

**MINISTERO DELL'AMBIENTE
E DELLA TUTELA DEL TERRITORIO E DEL MARE**



REGIONE LIGURIA

DIPARTIMENTO AMBIENTE
Settore Assetto del Territorio

**DIPARTIMENTO AGRICOLTURA
PROTEZIONE CIVILE E TURISMO**
Settore Servizi alle Imprese Agricole



PROGRAMMA DI AZIONE LOCALE

DI LOTTA ALLA SICCAITA'

E ALLA DESERTIFICAZIONE

RELAZIONE CONCLUSIVA

INDICE

1 INQUADRAMENTO DELLE ATTIVITA'

- 1.1 Attività regionali pregresse
- 1.2 Aree di intervento individuate

2 PROGRAMMA DI AZIONE LOCALE DELLA REGIONE LIGURIA - ASPETTI GENERALI

- 2.1 Atti amministrativi
- 2.2 Aspetti finanziari e soggetti coinvolti
- 2.3 Aspetti metodologici generali
- 2.4 Problematiche di desertificazione per salinizzazione dei suoli e delle falde

3 PIANA TERMINALE E COSTIERA DEL FIUME CENTA - ATTIVITA SVILUPPATE, CRITICITA' ED IPOTESI DI INTERVENTI DI MITIGAZIONE

- 3.1 Cenni di inquadramento geografico e geologico
- 3.2 Significatività dell'acquifero del Centa e sue problematiche di salinizzazione
- 3.3 Descrizione e risultati delle nuove indagini sviluppate
- 3.4 Possibili strategie di intervento

4 PIANA TERMINALE E COSTIERA DEL FIUME MAGRA - ATTIVITA SVILUPPATE, CRITICITA' ED IPOTESI DI INTERVENTI DI MITIGAZIONE

- 4.1 Cenni di inquadramento geografico e geologico
- 4.2 Significatività dell'acquifero del Magra e sue problematiche di salinizzazione
- 4.3 Descrizione e risultati delle nuove indagini sviluppate
- 4.4 Possibili strategie di intervento

5 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

- 5.1 Considerazioni conclusive su i due siti indagati
- 5.2 Possibili sviluppi delle attività

ALLEGATI

Allegato 1: Atti amministrativi

- 1) D.G.R. n. 895 del 25.07.2008

Allegato 2: Aspetti metodologici

- 1) Modello prelievo campioni
- 2) Lettera per attività di incarico servizio prelievo campioni
- 3) Rapporto di prova tipo acque
- 4) Rapporto di prova tipo terreno

Allegato 3: Tabele dei risultati

- 1) Elenco aziende/pozzi campionati nell'areale Albenganese
- 2) Risultati delle determinazioni sui terreni campionati nel periodo invernale nell'areale Albenganese
- 3) Risultati delle determinazioni sui terreni campionati nel periodo estivo nell'areale Albenganese
- 4) Confronto dei risultati delle determinazioni sui terreni campionati nei periodi estivo e invernale nell'areale Albenganese

- 5) Risultati delle determinazioni sulle acque campionate nel periodo invernale nell'areale Albenganese
- 6) Risultati delle determinazioni sulle acque campionate nel periodo estivo nell'areale Albenganese
- 7) Confronto dei risultati delle determinazioni sulle acque campionate nei periodi estivo e invernale nell'areale Albenganese
- 8) Elenco aziende/pozzi campionati nell'areale Val di Magra
- 9) Risultati delle determinazioni sui terreni campionati nel periodo invernale nell'areale Val di Magra
- 10) Risultati delle determinazioni sui terreni campionati nel periodo estivo nell'areale Val di Magra
- 11) Confronto dei risultati delle determinazioni sui terreni campionati nei periodi estivo e invernale nell'areale Val di Magra
- 12) Risultati delle determinazioni sulle acque campionate nel periodo invernale nell'areale Val di Magra
- 13) Risultati delle determinazioni sulle acque campionate nel periodo estivo nell'areale Val di Magra
- 14) Confronto dei risultati delle determinazioni sulle acque campionate nei periodi estivo e invernale nell'areale Val di Magra

Allegato 4: Tavole cartografiche

- 1) Acquifero Magra e Vara-area meridionale: elaborazione spazializzata risultati analisi acque: cloruri in mg/l
- 2) Acquifero Magra e Vara-area meridionale: elaborazione spazializzata risultati analisi acque: conducibilità elettrica in $\mu\text{S}/\text{cm}$ 25 °C
- 3) Acquifero Centa e minori-area est: elaborazione spazializzata risultati analisi acque: cloruri in mg/l
- 4) Acquifero Centa e minori-area est: elaborazione spazializzata risultati analisi acque: conducibilità elettrica in $\mu\text{S}/\text{cm}$ 25 °C
- 5) Acquifero Centa e minori-area est: rappresentazione risultati analisi terreni per i parametri Conducibilità dell'Estratto a Saturazione e Sodio scambiabile per i due periodi di prelievo
- 6) Acquifero Magra e Vara-area meridionale: rappresentazione risultati analisi terreni per i parametri Conducibilità dell'Estratto a Saturazione e Sodio scambiabile per i due periodi di prelievo

1 - INQUADRAMENTO DELLE ATTIVITA'

1.1 Attività regionali pregresse

Per inquadrare il PAL in oggetto nel contesto più generale delle attività regionali pregresse nel campo della lotta a processi di desertificazione, occorre preliminarmente richiamare i contenuti della *DGR 605 del 25.05.2000*, con cui la regione Liguria ha approvato una *"Prima individuazione delle aree vulnerabili alla desertificazione e relative misure di tutela ed interventi"* come meglio richiesto dalla Delibera C.I.P.E. del 21.12.1999.

Alla DGR 650/00 risulta allegata la relazione tecnica e gli elaborati cartografici quali parte integrante e sostanziale dell'atto da dove emerge con maggior dettaglio il percorso individuato per la definizione delle aree in argomento.

Gli indirizzi adottati per l'adozione delle prime misure di tutela, nonché le procedure per l'individuazione delle aree e dei primi interventi, come individuato nella già citata Deliberazione della Giunta Regionale, possono essere succintamente individuati come di seguito riportato.

Considerata l'interdisciplinarietà dell'argomento trattato, il "primo programma" è stato redatto dal Settore Assetto del Territorio in collaborazione con differenti Strutture della Regione Liguria, quali:

- Settore Pianificazione Territoriale e Paesistica
- Settore Politiche e Programmi Ambientali
- Servizio Risorse Idriche
- Servizio Qualità della Produzione e Assistenza Tecnica in Agricoltura
- Ufficio Ambiente Marino e Costiero
- Ufficio Valutazione di Impatto Ambientale

Tali Strutture hanno fornito i supporti tecnici ed amministrativi relativamente alle proprie competenze, per la stesura della parte relativa all'individuazione delle criticità e delle conseguenti misure da adottare. I temi oggetto di indagine sono stati i seguenti:

- A salinizzazione del suolo e delle falde attraverso:
 - intrusione del cuneo salino
 - copertura con serre
- B riduzione o degrado della copertura vegetale dovuta agli incendi boschivi
- C contaminazione del suolo e dei corpi idrici
- D eccessivo sfruttamento delle risorse idriche
- E degrado del suolo
 - praterie e pascoli
 - terrazzamenti collinari
 - aree estrattive
- F urbanizzazione

Gli elementi di criticità individuati risultavano già da tempo conosciuti e affrontati dalla Regione Liguria, ancorché non in modo organico e finalizzato a perseguire il problema specifico della desertificazione, bensì a livello di ogni singolo Settore di intervento.

Numerosi possono pertanto considerarsi i "Piani", i Programmi regionali o gli Studi finalizzati alla programmazione di Settore normalmente strutturati in parte conoscitiva, programmatica e di intervento finanziario già esistenti che insieme potevano concorrere a risolvere o a definire con maggior precisione le problematiche che per la prima volta

venivano riassunte e affrontate in modo organico nel "Primo Programma di lotta alla desertificazione".

Relativamente all'intrusione del cuneo salino come primo oggetto di indagine, la relazione allegata alla DGR 605/00 evidenziava che, come in gran parte dell'Italia Meridionale, anche in Liguria l'ingressione del cuneo salino nelle pianure alluvionali costiere, riveste una grande importanza per la propensione alla desertificazione che lo stesso induce.

In particolare, in funzione delle caratteristiche idrogeologiche delle pianure alluvionali Liguri, ma principalmente per la presenza di numerosi pozzi terebrati sia per scopi irrigui che idropotabili in prossimità della linea di costa, l'avanzamento del cuneo salino dovuto principalmente al notevole emungimento di acque lungo la linea di interfaccia, risulta costante e difficilmente arrestabile.

Soprattutto in considerazione del fatto che le aree interessate dall'ingressione salina risultano le principali zone della Liguria a coltivazione intensiva, negli anni sono stati condotti numerosi studi per accertare e in taluni casi monitorare il fenomeno.

Studi approfonditi che documentano la indubbia presenza di ingressione salina sono stati condotti in passato:

- Dal Comune di Taggia nel subalveo del Torrente Argentina dove viene documentato un chiaro fenomeno di ingressione marina tale da presentare nel campo pozzi della A.A.M.A.I.E. (Azienda Autonoma Municipalizzata Acquedotto e Impianto Elettrico) valori superiori a 20 volte la Tab. A;
- Dalla Regione Liguria nei primi anni '80 nel subalveo del Torrente Impero;
- Dal Consorzio Nuova Agricoltura di Albenga e dalla Regione Liguria nella pianura alluvionale dell'Albenganese dove sono stati individuati valori incompatibili con l'utilizzo agricolo del suolo;
- Dall'ENEA alla Foce del Fiume Magra "Studio ambientale del Fiume Magra";
- Fenomeni di intrusione salina sono stati inoltre segnalati nel settembre 2002 e nell'agosto 2003 nell'acquifero costiero dei Torrenti Quiliano e Segno, i cui campi pozzi sono posti al servizio dell'acquedotto di Savona. Tale criticità è peraltro confermata dai dati dei monitoraggi di ARPAL e dai Piano di Bacino stralcio sul Bilancio Idrico.

Il problema relativo all'intrusione del cuneo salino non risultava comunque sino ad oggi, affrontato con la necessaria organicità dalla Regione e pertanto nessun Piano o Programma ha trattato quanto in argomento e di conseguenza non sono stati stanziati fondi specifici. Alcuni studi sono stati condotti su aree geograficamente definite mentre azioni di monitoraggio ricadono nel normale trend di analisi delle acque condotto dagli Enti competenti.

I temi precedentemente individuati hanno comunque portato, attraverso singole analisi specifiche, ad individuare "aree di intervento" che dimostrano ampiamente come le criticità legate ai numerosi fattori elencati risultino sostanzialmente estese su tutto il territorio ligure.

In particolare alcuni fattori di degrado, come la copertura con serre, l'intrusione del cuneo salino o il ripetuto passaggio del fuoco in aree acclivi, producono un sovrapporsi di criticità tale da individuare alcune zone come particolarmente vulnerabile alla desertificazione.

Altre aree sono state individuate in quanto i singoli fattori di degrado risultano particolarmente critici.

Da una visione d'insieme data dalla lettura della carta a scala 1:250.000, allegata alla DGR 605/00 e contenente tutti i tematismi presi in esame, emerge un quadro sufficientemente chiaro delle scelte operate in tale ambito.

Per quanto sopra, dagli elementi acquisiti e come prima analisi del problema in argomento, sono state individuate tra le aree vulnerabili o potenzialmente vulnerabili alla desertificazione, anche ai sensi dell'art. 20, comma 2 del D.Lgs 152/99, le seguenti:

Area Imperiese

L'area in esame è interessata da una forte urbanizzazione lungo la costa coronata verso ponente da una fascia acclive interamente coperta da serre.

Di contro, la parte a levante, maggiormente interessata da terrazzamenti in via di detrizione e da crinali interessati da soli arbusti risulta ripetutamente percorsa da incendi.

Le zone focive, risultano altresì interessate da una notevole ingressione salina causata, principalmente negli anni passati, da un elevatissimo emungimento estivo delle sottili falde presenti. La suscettività alla desertificazione in Provincia di Imperia e nell'area individuata risulta ulteriormente accentuata da fenomeni di siccità dovuta a particolare carenza di precipitazioni nel periodo estivo.

Area Albenganese

L'area albenganese risulta interessata da una sovrapposizione di criticità tale da poter individuare una indubbia propensione alla desertificazione

In particolare la presenza di una documentata ingressione salina, di una copertura quasi continua di serre con un indiscriminato emungimento da pozzi ha provocato una indubbia salinizzazione del suolo.

Area Genovese

I crinali che delimitano il territorio retrostante la città di Genova, presentano, una completa assenza di copertura arborea .

Le vaste aree prative presenti su versanti particolarmente acclivi e le sporadiche aree arborate risultano costantemente soggette ad incendi.

La concomitanza dei fattori produce una conseguente perdita di suolo che evolvendosi nel tempo crea indubbi elementi di degrado ambientale e pericolosità idrogeologica.

La presenza nell'area in questione di numerose ed estese cave non più in coltivazione creano una situazione di estremo degrado del suolo e dell'ambiente s.l.

Area delle Cinque Terre

Come da tutti conosciuto, la morfologia della costa spezzina ed in particolare delle cinque terre è caratterizzata dalla forte presenza di aree terrazzate

I terrazzamenti hanno costituito negli anni la principale fonte di sostentamento alla popolazione in quanto il suolo per la coltivazione della vite è stato creato lungo la sottile fascia del terrazzo. L'abbandono di tale sistema oltre ad una indubbia perdita agronomica, implica lo scoscendimento dei versanti con conseguente perdita dello strato di suolo che, con il muretto di contenimento frana irrimediabilmente verso il mare.

Area fociva del Magra

L'area è interessata da una ingente ingressione del cuneo salino sino a circa 6 Km dalla linea di costa. Il fenomeno, dovuto anche ad escavazioni del letto del Fiume interessa un territorio caratterizzato da una agricoltura intensiva e da numerosi centri abitati.

Considerato che sono state individuate, nell'ambito di un complesso di criticità, alcuni problemi emergenti soprattutto in aree indubbiamente produttive per l'intensa attività agricola, il "primo programma" approvato con DGR 605/00 doveva, attraverso azioni da attivarsi in modo tra loro integrato e mirato, nonché a supporto dei Piani settoriali esistenti, raggiungere l'obiettivo di contrastare e per quanto possibile eliminare le principali emergenze riscontrate sul territorio ligure riconducibili a:

- *la salinizzazione del suolo e della falda*
- *la perdita di sostanza organica con conseguente degrado del suolo*

Il PAL oggetto della presente relazione si inquadra pertanto nel contesto più generale delle attività volte a contrastare le criticità già messe in luce dal “primo programma regionale” approvato con DGR 605/00, del quale il PAL stesso rappresenta in sostanza una prosecuzione di carattere operativo.

1.2 Aree di intervento individuate

E' in primo luogo è opportuno ricordare brevemente che il sistema idrico ligure, il cui approvvigionamento dipende prevalentemente da corsi d'acqua brevi, con caratteristiche torrentizie, e da falde sotterranee confinate in acquiferi alluvionali di modesta estensione, situate per lo più alla foce dei corsi d'acqua e soggette quindi a potenziali fenomeni di intrusione del cuneo salino, si presenta intrinsecamente “fragile” anche di fronte alle evoluzioni climatiche, peraltro riscontrabili anche su scala globale.

Questi acquiferi, ospitati in sedimenti alluvionali generalmente contraddistinti da permeabilità medio-alte, sono spesso esposti a notevoli pressioni antropiche, anche a fronte del notevole afflusso turistico stagionale dei mesi estivi, esercitate in particolare sui territori costieri, e localmente di cospicui emungimenti a fini agricoli concentrati su alcune aree di estensione relativamente ridotta.

Delle quattro Province liguri (territorialmente corrispondenti agli ATO), tre hanno come principale fonte di approvvigionamento idrico gli acquiferi sotterranei ospitati in sedimenti alluvionali.

Solo il territorio della Provincia di Genova utilizza infatti in maniera consistente l'acqua dei bacini idrici artificiali situati oltre lo spartiacque ligure-padano, senza che questo eviti rilevanti prelievi dalle falde sotterranee, emunti in particolare dalle falde alluvionali del tratto terminale dei Torrenti Polcevera, Bisagno, Gromolo e Petronio e del Fiume Entella.

Tale sistema è infatti necessario, ad integrazione delle riserve dei bacini artificiali, per coprire i fabbisogni dovuti all'elevata concentrazione di popolazione insistente sull'ambito territoriale genovese.

Va sottolineato inoltre come due dei quattro ambiti provinciali liguri siano fortemente dipendenti da soli due corpi idrici sotterranei, presenti rispettivamente nel tratto terminale del F. Roia e del F. Magra (per il territorio della Provincia della Spezia), con un'evidente vulnerabilità intrinseca del sistema.

L'ambito territoriale della Provincia di Savona risulta invece dipendente da un numero maggiore di acquiferi sotterranei, anche se non mancano situazioni di stress idrico e forti emungimenti su singoli acquiferi, come ad esempio nel caso degli acquiferi sotterranei del Fiume Centa, a servizio della piana di Albenga, dove si concentrano anche cospicui fabbisogni idrici a fini agricoli, e del Torrente Letimbro, a servizio del sistema acquedottistico della Città di Savona.

La risorsa idrica sotterranea ricopre quindi un ruolo strategico nel fabbisogno idrico regionale.

Nella maggior parte dei casi, i pozzi destinati ad uso idropotabile e irriguo sono ubicati nelle pianure alluvionali o nei terrazzi fluviali antichi e recenti dei corsi d'acqua.

Come ricordato precedentemente, spesso le risorse idriche presenti nelle zone di pianura alluvionale sono sfruttate a tal punto da metterne in pericolo la produttività stessa e nei bacini di versante tirrenico possono, verificarsi fenomeni di intrusione del cuneo salino nelle acque di falda favoriti da eccessivi prelievi e/o periodi particolarmente siccitosi.

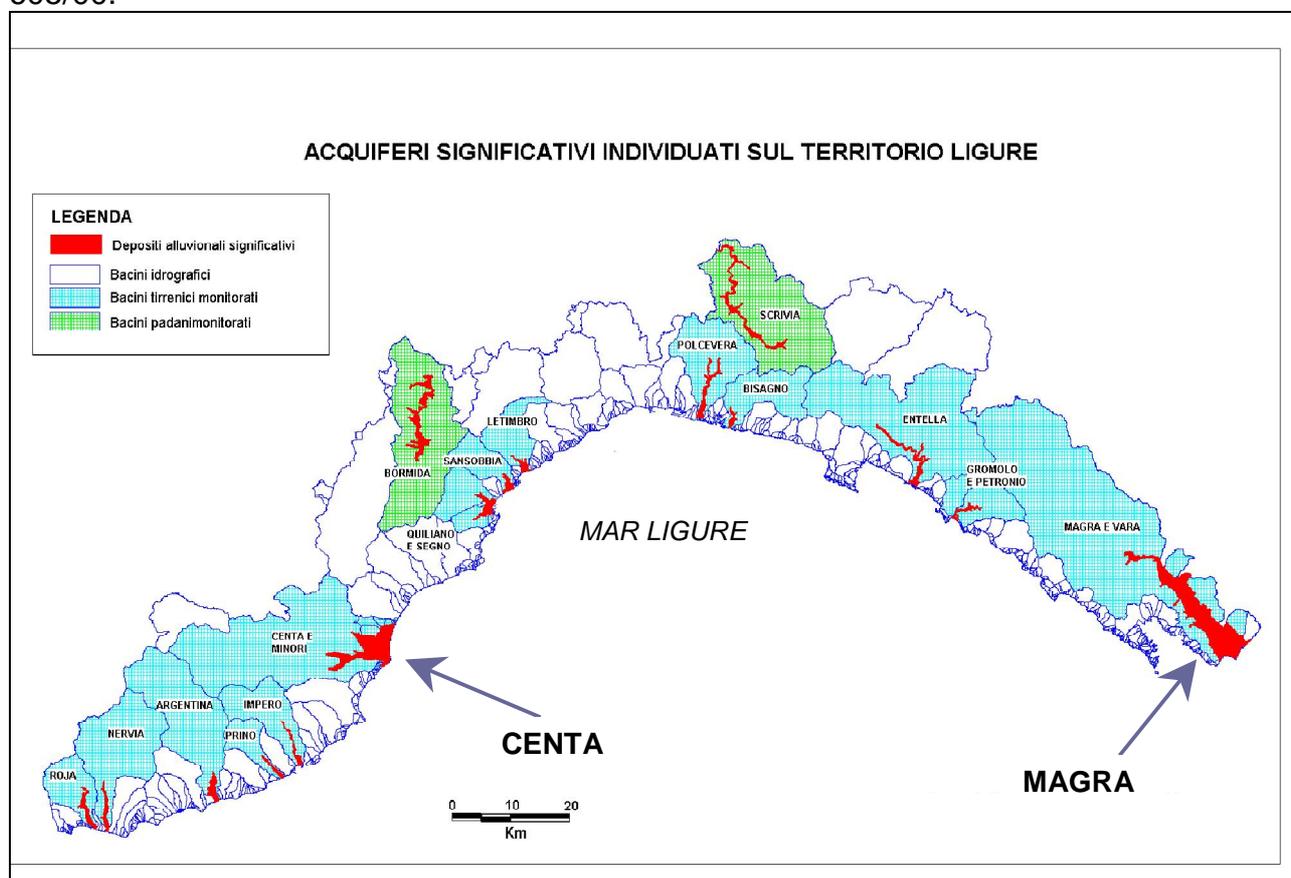
ARPAL, a partire dal 2000, monitora lo stato quali-quantitativo di tali corpi reservoir, secondo la normativa vigente, su incarico della Regione Liguria, mentre a partire dal 2007, con l'entrata in vigore della L.R. 20 del 3 agosto 2006 le stesse attività vengono svolte istituzionalmente. Relativamente al primo periodo i monitoraggi delle acque sotterranee sono stati eseguiti su tutti gli acquiferi ritenuti significativi ai sensi del D.Lgs. 152/99,

riportati in figura e tra i quali spiccano per estensione quelli relativi alle pianure terminali dei Fiumi Centa e Magra, la cui scelta è stata recepita da Regione Liguria con DGR n. 1705 del 18/12/2003. Dal 2007 i monitoraggi ambientali sono stati comunque allargati, secondo quanto previsto dalla Direttiva 2000/60/CE e dal D.Lgs. 152/06.

Per quanto brevemente sopra esposto questa Regione ha inteso perseguire gli obiettivi posti dal Programma di Azione Locale oggetto dell'Accordo sviluppando gli elementi fondanti già emersi con la più volte citata DGR 605/00.

E' stato pertanto stabilito di sviluppare prioritariamente progetti operativi con azioni specifiche di contrasto all'ingressione del cuneo salino nelle aree già individuate attraverso un programma di analisi degli elementi territoriali e alla conseguente individuazione delle azioni di mitigazione di tale problema.

In particolare, è stato stabilito di utilizzare le risorse, rese disponibili nell'ambito dell'Accordo di Collaborazione MATT/Regione Liguria, per sviluppare azioni finalizzate a monitorare e contrastare i fenomeni di salinizzazione delle falde, operando in particolare su due aree di elevata criticità, quali le pianure terminali costiere dei Fiumi Centa nell'Albenganese, nel territorio della Provincia di Savona, e Magra, in territorio della Provincia della Spezia, già a suo tempo individuate nell'ambito della citata DGR 605/00.



Acquiferi significativi individuati in Liguria (zone in rosso) e relativi bacini idrografici – Le frecce indicano gli acquiferi dei Fiumi Centa (a sinistra) e Magra (a destra): si noti come le due aree di interesse rappresentino le maggiori pianure alluvionali presenti in territorio ligure.

2 - PROGRAMMA DI AZIONE LOCALE DELLA REGIONE LIGURIA

2.1 Atti amministrativi

La cronologia degli atti tecnico - amministrativi che hanno dato origine all'Accordo di Collaborazione tra Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare e la Regione Liguria ed alla conseguente predisposizione e realizzazione del Programma di Azione Locale (PAL), di lotta alla siccità e alla desertificazione della Regione Liguria si può sintetizzare come di seguito riportato.

Novembre 2007 – Dicembre 2007

- Nel quadro più generale delle attività in corso già a partire dal 1999 e finalizzate a fronteggiare il rischio di siccità e desertificazione sul territorio nazionale, con nota prot. del n. 411/SSd/2007 del 28.11.2007, indirizzata al Presidente della Regione, il Ministero ha manifestato l'intenzione di finanziare la redazione di uno specifico Programma di Azione Locale (PAL) di lotta alla siccità e alla desertificazione.
- Con nota prot. n. 426/SSD/2007 del 06.12.2007 il Sottosegretario di Stato con delega alla desertificazione ha istituito un apposito Gruppo di Lavoro, con il compito, tra gli altri, di supportare la Regione Liguria nella fase di predisposizione del PAL.
- Il Presidente della Regione Liguria, con nota prot. n. 157846/2007 ha espresso la propria disponibilità a partecipare all'iniziativa, indicando nella figura del dott. Renzo Castello, Dirigente del Settore Assetto del Territorio del Dipartimento Ambiente, il Referente regionale.
- In virtù di quanto sopra, in data 19.12.2007 è stato siglato l'Accordo di Collaborazione tra Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare e la Regione Liguria, nella persona del Referente, finalizzato alla collaborazione per la realizzazione di un Programma di Azione Locale (PAL), di lotta alla siccità e alla desertificazione, che prevede, in particolare, lo stanziamento, da parte del Ministero, di un contributo complessivo pari a Euro 30.000,00.

Gennaio 2008 - Luglio 2008

- Il Settore Assetto del Territorio del Dipartimento Ambiente della Regione Liguria ha predisposto uno specifico programma di azione locale che si proponeva di utilizzare le risorse rese disponibili dal Ministero per sviluppare azioni di finalizzate a contrastare i fenomeni intrusione del cuneo salino e salinizzazione delle falde, operando in particolare su due aree di elevata criticità, quali le piane costiere dei Fiumi Centa (SV) e Magra (SP).
- Con nota prot. DDS/2008/06138 del 27.05.2008 il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare ha comunicato l'approvazione del suddetto PAL da parte dell'apposito Gruppo di Lavoro.
- Con D.G.R. 895 del 25.07.2008 è stato ratificato l'Accordo di Collaborazione tra Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare e Regione Liguria e confermato il Programma di Azione Locale di lotta alla siccità e alla desertificazione

(PAL), già predisposto dal Settore Assetto del Territorio in attuazione dell'art. 2 dello stesso Accordo.

Agosto 2008 – Gennaio 2009

- Nel mese di Dicembre '08 è stata predisposta la relazione intermedia del Programma, che è stata successivamente inviata al Ministero, con nota prot. PG/2009/8168 del 19.01.2009, per la necessaria approvazione, secondo quanto previsto dall'Accordo, chiedendo contestualmente una proroga al termine delle attività alla fine del mese di novembre 2009.
- Con nota prot. DDS/2009/00906 del 30.01.2009 il Ministero ha comunicato l'approvazione della relazione intermedia e ha concesso la proroga al termine fissato per la chiusura delle attività.

Febbraio 2009 – Dicembre 2009

- Al termine del mese di novembre 2009 sono state concluse le attività ed è stata predisposta la presente relazione conclusiva, completa di allegati e cartografie, da sottoporre all'approvazione dell'apposito Gruppo di Lavoro del Ministero secondo quanto previsto dall'Accordo.
- A conclusione del PAL è previsto lo svolgimento di opportune attività divulgative, anche attraverso l'organizzazione di specifici incontri in loco e la diffusione di apposita documentazione.

2.2 Aspetti finanziari e soggetti coinvolti

Il contributo reso disponibile dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare per la realizzazione delle attività del PAL ammonta a complessivi € 30.000,00, che sono stati erogati in quote successive in funzione degli stadi di avanzamento del Programma.

In primo luogo occorre evidenziare il fatto che è stato possibile contenere il costo delle attività in quanto per l'esecuzione delle stesse, si è fatto in gran parte ricorso a personale interno già presente nelle diverse strutture regionali coinvolte, con le competenze necessarie (geologo, agronomo, chimico, ingegnere, informatico), nonché delle attrezzature già in dotazione nelle rispettive strutture. In tal modo si è potuto utilizzare gran parte delle limitate risorse disponibili per coprire i costi delle attività di campionamento e rilievo dati in esterno, per le quali è stato necessario ricorrere in parte a personale esterno (agronomo-tecnico agricolo), nonché per l'acquisto di materiali finalizzati all'espletamento delle attività, non disponibile o insufficiente nelle normali dotazioni.

Si è ritenuto opportuno inoltre utilizzare una quota del finanziamento per coprire i costi di ARPAL, che ha fornito l'indispensabile supporto tecnico-scientifico, tenuto conto anche delle specifiche competenze nel campo del monitoraggio dei corpi idrici significativi regionali in capo alla stessa ARPAL.

Infine una modesta quota è stata riservata per l'organizzazione di eventi divulgativi in loco a conclusione delle attività e per la stampa del materiale finale.

Per lo svolgimento delle attività del PAL è stata sviluppata, in particolare, una stretta collaborazione tra i seguenti uffici:

- Il Settore Assetto del Territorio del Dipartimento Ambiente della Regione, quale soggetto coordinatore delle attività.
- Il Settore Servizi alle Imprese Agricole del Dip. Agricoltura, Turismo e Protezione Civile della Regione, che si avvalso operativamente del CAAR e Laboratorio Regionale Analisi Terreni e Produzioni Vegetali di Sarzana, che ha curato in particolare l'esecuzione dei campionamenti del suolo e delle acque.
- ARPAL – Unità Tecnica Complessa Regionale, quale supporto tecnico scientifico.

Al fine di coordinare le attività del gruppo di lavoro e di acquisire anche informazioni e collaborazione da parte di soggetti esterni, a diverso titolo interessati alle attività sviluppate, sono state svolte numerose riunioni, anche direttamente in loco sui due siti di interesse.

Di seguito si riporta una tabella indicante le principali riunioni svolte.

Data	Luogo	Argomento/attività	Soggetti Coinvolti
Luglio 08	Genova	Coordinamento	Regione Liguria (Assetto Territorio, Imprese Agricole), Arpal
26/08/08	Albenga	Nell'ambito di riunione su ZVN informazione preliminare sul progetto	Regione Liguria (Coordinamento Ispettorati Agrari, Imprese Agricole), CCIAA-Cersaa, Comuni, C.Montane, OOPP agricole
20/11/08	Genova	Resoconto attività	Regione Liguria (Assetto Territorio, Imprese Agricole), Arpal
15/12/08	Sarzana	Informazione, richiesta dati, collaborazione	Regione Liguria (Assetto Territorio, Imprese Agricole), Arpal, Provincia SP, Autorità di Macino F. Magra, Parco Montemarcello-Magra, Consorzio Irriguo Canale lunense, U.R.T.T. di Massa-Carrara, ACAM.
13/07/09	Genova	Resoconto attività	Regione Liguria (Assetto Territorio, Imprese Agricole), Arpal
13/10/09	Genova	Predisposizione elaborati finali	Regione Liguria (Assetto Territorio, Imprese Agricole), Arpal
23/11/09	Genova	Predisposizione elaborati finali	Regione Liguria (Assetto Territorio, Imprese Agricole), Arpal
26/11/09	Sarzana	Informazione, collaborazione	Regione Liguria (Assetto Territorio, Imprese Agricole), Autorità di Macino F. Magra
03/12/09	Sarzana	Informazione, collaborazione	Regione Liguria (Assetto Territorio), Autorità di Macino F. Magra

2.3 Aspetti metodologici generali

Dal punto di vista metodologico le azioni hanno seguito l'approccio di acquisire e valutare preventivamente le informazioni esistenti, per poi pianificare le nuove indagini.

L'iter cronologico delle diverse sottoazioni attuate è stato il seguente:

- La ricognizione documentale;
- La ricerca dei dati disponibili;
- La definizione della scheda di rilievo e campionamento per nuovi pozzi agricoli campionati;
- La fase di campionamento ex novo su pozzi e suoli agricoli;
- Le analisi di laboratorio;
- Archiviazione dei dati ed elaborazione cartografica.

Ricognizione documentale

La ricognizione documentale, avviata inizialmente tramite il coinvolgimento dei soggetti direttamente implicati nell'espletamento delle attività a progetto (Regione e ARPAL), è stata e sarà estesa ad altri soggetti interessati nelle due aree (es. Province, Autorità di Bacino, altri Enti territoriali, aziende municipalizzate) ed ha portato al reperimento della specifica documentazione pregressa disponibile per le due aree di interesse.

Ricerca dei dati disponibili

In questa fase sono stati acquisiti gli i dati ambientali disponibili per le due aree presenti in database ed in particolare i dati dei campionamenti di Arpal per gli anni 2001 – 2008 su i pozzi, i dati dei campionamenti in alveo effettuati nell'estate 2009 da Arpal sul tratto terminale del Fiume Magra, i dati idro-meteo ed i dati relativi ai parametri pedologici derivanti dalla carta dei suoli 1:250.000 della Regione Liguria.

Definizione della scheda di rilievo e campionamento

Successivamente sono state quindi definite apposite schede per i nuovi rilievi e campionamenti previsti.

Lo scopo della scheda, è stato quello di permettere l'acquisizione di una serie di informazioni, articolate ed elaborabili, ritenute necessarie nella fase di analisi.

La scheda (vedi Allegato 1) riporta, oltre agli spazi relativi alle informazioni di progetto quali localizzazione stazione (coordinate geografiche), caratteristiche costruttive del pozzo, profondità di prelievo, anno di costruzione, caratteristiche dell'appezzamento agricolo campionato (quali ad esempio colture praticate e avvicendamenti, tipologie di lavorazioni, problematiche evidenziate dal produttore ed eventuale stagionalità), anche indicazioni tecniche sulle modalità di prelievo e conservazione dei campioni di acqua e suolo.

Campionamento ex novo su pozzi e suoli agricoli

Per l'esecuzione dell'ampliamento d'indagine, compatibilmente con le risorse disponibili, sono stati pianificati in ogni area due campionamenti il primo collocato temporalmente nel periodo autunno-inverno (periodo in cui la portata e le precipitazioni sono massime) ed uno nel periodo estivo (15 luglio-15 agosto, periodo di "secca").

L'esecuzione dei campionamenti è stata affidata per la zona Val di Magra all'Azienda Agricola Dimostrativa, mentre per la zona Albenganese al Centro Regionale di Sperimentazione ed Assistenza Agricola (CeRSAA) di Albenga.

Entrambe le strutture hanno già collaborato in attività regionali e dispongono di personale tecnico qualificato e nell'incarico affidato sono stati opportunamente definiti i dettagli operativi.

Per entrambe le zone sono stati effettuati circa 30 campioni di suoli e corrispondenti acque irrigue dei pozzi.

Analisi di laboratorio

Sono state individuate le seguenti metodiche:

- Per i suoli: DM 13/09/99 GU n. 248 del 21/10/1999;
- Per le acque irrigue: DM 23/03/2000 GU n. 87 del 13/04/2000.

Sui campioni sono state eseguite un set di determinazioni ampio anche per valutare, oltre agli aspetti connessi alla salinità/salinizzazione, anche aspetti agronomici.

A titolo esemplificativo si allegano due rapporti di prova tipo per acque e suoli (Allegati 2 e 3), in cui possono essere ricavate le informazioni dettagliate su parametri determinati e relative metodiche.

Archiviazione dei dati ed elaborazione cartografica

I dati acquisiti sono stati archiviati in un formato facilmente elaborabile e trasferibile.

Allo scopo è stato realizzato un database Access che ha comunque consentito l'estrazione di tabelle e, tramite software specifici in ambiente GIS (Geomedia e Mapinfo), di predisporre delle elaborazioni cartografiche allo scopo di visualizzare la collocazione spaziale dei dati disponibili e fornire il supporto necessario alle analisi di tipo tecnico.

2.4 Problematiche di desertificazione per salinizzazione dei suoli e delle falde

Salinizzazione dei suoli

La **salinizzazione** può essere definita l'accumulo di sali solubili di sodio, magnesio e calcio nel terreno che determina generalmente una notevole riduzione di fertilità.

Salinità esprime il contenuto in sali disciolti presenti nella soluzione circolante e solitamente è espressa in per mille (grammi per chilogrammo).

L'acqua di mare normalmente ha valori di 33 g/kg e raggiunge i 40 nel Mar Rosso.

Salinizzazione è il processo che porta ad un aumento eccessivo di sali solubili nel terreno. I sali accumulati comprendono gli ioni sodio, potassio, magnesio e calcio, cloruro, solfato, carbonato e bicarbonato (soprattutto derivanti dai sali cloruro di sodio e solfato di sodio). Una distinzione può essere fatta tra salinizzazione **primaria** e **secondaria**.

La **salinizzazione primaria** comporta l'accumulo di sale attraverso processi naturali a causa di un elevato contenuto di sale del materiale pedogenetico che ha generato il suolo o per infiltrazione di acque sotterranee salate.

La **salinizzazione secondaria** è causata da interventi umani, come pratiche di irrigazione inappropriate, ad esempio con acque irrigue eccessivamente ricche in sali e/o per pratiche agronomiche inadeguate (es. formazione della suola di aratura che determina un drenaggio insufficiente).

Per **Sodificazione** si intende il processo mediante il quale si ha un incremento del sodio scambiabile (Na^+) contenuto nel suolo.

Lo ione Na^+ si accumula nelle fasi solida e/o liquida del suolo come NaHCO_3 cristallizzato, come sali di Na_2CO_3 ("efflorescenze"), o come ioni presenti nella soluzione di suoli fortemente alcalini (alcalinizzazione), o come ioni scambiabili nel complesso di assorbimento del suolo.

La Salinizzazione, è spesso associata a superfici in cui le ridotte precipitazioni, i tassi di evapotraspirazione elevata o le caratteristiche della tessitura del suolo impediscono l'eliminazione dei sali, che conseguentemente si accumulano negli strati superficiali del suolo. L'irrigazione con acque ad alto contenuto salino aggrava ulteriormente il problema.

Nelle zone costiere, la salinizzazione può essere associata alla domanda eccessiva (prelievo) delle acque sotterranee oltre che per usi agricoli ed industriali anche per la

crescente urbanizzazione. Il prelievo eccessivo delle acque sotterranee può abbassare la falda e portare all'intrusione di acqua marina.

La Salinità è uno dei più diffusi processi di degrado del suolo sulla terra. Secondo alcune stime, la superficie totale di suolo interessato è circa un miliardo di ettari. Nell'Unione Europea allargata, la salinizzazione del suolo interessa circa da 1 a 3 milioni di ettari ed è localizzata soprattutto nei paesi del Mediterraneo. E' considerata come una delle principali cause della desertificazione e quindi è una grave forma di degrado del suolo. Salinizzazione e sodificazione sono tra i principali processi di degrado e di minaccia per l'uso potenziale dei suoli europei.

I suoli con problemi di salinità possono essere suddivisi in cinque gruppi principali:

- Suoli salini (Solonchak) con elevata quantità di sali solubili in acqua.
- Suoli alcalini (Solonetz), con alcalinità alta e alta percentuale di sodio scambiabile (ESP).
- Suoli magnesiaci: alto contenuto di magnesio nella soluzione del suolo.
- Suolo gessosi (Gypsiferous soil): forte accumulo di gesso o solfato di calcio (CaSO_4).
- Suoli acido-solfatici: con elevato accumulo di ferro o solfato di alluminio.

In Europa, i primi due gruppi sono i più significativi.

I fattori che determinano l'accumulo di sale in un suolo sono i seguenti:

- agenti di trasporto (come acqua o vento) che accumulano sali da ampie aree a depositi localizzati;
- limitate condizioni di drenaggio verticale o orizzontale;
- forze trainanti per il movimento della soluzione, come deflusso superficiale (surface runoff), gradiente idraulico (groundwater flow), suzione (trasporto capillare) o gradiente di concentrazione (diffusione);
- bilancio idrico negativo (evapotraspirazione maggiore di precipitazioni).

Due tipi principali di accumulo di sali nel suolo possono essere individuati in Europa:

- L'accumulo di sale continentale a causa di agenti atmosferici estremi e clima arido o dovuto a condizioni idro-geologiche (ad esempio bacini evaporanti chiusi).
- Accumulo di sali indotto da cause umane per l'applicazione impropria di alcune pratiche nei suoli agrari (ad esempio l'irrigazione o l'impiego di fertilizzanti).

Per valutare la salinità di un suolo, un metodo molto utilizzato è quello di misurare la conducibilità elettrica della soluzione acquosa ottenuta dopo avere saturato il suolo (estratto a saturazione o pasta satura ECps). Dal punto di vista analitico per semplificare la procedura si ricorre spesso ad estratti ottenuti in un determinato rapporto soluzione:suolo.

Nello studio è stato adottato il **Metodo IV.1 – “DETERMINAZIONE DELLA CONDUTTIVITA' ELETTRICA”** del DM 13/09/99 GU n. 248 del 21/10/1999 che prevede il rapporto acqua:suolo di 5:1.

I valori così ottenuti ($EC_{5:1}$) sono stati poi convertiti per i necessari confronti ed elaborazioni al fine di ottenere una stima degli estratti a saturazione (ECps) moltiplicandoli per il fattore 6,5 sulla base dei riferimenti riportati nella figura seguente (da E. Barberis).

Stima della EC_{ps} da misure di EC a diversi rapporti soluzione: suolo

Equazione	Reference
$EC_{ps} = EC_{5:1} * 5$	SISS
$EC_{ps} = EC_{5:1} * 6,4$	Talsma (1968) per suoli con poco gesso
$EC_{ps} = EC_{5:1} * 6,5$	Loveday et al., (1972) per suoli con poco gesso
$EC_{ps} = EC_{5:1} * 6,44 - 0,102$	Murray(1980) per suoli con poco gesso
$EC_{ps} = EC_{5:1} * 6,08 - 0,937$	Shaw (1981) per suoli con poco gesso
$EC_{ps} = EC_{5:1} * (2,46 + 3,03/SP)$	Slavich et al. (1993)
$EC_{ps} = 4 * EC_{2,5:1}$	
$EC_{2,5:1} = -0,3296 * (EC_{5:1})^2 + 2,6229 * EC_{5:1} + 0,0756$	

Ottenere i valori di conducibilità dell'estratto a saturazione è particolarmente importante perché sulla base di tale parametro vengono individuate le classi di rischio da salinità per i suoli, come riportato in seguito (fonte Regione Campania).

conduttività elettrica	salinità	Effetti
Inferiore a 4 dS/m	Assente	Gli effetti della salinità sulla crescita delle colture agrarie sono trascurabili; tuttavia le colture arboree possono manifestare riduzioni delle rese.
tra 4 e 8 dS/m	Lieve	È influenzata la crescita di molte colture agrarie, come le colture ortive, la fragola ed i fruttiferi. Le produzioni si riducono significativamente.
tra 8 e 16 dS/m	Moderata	Solo piante tolleranti la salinità riescono a crescere, ma le produzioni sono fortemente ridotte.
superiore a 16 dS/m	Forte	Tutte le colture agrarie non tollerano tali livelli di salinità. Solo le alofite riescono a crescere.

Salinizzazione delle falde

Qualità dell'acqua irrigua

La qualità di un'acqua irrigua è tanto più elevata quanto più bassi risultano i rischi potenziali derivanti dal suo impiego.

Infatti anche un'acqua idonea per l'irrigazione, se utilizzata male può provocare effetti negativi per la coltura o il suolo (es. eccessivo dilavamento degli elementi nutritivi già presenti nel suolo, effetti negativi sulla stabilità della struttura del suolo).

Le problematiche connesse all'impiego dell'acqua irrigua sono essenzialmente dovute a:

- elevata concentrazioni di **sali** solubili;
- elevata concentrazione di **sodio** specie se associata a bassa concentrazione di calcio (problemi di infiltrazione);
- presenza di **elementi tossici** (es. sodio, cloruri o boro) che possono accumularsi nel suolo o nella pianta e ridurre la produzione;

- **altre cause** di limitazione possono essere l'eccessiva presenza di nutrienti, di sostanze che possono depositarsi su foglie o frutti o provocare fenomeni corrosivi su tubazioni e impianti.

Per valutare l'idoneità irrigua, da autori diversi sono stati proposti dei criteri al fine di individuare, per i principali parametri, dei limiti di riferimento e nella tabella seguente sono riportate le principali determinazioni di laboratorio e gli intervalli di accettabilità previsti dalla FAO per le acque irrigue.

Determinazioni di laboratorio necessari a valutare le principali problematiche dell'acqua irrigua (FAO)				
Parametro	Simbolo	U.M.	Intervallo normale per acqua irrigua	
SALINITA'				
Contenuto in sali				
Conducibilità Elettrica (o)	EC _w	dS/m	0 – 3	dS/m
Totale Solidi Disciolti	TDS	mg/l	0 – 2000	mg/l
Cationi e Anioni				
Calcio	Ca ⁺⁺	me/l	0 – 20	me/l
Magnesio	Mg ⁺⁺	me/l	0 – 5	me/l
Sodio	Na ⁺	me/l	0 – 40	me/l
Carbonato	CO ₃ ⁻	me/l	0 – .1	me/l
Bicarbonato	HCO ₃ ⁻	me/l	0 – 10	me/l
Cloruri	Cl ⁻	me/l	0 – 30	me/l
Solfati	SO ₄ ⁻⁻	me/l	0 – 20	me/l
NUTRIENTI				
Azoto-Nitrico	NO ₃ -N	mg/l	0 – 10	mg/l
Azoto Ammoniacale	NH ₄ -N	mg/l	0 – 5	mg/l
Fosforo come Fosfato	PO ₄ -P	mg/l	0 – 2	mg/l
Potassio	K ⁺	mg/l	0 – 2	mg/l
VARIO				
Boro	B	mg/l	0 – 2	mg/l
Acidità/Basicità	pH	1-14	6.0 – 8.5	
SAR (Sodium Adsorption Ratio)	SAR	(me/l)	0 – 15	

Anche Giardini e altri hanno proposto una classificazione più ampia per valutare la qualità dell'acqua irrigua in funzione dei fattori di rischio agronomici, igienici ed ambientali.

Nella tabella sotto sono riportati i limiti di accettabilità per i parametri chimici fondamentali e le acque vengono classificate con una scala da I a IV a seconda della loro qualità: le acque di **classe I** sono di ottima qualità irrigua mentre quelle di classe IV di pessima qualità. L'attribuzione di una classe avviene anche quando **un solo** parametro ha i valori compresi nei limiti previsti per tale classe.

Le acque di **seconda classe** prevedono una certa attenzione nell'uso in particolare per quanto riguarda il volume irriguo annuo che dovrà essere determinato sulla base della concentrazione dell'inquinante reperito per evitare fenomeni di fitotossicità ed accumulo.

Le acque di **terza classe** sono idonee ad un uso di soccorso con bassa frequenza irrigua (una irrigazione ogni due o tre anni) su colture tolleranti e con metodi irrigui ad alta efficienza.

Le acque di **quarta classe** non sono idonee all'uso irriguo se non in casi eccezionali.

La classificazione appena esposta sarà utilizzata per valutare i risultati emersi dall'indagine.

Limiti di accettabilità per i parametri chimici fondamentali delle acque irrigue (da Giardini et al. 1993)

Parametri	Unità mis.	Classe I	Classe II	Classe III	Classe IV
pH	-	6.0 - 8.5	5-6 / 8.5-9	4-5/9-10	<4 - >10
Conduttività (EC _w)	µS / cm	<750	750 - 2500	2500-4000	>4000
SAR	-	<6	6 - 20	20 - 28	>28
Sodio	mg / l	<50	50 - 180	180 - 210	>210
Cloruri	mg / l	<100	100 - 250	250 - 350	>350
Solfati	mg / l	<100	100 - 2500	2500-3800	>3800
Boro	mg / l	<0.3	0.3 - 2	2 - 4	>4
Cromo trivalente	mg / l	<0.1	0.1 - 1	1 - 1.2	>1.2
Cromo esavalente	mg / l	<0.003	0.003-0.03	0.03-0.05	>0.05
Cadmio	mg / l	<0.003	0.003-0.03	0.03- 0.06	>0.06
Rame	mg / l	<0.2	0.2-5	5-6	>6
Mercurio	mg / l	<0.004	0.004- 0.04	0.04-0.12	>0.12
Nichel	mg / l	<0.2	0.2-2	2-2.4	>2.4
Piombo	mg / l	<1	1-10	10-12	>12
Selenio	mg / l	<0.002	0.002-0.02	0.02-0.03	>0.03
Zinco	mg / l	<2	2-10	10-12	>12
Alluminio	mg / l	<5	5-20	20-24	>24
Berillio	mg / l	<0.1	0.1-0.35	0.35-0.60	>0.60
Cobalto	mg / l	<0.05	0.05-4	4-5	>5
Ferro	mg / l	<2	2-5	5-20	>20
Litio	mg / l	<1	1-2.5	2.5-5	>5
Manganese	mg / l	<0.2	0.2-10	10-12	>12
Fluoro	mg / l	<1	1-15	15-18	>18
Molibdeno	mg / l	<0.01	0.01-0.02	0.02-0.05	>0.05
Vanadio	mg / l	<0.1	0.1-1	1-1.2	>1.2
Arsenico	mg / l	<0.02	0.02-0.2	0.2-0.6	>0.6
Tensioattivi	mg / l	<0.5	0.5-1	1-2	>2
Olii minerali	mg / l	<5.0	5-10	10-20	>20
Grassi animali e vegetali	mg / l	<20	20-40	40-80	>80
Fenoli	mg / l	<0.5	0.5-5	5-50	>50
Aldeidi	mg / l	<0.4	0.4-0.8	0.8-1	>1
Solventi org. aromatici	mg / l	<0.02	0.02-0.04	0.04-0.2	>0.2
Solventi org. azotati	mg / l	<0.025	0.025-0.05	0.05-0.1	>0.1
Solventi clorurati	mg / l	<0.2	0.2-0.4	0.4-1	>1
Cianuri	mg / l	<0.05	0.05-0.1	0.1-0.2	>0.2
Mercaptani	mg / l	<0.15	0.15-0.3	0.3-0.5	>0.5
Policlorodifenili	µg / l	-	-	-	>0.01
Fitofarmaci totali	mg / l	<0.05	0.05-0.08	0.08-0.1	>0.1
Fitofarmaci clorurati	mg / l	<0.015	0.015-0.03	0.03-0.05	>0.05
Fitofarmaci fosforati	mg / l	<0.05	0.05-0.01	0.1-0.2	>0.1

(Da Giardini, L et al., 1993)

La salinità e le problematiche connesse alle acque saline

Questi argomenti sono ampiamente trattati sul sito <http://www1.inea.it/otris/index.html> relativo al Progetto di ricerca e divulgazione "OTRIS" – "Ottimizzazione dell'uso delle risorse idriche, convenzionali e non, in sistemi colturali sostenibili". In particolare quanto segue fa ampio riferimento all'articolo "Qualità dell'acqua e tecniche irrigue" di Angelo Caliandro - Dipartimento di Scienze delle Produzioni Vegetali, Facoltà di Agraria – Bari (<http://www1.inea.it/otris/salinita/caliandro.htm>).

Il problema di salinità emerge quando l'accumulo di sali a livello delle radici raggiunge una concentrazione tale da causare perdita di produzione.

Con acque saline gli aspetti fondamentali da tenere presente sono:

1. la tolleranza alla salinità delle colture da irrigare;
2. la progressiva salinizzazione e/o sodificazione dei terreni;
3. i fenomeni di tossicità.

La tolleranza delle colture alla salinità varia ampiamente tra le diverse specie, pertanto, la possibilità di utilizzazione di un'acqua a scopo irriguo dipende dalla coltura da irrigare.

Numerose ricerche hanno contribuito a stabilire, entro certi limiti, il grado di tolleranza delle differenti colture alla salinità, ed hanno permesso a diversi Autori di approntare tabelle di tolleranza, in cui sono indicate anche le riduzioni delle produzioni al variare della salinità dell'acqua irrigua e della presumibile salinità dell'estratto da pasta satura.

I limiti di tolleranza alla salinità, proposti per un congruo numero di colture, sono riportati nella tabella seguente.

Tab. 2 - Indicazioni generali sui limiti di tolleranza di alcune specie di interesse agrario e loro produttività potenziale in rapporto alla salinità del terreno (ECe) e dell'acqua d'irrigazione (ECw).⁽¹⁾
(Da Ayers e Westcot, 1985).

Specie vegetali	Produzione potenziale rispetto alla massima									
	100%		90%		75%		50%		0%	
	ECe	ECw	ECe	ECw	ECe	ECw	ECe	ECw	ECe	ECw
COLTURE DA PIENO CAMPO										
Orzo	8,0	5,3	10,0	6,7	13,0	8,7	18,0	12,0	28,0	19,0
Colone	7,7	5,1	9,6	6,4	13,0	8,4	17,0	12,0	27,0	18,0
Bietola da zucchero	7,0	4,7	8,7	5,8	11,0	7,5	15,0	10,0	24,0	16,0
Sorgo	6,8	4,5	7,4	5,0	8,4	5,6	9,9	6,7	13,0	8,7
Grano tenero	6,0	4,0	7,4	4,9	9,5	6,3	13,0	8,7	20,0	13,0
Grano duro	5,7	3,8	7,6	5,0	10,0	6,9	15,0	10,0	24,0	16,0
Soia	5,0	3,3	5,5	3,7	6,3	4,2	7,5	5,5	10,0	6,7
Arachide	3,2	2,1	3,5	2,4	4,1	2,7	4,9	3,3	6,6	4,4
Riso	5,0	2,0	3,8	2,6	5,1	3,4	7,2	4,8	11,0	7,6
Mais	1,7	1,1	2,5	1,7	3,8	2,5	5,9	3,9	10,0	6,7
Lino	1,7	1,1	2,5	1,7	3,8	2,5	5,9	3,9	10,0	6,7
Fava	1,5	1,1	2,6	1,8	4,2	2,0	6,8	4,5	12,0	8,0
Fagiolo	1,0	0,7	1,5	1,0	2,3	1,5	3,6	2,4	6,3	4,2
COLTURE ORTICOLE										
Zucchino	4,7	3,1	5,8	3,8	7,4	4,9	10,0	6,7	15,0	10,0
Bietola da orto	4,0	2,7	5,1	3,4	6,8	4,5	9,6	6,4	15,0	10,0
Zucca	3,2	2,1	3,8	2,6	4,8	3,2	6,3	4,2	9,4	6,3
Cavolo broccolo	2,8	1,9	3,9	2,6	5,5	3,7	8,2	5,5	14,0	9,1
Pomodoro	2,5	1,7	3,5	2,3	5,0	3,4	7,6	5,0	13,0	8,4
Cetriolo	2,5	1,7	3,3	2,2	4,4	2,9	6,3	4,2	10,0	6,8
Spinacio	2,0	1,3	3,3	2,2	5,3	3,5	8,6	5,7	15,0	10,0
Sedano	1,8	1,2	3,4	2,3	5,8	3,9	9,9	6,6	18,0	12,0
Cavolo	1,8	1,2	2,8	1,9	4,4	2,9	7,0	4,6	12,0	8,1
Patata	1,7	1,1	2,5	1,7	3,8	2,5	5,9	3,9	10,0	6,7
Peperone	1,5	1,0	2,2	1,5	3,3	2,2	5,1	3,4	8,6	5,8
Lattuga	1,3	0,9	2,1	1,4	3,2	2,1	5,1	3,4	9,0	6,0
Ravanello	1,2	0,8	2,0	1,3	3,1	2,1	5,0	3,4	8,9	5,9
Cipolla	1,2	0,8	1,8	1,2	2,8	1,8	4,3	2,9	7,4	5,0
Carota	1,0	0,7	1,7	1,1	2,8	1,9	4,6	3,0	8,1	5,4
COLTURE FORAGGERE										
Agropiro	7,5	5,0	9,9	6,6	13,0	9,0	19,0	13,0	31,0	21,0
Orzo da foraggio	6,0	4,0	7,4	4,9	9,5	6,4	13,0	8,7	20,0	13,0
Loietto	5,6	3,7	6,9	4,6	8,9	5,9	12,0	8,1	19,0	13,0
Ginestrino	5,0	3,3	6,0	4,0	7,5	5,0	10,0	6,7	15,0	10,0
Festuca	3,9	2,6	5,5	3,6	7,8	5,2	12,0	7,8	20,0	13,0
Veccia	3,0	2,0	3,9	2,6	5,3	3,5	7,6	5,0	12,0	8,1
Vigna da foraggio	2,5	1,7	3,4	2,3	4,8	3,2	7,1	4,8	12,0	7,8
Medica	2,0	1,3	3,4	2,2	5,4	3,6	8,8	5,9	16,0	10,0
Mais da foraggio	1,8	1,2	3,2	2,1	5,2	3,5	8,6	5,7	15,0	10,0
Trifogliolessandrino	1,5	1,0	3,2	2,2	5,9	3,9	10,0	6,8	19,0	13,0
Erba mazzolina	1,5	1,0	3,1	2,1	5,5	3,7	9,6	6,4	18,0	12,0
Trifoglio pratense e landino	1,5	1,0	2,0	1,6	3,6	2,4	5,7	3,8	9,8	6,6
COLTURE ARBOREE										
Olivo	2,7	1,8	3,8	2,6	5,5	3,7	8,4	5,6	14,0	9,3
Pompelmo	1,8	1,2	2,4	1,6	3,4	2,2	4,9	3,3	8,0	5,4
Arancio e limone	1,7	1,1	2,3	1,6	3,3	2,2	4,8	3,2	8,0	5,3
Pesce	1,7	1,1	2,2	1,5	2,9	1,9	4,1	2,7	6,5	4,3
Pera, melo, noce	1,7	1,0	2,3	1,6	3,3	2,2	4,8	3,2	8,0	5,3
Albicocco	1,6	1,1	2,0	1,3	2,6	1,8	3,7	2,5	5,8	3,8
Vite	1,5	1,0	2,5	1,7	4,1	2,7	6,7	4,5	12,0	7,9
Mascherlo	1,5	1,0	2,0	1,4	2,8	1,9	4,1	2,8	6,8	4,5
Prugno	1,5	1,0	2,1	1,4	2,9	1,9	4,3	2,9	7,1	4,7
Fragola	1,0	0,7	1,3	0,9	1,8	1,2	2,5	1,7	4,0	2,7

⁽¹⁾ ECe e ECw indicano, rispettivamente, la conducibilità elettrica, espressa in dS/m, dell'estratto saturo del terreno interessato dall'apparato radicale e dell'acqua d'irrigazione.

Tali limiti, però, non devono essere considerati assoluti in quanto situazioni locali particolari (tipo di terreno, tecnica colturale, regime irriguo, metodo irriguo, andamento climatico durante il ciclo colturale, ecc.) potrebbero determinare variazioni anche sensibili. La resistenza alla salinità delle singole specie varia, inoltre, con la varietà, con la fase fenologica, con il portinnesto e con la domanda evapotraspirativa dell'ambiente.

Per la maggior parte delle colture, anche per quelle resistenti alla salinità, la fase di germinazione è la più sensibile; inoltre, le colture arboree sono più sensibili delle colture erbacee, tra queste ultime le colture a ciclo autunno-vernino sono più resistenti di quelle a ciclo primaverile-estivo.

Gli effetti negativi della salinità delle acque, infatti, aumentano con l'aumentare della domanda evapotraspirativa dell'ambiente in quanto all'aumentare di quest'ultima aumenta il flusso di acqua dal terreno all'atmosfera attraverso la pianta; ciò porta ad una perdita maggiore di acqua e quindi ad una maggiore concentrazione.

E' stato già accennato che l'irrigazione con acque saline pone problemi di limitazioni per la coltura e di alterazione delle proprietà fisiche del terreno, quindi della sua fertilità.

All'aumentare della salinità dell'acqua, infatti, aumenta la sua pressione osmotica, di conseguenza il potenziale totale dell'acqua del terreno si abbassa e la disponibilità dell'acqua per la pianta si riduce. La disponibilità dell'acqua per la pianta, però, si riduce non solo per effetto dell'aumento della salinità dell'acqua d'irrigazione ma, con un determinato tipo di acqua, anche dall'inizio alla fine della stagione irrigua, per il progressivo accumulo di sali lungo il profilo del terreno durante la stagione irrigua, e nell'intervallo tra due adacquate successive; dalla fine di un'adacquata all'inizio della successiva, infatti, il potenziale idrico dell'acqua del terreno si abbassa, la concentrazione salina dell'acqua residua nel terreno aumenta, con conseguente abbassamento del potenziale osmotico.

Ripercussioni negative della salinità sulle colture possono derivare anche dalla presenza nell'acqua d'irrigazione di sostanze, come Na, Cl e B che, in quantità superiori ai limiti tollerati dalle colture irrigate, determinano fenomeni di tossicità.

Le manifestazioni di fenomeni di tossicità possono essere indipendenti dalla concentrazione totale di soluti, sono tipiche per ogni elemento e sono visibili principalmente su foglie adulte e senescenti dove l'accumulo, generalmente, è maggiore.

I sintomi di tossicità da sodio si manifestano con bruciatura, scottatura e morte dei tessuti dei margini esterni delle foglie; quelli da cloro, invece, con bruciatura e disseccamento dei tessuti fogliari a partire dall'estremità apicale e prosegue lungo i margini con l'aggravarsi del problema.

La tossicità da boro si manifesta, inizialmente su foglie vecchie, con ingiallimento, macchiature clorotiche o disseccamento dei tessuti all'apice ed ai margini del lembo fogliare.

Un altro aspetto dell'impiego di acque saline può essere il deposito di carbonati sulla vegetazione, attenuandone l'attività fotosintetica, e sui frutti con conseguente deprezzamento.

Questo inconveniente può essere prevenuto irrigando senza bagnare la vegetazione o irrigando durante le ore notturne.

Il problema dell'alterazione delle proprietà fisiche del terreno deriva dalla qualità dei sali disciolti nell'acqua d'irrigazione.

Questo aspetto è tanto più evidente quanto maggiore è il contenuto in materiale argilloide del terreno, specialmente se si tratta di veri e propri minerali argillosi, soprattutto se della famiglia delle montmorilloniti.

Tuttavia l'azione dell'acqua sulle proprietà fisiche del terreno dipende anche dalla composizione dei cationi presenti in esso, principalmente dalla presenza di Ca sotto forma di calcare attivo e di sodio.

Per tener conto della qualità dei sali disciolti nell'acqua l'U.S. Salinity Laboratory di Riverside, fin dal 1954 propose l'indice indicato come rapporto di assorbimento del sodio (S.A.R. da "Sodium Adsorbatio Ratio), successivamente modificato tenendo conto della quantità di Ca e Mg che potrebbe precipitare sotto forma di carbonati in funzione del contenuto in carbonati (CO₃) e bicarbonato (HCO₃) nelle acque d'irrigazione.

Il S.A.R., nella forma originale, si calcola con la seguente relazione:

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}}$$

dove la concentrazione del Na, Ca e Mg è espressa in meq/l.

I limiti di pericolosità delle acque irrigue per la salinità totale, valutata sulla base della conducibilità elettrica, del S.A.R. e del contenuto in elementi tossici sono riportati nella tabella precedente.

Va tenuto presente però che se i vari limiti analitici sono molto utili per caratterizzare il tipo di acqua essi dicono ben poco circa la possibilità della sua utilità ed utilizzabilità in quanto situazioni particolari possono consentire l'utilizzazione di acque, giudicate dalla letteratura corrente non idonee per l'irrigazione.

Modalità di utilizzo delle acque saline

Nell'utilizzo di acque saline uno degli accorgimenti di primaria importanza è la scelta della coltura da irrigare, in quanto, come precedentemente è stato accennato, l'utilizzabilità di un'acqua salina dipende dalla tolleranza della coltura da irrigare.

Considerando che la salinità come tale determina una limitazione idrica per la coltura e che l'uso di acque saline favorisce una progressiva salinizzazione e/o sodificazione dei terreni, ogni accorgimento mirante a prevenire o migliorare tali situazioni valorizza l'impiego delle acque saline.

La progressiva salinizzazione dei terreni può essere prevenuta o attenuata attraverso i seguenti accorgimenti:

a) passando da terreni sabbiosi a quelli limoso-sabbiosi, limosi ed argillosi il limite di tolleranza alla salinità ed alla sodicità di una determinata specie decresce, a causa della riduzione della permeabilità, della crescente influenza negativa della progressiva sodificazione sulla permeabilità del terreno. Pertanto, là dove è possibile, è preferibile irrigare terreni sciolti e caratterizzati da soddisfacente drenaggio. I sali apportati con le acque di irrigazione devono essere allontanati dallo strato interessato dagli apparati radicali delle colture, attraverso la rete di drenaggio o per lisciviazione negli strati profondi. La lisciviazione dei sali negli strati profondi può essere favorita, là dove è necessario, attraverso la rottura e/o la rimozione di strati impervii superficiali di limitato spessore (crostoni superficiali);

b) avvicinare colture non irrigate con colture irrigate in modo da consentire periodicamente alle acque di pioggia di due o più annate consecutive di dilavare i soluti apportati con l'acqua d'irrigazione durante le precedenti stagioni irrigue;

c) tra i lavori preparatori principali del terreno è da preferirsi la discissura profonda in alternativa all'aratura profonda, per evitare di portare in superficie strati profondi di terreno in cui si sono accumulati sali lisciviati dagli strati sovrastanti e per favorisce il drenaggio profondo;

d) frazionare la concimazione in più epoche, particolarmente quella azotata e la concimazione localizzata, ciò allo scopo di non aumentare eccessivamente la concentrazione salina della soluzione circolante;

e) là dove si dispone anche di quantità limitate di acqua dolce avvicinare colture sensibili alla salinità, da irrigare con acqua dolce, con colture resistenti alla salinità da irrigare con acque saline, almeno dopo la fase di germinazione-emergenza. In queste situazioni si potrebbe pensare anche alla miscela dell'acqua dolce con quella salina; questa soluzione, però, se da una parte migliora la qualità dell'acqua salina, dall'altra peggiora quella dell'acqua dolce. L'opportunità della miscela delle acque dipende da una serie di circostanze e da valutazioni anche di tipo economico oltre che tecnico. Tuttavia, ricerche condotte a tale proposito dimostrano che in presenza di acqua dolce e salina i risultati migliori si ottengono impiegando acque dolci durante fasi critiche della coltura nei riguardi della salinità, più in generale dello stress idrico, acqua salina, invece, durante fasi più tolleranti la salinità;

f) adottare metodi irrigui che non favoriscono accumuli di soluti nel volume di terreno in cui le radici della coltura sono più attive. Sono utilizzabili i metodi per sommersione, per scorrimento e per aspersione che nel terreno determinano un movimento verticale dell'acqua e dei soluti, dagli strati superficiali a quelli profondi; i metodi a goccia e per infiltrazione laterale da solchi che permettono di dilavare sali dal volume di terreno umettato da ogni singolo gocciolatore e solco.

Tuttavia la sommersione e lo scorrimento oltre a non essere idonei per tutte le colture, non consentendo di dosare bene piccoli volumi di adacquamento, non permettono di realizzare turni irrigui brevi con buona efficienza distributiva dell'acqua. L'irrigazione a pioggia pur permettendo di adottare turni irrigui brevi e di realizzare elevata efficienza distributiva di piccoli volumi di adacquamento, bagnando la vegetazione, almeno delle colture erbacee e di quelle arboree con impianti soprachioma, può favorire assorbimenti fogliari di soluti e di ioni che possono manifestare fenomeni di tossicità (Na, Cl, B). Tuttavia questo aspetto negativo può essere attenuato irrigando durante le ore meno soleggiate della giornata o durante la notte le colture erbacee, adottando impianti sottochioma per le colture arboree.

L'irrigazione "a goccia", richiedendo turni irrigui brevi, per le limitate riserve idriche che permette di costituire con ogni intervento irriguo, variabili in relazione all'entità della localizzazione, nell'ambito del volume di terreno umettato entro cui le radici delle piante tendono ad addensarsi e ad essere molto attive, genera un flusso di acqua e di soluti pressoché continuo dal punto di gocciolamento al fronte di umettamento. Con questo metodo irriguo, quindi, i soluti apportati con l'acqua d'irrigazione sono allontanati dalle zone di massima densità radicale e tendono ad accumularsi in profondità, al disotto dei gocciolatori, negli strati superficiali, invece, tra gocciolatori contigui.

L'irrigazione per infiltrazione laterale da solchi consente il dilavamento dei soluti apportati con l'acqua di irrigazione dal volume di terreno umettato, favorisce invece il loro accumulo in profondità al disotto dei solchi, e negli strati superficiali compresi tra solchi contigui.

L'irrigazione "a goccia" e quella per infiltrazione laterale da solchi, pur risultando soddisfacenti per la coltura irrigata con acqua salina, favorendo accumuli di soluti in superficie tra le aree bagnate, possono danneggiare la coltura che segue quella irrigata se, nell'intervallo di tempo tra le due colture successive, piogge naturali o irrigazioni

praticate con i metodi per sommersione, per aspersione o per scorrimento non provvedono a dilavare i sali accumulatisi;

g) adottare turni irrigui brevi per mantenere elevato il potenziale idrico del terreno. Con turni irrigui brevi mantenendo l'umidità del terreno permanentemente prossimo alla capacità idrica di campo, i soluti sono diluiti ed i potenziali matriciale ed osmotico tendono ad essere relativamente elevati.

Problemi della lisciviazione anche in funzione della piovosità

Una tecnica suggerita per valorizzare le acque saline consiste nel favorire la lisciviazione dei soluti apportati con l'acqua durante la stagione irrigua, somministrando volumi di adacquamento superiori a quelli necessari per portare lo strato di terreno interessato dall'apparato radicale alla capacità idrica di campo.

Per valutare la frazione di acqua in più da somministrare, rispetto al fabbisogno irriguo delle colture, detta "Fabbisogno di lisciviazione" (leaching requirement -L.R.-), sono state proposte diverse metodologie. Tra queste una delle prime, suggerita dall'U.S.D.A. fin dal 1954, si basa sul principio del costante bilancio dei soluti nel terreno, essa è la seguente:

$$LR = EC_w/EC_{dw} = D_{dw}/D_w$$

dove:

LR = leaching requirement (richiesta di lisciviazione) espressa in frazione percentuale del volume di adacquamento

EC_w = conducibilità elettrica dell'acqua d'irrigazione (dS m⁻¹)

EC_{dw} = conducibilità elettrica dell'acqua di drenaggio della zona radicale massima compatibile con la coltura (dS m⁻¹)

D_{dw} = quantità di acqua drenata espressa in altezza (mm)

D_w = quantità di acqua irrigua espressa in altezza (mm).

Studi più recenti hanno evidenziato la possibilità di ridurre la quantità di acqua di lisciviazione calcolata con il metodo suggerito dall'U.S.D.A. senza riscontrare apprezzabili riduzioni di produzioni delle colture. Questa possibilità si basa sul fatto che lo strato di terreno che maggiormente contribuisce al rifornimento idrico delle colture è la metà superiore della zona radicale, strato maggiormente lisciviato durante ogni adacquata.

Questo concetto è particolarmente applicabile allorquando si adottano turni irrigui relativamente brevi e più in particolare con metodi irrigui che consentono di dosare bene il volume di adacquamento come i metodi a pioggia ed "a goccia".

Rhoades (1974) suggerisce di calcolare il LR nei seguenti modi:

a) con metodi irrigui gravimetrici che non permettono turni irrigui brevi:

$$LR = EC_w/(5EC_e - EC_w)$$

b) con metodi irrigui che consentono turni irrigui brevi come l'irrigazione "a goccia" e l'aspersione:

$$LR = EC_w/2 (\max EC_e)$$

dove LR è la quota percentuale di cui va aumentato il volume di adacquamento per assicurare la lisciviazione dei sali; EC_e e (max EC_e) sono la conducibilità elettrica dell'estratto da pasta satura del terreno (dS m⁻¹) compatibile con la riduzione di produzione unitaria, rispetto a quella massima, del 10% e del 100%, rispettivamente.

Si sottolinea, però, che la tecnica della lisciviazione dei soluti con acqua d'irrigazione durante la stagione irrigua, presuppone un regime irriguo permanente, con apporti idrici di pioggia trascurabili. Situazione quest'ultima più prossima a quella di ambienti a clima desertico che non a clima mediterraneo, caldo arido, con precipitazioni concentrate nel periodo autunno-inverno, come quello dell'Italia meridionale ed insulare. In queste situazioni climatiche 300-400 mm di pioggia, che generalmente cadono durante l'inverno, sono quasi sempre sufficienti per lisciviare dalla zona radicale i sali apportati durante la

stagione irrigua precedente con le acque di irrigazione; di conseguenza in queste situazioni l'applicazione di acqua di lisciviazione si rivela di scarsa utilità, così come hanno dimostrato risultati di ricerche condotte in Puglia (Ficco, 1961; Caliandro et al., 1991). In queste ultime ricerche l'applicazione della frazione di acqua di lisciviazione durante la stagione irrigua non solo si è rivelata di scarsa utilità ma addirittura ha determinato, rispetto alla non applicazione della frazione di lisciviazione, un maggior accumulo di soluti nella zona radicale, molto verosimilmente a causa della presenza della suola di lavorazione lungo il profilo del terreno o comunque di strati caratterizzati da differente curva di conducibilità idrica. Situazione quest'ultima che si riscontra in tutti i terreni coltivati, in modo particolare nei frutteti in cui è presente la suola di lavorazione sia profonda, costituitasi al momento dello scasso prima dell'impianto, che a 15-20 cm di profondità, che si costituisce con i lavori annuali di coltivazione.

Si dimostra che la presenza lungo il profilo di strati a diversa curva di conducibilità idrica determina, nello strato di terreno sovrastante, un aumento del contenuto idrico alla capacità idrica di campo, di conseguenza una frazione dell'acqua di lisciviazione eventualmente applicata non drena dallo strato delimitato dalla suola di lavorazione, con conseguente aumento del contenuto salino dello strato sovrastante.

Dopo queste considerazioni, però, non si può concludere che la tecnica di lisciviazione sia inutile ma si deve, invece, considerare la necessità di verificare, durante la stagione irrigua, l'evoluzione della salinità del terreno lungo il profilo e di intervenire con acqua di lisciviazione quando la conducibilità elettrica dell'estratto da pasta satura dello strato di terreno interessato dalle radici risulta superiore a quella compatibile con il calo di produzione unitaria previsto.

Un'abbondante irrigazione prima dell'inizio della stagione delle piogge può risultare molto utile per migliorare l'azione dilavante dell'acqua di pioggia, particolarmente quando l'entità di quest'ultima non è sufficiente per portare alla capacità idrica di campo la zona radicale.

Il problema della lisciviazione si pone anche per attenuare l'aspetto negativo del sodio sulle caratteristiche fisiche del terreno.

La pericolosità del sodio, infatti, può essere controllata con l'applicazione di correttivi al terreno o direttamente all'acqua, capaci di abbassare il rapporto $Na/(Ca + Mg)$ nella soluzione circolante. Il correttivo comunemente usato è il gesso ($Ca SO_4$), che arricchendo la soluzione circolante in Ca abbassa anche il rapporto $Na/(Ca + Mg)$ sul complesso di scambio (legge di Gapon). L'efficacia dei correttivi è legata alla lisciviazione del Na che per sostituzione arricchisce la soluzione circolante.

La lisciviazione si dimostra utile, inoltre, anche per il controllo di fenomeni di tossicità che possono insorgere per la presenza nell'acqua d'irrigazione o nel terreno di Na, Cl e B in quantità superiori ai limiti compatibili con le colture irrigate.

Impiego del tensiometro

I suoli ricchi di sale presentano generalmente un potenziale idrico maggiore (in valore assoluto) rispetto a quelli con bassa salinità.

Il potenziale idrico esprime la forza con cui il terreno lega la soluzione circolante e, quindi, il lavoro necessario per sottrarre l'acqua al terreno. Esso dipende dall'umidità e dalle costanti idrologiche del terreno: raggiunge i valori più bassi (virtualmente uguali a 0 kPa) quando l'umidità è alla *capacità idrica massima* e i valori più alti (in valore assoluto) quando l'umidità scende al *coefficiente igroscopico*.

Il potenziale idrico è la risultante algebrica di più forze:

- *Tensione matriciale o tensione capillare*: è la forza con cui la matrice solida trattiene l'acqua in virtù dei fenomeni di capillarità e di adsorbimento. La tensione matriciale

aumenta con il tenore in particelle fini e, in particolare, quelle dotate di proprietà colloidali;

- *Tensione osmotica*: è la forza con cui i sali minerali della soluzione circolante trattengono l'acqua. In condizioni ordinarie ha un contributo minimo, ma può diventare considerevole nei terreni salini, nei terreni aridi e in quelli che hanno subito un apporto considerevole di concimi chimici;
- *Tensione gravitazionale*: è la forza con cui il terreno si oppone all'assorbimento dell'acqua in virtù della forza gravitazionale.

Interpretazione del dato

Dalla lettura del dato (espresso in centibars o kiloPascal-kPa) è possibile risalire al contenuto idrico del suolo e alla necessità o meno di intervenire con l'irrigazione.

Si fa riferimento alla seguente tabella:

0-10 centibars	Suolo saturo (<i>capacità idrica massima</i>)
10-30 centibars	Suolo adeguatamente bagnato (<i>capacità di campo</i>)
30-60 centibars	Intervallo ideale per irrigare, tranne nei suoli pesanti argillosi
60-100 centibars	Intervallo ideale per irrigare nei suoli pesanti argillosi
100-200 centibars	Suolo pericolosamente secco (<i>punto di appassimento</i>)

Nella tabella sottostante sono indicati i livelli di tensione del suolo per coltura, raggiunti i quali è consigliato iniziare ad irrigare (fonte: manuale operativo spectrum technologies).

COLTURA	TENSIONE (cbars)
agrumi	50-70
barbabietola	200
broccolo	25
carota	45
cavolo	34
cipolla	25
fragola	20
grano	50-80
lattuga	40-50
melanzana	45
melone	200
patate	30-50
peperoni	45
piante decidue	60-80
pisello	70
pomodoro	60
porro	25
soia	70
zucca estiva	25
zucca invernale	70
vite	40-60

Sotto altre indicazioni sugli intervalli di tensioni ai quali è opportuno iniziare ad irrigare (fonte: www.fertirrigazione.it)

Carota	50-70	Lattuga	40-60
Cavolfiore	60-70	Melone	30-80
Cavolo	60-100	Patata	30-70
Cipolla	40-70	Sedano	20-30

Nell'ambito dell'attività svolta nel presente progetto sono stati posizionati due tensiometri¹ in due punti abbastanza vicini tra loro (uno a Castelnuovo Magra e l'altro ad Ameglia, entrambi in Provincia di La Spezia), al fine di rilevare il valore del potenziale idrico ad una profondità di circa 50cm.

I due siti sono caratterizzati dall'avere suoli appartenenti alla stessa classe granulometrica (franco-limoso), ma con un grado di salinità molto diverso (conducibilità estratto 1:5 = 2.6dS/m in un caso, conducibilità estratto 1:5 = 0.028dS/m nell'altro, entrambe secondo un'analisi autunnale del terreno).

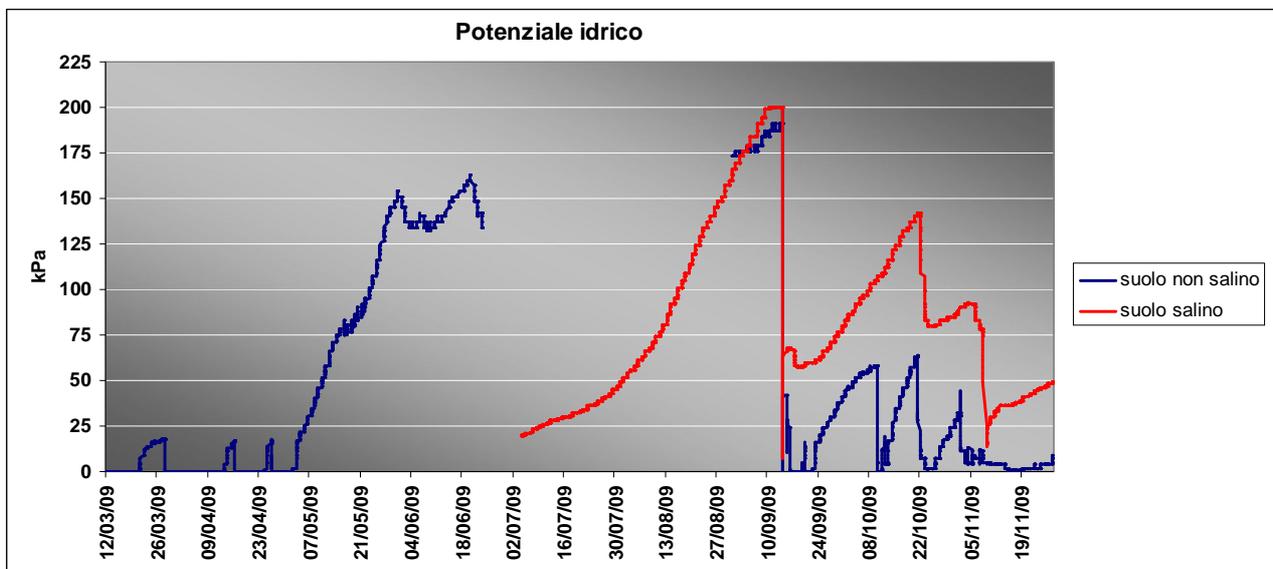
Il tensiometro posizionato nel suolo non salino (Castelnuovo Magra) è stato installato a marzo 2009, l'altro a luglio 2009 ad Ameglia. Il confronto tra le serie di dati rilevati dai due strumenti può essere fatta nel periodo 1 settembre – 27 novembre 2009.

(Vedi grafico sottostante. E' da tener presente che il range di valori dei due tensiometri è compreso tra 0 e 200kPa).

L'analisi dei dati rileva quanto segue.

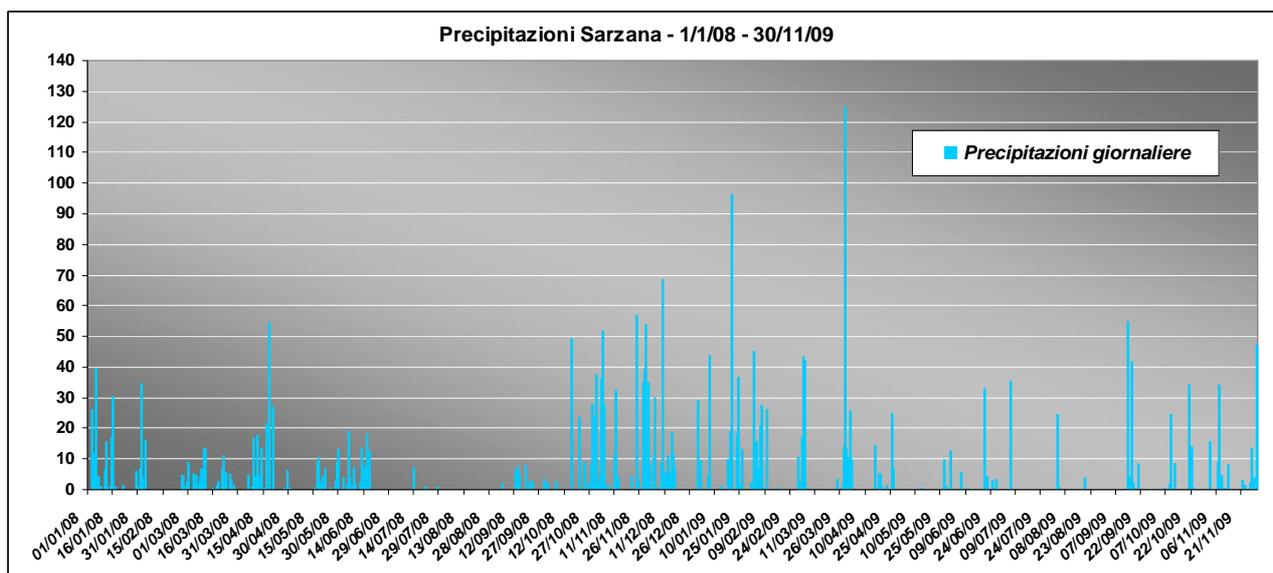
- Dopo un periodo di siccità estiva prolungata, che ha portato il potenziale ai valori massimi (200kPa) e quindi vicino al *punto di appassimento*, si è verificata una pioggia abbondante il 14 settembre, che ha determinato un repentino calo del potenziale fino a valori prossimi allo 0 (capacità idrica massima) in entrambi i suoli.
- Da quella data in poi:
 - i valori di potenziale idrico nel suolo salino sono sempre stati maggiori di quelli del suolo non salino, con uno scarto medio di 60kPa;
 - il potenziale del suolo non salino si è abbassato fino a raggiungere lo 0 in più giornate, mentre l'altro si è avvicinato a tale valore (senza peraltro raggiungerlo) solo in una occasione (il 9 novembre, sempre in corrispondenza di una pioggia);
 - nel suolo non salino i valori del potenziale idrico si sono mantenuti tra 0 e 65kPa, con una media di 20kPa e una mediana di 11kPa, valori al di sotto della *capacità di campo*, corrispondenti ad un suolo caratterizzato da un contenuto idrico vicino alla saturazione; nel suolo salino i valori sono andati da 15 a 140kPa, con una media di 77kPa e una mediana di 80kPa, valore ben al di sopra della capacità di campo, corrispondente ad un suolo caratterizzato da un significativo deficit idrico.

¹ Il tensiometro è costituito da un vacuometro (con scala di lettura in kPa) collegato ad un tubo chiuso all'estremità opposta da una capsula porosa. Viene infisso nel terreno con la capsula porosa alla profondità dell'apparato radicale e riempito d'acqua. Durante la fase di asciugatura l'acqua fuoriesce dalla capsula, creando all'interno dello strumento una depressione che viene misurata; al contrario, durante la fase di inumidimento, l'acqua passa all'interno dello strumento, provocando una diminuzione della tensione.



Nel grafico sottostante le precipitazioni giornaliere per lo stesso periodo di riferimento dei dati rilevati dai due tensiometri.

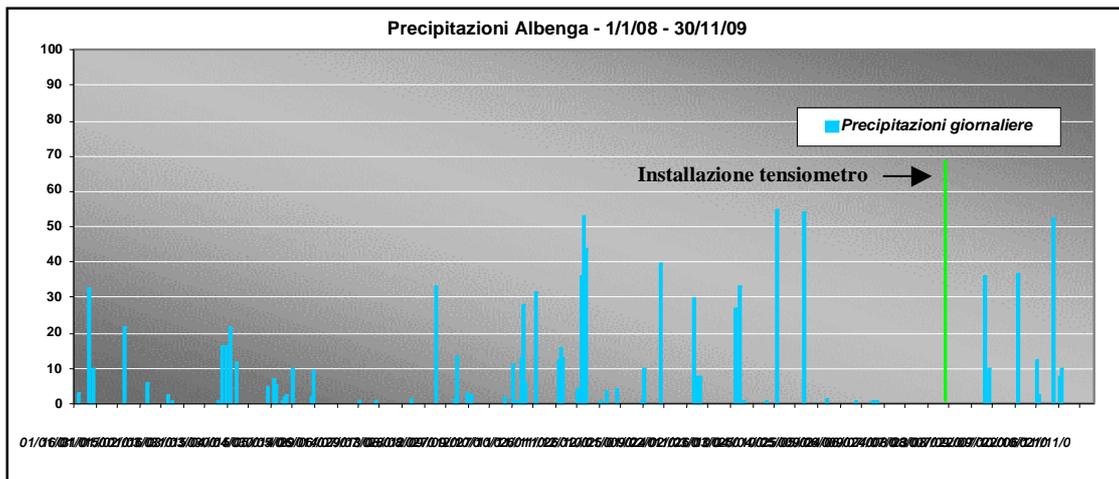
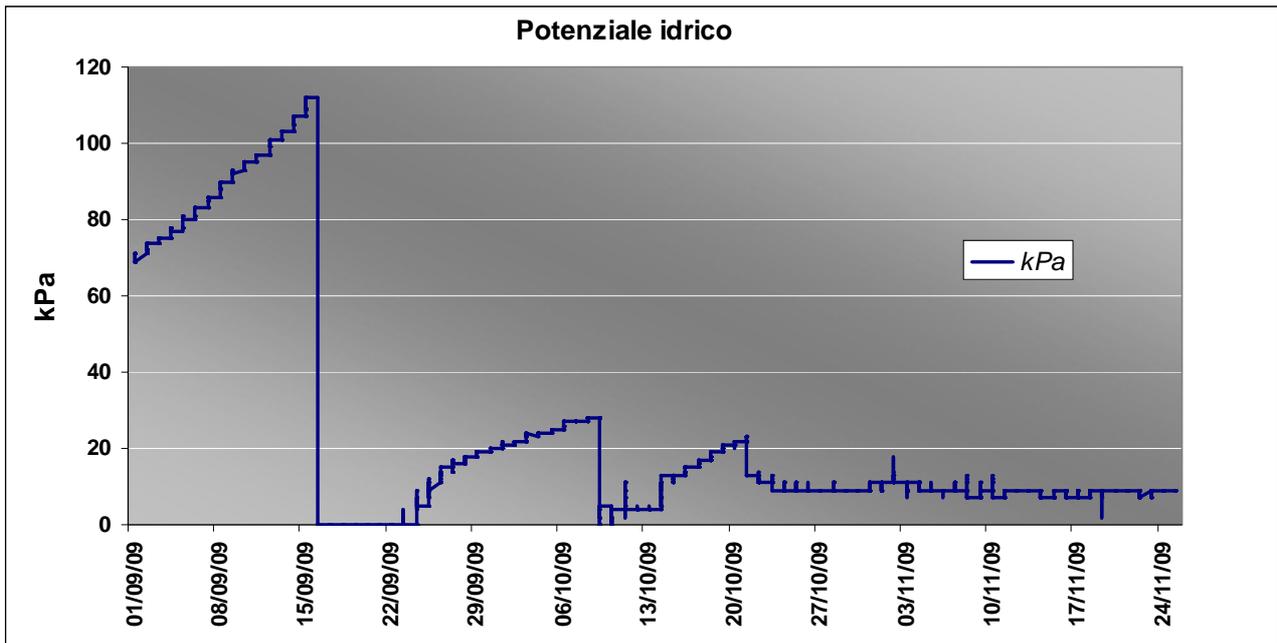
Ad ogni calo significativo del potenziale idrico rilevato corrisponde uno o più eventi piovosi rilevati dalla stazione di Sarzana, ritenuta affidabile per entrambi le stazioni di rilievo del potenziale idrico. (con le frecce rosse gli eventi che hanno contribuito al calo del potenziale idrico).



In entrambi i casi, comunque, il tensiometro può essere utile per individuare con una certa precisione il momento in cui occorre effettuare un intervento di irrigazione.

Sulla base infatti dei valori segnalati dallo strumento, è possibile pianificare l'intervento irriguo al variare del tipo di terreno, del tipo di impianto e del tipo di coltura a dimora.

Tensiometro Albenga



3 - PIANA TERMINALE E COSTIERA DEL FIUME CENTA – ATTIVITA SVILUPPATE, CRITICITA' ED IPOTESI DI INTERVENTI DI MITIGAZIONE

3.1 Inquadramento geografico e geologico

Il Bacino idrografico

Il Fiume Centa è situato nella Liguria di ponente e nasce dalla confluenza dei T. Neva ed Arroscia e, dopo aver percorso circa 3 km, sfocia in mare in corrispondenza dell'abitato di Albenga.

Il bacino del fiume Centa ha una superficie totale pari a circa 432kmq e si sviluppa prevalentemente all'interno del territorio amministrativo delle Province di Savona (circa 197kmq) e Imperia (circa 210kmq) e per piccola percentuale su terreni rientranti nella Provincia di Cuneo (superficie occupata pari a circa 25kmq).

Da un punto di vista geografico il bacino confina a:

- Nord-Est con il bacino del Varatella,
- Sud-Est con il bacino del T.Carenda
- Sud-Ovest con il bacino del T.Liggia
- Sud, Sud-Ovest con il bacino del T.Merula
- Nord con il bacino del Tanaro ed il bacino del Neva
- Nord-Est con il bacino del Bormida di Millesimo

Il territorio del bacino presenta paesaggi con caratteristiche piuttosto variabili, in particolare le morfologie aspre con versanti decisamente acclivi caratterizzano la parte alta del bacino, generalmente in corrispondenza dei massicci dolomitici, mentre a quote inferiori nei settori di più prossimi alla linea di costa prevalgono morfologie più morbide, in corrispondenza dell'affioramento di formazioni di tipo marnoso-argillitico.

L'impostazione del reticolo idrografico, sia per quanto riguarda i corsi d'acqua principali sia per quanto riguarda i corsi d'acqua secondari, risulta impostato lungo le principali linee strutturali.

La piana del Centa

Il settore maggiormente antropizzato del bacino coincide con la piana d'Albenga, in Provincia di Savona, in corrispondenza della quale sono concentrate le principali attività industriali e commerciali.

Il F. Centa, propriamente detto, scorre in una ampia piana alluvionale, formatasi nel Quaternario con il riempimento di un golfo in cui il T. Lerrone, il T. Arroscia, il T. Neva e il T. Pennavaira sfociavano in origine separatamente.

Il continuo accumulo di materiale alluvionale, unito all'influenza della piccola isola Gallinara posta di fronte, hanno fatto sì che si determinasse l'attuale assetto geomorfologico.

La piana formata dal Centa e dai suoi affluenti ha una tipica forma cuspidata con apice nel punto dell'attuale foce in mare.

Nel tratto compreso tra Albenga e Ceriale sono inoltre presenti alcuni corsi d'acqua, tra i quali il T. Carenda, definiti da un percorso breve e strettamente connessi con la piana costiera del Centa.

La piana alluvionale, di dimensioni rilevanti per il territorio ligure, è rappresentata da un deposito alluvionale costituito da materiale a granulometria prevalente ghiaiosa, sabbiosa e limosa, interdigitati con sedimenti marino-lacustri.

La successione sedimentaria si presenta quindi abbastanza complessa ed in generale caratterizzata da depositi a porosità e permeabilità alquanto variabile.

L'acquifero costiero della piana terminale del Fiume Centa è costituito in particolare da una formazione fluviale antica ligure, rappresentata da ghiaie talora grossolane poligeniche e sabbie di origine fluviale o marina, ed una formazione fluviale recente che è rappresentata da alluvioni ghiaioso-sabbiose poco alterate in superficie, che affiora lungo gli attuali corsi d'acqua.

Il materasso alluvionale ghiaioso-sabbioso-ciottoloso continuo è permeabile per porosità ed ha spessori che raggiungono circa 40 m.

Sono comunque frequenti livelli e lenti limo-argillosi, anche di estensione e spessore considerevole.

Il substrato è rappresentato da conglomerato ad elementi calcarei, oppure a seconda della località, da tipi litologici della formazione di Albenga.



Foto della foce del Fiume Centa ripresa dal mare (fonte Piano di Bacino del Fiume Centa): si può facilmente osservare la forte pressione esercitata dalle attività antropiche sulla piana terminale.

3.2 Significatività dell'acquifero del Centa e sue problematiche di salinizzazione

La piana alluvionale e costiera del Centa, ricadente totalmente nel territorio dei Comuni di Albenga e Ceriale (Provincia di Savona), è sede di una importante circolazione idrica sotterranea.

Ancorché i corpi idrici siano ospitati da un sistema di acquiferi piuttosto complesso, a grandi linee, si può individuare una falda superficiale di tipo freatico che ha sede nei depositi alluvionali e marini costieri, sabbioso-ciottolosi, e in profondità, falde sovrapposte confinate.

Le falde profonde, benché confinate, sono tra loro intercomunicanti e non sempre separate da uno strato continuo poco permeabile e quindi non risultano schematizzabili con facilità come un sistema acquifero con caratteristiche proprie e ben definibile geometricamente.

Le acque del bacino del Centa, e soprattutto del suo acquifero alluvionale, vengono prelevate dagli acquedotti dei Comuni ricadenti nel bacino stesso ed anche da Comuni esterni, quali ad esempio Alassio e Laigueglia.

Non esiste però nessuna rete acquedottistica generale del bacino del Centa, ma diversi acquedotti, alcuni dei quali hanno estensione comunale, altri uniscono due o più Comuni.

Non esistono, allo stesso modo, forme di depurazione delle acque a grande scala, né sono allo stato attuale presenti forme di riutilizzo della risorsa idrica di questo tipo.

Il Piano di Tutela delle Acque della Regione Liguria, nella sua recente revisione ed integrazione, analizza l'acquifero sotterraneo significativo del Fiume Centa e, nell'ottica della caratterizzazione ai sensi del D.Lgs 30/09, lo suddivide in due corpi idrici distinti con caratteristiche omogenee denominati "CENTA zona A" e "CENTA zona B". Le valutazioni delle freatimetrie misurate, dei dati chimici e dell'assetto geologico ed idrogeologico portano a classificare quantitativamente il corpo idrico denominato "CENTA zona B" con uno stato scadente, con l'obiettivo del raggiungimento di uno stato buono all'anno 2027.

L'area di interesse dello studio comprende sostanzialmente il corpo idrico denominato "CENTA zona B" e il settore meridionale del corpo idrico denominato "CENTA zona A".

Come si può osservare dall'analisi PTA, uno dei fattori di criticità più rilevanti per quanto riguarda il corpo idrico denominato "CENTA zona B" è rappresentato dalla salinizzazione della falda per effetto dell'intrusione del cuneo salino.

Inoltre la parte di acquifero su cui ricade il corpo idrico denominato "CENTA zona B" coincide sostanzialmente con l'area già individuata in passato quale zona vulnerabile ai nitrati.

L'area di interesse del PAL riguarda in generale il settore costiero dell'acquifero ed è stata in particolare focalizzata sul settore costiero settentrionale collocato in sponda sinistra della piana del F. Centa ("CENTA zona B"), che presenta rilevanti criticità per quanto riguarda specificatamente l'intrusione salina nelle falde.

Sulla base dei dati sulla disponibilità naturale della risorsa idrica come riportati nel Piano di Bacino stralcio sul Bilancio Idrico vigente, anche a fronte degli utilizzi antropici, si rileva come l'acquifero sia nel suo complesso in condizioni di equilibrio su base annuale.

Tuttavia, dai dati disponibili anche su base mensile, alcuni settori dell'acquifero appaiono in condizioni al limite dell'equilibrio o sovrasfuttate.

In particolare, nel periodo estivo in condizioni di scarsa o nulla alimentazione e massimo emungimento, si sono registrati fenomeni locali di insalinamento di pozzi localizzati nella zona Nord, laddove, anche in relazione alla conformazione geologica, le velocità dei flussi

orizzontali di acqua di falda sono più lente e contemporaneamente sono più elevati i prelievi soprattutto a scopi irrigui.

Il rinvenimento in un numero sempre maggiore di pozzi di acqua salmastra dovuta alla risalita del cuneo salino evidenzia quindi la necessità di agire in tutela in primo luogo della qualità delle acque sotterranee destinate all'utilizzo idropotabile ed irriguo, ma anche per la salvaguardia della qualità dei terreni stessi che rischiano di diventare sempre più improduttivi.

Lo sfruttamento dell'acquifero attraverso l'elevato numero di pozzi presenti, spinti a diverse profondità e fenestrati lungo tutta la loro lunghezza, ha inoltre portato nel tempo a mettere in comunicazione le falde sovrapposte, comportando un indebolimento complessivo del sistema nei confronti di potenziali fonti di inquinamento.

In quest'ottica, assume peraltro particolare rilevanza l'applicazione di specifiche aree di salvaguardia finalizzate alla tutela degli emungimenti idropotabili, come indicato dallo stesso Piano di Tutela delle Acque della Regione Liguria.

3.3 Descrizione e risultati delle nuove indagini sviluppate

La ricognizione documentale, avviata inizialmente tramite il coinvolgimento dei soggetti direttamente implicati nell'espletamento delle attività a progetto (Regione e ARPAL), è stata estesa anche ad altri soggetti interessati nelle due aree (es. Province ed altri Enti territoriali) ed ha portato al reperimento, in particolare, della seguente documentazione:

- *Studio pedologico della Regione Liguria (approfondimento specifico per il lotto inerente Albenga);*
- *Piano di Bacino stralcio sul Bilancio Idrico del bacino del Fiume Centa e rii minori.*
- *Piano di Tutela delle Acque della Regione Liguria (approfondimento specifico relativo ai corpi idrici significativi della Piana del Centa).*
- *Programma di azione per le zone vulnerabili da nitrati di origine agricola - Regione Liguria.*
- *Dati campionamenti pozzi Arpal (anni 2001 – 2008).*
- *Dati parametri pedologici da carta pedologica Liguria.*
- *Dati idro- meteorologici locali.*

Partendo dal quadro emerso dall'analisi dei dati pregressi è stata quindi sviluppata la nuova campagna di campionamenti, di seguito descritta, finalizzate a meglio definire lo stato di attuale del fenomeno di salinizzazione che interessa l'acquifero, sinteticamente descritto nel paragrafo precedente.

Caratterizzazione dell'area campionata

L'area interessata dai nuovi campionamento è stata focalizzata sul settore costiero dell'acquifero settentrionale, che rappresenta l'area a maggiore criticità per quanto riguarda la salinizzazione della falda.

Come riportato negli aspetti metodologici nella zona sono stati individuati in area agricola 30 appezzamenti di terreno in cui risultavano presenti anche pozzi.

In questi appezzamenti sono stati effettuati in 2 epoche stagionali diverse prelievi di acqua e terreno da sottoporre ad analisi di laboratorio.

In ogni appezzamento campionato, tramite un'apposita scheda prelievo preventivamente predisposta (All. 2.1) sono stati rilevati dati relativi al pozzo e all'attività agricola praticata ed in tabella 3.1 ne sono riportati alcuni significativi che saranno commentati e disarticolati in seguito.

Dal punto di vista della collocazione territoriale, i punti prelevati appartengono prevalentemente ai comuni di Albenga (20) e Ceriale (6) ma sono stati interessati anche i comuni di Borghetto Santo Spirito (2), Cisano sul Neva (1) e Villanova d'Albenga (1). Per quanto riguarda la dimensione aziendale, la superficie complessiva ammonta a circa 42,5 ha mentre la superficie media aziendale, ricalcando la realtà ligure, è circa 1,4 ha.

Albenga	20
Borghetto S.S.	2
Ceriale	6
Cisano sul Neva	1
Villanova d'Albenga	1
Totale	30

Per l'ordinamento colturale attuato, come si può verificare in tabella a lato, risultano prevalenti le aziende orticole e floricole.

Tra le orticole esistono aziende specializzate nella coltivazione del basilico ma risultano anche rappresentate le aromatiche e tra le floricole le colture ornamentali o le fronde.

Se si esamina le modalità di coltivazione serra o pieno campo, emerge che circa la metà delle aziende attua colture in serra ed 8 aziende coltivano in vaso.

Per quanto attiene i sistemi irrigui praticati, si evidenzia che 7 aziende campionate praticano l'irrigazione a scorrimento.

Quanto risulta dal campione rappresenta abbastanza fedelmente la realtà agricola produttiva dell'area.

Per quanto attiene l'elaborazione dei dati relativi a profondità ed età dei pozzi emerge quanto riportato in tabella sotto ovvero:

Ordinamento colturale	N.
Arbusti, conifere, fiori ed aromatiche	1
aromatiche	4
Basilico	5
basilico - talee di aromatiche	1
floricole	1
Floricole - ornamentali	1
Floricoltura - Floricole e aromatiche	1
floricoltura - margherita	1
fronde verdi - floricole	1
ornamentali	3
Orticole	7
orticole - aromatiche - ornamentali	1
Orticole - erbe fresche	2
orticole - vivaio ornamentale	1
Totale	30

Classe profondità (m)	N. pozzi	%	Classe di età (anni)	N. pozzi	%
0-15	9	30%	0-15	7	23%
>15-30	15	50%	>15-30	13	43%
>30	6	20%	>30	10	33%
Profondità Media ... metri	23,1		Età Media ... anni	38,8	

- la profondità media è di circa 23 metri, i valori oscillano tra i 2 ed i 75 metri ma 9 hanno profondità inferiore ai 15 metri, 15 tra 15 e 30 mentre 6 hanno profondità superiore a 30 metri;
- l'età media di realizzazione è di circa 39 anni (oscillazioni da 4 a 100) mentre i pozzi recenti (<15 anni) sono 7 (circa il 23%), quelli intermedi (15-30) sono 13 (43%) mentre quelli con più di trenta anni sono 10.

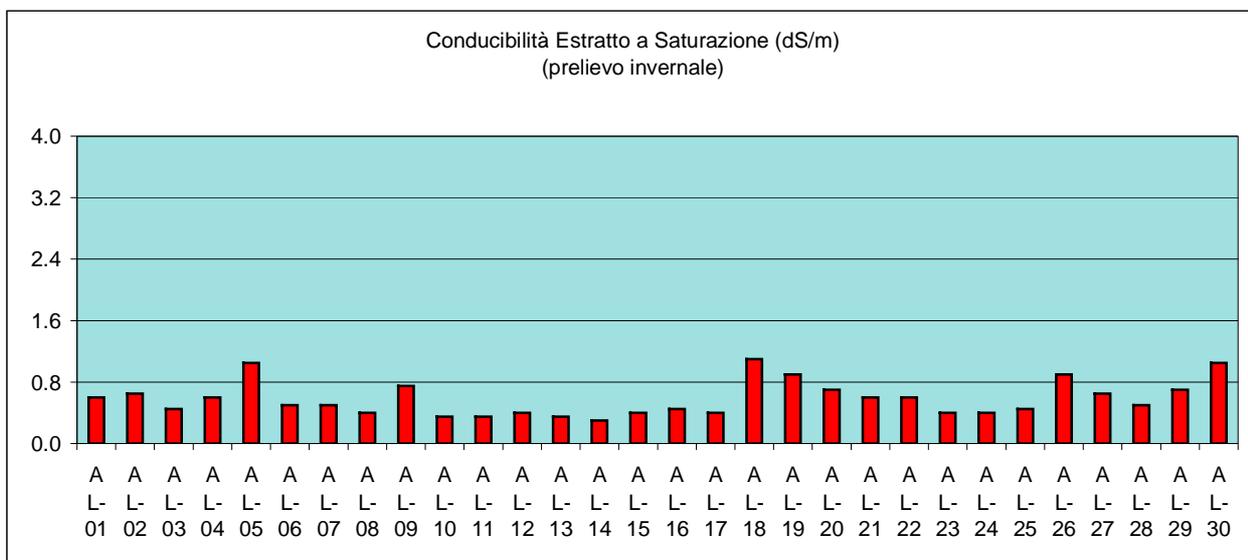
Risultati analisi suoli

• Campionamento invernale

Nella tabella 3.2 allegata alla presente relazione sono riportati i risultati delle determinazioni analitiche per i diversi parametri considerati. Per focalizzare il problema salinità in questo contesto sono presi in considerazione in via prioritaria i parametri strettamente correlati al fenomeno ed in particolare la Conducibilità elettrica dell'estratto nel rapporto acqua/ suolo 5:1 (EC_{5:1}) e il corrispondente calcolato per l'estratto a saturazione (o pasta satura, ECps) adottando un coefficiente moltiplicativo di 6,5 (come riportato in precedenza in merito alla problematica salinità al punto 2.4.1).

Come anticipato, i valori di rischio per la salinizzazione dei suoli iniziano con valori di conducibilità dell'estratto a saturazione superiori a 4dS/m ma come si può facilmente

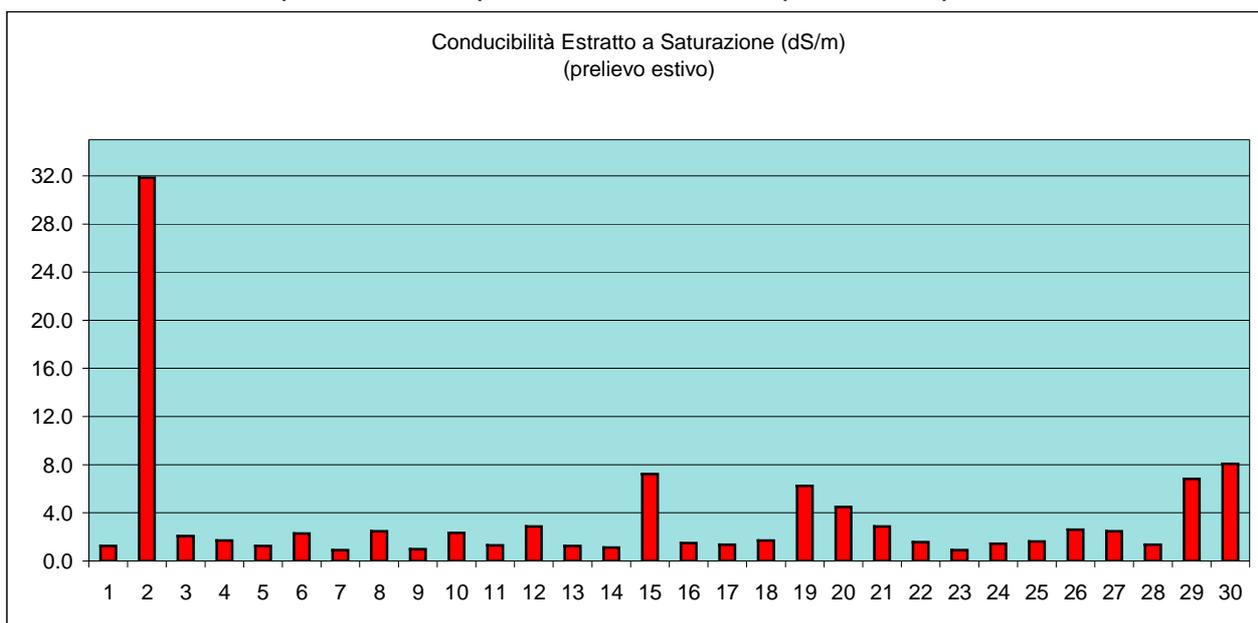
visualizzare nel grafico sotto e nella tavola 5 allegata tutti i campioni risultano privi di rischio (valore medio 0,56) con valori che, anche nei casi più elevati, non superano 1,1 dS/m.



Nella stagione invernale quindi i suoli dell'area hanno una soluzione circolante con un ridotto contenuto in sali solubili e quindi non evidenziano rischi di salinità per le colture.

• Campionamento estivo

I dati relativi al campionamento estivo (tabella 3.3 allegata) evidenziano una situazione differente rispetto a quella invernale. Infatti come si può notare nel grafico sotto in 6 casi si supera il valore di 4dS/m ed in un caso i 32dS/m ed in questo caso con un notevole incremento del sodio scambiabile (7,7 meq/100g). Nel periodo estivo quindi la situazione nel 20% dei casi evidenzia un rischio salinizzazione, la salinità può essere classificata lieve in 4 casi (tra 4 e 8 dS/m), moderata ed elevata rispettivamente nei pozzi 30 e 02 la cui localizzazione può essere visualizzata nella carta allegata (Tavola 5). In queste situazioni, dal punto di vista agronomico possono esserci sicuramente riduzioni di resa per le colture e nei casi più elevati, impossibilità di crescita per molte specie.



• Confronto estate/inverno

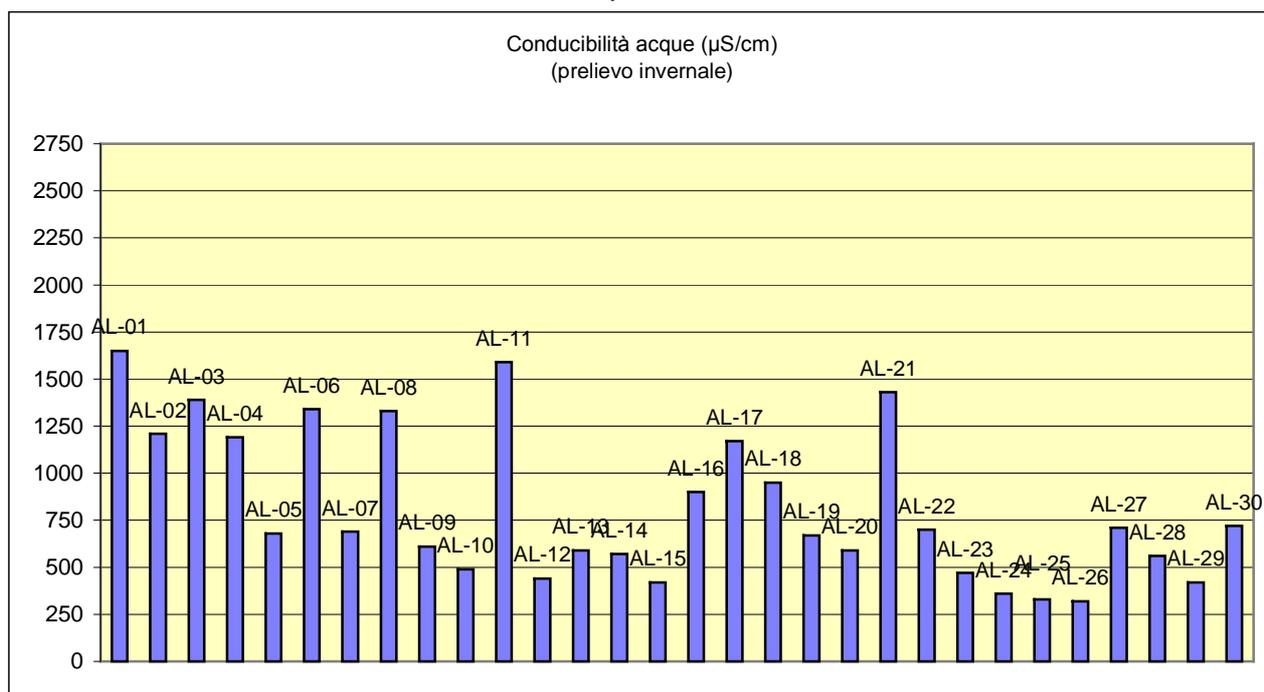
Nell'areale albenganese, per quanto riguarda la salinità dei suoli emerge una differenza evidente tra il campionamento estivo e quello invernale. Infatti, mentre in inverno non emergono problematiche particolari, nel periodo estivo il problema esiste in 6 punti campionati. Come si può notare in tabella 3.4 dove vengono messi a confronto i dati relativi al periodo estivo ed invernale, in genere nel prelievo estivo c'è un incremento dei sali solubili in soluzione (Conducibilità media più elevata) e ciò non è direttamente relazionabile ad un incremento di apporti dovuti alla concimazione (i valori del fosforo assimilabile non aumentano) ma piuttosto ad una concentrazione dovuta alla maggiore evapotraspirazione estiva e/o ad infiltrazioni di acque saline. La concentrazione si riduce notevolmente nel periodo invernale probabilmente a causa del dilavamento provocato dalle precipitazioni facilitato anche dalle caratteristiche dei suoli che come evidenziabile nelle tabelle 3.2 e 3.3 hanno una tessitura tendenzialmente sabbiosa (sabbia 56% in media) e bassa capacità di scambio (CSC media circa 11,6 meq/100g).

Risultati analisi acque

• Campionamento invernale

Nelle tabella 3.5 allegata alla presente relazione sono riportati i risultati delle determinazioni analitiche per i diversi parametri considerati. Per focalizzare il problema salinità in questo contesto sono presi in considerazione in via prioritaria i parametri strettamente correlati al fenomeno ed in particolare la Conducibilità Elettrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$ 25°C), l'Indice SAR (Sodium Adsorption Ratio), il contenuto in Cloruri e Sodio. Come riportato al punto 2.4.2 la qualità irrigua dell'acqua può essere classificata in 4 classi e se andiamo ad applicare i limiti previsti per i parametri di riferimento emerge la seguente situazione:

19 campioni risultano in classe 1 e 11 in classe 2. I campioni in classe 2 risultano in questa classificazione essenzialmente per conducibilità superiore a $750 \mu\text{S}/\text{cm}$ ma degli 11 campioni, 8 superano i limiti previsti anche per cloruri ($>100 \text{ mg}/\text{l}$) e 7 anche per sodio ($> 50 \text{ mg}/\text{l}$). Dal punto di vista della qualità delle acque irrigue nel periodo invernale emerge quindi che circa i 2/3 dei campioni risultano di buona qualità e quindi senza limitazioni, mentre il restante terzo pone limitazioni proprio per aspetti legati alla salinità, anche se i valori non risultano al momento particolarmente critici.



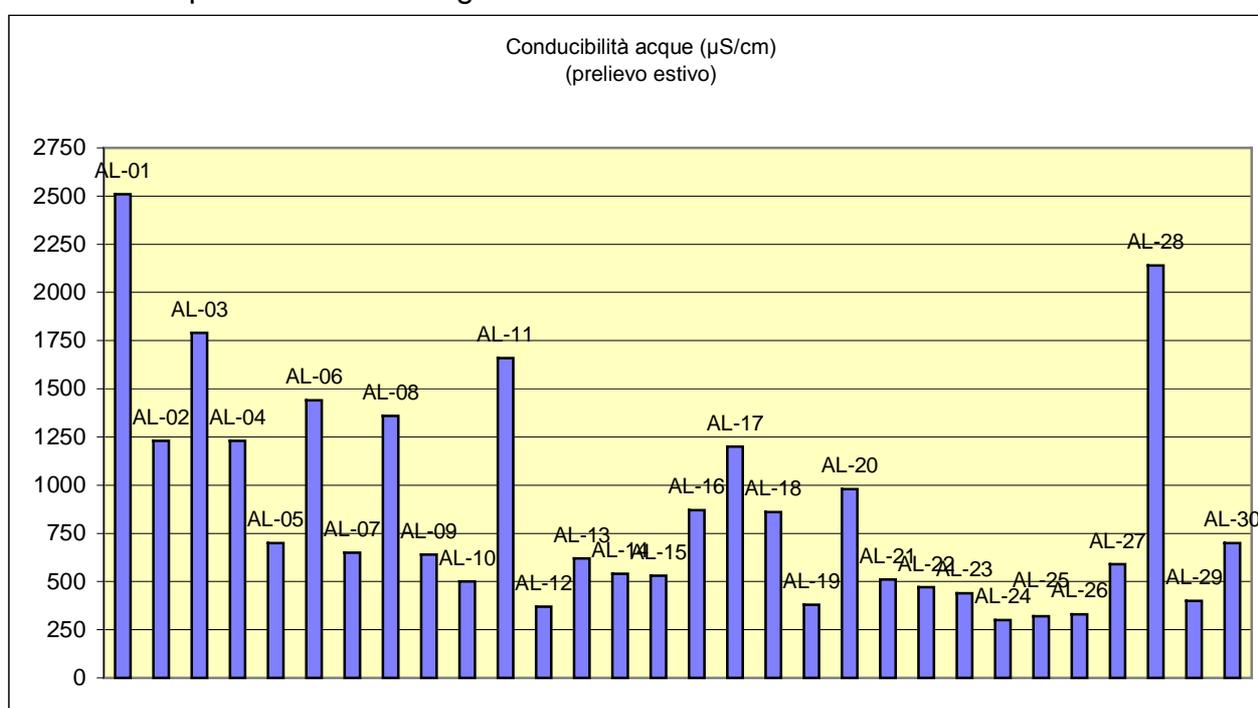
• Campionamento estivo

Esaminando i campioni estivi ed applicando i criteri di classificazione di cui al punto 2.4.2 si evidenzia la seguente situazione:

- 18 campioni risultano in classe 1;
- 10 in classe 2;
- 1 in classe 3;
- 1 in classe 4.

I campioni non in classe 1 risultano in questa categoria essenzialmente per conducibilità superiore a 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (vedi grafico sotto) ma dei 12 campioni, 8 superano i limiti previsti anche per cloruri ($> 100\text{mg}/\text{l}$) e, di questi, due di un'entità tale da classificare due campioni in classe 3 e 4.

Dal punto di vista della qualità delle acque irrigue nel periodo estivo emerge quindi che circa il 60% dei campioni risultano di buona qualità e quindi senza limitazioni, mentre il restante 40% pone limitazioni proprio per aspetti legati alla salinità, ed abbiamo casi in cui i cloruri ne impediscono l'uso irriguo.



• Confronto estate/inverno

Nell'areale oggetto di studio, le differenze tra i prelievi estivi ed invernali per quanto attiene la qualità delle acque irrigue risultano meno evidenti di quanto non sia emerso per i suoli. Tuttavia nel periodo estivo c'è una leggera riduzione del numero di campioni di buona qualità (da 19 a 18) ed un incremento dei valori medi dei parametri critici (vedi tabella 3.4) quali conducibilità e cloruri. Un altro dato rilevante è il fatto che nel periodo estivo, a differenza del periodo invernale, troviamo acque che passano in una classe 3 o 4 e che di fatto diventano inutilizzabili.

Elaborazione dati acque sotterranee

A seguito dell'analisi della qualità delle acque sotterranee, eseguita nell'ottica del loro utilizzo irriguo, sono state elaborate delle carte che hanno permesso di individuare le zone del territorio interessate da ingressione del cuneo salino.

Le due carte tematiche riportate in Allegato 4 (tavole 3 e 4) sono state sviluppate dal CAAR del Settore Servizi alle Imprese Agricole della Regione Liguria attraverso l'applicazione di algoritmi interpolanti partendo da un set di valori puntuali noti di concentrazione di cloruri (tavola 3) e di conducibilità (tavola 4) delle acque sotterranee.

Tuttavia i due modelli non rappresentano una "classico" modello di distribuzione bidimensionale di una variabile in un determinato periodo di tempo, infatti non si sono utilizzati come valori noti i dati sperimentali relativi ad un'unica campagna di campionamento.

A seguito di un'attenta valutazione dei dati analitici prodotti a progetto e dei dati pregressi disponibili (monitoraggi ambientali eseguiti da ARPAL nel periodo 2001-2009) ed avendo a disposizione serie temporali per molti dei pozzi osservati, si è deciso di considerare per ciascun punto di monitoraggio il valore di conducibilità e la concentrazione di cloruri più alto fra quelli registrati nel periodo di osservazione.

A monte di tale operazione, attraverso l'analisi dei trend temporali relativi a ciascun pozzo, si è ritenuto opportuno escludere eventuali outlier per evitare che fossero considerati punti contraddistinti da un'unica anomalia.

Una successiva spazializzazione del dato così ottenuto, attraverso l'utilizzo di algoritmi interpolanti, ha reso possibile evidenziare in modo qualitativo tutte le aree vulnerate dall'intrusione di acque marine negli ultimi anni. Inoltre l'aver considerato i valori massimi registrati ha permesso di porsi in una situazione cautelativa, osservando la situazione più critica.

Le scelte sopra descritte sono state effettuate poiché:

- i trend temporali delle variabili osservate non mostrano andamenti marcatamente stagionali e sono variabili da pozzo a pozzo, ciò avrebbe determinato "fotografie" del fenomeno variabili in funzione del tempo e difficilmente correlabili fra loro;
- non tutti i pozzi sono stati monitorati per lo stesso periodo di tempo, cosicché ciascun modello di distribuzione relativo ad un determinato periodo non sarebbe stato confrontabile con gli altri.

Inoltre la produzione di carte tematiche relative a ciascun periodo di campionamento avrebbe ridotto drasticamente il numero di punti noti a disposizione per ciascuna elaborazione, aumentando in modo esponenziale l'incertezza nell'individuazione delle aree interessate da fenomeni di intrusione di acque di mare.

Ciò premesso di seguito si descrivono le carte riportate all'Allegato 4 come tavole 3 e 4.

Le rappresentazioni relative a cloruri e conducibilità sono ben correlate e ricalcano abbastanza fedelmente le carte di distribuzione già elaborate nel 2004 da ARPAL per la definizione dell'area vulnerabile ai nitrati secondo l'ormai abrogato D.Lgs.152/99.

Come si può notare, oltre ad una zona prospiciente il mare, risulta interessata da alti valori di concentrazione di cloruri e conducibilità anche una zona più interna localizzata nell'intorno del pozzo siglato SVC011.

Tale ultima evenienza sembra essere del tutto scollegata dal fenomeno dell'intrusione del cuneo salino: dal grafico di Langelier-Ludwig di sinistra appare evidente un gruppo di punti (circolato di rosso) che, pur mantenendo una composizione nettamente calcico-magnesiaca, si sposta verso composizioni anioniche solfato dominanti

Ciò porta ad escludere intrusioni del cuneo salino, poiché la composizione chimica dovrebbe essere contraddistinta anche da un aumento di sodio.

Per quanto già riportato nelle schede dell'aggiornamento 2009 del Piano di Tutela delle Acque, la presenza di relativamente alte concentrazioni di SO_4 potrebbe essere collegata all'uso di fertilizzanti, così come per i NO_3 .

I pozzi della rete di monitoraggio ARPAL ubicati in questa zona risultano fenestrati unicamente in corrispondenza dei conglomerati pliocenici a profondità superiori ai 40 metri da piano campagna. Il fatto che a profondità considerevoli nelle falde presenti nei conglomerati si riscontrino concentrazioni elevate di nitrati e solfati di possibile origine antropica, potrebbe essere spiegato considerando che il rinnovamento delle falde profonde, una volta compromesse, sia più lento e meno influenzato da ricariche di sub-alveo "pulite", rispetto alla falda più superficiale.

Le contaminazioni potrebbero raggiungere la falda profonda o per le ricariche naturalmente provenienti dalle acque circolanti nei depositi quaternari sovrastanti o a causa di terebrazioni indiscriminate che hanno creato vie preferenziali di scambio tra i due sistemi precedentemente descritti.

Inoltre in SVC011 e SVC014 si sono riscontrate sporadicamente negli anni anche alte concentrazioni di zinco e altri metalli, comunque non riconducibili a fenomeni di intrusione di acqua marina.

In definitiva in queste acque relativamente profonde, a basso tasso di rinnovamento ed alto tempo di residenza, sono presenti in soluzione un quantitativo superiore di sali disciolti con un conseguente valor medio di conducibilità più elevato rispetto alle zone circostanti (si tenga presente che le carte di distribuzione sono bidimensionali e che per forza di cose sono stati elaborati dati provenienti da campionamenti effettuati a profondità diverse).

Tornando all'intrusione del cuneo salino in prossimità della linea di costa, si osservi come la maggior parte dei pozzi sia chiaramente influenzata dalla presenza delle acque salate che gradualmente si attenua, così come ci si attenderebbe, spostandosi verso l'interno.

In particolar modo sembrano essere influenzati maggiormente i pozzi ubicati nella parte mediana della piana di Albenga-Ceriale prospiciente il mare.

Questa situazione è derivante dalla concomitanza di più fattori; innanzi tutto ci si trova in una posizione tale che sia le acque di ricarica della falda di sub-alveo del F. Centa, sia le acque di ricarica provenienti dai rilievi montuosi nord-orientali hanno scarso potere di contrasto e conseguentemente scarso effetto di miscelazione e diluizione nei confronti delle acque derivanti dall'intrusione del cuneo marino.

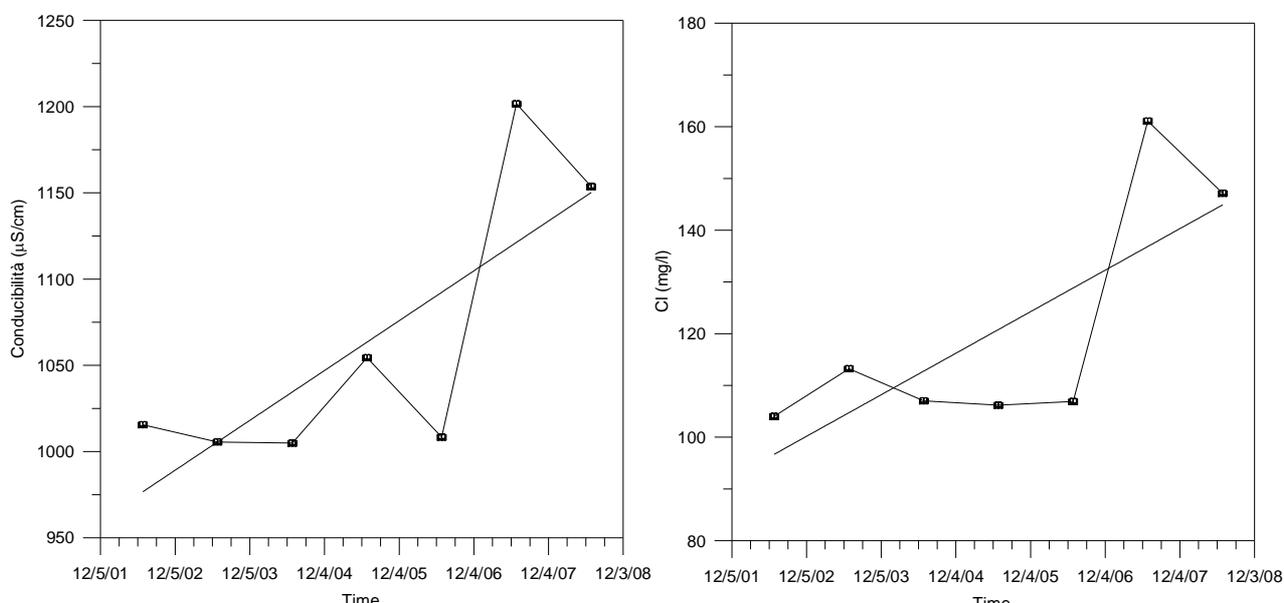
A questa situazione si deve poi aggiungere uno sfruttamento intensivo della risorsa idrica sotterranea che, anche attraverso la terebrazione di pozzi fenestrati lungo tutta la colonna verticale (che ha messo irrimediabilmente in comunicazione le diverse falde sovrapposte), ha portato ad un progressivo avanzamento verso l'interno del cuneo salino.

Il peggioramento progressivo della situazione è inoltre confermato dai grafici di seguito riportati, derivanti dai dati del monitoraggio delle acque sotterranee effettuato dall'ARPAL dal 2001 al 2008 compreso.

Questi grafici rivelano le linee di tendenza nel tempo dei parametri Cl e Cond.tà nella zona in oggetto.

Essi sono stati elaborati attraverso la valutazione della media di ogni singolo parametro riferita a tutto l'arco temporale investigato (2001-2008) ed ottenuta da tutti i pozzi insistenti nella stessa zona vulnerata.

Appare subito evidente come per la conducibilità ed i cloruri ci sia una marcata linea di tendenza positiva indice di un deciso peggioramento del corpo idrico sotterraneo nel suo insieme.



Andamento nel tempo (2001-2008) dei valori medi di concentrazione di conducibilità e cloruri, nella zona interessata dall'intrusione marina.

Infine, il fatto che alcuni punti della zona indagata siano scarsamente interessati dal fenomeno, e che quindi non risentono dell'effetto di miscelazione con le acque marine, può essere dovuto alla profondità di emungimento.

I tratti filtranti potrebbero infatti non raggiungere l'interfaccia acque dolci - acque salate.

Le considerazioni dedotte dall'interpretazione degli Allegati 3 e 4 trovano conferma anche nei grafici di seguito riportati. Tali grafici definiscono con certezza che le anomalie evidenziate nelle carte di distribuzione siano riconducibili ad una effettiva intrusione marina.

Il bacino del fiume Centa, come tutti i bacini tirrenici liguri, risulta esposto all'azione dell'aerosol marino.

Microscopici sali vengono immessi in atmosfera dall'azione combinata del moto ondoso e del vento, queste particelle divengono i nuclei di condensazione delle gocce di pioggia che riflettono pertanto il chimismo delle acque marine (rimangono costanti i rapporti tra le specie chimiche presenti anche in condizioni di diluizione infinita).

Pertanto anche la composizione delle acque sotterranee, soprattutto quelle influenzate da infiltrazioni dirette in falda, risente di questa particolare situazione comune a tutte le zone costiere.

Per questo motivo è stato costruito il grafico logaritmico di seguito riportato, con i valori delle concentrazioni di Cl⁻ in ascisse e di Na⁺ in ordinate, sul quale è rappresentata la retta di diluizione infinita dell'acqua di mare (linea blu).

Il grafico permette di individuare immediatamente i campioni che hanno subito miscelamenti con acque di mare a causa di intrusioni del cuneo salino.

Tali campioni saranno posizionati sempre sulla retta di diluizione infinita dell'acqua di mare, ma verso concentrazioni molto più elevate.

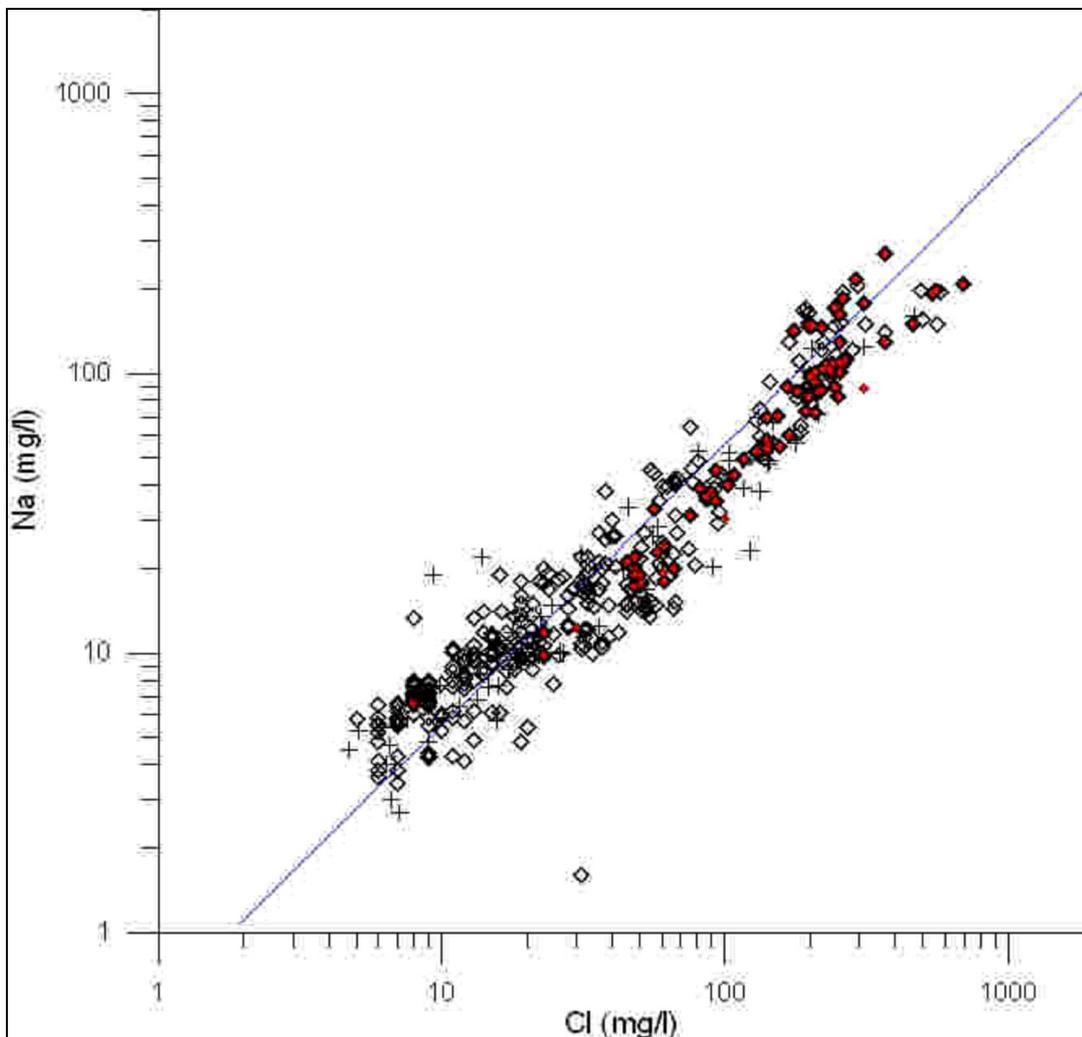


Diagramma log-log di correlazione Cl Vs Na

Nella figura sopra sono riportati i campioni prelevati dal 2001 al 2009 da ARPAL sull'intero acquifero del fiume Centa (rombi vuoti neri) e i campioni prelevati nelle due campagne previste a progetto (croci nere).

Inoltre sono stati evidenziati, tra i campioni ARPAL, quelli prelevati nella zona maggiormente vulnerata (rombi neri, evidenziati in rosso).

Si noti che, per quanto tutti i campioni si dispongano in prossimità della retta di diluizione delle acque di mare, nessuno dei rombi rossi mostra concentrazioni di cloruri inferiori a circa 20-30 mg/l. Inoltre molti di essi sono contraddistinti da valori superiori a 100 mg/l, indicativi di certa intrusione marina.

I pozzi scelti a progetto, con la finalità di individuare aree vulnerate, si posizionano lungo tutta la retta confermando quanto visto fin'ora.

Dall'analisi della correlazione Cl Vs Na, secondo quanto già osservato attraverso l'analisi degli allegati (tavole 3 e 4, distribuzioni Cl e cond.), si può dedurre che vi sia un considerevole numero di pozzi interessati dal cuneo salino e che esista un'ampia zona di miscelamento tra acque dolci e salate.

Ne è conferma il fatto che il range di concentrazione di cloruri compreso tra circa 100 e 1000 mg/l sia piuttosto popolato dai campioni considerati.

Per meglio identificare il fenomeno di intrusione marina attraverso l'analisi della composizione chimica di ogni campione sono stati inoltre elaborati, come precedentemente accennato, i due diagrammi Langelier-Ludwig di seguito riportati.

I campioni e le relative simbologie utilizzati sono le stesse di quelli riportati nel grafico Cl Vs Na, il pallino blu rappresenta il chimismo medio delle acque di mare.

Il diagramma quadrato di Langelier-Ludwig, dalla posizione di un campione all'interno del diagramma stesso, rende immediatamente apprezzabile in quali percentuali siano presenti gli ioni principali di ogni campione e quindi di discriminarne la tipologia geochemica.

Entrambi i grafici distinguono, relativamente alla matrice anionica, acque cloruro-solfatiche (due quadranti di sinistra) da acque bicarbonatiche (due quadranti di destra).

Per la composizione cationica è stato deciso di presentare due diagrammi distinti dove sono valutate, una volta le concentrazioni di %Ca + %Mg rispetto a %Na + %K ed una volta la concentrazione del solo %Ca contro la somma di %Na + %K + %Mg. Ciò permette di discriminare il peso percentuale del magnesio nel chimismo delle acque.

Chiaramente le acque di mare (pallino blu) vanno ad occupare una netta posizione cloruro dominante, pertanto un teorico miscelamento di acque di mare con acque bicarbonato alcalino-terrose corrispettive delle zone più interne e prossime all'alveo del f. Centa dovrebbe essere rappresentato dalla linea tratteggiata riportata in entrambi i grafici.

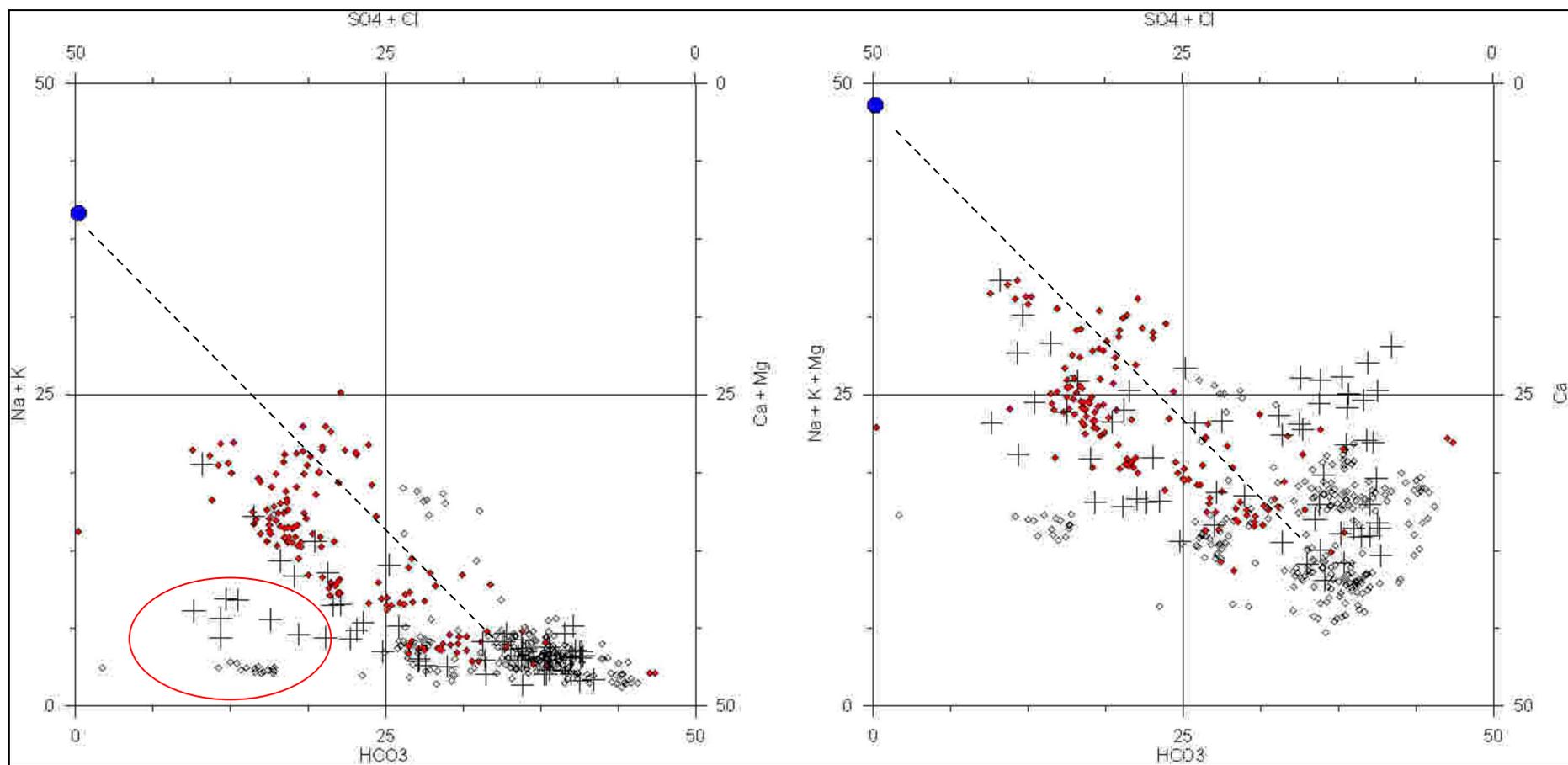
La disposizione dei rombi rossi e delle croci nere, partendo da composizioni intermedie evidenziate da tutti gli altri punti, presenta un trend evolutivo che si sposta verso composizioni cloruro sodiche caratteristiche dell'acqua di mare.

In conclusione si presenta il seguente modello concettuale: idrogeologicamente la circolazione idrica sotterranea presente nella zona di Ceriale sembra essere completamente separata da quella porzione della piana di Albenga, influenzata direttamente dagli afflussi di sub-alveo del f. Centa.

Le peculiarità "dell'acquifero di Ceriale" sono da imputarsi al sistema di ricarica vigente oltre che a particolari situazioni stratigrafico-deposizionali.

Tale zona è infatti alimentata prevalentemente dagli scarsi apporti derivanti dai ridotti bacini dei torrenti minori e dalle acque di ricarica dei rilievi montuosi posti a Nord-Est.

Questa situazione, unitamente ad un intenso sfruttamento della risorsa idrica sotterranea soprattutto per scopi agricoli, ha esposto l'acquifero ad un alto grado di vulnerabilità favorendo l'ormai noto fenomeno di intrusione delle acque di mare nelle falde presenti nella zona di Ceriale.



Diagrammi Langelier- Ludwig

3.4 Possibili strategie di intervento

Considerate le criticità sopra sinteticamente esposte e tenuto anche conto delle pressioni antropiche che caratterizzano il territorio in questione, al fine di contrastare il fenomeno riscontrato di intrusione del cuneo salino e salinizzazione della falda si possono individuare una serie di possibili indirizzi operativi e strategie di intervento, di seguito sinteticamente indicati, tra loro complementari e sinergici.

Tali azioni, in alcuni casi, sono necessariamente da perseguirsi gradualmente, con un orizzonte temporale di medio lungo periodo, ed a seguito di analisi più specifiche ed approfondite, che non possono essere affrontate in quest'ambito.

– **Promuovere la generale riduzione dei consumi idrici**

In primo luogo è necessario evidenziare la necessità di attivare azioni di ampio respiro finalizzate ad un uso sostenibile e più razionale della risorsa idrica disponibile, anche in relazione alla necessità di garantire la disponibilità di acqua per gli usi idropotabili prioritari. Al fine del raggiungimento di questo obiettivo è opportuno che vengano attivate tutte quelle politiche virtuose, in grado di agire prevalentemente sulla riduzione dei consumi, quali, ad esempio:

- incentivare il risparmio idrico da parte delle varie utenze, sia di tipo civile, che industriali ed agricole;
- migliorare l'efficienza delle reti di distribuzione, cercando in particolare di tralasciare la riduzione nei limiti fisiologici dell'entità delle perdite reali;
- differenziare le reti acquedottistiche a seconda dei diversi tipi di utilizzi idrici;
- ridurre le idroesigenze agricole, anche attraverso l'utilizzo di metodi irrigui a maggiore efficienza;
- promuovere il riutilizzo ed riciclo delle acque a fini agricoli e nei processi industriali;
- affrontare il riordino dei titoli di concessione, anche attraverso la promozione in alternativa di strutture irrigue consortili;
- attivare dispositivi di misura e monitoraggio delle portate derivate o emunte;
- definire specifici protocolli di gestione dinamica delle criticità quantitative stagionali.

Nell'area in esame assumono particolare valenza gli aspetti di contenimento idroesigenze agricole, tenuto conto della rilevanza delle pressioni che vengono esercitate dal settore agricolo sull'acquifero.

Altro aspetto rilevante, peraltro messo in evidenza dallo stesso PTA, risulta quello della razionalizzazione e del miglioramento dell'efficienza delle reti di distribuzione acquedottistiche, anche attraverso opere di rifacimento ed interconnessione delle reti, tenuto conto dell'attuale frammentazione dei sistemi acquedottistici locali.

Per una descrizione dettagliata degli interventi previsti in tal senso si rimanda agli specifici contenuti del Piano di Tutela delle Acque della Regione Liguria.

– **Limitare gli emungimenti sotterranei**

Fatta salva la necessità più generale di attivare strategie in grado di agire prevalentemente sulla riduzione dei consumi idrici, sopra ricordata, andrebbero, come prima misura, limitati gli emungimenti da pozzo di tipo non prioritario, ed in particolare quelli situati in prossimità della linea di costa, in quanto maggiormente soggetti ad esercitare un richiamo di acque salate in falda.

L'eliminazione di possibili conconi di depressione della superficie piezometrica contribuirebbe infatti a limitare significativamente l'area di intrusione salina nel settore settentrionale della piana, dove la capacità di ricarica dell'acquifero risulta minore.

In quest'ottica assume una particolare rilevanza l'esigenza di procedere ad una progressiva razionalizzazione ed al generale riordino dei titoli di concessione degli emungimenti sotterranei, in particolare di tipo irriguo, insistenti sull'area in esame.

In tal senso va peraltro ricordato che il PTA indica, quali possibili interventi per il settore dell'acquifero a maggiore criticità, in particolare i seguenti:

- La riduzione degli emungimenti.
- Impedire nuove terebrazioni di pozzi.
- Metodi alternativi di approvvigionamento per i diversi utilizzi della risorsa.
- Dismissione progressiva dei desalinizzatori presenti sul territorio per limitare lo sfruttamento quantitativo dell'acquifero, per prevenire l'impovertimento della risorsa stessa ed al contempo per impedire che i reflui del trattamento vengano reimmessi nel sistema idrico sotterraneo.

– **Favorire l'infiltrazione di acqua dolce e la ricarica dell'acquifero**

Parallelamente alla riduzione degli emungimenti, è necessario favorire la ricarica naturale dell'acquifero, obiettivo che si può ottenere sia evitando l'impermeabilizzazione di estese aree della piana (ed in modo particolare degli alvei) e, al contrario, incrementando il più possibile le aree di ricarica dell'acquifero, soprattutto lungo le aste dei corsi d'acqua presenti nel settore settentrionale della piana costiera, che, come evidenziato in precedenza, presenta capacità di ravvenamento della falda più limitate.

A tal proposito si ricorda che la Provincia di Savona, a seguito di uno specifico Protocollo d'Intesa sottoscritto in data 07/08/2008 con il Dipartimento Agricoltura, Protezione Civile e Turismo della Regione Liguria, sta sviluppando un "Progetto generale preliminare per la riqualificazione della Piana Ingauna di levante".

Tenuto conto delle esigenze sopra richiamate e che del fatto che il progetto sopra citato interessa anche aspetti connessi con la sistemazione idraulica del reticolo idrografico insistente sul settore settentrionale della piana in esame (tra i quali in particolare il Torrente Carenda, il Rio Torsero, il Rio San Rocco e il Rio Antonoiano) e che tale settore rappresenta l'area a maggiore criticità per quanto concerne i fenomeni intrusione del cuneo salino, risulta opportuno che siano sviluppate - ove tecnicamente possibile - soluzioni progettuali tali da favorire sia un'adeguata ricarica naturale dell'acquifero (evitando, ad esempio, estese "canalizzazioni" impermeabili dei corsi d'acqua), sia un'adeguata capacità autodepurativa e buona qualità delle acque superficiali fluenti nello stesso reticolo idrografico (attraverso, ad esempio, lo sviluppo di opportune fasce tampone riparie).

Tale progettazione, se opportunamente sviluppata, può pertanto costituire un'importante occasione di riqualificazione organica della piana, in grado di coniugare la messa in sicurezza idraulica con le esigenze di miglioramento ambientale e di tutela dell'acquifero.

4 - PIANA TERMINALE E COSTIERA DEL FIUME MAGRA – ATTIVITA SVILUPPATE, CRITICITA' ED IPOTESI DI INTERVENTI DI MITIGAZIONE

4.1 Cenni di inquadramento geografico e geologico

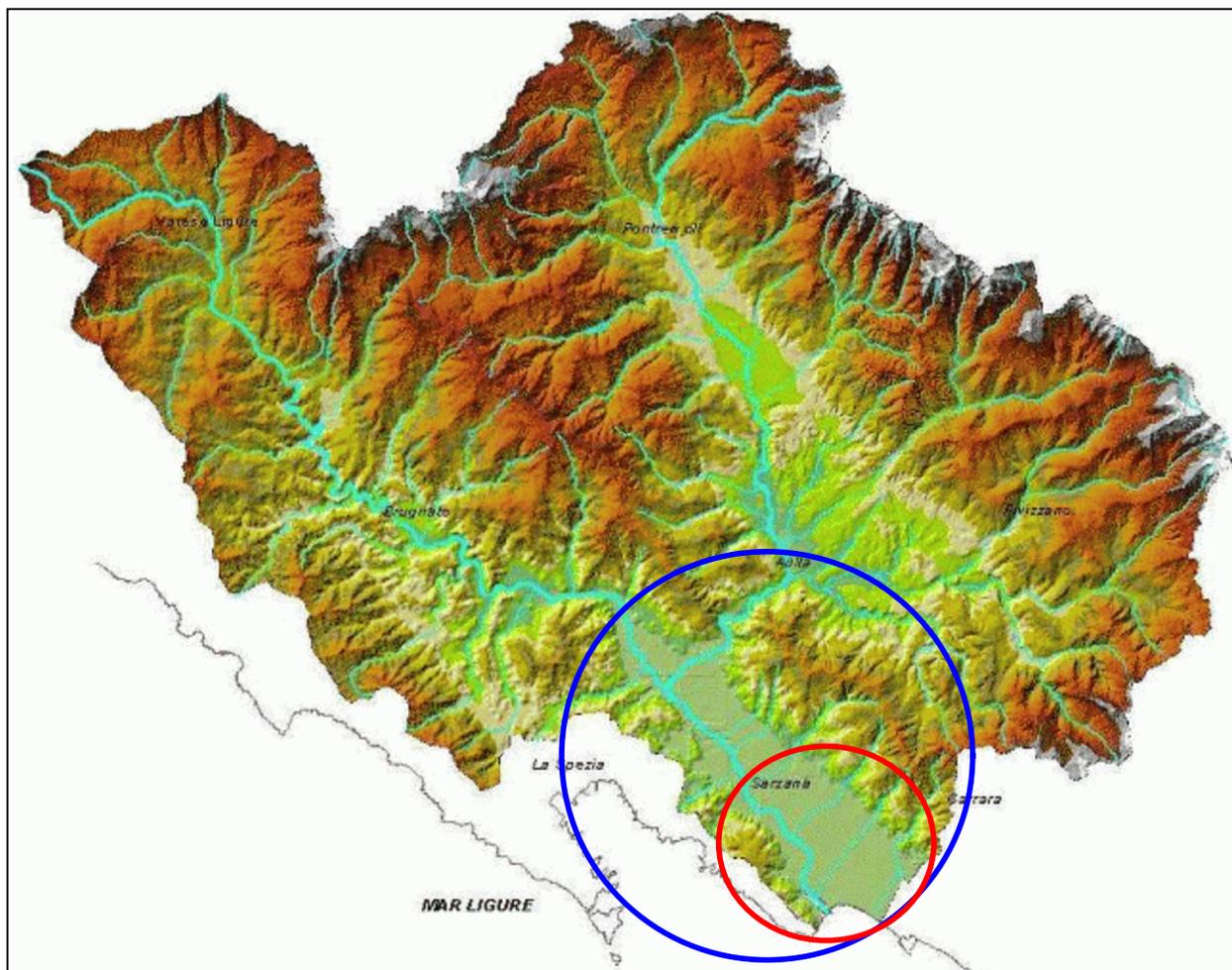
Il Bacino idrografico

Il bacino idrografico del Fiume Magra, è situato nell'Italia centro-settentrionale ed è delimitato a nord dallo spartiacque Appenninico che lo separa dal bacino del Fiume Po, a Ovest confina con i bacini liguri del Graveglia-Entella e del Gromolo-Petronio, a Sud-Ovest con i bacini costieri dello spezzino, a Sud-Est con le Alpi Apuane ed i bacini dei T. Carrione e Frigido, a Nord-Est è infine delimitato dallo spartiacque con il Fiume Serchio.

Il Fiume Magra sfocia nel Mar Ligure poco a Est di Punta Bianca, nell'estrema Liguria di Levante, vicino al confine regionale toscano.

La lunghezza dell'asta del Fiume Magra è di circa 70 km, mentre quella del Fiume Vara, suo principale affluente, raggiunge circa 65 km.

Il bacino ha una superficie complessiva di circa 1.700 Km², ricadente circa per il 42 % in Regione Liguria (quasi integralmente in Provincia della Spezia) e per 58% in Regione Toscana (quasi integralmente in Provincia di Massa Carrara).



Modello digitale del terreno del bacino del Fiume Magra (fonte elaborazione Autorità di Bacino del Fiume Magra): evidenziata in blu la pianura che ospita i corpi idrici della Bassa Val di Magra e in rosso l'area a maggiore criticità di specifico interesse del PAL (l'areale segnato è puramente indicativo).

Il regime del corso d'acqua risulta sostanzialmente di tipo torrentizio, con prolungate magre estive seguite da forti ed improvvise piene concentrate soprattutto nel periodo autunnale e primaverile.

Il territorio del bacino risulta prevalentemente montuoso e collinare, in buona parte boscato (oltre due terzi della superficie); sono presenti aree pianeggianti di fondovalle di una certa estensione a Filattiera in Lunigiana, e, soprattutto, dalla confluenza Magra – Vara fino alla foce (Bassa Val di Magra).

La piana della bassa Val di Magra

La piana alluvionale della Bassa Val di Magra rappresenta, in particolare, l'area più densamente popolata di tutto il bacino del Fiume Magra ed è anche quella in cui si concentrano le maggiori pressioni antropiche.

Amministrativamente il territorio della piana ricade gran parte in Regione Liguria (Provincia della Spezia), salvo alcuni lembi ricadenti in Regione Toscana (Provincia di Massa Carrara).

Il confine con la regione Toscana nel tratto costiero è costituito dall'alveo del Torrente Parmignola, il quale, pur non essendo un affluente del Fiume Magra in quanto sfocia direttamente in mare poco a sud della sua foce, risulta strettamente connesso con la piana costiera dello stesso Fiume Magra.

Da punto di vista geologico, l'assetto della piana è caratterizzato dal fatto che le alluvioni del tratto terminale del F. Magra sono situate all'interno di una depressione di origine tettonica caratterizzata da fianchi asimmetrici, con il fianco destro che risulta costituito da pendii relativamente acclivi, con pochi e limitati affluenti, mentre il fianco sinistro è costituito da pendii meno acclivi, caratterizzati anche dalla presenza di terrazzamenti alluvionali tardo-quadernari, con una presenza più significativa di affluenti di una certa estensione.

Il substrato roccioso del graben che ospita la piana terminale del Fiume Magra è costituito da litotipi prevalentemente arenacei e calcarei (zona Montemarcello) sul fianco destro della valle, mentre prevalgono rocce calcareo-marnose sul fianco sinistro, dove localmente affiorano anche litotipi di tipo ofiolitico (zona Ponzano Magra).

I livelli conglomeratici, ghiaiosi e sabbiosi più permeabili, complessivamente di considerevole potenza (soprattutto nel tratto terminale della piana), di origine sia alluvionale recente, che di genesi fluvio-lacustre più antica, contengono il sistema degli acquiferi che occupano la parte terminale del bacino del Fiume Magra, nel tratto grosso modo compreso tra la zona poco a monte della confluenza tra i fiumi Magra e Vara e la foce, dove i sedimenti fluviali formato la più estesa pianura alluvionale in territorio ligure, piana che si estende per circa 20 km di lunghezza e con una larghezza compresa fra 2 e 4 km.

Una approfondita descrizione dell'idrogeologia della Piana è fornita, in particolare, da dettagliati studi sviluppati per conto di ACAM in funzione della tutela dei suoi campi pozzi.

In tali studi, basati anche sulle delle stratigrafie dei pozzi presenti, viene ricostruito un assetto dell'acquifero alluvionale della bassa Val di Magra, che, in estrema sintesi, è caratterizzato dalla presenza di successioni di sedimenti di origine alluvionale per lo più permeabili (ghiaie, ciottoli, sabbie), sia recenti che di origine villafranchiana, localmente separati da intercalazioni, con spessori anche rilevanti, di limi ed argille poco permeabili di origine fluvio-lacustre e lagunare.

Tali livelli di poco permeabili sono presenti, in generale, con maggiore continuità e potenza spostandosi verso il settore meridionale della piana, a valle di Sarzana, dove tuttavia i dati stratigrafici risultano più carenti e la potenza dei sedimenti alluvionali aumenta considerevolmente e pertanto le ricostruzioni stratigrafiche risultano soggette a maggiori incertezze.

Sulla base degli stessi studi condotti da ACAM, nel settore meridionale della piana, sono tuttavia sostanzialmente individuabili due distinti acquiferi, uno più profondo nei sedimenti alluvionali più antichi, ed uno superficiale ospitato nei sedimenti alluvionali recenti, mentre nel settore più settentrionale della piana è riconoscibile un'unica falda libera che occupa tutto lo spessore dei sedimenti alluvionali fino al substrato roccioso, localizzato ad una profondità dell'ordine di alcune decine di metri.

E' opportuno infine ricordare che l'assetto attuale del tratto fociivo della piana risente largamente degli interventi antropici che si sono succeduti nel tempo, sia connessi ad opere o interventi di bonifica delle aree paludose, che nel passato caratterizzavano gran parte della pianura costiera, sia ad interventi di escavazione ed estrazione di sedimenti anche direttamente dall'alveo.

Nel tratto terminale del Fiume Magra sono tra l'altro ancora riconoscibili le tracce tre di vecchi meandri abbandonati e successivamente in gran parte colmati e "bonificati" (in particolare, in sponda sinistra, in località Boceda e il così detto Ramo Morto di Alberone, mentre, in sponda destra, il così detto Ramo Morto di Camisano).



Foto della foce del Fiume Magra ripresa dal mare (fonte sito Web Autorità di Bacino Fiume Magra): si può osservare l'attuale assetto fortemente approfondito del tratto terminale del fiume.

4.2 Significatività dell'acquifero del Magra e sue problematiche di salinizzazione

La scelta dell'acquifero costituito dai sedimenti alluvionali della Bassa Val di Magra è stata effettuata in ragione del suo interesse strategico per il territorio della Provincia della Spezia, in quanto questo rappresenta, oltre che uno tra i maggiori acquiferi a livello

regionale, di gran lunga la principale fonte di approvvigionamento idropotabile a livello provinciale.

L'acquifero garantisce, infatti, i fabbisogni idrici di circa 150.000 abitanti, residenti in gran parte all'esterno del bacino idrografico (oltre i Comuni della bassa Val di Magra, tra i quali la Città di Sarzana, l'acquifero rifornisce l'intera Città della Spezia e diversi comuni costieri).

La rete acquedottistica idropotabile gestita da ACAM è infatti alimentata da numerosi ed importanti campi pozzi idropotabili, distribuiti sia nel tratto poco a monte della confluenza Magra - Vara, sia a valle della stessa confluenza fino a circa l'altezza della Città di Sarzana (in questa zona in particolare sono presenti importanti campi pozzi in loc. Fornola, Piana d'Arcola e Battifollo, che rappresenta la zona di emungimento più meridionale e quindi quella potenzialmente più a rischio di eventuali episodi di intrusione salina).

I fabbisogni idrici agricoli sono invece, in buona parte, soddisfatti dal consorzio del Canale Lunense, la cui origine risale alla fine del 1800, costituito da una estesa rete di canali secondari di distribuzione che si diramano da un canale principale, lungo oltre 22 Km, in gran parte a cielo aperto, alimentato da una presa superficiale situata in territorio toscano a qualche chilometro a monte della confluenza Magra - Vara.

Il Piano di Tutela delle Acque della Regione Liguria, nella sua recente revisione ed integrazione, analizza l'acquifero sotterraneo significativo dei Fiumi Vara e Magra e, nell'ottica della caratterizzazione ai sensi del D.Lgs 30/09, lo suddivide in tre corpi idrici distinti con caratteristiche omogenee denominati "VARA-MAGRA zona A", "VARA-MAGRA zona B" e "VARA-MAGRA zona C".

I dati disponibili hanno portato a classificare quantitativamente il corpo idrico denominato "VARA-MAGRA zona B" con uno stato scadente, con l'obiettivo del raggiungimento di uno stato buono all'anno 2027.

Come si può osservare dall'analisi del PTA, uno dei fattori di criticità più rilevanti per quanto riguarda il corpo idrico denominato "VARA-MAGRA zona B" è rappresentato dalla salinizzazione della falda per effetto dell'intrusione del cuneo salino.

I grandi emungimenti idropotabili interessano il corpo idrico denominato "VARA-MAGRA zona A", situato subito a monte dell'area attualmente interessata dall'intrusione salina.

L'area di interesse dello studio comprende sostanzialmente il corpo idrico denominato "VARA-MAGRA zona B" e, più marginalmente, il settore meridionale del corpo idrico denominato "VARA-MAGRA zona A".

Del tutto esterno all'area di studio risulta invece il corpo idrico denominato "VARA-MAGRA zona C", situato molto più a monte nel materasso alluvionale del tratto terminale del Fiume Vara, che presenta criticità non riconducibili all'intrusione del cuneo salino.

Nonostante il sistema di acquiferi della Bassa Val di Magra presenti in generale nel suo complesso notevoli potenzialità e capacità di ricarica, il corpo idrico oggetto dei principali emungimenti a fini idropotabili (corpo idrico "VARA-MAGRA zona A") presenta comunque delle potenziali problematiche connesse con l'intrinseca fragilità degli acquiferi, dovuta alla sostanziale connessione tra la falda oggetto degli emungimenti, non sempre confinata da livelli impermeabili sufficientemente continui, e le acque fluviali, e pertanto, in quest'ottica, su tale porzione dell'acquifero assume particolare rilevanza l'applicazione di specifiche aree di salvaguardia finalizzate alla tutela degli emungimenti idropotabili, come indicato dallo stesso Piano di Tutela delle Acque della Regione Liguria.

Le maggiori criticità effettive si riscontrano tuttavia nel tratto terminale del Fiume Magra, grosso modo a valle della Città di Sarzana (corpo idrico "VARA-MAGRA zona B"), dove la profonda incisione dell'alveo si mantiene sotto il livello medio marino per diversi chilometri a monte della foce.

La presenza di acqua salata ha costretto nei decenni passati all'abbandono di numerosi pozzi, sia privati che acquedottistici, presenti nel settore meridionale della piana interessato dall'intrusione salina. I fenomeni intrusione salina hanno costretto in particolare all'abbandono dei campi pozzi acquedottistici di Ameglia e di Romito.

La profonda incisione dell'alveo del tratto terminale del Fiume Magra, imputabile in massima parte alle eccessive escavazioni di sedimenti alluvionali registratesi nei decenni passati, provoca infatti la risalita di acqua marina lungo l'alveo, in particolare durante la stagione secca estiva, quando le portate del fiume sono ridotte al minimo, e la conseguente salinizzazione più o meno spinta della falda, soprattutto in prossimità dell'alveo fluviale e localmente nelle zone di richiamo da parte di pozzi.

Tale situazione è peraltro chiaramente evidenziata anche dai dati degli ultimi campionamenti in alveo effettuati da ARPAL nella stagione estiva 2009, che hanno portato a classificare i chilometri terminali del Fiume Magra quali "acque di transizione".

Questa problematica interessa, anche se in misura decisamente minore, anche alcuni affluenti di sponda sinistra del Fiume Magra, nella parte più meridionale della piana, il cui alveo nel tratto terminale risulta inciso al di sotto del livello medio marino.

Il forte abbassamento dell'alveo del Fiume Magra registratosi in particolare nella seconda metà del 1900, oltre che causare direttamente la risalita di acqua marina in alveo anche a diversi chilometri dalla foce, ha parallelamente contribuito a determinare un marcato e generale abbassamento della superficie piezometrica della falda, dell'ordine di alcuni metri negli ultimi decenni, per effetto dell'azione di drenaggio esercitata dall'alveo stesso del fiume Magra nel suo "nuovo" assetto approfondito.

Va peraltro evidenziato, per quanto riguarda specificatamente il tratto terminale focivo, che la configurazione attuale dell'alveo risulta anche condizionata dalla necessità di mantenere la navigabilità ed a complesse problematiche connesse con l'elevato rischio idraulico che caratterizza l'area.

La direttrice di salinizzazione attraverso l'alveo, sopra descritta, va peraltro a sommarsi con il normale andamento cuneo salino presente in corrispondenza della linea di costa, accentuandone l'estensione e gli effetti.

In tal senso deve essere anche ricordato che l'andamento della linea di costa del tratto compreso tra Bocca di Magra e il T. Parmignola (corrispondente al confine regionale è stato caratterizzato da un marcato arretramento, dell'ordine delle centinaia di metri nei settori prossimi a Fiumaretta, verificatosi a partire da circa la metà del 1800, quando ha incominciato ad invertirsi la generale tendenza all'avanzamento nota in tempi storici.

Tale fenomeno, unitamente all'innalzamento del livello marino globale nell'ultimo secolo ed alla subsidenza della parte terminale della pianura del F. Magra (accentuata dall'abbassamento della falda freatica anche conseguente alle estrazioni di inerti e all'abbassamento dell'alveo del fiume) deve essere tenuto in considerazione tra i fattori che hanno sicuramente contribuito ad acuire il fenomeno sul medio-lungo periodo.



Cartografia storica IGM anno 1852 del tratto focivo a valle della confluenza Magra-Vara e del tratto focivo del Magra: facendo il confronto con le cartografie attuali si può facilmente comprendere il grado di alterazione dell'alveo del Fiume Magra prodotto dalle attività antropiche negli ultimi decenni.

4.3 Descrizione e risultati delle nuove indagini sviluppate

La ricognizione documentale, avviata inizialmente tramite il coinvolgimento dei soggetti direttamente implicati nell'espletamento delle attività a progetto (Regione e ARPAL), è stata estesa anche ad altri soggetti interessati nelle due aree (es. Province, Autorità di Bacino, altri Enti territoriali, municipalizzate) ed ha portato al reperimento, in particolare, della seguente documentazione:

- Studio pedologico della Regione Liguria (approfondimento specifico per il lotto inerente la Val di Magra).

- *Piano di Tutela delle Acque della Regione Liguria (approfondimento specifico relativo ai corpi idrici significativi della Bassa Val di Magra e Vara).*
- *"Studio ambientale del Fiume Magra" prodotto dall'ENEA per il tratto focivo del Fiume Magra.*
- *ACAM - Studio per la difesa dall'intrusione salina nella porzione fociva del Fiume Magra (anno 2001).*
- *ACAM - Università degli Studi di Genova - Provincia della Spezia - Progetto Aquanet: Geochimica, idrogeologia, qualità e vulnerabilità dell'acquifero alluvionale del basso bacino del fiume Magra.*
- *ACAM - Università degli Studi di Genova – Atlante degli acquiferi della Liguria - Volume IV: L'acquifero alluvionale della bassa valle del Fiume Magra.*
- *Amministrazione Provinciale di La Spezia (1994) – Primo intervento di gestione delle risorse idriche della foce del F.Magra – Termomeccanica Italiana S.p.A., Ecoter S.r.l..*
- *A.N.E.P.L.A, Parma (1972) – Studio di massima sulle possibilità estrattive di inerti nel quadro di una risistemazione dell'alveo del F.Magra – ELC Electroconsult.*
- *Autorità di Bacino del Fiume Magra - Studio per la definizione del bilancio idrico e idrogeologico del bacino del fiume Magra – Dip. Scienze della Terra Univ. di Siena.*
- *Piano Stralcio "Assetto idrogeologico del bacino del Fiume Magra e del Torrente Parmignola".*
- *Autorità di Bacino del F. Magra "Studio geomorfologico dei principali alvei fluviali nel bacino del Fiume Magra finalizzato alla definizione di linee guida di gestione dei sedimenti e della Fascia di Mobilità Funzionale" – Dip. Ingegneria Civile e Ambientale Univ. di Firenze (studi condotti dal 2004 al 2009).*
- *Dati campionamenti pozzi Arpal (anni 2001 – 2008).*
- *Dati parametri pedologici da carta pedologica Liguria.*
- *Dati idro - meteorologici locali.*
- *Nuova Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 (Progetto CARG) – Foglio La Spezia*

Partendo dal quadro emerso dall'analisi dei dati pregressi è stata quindi sviluppata la nuova campagna di campionamenti, di seguito descritta, finalizzate a meglio definire lo stato di attuale del fenomeno di salinizzazione che interessa l'acquifero, sinteticamente descritto nel paragrafo precedente.

Caratterizzazione dell'area campionata

L'area di interesse del Programma regionale è stata focalizzata sul settore meridionale dell'acquifero della bassa Val di Magra, che rappresenta l'area a maggiore criticità per quanto riguarda la salinizzazione della falda.

Come riportato negli aspetti metodologici nella zona sono stati individuati in area agricola 31 appezzamenti di terreno in cui risultavano presenti anche pozzi.

In questi appezzamenti sono stati effettuati in 2 epoche stagionali diverse prelievi di acqua e terreno da sottoporre ad analisi di laboratorio.

In realtà tra il primo campionamento ed il secondo non c'è stata sovrapposizione piena in quanto il secondo campionamento è stato integrato da 4 punti per rappresentare meglio alcune aree di particolare interesse.

In ogni appezzamento campionato, tramite un'apposita scheda prelievo preventivamente predisposta (All. 2.1) sono stati rilevati dati relativi al pozzo e all'attività agricola praticata

ed in tabella 3.8 ne sono riportati alcuni significativi che saranno commentati e disarticolati in seguito.

Dal punto di vista della collocazione territoriale, i punti prelevati appartengono prevalentemente ai comuni di Sarzana (20) ma sono stati interessati anche i comuni di Ameglia (8) e Lerici (3).

Sarzana	20
Ameglia	8
Lerici	3
Totale	31

Per quanto riguarda la dimensione aziendale, la superficie media aziendale, ricalcando la realtà ligure, è circa 1,6 ha.

Ordinamento colturale	N.
floricoltura vivaistica	2
giardino - orto privato	1
orticolo	14
orticolo - cerealicolo (frumento e mais)	3
orticolo - viticolo	1
ortivo - basilico	2
orto - frutticolo	1
vivaistico - orticolo pieno campo	1
(non specificato)	6
Totale	31

Per l'ordinamento colturale attuato, come si può verificare in tabella sopra, risultano prevalenti le aziende orticole.

Tra le orticole esistono aziende specializzate nella coltivazione del basilico ma spesso risultano associate anche altre colture quali le arboree (vite e frutteti) o seminativi. Risultano presenti anche aziende ortoflorovivaistiche che, pur non essendo particolarmente diffuse nella realtà locale, quelle presenti risultano particolarmente sensibili alla problematica.

Circa il metodo di coltivazione, risulta che 5 aziende praticano l'agricoltura biologica.

Se si esamina le modalità di coltivazione serra o pieno campo, emerge che circa un quinto delle aziende attua colture in serra o tunnel.

Per quanto attiene i sistemi irrigui praticati, emerge che circa la metà delle aziende campionate (16) praticano l'irrigazione a scorrimento anche se probabilmente non forma esclusiva inoltre in molti casi, pur disponendo di pozzi, si attinge alla risorsa irrigua proveniente dal Consorzio Irriguo locale (18).

Va segnalato inoltre che in genere non si dispone di cisterne, non si ricorre al recupero di acqua piovana e non si utilizzano sistemi per il trattamento delle acque.

Quanto risulta dal campione rappresenta abbastanza fedelmente la realtà agricola produttiva dell'area.

Per quanto attiene l'elaborazione dei dati relativi a profondità ed età dei pozzi emerge quanto riportato in tabella seguente, ovvero:

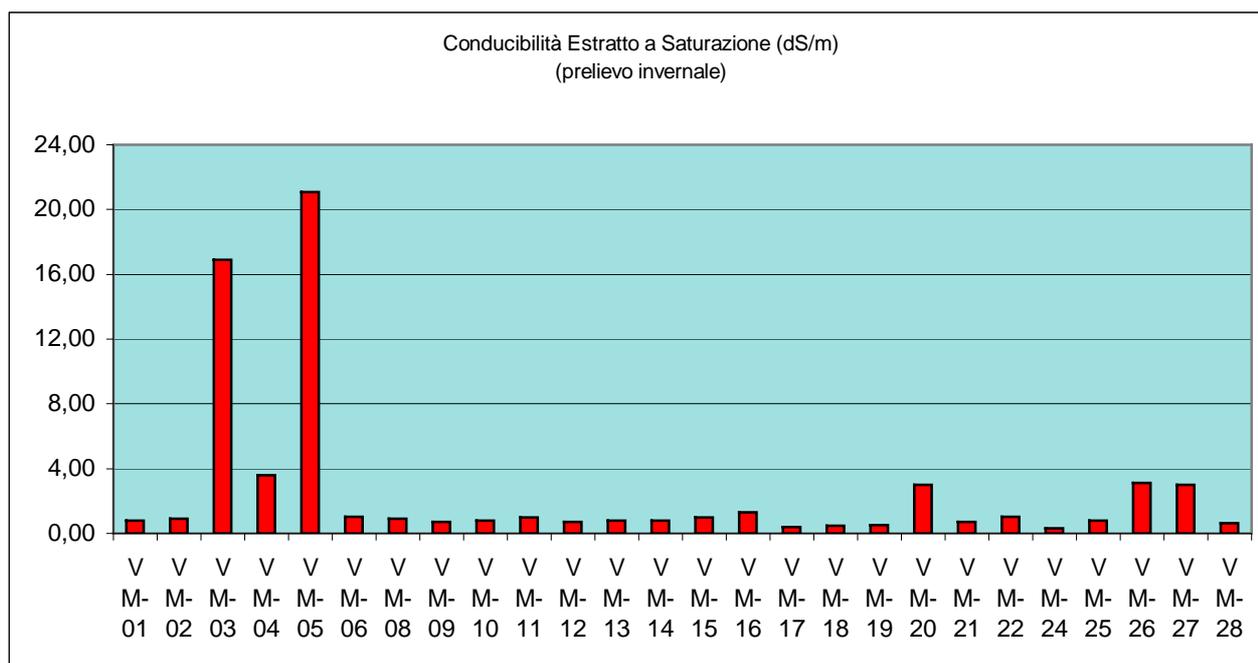
Classe profondità (m)	N. pozzi	%	Classe di età (anni)	N. pozzi	%
0-15	22	71%	0-15	1	3%
>15-30	1	3%	>15-30	8	26%
>30	8	26%	>30	16	52%
Non specificato	1	-	Non specificato	6	19%
Profondità Media ... metri	18,3		Età Media ... anni	47,2	

- la profondità media è di circa 18 metri ma i valori oscillano tra i 5 ed i 46 metri ma 22 hanno profondità inferiore ai 15 metri (71%), 1 tra 15 e 30 mentre 8 hanno profondità superiore a 30 metri. In pratica sono presenti o pozzi relativamente superficiali o pozzi profondi (35-45 metri) mentre è praticamente assente la fascia intermedia.
- l'età media di realizzazione è di circa 47 anni (oscillazioni da 8 a 100) mentre i pozzi recenti (<15 anni) sono 1 (circa il 3%), quelli intermedi (15-30) sono 8 (26%) mentre quelli con più di trenta anni sono circa la metà (16).

Risultati analisi suoli

• Campionamento invernale

Nelle tabella 3.9 allegata alla presente relazione sono riportati i risultati delle determinazioni analitiche per i diversi parametri considerati. Per focalizzare il problema salinità in questo contesto sono presi in considerazione in via prioritaria i parametri strettamente correlati al fenomeno ed in particolare la Conducibilità elettrica dell'estratto nel rapporto acqua/soilo=5:1 (EC_{5:1}) e il corrispondente calcolato per l'estratto a saturazione (o pasta satura, ECps) adottando un coefficiente moltiplicativo di 6,5 (come



riportato in precedenza in merito alla problematica salinità al punto 2.4).

Come anticipato, i valori di rischio per la salinizzazione dei suoli iniziano con valori di conducibilità dell'estratto a saturazione superiori a 4dS/m e, come si può facilmente visualizzare in figura sopra, ad eccezione di 2 campioni tutti gli altri terreni risultano con valori inferiori (valore medio 2,55).

Tuttavia va segnalato che i campioni VM-03 e VM-05 hanno valori di conducibilità veramente elevati (rispettivamente 16,9 e 21,1) e tali da classificarli come salini e

fortemente limitativi per la crescita delle colture agrarie. Esaminando in dettaglio le due schede si rileva che i due campioni sono stati prelevati in serra e questo sicuramente amplifica la problematica per il minore apporto di piogge dilavanti e la maggiore intensità colturale, ma nel caso specifico si rileva anche una elevata concentrazione di sodio scambiabile.

Al di là dei due casi estremi, va evidenziata la presenza di casi limite e di attenzione come i campioni 04, 20, 26 e 27 con valori prossimi ai 3 dS/m e che possono già arrecare limitazioni produttive specialmente in colture sensibili peraltro già segnalate dagli stessi agricoltori.

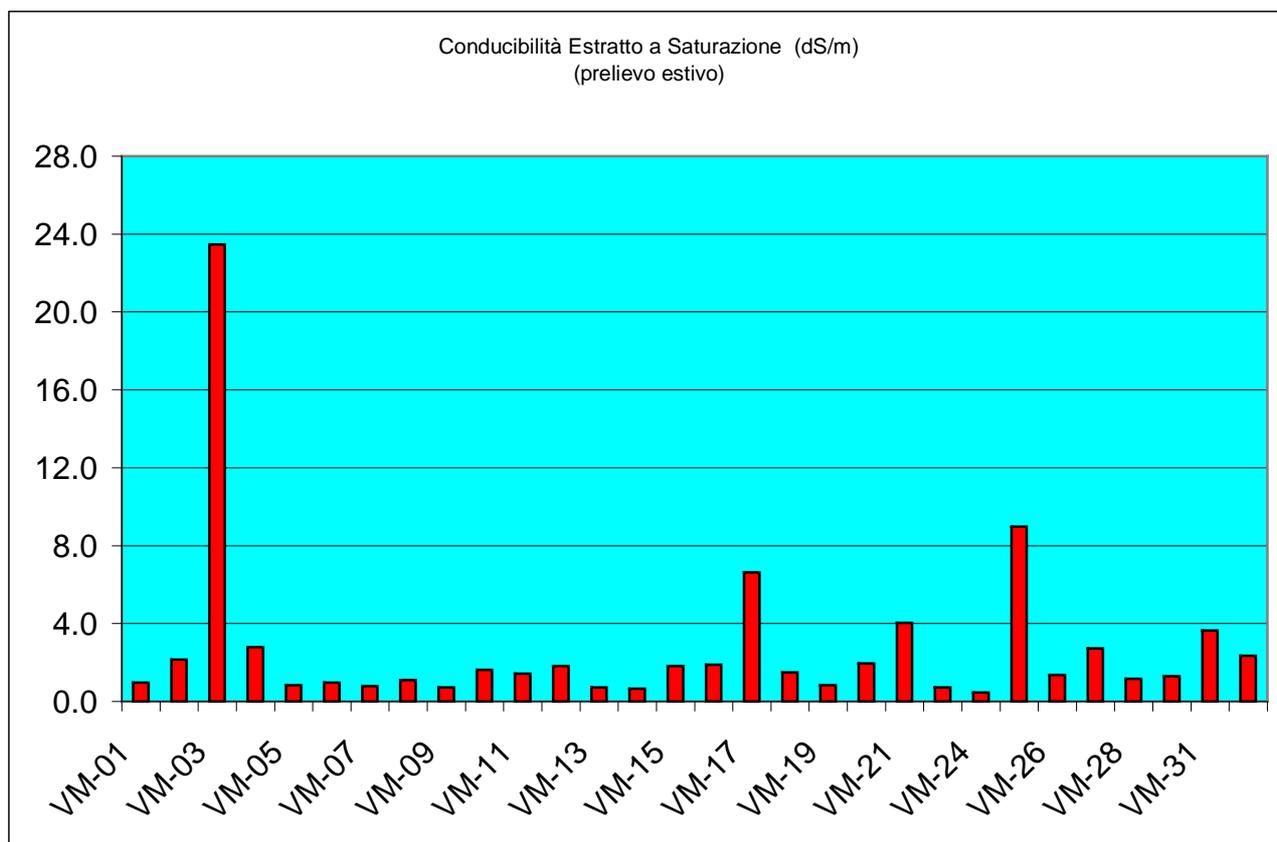
• Campionamento estivo

I dati relativi al campionamento estivo (tabella 3.10) evidenziano una situazione soltanto leggermente peggiore rispetto a quella invernale.

Infatti come si può notare nel grafico seguente in 4 casi si supera il valore di 4dS/m ed in un caso (VM-03) come nel primo campionamento i 20 dS/m con un valore del sodio scambiabile di 2,3 meq/100g.

Ai casi estremi appena menzionati vanno aggiunti tre casi di “attenzione” o allerta con valori superiori ai 2,5 dS/m.

I campionamenti estivi quindi confermano quanto emerso nel campionamento invernale con alcune aree potenzialmente a rischio come evidenziato in cartografia allegata (Tav. 6). In queste situazioni, dal punto di vista agronomico possono esserci sicuramente riduzioni di resa per le colture e nei casi più elevati, impossibilità di crescita per molte specie.



• Confronto estate/inverno

Nella bassa Val di Magra, a differenza dell'areale Albenganese, per quanto riguarda la salinità dei suoli non emerge una differenza così evidente tra il campionamento estivo e quello invernale.

Infatti, la problematica già presente in inverno, nel periodo estivo ha una conferma ed un lieve incremento medio dei valori e dei casi a rischio.

Va segnalato comunque che lo studio ed il confronto è stato in parte influenzato da prelievi effettuati in serra.

Come si può notare nella tabella 3.11 allegata, dove vengono messi a confronto i dati relativi al periodo estivo ed invernale, in genere nel secondo prelievo c'è un leggero incremento dei sali solubili in soluzione (Conducibilità media più elevata) e del Sodio scambiabile.

Nel caso specifico la maggiore concentrazione estiva è accompagnata anche da una maggiore intensità colturale (es. campione 21) per l'incremento di apporti dovuti alla concimazione (i valori del fosforo assimilabile sono superiori).

Il problema inoltre sembra persistere maggiormente nel periodo invernale, rispetto alla situazione Albenganese, probabilmente per la minore permeabilità dei suoli (la componente sabbiosa è minore, circa 38% in media).

Risultati analisi acque

Campionamento invernale

Nella tabella 3.12 allegata alla presente relazione sono riportati i risultati delle determinazioni analitiche per i diversi parametri considerati. Per focalizzare il problema salinità in questo contesto, come anticipato per l'areale Albenganese, sono stati presi in considerazione in via prioritaria i parametri strettamente correlati al fenomeno ed in particolare la Conducibilità Elettrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$ 25°C), il contenuto in Cloruri e Sodio. Come riportato al punto 2.4 la qualità irrigua dell'acqua può essere classificata in 4 classi e se andiamo ad applicare i limiti previsti per i parametri di riferimento emerge la seguente situazione:

- 13 campioni risultano in classe 1;
- 10 in classe 2;
- 1 in classe 3 (VM-14);
- 3 in classe 4 (VM-03, 04 e 21).

I 10 campioni in classe 2 risultano in questa categoria essenzialmente per conducibilità superiore a $750 \mu\text{S}/\text{cm}$ ma 3 superano i limiti previsti anche per sodio e 2 per i cloruri.

Il campione in classe 3 supera i limiti per sodio e cloruri.

I 3 campioni in classe 4 superano i limiti previsti per sodio e cloruri ma VM-04 supera anche i valori di conducibilità.

Dal punto di vista della qualità delle acque irrigue nel periodo invernale emerge quindi che circa la metà (48%) dei campioni risultano di buona qualità e quindi senza limitazioni, mentre l'altra metà pone limitazioni più o meno gravi proprio per aspetti legati alla salinità. Va segnalato che esistono 3 campioni in classe 4, ovvero acque considerate non idonee.

Campionamento estivo

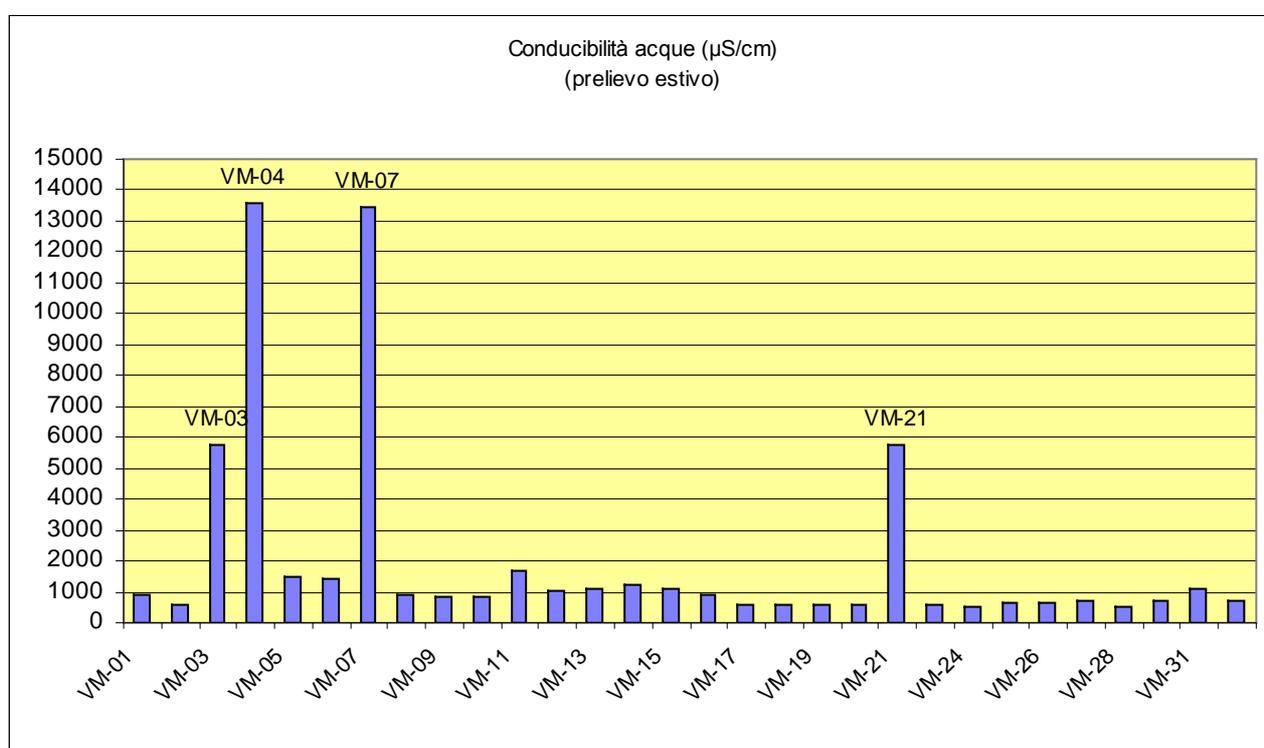
Esaminando i 30 campioni estivi ed applicando i criteri di classificazione di cui al punto 2.4.2 si evidenzia la seguente situazione:

- 12 campioni risultano in classe 1;
- 13 in classe 2;
- 1 in classe 3;
- 4 in classe 4.

I campioni non in classe 1 risultano in questa classificazione essenzialmente per conducibilità superiore a 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ma dei 12 campioni in classe 2, 4 superano i limiti previsti anche per cloruri ($> 100\text{mg}/\text{l}$) e 2 anche per sodio.

Per il campione in classe 3 (VM-11) il valore limitante risulta essere quello relativo ai cloruri (280,9 mg/l) mentre i 4 campioni in classe 4 (VM-03, 04, 07, 21 ubicati tutti in area fociva), presentano valori di tale classe per tutti i tre parametri considerati ovvero conducibilità, sodio e cloruri evidenziando quindi rilevanti problemi da salinità non dovuta ad attività agricola in quanto altri sali (es. nitrati hanno valori molto contenuti).

Dal punto di vista della qualità delle acque irrigue nel periodo estivo emerge che circa il 40% dei campioni risultano di buona qualità e quindi senza limitazioni, mentre il restante 60% pone limitazioni più o meno marcate ma va segnalato che 4 campioni risultano in classe 4 e quindi non idonee all'uso irriguo mentre uno in classe 3 che può essere utilizzato soltanto in casi eccezionali e con forti limitazioni.



Confronto estate/inverno

Nell'areale oggetto di studio ubicato in bassa Val di Magra, le differenze tra i prelievi estivi ed invernali per quanto attiene la qualità delle acque irrigue risultano poco evidenti (Tab.3.14).

Infatti se si osserva il numero di campioni stagionali di prelievo emerge che nel periodo estivo c'è una leggera riduzione del numero di campioni di buona qualità (da 48% a 40%) anche se i casi di forte limitazione (classi 3 e 4) sono rimasti pressochè invariati (circa 15%).

Va notato anche che i singoli dati analitici hanno subito modeste variazioni ed in alcuni casi i valori invernali risultano superiori a quelli estivi.

ripartiti tra le diverse classi nei due periodi

Classe	Invernale		Estivo	
	n.	%	n.	%
1	13	48,1%	12	40,0%
2	10	37,0%	13	43,3%
3	1	3,7%	1	3,3%
4	3	11,1%	4	13,3%

Elaborazione dati acque sotterranee

A seguito dell'analisi della qualità delle acque sotterranee, eseguita nell'ottica del loro utilizzo irriguo, sono state elaborate delle carte che hanno permesso di individuare le zone del territorio interessate da ingressione del cuneo salino.

Le carte tematiche riportate in Allegato 4 sono state sviluppate dal Settore Servizi alle Imprese Agricole - CAAR della Regione Liguria attraverso l'applicazione di algoritmi interpolanti partendo da un set di valori puntuali noti di concentrazione di cloruri e di conducibilità delle acque sotterranee.

Tuttavia i due modelli non rappresentano una "classico" modello di distribuzione bidimensionale di una variabile in un determinato periodo di tempo, infatti non si sono utilizzati come valori noti i dati sperimentali relativi ad un'unica campagna di campionamento.

A seguito di un'attenta valutazione dei dati analitici prodotti a progetto e dei dati pregressi disponibili (monitoraggi ambientali eseguiti da ARPAL nel periodo 2001-2009) ed avendo a disposizione serie temporali per molti dei pozzi osservati, si è deciso di considerare per ciascun punto di monitoraggio il valore di conducibilità e la concentrazione di cloruri più alto fra quelli registrati nel periodo di osservazione.

A monte di tale operazione, attraverso l'analisi dei trend temporali relativi a ciascun pozzo, si ritenuto opportuno escludere eventuali outlier, per evitare che fossero considerati punti contraddistinti da un'unica anomalia.

Una successiva spazializzazione del dato così ottenuto, attraverso l'utilizzo di algoritmi interpolanti, ha reso possibile evidenziare in modo qualitativo tutte le aree vulnerate dall'intrusione di acque marine negli ultimi anni.

Inoltre l'aver considerato i valori massimi registrati ha permesso di porsi in una situazione cautelativa, osservando la situazione più critica.

Le scelte sopra descritte sono state effettuate poiché:

- i trend temporali delle variabili osservate non mostrano andamenti marcatamente stagionali e sono variabili da pozzo a pozzo, ciò avrebbe determinato "fotografie" del fenomeno variabili in funzione del tempo e difficilmente correlabili fra loro;
- non tutti i pozzi sono stati monitorati per lo stesso periodo di tempo, cosicché ciascun modello di distribuzione relativo ad un determinato periodo non sarebbe stato confrontabile con gli altri.

Inoltre la produzione di carte tematiche relative a ciascun periodo di campionamento avrebbe ridotto drasticamente il numero di punti noti a disposizione per ciascuna elaborazione, aumentando in modo esponenziale l'incertezza nell'individuazione delle aree interessate da fenomeni di intrusione di acque di mare.

Ciò premesso di seguito si commentano le carte riportata all'allegato come Tavola 1 e 2.

Le rappresentazioni relative a cloruri e conducibilità sono ben correlate, tuttavia il parametro cloruri appare condizionato, soprattutto nella parte nord-orientale, dalle relativamente alte concentrazioni di origine naturale provenienti dalle acque superficiali e sotterranee afferenti al bacino del f. Magra.

Infatti tale fenomeno appare attenuarsi per effetto di miscelazione con acque povere di cloruri (acque bacino f. Vara) allontanandosi dalla confluenza tra f. Vara e f. Magra.

Più a sud, nella porzione di territorio verosimilmente influenzata da ingressione marina, le due carte tornano ad essere praticamente coincidenti.

Per questi motivi, per rappresentare la criticità in esame, d'ora innanzi sarà considerata unicamente la "distribuzione" dei valori di conducibilità.

Si ricorda che, a seguito delle osservazioni precedentemente effettuate, l'obiettivo della rappresentazione non è quello di perimetrare con esattezza l'area interessata da intrusione di acque salate, né tantomeno quello di individuare spazialmente l'interfaccia o la zona di miscelamento tra acque dolci e acque di mare.

E' noto che la principale causa della salinizzazione delle acque sotterranee nella piana alluvionale dei fiumi Magra e Vara sia la risalita delle acque marine attraverso l'alveo del fiume, essendo il fondo di quest'ultimo al di sotto del livello medio marino per un lungo tratto.

Per questo motivo sono stati elaborati i valori di conducibilità delle acque superficiali misurati da ARPAL nel settembre 2009 in 19 stazioni a partire dalla foce fino ad arrivare a nord della briglia del viadotto autostradale.

Ovviamente l'elaborazione dei dati delle acque superficiali e sotterranee è stata eseguita separatamente e sovrapposta solo cartograficamente utilizzando la stessa scala dei valori. Dall'analisi della carta della conducibilità si può notare come le acque sotterranee siano compromesse solo nella parte sud dell'acquifero indagato, mentre il corso del fiume è caratterizzato dalla presenza di acque di mare anche più a monte, fino alla briglia posta a valle dell'attraversamento della strada provinciale, punto in cui il letto dell'alveo torna ad essere sopra il livello medio marino.

Tale fenomeno dovrebbe tuttavia risultare ridotto in stagioni maggiormente piovose e contraddistinte da maggiori afflussi di acque superficiali, che miscelerebbero l'acqua di mare risalente dalla foce.

Il fatto che pozzi molto vicini al fiume "salato" nei settori più a monte dell'area indagata non mostrino alte concentrazioni di cloruri ed alti valori di conducibilità può essere attribuito all'azione drenante del fiume rispetto alla falda negli ultimi chilometri prima della foce.

In tal modo, a meno di straordinari abbassamenti del livello di falda, anche localizzati, è impossibile che si instauri un flusso in uscita di acque salate dal fiume verso la falda. Questa ipotesi trova conferma dal fatto che in località Romito è stato messo in disuso un pozzo idropotabile e che in alcune aree ad essa prospicienti sono stati dismessi alcuni pozzi ad uso irriguo.

Pertanto, se non in relazione ad abbassamenti del livello di falda (forti emungimenti o lungo periodo estremamente siccitoso), si può ipotizzare che la qualità delle acque sotterranee lungo il fiume a nord della "zona rossa", visibile in Allegato 4 (Tav. 2), possa essere compromessa solo per dispersione o diffusione molecolare in una ristretta porzione di acquifero nelle immediate vicinanze del corso d'acqua stesso.

Tornando all'intrusione del cuneo salino in prossimità della linea di costa, si osserva come solo un numero relativamente limitato pozzi ubicati nell'area meridionale dell'acquifero siano chiaramente influenzati dalla presenza di acque salate.

Ciò sarà anche apprezzabile dall'interpretazione dei grafici che saranno successivamente presentati.

Nella zona contraddistinta da intrusione salina ("zona rossa" di Allegato 4) si possono addirittura osservare punti a bassa conducibilità e basse concentrazioni di cloruri.

Questi punti, esclusi dalle procedure di interpolazione, potrebbero risentire della profondità di emungimento.

I tratti filtranti potrebbero infatti non raggiungere l'interfaccia acque dolci - acque salate o intercettare circuiti localmente indipendenti (pozzi in sponda sinistra distanti dal corso d'acqua).

La prima osservazione trova riscontro anche in precedenti lavori (ACAM 2001), dove era stata osservata una falda superficiale meno compromessa ed una profonda maggiormente vulnerata (approssimativamente individuata a circa 12 metri dal piano campagna).

La zona sud-orientale verso il confine regionale, sulla base dei limitati dati disponibili, risulta praticamente esente da effetti di intrusione marina.

Infatti, oltre alla lontananza dal corso d'acqua, potrebbero giocare un ruolo fondamentale le ricariche sotterranee provenienti dai versanti orientali.

Le considerazioni dedotte dall'interpretazione delle tavole 1 e 2 dell'Allegato 4, trovano conferma anche nei grafici di seguito riportati.

Inoltre, come vedremo, tali grafici definiscono con certezza che le anomalie evidenziate nelle carte di distribuzione sono riconducibili ad un'effettiva intrusione marina.

Il bacino del Fiume Magra, come tutti i bacini tirrenici liguri, risulta esposto all'azione dell'aerosol marino.

Microscopici sali vengono immessi in atmosfera dall'azione combinata del moto ondoso e del vento, queste particelle divengono i nuclei di condensazione delle gocce di pioggia che riflettono pertanto il chimismo delle acque marine (rimangono costanti i rapporti tra le specie chimiche presenti anche in condizioni di diluizione infinita).

Pertanto anche la composizione delle acque sotterranee, soprattutto quelle influenzate da infiltrazioni dirette in falda, risente di questa particolare situazione, comune a tutte le zone costiere.

Per questo motivo è stato costruito un grafico logaritmico, sotto riportato, con i valori delle concentrazioni di Cl^- in ascisse e di Na^+ in ordinate, sul quale è rappresentata la retta di diluizione infinita dell'acqua di mare (linea blu).

Il grafico permette di individuare immediatamente i campioni che hanno subito miscelamenti con acque di mare a causa di intrusioni del cuneo salino.

Tali campioni sono posizionati sempre in prossimità della retta sopraccitata, ma verso concentrazioni molto più elevate.

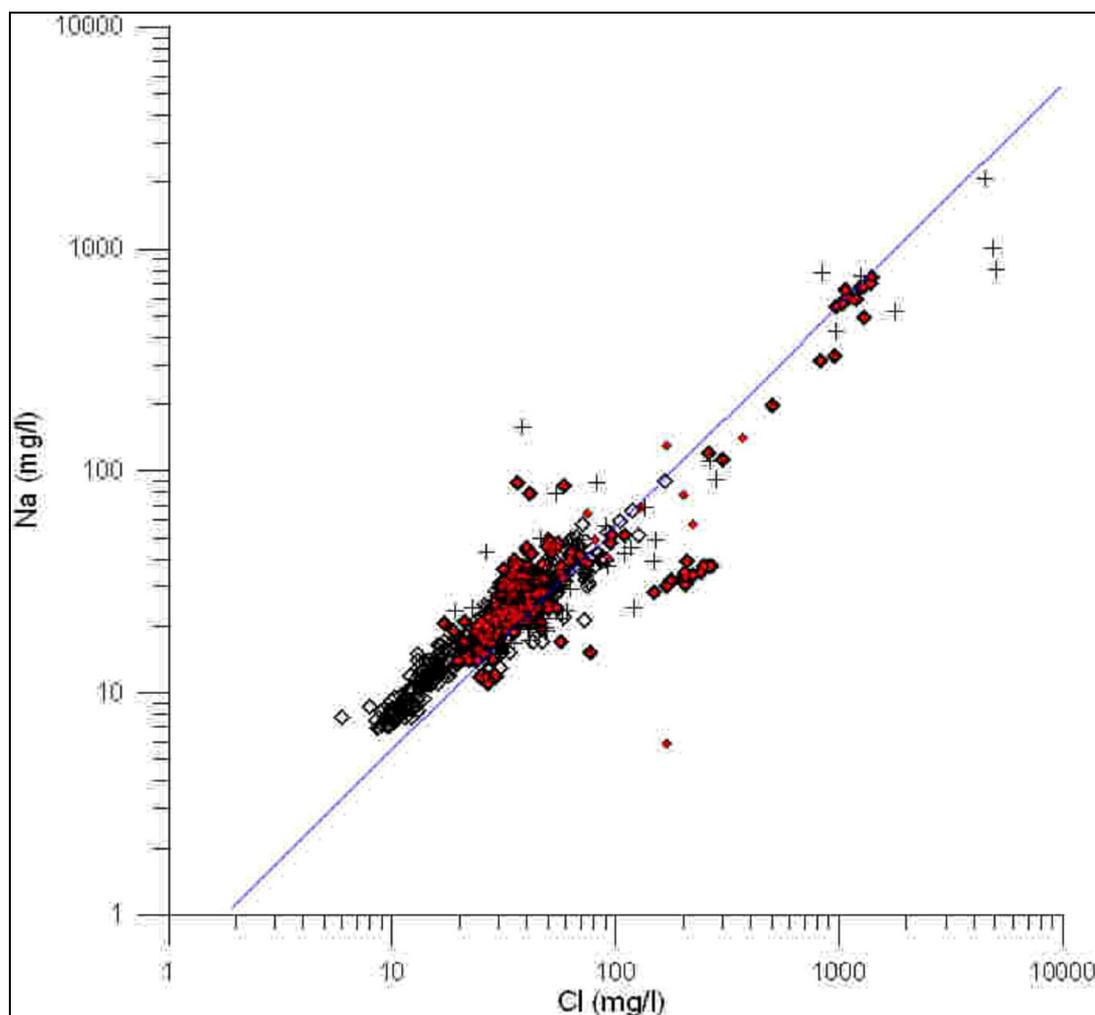


Diagramma log-log di correlazione Cl Vs Na.

Nella figura sopra sono riportati i campioni prelevati dal 2001 al 2009 da ARPAL sull'intero acquifero dei fiumi Vara-Magra (rombi vuoti neri) e i campioni prelevati nelle due campagne previste a progetto (croci nere).

Inoltre sono stati evidenziati, tra i campioni ARPAL, quelli prelevati nella zona meridionale dell'acquifero, fino a circa 5 km dalla costa (rombi neri, evidenziati in rosso).

Si noti che, per quanto tutti i campioni si dispongano in prossimità della retta di diluizione delle acque di mare, nessuno dei rombi rossi mostra concentrazioni di cloruri inferiori a circa 20-30 mg/l.

Tuttavia solo pochi di essi sono contraddistinti da valori superiori a 100 mg/l, indicativi di certa intrusione marina.

I pozzi scelti a progetto, con la finalità di individuare aree vulnerate, presentano percentualmente un numero maggiore di campioni ad alte concentrazioni.

L'unica eccezione è rappresentata da un gruppo di campioni, prelevati nel tempo dallo stesso pozzo, che inaspettatamente si dispone al di sotto della retta, forse a causa di precipitazione di fasi minerali sodiche o di un possibile alterazione antropica.

Dall'analisi della correlazione Cl Vs Na, secondo quanto già osservato attraverso l'analisi delle tavole 1 e 2 (distribuzioni Cl e Cond.tà), si può dedurre che vi sia un numero relativamente ridotto di pozzi interessati dal cuneo salino e che non esista un'ampia zona di miscelamento tra acque dolci e salate, infatti il range di concentrazioni di cloruri compreso tra circa 100 e 3000 mg/l è scarsamente popolato dai campioni considerati.

Per meglio identificare il fenomeno di intrusione marina attraverso l'analisi della composizione chimica di ogni campione sono stati inoltre elaborati i due diagrammi Langelier-Ludwig riportati di seguito.

I campioni e le relative simbologie utilizzati sono le stesse di quelli riportati nel grafico Cl Vs Na, il pallino blu rappresenta il chimismo medio delle acque di mare.

Il diagramma quadrato di Langelier-Ludwig, dalla posizione di un campione all'interno del diagramma stesso, rende immediatamente apprezzabile in quali percentuali siano presenti gli ioni principali di ogni campione, ed è quindi possibile discriminare la tipologia geochimica.

Entrambi i grafici distinguono, relativamente alla matrice anionica, acque cloruro-solfatiche (due quadranti di sinistra) da acque bicarbonatiche (due quadranti di destra).

Per la composizione cationica è stato invece deciso di presentare due diagrammi distinti dove sono valutate, una volta le concentrazioni di %Ca + %Mg rispetto a %Na + %K ed una volta la concentrazione del solo %Ca contro la somma di %Na + %K + %Mg.

Ciò permette di discriminare il peso percentuale del magnesio nel chimismo delle acque.

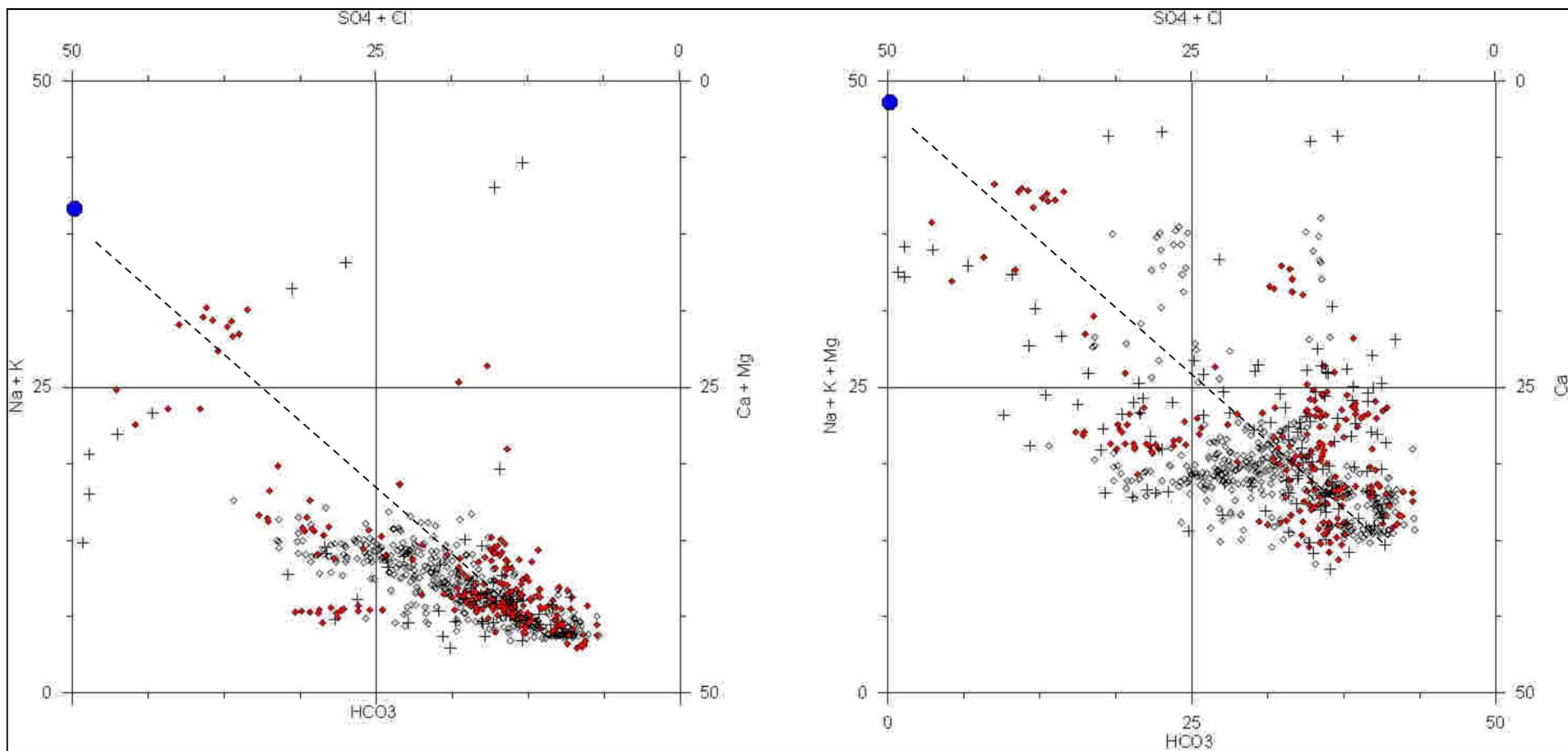
Chiaramente le acque di mare (pallino blu) vanno ad occupare una netta posizione cloruro dominante, pertanto un teorico miscelamento di acque di mare con acque bicarbonato alcalino-terrose corrispettive delle zone settentrionali dell'acquifero dovrebbe essere rappresentato dalla linea tratteggiata riportata in entrambi i grafici.

Ancora una volta si può notare come relativamente pochi campioni siano fortemente caratterizzati da intrusione di cuneo salino.

Inoltre, come già evidenziato nella interpretazione del grafico Cl Vs Na, è evidente un deficit di sodio rispetto alle concentrazioni attese per puro miscelamento, forse a causa di precipitazioni di fasi minerali sodiche (minerali delle argille).

Infine a complicare la lettura di questi grafici intervengono i seguenti fattori:

- presenza di relativamente alte concentrazioni di cloruri di origine naturale riscontrate nelle acque superficiali e sotterranee afferenti al bacino del f. Magra (sgranamento dei rombi vuoti neri verso composizioni cloruro dominanti);
- presenza di relativamente alte concentrazioni di magnesio di origine naturale riscontrate nelle acque sotterranee provenienti dai versanti sud-orientali per interazione con rocce basiche (sgranamento verso l'alto dei punti);
- i dati prodotti a progetto, seppur significativi ai fini individuare campioni ad alta conducibilità e concentrazione di Cl, presentano scostamenti dalla condizione di elettroneutralità maggiori di +/- 10%. Tali inesattezze possono indurre posizionamenti relativamente errati dei campioni sui due diagrammi LL.



Diagrammi Langelier-Ludwig

In conclusione sembra che il fenomeno dell'intrusione marina sia quasi unicamente imputabile alla risalita delle acque marine attraverso l'alveo del fiume Magra.

Molto verosimilmente, in assenza di tale fenomeno, tra l'altro in gran parte antropicamente indotto, la pressione delle acque sotterranee dolci provenienti da nord e dal versante orientale sarebbe sufficiente a contrastare la "spinta" delle acque marine verso l'interno dell'acquifero.

Tanto è vero che diversi studi, tra i quali i monitoraggi ambientali effettuati da ARPAL, hanno sempre sottolineato una buona capacità di ravvenamento dell'acquifero esistente nella parte mediana e settentrionale della piana alluvionale dei fiumi Magra e Vara.

A fronte di tale modello concettuale, in estrema sintesi, risulta che:

- Nel settore meridionale della piana, a valle delle ultime briglie, i livelli di salinizzazione della falda tendono ad aumentare in prossimità del Fiume, oltre che della linea di costa.
- Per effetto della presenza del cuneo salino nel settore più meridionale dell'area di studio la falda profonda risulta, in generale, maggiormente salinizzata rispetto a quella superficiale; tale fenomeno risulta meno riscontrabile nel settore più settentrionale dell'area di studio, dove addirittura non si può escludere una possibile un'inversione del fenomeno, collegato ad un'intrusione salina solo superficiale dovuta alla dispersione e diffusione dell'acqua marina presente in alveo, senza la presenza di un vero e proprio cuneo salino profondo.
- L'area più critica sembrerebbe essere la piana in sponda sinistra, compresa, grosso modo, tra l'alveo del Fiume Magra, Via 25 Aprile e la linea di costa (come si può facilmente osservare dalle cartografie, l'area risulta peraltro circondata su tre lati da acque salate).
- Nei chilometri terminali, a valle delle ultime briglie, è sempre il fiume che, in condizioni ordinarie, costituisce il punto di drenaggio della falda, sia in condizioni estive, che invernali, fatte salve possibili locali inversioni di flusso dovute a depressioni piezometriche legate a forti emungimenti da pozzo.
- La salinizzazione interessa prevalentemente la falda, i terreni sono interessati in misura molto minore (salvo casi puntuali, le criticità riguardo ai terreni sono prevalentemente riconducibili all'eventuale utilizzo irriguo di acqua salmastra dei pozzi).

Relativamente al trend evolutivo riferito della problematica affrontata, si riporta quanto espresso nei Piani di Gestione e nei Piani di tutela previsti dal D.Lgs. 152/06, nei quali erano stati evidenziati trend costanti nel tempo relativamente ai parametri cloruri e conducibilità.

4.4 Possibili strategie di intervento

Considerate le criticità sopra sinteticamente esposte e tenuto anche conto delle notevoli valenze ambientali, nonché delle pressioni antropiche, che caratterizzano il territorio in questione, si possono individuare una serie di possibili indirizzi operativi e strategie di intervento, di seguito sinteticamente indicati, tra loro complementari e sinergici al fine di contrastare il fenomeno riscontrato di intrusione del cuneo salino e salinizzazione della falda. Tali azioni, in alcuni casi, sono necessariamente da perseguirsi gradualmente, con un orizzonte temporale di medio lungo periodo, ed a seguito di analisi più specifiche ed approfondite, che non possono essere affrontate in quest'ambito.

– **Promuovere la generale riduzione dei consumi idrici**

Analogamente a quanto già esposte nel Cap. 3.4 relativamente all’acquifero della piana terminale del Fiume Centa, è necessario in primo luogo evidenziare la necessità di attivare azioni di ampio respiro finalizzate ad un uso sostenibile e più razionale della risorsa idrica disponibile, anche in relazione alla necessità di garantire la disponibilità di acqua per gli usi prioritari di tipo idropotabile.

Al fine del raggiungimento di questo obiettivo è opportuno che vengano attivate tutte quelle politiche virtuose, in grado di agire prevalentemente sulla riduzione dei consumi, quali, ad esempio:

- incentivare il risparmio idrico da parte delle varie utenze, sia di tipo civile, che industriali ed agricole;
- migliorare l’efficienza delle reti di distribuzione, cercando in particolare di tragguardare la riduzione nei limiti fisiologici dell’entità delle perdite reali;
- differenziare le reti acquedottistiche a seconda dei diversi tipi di utilizzi idrici;
- ridurre le idroesigenze agricole, anche attraverso l’utilizzo di metodi irrigui a maggiore efficienza;
- promuovere il riutilizzo ed riciclo delle acque a fini agricoli e nei processi industriali;
- affrontare il riordino dei titoli di concessione, anche attraverso la promozione in alternativa di strutture irrigue consortili;
- attivare dispositivi di misura e monitoraggio delle portate derivate o emunte;
- definire specifici protocolli di gestione dinamica delle criticità quantitative stagionali.

Nell’area in esame, tenuto conto della rilevanza quantitativa dei prelievi idropotabili insistenti sull’acquifero, assumono particolare valenza gli aspetti di contenimento dei prelievi idrici ottenibili attraverso il miglioramento dell’efficienza delle reti di distribuzione idropotabili, nonché l’opportunità di una forte differenziazione delle reti acquedottistiche in funzione degli usi, resa peraltro possibile dalla presenza di strutture irrigue consortili, quali quella del Canale Lunense, “storicamente” operanti nell’area in esame.

Per una descrizione dettagliata degli interventi previsti in tal senso si rimanda agli specifici contenuti del Piano di Tutela delle Acque della Regione Liguria.

– **Limitare la risalita di acqua marina lungo l’alveo del Fiume Magra**

Considerati i meccanismi prevalenti di intrusione salina nella piana del Magra attraverso lo stesso alveo fluviale, precedentemente descritti, risulta necessario in primo luogo favorire il recupero dell’assetto morfologico e sedimentologico del tratto terminale dell’alveo del Fiume Magra, oggi fortemente alterato, limitando ai casi strettamente necessari le azioni antropiche di disturbo, quali in particolare le escavazioni, ma anche le difese spondali continue che possano limitare la mobilità dei sedimenti che alimentano il trasporto solido.

Purtroppo tale recupero, anche con il sostanziale blocco delle escavazioni in alveo attuato ormai da diversi anni, sta avvenendo in maniera lenta, come emerge dagli studi geomorfologici sviluppati dall’Autorità di Bacino, in quanto le alterazioni indotte in passato hanno profondamente modificato la configurazione dell’alveo in questo suo tratto terminale.

Pertanto, qualora si accertasse la necessità di accelerare il naturale processo di riequilibrio dell’alveo attraverso interventi che favoriscano localmente la sedimentazione, potrebbe essere valutata anche l’ipotesi di realizzare una soglia trasversale con quota di sfioro sopra il livello massimo marino, posta a valle di quelle attualmente presenti all’altezza di Sarzana.

Tale opera dovrebbe essere posta in una sezione adeguatamente a valle, tenendo conto tuttavia anche della duplice necessità di mantenere sia la navigabilità (vista la presenza di darsene e cantieri nautici), sia un’ampia sezione idraulica (al fine della mitigazione

dell'elevato rischio idraulico riscontrato dal Piano di Bacino) del tratto terminale del F. Magra.

La fattibilità di un intervento di questo tipo, di non semplice attuazione ma di sicura efficacia per quanto riguarda il contrasto dei fenomeni di salinizzazione della falda (e probabilmente risolutivo per quanto riguarda la messa in sicurezza degli emungimenti idropotabili nei confronti dell'intrusione di acqua marina), dovrebbe tuttavia essere valutata molto attentamente in relazione all'influenza locale sui livelli di piena del Fiume Magra, sul trasporto solido e per quanto attiene gli aspetti ambientali e naturalistici, ricadendo tra l'altro in un contesto di SIC e di Parco Regionale.

Allo stato attuale, i livelli salinizzazione della falda, relativamente modesti, riscontrati nei settori più a monte dell'area di indagine, potrebbero anche fare ritenere non indispensabile un intervento di questo tipo, considerate le possibili problematiche connesse.

Tuttavia, in un ottica di pianificazione di medio – lungo periodo, sarebbe sicuramente utile ed importante valutarne la fattibilità tecnica in maniera più approfondita e mirata, anche attraverso specifiche modellazioni di tipo idrogeologico, geomorfologico ed idraulico, in modo tale da poter prendere concretamente in considerazione l'attuazione dell'intervento nell'eventualità che un'espansione futura del cuneo salino dovesse effettivamente rischiare di compromettere le risorse idropotabili strategiche per il territorio provinciale.

Risulta, infatti, evidente che favorire lo spostamento verso valle, rispetto allo stato attuale, del tratto di alveo il cui fondo risulta depresso sotto il livello marino limiterebbe notevolmente la possibilità risalita di acqua marina lungo l'asta del Magra e favorirebbe allo stesso tempo un innalzamento locale della superficie della falda e, di conseguenza, allontanerebbe il rischio che la salinizzazione della falda possa raggiungere settori interessati dagli emungimenti idropotabili ed in particolare i campi pozzi più meridionali.

Occorre inoltre evidenziare che un'eventuale opera trasversale che interessasse l'alveo in questo specifico tratto non produrrebbe necessariamente effetti negativi sull'ambiente fluviale, come invece spesso avviene nel caso di questa fattispecie di opere, in quanto, in particolare se adeguatamente progettata (adottando una tipologia a più basso impatto, quale ad esempio una rampa in massi), favorirebbe il ritorno ad una configurazione d'alveo meno incisa e più articolata da barre di sedimenti e quindi, in definitiva, più simile al naturale assetto originario del corso d'acqua.

Il possibile deficit di trasporto solido di fondo che potrebbe originarsi nelle sezioni di valle dell'ipotetica opera trasversale (peraltro ragionevolmente limitato al periodo transitorio di riequilibrio delle sezioni fluviali a monte della stessa opera), non costituirebbe necessariamente un fattore negativo, tenuto conto della peculiarità del tratto terminale focivo, per il quale la necessità di mitigazione dell'elevato rischio idraulico impone il sostanziale mantenimento dell'attuale sezione d'alveo approfondita, anche attraverso periodici ed alquanto onerosi interventi di risagomatura.

L'effetto sostanzialmente positivo al fine del riequilibrio geomorfologico di questo tratto dell'alveo del Fiume Magra svolto dalle opere trasversali già presenti è stato peraltro messo in luce anche in un pregevole studio di geomorfologia fluviale sviluppato dal 2004 al 2009 dall'Università di Firenze, con il coordinamento del Prof. M. Rinaldi, per conto dall'Autorità di Bacino del F. Magra.

Tale studio, disponibile sul sito ufficiale dell'Autorità di Bacino del F. Magra (www.adbmagra.it) ed ha cui si rimanda per approfondimenti, ha messo peraltro più in generale in luce la necessità di favorire un riequilibrio geomorfologico fluviale a livello di bacino, favorendo in particolare la produzione e la mobilità del trasporto solido di fondo anche nei settori più montani del bacino.



Foto aerea dell'alveo del F. Magra circa all'altezza di Sarzana: si può facilmente osservare il marcato cambio di morfologia fluviale a valle delle 2 briglie presenti in corrispondenza degli attraversamenti ferroviario e stradale. Si passa da un alveo relativamente largo e ricco di barre (a monte) ad un alveo più stretto, inciso e "canalizzato" (a valle).

La necessità di controllare gli scambi idrici alveo-falda riguarda, tra l'altro, anche alcuni affluenti ed in particolare quelli presenti in sponda sinistra del Fiume Magra nella parte più meridionale della piana, quali C. Acque Medie e soprattutto il T. Bettigna, il cui alveo nel tratto terminale risulta inciso al di sotto del livello medio marino.

Per tali affluenti, considerate le sezioni d'alveo relativamente ridotte, qualora non fosse possibile modificare l'attuale sezione d'alveo riportando il thalveg sopra il livello marino, si potrebbe ipotizzare la realizzazione di barriere, anche di tipo mobile, in grado di limitare la risalita di acqua marina lungo gli alvei nei periodi di magra.

– **Limitare gli emungimenti sotterranei**

Anche se gli emungimenti sotterranei nel settore più meridionale dell'acquifero, quindi a maggiore criticità per quanto riguarda l'intrusione salina, risultano relativamente modesti, in particolare se rapportati ai grandi emungimenti idropotabili insistenti nel settore più settentrionale della piana, risulta comunque opportuno limitare gli emungimenti da pozzo di tipo non prioritario situati in prossimità dell'alveo nel tratto salinizzato e della linea di costa, in quanto maggiormente soggetti ad esercitare un richiamo richiamare di acque salate in falda.

Tale azione può essere concretamente sviluppata attraverso il progressivo riordino e razionalizzazione dei titoli di concessione, anche promuovendo la parallela estensione delle aree servite da reti consortili, quali quella del Canale Lunense.

Oltre che per le attività agricole, tale rete acquedottistica irrigua, "storicamente" operante nel territorio in esame, potrebbe auspicabilmente costituire la principale fonte di approvvigionamento idrico locale anche per tutte quelle attività produttive e di servizi che per loro natura non necessitano della fornitura di acqua potabile.

L'eliminazione di possibili coni di depressione della superficie piezometrica contribuirebbe infatti a limitare l'area di intrusione salina, tenuto anche conto che, in condizioni non perturbate da forti emungimenti sotterranei, nei chilometri terminali della piana è sempre il fiume a drenare la falda.

Quanto sopra, fatta salva la necessità più generale di attivare strategie in grado di agire prevalentemente sulla riduzione dei consumi idrici, anche in considerazione che sistema acquedottistico irriguo è comunque alimentato da una captazione superficiale che preleva direttamente acqua fluente dall'alveo del Fiume Magra, ponendo pertanto possibili problematiche in relazione alla necessità di rispetto del Deflusso Minimo Vitale e alla capacità di ricarica dell'acquifero sfruttato a fini idropotabili, specialmente durante la stagione estiva quando le portate sono ridotte al minimo (le stesse acque fluenti in alveo rappresentano la principale fonte di alimentazione della falda nel settore settentrionale dell'acquifero).

– **Favorire l'infiltrazione di acqua dolce e la ricarica dell'acquifero**

Parallelamente alla riduzione degli emungimenti, è opportuno favorire la ricarica naturale dell'acquifero, obiettivo che si può ottenere sia evitando l'impermeabilizzazione di estese aree della piana (ed in modo particolare degli alvei), eliminando quindi, ad esempio, il ricorso a plateazioni e sistemazioni spondali scarsamente permeabili dei tratti d'alveo non interessati dal fenomeno di risalita di acqua marina e, al contrario, incrementando il più possibile le aree di ricarica dell'acquifero, in particolare lungo le aste degli affluenti del Magra presenti nel tratto focivo in sponda sinistra.

E' necessario pertanto che gli interventi idraulici previsti sull'area in esame tengano in adeguata considerazione anche questi aspetti, individuando soluzioni progettuali tali da coniugare il più possibile la mitigazione del rischio idraulico con le possibilità ricarica dell'acquifero, garantendo allo stesso tempo anche un'adeguata capacità autodepurativa e

una buona qualità delle acque superficiali fluenti nello stesso reticolo idrografico, attraverso, ad esempio, lo sviluppo di opportune fasce tampone riparie.

A tal proposito si richiamano gli specifici contenuti dell'Allegato 3 "Elementi di progettazione ambientale dei lavori fluviali" alle Norme di Attuazione del vigente Piano Stralcio "Assetto idrogeologico del bacino del Fiume Magra e del Torrente Parmignola", disponibile sul sito internet dell'Autorità di Bacino del Fiume Magra.

In particolare, nel tratto focivo della piana in sponda sinistra, dove si sono evidenziate le maggiori criticità, gli interventi di messa in sicurezza idraulica individuati dall'Autorità di Bacino del Fiume Magra ipotizzano la realizzazione di casse di laminazione in derivazione in corrispondenza del Canale Acque Medie ed in corrispondenza della zona di confluenza T. Bettigna e C. degli Orti; si potrebbe pertanto verificare la possibilità di associare a tali interventi, necessari alla messa in sicurezza idraulica, anche la parziale creazione di aree umide, opportunamente studiate in moto tale da risultare idonee alla ricarica dell'acquifero.

Altri interventi finalizzati a favorire la ricarica dell'acquifero potrebbero inoltre essere studiati nei settori più a monte della piana, in corrispondenza dell'alveo del Magra (nel tratto non interessato dall'intrusione salina) e dei suoi principali affluenti.

– Limitare l'infiltrazione di acqua salata nell'acquifero

Nei tratti di fiume caratterizzati da un fondo posto sotto il livello marino, ed in particolare in quei settori per i quali non è comunque ipotizzabile di ricercare nel tempo un seppure parziale ritorno alle condizioni geomorfologiche d'alveo pre-escavazioni e quindi non idonei alla ricarica della falda, bensì potenziale fonte di salinizzazione, sussiste l'opposta necessità di limitare gli scambi idrici alveo-falda.

In questi settori più meridionali risulta in particolare opportuno prevedere, ove possibile, l'impermeabilizzazione di opere suscettibili di favorire localmente penetrazione di acqua salata nella piana, quali ad esempio i canali artificiali e le darsene laterali.

A prescindere dagli interventi che si intenderanno attuare per ridurre gli effetti dell'intrusione di acque marine nelle acque sotterranee, risulterebbe di particolare interesse sviluppare un modello matematico di flusso di falda nella parte terminale dell'acquifero del fiume Magra.

Tale modello dovrà essere implementati da codici di calcolo in grado di simulare miscelamenti di acque a densità differenti.

Lo sviluppo della modellistica dovrà prevedere l'utilizzo di risorse finalizzate ad approfondire sia la conoscenza di base idrogeologico-stratigrafica, sia lo studio geochimico della qualità delle acque sotterranee.

Pertanto dovranno essere necessariamente previste indagini geognostiche di tipo diretto ed indiretto e il monitoraggio di un grande numero di pozzi (almeno 60 tra superficiali e profondi) ubicati nell'area di studio.

Il modello di flusso, da attuarsi attraverso la definizione di un corretto modello idrogeologico concettuale e un modello tridimensionale di terreno di dettaglio, dovrà essere in grado di prevedere scenari pre e post interventi e simulare flussi di falda in relazione ad eventuali situazioni climatiche limite.

5 - CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

5.1 Considerazioni conclusive sui due siti indagati

Il Programma di Azione Locale sviluppato, ancorché necessariamente limitato, ha permesso di meglio definire le criticità che riguardano specificatamente due acquiferi di particolare valenza a livello regionale.

In particolare, attraverso l'analisi della vasta documentazione pregressa disponibile e dei nuovi dati appositamente rilevati, è stato possibile:

- inquadrare i meccanismi e le cause prevalenti che sono all'origine delle criticità;
- definire con maggiore precisione lo stato attuale dei fenomeni;
- ipotizzare l'attuale trend evolutivo;
- proporre strategie di intervento ed indirizzi operativi per contrastare i fenomeni in atto;

E' interessante evidenziare che i fenomeni riscontrati sui due acquiferi indagati sono, in generale, originati da dinamiche sostanzialmente differenti, se non quasi opposte.

Nel caso del Fiume Centa le maggiori problematiche si riscontrano, infatti, allontanandosi dall'alveo del fiume, che costituisce la principale fonte di ricarica dell'acquifero, e sono principalmente dovute ad uno sfruttamento al limite della sostenibilità di alcuni settori dell'acquifero più distanti dalla zona principale di alimentazione, o comunque caratterizzati da una capacità di ricarica più limitata a causa stessa della conformazione stratigrafica ed idrogeologica del settore settentrionale della piana.

Nel caso del Fiume Magra, almeno per quello che riguarda gli ultimi chilometri del tratto terminale, fortemente alterati dalle ingentissime estrazioni di inerti dei decenni passati, il fiume stesso costituisce la principale direttrice di intrusione salina e le problematiche di salinizzazione diminuiscono progressivamente allontanandosi dall'alveo, pur con delle sostanziali differenze tra il settore prettamente focivo e quello posto più a monte.

Le strategie di intervento individuate per le due aree indagate hanno pertanto necessariamente tenuto conto di queste specifiche caratteristiche dei due acquiferi.

In ogni caso, deve essere tenuto presente che le considerazioni espresse sono prevalentemente di carattere qualitativo, poiché si basano su un numero limitato di dati, in quanto i fondi disponibili non consentivano campionamenti più estesi, numerosi e protratti nel tempo.

5.2 Possibili sviluppi delle attività

Tenuto conto dei limiti oggettivi delle indagini sviluppate dal PAL e, più in generale, dello stato attuale delle conoscenze, per il futuro, per quanto riguarda specificatamente le problematiche connesse con l'intrusione salina nelle falde, occorrerà in primo luogo implementare le conoscenze dirette sulle aree a maggiore criticità dei due corpi idrici in oggetto, in particolare attraverso:

- lo sviluppo della rete di rilevamento gestita da ARPAL, con particolare riferimento quindi ai monitoraggio in continuo di piezometrie e valori di conducibilità, ai sensi del D. Lgs. 152/06;
- l'esecuzione di campagne geognostiche mirate, tali da poter fornire informazioni sufficientemente affidabili sulla situazione geologico-stratigrafica ed idrogeologica degli acquiferi.

Questi approfondimenti conoscitivi risultano particolarmente necessari per quanto riguarda la porzione meridionale dell'acquifero del Fiume Magra, dove i dati e le stratigrafie profonde disponibili risultano maggiormente carenti.

Come ulteriore prospettiva si potrebbe trarre in considerazione la realizzazione di specifici modelli numerici di flusso di falda, che rappresentino un effettivo supporto decisionale per i soggetti a vario titolo competenti in materia di pianificazione e gestione delle risorse idriche.

La sviluppo di tali modelli, stante anche l'estensione e la complessità degli acquiferi in questione, deve peraltro necessariamente prevedere la possibilità di migliorare nel tempo il grado di approssimazione dei fenomeni osservati e quindi l'attendibilità degli scenari futuri ipotizzati.

Questi strumenti previsionali, il cui grado di attendibilità risulta ovviamente tanto maggiore quanto maggiore è la conoscenza e l'osservazione diretta dei fenomeni in atto, permettono infatti di simulare scenari nei quali è possibile prevedere, anche in termini quantitativi, il comportamento della risorsa al variare delle condizioni di stress naturale o antropico indotte sugli acquiferi sotterranei e quindi valutare in modo dinamico la sostenibilità degli utilizzi e gli impatti di eventuali interventi.

In conclusione è necessario porre in particolare evidenza che le azioni suggerite non possono in alcun modo prescindere da un forte coordinamento sinergico fra tutti i molteplici soggetti a vario titolo competenti in questo settore di fondamentale importanza, tale da consentire lo sviluppo di una pianificazione e gestione delle risorse idriche maggiormente organica e dotata di una visione con orizzonte temporale di più lungo periodo, in linea con i principi derivanti dalla Direttiva 2000/60/CE e con quanto definito a livello nazionale dal D.lgs 152/2006.