





Massaciuccoli



Centro interdipartimentale di ricerche agro-ambientali Enrico Avanzi

Il monitoraggio delle acque ad uso irriguo nel Parco Regionale Migliarino San Rossore Massaciuccoli

Tenute di Tombolo e Coltano

a cura di Nicola Silvestri e Luca Gorreri

foto L. Gorreri e W. Bernardeschi



© 2008 Ente Parco M.S.R.M.

Referenze fotografiche Luca Gorreri (aeree) e Walter Bernardeschi

Realizzazione editoriale, fotolito e stampa:
Pacini Editore S.p.A.
via Gherardesca, 56121, Ospedaletto (Pisa)
Tel. 050 313011 – Fax 050 3130300
www.pacinieditore.it
info@pacinieditore.it

Le riproduzioni effettuate per finalità di carattere professionale, economico o commerciale o comunque per uso diverso da quello personale possono essere effettuate a seguito di specifica autorizzazione rilasciata da AIDRO, Corso di Porta Romana n. 108, Milano 20122, e-mail segreteria@aidro.org e sito web www.aidro.org

Presentazione

La conoscenza del territorio rappresenta un presupposto indispensabile alla crescita del senso di appartenenza delle popolazioni residenti al sistema di tradizioni e di consuetudini, al modello colturale che caratterizza ciascun comprensorio del nostro Paese. Spesso però tale conoscenza costituisce anche un elemento fondamentale nell'impostare più correttamente le scelte tecniche ed operative che l'uomo-imprenditore è chiamato ad assumere nello svolgimento di quelle attività che presentano una qualche rilevanza economica.

A questo regola non si sottrae certamente l'agricoltura che risulta strettamente incernierata sulle caratteristiche pedoclimatiche dei comprensori che la ospitano. Per questo motivo il Parco ha avviato da tempo una paziente opera di ricerca e valutazione delle condizioni ambientali rilevabili all'interno del territorio di sua competenza.

Ieri lo studio dei terreni agrari e la valutazione delle conseguenti condizioni di vocazionalità e di vulnerabilità, oggi l'analisi delle acque, del loro stato di salute e della loro idoneità all'impiego irriguo, al fine di definire il contributo che possono giocare nel successo della coltivazione delle colture, ma anche nel determinare condizioni idonee per lo sviluppo delle specie animali e vegetali che popolano il nostro territorio.

La risorsa idrica si trova oggi al centro delle esigenze derivanti da un gran numero di usi diversi e potenzialmente concorrenziali fra loro (civici, agricoli, industriali, turistici, naturalistici, ecc.), impieghi che devono trovare un equilibrio quantitativo dei consumi rispetto alle disponibilità esistenti, ma che devono anche essere attentamente discriminati in relazione alla qualità necessaria a soddisfare le esigenze cui viene destinata.

E così dopo la valutazione dello stato delle acque delle tenute del Padule settentrionale e meridionale e della tenuta di Migliarino, si è deciso di affrontare il monitoraggio delle acque presenti nella porzione meridionale del Parco: le tenute di Tombolo e Coltano, di cui il presente volume rappresenta un resoconto puntuale e esaustivo.

Grazie dunque a tutti coloro che hanno partecipato al progetto e appuntamento, mi auguro, alla prossima tranche di ricerca che consentirà di chiudere il capitolo della valutazione della qualità delle acque rispetto all'intero comprensorio del Parco evidenziando, sulla base di una metodologia, comune, le differenze esistenti all'interno di un comprensorio complesso e fortemente variegato.

Giancarlo Lunardi Il Presidente dell'Ente Parco Regionale Migliarino San Rossore Massaciuccoli

Presentazione 3





Presentazione

È con sommo piacere che mi accingo a introdurre il volume che raccoglie i risultati dell'attività di ricerca condotta nell'ambito del progetto di monitoraggio delle acque superficiali ad uso irriguo delle tenute di Tombolo e Coltano all'interno del Parco Regionale Migliarino-San Rossore-Massaciuccoli. I motivi della soddisfazione sono molteplici, e sono del tutto riconducibili alle missioni istituzionali del Centro Enrico Avanzi, inserite in una spirale virtuosa basata sul "sapere-saper fare-far conoscere".

Infatti, il piano di lavoro, nel quale il Centro Avanzi ha svolto ruoli importanti sin dalle fasi di progettazione, è stato strutturato seguendo un percorso logico che ha coniugato le profonde conoscenze di base con una intensa attività pratica di campionamento ed analisi chimiche, il tutto seguito da una doverosa opera di divulgazione, della quale questo volume è testimonianza, così come lo sarà l'evento scientifico pubblico nel quale esso sarà presentato.

Mi piace altresì segnalare il forte carattere interdisciplinare della materia e lo stretto legame con i portatori di interesse, a cominciare dal Parco Regionale, con il quale il Centro Avanzi ha da sempre stretti e fertili collegamenti e sinergie. Infine, l'importanza e l'attualità di un argomento come quello della qualità delle acque ad uso irriguo definiscono il significato anche pratico del presente lavoro.

Senza acqua non c'è vita, lo sappiamo; e questa risorsa sta diventando sempre maggiormente limitata, vuoi per motivi quantitativi (a cominciare dalla ridotta disponibilità di precipitazione naturali, cruciali per molte specie di interesse agrario), vuoi per ragioni qualitative. Queste ultime sono spesso legate alla presenza nei corpi acquiferi di sostanze inquinanti di origine antropica, ma nelle aree costiere si assiste, da tempo, anche al preoccupante avanzamento del cuneo salino di origine marina, in grado ormai di far sentire la sua influenza anche ad alcuni chilometri dalla linea di costa. Spetta dunque al mondo della conoscenza formulare proposte che rendano compatibili e sostenibili le attività agricole in ambienti vulnerabili come quello in esame.

Concludo esprimendo i miei complimenti e la gratitudine ai curatori del volume, Nicola Silvestri e Luca Gorreri e a tutto il personale del Centro Avanzi, che, con la riconosciuta professionalità, ha contribuito egregiamente alla riuscita del progetto.

Giacomo Lorenzini

Il Direttore Centro Interdipartimentale
di Ricerche Agro-Ambientali "Enrico Avanzi", Università di Pisa

Presentazione 5





Introduzione

Per il settore agricolo, l'acqua costituisce un elemento determinante in termini qualitativi e quantitativi. Laddove si sono insediati sistemi agricoli in irriguo, sono migliorate le tecniche produttive: le migliori rese che possono essere ottenute dall'irrigazione sono più che doppie rispetto a quelle derivate dall'agricoltura alimentata da acque piovane. Tuttavia questa tendenza può essere assecondata solo se si è in grado di assicurare adeguate disponibilità idriche da destinare all'irrigazione.

I prelievi per usi irrigui superano in molte zone del pianeta le capacità di apporto dei corsi d'acqua, delle piogge e quella della ricostituzione delle riserve naturali. La vicenda più esemplare è la morte del lago Aral (Asia Centrale) che era il 4° lago più grande del mondo. La scelta di deviare il corso dei due fiumi che rifornivano il lago, per coltivare in terreni aridissimi colture estremamente bisognose d'acqua, come il riso e il cotone, ha prodotto risultati devastanti dal punto di vista ambientale, con gravi conseguenze dal punto di vista sanitario: la superficie del lago Aral è diminuita di 2/3; ciò ha provocato un'ulteriore salinizzazione delle sue acque – già salate in passato, ma ricche di pesce – aggravata dalla presenza di pesticidi e inquinanti che oggi sono concentrati ai livelli massimi.

In Italia, considerato un Paese potenzialmente ricco di risorse idriche, la natura del territorio, la difforme distribuzione delle precipitazioni, i sempre più frequenti periodi siccitosi, lo stato infrastrutturale delle reti di distribuzione non consentono di utilizzare correttamente ed in modo necessariamente efficiente le risorse potenzialmente disponibili. A questo va aggiunta la tendenza all'aumento della domanda di acqua da parte di tutti i settori produttivi, industriali ed artigianali, ma anche di quello turistico, che può rappresentare uno dei maggiori antagonisti del settore primario in prossimità delle fasce costiere, poiché aumenta la richiesta di acqua proprio nel periodo di maggiore stress idrico, cioè il periodo estivo. In generale, l'andamento estremamente irregolare delle risorse superficiali e la necessità di usufruire di sufficienti disponibilità idriche sia nel tempo sia nello spazio, porta a ricorrere significativamente alle risorse sotterranee, con il rischio, in molti casi, di un abbassamento del livello delle falde e un depauperamento delle risorse idriche sotterranee a causa della crescente intrusione di acqua di mare. Queste dinamiche mettono in evidenza il ruolo strategico dell'intervento sul settore agricolo per la tutela delle risorse idriche, che operi da un lato contro l'abbandono delle aree montane, delle aree cioè dove inizia la regimazione delle acque superficiali e adotti, dall'altro, strumenti di programmazione che evitino l'eccessiva intensificazione del processo produttivo agricolo. Le indagini conoscitive sull'approvvigionamento idrico e sugli usi agricoli delle acque evidenziano come l'irrigazione si stia trasformando da mero mezzo per raggiungere elevate rese produttive, a fattore in grado di indirizzare le produzioni agricole verso la qualità e di contribuire alla salvaguardia del territorio ed alla tutela delle risorse naturali nel quadro degli indirizzi della nuova Politica Agricola Comunitaria.

Introduzione 7

Le politiche comunitarie e le politiche agricole regionali, infatti, stanno cambiando in maniera incisiva le regole per il sostegno pubblico all'agricoltura attraverso il riconoscimento del ruolo multifunzionale dell'agricoltura; le azioni di rimboschimento e le iniziative di sviluppo rurale che privilegiano le aree marginali, assegnando un nuovo ruolo all'operatore agricolo; l'adozione di pratiche agricole che riducano l'impatto dell'agricoltura intensiva; la promozione della qualità e sanità dei prodotti agricoli e alimentari attraverso le tecniche tradizionali a basso impatto e biologiche che, oltre a rispondere ad una tendenza dei consumi, contribuisce alla tutela delle risorse naturali. Si tratta di misure di politica comunitaria che attribuiscono di fatto un ruolo importante all'agricoltura, un ruolo in cui l'operatore agricolo, sia nelle aree di pianura sia in quelle più sfavorevoli, assume un ruolo strategico anche per la tutela delle risorse naturali.

L'uomo e la tecnologia costituiscono i due fattori chiave per massimizzare la produzione agricola avendo a disposizione risorse idriche limitate, posto che l'uomo, naturalmente, è colui che ha le responsabilità maggiori. Le politiche di sviluppo rurale, coordinate con le politiche territoriali (ed in particolare quelle di pianificazione urbanistica e dei servizi), possono guidare i comportamenti individuali e collettivi facendo leva più sull'incentivazione che non sui vincoli, difendendo le aree più fertili da altri utilizzi (per es. inurbamento). Al tempo stesso, appropriati modelli di governance possono favorire la nascita di una nuova generazione di regole condivise in grado di ridurre al massimo i costi della burocrazia e di legare la competitività alla sostenibilità, costruendo nuove opportunità per il sistema agricolo e per le aree rurali attraverso progettazioni condivise. A ciò si unisce l'importante ruolo svolto dalla ricerca agronomica nel trasferire conoscenze sull'uso di tecniche irrigue ad alta efficienza; sull'uso di colture adatte alla specifica situazione meteoclimatica, sociale ed economica; sul riuso per l'irrigazione delle acque reflue depurate; sui sistemi di irrigazione di dimensioni ridotte; sul corretto impiego di concimi e fitofarmaci. Inoltre, ridurre il carico inquinante dell'acqua utilizzata da agricoltori, industrie ed insediamenti urbani, permetterebbe in gran parte il loro riutilizzo per l'irrigazione. Il consumatore può a sua volta fare molto per migliorare l'ambiente, semplicemente acquistando prodotti di stagione, di provenienza locale, prodotti biologici o prodotti col marchio di qualità. Una gestione idrica sostenibile, soprattutto se combinata con un'attenta amministrazione del suolo, contribuisce a garantire una produzione agricola di qualità superiore sia per il consumo diretto sia per la vendita commerciale. Migliorare l'efficienza dell'irrigazione è un obiettivo chiave del futuro. Nello stesso tempo vanno frenate le pressioni economiche gravanti sugli agricoltori per incrementare la produttività mediante agricoltura intensiva, che hanno condotto in tante parti del mondo a pratiche agricole rischiose ed insostenibili. Mi piace richiamare quanto si conclude sul documento della FAO del 2002: "ciò che serve è un nuovo contratto sulle acque. La Rivoluzione Verde è stata lanciata dagli scienziati, la Rivoluzione Blu dovrebbe essere lanciata facendo in modo che l'uso dell'acqua diventi interesse di tutti: l'obiettivo di tale rivoluzione dovrebbe essere quello di massimizzare la produzione di cibo e la creazione di posti di lavoro per volume unitario di acqua utilizzata. Occorre fare in modo che gli individui e le comunità comprendano le possibilità del cambiamento, comprendano che scegliere fra queste possibilità, assumersi le responsabilità che queste scelte comportano ed, in ultimo, realizzare queste scelte, potrebbe cambiare radicalmente il modo in cui il mondo utilizza le limitate risorse idriche disponibili". Aumentare la produttività dell'agricoltura alimentata da acque piovane, che ancora oggi fornisce circa il 60% del cibo mondiale, darebbe una svolta significativa alla produzione di alimenti del pianeta.

Lo sviluppo è sociale e sostenibile, oppure non vi è neppure crescita. La differenza tra crescita e sviluppo non è di carattere nominalistico, ma di visione sostanziale del modo di intendere il processo economico nel suo rapporto con la società, le istituzioni e il patrimonio dei beni collettivi.

La costruzione del nuovo Piano Locale di Sviluppo Rurale 2007/2013 della Provincia di Pisa ha rappresentato l'opportunità per approfondire queste traiettorie. La scelta dell'Amministrazione provinciale è stata quella di cogliere l'opportunità della costruzione del nuovo PLSR, non solo e non tanto in funzione dei flussi di spesa e di investimenti da questo attivati, assicurando un pieno utilizzo delle risorse finanziarie disponibili; quanto, anche come mezzo per facilitare l'emergere di nuove sensibilità ed attenzioni, oltre che nuove idee e modelli di comportamento, da parte di soggetti, pubblici e privati, rispetto agli obiettivi da raggiungere, stimolando un innalzamento del contributo delle campagne alla vita locale. L'affermazione del ruolo dell'agricoltura multifunzionale, che assicura il mantenimento di infrastrutture collettive in campo ambientale, sicurezza alimentare, servizi alla persona, necessita l'avvio di un più fitto dialogo tra settori e competenze. Accanto ad una gamma di sostegni al cambiamento delle singole imprese, diviene importante assicurare opzioni progettuali complesse, capaci di consolidare esperienze significative e buone pratiche, in campo ambientale, nella gestione delle risorse idriche e paesaggistiche, nella ricostruzione dei rapporti tra produzione e consumo, nella riduzione dei fenomeni di esclusione sociale in atto in molte aree rurali, specie attraverso le esperienze dei PIT (Piani Integrati Territoriali) e dei PASL (Programmi di Azione per lo Sviluppo Locale), in particolare, rispetto al tema dell'approvvigionamento idrico, quelli legati alla qualificazione della gestione delle acque con le misure del Piano Locale di Sviluppo Rurale ad essi collegate.

Giacomo Sanavio Vicepresidente Provincia di Pisa con delega all'Agricoltura

Introduzione 9





Il Progetto

Luca Gorreri ¹, Paolo Nobile ², Sergio Paglialunga ¹, Nicola Silvestri ³

¹Ente Parco Regionale Migliarino - San Rossore - Massaciuccoli ²Provincia di Pisa ³Centro Interdipartimentale di Ricerche Agro-Ambientali "E. Avanzi" - Università di Pisa

L'agricoltura, rispetto alle altre attività che caratterizzano lo sviluppo delle società umane, presenta senza dubbio maggiori difficoltà di "standardizzazione" in relazione alla variabilità delle condizioni in cui vengono realizzati i singoli processi produttivi.

L'alea meteorologica, l'eterogeneità dei suoli, la qualità delle acque a disposizione hanno sempre costituito infatti motivi di preoccupazione per gli agricoltori e oggetto di studio da parte dei ricercatori. La difficoltà di adattare scelte tecniche dimostratesi efficaci in uno specifico ambiente a siti differenti per la natura dei suoli e delle acque e/o per le condizioni climatiche ha costretto ad operare un incessante sforzo di adattamento delle agrotecniche adottate e del materiale genetico utilizzato alle specifiche situazioni ambientali onde evitare clamorosi fallimenti.

Una buona parte della ricerca agronomica si può dire che è stata dedicata proprio alla verifica delle effettive possibilità di estrapolare con successo comportamenti agronomici in aree più o meno lontane dai luoghi dove tali soluzioni avevano già dimostrato la loro efficacia. Di qui la necessità di estendere le sperimentazioni sia nel tempo che nello spazio al fine di ridurre l'influenza dei decorsi meteorologici riscontrabili nei diversi anni e/o il contributo derivante dalla natura del substrato e delle risorse idriche, tentando così di far emergere con chiarezza l'effetto attribuibile al trattamento considerato.

La conoscenza delle fonti di variabilità quindi può risultare decisiva nell'orientare le scelte tecniche e nel ridurre i rischi di insuccesso legati allo svolgimento dell'attività agricola. Certamente la valutazione dei soli elementi climatici, idrici e pedologici non è sufficiente a definire l'"ambiente" in cui in azienda agricola si trova ad operare; altri fattori di natura sociale, culturale ed economica risultano infatti deter-

Il Progetto 11

minanti nel sancire la buona riuscita di un processo produttivo quali ad esempio la struttura aziendale, il sistema dei prezzi, i provvedimenti di politica agricola vigenti, l'organizzazione e l'efficienza delle "filiere" di produzione, ecc.

Ma volendo astrarre, almeno in prima approssimazione, dalle "condizioni al contorno" di natura antropica e scegliendo quindi di limitarsi ad una valutazione delle potenzialità di un territorio, diventerebbe utile poter contare su una mole sufficientemente estesa ed omogenea di dati da raccogliere mediante la gestione delle capannine meteorologiche e l'effettuazione di opportune campagne di campionamento del terreno e delle acque.

Proprio a queste ultime due tematiche è stata dedicata, negli ultimi anni, particolare attenzione da parte del Parco, che di concerto con l'Amministrazione provinciale di Pisa e con le strutture dell'Ateneo pisano, ha promosso iniziative tese a colmare le lacune cognitive esistenti nel territorio di propria pertinenza, una cui maggiore conoscenza avrebbe potuto invece consentire l'adozione di tecniche agronomicamente più efficaci ed ambientalmente più compatibili.

L'armonizzazione delle scelte operate dagli agricoltori con le esigenze di tutela e di conservazione delle risorse naturali costituisce infatti un obiettivo cui l'agricoltura di oggi non può più sottrarsi. All'interno di un'area protetta poi il soddisfacimento di adeguati standard di compatibilità ambientale diventa, se possibile, ancora più importante, ma spesso i modelli produttivi adottati non sembrano presentare, da questo punto di vista, requisiti sufficienti in considerazione proprio della inadeguata conoscenza delle condizioni ambientali in cui si opera.

Così si è partiti, nel già lontano 1997, con l'inaugurazione del servizio di analisi del terreno e di supporto nella stesura dei piani di concimazione, svolto in collaborazione con il Dipartimento di Agronomia e Gestione dell'Agroecosistema dell'Università di Pisa. Il progetto, basato su un deciso ricorso a tecnologie innovative quali il GPS (Global Positioning System) ed i GIS (Geographical Information System) prevedeva la caratterizzazione dei terreni destinati all'attività agricola ricadenti all'interno dei confini del Parco attraverso la suddivisione del comprensorio in "lotti" da coprire attraverso lo svolgimento di apposite campagne di campionamento, effettuate ininterrottamente fino al 2003. L'utilizzo degli strumenti informatici ha consentito di "georeferenziare" con precisione i risultati delle determinazioni analitiche relative alle caratteristiche fisico-chimiche dei substrati e successivamente, attraverso la loro interpolazione spaziale, di valutare con sufficiente precisione il livello di fertilità e quindi le potenzialità produttive di ciascuna area, apportando conoscenze preziose per





modulare più correttamente l'impiego dei concimi chimici e ponendo le basi per una effettivo contenimento dei costi ed una gestione ambientalmente più compatibile dell'agro-ecosistema.

I risultati costituiti dalle analisi (oltre 2700 campioni distribuiti su una superficie di circa 9200 ha), dalla loro interpretazione in chiave agronomica e dalla loro rappresentazione cartografica, sono stati forniti a tutte le aziende agricole coinvolte nel progetto. Inoltre alla fine di ciascun anno è stata prodotta una carta di sintesi per ciascuna tenuta storica presa in considerazione, previa informatizzazione ed organizzazione dei dati di rispettiva pertinenza.

Successivamente, a partire dall'anno 2004, è stato avviato un altro programma di monitoraggio ambientale, quello riguardante la caratterizzazione delle risorse idriche, finalizzato alla valutazione del loro impiego in agricoltura.

Naturalmente la mancanza di sistematici e periodici riferimenti conoscitivi ha reso difficile tentare una valutazione definitiva dello stato di salute delle acque superficiali dei diversi comprensori del Parco ed il lavoro svolto è da considerare significativo solo per porzioni e/o per alcuni aspetti della problematica affrontata. Del resto non era possibile costituire ex-novo una banca dati, spazialmente e temporalmente adeguata, sulla base delle risorse finanziarie ed umane disponibili.

In considerazione di ciò i risultati ottenuti non sono da considerare esaustivi del tema affrontato e devono essere intesi come lo stimolo per lo sviluppo di nuove ricerche piuttosto che come il punto di un'indagine conclusa.

Ciò nondimeno la scarsità dei riferimenti esistenti rendeva quanto mai necessario procedere ad una prima e parziale caratterizzazione delle acque delle diverse tenute storiche del Parco agricolo alla luce dell'importanza che il fattore idrico riveste sul successo agronomico ed economico delle aziende presenti, nonché delle particolari condizioni ambientali che caratterizzano l'area oggetto di studio.

Ma l'importanza dell'acqua all'interno del Parco, va al di là del suo impiego nel settore agricolo; la risorsa idrica infatti riveste all'interno di questa area protetta una valenza paesistica e culturale che è testimoniata sia dalla particolare confermazione idro-geologica del comprensorio, in cui risulta evidente l'intensa azione prodotta dall'uomo sul territorio al fine di regimare le acque e regolarne i flussi, sia dall'esistenza di importanti corpi d'acqua superficiali come l'Arno, il Serchio, il Fiume Morto, il lago di Massaciuccoli, che hanno condotto a definire il Parco di Migliarino – San Rossore – Massaciuccoli, come il Parco delle Acque.

Il Progetto 13

A ciò si aggiunga il ruolo che la qualità delle acque gioca nella sopravvivenza e nella diffusione di numerose specie animali e vegetali e quindi l'attenzione che deve essere riservata alla salvaguardia di questo comparto ambientale nelle strategie di conservazione e tutela dell'ambiente naturale.

L'indagine conoscitiva sul sistema delle acque sotto-superficiali del Parco è partita con il monitoraggio dell'area limitrofa al lago di Massaciuccoli (tenute del Padule Nord, del Padule Sud e di Migliarino) in considerazione delle peculiarità presentate dal comprensorio interessato che hanno condotto la Regione Toscana ad attribuire all'area idraulicamente tributaria del lago di Massaciuccoli, la qualifica di "area vulnerabile" con delibera n. 172 dell'8 ottobre 2003, recependo la direttiva UE 676/91 relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato da nitrati di origine agricola.

La porzione di Parco interessata dalla misura protezionistica è pari a circa 8200 ha di cui oltre 2800 destinati alla coltivazione di specie agrarie a testimonianza dell'importanza che l'attività agricola riveste all'interno di questa area. Come risulta dallo svolgimento di precedenti studi le aziende coinvolte assommano a circa una cinquantina per lo più di dimensioni medio-grandi, ad ordinamento produttivo prevalentemente cerealicolo-industriale (con una netta predominanza della coltivazione del mais), seguito da frumento duro e girasole, pur essendo rilevabili realtà circoscritte, ma significative, in cui prevalgono invece l'orticoltura e l'olivicoltura.

Molte di queste colture prevedono un ricorso più o meno massiccio all'acqua di irrigazione e quindi è risultato oltremodo utile procedere alla caratterizzazione delle acque ai fini dell'uso irriguo, onde fornire idonei parametri di riferimento agli agricoltori che operano nella zona. La valutazione dell'idoneità all'uso irriguo ha preso in considerazione tutti i principali parametri analitici utili a questo scopo onde verificare la convenienza di ricorrere a tale tecnica sia in relazione ai possibili rischi a breve termine (possibili danni alle colture), sia ai rischi di medio-lungo periodo riconducibili ad un degrado della fertilità dei suoli.

A conclusione del lavoro svolto sono state prodotte due carte tematiche, una relativa alla parte lucchese (settentrionale) del bacino idrografico del lago di Massaciuccoli e una riguardante invece la porzione pisana (meridionale) di tale area, in cui sono stati riportati i giudizi sintetici sulla qualità delle acque analizzate (pH, cloruri, solfati, nitrati, fosfati, pericolosità per il contenuto in sodio), oltre all'ubicazione dei rispettivi punti di prelievo. Inoltre i risultati completi delle determinazioni analitiche effettuate, nonché i relativi commenti e discussioni, sono state raccolte in un volume i cui riferimenti sono riportati nella nota bibliografica consultabile al termine del presente contributo.





Negli ultimi anni (2006-2007) sono state invece analizzate le acque superficiali e profonde della porzione più meridionale del Parco (tenute di Tombolo e Coltano), utilizzando le stesse metodologie e le stesse metodiche di rappresentazione descritte in precedenza. Così sono state prodotte due cartografie tematiche (una per la tenuta di Tombolo e una per quella di Coltano) e si è provveduto alla stampa del presente volume che raccoglie le osservazioni e le valutazioni scaturite da quella campagna di monitoraggio ambientale. Le acque della porzione più centrale del comprensorio erano state oggetto invece di una precedente ricerca commissionata dalla Regione Toscana allo scopo di realizzare un adeguato monitoraggio dell'attività dell'azienda agricola biologica della tenuta di San Rossore, che seppure promosse da esigenze conoscitive più particolari, rappresentano comunque un utile contributo al lavoro di caratterizzazione ambientale dell'intera area protetta. Anche in questo caso i risultati ottenuti sono stati pubblicati in un volume riportato in bibliografia.

Prima di poter considerare conclusa l'attività di monitoraggio delle risorse idriche del Parco e poter realizzare una cartografia finale riguardante l'intero territorio dell'area protetta, sarà necessario svolgere un'ultima campagna di analisi dedicata alla verifica e all'approfondimento delle zone parzialmente trascurate nel corso delle precedenti fasi di studio, nonché delle eventuali aree in cui la densità di prelievo è da ritenere inadeguata rispetto alle necessità conoscitive espresse dagli agricoltori operanti in loco.

In questo modo sarà possibile ottenere una caratterizzazione spazialmente specifica del territorio, sia dal punto di vista pedologico che idrico, che consentirà di poter meglio valutare la vocazionalità delle aree ed il loro potenziale produttivo, facilitando la definizione delle tecniche agronomiche più idonee a conseguire un'effettiva protezione dell'ambiente, un soddisfacente reddito ritraibile e un'adeguata conservazione del livello di fertilità dei suoli.

Da molto tempo si parla di pianificazione territoriale in agricoltura convinti che solo attraverso un corretto abbinamento dei modelli produttivi agricoli a quelle che sono le potenzialità, ma anche le vulnerabilità del territorio, si possa effettivamente compiere un passo in avanti nel processo di diffusione e di affermazione di sistemi colturali sostenibili.

La sfida lanciata ai ricercatori è dunque quella di riuscire a trasferire la conoscenza acquisita attraverso la sperimentazione alla realtà dei diversi comprensori agricoli esistenti, "adeguando" i risultati ottenuti alle effettive condizioni ambientali, economiche, sociali e culturali che li caratterizzano. Solo così la scienza agronomica potrà riuscire ad incidere sul comportamento effettivo degli agricoltori e contribuire a gestire l'evoluzione dei sistemi colturali verso modelli produttivi che consentano anche di conseguire un effettivo progresso nel modo di fare agricoltura.

Il Progetto 15

Bibliografia

Silvestri N., Accogli D., 1999. La creazione di un servizio di analisi del terreno per gli agricoltori del Parco Regionale Migliarino – San Rossore – Massaciuccoli. Le nuove prospettive offerte dall'impiego integrato di tecnologie GIS e GPS. Felici Editore, Pisa, 42 pp.

Accogli D., Arrivabene G., Barsanti R., Belloni P., Bonari E., Benvenuti S., Coli A., Ginanni M., Gorreri L., Lotti P., Moscheni E., Pampana S., Piccotino D., Risaliti R., Silvestri N., Valentini L., (2000). *L'attivazione di un sistema informativo territoriale per i terreni del Parco di Migliarino, San Rossore, Massaciuccoli*. Bollettino della Società Italiana della Scienza del Suolo, 49 (3), 625-635.

Silvestri N., Risaliti R., Ginanni M., Accogli, D., Sabbatini T., Tozzini C., 2002. *Application of a georeferenced soil database in a protected area of Migliarino San Rossore Massaciuccoli Park*. Book of proceedings of VII Congress of the European Society for Agronomy (Villalobos F., Testi L., editors), Cordoba, 655-656.

Silvestri N., Gorreri L., (a cura di), 2003. La conoscenza dei terreni per una gestione sostenibile dell'agricoltura nel territorio del Parco Migliarino – San Rossore – Massaciuccoli. Pacini Editore, Pisa, 95 pp.

Silvestri N., Borsacchi S., 2004. *Qualità delle acque superficiali*. In: (a cura di) Barberi P., Moonen C. *Il monitoraggio dell'azienda agricola biologica della tenuta di San Rossore*. Grafiche Caroti, Pisa, 171-188.

Silvestri N., Gorreri L., (a cura di), 2006. La qualità delle acque superficiali ad uso irriguo nel comprensorio del Massaciuccoli. I risultati di una prima indagine territoriale. Felici Editore, Pisa, 99 pp.



Idrologia dell'area di studio

Roberto Spandre 1, Silvia Lorenzoni 2

¹Dipartimento di Scienze dell'Uomo e dell'Ambiente - Università di Pisa ²Libera professionista

Premessa

L'area oggetto dell'indagine (fig. 1), nella quale si trovano le denominate tenute di Tombolo e di Coltano, è limitata a Nord dal fiume Arno, a Sud dal Canale Scolmatore dell'Arno, a Ovest dal Mar Ligure e a Est dalla S.S. 206 – Via Emilia.

Sotto l'aspetto morfologico la zona è completamente pianeggiante avendo solo una debole pendenza di circa lo 0,0005%, con leggere depressioni che possono scendere al di sotto del livello del mare in talune zone di bonifica. I corsi d'acqua con le loro alluvioni e i sedimenti lacustri e marini hanno contribuito alla formazione della pianura, la cui superficie è costituita da depositi che variano dal tipo sabbioso sciolto della zona litoranea, al tipo argilloso compatto, talvolta torboso, delle zone più interne.

I depositi fluvio-palustri hanno da sempre provocato vasti ristagni di acqua, con tendenza alla formazione di nuove aree paludose, nonostante le opere di canalizzazione e di bonifica effettuate nel corso dei secoli. Tali fenomeni di difficoltoso drenaggio superficiale sono accentuati, verso il mare (zone di Castagnolo-Coltano), dallo sbarramento rappresentato dal complesso sistema di lidi e dune litoranei, sopraelevati di pochi metri le cui quote non superano in genere i 3 m s.l.m., rispetto alla piana alluvionale ed alle interposte depressioni ("lame"). I lidi ("cordoni") corrispondono ad antiche barre costiere, successivamente emerse, e sono allungati secondo la direzione delle precedenti linee di riva; le dune ("tomboli") sono più frammentarie, leggermente più elevate, e la loro origine eolica le rende relativamente indipendenti dalla direzione del litorale.

Alla serie di tali cordoni sabbiosi, che coprono una fascia costiera larga 5-6 km, seguono, verso l'interno e prevalentemente a sud dell'Arno, più pronunciati rilievi (quote massime intorno ai 15-18 m), di più antica origine eolica (Palazzetto, Castagnolo e Isola di Coltano), attualmente incisi in forme più complesse rispetto



Idrologia dell'area di studio

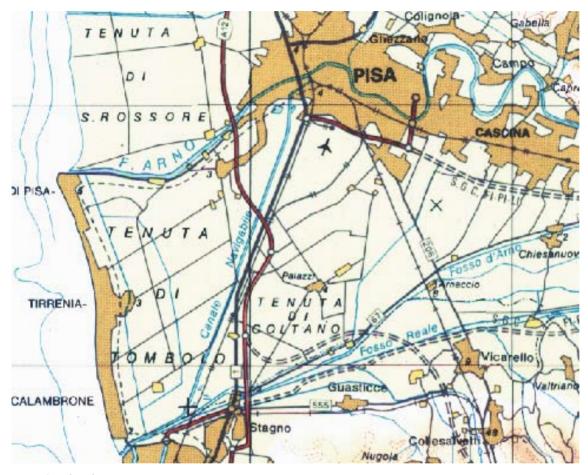


Fig. 1 - L'area di studio

a quelle dei suddetti cordoni litoranei. Nella pianura alluvionale retro dunare, i depositi limo-sabbiosi di esondazione formano aree leggermente rilevate nei confronti di quelle che furono occupate dai paduli e dai sedimenti alluvionali più fini.





La rete idrica superficiale

Le acque che condizionano l'idrologia della zona non sono quelle dell'Arno che essendo totalmente arginato costituisce un sistema idraulico a se stante, ma quelle dei fossi e dei canali che costituiscono i sistemi di bonifica a scolo naturale e meccanico. Fra questi i più importanti sono di gran lunga il bacino della bonifica di Coltano e quello di Tombolo.

Il bacino di bonifica di Coltano è un territorio interessato da vari tentativi di bonifica per colmata avvenuti fin dal lontano passato per rimediare al suo stato paludoso. È suddivisibile in due sub-porzioni: il bacino a scolo meccanico e quello a scolo naturale.

Il primo è il più esteso e comprende i Paduli di Stagno e di Coltano, scolati rispettivamente dal Collettore dello Stagno e dal Collettore Secondario del Padule Maggiore, i quali convogliano le acque all'impianto idrovoro del Ragnaione con recapito finale nel canale Nuovo dei Navicelli. L'allineamento Collettore dello Stagno – Colatore n. 7 dello Stagno (che continua a sud con il Canale ex Navicelli – Acque Alte) corrisponde al tracciato più meridionale del vecchio Fosso dei navicelli, originariamente con deflusso verso il mare. Questo sottobacino include le aree morfologicamente più depresse ed estese.

Il secondo sottobacino che comprende la maggior parte della Duna di Coltano, cioè la zona più elevata, è costituito da sabbie e quindi da terreni più permeabili. Le acque che non vengono assorbite defluiscono nei canali di acque alte Allacciante n. 1 dello Stagno, Allacciante sud-ovest del padule Maggiore, Allacciante di Bassanera. Questi canali confluiscono poi attraverso il Mandracchio Ragnaione nel Canale dei Navicelli.

Anche il bacino della bonifica di Tombolo comprende un sottobacino a scolo meccanico che occupa la porzione più occidentale dell'area. In essa una fitta rete di canali recapita le acque a due impianti idrovori, uno posto nei pressi dell'abitato di Marina di Pisa che scola le acque in Arno, l'altro nei pressi del Calambrone che convoglia le acque nel Canale Nuovo dei Navicelli. Si tratta della porzione più depressa (zona delle lame) che necessita di uno scolo meccanico per l'allontanamento delle acque in eccesso.

Il sottobacino a scolo naturale si versa invece in parte nell'Arno (porzione settentrionale) e in parte nel Canale Nuovo dei Navicelli (porzione meridionale).

Un cenno merita infine il bacino della bonifica della Vettola che comprende i Paduli del Gracitone e della Ballerina, separati dalla Duna di Castagnolo. L'area è a scolo meccanico; le acque vengono convogliate attraverso la principale linea idraulica: Fosso Mezzanina Acque Basse – ex navicelli Bonfica – Collettore della Vettola, verso l'impianto idrovoro, dove vengono sollevate e gettate nel canale Nuovo dei Navicelli.

Idrologia dell'area di studio

Geo-idrologia del sottosuolo nell'area di indagine

I depositi costituenti la pianura di Pisa si possono suddividere, in maniera schematizzata, nel seguente modo:

- substrato profondo, comprendente tutte le formazioni che stanno sotto i primi sedimenti del complesso neoautoctono, per il quale l'inizio della sedimentazione varia da zona a zona, ma non è mai anteriore al Miocene superiore;
- substrato intermedio, comprendente i sedimenti deposti fino al Pliocene inferiore;
- substrato superiore, formato dai sedimenti posteriori il Pleistocene superiore.

Dal punto di vista idrogeologico i sedimenti del complesso neoautoctono costituiscono un tipico sistema acquifero multistrato, caratterizzato quindi, da un'alternanza di orizzonti acquiferi a permeabilità variabile e livelli impermeabili o semipermeabili.

Il Sistema Acquifero della Pianura Pisana, laddove si presenta nella sua successione completa, è formato essenzialmente – procedendo dal piano di campagna – da un primo orizzonte freatico, seguito da un potente acquifero in sabbia il quale, a sua volta, giace al tetto degli orizzonti ghiaiosi (denominati dell'Arno e del Serchio da Bientina) che costituiscono l'acquifero confinato più produttivo e profondo della Pianura.

La complessità dei depositi costituenti il sistema acquifero multistrato, è determinata dal contesto paleogeografico che ha visto la loro sedimentazione, caratterizzato da una successione, sia nello spazio sia nel tempo, di ambienti continentali (fluviale, lacustre, ecc.) marginali e marini, dovuta principalmente alle variazioni del livello medio marino e al tasso di sedimentazione.

La permeabilità di questi depositi è in generale di tipo matriciale, e il grado di permeabilità è determinato dalla granulometria, dal contenuto in argilla, dalla compattazione e dal grado di cementazione.

La ricarica diretta del complesso acquifero multistrato avviene, per infiltrazione delle acque meteoriche, in ampi settori degli apparati dunari costieri e sui rilievi pedecollinari di Vicarello. La ricarica indiretta proviene principalmente:

- dalla discarica diretta delle rocce incassanti, soprattutto dalle formazioni carbonatiche dei Monti di Oltre Serchio e del Monte Pisano;
- attraverso il collegamento idraulico tra gli apparati intra-pedemontani, e gli orizzonti acquiferi del complesso multistrato;
- dalle falde di sub alveo delle valli di Bientina e di Ripafratta;
- dai circuiti idrotermali profondi, soprattutto nella zona di S. Giuliano Terme





Le acque circolanti nel complesso acquifero multistrato dal punto di vista idrochimico presentano in generale un elevato contenuto salino, con notevole variabilità dei rapporti caratteristici tra ioni, determinata da fattori diversi quali litologia, apporti idrotermali, intrusione salina e fenomeni d'inquinamento. Questa variabilità diminuisce se si prendono in considerazione separatamente le acque sotterranee degli orizzonti acquiferi nei diversi settori della pianura.

Acquifero freatico

Gli acquiferi freatici della pianura di Pisa hanno sede nei depositi in prevalenza sabbioso-limosi di origine alluvionale, fluvio-palustre ed eolica; questi ultimi affiorano nella fascia delle dune e dei lidi litoranei, ma sono verosimilmente presenti anche nel sottosuolo. Tali terreni costituiscono una complicata struttura acquifera, con strati in genere a bassa permeabilità, di spessore variabile e con forme soventemente di tipo lenticolare, intercalati a livelli impermeabili, anch'essi discontinui.

L'acquifero freatico, pur non essendo sfruttato a scopo idropotabile o industriale, assume un'importanza rilevante nella valutazione delle risorse idriche a disposizione della comunità, infatti oltre ad essere intensamente sfruttato a scopo irriguo o per usi domestici locali, rappresenta una sorta di serbatoio di accumulo degli inquinanti sversati in superficie o i prossimità di essa.

Per effetto delle condizioni litostratigrafiche, ma anche a seguito dei costanti emungimenti a cui viene sottoposto, la falda freatica si può localizzare a profondità diverse e molto variabili durante l'anno, passando anche da qualche metro a qualche decimetro in pozzi fra loro poco distanti.

Questo acquifero più superficiale, oltre a ricevere una ricarica direttamente dalle acque meteoriche e, indirettamente, dagli apparati alluvionali pedemontani, è anche in collegamento idraulico – drenaggio/ricarica – con la rete idrica minore (fossi e canali) e, in molti tratti, con il fiume Arno.

Inoltre, nella fascia dunare costiera e in quella dei sedimenti pedemontani, vi sono zone di collegamento idraulico fra l'acquifero superficiale e quelli confinati.

La caratterizzazione dell'acquifero freatico risulta quindi, dal punto di vista idrogeologico, alquanto complessa a causa della estrema variabilità granulometrica e tessiturale dei litotipi che lo costituiscono oltre che dalla distribuzione estremamente eterogenea delle perforazioni. La bibliografia a disposizione indica chiaramente come questo acquifero sia presente in tutta l'area della Pianura pisana, ad eccezione di quelle zone dove affiorano sedimenti praticamente impermeabili.





Nella fascia compresa tra la linea di costa e il limite delle dune costiere l'acquifero freatico, come abbiamo già detto, è residente in depositi sabbiosi dotati di una buona permeabilità, risultando quindi maggiormente produttivo.

A sud dell'Arno e a nord del Serchio le sabbie hanno spessori che si aggirano sui 20 metri; mentre nella fascia compresa trai due fiumi i depositi sabbiosi, più o meno continui ed omogenei, raggiungono spessori considerevoli, superiori anche a 100 m.

In questa area esiste perciò un collegamento diretto tra l'acquifero freatico e le sottostanti falde confinate in sabbia.

Primo acquifero confinato in sabbia

Il primo acquifero confinato in sabbie si individua a profondità variabili, sia nell'area di studio sia in quella di tutta la pianura di Pisa. Questo primo acquifero confinato è costituto generalmente da sedimenti sabbiosi e, come abbiamo già detto, il suo tetto si caratterizza per un andamento piuttosto accidentato, infatti si ritrova a profondità intorno ai 20-30 m a sud dell'Arno, quindi si approfondisce fino a 50-60 m nella zona di Pisa, dopodichè risale a profondità minori spostandoci verso il nord della pianura pisana dove lo spessore medio varia tra i 20 e 40 m, raggiungendo valori massimi di 50-60 m subito a nord di Pisa, diminuendo poi abbastanza rapidamente a sud del fiume Arno.

In particolare nell'area a Sud-Est di Pisa il tetto sabbioso si mantiene a profondità comprese tra i 30 e i 40 metri e presenta un andamento poco uniforme, con una lunga area depressa nella zona di Ospedaletto. Un'altra depressione è localizzata nella zona immediatamente a Sud dell'Arno, dove l'orizzonte sabbioso affiora a profondità via via minori e presenta un'ampia culminazione che sembra collegarsi con la zona delle dune antiche affioranti nella zona della Tenuta di Coltano.

Acquifero confinato in ghiaia

Il primo acquifero confinato in ghiaia rappresenta la risorsa idrica più importante della pianura di Pisa sia per la sua buona produttività che per la qualità delle acque fornite.

L'acquifero in ghiaia ha uno spessore che raramente supera i 10 m e si estende dal margine meridionale dell'area in esame fino all'incirca all'altezza del fiume Arno, verso nord non è chiaro, a causa della mancanza di dati, se esso continui in profondità o se si interrompa.

Idrologia dell'area di studio 23





L'orizzonte acquifero si attesta nella parte meridionale a profondità comprese tra i 40 e i 70 m e si approfondisce rapidamente andando verso nord fino a raggiungere profondità superiori ai 180 m nella zona di Pisa. La geometria del tetto delle ghiaie ha un aspetto piuttosto accidentato, ed è possibile riconoscervi alcuni lineamenti (paleovalli), probabilmente ereditati dalla antica paleogeografia del Wurm III.

La ricarica della falda acquifera residente nelle ghiaie avviene per infiltrazione diretta dai rilievi di Vicarello, attraverso i corpi ghiaiosi intra-pedemontani del Monte Pisano e dalle acque provenienti dalle alluvioni della valle di Bientina.

Idrologia dell'acquifero freatico

L'andamento della forma della superficie piezometrica, nel tratto compreso tra Pisa e il mare, dipende in gran parte dagli emungimenti e dalla presenza di terreni argillosi e argillo-limosi in superficie. Tali terreni causano una scarsa o nulla ricarica diretta della falda da parte della pioggia; in ragione di tale comportamento si osservano aree di minimo in corrispondenza di questi terreni e aree di massimo localizzate su depositi a permeabilità relativa maggiore, come le sabbie dei paleo alvei che si trovano in località La Vettola. Inoltre l'intera fascia che segue il fiume Arno, da San Piero a Grado fino al mare, costituisce una estesa area con freatimetria sotto il livello del mare.

Questa area depressa viene alimentata anche dalla fascia dunare costiera la quale, a sua volta, riceve l'alimentazione direttamente dall'infiltrazione dell'acqua piovana.

Le dune costiere, a sua volta, costituiscono una buona barriera idraulica (alto piezometrico) che contribuisce probabilmente ad ostacolare l'ingressione marina nella falda superficiale.

A partire dalla zona di San Piero a Grado il fiume Arno alimenta gli acquiferi freatici, ubicati in ambedue i margini, sia nelle zone di depressione idraulica – provocate dagli emungimenti dei pozzi – sia in quelle nelle quali la quota del terreno (e quindi dell'acquifero) si colloca al di sotto del livello del mare.

Ricostruzione della superficie piezometrica

Nel presente studio è stata ricostruita la superficie piezometrica relativa alla fascia di territorio compresa tra il Fiume Arno, lo Scolmatore, la linea di costa e la zona di Tombolo-Coltano.

Tale area comprende la fascia di territorio su cui insistono, prevalentemente, le tenute di Tombolo e di Coltano contenuta all'interno dell'area del Parco di Migliarino – San Rossore – Massaciuccoli.

Idrologia dell'area di studio 25

Per la ricostruzione della superficie piezometrica è stata realizzata una rete di monitoraggio comprendente 49 pozzi che interessano l'acquifero multistrato presente nel sottosuolo della Pianura di Pisa. Questo sistema acquifero, come abbiamo già detto precedentemente, è costituito da una successione di livelli acquiferi che risultano idraulicamente interconnessi tra loro; la successione di tali livelli dall'alto verso il basso è la seguente:

- a) falda freatica nelle sabbie di duna:
- b) falde confinate nelle sabbie e nei livelli ghiaiosi più profondi corrispondente ai "conglomerati dell'Arno e del Serchio da Bientina".

Il livello piezometrico, riportano nella figura 2, è stato misurato nel periodo di morbida (maggio 2007) ovvero nel periodo in cui la falda, ricaricata dalle piogge primaverili, si trova in una situazione di "alto piezometrico" che in regime stazionario – assenza di pozzi in emungimento – avrebbe una direzione naturale di deflusso da NE verso SO ovvero verso mare. In realtà tutti i pozzi, presenti nell'area di indagine, non sono quasi mai tutti fermi contemporaneamente, soprattutto nella stagione di morbida e in quella estiva di massima domanda idrica.

L'andamento della superficie piezometrica è quindi fortemente condizionato dalla presenza di pozzi in emungimento, questi creano un'ampia zona depressa in cui il livello di falda si attesta intorno alla profondità di –2m s.l.m.

Questa zona, include tutta la fascia centrale dell'area di studio, è delimitata della isopiezometrica –1,0 m s.l.m., e presenta al suo interno due zone di minimo piezometrico individuabili, una in loc. di La Vettola e l'altra in Coltano.

Per quanto riguarda i livelli piezometrici rilevati nei pozzi della fascia costiera, sia quelli che si attestano nella falda freatica delle sabbie di duna sia quelli che afferiscono agli acquiferi profondi in sabbia e ghiaia, essi mostrano una quota piezometrica prossima al livello del mare.

Dall'analisi di misure effettuate, durante vari mesi, nel corso degli anni 2006 e 2007 si evidenzia come nei pozzi 1, 4 e 31 la piezometria rimane sempre positiva, ad eccezione dei mesi di giugno e luglio (periodo di magra) quando scende di alcuni centimetri al di sotto della quota 0 s.l.m.

Queste oscillazioni dei livelli sono dovute al delicato equilibrio idrogeologico esistente tra l'acqua dolce della falda di duna costiera e quella di mare.





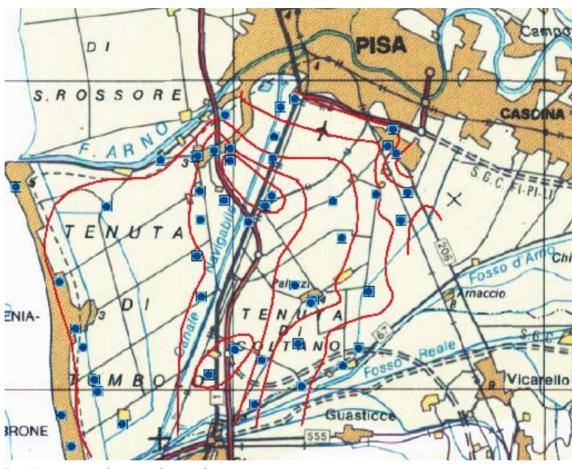


Fig. 2 - Linee piezometriche e pozzi utilizzati per il monitoraggio

Il problema dell'intrusione marina e, quindi, della salinizzazione delle falde acquifere, interessa pertanto non solo le aree a ridosso del litorale, ma anche quelle più interne, topograficamente più basse e con piezometria depressa, ubicate nella fascia di territorio compresa tra le zone di Tombolo e Coltano.

Idrologia dell'area di studio

Bibliografia

Dall'Antonia B., Mazzanti R., 2001. *Geomorfologia e idrografia* In: (a cura di) Paglialunga S., Tombolo. Territorio della Basilica di San Piero a Grado. Pisa, Felici Editore, 7-66.

Frondini, F., Zanzari, A., Giaquinto, S., 2001. *Salt water intrusion in the Pisa Coastal plain (central taly)*. In; Cidu. (Ed.), Proceedings of the 10th International Symposium on Water-Rock Interaction, Viallasmius (Italy), 10-15 June, vol. 1. A.A. Balkema, Lisse, pp.513-516.

Giani P., Panichi C., 2001. Caratterizzazione chimico-isotopica del fiume Arno nel tratto terminale con particolare riferimento all'interazione con gli acquiferi della piana di Pisa. CNR - Istituto di Geoscienze e Georisorse Pisa. Pubblicazione n.02640. pp 94.

Rossi S., Spandre R., 1994. L'intrusione marina nella falda artesiana in ghiaia nel litorale pisano. Acque sotterranee n. 43, pp. 51-58.

Rossi S., Spandre R., 1995. Caratteristiche idrochimiche della prima falda artesiana in sabbia nei dintorni di Pisa. Acque sotterranee n. 48, pp. 27-48.

Spandre R., Ceragioli M., Giovannetti M., Spinicci A., 1999. *Valutazione della vulnerabilità intrinseca delle risorse idriche profonde della pianura di Pisa, applicazione del metodo WATER*. Amministrazione Provinciale di Pisa.



La metodologia adottata e i parametri analizzati

Nicola Silvestri ¹, Roberto Spandre ², Rosalba Risaliti ¹, Luca Gorreri ³

¹ Centro Interdipartimentale di Ricerche Agro-Ambientali "E. Avanzi" - Università di Pisa ² Dipartimento di Scienze dell'Uomo e dell'Ambiente - Università di Pisa ³ Ente Parco Regionale Migliarino - San Rossore - Massaciuccoli

Allo scopo di produrre un quadro conoscitivo il più possibile completo ed esaustivo delle acque nelle tenute di Tombolo e di Coltano si è proceduto eseguendo i campionamenti in due periodi dell'anno differenti: uno di "magra" da effettuare in agosto-settembre dopo la stagione estiva con un livello delle acque minimo e un altro di "morbida" da effettuare dopo la stagione piovosa con un elevato livello di acqua nei canali e nella falda. Tale secondo momento però, a causa del particolare decorso climatico registrato, è stato ritardato e spostato al bimestre dicembre-gennaio.

Per prima cosa dunque si è provveduto a raccogliere la cartografia relativa alle aree in questione sia in formato cartaceo (Carta Tecnica Regionale in scala 1: 10000), sia in formato digitale (CTR in formato *raster* a scala 1:10000). Si è cercato quindi di distribuire i punti da campionare in modo da coprire in maniera omogenea tutta l'area di studio, spostando alcuni posizionamenti per ragioni di praticità e cercando di intensificare l'indagine in prossimità dei terreni coltivati, dove maggiore può risultare il prelievo dell'acqua per scopi irrigui.

Sono stati interessati dal campionamento sia acque superficiali (canali, fossi, laghetti), sia acque profonde in corrispondenza dei pozzi esistenti. Ogni punto di prelievo è stato georeferenziato tramite l'uso di uno strumento GPS (*Global Positioning System*), e successivamente fotografato. Di corredo alla memorizzazione delle coordinate del punto è stato predisposto un *data-dictionary*, cioè un database, contenente tutte le informazioni (attributi) riguardanti il punto da campionare: codice campione, stato delle acque, tipologia di corpo d'acqua, ecc.

I campioni una volta raccolti sono stati avviati alle analisi presso il laboratorio del Centro Interdipartimentale di Ricerche Agro-Ambientali "E. Avanzi" dell'Università di Pisa.





In tutto sono stati campionati 116 punti, 58 per ognuno dei due periodi prescelti; anche dal punto di vista spaziale i rilievi sono stati quasi perfettamente divisi a metà: 27 nella tenuta di Tombolo e 31 nella tenuta di Coltano.

Il campione è stato prelevato tramite l'impiego di un idoneo raccoglitore (asta con annesso un contenitore di capacità adeguata) e successivamente versato in un recipiente inerte e conservato in una borsa frigo fino al momento della consegna al laboratorio che è sempre avvenuta nell'arco di mezza giornata.

Al rientro in ufficio i file di cattura dei punti visitati, creati dal software di gestione del GPS, venivano trasferiti su PC e visualizzati tramite sistemi GIS che consentivano poi l'associazione del risultato delle analisi alla posizione geografica corrispondente.

Analisi Chimiche e Chimico-Fisiche

In corrispondenza di tutte le epoche di prelievo le determinazioni analitiche effettuate hanno riguardato:

- pH;
- conducibilità;
- cloruri;
- solfati;
- fosfati;
- nitrati;
- ione sodio;
- ione potassio;
- ione magnesio;
- ione calcio;
- il SAR (Sodium Adsorption Ratio) che è un valore calcolato.

Come anticipato, ad eccezione delle misure di conducibilità e pH, realizzate direttamente *in situ* mediante un pHmetro e un conducimetro Hannah, tutte le altre analisi sono state eseguite in laboratorio.

La determinazione degli anioni e dei cationi è stata effettuata dopo filtrazione (filtro da $0,20~\mu m$); i campioni opportunamente diluiti sono stati analizzati con cromatografo ionico Dionex, facendo ricorso alla colonna AS4a per l'analisi anionica e alla colonna CS12a per l'analisi cationica.





Le procedure analitiche adottate sono state quelle indicate dall'APHA, AWWA, WPCF, 1992. *Standard method for the Examination of water and Wastewater*. XVIII ed. Washington APHA e dal CNR-IRSA, 1994. *Metodi analitici per le acque*. Quaderno 100, Roma.

Allo scopo di aiutare gli agricoltori nella interpretazione dei risultati analitici si propone una breve disamina dei principali caratteri analizzati.

pH. A scopo irriguo si considerano ottimali acque il cui pH sia compreso all'interno dell'intervallo 6.0-8.5. Una reazione lontana della neutralità infatti evidenzia comunque l'esistenza di qualche anomalia come ad esempio la presenza di sostanze tossiche o un'eccessiva concentrazione in sali.

Conducibilità. È un parametro fondamentale (EC $_{\rm w}$) che fornisce precise informazioni sulla pressione osmotica esercitata dai sali presenti nell'acqua. I problemi derivanti dall'uso di acque salmastre sono fondamentalmente riconducibili a due ordini di inconvenienti: aumento della salinità del terreno con conseguente incremento del potenziale osmotico della soluzione circolante e crescente difficoltà di nutrizione idrica da parte delle colture e effetti di fitotossicità diretta nei confronti delle piante.

In linea generale sarebbe bene non utilizzare acque con valori di conducibilità elettrica superiori a 2,5 dS/m e mai comunque al di sopra dei 4,0 dS/m.

Anche l'esame di questo parametro non è però di per sé sufficiente a caratterizzare l'attitudine all'uso irriguo di un'acqua ricca di sali; la conducibilità infatti non tiene conto della tipologia delle specie chimiche presenti che possono influenzare in maniera diversa i fenomeni di adsorbimento e desorbimento colloidale, così importanti nel modulare la dispersione delle argille.

Proprio il rapporto fra ioni monovalenti (Na⁺) e bivalenti (Ca⁺⁺, Mg⁺⁺) è decisivo nel valutare eventuali rischi nell'uso di acque salmastre e per questo motivo è necessario procedere all'esame di un altro importante parametro il SAR (vedi il paragrafo: potassio, calcio e magnesio).

Non si deve dimenticare infine che fattori in grado di accentuare o di attenuare i problemi posti dall'impiego di acque salmastre sono il tipo di terreno (> nei terreni pesanti, < nei terreni sciolti), la specifica sensibilità delle colture (> ortive e arboree, < erbacee), la quantità d'acqua impiegata complessivamente (fabbisogno in lisciviazione), il metodo irriguo (> per aspersione, < a goccia).

33

Cloruri. Si tratta di un elemento che entra far parte dei tessuti vegetali, ma che se presente in quantità eccessiva può risultare tossico per le colture. La presenza dei cloruri nelle acque è legata fondamentalmente alla dissociazione dei sali in esse contenuti.

I valori soglia per i cloruri sono costituiti da concentrazioni superiori a 350 mg/L. La pericolosità dei cloruri è comunque fortemente influenzata dalla sensibilità delle singola specie (risultano sensibili tutte le colture arboree, la fragola ed il tabacco) e dal metodo irriguo (meglio metodi per scorrimento ed infiltrazione rispetto a quelli per aspersione).

Solfati. Si possono ripetere le considerazioni già fatte per i cloruri, salvo aggiungere che per i solfati possono risultare particolarmente pericolose condizioni asfittiche e riducenti che possono favorire la loro trasformazione in solfuri.

Inoltre, e questo vale anche per i cloruri, in considerazione della la loro facile dilavabilità possono compromettere la qualità delle acque sottosuperficiali in seguito a fenomeni di percolazione.

I livelli quantitativi che indicano condizioni di preoccupazione corrispondono a 2500 mg/L che costituiscono il limite oltre il quale il ricorso all'irrigazione deve essere adeguatamente limitato.

Fosfati. Non costituiscono, di norma, un limite all'utilizzo irriguo delle acque, ed anzi possono costituire un complemento utile alla nutrizione delle colture. Casomai i problemi possono derivare dal fatto che un'eccessiva dotazione in nutrienti evidenzia una condizione di possibile degrado del corpo idrico e costituisce una causa predisponente l'affermazione di processi di eutrofizzazione.

L'origine dei fosfati nelle acque superficiali è spesso messa in relazione al rilascio di tali sostanze da parte dei campi coltivati; ciò può essere vero, ma solo in corrispondenza di situazioni pedoclimatiche e colturali particolari (ad esempio in corrispondenza di un'intensa attività zootecnica e/o di un'irrazionale utilizzazione agronomica dei liquami di stalla). Spesso invece la presenza di tali nutrienti è da ricercare negli scarichi dei depuratori di insediamenti industriali e/o civili o, addirittura, nello scarico diretto di reflui non depurati.

È comunque vero che un'eccessiva concentrazione di fosfati è indice di una insoddisfacente qualità e quindi prova dell'esistenza di fenomeni di contaminazione del sistema delle acque superficiali che possono





risultare particolarmente pericolosi all'interno del bacino idrografico di un corpo d'acqua con limitati scambi idrici all'esterno.

Infine si deve considerare che condizioni predisponesti l'abnorme sviluppo di una vegetazione algale possono indirettamente costituire un problema per l'utilizzazione irrigua, creando problemi alla meccanica distributiva dell'acqua (intralcio al flusso idrico e al pescaggio delle pompe, intasamento degli erogatori, ecc.). Non è dunque facile stabilire un limite che tenga conto degli effetti che il contenuto in fosforo può determinare sulla qualità delle acque ad uso irriguo; a titolo indicativo si può fare riferimento al limite di 10 mg/L di P totale (pari a circa 30 mg/L espresso come fosfati) indicato da Giardini (2002) nell'ambito dei parametri inerenti lo "stato generale di salute" dell'acqua che possono originare limitazioni sulle modalità di distribuzione o comportare l'adozione di particolari accorgimenti.

Nitrati. Vale quanto detto per i fosfati. Per rifarsi al già citato "stato generale di salute" dell'acqua (Giardini, 2002) il valore discriminante è fissato pari a 40 mg/L di azoto totale (pari a circa 180 mg/L di nitrati, ma potrebbero essere presenti in soluzione anche altre forme azotate quali gli ioni ammonio e i nitriti). Riguardo invece l'utilizzo di acque reflue in agricoltura i limiti, originariamente fissati in 20 mg/L dalla leggi Merli (319/1976), sono stati poi elevati a 30 mg/L nel caso di scarico delle acque nella rete fognaria; si ricorda invece che per quanto concerne le acque potabili la soglia massima consentita è pari a 50 mg/L.

Sodio. La misura della conduttività elettrica non è in grado di caratterizzare qualitativamente il tipo di salinità delle acque. Le diverse specie chimiche interessate possono invece influire, in maniera diversa nei fenomeni di adsorbimento e desorbimento colloidale, nonché nei processi di dispersione delle argille e quindi di condizionamento della struttura del terreno. Particolare attenzione a questo riguardo va posta proprio al sodio che risulta, fra le basi di scambio, l'elemento in grado di provocare la maggiore destrutturazione degli aggregati terrosi, oltre a presentare un effetto tossico diretto sulle piante.

In termini assoluti, per l'uso irriguo, la concentrazione di sodio sarebbe bene non superasse i 180 mg/L e nel caso di metodi irrigui che comportano la bagnatura della vegetazione tale limite dovrebbe essere ulteriormente ridotto.

Potassio, Magnesio e Calcio. Il potassio, il magnesio e il calcio sono elementi importanti per la nutrizione delle piante ed il loro apporto al terreno non può essere considerato negativamente. In particolare il Ca ed il Mg sono importanti anche per bilanciare l'equilibrio cationico del terreno contrastando gli effetti del Na, per questo motivo la valutazione della pericolosità del sodio viene affidata piuttosto che alla valutazione della singola concentrazione dell'elemento ad un indice, il SAR (Sodium Adsorptuion Ratio), che tiene simultaneamente conto della concentrazione dei tre elementi (si trascura il potassio quasi sempre presente nelle acque in quantità ridotta):

$$SAR = Na^{+}/[(Ca^{++} + Mg^{++})/2]^{0.5}$$

Valori elevati di SAR sono indice del rischio di progressiva sodicizzazione del terreno in seguito all'impiego dell'acqua irrigua. È bene però precisare che i valori calcolati possono condurre ad una sottostima del problema in quanto non si tiene conto della precipitazione degli ioni Ca⁺⁺ e Mg⁺⁺ provocata dalla formazione di sali con gli ioni carbonato e bicarbonato; in questo modo gli ioni bivalenti essendo sottratti dal sistema non possono competere con il Na per l'adsorbimento sul complesso di scambio. Di conseguenza i valori di SAR così calcolato possono indicare condizioni di squilibrio a favore del sodio meno nette di quelle effettivamente esistenti nella realtà.

Per questo motivo è stato proposta una diversa metodologia per il calcolo del SAR che include uno specifico fattore di correzione grazie al quale si arriva alla determinazione di un SAR "aggiustato" (SAR_{adt}):

$$SAR_{adj} = SAR \cdot (1 + (8.4 - pH_c))$$

dove pH_c rappresenta il pH dell'acqua irrigua in equilibrio con la CO₂ del terreno e a contatto con il carbonato di calcio e può essere calcolato tramite l'utilizzo di appositi abachi, note le concentrazioni di Na, Ca, Mg, HCO₃-, CO₃--.

Sono state proposte anche altre metodologie di calcolo:

$$SAR_{adi} = SAR \cdot (9.4 - (A + B + C))$$









dove A = $2.05 + 0.11 \cdot \ln (Ca + Mg + Na + 0.4)$; B = $3.3 - 0.45 \cdot \ln (Ca + Mg)$; C = $3 - 0.45 \cdot \ln (HCO_3^-)$ con tutte le concentrazioni espresse in me/L (FAO, 1976).

Secondo molti studiosi però la determinazione del SAR "aggiustato" andrebbe abbandonata in quanto il suo calcolo conduce ad una sopravvalutazione dei rischi da sodio, scoraggiando l'impiego di acque ancora utilizzabili. È stata proposta allora una diversa correzione del procedimento di determinazione del SAR che valuti l'effetto della $\rm CO_2$, dell' $\rm HCO_3^-$ e dell' $\rm EC_w$ sulla concentrazione del calcio prima presente nelle acque di irrigazione e successivamente facente parte del sistema acqua-terreno. Il metodo è fondato sul presupposto che nel terreno sia presente una fonte di calcio (calcare o silicati) e che non abbiano luogo fenomeni di precipitazione a carico del magnesio (Rhoades et al., 1992).

L'equazione per il calcolo del "nuovo" SAR che prende il nome di adjRNA (*Ratio Natrum Adsorption*) è la seguente:

$$adjRNA = Na^{+}/[(Ca_{*}^{++} + Mg^{++})/2]^{0.5}$$

dove Ca_x è la concentrazione corretta del Ca attraverso un apposito abaco che tiene conto dell' EC_w , del rapporto HCO_3 -/Ca, in corrispondenza di un valore della pressione parziale della CO_2 che nello strato più superficiale di terreno è posto pari a $0.0007 \, kPa$.

In realtà mentre il sodio presenta un equilibrio stabile fra la fase liquida e quella di scambio (in quanto forma sali comunque molto solubili) ed il magnesio tende più che a formare sali insolubili, a sostituire il Ca sul complesso di scambio, il calcio subisce variazioni indotte dalla sua precipitazione sotto forma di carbonato. La sua dissoluzione o la sua precipitazione sembrano dipendere dunque non solo dalle concentrazione degli ioni nell'acqua di irrigazione, ma piuttosto dalle condizioni che troverà nella fase liquida del terreno (presenza di CO₂, calcare attivo, HCO₃-, CO₃-, SO₄--, ecc.) e che contribuiranno significativamente all'affermazione di un nuovo equilibrio.

Allo scopo di riassumere i limiti e le possibilità di interpretazione delle analisi del terreno per i diversi parametri analizzati si propone questo prospetto riassuntivo.





Carattere	u.m.	Classe I	Classe II	Classe III	Classe IV
pH ¹	_	6,0-8,5	5,0-6,0 8,5-9,0	4,0-5,0 9,0-10,0	< 4,0 > 10,0
Residuo secco² (105 °C)	mg/L	< 500	500-1000	1000-2000	> 2000
Conducibilità ¹	dS/m	< 0,75	0,75-2,5	2,5-4,0	> 4,0
Cloruri ¹	mg/L	< 100	100-250	250-350	> 350
Solfati ¹	mg/L	< 100	100-2500	2500-3800	> 3800
Fosfati ³	mg/L	< 6	6-10	10-30	> 30
Nitrati ³	mg/L	< 50	50-100	100-150	> 150
Sodio ¹	mg/L	< 50	50-180	180-210	> 210
Potassio	mg/L	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.
Magnesio	mg/L	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.
Calcio	mg/L	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.
SAR ¹	mg/L	< 6	6-20	20-28	> 28

¹da Giardini, 2002; ²da Testini, 1989 (modificato); ³da Giardini, 2002 (modificato); n.c. = non considerato.

Dove:

- classe I: acque che consentono un esercizio irriguo continuativo, senza limitazioni (qualità ottima);
- classe II: acque che permettono un esercizio irriguo continuativo, con eventuali limitazioni riguardanti i volumi stagionali, le specie irrigabili, i metodi irrigui (qualità buona);
- classe III: acque che permettono solo un'irrigazione saltuaria (un anno ogni due o tre), o di soccorso
 su specie tolleranti e con metodi irrigui ad elevata efficienza (qualità scarsa);
- classe IV: acque da non impiegare per fini irrigui, se non in via del tutto eccezionale e su terreni particolarmente idonei (qualità pessima).





I risultati ottenuti

N. Silvestri 1

¹ Centro Interdipartimentale di Ricerche Agro-Ambientali "E. Avanzi" - Università di Pisa

Premessa

Pur richiamando la prudenza che si rende necessaria nel commentare i risultati di ricerche che prevedono due sole epoche di saggio ed il prelievo di un unico campione (500 ml di acqua) e ricordando che invece qualunque considerazione riguardante la qualità delle acque, per possedere caratteristiche di affidabilità, necessiterebbe di una base campionaria più estesa e ripetuta, si propongono alcune prime considerazioni. Per motivi di chiarezza espositiva il commento ai risultati sarà trattato separatamente per le due tenute oggetto di studio (Tombolo e Coltano), per l'epoca di prelievo del campione (agosto-settembre e dicembre-gennaio) e per tipologia di corpo idrico considerato (acque superficiali e profonde); al termine della discussione dei dati relativi a ciascuna porzione di territorio sono formulate comunque alcune considerazioni sintetiche, utili alla formazione di un quadro più generale sulle condizioni qualitative che il comparto delle acque presenta all'interno delle aree esaminate.

Tenuta di Tombolo – I° campionamento: agosto-settembre 2006 (tabb. 1, 2 e fig. 3)

Le acque prelevate nella zona nord-orientale dell'area considerata (campioni 2, 16, 17, 18, 22 e 23) si dimostrano generalmente idonee all'uso irriguo presentando valori accettabili di conducibilità (EC $_w$ media = 1,57 dS/m), seppur nell'ambito di una variabilità abbastanza elevata del dato (campione 2 EC $_w$ = 0.48 dS/m, campione 16 EC $_w$ = 3,09 dS/m). Non particolarmente preoccupante si dimostra anche il contenuto in cloruri (valore medio = 283 mg/L) e in solfati (valore medio = 112 mg/L). La significativa presenza di ioni Ca e Mg ridimensiona sensibilmente la pericolosità del sodio (valore medio = 274 mg/L), come conferma il basso valore del SAR (valore medio = 3,6).

Tab. 1. Risultati delle determinazioni analitiche relative alle acque superficiali della tenuta di Tombolo: prima epoca di campionamento (agosto-settembre 2006).

Zona	Camp.	pH -	Conduc. dS/m	Cloruri mg/L	Solfati mg/L	Nitrati mg/L	Fosfati mg/L	Na mg/L	K mg/L	Mg mg/L	Ca mg/L	SAR -
	2	9,5	0,48	21	42	18	0	51	15	32	51	1,4
	16	7,3	3,09	626	289	17	0	283	15	59	190	4,6
wann	17	7,8	2,26	443	33	17	0	534	12	72	409	6,4
NORD EST	18	7,6	1,02	229	78	0	0	183	29	50	582	2,0
L31	22	7,5	1,72	232	179	36	0	299	18	122	516	3,1
	23	7,4	0,87	149	55	0	0	297	25	72	329	3,9
	media	7,8	1,57	283	112	15	0	274	19	68	346	3,6
	3	7,7	10,16	2951	323	17	0	1658	52	200	279	18,6
	4	8,5	0,86	164	34	17	0	113	17	100	95	1,9
	5	8,0	1,42	180	210	0	0	166	48	43	213	2,7
NORD	6	8,0	8,16	2377	222	0	0	1353	46	167	251	16,3
OVEST	7	8,3	5,67	1559	155	0	0	1003	39	129	170	14,2
	8	8,2	4,25	1107	135	18	0	754	33	104	127	12,1
	9	8,5	4,16	1083	142	0	0	794	40	112	142	12,1
	media	8,2	4,95	1346	174	7	0	834	39	122	182	11,1
	10	8,2	3,88	893	86	17	0	767	40	102	168	11,6
	11	8,3	0,76	17	77	0	0	109	14	24	201	1,9
	12	7,8	1,00	140	17	17	0	185	29	47	160	3,3
SUD OVEST	13	7,8	0,45	-	17	17	0	42	7	18	186	0,8
OVEST	14	8,9	0,16	-	10	19	0	5	6	4	61	0,2
	15	8,3	1,29	222	76	0	0	385	14	74	231	5,7
	media	8,2	1,26	318	47	12	0	249	18	45	168	3,9
SUD EST	24	8,2	3,70	1200	101	33	0	1432	47	158	60	22,1

Come accennato in precedenza i campioni 16 (prelevato in un fosso ubicato in località Pratone) e 17 (prelevato in un laghetto della stessa zona) risultano di qualità inferiore rispetto agli altri, pur consentendo comunque un utilizzo irriguo dell'acqua.

Più difficile invece prevedere un impiego agricolo per le acque prelevate nella zona nord-occidentale (campioni 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9); l'elevato contenuto in sali (EC_w media = 4,95 dS/m), in cloruri (valore medio = 1346 mg/L) ed in sodio (valore medio = 834 mg/L) rendono proponibile solo un uso irriguo saltuario e subordinato comunque all'adozione di particolari accorgimenti cautelativi (metodi irrigui, volumi erogati, specie resistenti, ecc.).





Tab. 2. Risultati delle determinazioni analitiche relative alle acque profonde della tenuta di Tombolo: prima epoca di campionamento (agostosettembre 2006).

Zona	Camp. n.	pH –	Conduc. dS/m	Cloruri <i>mg/L</i>	Solfati <i>mg/L</i>	Nitrati mg/L	Fosfati mg/L	Na mg/L	K mg/L	Mg mg/L	Ca mg/L	SAR -
				_			_	_			_	
	1	7.3	4.39	1099	29	21	0	976	30	60	119	18.3
	20	8.1	0.76	-	61	22	35	127	44	33	221	2.1
NORD	25	8.9	2.26	363	-	34	0	71	7	40	321	1.0
EST	26	7.7	1.04	95	59	33	0	349	83	57	216	5.5
	27	7.4	0.77	31	72	0	0	264	55	49	177	4.5
	media	7.9	1.84	397	55	22	7	357	44	48	210	6.3
NORD OVEST	19	8.5	0.64	21	41	23	0	280	14	54	197	4.6
SUD EST	21	7.0	2.06	97	523	36	0	62	37	45	247	1.0

Fanno eccezione le acque prelevate nei punti 4 e 5 (fosso della casa Santochi e fosso delle Acque Alte rispettivamente) che sono caratterizzati da valori decisamente più favorevoli a carico dei parametri considerati (EC_w al di sotto di 1,50 dS/m, cloruri e sodio ampiamente inferiori ai 200 mg/L), tanto da poter considerare possibile il loro impiego in agricoltura. All'opposto si trovano invece i campioni 3 e 6 (entrambi prelevati in corrispondenza del Collettore Settentrionale della bonifica di Tombolo) che presentano valori di conducibilità attorno agli 8-10 dS/m e di SAR superiori a 15 (possibili problemi per la struttura del terreno).

Di qualità decisamente migliore rispetto ai precedenti si dimostra invece la rete idrica superficiale monitorata nella zona sud-occidentale della tenuta di Tombolo (campioni 10, 11, 12, 13, 14 e 15): la conducibilità media risulta pari a 1,26 dS/m, i cloruri superano di poco i 300 mg/L, il sodio si attesta attorno ai 250 mg/L, mentre il SAR è inferiore a 4.

In particolare l'impiego irriguo sembra proponibile per il fosso Colatore n. 3 del Lamone, versante settentrionale (campione 11) e per i fossi siti in località Podere Arnaccio (campioni 12, 13, 14 e 15), mentre alcune riserve, riguardo all'uso per l'approvvigionamento idrico delle colture, permangono a carico del fosso Lama Larga versante settentrionale (campione 10) che presenta caratteristiche piuttosto sfavorevoli (EC_m = 3,88 dS/m, concentrazione dei cloruri vicina a 900 mg/L, contenuto in sodio superiore a 760

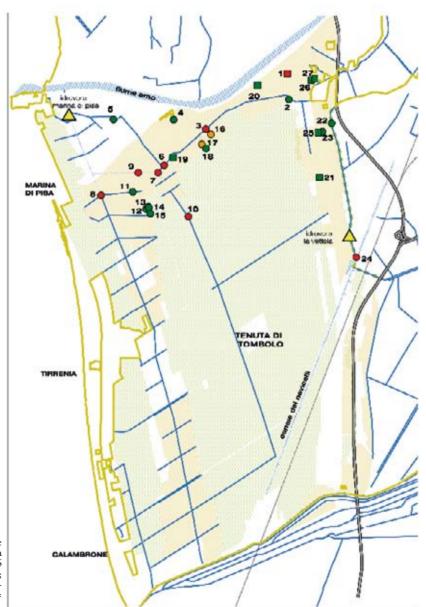


Fig. 3 - Classificazione dell'attitudine delle acque all'uso irriguo della tenuta di Tombolo: agosto-settembre 2006 (verde=possibile; giallo=limitato; rosso=sconsigliato; simbolo quadrato = pozzo, simbolo cerchio = canale).



mg/L e SAR pari a 11,6). Le ragioni di queste differenze possono in parte essere ricondotte alla diversa tipologia del corpo d'acqua monitorato: i campioni 12, 13, 14 e 15 sono stati infatti prelevati in piccoli invasi l'uno vicino all'altro, mentre il campione 10 proviene da un canale di bonifica, sottoposto quindi a condizioni di contaminazione potenzialmente anche molto diverse.

Infine in corrispondenza dell'ultimo campione prelevato nell'area sud-orientale (campione 24) si registra un livello qualitativo decisamente basso. La conducibilità sfiora i 4 dS/m, sodio e cloruri superano abbondantemente i 1000 mg/L ed il valore del SAR è ben oltre 20. Tali acque, prelevate dal canale dei Navicelli, risultano quindi del tutto inadatte all'utilizzo in agricoltura.

La ragioni delle differenze osservate in corrispondenza delle zone monitorate possono trovare una parziale spiegazione nel diverso rischio di intrusione del cuneo salino e/o addirittura nella possibilità della acque marine di risalire il corso dei canali e di mescolarsi alle acque superficiali dei fossi presenti anche nelle zone più interne.

Per quanto riguarda invece le acque dei pozzi si osserva un livello qualitativo generalmente migliore rispetto alle condizioni rilevate per fossi e canali, evidenziando quindi la limitata influenza dei fenomeni di contaminazione della falda sottosuperficiale da parte delle acque saline.

In particolare nell'area nord-orientale si riscontrano condizioni qualitative mediamente compatibili con l'utilizzo irriguo; la conducibilità è inferiore a 2 dS/m ed il valore del SAR si aggira attorno a 6. Se si analizzano le condizioni dei singoli pozzi emergono però differenze significative; il campione 1 (pozzo di Piaggia) ad esempio presenta caratteristiche decisamente peggiori rispetto agli altri (EC_w = 4,39; cloruri = 1099 mg/L; sodio = 976 mg/L e SAR = 18,3) tanto da sconsigliare l'utilizzo delle sue acque per l'approvvigionamento idrico delle colture. Decisamente migliore invece le condizioni osservate a carico dei campioni 20 e 27 (pozzo della Fornacina e pozzo di casa Spinelli) che presentano una conducibilità minore di 1 dS/m ed un SAR inferiore a 5. Intermedia ai precedenti invece la qualità relativa agli altri due pozzi censiti nell'area nord-orientale, il pozzo della Bigattiera (campione 25) e quello posto presso la sede del CIRAA (campione 26), in cui qualche parziale limitazione all'impiego agricolo potrebbe derivare solo dalla concentrazione in cloruri (nel primo caso) o in sodio (nel secondo).

Le acque degli altri due pozzi esaminati all'interno della tenuta di Tombolo, campione 19 (pozzo di Torretta) e campione 21 (pozzo del podere Bargagna) ubicati rispettivamente nell'area nord-occidentale e sud-orientale, sono invece da considerare del tutto idonee per l'uso irriguo; le risultanze





analitiche sia nel primo caso ($EC_w = 0.64 \text{ dS/m}$, cloruri = 21 mg/L e SAR = 4,6) che nel secondo ($EC_w = 2.06$, cloruri = 97 mg/L e SAR = 1,0) evidenziano l'assenza di qualsiasi controindicazione all'impiego agricolo.

In relazione alle differenze riscontrate è chiaro che un ruolo decisivo gioca anche la diversa profondità e conformazione dei pozzi, oltre alla loro collocazione geografica; non essendo stato possibile però reperire le stratigrafie realizzate in occasione della loro costruzione risulta difficile poter avanzare delle ipotesi a riguardo, anche alla luce del fatto che pozzi posti a breve distanza l'uno dall'altro (campione 1 e 20 oppure campione 26 e 27) presentano caratteristiche qualitative talvolta significativamente diverse.

Tenuta di Tombolo – II° campionamento: dicembre-gennaio 2006-2007 (tabb. 3, 4, fig. 4)

Confrontando i dati del precedente campionamento con quelli del campionamento di dicembre-gennaio è necessario premettere una considerazione generale che riguarda le particolari condizioni idriche che hanno caratterizzato il comprensorio. Contrariamente a quanto era lecito attendersi le piogge autunnali nell'anno 2006 sono state molto scarse, tanto da costringere a spostare il prelievo dei campioni alla stagione invernale (dicembre-gennaio) onde riuscire a trovare un sufficiente livello d'acqua nei fossi e canali da monitorare. Ciò potrebbe aver condotto, in alcuni casi, ad un parziale innalzamento della concentrazione delle diverse specie in soluzione, a causa del ridotto dilavamento subito dai terreni nei mesi autunnali e del possibile avanzamento del cuneo salino, così da determinare un corrispondente incremento dei valori relativi alla conducibilità e alla concentrazione dei singoli anioni e cationi.

Il giudizio complessivo sulla qualità delle acque comunque non si è spostato in maniera significativa confermando sostanzialmente quanto già osservato nell'epoca precedente ed evidenziando, pur con qualche eccezione, l'esistenza di un certo grado di ripetibilità fra le misure effettuate.

In particolare tali considerazioni sembrano valere per le acque prelevate nella zona nord-orientale (campioni 2, 16, 17, 18, 22 e 23) dove si osservano oscillazioni trascurabili dei valori esaminati.

La conducibilità media si è ridotta infatti di 0,12 dS/m, la concentrazione media di cloruri e di sodio si è abbassata di circa 50 mg/L ed il valore medio del SAR è sceso di 0,7 unità.

Il giudizio sul possibile impiego delle acque in agricoltura non si è quindi modificato se non per i campioni

Tab. 3. Risultati delle determinazioni analitiche relative alle acque superficiali della tenuta di Tombolo: seconda epoca di campionamento (dicembre 2006 - gennaio 2007).

Zona	Camp. n.	pH -	Conduc. dS/m	Cloruri mg/L	Solfati mg/L	Nitrati mg/L	Fosfati mg/L	Na mg/L	K mg/L	Mg mg/L	Ca mg/L	SAR -
	2	8.1	0.62	21	20	60	0	34	9	24	135	0.7
	16	7.9	0.90	58	30	94	0	4	59	40	334	0.1
	17	7.9	2.83	602	111	65	0	576	28	79	312	7.6
NORD EST	18	7.4	2.13	448	196	0	0	407	16	68	520	4.5
E31	22	8.0	1.32	202	100	64	0	233	12	73	306	3.1
	23	7.7	0.88	66	92	0	0	96	13	47	293	1.4
	media	7.8	1.45	233	92	47	0	225	23	55	317	2.9
	3	7.8	6.39	1829	224	65	0	1178	33	156	230	14.8
	4	7.1	37.30	13559	1439	0	0	11488	347	1562	647	55.9
	5	7.5	12.06	3695	414	0	0	3216	83	492	399	25.6
NORD	6	8.0	6.73	2117	243	69	0	1319	41	172	215	16.3
OVEST	7	8.0	5.12	1459	89	0	0	1526	61	205	300	16.7
	8	8.0	5.49	1573	58	0	0	1139	28	127	174	16.1
	9	8.1	5.58	1710	123	60	0	1131	37	143	218	14.7
	media	7.8	11.24	3706	370	28	0	2999	90	408	312	22.9
	10	7.8	5.23	1313	165	0	0	1331	51	181	321	14.8
	11	7.7	0.76	18	27	0	0	72	5	40	209	1.2
	12	8.0	0.83	128	4	0	0	159	14	49	181	2.7
SUD OVEST	13	8.3	0.38	14	1	0	0	30	10	0	188	0.6
J 1 E 3 I	14	8.3	0.24	3	1	61	0	61	5	18	181	1.2
	15	8.0	0.94	80	25	0	0	139	7	47	1	4.4
	media	8.0	1.39	259	37	10	0	299	15	56	180	4.1
SUD EST	24	7.4	6.76	1947	403	62	0	1535	67	264	279	15.9

16 e 18 prelevati in corrispondenza di due fossi entrambi situati in località Torretta; la qualità delle acque del campione 16 infatti è passata da media a buona, grazie soprattutto alla riduzione della concentrazione dei cloruri e del sodio (da 626 a 58 mg/L di cloruri e da 283 a 4 mg/L di sodio), mentre la qualità del campione18 è passata da buona a media per i motivi opposti (da 229 a 448 mg/L di cloruri e da 183 a 407 mg/L di sodio).

Per quanto riguarda l'area nord-occidentale si è osservato invece un deciso peggioramento di tutti i parametri analitici considerati: mediamente infatti la conducibilità è quasi triplicata (da 4.95 a 11.24 dS/m),





Tab. 4. Risultati delle determinazioni analitiche relative alle acque profonde della tenuta di Tombolo: seconda epoca di campionamento (dicembre 2006 - gennaio 2007).

Zona	Camp. n.	pH -	Conduc. dS/m	Cloruri mg/L	Solfati mg/L	Nitrati mg/L	Fosfati mg/L	Na mg/L	K mg/L	Mg mg/L	Ca mg/L	SAR -
	1	7.5	4.23	1086	14	0	0	1527	26	133	207	20.5
	20	8.0	0.89	166	128	95	0	98	34	55	191	1.6
NORD	25	9.1	2.47	643	87	0	0	642	32	259	94	7.8
EST	26	8.0	1.71	293	236	0	0	158	47	0	263	2.7
	27	7.3	1.39	139	243	0	0	128	6	88	416	1.5
	media	8.0	2.14	465	141	19	0	511	29	107	234	6.8
NORD OVEST	19	8.3	0.99	64	123	0	0	95	53	68	293	1.3
SUD EST	21	7.4	2.45	525	89	0	0	480	22	116	1	9.6

stesso discorso per la concentrazione in cloruri (da 1346 a 3706 mg/L) e in sodio (da 834 a 2999 mg/L), mentre il valore del SAR è più che raddoppiato (da 11,1 a 22,9).

Il deterioramento della qualità delle acque non è stato però omogeneo per tutti i corpi d'acqua analizzati, ma ha riguardato soprattutto i campioni 4 (fosso della casa del Santochi) e 5 (fosso delle Acque Alte); quest'ultimo ha fatto segnare un incremento dei parametri misurati anche superiore a dieci volte (la conducibilità è passata da 1,42 a 12,06 dS/m, i cloruri da 180 a 3695 mg/L, il sodio da 166 a 3216 mg/L, il SAR da 2,7 a 25,6), mentre nell'altro caso l'innalzamento dei valori registrati è stato addirittura di un ordine di grandezza maggiore (si è passati da una conducibilità di 0,86 ad una di 37,30 dS/m, da 164 mg/L di cloruri a 13.559, da 113 mg/L di sodio a 11.488, da un SAR di 1,9 ad uno di 55,9). Viceversa negli altri campioni i valori sono rimasti sostanzialmente stabili rispetto a quelli rilevati in corrispondenza del precedente campionamento, facendo segnare un leggero miglioramento per il campione 3 (fosso Collettore settentrionale della Bonifica di Tombolo) ed un leggero peggioramento a carico dei campioni 8 e 9 (rispettivamente fosso Lamone versante settentrionale e fosso Lama Larga versante settentrionale), che non ha però condotto ad un cambiamento di giudizio rispetto all'attitudine complessivamente dimostrata da queste acque all'uso irriguo (comunque sconsigliato).

Riguardo all'area sud-occidentale le differenze riscontrate fra le due epoche di prelievo si dimostrano decisamente limitate; in generale si osserva un lieve peggioramento dei parametri analizzati come dimostra





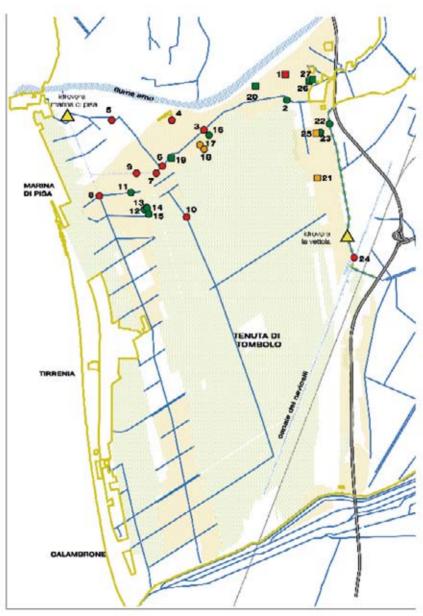


Fig. 4 - Classificazione dell'attitudine delle acque all'uso irriguo della tenuta di Tombolo: dicembre 2006gennaio 2007 (verde=possibile; giallo=limitato; rosso=sconsigliato; simbolo quadrato = pozzo, simbolo cerchio = canale).

il confronto fra i rispettivi valori medi (la conducibilità aumenta di 0,13 dS/m, il sodio di 50 mg/L ed il SAR di 0,2 punti), con la sola eccezione dei cloruri che passano da 318 a 259 mg/L. A livello dei singoli campioni, l'unica differenza significativa da segnalare è il cambiamento di giudizio sull'idoneità all'uso irriguo relativo al punto 15 (laghetto presente nel Podere Arnaccio) che si trasforma da "limitato" a "possibile", grazie soprattutto alla riduzione della concentrazione di sodio che passa dai 385 mg/L misurati nel periodo agosto-settembre ai 139 mg/L rilevati nel periodo dicembre-gennaio.

Infine relativamente all'unico campionamento effettuato nell'area sud-orientale (campione 24, canale dei Navicelli) non si evidenziano cambiamenti significativi sulla qualità delle acque analizzate, la cui valutazione in termini di impiego irriguo rimane comunque decisamente negativa.

Per quanto attiene la valutazione delle acque profonde in questa seconda epoca di campionamento si è osservato in generale un lieve decadimento della qualità che potrebbe essere messo in relazione alle già ricordate scarse precipitazioni autunnali che non hanno consentito un adeguato ripascimento delle acque di falda. Nell'area nord-orientale le differenze riscontrate si sono mantenute di entità contenuta (+0,30 dS/m di conducibilità, +68 mg/L di cloruri, +54 mg/L di sodio, +0,5 punti di SAR) e non hanno condotto a modifiche significative riguardo al giudizio di idoneità sull'impiego agricolo; da segnalare per il campione 26 (pozzo posto presso la sede del CIRAA), l'abbattimento della concentrazione del sodio (da 349 a 158 mg/L).

Un lieve miglioramento si registra anche a carico del campione 19 (pozzo di Torretta) posto nell'area nord-occidentale che fa segnare una significativa riduzione della concentrazione di sodio (da 280 a 95 mg/L) e quindi del SAR (da 4,6 a 1,3), pur senza arrivare a modificare il giudizio espresso sulla qualità dell'acque che rimane buono.

Più significativo invece il cambiamento subito dai parametri del campione 21 (pozzo del podere Bargagna) che evidenzia un sensibile incremento dei cloruri (525 contro 97 mg/L) e del sodio (480 contro 62 mg/L), tanto da determinare il declassamento del giudizio relativo all'uso irriguo che passa da "possibile" a "limitato".

In conclusione le analisi eseguite nel periodo dicembre-gennaio hanno denotato un generale peggioramento della qualità delle acque, che ha assunto dimensioni significative per alcuni campioni prelevati nell'area nord-occidentale. Decisamente meno rilevanti le differenze registrate nelle altre aree dove i cambiamenti di giudizio sulla qualità delle acque sono risultati contrastanti (sia positivi, che negativi) e forse da mettere





più in relazione ad errori di campionamento che ad un effettivo mutare delle condizioni qualitative delle acque analizzate.

Gli aspetti ambientali

Questi riguardano, fra i parametri analizzati, la reazione dell'acqua ed il contenuto in nutrienti (nitrati e fosfati).

I valori di pH rilevati sono da considerare del tutto normali per le acque con la parziale eccezione dei campioni 2 (laghetto in località Tre Pini, prima epoca) pH = 9,5 e del campione 25 (pozzo della Bigattiera, seconda epoca) pH = 9,1 che presentano una certa anomalia nel dato analitico, ma che non evidenziando conferme né spaziali, né temporali possono essere considerati conseguenza di una condizione estemporanea e passeggera.

Per quanto riguarda i nitrati questi sono stati rilevati piuttosto frequentemente nelle acque superficiali (12 volte su 20 nella prima epoca e 9 volte su 20 nella seconda epoca) e in concentrazioni piuttosto elevate, spesso superiori al limite di attenzione individuato dall'UE in 50 mg/L. Sui risultati ottenuti appare chiara comunque l'influenza del decorso meteorico ed infatti i valori misurati nel periodo dicembre-gennaio si sono dimostrati sistematicamente superiori a quelli osservati nel periodo precedente, a conferma dell'importanza che l'andamento delle precipitazioni gioca nella modulazione di questo fenomeno. Più difficile invece individuare differenze legate alla dislocazione delle diverse aree in quanto sui valori monitorati pesa inevitabilmente anche la diversa tipologia del corpo d'acqua considerato (ad esempio nell'area sud-orientale dove minore è risultata la presenza dei nitrati prevalgono i campioni prelevati da invasi e laghetti).

Un andamento sostanzialmente simile si riscontra anche a carico delle acque profonde dove più frequente risulta l'individuazione della specie chimica in corrispondenza della prima epoca, ma si osservano concentrazioni decisamente più elevate nel corso della seconda campagna di campionamento. Ed è proprio nel pozzo della Fornacina (campione 20) che si è rilevata in dicembre-gennaio la maggiore concentrazione di nitrati nelle acque della tenuta, 95 mg/L.

Per quanto riguarda i fosfati invece è necessario premettere una considerazione; la frequente ripetizione degli "zero" nella colonna dei risultati non significa che i fosfati non siano presenti nelle acque esaminate, ma semplicemente che, se lo sono, lo sono in quantità inferiori al limite di risoluzione dello strumento utilizzato per effettuare le analisi che era appunto il mg/L (o la ppm). Del resto ciò non deve stupire più

di tanto perché anche andando ad esaminare i precedenti lavori redatti sull'argomento (si veda ad esempio Pensabene et al., 1997) raramente si sono raggiunte concentrazioni superiori al mg/L.

L'unico "avvistamento" di fosfati nelle acque della tenuta di Tombolo si è rilevato a carico del campione 20 (pozzo della Fornacina), in corrispondenza della prima epoca di campionamento, con un valore molto elevato (35 mg/L), per la cui valutazione sarebbero necessari ulteriori riscontri analitici; potrebbe trattarsi infatti di una situazione particolare e/o contingente alla quale non è possibile attribuire un preciso significato, se non procedendo ad adeguati supplementi di indagine.

Conclusioni sulla tenuta di Tombolo

Le condizioni qualitative delle acque rilevate nel comprensorio in oggetto risultano variegate. La qualità delle acque superficiali risulta migliore nella zona nord-orientale e in quella sud-occidentale, mentre decisamente più preoccupante è la situazione dell'area nord-occidentale, soprattutto in corrispondenza del campionamento effettuato nel periodo dicembre-gennaio.

Le ragioni di tali differenze sono da ricercare nella diversa vulnerabilità delle zone alla contaminazione delle acque marine che risulta facilitata dalla vicinanza con la linea di costa e con il primo tratto del fiume Arno, attraverso cui può risultare favorita la penetrazione del cuneo salino verso l'entroterra.

Se tale ipotesi può spiegare le diverse condizioni riscontrate fra l'area nord-orientale e quella nord-occidentale, le ragioni dello scostamento esistente fra la qualità delle acque dell'area nord-occidentale e quella sud-occidentale sono da ricercare soprattutto nella diversa tipologia del corpo d'acqua monitorato. In quest'ultima area infatti i campioni sono stati prelevati da piccoli invasi artificiali (campioni 12, 13 e 14) e da un modesto laghetto presente nel Podere Arnaccio (campione 15). Il campione 10, corrispondente invece ad un grosso canale (fosso Lama Larga versante settentrionale), presenta caratteristiche qualitative poco favorevoli e sostanzialmente equivalenti a quelle riscontrate nei canali dell'area nord-occidentale. Parziale eccezione è costituita dal campione 11, prelevato dal fosso Colatore n. 3 del Lamone versante settentrionale dell'area sud-occidentale, che presenta acque di buon livello qualitativo, forse perchè trattandosi di un corso d'acqua di ridotte dimensioni alimentato dalle acque di sgrondo superficiale, potrebbe risultare meno sottoposto ai fenomeni di contaminazione salina.

Per quanto riguarda invece le acque profonde in generale queste presentano una buona qualità, scongiurando, almeno per il momento, le paure legate ai rischi di inquinamento delle falde. Le uniche preoccu-





pazioni derivano dal pozzo di Piaggia (campione 1) i cui parametri qualitativi denunciano l'esistenza di una contaminazione cloruro-sodica poco compatibile con l'impiego irriguo delle acque.

Non potendo individuare la provenienza di detti sali non rimane altro che sottolineare l'esistenza di una situazione di rischio riguardo all'uso di queste acque; se invece la loro provenienza fosse da imputarsi a fenomeni naturali o collaterali all'esercizio di altre attività umane, allora si renderebbe necessario lo svolgimento di una indagine più ampia, al fine di determinarne le cause.

Tenuta di Coltano – I° campionamento: agosto-settembre 2006 (tabb. 5, 6, fig. 5)

Le acque prelevate nell'area occidentale (campioni 1, 2, 17, 20, 30 e 31) sono quelle che presentano, mediamente, la minor attitudine all'uso irriguo a causa dell'elevata conducibilità (EC_w media = 12,98 dS/m), del considerevole contenuto in cloruri (valore medio = 5250 mg/L) e soprattutto della notevole concentrazione in sodio (valore medio = 3582 mg/L). La ridotta presenza di ioni Ca e Mg inoltre aggrava ulteriormente la pericolosità del catione monovalente, come dimostra il calcolo del SAR (valore medio = 25,3), precludendo di fatto la possibilità di impiegare queste acque in agricoltura.

I campioni prelevati in questa area risultano però piuttosto eterogenei rispetto ai parametri analizzati, evidenziando livelli di incompatibilità all'uso irriguo crescenti. I campioni 1 e 2 (rispettivamente laghetto in località il Paduletto e canale Collettore principale), ad esempio, si pongono al limite fra un giudizio di utilizzo "limitato" e "sconsigliato", presentando valori di conducibilità attorno ai 5 dS/m, un elevato contenuto in cloruri (circa 1300 mg/L) ed una più limitata concentrazione di sodio (inferiore ai 210 mg/L). I campioni 17 e 31 (rispettivamente laghetto in località Stagno e canale Collettore dello Stagno) evidenziano caratteristiche sensibilmente peggiori rispetto ai precedenti (conducibilità attorno a 9 dS/m e SAR attorno a 20 unità), mentre decisamente compromesse risultano le acque prelevate in corrispondenza dei punti 20 e 30 (rispettivamente canale dei Navicelli e canale Collettore dello Stagno) i cui parametri analitici superano ogni valore di accettabilità (circa 10.000 mg/L di cloruri e valori di SAR attorno a 30).

In corrispondenza dell'area centro-settentrionale (campioni 10, 11, 12, 13, 14, 15, 22 e 23) la situazione sembra migliorare decisamente: in media la conducibilità è pari a 3,71 dS/m, i cloruri superano di poco i 300 mg/L, il sodio si aggira attorno ai 200 mg/L ed il SAR è pari a 4,1. Certamente anche qui si trovano acque il cui impiego irriguo è soggetto ad alcune limitazioni: campione 10 (canale Collettore Principale





Tab. 5. Risultati delle determinazioni analitiche relative alle acque superficiali della tenuta di Coltano: prima epoca di campionamento (agosto-settembre 2006).

Zona	Camp.	pH -	Conduc. dS/m	Cloruri mg/L	Solfati mg/L	Nitrati mg/L	Fosfati mg/L	Na mg/L	K mg/L	Mg mg/L	Ca mg/L	SAR -
	1	8,3	4,40	1094	113	2	0	8	3	9	10	0,5
	2	7,6	5,70	1467	160	2	0	206	7	27	14	7,5
	17	8,1	9,24	2429	1035	0	0	2323	71	470	536	17,7
OVEST	20	8,5	34,30	8190	990	60	0	12933	427	1408	562	66,6
	30	7,9	14,67	11631	1214	0	0	3747	150	405	244	34,2
	31	8,3	9,55	6689	704	0	0	2278	107	240	205	25,6
	media	8,1	12,98	5250	703	10	0	3582	127	426	262	25,3
	10	7,9	5,13	145	32	0	0	247	10	28	17	8,6
	11	6,5	2,15	15	95	0	0	131	5	21	36	4,3
	12	7,3	3,57	58	66	0	0	21	3	12	59	0,7
OFFI PER O	13	7,3	3,54	65	71	2	0	64	3	18	4	3,0
CENTRO- NORD	14	8,0	4,35	87	67	2	0	62	3	18	43	2,0
NOND	15	8,6	4,31	79	65	1	0	85	5	22	55	2,4
	22	6,7	3,29	1146	2330	0	0	624	48	228	508	5,8
	23	6,9	3,37	974	1740	0	0	480	242	132	344	5,6
	media	7,4	3,71	321	558	1	0	214	40	60	133	4,1
	7	7,2	2,85	32	73	0	0	18	2	6	25	0,8
	8	8,4	4,44	474	25	2	0	45	3	17	45	1,5
CENTRO-	9	8,3	3,95	280	17	0	0	287	12	30	20	9,5
SUD	26	7,7	5,38	2934	264	0	0	1286	160	136	154	18,2
	29	8,2	1,25	497	253	0	0	203	17	44	87	4,4
	media	7,9	3,57	843	126	0	0	368	39	46	66	6,9
	3	9,2	1,21	28	9	0	0	50	3	7	14	2,7
	4	8,6	1,96	27	5	0	0	80	5	6	16	4,4
	5	8,1	1,28	11	1	2	0	60	3	4	14	3,6
TI COTE	24	7,9	3,51	1464	1073	0	0	719	51	161	293	8,4
EST	25	7,7	1,11	236	92	0	0	190	12	26	77	4,8
	27	7,8	1,06	282	80	0	0	213	14	29	86	5,1
	28	7,7	0,91	215	74	0	0	167	15	20	63	4,7
	media	8,1	1,58	323	190	0	0	211	15	36	80	4,8

del Padule maggiore), campione 22 (fosso in località Casa Rovereto) e campione 23 (fosso Manzino), ma negli altri casi l'apporto idrico alle colture risulta senz'altro possibile.

Stesso discorso sembra valere per le acque monitorate nell'area centro-meridionale (campioni 7, 8, 9, 26 e

Tab. 6. Risultati delle determinazioni analitiche relative alle acque profonde della tenuta di Coltano: prima epoca di campionamento (agostosettembre 2006).

Zona	Camp. n.	pH -	Conduc. dS/m	Cloruri mg/L	Solfati mg/L	Nitrati mg/L	Fosfati mg/L	Na mg/L	K mg/L	Mg mg/L	Ca mg/L	SAR -
OVEST	21	6,3	0,60	20	99	88	0	279	21	189	66	4,0
	16	7,6	1,25	145	93	12	0	211	7	85	285	2,8
CENTRO-	18	8,1	0,35	14	12	24	0	39	21	25	91	0,9
SUD	19	7,4	1,14	156	79	12	0	187	5	71	1	4,8
	media	7,7	0,91	105	61	16	0	145	11	60	125	2,8
EST	6	7,6	0,57	4	16	2	0	31	1	12	25	1,3

29); infatti seppure i valori osservati risultano anche più elevati rispetto a quelli registrati nell'area precedente (conducibilità media = 3,57 dS/m, concentrazione media in cloruri = 843 mg/L e in sodio = 368 mg/L, SAR medio = 6,9) appare possibile prevedere un utilizzo agronomico per queste acque, seppure discontinuo e subordinato all'adozione di particolari accorgimenti in fase di distribuzione (metodi irrigui, volumi erogati, specie resistenti, ecc.). Fanno eccezione a questa regola, per motivi diversi, il campione 7 (canale Colatore Bassanera) ed il campione 26 (canale Allacciante Bassanera); il primo infatti presenta acque di qualità migliore (conducibilità inferiore a 3,0 dS/m, appena 32 mg/L di cloruri e 18 mg/L di sodio) che risultano quindi utilizzabili senza particolari limitazioni. I parametri analitici del secondo invece risultano tanto sfavorevoli (conducibilità pari a 5,38 dS/m, cloruri che sfiorano i 3000 mg/L, sodio oltre i 1200 mg/L e SAR = 18,2) da renderne sconsigliabile l'impiego irriguo.

Infine le acque monitorate nell'area orientale si dimostrano le migliori dell'intera tenuta (campioni 3, 4, 5, 24, 25, 27 e 28); soprattutto i valori medi della conducibilità (1,58 dS/m) risultano i più bassi del comprensorio, mentre cloruri, sodio e SAR presentano valori molto simili (cloruri = 323 mg/L, sodio = 211 mg/L e SAR = 4,8) a quelli misurati nell'area centro-settentrionale. Per quanto riguarda il dettaglio dei singoli punti di prelievo, i campioni 3, 28 (fosso del Caligi), 4 (fosso di Titignano) e 5 (antifosso del Caligi) non evidenziano alcuna controindicazione all'impiego irriguo, mentre i campioni 24 (fosso di Confine), 25 e 27 (altri punti prelevati sul fosso del Caligi) sembrano invece consigliare qualche precauzione riguardo alla somministrazione alle colture.





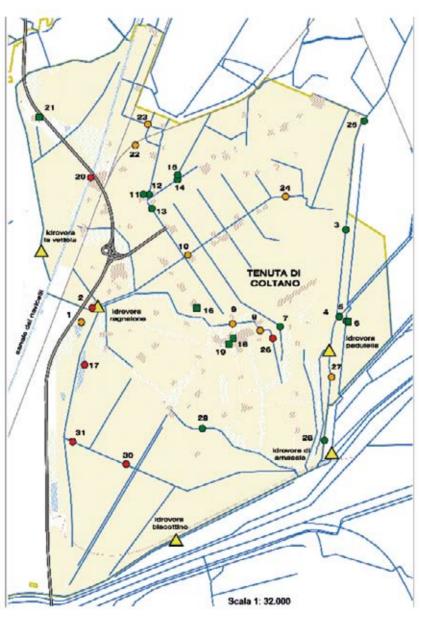


Fig. 5 - Classificazione dell'attitudine delle acque all'uso irriguo della tenuta di Coltano: agosto-settembre 2006 (verde=possibile; giallo=limitato; rosso=sconsigliato; simbolo quadrato = pozzo, simbolo cerchio = canale).

Decisamente buona invece la qualità riscontrata a carico delle acque profonde della tenuta; tutte infatti presentano una buona attitudine all'irrigazione senza eccezioni di sorta. Tutti i pozzi esaminati infatti, uno nell'area orientale (campione 21 presso la fattoria di Castagnolo), tre nell'area centro meridionale (campioni 16 presso il podere Bainsizza, 18 e 19 presso l'abitato di Coltano) ed uno nell'area orientale (campione 6 presso la tenuta di Campodolmo), fanno segnare valori contenuti per tutti i parametri analizzati (conducibilità massima = 1,25 dS/m, concentrazioni massime in cloruri = 156 mg/L e in sodio = 279 mg/L, SAR massimo = 4,8).

Tenuta di Coltano – II° campionamento: maggio 2005 (tabb. 7, 8, fig. 6)

In corrispondenza della seconda epoca di campionamento non è stato possibile procedere al prelievo delle acque relative ai campioni dal numero 22 al numero 31 compresi. Questa lacuna conoscitiva rende più complesso il tentativo di operare un confronto fra i risultati delle due campagne di monitoraggio.

Anche in questo caso comunque il già ricordato decorso climatico occorso nei mesi autunnali ha contribuito a determinare particolari condizioni idriche nei canali (minor dilavamento dei terreni e maggiore aggressività da parte del cuneo salino) che possono aver indotto una crescita della concentrazione dei soluti. In generale però il giudizio complessivo sulla qualità delle acque non è cambiato in maniera sostanziale e si conferma quindi, pur con qualche eccezione, l'esistenza di un accettabile grado di ripetibilità fra le misure effettuate.

Il peggioramento sembra valere soprattutto per le acque prelevate nell'area occidentale dove i campioni 1 (laghetto in località Paduletto) e 2 (canale Collettore principale) passano da un giudizio di qualità media ad uno di qualità bassa a causa dell'enorme crescita dei cloruri e del sodio disciolti (5000-7000 mg/L). Anche il campione 17 fa segnare un incremento della concentrazione in sodio, mentre il campione 20 (canale dei Navicelli) riduce significativamente il proprio contenuto in sali, i cui valori rimangono però ancora elevati e non consentono di migliorare il giudizio riguardo all'impiego irriguo di queste acque che rimane "sconsigliato".

Anche nell'area centro-settentrionale si rileva un parziale incremento della concentrazione del sodio (passato da 214 a 315 mg/L) soprattutto alla luce del fatto che nella seconda epoca non sono stati





Tab. 7. Risultati delle determinazioni analitiche relative alle acque superficiali della tenuta di Coltano: seconda epoca di campionamento (dicembre 2006 – gennaio 2007).

Zona	Camp. n.	pH -	Conduc. dS/m	Cloruri mg/L	Solfati mg/L	Nitrati mg/L	Fosfati mg/L	Na mg/L	K mg/L	Mg mg/L	Ca mg/L	SAR -
	1	7,2	4,67	5457	800	0	0	5107	187	793	407	34,1
	2	6,8	6,54	6794	1135	0	0	6979	288	1074	539	40,1
OVEST	17	7,9	8,50	2498	1157	0	0	4511	146	1082	1187	22,9
	20	7,4	8,53	2734	496	61	0	1820	64	301	266	18,2
	media	7,3	7,06	4371	897	15	0	4605	171	812	600	28,8
	10	6,8	1,73	175	610	61	0	253	14	143	402	2,8
	11	5,3	1,25	22	734	0	0	93	16	119	293	1,2
	12	6,1	2,89	540	624	0	0	521	21	171	380	5,6
CENTRO- NORD	13	7,0	2,41	434	485	0	0	419	19	155	418	4,5
NOKD	14	7,6	1,95	313	369	0	0	311	14	142	440	3,3
	15	7,7	1,94	314	365	0	0	291	14	128	428	3,2
	media	6, 7	2,03	300	531	10	0	315	16	143	394	3,4
	7	5,9	1,34	135	610	0	0	194	7	123	298	2,4
CENTRO-	8	7,9	0,91	181	15	0	0	216	19	62	144	3,8
SUD	9	7,7	2,12	566	73	0	0	584	27	123	170	8,4
	media	7,2	1,46	294	233	0	0	331	18	102	204	4,9
	3	8,3	1,19	222	137	48	0	667	38	190	611	6,1
EST	4	8,1	1,15	186	103	0	0	537	50	143	544	5,3
201	5	8,1	1,34	230	92	0	0	651	38	228	598	5,8
	media	8,2	1,23	212	111	16	0	618	42	187	584	5,7

campionati i punti 22 e 23 che erano quelli caratterizzati dai valori più elevati del catione, nel periodo precedente. Tali cambiamenti inducono a porre maggior prudenza nel destinare queste acque all'irrigazione ed in particolare i campioni 12 e 13 (canale Collettore secondario dei Paduli settentrionali) vedono peggiorare la propria valutazione qualitativa che passa da buona a media. Una stessa evoluzione si osserva anche a carico dei campioni 14 (canale Colatore testa-fosso) e 15 (canale Colatore Siepe), seppure le differenze riscontrate non conducono a una diversa classificazione della risorsa idrica. Le acque del campione 10 (canale Collettore principale del Padule maggiore) invece seguono un percorso inverso: il giudizio sul loro uso passa da "limitato" a "possibile", grazie soprattutto alla riduzione dei valori di conducibilità e di SAR.

Tab. 8. Risultati delle determinazioni analitiche relative alle acque profonde della Tenuta di Coltano: seconda epoca di campionamento (dicembre 2006 - gennaio 2007).

Zona	Camp. n.	pH -	Conduc. dS/m	Cloruri mg/L	Solfati mg/L	Nitrati mg/L	Fosfati mg/L	Na mg/L	K mg/L	Mg mg/L	Ca mg/L	SAR -
OVEST	21	6,4	0,74	139	192	0	0	120	51	131	141	1,8
	16	7,2	0,78	24	61	0	0	129	33	90	303	1,7
CENTRO-	18	8,0	1,13	248	4	0	0	260	6	117	265	3,4
SUD	19	7,8	1,24	152	109	0	0	237	15	119	375	2,7
	media	7,7	1,05	141	58	0	0	209	18	108	314	2,6
EST	6	7,7	0,61	23	111	0	0	118	48	96	2	2,6

Nell'area centro-meridionale si assiste ancora ad un incremento delle concentrazioni di sodio che sono però bilanciate da una corrispondente riduzione della conducibilità; complessivamente solo uno dei campioni analizzati modifica il suo profilo qualitativo passando da "limitato" a "possibile"; si tratta del campione 8 prelevato nel canale Allacciante Bassanera.

Infine nell'area orientale la sensibile riduzione della base campionaria (passata da 7 a 4 punti di prelievo) limita il confronto temporale ai campioni 3, 4 e 5 che seguono l'andamento precedentemente descritto, facendo segnare un significativo incremento delle concentrazioni in cloruri e sodio (forse il maggiore registrato nella tenuta) che, pur determinando un peggioramento della qualità delle acque esaminate, non comportano una modifica del giudizio sintetico espresso nella precedente epoca che rimane favorevole ad un loro impiego in agricoltura.

Molto più contenute invece le oscillazioni osservate a carico dei parametri qualitativi delle acque profonde che rimangono sostanzialmente stabili e quindi, come già anticipato nel commento alla precedente epoca di monitoraggio, del tutto idonei all'uso irriguo.





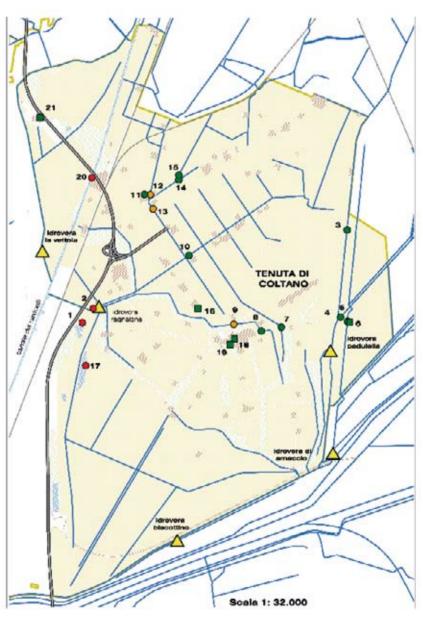


Fig. 6 - Classificazione dell'attitudine delle acque all'uso irriguo della tenuta di Coltano: dicembre 2006-gennaio 2007 (verde=possibile; giallo=limitato; rosso=sconsigliato; simbolo quadrato = pozzo, simbolo cerchio = canale).





Aspetti ambientali

I valori di pH misurati rientrano per la grande maggioranza all'interno del range di variabilità "fisiologica" delle acque; si deve casomai segnalare come i dati "anomali" lo siano più per difetto (acidità) che per eccesso (basicità), come accadeva invece nella tenuta di Tombolo. Da segnalare soprattutto un pH di 5,3 (campione 11, fosso in località podere Zara) e un pH di 5,9 (campione 7, canale Colatore Bassanera) che potrebbero meritare ulteriori indagini.

Per quanto riguarda i nitrati, nelle acque superficiali, i valori osservati sono mediamente inferiori rispetto a quelli misurati nella tenuta di Tombolo e meno frequentemente rilevabili (8 su 26 nella prima epoca e 3 su 16 nella seconda epoca). Nel periodo agosto-settembre sono state osservate concentrazioni quantitativamente poco rilevanti (con la sola eccezione del campione 20, canale dei Navicelli con 60 mg/L); in corrispondenza della seconda epoca di prelievo i campioni con presenza di nitrati rimangono rari, anche se i valori si fanno più consistenti. Ciò confermerebbe che in corrispondenza di decorsi meteorici più umidi ed in assenza di colture in grado di intercettare i nitrati presenti nel terreno, il fenomeno della contaminazione delle acque superficiali tende ad aumentare di intensità.

Un andamento praticamente opposto si rileva per le acque profonde dove nel periodo agosto-settembre tutti i campioni evidenziano la presenza di nitrati (valor medio 27 mg/L), mentre nel successivo bimestre dicembre-gennaio la specie chimica è risultata assente in tutti i campioni esaminati.

Per quanto riguarda i fosfati non sono mai stati rilevati nelle acque della tenuta di Coltano, ma come anticipato in precedenza, il valore zero non significa necessariamente che questi non siano presenti, quanto piuttosto che la loro concentrazione risulta inferiore al limite di risoluzione dello strumento (mg/L o ppm).

Conclusioni sulla tenuta di Coltano

Le condizioni qualitative delle acque della tenuta di Coltano sembrano fortemente condizionate dalla prossimità al mare; i fossi e i canali maggiormente vicini alla linea di costa (area occidentale) risultano infatti essere quelli meno idonei ad un utilizzo irriguo. Man mano invece che si procede verso l'interno la qualità delle acque tende a migliorare (aree centro-settentrionale e centro-meridionale), fino a divenire più che accettabile in corrispondenza dei campioni prelevati nell'area orientale.

In generale comunque i campioni risultati inidonei all'impiego in agricoltura sono stati poco numerosi: cinque su ventisei in corrispondenza della prima epoca di prelievo e quattro su sedici per quanto concerne la successiva campagna di monitoraggio.

Del tutto rassicurante la situazione emersa dall'analisi delle acque profonde: i cinque pozzi esaminati sono risultati in grado di fornire acqua idonea all'irrigazione in entrambe le epoche considerate.

La produzione di una cartografia tematica

A conclusione del lavoro svolto si è proceduto alla realizzazione di una cartografia tematica a partire dal data-base geografico prodotto nell'ambito del progetto.

Nella cartografia si è fatto ricorso ad una base *raster* come sfondo ai tematismi rappresentati onde fornire un immediato riferimento geografico all'osservatore, quindi sono stati inseriti una serie di elementi accessori (limiti amministrativi, confini Parco e tenute, aree agricole, aree boscate, ecc.) utili alla intelleggibilità delle informazioni fornite.

Queste riguardano il posizionamento dei punti di prelievo (con diversa simbologia per acque profonde e superficiali), la rappresentazione tematica secondo scale cromatiche diverse di alcuni dei parametri analizzati (cloruri, solfati, nitrati e fosfati), la classificazione dei dati in base alla pericolosità per il sodio (resa attraverso un'opportuna simbologia), nonché l'indicazione del valore del pH.

Inoltre sono stati inseriti una serie di tematismi idrografici messi a disposizione dal Consorzio di Bonifica di Pisa (ex ufficio Fiumi e Fossi) e riguardanti il nome dei principali corsi d'acqua, l'orientamento del flusso, la presenza di impianti idrovori, ecc.

A titolo esemplicativo si riportano le immagini relative alle due cartografie prodotte (figg. 7 e 8).

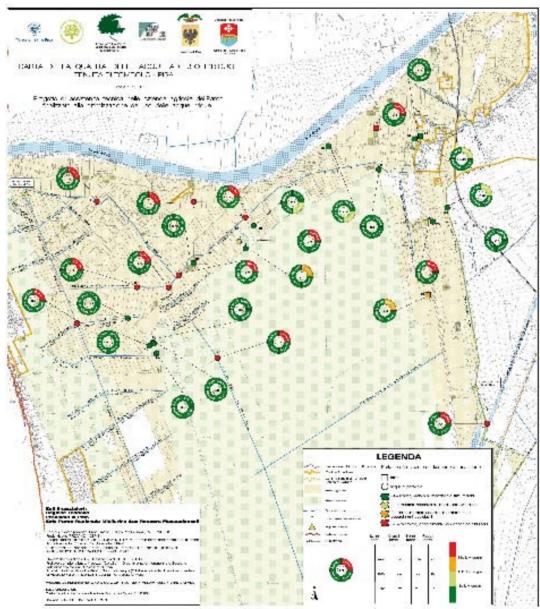


Fig. 7 - Carta tematica relativa alla tenuta di Tombolo

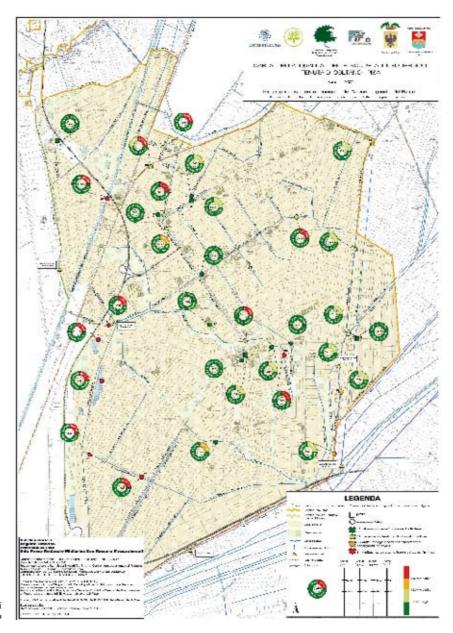


Fig. 8 - Carta tematica relativa alla tenuta di Coltano

Alcune considerazioni sulle modalità d'uso dell'acqua in agricoltura

Enrico Bonari 1, Nicola Silvestri 2

¹ Scuola superiore "S. Anna" - Pisa ² Centro Interdipartimentale di Ricerche Agro-Ambientali "E. Avanzi" - Università di Pisa

La corretta gestione dell'irrigazione

La prima considerazione che deve essere sempre tenuta presente è quella di pensare all'acqua come un bene sempre più prezioso, la cui disponibilità di fatto non è illimitata e le cui caratteristiche qualitative devono essere, per quanto possibile, salvaguardate.

Un aspetto tecnico di primaria importanza in termini da carenze operative che emerge da quanto si osserva semplicemente attraversando durante la stagione estiva i comprensori irrigui è quello del calcolo del volume specifico di adacquamento; e ciò non solo per le implicazioni di ordine tecnico-agronomico ed economico che comporta, ma anche per i riflessi di questo sugli eventuali rischi di impatto ambientale collegati alla pratica irrigua. È infatti assodato, ad esempio, che la lisciviazione dei nitrati dai terreni irrigati decresce con l'aumentare dell'efficienza distributiva dell'acqua di irrigazione e adattando il volume di adacquamento alla capacità di ritenzione idrica dello strato di terreno interessato dall'apparato radicale.

Con il termine di volume specifico di adacquamento si intende il quantitativo di acqua che si deve distribuire (ad eccezione dei sistemi irrigui localizzati), ogni volta che si procede all'intervento irriguo, per riportare il terreno ad un livello di umidità corrispondente alla sua "capacità di campo". Questo è infatti, il livello di umidità più favorevole allo sviluppo della pianta in considerazione del minor lavoro che questa deve compiere per assorbire l'acqua dal terreno, ma è anche la quantità massima di acqua che il terreno stesso è in grado di trattenere vincendo la forza di gravità.

Per realizzare in maniera adeguata il calcolo del volume di adacquamento, per individuare cioè l'entità dei metri cubi di acqua da distribuire per ettaro senza "carenze" o "sprechi" – e soprattutto per non superare il quantitativo di acqua che il terreno può effettivamente trattenere – occorrono alcune conoscenze sulle caratteristiche idrologiche del terreno che gli agricoltori spesso ignorano del tutto.

Occorre cioè conoscere il livello di umidità del terreno alla cosiddetta "capacità di campo" e quello corrispondente al "punto di appassimento", dalla differenza dei quali è possibile individuare l'entità massima dell'acqua disponibile" per la coltura e da questa derivare, per le differenti specie coltivate, il "limite critico" di umidità.

Successivamente, in rapporto alla presumibile profondità raggiunta dall'apparato radicale della pianta al momento dell'irrigazione ed all'effettivo contenuto di umidità del terreno in quello stesso momento, sarà facilmente calcolabile il volume di acqua necessario appunto per riportare il volume esplorato dalle radici alla capacità di campo.

Com'è noto, la misura della umidità del terreno corrispondente alle suddette costanti idrologiche (capacità di campo e punto di appassimento) può essere effettuata – sia direttamente che indirettamente – con diversi metodi sia in pieno campo (su terreno non disturbato) che in laboratorio (su campioni di terreno disturbato); in ogni caso si tratta di determinazioni di non facile esecuzione, piuttosto onerose, certamente non alla portata di tutti gli agricoltori. Una stima indiretta – ancorché più approssimata – dei suddetti parametri si può tentare anche a partire dai dati relativi alla granulometria, alla capacità di scambio cationico (CSC) ed al contenuto di sostanza organica del terreno che possono risultare sicuramente più facilmente disponibili in azienda.

A questo riguardo, ad esempio, potrebbe risultare molto utile il lavoro di caratterizzazione fisico-chimica dei suoli agrari che il Parco ha attivato nel corso degli ultimi anni all'interno del comprensorio e di cui è disponibile una cartografia ad un adeguato livello di dettaglio (scala 1:10000).

Un altro problema tecnico connesso al corretto uso dell'acqua di irrigazione è senz'altro quello della stima (la più precisa possibile) dell'evapotraspirazione effettiva delle colture (ETE), cioè del quantitativo di acqua che, nei diversi momenti del ciclo vegetativo e produttivo della pianta, la coltura perde per traspirazione dalle foglie e per evaporazione dal terreno. Si tratta di un elemento fondamentale, insieme al volume di adacquamento, per il corretto calcolo del turno cioè del numero di giorni che devono intercorrere fra un intervento irriguo ed il successivo.





Come anticipato in precedenza la determinazione dell'ETE passa attraverso la sua misurazione diretta che risulta difficile e costosa o la sua stima sperimentale (evaporimetro) od analitica (equazioni) che invece potrebbero fornire agli agricoltori un'utile informazione per poter modulare più efficacemente l'erogazione degli apporti irrigui. Soprattutto nel secondo caso (metodi analitici) sarebbe sufficiente la disponibilità dei dati climatici raccolti giornalmente dalle numerose capannine meteorologiche presenti entro il territorio del Parco (ARSIA, Università, ecc.) per consentire l'istituzione di un servizio in grado di definire le perdite idriche potenzialmente registrabili nelle diverse porzioni del comprensorio.

Strettamente legato al precedente si presenta poi l'incognita della più opportuna scelta dei coefficienti colturali (Kc) da utilizzare relativi alle specie agrarie di interesse per arrivare ad una stima compiuta dei fabbisogni in acqua irrigua; l'individuazione di valori corretti si dimostra infatti tutt'altro che agevole ed il ricorso alle esperienze riportate in lettura non può assicurare, da solo, una efficace soluzione del problema.

Un ultimo aspetto tecnico su cui è necessario riflettere per gli effetti che può giocare su un corretto uso dell'acqua è quello della definizione dell'intensità di pioggia nei sistemi di irrigazione per aspersione, che peraltro risultano essere i più diffusi. Troppo spesso infatti capita di osservare appezzamenti che risultano letteralmente "allagati" al termine di un intervento irriguo. Ciò significa che la velocità di rientro dei rotoloni e quindi la durata dell'irrigazione costituiscano un elemento di scarsa preoccupazione per gli agricoltori. La distribuzione di una certa quantità di acqua su una certa superficie può avvenire solo in un dato lasso di tempo, tempo necessario perché il terreno riesca a "assorbire" i volumi di acqua teoricamente sufficienti a ristorare le riserve idriche del substrato.

La durata dell'irrigazione, infatti, deve essere teoricamente uguale al rapporto fra il volume di adacquamento e la velocità di infiltrazione dell'acqua nel terreno; parametro quest'ultimo scarsamente conosciuto e per di più significativamente influenzato dalla tecnica di lavorazione principale adottata, dal tipo di avvicendamento prescelto, dal livello di sostanza organica presente, dalla architettura della coltura irrigata, ecc.; la formazione di accumuli di acqua negli strati più superficiali del terreno infatti oltre ad esaltare le perdite idriche per ruscellamento e per evaporazione può determinare anche danni più o meno sensibili alla coltura.

Il richiamo a questi tre concetti base della corretta tecnica irrigua è da considerare "trasversale" per l'intera area del Parco per la quale esiste la necessità di recuperare quelle conoscenze di base (che sono ancora da

considerare troppo frammentarie) che possono fornire un notevole contributo ad una gestione più corretta e parsimoniosa di un bene tanto prezioso e limitato.

Non si può sottovalutare infine il problema della scelta del metodo irriguo che tanta importanza può rivestire per il successo di una strategia di risparmio idrico. È chiaro che in questo caso le considerazioni agronomiche devono trovare un'integrazione, ma non certo una "subordinazione" rispetto alle pur legittime valutazioni economiche espresse dall'agricoltore.

In linea di principio nelle aziende ad agricoltura decisamente intensiva, dove prevalgono l'orticoltura, la floricoltura, o il vivaismo, la riduzione dei rischi di impatto ambientale legati all'esercizio dell'irrigazione, la riduzione dei costi di gestione dell'acqua, la maggiore valorizzazione delle scarse risorse, può essere perseguita attraverso il passaggio dalle irrigazioni più tradizionali (sistemi gravitazionali od aspersione) alle diverse forme di irrigazione localizzata e di microirrigazione.

Dove invece gli ordinamenti colturali sono di tipo misto, con un orticoltura di pieno campo che spesso convive con altre colture irrigue, sia cerealicole che industriali, o ancora di più quando l'impostazione aziendale è quella tipica delle aziende ad indirizzo cerealicolo-foraggero-zootecnico, l'irrigazione per aspersione è quella che consente di irrigare a costi decisamente più convenienti, anche se all'interno di questo stesso metodo irriguo rimangono ancora aperti interrogativi importanti circa il tipo di attrezzatura e le modalità di utilizzo con cui operare effettivamente.

Infine un ultimo aspetto importante al fine di definire una corretta gestione agronomica dell'irrigazione riguarda proprio la qualità dell'acqua nonché gli eventuali problemi ed i rispettivi rimedi posti dall'impiego di acque non perfettamente idonee all'uso irriguo. Benché il concetto della qualità rappresenti un argomento complesso che coinvolge le caratteristiche fisiche, chimiche e microbiologiche del mezzo da impiegare è innegabile che, soprattutto negli ultimi anni, la progressiva salinizzazione delle acque ha sovrastato per gravità e diffusione gli altri, pur importanti, termini del problema.

Sul piano agronomico la questione può tradursi nella necessità di apportare al terreno il minor quantitativo possibile di sali e quindi di limitare il ricorso ad acque affette da tale limitazione d'uso. Tutti gli accorgimenti agronomici adottabili a questo riguardo sono quindi da considerare utili e giustificati quali, ad esempio, la scelta delle colture, la lunghezza della stagione irrigua, il livello di reintegro della evapotraspirazione effettiva, ecc., prendendo per prima cosa coscienza che l'acqua quando non è di qualità adeguata





rappresenta un fattore produttivo da ottimizzare in una prospettiva di medio-lungo periodo, se si vuole rimanere all'interno di un'ottica di agricoltura sostenibile.

Pur essendo vero infatti che durante il periodo autunno-primaverile l'acqua piovana potrà senz'altro eliminare una parte più o meno considerevole del quantitativo di sali accumulati nel terreno, sarebbe un grave errore quello di ricorrere in maniera indiscriminata all'irrigazione risolvendo il problema della salinizzazione del terreno semplicemente affidandosi a specie e/o varietà progressivamente più tolleranti. In questo modo si finirebbe solo col creare problemi sempre maggiori di degradazione del substrato fino al punto di esaurire le alternative colturali in grado di adattarsi a condizioni così estreme ed essere quindi costretti a cessare ogni attività di coltivazione sugli appezzamenti interessati.

Più corretto è invece l'approccio di realizzare un avvicendamento aziendale che, comprendendo colture irrigue e colture non irrigue, colture con alti fabbisogni idrici e specie con esigenze più limitate, colture autunno-invernali e colture primaverili-estive, colture da foglia e colture da granella, ecc., consenta una riduzione della quantità di acqua mediamente apportata per unità superficie aziendale e quindi un controllo dell'apporto di sali al terreno il cui accumulo non deve superare il tasso di "autodepurazione" assicurata al suolo dell'azione dilavante delle precipitazioni nel corso delle stagioni più piovose.

Inoltre, in condizioni di riserve idriche affette da problemi di salinità, risulta importante porre attenzione anche alle interazioni che si possono instaurare fra l'irrigazione e gli altri aspetti della tecnica colturale quali, ad esempio, le tecniche di lavorazione del terreno (modalità ed epoche), la funzionalità delle sistemazioni idraulico-agrarie, la concimazione minerale delle colture, il bilancio della sostanza organica del terreno, ecc. Ogni intervento agronomico da effettuare infatti non può essere realizzato prescindendo dall'esigenza di evitare l'accumulo di sali nel substrato nonché di contrastare con ogni mezzo le conseguenze negative che questo può determinare sulle qualità agronomiche del terreno (peggioramento della struttura e della stabilità degli aggregati, fenomeni di antagonismo nell'assordimento dei nutrienti, modifiche e semplificazione della microfauna e microflora tellurica, ecc.).





Irrigazione e rischi di impatto ambientale

La pratica dell'irrigazione può contribuire in maniera significativa all'amplificazione dei problemi di compatibilità ambientale posti dall'esercizio dell'attività agricola.

La contaminazione degli ecosistemi da parte dei nutrienti (soprattutto azoto e fosforo) e/o di altre sostanze provenienti dai campi coltivati (terreno, fitofarmaci, sostanza organica, ecc.) è infatti riconducibile al loro trasporto da parte dell'acqua secondo le due direttrici che ne caratterizzano le possibilità di movimento: verticale, percolazione dalla superficie verso gli strati più profondi del suolo, orizzontale, scorrimento dalle aree a quota maggiore verso quelle a quota minore.

Nel primo caso si rischia l'inquinamento delle acque di falda (freatica od artesiana), nel secondo si possono verificare fenomeni di contaminazione dei corpi d'acqua superficiali (fiumi, laghi, mare), che possono innescare dinamiche degradative particolarmente pericolose quali, ad esempio, l'eutrofizzazione.

L'irrigazione può effettivamente contribuire all'inquinamento delle acque attraverso entrambi i meccanismi:

- a causa del movimento verticale dell'acqua nel terreno nel caso dell'irrigazione per sommersione permanente e, nel caso degli altri metodi irrigui, quando vengono somministrati volumi di adacquamento eccessivi rispetto a quelli realmente necessari;
- a causa dello scorrimento superficiale, quando la distribuzione dell'acqua favorisce il movimento di questa sul terreno (negli appezzamenti declivi e/o se l'intensità di aspersione è superore alla velocità di infiltrazione nel terreno), o per le perdite dovute a colature terminali, come può accadere nei sistemi per scorrimento e per infiltrazione laterale.

I rischi di inquinamento variano comunque molto in relazione alle caratteristiche del terreno (permeabilità, capacità di ritenzione idrica, spessore, pendenza, profondità della falda, ecc.), ma anche dell'avvicendamento colturale e delle tecniche agronomiche adottate (lavorazione del terreno, modalità di concimazione, metodo irriguo, ecc.). Al riguardo si possono senz'altro distinguere "condizioni" operative o "zone" agrarie caratterizzate in partenza da rischi elevati, moderati o bassi.

Le aree a rischio elevato presentano almeno una delle seguenti caratteristiche: terreni molto permeabili e con scarsa capacità di ritenzione idrica (sabbiosi); presenza di falda superficiale (inferiore a 2 m); terreni molto "sottili" (con spessore inferiore a 15-20 cm) insistenti su roccia fessurata; terreni con pendenza





superiore al 2-3%; sistemi colturali intensivi con alti apporti di fertilizzanti (soprattutto azotati) e di altri prodotti chimici; terreni organici se frequentemente lavorati in profondità.

Le zone a rischio moderato sono identificabili nei terreni a granulometria equilibrata, mediamente permeabili, con discreta capacità di ritenzione idrica; nelle falde mediamente profonde (da 2 a 15-20 m), nei terreni di media profondità (superiore a 50-60 cm) e con pendenza moderata; nei sistemi colturali non eccessivamente intensivi, con apporto moderato di fertilizzanti e di altri prodotti chimici.

Le aree a basso rischio, invece, sono quelle caratterizzate da terreni tendenzialmente argillosi, poco permeabili e con elevata capacità di ritenzione idrica; adeguatamente profondi (spessi più di 60-70 cm), con falda oltre i 20 m di profondità e pendenze inferiori all'1%.

È dunque importante che la gestione dell'irrigazione tenga in debito conto, sia a livello aziendale che comprensoriale, quanto detto in precedenza privilegiando, per quanto possibile, la ricerca della massima efficienza distributiva (limitando od annullando i fenomeni di lisciviazione e/o di trasporto per scorrimento superficiale di particelle terrose, di nitrati e/o di altre sostanze solubili) e rapportando sempre l'uso dell'acqua all'effettiva capacità produttiva delle colture, in relazione anche all'azione di altri possibili fattori limitanti la produzione.

A queste condizioni la maggiore disponibilità idrica per le piante può invece determinare una migliore qualità delle produzioni ed anche tradursi in una maggiore capacità produttiva in termini di biomassa utile e di residui di raccolta a tutto vantaggio della conservazione di un adeguato tenore di sostanza organica nel suolo.

Dunque pur non essendo possibile attribuire automaticamente alla pratica dell'irrigazione una valenza ecologicamente negativa è anche vero che si tratta di un segmento della tecnica colturale in grado di contribuire, anche significativamente, all'evoluzione di importanti fenomeni fisico-chimici potenzialmente responsabili della contaminazione e dell'alterazione di importanti comparti ambientali.

La situazione all'interno delle tenute di Tombolo e Coltano

La traduzione pratica dei principi teorici enunciati nei precedenti paragrafi all'interno del comprensorio considerato richiederebbe un approfondimento conoscitivo da realizzare secondo due distinte linee d'azione. La prima di queste riguarda una più puntuale caratterizzazione delle proprietà idriche dei terreni interessati e la seconda una più precisa la determinazione dei consumi idrici delle colture.

Entrambe queste attività, come in parte è stato illustrato, risultano estremamente dispendiosi in termini di tempo e di risorse, soprattutto quando il territorio di riferimento risulti sufficientemente ampio ed eterogeneo. In questi casi un approccio utile da seguire è quello di tentare la stima dei parametri mancanti attraverso il ricorso a modelli e/o relazioni matematiche che consentano di giungere comunque ad una loro stima. Il ricorso, ad esempio, a funzioni di *pedotransfer* può consentire di ricavare grandezze di difficile ed onerosa misurazione, quali la capacità di campo ed il punto di appassimento, a partire da variabili più facilmente disponibili. Particolarmente interessante potrebbe essere tentare la stima delle costanti idrologiche del terreno secondo la metodologia ricordata in relazione all'esteso lavoro di caratterizzazione dei terreni, spazialmente definita, che il Parco ha realizzato nel corso di questi ultimi anni e che potrebbe condurre alla creazione di apposite mappe in grado di definire il volume di acqua utile per le piante, attribuibile alle diverse regioni in cui il comprensorio risulta suddivisibile.

Interessante potrebbe risultare anche pervenire alla determinazione delle quote di evapotraspirazione potenziale che è possibile assegnare alle diverse aree in relazione alla disponibilità di dati climatici di pertinenza. La conoscenza della temperatura massima, della temperatura minima e della radiazione netta consente l'applicazione della formula di Priestley-Taylor, mentre la possibilità di impiegare anche l'umidità relativa minima e massima e la velocità del vento permetterebbe addirittura il ricorso alla più complessa formula di Penman-Monteith. In ogni caso in funzione delle diverse colture praticate e della lunghezza delle differenti fasi fenologiche attraversate nel corso del rispettivo ciclo di sviluppo si potrebbe giungere alla stima dell'evapotraspirazione effettiva e cioè dei quantitativi d'acqua presumibilmente consumati dalle piante nel corso della stagione irrigua.

La conoscenza di tali valori, se accompagnata ad una pur approssimata valutazione delle capacità di immagazzinamento di acqua da parte del terreno, consentirebbe all'agricoltore il calcolo del bilancio idrico





e quindi una più corretta determinazione dei volumi di adacquamento, del momento di intervento e del tempo intercorrente fra un'irrigazione e la successiva.

A puro titolo di esempio si arriva a calcolare che, sulla base dei dati raccolti nelle stazioni meteorologiche di Pisa, Lucca e Livorno l'ETP può variare fra i 114 ed i 119 mm nel mese di giugno, fra i 142 ed i 151 mm nel mese di luglio, fra i 130 ed i 136 mm nel mese di agosto e fra i 92 ed i 95 mm nel mese di settembre. Per quanto riguarda invece l'ETE riferita ad una coltura di mais i valori oscillano fra i 114 ed i 120 nel mese di giugno, fra i 142 ed i 153 mm nel mese di luglio, fra i 130 ed i 143 mm nel mese di agosto e fra 92 ed i 105 mm nel mese di settembre.

Altrimenti un metodo semplice per la stima dei fabbisogni idrici delle colture, che se correttamente inteso, non è privo di un qualche interesse pratico è quello del coefficiente di evapotraspirazione (Cet), pari al rapporto fra la quantità di acqua consumata da una coltura, per l'intero ciclo fenologico, su una determinata porzione di superficie ed il quantitativo di prodotto (utile o totale) ottenuto in corrispondenza della medesima area.

A puro titolo di esempio si riportano i valori di Cet (L/kg di s.s.) misurati in Italia per alcune colture agrarie (da Giardini, 1992).

Coltura	Porzione	Cet
Barbabietola	pianta intera	270-360
	radici	385-645
Erba medica	foraggio	645-1040
frumento tenero	parte epigea	265-480
	granella	770-1320
Mais	parte epigea	185-290
	granella	385-560
Pomodoro	parte epigea	310-645
	bacca	660-950
Soia	parte epigea	325-435
	granella	340-475
Sorgo da granella	parte epigea	190-250
	granella	340-475
Peperone	parte epigea	575-860
	bacche	1030-1410
Trifoglio pratense	foraggio	505-835

Secondo un tale approccio per stimare il consumo idrico stagionale sull'unità di superficie basterebbe moltiplicare Cet per la presumibile produzione unitaria. Purtroppo però il coefficiente non rimane costante nell'ambito della singola specie in quanto la produzione agraria risulta influenzata da una numerosa serie di altri fattori (fra loro interagenti) oltre che dalla disponibilità idrica. A parità di consumo idrico dunque la produzione può variare in funzione dell'espressione degli altri fattori agronomici determinando di fatto un diverso coefficiente di evapotraspirazione.

Ciò detto se il Cet viene applicato in un aziende agraria dove le condizioni colturali (natura dei terreni, management, ecc.) si mantengono sufficientemente costanti nel tempo, è possibile, pur con una certa cautela, estrapolare il valore del coefficiente di evapotraspirazione, stimato per una specifica annata agraria, a quelle successive.

Così per una coltura di mais in grado di produrre 100 quintali di granella secca per ettaro e considerando un Cet medio pari a 472 L/kg, si otterrebbe un consumo idrico complessivo pari a 4720 m³/ha (472 mm), a cui devono ovviamente essere tolte le altezze di pioggia relative al periodo di sviluppo della coltura e gli eventuali apporti dalla falda intervenuti nel medesimo periodo. Ciò che resta costituisce una stima del probabile fabbisogno irriguo del cereale estivo.



Considerazioni conclusive

Nicola Silvestri 1

¹ Centro Interdipartimentale di Ricerche Agro-Ambientali "E. Avanzi" - Università di Pisa

Le campagne di monitoraggio eseguite nel corso del biennio 2006-2007 hanno messo in evidenza l'esistenza di una situazione variegata riguardo alla qualità delle acque presenti nelle tenute di Tombolo e Coltano. In alcune aree infatti appaiono chiari gli effetti della contaminazione di origine marina e gli elevati livelli di cloruri, di sodio e di conducibilità costituiscono evidenze incontestabili dell'aggravarsi dei fenomeni legati all'intrusione delle acque salmastre e all'avanzamento del cuneo salino.

Il mutato regime delle precipitazioni, le ridotte altezze di pioggia, l'eccessivo sfruttamento della falda, la mancanza di aree umide che assicurino l'infiltrazione delle acque piovane, l'ancora troppo scarso riciclo delle acque in uscita dai depuratori sono tutte concause della penetrazione e dell'avanzamento del fronte marino sia attraverso il territorio costiero, sia attraverso possibili vie preferenziali (quali ad esempio alcuni canali di bonifica, il canale dei Navicelli e lo stesso fiume Arno).

Migliore è risultata la situazione delle acque profonde, ma particolare attenzione va posta al loro monitoraggio e al loro impiego in chiave agricola.

I dati raccolti devono infatti mettere in guardia oltre che sui possibili effetti dannosi direttamente esercitabili sulle colture, anche sulle possibili conseguenze economiche ed ambientali che un uso ripetuto di acque di irrigazione non idonee potrebbe comportare.

La valutazione qualitativa delle acque da utilizzare in agricoltura costituisce infatti un presupposto tanto importante, quanto trascurato nella pratica corrente, che può determinare l'insorgenza di danni seri e difficilmente reversibili. Naturalmente ci sono ancora molte buone acque idonee all'utilizzo irriguo, ma le scelte degli agricoltori in merito alla gestione di questa preziosa risorsa dovranno essere meno disinvolte rispetto ad un recente passato e improntate alla massima riduzione degli sprechi, attraverso un'attenta rivisitazione di tutti gli aspetti legati alla loro distribuzione.

L'attenzione agli aspetti qualitativi deve essere quindi coniugata con la valutazione degli aspetti quantitativi



Considerazioni conclusive 83

(volume specifico, turno, durata, metodo irriguo, ecc.) in modo da accrescere sempre più l'efficienza e la razionalità del ricorso all'acqua in agricoltura.

La conduzione della pratica irrigua per risultare agronomicamente corretta ed ambientalmente compatibile richiede quindi la conoscenza di importanti parametri pedologici (costanti ideologiche, velocità di infiltrazione, ecc.) e climatici (ETP, precipitazioni efficaci, ecc.) di non facile determinazione e di limitata disponibilità.

La rinuncia però all'utilizzo di tali strumenti cognitivi condurrebbe inevitabilmente ad una gestione dell'acqua basata sostanzialmente su principi empirici che nel migliore dei casi si tradurrebbe in un incremento dei costi di produzione e/o in uno sperpero di risorse preziose e nel peggiore in un aggravamento anche sensibile dei problemi ambientali.

A questo riguardo si potrebbe ipotizzare l'organizzazione da parte del Parco di un servizio di assistenza agli agricoltori basato sulla redazione di bollettini anche giornalieri con indicazione dei volumi di adacquamento da distribuire e dei momenti di intervento più opportuni, implementando le conoscenze all'interno di un Sistema Informativo Territoriale specificatamente dedicato a questo scopo. Tale iniziativa, da considerare funzionale ad altre già realizzate dall'Ente potrebbe effettivamente condurre ad una razionalizzazione dell'impiego dell'acqua e ad una mitigazione dell'impatto ambientale associabile a questa importante pratica agricola.

Infine un cenno anche ai problemi di natura più spiccatamente ambientale legati al carico di nutrienti veicolati dalle acque. Questi, nel caso del fosforo, si sono dimostrati poco rilevabili con le strumentazioni disponibili, mentre nel caso dell'azoto i nitrati mostrano un'elevata eterogeneità spazio-temporale, fortemente legata alla stagionalità e alle pratiche agronomiche adottate negli appezzamenti idraulicamente tributari.

Anche alla luce delle recenti risoluzioni assunte dal Consiglio Regionale riguardo alle "aree vulnerabili" (ai sensi DL 152/99 che recepiva la direttiva UE 676/91 relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato da nitrati di origine agricola), risulterà importante nei prossimi anni riuscire ad approfondire adeguatamente il problema.

Certamente numerosi fattori modulano il rilascio dei nitrati dai campi coltivati (piogge, ritmi di mineralizzazione della sostanza organica nel terreno, copertura del suolo, livelli di concimazione adottati,

frazionamento della dose, ecc.), molti dei quali completamente al di fuori del controllo dell'agricoltore e quindi di fatto immodificabili; in ogni caso una maggiore attenzione nella definizione dei comportamenti tecnici potrà contribuire al contenimento dei fenomeni di contaminazione e all'affermazione di modelli agricoli più compatibili con le esigenze di tutela ambientale propri di un'area protetta.



Considerazioni conclusive 85





I certificati di analisi e l'ubicazione dei punti di prelievo

Nicola Silvestri ¹, Rosalba Risaliti ¹, Cristina Giardi ², Sabrina Ciampa ¹, Luca Magozzi ³

¹ Centro Interdipartimentale di Ricerche Agro-Ambientali "E. Avanzi" - Università di Pisa ² Ente Regionale Migliarino - San Rossore - Massaciuccoli ³ Dipartimento di Agronomia e Gestione dell'Agroecosistema - Università di Pisa

Di seguito sono riportati l'ubicazione del punto di prelievo, i certificati di analisi relativi a tutti i campioni di acque prelevati e il corrispondente giudizio sintetico di idoneità all'uso irriguo, secondo le valutazioni agronomiche, riassumibili attraverso le seguenti sigle:

- (Cl_3, Na_3) = evitare l'irrigazione a pioggia per ridurre l'assorbimento di cloro e sodio ed escludere la coltivazione di specie sensibili ai due elementi;
- (Cl₄, Na₄) = probabili effetti tossici sulle colture da cloro o sodio;
- (EC₁) = l'acqua non presenta limitazioni d'uso in relazione al contenuto salino;
- (EC_2) = l'acqua può essere utilizzata a patto che si realizzi un moderato drenaggio nel terreno. Le piante non sensibili alla salinità possono essere coltivate senza l'adozione di particolari pratiche;
- (EC₃) = è preferibile non usare questa acqua in terreni con limitazioni di drenaggio per il rischio di accumulo dei sali;
- (EC_4) = l'acqua in generale non è idonea all'irrigazione, può tuttavia essere utilizzata occasionalmente in terreni molto permeabili, con drenaggio efficiente e con volumi elevati per assicurare la lisciviazione dei sali. Possono essere coltivate solo piante molto tolleranti alla salinità;
- (S_1) = l'acqua è idonea all'irrigazione di tutti i terreni con un trascurabile danno dovuto all'accumulo di sodio scambiabile;
- (S_2) = l'utilizzo dell'acqua può indurre un moderato rischio di alcalinizzazione dei terreni soprattutto se a tessitura fine, con alta capacità di scambio cationico e in condizioni di scarso drenaggio;

- (S_3) = l'utilizzo dell'acqua può produrre nel terreno livelli nocivi di sodio scambiabile e il suo impiego richiede l'adozione di accorgimenti appositamente rivolti ad un miglioramento del drenaggio, ad un incremento dei volumi lisciviati, oltre che alla somministrazione di humus e ammendanti;
- (S_4) = l'acqua non è generalmente idonea per fini irrigui; è possibile un impiego saltuario solo in terreni non salini in presenza di un'elevata concentrazione di Ca scambiabile nella soluzione del terreno o del ricorso a specifici ammendanti come il gesso.

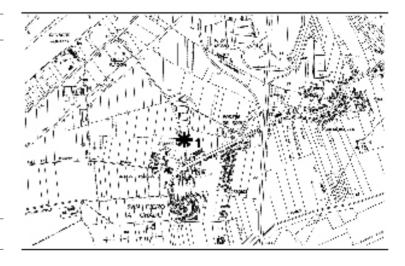
La traduzione delle caratteristiche sopra descritte in corrispondenti punteggi di idoneità è ricostruibile secondo la tabella di seguito riportata:

Parametro	Punteggio	Parametro	Punteggio
Cl ₃	1	EC ₃	3
Cl_4	2	EC_4	4
Na ₃	1	S_{1}	1
Na ₄	2	S_2	2
EC,	1	S_3	3
EC,	2	S_4	4

- se la somma è pari a 2, 3, 4, 5, 6 => il giudizio sintetico sull'uso irriguo è "possibile";
- se la somma è pari a 7, 8, 9 => il giudizio sintetico sull'uso irriguo è "limitato";
- se la somma è pari a 10, 11, 12 => il giudizio sull'uso irriguo è "sconsigliato".

Campione n. 1 - zona: nord-est. Località Piaggia. Tipologia: pozzo (tenuta di Tombolo).

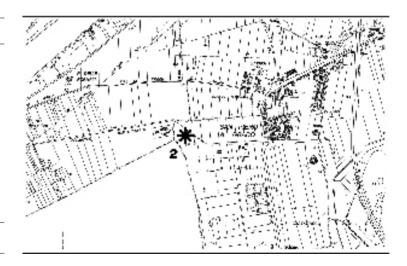
carattere	u.m.	agosto settembre	qualità	dicembre gennaio	qualità
pН	-	7.3	ottima	7.5	ottima
Conducibilità	dS/m	4.39	pessima	4.23	pessima
Cloruri	mg/L	1099	pessima	1086	pessima
Solfati	mg/L	29	ottima	14	ottima
Nitrati	mg/L	21	ottima	0	ottima
Fosfati	mg/L	0	ottima	0	ottima
Potassio	mg/L	30	-	26	-
Sodio	mg/L	976	pessima	1527	pessima
Magnesio	mg/L	60	-	133	-
Calcio	mg/L	119	-	207	-
SAR	me/L	18.3	buona	20.5	scarsa
utilizzo	-	sconsigliate)	sconsigliato	
		(Cl ₄ , Na ₄ , E	C_4, S_4	(Cl ₄ , Na ₄ , E	C_4, S_4



Campione n. 2 - zona: nord-est. Località Tre Pini.

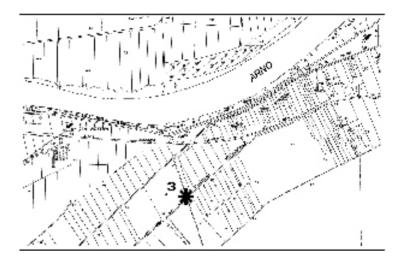
Tipologia: laghetto (tenuta di Tombolo).

carattere	u.m.	agosto settembre	qualità	dicembre gennaio	qualità
pН	-	9.5	scarsa	8.1	ottima
Conducibilità	dS/m	0.48	ottima	0.62	ottima
Cloruri	mg/L	21	ottima	21	ottima
Solfati	mg/L	42	ottima	20	ottima
Nitrati	mg/L	18	ottima	60	buona
Fosfati	mg/L	0	ottima	0	ottima
Potassio	mg/L	15	-	9	-
Sodio	mg/L	51	buona	34	ottima
Magnesio	mg/L	32	-	24	-
Calcio	mg/L	51	-	135	-
SAR	me/L	1.4	ottima	0.7	ottima
utilizzo	-	possibile		possibile	
		(EC_1, S_1)		(EC_1, S_1)	



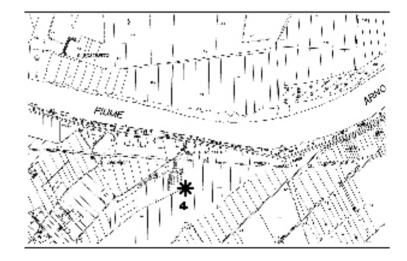
Campione n. 3 - zona: nord-ovest. Collettore settentrionale della bonifica di Tombolo. Tipologia: canale (tenuta di Tombolo).

carattere	u.m.	agosto settembre	qualità	dicembre gennaio	qualità
pН	-	7.7	ottima	7.8	ottima
Conducibilità	dS/m	10.16	pessima	6.39	pessima
Cloruri	mg/L	2951	pessima	1829	pessima
Solfati	mg/L	323	buona	224	buona
Nitrati	mg/L	17	ottima	65	buona
Fosfati	mg/L	0	ottima	0	ottima
Potassio	mg/L	52	-	33	-
Sodio	mg/L	1658	pessima	1178	pessima
Magnesio	mg/L	200	-	156	-
Calcio	mg/L	279	-	230	-
SAR	me/L	18.6	buona	14.8	buona
utilizzo	-	sconsigliato)	sconsigliate)
		(Cl,, Na,, E	C_{A}, S_{A}	(Cl,, Na,, E	$\mathbb{C}_{s}, \mathbb{S}_{s}$



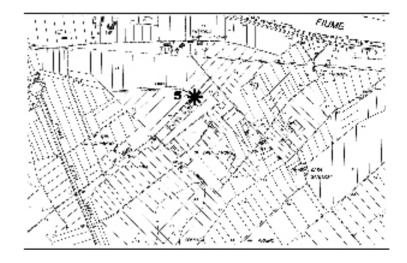
Campione n. 4 - zona: nord-ovest. Fosso di casa Santochi. Tipologia: fosso (tenuta di Tombolo).

carattere	u.m.	agosto settembre	qualità	dicembre gennaio	qualità	
pН	-	8.5	buona	7.1	ottima	
Conducibilità	dS/m	0.86	buona	37.3	pessima	
Cloruri	mg/L	164	buona	13559	pessima	
Solfati	mg/L	34	ottima	1439	buona	
Nitrati	mg/L	17	ottima	0	ottima	
Fosfati	mg/L	0	ottima	0	ottima	
Potassio	mg/L	17	-	347	-	
Sodio	mg/L	113	buona	11488	pessima	
Magnesio	mg/L	100	-	1562	-	
Calcio	mg/L	95	-	647	-	
SAR	me/L	1.9	ottima	55.9	pessima	
utilizzo	-	possibile		sconsigliato)	
		(EC_2, S_1)		(Cl ₄ , Na ₄ , E	C_4, S_4	



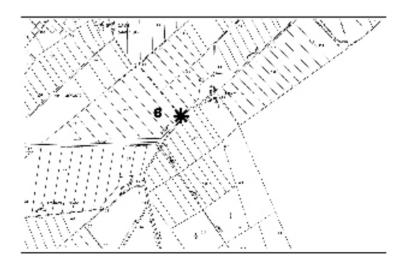
Campione n. 5 - zona: nord-ovest. Fosso delle Acque alte. Tipologia: canale (tenuta di Tombolo).

carattere	u.m.	agosto settembre	qualità	dicembre gennaio	qualità
pН	-	8.0	ottima	7.5	ottima
Conducibilità	dS/m	1.42	buona	12.06	pessima
Cloruri	mg/L	180	buona	3695	pessima
Solfati	mg/L	210	buona	414	buona
Nitrati	mg/L	0	ottima	0	ottima
Fosfati	mg/L	0	ottima	0	ottima
Potassio	mg/L	48	-	83	-
Sodio	mg/L	166	buona	3216	pessima
Magnesio	mg/L	43	-	492	-
Calcio	mg/L	213	-	399	-
SAR	me/L	2.7	ottima	25.6	scarsa
utilizzo	-	possibile		sconsigliate)
		(EC_2, S_1)		(Cl,, Na,, E	C_{a},S_{a}



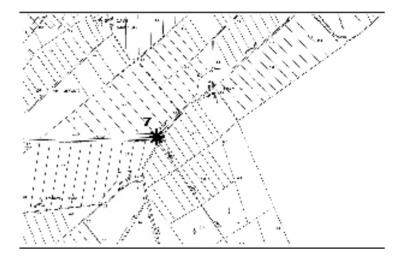
Campione n. 6 - zona: nord-ovest. Collettore settentrionale della bonifica di Tombolo. Tipologia: canale (tenuta di Tombolo).

carattere	u.m.	agosto settembre	qualità	dicembre gennaio	qualità	
pН	-	8.0	ottima	8.0	ottima	
Conducibilità	dS/m	8.16	pessima	6.73	pessima	
Cloruri	mg/L	2377	pessima	2117	pessima	
Solfati	mg/L	222	buona	243	buona	
Nitrati	mg/L	0	ottima	69	buona	
Fosfati	mg/L	0	ottima	0	ottima	
Potassio	mg/L	46	-	41	-	
Sodio	mg/L	1353	pessima	1319	pessima	
Magnesio	mg/L	167	-	172	-	
Calcio	mg/L	251	-	215	-	
SAR	me/L	16.3	buona	16.3	buona	
utilizzo	-	sconsigliato)	sconsigliato)	
		(Cl ₄ , Na ₄ , E	C_4, S_4	(Cl ₄ , Na ₄ , E	C_4, S_4	



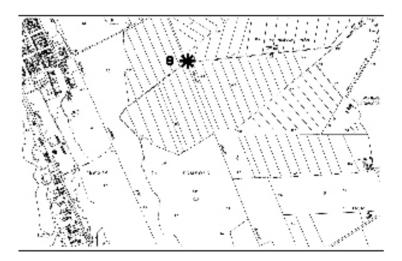
Campione n. 7 - zona: nord-ovest. Fosso Lama Larga versante settentrionale. Tipologia: canale (tenuta di Tombolo).

carattere	u.m.	agosto settembre	qualità	dicembre gennaio	qualità
pН	-	8.3	ottima	8.0	ottima
Conducibilità	dS/m	5.67	pessima	5.12	pessima
Cloruri	mg/L	1559	pessima	1459	pessima
Solfati	mg/L	155	buona	89	ottima
Nitrati	mg/L	0	ottima	0	ottima
Fosfati	mg/L	0	ottima	0	ottima
Potassio	mg/L	39	-	61	-
Sodio	mg/L	1003	pessima	1526	pessima
Magnesio	mg/L	129	-	205	-
Calcio	mg/L	170	-	300	-
SAR	me/L	14.2	buona	16.7	buona
utilizzo	-	sconsigliato		sconsigliato)
		(Cl ₄ , Na ₄ , E	C_4, S_4	(Cl ₄ , Na ₄ , E	C_4, S_4



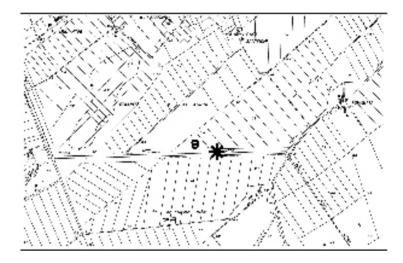
Campione n. 8 - zona: nord-ovest. Fosso Lamone versante settentrionale. Tipologia: canale (tenuta di Tombolo).

1 0						
carattere	u.m.	agosto settembre	qualità	dicembre gennaio	qualità	
pН	-	8.2	ottima	8.0	ottima	
Conducibilità	dS/m	4.25	pessima	5.49	pessima	
Cloruri	mg/L	1107	pessima	1573	pessima	
Solfati	mg/L	135	buona	58	ottima	
Nitrati	mg/L	18	ottima	0	ottima	
Fosfati	mg/L	0	ottima	0	ottima	
Potassio	mg/L	33	-	28	-	
Sodio	mg/L	754	pessima	1139	pessima	
Magnesio	mg/L	104	-	127	-	
Calcio	mg/L	127	-	174	-	
SAR	me/L	12.1	buona	16.1	buona	
utilizzo	-	sconsigliato)	sconsigliate)	
		(Cl ₄ , Na ₄ , E	C_4, S_3	(Cl ₄ , Na ₄ , E	C_4, S_4	



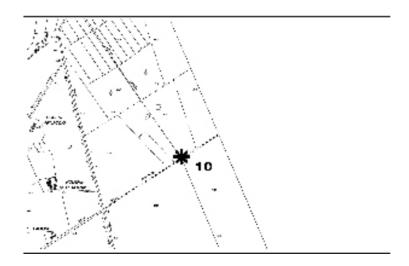
Campione n. 9 - zona: nord-ovest. Fosso Lama Larga versante settentrionale. Tipologia: canale (tenuta di Tombolo).

carattere	u.m.	agosto settembre	qualità	dicembre gennaio	qualità
pН	-	8.5	buona	8.1	ottima
Conducibilità	dS/m	4.16	pessima	5.58	pessima
Cloruri	mg/L	1083	pessima	1710	pessima
Solfati	mg/L	142	buona	123	buona
Nitrati	mg/L	0	ottima	60	buona
Fosfati	mg/L	0	ottima	0	ottima
Potassio	mg/L	40	-	37	-
Sodio	mg/L	794	pessima	1131	pessima
Magnesio	mg/L	112	-	143	-
Calcio	mg/L	142	-	218	-
SAR	me/L	12.1	buona	14.7	buona
utilizzo	-	sconsigliate)	sconsigliato)
		(Cl ₄ , Na ₄ , E	C_4, S_3	(Cl ₄ , Na ₄ , E	C_4, S_4



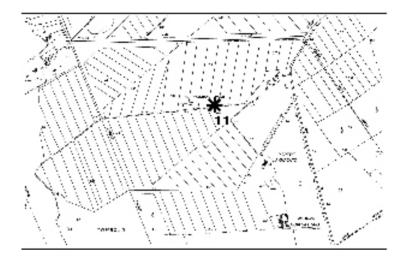
Campione n. 10 - zona: sud-ovest. Fosso Lama Larga versante settentrionale. Tipologia: canale (tenuta di Tombolo).

1 0						
carattere	u.m.	agosto settembre	- qualità	dicembre gennaio	qualità	
pН	-	8.2	ottima	7.8	ottima	
Conducibilità	dS/m	3.88	scarsa	5.23	pessima	
Cloruri	mg/L	893	pessima	1313	pessima	
Solfati	mg/L	86	ottima	165	buona	
Nitrati	mg/L	17	ottima	0	ottima	
Fosfati	mg/L	0	ottima	0	ottima	
Potassio	mg/L	40	-	51	-	
Sodio	mg/L	767	pessima	1331	pessima	
Magnesio	mg/L	102	-	181	-	
Calcio	mg/L	168	-	321	-	
SAR	me/L	11.6	buona	14.8	buona	
utilizzo	-	sconsigliate	0	sconsigliate)	
		(Cl ₄ , Na ₄ , E	C_3, S_3	(Cl ₄ , Na ₄ , E	C_4, S_4	



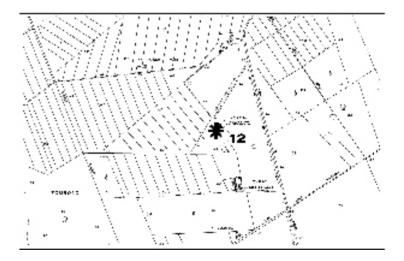
Campione n. 11 - zona: sud-ovest. Colatore nr. 3 del Lamone versante settentrionale Tipologia: canale (tenuta di Tombolo).

carattere	u.m.	agosto settembre	qualità	dicembre gennaio	qualità
pН	-	8.3	ottima	7.7	ottima
Conducibilità	dS/m	0.76	buona	0.76	buona
Cloruri	mg/L	17	ottima	18	ottima
Solfati	mg/L	77	ottima	27	ottima
Nitrati	mg/L	0	ottima	0	ottima
Fosfati	mg/L	0	ottima	0	ottima
Potassio	mg/L	14	-	5	-
Sodio	mg/L	109	buona	72	buona
Magnesio	mg/L	24	-	40	-
Calcio	mg/L	201	-	209	-
SAR	me/L	1.9	ottima	1.2	ottima
utilizzo	-	possibile		possibile	
		(EC_2, S_1)		(EC_2, S_1)	



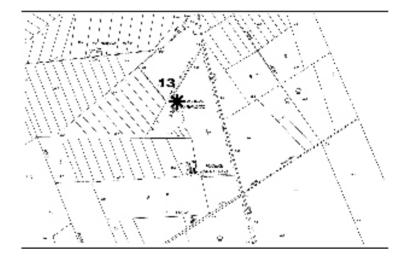
Campione n. 12 - zona: sud-ovest. Località Podere Arnaccio. Tipologia: invaso (tenuta di Tombolo).

carattere	u.m.	agosto settembre	qualità	dicembre	qualità
pH		7.8	ottima	gennaio 8.0	<u> </u>
	-				ottima
Conducibilità	dS/m	0.10	ottima	0.83	buona
Cloruri	mg/L	140	buona	128	buona
Solfati	mg/L	17	ottima	4	ottima
Nitrati	mg/L	17	ottima	0	ottima
Fosfati	mg/L	0	ottima	0	ottima
Potassio	mg/L	29	-	14	-
Sodio	mg/L	185	scarsa	159	buona
Magnesio	mg/L	47	-	49	-
Calcio	mg/L	160	-	181	-
SAR	me/L	3.3	ottima	2.7	ottima
utilizzo	-	possibile		possibile	
		$(Na_3, EC_1, S$	1)	(EC_2, S_1)	



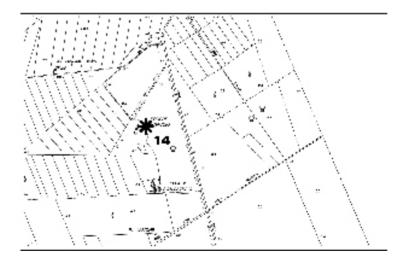
Campione n. 13 - zona: sud-ovest. Località Podere Arnaccio Tipologia: invaso (tenuta di Tombolo).

carattere	u.m.	agosto settembre	qualità	dicembre gennaio	qualità
pН	-	7.8	ottima	8.3	ottima
Conducibilità	dS/m	0.45	ottima	0.38	ottima
Cloruri	mg/L	-	-	14	ottima
Solfati	mg/L	17	ottima	1	ottima
Nitrati	mg/L	17	ottima	0	ottima
Fosfati	mg/L	0	ottima	0	ottima
Potassio	mg/L	7	-	10	-
Sodio	mg/L	42	ottima	30	ottima
Magnesio	mg/L	18	-	0	-
Calcio	mg/L	186	-	188	-
SAR	me/L	0.8	ottima	0.6	ottima
utilizzo	-	possibile		possibile	
		(EC_1, S_1)		(EC_1, S_1)	



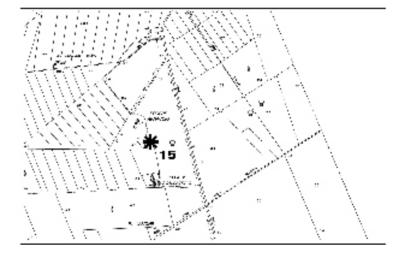
Campione n. 14 - zona: sud-ovest. Località Podere Arnaccio Tipologia: invaso (tenuta di Tombolo).

carattere	u.m.	agosto settembre	qualità	dicembre gennaio	qualità
pН	-	8.9	buona	8.3	ottima
Conducibilità	dS/m	0.16	ottima	0.24	ottima
Cloruri	mg/L	-	-	3	ottima
Solfati	mg/L	10	ottima	1	ottima
Nitrati	mg/L	19	ottima	61	buona
Fosfati	mg/L	0	ottima	0	ottima
Potassio	mg/L	6	-	5	-
Sodio	mg/L	5	ottima	61	buona
Magnesio	mg/L	4	-	18	-
Calcio	mg/L	61	-	181	-
SAR	me/L	0.2	ottima	1.2	ottima
utilizzo	-	possibile		possibile	
		(EC_1, S_1)		(EC_1, S_1)	



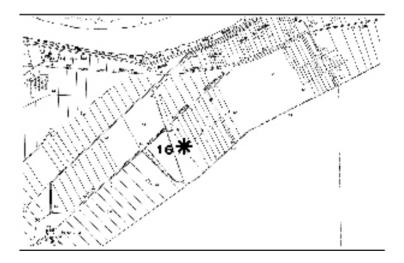
Campione n. 15 - zona: sud-ovest. Località Podere Arnaccio Tipologia: laghetto (tenuta di Tombolo).

carattere	u.m.	agosto settembre	qualità	dicembre gennaio	qualità
pН	-	8.3	ottima	8.0	ottima
Conducibilità	dS/m	1.29	buona	0.94	buona
Cloruri	mg/L	222	buona	80	ottima
Solfati	mg/L	76	ottima	25	ottima
Nitrati	mg/L	0	ottima	0	ottima
Fosfati	mg/L	0	ottima	0	ottima
Potassio	mg/L	14	-	7	-
Sodio	mg/L	385	pessima	139	buona
Magnesio	mg/L	74	-	47	-
Calcio	mg/L	231	-	1	-
SAR	me/L	5.7	ottima	4.4	ottima
utilizzo	-	possibile		possibile	
		(Na ₄ , EC ₂ , S	2)	(EC_2, S_1)	



Campione n. 16 - zona: nord-est. Località Pratone. Tipologia: fosso (tenuta di Tombolo).

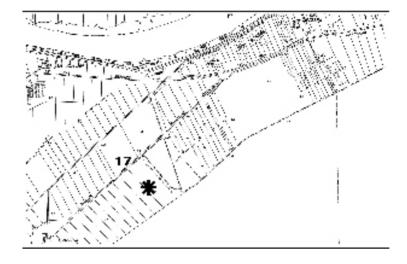
carattere	u.m.	agosto settembre	qualità	dicembre gennaio	qualità
pН	-	7.3	ottima	7.9	ottima
Conducibilità	dS/m	3.09	scarsa	0.90	buona
Cloruri	mg/L	626	pessima	58	ottima
Solfati	mg/L	289	buona	30	ottima
Nitrati	mg/L	17	ottima	94	buona
Fosfati	mg/L	0	ottima	0	buona
Potassio	mg/L	15	-	59	-
Sodio	mg/L	283	pessima	4	ottima
Magnesio	mg/L	59	-	40	-
Calcio	mg/L	190	-	334	-
SAR	me/L	4.6	ottima	0.1	ottima
utilizzo	-	limitato		possibile	
		(Cl ₄ , Na ₄ , E	C_3, S_2	(EC_2, S_1)	



Campione n. 17 - zona: nord-est. Località Pratone.

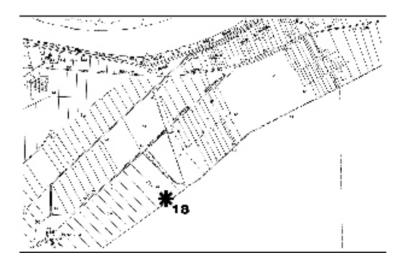
Tipologia: laghetto (tenuta di Tombolo).

carattere	u.m.	agosto settembre	qualità	dicembre gennaio	qualità
pН	-	7.8	ottima	7.9	ottima
Conducibilità	dS/m	2.26	buona	2.83	scarsa
Cloruri	mg/L	443	pessima	602	pessima
Solfati	mg/L	33	ottima	111	buona
Nitrati	mg/L	17	ottima	65	buona
Fosfati	mg/L	0	ottima	0	ottima
Potassio	mg/L	12	-	28	-
Sodio	mg/L	534	pessima	576	pessima
Magnesio	mg/L	72	-	79	-
Calcio	mg/L	409	-	312	-
SAR	me/L	6.4	buona	7.6	buona
utilizzo	-	limitato (Cl ₄ , Na ₄ , E	C ()	limitato (Cl _s , Na _s , E	C \$)



Campione n. 18 - zona: nord-est. Località Pratone Tipologia: fosso (tenuta di Tombolo).

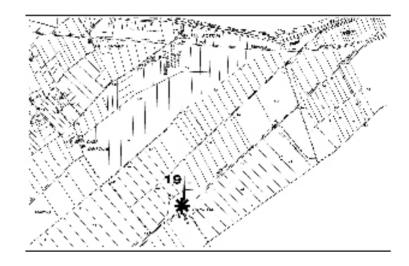
carattere	u.m.	agosto settembre	qualità	dicembre gennaio	qualità	
pН	-	7.6	ottima	7.4	ottima	
Conducibilità	dS/m	1.02	buona	2.13	buona	
Cloruri	mg/L	229	buona	448	pessima	
Solfati	mg/L	78	ottima	196	buona	
Nitrati	mg/L	0	ottima	0	ottima	
Fosfati	mg/L	0	ottima	0	ottima	
Potassio	mg/L	29	-	16	-	
Sodio	mg/L	183	scarsa	407	pessima	
Magnesio	mg/L	50	-	68	-	
Calcio	mg/L	582	-	520	-	
SAR	me/L	2.0	ottima	4.5	ottima	
utilizzo	-	possibile		limitato		
		(Na_3,EC_2,S_1))	(Cl ₄ , Na ₄ , E	C_2, S_2	



Campione n. 19 - zona: nord-ovest. Località Torretta

Tipologia: pozzo (tenuta di Tombolo).

carattere	u.m.	agosto settembre	qualità	dicembre gennaio	qualità
pН	-	8.5	buona	8.3	ottima
Conducibilità	dS/m	0.64	ottima	0.99	buona
Cloruri	mg/L	21	ottima	64	ottima
Solfati	mg/L	41	ottima	123	buona
Nitrati	mg/L	23	ottima	0	ottima
Fosfati	mg/L	0	ottima	0	ottima
Potassio	mg/L	14	-	53	-
Sodio	mg/L	280	pessima	95	buona
Magnesio	mg/L	54	-	68	-
Calcio	mg/L	197	-	293	-
SAR	me/L	4.6	ottima	1.3	ottima
utilizzo	-	possibile		possibile	
		(Na ₄ , EC ₁ , S	1)	(EC_2, S_1)	



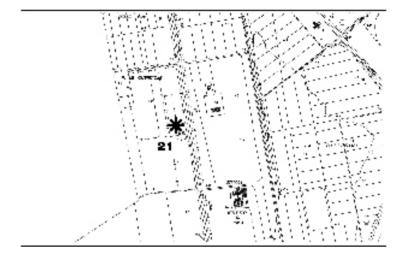
Campione n. 20 - zona: nord-est. Località Podere delle Fornaci (Fornacina) Tipologia: pozzo (tenuta di Tombolo).

carattere	u.m.	agosto settembre	qualità	dicembre gennaio	qualità
pН	-	8.1	ottima	8.0	ottima
Conducibilità	dS/m	0.76	buona	0.89	buona
Cloruri	mg/L	-	-	166	buona
Solfati	mg/L	61	ottima	128	buona
Nitrati	mg/L	22	ottima	95	buona
Fosfati	mg/L	35	ottima	0	ottima
Potassio	mg/L	44	-	34	-
Sodio	mg/L	127	buona	98	buona
Magnesio	mg/L	33	-	55	-
Calcio	mg/L	221	-	191	-
SAR	me/L	2.1	ottima	1.6	ottima
utilizzo	-	possibile		possibile	
		(EC_2, S_1)		(EC_2, S_1)	



Campione n. 21 - zona: sud-est. Località Podere Le Quercete (Podere Bargagna) Tipologia:pozzo (tenuta di Tombolo).

carattere	u.m.	agosto settembre	qualità	dicembre gennaio	qualità
pН	-	7.0	ottima	7.4	ottima
Conducibilità	dS/m	2.06	buona	2.45	buona
Cloruri	mg/L	97	ottima	525	pessima
Solfati	mg/L	523	buona	89	ottima
Nitrati	mg/L	36	ottima	0	ottima
Fosfati	mg/L	0	ottima	0	ottima
Potassio	mg/L	37	-	22	-
Sodio	mg/L	62	buona	480	pessima
Magnesio	mg/L	45	-	116	-
Calcio	mg/L	247	-	1	-
SAR	me/L	1.0	ottima	9.6	buona
utilizzo	-	possibile		limitato	
		(EC_{2}, S_{1})		(Na ₄ , EC ₂ , S	3)



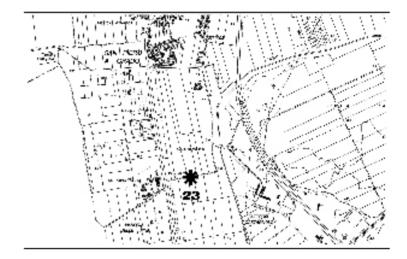
Campione n. 22 - zona: nord-est. Canale ex-Bonifica dei Navicelli Tipologia: canale (tenuta di Tombolo).

1 0		•			
carattere	u.m.	agosto settembre	qualità	dicembre gennaio	qualità
pН	-	7.5	ottima	8.0	ottima
Conducibilità	dS/m	1.72	buona	1.32	buona
Cloruri	mg/L	232	buona	202	buona
Solfati	mg/L	179	buona	100	ottima
Nitrati	mg/L	36	ottima	64	buona
Fosfati	mg/L	0	ottima	0	ottima
Potassio	mg/L	18	-	12	-
Sodio	mg/L	299	pessima	233	pessima
Magnesio	mg/L	122	-	73	-
Calcio	mg/L	516	-	306	-
SAR	me/L	3.1	ottima	3.1	ottima
utilizzo	-	possibile		possibile	
		$(Na_4, EC_2, S$	(1)	(Na ₄ , EC ₂ , S	(1)



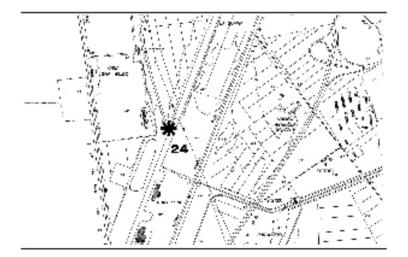
Campione n. 23 - zona: nord-est. Località Castagnolo Tipologia: fosso (tenuta di Tombolo).

carattere	u.m.	agosto settembre	qualità	dicembre gennaio	qualità
pН	-	7.4	ottima	7.7	ottima
Conducibilità	dS/m	0.87	buona	0.88	buona
Cloruri	mg/L	149	buona	66	ottima
Solfati	mg/L	55	ottima	92	ottima
Nitrati	mg/L	0	ottima	0	ottima
Fosfati	mg/L	0	ottima	0	ottima
Potassio	mg/L	25	-	13	-
Sodio	mg/L	297	pessima	96	buona
Magnesio	mg/L	72	-	47	-
Calcio	mg/L	329	-	293	-
SAR	me/L	3.9	ottima	1.4	ottima
utilizzo	-	possibile		possibile	
		(Na,, EC,, S	,)	(EC_3, S_1)	



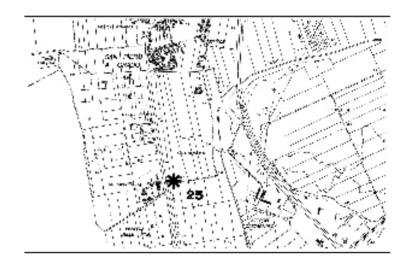
Campione n. 24 - zona: sud-est. Canale dei Navicelli. Tipologia: canale (tenuta di Tombolo).

carattere	u.m.	agosto settembre	qualità	dicembre gennaio	qualità
pН	-	8.2	ottima	7.4	ottima
Conducibilità	dS/m	3.70	scarsa	6.76	pessima
Cloruri	mg/L	1200	pessima	1947	pessima
Solfati	mg/L	101	buona	403	buona
Nitrati	mg/L	33	ottima	62	buona
Fosfati	mg/L	0	ottima	0	ottima
Potassio	mg/L	47	-	67	-
Sodio	mg/L	1432	pessima	1535	pessima
Magnesio	mg/L	158	-	264	-
Calcio	mg/L	60	-	279	-
SAR	me/L	22.1	scarsa	15.9	buona
utilizzo	-	sconsigliato)	sconsigliate)
		(Cl ₄ , Na ₄ , E	C_3, S_4	(Cl ₄ , Na ₄ , E	C_4, S_4



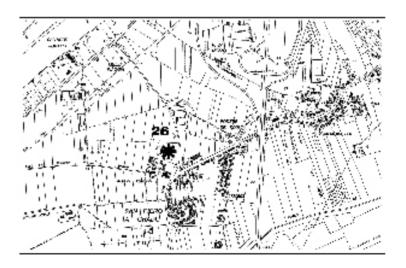
Campione n. 25 - zona: nord-est. Località Castagnolo (Bigattiera). Tipologia: pozzo (tenuta di Tombolo).

carattere	u.m.	agosto settembre	qualità	dicembre gennaio	qualità
pН	-	8.9	buona	9.1	scarsa
Conducibilità	dS/m	2.26	buona	2.47	buona
Cloruri	mg/L	363	pessima	643	pessima
Solfati	mg/L	-	-	87	ottima
Nitrati	mg/L	34	ottima	0	ottima
Fosfati	mg/L	0	ottima	0	ottima
Potassio	mg/L	7	-	32	-
Sodio	mg/L	71	buona	642	pessima
Magnesio	mg/L	40	-	259	-
Calcio	mg/L	321	-	94	-
SAR	me/L	1.0	ottima	7.8	buona
utilizzo	-	possibile		limitato	
		(Cl_4, EC_2, S_1))	(Cl ₄ , Na ₄ , E0	C_3, S_2



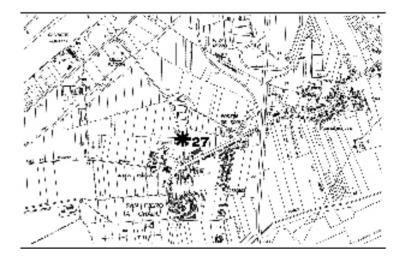
Campione n. 26 - zona: nord-est. Località Podere dei Sodi (presso il Ciraa) Tipologia: pozzo (tenuta di Tombolo).

carattere	u.m.	agosto settembre	qualità	dicembre gennaio	qualità
pН	-	7.7	ottima	8.0	ottima
Conducibilità	dS/m	1.04	buona	1.71	buona
Cloruri	mg/L	95	ottima	293	scarsa
Solfati	mg/L	59	ottima	236	buona
Nitrati	mg/L	33	ottima	0	ottima
Fosfati	mg/L	0	ottima	0	ottima
Potassio	mg/L	83	-	47	-
Sodio	mg/L	349	pessima	158	buona
Magnesio	mg/L	57	-	0	-
Calcio	mg/L	216	-	263	-
SAR	me/L	5.5	ottima	2.7	ottima
utilizzo	-	possibile		possibile	
		(Na ₄ , EC ₂ , S	,)	(Cl_3, EC_3, S))



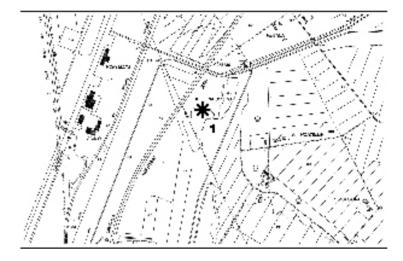
Campione n. 27 - zona: nord-est. Località Podere dei Sodi (Casa Spinelli) Tipologia: pozzo (tenuta di Tombolo).

carattere	u.m.	agosto settembre	qualità	dicembre gennaio	qualità
pН	-	7.4	ottima	7.3	ottima
Conducibilità	dS/m	0.77	buona	1.39	buona
Cloruri	mg/L	31	ottima	139	buona
Solfati	mg/L	72	ottima	243	buona
Nitrati	mg/L	0	ottima	0	ottima
Fosfati	mg/L	0	ottima	0	ottima
Potassio	mg/L	55	-	6	-
Sodio	mg/L	264	pessima	128	buona
Magnesio	mg/L	49	-	88	-
Calcio	mg/L	177	-	416	-
SAR	me/L	4.5	ottima	1.5	ottima
utilizzo	-	possibile		possibile	
		(Na ₄ , EC ₂ , S	1)	(EC_2, S_1)	



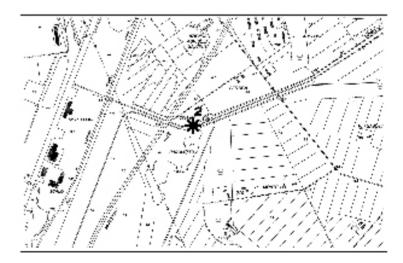
Campione n. 1 - zona: ovest. Località il Paludetto. Tipologia: laghetto (tenuta di Coltano).

carattere	u.m.	agosto settembre	qualità	dicembre gennaio	qualità
pН	-	8.3	ottima	7.2	ottima
Conducibilità	dS/m	4.40	pessima	4.67	pessima
Cloruri	mg/L	1094	pessima	5457	pessima
Solfati	mg/L	113	buona	800	buona
Nitrati	mg/L	2	ottima	0	ottima
Fosfati	mg/L	0	ottima	0	ottima
Potassio	mg/L	3	-	187	-
Sodio	mg/L	8	ottima	5107	pessima
Magnesio	mg/L	9	-	793	-
Calcio	mg/L	10	-	407	-
SAR	me/L	0.5	ottima	34.1	pessima
utilizzo	-	limitato		sconsigliate	D
		(Cl ₄ , EC ₄ , S)	(Cl ₄ , Na ₄ , E	C_4, S_4



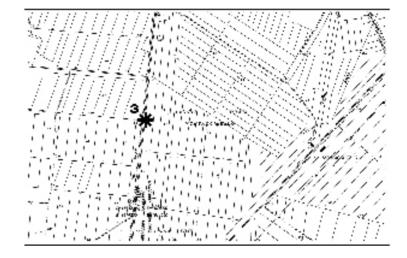
Campione n. 2 - zona: ovest. Collettore Principale Tipologia: canale (tenuta di Coltano).

carattere	u.m.	agosto settembre	qualità	dicembre gennaio	qualità
pН	-	7.6	ottima	6.8	ottima
Conducibilità	dS/m	5.70	pessima	6.54	pessima
Cloruri	mg/L	1467	pessima	6794	pessima
Solfati	mg/L	160	buona	1135	buona
Nitrati	mg/L	2	ottima	0	ottima
Fosfati	mg/L	0	ottima	0	ottima
Potassio	mg/L	7	-	288	-
Sodio	mg/L	206	scarsa	6979	pessima
Magnesio	mg/L	7	-	1074	-
Calcio	mg/L	14	-	539	-
SAR	me/L	7.5	buona	40.1	pessima
utilizzo	-	sconsigliate)	sconsigliate	D .
		(Cl ₄ , Na ₃ , E	C_4, S_3	(Cl ₄ , Na ₄ , E	C_4, S_4



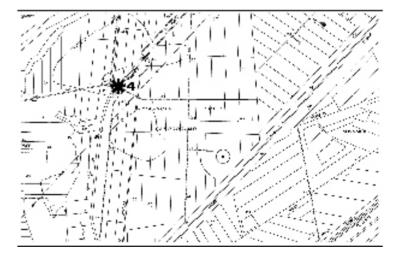
Campione n. 3 - zona: est. Fosso del Caligi Tipologia: canale (tenuta di Coltano).

carattere	u.m.	agosto settembre	qualità	dicembre gennaio	qualità
pН	-	9.2	scarsa	8.3	ottima
Conducibilità	dS/m	1.21	buona	1.19	buona
Cloruri	mg/L	28	ottima	222	buona
Solfati	mg/L	9	ottima	137	buona
Nitrati	mg/L	0	ottima	48	ottima
Fosfati	mg/L	0	ottima	0	ottima
Potassio	mg/L	3	-	38	-
Sodio	mg/L	50	ottima	667	pessima
Magnesio	mg/L	7	-	190	-
Calcio	mg/L	14	-	611	-
SAR	me/L	2.7	ottima	6.1	buona
utilizzo	-	possibile		possibile	
		(EC_2, S_1)		(Na ₄ , EC ₂ , S	S_2



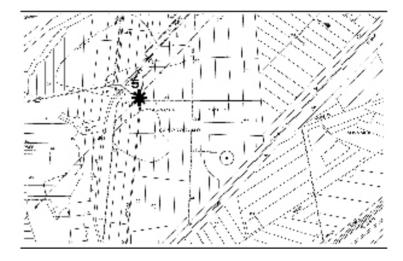
Campione n. 4 - zona: est. Fosso di Titignano Tipologia: canale (tenuta di Coltano).

carattere	u.m.	agosto settembre	qualità	dicembre gennaio	qualità
pН	-	8.6	buona	8.1	ottima
Conducibilità	dS/m	1.96	buona	1.15	buona
Cloruri	mg/L	27	ottima	186	buona
Solfati	mg/L	5	ottima	103	buona
Nitrati	mg/L	0	ottima	0	ottima
Fosfati	mg/L	0	ottima	0	ottima
Potassio	mg/L	5	-	50	-
Sodio	mg/L	80	buona	537	pessima
Magnesio	mg/L	6	-	143	-
Calcio	mg/L	16	-	544	-
SAR	me/L	4.4	ottima	5.3	ottima
utilizzo	-	possibile		possibile	
		(EC_2, S_1)		$(Na_4, EC_2, S$	S_2



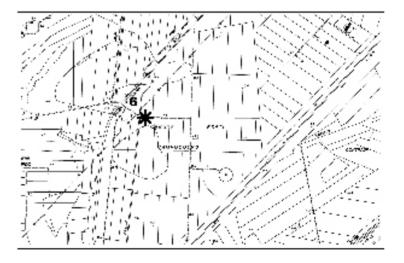
Campione n. 5 - zona: est. Antifosso del Caligi Tipologia: canale (tenuta di Coltano).

carattere	u.m.	agosto settembre	qualità	dicembre gennaio	qualità
pН	-	8.1	ottima	8.1	ottima
Conducibilità	dS/m	1.28	buona	1.34	buona
Cloruri	mg/L	11	ottima	230	buona
Solfati	mg/L	1	ottima	92	ottima
Nitrati	mg/L	2	ottima	0	ottima
Fosfati	mg/L	0	ottima	0	ottima
Potassio	mg/L	3	-	38	-
Sodio	mg/L	60	buona	651	pessima
Magnesio	mg/L	4	-	228	-
Calcio	mg/L	14	-	598	-
SAR	me/L	3.6	ottima	5.8	ottima
utilizzo	-	possibile		possibile	
		(EC_3, S_1)		(Na, EC, S	S_{2}



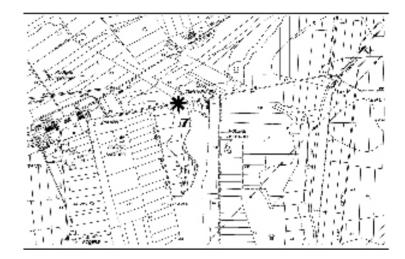
Campione n. 6 - zona: nord-est. Località Tenuta di Campodolmo Tipologia: pozzo (tenuta di Coltano).

carattere	u.m.	agosto settembre	qualità	dicembre gennaio	qualità
pН	-	7.6	ottima	7.7	ottima
Conducibilità	dS/m	0.57	ottima	0.61	ottima
Cloruri	mg/L	4	ottima	23	ottima
Solfati	mg/L	16	ottima	111	buona
Nitrati	mg/L	2	ottima	0	ottima
Fosfati	mg/L	0	ottima	0	ottima
Potassio	mg/L	1	-	48	-
Sodio	mg/L	31	ottima	118	buona
Magnesio	mg/L	12	-	96	-
Calcio	mg/L	25	-	2	-
SAR	me/L	1.3	ottima	2.6	ottima
utilizzo	-	possibile		possibile	
		(EC_1, S_1)		(EC_1, S_1)	



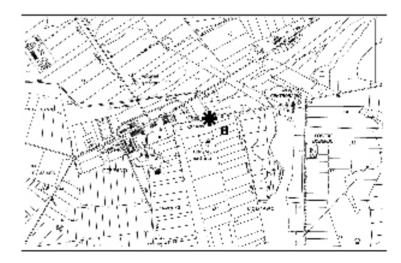
Campione n. 7 - zona: centro-sud. Canale Colatore Bassanera Tipologia: canale (tenuta di Coltano).

carattere	u.m.	agosto settembre	qualità	dicembre gennaio	qualità
pН	-	7.2	ottima	5.9	buona
Conducibilità	dS/m	2.85	scarsa	1.34	buona
Cloruri	mg/L	32	ottima	135	buona
Solfati	mg/L	73	ottima	610	buona
Nitrati	mg/L	0	ottima	0	ottima
Fosfati	mg/L	0	ottima	0	ottima
Potassio	mg/L	2	-	7	-
Sodio	mg/L	18	ottima	194	scarsa
Magnesio	mg/L	6	-	123	-
Calcio	mg/L	25	-	298	-
SAR	me/L	0.8	ottima	2.4	ottima
utilizzo	-	possibile		possibile	
		(EC_3, S_1)		(Na ₃ , EC ₂ , S	ζ_1)



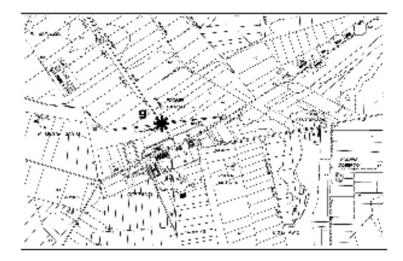
Campione n. 8 - zona: centro-sud. Canale Allacciante Bassanera Tipologia: canale (tenuta di Coltano).

carattere	u.m.	agosto settembre	qualità	dicembre gennaio	qualità
pН	-	8.4	ottima	7.9	ottima
Conducibilità	dS/m	4.44	pessima	0.91	buona
Cloruri	mg/L	474	pessima	181	buona
Solfati	mg/L	25	ottima	15	ottima
Nitrati	mg/L	2	ottima	0	ottima
Fosfati	mg/L	0	ottima	0	ottima
Potassio	mg/L	3	-	19	-
Sodio	mg/L	45	ottima	216	pessima
Magnesio	mg/L	17	-	62	-
Calcio	mg/L	45	-	144	-
SAR	me/L	1.5	ottima	3.8	ottima
utilizzo	-	limitato		possibile	
		(Cl_4, EC_4, S_1)	,)	$(Na_4, EC_2, S$; ₁)



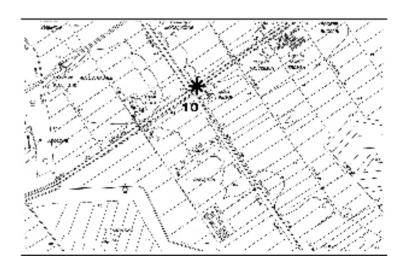
Campione n. 9 - zona: centro-sud. Canale Allacciante sud-ovest Tipologia: canale (tenuta di Coltano).

carattere	u.m.	agosto settembre	qualità	dicembre gennaio	qualità
pН	-	8.3	ottima	7.7	ottima
Conducibilità	dS/m	3.95	pessima	2.12	buona
Cloruri	mg/L	280	scarsa	566	pessima
Solfati	mg/L	17	ottima	73	ottima
Nitrati	mg/L	0	ottima	0	ottima
Fosfati	mg/L	0	ottima	0	ottima
Potassio	mg/L	12	-	27	-
Sodio	mg/L	287	pessima	584	pessima
Magnesio	mg/L	30	-	123	-
Calcio	mg/L	20	-	170	-
SAR	me/L	9.5	buona	8.4	buona
utilizzo	-	limitato		limitato	
		(Cl ₃ , Na ₄ , E	C_3, S_3	(Cl ₄ , Na ₄ , E	C_{2}, S_{2}



Campione n. 10 - zona: centro-nord. Collettore Principale Padule maggiore Tipologia: canale (tenuta di Coltano).

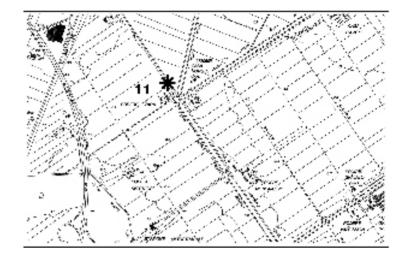
		agosto		dicembre	
carattere	u.m.	settembre	qualità	gennaio	qualità
pН	-	7.9	ottima	6.8	ottima
Conducibilità	dS/m	5.13	pessima	1.73	buona
Cloruri	mg/L	145	buona	175	buona
Solfati	mg/L	32	ottima	610	buona
Nitrati	mg/L	0	ottima	61	buona
Fosfati	mg/L	0	ottima	0	ottima
Potassio	mg/L	10	-	14	-
Sodio	mg/L	247	pessima	253	pessima
Magnesio	mg/L	28	-	143	-
Calcio	mg/L	17	-	402	-
SAR	me/L	8.6	buona	2.8	ottima
utilizzo	-	limitato		possibile	
		(Na ₄ , EC ₄ , S	3)	(Na ₄ , EC ₂ , S	S ₁)



Campione n. 11 - zona: centro-nord. Località Podere Zara.

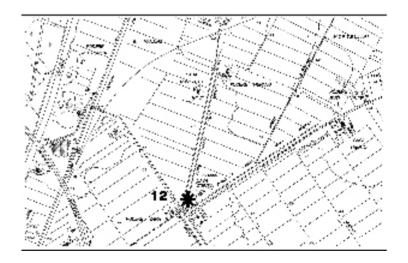
Tipologia: fosso	(tenuta di Coltano).
------------------	----------------------

carattere	u.m.	agosto settembre	qualità	dicembre gennaio	qualità
pН	-	6.5	ottima	5.3	buona
Conducibilità	dS/m	2.15	buona	1.25	buona
Cloruri	mg/L	15	ottima	22	ottima
Solfati	mg/L	95	ottima	734	buona
Nitrati	mg/L	0	ottima	0	ottima
Fosfati	mg/L	0	ottima	0	ottima
Potassio	mg/L	5	-	16	-
Sodio	mg/L	131	buona	93	buona
Magnesio	mg/L	21	-	119	-
Calcio	mg/L	36	-	293	-
SAR	me/L	4.3	ottima	1.2	ottima
utilizzo	-	possibile		possibile	
		(EC_2, S_1)		(EC_2, S_1)	



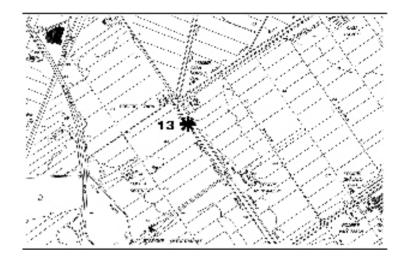
Campione n. 12 - zona: centro-nord. Collettore secondario dei Paduli settentrionali. Tipologia: canale (tenuta di Coltano).

carattere	u.m.	agosto settembre	qualità	dicembre gennaio	qualità
pН	-	7.3	ottima	6.1	ottima
Conducibilità	dS/m	3.57	scarsa	2.89	scarsa
Cloruri	mg/L	58	ottima	540	pessima
Solfati	mg/L	66	ottima	624	buona
Nitrati	mg/L	0	ottima	0	ottima
Fosfati	mg/L	0	ottima	0	ottima
Potassio	mg/L	3	-	21	-
Sodio	mg/L	21	ottima	521	pessima
Magnesio	mg/L	12	-	171	-
Calcio	mg/L	59	-	380	-
SAR	me/L	0.7	ottima	5.6	ottima
utilizzo	-	possibile		limitato	
		(EC_3, S_1)		(Cl ₄ , Na ₄ , E	C_3, S_2



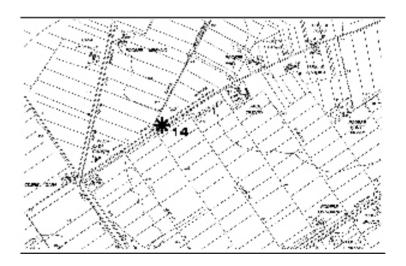
Campione n. 13 - zona: centro-nord. Collettore secondario dei Paduli settentrionali. Tipologia: canale (tenuta di Coltano).

carattere	u.m.	agosto settembre	qualità	dicembre gennaio	qualità
pН	-	7.3	ottima	7.0	ottima
Conducibilità	dS/m	3.54	scarsa	2.41	buona
Cloruri	mg/L	65	ottima	434	pessima
Solfati	mg/L	71	ottima	485	buona
Nitrati	mg/L	2	ottima	0	ottima
Fosfati	mg/L	0	ottima	0	ottima
Potassio	mg/L	3	-	19	-
Sodio	mg/L	64	buona	419	pessima
Magnesio	mg/L	18	-	155	-
Calcio	mg/L	4	-	418	-
SAR	me/L	3.0	ottima	4.5	ottima
utilizzo	-	possibile		limitato	
		(EC_3, S_1)		(Cl., Na., E	C_{3}, S_{3}



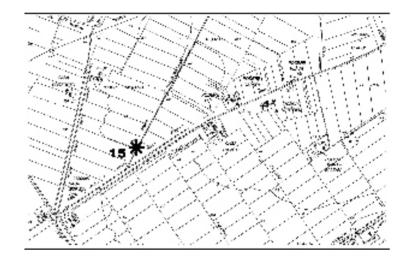
Campione n. 14 - zona: centro-nord. Colatore testa-fosso Tipologia: canale (tenuta di Coltano).

carattere	u.m.	agosto settembre	qualità	dicembre gennaio	qualità
pН	-	8.0	ottima	7.6	ottima
Conducibilità	dS/m	4.35	pessima	1.95	buona
Cloruri	mg/L	87	ottima	313	scarsa
Solfati	mg/L	67	ottima	369	buona
Nitrati	mg/L	2	ottima	0	ottima
Fosfati	mg/L	0	ottima	0	ottima
Potassio	mg/L	3	-	14	-
Sodio	mg/L	62	buona	311	pessima
Magnesio	mg/L	18	-	142	-
Calcio	mg/L	43	-	440	-
SAR	me/L	2.0	ottima	3.3	ottima
utilizzo	-	possibile		possibile	
		(EC_4, S_1)		(Cl ₃ , Na ₄ , E	C_2, S_1



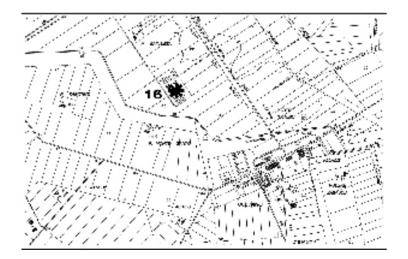
Campione n. 15 - zona: centro-nord. Colatore Siepe Tipologia: canale (tenuta di Coltano).

carattere	u.m.	agosto settembre	qualità	dicembre gennaio	qualità
pН	-	8.6	buona	7.7	ottima
Conducibilità	dS/m	4.31	ottima	1.94	buona
Cloruri	mg/L	79	ottima	314	scarsa
Solfati	mg/L	65	ottima	365	buona
Nitrati	mg/L	1	ottima	0	ottima
Fosfati	mg/L	0	ottima	0	ottima
Potassio	mg/L	5	-	14	-
Sodio	mg/L	85	buona	291	pessima
Magnesio	mg/L	22	-	128	-
Calcio	mg/L	55	-	428	-
SAR	me/L	2.4	ottima	3.2	ottima
utilizzo	-	possibile		possibile	
		(EC_4, S_1)		(Cl ₂ , Na ₄ , E	C_{3}, S_{1}



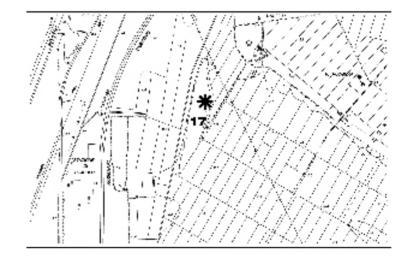
Campione n. 16 - zona: centro-sud. Località Podere Bainsizza. Tipologia: pozzo (tenuta di Coltano).

carattere	u.m.	agosto settembre	qualità	dicembre gennaio	qualità
pН	-	7.6	ottima	7.2	ottima
Conducibilità	dS/m	1.25	buona	0.78	buona
Cloruri	mg/L	145	buona	24	ottima
Solfati	mg/L	93	ottima	61	ottima
Nitrati	mg/L	12	ottima	0	ottima
Fosfati	mg/L	0	ottima	0	ottima
Potassio	mg/L	7	-	33	-
Sodio	mg/L	211	pessima	129	buona
Magnesio	mg/L	85	-	90	-
Calcio	mg/L	285	-	303	-
SAR	me/L	2.8	ottima	1.7	ottima
utilizzo	-	possibile		possibile	
		$(Na_4, EC_2, S$	1)	(EC_2, S_1)	



Campione n. 17 - zona: ovest. Località Stagno. Tipologia: laghetto (tenuta di Coltano).

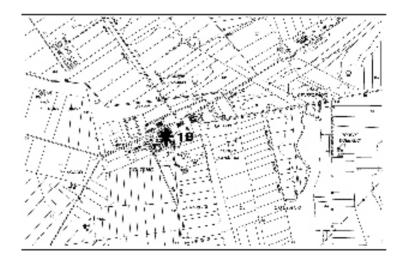
carattere	u.m.	agosto settembre	qualità	dicembre gennaio	qualità
pН	-	8.1	ottima	7.9	ottima
Conducibilità	dS/m	9.24	pessima	8.50	pessima
Cloruri	mg/L	2429	pessima	2498	pessima
Solfati	mg/L	1035	buona	1157	buona
Nitrati	mg/L	0	ottima	0	ottima
Fosfati	mg/L	0	ottima	0	ottima
Potassio	mg/L	71	-	146	-
Sodio	mg/L	2323	pessima	4511	pessima
Magnesio	mg/L	470	-	1082	-
Calcio	mg/L	536	-	1187	-
SAR	me/L	17.7	buona	22.9	scarsa
utilizzo	-	sconsigliato (Cl ₄ , Na ₄ , E		sconsigliate (Cl _a , Na _a , E	



Campione n. 18 - zona: centro-sud. Località abitato di Coltano.

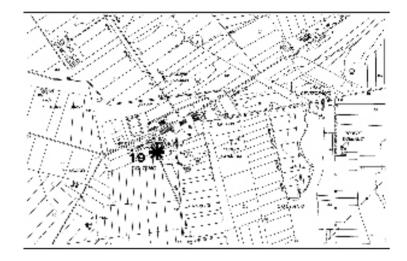
Tipologia: pozzo (tenuta di Coltano).

carattere	u.m.	agosto settembre	qualità	dicembre gennaio	qualità
pН	-	8.1	ottima	8.0	ottima
Conducibilità	dS/m	0.35	ottima	1.13	buona
Cloruri	mg/L	14	ottima	248	buona
Solfati	mg/L	12	ottima	4	ottima
Nitrati	mg/L	24	ottima	0	ottima
Fosfati	mg/L	0	ottima	0	ottima
Potassio	mg/L	21	-	6	-
Sodio	mg/L	39	ottima	260	ottima
Magnesio	mg/L	25	-	117	-
Calcio	mg/L	91	-	265	-
SAR	me/L	0.9	ottima	3.4	ottima
utilizzo	-	possibile		possibile	
		(EC_1, S_1)		(Na ₄ , EC ₂ , S	S_1)



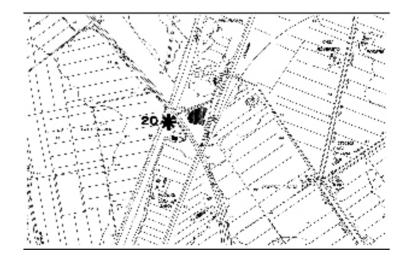
Campione n. 19 - zona: centro-sud. Località abitato di Coltano. Tipologia: pozzo (tenuta di Coltano).

carattere	u.m.	agosto settembre	qualità	dicembre gennaio	qualità
pН	-	7.4	ottima	7.8	ottima
Conducibilità	dS/m	1.14	buona	1.24	buona
Cloruri	mg/L	156	buona	152	buona
Solfati	mg/L	79	ottima	109	buona
Nitrati	mg/L	12	ottima	0	ottima
Fosfati	mg/L	0	ottima	0	ottima
Potassio	mg/L	5	-	15	-
Sodio	mg/L	187	scarsa	237	pessima
Magnesio	mg/L	71	-	119	-
Calcio	mg/L	1	-	375	-
SAR	me/L	4.8	ottima	2.7	ottima
utilizzo	-	possibile)	possibile	:)
		(Na ₃ , EC ₂ , S	1)	(Na ₄ , EC ₂ , S	; ₁)



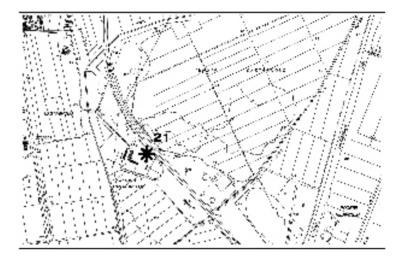
Campione n. 20 - zona: ovest. Canale Navigabile dei Navicelli. Tipologia: canale (tenuta di Coltano).

carattere	u.m.	agosto settembre	qualità	dicembre gennaio	qualità
pН	-	8.5	buona	7.4	ottima
Conducibilità	dS/m	34.30	pessima	8.53	pessima
Cloruri	mg/L	8190	pessima	2734	pessima
Solfati	mg/L	990	buona	496	buona
Nitrati	mg/L	60	buona	61	buona
Fosfati	mg/L	0	ottima	0	ottima
Potassio	mg/L	427	-	64	-
Sodio	mg/L	12933	pessima	1820	pessima
Magnesio	mg/L	1408	-	301	-
Calcio	mg/L	562	-	266	-
SAR	me/L	66.6	pessima	18.2	buona
utilizzo	-	sconsigliato)	sconsigliate	D
		(Cl ₄ , Na ₄ , E	C_4, S_4	(Cl ₄ , Na ₄ , E	C_4, S_4



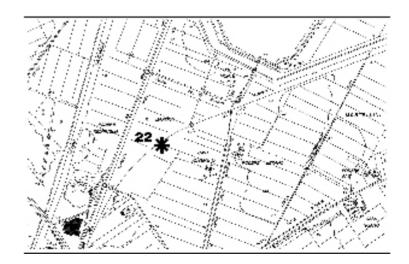
Campione n. 21 - zona: ovest. Località Fattoria di Castagnolo. Tipologia: pozzo (tenuta di Coltano).

carattere	u.m.	agosto settembre	qualità	dicembre gennaio	qualità
pН	-	6.3	ottima	6.4	ottima
Conducibilità	dS/m	0.60	ottima	0.74	ottima
Cloruri	mg/L	20	ottima	139	buona
Solfati	mg/L	99	ottima	192	buona
Nitrati	mg/L	88	buona	0	ottima
Fosfati	mg/L	0	ottima	0	ottima
Potassio	mg/L	21	-	51	-
Sodio	mg/L	279	pessima	120	buona
Magnesio	mg/L	189	-	131	-
Calcio	mg/L	66	-	141	-
SAR	me/L	4.0	buona	1.8	ottima
utilizzo	-	possibile		possibile	
		$(Na_4, EC_1, S$	1)	(EC_1, S_1)	



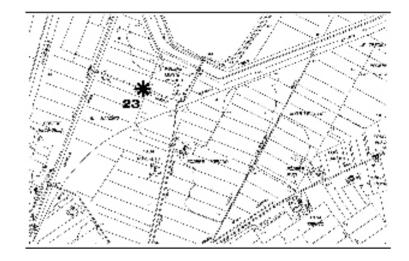
Campione n. 22 - zona: centro-nord. Località Casa Rovereto. Tipologia: fosso (tenuta di Coltano).

carattere	u.m.	giugno	qualità	dicembre gennaio	qualità
pН	-	6.7	ottima	-	-
Conducibilità	dS/m	3.29	scarsa	-	-
Cloruri	mg/L	1146	pessima	-	-
Solfati	mg/L	2330	buona	-	-
Nitrati	mg/L	-	-	-	-
Fosfati	mg/L	-	-	-	-
Potassio	mg/L	48	-	-	-
Sodio	mg/L	624	pessima	-	-
Magnesio	mg/L	228	-	-	-
Calcio	mg/L	508	-	-	-
SAR	me/L	5.8	ottima	-	-
utilizzo	-	limitato		-	
		(Cl ₄ , Na ₄ ,	EC_3, S_2		



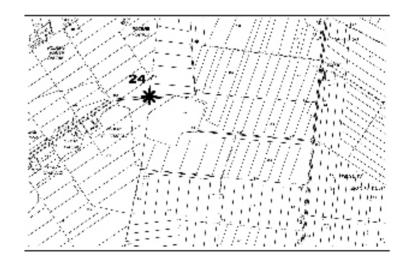
Campione n. 23 - zona: centro-nord. Fosso Manzino Tipologia: canale (tenuta di Coltano).

carattere	u.m.	giugno	qualità	dicembre gennaio	qualità
pН	-	6.9	ottima	-	-
Conducibilità	dS/m	3.37	scarsa	-	-
Cloruri	mg/L	974	pessima	-	-
Solfati	mg/L	1740	buona	-	-
Nitrati	mg/L	-	-	-	-
Fosfati	mg/L	-	-	-	-
Potassio	mg/L	242	-	-	-
Sodio	mg/L	480	pessima	-	-
Magnesio	mg/L	132	-	-	-
Calcio	mg/L	344	-	-	-
SAR	me/L	5.6	ottima	-	-
utilizzo	-	limitato	-		
		(Cl ₄ , Na ₄ , I	EC_3, S_2		



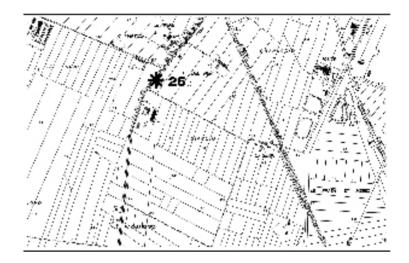
Campione n. 24 - zona: est. Fosso di Confine. Tipologia: canale (tenuta di Coltano).

carattere	u.m.	giugno	qualità	dicembre gennaio	qualità
pН	-	7.9	ottima	-	-
Conducibilità	dS/m	3.51	scarsa	-	-
Cloruri	mg/L	1464	pessima	-	-
Solfati	mg/L	1073	buona	-	-
Nitrati	mg/L	-	-	-	-
Fosfati	mg/L	-	-	-	-
Potassio	mg/L	51	-	-	-
Sodio	mg/L	719	pessima	-	-
Magnesio	mg/L	161	-	-	-
Calcio	mg/L	293	-	-	-
SAR	me/L	8.4	buona	-	-
utilizzo	-	limitato	-		
		(Cl ₄ , Na ₄ , I	EC_3, S_2		



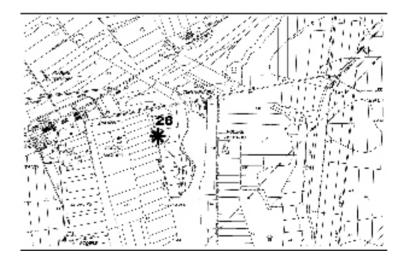
Campione n. 25 - zona: est. Fosso del Caligi. Tipologia: canale (tenuta di Coltano).

carattere	u.m.	giugno	qualità	dicembre gennaio	qualità
pН	-	7.7	ottima	-	-
Conducibilità	dS/m	1.11	buona	-	-
Cloruri	mg/L	236	buona	-	-
Solfati	mg/L	92	ottima	-	-
Nitrati	mg/L	-	-	-	-
Fosfati	mg/L	-	-	-	-
Potassio	mg/L	12	-	-	-
Sodio	mg/L	190	scarsa	-	-
Magnesio	mg/L	26	-	-	-
Calcio	mg/L	77	-	-	-
SAR	me/L	15.1	buona	-	-
utilizzo	-	possibile	-		
		(Na ₃ , EC ₃ ,	S_3)		



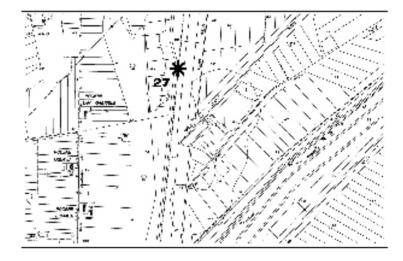
Campione n. 26 - zona: centro-sud. Allacciante Bassanera. Tipologia: canale (tenuta di Coltano).

carattere	u.m.	giugno	qualità	dicembre gennaio	qualità
pН	-	7.7	ottima	-	-
Conducibilità	dS/m	5.38	pessima	-	-
Cloruri	mg/L	2934	pessima	-	-
Solfati	mg/L	264	buona	-	-
Nitrati	mg/L	-	-	-	-
Fosfati	mg/L	-	-	-	-
Potassio	mg/L	160	-	-	-
Sodio	mg/L	1286	pessima	-	-
Magnesio	mg/L	136	-	-	-
Calcio	mg/L	154	-	-	-
SAR	me/L	18.2	buona	-	-
utilizzo	-	sconsiglia	to -		
		(Cl., Na.,	EC.,S.)		



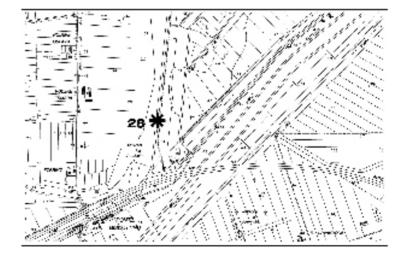
Campione n. 27 - zona: est. Fosso del Caligi. Tipologia: canale (tenuta di Coltano).

carattere	u.m.	giugno	qualità	dicembre gennaio	qualità
pН	-	7.8	ottima	-	-
Conducibilità	dS/m	1.06	buona	-	-
Cloruri	mg/L	282	scarsa	-	-
Solfati	mg/L	80	ottima	-	-
Nitrati	mg/L	-	-	-	-
Fosfati	mg/L	-	-	-	-
Potassio	mg/L	14	-	-	-
Sodio	mg/L	213	pessima	-	-
Magnesio	mg/L	29	-	-	-
Calcio	mg/L	86	-	-	-
SAR	me/L	16.0	buona	-	-
utilizzo	-	limitato	-		
		(Cl ₃ , Na ₄ , I	EC_3, S_3		



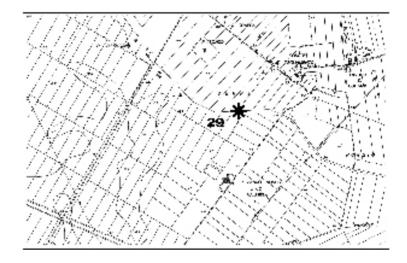
Campione n. 28 - zona: est. Fosso del Caligi. Tipologia: canale (tenuta di Coltano).

carattere	u.m.	giugno	qualità	dicembre gennaio	qualità
pН	-	7.7	ottima	-	-
Conducibilità	dS/m	0.91	buona	-	-
Cloruri	mg/L	215	buona	-	-
Solfati	mg/L	74	ottima	-	-
Nitrati	mg/L	-	-	-	-
Fosfati	mg/L	-	-	-	-
Potassio	mg/L	15	-	-	-
Sodio	mg/L	167	buona	-	-
Magnesio	mg/L	20	-	-	-
Calcio	mg/L	63	-	-	-
SAR	me/L	15.0	buona	-	-
utilizzo	-	possibile	-		
		(EC_2, S_3)			



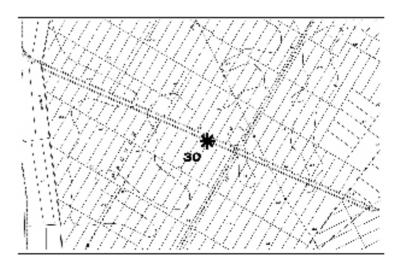
Campione n. 29 - zona: centro-sud. Canale Allacciante nr. 2 dello Stagno. Tipologia: canale (tenuta di Coltano).

carattere	u.m.	giugno	qualità	dicembre gennaio	qualità
pН	-	8.2	ottima	-	-
Conducibilità	dS/m	1.25	buona	-	-
Cloruri	mg/L	497	pessima	-	-
Solfati	mg/L	253	buona	-	-
Nitrati	mg/L	-	-	-	-
Fosfati	mg/L	-	-	-	-
Potassio	mg/L	17	-	-	-
Sodio	mg/L	203	scarsa	-	-
Magnesio	mg/L	44	-	-	-
Calcio	mg/L	87	-	-	-
SAR	me/L	4.4	ottima	-	-
utilizzo	-	possibile	-		
		(Cl ₄ , Na ₃ , E	(C_2, S_1)		



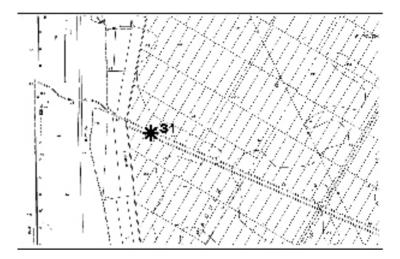
Campione n. 30 - zona: ovest. Collettore dello Stagno. Tipologia: canale (tenuta di Coltano).

carattere	u.m.	giugno	qualità	dicembre gennaio	qualità
pН	-	7.9	ottima	-	-
Conducibilità	dS/m	14.67	pessima	-	-
Cloruri	mg/L	11631	pessima	-	-
Solfati	mg/L	1214	buona	-	-
Nitrati	mg/L	-	-	-	-
Fosfati	mg/L	-	-	-	-
Potassio	mg/L	150	-	-	-
Sodio	mg/L	3747	pessima	-	-
Magnesio	mg/L	405	-	-	-
Calcio	mg/L	244	-	-	-
SAR	me/L	34.2	pessima	-	-
utilizzo	-	sconsiglia	to -		
		(Cl ₄ , Na ₄ ,	EC_4, S_4		



Campione n. 31 - zona: ovest. Collettore dello Stagno. Tipologia: canale (tenuta di Coltano).

carattere	u.m.	giugno	qualità	dicembre gennaio	qualità
pН	-	8.3	ottima	-	-
Conducibilità	dS/m	9.55	pessima	-	-
Cloruri	mg/L	6689	pessima	-	-
Solfati	mg/L	704	buona	-	-
Nitrati	mg/L	-	-	-	-
Fosfati	mg/L	-	-	-	-
Potassio	mg/L	107	-	-	-
Sodio	mg/L	2278	pessima	-	-
Magnesio	mg/L	240	-	-	-
Calcio	mg/L	205	-	-	-
SAR	me/L	25.6	scarsa	-	-
utilizzo	-	sconsiglia	to -		
		(Cl ₄ , Na ₄ ,	EC_4, S_4		



Bibliografia citata

AA.VV., 1993. Lo studio dell'agricoltura all'interno del Parco. Litografia Felici, Pisa, 352 pp.

Cenni M., Baldaccini G.N., Frascari F., Giaconi V., Grazzini A., Pensabene G., Simonini F., Spandre R. Lake Massaciuccoli: A Strategic Sustainable Approach for the Restoration of a Nutrient Enriched Shallow Lake. Convegno MESAEP, Sorrento 4-9 ottobre 1997, 1-8.

Eaton J., 1950. Significance of carbonates in irrigation waters. Soil Science, 96, 123-133.

Giardini L., 2002. Agronomia generale. Patron Editore, Bologna, 742 pp.

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

Pensabene G., Frasari F., Cini C., 1997. Valutazione quantitativa del carico di nutrienti e di solidi sospesi immesso nel lago di Massaciuccoli dai comprensori di bonifica di Vecchiano e Massaciuccoli. In: (a cura di) M. Cenni, Lago di Massaciuccoli. 13 ricerche finalizzate al risanamento. II contributo. Felici Editore, Pisa, 131-147.

Rhoades, J.D., Kandiah A., Mashali A.M., 1992. The use of saline waters for crop production. Irrigation and drainage paper n. 48, FAO, Roma.

Spandre R., Meriggi A. 1997. Studio della circolazione idrica all'interno del padule e del lago di Massaciuccoli. Mem. Soc. Tosc. Sc. Nat. Seria A, 103 (1996), 1-15

Spandre R., Meriggi A. 1997. Studio idrogeologico del bacino del lago di Massaciuccoli. Ente Parco Migliarino – S. Rossore • Massaciuccoli. Vol. 13, 23-91.

Testini C., 1989. La qualità delle acque irrigue. In: (a cura di) P. Sequi. Chimica del suolo. Patron Editore, Bologna, 498-509.

Toderi M., Bechini L., Monti M., Poma I., Silvestri N., Salvato M., Borin M., 2005. L'analisi dei portatori di interesse come strumento per la pianificazione partecipata delle aree di elevato interesse naturalistico. Atti del XXXVI Convegno della Società Italiana di Agronomia (a cura di: Giuliani M.M., Gatta G.), Foggia, 20-22 settembre. Olocap srl, Foggia, 45-46.

INDICE

Presentazione del Presidente dell'Ente Parco Regionale Migliarino San Rossore Massaciuccoli Giancarlo Lunardi	3
Presentazione del Direttore del Centro Interdipartimentale di Ricerche Agro-Ambientali "Enrico Avanzi", Università di Pisa Giacomo Lorenzini	
Introduzione del Vicepresidente della Provincia di Pisa con delega all'Agricoltura <i>Giacomo Sanavio</i>	7
Il Progetto L. Gorreri, P. Nobile, S. Paglialunga, N. Silvestri	11
Idrologia dell'area di studio R. Spandre, S. Lorenzoni	17
La metodologia adottata e i parametri analizzati N. Silvestri, R. Spandre, R. Risaliti, L. Gorreri	29
I risultati ottenuti N. Silvestri	43
Alcune considerazioni sulle modalità di uso dell'acqua in agricoltura E. Bonari, N. Silvestri	7.
Considerazioni conclusive N. Silvestri	83
I certificati di analisi e l'ubicazione dei punti di prelievo N. Silvestri, R. Risaliti, C. Giardi, S. Ciampa, L. Magozzi	87
Bibliografia citata	118

Finito di stampare nel mese di Novembre 2008 presso le Industrie Grafiche della Pacini Editore S.p.A. Via A. Gherardesca • 56121 Ospedaletto • Pisa Telefono 050 313011 • Fax 050 3130300 www.pacinieditore.it







































































