radicale dilavando l'eccesso di sali (Hillel, 2006). Tuttavia, a meno che la falda non sia molto profonda o il drenaggio laterale della falda sia sufficientemente rapido, l'irrigazione extra può causare un progressivo innalzamento della falda stessa. Il concetto di "*leaching requirement*" fu sviluppato per la prima volta dall'*US Salinity Laboratory* in Riverside, California. Esso è stato definito come la frazione di acqua d'irrigazione che deve percolare oltre la parte basse della zona radicale al fine di prevenire l'innalzamento della salinità dei suoli al disopra di certi specifici livelli.

In accordo con gli *standard* sviluppati a Riverside (e come già precedentemente detto), la concentrazione massima di soluzione del suolo nella zona radicale, espressa in termini di EC, deve mantenersi al disotto di 4 dSm^{-1} , anche se alcune piante sale-tolleranti, come ad esempio la medica, possono dare produzioni soddisfacenti anche a valori di EC superiori a 8 dSm^{-1} .

La richiesta di *leaching* è determinata dalla concentrazione di sale e dalla composizione dell'acqua di irrigazione, dall'ammontare dell'acqua dal suolo da parte delle colture e dalla tolleranza delle colture, che determinano la massima concentrazione consentita della soluzione del suolo nella zona radicale. Assumendo condizioni immutabili di flusso e non apprezzabili dissoluzioni e precipitazioni di sali nel suolo e rimozioni non significative di sali da parte delle piante o per risalita capillare di acqua salina dal basso, si ottiene la seguente semplice equazione:

$$V_d/V_i = C_i/C_d$$

nella quale V_d e V_i sono i volumi di drenaggio e irrigazione, rispettivamente, e C_d e C_i le corrispondenti concentrazioni di sali. I volumi di acqua sono normalmente espressi per unità di area di territorio come profondità equivalente di acqua e le concentrazioni di sali sono generalmente misurate e riportate in termini di EC. Poiché il volume di acqua drenata è la differenza tra i volumi d'irrigazione e di evapotraspirazione (cioè $V_d = V_i - V_{et}$), possiamo trasformare l'ultima equazione come segue:

$$V_i = [C_d/(C_d - C_i) + 1] V_{et}$$

che è l'equivalente della formula fornita dall'*US Salinity Laboratory's Department of Agriculture (USDA) Handbook* n. 60:

$$d_i = [E_d / (E_d - E_i) + 1] d_{et}$$

dove d_i è la profondità dell'irrigazione, d_{et} la profondità equivalente del "consumo d'uso" da parte delle piante (evapotraspirazione), ed E_d ed E_i le conducibilità elettriche dell'acqua di drenaggio e di irrigazione, rispettivamente.

Il concetto di richiesta di *leaching* non tiene conto della distribuzione dei sali nella zona radicale, come essa è influenzata dalla frequenza e dalla variabilità spaziale dell'irrigazione, così come della quantità e qualità dell'acqua. In particolare, della salinità nella zona radicale è influenzata dal pattern e grado del consumo di umidità tra le irrigazioni. Meno frequente è il regime irriguo, maggiore è l'accumulo di sali tra irrigazioni successive. In alcuni casi, la frazione di *leaching* comunemente raccomandata potrebbe essere non sufficiente per prevenire la riduzione della produzione al disotto del suo potenziale, specialmente se la quantità di evapotraspirazione imposta dal clima è elevata e l'acqua d'irrigazione è salmastra.

Con i moderni metodi di irrigazione ad elevata frequenza, è possibile mantenere la soluzione del suolo nella zona superficiale ad una concentrazione quasi uguale a quella dell'acqua irrigua. Questa zona può essere approfondita aumentando il volume di acqua applicata. Oltre questa zona, la concentrazione della soluzione del suolo aumenta con la profondità ad un livello di salinità dipendente dalla frazione di *leaching*. Irrigazioni molto frequenti non solo abbassano la concentrazione della soluzione del suolo nella zona superficiale (dove molte radici proliferano), ma tende anche a minimizzare la suzione matriciale dell'umidità del suolo.

Numerose ricerche hanno mostrato che suoli lisciviati ad un contenuto idrico superiore alla saturazione (es., sotto aspersione a bassa intensità o ponding intermittente) possono produrre un *leaching* più efficiente di quello che può essere ottenuto con un metodo standard di inondazione continua. In un suolo con macropori – fenditure, fori prodotti da vermi o canali prodotti da radici marcite – molta dell'acqua sotto ponding si muove rapidamente verso il basso attraverso questi larghi passaggi, bypassando il più ampio volume di suolo contenente il sale, risultando, in tal modo, molto poco efficiente nella lisciviazione dei micropori della matrice del suolo. In contrasto, in condizioni di springlink a bassa intensità, il suolo non diviene mai saturo. Pertanto, una grande porzione dell'acqua applicata si muove attraverso la matrice del

suolo, producendo, in tal modo, una più efficace lisciviazione per unità di volume di acqua infiltrata. Tuttavia, il processo di infiltrazione ed il flusso insaturo sotto sprinkling a bassa intensità sono intrinsecamente più lenti e richiedono più tempo rispetto all'infiltrazione satura sotto ponding.

6.5.2 - Bonifica dei suoli sodici e salino-sodici

La bonifica dei suoli sodici e salino-sodici implica la sostituzione del Na scambiabile con il Ca scambiabile. La fonte di calcio per rimpiazzare il Na adsorbito può essere esterna al suolo, come il gesso (solfato idrato di calcio), la calcio-clorite e l'acqua irrigua contenente ioni calcio o può essere il suolo stesso, attraverso la dissoluzione di minerali contenenti calcio (Keren, 2006).

Il gesso è l'ammendante più comunemente utilizzato per la bonifica dei suoli sodici e salino-sodici e per la riduzione dell'effetto negativo dell'irrigazione con acqua contenente elevate concentrazioni di sodio, a causa della sua solubilità, il suo basso costo e la sua disponibilità. Il gesso addizionato ad un suolo sodico determina cambiamenti nella permeabilità, aumentando la EC e l'effetto dei cationi di scambio. Il significato relativo dei due effetti è importante per due ragioni:

- a) se l'effetto elettrolitico è sufficientemente elevato da prevenire la dispersione della frazione argillosa del suolo, l'applicazione superficiale di gesso può essere efficace. In questo caso, la quantità di gesso richiesto dipende dall'ammontare e dalla elevata qualità dell'acqua applicata, oltre che dalla percentuale di gesso disciolto. È praticamente indipendente dalla quantità di sodio scambiabile nel profilo del suolo;
- b) in suoli in cui l'effetto della EC non è sufficiente, a causa dell'elevato livello di ESP, o se si vuole ottenere un miglioramento permanente, l'ammontare di gesso richiesto dipende dall'ammontare di Na nella profondità del suolo d'interesse.

Una discussione dettagliata sull'uso delle tecniche di bonifica dei suoli sodici e salino-sodici esula dagli scopi del presente lavoro. Per un approfondimento in materiale si rimanda il lettore a pubblicazioni tecnico-scientifiche, alcune delle quali già citate nel presente testo.

6.6 - Indagine preliminare sulla salinità dei suoli del Basso Volturno

Considerato quanto sopra riportato, il pre-requisito essenziale per la programmazione sostenibile della pratica irrigua in aree a rischio o già affette da salinità (e/o alcalinità) dei suoli è la valutazione dello stato reale di salinità (e/o alcalinità).

Il presente lavoro intende fornire una valutazione preliminare dello stato di salinità e di sodicità dei suoli del basso Volturno, con particolare attenzione all'area più prossima alla costa, a maggior rischio, a causa delle elevate condizioni di salinità della falda (causata da ingressione di acqua marina) da cui è attinta acqua per uso irriguo.

6.7 - Materiali e metodi

6.7.1 - Ubicazione dei siti e campionamento dei suoli

Per lo studio in esame sono stati utilizzati i suoli campionati in corrispondenza di 30 siti, distribuiti lungo la fascia costiera. Gran parte dei siti sono stati localizzati nell'area di espansione irrigua. Il campionamento è stato realizzato alla fine di febbraio 2009.

I siti sono stati inizialmente identificati su ortofoto a colori, in scala 1:10.000, operando direttamente in ambiente ArcView GIS e, conseguentemente, su carta topografica. Ciascun sito è stato successivamente rilocalizzato in campo, con estrema precisione, anche con l'aiuto di un GPS di precisione. La localizzazione dei siti definitivi di campionamento è riportata sulle ortofoto.

L'ubicazione precisa dei siti, a livello metrico, si è resa necessaria al fine di costituire una *base-line* di riferimento per il monitoraggio dello stato di salinità/alcalinità nel tempo.

In corrispondenza di ciascun sito sono stati prelevati due campioni di suolo, alle profondità comprese tra 0÷30 e 30÷60 cm, con l'aiuto di trivellate speditive. I siti ed i relativi campioni di suolo sono stati fotografati per avere memoria visiva dello stato dei luoghi e delle condizioni (osservabili) dei campioni. L'ubicazione dei trenta siti selezionati ed alcune delle fotografie più significative dei siti campionati sono riportati nella Relazione specialistica e nei relativi allegati.

6.7.2 - Analisi dei suoli

I suoli campionati sono stati essiccati all'aria, setacciati a 2 mm ed analizzati in laboratorio per la determinazione dei parametri necessari alla valutazione dello stato di salinità/sodicità. In particolare, sono state realizzate le seguenti analisi: conducibilità elettrica (EC), capacità di scambio cationico (CEC), pH, calcare totale (CaCO_3). Le analisi sono state realizzate in accordo con i Metodi di Analisi Chimica del Suolo (MIPAF, 2000). I dati disponibili sono stati utilizzati per il calcolo dell'ESP, *Exchangeable Sodium Percentage*, che identifica il grado di saturazione del complesso di scambio da parte del sodio.

In aggiunta alle analisi canoniche di laboratorio, è stata fatta una valutazione di campo della tessitura dei suoli e del colore Munsell.

I dati relativi alle proprietà dei suoli analizzati e all'ESP sono stati statisticamente descritti in termini di valori medi, minimi e massimi e di coefficiente di variazione (rapporto percentuale tra deviazione standard e media).

6.7.3 - Risultati

I dati analitici relativi alle singole proprietà di suoli campionati e all'ESP da esse derivato, le descrizioni di campo del colore Munsell e della tessitura degli stessi suoli e la statistica descrittiva di tali proprietà sono riportati nella Relazione specialistica e nei relativi Allegati.

I risultati dell'analisi portano alle seguenti conclusioni:

- a) al momento del campionamento dei suoli esaminati (febbraio 2009) i suoli della fascia costiera del basso Volturno non sono classificabili (salvo alcune eccezioni) come affetti da salinità/alcalinità;
- b) i valori di EC e ESP, anche se mediamente al disotto delle soglie di salinità e alcalinità, lasciano intravedere sintomi evidenti di salinizzazione/alcalinizzazione attribuibili all'uso di acqua irrigua ricca di sali solubili;
- c) tale affermazione è confortata dal confronto dei suoli esaminati con quelli di suoli di siti sperimentali del basso Volturno irrigati con acque non saline ed acque a differente grado di salinità;

- d) i bassi livelli di salinità/alcalinità riscontrati sono attribuibili, con ogni probabilità, anche all'azione liscivante delle piogge abbondanti e frequenti che hanno caratterizzato il periodo autunno 2008-primavera 2009;
- e) i livelli attuali di salinità/alcalinità attribuibili ad un effetto liscivante della pioggia lasciano ipotizzare la concreta possibilità di controllare l'accumulo di sali lungo il profilo attraverso la somministrazione di acqua non salina attraverso la pratica irrigua, a condizioni che si tenga conto di quanto detto in merito nella Relazione specialistica.

Una verifica di quanto sopra affermato è necessaria e passa attraverso un monitoraggio attento dello stato di salinità/alcalinità nel corso dell'anno, con riferimento ai siti già selezionati per il presente studio.

7. - STATO AMBIENTALE E SALINITÀ DELLE ACQUE NELL'AREA OGGETTO DI INDAGINE

7.1 - Generalità

Come già accennato in premessa, l'emungimento dai pozzi ha determinato l'avanzamento dell'intrusione di acqua di mare, generato dalla depressione della falda di acqua dolce, comportando la desertificazione dell'area con abbattimento della produzione agricola e con effetti ecologici ed ambientali dequalificanti.

Il fenomeno di progressiva intrusione di acqua di mare nell'entroterra appare esteso (come confermato da uno studio idrogeologico recente) fino a diversi chilometri di distanza dalla costa, con situazione particolarmente grave nella zona occidentale del territorio comunale di Villa Literno.

Nel presente capitolo, pertanto, vengono esposti i principali caratteri, idrogeologici e di qualità delle acque sotterranee della Piana Campana, con particolare riferimento all'area posta ad ovest della ferrovia Roma Napoli e compresa tra il F. Volturno, a nord, ed il Lago Patria, a sud mentre si rimanda alla relazione specifica per gli approfondimenti del caso. Per quanto riguarda la caratterizzazione geologica ed idrogeologica generale si fa riferimento ai paragrafi 4.2 e 4.7 precedenti.

7.2 - Aspetti idrogeologici locali e qualità delle acque sotterranee

7.2.1 - Caratteristiche degli acquiferi e disponibilità della risorsa

Nell'area della Piana Campana le risorse idriche sotterranee sono caratterizzate da un diffuso depauperamento sia qualitativo, sia quantitativo con forte sbilanciamento del bilancio idrico (*v. tabella che segue, da Corniello, Ducci et alii*).

In conseguenza di ciò, il livello della falda tende progressivamente ad abbassarsi favorendo, nella fascia costiera, il fenomeno dell'intrusione salina.

Inoltre, il forte impatto antropico, l'intenso uso di prodotti chimici in agricoltura e lo spandimento sui suoli dei reflui zootecnici ha determinato, nel tempo, un significativo inquinamento diffuso delle acque sotterranee.

Lo schema idrogeologico distingue due acquiferi sovrapposti separati dal livello di Ignimbrite Campana, che a seconda del suo spessore e della sua integrità litica conferisce caratteristiche generali di confinamento, ed a luoghi caratteristiche di

semiconfinamento (zona di Acerra), o non confinamento (basso Volturno, Marigliano, Fosso Volla) all'acquifero inferiore, che è anche l'acquifero principale.

L'acquifero superiore, di modesta potenzialità, è a superficie libera.

Le caratteristiche idrodinamiche dell'acquifero principale (Corniello et alii, 1990) possono essere così riassunte:

- La trasmissività media è dell'ordine di $1 \cdot 10^{-2} \div 1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ con massimi nella zona di Acerra ($1 \cdot 10^{-1}$) e minimi a ridosso del Fiume Volturno e nel settore costiero ($1 \cdot 10^{-4}$ fino a $2 \cdot 10^{-5}$).
- I dati del coefficiente di immagazzinamento confermano le condizioni di confinamento della falda ($S=1 \cdot 10^{-3} \div 1 \cdot 10^{-4}$).
- La falda riceve alimentazione dai massicci carbonatici periferici ed ha una direzione di deflusso media verso il mare; viene a giorno solo localmente in corrispondenza di manifestazioni sorgentizie nei pressi del Lago Patria e nelle depressioni "retroduna" ove tuttavia la piezometrica viene depressa da impianti idrovori e canalizzazioni.
- La velocità di deflusso della falda è generalmente bassa; il dislivello totale (30÷35 m) fra zone di alimentazione (zone pedemontane) ed il recapito ultimo (mare) è modesto.
- Resta da approfondire la connessione idrogeologica tra la Piana e gli edifici vulcanici del Somma-Vesuvio e dei Campi Flegrei.
- Esiste una zona di drenaggio preferenziale sotterraneo, in corrispondenza della depressione del Sebeto (Fosso Volla, E di Napoli) ed uno spartiacque sotterraneo nella direzione Cancellorosso-Casoria-Napoli.
- Non appaiono ancora ben chiari i rapporti fra deflusso sotterraneo e idrografia superficiale.

Il bilancio idrogeologico su base annuale, desunto dallo stesso lavoro, è riassunto nella seguente *Tabella 7*.

BILANCIO IDROGEOLOGICO DELL'ACQUIFERO CONFINATO			
ENTRATE ($\text{m}^3/\text{anno} \cdot 10^6$)		USCITE ($\text{m}^3/\text{anno} \cdot 10^6$)	
Infiltrazione meteorica	< 380	Perdite verso il Sarno	28

BILANCIO IDROGEOLOGICO DELL'ACQUIFERO CONFINATO			
ENTRATE (m³/anno*10⁶)		USCITE (m³/anno*10⁶)	
Travasi da strutture adiacenti	70	Uscite verso l'idrografia di superficie	48 (elevato grado di approssimazione)
Apporti dal fiume Savone	< 1	Prelievo idrovore	8+/-30
Apporti da mare	Entità modesta	Perdite a mare	5
Eccedenze di irrigazione reinfiltrate	Non valutabili	Prelievi da pozzo	340 (grosso margine di incertezza)

Tabella 7: Bilancio idrogeologico dell'acquifero confinato

Negli anni 2002 e 2003, l'Autorità di Bacino Regionale Nord-Occidentale della Campania, ha condotto una serie di studi finalizzati alla redazione del Piano di Tutela delle Acque e che hanno riguardato, tra l'altro, la ricostruzione dell'assetto piezometrico e la definizione dello stato qualitativo delle falde.

Le misure piezometriche, eseguite nei periodi ottobre/novembre 2002, febbraio 2003 e maggio 2003, hanno consentito di individuare due falde: una superficiale, discontinua ed assai poco produttiva e l'altra, principale, più profonda e quasi sempre a carattere confinato, estesa in tutto il territorio.

In base ai dati raccolti, la falda superficiale, a carattere freatico, è stata riconosciuta in maniera discontinua nel territorio studiato e precisamente:

- nella fascia costiera lungo il corso dei Regi Lagni;
- nella zona che dall'abitato di Acerra (s.l.) si estende verso sud-est.

La potenzialità della falda, in entrambe le zone, è assai ridotta: molti dei pozzi che vi attingono hanno un utilizzo limitato o sono in abbandono, a volte risultano riperforati ed approfonditi.

Nella prima zona l'esistenza di una falda superficiale è rivelata dalla presenza di vecchi pozzi di grande diametro e poco profondi e da dati di letteratura (una carta piezometrica riportata in un lavoro del 1933 mostra, nella fascia di territorio compresa

tra il F. Volturno e Villa Literno, una falda freatica a profondità di pochi metri dal piano campagna).

L'alimentazione di questo corpo idrico superficiale è essenzialmente connessa con gli apporti pluviometrici.

Le curve piezometriche appaiono, nell'insieme, modellate sui Regi Lagni che sembrano rappresentare, di fatto, la zona di drenaggio della falda benché i Lagni siano ormai interamente rivestiti. I recapiti ultimi della falda sono rappresentati dal mare e dal Lago Patria.

In prossimità di ampi settori costieri, infine, la falda è sub-affiorante anche perché, qui, il piano campagna ha spesso quote inferiori allo zero topografico.

Nel settore a sud (s.l.) di Acerra la falda superficiale è accolta nei depositi piroclastici sciolti ed affioranti e nella parte alta meno diagenizzata del sottostante complesso del Tufo Grigio Campano.

Gli acquiferi che accolgono, invece, la falda principale sono rappresentati, nelle diverse zone, da:

- piroclastiti sciolte e piuttosto grossolane pre Tufo Grigio Campano e, talora, anche dalla parte bassa del sovrastante complesso tufaceo (laddove poco diagenizzata);
- depositi piroclastici sciolti dell'area flegrea;
- depositi piroclastici rimaneggiati (es.: zona ad est di Napoli – Valle del Sebeto).

Questa falda risulta spesso in pressione; il confinamento è esercitato, in maniera arealmente più estesa, dal Tufo Grigio Campano, ove ben diagenizzato e/o presente con rilevanti spessori; localmente all'azione del tufo può aggiungersi quella di terreni argilloso-torbosi prossimi ai Regi Lagni.

In taluni settori, il minor grado di diagenesi all'interno del complesso tufaceo, in uno con un suo più ridotto spessore (es. zona di Acerra), può portare a condizioni di semi-confinamento dell'acquifero lasciando ipotizzare la presenza di flussi di drenanza.

In altri casi (Valle del Sebeto, area flegrea) la falda è prevalentemente freatica.

L'assetto piezometrico della falda principale rivela un'alimentazione legata a significativi travasi sotterranei dai rilievi carbonatici che delimitano detta Piana.

Una ulteriore alimentazione deriva da apporti sotterranei originati nell'ambito del Somma-Vesuvio (in accordo con quanto noto sia dalla letteratura scientifica sia da dati idrochimici).

L'assetto globale della falda risulta confrontabile con quanto già conosciuto da precedenti studi (GEOLAB, 1988) pur rilevando, per gran parte dell'area, un generale abbassamento dei livelli rispetto ai dati del 1988.

7.2.2 - Stato chimico ed ambientale

Nel maggio 2001 e nel luglio 2001, L'ENEA ha effettuato n° 2 campagne di monitoraggio della qualità delle acque sotterranee su n.° 67 pozzi (dei quali solo n° 44 nella prima campagna del maggio 2001) caratterizzando la qualità del corpo idrico sotterraneo con riferimento ai parametri di base della Tab. 19 dell'All. 1 del D.L. 152/99 più alcuni altri quali metalli pesanti ed inquinanti inorganici (*cfr. Tabelle 8*)

Tabella 8.1: Classificazione chimica in base ai parametri di base

Parametro	U.M.	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 0 *
Conducibilità elettrica	μS/cm (20 °C)	≤ 400	≤ 2500	≤ 2500	> 2500	> 2500
Cloruri	mg/l	≤ 25	≤ 250	≤ 250	> 250	> 250
Manganese	μg/l	≤ 20	≤ 50	≤ 50	> 50	> 50
Ferro	μg/l	< 50	< 200	≤ 200	> 200	> 200
Nitrati	mg/l NO ₃	≤ 5	≤ 25	≤ 50	> 50	
Solfati	mg/l SO ₄	≤ 25	≤ 250	≤ 250	> 250	> 250
Ione ammonio	mg/l NH ₄	≤ 0.05	≤ 0.5	≤ 0.5	> 0.5	> 0.5

(*) se la presenza di tali sostanze è di origine naturale, verrà automaticamente attribuita la classe 0

Tabella 8.2: Classificazione chimica dei corpi idrici sotterranei – All. 1 D.L. 152/99

Classe 1	Impatto antropico nullo o trascurabile con pregiate caratteristiche idrochimiche
Classe 2	Impatto antropico ridotto e sostenibile sul lungo periodo e con buone caratteristiche idrochimiche
Classe 3	Impatto antropico significativo e con caratteristiche idrochimiche generalmente buone, ma con alcuni segnali di compromissione
Classe 4	Impatto antropico rilevante con caratteristiche idrochimiche scadenti
Classe 0 (*)	Impatto antropico nullo o trascurabile ma con particolari facies idrochimiche naturali in concentrazioni al di sopra del valore della classe 3

(*) per la valutazione dell'origine endogena delle specie idrochimiche presenti dovranno essere considerate anche le caratteristiche chimico-fisiche delle acque

In particolare i parametri misurati nel corso di tali campagne sono:

- Parametri chimico-fisici (temperatura, pH, conducibilità, ossigeno disciolto, potenziale redox)
- Alcalinità e Durezza totale
- Cationi principali (Na, K, Ca, Mg)
- Ammoniaca, fosfato solubile, nitrito
- Anioni principali (Nitrato, Solfato, Cloruro, Fluoruro)
- Metalli pesanti ed altri elementi (Fe, Li, Al, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, Cd, B, Pb)

L'esame dei risultati, disaggregato per principali inquinanti e per tipo di falda (profonda, superficiale est, superficiale ovest) fornisce il seguente quadro:

- **Nitrati.** Nella falda profonda si nota un andamento piuttosto regolare con netta diminuzione delle concentrazioni da est ad ovest man mano che ci si avvicina al mare. Più critica si presenta la situazione nella falda superficiale: la zona orientale della piana è quella maggiormente compromessa con valori elevati anche in prossimità del mare, nella zona nord-occidentale. Questo parametro, più degli altri, contribuisce allo stato di pessima qualità delle acque.
- **Ammoniaca.** Nella falda profonda le concentrazioni più basse si riscontrano nella zona orientale della Piana Campana (tra Caserta ed

Acerra). Valori molto più elevati si ritrovano nei territori della provincia di Caserta più prossimi al mare (Cancello Arnone, Villa Literno, Grazzanise) dove l'utilizzo del territorio è fortemente votato alla zootecnia. Nella falda superficiale l'andamento è analogo al precedente con concentrazioni generalmente più elevate e al di sopra dei valori limite.

- **Conducibilità e cloruri.** I valori rilevati si mantengono, sull'intero territorio, sia nella falda profonda sia in quella superficiale, al di sopra dei limiti tabellari relativi alla prima classe di qualità chimica (CL < 25 mg/l; Conducibilità < 400 μ S/cm), con punte massime nella zona tra Cancello Arnone e Villa Literno soprattutto nella falda superficiale. Quest'ultima risente notevolmente dell'intrusione marina sulla fascia costiera del litorale domizio.
- **Solfati.** Le concentrazioni si mantengono quasi uniformemente al di sopra dei 25 ppm.
- **Metalli pesanti.** Per il Piombo ed il Cadmio si riscontrano quasi sempre valori bassi con aumento delle concentrazioni nella zona industriale di Acerra e nella zona tra Cancello Arnone e Grazzanise. Le concentrazioni di Cromo, nella falda profonda, sono tutte più o meno oscillanti intorno al valore limite ammissibile (50 ppb), con aumento delle stesse, nella falda superficiale, nella zona di Acerra e tra Cancello Arnone e Grazzanise. Molto complessa si presenta la distribuzione del Manganese. Le concentrazioni di Cu, Ni, Al e Pb sono generalmente al di sotto dei limiti di legge ad eccezione di punti singolari ove si verifica il superamento dei termini di legge soprattutto per Al e Pb.

In definitiva, gli accertamenti effettuati hanno confermato una generale bassa qualità delle acque sotterranee dei pozzi maggiormente prossimi al complesso idrografico dei Regi Lagni. Sulla base dei dati analitici dei campioni analizzati, la maggior parte delle acque può essere infatti classificata come appartenente alla CLASSE 4. In particolare risultano critiche le seguenti situazioni:

- in provincia di Caserta: i territori tra Villa Literno, Casal di Principe, Cancello Arnone, Grazzanise (prevalentemente dedicati ad attività agricola

ed alla zootecnia), e S. Tammaro, Portico di Caserta, Maddaloni (caratterizzati anche dalla presenza di centri abitati);

- in provincia di Napoli: tutta la zona di Afragola, Caivano, Acerra, Pomigliano d'Arco, Brusciano in cui sono presenti sia aree agricole sia insediamenti urbani ed industriali.

Solo nella zona a ridosso del litorale domizio, tra Ischitella e Licola, le acque della falda superficiale possono essere catalogate come CLASSE 2, pur essendo caratterizzate da valori di conducibilità e di cloruri leggermente più elevati rispetto alla CLASSE 1.

Con riferimento ai pozzi considerati (n.° 16), i valori di conducibilità elettrica maggiormente elevati sono stati registrati nell'area compresa tra il Fiume Volturno ed i Regi Lagni, tra gli abitati di Castel Volturno e Cancellò Arnone, con un "*picco*" in corrispondenza del pozzo n° 16 (poco a nord del Lago Patria) con valori dell'ordine dei 50000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Analogo "*andamento*" presentano le concentrazioni di ione cloruro.

Le indagini condotte dall'ARPAC (Dip. Prov. Napoli – U.O. AIMC) sulla qualità delle acque sotterranee nel territorio della Provincia di Napoli indicano, per l'area compresa tra le propaggini dell'Appennino nel casertano e la piana campana fino a nord di Napoli, i seguenti valori dei parametri monitorati: conducibilità elettriche in questa zona oscillano tra 500 e 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con un valore medio di 679 $\mu\text{S}/\text{cm}$; la durezza ha un valore medio di 27.6 °F (≈ 275 mg/l), i cloruri variano tra 21 e 50 mg/l con valore medio di 38 mg/l, i solfati presentano una concentrazione media di 54 mg/l; il ferro ed il manganese sono tendenzialmente bassi con valori medi rispettivamente di 48.3 $\mu\text{g}/\text{l}$ e 52.7 $\mu\text{g}/\text{l}$; i valori di concentrazione dei nitrati oscillano tra 6 mg/l e 63.3 mg/l, con un valore medio di 52 mg/l.

La qualità delle acque in quest'area è dunque caratterizzata, nella parte pedemontana, da bassi valori di conducibilità e durezza e concentrazioni ioniche; tuttavia, la presenza dei nitrati a concentrazioni sensibilmente elevate rende questo tipo di acque scadenti.

La rimanente parte dell'area, che si estende lungo il bacino pianeggiante dei Regi Lagni nella parte che va verso la loro foce, presenta incrementi di vari parametri macrodescrittori quali conducibilità, durezza, cloruri, solfati, bicarbonato, nitrati, calcio e sodio. L'impatto antropico molto elevato nell'area si riscontra con aumenti di

concentrazioni sia pure puntuali per lo ione ammonio, i nitrati ed anche, in alcuni casi, gli indicatori microbiologici ed il fosforo totale.

Tra i parametri addizionali i fluoruri presentano livelli di concentrazioni variabili in tutta l'area con un valore medio pari a 1245 µg/l, un livello minimo di 100 µg/l ed un unico pozzo con un valore eccezionale di 5700 µg/l. L'arsenico presenta concentrazione media di 3.8 µg/l.

Pertanto in base alle concentrazioni dei macrodescrittori determinate anche nell'area della piana dei Regi Lagni, la qualità dell'acquifero in tutta l'area del casertano risulta di tipo scadente e ciò a causa proprio dell'impatto antropico.

Con specifico riferimento all'area del Basso Volturno, risultano disponibili i dati di monitoraggio della qualità delle acque sotterranee di n° 2 pozzi ubicati, l'uno, nei pressi dell'abitato di Mondragone (Mas1) e, l'altro, circa 3 km a sud dell'abitato di Grazzanise (Bvr23), ovvero, rispettivamente, posti a circa 1 km ed a circa 14 km dalla linea di costa.

I dati disponibili, riferiti al periodo maggio 2005 – dicembre 2006, indicano una elevatissima conducibilità elettrica con valori più alti (> 2000 µS/cm) per il pozzo Mas1 dove anche il tenore di cloruri è mediamente al di sopra dei 200 mg/l (limite che conferisce alle acque un sapore salato).

Nell'ambito degli studi condotti dall'Autorità di Bacino Regionale Nord-Occidentale della Campania sono state condotte campagne di monitoraggio in 39 punti. I risultati relativi a tali campagne indicano che la qualità chimica delle acque sotterranee campionate ricade prevalentemente in **classe 4** e, subordinatamente, in classe 2 o 3.

L'elemento di maggiore criticità risulta l'elevata concentrazione e la diffusa distribuzione dei nitrati su quasi tutto il territorio della piana.

Tale scenario può interessare anche le falde relativamente più profonde, sottoposte all'orizzonte tufaceo presente su gran parte della piana. Infatti, la protezione naturale offerta dallo strato semipermeabile risulta ormai compromessa per l'esistenza di numerosi pozzi che, essendo generalmente mal condizionati, consentono il diretto mescolamento tra le diverse falde e quindi il passaggio di sostanze inquinanti provenienti dalla superficie. Tale mescolamento risulta talora agevolato anche per l'inversione di flussi di drenanza che, per effetto degli emungimenti dalla falda

profonda, richiamano, verso le falde più profonde, acque sotterranee relativamente più superficiali, potenzialmente contaminate.

Per quanto riguarda lo **Stato Quantitativo** i dati ad oggi disponibili per il corpo idrico sotterraneo del basso Volturno – Regi Lagni, seppur provenienti da fonti diverse e riferiti a differenti periodi temporali, evidenziano una forte dispersione per cui le valutazioni sullo stato quantitativo possono essere solo di tipo qualitativo.

In particolare va osservato che:

- le risorse idriche sotterranee risultano, in termini di potenzialità, particolarmente elevate (notevoli volumi di infiltrazione efficace diretta, copiosi travasi sotterranei dagli acquiferi adiacenti);
- forte utilizzo delle risorse idriche (si stima una densità di oltre 100 pozzi per km²);
- i prelievi incidono significativamente sugli equilibri idrogeologici naturali dell'acquifero (diverse ricostruzioni piezometriche hanno evidenziato uno schema di circolazione idrica sotterranea in continua evoluzione: variazioni nell'andamento delle principali direttrici di flusso e dei rapporti di interscambio falda-fiume, significativi abbassamenti dei livelli idrici sull'intera piana ed in particolar modo lungo il settore meridionale).

In virtù di tali considerazioni, al corpo idrico sotterraneo Basso Volturno – Regi Lagni può essere assegnata la classe C (cfr. *Tabella 9* seguente).

Tabella 9: Stato quantitativo

Classe A	L'impatto antropico è nullo o trascurabile con condizioni di equilibrio idrogeologico. Le estrazioni di acqua o alterazioni della velocità naturale di ravvenamento sono sostenibili sul lungo periodo.
Classe B	L'impatto antropico è ridotto, vi sono moderate condizioni di disequilibrio nel bilancio idrico, senza che tuttavia ciò produca una condizione di sovrasfruttamenti, consentendo un uso della risorsa sostenibile sul lungo periodo.
Classe C	Impatto antropico significativo con notevole incidenza dell'uso sulla disponibilità della risorsa evidenziata da rilevanti

	modificazioni agli indicatori generali.
Classe D	Impatto antropico nullo o trascurabile, ma con presenza di complessi idrogeologici con intrinseche caratteristiche di scarsa potenzialità idrica.

Stato quantitativo dei corpi idrici sotterranei

La sovrapposizione delle classi chimiche (classi 1, 2, 3, 4, 0) e quantitative (classi A, B, C, D) definisce lo **Stato Ambientale** del corpo idrico sotterraneo (*Tabella 10*)

Tabella 10: Stato qualitativo

STATO ELEVATO	STATO BUONO	STATO SUFFICIENTE	STATO SCADENTE	STATO PARTICOLARE
1-A	1-B	3-A	1-C	0-A
	2-A	3-B	2-C	0-B
	2-B		3-C	0-C
			4-C	0-D
			4-A	1-D
			4-B	2-D
				3-D
				4-D

Stato ambientale (quali quantitativo) dei corpi idrici sotterranei

ELEVATO	Impatto antropico nullo o trascurabile sulla qualità della risorsa, con l'eccezione di quanto previsto nello stato naturale particolare
BUONO	Impatto antropico ridotto sulla qualità e/o quantità della risorsa
SUFFICIENTE	Impatto antropico ridotto sulla quantità, con effetti significativi sulla qualità tali da richiedere azioni mirate ad evitarne il peggioramento
SCADENTE	Impatto antropico rilevante sulla qualità e/o quantità della risorsa con necessità di specifiche azioni di risanamento

**NATURALE
PARTICOLARE**

Caratteristiche qualitative e/o quantitative che pur non presentando un significativo impatto antropico, presentano limitazioni d'uso della risorsa per la presenza naturale di particolari specie chimiche o per il basso potenziale quantitativo

Definizione dello stato ambientale per le acque sotterranee

7.2.3 Attività di monitoraggio preliminare

In occasione dei sopralluoghi effettuati sull'area di studio, sono stati monitorati n° 17 pozzi ubicati tra il F. Volturmo ed i Regi Lagni (n° 5) e tra i Regi Lagni ed il Lago Patria (n° 12) al fine di verificare (in maniera speditiva per questa prima fase conoscitiva) lo stato chimico-fisico delle acque sotterranee.

I dati acquisiti consentono le seguenti considerazioni:

- **Temperatura**

I valori di temperatura presentano un ampio range di variabilità con un massimo (17.32 °C) in corrispondenza del pozzo 16 ed un minimo (11.63 °C) in corrispondenza del pozzo 1. Tale parametro è un indicatore di estrema importanza in quanto le sue variazioni influiscono notevolmente sulle caratteristiche chimiche e fisiche dell'acqua come la densità, il pH, la solubilità di gas come l'ossigeno e la solubilità dei sali.

- **pH**

Le variazioni di pH (in natura prevalentemente nei limiti 6.0÷8.5) dipendono essenzialmente dalla presenza di anidride carbonica libera (CO₂) e dal livello di tamponamento dell'acqua (alcalinità).

In acque superficiali ferme il pH è frequentemente intorno a 8.0, in quelle correnti assume valori più bassi, anche sotto 6.5, a causa del maggiore contatto con la CO₂ atmosferica e in dipendenza della natura geologica del terreno.

In acque sotterranee è normalmente compreso tra 6.5 ed 8.0.

Analizzando i risultati del monitoraggio effettuato, emerge che in 4 pozzi è stato registrato un valore di uguale o maggiore di 7.0, in 7 un valore compreso tra 6.5 e 7.0 e in 6 valori inferiori a 6.5. Quest'ultimo valore è

significativo dei fenomeni di decomposizione di sostanze organiche e di una bassa concentrazione di ossigeno disciolto nell'acqua.

- **O.R.P.**

I valori misurati del potenziale redox variano da -97.7 mV a 263.4 mV indicando la presenza di sostanze inquinanti e nutrienti.

- **Ossigeno Disciolto**

Il contenuto di ossigeno disciolto nelle acque è in continuo equilibrio dinamico, essendo in ogni momento la risultante del bilancio tra il consumo provocato da processi biologici (respirazione) e biochimici (demolizione aerobica, nitrificazione, ecc.), e la riossigenazione, dovuta alla produzione fotosintetica e/o agli scambi con l'atmosfera.

Concentrazioni di ossigeno disciolto inferiori a 5 mg/l cominciano ad essere limitanti per il mantenimento delle forme di vita. La misura della concentrazione di ossigeno disciolto assume allora un notevole rilievo, non soltanto per trarre importanti indicazioni sulla interpretazione dei cicli biochimici, ma anche per la gestione diretta dei corpi idrici "a rischio" che necessitano di adeguate misure di protezione dall'inquinamento.

Nel caso in esame sono stati osservati valori mediamente assai bassi dell'ossigeno disciolto molto probabilmente da correlarsi alla presenza di un diffuso stato di inquinamento da scarichi domestici ed industriali.

- **Conducibilità elettrica – Solidi Disciolti Totali - Salinità**

La conducibilità elettrica fornisce una misura della quantità di sali disciolti nell'acqua. Essa costituisce un buon indicatore del grado di mineralizzazione di un'acqua. In genere i valori della conducibilità in un corpo idrico crescono progressivamente da monte a valle, rappresentando il processo di mineralizzazione e di arricchimento in sali dovuto al drenaggio del bacino.

Brusche variazioni di conducibilità possono essere determinate da immissioni di acque provenienti da altri bacini o da scarichi inquinanti. Nella maggior parte delle acque dolci la conducibilità varia fra 150 e 450 $\mu\text{S/cm}$, mentre generalmente si presentano valori più bassi nei corsi d'acqua di montagna (15÷50 $\mu\text{S/cm}$) e valori più alti nei corsi d'acqua di pianura maggiormente inquinati (800 $\mu\text{S/cm}$ e oltre).

Per i pozzi monitorati il valore più alto (2790 $\mu\text{S}/\text{cm}$) è stato registrato nel pozzo 5 e quello più basso (684 $\mu\text{S}/\text{cm}$) nel pozzo 1, con una media sempre superiore a 1600 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

La quantità di Solidi Totali Disciolti e la salinità seguono un andamento del tutto analogo alla conducibilità elettrica con il valore minimo (rispettivamente, 342 ppm e 0.34 psu) in corrispondenza del pozzo 1 ed il valore massimo (rispettivamente, 1395 ppm e 1.46 psu) in corrispondenza del pozzo 5.

7.3 - Conclusioni

Gli studi ad oggi effettuati, seppur basati su dati scarsi e disomogenei, consentono di affermare con buona attendibilità che lo stato ambientale delle acque sotterranee nell'area di studio può essere classificato come "SCADENTE" ai sensi del D. Lgs. 152/99, e dunque caratterizzato da ***"un impatto antropico rilevante sulla qualità e/o quantità della risorsa con necessità di specifiche azioni di risanamento"***. Per quanto concerne, invece, l'analisi del fenomeno di salinizzazione delle acque, le indagini preliminari effettuata nell'ambito del presente studio hanno evidenziato una significativa presenza di sali disciolti con valori della conducibilità elettrica ben al di sopra dei valori normali di riferimento per le acque dolci. Tali valori medi sono rappresentativi di un livello di salinità alto (classificazione delle acque irrigue in base alla salinità, Bonciarelli, 1978), caratteristico di "acque utilizzabili in agricoltura solo su terreni permeabili". Si riscontrano però localmente valori rappresentativi di un livello di salinità molto alto, caratteristico di "acqua utilizzabile in normali condizioni, ma solo su terreni permeabilissimi, su colture molto tolleranti e con acqua in grande eccesso". Va inoltre tenuto conto del fatto che la campagna di monitoraggio è stata effettuata nel corso di un anno particolarmente piovoso (la pioggia cumulata nel mese di gennaio ha superato, in alcune stazioni della regione Campania, il periodo di ritorno centennale), e che dunque i valori rilevati non sono probabilmente rappresentativi dell'effettiva salinizzazione delle acque ma tendono a sottovalutarla.

In conclusione, appare evidente che il fenomeno di intrusione del cuneo salino nelle aree oggetto di indagine può essere considerato già rilevante allo stato attuale. Evidente è altresì la tendenza all'avanzamento del fenomeno, connesso alla continua utilizzazione incontrollata delle acque sotterranee a scopo irriguo.