X. FONT (*), N. GEMIGNANI (**), G. GIACOBBE (**), P. PARDINI (***), R. SPANDRE (**)

ASPETTI IDROGEOLOGICI E IDROCHIMICI DELLE ACQUE SOTTERRANEE NEL BASSO CORSO DEL RIO TORDERA (SPAGNA): INDAGINE SULLA VULNERABILITÀ DEGLI ACQUIFERI ALL'INQUINAMENTO

Riassunto - Lo scopo di questo lavoro è di conoscere le principali caratteristiche idrogeologiche ed idrochimiche delle acque sotterranee del basso corso del Rio Tordera e di valutarne la vulnerabilità all'inquinamento. Lo studio delle falde in quest'area a vocazione essenzialmente agricola è molto importante, visto anche che l'elevato grado d'urbanizzazione, connesso ad un aumento degli insediamenti industriali, ha portato negli ultimi anni ad un sempre maggiore fabbisogno idrico e ad un aumento degli inquinanti con il conseguente rischio di contaminazione delle acque sotterranee. Per valutare la vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento è stato utilizzato il modello parametrico DRASTIC (acronimo di Depth to water; Recharge, net; Aquifer media; Soil media; Topography; Impact of vadose zone; Conductivity, hydraulic). L'area totale esaminata, che è composta da un acquifero principale costituito essenzialmente da una formazione ghiaioso sabbiosa ed una prevalentemente sabbiosa con classazione granulometrica, è stata divisa in più di 700 celle di forma quadrata, aventi lato lungo 125 metri; è stato quindi calcolato l'indice di vulnerabilità PP per ciascuna cella. L'intera area studiata è risultata divisibile in due classi di rischio sulla base del valore dell'indice PP; in seguito a ciò, nell'area studiata sono stati mappati un settore di dimensioni maggiori a rischio moderato, e piccoli settori a rischio elevato.

Parole chiave - Idrogeologia, idrochimica, Rio Tordera, intrusione marina, vulnerabilità degli acquiferi, metodo DRASTIC.

Abstract - Hydrogeological and hydrochemical characteristics of the groundwater in the terminal stretch of Tordera River (Spain): evaluation of the aquifers pollution vulnerability. The aim of this report is to know the hydrogeological and hydrochemical groundwater characteristics of the terminal stretch of Tordera River and to evaluate the water pollution risk. The study of the aquifers is very important in this intensively tilled area, because the growth of urbanization, connected with the expansion of industrial settlements, brought during last years to an increase of water requirement and to an increase of contaminants with the consequent risk of pollution of underground water. To evaluate this risk of pollution, the parametric model DRAS-TIC (acronym of Depth water; Recharge, net; Aquifer media; Soil media; Topography; Impact of vadose zone; Conductivity, hydraulic) was applied. The total area examined, which

is covered by a principal aquifer composed of gravel and sands, is divided into more than 700 square cells with a side of 125 m long. It is calculated the vulnerability index PP for each cell, and the whole studied area, on the base of the PP value, is subdivided into 2 classes of risk: a big sector of moderate risk and a small sector of elevated risk.

Key words - Hydrogeology, hydrochemistry, Tordera River, seawater intrusion, aquifers vulnerability, parametric model DRASTIC.

Introduzione

Il bacino del Fiume Tordera è ubicato nella regione catalana della penisola Iberica, fra le provincie di Barcellona e Gerona (Fig. 1); esso occupa una superficie di circa 894 kmq ed ha la sua quota più alta a 1712 metri sul livello del mare. Il fiume ha origine dal massiccio del Montseny e sfocia nel mar Mediterraneo con il delta in un punto situato a circa 100 km a Sud-Ovest della frontiera francese.

Il bacino può essere suddiviso in 3 zone principali: 1) la zona marittima (corso basso), in cui si trovano i centri di Blanes, Malgrat, Tordera e Palafolls, che contano complessivamente circa 50.000 abitanti;

2) il corso medio, avente un'estensione di 150 kmq, con le cittadine di Hostalrich, Breda e San Celoni, con 45.000 abitanti;

3) il corso alto, dall'origine fino a San Celoni, con una popolazione di 10.000 abitanti distribuiti su 390 kmq.

Il basso corso del fiume Tordera ed in special modo il suo delta, ha costituito da sempre una tradizionale zona di coltivazione orticola. Negli ultimi anni però, l'aumento degli insediamenti industriali, connesso con l'aumento del turismo sulla costa, soprattutto nel periodo estivo, ha favorito lo sviluppo dei nuclei urbani. Tutto ciò ha portato ad un aumento delle richieste d'acqua, come evidenziato dalla Tabella 1, in cui tali richieste sono indicate, assieme al consumo effettivo (in hm³/anno), per le varie destinazioni d'uso, negli anni 1969, 1975 e 1990.

^{*} Departament de Geoquímica, Petrologia i Prospecciò Geòlogica; Zona Universitària de Pedralbes; 08071 Barcelona, Spagna.

^{**} Dipartimento di Scienze della Terra; Via S. Maria, 53; 56126 Pisa, Italia

^{***} Libero professionista, Via Cavour, 13, 56010 Arena Metato (PI), Italia

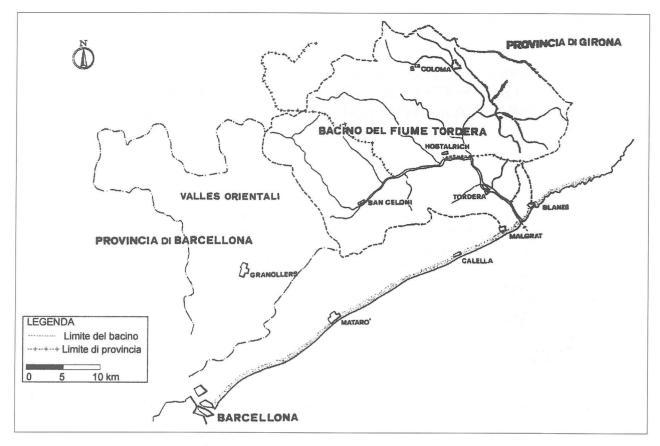


Fig. 1 - Ubicazione geografica del Rio Tordera.

Tab. 1 - Richieste d'acqua e consumo effettivo (hm³/anno).

Uso	19	1969		1975		1990	
	rich.	cons.	rich.	cons.	rich.	cons.	
Antropico	3,07	2,66	5,11	4,54	13,16	12,14	
Industriale	16,14	16,09	17,65	17,34	23,5	23,11	
Agricolo	11,5	8,2	11,25	8,5	10,71	8,05	
TOTALE	30,71	26,95	34,01	30,38	47,37	43,3	

INOUADRAMENTO GEOLOGICO

Il bacino del Tordera è situato all'interno del sistema montuoso Catalano Costiero, che è formato dalla Catena Prelitorale e dalla Catena Costiera. Tali rilievi, formatisi per il piegamento di un antico massiccio ercinico, si sviluppano parallelamente alla linea di costa e sono costituiti prevalentemente da materiali dello zoccolo paleozoico e dalla copertura mesozoico-terziaria (Fig. 2).

Il fiume Tordera attraversa la Catena Prelitorale nel corso alto, la Depressione Prelitorale nel corso medio, e, infine, la Catena Costiera nel corso basso. Qui i depositi alluvionali recenti poggiano su un grande batolite, formato essenzialmente da graniti e granodioriti (IGME, 1983).

I depositi alluvionali più antichi risalgono al Pliocene; si tratta di sabbie chiare, intercalate da sottili livelli di sabbie argillose e argille, che indistintamente poggiano, in discordanza, su rocce vulcaniche e su graniti.

I depositi pleistocenici si trovano localizzati nella Depressione Prelitorale; al loro interno possono essere distinte le seguenti unità:

• Alluvioni antiche sopra le formazioni paleozoiche e terziarie. Sono costitute da depositi caotici di clasti e blocchi di granito e di scisti immersi in una matrice sabbioso-argillosa.

• Primo terrazzo. Si tratta di un insieme eterogeneo di 2 metri di spessore, composto da ghiaie e ciottoli, che poggiano in discordanza sui depositi terziari. Il primo terrazzo si ritrova nei pressi di Hostalrich, lungo il margine destro del Tordera.

I depositi olocenici possono, invece, essere suddivisi in:

• Secondo terrazzo, costituito da depositi sabbiosoghiaiosi; si estende su tutta la superficie dei torrenti di Arbucies e Gualba, fino alla città di Hostalrich.

• Dune, sabbie e limi riscontrabili lungo la linea di costa in spessori molto variabili.

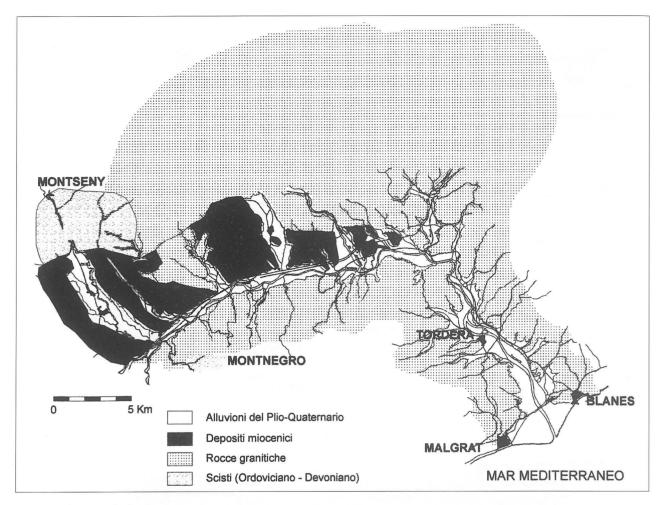


Fig. 2 - Schema geologico.

- Spiagge, costituite essenzialmente da materiale sabbioso, ma con talvolta intercalati livelli ghiaiosi a causa delle frequenti esondazioni del fiume.
- Alluvioni attuali a granulometria variabile (argille, sabbie, ciottoli), deposte lungo tutto il corso del Rio Tordera.

IDROGEOLOGIA

L'area studiata copre un totale di circa 21 km². La larghezza della piana alluvionale, formata dai materiali depositati dal rio Tordera nel corso del tempo, varia tra i 150 metri, nei pressi della città di Tordera, e i 5 km alla foce.

Per ricostruire in maniera soddisfacente la posizione e le caratteristiche geometriche delle formazioni che costituiscono gli acquiferi della zona in esame, ci siamo riferiti a una serie di stratigrafie ricavate dalla perforazione di pozzi e da sondaggi geognostici, (REPO, 1985) e da una campagna di rilevamento effettuata dell'Università di Barcellona del 1988. In conformi-

tà a questi dati è stato possibile ricostruire la geometria dell'acquifero nella pianura alluvionale lungo il corso basso del fiume, dalla città di Tordera fino alla foce, come si può osservare nelle sezioni di Figura 3. In particolare la sezione 7 riassume la geometria del sottosuolo lungo una direttrice longitudinale parallela al corso del fiume dalla zona a valle della città di Tordera (località fabbrica Fibracolor), fino alla foce. In questa sezione si può notare, subito dopo un sottile livello di terreno vegetale, un corpo grossolano permeabile principale, costituito essenzialmente da una formazione ghiaioso sabbiosa ed una prevalentemente sabbiosa con classazione granulometrica, seguiti da sottili livelli di ghiaie e sabbie in matrice limosa, che poggiano direttamente sul substrato granitico ad una profondità oscillante tra 40 e 50 metri. Verso valle questi sottili livelli aumentano di profondità (fino a circa 70 - 80 metri) e di spessore, inoltre tra questi e le formazioni sovrastanti, si interpongono strati prevalentemente argillosi che interrompono l'unitarietà idrogeologica e determinano una frammentazione delle varie falde presenti.

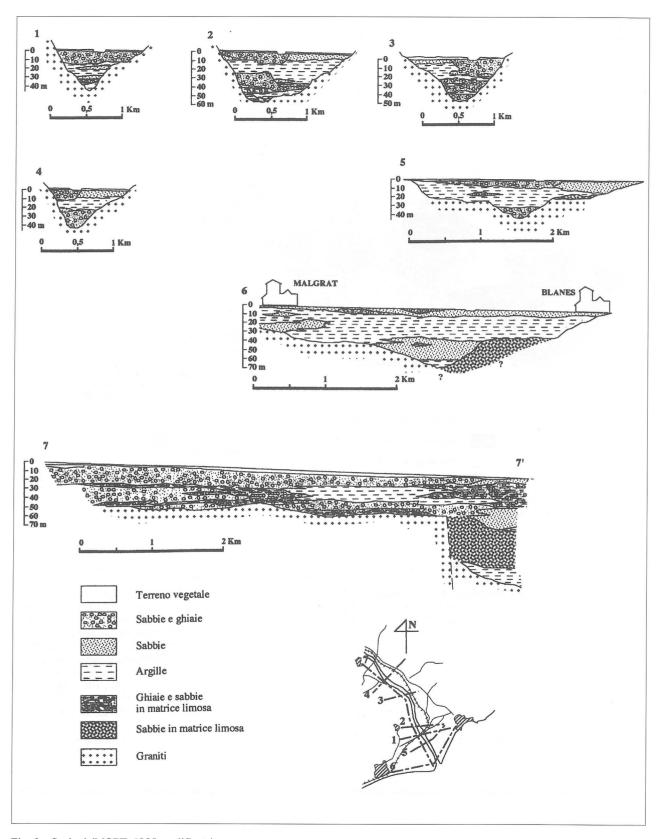


Fig. 3 - Sezioni (MOPT, 1985 modificate).

In base alla geometria sopra descritta, nel corso basso del bacino del fiume Tordera sono identificabili due acquiferi (REPO, 1985):

— un acquifero freatico a permeabilità 200 - 450 m/giorno, di spessore variabile tra i 20 e i 30 metri, costituito da livelli di ghiaie, con ciottoli di notevoli dimensioni, e sabbie;

— un acquifero multifalda di carattere semiconfinato (permeabilità 200 - 300 m/giorno), composto da vari orizzonti ghiaio-sabbiosi intercalati da livelli argillo-sabbiosi, che aumentano di spessore man mano che ci si avvicina al mare, ma che non impediscono la comunicazione idraulica tra i vari livelli permeabili.

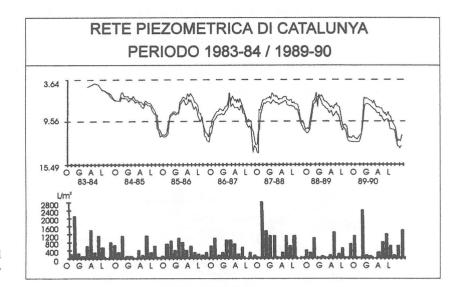


Fig. 4 - Evoluzione mensile dei livelli di un piezometro localizzato a Blanes (SGC, 1993 modificato).

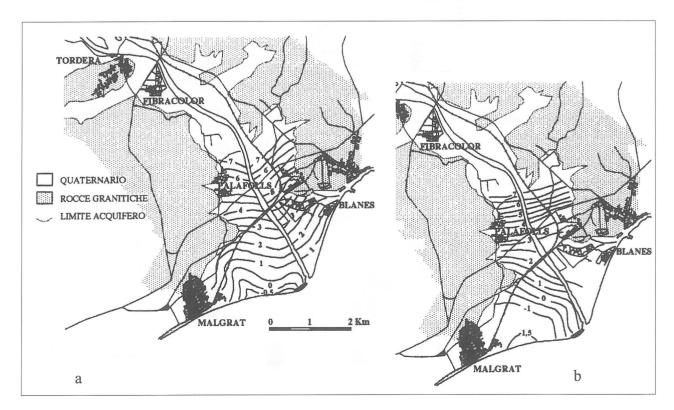


Fig. 5 - Piezometria novembre 1994 (a) e maggio 1995 (b).

I dati che vengono di seguito descritti si riferiscono all'acquifero freatico.

PIEZOMETRIA

La piezometria della zona in oggetto è fortemente influenzata sia dagli emungimenti sia dalla ricarica attraverso il letto del fiume e, in misura minore, dalle piogge. Nel grafico di Figura 4, relativo all'evoluzione mensile dei livelli di un piezometro localizzato a Blanes, si osservano forti abbattimenti durante il periodo compreso tra Luglio ed Ottobre, dovuti sia ai numerosi emungimenti per utilizzo urbano ed irriguo sia all'opera di drenaggio effettuata dal fiume, mentre a partire dal periodo autunnale abbiamo un recupero dei livelli.

L'esame delle carte isopiezometriche realizzate tramite una rete di pozzi e piezometri, sia autunnali (novembre 1994, Fig. 5a) che primaverili (maggio 1995, Fig. 5b), oltre a confermare le considerazioni precedentemente fatte, mette in evidenza un importante minimo piezometrico nei pressi di Malgrat de Mar, che rimane a quota negativa per tutto l'arco dell'anno.

CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE DELLE ACQUE

I risultati dello studio delle caratteristiche chimiche delle acque del corso terminale del Tordera vengono qui semplificati mediante la rappresentazione grafica tramite diagrammi di Stiff (Fig. 6) e Piper-Hill (Fig. 7). Le acque analizzate presentano una facies che può essere definita, pur con alcune eccezioni, solfatato-clorurato-calcica. Cloruri e solfati sono prevalenti nei pozzi più vicini alla linea di costa, mentre le fonti di captazione più vicine al corso del fiume appaiono più ricche in bicarbonato e calcio.

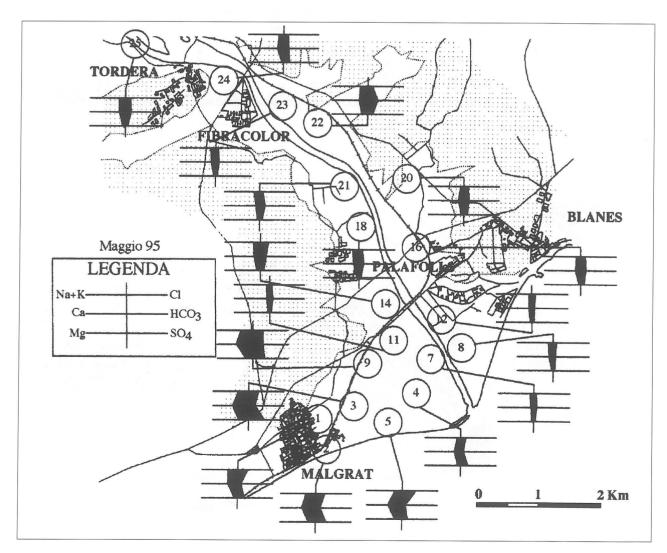


Fig. 6 - Diagrammi di Stiff.

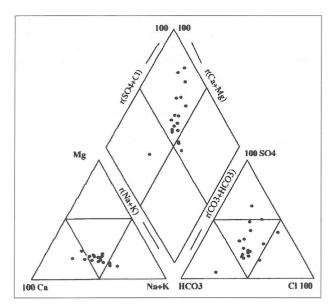


Fig. 7 - Diagramma di Piper-Hill (maggio 1994).

Conducibilità

La conducibilità delle acque sotterranee in oggetto oscilla tra 750 e 2500 μS/cm; rientrano, quindi, in base alla classificazione di Celico (1986) in parte tra

acque medio-minerali (fino a 1320 µS/cm) e in parte come acque minerali. L'esame delle carte di conducibilità (Fig. 8) mostra che le aree con valori più elevati sono in corrispondenza della fascia costiera, precisamente ad Est della città di Malgrat, e che i valori tendono a decrescere spostandoci verso l'entroterra. Questa situazione è sicuramente imputabile alla forte concentrazione degli emungimenti operati nella zona sia ad uso irriguo sia ad uso urbano, che vanno a disturbare l'equilibrio tra acque sotterranee e quelle marine, favorendo l'ingressione di queste ultime nelle falde. Tuttavia esistono casi nei quali i fenomeni di salinizzazione sono da imputare ad un abuso di fertilizzanti e correttori di terreni, come, ad esempio, il gesso, che è molto usato nella zona.

Cloruri e rapporti ionici

I valori di cloruro nell'acquifero superficiale sono generalmente bassi. Dall'analisi delle carte degli isocloruri relative ai vari periodi di studio sono riscontrabili fenomeni puntuali di concentrazioni maggiori, che possono essere attribuite ad un limitato fenomeno di intrusione marina. È opinione comune che tale intrusione sia così limitata solo per il fatto che la granulometria dell'acquifero, spostandosi da monte verso la linea costa, diminuisce, terminando allo sbocco con sabbia molto fine con intercalazioni d'argilla. Con questa granulometria si forma una

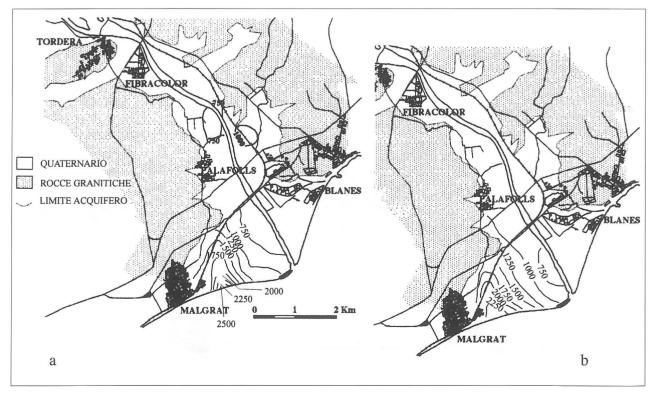


Fig. 8 - Carta della conducibilità (a: novembre 1994; b: maggio 1995).

barriera naturale poco permeabile (k < 4 m/giorno, MOPU, 1971) che limita l'entrata del cuneo salino (Murillo Diaz, 1994). Questi dati sono suffragati dai

rapporti ionici caratteristici, che sono:

— rMg/rCa. Questo rapporto varia nelle acque continentali tra 0,3 e 1,5 (Custodio-Llamas, 1983). Poiché l'acqua di mare presenta un valore pari a 5, le acque che si sono miscelate con l'acqua di mare mostrano un rapporto elevato. I dati in nostro possesso, comunque, indicano un rapporto sempre inferiore a 1.

— rCl/rHCO₃. Il rapporto oscilla, nelle acque dolci, tra 0,1 e 5 (Custodio-Llamas, 1983), mentre nell'acqua di mare varia tra 20 e 50. Il valore massimo riscontrato nella zona di studio è di appena 3,7 per quanto riguarda il pozzo di Malgrat de Mar.

— rSO₄/rCl. Questo rapporto costituisce un buon indicatore di intrusione marina, in quanto i valori molto bassi (0,1) sono tipici delle zone costiere con problemi di ingressione d'acqua di mare. I dati in nostro possesso indicano un rapporto sempre maggiore di 0,1.

Nitrati

La presenza naturale di nitrati e nitriti nell'ambiente deriva dalla decomposizione del materiale organico azotato animale e vegetale. La loro presenza nei corpi idrici può essere inoltre dovuta all'uso di fertilizzanti in agricoltura, ai reflui domestici, all'interramento

dei fanghi, agli scarichi industriali e alla lisciviazione delle discariche. In genere la contaminazione delle acque sotterranee è associata soprattutto all'uso di fertilizzanti azotati in agricoltura. Le colture assorbono solo una parte dei composti chimici ad esse applicati; i residui che rimangono nel suolo sono esposti a processi di trasformazione e si ripartiscono tra i diversi comparti secondo le loro caratteristiche chimico-fisiche. I nitrati sono la forma finale del processo naturale di ossidazione biologica dei composti azotati. Questi processi, se associati a situazioni di elevata permeabilità, favoriscono il trasporto dei nitrati verso le falde. Il processo di lisciviazione dei nitrati dipende quindi dalla vulnerabilità degli acquiferi e può richiedere tempi molto lunghi, anche dell'ordine di decenni. Ciò significa che i livelli attualmente riscontrati nelle falde acquifere possono non corrispondere ai fronti più intensi dei flussi di contaminazione e che i processi continueranno nel tempo, anche a seguito della cessazione della loro applicazione. Il terreno agricolo, nella zona del delta del Tordera, è costituito da materiale prodotto dall'alterazione delle rocce granitiche del bacino dove scorre il fiume; è quindi un terreno molto povero, poco sviluppato e carente di un orizzonte fertile. In queste condizioni il terreno necessita di grandi quantità di fertilizzanti a base di nitrati e correttori di suolo a base di gesso. Sul margine destro del fiume, coltivato più intensamente, si trovano i valori più alti di NO₃-, con un massimo che ha sfiorato i 400 ppm durante la campagna di maggio '95 (Fig. 9b); nella

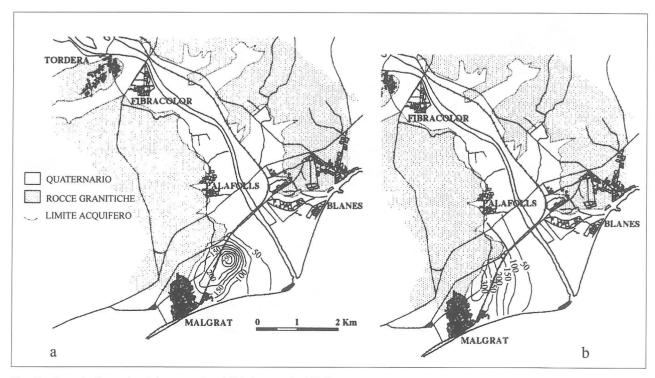


Fig. 9 - Carta isolinee nitrati (a: novembre 1994; b: maggio 1995).

stessa zona i valori erano inferiori alle 200 ppm durante novembre 1994 (Fig. 9a). Tali valori, che superano notevolmente le 50 ppm, limite CEE per le acque potabili, indicano una tendenza evolutiva che vede l'aumento del contenuto in nitrati; questa tendenza è parzialmente mascherata da altre cause d'inquinamento quali, ad esempio, l'intrusione marina.

Solfati

Esaminando i dati dal 1985 (Fig. 10a, REPO, 1985) in poi, l'inquinamento principale è riscontrabile nei pozzi immediatamente ad est della città di Malgrat, con valori che superano notevolmente 250 ppm, limite CEE. In tutti gli altri pozzi i valori si manten-

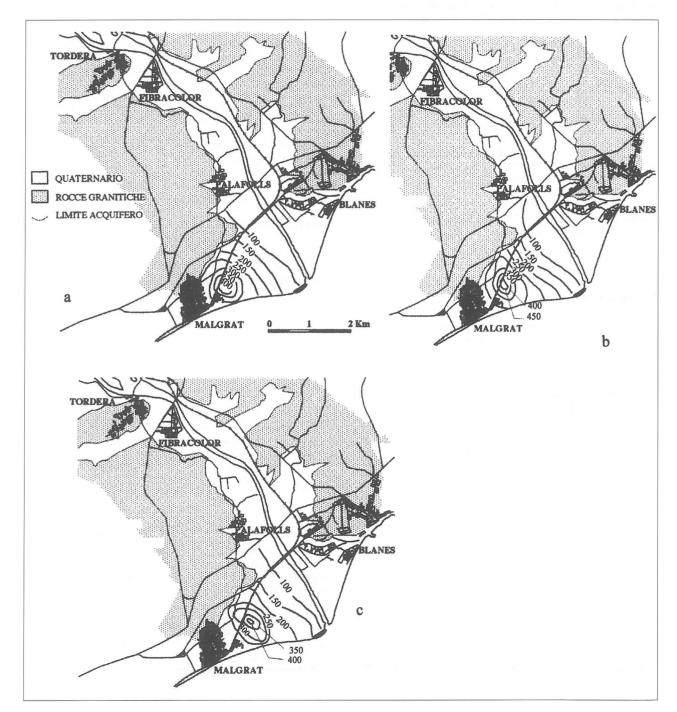


Fig. 10 - Carta isolinee solfati (a: maggio 1985, REPO; b: maggio 1988, Università di Barcellona; c: novembre 1994).

gono sotto il limite imposto dalla legge. Nel 1988 (Fig. 10b) nella stessa zona si riscontravano concentrazioni che raggiungevano le 500 ppm; questi valori sono stati confermati nella campagna di misura del novembre 1994 (Fig. 10c). In generale l'inquinamento da Solfati è localizzato nel delta, sul margine destro del fiume; la sua origine, quando non imputabile all'intrusione di acque marine, è causata, così come per i nitrati, da un eccessivo utilizzo di correttori di terreno a base di gesso per fini agricoli.

MODELLO DI VULNERABILITÀ

Al fine di valutare il grado di vulnerabilità intrinseca dell'acquifero in oggetto, è stato applicato il modello parametrico a punteggi e pesi DRASTIC (Aller *et al.*, 1987). Questo modello, messo a punto dall'istituto di protezione ambientale americano (Environmental Protection Agency, E.P.A.) nei primi anni '80, ha avuto recentemente una notevole diffusione anche in Europa. Il suo successo si basa sulla semplicità di applicazione anche in situazioni molto differenti fra loro e sul fatto che le numerose esperienze hanno permesso all'E.P.A. di calibrarlo al punto di renderlo sufficientemente affidabile.

Descrizione del modello

Il nome DRASTIC è un acronimo formato dalle iniziali dei 7 parametri presi in considerazione per valutare la vulnerabilità degli acquiferi. Dei suddetti parametri viene data di seguito una sintetica descrizione (le Tabelle presentate sono tratte da Aller *et al.*, 1987; Persicani *et al.*, 1991; Civita, 1994 con alcune modifiche):

1) **D** (Depth to water): soggiacenza; rappresenta lo spessore dei depositi che il flusso inquinante deve attraversare prima di raggiungere effettivamente la superficie piezometrica della falda. Il punteggio da assegnare agli intervalli di profondità è riportato in Tabella 2.

Tab. 2 - Valori di intensità del fattore D.

Profondità dell'acquifero (m)	Punteggio	
0 - 1,5	10	
1,5 - 4,5	9	
4,5 - 9,0	7	
9,0 - 15,0	5	
15,0 - 22,5	3	
22,5- 30,0	2	
> 30,0	1	

2) **R** (Recharge, net): ricarica netta; rappresenta l'infiltrazione efficace per unità di superficie, cioè il volume di acqua meteorica che si infiltra nel suolo per unità di superficie, al netto delle perdite per ruscellamento e per evapotraspirazione. Il valore degli

intervalli rappresentativi ed i relativi punteggi sono riportati in Tabella 3.

Tab. 3 - Valori di intensità del fattore R.

Ricarica netta della falda (mm)	Punteggio
0 - 50	1
50 - 100	3
100 - 175	6
175 - 250	8
> 250	9

3) A (Aquifer media): mezzo acquifero; rappresenta le caratteristiche dell'acquifero, in particolare la capacità del mezzo poroso e/o fratturato a trasmettere l'inquinante. I punteggi relativi alle varie litologie sono riportati in Tabella 4.

Tab. 4 - Valori di intensità del fattore A.

Mezzo acquifero		Punteggio	
Argilliti compatte	1	3	
Rocce ignee e metamorfiche compatte	2	5	
Rocce ignee e metamorfiche alterate	3	5	
Sequenze sottili di marne, arenarie e argille	5	9	
Arenarie compatte	4	9	
Marne compatte	4	9	
Ghiaie e sabbie	4	9	
Basalti fratturati	2	10	
Rocce carboniche	9	10	

Fattori relativi di attenuazione dell'inquinamento per i principali tipi di acquifero

Le categorie sono state suddivise in base a:

- a) lunghezza e tortuosità dei percorsi dei filetti liquidi
- b) potenziale di assorbimento generale
- c) dispersione
- d) reattività
- e) grado di fratturazione
- 4) S (Soil media): caratteristiche pedologiche; rappresenta la capacità dei suoli di opporsi alla mobilizzazione convettiva e/o diffusiva della sostanza inquinante. In Tabella 5 sono elencati i vari tipi di suolo ed i relativi punteggi.
- 5) T (Topography): topografia dell'area; rappresenta la pendenza della superficie topografica, in base alla quale il deflusso è favorito oppure impedito. I punteggi corrispondenti alle varie classi sono riportati in Tabella 6.
- 6) I (Impact of vadose zone): caratteristiche dell'insaturo; rappresenta la capacità dell'insaturo di opporsi al trasporto verticale. In Tabella 7 sono riportati i punteggi relativi alle varie litologie.

7) C (Conductivity, hydraulic): conducibilità idrau-

Tab. 5 - Valori d'intensità del fattore S.

Tipo di suolo	Punteggio
Suolo sottile o assente	10
Suolo ghiaioso	10
Suolo sabbioso	9
Suolo torboso	8
Suolo argilloso fessurato	7
Suolo franco-sabbioso	6
Suol franco	5
Suolo franco-limoso	4
Suolo franco-argilloso	3
Suolo argilloso a muck superficiale	2
Suolo argilloso compatto	1

Tab. 6 - Valori di intensità del fattore T.

Inclinazione della superficie topografica (%)	Punteggio
0 - 2	10
2 - 6	9
6 - 12	5
12 - 18	3
> 18	1

Tab. 7 - Valori di intensità del valore I.

Impatto della zona aerataa di transizione	Punteggio	
Limi e argille	1	2
Argilliti e marne	2	5
Calcari	2	7
Arenarie	4	8
Alternanze di marne, arenarie e calcari	4	8
Ghiaie e sabbie miste a limi argillosi	4	8
Rocce ignee e metamorfiche	2	8
Ghiaie e sabbie	6	9
Basalti	2	10
Calcari carsificati	8	10

lica dell'acquifero; rappresenta la capacità dell'acquifero di trasmettere orizzontalmente la sostanza inquinante. I punteggi relativi agli intervalli di valori sono riportati in Tabella 8.

Tab. 8 - Valori di intensità del fattore C.

Conducibilità idraulica (cm/s)		Punteggio	
5,0x10 ⁻⁵	5,0x10 ⁻³	1	
$5,0x10^{-3}$	$1,5 \times 10^{-2}$	2	
$1,5 \times 10^{-2}$	$3,5 \times 10^{-2}$	4	
$3,5x10^{-2}$	$5,0x10^{-2}$	6	
$5,0x10^{-2}$	$1,0x10^{-1}$	8	
$> 1,0x10^{-1}$		10	

Il potenziale di inquinamento di ogni cella in cui è stata divisa l'intera area si calcola moltiplicando ogni parametro per un valore predefinito (peso) che può variare a seconda che la zona sia soggetta o meno all'uso di fitofarmaci.

L'indice di vulnerabilità (**PP**) si ricava dalla sommatoria dei prodotti di ciascun punteggio (**r**) per il peso relativo (**w**):

PP = Dr x Dw + Rr x Rw + Ar x Aw + Sr x Sw + Tr x Tw + Ir x Iw + Cr x Cw

La carta finale sarà generata scegliendo un intervallo di valori PP a cui verrà assegnato un valore di rischio come riportato in Tabella 9.

Tab. 9 - Classi di rischio.

Classi di rischio				Valori DRASTIC	
Molto basso	Basso	Moderato	Elevato	Molto elevato	
	Market Market State Control				26-71
					72-117
		COLUMN COMPANY OF THE PARTY OF			118-163
					164-209
					210-256

Organizzazione della informazione geografica

Per la costruzione delle carte tematiche è stato preferito un approccio di tipo cellulare, nel quale l'informazione viene discretizzata associando un unico valore a ciascuna delle celle della maglia in cui la zona è stata suddivisa. L'uso del piano cellulare diminuisce certamente la risoluzione dell'informazione che diventa in ogni caso discontinua, ma semplifica molto l'elaborazione numerica e, soprattutto, il confronto tra carte distinte. Sono state usate celle quadrate, aventi lato di lunghezza 125 metri, e di 250 metri per la carta della permeabilità.

Acquisizione dei dati e risultati

Per quanto riguarda la soggiacenza della falda freatica (**D**) è stato fatto riferimento alla carta isopiezometrica effettuata il mese di novembre del 1994, dalla quale sono estraibili valori di soggiacenza mediamente più bassi rispetto alla campagna di maggio '95. Sono stati considerati 4 diversi livelli, come si vede dalla carta di Figura 11, tutti caratterizzati da valori relativamente bassi. Il primo, che comprende le zone nelle quali la falda si trova al massimo ad 1,5 metri dal p.d.c., è stato preso in considerazione per i settori adiacenti l'asta fluviale e per la zona di delta. Gli altri livelli caratterizzano le zone più interne.

I dati relativi ai valori della ricarica attiva (R) sono stati ricavati da uno studio precedentemente eseguito nella zona (Candela e Galofre, 1985), che ha evidenziato valori della ricarica tali da considerare omogeneo il punteggio in tutta la zona considerata.

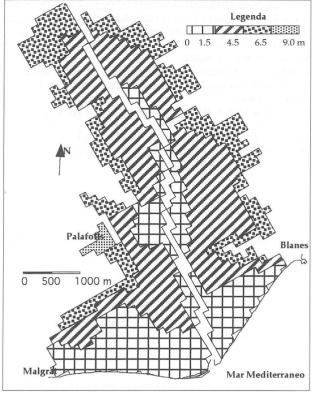


Fig. 11 - Soggiacenza (D).

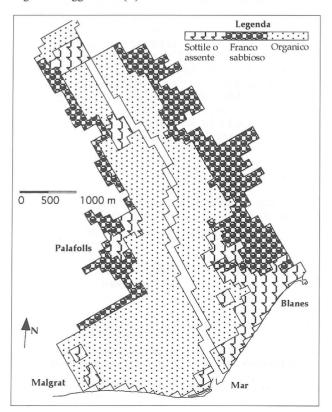


Fig. 13 - Suolo (S).

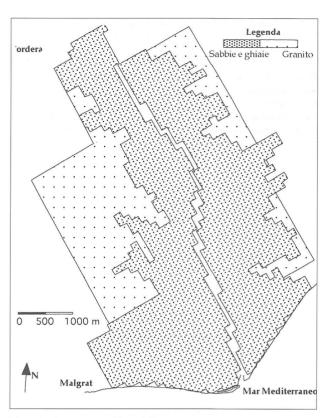


Fig. 12 - Mezzo acquifero (A).

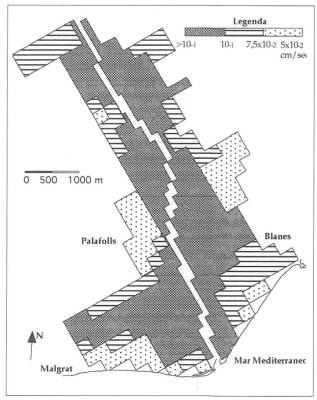


Fig. 14 - Conducibilità idraulica (C).

Infatti i valori sono risultati cadere nell'intervallo 0-50 mm/anno, per il quale il punteggio è di 1 unità DRASTIC.

Le caratteristiche del mezzo acquifero (A) sono state determinate a partire dalla carta geologica e dalle sezioni di Figura 3. L'unica differenziazione che è stata fatta, comunque, a livello di punteggi attribuiti, è stata quella tra depositi alluvionali prevalentemente sabbiosi e rocce granitiche (Fig. 12). Inoltre, vista la coincidenza della litologia della zona non satura con la litologia dell'acquifero, al parametro I sono stati attribuiti gli stessi valori del parametro A. Il fattore suolo (S) (con l'aiuto della carta 1:10000 dell'Instituto Cartografico de la Generalitat de Catalunya) è stato suddiviso in 3 livelli principali. Per le aree a forte antropizzazione e le aree industriali è stato preso in considerazione il valore di suolo assente. Alle aree caratterizzate da intensa coltivazione, come ad esempio la parte destra del delta, è sta-

to attribuito il punteggio corrispondente a suolo or-

ganico. Ai rimanenti suoli, non coltivati e interessa-

ti da vegetazione tipo macchia mediterranea è stato

dato il valore corrispondente a terreni a tessitura fran-

co-sabbiosa. I risultati sono riportati in Figura 13. Per quanto riguarda il fattore topografico (T), visto che la pendenza della zona in studio è sempre inferiore al 4‰, è stato assegnato un valore uniforme e massimo (10) in tutta l'area.

Infine alla conducibilità idraulica (C), valutata grazie ad uno studio di Candela (1986) finalizzato alla raccolta di dati per un modello matematico di flusso, sono state attribuite 3 classi di valori (Fig. 14). Per l'elaborazione di questa carta è stata utilizzata una maglia di 250 metri di lato.

Le intensità dei fattori sono state successivamente moltiplicate per i relativi pesi. I risultati numerici ottenuti sono stati trasformati in risultati grafici, in base ai valori di rischio di tab.10, e riportati nell'elaborato finale di Figura 15.

Dall'analisi di Figura 15 emerge una situazione di rischio di inquinamento nel complesso moderata, per lo meno nella maggior parte dell'area di studio. Solamente in alcuni settori costieri, vicino ai centri di Malgrat e Blanes, ed in una zona a valle della località di Tordera, dove vi è tra l'altro un insediamento industriale, il rischio diventa elevato.

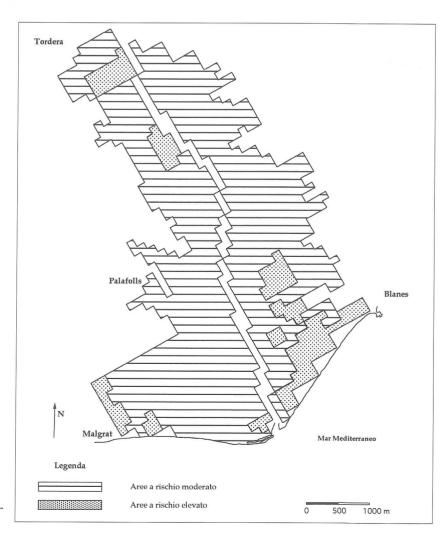


Fig. 15 - Rappresentazione delle aree di rischio.

CONCLUSIONI

Con i dati sperimentali raccolti è stato possibile individuare, in questo lavoro, almeno due cause principali d'inquinamento delle acque sotterranee del corso basso del Fiume Tordera. La prima è legata all'eccessivo sfruttamento delle falde durante il periodo estivo, quando ad una carenza d'acqua si associa un aumento della richiesta, per uso potabile, agricolo ed in misura minore, industriale. Ciò comporta un'alterazione dell'equilibrio tra acque sotterranee e acque marine, favorendo una lieve ingressione di queste ultime nelle falde. La seconda causa d'inquinamento è legata, soprattutto nel margine destro del fiume, all'utilizzo di dosi elevate di concimi azotati e correttori di terreno a base di gesso; tali tecniche, utilizzate a scopi agricoli, causano un inquinamento da solfati e nitrati.

Per valutare il rischio di inquinamento idrico soprattutto da nitrati nel corso basso del Fiume Tordera è stato quindi utilizzato il modello DRASTIC. I risultati ottenuti indicano condizioni di rischio ambientale da moderato a elevato.

BIBLIOGRAFIA

Aller, L., Bennet, T., Lehr, J.H., Petty, R.J. e Hackett, G., 1987. DRASTIC: A standardized system for evaluating ground wa-

ter pollution potential using hydrogeologic settings. NWWA/EPA Ser., 600/2-87-035, 455 pp.

Celico, P., 1986. Prospezioni idrogeologiche. 735 pp., Liguori Editore.

Civita, M., 1994. Le carte della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento: teoria e pratica. 325 pp., Pitagora Editrice Bologna.

Custodio, E., Llamas M.R., 1983. Hidrología subterranea. 2350 pp., Ediciones Omega.

IGME, 1983. Hoja 365: Blanes. Mapa Geològico de España. Escala 1:50.000. Servicio de Publicaciones M° Industria y Energia. Madrid.

MOPU, CAPO, SGOP, 1971. Estudio de los recursos hidràulicos totales del Pirineo Oriental. Zona Norte: n-3. Informe hidrogeologico de la cuenca del rio Tordera, 202 pp., Barcelona.

Martinez Parra, M., Murillo Diaz, J.M., 1994. Efecto de las actividades agricolas en la qualidad quìmica del agua subterranea asociada al acuìfero del baix Tordera. La recarga artificial como tècnica paliativa. Anàlisis y Evoluciòn de la Contaminación de las Aguas Subterràneas, T. I: 409-422.

Murillo Diaz, J.M., Martinez Parra, M., 1994. Caracterizacion de la intrusion marina en el delta del Tordera. Propuesta de un esquema de gestion fundamentado en el uso conjunto. Anàlisis y Evoluciòn de la Contaminación de las Aguas Subterràneas, T. II: 149-164.

Persicani, D., De Santi, M., Gasparetti, G., Siro, P., 1991. Rischio di inquinamento idrico da nitrati. Valutazione della pianura piacentina con il modello DRASTIC. Geologia Tecnica 2/91: 41-47

REPO, 1985. Informe hidrogeològico sobre la zona aluvial del rio Tordera. 240 pp., REPO, Barcellona.

SERVEI GEOLOGIC DE CATALUNYA, 1993. Xarxa de control deis aqüifers de Catalunya. Piezometres del periode 1986-87 / 1989-90. Butletì Hidrogeologic num. 2. Barcelona.

(ms. pres. l'11 febbraio 1998; ult. bozze l'11 settembre 1998)