

I. SALVATORI (\*), R. SPANDRE (\*\*)

## ASPETTI IDROGEOLOGICI E IDROCHIMICI DELLE ACQUE SOTTERRANEE DELLA PIANURA APUANA

**Riassunto** - Lo studio idrogeologico ed idrochimico della pianura costiera Apuana, nel tratto compreso entro i Comuni di Carrara, di Massa e Montignoso, si pone come finalità la ricostruzione dell'andamento della falda acquifera e la conoscenza delle caratteristiche chimico-fisiche in relazione ai possibili inquinamenti antropici e all'intrusione da parte delle acque marine.

Lo studio degli acquiferi in quest'area è particolarmente importante, in quanto, l'elevato grado di urbanizzazione della pianura, ha portato nel tempo ad un sempre maggiore fabbisogno idrico e, contemporaneamente, ad un aumento degli inquinanti con il conseguente rischio di contaminazione delle falde idriche sotterranee.

**Parole chiave** - Idrogeologia, idrochimica, Pianura Apuana.

**Abstract** - *Hydrogeological and hydrochemical characteristics of the groundwater in the «Riviera Apuana» (Italy).* The Apuana Coastal Plane groundwater is submitted to a heavy anthropic pollution and to a marine intrusion phenomenon. The increase of urbanization in the Plane during the last years, has increased more and more the water requirement with the consequent increase of groundwater pollution. As well as all the Italian coastal plains the «Riviera Apuana» is under the hazards of wide-spread or local pollution. The

high concentration of nitrates, which reaches in several zones of the studied area, very high values (174 mg/l); the local events of pollution by *atrazine* and *perchloroethylene*; the generalized contamination by nitrates in the whole area and the deterioration of the water quality in the areas with marine intrusion phenomenon due to over exploitation of aquifers represent the effect of a situation that is slowly but inexorably getting worse.

We can not forget that, besides the environmental problems, the pollution causes, directly or indirectly, graves risks on public welfare.

The aim of this report is to know the physical and chemical «state of health» of the Riviera Apuana groundwater, for this reasons hydrochemistry data are treated with a schematic budget of hydrogeological resources of studied area.

**Key words** - Hydrogeology, hydrochemistry, Apuana Coastal Plane.

### INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E MORFOLOGICO

L'area presa in esame è situata sul lato sud-occidentale delle Alpi Apuane (Fig. 1), si sviluppa per una lun-

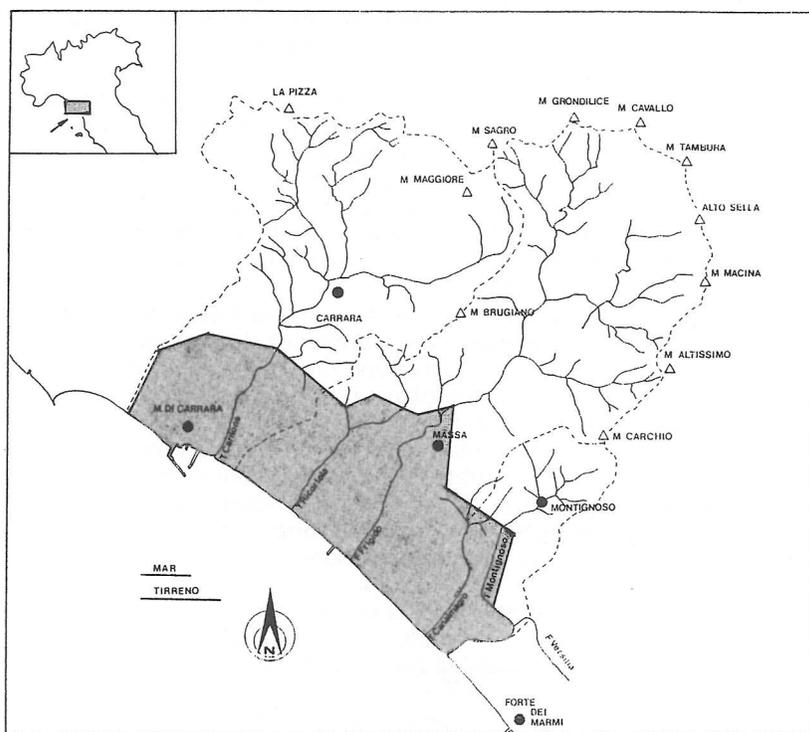


Fig. 1 - Ubicazione geografica e area di studio.

(\*) Via A. Gramsci, 10 - 55042 Forte dei Marmi (LU).

(\*\*) Dipartimento Scienze della Terra - Via S. Maria, 53 - 56124 Pisa.

ghezza di circa 12,5 Km, ha una estensione di circa 120 Km<sup>2</sup>.

La pianura costiera Apuana corrisponde all'intera area di pianura della Provincia di Massa-Carrara, ed è limitata a Nord dal corso del Torrente Parmignola, a Sud dal corso del F. Versilia, ad Est dai primi rilievi collinari, contrafforti delle Alpi Apuane ed a Ovest dalla costa marina.

Sestini (1950) e Masini (1960) riconoscono nella pianura Apuana compresa fra le Alpi Apuane ed il Mar Tirreno, nonostante la limitata estensione pari a solo 3-4 km, la tipica morfologia e costituzione della pianura costiera suddivisibile longitudinalmente in tre zone:

- 1) una zona interna, ai piedi dei monti, formata dai coni di deiezione dei corsi d'acqua discendenti dalle Alpi Apuane;
- 2) una zona intermedia, bassa, per lo più paludosa o lacustre in condizioni naturali, ora bonificata;
- 3) una zona esterna, litorale, formata da sabbie debolmente rialzate in cordoni di dune, non più alti di 4-5 m.

#### INQUADRAMENTO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO

La pianura Apuana è costituita dai depositi alluvionali che i corsi d'acqua che l'attraversano, provenienti dal versante apuano, hanno depositato in ambiente di subsidenza causata dai movimenti distensivi che hanno interessato e che ancora oggi interessano il margine occidentale dell'Appennino (Graben della Versilia), e dai depositi costiero-sabbiosi di origine eolica e dunale (Fig. 2).

I depositi alluvionali più antichi (Pleistocene sup.) (Sestini, 1950; Piccini e Pranzini, 1989) abbandonati dal F. Frigido e dal T. Carrione, elementi idrografici principali della pianura Apuana, si sono formati in condizioni climatiche diverse dalle attuali, quando vi era cioè una maggiore piovosità e quindi anche un maggiore trasporto solido che faceva assumere a questi depositi in corrispondenza dello sbocco in pianura la tipica forma a ventaglio dei coni di deiezione fluviale.

Si tratta di coni piuttosto piatti, che da quote di circa 50 m, in non più di 8 Km lungo gli assi maggiori centrali, scendono a quota 5 m, dove sono sommersi dai sedimenti palustri più recenti.

Questi coni, il cui sviluppo è continuato durante le fasi climatiche più umide dell'Olocene, bordano il piede occidentale delle Apuane, lungo il quale è verosimile si allinei il fascio di faglie che ha determinato lo sprofondamento della pianura Apuana. (Mazzanti, 1983).

Sestini (1950) ha riconosciuto su questi coni, un'antica ripa marina emergente a partire da 5 m di quota, dai depositi alluvionali o palustri che vi si attestano, e che potrebbe trattarsi del limite interno massimo raggiunto dalla trasgressione versiliana prima che l'aumentato apporto terrigeno operasse lo spostamento verso Ovest della linea di riva e portasse alla formazione della pianura.

Dopo la formazione della ripa, è iniziata la costruzione dei cordoni litorali. Inizialmente fra questi e i coni di deiezione, o in genere alla base dei monti, rimasero racchiuse delle lagune ristrette, poi colmate o trasformate in stagni e paludi.

Sulla base delle stratigrafie reperite presso Enti Pubblici e Ditte private, sono state elaborate 3 sezioni geologiche attraverso la pianura (Fig. 3).

Per una migliore correlazione fra litotipi a granulometria varia (ghiaie sabbiose, sabbie argillose, etc.) e per la finalità principale di individuare i livelli permeabili ed impermeabili, i litotipi evidenziatori nelle sezioni, sono stati ricondotti a: ghiaie, limi ed argille, sabbie.

I depositi alluvionali dei coni di deiezione e della pianura sottostante sono costituiti, da ghiaie formate da ciottoli calcarei (marmi e grezzoni) e solo in quantità minore da rocce filladiche più facilmente sfaldabili e quindi meno predisposte a fornire ciottoli. Le ghiaie calcaree sono talora cementate fino a conglomerati per la percolazione di acque ricche di bicarbonato di calcio in condizioni morfologiche e climatiche diverse dalle attuali, e probabilmente caratterizzate da periodi più freddi e più piovosi. Non presentano intercalazioni di materiali a grana più fine nella parte superiore delle conoidi: sottili lenti limo-sabbiose s'incontrano solo ai lati e nella parte inferiore e sono riferibili agli apporti dei corsi d'acqua minori (es. C.le Montignoso, T. Ricortola).

Scendendo verso il litorale, i depositi ciottolosi delle conoidi si immergono al di sotto di un complesso di sedimenti marini che possiedono una copertura limo-sabbiosa di qualche m di spessore e al cui interno è possibile rinvenire livelli decisamente ghiaiosi, limosi o anche depositi torbosi.

Questa copertura fa sì che la falda in ghiaia acquisti carattere di artesianità lungo la fascia costiera. (Piccini e Pranzini, 1989)

In corrispondenza della scarpata di erosione marina, che coincide approssimativamente con il tracciato autostradale e dove i limi tamponano le ghiaie permeabili, sono presenti numerose risorgive.

Per quel che riguarda le caratteristiche di permeabilità dei vari litotipi presenti, possiamo dire che nelle ghiaie più o meno cementate, fino ai conglomerati delle conoidi, le fasi tettoniche attuali (tettonica distensiva) hanno creato all'interno della massa una fitta rete di discontinuità che ha reso praticamente permeabile l'intero deposito anche quando fortemente cementato.

I materiali che costituiscono la fascia pedemontana e l'alta pianura, sono formati da depositi detritico-colluviali in cui la frazione fine limosa e argillosa prevale su quella grossolana, per cui la permeabilità complessiva è sempre bassa (Amorfini *et al.*, 1989).

Le sabbie marine ed eoliche, nonostante la copertura limo-sabbiosa e le intercalazioni limose o torbose, hanno una permeabilità sempre alta perché questi livelli limosi ed organogeni non si estendono su tutta la pianura, ma sono invece confinati lateralmente.

Per questo, l'intera pianura Apuana, presenta permeabilità molto simili, che hanno permesso l'instaurarsi di una monofalda che ha la sua scarica naturale direttamente verso il mare.

Nei depositi pedemontani e dell'alta pianura invece, non si ritrova una vera e propria falda, ma solo un debole e localizzato scorrimento all'interno dei livelli più ghiaiosi.

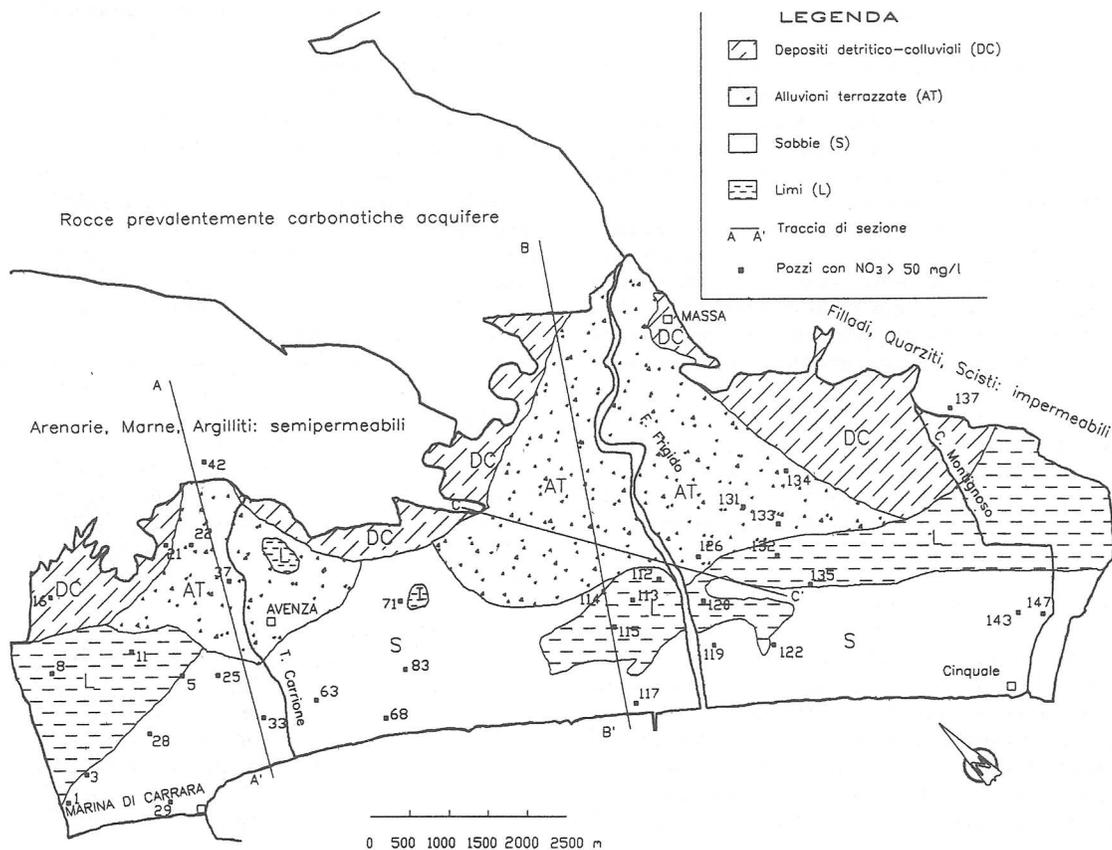


Fig. 2 - Schema geologico.

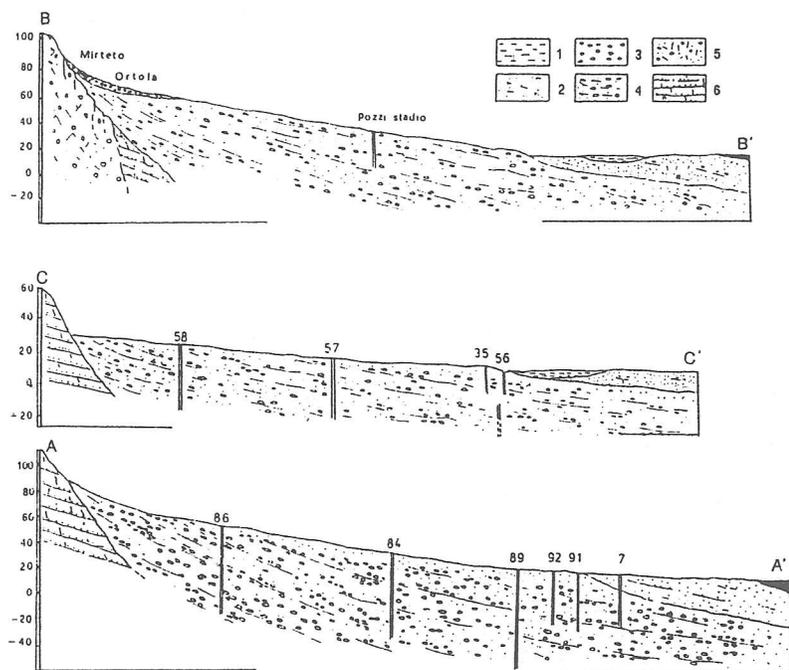


Fig. 3 - Sezioni Geologiche: 1 - Limi; 2 - Sabbie; 3 - Ghiaie; 4 - Sabbie e ghiaie; 5 - Calcari marnosi; 6 - Macigno.

## L'ACQUIFERO DELLA PIANURA APUANA

Nella pianura Apuana si osserva una stretta relazione fra morfologia e andamento della superficie piezometrica, sia nel periodo estivo che in quello invernale.

Si possono chiaramente distinguere tre fasce principali, più o meno parallele alla costa, che caratterizzano l'andamento generale della falda.

La prima è la fascia delle conoidi alluvionali dei corsi d'acqua che provengono dalle Apuane, in cui si osserva un flusso dominante della falda dai monti verso il mare; l'andamento della superficie piezometrica, dove non è disturbato da fattori perturbanti, come intensi emungimenti, assume le caratteristiche forme a ventaglio.

La seconda fascia, depressa rispetto alle altre, è la zona dei terreni limo-argillosi di origine lacustre: in questa zona la falda risulta depressa e abbastanza piatta, con gradienti nettamente inferiori alla zona pedemontana. Nonostante il valore minore rispetto alle zone circostanti, la quota della falda rimane comunque al di sopra del livello del mare.

La terza fascia, litorale, costituita da sabbie debolmente rialzate in cordoni di dune (attualmente spianate per azione antropica), presenta degli alti relativi della falda a causa della notevole infiltrazione delle acque meteoriche in un terreno molto permeabile.

Per quel che riguarda i rapporti acque superficiali-acque sotterranee, nella pianura Apuana si osserva che i livelli idrici dei corsi d'acqua sono in equilibrio con i livelli di falda solamente nelle parti più alte delle conoidi.

Più a valle, le depressioni, riconducibili ai forti emungimenti e l'impermeabilizzazione degli alvei dovuta alla «marmettola» (prodotta dalla lavorazione dei materiali lapidei) fanno sì che il dislivello fiume-falda raggiunga anche svariati metri.

Dall'esame delle carte delle isopiezometriche realizzate, sia estive (giugno-luglio 1993) che invernali (novembre-dicembre 1993), appaiono evidenti le considerazioni fatte (Fig. 4 e 5).

Si possono individuare inoltre alcune anomalie locali, rappresentate soprattutto da «bassi piezometrici». Questi sono generati sicuramente da forti pompaggi, dato che si ritrovano in corrispondenza delle industrie della lavorazione del marmo ubicate lungo i corsi del T. Carrione e del F. Frigido, nella Zona Industriale, fra Massa e Carrara, e in prossimità dei campi pozzi degli Acquedotti Comunali (zona dello Stadio a Massa, in loc. Cervaiolo a Montignoso).

Questi minimi non raggiungono tuttavia valori inferiori allo «zero piezometrico» salvo che nella zona dell'inceneritore della città di Massa.

Nella carta delle isopiezometriche invernali, si può osservare che le piogge di ottobre-novembre hanno determinato un rialzo delle falde (circa 0.5-1.0 metri). Dall'andamento della superficie piezometrica si può notare che fra la situazione di giugno-luglio e quella invernale non emergono sostanziali differenze. Continuano a rimanere i minimi dovuti all'influenza dei pompaggi anche se di intensità minore rispetto alla campagna di misure estiva. La risalita del livello piezometrico risulta maggiore in corrispondenza delle zone di ricarica e nelle zone in cui gli emungimenti hanno carattere prevalentemente stagionale (irrigazione dei campi, annaffiatura dei giardini, servizi vari).

Si nota invece una risalita minore dei livelli nelle zone lontane dalla ricarica e in quelle in cui gli emungimenti si mantengono nella stessa misura durante tutto l'arco dell'anno, come lungo gli alvei del Carrione e del Frigido, dove i processi per il taglio dei materiali lapidei richiedono un consumo costante di acqua.

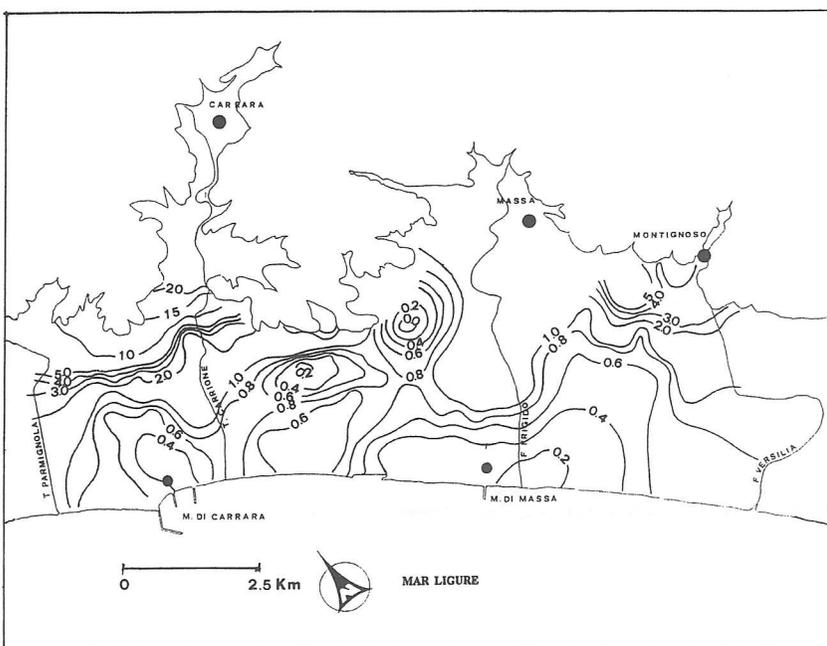


Fig. 4 - Isopieze estive (Giugno-Luglio 1993).

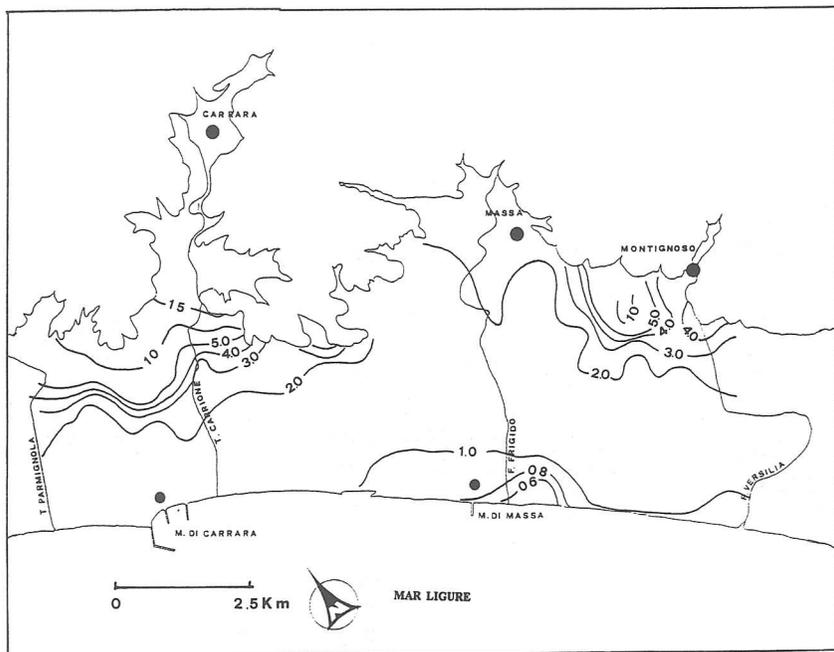


Fig. 5 - Isopezze invernali (Novembre-Dicembre 1993).

#### CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE DELLE ACQUE DELLA PIANURA APUANA

L'andamento generale della superficie piezometrica è stato confermato dalla distribuzione e dalla variazione dei parametri chimico-fisici rilevati durante il periodo invernale ed elaborati cartograficamente col metodo di interpolazione lineare.

I parametri considerati sono stati: la temperatura, la conducibilità elettrica a 20°C, la concentrazione idrogenionica (pH), i nitrati, i cloruri e l'alcalinità.

#### Temperatura

Le acque della pianura Apuana, secondo la classificazione di Mouren (1910), possono definirsi «acque fredde», presentando nei campioni analizzati un valore medio di 13.6°C.

Le temperature delle acque dei pozzi all'epoca dei prelievi, oscillavano fra 12 e 15.5 °C.

La costanza di questi valori è sicuramente riconducibile ad una circolazione relativamente profonda all'interno della pianura Apuana e all'alimentazione per inalveamento dalle acque fresche che scaturiscono dalle sorgenti situate ai piedi delle Alpi Apuane.

#### Conducibilità elettrica a 20°C

Relativamente ai campioni analizzati nel dicembre 1993, la conducibilità a 20°C delle acque sotterranee della pianura Apuana mostra un valore medio di 855  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . È quindi possibile definirle come «mediominerali», secondo la classificazione di Celico (1988). L'esame della carta della conducibilità, mostra che le aree con valori più elevati (fino a 2100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) (Fig. 6)

si collocano in corrispondenza della fascia costiera della pianura Apuana.

Questa situazione è sicuramente imputabile alla forte concentrazione degli emungimenti operati sia ad uso privato degli abitati di Marina di Massa, di Marina di Carrara, che ad uso industriale delle numerose installazioni per la lavorazione del marmo della Zona Industriale.

Da tutte queste aree inoltre, la conducibilità tende a decrescere spostandoci verso l'entroterra: questo particolare andamento lascia supporre che il fenomeno sia da imputare ad ingressione di acqua marina nelle falde sotterranee, per i forti prelievi che vanno a disturbare l'equilibrio fra le acque sotterranee e quelle marine. Tale supposizione sarà poi confermata dai valori delle concentrazioni dei cloruri rinvenuti nelle acque di tali aree. Sono tuttavia presenti altri massimi, anche al di fuori della fascia costiera: in questi casi è da escludere un inquinamento di tipo marino.

Un esempio è sicuramente quello osservabile nella zona nord-occidentale della carta, in sinistra del T. Carrione, e analogamente in sinistra del F. Frigido, nella zona sud-orientale della carta.

Questi valori si possono attribuire più facilmente a episodi di inquinamento locali, come documentano le analisi chimiche eseguite che rivelano, soprattutto, un'elevata concentrazione dello ione nitrato.

I valori più bassi si rinvencono lungo l'asse del cono di deiezione del F. Frigido, dove le acque di falda sono in più diretta connessione con le acque leggere di superficie ed in località Cervaiolo, nel comune di Montignoso.

#### Concentrazione idrogenionica (pH)

I campioni d'acqua prelevati nella pianura Apuana,

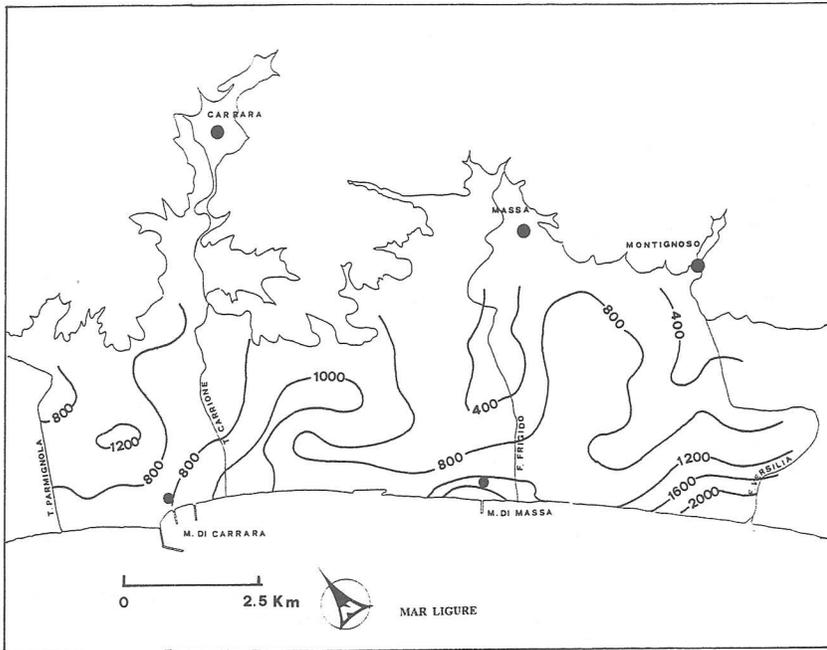


Fig. 6 - Distribuzione della conducibilità elettrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

mostrano un valore medio di pH pari a 7.12, oscillando fra un valore minimo di 6.24 ed uno massimo di 8.00.

Le acque più acide si localizzano (Fig. 7):

- nella zona sud-orientale della pianura, alimentate dalle acque provenienti, soprattutto, dai subalvei del C.le Montignoso, alimentati a loro volta da una lenta percolazione nelle rocce filladico-quarzitiche dei rilievi soprastanti;
- nell'area industriale.

Lungo la fascia costiera sono state campionate acque leggermente alcaline; questi valori sono interpretabili non come dovuti ad una lenta circolazione negli antichi depositi lagunari limo-sabbiosi, ma più facilmente (visto che tali aree coincidono con quelle in cui sono stati identificati anche i massimi di conducibilità e di concentrazione di cloruri) alla contaminazione con le acque salmastre.

Acque alcaline (valori compresi fra 7.5 e 7.9) sono state rinvenute anche in sponda destra del F. Frigido e

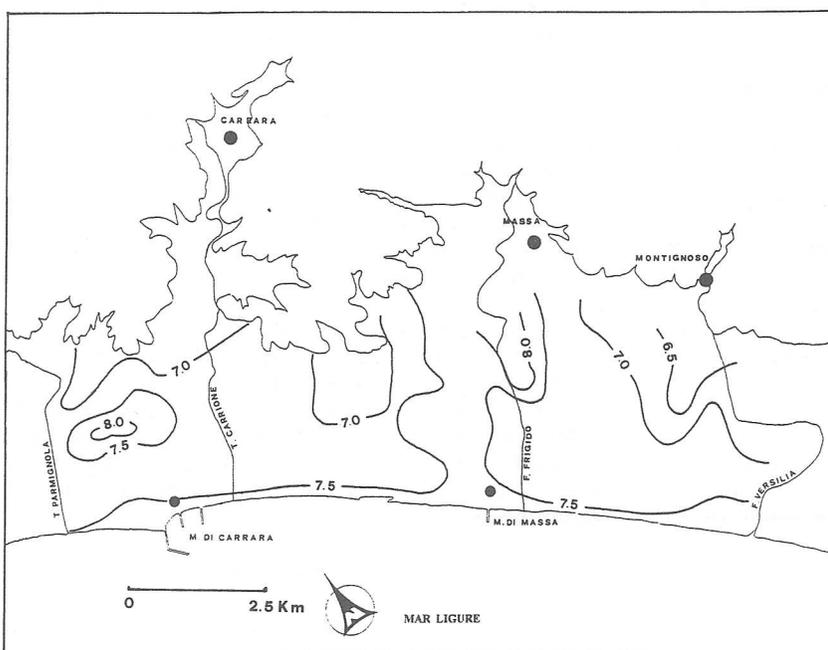


Fig. 7 - Distribuzione del pH.

sono sicuramente da mettere in relazione con un apporto di acque circolanti nei calcari che sovrastano l'abitato di Mirteto, e nel settore nord-occidentale della pianura (8.0).

### Nitrati

Le aree ad alta concentrazione dei nitrati, si localizzano essenzialmente nella pianura Apuana (Fig. 8) e (Fig. 1-Tab. 1):

- nella vasta area sud-orientale che si estende in sponda sinistra del F. Frigido, dal piede delle colline, presso Turano, fino quasi alla costa attraverso i campi pozzi delle Polle;
- nel settore a cavallo del Torrente Carrione e del Fosso Lavello, nell'area ASI (ex Italiana Coke);
- nell'area compresa fra la sponda sinistra della Fossa Maestra a la sponda destra del Torrente Carrione, da via Govetta fino alla costa, dove è stata localizzato il valore massimo della concentrazione dei nitrati riscontrato nelle acque (pozzo n. 28 con 173,6 mg/l).

Tab. 1

Pozzi con elevate concentrazioni in NO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub> (mg/l)
11	47,8
28	173,6
33	51,4
63	72,0
133	71,4
132	66,0

I nitrati, a causa dell'elevata antropizzazione del territorio, dello sfruttamento intensivo delle aree agricole e, non da meno, da una mancanza quasi generalizzata della rete fognaria in molti settori della Pianura, hanno

un'origine sicuramente superficiale: si devono quindi escludere ipotesi quali un'origine più profonda (di natura «geologica», es. strati di torba).

La provenienza è da attribuirsi essenzialmente all'immissione in falda di composti organici ed inorganici di origine urbana, con riferimento mirato ad una rete fognaria ancora incompleta, e agli elevati apporti delle concimazioni azotate, organiche ed inorganiche, che si hanno nelle aree ad alta concentrazione agricola.

Nella pianura Apuana sono presenti inoltre numerose canalizzazioni, e le acque che vi si immettono non hanno un regolare deflusso per le numerose ostruzioni provocate dalla ormai abituale trascuratezza nella loro manutenzione. L'acqua stagnante favorisce quel naturale processo di putrefazione di grandi quantità di sostanza vegetale che vi si deposita dall'ambiente circostante.

Altra cosa che ha potuto nuocere allo stato di salute della falda artesianica della zona in esame, è l'elevato numero di pozzi privati; tali manufatti raramente sono stati eseguiti con procedimenti tecnici corretti, e la mancanza di cementazione fra le falde, ha finito col mettere in diretto contatto le acque più profonde con quelle più superficiali creando veicoli diretti di potenziale inquinamento delle falde più profonde e naturalmente più protette.

### Rischio tossicologico

L'accumulo di nitrati nelle acque del sottosuolo che possono essere utilizzate come acque potabili è un problema che riguarda la salute umana. Infatti allorché i nitrati raggiungono l'apparato digerente sono convertiti a nitriti dalla flora batterica e possono provocare, legandosi all'emoglobina del sangue, gravi disfunzioni nel trasporto di ossigeno alle cellule del corpo (metemoglobinemia).

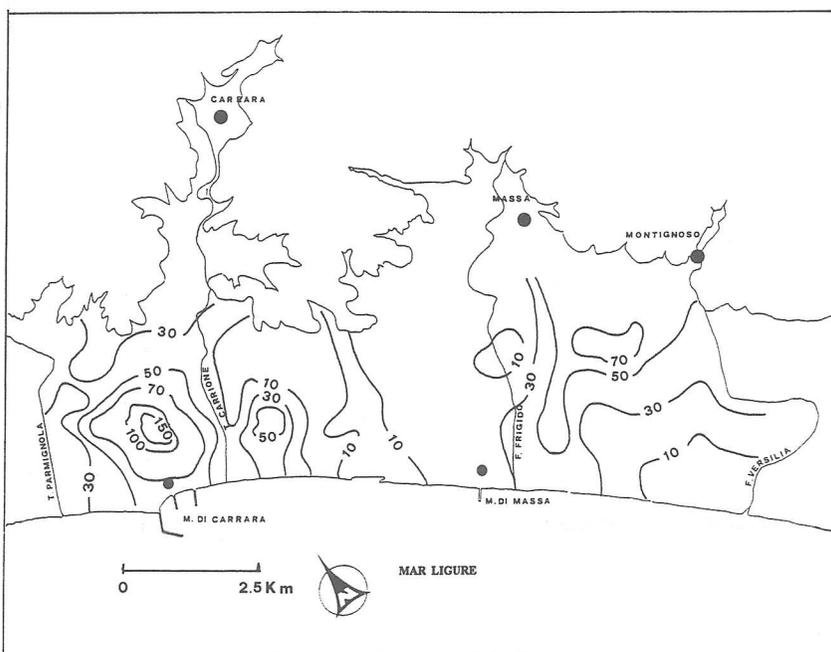


Fig. 8 - Distribuzione dei Nitrati (mg/l).

Il pericolo di contaminazione può giungere anche attraverso la catena alimentare (es. latte vaccino), ed è maggiore perchè sono proprio i bambini al di sotto dei 4 mesi di età i più suscettibili alla malattia.

Esiste infine la possibilità che certe piante a carattere nitrofilo (es. spinacio) possano accumulare nitrati senza però riuscire a convertirli completamente in amminoacidi, risultando così una possibile fonte di contaminazione per l'alimentazione umana.

In ogni caso l'ingestione di nitrati da qualsiasi fonte è sempre da considerarsi pericolosa, poiché risulta possibile la formazione, con i prodotti del metabolismo azotato, delle nitroso-ammine (dimetilnitrosammina) di cui è nota l'azione mutagena (alterazioni cromosomiche), tossicologica (fegato umano) e cancerogena. (Caporali e Massantini, 1979).

Nell'uomo non vi è sufficiente evidenza epidemiologica di cancerogenità tale da considerare questa sostanza nel gruppo 1A (cancerogeni certi per l'uomo), in tal caso il limite delle acque potabili sarebbe zero.

Ma l'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) dell'OMS, che ha operato la classificazione dei cancerogeni, suggerisce:

*«in assenza di dati sull'uomo è biologicamente plausibile e prudente considerare le sostanze per le quali vi è sufficiente evidenza di cancerogenità nell'animale, come se presentassero un rischio cancerogeno per l'uomo».*

### Cloruri

L'inquinamento delle acque sotterranee da parte di acque salate può essere determinato soprattutto dall'ingressione di acque marine nella terraferma.

Le acque della pianura Apuana, nel suo insieme, non mostrano, se non localmente (cfr § 5.2), gravi fenomeni di miscelazione con acque marine. Questa pressoché assenza di contaminazione, molto elevata negli acquiferi costieri in generale e, in particolar modo, in quelli della Toscana, viene suffragata dai rapporti ionici caratteristici (Tab. 2), che sono:

–  $rMg^{++}/Ca^{++}$ : questo rapporto varia nelle acque continentali tra 0,3 e 1,5. L'acqua di mare presenta un valore pari a 5, quindi le acque che circolano in «formazioni marine» o che si sono miscelate con l'acqua del mare mostrano un rapporto elevato, cosa che nel caso della Pianura Apuana non si verifica, raggiungendo il valore massimo di 1,48.

–  $rK^+/rNa^+$ : il rapporto oscilla, nelle acque dolci, tra 0,001 e 1 (con una frequenza massima compresa tra 0,004 e 0,03); nell'acqua marina il rapporto è compreso tra 0,02 e 0,025.

–  $rCl^-/HCO_3^{2-}$ : il valore di questo rapporto nelle acque continentali è generalmente compreso tra 0,1 e 5, mentre che nell'acqua di mare oscilla tra 20 e 50; il valore massimo di 2,58 registrato nella zona di studio conferma in tutto la mancanza di una vera e propria intrusione marina, per lo meno per quanto riguarda questa relazione ionica.

–  $rSO_4^{2-}/Cl^-$ : questo rapporto costituisce un buon indicatore di intrusione marina, in quanto i valori molto bassi sono tipici delle zone costiere con problemi di ingressione d'acqua di mare; il valore caratteristico è 0,1.

Nell'acquifero alluvionale della pianura Apuana il contenuto in cloruri è generalmente basso (Fig. 9).

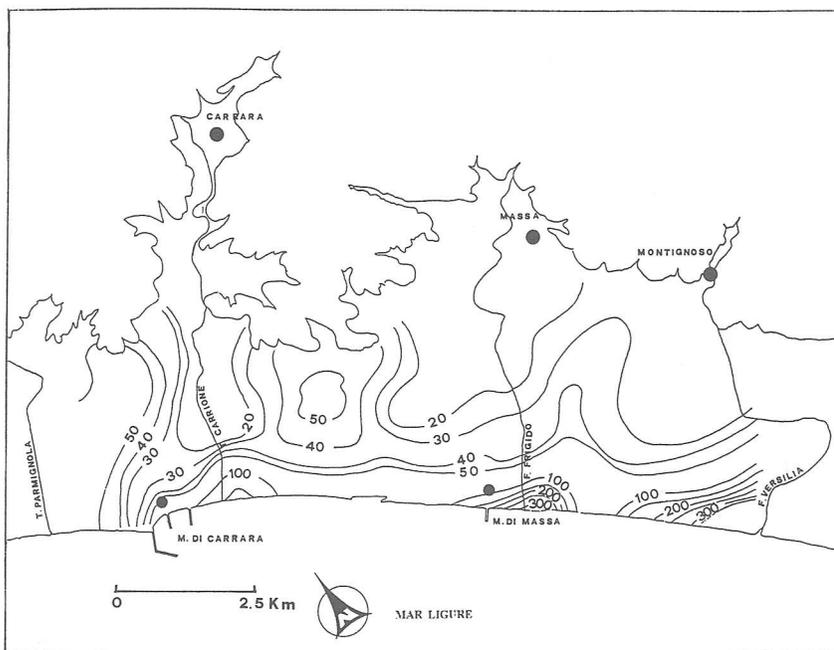


Fig. 9 - Distribuzione dei Cloruri (mg/l).

Tab. 2 - Rapporti ionici caratteristici delle acque sotterranee della Pianura Apuana.

N° POZZO	rMg/rCa	rK/rNa	rCl/rHCO <sub>3</sub>	rSO <sub>4</sub> /rCl
1	0,41	0,15	0,25	0,17
5	0,55	0,08	0,29	1,57
11	0,34	0,03	0,27	0,27
29	0,14	0,02	0,11	1,65
33	0,36	0,18	0,08	2,17
89	0,73	0,06	0,31	1,29
115	1,33	0,03	2,58	0,33
119	0,63	0,08	0,12	2,78
147	0,39	0,04	0,19	1,00

I pozzi della fascia litoranea, sono quelli che mostrano le concentrazioni maggiori di cloruri. Questi valori, pure essendo superiori alle concentrazioni medie, riscontrate nelle acque della pianura Apuana, non raggiungono mai tenori superiori a 400 mg/l.

### Alcalinità

L'alcalinità delle acque della pianura Apuana presenta una distribuzione abbastanza omogenea; un'eccezione è rappresentata dalle acque presenti a sud di Montignoso, dove si hanno i valori minimi registrati, questo fatto si deve probabilmente ad un apporto diretto di acque provenienti dalla formazioni filladiche dell'unità di Massa (Fig. 10).

L'alcalinità più elevata si trova localizzata sulla riva destra del T. Carrione, qui le acque superano i 500 mg/l sia a causa degli apporti provenienti dalle falde acquifere, alimentate dai sistemi carbonatici apuani, che da fenomeni di inquinamento locale.

### DIAGRAMMI DI CARATTERIZZAZIONE DELLE ACQUE

Lo studio delle caratteristiche chimiche delle acque può essere semplificato con la rappresentazione grafica tramite diagrammi, utili per dare una maggiore evidenza di tali caratteristiche e per consentire un confronto visivo immediato tra varie acque e i loro ioni costituenti.

Per le acque della pianura Apuana sono stati realizzati i diagrammi semilogaritmici di Schoeller (Fig. 11) e il diagramma di Piper-Hill (Fig. 12), che raggruppa in aree ben definite tutte le acque con caratteristiche geo-chimiche simili.

Le acque analizzate nella pianura, presentano una facies che può essere definita bicarbonato-calcica; solo due campioni ricadono nella facies delle bicarbonato-sodiche, e due in quella clorurata/bicarbonato-clorurata calcica.

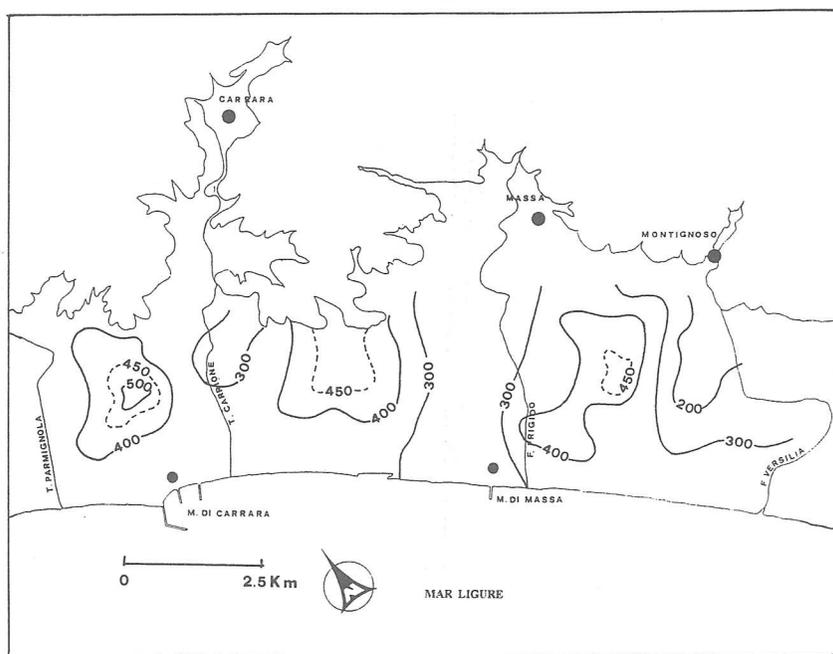
La prevalenza del bicarbonato di calcio testimonia che queste acque circolano in sedimenti alluvionali costituiti prevalentemente da ciottoli carbonatici.

### VALUTAZIONE DEGLI APPORTI AL SISTEMA ACQUIFERO ALLUVIONALE DELLA PIANURA

Per bilancio idrologico di un'area continentale della quale si voglia giungere alla valutazione delle risorse idriche sotterranee, si intende il calcolo analitico dei singoli parametri che compaiono nell'equazione idrologica:

$$P = Evt + I + D$$

Precipitazioni = evapotraspirazione + infiltrazione + deflusso superficiale.

Fig. 10 - Alcalinità mg/l CaCO<sub>3</sub>.

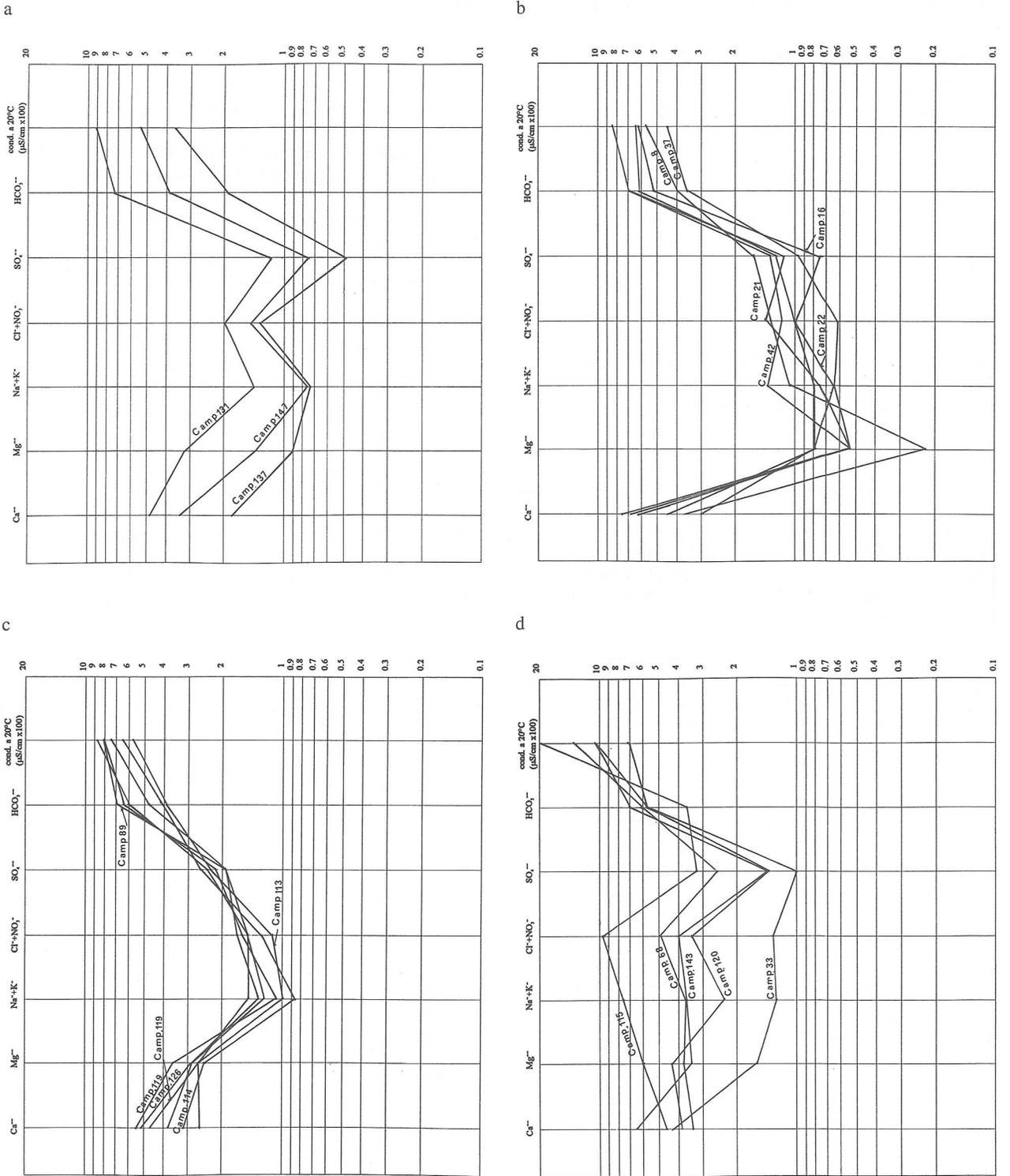


Fig. 11 - Diagrammi semilogaritmici di Schoeller.

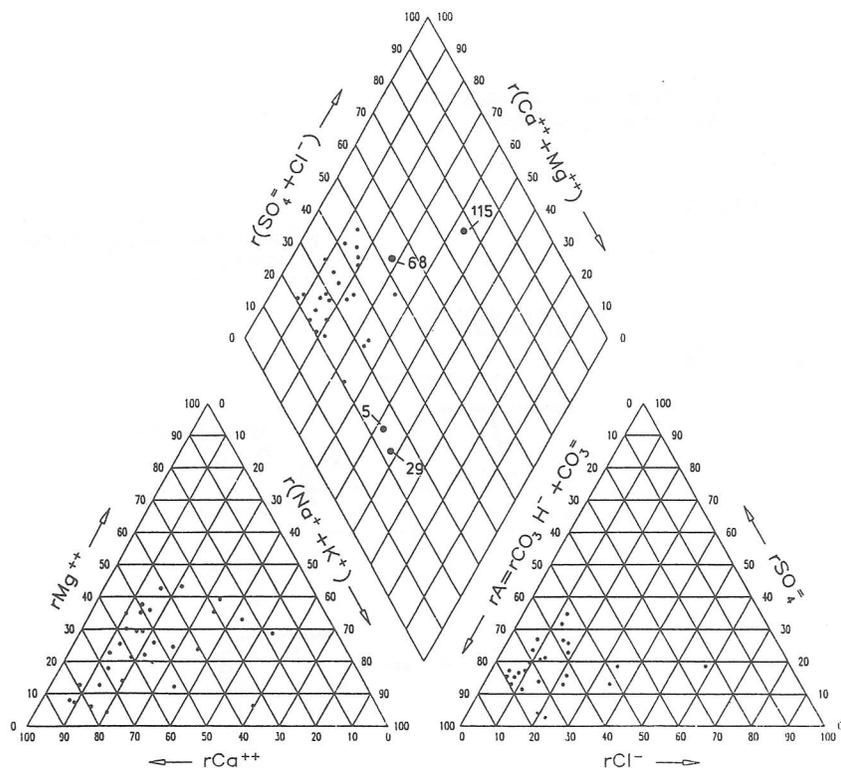


Fig. 12 - Diagrammi di Piper-Hill.

La mancanza di stazioni idrometrografiche nell'area in studio, tranne che per il bacino del F. Frigido dove esiste un idrometrografo a Canevara, impedisce l'elaborazione di un bilancio idrologico sperimentale ed ha indotto alla realizzazione di un bilancio analitico.

Il procedimento seguito per tale valutazione può essere schematicamente riassunto nei seguenti punti:

– definizione dei tre domini idrologici che costituiscono nel loro insieme l'area di studio: il bacino del Torrente Carrione, del Fiume Frigido e del Canale Montignoso (Masini, 1960);

– identificazione per tali settori di un baricentro climatico al quale riferire, per mezzo dei gradienti pluviometrico e dell'evapotraspirazione, calcolati utilizzando i dati relativi al trentennio 1963-92 di stazioni termopluviometriche del Servizio Idrografico Italiano, il valore degli afflussi medi e dell'evapotraspirazione (espressi in mm/anno); la differenza tra questi valori, moltiplicata per l'area dei settori, rappresenta la disponibilità idrica (espressa in m<sup>3</sup>/anno);

– calcolo, per mezzo di coefficienti desunti dalla letteratura (Celico 1988; Piccini e Pranzini 1989; Ven Te Chow 1964), delle quantità d'acqua che s'infiltrano e di quelle che defluiscono superficialmente fino alla zona di pianura.

I dati elaborati hanno prodotto i risultati che si possono osservare nella Figura 13 e che, in sintesi, sono:

#### Bacino del T. Carrione

R<sub>1</sub> = infiltrazione delle acque lungo l'alveo del T. Carrione, fra S. Antonio e Avenza: 18.173.611 m<sup>3</sup>/

anno (questo volume si ricava da una stima del 50% dei deflussi provenienti da monte che sono stati calcolati nel trentennio 1963-1992 e che ammontavano a 36.347.2223 m<sup>3</sup>/anno).

DsFs = apporti di acque superficiali e sotterranee dalle colline di Fossone: 989.242 m<sup>3</sup>/anno;

DsC<sub>1</sub> = apporti di acque superficiali e sotterranee dalle colline del Candia: 244.089 m<sup>3</sup>/anno;

P<sub>1</sub> = infiltrazione efficace sull'alta pianura: 3.203.075 m<sup>3</sup>/anno;

P<sub>2</sub> = infiltrazione efficace sulla bassa pianura: 923.562 m<sup>3</sup>/anno.

Il totale medio annuo stimato della ricarica ammonta a 21.741.169 m<sup>3</sup>/anno, pari a 0,69 m<sup>3</sup>/sec.

#### Bacino del F. Frigido

R<sub>2</sub> = infiltrazione delle acque lungo l'alveo del F. Frigido, fra S. Lucia e le Puliche in corrispondenza del tracciato autostradale: 45.854.364 m<sup>3</sup>/anno (questo volume si ricava da una stima del 50% dei deflussi provenienti da monte che sono stati calcolati nel trentennio 1963-1992 e che ammontavano a 91.708.728 m<sup>3</sup>/anno).

DsCa<sub>2</sub> = apporti di acque superficiali e sotterranee dalle colline del Candia: 2.072.704 m<sup>3</sup>/anno;

DsM = apporti di acque superficiali e sotterranee dalle colline di Mirteto: 5.709.566 m<sup>3</sup>/anno;

DsB = apporti di acque superficiali e sotterranee dalle colline di Monte Belvedere: 1.586.980 m<sup>3</sup>/anno;

P<sub>3</sub> = infiltrazioni efficaci sull'alta pianura: 6.513.832 m<sup>3</sup>/anno;

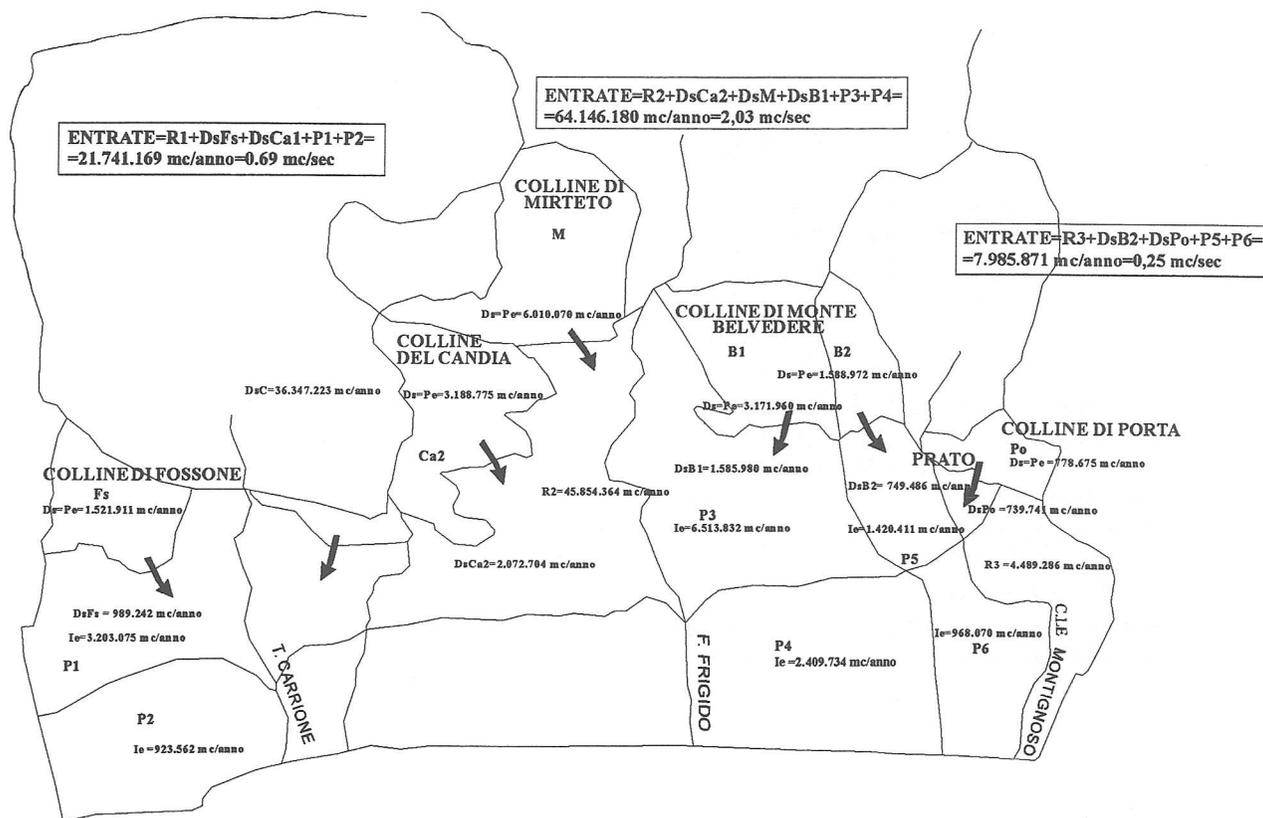


Fig. 13 - Schema di valutazione degli apporti idrici al sistema acquifero alluvionale.

$P_4$  = infiltrazioni efficaci sulla bassa pianura: 2.409.734. Il totale medio annuo stimato per la ricarica del bacino del F. Frigido ammonta a 64.146.180 m<sup>3</sup>/anno, pari a 2,03 m<sup>3</sup>/sec.

#### Bacino del Canale Montignoso

La somma degli apporti relativi ai tre bacini idrologici considerati indica in 2.77 m<sup>3</sup>/sec. la disponibilità idrica della pianura costiera Apuana (Fig. 13).

Tab. 3 - Valutazione del sistema acquifero alluvionale della pianura apuana

Bacino	P (m <sup>3</sup> /anno·10 <sup>6</sup> )	Ds (m <sup>3</sup> /anno·10 <sup>6</sup> )	R (m <sup>3</sup> /anno·10 <sup>6</sup> )
T. Carrione	4,1	1,2	18,0
F. Frigido	9,0	10,3	9,2
C.le Montignoso	2,4	1,5	4,5

P = Precipitazioni; Ds = Deflusso superficiale; R = Ricarica attiva

#### CONCLUSIONI

Con i dati sperimentali raccolti è stato possibile ricostruire, in questo lavoro, il sistema idrogeologico della pianura Apuana; inoltre l'elaborazione ed interpreta-

zione dei dati chimico-fisici delle acque sotterranee ha messo in evidenza le zone interessate da inquinamento antropico e marino.

I dati idrochimici, sia delle acque sotterranee che superficiali, esaminati hanno confermato come la situazione idrogeologica della pianura Apuana sia andata sempre più aggravandosi, mettendo in luce veri e propri aspetti di degrado ambientale.

Il notevole numero di insediamenti industriali, artigianali ed abitativi, sorti negli ultimi decenni senza un'adeguata pianificazione e gli incidenti ambientali, vedi casi di inquinamento da ATRAZINA (Andreani *et al.*, 1989), PERCLOROETILENE (Andreani *et al.*, 1989) registrati nei pozzi di captazione di acque idropotabili, avvenuti in un contesto idrogeologico particolarmente vulnerabile, hanno reso sempre più grave la situazione.

Ad aggravare maggiormente la situazione ha sicuramente contribuito la convinzione che la zona, da sempre estremamente ricca d'acqua, avrebbe comunque offerto la possibilità di reperire sempre grandi quantità con relativa facilità.

Da qui, la mancata opera di prevenzione e soprattutto di pianificazione territoriale in tema di sfruttamento delle risorse idriche.

Uno, tra i numerosi problemi della pianura Apuana, è sicuramente l'inquinamento dovuto ai nitrati, soprattutto perchè è impossibile procedere artificialmente

alla bonifica di elevate quantità di acque e di terreni inquinati con costi accettabili.

I nitrati, che possono pervenire nelle acque da effluenti fognari ed industriali in quantità che variano a seconda del tipo di urbanizzazione, dell'efficienza della rete fognaria e dalle attività delle industrie, sono un sicuro indice di inquinamento.

In vaste aree della pianura sono state riscontrate concentrazioni anche notevolmente superiori ai limiti fissati dalla legge per la potabilità delle acque.

Costruire pozzi in zone protette, diverse da quelle in cui maggiormente si registrano questi valori non deve essere l'unico obiettivo: occorre provvedere ad un radicale piano di protezione ambientale mediante interventi mirati alla ricostruzione o costruzione della rete fognaria, al controllo degli scarichi e soprattutto alla regolamentazione delle attività agricole attraverso un'opera di educazione che indirizzi gli agricoltori verso la scelta di prodotti a minor impatto ambientale (in particolare concimi).

#### BIBLIOGRAFIA

Amorfini, F., Baldini, M., Morabito, G., Raggi, G., Santi, R. e

- Turba, C.A., 1989. Piano di tutela ed uso delle risorse idriche del Comune di Massa. Comune di Massa (MS).
- Andreani, M., Malfatti, P. e Marraccini, P., 1989. Sulla presenza di Nitrati nei pozzi dell'acquedotto delle Polle. Regione Toscana U.S.L. 2, Servizio Igiene Pubblica e del Territorio.
- Andreani, M., Malfatti, P. e Marraccini, P., 1989. Sulla presenza di atrazina nei pozzi dell'acquedotto dello Stadio. Regione Toscana, U.S.L. 2, Servizio Igiene Pubblica e del Territorio Regione Toscana.
- Andreani, M., Camici, G., Malfatti, P. e Marraccini, P., 1989. Sulla presenza di Percloroetilene nei pozzi dell'acquedotto delle Polle. U.S.L. 2, Servizio Igiene Pubblica e del Territorio.
- Celico, P., 1986. Prospezioni Idrogeologiche. Vol. I. Liguori Ed. 735 pp.
- Chow, V.T., 1964. Handbook of Hydrology. Ed. McGraw Hill NY.
- Masini, R., 1958. Il fiume Frigido di Massa Carrara e l'anomalia del suo rendimento idrologico. Atti Soc. tosc. Sci. nat., Ser. A, 65: 358-361.
- Masini, R., 1960. I bacini costieri delle Alpi Apuane (studi geoidrologici sulle acque sotterranee). Boll. Serv. geol. Ital., 80: 657-752.
- Mazzanti, R., 1983. Il punto sul Quaternario della fascia costiera e dell'arcipelago di Toscana. Boll. Soc. geol. ital., 102: 419-556.
- Piccini, L. e Pranzini, G., 1989. Idrogeologia e carsismo del bacino del Fiume Frigido (Alpi Apuane). Atti Soc. tosc. Sci. nat., Mem., Ser. A, 96: 107-158.
- Sestini, A., 1950. Un'antica ripa marina nella Pianura costiera Apuana. Atti Soc. tosc. Sci. nat., Mem., 57: 1-5.

(ms. pres. il 12 febbraio 1996; ult. bozze il 20 giugno 1996)

