

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PISA

Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali

CORSO DI LAUREA IN SCIENZE GEOLOGICHE

**LA FALDA E LE CARATTERISTICHE
CHIMICO-FISICHE DELLE ACQUE
DELLA PIANURA APUANA**

Candidata

Ilaria Salvatori

Relatori

**Chiar. mo Prof. Giovanni Raggi
Chiar. mo Dott. Roberto Spandre**

ANNO ACCADEMICO 1993/ 1994

INDICE

INTRODUZIONE

CAPITOLO 1

Metodo di studio.....pag. 2

1.1 - Stato dell'arte e dati di base

1.2 - Censimento dei pozzi nella pianura Apuana

1.3 - Misure dei livelli piezometrici

1.4 - Campagna di campionamento e analisi chimico-fisiche delle acque sotterranee

1.5 - Realizzazione degli elaborati cartografici

1.6 - Realizzazione delle varie carte tematiche

1.7 - Costruzione delle sezioni stratigrafiche

1.8 - Realizzazione del bilancio idrologico

CAPITOLO 2

Inquadramento generale della pianura Apuana.....pag. 10

2.1 - Inquadramento geografico

2.2 - Inquadramento geologico

2.2a - Geologia regionale

2.2b - Assetto geologico-strutturale

2.2c - Rilievo fotogeologico

2.3 - La rete idrografica

2.4 - Inquadramento geomorfologico ed idrogeologico dell'area di pianura

CAPITOLO 3

Caratteristiche di permeabilità delle rocce.....pag. 27

- 3.1 - Criteri di classificazione
- 3.2 - La carta della permeabilità

CAPITOLO 4

Studio particolareggiato della falda.....pag. 32

- 4.1 - Piezometria e caratteristiche di scorrimento delle acque
- 4.2 - I pozzi della pianura Apuana
- 4.3 - La carta delle isofreatiche
 - 4.3a - Carta delle isofreatiche estive
 - 4.3b - Carta delle isofreatiche invernali

CAPITOLO 5

Ricostruzione geologica del sottosuolo.....pag. 42

- 5.1 - Descrizione delle sezioni

CAPITOLO 6

Principali parametri fisico-chimici delle acque sotterranee.....pag. 48

- 6.1 - Determinazione dei parametri fisici delle acque
 - 6.1a - La temperatura
 - 6.1b - La conducibilità elettrica a 20°C
- 6.2 - Determinazione dei parametri chimici delle acque sotterranee
 - 6.2a - La durezza
 - 6.2b - La concentrazione idrogenionica
 - 6.2c - Grado di mineralizzazione
- 6.3 - Gli elementi chimici presenti nelle acque
 - 6.3a - Ione idrocarbonico

6.3b - Ione solfato

6.3c - Ione cloruro

6.3d - Ioni calcio e magnesio

6.3e - Ioni sodio e potassio

6.3f - Ione nitrato

6.4 - Rappresentazione grafica delle caratteristiche chimiche delle acque

CAPITOLO 7

I nitrati nelle acque della pianura Apuana.....pag. 62

7.1 - Chimica dell'azoto

7.2 - Rischio tossicologico

7.3 - La carta dei nitrati

CAPITOLO 8

I cloruri nelle acque della pianura Apuana.....pag. 67

8.1 - Inquinamento da "acque salate"

8.2 - Aspetti chimici della relazione fra acqua di falda ed acqua marina

8.3 - La carta dei cloruri

CAPITOLO 9

Caratteristiche chimiche e fisiche delle acque superficiali..... pag. 71

9.1 - Qualità delle acque superficiali della pianura Apuana

9.1a - Stazioni lungo il corso del F. Frigido

9.1b - Stazioni lungo il corso del T. Carrione

9.1c - Stazioni poste alle foci dei principali fiumi, torrenti e fossi

9.2 - La marmettola

CAPITOLO 10

Qualità delle acque sotterranee.....pag. 81

- 10.1 - Inquinamento delle acque
- 10.2 - Qualità delle acque per uso idropotabile
- 10.3 - Qualità delle acque per uso irriguo
- 10.4 - Qualità delle acque per uso industriale

CAPITOLO 11

Il bilancio idrologico..... pag. 90

- 11.1 - Precipitazioni
 - 11.1a - Descrizione delle stazioni pluviometriche
- 11.2 - Evapotraspirazione
 - 11.2a - Inquadramento termometrico della zona in esame
 - 11.2b - Calcolo dell'evapotraspirazione reale
- 11.3 - Infiltrazione
- 11.4 - Deflusso superficiale
- 11.5 - Valutazione quantitativa degli apporti al sistema acquifero della pianura Apuana

CAPITOLO 12

I problemi degli acquedotti della pianura Apuana.....pag. 114

- 12.1 - Il percloroetilene nei pozzi dell'Acquedotto delle Folle (Comune di Massa)
- 12.2 - I nitrati nei pozzi dell'Acquedotto delle Folle (Comune di Massa)
 - 12.2a - Geologia della zona delle Folle
- 12.3 - L'atrazina nei pozzi dell'Acquedotto dello Stadio (Comune di Massa)

CONCLUSIONI pag. 126

BIBLIOGRAFIA

RINGRAZIAMENTI

Capitolo 1

Metodo di studio

1.1 - Stato dell'arte e dati di base

La prima fase dello studio, ha previsto la raccolta di tutti i dati geologici esistenti dell'area di pianura apuana (dati idrogeologici, idroclimatici, idrochimici, litostratigrafici, etc.).

La ricerca è stata poi completata da una raccolta di tutti i lavori più importanti eseguiti nell'area in esame, per acquisire un preciso indirizzo sulla metodologia da applicare, e per decidere quali aspetti approfondire e/o indagare durante il lavoro.

Nell'ultimo decennio, sono stati compiuti:

- uno studio condotto per conto della Comunità Montana Apuo-Versiliese, che voleva censire le risorse idriche del proprio territorio allo scopo di poterne valutare la disponibilità, e che ha riguardato soprattutto le sorgenti di tale area;
- una tesi di laurea, nell'anno 1983, che si è occupata essenzialmente dell'aspetto idrogeologico della falda Apuana, senza esaminare le caratteristiche chimico-fisiche delle acque, ad eccezione delle caratteristiche di conducibilità, da riferire ad una valutazione dell'ingressione del cuneo salino nelle acque sotterranee;
- uno studio idrogeologico sul territorio del Comune di Massa che aveva lo scopo primario nel redigere un piano di uso e tutela delle risorse idriche;
- tre studi effettuati da tecnici del Servizio Igiene Pubblica e del Territorio dell'U.S.L. di Massa, con il fine di accertare la presenza di inquinanti nelle acque dei pozzi dell'Acquedotto Comunale di Massa.

INTRODUZIONE

Questo studio ha come obiettivo l'inquadramento geologico ed idrogeologico della pianura costiera Apuana, nel tratto compreso entro i comuni di Montignoso, di Massa e di Carrara, con la finalità di determinare le caratteristiche chimico-fisiche delle acque sotterranee con particolare interesse all'evoluzione del cuneo salino ed ai valori delle concentrazioni dei composti azotati.

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 che potrebbero andare a riversarsi nelle falde.

Infatti l'assetto territoriale dei Comuni di Montignoso, Massa e Carrara è caratterizzato da un'elevata concentrazione di svariate attività produttive, che comprendono tutto l'arco dimensionale dalla grande industria all'artigianato: si ha un'intensa attività di lavorazione e trasformazione del marmo e di altri materiali lapidei, oltre che presenza di attività industriali di tipo siderurgico e chimico.

Sulla fascia costiera Apuana è presente una notevole attività turistica a cui si contrappone un'attività agricola non sempre intensiva, ma fiorente per le condizioni pedo-climatiche ottimali e per le abbondanti risorse idriche sotterranee.

Questo studio vuole quindi offrire un quadro complessivo della situazione idrogeologica ed idrodinamica attuale della zona, ricostruendo l'andamento della falda, ed evidenziandone le caratteristiche chimiche in relazione ai possibili inquinamenti da parte dell'uomo e all'intrusione da parte delle acque marine.

1.2 - Censimento dei pozzi nella pianura Apuana

Il censimento dei pozzi è stato iniziato, prendendo come riferimento le carte realizzate nei precedenti studi effettuati sul territorio, e completato con altri pozzi individuati durante le uscite in campagna.

Tutti i pozzi censiti, necessari per la realizzazione di questo studio, sono stati riportati su base topografica alla scala 1:10.000.

Il criterio di scelta nel censire i pozzi utilizzati per eseguire le misure piezometriche si è basato soprattutto sulla disponibilità che i proprietari di tali pozzi hanno dimostrato, sulla possibilità oggettiva di compiere tali misure e sulla facilità di esecuzione della misura.

1.3 - Misure dei livelli piezometrici

Le misure dei livelli piezometrici, sono state eseguite in due periodi dell'anno (giugno-luglio 1993 e dicembre 1993).

Le due campagne di misura sono state effettuate nel più breve arco di tempo possibile, e ogni volta ho cercato di assicurarmi che fosse passato un significativo periodo dal momento dell'ultimo pompaggio dal pozzo prima di eseguire la misura, per ottenere la quota del livello statico, o quanto meno di poter ricostruire una piezometria il più possibile indisturbata.

Ciò non sempre si è verificato, per gli intensi emungimenti nella pianura, soprattutto durante la prima campagna di misure, da parte di pozzi che pur non facendo parte della maglia di controllo, hanno influenzato l'andamento dei livelli di falda.

1.4 - Campagna di campionamento e analisi chimico-fisiche delle acque sotterranee

Contemporaneamente al rilievo piezometrico del dicembre 1993, ho eseguito una campagna di campionamento per la determinazione in laboratorio dei principali parametri chimico-fisici delle acque sotterranee.

Tutti i campioni d'acqua sono stati prelevati assicurandomi che i pozzi fossero in funzione da un tempo sufficiente a permettere l'eliminazione dell'acqua rimasta nelle tubazioni e l'estrazione di acqua proveniente direttamente dalla falda. Questa precauzione è stata presa per evitare che l'acqua stagnante nelle tubature e nel pozzo alterasse le sue caratteristiche chimico-fisiche, con conseguente variazione della salinità e della durezza.

I campioni d'acqua sono stati raccolti in bottiglie di vetro, ed analizzati nel minor tempo possibile, per evitare variazioni delle caratteristiche.

Le analisi chimico-fisiche delle acque sono state effettuate sia in campagna che in laboratorio. Direttamente in campagna sono stati determinati i seguenti parametri :

- temperatura dell'aria e dell'acqua
- concentrazione idrogenionica (pH)
- conducibilità elettrica a 20°C

Presso il laboratorio del Servizio Multizonale di Prevenzione dell'U.S.L. di Massa ho eseguito, con il prezioso aiuto dei tecnici, le analisi che hanno riguardato :

- concentrazione idrogenionica (pH)
- conducibilità elettrica a 20°C
- residuo fisso calcolato
- azoto ammoniacale

- azoto nitroso
- azoto nitrico
- fosfati totali
- durezza totale
- calcio
- magnesio
- alcalinità
- cloruri
- solfati
- sodio
- potassio
- manganese

1.5 - Realizzazione degli elaborati cartografici

Tutti i dati raccolti in questo lavoro, sono stati elaborati cartograficamente al fine di individuare in modo immediato ed univoco le caratteristiche geologiche, idrogeologiche ed idrochimiche della pianura Apuana.

Tutte le carte sono state realizzate alla scala 1:10.000. Per una buona comprensione di tali caratteristiche, si possono distinguere :

- Carta geologica (tav. 1, fuori testo)
- Carta delle unità idrogeologiche (tav. 1b, fuori testo)
- Carta delle sezioni idrogeologiche (tav. 2, fuori testo)
- Carta delle isofreatiche estate 1993 (tav. 3, fuori testo)
- Carta delle isofreatiche inverno 1993 (tav. 4, fuori testo)
- Carta della conducibilità elettrica in $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 20 °C (tav. 5, fuori testo)
- Carta dei nitrati, espressi in mg./l. (tav.6, fuori testo)

- Carta dei cloruri, espressi in mg./l. (tav. 7, fuori testo)
- Carta dell'alcalinità, espressa in mg./l. (tav. 8, fuori testo)
- Carta del pH (tav. 9, fuori testo)
- Carta della temperatura, espressa in °C (tav. 10, fuori testo)

Sono stati realizzati anche alcuni diagrammi, per classificare le acque analizzate in base alle loro principali caratteristiche chimiche.:

- diagramma di Piper-Hill ;
- diagrammi di Stiff (tav.11, fuori testo);
- diagrammi di Schoeller.

1.6 - Realizzazione delle varie carte tematiche

La carta delle isofreatiche si costruisce utilizzando le misure di livello dei pozzi riferite al livello medio marino. E' stato quindi necessario ricavare per ogni pozzo la quota topografica del boccapozzo, utilizzando la cartografia in scala 1:2.000.

Successivamente, ho calcolato la differenza aritmetica fra la quota topografica del boccapozzo e la misura del livello dell'acqua, riportando così le misure piezometriche al livello marino.

Questi valori sono stati riportati sulle carte 1:10.000 usate per la presentazione grafica degli elaborati. Per la costruzione di tutte le carte tematiche, mi sono avvalsa dell'ausilio di un programma al calcolatore elettronico. Il metodo, puramente matematico e basato sull'interpolazione dei punti, si è rilevato estremamente utile ed interessante, ma ha anche messo in luce i limiti della non valutazione delle caratteristiche geologico-morfologiche del territorio, il che ha richiesto un successivo intervento interpretativo.

L'equidistanza adottata nella costruzione delle carte delle isofreatiche, in base alla distribuzione, alla distanza dei pozzi e per una migliore rappresentazione della superficie piezometrica, soprattutto nelle zone dove questa è più piatta, è stata :

- di 20 cm., fino all'isolinea dei 3 m.
- di 1 m., dall'isolinea dei 3 m. fino a quella dei 10 m.
- di 2 m., oltre l'isolinea dei 10 m.

Anche le carte idrochimiche, come già detto, sono state realizzate con l'ausilio del computer. L'equidistanza adottata nella costruzione di tali carte, è stata :

- di 10 mg./l. per la carta dei nitrati e dei cloruri,
- di 20 mg./l. per la carta dell'alcalinità,
- di 100 μ S/cm per la carta della conducibilità,
- di 0.5°C per la carta della temperatura,
- di 0.1 per la carta della concentrazione idrogenionica.

1.7 - Costruzione delle sezioni stratigrafiche

Per ottenere una ricostruzione attendibile della geometria strutturale degli orizzonti acquiferi, ho raccolto il maggior numero possibile di stratigrafie riguardanti i pozzi e i sondaggi realizzati nella pianura Apuana.

I dati litostratigrafici mi sono stati forniti per lo più dal Genio Civile di Massa e dalla Società Autostrade Ligure-Toscana.

L'analisi di questi dati mi ha permesso la realizzazione di 12 sezioni del sottosuolo della pianura (tav.2 fuori testo), 11 perpendicolari all'allineamento strutturale delle Alpi Apuane, ed una più o meno parallela alla linea di costa.

Purtroppo la distribuzione dei dati litostratigrafici non è molto omogenea: in alcune zone della pianura la ricostruzione geometrica degli acquiferi non è molto dettagliata.

Per la lunghezza delle sezioni, ho utilizzato la scala 1:10.000, mentre per le altezze la scala 1:1.000. Chiaramente il rapporto 1/10 fra le due scale comporta una marcata attenuazione delle pendenze rispetto all'andamento reale.

1.8 - Realizzazione del bilancio idrologico

Successivamente ho impostato un bilancio idrologico, per una valutazione quantitativa il più preciso possibile, degli apporti al sistema acquifero descritto, e quindi della disponibilità idrica della pianura Apuana.

La realizzazione di un bilancio idrologico, prevede la stima delle quantità di precipitazione affluite sui bacini in esame, della quantità di acqua perduta dal sistema per evapotraspirazione, dell'infiltrazione efficace, dei deflussi superficiali e della parte di questi che vanno ad alimentare la falda.

I bacini idrografici che ho preso in considerazione, sono stati quelli del T.Carrione, del F.Frigido, del C.le Montignoso.

Ho realizzato una carta degli afflussi meteorici alla scala 1:50.000 (tav.13 fuori testo); non ho potuto utilizzare una scala minore, per l'esiguo numero di stazioni termopluviometriche esistenti nell'area in esame e nelle zone limitrofe.

Per il bilancio sono stati utilizzati dati termopluviometrici relativi al trentennio idrologico 1963-1992.

Il bilancio è stato ipotizzato in condizioni di equilibrio, cioè in assenza di derivazione e di restituzione di acque superficiali e sotterranee.

Capitolo 2

Inquadramento generale della pianura Apuana

2.1 - Inquadramento geografico

L'area presa in esame è situata sul lato sud-occidentale delle Alpi Apuane, si sviluppa per una lunghezza di circa 12,5 Km., ha una estensione di circa 120 Kmq. ed è compresa fra le coordinate $43^{\circ}58'$ e $44^{\circ}05'$ di latitudine e $2^{\circ}18'$ e $2^{\circ}26'$ di longitudine.

Interessa, come ho già precisato, la pianura costiera Apuana, che ricade da un punto di vista amministrativo nei Comuni di Montignoso, Massa e Carrara, e dunque l'intera area di pianura della Provincia di Massa-Carrara.

Tale area 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 (fig.2.1.1).

2.2 - Inquadramento geologico

In considerazione dello stretto legame tra le caratteristiche idrogeologiche dei bacini montani e quelle della falda della pianura Apuana, viene di seguito delineato il quadro geologico e strutturale dell'intero sistema.

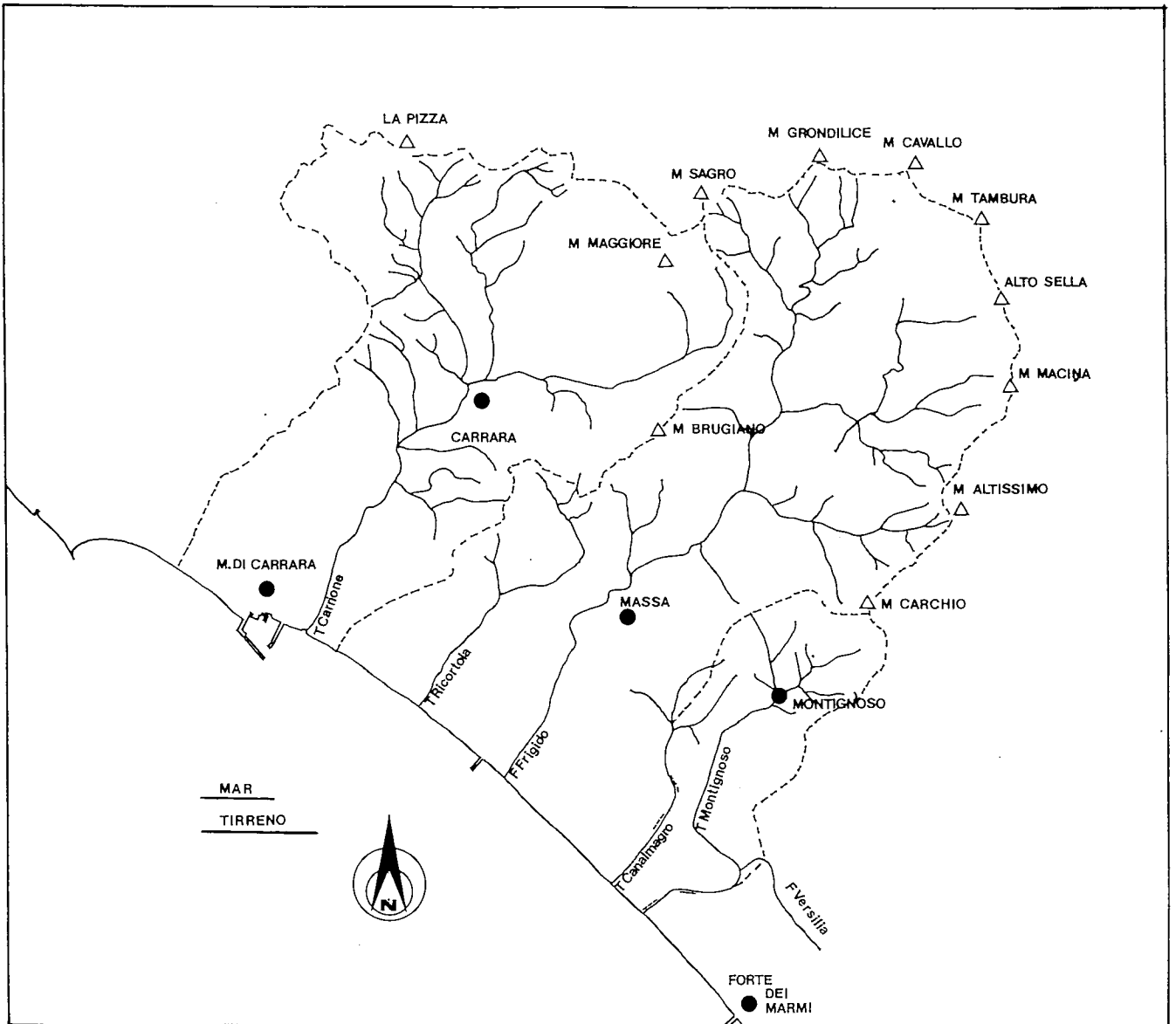


fig.2.1.1 Inquadramento geografico dell'area di studio

2.2a - Geologia regionale

Nell'oceano alpino-appenninico, dal Triassico al Miocene, si depositano le successioni sedimentarie che sono raggruppate in due grandi domini stratigrafico-strutturali: il dominio ligure e il dominio tosco-umbro-marchigiano.

Il dominio ligure è costituito da sedimenti tipici di un mare ampio e profondo depositatosi dal Giurassico superiore al Terziario su di un substrato a crosta oceanica.

Il dominio tosco-umbro-marchigiano è costituito da unità che iniziano a depositarsi nel Triassico e continuano fino al Miocene su di un substrato a crosta continentale, già corrugata nel Carbonifero, durante l'orogenesi ercinica, ed erosa prima dell'apertura del bacino marino del ciclo sedimentario alpino.

Il dominio toscano può essere a sua volta suddiviso in due parti: una non metamorfica, nota come Falda Toscana, e una intensamente metamorfosata durante le varie fasi dell'orogenesi terziaria che costituisce la successione Apuana.

La sedimentazione delle successioni toscana e umbro-marchigiana comincia infatti con l'apertura del mare alpino-appenninico nel vecchio continente ercinico e si sviluppa in connessione con la subsidenza e l'evoluzione della zona marginale della placca italo-adriatica (Meccheri, 1980), mentre la deposizione delle serie liguri inizia con l'apertura, all'interno del mare triassico, del bacino oceanico giurassico.

Tali unità sono interessate successivamente dall'orogenesi terziaria appenninica. Le Alpi Apuane, come tutta la catena Alpi-Appennino, sono il risultato del corrugamento e della trasposizione tettonica delle unità menzionate, con andamento da SW a NE (Boccaletti et al., 1971).

Tali eventi deformativi sono comunemente messi in relazione con l'evoluzione tettonogenetica del margine continentale italo-adriatico e sono attribuiti alla collisione dei due blocchi continentali, preceduta dalla chiusura del bacino oceanico a substrato ofiolitico, che era compreso fra la microplacca sardo-corsa e la placca italo-adriatica.

In fase successiva a quelle plicative culminata nel Miocene superiore, si realizza un collassamento della catena con l'impostazione di grandi famiglie di faglie dirette (Coli, 1989), che provocano l'abbassamento strutturale di alcune zone dell'Appennino; sembra riconducibile a tale causa la formazione dei graben dei fiumi Serchio, Magra e Vara.

L'evoluzione geomorfologica post-orogena ha creato nella struttura a falde Apuana un'ampia finestra tettonica in cui si può riconoscere la più completa successione di unità tettoniche visibile nell'Appennino Settentrionale.

Queste unità, dal basso verso l'alto sono :

- Unità Apuana
- Unità di Massa
- Falda Toscana
- Unità Liguridi.

Le prime due formano insieme il complesso metamorfico delle Alpi Apuane.

L'Unità di Massa è formata da terreni metamorfici ercinici (Vai e Cocozza, 1986) coperti in modo discordante da terreni triassici.

L'Unità Apuana è formata da terreni ercinici epimetamorfici (Tongiorgi e Bagnoli, 1981) ricoperti in discordanza da depositi continentali triassici seguiti da una sequenza calcarea mesozoica (Carmignani e Giglia, 1975).

Nel Terziario, come già accennato, l'Unità di Massa e l'Unità Apuana furono interessate da tre fasi tettoniche che hanno provocato effetti deformativi e metamorfici (Coli, 1989).

Le deformazioni si verificarono sempre sotto il carico della Falda Toscana e delle Liguridi sovrastanti, il cui spessore doveva essere di 8-10 km. L'età di tali eventi deformativi sono state calcolate in 27 M.a. per il primo, 14 M.a. per il secondo e 12 M.a. per il terzo (Kligfield et al., 1986); inoltre, analisi effettuate su marmi, in rapporto al contenuto di Mg della calcite in presenza di dolomite, e curve di termoluminescenza eseguite su marmi del Corchia, hanno suggerito temperature di 300-400°C e pressioni di 3-4 kbars (Giglia e Radicati di Brozolo, 1970).

2.2b - Assetto geologico-strutturale

Dal punto di vista geologico, procedendo dalle cime più elevate verso la pianura, s'incontrano in sovrapposizione:

- i terreni metamorfici del nucleo Apuano, considerati facenti parte di un'Unità Autoctona ("Falda Toscana Esterna")
- segue quindi un complesso metamorfico, costituito da alcune scaglie parautoctone, rappresentato in quest'area esclusivamente dal "Verrucano s.l." ("Unità di Massa ")
- quindi s'incontrano le formazioni non metamorfiche della Falda Toscana ("Falda Toscana Interna")
- sulle colline che raccordano le Alpi Apuane con la pianura, affiorano infine i terreni appartenenti alla Copertura Alloctona Ligure, che poggiano sul Macigno, il termine più alto della Successione Toscana non metamorfica.

La distribuzione delle unità tettoniche appare dallo schema di fig.2.2.2, esteso a tutto il settore Nord-occidentale del gruppo Apuano.

I lineamenti strutturali sono in sintesi i seguenti: i terreni metamorfici, che costituiscono la terminazione occidentale del nucleo Autoctono Apuano,

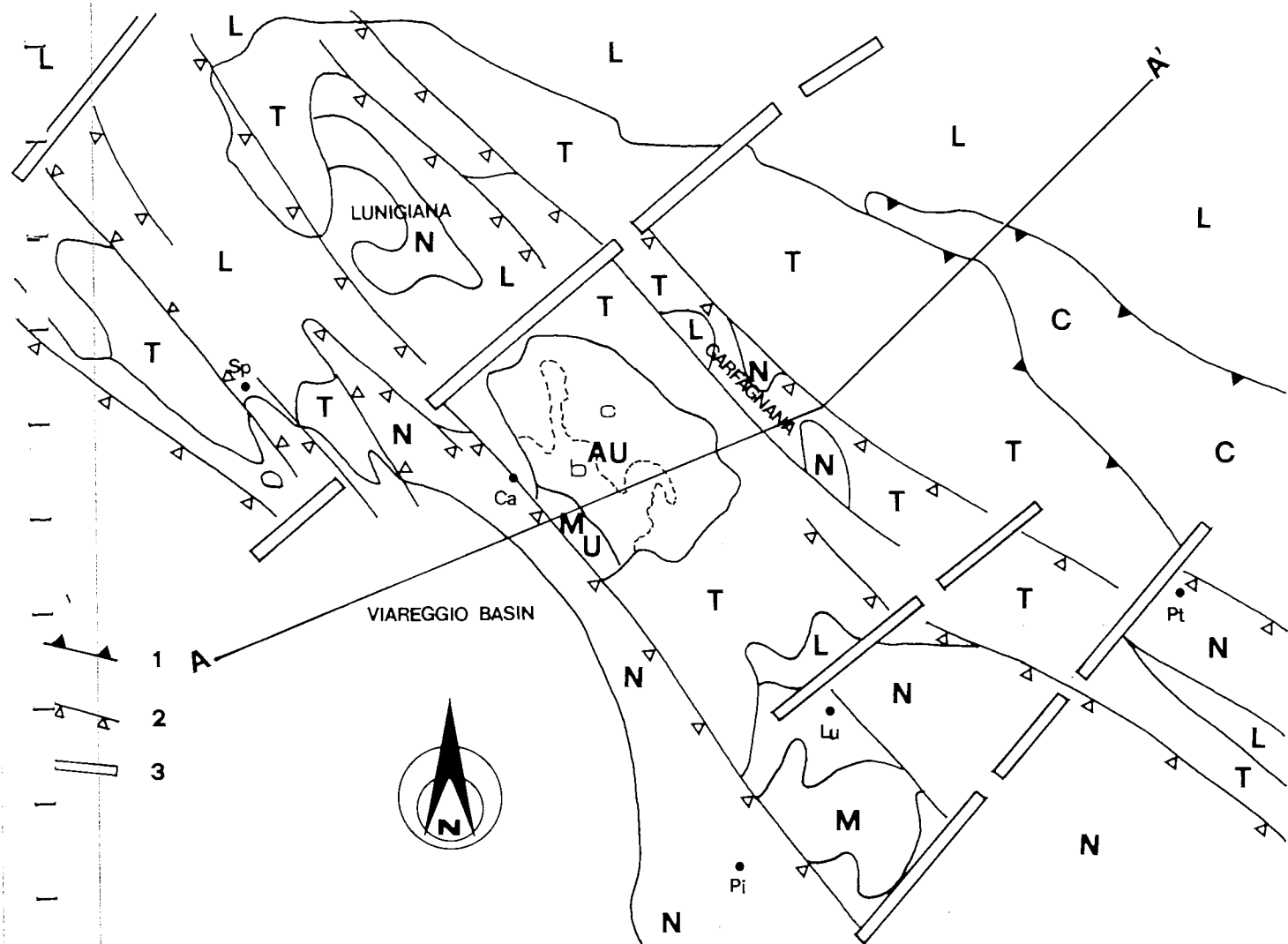


fig.2.2.2a Schema strutturale dell'area Apuana

AU = Unità Apuana c) copertura

b) Paleozoico

MU = Unità di Massa

T = Falda Toscana

C = Unità del Cervaiola

L = Unità Liguri

N = Depositi marini e continentali neogenici

A-A' = traccia della sezione

1) principali linee di sovrascorrimento

2) faglie normali

3) linee trasversali agenti come TRANSFER FAULT

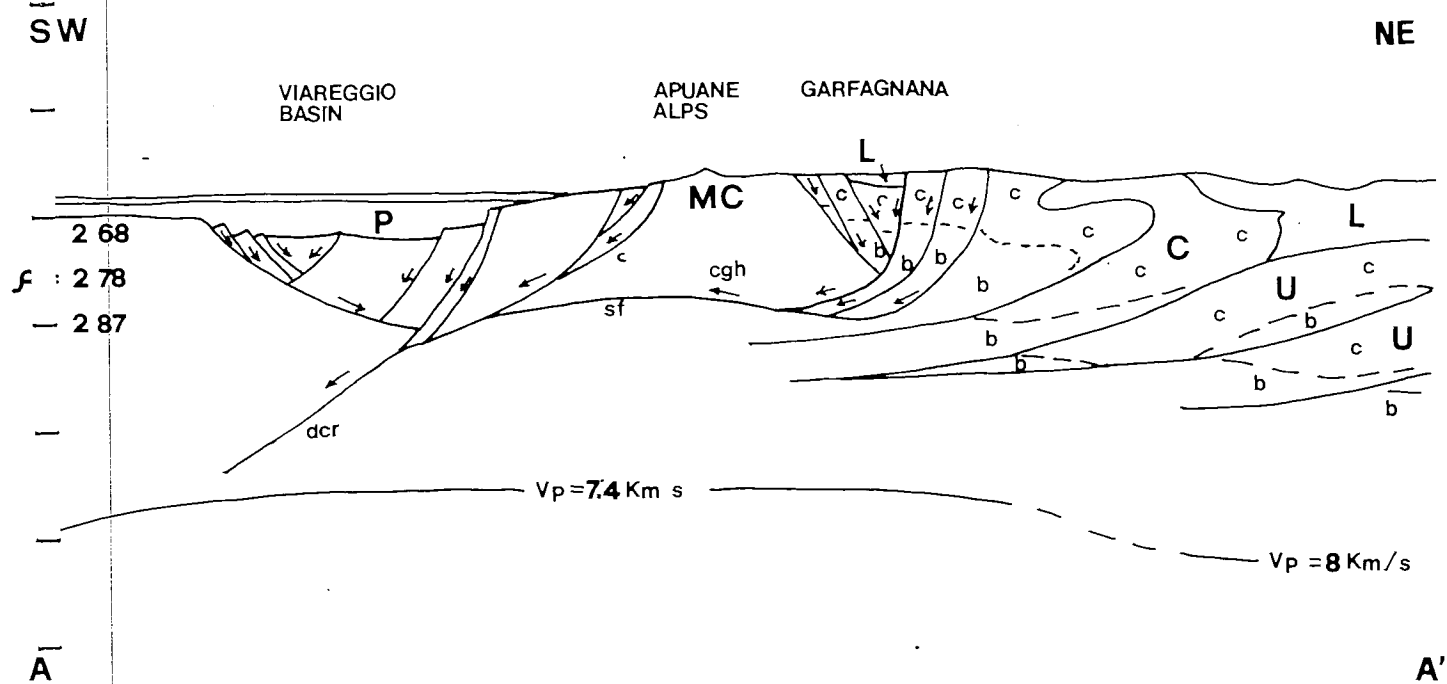


fig.2.2.2b Interpretazione della struttura attuale dell'Appennino Settentrionale, nell'area Apuana, secondo i nuovi modelli di tettonica estensiva

MC = Nucleo Metamorfico Apuano

T = Falda Toscana

C = Unità del Cervaiola

U = Unità Umbra

L = Unità Liguri

P = Depositi tardo miocenici-quadernari del bacino di Viareggio

b) basamento

c) copertura

CGH = alto centrale

SF = faglia basale

DCR = faglia crostale profonda

costituiscono una sinforme rovesciata, al nucleo della quale compaiono i Calcari Selciferi del Lias medio-superiore. Fanno parte della stessa struttura anche i Marmi, i Grezzoni ed il Verrucano (Filladi, Porfiroidi e Scisti porfirici), che rappresentano il termine più antico di questa successione.

Il fianco rovesciato della sinclinale appare molto laminato e stirato, con forti riduzioni di spessore o scomparsa totale di alcune formazioni

Il Verrucano Autoctono, implicato nella struttura, compare solo a sud di Caglietta, presso la sorgente del Cartaro, alla base del potente ammasso di Grezzoni che sta a cavallo delle valli del F.Frigido e del T.Carrione.

La sinforme rovesciata rappresenta un elemento comune a tutto il bordo occidentale delle Alpi Apuane, tra Campocecina e Seravezza, bordo che costituisce il margine interno dell'Autoctono.

I terreni metamorfici dell'Unità di Massa, fortemente tettonizzati, poggiano in discordanza sul Verrucano dell'Autoctono e sui Grezzoni che formano il fianco rovesciato della sinforme.

Il contatto tettonico è ben visibile in molti luoghi tra la valle di Torano e quella di Montignoso, ed anche in molti altri tratti del versante occidentale delle Apuane, lungo la via di accavallamento tra le due unità.

L'Unità di Massa è rappresentata esclusivamente da Filladi, Scisti sericitici, Quarziti, Breccie poligeniche e lenti di Calcari saccaroidi a Diplopore (M.Brugiana) attribuiti al Verrucano triassico ed al suo basamento paleozoico.

I terreni non metamorfici della Falda Toscana si accavallano su quelli dell'Unità di Massa e sull'Autoctono, con l'interposizione di un potente livello di breccie poligeniche di natura sedimentaria .

Queste sono discordanti rispetto ai terreni delle Unità tettoniche sottostanti e poggiano, secondo i luoghi, sia su formazioni dell'Autoctono, sia su quelle dell'Unità di Massa, o contemporaneamente su entrambe.

Le formazioni non metamorfiche appartenenti alla Falda Toscana, comprendono lembi di Calcarea Cavernoso, Calcari a Rhaetavicula c. e quindi tutti i termini della "Serie Toscana" fino al Macigno oligocenico.

Nel settore in esame, fino a Massa, tra i terreni dell'Autoctono e la pianura è presente una fascia collinare che presenta un profilo dolce ed altitudini poco elevate dove affiorano i Terreni dei Complessi Alloctoni Liguri: direttamente sul Macigno, si ha dapprima una sottile fascia di "argille e calcari" terziari, facenti parte dell'Unità di Canetolo; più ad occidente vengono il Flysch Calcareaomarnoso del M.Caio ed il suo Complesso di base, quindi limitati affioramenti del Flysch arenaceo del M.Gottero.

I terreni di queste Unità tettoniche sono piegati e formano due sinclinali rovesciate, con vergenza appenninica, ma nettamente indipendenti dalle strutture che interessano le Unità Toscane (Federici P.R. e Raggi G., 1974)

Nel tratto fra Massa e Montignoso i terreni dei Complessi Alloctoni Liguri scompaiono e la morfologia si inasprisce con la comparsa dei terreni scistoso-filladici dell'Unità di Massa

2.2c - Rilievo fotogeologico

Con lo studio dei rilievi fotogeologici esistenti, si possono riconoscere esattamente i limiti e i vari ordini dei terrazzi fluviali. E' solo con il rilievo fotogeologico infatti che possono essere distinti i depositi alluvionali recenti e i depositi terrazzati, essendo molto simili.

I livelli più antichi si ritrovano nella valle di Torano, a monte di Carrara e nella valle delle Canalie; in questa zona si distinguono tre ordini di terrazzi convergenti, con quote comprese fra i 110 e 300 m. s.l.m., che si raccordano tra

loro a quote diverse in funzione della distanza dalla foce. Su di essi si trovano le località di Torano, Miseglia e Bedizzano.

Il quarto ordine si trova a circa 100 m. s.l.m. e su di esso è situata la città di Carrara.

Presso S. Martino, Fossola e ai piedi delle colline di Candia, si riconosce il quinto ordine.

Nella valle del F. Frigido, si localizzano solo due ordini di terrazzi : il sesto che è anche il più esteso e che occupa quasi interamente l'area che va da Massa all'autostrada, ed il settimo, che è anche il più recente, in sponda sinistra vicino alla località Remola.

Di nessun aiuto può essere il rilievo fotogeologico per il riconoscimento dell'andamento dei cordoni delle dune costiere; infatti, essendo queste fortemente antropizzate e di modesta evidenza, presentano notevoli difficoltà di riconoscimento.

2.3 - La rete idrografica

L'idrografia dell'area oggetto dello studio comprende i corsi d'acqua che scorrono nella fascia compresa fra le Alpi Apuane ed il mare: il Carrione ed il Frigido sono i due elementi idrogeologici principali.

Sono presenti anche alcune vie d'acqua minori, modificate dalle opere idrauliche che in vari periodi sono state realizzate per la regolarizzazione degli alvei e la regolamentazione delle piene (Fossa Maestra, Fosso Lavello, Fosso del Brugiano, Fosso Magliano, Fosso Poveromo, Torrente Canal Magro, Fosso del Sale) ed altri bacini idrografici minori (T. Ricortola e C. le Montignoso).

Il Bacino idrografico del C. le Montignoso ha un'estensione di poco superiore ai 6 kmq., è di importanza trascurabile nei periodi di magra ed impetuoso durante

le piene perchè porta il suo carico in brevissimo tempo a valle su terreni impermeabili (cassa di colmata dell'ex Lago di Porta).

Il Carrione ha un bacino idrografico singolare, formato da tre rami distinti:

- Canale di Colonnata (o di Bedizzano)
- Canale di Torano
- Canale di Gragnana.

Questi scendono separatamente su Carrara, dove i primi due si riuniscono a nord della città, ed il terzo a sud, dove fondendosi danno origine al T.Carrione.

Il suo bacino occupa una superficie di 52 Km², allo sbocco in mare e si snoda per 14 Km. con una pendenza del 100‰.

Assume tale nome presso Colonnata, dopo la confluenza fra il C.le del Canalone e il C.le del Vento.

Gli affluenti più importanti sono il Canale di Torano e il Canale di Gragnana che si immettono sulla parte destra del fiume presso Carrara, e che hanno un bacino idrografico esteso quanto il suo.

Dopo Carrara gli affluenti sono il Torrente Valenza presso Ficola, e altri fossi con portata esigua.

Il Carrione è dotato di una discreta portata perenne dovuta anche alla presenza di polle nell'alveo e ad alcune sorgenti.

Presso Carrara la sua portata ordinaria, intesa come quella che ha una durata media di 150 giorni all'anno, è di 1 mc/sec.; la portata di magra, la cui durata media è di 12 giorni all'anno, diminuisce a 0.36 mc/sec.

Una caratteristica importante da sottolineare, è il fatto che il bacino idrografico di questo corso d'acqua, è minore del bacino idrogeologico: infatti la portata ordinaria è maggiore di quella prevedibile dall'analisi dell'area di drenaggio, proprio perchè arricchita da acque sotterranee provenienti dal vicino bacino dell'Aulella situato a Nord.

Il bacino del Carrione è caratterizzato da:

- formazioni calcaree con permeabilità da buona a forte, nella vasta area a nord-est dell'allineamento Castelpoggio-Gragnana-Carrara-Valico della Foce
- da rocce con buona o forte permeabilità e da rocce poco permeabili per fessurazione, come il calcare ad Angulati, Canetolo Superiore, Cipollini, Macigno, Pseudomacigno ad ovest della succitata linea nell'area collinare
- infine da sedimenti alluvionali molto permeabili per porosità, nell'area di pianura.

Morfologicamente può essere suddiviso in tre aree:

- l'area a monte di Carrara, compresa fra il ramo di Colonnata e quello di Gragnana, quasi priva di vegetazione e caratterizzata dal classico paesaggio alpino;
- l'area collinare coltivata e coperta di vegetazione che arriva, con una morfologia addolcita, fino alla statale Aurelia;
- l'area di pianura.

L'altro corso d'acqua principale è il Frigido, all'origine biforcuto in due canali, il Fondone e il Regolo, che nascono rispettivamente dal M.te Sagro e dal M.te Rasone, e che dopo aver percorso le valli di Forno e di Resceto si congiungono presso il Ponte di Gronda (fig. 2.3.2).

Dopo aver ricevuto le acque dell'omonima sorgente, poco a monte del paese di Forno, il Frigido prende definitivamente tale nome.

Il Frigido scorre per 17 km., ha un bacino di 63 Km². allo sbocco in mare, ed una portata media di 6.41 mc/sec. che, rapportata all'estensione del suo bacino, rappresenta un notevole deflusso.

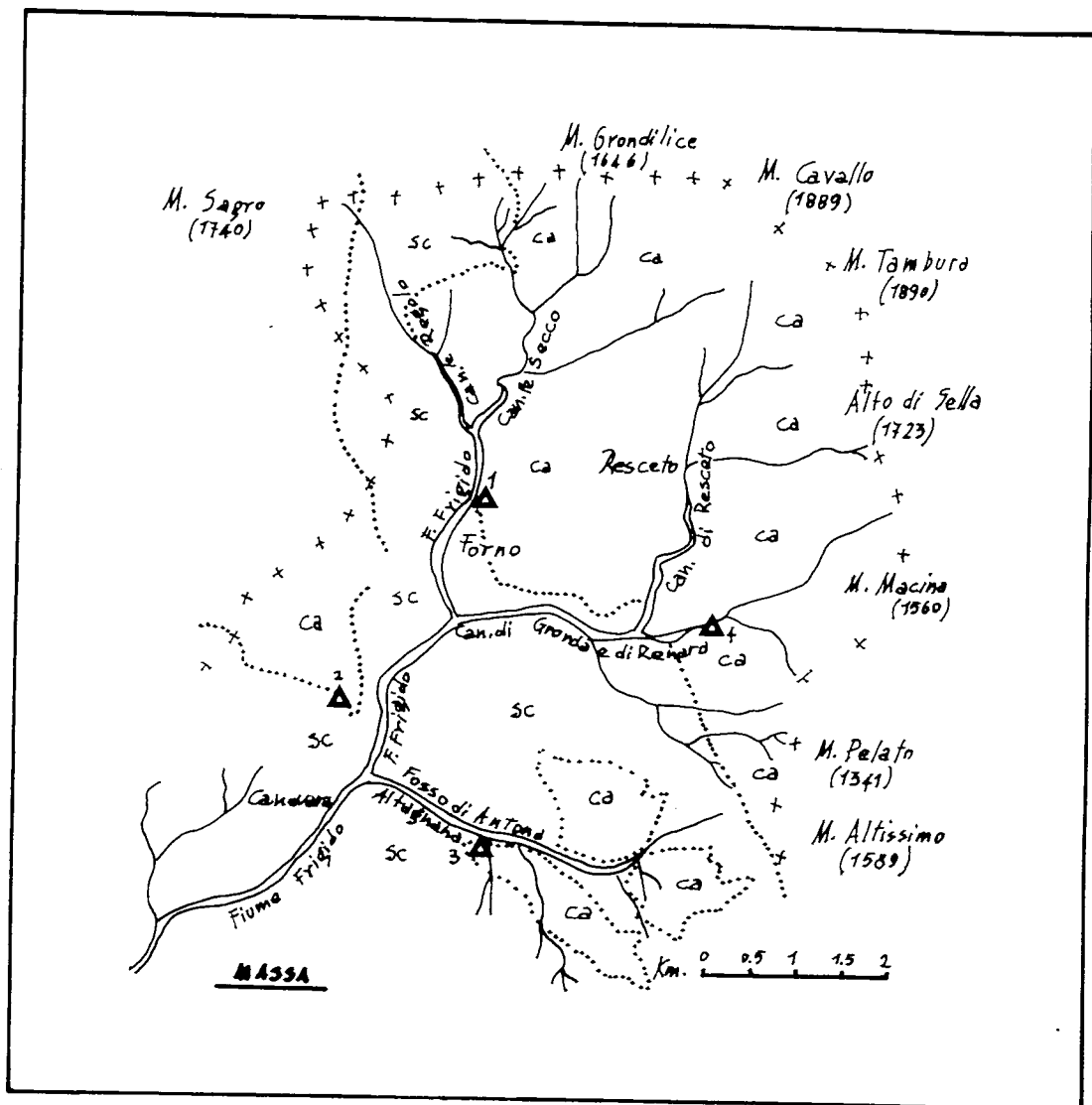


fig. 2.3.2 Bacino del F. Frigido (da Masini, ridisegnata)

- +++++ linea spartiacque
- perimetro dei terreni
- Ca = rocce permeabili
- Sc = scisti
- 1 Frigido
- 2 Cartaro
- 3 Altagnana
- 4 Renara

La spiegazione di questo sta nel fatto che il Frigido cattura dall'adiacente bacino del F. Serchio un volume di acqua sotterranea, addirittura maggiore delle già abbondanti precipitazioni che cadono nel suo bacino idrografico (fig. 2.3.3).

Nella sua parte superiore, il bacino è costituito prevalentemente da rocce carbonatiche, marmi e grezzoni molto permeabili; l'acqua percola all'interno delle formazioni dando luogo ad una circolazione sotterranea di tipo carsico, che ha le sue manifestazioni principali nelle numerose sorgenti e grotte presenti nella zona.

Per questo la circolazione superiore è molto scarsa, anche se la rete idrografica si presenta ben sviluppata.

Nel primo tratto il F.Frigido e il T. di Renara scorrono in forre profondamente incise e con pendenze elevatissime. Il dislivello infatti è molto forte: nei 6 Km. per arrivare alla loro confluenza, poco sotto Forno, si scende da quota 1700 a 125 m. con pendenze del 284‰.

L'aspetto morfologico di quest'area è quello classico alpino, come per la parte superiore del bacino del T.Carrione, cioè creste aguzze, date dagli affioramenti delle rocce calcaree, valli incise verticalmente con fianchi ripidi e quasi totale assenza di vegetazione.

Nella fascia collinare, da Forno fino a Massa, i prodotti di alterazione delle rocce impermeabili affioranti, accumulandosi nelle depressioni naturali e formando spessi suoli, hanno determinato l'addolcimento della morfologia e l'instaurarsi di una fitta vegetazione.

Nell'ultimo tratto il F.Frigido scorre sui depositi alluvionali Quaternari.

I corsi d'acqua descritti, e gli altri minori che scorrono nella regione Apuana, hanno delle caratteristiche comuni che li differenziano dagli altri corsi d'acqua italiani e che sono in stretta dipendenza con la particolare geomorfologia delle Alpi Apuane.

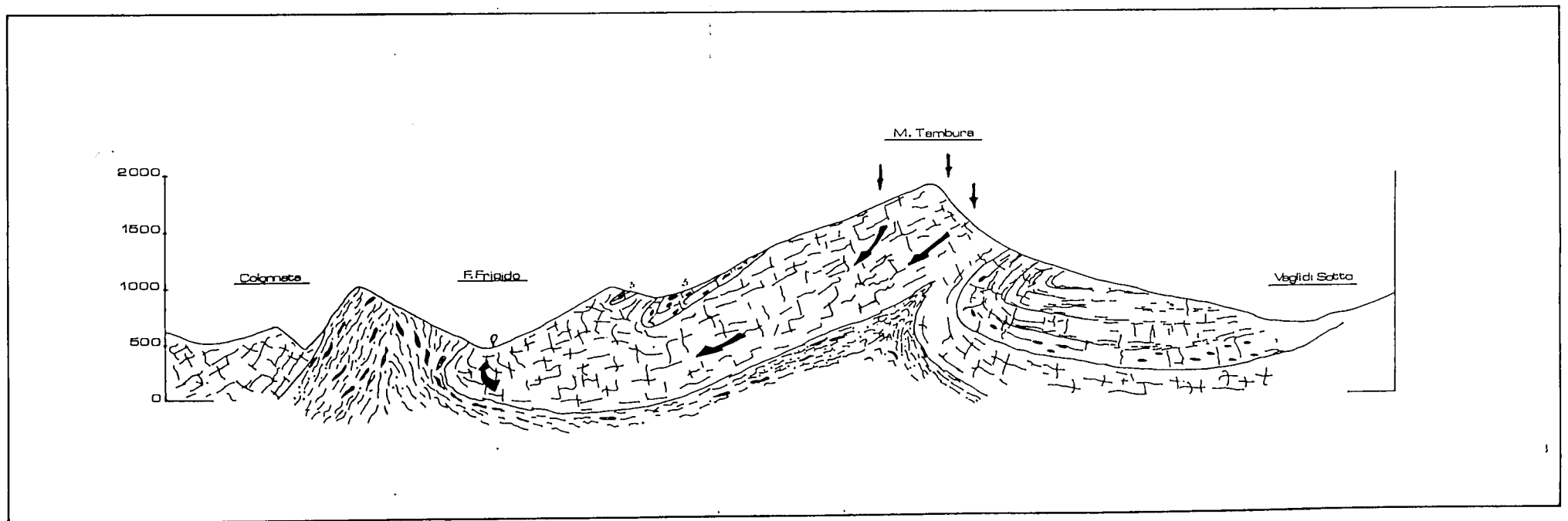


fig.2.3.3 Fenomeni di cattura del F. Frigido

Gli spartiacque, fra l'altro con alcune vette oltre i 1500 m., si trovano ad una distanza molto breve dal mare: nel tratto studiato, la distanza massima in linea d'aria è di 15 Km., dal M.te Cavallo (1889 m.) al mare.

Inoltre la zona studiata è caratterizzata da copiose precipitazioni, proprio per le altezze dei rilievi montuosi delle Apuane: queste, elevandosi in media 1700 m. s.l.m., provocano l'innalzamento delle masse di aria umida provenienti da ovest, dando origine a precipitazioni orogenetiche che contribuiscono a fare di questa zona una delle più piovose d'Italia.

La costituzione litologica delle Alpi Apuane, consiste in gran parte di rocce molto permeabili per fratturazione e carsismo (marmi, grezzoni, calcari selciferi, calcari massicci e calcari cavernosi) e fa sì che queste costituiscano un enorme serbatoio acquifero che assorbe tutte le precipitazioni divenendo così la maggior fonte di alimentazione dei corsi d'acqua.

Questi ultimi risultano pertanto fortemente condizionati, nel regime idrologico, dalle caratteristiche sopra descritte: il Carrione e il Frigido hanno percorsi brevi, e approssimativamente rettilinei, con andamenti NE-SW perpendicolari alla costa, con pendenze medie molto elevate (53 e 100 ‰) e bacini idrografici di estensione limitata.

Queste caratteristiche sono riassunte e messe in evidenza nelle fig. 2.3.4 e 2.3.5 che mostrano il profilo delle pendenze dei corsi d'acqua menzionati.

Quindi nonostante la limitata estensione dei loro bacini idrografici, il Carrione ed il Frigido hanno portate non trascurabili per l'abbondanza delle precipitazioni orografiche, a cui si aggiunge come già detto, il fatto che i loro bacini idrogeologici sono maggiori di quelli idrografici, vale a dire che i corsi d'acqua sono alimentati anche da acque sotterranee sottratte agli adiacenti bacini dell'Aulella e del Serchio.

TORRENTE CARRIONE

Superficie bacino 52 kmq.

Pendenza media 100‰

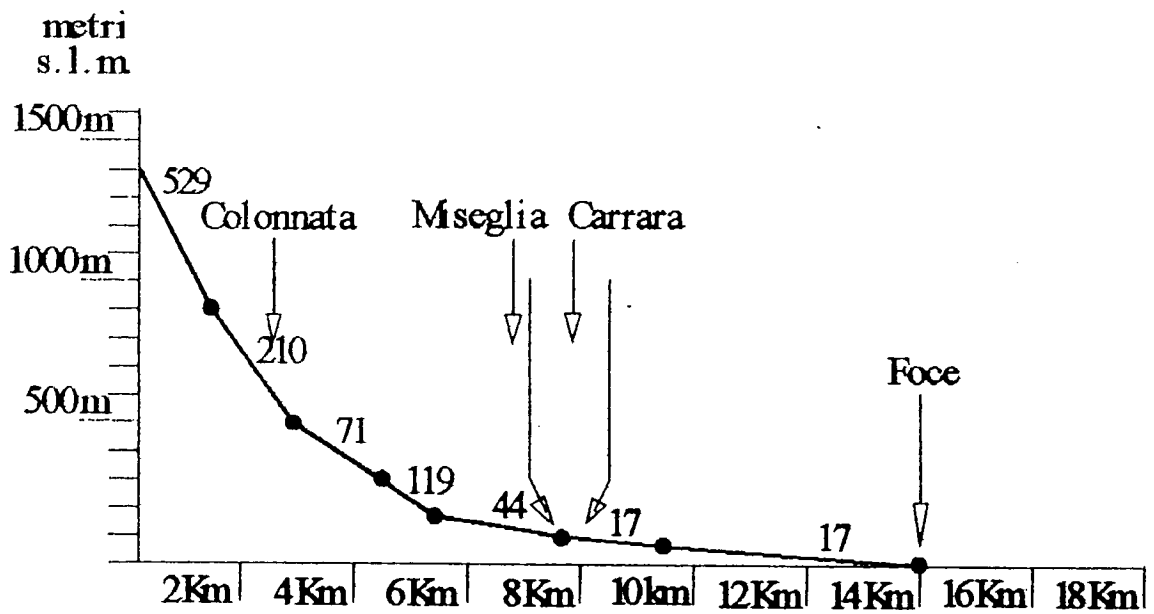


fig. 2.3.4 Profilo della pendenza

FIUME FRIGIDO

Superficie bacino 63 kmq.

Pendenza media 94‰

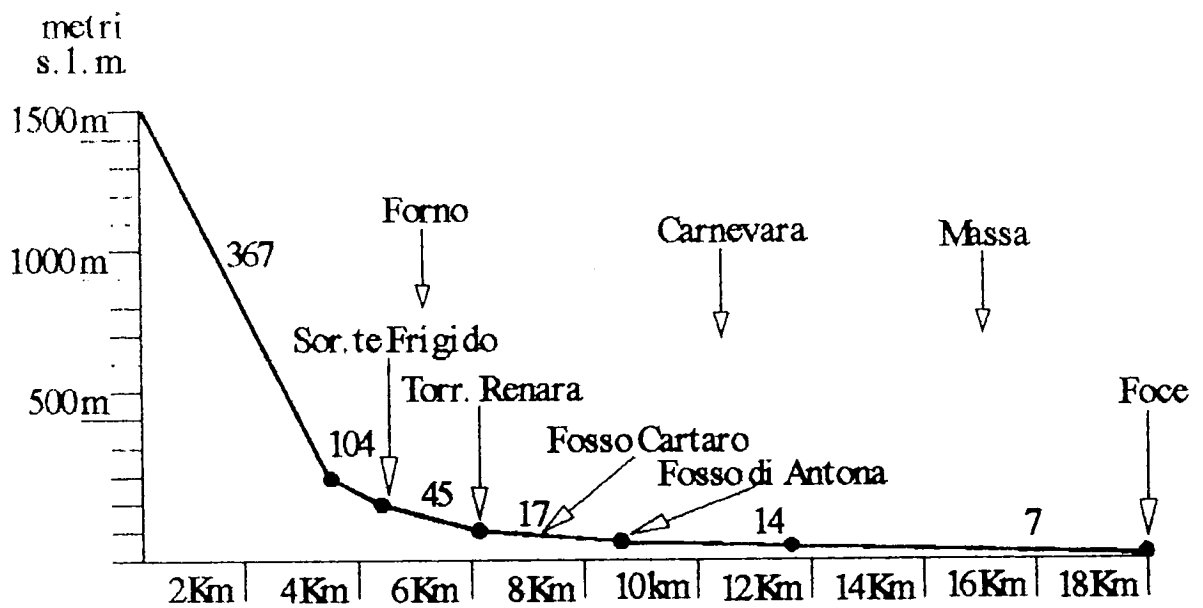


fig. 2.3.5 Profilo della pendenza

In particolare il Frigido ha un coefficiente di deflusso circa uguale a 2 (il valore medio del periodo 1949-1971 è di 1.99, vedi tab. 2.3.1), ciò significa che in un anno riversa in mare una quantità d'acqua pari a due volte quella caduta nel suo bacino imbrifero; tenendo conto che il coefficiente di deflusso dei fiumi è generalmente minore di 1, la cattura di acqua sotterranea da parte del Frigido, risulta essere notevole.

I corsi d'acqua della zona sono inoltre caratterizzati da uno spiccato regime torrentizio, determinato dalla distribuzione delle precipitazioni, con massimi invernali ed autunnali e minimi estivi, dai rapidi tempi di corrivazione dovuti alle forti pendenze, dal denudamento e dalla permeabilità delle rocce della parte superiore dei versanti.

Per il Frigido si passa da portate minime giornaliere di circa 0.3 mc/sec. a massime di 150-200 mc/sec., con valori dell'ondata di piena vera e propria di breve durata di 600-700 mc/sec.

2.4. - Inquadramento geomorfologico ed idrogeologico dell'area di pianura

Sestini (A. Sestini, 1950) riconosce nella pianura Apuana compresa fra le Alpi Apuane ed il Mar Tirreno, nonostante la sua limitata estensione pari a solo 3-4 km., la tipica morfologia e costituzione della pianura costiera, potendo essere suddivisa 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..

IL FRIGIDO A CANEVARA

ANNO	PORTATA MEDIA	DEFLUSSO	AFFLUSSO MEDIO	COEFF. DI DEFLUSSO
1949	5.14	3520.8	1749.3	2.01
1950	5.44	3723.3	2063.0	1.80
1951	8.74	5995.4	3090.0	1.94
1952	8.46	5809.1	2504.3	2.32
1953	3.19	2188.4	1366.3	1.60
1954	6.00	4112.9	1800.4	2.16
1955	5.92	4059.2	2159.1	1.88
1956	4.86	3346.2	1584.0	2.11
1957	5.54	3802.2	2080.7	1.83
1958	5.45	3741.3	1928.0	1.94
1959	8.07	5537.2	2271.7	2.44
1960	9.61	6612.6	3403.5	1.94
1961	4.25	2912.7	2202.1	1.32
1962	3.07	2106.5	1842.8	1.14
1963	9.83	6746.0	2857.6	2.36
1964	7.35	5045.3	2164.5	2.33
1965	10.10	6949.4	2045.3	2.44
1966	8.49	5813.1	2446.7	2.38
1967	4.08	2796.1	2074.5	1.35
1968	5.78	3914.6	2558.2	1.53
1969	5.67	3858.5	2084.8	1.85
1970	6.31	4326.1	2067.6	2.09
1971	5.70	3901.6	1834.6	2.13
1972	5.40	3688.7	2187.9	1.69

ELEMENTI CARATTERISTICI PER IL PERIODO 1949-1971

Portata media = 6.41 m./sec.

Deflusso = 4385 mm.

Afflusso meteorico = 2198 mm.

coeff. di deflusso = 1.99

Seguendo tale schema, possiamo dire che la pianura Apuana è costituita da depositi alluvionali ghiaiosi, sabbiosi, limosi ed argillosi, 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 da depositi costiero-sabbiosi di origine eolica e dunale.

I depositi alluvionali più antichi (Quaternario antico) abbandonati dal F.Frigido e dal T.Carrione, 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.

Le ghiaie di questi coni di deiezione sono costituite da ciottoli che mostrano un buon grado di arrotondamento, indice di una elaborazione piuttosto spinta derivante da un trasporto prolungato sia nello spazio che nel tempo.

La complessità della natura del deposito alluvionale rispecchia dal punto di vista litologico quelli che sono i litotipi affioranti nei bacini imbriferi del T.Carrione e del F.Frigido: si tratta quindi in prevalenza di elementi calcarei (marmi, calcari dolomitici, calcari selciferi); e di elementi provenienti dalla Falda Toscana non metamorfica (arenarie e calcari marnosi) nelle zone marginali di tali bacini.

Solo subordinatamente si rinvengono materiali scistosi e di natura diversa.

La matrice nella quale sono immersi i ciottoli è per lo più costituita da sabbie e/o sabbie limose e talora i ciottoli mostrano vari gradi di cementazione, fino a conglomerati.

La grande conoide del F.Frigido è ancora ben visibile nella forma arcuata del fronte che collega la fascia pedemontana della zona di Candia bassa con quella di Atleta, mentre quella del T.Carrione è riconoscibile nel settore che congiunge

la fascia pedemontana del colle di M.Greco ad est, con quella del M.Castellaro ad ovest (passando per la frazione di Avenza).

Una conoide di dimensioni minori, è quella del Fosso del Canaletto, riconoscibile solo nella sua parte superiore (a monte della via Aurelia), mentre la sua parte inferiore è stata completamente obliterata da opere antropiche.

Verso l'unghia, la conoide del F.Frigido è nettamente troncata da una balza alta 3-4 metri con la quale si scende al piano alluvionale-palustre della zona intermedia (con quote massime di 1-2 m. s.l.m.).

Questa scarpata ha un andamento quasi rettilineo e all'incirca parallelo alla linea di costa. La conoide del T.Carrione mostra tracce di troncatura dell'unghia solo alla sua sinistra (ad est di Avenza), dove presenta un gradino di 2-3 metri. Alla destra non è più riconoscibile per le modificazioni apportate dalle costruzioni di strade ed edifici.

Anche questa balza è raccordabile, per l'andamento rettilineo e parallelo alla spiaggia attuale, a quella del cono del F.Frigido.

La causa della troncatura di questi coni è sicuramente una trasgressione marina.

Alla fase d'ingressione marina è subentrata una fase di regressione durante la quale i depositi alluvionali più antichi sono stati ricoperti da un deposito sabbioso con deboli intercalazioni ghiaiose, la cui potenza aumenta passando da monti a mare.

Contemporaneamente si sono depositate, intersecandosi e sovrapponendosi ai materiali fluviali, delle alluvioni più antiche (Quaternario recente ed attuale) formate da un'associazione eterogenea di ghiaia, sabbia, limi ed argilla.

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 (es. Lago di Porta).

Sul terreno è impossibile seguire i cordoni, se non nella zona fra Cinquale e Marina di Massa, meno disturbata da trasformazioni antropiche: il cordone principale passa ad un chilometro circa dalla spiaggia, seguito da uno minore verso l'interno (fig. 2.4.1).

Sono presenti inoltre, fossi paralleli alla spiaggia, che avallano l'esistenza di "lame" poste fra i cordoni di dune; all'interno di queste si trova un deposito costituito da sabbie più fini e limo dovuto al trasporto delle acque superficiali e all'alterazione delle sabbie eoliche.

La diversità granulometrica e di sedimentazione dei vari litotipi finora descritti, determina anche diversi gradi di permeabilità.

I depositi alluvionali dei conoidi di deiezione e della piana sottostante sono costituiti, come ho già detto, 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 lenta percolazione di acque ricche di bicarbonato di calcio in condizioni morfologiche e climatiche diverse dalle attuali, e probabilmente caratterizzate da periodi più freddi dell'attuale. Non presentano intercalazioni di materiali a grana più fine nella parte più 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 decina di cm. 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 .

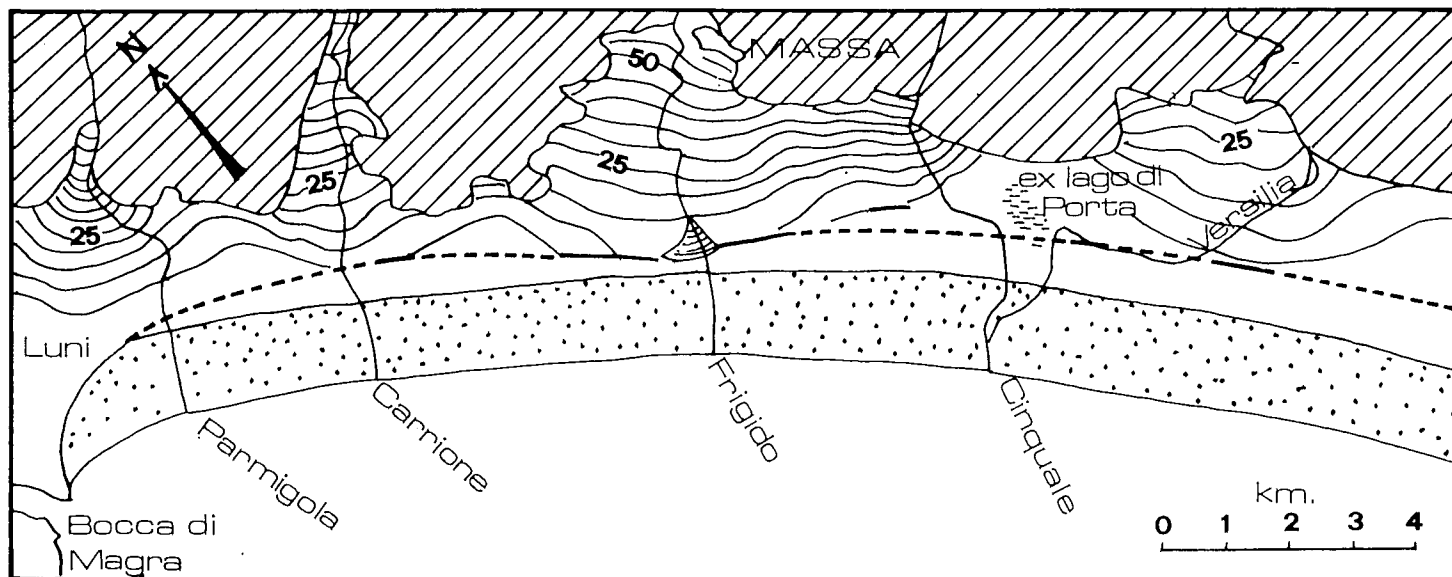


fig.2.4.1 Pianura costiera Apuana (da Sestini, ridisegnata)

LEGENDA — tratti di ripa visibile

----- posizione probabile della costa
nella fase finale di scolpimento
della ripa

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 che danno origine a brevi corsi d'acqua che solcano la pianura (es. di risorgiva sono le Polle).

A monte di questa scarpata, la falda in ghiaia è di tipo freatico e più strettamente connessa con le acque d'infiltrazione superficiale e con i deflussi dell'alveo del F.Frigido, del T.Carrione e dei corsi d'acqua minori.

Nella situazione attuale, gli interscambi fra le acque di deflusso negli alvei e le acque sotterranee sono limitati a causa della cementazione dovuta ai residui della lavorazione del marmo (marmettola).

Riassumendo 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.

Le sabbie marine ed eoliche, nonostante la copertura limo-sabbiosa e le intercalazioni limose o torbose, hanno una permeabilità sempre alta perchè 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.

Capitolo 3

Caratteristiche di permeabilità delle rocce

3.1 - Criteri di classificazione

La permeabilità è la proprietà che hanno le rocce di lasciarsi attraversare dall'acqua, quando sono sottoposte ad un certo carico idraulico. Ovvero, in altri termini, esprime l'attitudine che ha una roccia a far defluire l'acqua sotterranea. Nello studio delle acque sotterranee, si fa una distinzione fra rocce permeabili e rocce impermeabili, a seconda della facilità con cui le acque si muovono nel sottosuolo.

Non esistono litotipi completamente impermeabili: tali sono considerate quelle rocce in cui le acque non hanno movimenti percettibili per mancanza di meati intercomunicanti o di dimensioni sufficienti.

Si possono distinguere due diverse categorie di permeabilità:

- per porosità (o primaria)
- per fessurazione (o secondaria).

1) Permeabilità primaria (P)

Questo tipo di permeabilità è caratteristico delle rocce sciolte, semicoerenti o coerenti che contengono numerosi piccoli vuoti intergranulari fra di loro comunicanti.

Questo tipo di permeabilità, è funzione delle dimensioni e dell'assortimento granulometrico dei clasti, della quantità di frazione limosa e del grado di compattazione.

Anche per rocce coerenti di origine detritica, quando la cementazione dei granuli non è completa o il cemento è andato incontro a fenomeni di dissoluzione, si può parlare di permeabilità primaria.

E' generalmente una proprietà intrinseca, perchè i meati si sono formati quasi sempre contemporaneamente alla roccia.

Nelle rocce permeabili per porosità, si ha una circolazione idrica diffusa.

2) Permeabilità secondaria (S)

E' caratteristica delle rocce coerenti o compatte e fratturate, che contengono pochi vuoti costituiti da fessure grandi o piccole. La fessurazione è una proprietà acquisita dalle rocce prevalentemente per sforzi tettonici o per decompressione, anche se i meati si possono successivamente allargare per fenomeni chimico-fisici. Questi dipendono non solo dalla composizione della roccia, ma anche dalle caratteristiche chimiche delle acque: per questo motivo si può distinguere una permeabilità secondaria "crescente" (Sc) ed una permeabilità secondaria "decrecente" (Sd).

Le rocce permeabili per fratturazione possono essere totalmente secche fra una frattura e l'altra.

Talvolta i due tipi di permeabilità coesistono, si parla allora di :

3) Permeabilità mista (M)

In questo caso la roccia è detta permeabile per fessurazione e porosità o per porosità e fessurazione, a seconda del prevalere della permeabilità secondaria o primaria.

La permeabilità di una roccia può essere espressa sia in termini relativi che assoluti. Nel primo caso si parla di permeabilità relativa e ci si riferisce alla permeabilità apparente di un litotipo nei confronti di altri.

Si esprime in modo esclusivamente qualitativo, cioè si può classificare una roccia caratterizzata da una permeabilità alta, media o scarsa.

La permeabilità assoluta è invece quantizzabile, e viene espressa tramite un coefficiente, detto appunto di permeabilità (k) che ha le dimensioni di metri/secondo (o cm/sec.).

3.2 - La carta della permeabilità

Basandomi su queste considerazioni, e riprendendo la classificazione delle principali unità idrogeologiche presenti nel territorio adottata nel lavoro eseguito per il "Piano di tutela ed uso delle risorse idriche del Comune di Massa", estendibile a tutta l'area oggetto del mio studio, ho distinto inizialmente :

- litotipi prevalentemente omogenei
- associazioni di litotipi.

Combinando i vari tipi di permeabilità con la distinzione dei litotipi, si ottengono le seguenti classi :

- 1) permeabilità primaria (P)
- 2) permeabilità secondaria decrescente (Sd)
- 3) permeabilità secondaria crescente (Sc)
- 4) permeabilità mista (M)
- 5) permeabilità secondaria (per le associazioni di litotipi) (As)

Oltre ai tipi di permeabilità, si possono riconoscere vari gradi

- 1) da molto elevata a buona
- 2) buona
- 3) da buona a media
- 4) da media a bassa
- 5) bassa
- 6) prevalentemente impermeabili.

In questo modo, si sono ottenute 10 classi di permeabilità (tab. 3.2.1). Vediamo quindi una dettagliata descrizione dei litotipi e dei loro tipi e gradi di permeabilità.

Fra i litotipi prevalentemente omogenei, caratterizzati da permeabilità primaria, si riconoscono 3 classi :

P1 - permeabilità primaria da molto elevata a buona; sono i depositi alluvionali ciottolosi, in strati, a vario grado di cementazione fino a conglomerati dei con di deiezione del F.Frigido e del T.Carrione, e rappresentano l'acquifero principale della piana costiera

P2 - permeabilità primaria buona; sono i depositi sabbiosi della zona litoranea, sede di una falda freatica

P3 - permeabilità primaria da media a bassa; sono i depositi detritico-colluviali limosi, sabbiosi e ciottolosi dell'alta pianura, sedi di locali falde freatiche

Fra i litotipi prevalentemente omogenei, caratterizzati da permeabilità secondaria decrescente, si riconosce una sola classe :

Sd4 - permeabilità secondaria decrescente da media a bassa; sono le arenarie e i calcari marnosi in strati, intercalati a siltiti, argilliti e marne

Classi di permeabilità

LITOTIPI PREVALENTEMENTE OMOGENEI					ASS. DI LITOTIPI
TIPI ----- GRADI	Primaria P	Secondaria Decrescente Sd	Secondaria Crescente Sc	Mista M	Secondaria As
da molto elevata a buona	P1		Sc1	M1	
buona	P2		Sc2		
da buona a media	P3				
da media a bassa		Sd4			As4
a bassa					As5
prevalent. impermeabili	I				AsI

tab. 3.2.1

Fra i litotipi prevalentemente omogenei con permeabilità secondaria crescente, si distinguono 2 classi :

Sc1 - permeabilità secondaria crescente da molto elevata a buona; sono i marmi

Sc2 - permeabilità secondaria crescente buona; sono i calcari dolomitici (grezzoni) e i calcari con intercalazioni di varia natura.

Fra i litotipi omogenei con permeabilità mista, si distingue una sola classe :

M1 - permeabilità mista da molto elevata a buona; sono i calcari brecciati (cavernoso) e le brecce ad elementi calcarei

Le associazioni di litotipi diversi, caratterizzati da permeabilità secondaria, si possono suddividere in 2 classi :

As4 - permeabilità secondaria da media a bassa; sono le filladi con rare intercalazioni di strati quarziticci ed i calcescisti

As5 - permeabilità secondaria bassa; sono gli scisti sericitici, le quarziti sericitiche e compatte

Infine fra i litotipi prevalentemente impermeabili si distinguono 2 classi :

I - limi argillosi di ambiente palustre

AsI - argilliti e siltiti con intercalazioni discontinue di strati calcarei ed arenacei

La caratteristica di questi ultimi litotipi descritti è la presenza di una forte componente argillosa per cui, una volta assorbita un'esigua quantità d'acqua, i minerali fillosilicati si saturano e rendono impermeabili le rocce.

In idrogeologia l'importanza delle rocce argillose è legata proprio alla loro impermeabilità, poichè se non possono essere sedi di acquiferi, permettono che altre formazioni lo diventino.

Praticamente funzionano da tampone e rallentano la circolazione dell'acqua negli acquiferi, dando luogo così a numerose ed importanti sorgenti o risorgive localizzate in prossimità del contatto.

Capitolo 4

Studio particolareggiato della falda freatica

4.1 - Piezometria e caratteristiche di scorrimento delle acque

Per piezometria s'intende la misura dei livelli piezometrici e la loro interpretazione.

Questo tipo di misurazione ci permette di comprendere alcuni fenomeni idrogeologici particolari, la ricostruzione e l'interpretazione della morfologia della superficie piezometrica, nonché l'esecuzione di calcoli idrogeologici di vario tipo finalizzati alla quantizzazione delle risorse.

La rappresentazione grafica della morfologia piezometrica si effettua tramite curve isopiezometriche, che vengono costruite interpolando le quote dei livelli di falda dei vari punti d'acqua.

Per curve isopiezometriche si intendono le curve che congiungono i punti aventi uguale quota piezometrica. Si tratta quindi di linee equipotenziali, cioè linee di uguale carico piezometrico.

Queste curve risultano perpendicolari alle linee di corrente, o linee di flusso, che rappresentano le traiettorie ideali che percorrono le particelle d'acqua in movimento.

L'interpretazione della morfologia della superficie piezometrica è concettualmente molto semplice, perchè è basata sulla conoscenza delle condizioni generali di circolazione idrica sotterranea esistenti nell'area in studio e sull'individuazione delle direzioni e dei versi di flusso della falda.

Le direzioni di flusso corrispondono alle linee di massima pendenza, ed i versi sono quelli che vanno dalle quote più alte a quelle più basse.

Si può quindi distinguere fra :

- * **zone di drenaggio**, che sono quelle verso cui le acque tendono a defluire preferenzialmente

- * **zone di alimentazione**, che sono quelle da cui l'acqua d'infiltrazione tende ad allontanarsi per convergere verso gli assi di drenaggio.

Generalmente le zone di alimentazione sono costituite dai rilievi, dove si ha alimentazione tramite infiltrazione, mentre le zone di drenaggio si trovano nelle valli, in genere occupate dai corsi d'acqua e dalle superfici d'acqua libere.

La trasmissività di un acquifero, cioè la capacità che un acquifero ha di trasferire l'acqua, può essere valutata almeno in termini relativi, attraverso la distanza fra le curve isopiezometriche e quindi attraverso il gradiente piezometrico (i) :

$$q = T \times i \quad i = q / T$$

dalla quale risulta che se consideriamo il termine q costante, il gradiente piezometrico risulta inversamente proporzionale proprio a T.

La trasmissività è funzione sia della permeabilità, che dello spessore della falda

$$T = k \times H$$

un mezzo poco permeabile può essere anche molto trasmissivo, se il suo spessore è grande.

Il gradiente piezometrico si calcola sul profilo verticale di una sezione della superficie piezometrica passante per una linea di corrente (linea di massima pendenza) attraverso la seguente relazione :

$$i = H - H' / L$$

dove H ed H' sono le quote differenti sul profilo con distanza L.

Le variazioni di gradiente piezometrico nell'ambito di una stessa falda possono essere dovute anche a motivi quali :

- * azione di richiamo esercitata da sorgenti, fiumi ed acquiferi più permeabili
- * morfologia del substrato impermeabile
- * riduzione della sezione di deflusso

Il gradiente piezometrico dipende infatti dalla permeabilità dell'acquifero e dalla velocità con la quale l'acqua circola nello stesso. Ricordando la legge di DARCY, per la quale :

$$Q = k \times S \times i$$

si evince immediatamente che restando costanti gli altri fattori, il gradiente piezometrico è inversamente proporzionale al coefficiente di permeabilità.

Inoltre se la portata rimane costante, si hanno variazioni di pendenza che si traducono in variazioni di permeabilità; in poche parole, maggiore è k, minore è il gradiente piezometrico e viceversa.

Sulla base di questi pochi concetti di carattere generale e di una conoscenza dell'idrogeologia del territorio in studio, è possibile interpretare le carte a curve isopiezometriche, la cui importanza è fondamentale per la conoscenza di molti fenomeni idrogeologici, quali :

- * rapporti fiume-falda
- * variazioni nel tempo e nello spazio della morfologia della superficie piezometrica
- * individuazione delle zone di emungimento concentrato
- * delimitazione delle aree interessate da ingressione marina

l'utilizzazione del pozzo al fine di qualsiasi misura; è infatti necessario smontare completamente l'attrezzatura di pompaggio e successivamente ripristinarne la funzionalità.

Oltre ai pozzi Norton, esistono ancora nella zona numerosi pozzi scavati a mano, di tipo romano, soprattutto nella piana di Carrara.

La distribuzione dei pozzi censiti e quindi le misure effettuate, non sono omogenee: infatti la maggior parte dei pozzi accessibili si trova nelle zone a carattere agricolo, mentre nelle aree urbanizzate il loro numero si riduce fortemente.

Lo strumento utilizzato per le misure piezometriche si basa sul principio della conducibilità elettrica dell'acqua. E' composto da un cavo elettrico dipolare, graduato numericamente, la cui estremità, opportunamente appesantita, termina con due elettrodi accoppiati in modo tale che le gocce d'acqua, aderendovi, possano creare un passaggio di elettricità.

L'estremità opposta del cavo è collegata ad un tester che permette di osservare passaggi di corrente elettrica quando i due elettrodi toccano il pelo libero dell'acqua.

Le misure possono essere effettuate con la precisione del centimetro: una precisione maggiore avrebbe scarso valore, vista l'approssimazione con cui si può determinare la quota del pozzo sul livello del mare (dalla cartografia 1:2.000) e l'equidistanza adottata nella costruzione delle carte delle isofreatiche.

4.3 - Carta delle isofreatiche

L'acquifero principale della pianura Apuana è rappresentato dalle ghiaie alluvionali, in cui si localizza una falda praticamente unica (acquifero

monostrato), poichè i livelli impermeabili non hanno mai una continuità tale da separare più falde.

L'acquifero è di tipo freatico nella fascia pedemontana, mentre nella parte mediana della pianura i sedimenti palustri impermeabili, determinano localmente condizioni di falda in pressione.

Il contatto fra le ghiaie alluvionali e i sedimenti palustri-lacustri fa sì che la falda venga localmente a giorno in alcune risorgive, come già detto (zona delle Polle).

Altre risorgive si localizzano al contatto fra le sabbie di duna e i sedimenti palustro-lacustri.

L'alimentazione della falda è costituita dagli apporti sotterranei provenienti dalla zona delle conoidi e dagli apporti delle precipitazioni meteoriche.

Nella zona mediana della pianura, i sedimenti a bassa permeabilità (limi e sabbie limose) sono generalmente sede di una falda superficiale di scarsa entità.

Nella fascia delle dune sabbiose costiere infine, esiste una falda libera, alimentata soprattutto dagli afflussi meteorici locali.

Nella pianura Apuana si osserva una stretta relazione fra morfologia ed 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, caratterizzanti 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 turbato da fattori perturbanti, come intensi emungimenti, assume le caratteristiche forme a ventaglio.

Questi minimi non raggiungono tuttavia valori inferiori allo "zero piezometrico" salvo che nella zona dell'inceneritore in cui è stato registrato il valore più basso pari a -0.27 m. s.l.m.

4.3b - Carta delle isofreatiche invernali

Nella carta delle isofreatiche invernali, si può osservare che le piogge di ottobre-novembre hanno determinato un rialzo delle falde di 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 estivo (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 sono nella stessa misura durante tutto l'arco dell'anno, come lungo gli alvei del Carrione e del Frigido, dove i processi di segazione dei materiali lapidei richiedono un consumo costante di acqua.

Per quanto riguarda i rapporti dei corsi d'acqua con la falda, vorrei ricordare alcuni dati rilevati in occasione delle piene del F. Frigido nell'area di Remola.

In occasione di tali eventi, infatti, il livello di falda tende ad aumentare in corrispondenza dei pozzi più vicini al letto del fiume, mentre si riporta su valori "normali" a distanze superiori a 500-600 metri.

Questa situazione induce a pensare che in questa zona durante le morbide e le magre l'acqua che scorre lungo il corso del Frigido non può precipitare in falda (il letto del Frigido si trova nell'area di Remola circa 15 m. al di sopra della

piezometrica) per la presenza di uno spesso strato di ghiaia cementata dalla marmettola, come già ho ricordato più volte.

In conclusione, dalla ricostruzione della piezometria con le due serie di misura eseguite si può dedurre che le oscillazioni della superficie piezometrica nell'arco di sei mesi risentono soprattutto degli apporti di ricarica delle piogge e dell'entità dei pompaggi.

Capitolo 5

Ricostruzione geologica del sottosuolo

L'acquifero principale dell'area in studio, è costituito dalle alluvioni terrazzate e recenti, litologicamente costituite da una forma detritica di ghiaie e grossi ciottoli, a volte stratificati e spesso con interstrati o lenti sabbiose ed argillose.

I ciottoli sono prevalentemente marmorei o di altri calcari secondari e perciò spesso cementati in un conglomerato talvolta compattissimo, che prende il nome di "colaticcio".

Si ha quindi una massa a permeabilità maggiore e zone in cui questa si riduce fortemente: questa condizione fa sì che le falde acquifere siano molteplici, discontinuamente collegate fra loro, in modo tale da ipotizzare una circolazione di tipo misto, cioè freatica ed artesiane.

Anche le sabbie delle dune costiere costituiscono un buon acquifero: sono accumuli eolici che possono essere misti a limi, solitamente piuttosto compatti, od alternarsi con strati torbosi.

La ricostruzione per lo studio della litostratigrafia del sottosuolo, è stata possibile grazie al reperimento di sondaggi sia presso enti pubblici (Genio Civile, Amministrazione Provinciale, Comunale, AMIA) che da società private.

Un valido aiuto mi è stato fornito anche da una ditta di perforazioni operante nella zona in esame.

La maggior parte dei dati stratigrafici, mi è stata fornita dalla Società Autostrade Ligure-Toscana. Sono sondaggi eseguiti per studio sull'idrogeologia locale e per la costruzione dell'autostrada Livorno-Sestri Levante.

Ho raccolto in tutto 99 sondaggi, distribuiti nella zona in esame in modo non molto omogeneo.

La profondità dei sondaggi è molto variabile, e comunque solo in pochi casi si superano i 50 m. o si giunge al fondo del materasso alluvionale della pianura.

Solo alcuni pozzi industriali raggiungono la profondità di circa 55 m.; i pozzi degli Acquedotti Comunali di Massa e Carrara raggiungono in media i 40 m., mentre nella bassa pianura i pozzi per uso agricolo si attestano su profondità inferiori ai 20 m..

I sondaggi geognostici eseguiti in fase di progetto per l'Autostrada Livorno-Sestri Levante si spingono fino alla profondità massima di 30-40 m..

Basandomi sui dati ricavati dai sondaggi, ho costruito 7 sezioni attraverso la pianura: 6 più o meno perpendicolari alla linea di costa e una parallela a questa. Nella tavola delle sezioni stratigrafiche, ho ridisegnato anche sezioni ricavate da studi precedentemente eseguiti.

La scala delle sezioni è di 1:10.000 per le lunghezze e di 1:10.00 per le altezze. L'esagerazione nella scala delle altezze si è resa necessaria per mettere in evidenza la presenza di livelli litostratigrafici spesso sottili.

5.1 - Descrizione delle sezioni

SEZIONE 1 : da Fossa Maestra a Fossone.

Questa sezione è occupata quasi per tutta la sua estensione dalle dune costiere, sormontate dai sedimenti più recenti, prevalentemente limo-argillosi di ambiente palustre. Alla base di tutto si ritrovano le alluvioni terrazzate più antiche. (da Frediani, tesi di laurea, 1983)

SEZIONE 2 : da Marina di Carrara a Fossola.

Nella parte superiore della sezione si osserva una soglia rocciosa formata dai calcari marnosi dell'Unità del Monte Caio che affiora in questa zona, con il conseguente assottigliamento del materasso alluvionale. Tale soglia è situata nel punto in cui la valle del Carrione si innesta nella pianura.

La linea di erosione marina coincide con il contatto tra il Quaternario antico terrazzato e le alluvioni più recenti sovrastanti. Le sabbie delle dune costiere aumentano il loro spessore procedendo verso il mare: alla loro base si ritrovano le alluvioni più antiche. (da Frediani, tesi di laurea, 1983)

SEZIONE 3 : dalla Partaccia ai pressi dello stadio di Carrara.

In questa sezione le sabbie delle dune costiere si spingono fino ad 1,5 km. dal mare verso l'interno; di conseguenza le alluvioni hanno in questa sezione estensioni e spessori più limitati. I depositi quaternari, che costituiscono i terreni sovrastanti il substrato roccioso rappresentato qui dai terreni liguri dell'Unità del Flysch del M.Caio e del Comp. di Canetolo, derivano dall'attività di sedimentazione del T.Carrione. Si riconoscono livelli e lenti di ghiaie ad elementi prevalentemente marmorei e, subordinatamente arenacei e marnosi e quindi scarsamente acquifere, intercalate con livelli e lenti di sabbie limose e limi che costituiscono il letto di piccole e localizzate falde acquifere presenti nei terreni sovrastanti. Le ghiaie debolmente cementate, costituiscono l'acquifero. Le ghiaie cementate sono da considerare scarsamente permeabili per la cementazione degli elementi, per cui rappresentano un limite di permeabilità che di fatto sostiene la falda presente nelle ghiaie sovrastanti. La presenza di terreni scarsamente permeabili o impermeabili al letto (sondaggio 83) e al tetto dell'acquifero conferisce alla falda un debole carattere di artesianità evidenziato

dalla risalita delle acque a quote di qualche metro più elevate rispetto al tetto dell'acquifero. Sono presenti strati argillosi di notevole spessore.

SEZIONE 4 : dalla foce del Carrione fino a Candia Bassa.

Nella parte superiore di questa sezione, si rinvengono depositi alluvionali costituiti da ghiaie, sabbie e da locali lenti e livelli limosi. In particolare i primi metri di terreno a partire dal piano campagna, sono costituiti da materiali a composizione argillo-limosa debolmente sabbiosa e sono riferibili a depositi palustri sedimentati nelle vaste depressioni presenti sui depositi alluvionali. E' ancora questo livello impermeabile che conferisce alla falda un carattere di debole artesianità.

Nella parte inferiore della sezione, si riconoscono depositi d'interferenza fra quelli alluvionali del T.Carrione e quelli marini. Le sabbie eoliche occupano una porzione stremamente sottile.

SEZIONE 5 : dalla foce del Carrione allo Stadio di Carrara.

Questa sezione passa entro il bordo esterno del cono di deiezione del T. Carrione, all'interno dei depositi alluvionali che rispecchiano da un punto di vista litologico i litotipi affioranti nel suo bacino imbrifero.

Nella parte alta della sezione, sono soprattutto elementi calcarei, e solo subordinatamente si rinvengono materiali scistosi, mentre la matrice nella quale sono immersi i ciottoli è sabbiosa e/o limo-sabbiosa. Sono presenti orizzonti costituiti da ghiaia cementata, mentre sono rari ed in genere ad andamento lentiforme e discontinuo i livelli limosi o sabbio-limosi.

Nella parte più vicina alla costa, si ha una coltre limo-sabbiosa con spessore variabile ma comunque di pochi metri, che poggia su un deposito di ghiaie con

rare intercalazioni di materiale a grana fine e più o meno cementate fino a conglomerati, la cui potenza è sicuramente superiore ai 100 m..

SEZIONE 6 : dalla loc. Codupino alla Partaccia

Nella parte superiore di questa sezione, affiora sul rilievo collinare di Codupino, nella fascia più prossima alle alluvioni, il Flysch calcareo-arenaceo di età cretacea appartenente all'Unità Strutturale delle Liguridi s.l.: è una roccia stratificata in strati di spessore variabile a composizione calcareo-arenacea, con intercalazioni argillitiche.

SEZIONE 7 : dalla loc. Pernice a Marina di Massa.

Si osserva una copertura argillosa, situata nella zona di Pernice, abbastanza consistente, di circa 15 m. di spessore, proveniente dal disfacimento delle rocce delle colline circostanti. Le alluvioni recenti scompaiono e le sabbie poggiano direttamente sulle alluvioni terrazzate più antiche. (da Frediani, tesi di laurea, 1983)

SEZIONE 8 : dalla loc. Codupino a Bondano

La parte superiore di questa sezione insiste su di un deposito alluvionale terrazzato (sponda sinistra del F.Frigido) costituito da ghiaia e sabbia a vario grado di cementazione fino a conglomerato. Seguono, scendendo verso costa, le sabbie fini e medie talora sormontate da lenti di limo e sabbie limose.

SEZIONE 9 : da Mirteto attraverso lo Stadio di Massa.

E' una sezione riferita alla pianura in destra del F.Frigido che si estende dalla zona di Mirteto al mare attraverso la zona pozzi dello Stadio comunale di Massa; da questo lato l'acquifero alluvionale è in parte alimentato dalle acque

Capitolo 6

Principali parametri fisico-chimici delle acque sotterranee

6.1 - Determinazione dei parametri fisici delle acque sotterranee

6.1 a - La temperatura

La temperatura è un parametro fisico molto importante, che nelle acque naturali è in relazione alla maggiore o minore profondità dei circuiti, alla presenza o meno di anomalie geotermiche e, naturalmente alla temperatura delle acque di infiltrazione.

La temperatura della falda subisce apprezzabili fluttuazioni soltanto a profondità minime, al di sotto delle quali si mantiene relativamente costante.

La conoscenza di questo parametro è determinante, perchè esercita un ruolo essenziale sul pH, sulla solubilità dei sali disciolti, e quindi sulla salinità e sulla conducibilità.

Dall'analisi della carta della temperatura relativa al periodo dicembre 1993, si può osservare:

* 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, secondo la classificazione riportata in tab.6.1.1.;

temperatura °C	<20	20-35	35- 50	>50
acque	fredde	ipotermali	mesotermali	ipertermali

tab.6.1.1.

+ 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 scendono rapidamente lungo gli alvei del F.Frigido e del T.Carrione e che scaturiscono dalle sorgenti situate ai piedi delle Alpi Apuane;

+ si ha la presenza di un'area anomala in destra del T.Carrione; qui è localizzabile un minimo che raggiunge il valore di 6°C. Tale valore è sicuramente riconducibile ad una circolazione più profonda (il pozzo n. 21 raggiunge la profondità di 43 m.);

+ un altro minimo compare nel settore compreso fra il T.Parnignola e la Fossa Maestra (T = 8°C); in questo caso l'anomalia può essere dovuta al basso valore della temperatura dell'aria (il campione è stato prelevato dal pozzo n. 1 il 21 dicembre, nelle prime ore del mattino), che per circolazioni a scarsa profondità, come ben sappiamo, influisce sulla temperatura delle acque.

6.1b - La conducibilità elettrica a 20 °C

Le acque sotterranee, come tutte le soluzioni saline, sono caratterizzate dalla capacità di condurre l'elettricità. La conducibilità ionica (poichè i portatori di cariche elettrolitiche sono gli ioni atomici o molecolari caricati positivamente o

negativamente) viene rilevata con uno strumento, il conducimetro, il cui funzionamento è basato sul principio del ponte di Wheastone.

Il suo valore è generalmente espresso in micro-siemens per cm.($\mu\text{S}/\text{cm}$).

La conducibilità è fortemente dipendente dalla temperatura, cresce cioè al crescere di quest'ultima. Quindi è opportuno riferirsi ad una temperatura standard (in genere 18, 20 o 25°C) per poter correlare o confrontare campioni prelevati in diversi punti, a temperature diverse fra loro.

Relativamente ai campioni analizzati nel dicembre 1993, la conducibilità a 20°C delle acque sotterranee mostra un valore medio di 855 $\mu\text{S}/\text{cm}$. E' quindi possibile classificare le acque come "medio-minerali", secondo la classificazione riportata in tab.6.1.2 (CELICO P. 1988)

conducibilità a 20 °C	< 260	260-1320	>1320
acque	oligominerali	medio-minerali	minerali

tab.6.1.2.

Dall'esame della carta della conducibilità, si può osservare che le aree a conducibilità più elevata si collocano in corrispondenza della fascia costiera della pianura Apuana:

- * nell'estremo limite meridionale, è riconoscibile un massimo in località Cinquale, fra il T. Canalmagro ed il Fosso del Sale, nella zona adiacente il campo pozzi della Società Acquedotti Tirreni, con un valore superiore ai 2100 $\mu\text{S}/\text{cm}$. (acque minerali);
- * spostandoci verso Marina di Massa, s'incontra un altro massimo fra il F.Frigido e il Fosso del Brugiano, con valori intorno ai 1950 $\mu\text{S}/\text{cm}$.(acque

minerali); questa situazione è sicuramente imputabile alla forte concentrazione degli emungimenti ad uso privato, che si ha nell'abitato di Marina di Massa;

* l'area compresa fra le foci del T.Carrione e del Fosso Lavello, individua un'altro settore ad elevata conducibilità, raggiungendo valori di 1300 $\mu\text{S}/\text{cm}$.(acque medio-minerali); questa zona, ha una forma allungata, che risalendo lungo il corso del Fosso Lavello, estende tale massimo a buona parte della Zona Industriale; responsabili di ciò sono le numerose industrie per la lavorazione del marmo qui addensate;

* infine si osserva un altro massimo in corrispondenza del centro abitato di Marina di Carrara, in cui si raggiungono valori poco superiori ai 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. (acque medio-minerali).

In tutte queste zone 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 è poi confermata dai valori delle concentrazioni dei cloruri rinvenuti nelle acque di tali aree. Questo argomento sarà poi ripreso, nell'analisi della carta dei cloruri.

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 in destra del T.Carrione, che si estende lungo la Fossa Maestra e il Fosso del Canali fra i tracciati ferroviario ed autostradale, fino a raggiungere valori di 1200 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Situazione analoga è osservabile in sinistra del F.Frigido, da poco sotto il piede delle colline presso Cervara, fino alla costa, attraverso il campo pozzi delle Polle.

Questi valori sono imputabili a contaminazioni locali, come documentano le analisi chimiche eseguite, che rivelano soprattutto un'elevata concentrazione dello ione nitrato.

I valori più bassi si rinvennero 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 (si hanno valori dell'ordine di 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$.), ed in località Cervaiolo, nel comune di Montignoso.

6.2 - Determinazione dei parametri chimici delle acque sotterranee

6.2 a - La durezza

La durezza di un'acqua rappresenta la quantità di elementi alcalino-terrosi in essa presenti; in pratica ci si riferisce soltanto ai sali di calcio e magnesio, poichè gli altri elementi alcalino-terrosi non sono mai presenti in quantità tali da influire sul valore della durezza.

Calcio e magnesio sono presenti nelle acque naturali sia come bicarbonati e carbonati, che come solfati e cloruri.

Possiamo quindi fare una distinzione fra:

+ **durezza temporanea**, quella dovuta ai soli bicarbonati, coincidente quindi con l'aliquota che scompare all'ebollizione per precipitazione dei carbonati e liberazione di anidride carbonica

+ **durezza permanente**, quella dovuta agli altri ioni che non si eliminano se non con processi di addolcimento.

La somma delle due durezza, dà il valore della durezza totale, che viene generalmente espressa in mg./l. di CaCO_3 o in gradi francesi ($^{\circ}\text{F}$). Un grado francese corrisponde a 10 mg./l. di CaCO_3 .

In base alla durezza, le acque si possono classificare secondo lo schema di tab.6.2.1.

durezza (°F)	≤7	7-14	15-22	23-32	33-54	≥54
acque	molto dolci	dolci	poco dolci	mediam. dure	dure	molto dure
			dure	dure		dure

tab.6.2.1

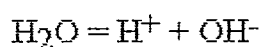
I valori più alti della durezza sono riscontrabili in acque circolanti in rocce calcaree, dolomitiche ed evaporitiche, e per tempi molto lunghi.

Una eccessiva durezza delle acque, consuma i saponi e produce incrostazioni.

Seguendo la classificazione proposta, le acque della pianura Apuana possono essere considerate "acque dure", mostrando un valore medio pari a 33.4°F.

6.2.b - La concentrazione idrogenionica

L'acqua è costituita da molecole H₂O legate fra loro da legami idrogeno. Una modesta parte di queste molecole è dissociata in ioni positivi H⁺ e ioni negativi OH⁻, secondo la reazione



La misura della concentrazione di ioni H⁺ e OH⁻ può essere fatta utilizzando il cologaritmo decimale della concentrazione molare degli ioni idrogeno, detto pH o esponente idrogeno

$$\text{pH} = -\text{Log} [\text{H}^+]$$

Questo accorgimento viene preso per evitare l'utilizzazione di numeri troppo piccoli.

Il pH, o esponente idrogeno, ci permette di definire il comportamento acido o basico di una soluzione. A temperatura ordinaria l'acqua è neutra se il suo pH è uguale a 7, è acida se assume un valore minore di 7, è basica o alcalina se è maggiore di tale valore.

La misura del pH si esegue generalmente utilizzando il metodo potenziometrico, che consiste nella misura della differenza di potenziale che si crea fra due elettrodi immersi nel campione d'acqua.

Ai nostri climi, il pH delle acque naturali varia generalmente fra 7.2 e 7.5: può essere più elevato in acque circolanti in rocce calcaree, mentre in quelle acque che attraversano rocce silicee, o comunque in rocce povere di carbonato di calcio, raggiungono anche il valore di 6 (Celico, 1986).

I campioni d'acqua prelevati nelle pianura Apuana, mostrano un valore medio di pH pari a 7.12, oscillando fra un valore minimo di 6.24 ed uno massimo di 8.00. Osservando la carta del pH, si può notare come le acque più acide si localizzano:

- + lungo il lato sinistro del cono alluvionale del C.le Montignoso, alimentate dalle acque provenienti dai subalvei del C.le Montignoso stesso e del T.Canalmagro, alimentati a loro volta da una lenta percolazione nelle rocce filladico-quarzitiche dei rilievi soprastanti (valori compresi fra 6.3 e 7.0);
- + nell'area CERSAM (ex Farmoplant), dove sono stati misurati valori inferiori a 6.8;
- + in sponda sinistra del T.Carrione, sia in località Turigliano (6.8) che in località Fossone Basso (6.9).

Nella fascia costiera sono state campionate acque leggermente alcaline; si localizzano una serie di massimi a Marina di Carrara (7.7), a Marina di Massa (7.8) e a Cinquale (7.4).

Questi valori sono interpretabili 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) per la 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 sono sicuramente da mettere in relazione con un apporto di acque circolanti nei calcari che sovrastano l'abitato di Mirteto, e nel settore compreso fra il Fosso del Canali e la Fossa Maestra (8.0).

6.2c - Grado di mineralizzazione

Il grado di mineralizzazione di un'acqua, viene convenzionalmente definito come il peso in grammi dei composti solidi secchi (residuo fisso) ottenuto a partire da 1 kg. di acqua per sola eliminazione dell'acqua di umidità. Si esprime quindi in mg/l.

Per determinare il valore del residuo fisso, occorre far evaporare un certo quantitativo d'acqua e determinare il peso del residuo disseccato.

Con "salinità totale" s'intende la somma delle concentrazioni dei singoli sali determinati analiticamente.

Nelle acque sotterranee, se non sono presenti sostanze organiche o vi sono fenomeni di torbidità, il valore della salinità totale e del residuo fisso dovrebbero coincidere.

A seconda della quantità del residuo fisso, generalmente calcolato a 180°C, le acque naturali possono essere distinte secondo la classificazione (MAROTTA e SICA, 1933) riportata in tab.6.2.2

Residuo fisso	< 200	200-1.000	> 1.000
acqua	oligominerale	medio-minerale	minerale

tab.6.2.2

I sali disciolti nelle acque sotterranee, possono avere origine endogena o essere dovuti alla dissoluzione delle rocce attraversate. Tale fenomeno è legato a svariati fattori, quali la temperatura, l'ampiezza della superficie di contatto roccia-acqua, la durata del contatto fra l'acqua e la roccia serbatoio, la velocità delle reazioni di dissoluzione.

A parità di altre condizioni comunque, il tenore in sali di un'acqua è sempre legato alla natura delle rocce che ha attraversato: è generalmente basso nelle acque circolanti in rocce cristalline, nelle arenarie, nelle sabbie e nelle rocce silicee; è generalmente elevato nelle acque circolanti nei calcari, nelle rocce gessose ed a contatto con argille e marne.

6.3 - Gli elementi chimici presenti nelle acque

Gli elementi chimici presenti nelle falde, derivano dalle precipitazioni, da processi organici che avvengono nel suolo, da minerali presenti nelle rocce attraversate.

Gli elementi chimici sono presenti nelle piogge solo in piccole quantità, anche se in falde superficiali l'evapotraspirazione può aumentare la loro concentrazione. Nelle piogge le concentrazioni più elevate di sali si hanno nelle zone costiere, fino a circa 50 km. verso l'interno.

A seconda degli obiettivi dell'indagine, le analisi possono essere più o meno complete.

Un buon livello di informazioni può essere raggiunto determinando :

- temperatura
- pH
- residuo fisso
- conducibilità
- i principali cationi (Ca, Mg, Na, K)
- i principali anioni (HCO₃, SO₄, Cl, NO₃)

Infatti i parametri chimico-fisici come la conducibilità e la durezza, sono di grande aiuto per la comprensione di alcuni fenomeni legati all'idrodinamica sotterranea, ma non sono caratterizzanti, perchè i loro valori guida possono essere pressochè identici anche in campioni aventi composizione chimica diversa.

Vediamo l'importanza dei principali anioni e cationi presenti nelle acque e le informazioni che si possono ricavare dai valori delle loro concentrazioni.

6.3a - Ione idrocarbonico

Generalmente è lo ione più diffuso, in quanto proviene dalla dissoluzione dei carbonati di calcio e magnesio, molto frequenti nelle rocce.

Il tenore è elevato nelle acque circolanti in rocce carbonatiche, mentre è minimo nelle rocce cristalline, nelle arenarie e nelle rocce silicee in generale. (Celico 1986)

6.3b - Ione solfato

La sua presenza è dovuta in genere alla dissoluzione di gesso o anidrite, ma l'arricchimento in ioni solfato può essere dovuto anche all'attraversamento di acquiferi con un certo contenuto argilloso (Schoeller,1962), o nelle zone prossime al mare, per gli apporti delle precipitazioni secche (Cotecchia ed altri, 1971-73).

6.3e - Ioni sodio e potassio

Il sodio si trova in natura generalmente sotto forma di solfati, carbonati e cloruri, unitamente al potassio, che si ritrova nelle stesse forme.

E' molto diffuso nelle acque termominerali ed in tutte quelle caratterizzate da tempi di residenza nell'acquifero relativamente lunghi. (da Celico, 1986)

6.3f - Ione nitrato

La maggior parte di azoto presente nelle falde, deriva probabilmente dalla biosfera. Gli ioni nitrato, ad esempio, provengono dalla ossidazione di materiale organico con alto contenuto proteico in putrefazione.

Delle caratteristiche di questo ione, tornerò a parlare più dettagliatamente in un capitolo apposito.

6.4 - Rappresentazione grafica delle caratteristiche chimiche 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.

La maggior parte dei diagrammi più frequentemente usati, presuppone che i risultati analitici siano espressi in milliequivalenti per litro.

La concentrazione in milliequivalenti per litro (ϵ) di un determinato ione, è data dal rapporto caratteristico fra la sua concentrazione in milligrammi per litro e l'equivalente chimico, che deriva dal rapporto fra la massa atomica dello ione e la sua valenza.

Si possono distinguere :

+ diagrammi di caratterizzazione

+ diagrammi di correlazione .

I diagrammi di caratterizzazione, riguardano una sola analisi, e caratterizzano appunto un'acqua, evidenziando i rapporti esistenti fra i vari elementi chimici.

Fra i diagrammi di caratterizzazione più utilizzati nelle prospezioni geochimiche si ricordano :

+ i diagrammi circolari, costituiti da tanti settori la cui area è proporzionale alla concentrazione percentuale di ciascun elemento;

+ i diagrammi di Stiff, in cui vengono riportati orizzontalmente partendo da un asse verticale, il numero di milliequivalenti dei cationi e degli anioni più significativi;

+ i diagrammi semilogaritmici di Schoeller, nei quali sull'asse delle ascisse, ad intervalli regolari si dispongono gli ioni nella successione Ca, Mg, Na+K, Cl, SO₄, HCO₃.

Sulle ordinate, in scala semilogaritmica si riportano le concentrazioni in meq./l. ed infine si congiungono tutti i punti rappresentativi con una linea spezzata.

Il primo vantaggio di questo diagramma è legato al fatto che contrariamente ad altri, vengono conservati i valori assoluti delle concentrazioni dei singoli ioni.

Ciò consente di distinguere le acque a debole mineralizzazione da quelle più mineralizzate. Inoltre la pendenza di ogni segmento che unisce i punti rappresentativi di due ioni differenti, rappresenta il rapporto caratteristico fra gli ioni stessi. Quindi rapporti uguali comportano l'esistenza di segmenti paralleli; segmenti a pendenza diversa o invertita, indicano che le acque hanno caratteristiche idrochimiche diverse.

L'unica critica che si può muovere a questi diagrammi, è che esagerano a causa della scala semilogaritmica l'importanza degli ioni presenti in piccola quantità in confronto a quelli più abbondanti.

Per le acque della pianura Apuana ho realizzato sia i diagrammi di Stiff (tav. 12, fuori testo) che quelli semilogaritmici di Schoeller (fig. 6.4.1-6.4.2-6.4.3-6.4.3)

Fra i diagrammi di comparazione, si ricorda soprattutto il diagramma di Piper-Hill a diamante: è costituito da un rombo, al di sotto del quale vi sono due triangoli equilateri, ai cui vertici sono indicati gli anioni ed i cationi principali.

Dopo aver posizionato nei triangoli i due punti rappresentativi della somma delle concentrazioni percentuali dei cationi e degli anioni, si localizza nella losanga un terzo punto che deriva dall'intersezione delle rette passanti per i punti rappresentativi di anioni e cationi.

Questo tipo di diagramma raggruppa in aree ben definite tutte le acque con caratteristiche geochimiche simili.

Nel diagramma di Piper-Hill relativo alle acque analizzate nella pianura Apuana (fig. 6.4.5), appare evidente che queste presentano una facies che può essere definita bicarbonato-calcica.

Solo due campioni ricadono nella facies delle bicarbonato-sodiche (29 e 5), e due in quella clorurata/bicarbonato-clorurata calcica (68 e 115).

La prevalenza del bicarbonato di calcio testimonia che queste acque circolano in sedimenti alluvionali costituiti prevalentemente da ciottoli carbonatici provenienti dalla disgregazione delle rocce dei rilievi soprastanti.

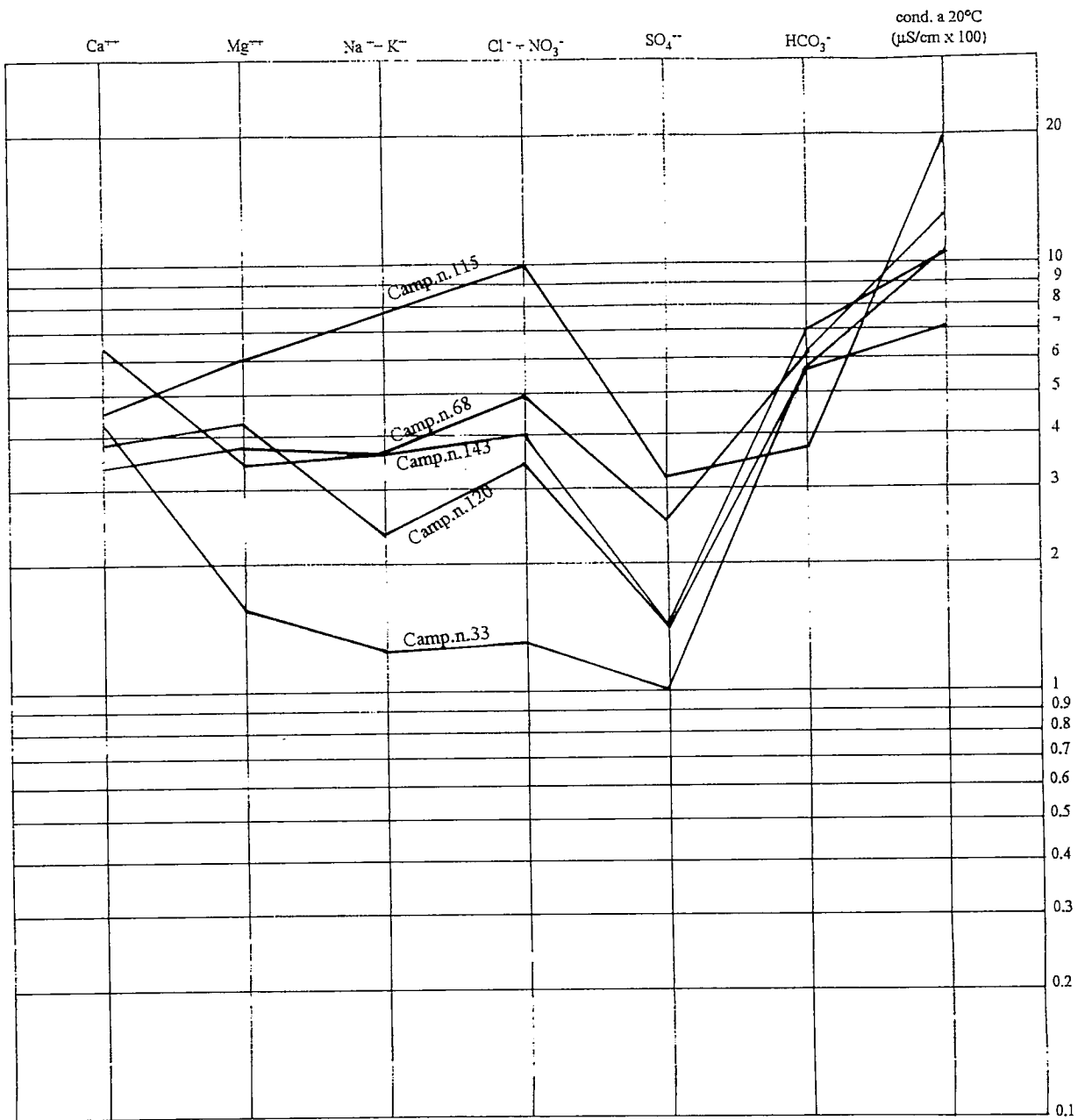


fig. 6.4.1 Diagramma semilogaritmico di Schoeller

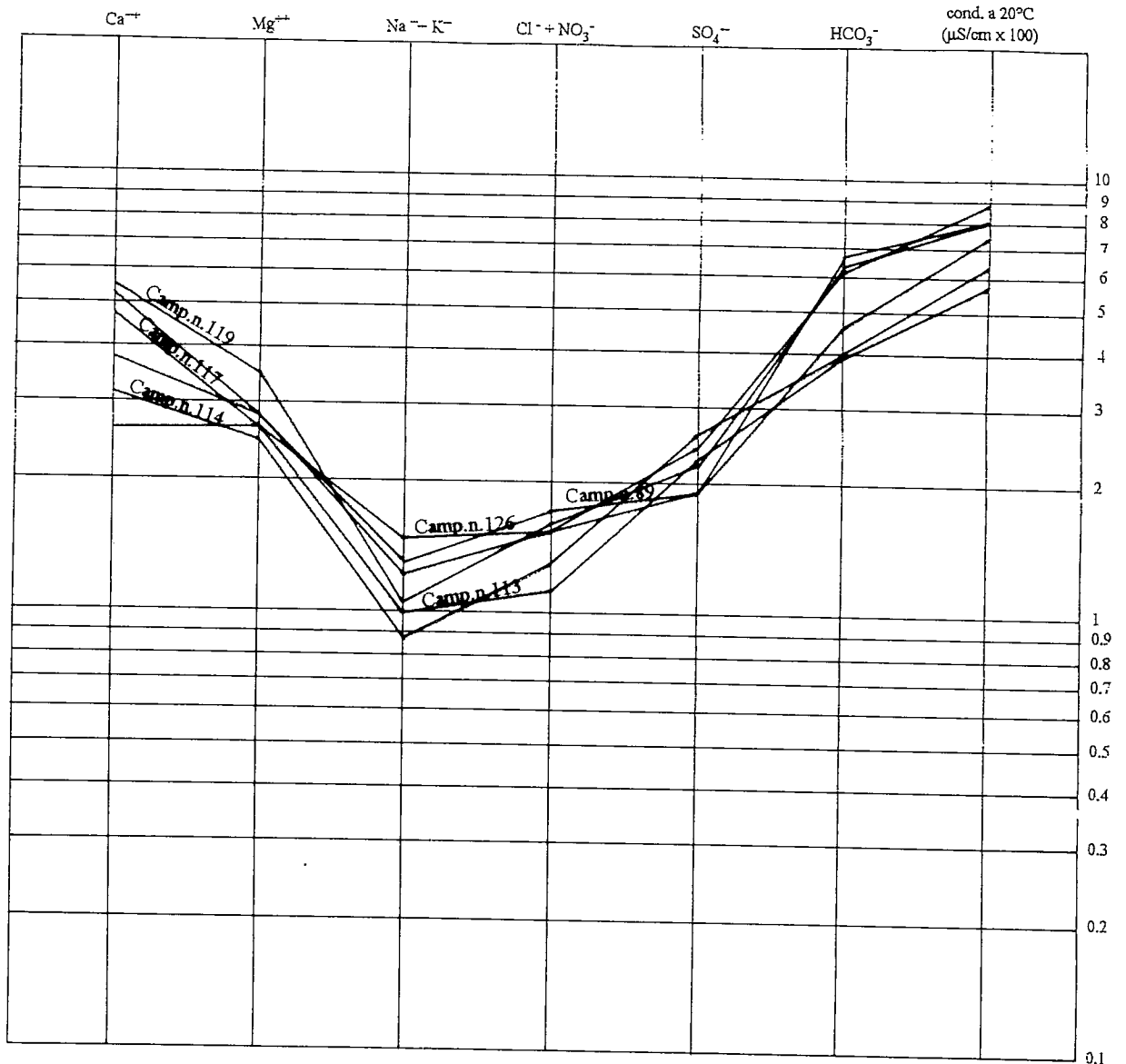


fig. 6.4.2 Diagramma semilogaritmico di Schoeller

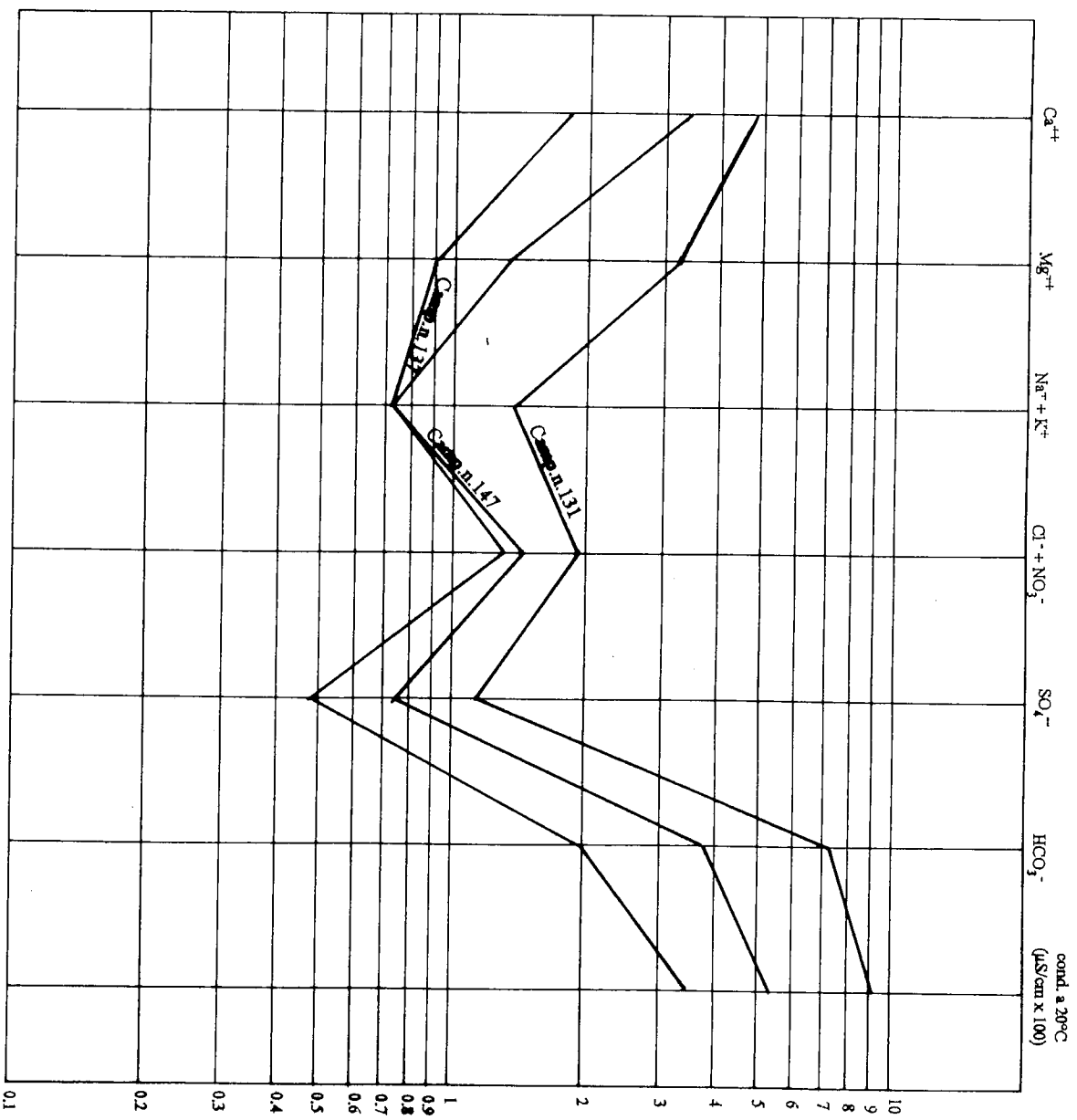


Fig. 6.4.3 Diagramma semi-logaritmico di Schoeller

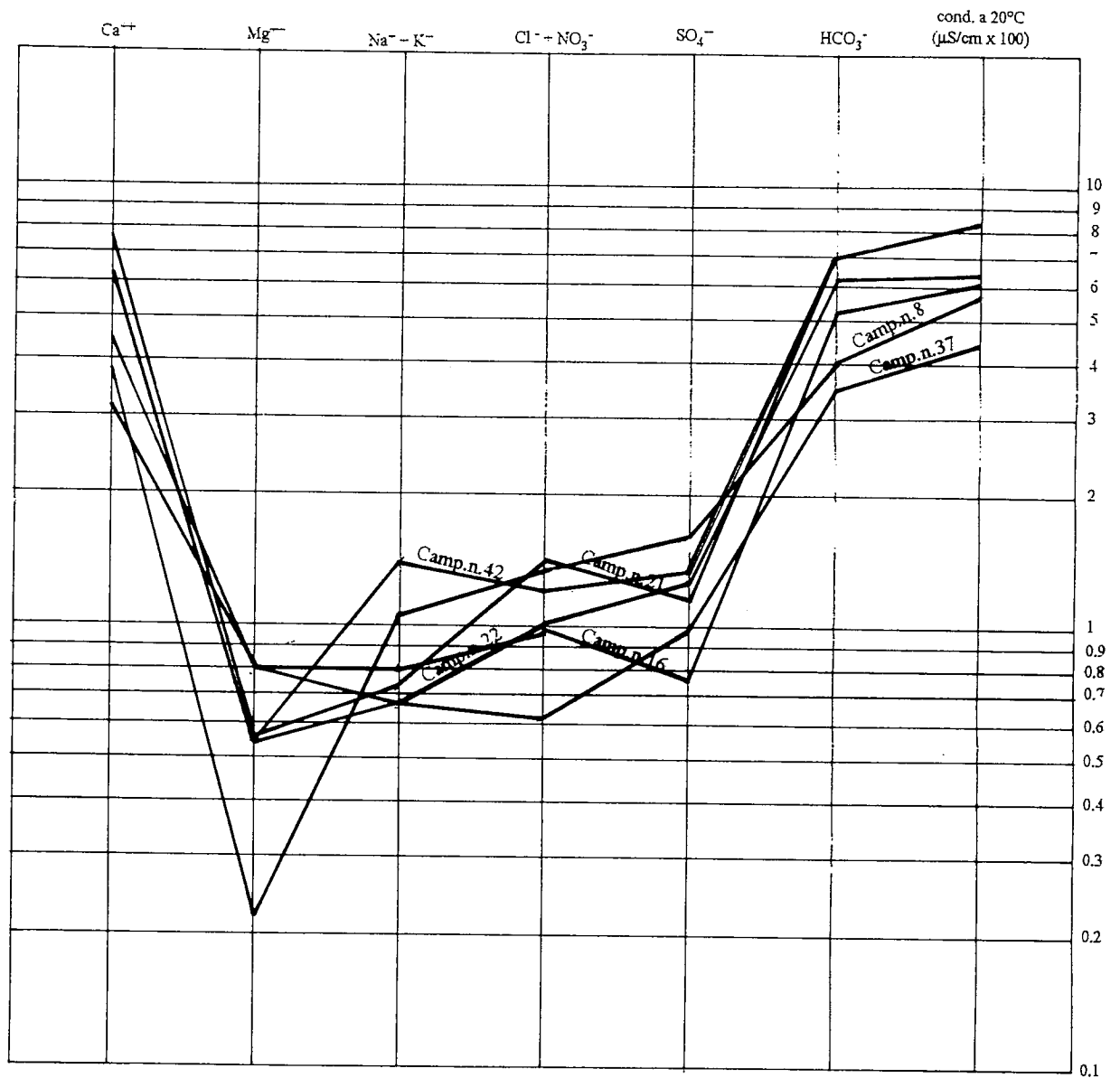
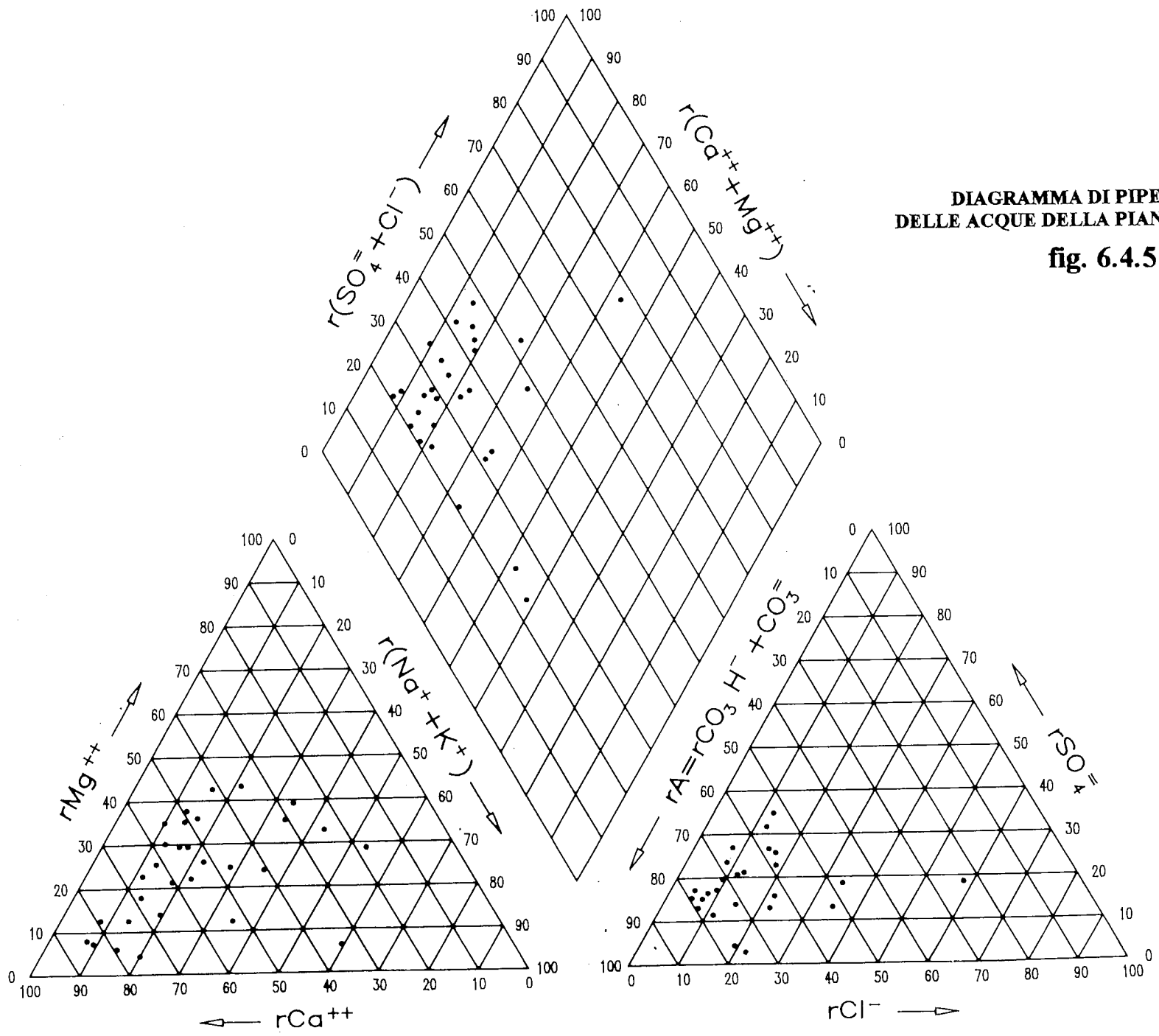


fig. 6.4.4 Diagramma semilogaritmico di Schoeller



**DIAGRAMMA DI PIPER-HILL
DELLE ACQUE DELLA PIANURA APUANA**

fig. 6.4.5

Capitolo 7

I nitrati nelle acque della pianura alluvionale Apuana

7.1 - Chimica dell'azoto

L'azoto la cui abbondanza è circa un terzo di quella del carbonio, si trova principalmente allo stato libero come N_2 nell'atmosfera.

Nelle piante e negli animali, l'azoto è presente nelle proteine, in cui rappresenta circa il 16%.

I composti dell'azoto, sebbene non siano così numerosi come quelli del carbonio, sono tuttavia altrettanto vari. Sotto molti aspetti, le loro reazioni chimiche sono più complesse, poichè non vi sono generalmente residui che mantengono la loro identità nel corso della reazione.

Il suo composto forse più comune è l'ammoniaca NH_3 . Essa si trova in tracce nell'atmosfera, principalmente come prodotto di putrefazione degli organismi animali e vegetali contenenti azoto.

Il ciclo dell'azoto, che indica il cammino degli atomi di azoto in natura, è riportato in fig.8.1.1

Quando vengono rotte le molecole proteiche animali o vegetali, ad es. nella digestione o nella putrefazione, si ottengono come prodotti finali NH_3 e N_2 che si liberano nell'atmosfera, e alcuni ioni contenenti azoto che vengono assorbiti dal terreno. L'ammoniaca dell'atmosfera può ritornare al terreno sciolta nella pioggia.

L'azoto elementare invece, segue due cammini :

- certi batteri che vivono sulle radici delle leguminose, hanno la capacità di fissare l'azoto trasformandolo in sostanze proteiche o in altri composti azotati

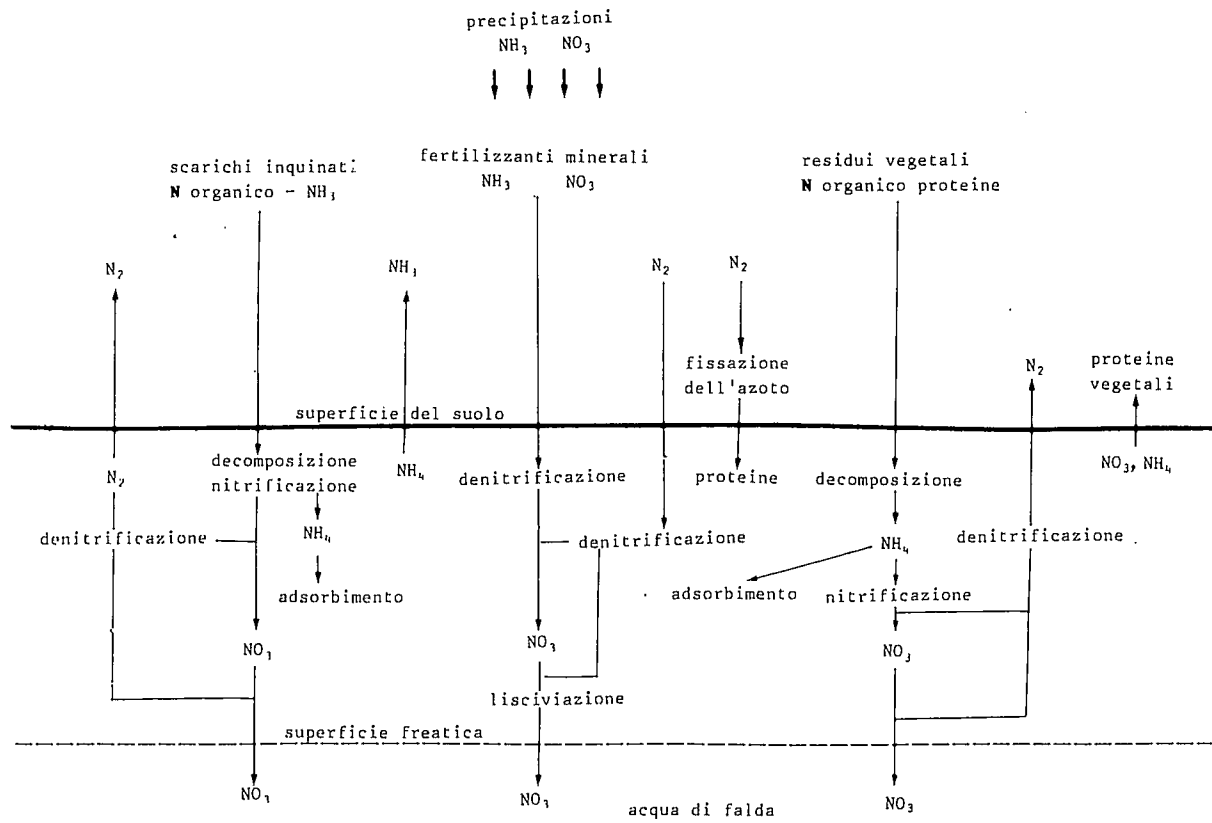


fig.8.1.1 Ciclo dell'azoto

- le scariche elettriche atmosferiche provocano la combinazione di N_2 con O_2 con formazione di NO (ossido nitrico) che a sua volta si ossida a NO_2 , il quale si scioglie nell'acqua piovana formando nitriti e nitrati che vengono assorbiti dal terreno.

Come stadio finale del ciclo, le piante assorbono i composti azotati dal suolo e li trasformano in proteine vegetali. Ingerite come cibo, le proteine vegetali vengono decomposte dagli organismi animali o restituite al terreno come rifiuti.

Vi sono inoltre alcuni batteri denitrificanti che, nel terreno trasformano i composti dell'azoto direttamente in azoto elementare.

Il ciclo dell'azoto è in equilibrio precario. Spesso il bilancio in azoto è localmente passivo, come nelle zone di coltivazione intensiva, dove vengono prelevati i raccolti. In tal caso è necessario sopperire a questo difetto di azoto con fertilizzanti sintetici come NH_3 , NH_4NO_3 o KNO_3 .

D'altra parte l'eccesso di fertilizzanti porta ad un inquinamento nell'ambiente, in quanto l'acqua piovana li scioglie e li porta ai corsi d'acqua e laghi dove favoriscono uno sviluppo eccessivo (eutrofia) della vita acquatica.

7.2 - 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 allorchè i nitrati sono pervenuti nell'ambito dell'apparato digerente e convertiti a nitriti dalla flora batterica, possono provocare, legandosi all'emoglobina del sangue, gravi disfunzioni nel trasporto di ossigeno alle cellule del corpo (metaemoglobinemia).

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, poichè 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 "Analisi critica all'uso dei composti chimici in agricoltura").

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".

7.3 - La carta dei nitrati

Le aree ad alta concentrazione dei nitrati, si localizzano nella pianura Apuana essenzialmente:

* nella vasta area che si estende in sponda sinistra del F.Frigido, dal piede delle colline, presso Turano, fino quasi alla costa attraverso il campo pozzi delle Polle

* nel settore situato a cavallo del T.Carrione e del Fosso Lavello, nell'area ASI (ex Italiana Coke)

* ma l'area maggiormente interessata dall'inquinamento da nitrati è quella compresa fra la sponda sinistra della Fossa Maestra e la sponda destra del T.Carrione, da via Covetta fino alla costa. Qui si localizza il valore massimo della concentrazione dei nitrati riscontrato nelle acque: 173 mg/l.

Sicuramente i nitrati hanno un origine superficiale: si devono quindi escludere ipotesi quali un origine più profonda degli stessi come causa geologica (strati di torba).

L'origine superficiale dei nitrati avviene essenzialmente per immissione in falda di composti organici ed inorganici dovuti ad attività umane, con riferimento mirato all'assenza di un'idonea rete fognaria, ancora incompleta. Inoltre bisogna considerare di essere in zone ad alta concentrazione agricola, nelle quali sono sicuramente elevati gli apporti delle concimazioni azotate, organiche ed inorganiche.

Si hanno anche, in queste aree, presenza di 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 artesianiana della zona in esame, è l'alto 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.

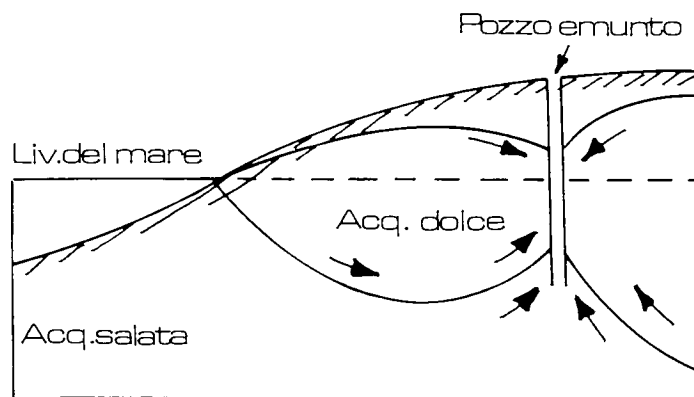
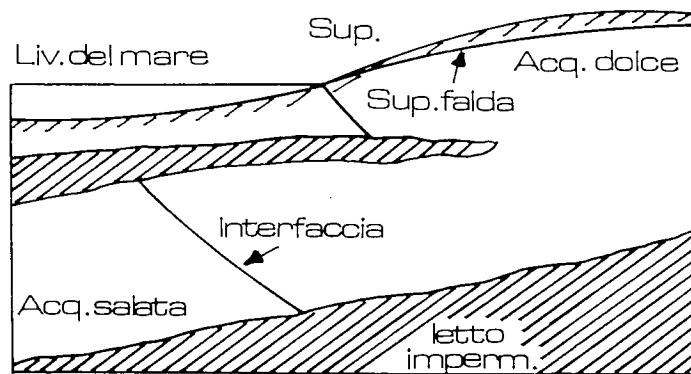
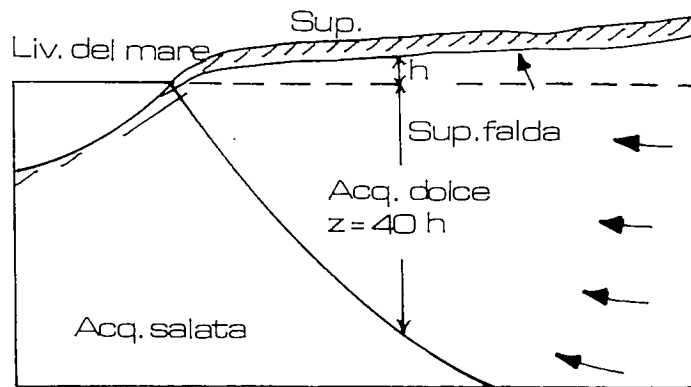


fig.8.1.1 Schemi che illustrano, in modo semplificato, la relazione idrostatica di Ghyben-Herzberg in:

- 1) un acquifero costiero omogeneo**
- 2) un acquifero costiero stratificato**
- 3) un acquifero costiero durante l'emungimento**

Alcuni parametri fisici e chimici possono fornire utili indicazioni per individuare l'intrusione del mare nelle falde sotterranee, così come certi rapporti caratteristici tra specie ioniche diverse.

Ho quindi calcolato:

- * il rapporto Mg/Ca, che nelle acque continentali varia generalmente fra 0.3 e 1.5. L'acqua di mare presenta un rapporto Mg/Ca pari a 5, quindi le acque che circolano in "formazioni marine" o che si sono miscelate con acqua di mare mostrano un rapporto elevato;
- * il rapporto K/Na, che nelle acque dolci può variare fra 0.001 e 1 (massima frequenza fra 0.004 e 0.03), mentre nelle acque marine oscilla fra 0.02 e 0.025;
- * il rapporto Cl/HCO₃ che nelle acque continentali ha un valore generalmente compreso fra 0.1 e 5 e che nell'acqua di mare varia fra 20 e 50;
- * il rapporto SO₄/Cl, che può costituire un buon indicatore di intrusione marina, in quanto valori molto bassi sono tipici delle zone costiere caratterizzate da ingressione di acqua di mare (il cui valore caratteristico è 0,1).

Come si può osservare dalla tab.8.2.1, in cui sono riassunti tali rapporti caratteristici, le acque della pianura Apuana non mostrano sicuramente fenomeni di miscelazione con acque marine, poichè presentano rapporti ionici caratteristici che non sono mai riferibili ad acque contaminate da cloruri di origine marina.

8.3 - La carta dei cloruri

Le acque possono essere classificate in base alla concentrazione dei cloruri secondo quanto esposto in tab.8.3.1.

N.POZZO	rMg/rCa	rK/rNa	rCl/rHCO ₃	rSO ₄ /rCl
1	0.41	0.15	0.25	0.17
3	0.55	0.08	0.29	1.57
5	1.60	0.04	0.29	0.11
8	0.06	0.04	0.31	1.27
11	0.34	0.03	0.27	0.27
16	0.18	0.04	0.15	0.97
21	0.08	0.03	0.11	1.88
22	0.07	0.09	0.10	1.81
25	0.65	0.15	0.08	2.59
27	0.59	0.12	0.18	1.18
29	0.14	0.02	0.11	1.65
33	0.36	0.18	0.08	2.17
37	0.25	0.20	0.13	2.13
42	0.08	0.04	0.10	1.63
68	0.53	0.05	0.73	0.54
71	1.48	0.02	0.20	1.16
89	0.73	0.06	0.31	1.29
112	0.19	0.09	0.12	1.85
113	1.01	0.03	0.22	2.54
114	0.75	0.05	0.23	2.77
115	1.33	0.03	2.58	0.33
117	0.55	0.05	0.13	2.12
119	0.63	0.08	0.12	2.78
120	1.12	0.05	0.34	0.59
126	0.54	0.08	0.12	3.14
131	0.68	0.05	0.11	1.42
137	0.50	0.04	0.33	0.74
143	1.12	0.04	0.70	0.35
147	0.39	0.04	0.19	1.00

tab. 8.2.1 Rapporti caratteristici delle acque della pianura Apuana

Concentrazione in cloruri	< 100	100-1.000	> 1.000
Acque	dolci	salmastre	saline

tab8.3.1

Nell'acquifero alluvionale della pianura Apuana il contenuto in cloruri è generalmente basso, raggiungendo valori massimi in un settore situato nella Zona Industriale (area CERSAM, ex Farmopiant) in cui si riscontrano tenori di cloruri superiori a 50 mg./l. e lungo il corso della Fossa Maestra, dove si registrano valori intorno a 80 mg./l..

I pozzi della fascia litoranea, soprattutto nella zona di Cinquale, di Marina di Massa (fra il Frigido e il Brugiano) e nell'area fra il T.Carrione e il Fosso Lavello, sono quelli che mostrano le concentrazioni maggiori di cloruri: 400, 339 e 165 mg./l. rispettivamente.

Questi valori, pur essendo superiori alle concentrazioni medie di cloruri riscontrate nelle acque della pianura Apuana, sono ben lontani da quelli riscontrati in altre aree costiere liguri-tirreniche.

Ritengo quindi non si possa parlare di vera e propria "ingressione" di acque marine nelle falde di acqua dolce, in considerazione soprattutto della posizione e della profondità dei pozzi in cui sono stati misurati tali valori.

Capitolo 9

Caratteristiche chimiche e fisiche delle acque superficiali

La composizione chimica delle acque superficiali, è simile a quella delle acque sotterranee; ciò è facilmente comprensibile se si pensa che in buona parte i corsi d'acqua sono alimentati da acque sotterranee venute alla superficie attraverso le sorgenti.

In generale tuttavia, il contenuto di sostanza disciolta nelle acque superficiali è alquanto inferiore a quello delle acque sotterranee; anche ciò appare logico considerando l'azione diluente delle precipitazioni atmosferiche.

Le acque sotterranee risultano più mineralizzate di quelle superficiali anche a causa del lungo tempo di residenza nell'acquifero e di interazione con le rocce del serbatoio.

Le acque superficiali, a differenza di quelle sotterranee, contengono generalmente sostanze organiche e sostanze solide sospese; queste sono generalmente detriti organici, ovvero di composti argillosi finemente suddivisi, trascinati dalle acque di pioggia, le quali dilavano le rocce superficiali e il terreno agricolo, esercitandovi un'azione meccanica di abrasione.

Naturalmente il contenuto di sostanze sospese è maggiore nelle acque a corso rapido, perchè nelle acque stagnanti o a corso lento, la maggior parte delle particelle insolubili che si trovano in sospensione hanno il tempo di depositarsi sul fondo. (Bianucci, Ribaldone Bianucci, 1985)

9.1 - Qualità delle acque superficiali della pianura Apuana

Durante l'anno 1993 sono state condotte dal Servizio Multizonale e di Prevenzione dell'USL n.2 alcune campagne di prelievi di acque superficiali, lungo i corsi del F.Frigido (prelievi del 3 novembre 1993), del T.Carrione (prelievi del 17 luglio 1993).

Nell'arco dello stesso anno, sono state campionate anche, con cadenza pressochè mensile, acque superficiali alle foci dei principali corsi d'acqua che scorrono nella Pianura Apuana, e cioè :

- * foce del T.Parmignola
- * foce della F.ssa Maestra
- * foce del T.Carrione
- * foce del F.sso Lavello
- * foce del F.sso Ricortola
- * foce del F.sso Brugiano
- * foce del F.Frigido
- * foce del F.sso Magliano
- * foce del F.Versilia.

Le 11 stazioni di prelievo lungo il corso del F.Frigido sono state dislocate omogeneamente e sistematicamente su tutto il corso, ed in modo tale da poter valutare l'impatto provocato dagli scarichi dei centri abitati.

La stessa cosa è avvenuta per il corso del T.Carrione, anche se in questo caso le 7 stazioni di campionamento non sono distribuite molto omogeneamente.

L'ubicazione delle stazioni di prelievo è riportata in fig.9.1.1.

Sui campioni raccolti sono stati determinati solo i parametri chimico-fisici principali.

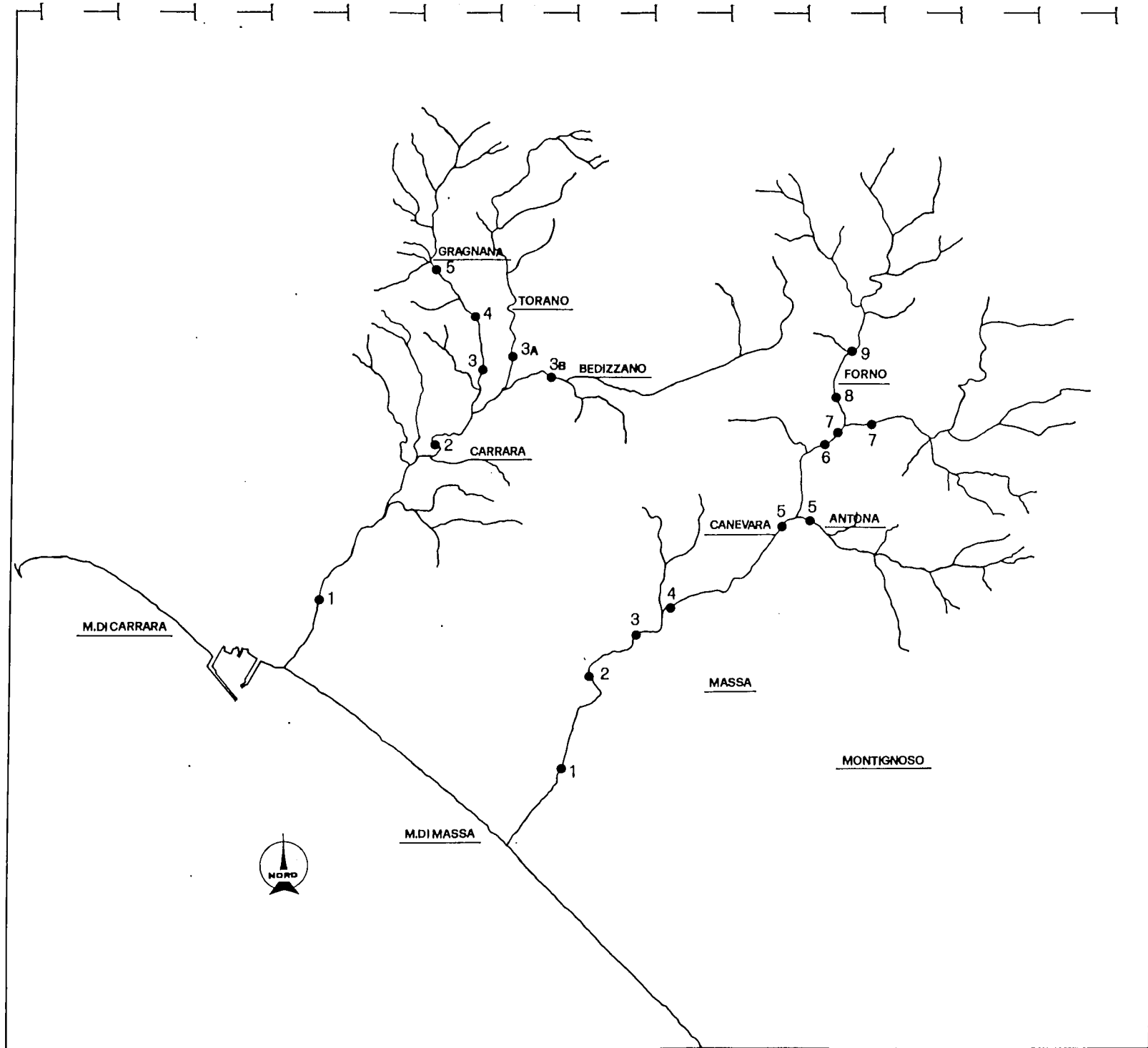


fig 9 | 1 Rete idrografica del F. Estivo e del T. Cardano e

Prima dell'elaborazione grafica e numerica dei principali risultati analitici, ho effettuato la media dei valori riscontrati.

I dati analitici delle acque superficiali sono stati successivamente riportati su grafici, nei quali si possono osservare lungo i corsi del T.Carrione, del F.Frigido e attraverso le foci prima citate, le variazioni di concentrazione delle diverse specie chimiche analizzate.

9.1a - Stazioni lungo il corso del F.Frigido

PH I valori del pH denotano in generale condizioni di lieve alcalinità, essendo compresi fra 7.50 e 8.00. Il valore più basso si rileva nel punto n°1 (7.50) ubicato a valle del depuratore delle Querce. Oltre tale punto, i valori oscillano fra 7.90 e 8.00. Da notare, i valori di pH rilevato negli affluenti in sponda sinistra del F. Frigido: nel F.sso di Renara è risultato un valore pari a 6.70, nel F.sso di Antona pari a 8.00.

ALCALINITA' Per quel che riguarda la distribuzione del parametro alcalinità, si nota in generale un decremento dalle stazioni poste in prossimità della foce a quelle situate nelle parti mediane del bacino. Dalla stazione n°6 (a valle della prima segheria di Forno), l'alcalinità riprende leggermente ad aumentare.

Il valore massimo è rilevato appunto nella stazione n°1 (a valle del depuratore), il valore minimo nella stazione n°5 (a valle di Canevara); il valore medio dell'alcalinità è di 153.7 mg./l..

Nel Fosso di Renara, si rileva un valore pari a 164.7 mg./l., in quello di Antona pari a 128.1 mg./l., valori in entrambi i casi più alti di quelli rilevati dopo la loro confluenza col F.Frigido.

CLORURI L'andamento della distribuzione delle concentrazioni dei cloruri, mostra variazioni analoghe a quelle osservate per il parametro alcalinità, e cioè un decremento dalle stazioni poste in prossimità della foce, a quelle situate nelle parti più alte del bacino, interrotto da un'innalzamento della sua concentrazione nella stazione n°7 (a monte della prima segheria di Forno).

I valori riscontrati nei due fossi, quello di Renara e di Antona, sono rispettivamente di 9.5 e 10.6 mg./l., sempre maggiori cioè di quelli rilevati a valle delle loro confluenze.

Lungo il corso del Frigido, si ha una media del tenore dei cloruri pari a 9.61 mg./l.

I prelievi effettuati hanno permesso la conoscenza di altri importanti parametri chimico-fisici, non riportati nel diagramma descritto. Vediamo quali:

- le temperature misurate oscillano fra 11 e 14.5 °C, con un valore medio di 12.58°C;
- non è stata rilevata in alcun punto la presenza di ammoniaca, nè di solfuri;
- l'azoto nitroso è presente solo in una stazione, e cioè in quella a valle del depuratore, ma in concentrazioni minime (1.9 mg./l.);
- l'azoto nitrico è presente in tutte le stazioni, ma in concentrazioni che da 0.97 mg./l. decrescono a 0.03 mg./l. risalendo il corso del Frigido;
- in alcune stazioni (nelle prime 3 a partire dalla foce) sono state trovate tracce di fosfati.

9.1b - Stazioni poste lungo il corso del T. Carrione

PH I valori del pH riscontrati lungo il corso del Carrione e lungo i suoi affluenti, hanno un andamento che è crescente per le prime due stazioni; segue

nella stazione n°3 (prima della confluenza nel Carrione del T.di Linara) una diminuzione piuttosto netta, seguita da una ripresa nella crescita.

La media dei valori registrati è pari a 7.84 (i valori oscillano fra 7.65 e 8.20); nei rami di Bedizzano e di Torano, si hanno valori che ben s'inseriscono nella media riscontrata lungo il Carrione (7.70 e 7.50).

ALCALINITA' L'alcalinità ha un andamento pressochè lineare, variando dal valore minimo di 201.3 mg./l. riscontrato alla stazione n°1 (a valle di Avenza), fino al massimo di 252.6 mg./l. della stazione n°5 (a monte di Gragnana), di poco più di 50 mg./l..

Il ramo di Torano e di Bedizzano, mostrano un tenore in alcali minore: 183 mg./l. e 176.9 mg./l. rispettivamente.

Il valore medio è pari a 229.8 mg./l.

CLORURI Anche l'andamento dei cloruri è pressochè lineare: varia da 20.3 a 19.2 mg./l. dalla stazione n°1 alla n°4. Il valore minimo è quello rilevato a monte di Gragnana (12.7 mg./l.), ed il valore medio è 18.1 mg./l..

I rami di Torano e di Bedizzano, mostrano valori di 10.1 e 15.2 mg./l..

Nel caso del T.Carrione, sono stati riportati sul grafico, anche altri due parametri, che a differenza del F.Frigido, assumono una certa importanza, e cioè i solfati e l'azoto nitrico.

SOLFATI I solfati sono presenti con concentrazioni che variano, aumentando il loro tenore dalla stazione n°1 alla 3 e precisamente passando da 70.3 a 155.4 mg./l..

9.1 c - Stazioni poste alla foce dei principali fiumi, torrenti e fossi

I prelevi effettuati alle foci dei principali fiumi, torrenti e fossi presenti nell'area in esame, ed eseguiti in due periodi dell'anno contraddistinti da una forte differenza dei valori delle precipitazioni, mostrano andamenti particolari.

PH I valori del pH riscontrati nel prelievo invernale (28 dicembre) hanno un andamento piuttosto lineare lungo l'intera costa apuana, oscillando fra 7.45 e 7.90, con una media di 7.68.

I valori minimi sono stati rilevati alla foce della Fossa Maestra e del Fosso di Brugiano (7.45), mentre il valore massimo è quello della foce del F. Versilia.

I valori primaverili (19 maggio) sono tutti maggiori, e mostrano un incremento più o meno regolare ad eccezione della foce del T. Carrione, per il quale si registra un valore estremamente alto : 10.1.

Se si esclude tale massimo, il valore medio dei pH del prelievo primaverile è 8.3.

ALCALI I tenori in alcali non mostrano trends nettamente separati nei due prelievi: per alcuni punti, le concentrazioni sono maggiori nel periodo primaverile (n° 1-2-3-5-7-9), per altre sono maggiori nel periodo invernale (n°3-6-8).

Anche le variazioni quantitative nei due periodi sono minime: il valor medio primaverile è pari a 287.4 mg./l., quello invernale è pari a 262.99 mg./l..

AZOTO NITRICO Per quel che riguarda la distribuzione dell'azoto nitrico, si osserva una maggiore concentrazione di questo elemento nelle acque prelevate a dicembre, con incrementi che vanno da 0.4 a 5.5 mg./l..

Fanno eccezione le foci del Carrione e del Frigido, dove i valori massimi sono riscontrati nel mese di maggio.

Il valore più alto è stato riscontrato nel prelievo invernale alla foce del F. Versilia (6.6 mg./l.), il minimo alla foce del Parmignola nel prelievo primaverile.

In media, si riscontra un valore primaverile di 1.84 mg./l. (con massimo di 3.3 mg./l. alla foce del Fosso Magliano, ed un minimo di 0.6 mg./l. alla foce del Parmignola), ed un andamento piuttosto lineare con un valore medio invernale pari a 3.71 mg./l. (con un massimo di 6.6 mg./l. alla foce del Versilia ed un minimo di 0.81 mg./l. alla foce del Frigido).

CLORURI La distribuzione della concentrazioni dei cloruri, così come i due parametri appena descritti, non mostra un andamento paragonabile nei due periodi in esame :

- * i cloruri del prelievo invernale hanno un valore medio di 54.6 mg./l. (con un massimo di 74.5 mg./l. alla foce del Lavello ed un minimo di 18.4 mg./l. alla foce del Frigido)

- * quelli del prelievo primaverile mostrano un massimo assoluto di 774 mg./l. alla foce del Versilia; escludendo quest'ultimo campione, il valore medio della concentrazione dei cloruri è pari a 87.7 mg./l. (con un minimo di 31.5 mg./l. alla foce del Frigido ed un massimo di 246 mg./l. alla foce del Fosso Brugiano). E' interessante notare come in questo caso il valore massimo e quello minimo siano riscontrati in punti vicini (n°7 e n° 8).

9.2 - La marmettola

I corsi d'acqua della pianura Apuana, in origine ripascevano o drenavano la falda, a seconda del periodo. La marmettola, avendo attualmente impermeabilizzato il fondo, impedisce questa funzione regolatrice.

Ciò ostacola anche il prelievo di acque dai fiumi per usi irrigui o industriali, e comporta l'uso dei pozzi con uno sfruttamento massiccio della falda.

L'importanza che riveste l'industria lapidea nell'economia della provincia di Massa-Carrara è rilevante; negli anni recenti poi, la secolare attività di escavazione e lavorazione del marmo, caratteristica della Zona Apuana, legata agli enormi giacimenti delle Alpi Apuane, è stata estesa anche alla lavorazione di graniti e di altre pietre, importate da tutto il mondo e trasformate in questa zona.

Le quantità di marmo ed altre pietre lavorate nella zona, secondo i dati del censimento della IMM del 1988 risultano ammontare a circa 2.550.000 t/anno; di queste, 1.570.000 t sono materiali calcarei (marmi), 980.000 t sono materiali silicei (graniti).

La marmettola è costituita da un fango prodotto durante la segagione e la lucidatura della pietra.

Quella proveniente dalla lavorazione del marmo è costituita solo da carbonato di calcio e da piccole quantità di polvere abrasiva disperse in acqua, poichè durante le operazioni di taglio vengono utilizzati utensili diamantati.

La marmettola derivante dalla lavorazione del granito e di altre pietre dure, specialmente nella segagione dei blocchi in lastre, è invece rappresentata dalla polvere costituente le pietre, da notevoli quantità di calce e dalla limaia che è una polvere metallica di acciaio.

Capitolo 10

Qualità delle acque sotterranee

Nella valutazione delle risorse idriche sotterranee, la qualità della acque sotterranee è importante quasi quanto la loro quantità disponibile.

Le caratteristiche chimico-biologiche dell'acqua sono fondamentali per determinare se l'acqua è o non è adatta per usi domestici, industriali o agricoli.

E' importante ricordare anche come alcune caratteristiche della qualità dell'acqua possono far comprendere rapporti di interconnessione fra le acque superficiali e gli acquiferi, il movimento della falda e l'immagazzinamento.

Quando l'acqua si infiltra nel suolo, la sua qualità può modificarsi per una serie di fenomeni, quali:

- rapporto fra la quantità delle precipitazioni ed evaporazione;
- reazioni fra le acque di precipitazione e le particelle del suolo;
- deterioramento chimico nella dissoluzione dei minerali da parte delle acque;
- fluttuazione della superficie della falda.

Le variazioni di qualità della falda avvengono più facilmente in acquiferi poco profondi che in quelli profondi, perchè le variazioni stagionali di ricarica e scarico creano nei primi corrispondenti fluttuazioni della salinità.

Le caratteristiche di una falda in un acquifero, cambiano frequentemente con la profondità. Infatti con l'aumento della profondità, aumenta l'importanza della reazione di scambio cationico e si ha una graduale sostituzione nell'acqua di calcio e magnesio ad opera del sodio (si ha acqua meno dura); i nitrati presenti nella zona superficiale dell'acquifero, diminuiscono in profondità. I solfati si riducono con la profondità, mentre il tenore dei bicarbonati aumenta così come il contenuto di cloruro.

10.1 - Inquinamento delle acque

Possiamo definire inquinamento delle acque (superficiali o sotterranee) il fenomeno di contaminazione per la presenza naturale o per l'immissione di sostanze organiche, di sostanze chimiche o di calore oltre determinati limiti, variabili in funzione dell'utilizzazione delle acque stesse.

Il pericolo maggiore di inquinamento della falda viene da cause superficiali, quali:

- immissioni dirette delle sostanze inquinanti nel sottosuolo;
- all'alimentazione naturale o indotta delle falde sotterranee da parte di corpi idrici superficiali inquinati;
- all'inquinamento atmosferico, che consente alle acque di precipitazione di infiltrarsi nel sottosuolo dopo aver disciolto sostanze inquinanti;
- sovrasfruttamento delle falde, con il conseguente e progressivo peggioramento della qualità chimica delle acque per l'insufficiente ricambio.

Tutte queste sono le cause "artificiali", ma l'inquinamento può avere anche un'origine "naturale", essere cioè indipendente dalle attività dell'uomo (es. acque che superano le soglie di temperatura e di salinità a causa di circuiti molto lunghi, lenti e/o profondi, a causa delle particolari caratteristiche di solubilità della roccia serbatoio, ecc.) (fig. 10.1).

L'uso delle acque può essere parzialmente o totalmente compromesso in relazione al grado e al tipo di inquinamento.

Infatti a seconda dell'uso a cui sono destinate, le acque devono soddisfare requisiti di qualità che possono essere più o meno restrittivi.

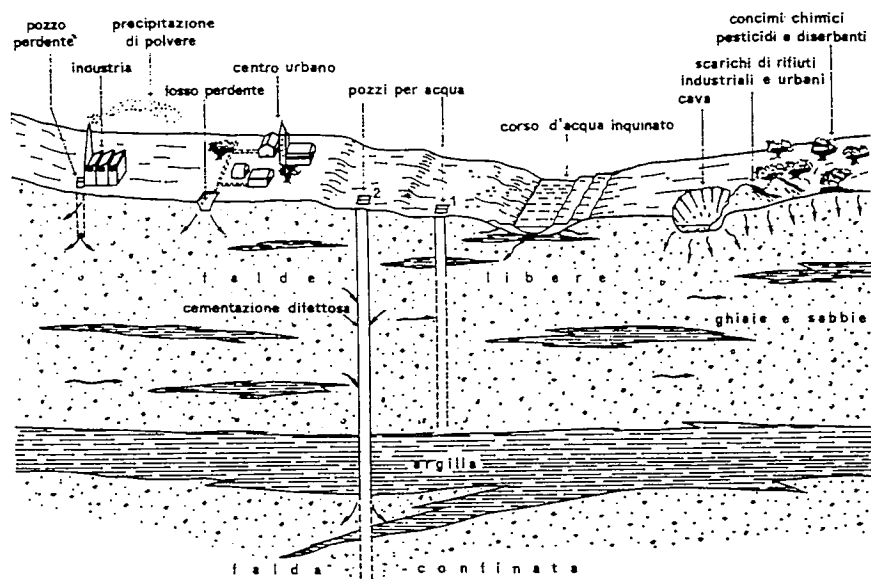


fig.10.1 Principali modalità d'inquinamento delle acque sotterranee, dovute all'azione dell'uomo

10.2 - Qualità delle acque per uso idropotabile

Le acque destinate al consumo umano, devono possedere le caratteristiche migliori. Il controllo analitico di queste acque deve accertare se le loro caratteristiche igieniche sono tali da consentire l'utilizzo senza alcun trattamento, da consentire l'utilizzo dopo idoneo trattamento o da non consentire l'utilizzo neanche dopo trattamento.

La potabilità di un'acqua viene valutata in base ad una serie di determinazioni:

- * organolettiche
- * chimico-fisiche
- * biologiche
- * microbiologiche.

I risultati delle analisi vanno confrontati con i limiti indicati in apposite tabelle redatte da vari Enti nazionali ed internazionali (Ministero della Sanità, OMS, CEE).

Tali tabelle riportano :

- **valori limite**, che non devono mai essere superati
- **valori guida**, che devono essere considerati in linea di massima come i valori ottimali
- **numero guida**, il valore a cui si devono ispirare gli Stati Membri della CEE per fissare i valori limite dei vari parametri
- **concentrazione massima ammissibile**, concentrazione al di sotto della quale le sostanze presenti nell'acqua non provocano effetti ritenuti inaccettabili per la salute della popolazione. (Celico, 1986)

In tab.10.1.1 sono riportati i valori estratti dalla direttiva n. 80/778/CEE del 15 luglio 1980, approvata dal Governo italiano con D.P.R. n. 236 del 24 luglio 1988, relativi ai parametri misurati nelle acque della pianura Apuana.

<i>Parametri</i>	<i>Numero guida</i>	<i>Concentr. max ammis.</i>
<i>Temperatura (°C)</i>	12	25
<i>pH</i>	6,5 < pH < 8,5	9,5
<i>Conduttività (μS) a 20° C</i>	400	—
<i>Cloruri (mg/l)</i>	25 (nociva oltre 200)	—
<i>Solfati (mg/l)</i>	25	250
<i>Calcio (mg/l)</i>	100	—
<i>Magnesio (mg/l)</i>	30	50
<i>Sodio (mg/l)</i>	20	150
<i>Potassio (mg/l)</i>	10	12
<i>Nitrati (mg/l)</i>	25	50
<i>Nitriti (mg/l)</i>	—	0,1
<i>Ammoniaca (mg/l)</i>	0,05	0,1
<i>Boro (mg/l)</i>	1	—

*Per la durezza è richiesto un valore minimo di 15° F
Per l' alcalinità è richiesto un valore minimo di 30 mg/l di HCO₃*

fig.10.1.1 Valori massimi ammissibili e consigliati secondo direttive CEE

10.3 - Qualità delle acque per uso irriguo

Le acque destinate all'agricoltura, devono possedere requisiti chimico-fisici variabili con la natura e le caratteristiche di drenaggio del terreno agrario, con il tipo di coltura a cui sono destinate e con il clima.

Per molte colture sono dannosi gli eccessi di salinità, per tutte sono dannosi gli eccessi di bicarbonato e di boro.

I sali possono danneggiare le coltivazioni, in quanto riducono l'afflusso di acqua, sia modificando i processi osmotici, sia mediante reazioni metaboliche. Anche l'effetto che i sali hanno su certi terreni, soprattutto le variazioni apportate alla struttura, che a loro volta incidono sulla permeabilità e sull'aerazione, influenzano la crescita delle piante.

Si può quindi classificare il possibile utilizzo di un'acqua per uso irriguo in base alla concentrazione dei sali solubili, espressa per mezzo della conducibilità elettrica in micromhos a 25°, distinguendo 4 classi. (tab.10.3.1)

Oltre al pericolo potenziale rappresentato dalla salinità, esiste anche il rischio-sodio, in quanto la sua presenza nell'acqua per uso irriguo può causare una diminuzione della permeabilità del suolo e far sì che questo indurisca. Questi effetti sono attribuibili allo scambio cationico di ioni calcio e magnesio con ioni sodio in minerali argillosi.

Il contenuto sodico, può essere espresso in termini di percentuale di sodio come segue

$$\% \text{Na} = (\text{Na} + \text{K})100 / \text{Ca} + \text{Mg} + \text{Na} + \text{K}$$

dove tutte le concentrazioni ioniche sono espresse in milli-equivalenti/l.

La quantità di ioni sodio impegnata nella sostituzione di ioni calcio e magnesio, cioè la quantità di sodio assorbita dal terreno, può essere calcolata dal rapporto di assorbimento del sodio (Sodium Adsorption Ratio), o SAR, definito come:

$$\text{SAR} = \text{Na} / \sqrt{(\text{Ca} + \text{Mg}) / 2}$$

dove le concentrazioni sono ancora espresse in milli-equivalenti/l.

Questo parametro esprime il pericolo di alcalinizzazione del suolo stesso, e sulla sua base, le acque possono essere suddivise nelle 4 classi riportate in tab. 10.3.2.

In tab. 10.3.3 sono riportati i valori di conducibilità, di SAR e di %Na delle acque della pianura Apuana.

tab. 10.3.1 - DESCRIZIONE DEL RISCHIO SALINITA'

C1 acqua a bassa salinità - conducibilità fra 100 e 250 microhomos/25°C. Può essere usata per scopi irrigui per molte coltivazioni, in di terreni con poche probabilità che si creino problemi di salinità. E' richi filtraggio, ma soltanto in irrigazioni normali e non in terreni con permeaf estremamente bassa.

C2 acqua a media salinità - conducibilità fra 250 e 750 . Può essere usa esiste una moderata infiltrazione. In molti casi possono crescere piante moderata tolleranza al sale senza interventi particolari per il controllo salinità.

C3 acqua con alta salinità - conducibilità fra 750 e 2250 . Non può es usata in terreni con basso drenaggio; può essere necessario un trattam speciale per il controllo della salinità e devono essere selezionate piante buona tolleranza al sale.

C4 acqua con salinità molto alta - conducibilità superiore a 2250. N adatta all'irrigazione in condizioni normali, ma può essere u occasionalmente in condizioni molto particolari. Il terreno deve es permeabile, il drenaggio adeguato, l'acqua per irrigazione deve essere usa eccesso per consentire un drenaggio considerevole e si devono selezio coltivazioni che tollerano abbondanza di sale.

tab.10.3.2 - DESCRIZIONE DEL RISCHIO SODIO

S1 acqua con bassa concentrazione di sodio - minore di 10 meq/l. Essere usata per irrigare quasi tutti i terreni, con poco pericolo per lo sviluppo di livelli dannosi di sodio. Tuttavia coltivazioni sensibili al sodio, come alberi da frutta con nocciolo, possono accumulare concentrazioni nocive di sodio.

S2 acqua con concentrazioni medie di sodio - fra 10 e 18 meq/l. Comprende un rischio sodio notevole in terreni con tessitura fine, aventi alta capacità di scambio cationico specialmente in condizioni di basso filtraggio, a meno che nel terreno non sia presente del gesso. Acqua di questo tipo può essere utilizzata in terreni con tessitura grossolana o in terreni organici con buona permeabilità.

S3 acqua con concentrazioni alte di sodio - fra 18 e 26 meq/l. Produce livelli dannosi di sodio nella maggior parte dei terreni e richiede uno speciale trattamento del suolo con un buon drenaggio, alta infiltrazione e aggiunta di materiale organico. In terreni gessosi non si sviluppano livelli dannosi di sodio.

S4 acqua con concentrazione alta di sodio - superiore a 26 meq/l. È generalmente inadatta per scopi irrigui, tranne che con bassa e forse a media salinità, dove la dispersione del calcio nel suolo o l'uso del gesso o altri additivi possono rendere utilizzabile acqua di questo tipo.

N.POZZO	CONDUCIBILITA'	SAR	% Na
1	756	0.85	15.1
3	952	0.85	17.7
5	1021	3.26	53.0
8	576	0.70	20.3
11	1156	0.59	11.2
16	601	0.48	13.2
21	638	0.35	8.7
22	837	0.57	13.7
25	814	0.49	13.2
27	1220	1.78	33.9
29	544	4.69	59.7
33	704	0.61	17.4
37	441	0.39	14.3
42	841	0.35	8.50
68	1300	1.57	27.2
71	717	1.91	33.8
89	741	0.67	16.5
112	525	0.58	19.7
113	582	0.59	16.0
114	643	0.49	13.2
115	1951	3.27	42.3
117	816	0.72	16.6
119	805	0.45	10.3
120	1043	1.08	21.7
126	882	0.56	13.1
131	914	0.64	14.4
137	352	0.60	21.0
143	1063	1.85	33.7
147	538	0.45	13.3

tab. 10.3.3

10.4 - Qualità delle acque per uso industriale

La qualità dell'acqua richiesta nei processi industriali è variabile a seconda del tipo di produzione.

In genere queste acque non devono contenere nè in soluzione, nè in sospensione sostanze dannose per gli impianti. Non devono dar luogo a corrosioni, od a incrostazioni, nè devono interferire nei processi tecnologici producendo alterazioni nei prodotti finiti.

I quattro parametri più importanti da considerare sono:

- durezza
- pH
- salinità
- contenuto in silice

Il pH può dare una prima indicazione, poichè un valore superiore a 7 indica un'acqua alcalina, quindi con una certa capacità incrostante; un valore di pH inferiore a 7 rivela una natura acida dell'acqua ed una tendenza alla corrosione.

Anche la durezza totale è indicativa: alti valori comportano alta capacità incrostante. Se la durezza è dovuta ai soli bicarbonati di calcio (durezza temporanea), le incrostazioni sono facilmente eliminabili con trattamenti a base di acido cloridrico; se la durezza è dovuta anche ai solfati e ai cloruri di calcio, l'eliminazione delle incrostazioni è più difficoltosa.

Convieni quindi, in presenza di ioni Ca^{++} e Mg^{++} , che i valori di SO_4^{--} siano compresi fra 100 e 300 mg./l. e quelli di Cl^- fra 60 e 180 mg./l..

In particolari processi industriali può essere richiesta una qualità costante dell'acqua; è per questo motivo che si preferisce usare acque in falda piuttosto che acque superficiali, dal momento che le prime mostrano minori variazioni chimico-fisiche.

Un primo sommario giudizio di qualità delle acque destinate all'uso industriale è possibile sulla base del valore dell'indice di utilizzo industriale, che misura il potere aggressivo ed incrostante delle acque naturali.

Tale indice, detto anche indice di Langelier, è dato da:

$$I_L = \text{pH} - \text{pH}_s$$

pH = pH dell'acqua reale

pH_s = pH di saturazione, cioè quello che l'acqua dovrebbe avere se si trovasse in equilibrio con il CaCO_3 solido

$\text{pH}_s = 7 - \log(3\text{CO}_2 / 0.61 \text{ alcalinità})$

Questa formula, di Tillmans-Heunblein, è valida solo per pH compresi fra 6.5 e 9.5; se nell'acqua sono presenti sali di sodio è valida solo per $\text{pH} > 7$.

Sulla base del valore di tale indice, si distinguono.

- *acque aggressive, se è $<$ di 0
- * acque incrostanti, se è $>$ di 0
- * acqua in equilibrio, se è uguale a 0

Capitolo 11

Il bilancio idrologico

"Non c'è vita senza acqua. L'acqua è un bene prezioso, indispensabile a tutte le attività umane". E' questo il primo principio della "Carta Europea dell'acqua" promulgata dal Consiglio d'Europa nel 1968. Il secondo principio ribadisce questo concetto ed afferma: "le disponibilità di acqua dolce non sono inesauribili. E' indispensabile preservarle, controllarle e se possibile accrescerle".

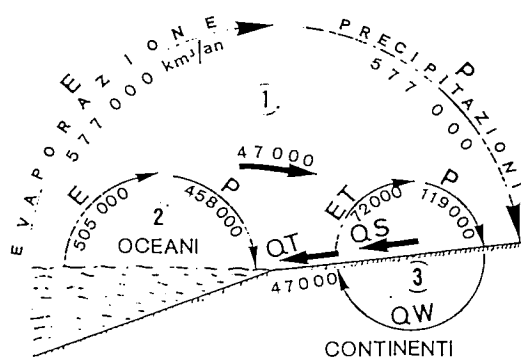
A prima vista queste preoccupazioni possono apparire infondate dal momento che l'acqua è la sostanza più diffusa sulla superficie della Terra: la sua quantità totale è di circa 139×10^7 kmc. Ogni anno, sotto l'azione dell'energia solare, evaporano circa 577×10^3 kmc. di acqua che riprecipitano per $3/4$ sui mari e per $1/4$ sulla terra ferma. Dei 119×10^3 kmc che riprecipitano sulla terra ferma soltanto 72 tornano ad evaporare; i rimanenti 37 rappresentano la portata annua mondiale dei fiumi (da Castany, fig. 11.1).

L'acqua salata e quella presente sotto forma di ghiaccio, che allo stato attuale della tecnologia non sono sfruttabili dall'uomo per i propri fini, rappresentano la parte maggiore del patrimonio idrico mondiale. D'altronde anche una cospicua aliquota delle acque sotterranee si trova fuori dalla portata dell'uomo.

L'uomo può quindi contare su una riserva di $300-400 \times 10^{12}$ mc di acqua che però non può utilizzare in una sola volta, onde evitare il rischio del sovrasfruttamento. Le fonti più autorevoli concordano sostanzialmente sul fatto che il massimo quantitativo di acqua dolce disponibile ammonta a $20-30 \times 10^{12}$ mc all'anno.

Grandi serbatoi	Volumi idrici immagazzinati			
	Totali		Acqua dolce	
	Km ³	‰	Km ³	‰
OCEANI	1 340 000 000	96,4		
GHIACCI Calotte glaciali, ghiacciai e nevi eterne	24 000 000	1,72	24 000 000	60
ACQUE SOTTERRANEE Acquiferi: porzione 0-200 m porzione 0-2000 m porzione 0-5000 m Umidità del suolo	10 000 000 24 000 000 60 000 000 16 500	1,72 0,001	16 000 000 16 500	40 0,04
ACQUE DI SUPERFICIE DEI CONTINENTI Laghi, grandi serbatoi Letti dei corsi d'acqua	176 400 2 120	0,013 0,00015	90 000 2 120	0,22 0,005
ATMOSFERA	13 000	0,001	13 000	0,03
ACQUA BIOLOGICA	1 120	0,0001	1 120	0,003
GLOBO Idrosfera	1 390 000 000		40 000 000*	

* cioè 2,9 per cento dell'acqua del globo.



BILANCIO GLOBALE: P = E

fig. 11.1

Il ciclo idrologico (fig.11.2) è una schematizzazione dei modi in cui le acque si spostano da un luogo all'altro della Terra, nonché dei volumi che entrano in gioco in questi movimenti. Conoscere questo ciclo significa poter definire i limiti entro i quali è possibile lo sfruttamento delle acque da parte della civiltà industriale e poter andare incontro ai bisogni dell'agricoltura.

Il motore che fa funzionare la macchina del ciclo idrologico è costituito dall'energia solare e dalla gravità. Infatti l'acqua, sia dalla superficie dei mari, che da quella terrestre è costantemente soggetta al fenomeno dell'evaporazione e passa nell'atmosfera per effetto dell'energia solare, dove è dispersa successivamente per mezzo dei venti, anch'essi generati per differenze di temperatura esistenti nell'atmosfera. Qui il vapore si condensa e, per azione della forza di gravità ricade sotto forma di precipitazione (come pioggia, grandine o neve) in parte sull'idrosfera ed in parte sulle superfici continentali.

Nel primo caso, con la ricaduta delle acque sui mari, il ciclo (detto oceanico) si chiude rapidamente. Nel secondo caso, il percorso verso l'idrosfera è più lungo e lento (ciclo continentale).

Infatti le acque che cadono sulla litosfera restano in parte in superficie ed in parte si infiltrano nel sottosuolo. A loro volta anche le acque superficiali si suddividono in due frazioni: una certa aliquota rientra subito nell'atmosfera perchè evapora (acqua di evaporazione); la parte rimanente scorre sul suolo (acqua di ruscellamento superficiale) e va ad alimentare torrenti e fiumi per tornare infine al mare.

Anche le acque di infiltrazione si suddividono in due frazioni. Una parte viene trattenuta nella zona più prossima al suolo ed è restituita all'atmosfera attraverso i fenomeni di evaporazione e traspirazione (acqua di evapotraspirazione). La seconda frazione penetra in profondità (acqua di infiltrazione efficace) e

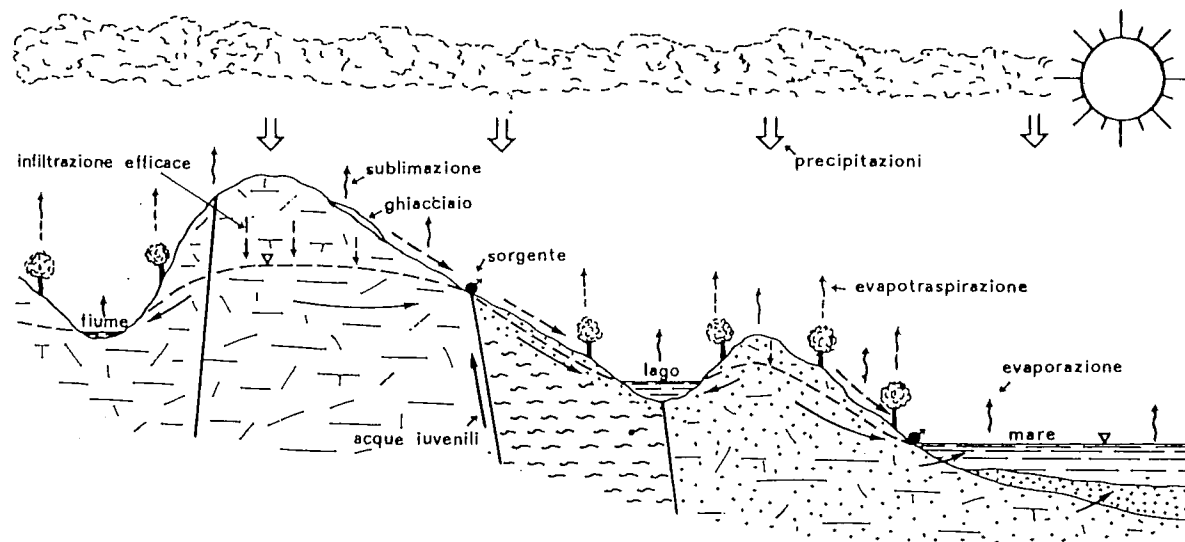


fig.11.2 Ciclo dell'acqua

muovendosi lentamente attraverso le rocce va ad alimentare per via sotterranea fiumi, laghi o addirittura i mari.

Il tutto secondo la classica equazione idrologica:

$$P = D + I + Evt$$

Precipitazioni = Deflusso superficiale + Infiltrazione + Evapotraspirazione

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'espressione precedente.

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 induce alla realizzazione di un bilancio analitico: nel primo, noti i deflussi si ha come incognita l'infiltrazione efficace, mentre nel secondo note le precipitazioni e calcolata l'evapotraspirazione si può calcolare il valore dei deflussi e dell'infiltrazione efficace.

11.1 - Precipitazioni

Possiamo definire precipitazione tutta l'acqua atmosferica che raggiunge la superficie terrestre, sia allo stato liquido (pioggia, nebbia, rugiada) che solido (neve, grandine, brina).

Gli apporti dovuti alla nebbia, alla brina e alla rugiada, sono dette precipitazioni occulte e sono quantitativi d'acqua trascurabili ai fini idrogeologici.

La distribuzione delle precipitazioni è disuguale non solo dal punto di vista spaziale, geografico, ma è anche estremamente variabile per uno stesso luogo nel corso dell'anno. La ripartizione stagionale delle precipitazioni è il cosiddetto regime pluviometrico.

In Italia predomina il regime marittimo, caratterizzato da un periodo di piena compreso fra ottobre e marzo (con massimi in novembre e dicembre) e da un periodo di magra fra aprile e settembre (con minimi in luglio ed agosto).

Il regime continentale, caratteristico di limitate zone della catena alpina, presenta le punte massime di precipitazione fra giugno ed agosto ed i valori minimi tra gennaio e febbraio.

C'è poi un regime sub-litoraneo, di transizione tra i precedenti, che è caratterizzato da due periodi di forti piogge e da due di piogge scarse. In quest'ultimo tipo di regime è possibile distinguere un sottotipo appenninico, con il massimo autunnale più accentuato di quello primaverile e con il minimo estivo più accentuato di quello invernale.

La nostra area in studio comprende proprio parte della zona appenninica (le Alpi Apuane) e la fascia costiera ai piedi delle stesse.

Per quel che riguarda la variazione spaziale delle precipitazioni si distingue una variazione a grande scala, dovuta essenzialmente a fattori meteorologici che fa sì che le piogge diminuiscano in generale passando dalle zone settentrionali a quelle meridionali, e una variazione a piccola scala, che è quella di maggior importanza da un punto di vista idrogeologico, legata per lo più a fattori orografici.

Le precipitazioni infatti diminuiscono man mano che le correnti di aria umida si allontanano dal mare, perchè la loro umidità tende lentamente ad esaurirsi; la presenza dei rilievi determina l'ascensione delle correnti ed il relativo raffreddamento con conseguente precipitazione.

In poche parole, a meno che altri fattori locali influiscano, le precipitazioni nelle zone montuose sono maggiori che nelle pianure adiacenti.

Inoltre, per la concomitanza dei due fattori precedentemente visti, nelle catene montuose poste trasversalmente alla direzione dei venti umidi, la piovosità è maggiore sui versanti colpiti direttamente dalle correnti; lungo lo stesso versante, tende ad aumentare con l'altitudine.

Riassumendo, le precipitazioni mostrano tre caratteristiche fondamentali:

- diminuiscono passando dalle regioni settentrionali a quelle meridionali;
- piogge e rilievi mostrano uno stretto legame;
- l'esposizione dei rilievi rispetto alla direzione dei venti umidi influenza i valori delle precipitazioni.

Le altezze annue di precipitazioni variano notevolmente anche nel corso del tempo: vi sono annate molto piovose (anni di piena), ed annate tendenzialmente asciutte (anni di magra).

Esiste però un valore normale, caratteristico di ogni stazione di misura che è quello che cercherò di valutare, che deriva dalla media aritmetica delle altezze annue relative ad un periodo di tempo lungo almeno 30 anni.

Per il calcolo degli afflussi meteorici, ho elaborato una carta delle isoiete alla scala 1:50.000 per il trentennio 1963-1992 utilizzando i dati pluviometrici di alcune stazioni del Servizio Idrografico Italiano, e sempre con gli stessi dati, ho calcolato il gradiente pluviometrico per il bacino del T.Carrione ed uno per i bacini del F.Frigido e del C.le Montignoso.

11.1a - Descrizione delle stazioni pluviometriche

Sono state prese in considerazione 10 stazioni pluviometriche: alcune ricadono direttamente nell'area in studio, appartengono cioè ai bacini del T.Carrione e del

F.Frigido; altre appartengono ai bacini adiacenti e sono state utilizzate per integrare il basso numero di stazioni presenti sul territorio.

Carrara

Castelpoggio

Rif. Belvedere

Casania

Massa

Marinella

Retignano

Terrinca

Forte dei marmi

Campagrina

La loro distribuzione altimetrica è la seguente:

4 stazioni al di sotto di 200 m. s.l.m.

4 stazioni fra 201 e 500 m. s.l.m.

1 stazioni fra 501 e 1000 m. s.l.m.

1 stazione sopra i 1000 m. s.l.m.

Molte di queste stazioni hanno funzionato per breve tempo ed in periodi diversi fra loro, quindi allo scopo di avere dati comparabili (si trattava di trovare le precipitazioni medie del periodo normale 1963-1992) è stato necessario

estenderli statisticamente ai periodi mancanti per mezzo di successivi confronti fra stazioni comparabili.

I grafici di fig.11.2-11.3-11.4-11.5 sono indicativi di tali procedimenti.

L'integrazione dei dati mancanti va eseguita mediante l'analisi di regressione. In genere si utilizza il metodo dei minimi quadrati che consente di calcolare una retta tale che la somma dei quadrati delle deviazioni della piovosità dalla linea stessa assuma il valore minimo.

Purtroppo accade spesso che per cause tecniche o accidentali non siano registrati in alcune stazioni i valori delle precipitazioni di qualche giorno o di un intero mese e quindi non è possibile risalire al valore annuo totale preciso.

Per ovviare a questo inconveniente ho deciso di supplire al dato mancante usando la sua media trentennale, sempre tenendo in considerazione ogni qualvolta esista il suo valore parziale registrato (è chiaro che se il valore medio è molto inferiore a quello parziale, è poco rappresentativo, e quindi è preferibile usare il valore che più si avvicina alla realtà).

11.2 - Evapotraspirazione

L'evapotraspirazione intesa come somma del fenomeno fisico che determina il passaggio dell'acqua dallo stato liquido a quello di vapore, e del fenomeno biologico che determina lo stesso passaggio di stato attraverso la vegetazione, che sottrae acqua al terreno per mezzo dell'apparato radicale e la restituisce all'atmosfera attraverso l'apparato fogliare, è un parametro di difficile valutazione in quanto dipende da molteplici fattori fra loro interferenti.

I principali fattori sono :

- * grado di umidità del suolo;
- * potere evaporante dell'atmosfera;

Confronto fra le precipitazioni annuali dal 1963 al 1982 nelle stazioni di Carrara e Castelpoggio.

Appare evidente la corrispondenza: di conseguenza per ricostruire le precipitazioni negli anni mancanti per la stazione di Castelpoggio è stata utilizzata la stazione di Carrara.

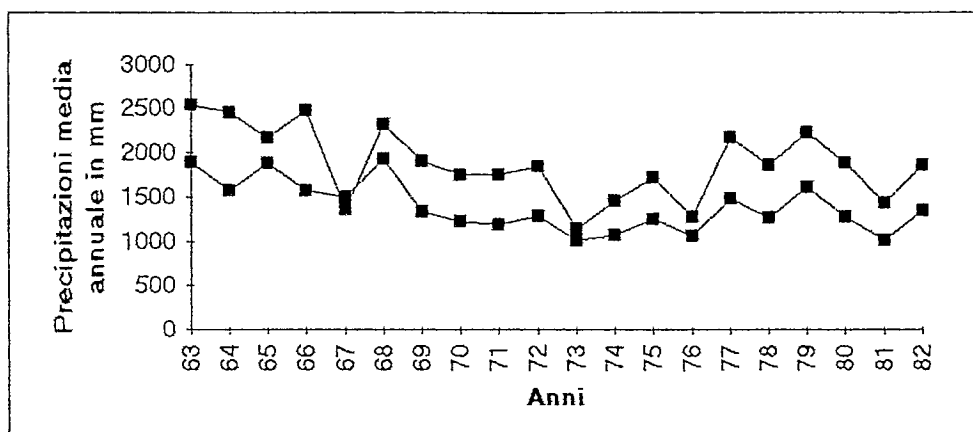


fig. 11.2

Confronto fra le precipitazioni annuali dal 1968 al 1978 nelle stazioni di Carrara e Rif. Belvedere. Appare evidente la corrispondenza: di conseguenza per ricostruire le precipitazioni negli anni mancanti per la stazione di Rif. Belvedere è stata utilizzata la stazione di Carrara.

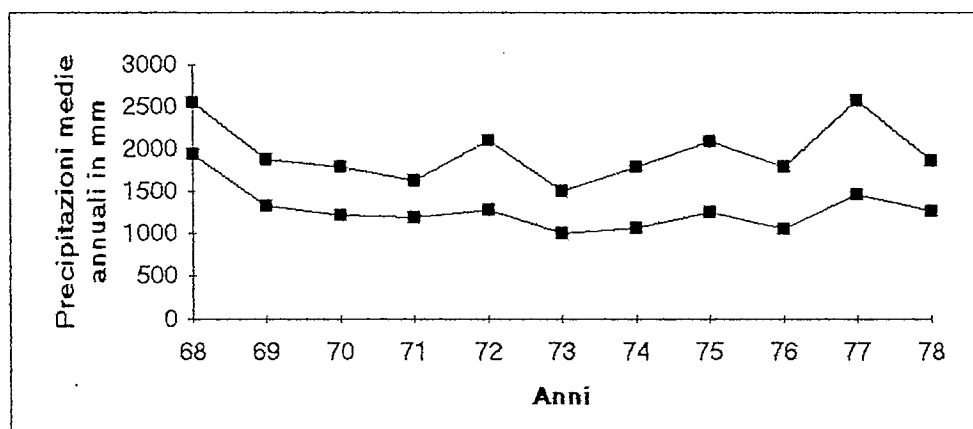


fig. 11.3

Confronto fra le precipitazioni annuali dal 1963 al 1969 nelle stazioni di Terrinca e Retignano. Appare evidente la corrispondenza: di conseguenza per ricostruire le precipitazioni negli anni mancanti per la stazione di Terrinca è stata utilizzata la stazione di Retignano.

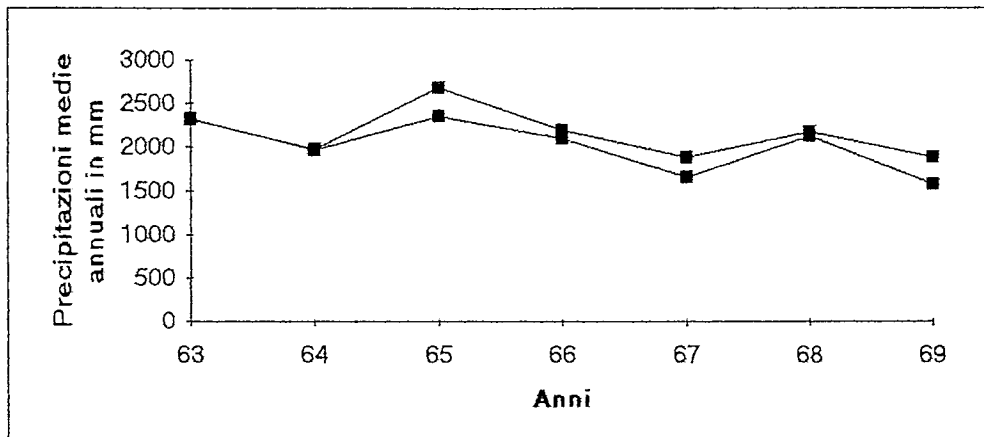


fig. 11.4

Confronto fra le precipitazioni annuali dal 1967 al 1978 nelle stazioni di Marinella e Carrara. Appare evidente la corrispondenza: di conseguenza per ricostruire le precipitazioni negli anni mancanti per la stazione di Marinella è stata utilizzata la stazione di Carrara.

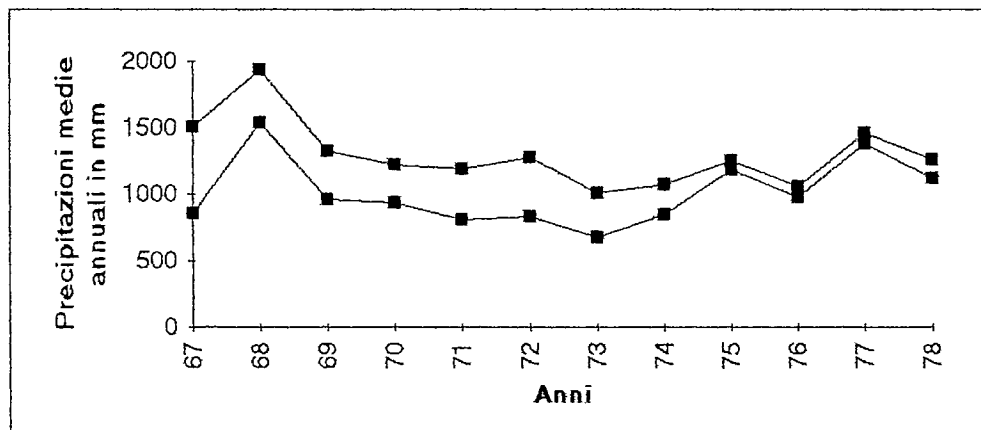


fig. 11.5

TOTALI ANNUI DELLE QUANTITA' DI PRECIPITAZIONI

	MARINELLA	CARRARA	CASANIA	MASSA	CASTELPOGGIO	RIF. BELVEDERE	RETIGNANO	FORTE DEI MARMI	TERRINCA	CAMPIAGRINA
anno 1963	1312	1899	2588	1557	2510	2516	2327	1412	2314	3667
anno 1964	1178	1576	1985	1404	2460	2181	1981	1239	1965	2949
anno 1965	1133	1886	2384	1469	2164	2502	2688	1431	2356	3990
anno 1966	1222	1569	2248	1332	2475	2177	2196	1439	2105	3276
anno 1967	855	1503	1823	1113	1358	2109	1980	911	1619	2550
anno 1968	1537	1933	2249	1341	2326	2549	2170	1234	2123	3635
anno 1969	958	1327	1956	1066	1903	1869	1879	1188	1563	3005
anno 1970	939	1218	2009	1007	1755	1789	1603	1078		3075
anno 1971	811	1192	1853	985	1749	1625	1685	1075		2363
anno 1972	829	1279	2000	1012	1841	2100	1596	1000		2793
anno 1973	675	1008	1632	902	1135	1506	1170	832		2267
anno 1974	852	1070	1791	1018	1453	1789	1606	916		1582
anno 1975	1182	1249	2272	1357	1718	2085	2118	1480		3217
anno 1976	976	1054	2500	1080	1275	1791	1603	1137		2852
anno 1977	1382	1462	2638	1431	2171	2570	2227	1237		3903
anno 1978	1115	1261	2331	1375	1862	1862	2318	1690		3106
anno 1979		1603	2793	1729	2233	2173	2652	2187		4558
anno 1980	1131	1269	2055	1351	1881		1921	1606		2849
anno 1981	870	1003	1905	909	1430		1391	616		2588
anno 1982	746	1347	2426	1021	1856	1808	1761	1056		3611
anno 1983	880		1820	1162	1361	1245	1530	891		2276
anno 1984	894	1253	2129	1372	1611	1852	1995	1546		3253
anno 1985	707	1111	1694	996	1164		1350	840		2396
anno 1986	657	1109	2009	1043	1575	1704	1131	1183		2578
anno 1987	874	1538	2107	1181			1623	1185		2545
anno 1988	740	1272	2047	458		1872	1619	1253		2902
anno 1989	593	1339	1632	1014		1231	1358	901		1660
anno 1990	788	1283	1721	985		1882	1216	1081		1529
anno 1991	549	1227	1692	1228		1825	1616	1378		2169
anno 1992		1582	2330	1491			2318	1809		3175

- * tipo di vegetazione;
- * profondità della superficie piezometrica;
- * estensione delle superfici d'acqua libere e spessore del relativo corpo idrico.

Il grado di umidità del suolo è il fattore che ci permette di distinguere fra evapotraspirazione reale, che rappresenta la quantità d'acqua che effettivamente evapora dal suolo e che traspira dalle piante e che avviene in condizioni normali, cioè quando la disponibilità d'acqua è limitata, ed evapotraspirazione potenziale, che rappresenta la quantità d'acqua che evaporerebbe se le riserve idriche del suolo fossero costantemente rinnovate, in condizioni cioè di costante umidità del terreno.

E' chiaro, che l'evapotraspirazione reale è inferiore all'evapotraspirazione potenziale durante i periodi in cui la scarsità d'umidità del suolo non permette alle piante di avere a disposizione tutta la quantità d'acqua che sarebbero in grado di traspirare.

In idrogeologia interessa soprattutto conoscere l'evapotraspirazione reale, poichè questa rappresenta una perdita effettiva in termini di risorse idriche sotterranee.

Gli strumenti utili per la misura diretta dell'evapotraspirazione reale, i lisimetri, non sono di facile uso, ed in generale forniscono risultati approssimati: nelle normali applicazioni pratiche vengono quindi utilizzate formule empiriche, le più semplici delle quali si basano essenzialmente sui dati di temperatura registrati al suolo.

11.2a - Inquadramento termometrico della zona in esame

Per la misura dei dati termometrici esiste sul territorio nazionale una rete di stazioni molto più rada di quella pluviometrica: nell'area, oggetto del nostro studio è ubicata una sola stazione, quella di Massa.

Per integrare i dati, ho incluso fra le stazioni in esame anche alcune stazioni ubicate fuori dai confini della nostra zona, e precisamente Viareggio e Retignano.

Disporre di un basso numero di stazioni termometriche non crea eccessivi problemi nell'interpolazione dei dati, perchè le variazioni di temperatura con l'altitudine sono molto più uniformi rispetto a quelle delle precipitazioni ; inoltre risentono minimamente dell'esposizione dei versanti ed in generale il regime termometrico è molto più regolare di quello pluviometrico.

Quindi nel nostro caso è possibile ricostruire la legge di variazione della temperatura con l'altitudine in modo attendibile, usando anche stazioni poste al di fuori del dominio in studio.

I valori delle temperature medie mensili ed annue nella zona studiata per il periodo 1963-1992 sono stati ottenuti elaborando i valori di temperatura massima e minima giornaliera delle stazioni termometriche prima citate.

STAZIONE	QUOTA m s.l.m	TIPO DI TERMOMETRO
Viareggio	1	Tr
Massa	65	Tm
Retignano	440	Tm

Tr = termometro a registratore

Tm = termometro a massima e minima

Considerando le temperature medie annue e mensili di ogni stazione, ho costruito il gradiente altimetrico valido per il dominio in esame. Il procedimento usato per la costruzione di tale gradiente, consiste nel calcolare l'equazione della

$$E_p = \text{evapotraspirazione media mensile} = k \cdot 1.6 \cdot (10 T_i / I)^a$$

k = è un coefficiente di correzione di latitudine riferito al mese i -mo (tiene conto delle ore di insolazione astronomica media mensile in funzione della latitudine e del mese), ed è pari al rapporto fra le ore diurne e la metà delle ore giornaliere

I = indice annuale di calore; è uguale alla sommatoria degli indici mensili di dodici mesi dell'anno

$$I = \sum i$$

$$i = \text{indice termico mensile} = (T_i / 5)^{1.514}$$

$$a = 0.49239 + [1.792 \times 10^{-5}]I - [771 \times 10^{-7}]I^2 + [675 \times 10^{-9}]I^3$$

È evidente la complessità della formula. Fortunatamente, per un calcolo più veloce e più preciso di questo parametro, ho potuto usare un software, che permette un calcolo più veloce e preciso dell'evapotraspirazione potenziale secondo il metodo di Thornthwaite, note che siano le medie mensili della temperatura e della piovosità di ogni stazione presa in considerazione.

Un altro dato che è necessario conoscere sia pur approssimativamente, per inserire nel programma, è il valore dell'acqua disponibile del suolo: questo parametro detto anche AWC (Available Water Capacity), rappresenta la quantità d'acqua che un suolo è in grado di trattenerne e che è utilizzabile dalle piante.

Il suo valore è funzione di alcuni parametri del suolo, quali la tessitura e il tenore di sostanza organica, e può oscillare fra valori compresi tra 10 e 400 mm. di acqua. Nel nostro caso, è stato considerato un valore medio di 200 mm.

A questo punto sono stati ricavati per ogni stazione dati i valori di temperatura e piovosità i parametri evapotraspirazione reale, evapotraspirazione potenziale, deficit idrico (D) e surplus idrico (S).

Il deficit idrico è dato semplicemente dalla differenza fra evapotraspirazione potenziale ed evapotraspirazione reale.

Il suo valore è utile per stimare la quantità d'acqua necessaria per bilanciare le perdite dovute all'evapotraspirazione potenziale. E' insomma una misura quantitativa dell'intensità dell'aridità ed il suo valore è inoltre legato alla quantità d'acqua immagazzinata nel suolo.

Il surplus idrico si calcola tenendo conto dell'eccesso delle precipitazioni rispetto all'evapotraspirazione potenziale e indica la quantità d'acqua che, una volta saturata la riserva idrica del suolo, va ad alimentare le falde freatiche ed il deflusso superficiale.

Noti i valori di evapotraspirazione potenziale, deficit e surplus idrico, con semplici relazioni matematiche si possono ottenere alcuni importanti indici:

- * indice di aridità
- * indice di umidità
- * indice di umidità globale

Quest'ultimo, sta alla base della classificazione climatica di Thornthwaite.

Quando l'indice di umidità globale assume un valore positivo, cioè se l'indice di umidità è maggiore di quello di aridità, il clima è classificato come umido.

Per valori dell'indice di umidità negativi, il clima è arido.

In base ai valori dell'indice di umidità globale, Thornthwaite ha riconosciuto 9 tipi climatici :

A	≥ 100	PERUMIDO
B4	80 - 100	UMIDO
B3	60 - 80	UMIDO
B2	40 - 60	UMIDO
B1	20 - 40	UMIDO
C2	0 - 20	SUBUMIDO
C1	-33.3-0	SUBARIDO
D	-66.6/-33.3	PERARIDO
E	-100/-66.6	ARIDO

Le stazioni prese in considerazione nel nostro studio sono per lo più comprese nella classe A (perumido), mostrando valori di indice di umidità globale maggiori di 100. Altre sono umide o subumide.

Retignano	144
Massa	49
Marinella	9
Rif. Belvedere	161
Castelpoggio	136
Carrara	72
Casania	170
Terrinca	169
Campagrina	324
Forte dei Marmi	49

AFFLUSSI ED EVAPOTRASPIRAZIONE MEDIA DEL PERIODO 1963-1992

Stazione	quota m. s.l.m.	afflussi	evapotraspirazione
MARINELLA	2	942	666
CARRARA	42	1349	739
CASTELPOGGIO	340	1822	727
RIF. BELVEDERE	1261	1937	646
MASSA	65	1203	729
CASANIA	343	2071	748
CAMPAGRINA	850	2987	703
TERRINCA	485	1706	737
RETIGNANO	440	1839	732
FORTE DEI MARMI	2	1231	730

A questo punto, conosciuto il valore dell'evapotraspirazione reale mensile, si può risalire al valore medio annuo per sommatoria, e calcolare il gradiente dell'evapotraspirazione.

11.3 - Infiltrazione

E' il fenomeno per cui le acque meteoriche penetrano nel sottosuolo, per la capacità di assorbimento e la permeabilità delle rocce.

Come già precisato, noi ci riferiremo all'infiltrazione efficace, cioè a quella parte d'acqua infiltrata che alimenta la falda, sottratta al processo di evapotraspirazione.

L'infiltrazione è fortemente regolata da molteplici fattori :

1) metereologici

* le precipitazioni, condizionano il volume d'acqua infiltrata in base alla quantità caduta, alla loro durata, all'intensità e alla qualità. La quantità di precipitazione è ovviamente condizionante nel senso che a maggiori volumi d'acqua caduti in tempi relativamente lunghi, corrispondono maggiori quantitativi d'acqua d'infiltrazione. La durata e l'intensità delle piogge agiscono in modo che l'infiltrazione è maggiore se la loro distribuzione nel tempo è lunga, ed è minore se l'intensità è forte. Anche l'eccessivo frazionamento delle precipitazioni è un fattore negativo, perchè consente maggiori perdite per evaporazione;

* la temperatura dell'aria e del suolo agiscono nel senso che un'elevata temperatura del suolo può determinare alti valori di evapotraspirazione, mentre una bassa temperatura del suolo, può renderlo gelato, e quindi impermeabile;

* lo stato igrometrico dell'aria agisce in modo indiretto, nel senso che ad una minore umidità dell'aria corrisponde un aumento della quantità di acqua di evapotraspirazione

2) morfologici

* maggiore è la pendenza dei versanti, minore è l'infiltrazione delle acque nel suolo. In poche parole, a parità di litologia e di altre condizioni, l'infiltrazione nelle aree di pianura è sempre maggiore di quella che si verifica in aree di collina o montagna;

3) geologici

Sono quelli che condizionano la capacità di assorbimento, la capacità di percolazione, e soprattutto la permeabilità delle rocce. Possiamo quindi ricordare:

* la litologia, poichè rocce caratterizzate da grandi meati intergranulari, sono più ricettive nei confronti dell'acqua d'infiltrazione di rocce con meati di piccolo diametro;

* la tettonica, perchè le rocce litoidi molto fratturate da movimenti tettonici, a parità di litologia sono molto più permeabili di quelle poco o per niente fratturate;

4) fattori biologici

* il condizionamento dovuto alla vegetazione consiste essenzialmente nel rallentare la caduta delle acque meteoriche sul suolo e nel facilitare l'assorbimento per la maggiore permeabilità dello strato interessato dall'apparato radicale e per l'alto potere ritentivo del letto di fogliame presente sul terreno. La presenza di folta vegetazione incide anche indirettamente, perchè fa diminuire l'aliquota d'acqua d'evapotraspirazione. Infatti durante i mesi più caldi dell'anno, all'interno di un bosco, per esempio, la temperatura si mantiene sempre più bassa che all'esterno, e gli strati d'aria umida a contatto col suolo, rendono più difficile la dispersione dell'acqua di ritenzione. Bisogna sempre ricordare che comunque la presenza di un bosco, fa crescere le perdite per traspirazione.

* l'attività dell'uomo, e le coltivazioni agricole in generale (aratura dei campi, terrazzamento del terreno, etc.), fanno crescere i quantitativi d'acqua d'infiltrazione.

I metodi che ci permettono di valutare il parametro infiltrazione, sono classificabili in due categorie :

1) **METODI DIRETTI**, sono costituiti da metodi che valutano l'infiltrazione per mezzo di apposite attrezzature, come i lisimetri, gli infiltrometri, o con metodi normalmente usati nella misura della portata dei fiumi e dei canali. Altri metodi, sono quelli che si basano sullo studio delle oscillazioni della superficie piezometrica o sulle misure dei gradienti verticali di umidità del suolo.

In generale, questi sono metodi complessi e richiedono attrezzature costose. Per questo si preferisce far uso dei:

2) **METODI INDIRETTI**, che sono quei metodi per cui l'infiltrazione si ricava per differenza dagli altri parametri presenti nell'equazione idrologica.

11.4 - Deflusso superficiale

Il deflusso, o ruscellamento superficiale, è il fenomeno per il quale le acque meteoriche che non penetrano nel sottosuolo, defluiscono sulla superficie per giungere poi fino ai mari.

I deflussi superficiali sono regolati dagli stessi fattori che influenzano il fenomeno dell'infiltrazione, seppure in modo diametralmente opposto. Vediamo in che modo :

1) fattori meteorologici

* le precipitazioni incidono ancora con la loro quantità, qualità, durata ed intensità. L'incidenza della quantità è ovvia. Il parametro qualità, invece,

intendendo con questo termine lo stato fisico della precipitazione, ossia neve, grandine o pioggia, riveste una particolare importanza.

Ad esempio ai nostri climi, la neve da un ruscellamento superficiale quasi nullo, perchè il suo deflusso è lento e continuo, e nelle rocce dotate di buon grado di permeabilità, l'infiltrazione diviene predominante. Per quel che riguarda l'intensità, questa agisce nel senso che influenza il ruscellamento quando è forte,

- * poichè si crea una zona satura superficiale.

- * temperatura dell'aria e del suolo

2) fattori morfologici

- * la pendenza dei versanti, quanto questa è maggiore, maggiore è la velocità di scorrimento delle acque sulla superficie terrestre.

3) fattori geologici

- * litologia, le rocce caratterizzate da meati di piccolo diametro, favoriscono il deflusso superficiale

- * i movimenti tettonici, le rocce non fratturate, sono sempre più impermeabili e quindi influenzano maggiormente il deflusso superficiale

4) fattori biologici

- * vegetazione

- * attività dell'uomo.

Anche la valutazione del valore dei deflussi superficiali può essere effettuata indirettamente, ricavandola dall'equazione idrologica. Può anche essere ricavata in modo diretto, ma nel nostro caso, cioè per la nostra area in esame, è possibile farlo solo per il bacino del F.Frigido per il quale sono conosciuti i deflussi superficiali misurati nella stazione idrometrografica di Canevara.

11.5 - Valutazione degli apporti al sistema acquifero alluvionale della pianura Apuana

Ho quindi definito le aree dalle quali provengono gli apporti diretti o indiretti all'acquifero e le ho attribuito delle sigle identificative (tav.13, fuori testo), analizzando separatamente i tre domini idrologici considerati (bacini del T.Carrione, del F.Frigido e del C.le Montignoso).

BACINO DEL T.CARRIONE

E' importante ricordare che ancora oggi le acque restituite al deflusso del Carrione, a partire dalla località Canalic, contengono una notevole quantità di solidi in sospensione che hanno ridotto la permeabilità dell'alveo.

Le acque che defluiscono nell'alveo del T.Carrione in corrispondenza della sezione di S.Antonio (DsC.) progressivamente s'infiltrano nel subalveo del fiume e costituiscono pertanto la prevalenza degli apporti.

Il deflusso totale annuo a S. Antonio è stato valutato dell'ordine di 36.347.223 mc/anno, media del trentennio considerato.

L'infiltrazione attraverso il subalveo (R_1) nel tratto che va da S.Antonio alla zona di Avenza è stata valutata pari al 50% dei deflussi provenienti da monte, equivalenti a 18.173.611 mc/anno.

Gli apporti di acque superficiali e sotterranee provenienti dai settori collinari a contorno della parte medio-alta dell'apparato alluvionale del T.Carrione sono i seguenti:

Colline di Fossone (Fs)

Le rocce affioranti su questi rilievi sono arenarie con intercalazioni calcaree e marnose, caratterizzate da scarsa permeabilità. Ho stabilito, sulla base di dati desunti dalla letteratura, che la percentuale d'infiltrazione è pari al 30% della disponibilità idrica della zona; ho poi calcolato per differenza il valore dei deflussi superficiali dalla collina verso la pianura sottostante che è risultato pari al 50% della rimanente disponibilità idrica.

Gli apporti sotterranei e superficiali alla falda alluvionale del Carrione provenienti dalle colline di Fossone ammontano a 989.242 mc/anno

Colline del Candia (C₁)

I litotipi affioranti sulle colline del Candia mostrano caratteristiche di permeabilità analoghe alle formazioni di Fossone e ho dunque operato in modo analogo.

Gli apporti sotterranei e superficiali provenienti da questi rilievi ammontano a 244.089 mc/anno.

Area di pianura (P₁ e P₂)

L'alimentazione diretta dovuta alle precipitazioni sulla pianura nelle due aree P₁ (coeff. d'infiltrazione pari al 70%) e P₂ (coeff. d'infiltrazione pari al 30%) è rispettivamente di 3.203.075 mc/anno e 923.562 mc/anno.

Riassumendo, gli apporti all'acquifero del bacino del T.Carrione sono così costituiti:

- * R₁ infiltrazione delle acque lungo l'alveo del T. Carrione fra S. Antonio:
18.173.611 mc/anno;

- * DsFs apporti di acque superficiali e sotterranee dalle colline di Fossone:
989.242 mc/anno;
- * DsC₁ apporti di acque superficiali e sotterranee dalle colline del Candia:
244.089 mc/anno;
- * P₁ infiltrazione efficace dalle precipitazioni sull'alta pianura:
3.203.075mc/anno;
- * P₂ infiltrazione efficace dalle precipitazioni sulla bassa pianura: 923.562
mc/anno.

Il totale medio annuo della ricarica ammonta a 21.741.169 mc/anno pari a 0,69 mc/sec.

BACINO DEL F.FRIGIDO

Le acque che defluivano nell'alveo del F.Frigido in corrispondenza della sezione di S.Lucia (DsF) progressivamente s'infiltrano nel subalveo del fiume e costituiscono quindi la prevalenza degli apporti.

E' importante ricordare che fino a pochi mesi fa le acque restituite al deflusso del Frigido, a valle di S.Lucia, contenevano una notevole quantità di solidi in sospensione che hanno ridotto la permeabilità dell'alveo e la capacità di assorbimento dei depositi ghiaiosi che lo costituiscono.

Il deflusso totale annuo a S.Lucia è stato valutato nell'ordine di 91.708.728 mc/anno, media del trentennio considerato.

L'infiltrazione attraverso il subalveo (R₂) nel tratto che va da S.Lucia alla zona delle Puliche, in corrispondenza del tracciato autostradale, è stata valutata pari al 50% dei deflussi provenienti da monte ed equivalenti a 45.854.364 mc/anno.

Gli apporti provenienti dai settori collinari a contorno della parte medio-alta dell'apparato alluvionale del Frigido sono i seguenti:

Colline del Candia (Ca₂)

Le rocce affioranti su questi rilievi sono arenarie con intercalazioni marnose, come già è stato ricordato. Gli apporti alla falda alluvionale del F.Frigido provenienti dalle colline del Candia ammontano a 2.072.704 mc/anno.

Colline di Mirteto (M)

I calcari della dorsale che da Mirteto si estendono fino alla valle del Carrione, addossandosi anche al Monte Brugiana, apportano acqua verso il cono di deiezione del Frigido per via sotterranea.

Tale apporto (DsM), in considerazione della elevata piovosità della zona e dell'alta permeabilità del litotipo, corrisponde a 5.709.566 mc/anno.

Colline di Monte Belvedere (B₁)

Le acque che defluiscono in superficie sulle filladi impermeabili dalle colline di Monte Belvedere, si infiltrano nei depositi ghiaiosi attraversandoli e solo parzialmente trovano la loro scarica a mare.

L'infiltrazione, e quindi la ricarica dell'acquifero di pianura, è stata valutata dell'ordine del 50% dei deflussi provenienti dall'area di Monte Belvedere (DsB₁) uguale a 1.585.980 mc/anno.

Aree di pianura (P₃ e P₄)

L'alimentazione diretta dovuta alle precipitazioni nelle due aree di pianura è stata valutata pari a 6.513.832 mc/anno nel settore P₃ e 2.409.734 mc/anno in P₄.

Possiamo così riassumere gli apporti complessivi all'acquifero:

- * R2 infiltrazione delle acque lungo l'alveo del F.Frigido fra S.Lucia e le Puliche: 45.854.364 mc/anno
- * DsCa2 apporti di acque superficiali e sotterranee dalle colline del Candia: 2.072.704 mc/anno
- * DsM apporti di acque superficiali e sotterranee dalle colline calcaree di Mirteto: 5.709.566 mc/anno
- * DsB apporti di acque superficiali e sotterranee delle colline di Monte Belvedere: 1.585.980 mc/anno
- * P3 infiltrazioni efficaci dalle precipitazioni sull'alta pianura: 6.513.832 mc/anno
- * P4 infiltrazione efficace dalle precipitazioni sulla bassa pianura: 2.409.734 mc/anno.

Il totale medio annuo della ricarica per l'acquifero del bacino del Frigido ammonta a 64.146.180 mc/anno, pari a 2,03 mc/sec.

BACINO DEL C.LE MONTIGNOSO

Anche le acque che defluiscono nell'alveo del C.le Montignoso in corrispondenza delle sezione di Prato (DsP), infiltrandosi nel subalveo del Canale, costituiscono la prevalenza degli apporti.

Il deflusso totale annuo alla sezione di Prato è stato valutato in 8.978.573 mc/anno. L'infiltrazione attraverso il subalveo (R), pari al 50% dei deflussi provenienti da monte, corrisponde a 4.489.286 mc/anno.

Gli apporti dai settori collinari a contorno della parte medio-alta della pianura di questo bacino, sono:

Colline di Monte Belvedere (B2)

Anche per il bacino del C.le Montignoso, l'infiltrazione e quindi la ricarica dell'acquifero di pianura è stata valutata pari al 50% dei deflussi provenienti dai rilievi di Monte Belvedere (DsB2) e cioè 794.486 mc/anno.

Colline di Porta (DP)

Su questi rilievi affiorano calcari con intercalazioni marnose, calcari dolomitici e le filladi dell'unità di Massa. Questi litotipi apportano acqua verso il cono di deiezione del C.le Montignoso per via sotterranea.

Tale apporto (DsP) risulta pari a 739.741 mc/anno.

Aree di pianura (P5 e P6)

L'alimentazione diretta dovuta alle precipitazioni sulla pianura è stata valutata in 1.420.411 mc/anno per la zona P5 e 968.070 mc/anno, per la zona P6.

L'acquifero della pianura alluvionale del C.le Montignoso riceve complessivamente i seguenti apporti:

- * R₃ infiltrazione delle acque lungo l'alveo del Canale: 4.489.286 mc/anno
- * DsB₂ apporti dalle colline di Monte Belvedere: 794.486 mc/anno
- * DsP apporti di acque sotterranee e superficiali dalle colline di Porta: 739.741 mc/anno
- * P₅ infiltrazione efficace dalle precipitazioni sulla pianura ghiaiosa: 1.420.411 mc/anno
- * P₆ infiltrazione efficace dalle precipitazioni sulla pianura sabbiosa: 968.070 mc/anno.

Il totale medio annuo della ricarica ammonta quindi a 7.985.871 mc/anno, pari cioè a 0,25 mc/sec.

La somma degli apporti relativi ai tre bacini idrologici considerati indica in 2.77 mc/sec. la disponibilità idrica della pianura costiera Apuana.

Capitolo 12

I problemi degli acquedotti della pianura Apuana

Vorrei a questo punto soffermarmi su quelle che sono le problematiche principali degli acquedotti Comunali della pianura Apuana.

Non avendo avuto la possibilità di effettuare analisi chimico-fisiche delle acque di tali pozzi, riporto solamente i risultati di alcuni studi effettuati nell'anno 1989.

12.1 - Il percloroetilene nei pozzi dell'Acquedotto delle Polle (Comune di Massa).

Nel marzo 1989 fu riscontrata la presenza della sostanza PERCLOROETILENE in un campione d'acqua potabile prelevata presso la scuola elementare dei Ronchi, sita nel Comune di Massa. Tale sostanza raggiungeva una concentrazione vicina al limite di 30 ppb (parti per miliardo).

A seguito di tale rinvenimento, il Servizio Multizonale di Prevenzione della USL n.2 provvide ad effettuare un monitoraggio dei pozzi dell'Acquedotto delle Polle, da cui provvenivano le acque, per controllare nel tempo l'andamento dell'inquinante in relazione ai limiti indicativi per tale parametro.

Fu svolta anche un'indagine sul territorio, con lo scopo di valutare l'area interessata all'inquinamento di percloroetilene, che prese in considerazione 49 pozzi privati appartenenti sia ad attività artigianali che a civili abitazioni che insistono nella zona presa in esame. La distribuzione areale di detti pozzi comprendeva tutta l'area circostante l'Acquedotto delle Polle. Ciò permise di

tracciare una carta di isogoniche del percloroetilene e di circoscrivere la zona interessata all'inquinamento in oggetto.

Dall'osservazione dell'andamento delle curve ottenute dall'elaborazione dei dati ricavati dalle analisi dei campioni prelevati nei pozzi censiti, fu possibile osservare:

- * la zona interessata dall'inquinamento aveva un'estensione abbastanza limitata;
- * le isotoniche, tracciate con equidistanza di 10 ppb, permisero di ben visualizzare la zona che superava i limiti previsti dal DPR del 26-5-1988 n.236 che pone come massimo ammissibile il valore di 30 ppb dei composti organoalogenati nelle acque ad uso potabile;
- * il pozzo che rivelava la massima concentrazione; nella cui area non erano presenti aziende che utilizzavano il percloroetilene, e comunque sarebbe stato difficile ipotizzare un riflusso dell'inquinante da questo punto verso monte. Tale movimento era poi contrario al normale andamento del moto delle acque di falda.

Questo fenomeno si può giustificare ipotizzando una zona di accumulo e di ristagno dovuta alla diminuita permeabilità dei terreni sabbiosi rispetto a quella dei terreni ghiaiosi da cui proviene l'inquinante.

Ciò determina preferenzialmente un'espansione laterale, anche se limitata rispetto ad un deflusso più naturale verso mare.

E' da tenere in considerazione fra le variabili, l'azione di trascinamento esercitata dai pozzi delle Polle, specialmente il n.3 e il n.4 (i pozzi n.1 e n.2 erano inutilizzati da circa un anno per inquinamento da nitrati).

Fu quindi svolta un'analisi delle varie cause che poterono aver determinato la presenza di percloroetilene nelle acque della falda artesiane, definendo inizialmente i vari usi a cui è adibita tale sostanza.

La maggior parte dei suoi usi è in attività che non erano presenti nel territorio considerato; le uniche aziende possibili utilizzatrici del suddetto solvente nell'area di ricerca erano:

- lavanderie a secco;
- officine meccaniche;
- autocarrozzerie e autolavaggi;

Le analisi gas-cromatografiche eseguite presso il Servizio Multizonale di Prevenzione dell'U.S.L. n.2 hanno sempre rivelato la presenza di percloroetilene puro, non accompagnato cioè da altri composti organo-alogenati.

I sopralluoghi effettuati all'interno dell'area indagata, tesi a verificare i prodotti usati nella lavorazione delle attività a rischio, perchè potenziali utilizzatrici di solventi, portarono ad individuare nelle lavanderie a secco, le uniche utilizzatrici di percloroetilene puro.

Il sistema di smaltimento dei residui di lavorazione di tali attività, attualmente non sembra essere causa di inquinamento della falda acquifera, in quanto nella maggior parte dei casi dotate di impianti moderni di lavaggio a circuito chiuso.

Ma fino a pochi anni fa, le stesse erano dotate di impianti della vecchia generazione, che prevedevano cioè immissione di percloroetilene in ambiente esterno, in aria e nel suolo. Queste ultime immissioni venivano effettuate, in mancanza di pubblica fognatura, in fosse settiche con pozzi a perdere, con conseguente contaminazione dell'acqua di falda.

La falda è facilmente contaminabile anche a causa del grande numero di pozzi artesiani privati presenti nell'area interessata, costruiti con criteri spesso approssimativi, tali da determinare una intercomunicazione fra le diverse falde.

Il perdurare dell'inquinante nell'area sopra descritta, è associato alla sua stabilità in acqua, facendo sì che esso rimanga tale in falda per molti anni, fino alla sua

completa eliminazione tramite pompaggio esterno o lento deflusso naturale, sempre che venga a cessare l'immissione dell'inquinante.

Un'altra interessante osservazione fatta fu che le concentrazioni del solvente nelle acque dei pozzi, aumentano in modo proporzionale alla durata e all'intensità di funzionamento degli stessi impianti. Ciò è dovuto all'alimentazione continua derivante presumibilmente da una risacca naturale nella quale nel corso del tempo, l'inquinante si è accumulato.

12.2 - I nitrati nei pozzi dell'Acquedotto delle Polle (Comune di Massa).

Il problema della presenza dei nitrati nell'Acquedotto delle Polle, si è accentuato quando la normativa di legge ha posto un limite ben definito a tale parametro. precedentemente al DPCM 8-2-1985 i nitrati venivano solo rilevati annotando la loro presenza nelle acque. Il DCPM sopra citato ha posto il limite di 50 mg./l. e allo stesso tempo ha reso evidente la gravità del problema. Infatti le analisi eseguite sulle acque dei 4 pozzi delle Polle indicavano una presenza di nitrati in media molto vicina ai limiti di legge e in alcuni momenti si sono superati anche i limiti stessi.

L'Amministrazione comunale impossibilitata a poter utilizzare nuove fonti di approvvigionamento e a fronte della crescente richiesta dovuta per lo più allo sviluppo industriale e turistico ha chiesto alla Regione Toscana una deroga per ottenere il superamento dei limiti stabiliti dalla legge. L'Amministrazione Regionale ha concesso tale deroga che portava il limite a 60 mg./l. che verrà revocata nel 1991 (il termine ultimo di deroga è stato fissato per il dicembre 1994) come prevede la successiva normativa DPR n.236 del 24-5-1988.

Allo scopo di verificare l'estensione e l'entità dell'inquinamento da nitrati nelle falde idriche comprese nel territorio limitrofo all'Acquedotto delle Polle, fu

effettuata, nel 1989, un'indagine idrogeologica da parte del Servizio Multizonale di Prevenzione dell'USL.

Furono censiti i pozzi artesiani che insistevano su tale area, e da questi furono prelevati campioni ed effettuate analisi delle acque.

I pozzi censiti furono suddivisi in due gruppi e i dati relativi furono elaborati considerandoli separatamente in base alla profondità dei medesimi. Vennero quindi elaborate due carte delle isotoniche dei nitrati: nella prima furono messi in relazione i pozzi aventi una profondità compresa fra 4 e 27 m., nella seconda quelli con profondità superiore a 27 m..

Nella prima carta si evidenziarono alcune zone ad alta concentrazione di nitrati, abbastanza circoscritte, che probabilmente coincidevano con punti di attività che producono inquinamento superficiale.

Anche le falde più profonde risultarono interessate dall'inquinamento da nitrati: fu evidenziata una zona di forma allungata nella direzione est-ovest, passante per le Polle con concentrazioni anche notevoli di nitrati. Tale andamento fece presupporre una specie di canalizzazione preferenziale che convoglia il flusso di falda in tale direzione, trascinando con se anche l'inquinante stesso. Il fenomeno potrebbe anche essere spiegato ipotizzando la presenza di un paleoalveo fluviale.

Fu realizzato un grafico, mettendo in relazione fra loro le concentrazioni di nitrati nei 4 pozzi, sebbene in maniera discontinua, negli anni 1987-88 e inizio 1989.

Nel 1987 la concentrazione dei nitrati era in media più bassa. Ciò poteva significare un'aumento delle concentrazioni dell'inquinante nel tempo o poteva essere avvenuto per la concomitanza di alcuni fattori:

- * un diverso andamento della distribuzione delle piogge fra il 1987 e il 1988 che può aver dato luogo a miscele diverse;

* un aumento dei fattori d'inquinamento dal 1987 in poi.

L'analisi dei pozzi n.2 n.3 e n.4 è simile, anzi possiamo dire uguale ma traslato in verticale, cioè con concentrazioni più elevate. Questa uguaglianza è maggiore nel periodo giugno-settembre, meno marcata nel periodo settembre-gennaio.

I pozzi n.2 n.3 e n.4 pescano nella stessa falda. La differenza in senso assoluto del valore registrato nei vari pozzi nello stesso momento, è da ricercarsi nel diverso sfruttamento dei pozzi stessi che non hanno mai mantenuto lo stesso ritmo di pompaggio nel tempo.

Altra ipotesi è che si abbia avuto una interferenza orizzontale inquinante proveniente da uno solo dei pozzi e tale da distribuirsi in maniera progressiva negli altri intervenendo con maggiore o minore consistenza a seconda della vicinanza e del movimento della falda.

12.2a - Geologia della zona delle Polle

Può essere chiarificatrice del fenomeno inquinante che si rinviene nella zona delle Polle, una sommaria descrizione della geologia di tale zona.

Descrizione dei terreni superficiali

I terreni superficiali hanno tutti un andamento prossimo all'orizzontale, con una leggera inclinazione verso mare. Nell'area interessata si possono distinguere tre fasce:

- la prima è costituita da sabbie eoliche, deposte in forme di dune poco elevate; l'aspetto attuale non rispecchia più le condizioni primitive naturali. Si riconoscono tuttavia piccoli fossi paralleli alla spiaggia che esprimono l'esistenza di "lame" interposte tra i cordoni di dune. I terreni della prima fascia hanno uno spessore di circa 30 cm. in corrispondenza della costa; lo spessore

Castagnara e Mirteto, è abbastanza estesa la coltivazione della vite per la quale l'uso dell'atrazina non è specifico nel diserbo;

- i pozzi si trovano in piena ZONA INDUSTRIALE, attornati da varie industrie che avrebbero potuto minacciare l'integrità dell'acqua più con contaminazioni provenienti dal loro ciclo industriale che non da sostanze erbicide. Ma nel ciclo produttivo delle industrie presenti nella Z.I.A. non vi erano produzioni di atrazina;

- l'acqua proveniente dall'Acquedotto dello Stadio non aveva mai mostrato particolari segni di contaminazioni.

Fu svolta quindi un'indagine su 42 pozzi privati appartenenti ad industrie e civili abitazioni da cui furono prelevati campioni per le analisi con i cui risultati si provvide a realizzare carte isometriche di uguale concentrazione di atrazina.

Studi effettuati sul grado di traslocabilità dell'atrazina in terreni di diversa composizione e in diverse condizioni, ha dimostrato come sia estremamente difficile ipotizzare una migrazione spontanea dell'atrazina nelle zone più profonde del terreno, successivamente ad un suo utilizzo superficiale come diserbante, anche se in dosi massicce.

La percolazione, viene infatti impedita da vari fattori che ne determinano una degradazione più o meno rapida, all'interno del terreno stesso. Tale degradazione può essere di tipo chimico o biologico, realizzando prodotti finali nella maggior parte dei casi identici.

L'atrazina, tra l'altro, è una sostanza che si decompone velocemente in ambiente basico, e le acque superficiali e profonde nelle quali fu ritrovata, avevano un pH che oscillava tra 7.5 e 8.0 in media, quindi ambiente leggermente basico.

Da tutto ciò, consegue che la presenza di atrazina in falde relativamente profonde non può essere il risultato di un'azione di trasporto "veloce" in tali zone.

Se si esclude l'evento volontario, tale azione non può che essere giustificata mediante un trasporto veloce attraverso soluzione acquosa (l'atrazina ha una discreta solubilità in acqua, 70 ppm).

L'acqua può essere quindi un buon veicolo di spostamento, ma mentre tale "migrazione" può essere ipotizzata in senso orizzontale senza che il prodotto venga degradato chimicamente o biologicamente, altrettanto non può essere ipotizzato in senso verticale.

L'unica ipotesi che può essere fatta per giustificare la presenza di atrazina nella falda a 40 m. è che si abbia avuto un'immissione diretta in un punto dell'impluvio attraverso un canale di immediato assorbimento (pozzo) artificiale non protetto, o se protetto, degradato a tal punto da consentire il passaggio della soluzione inquinante. In passato, le tecniche di costruzione di un pozzo artesiano erano molto approssimative, perchè non tenevano conto della necessità di cementare le zone di contatto fra gli acquiferi in modo da impedire una loro comunicazione che evitasse una eventuale contaminazione.

Esistono infatti numerosi pozzi artesiani utilizzati dalle industrie operanti nella zona che fa parte della Z.I.A. Tali pozzi, costruiti per esigenze di approvvigionamento d'acqua ad uso industriale, rappresentano una comunicazione diretta con la falda che approvvigiona anche l'acquedotto pubblico.

Una volta che l'atrazina riesce ad entrare nel sistema della falda sotterranea profonda si viene a trovare in una situazione in cui i vari fattori di degradazione si affievoliscono, se non addirittura scompaiono.

Non risultano studi sulla persistenza chimica dell'atrazina in quelle condizioni, ma si ritiene di poter pensare che in condizioni ottimali, cioè di annullamento dei fattori di degradazione, questa possa protrarsi anche per vari anni.

Dall'osservazione della carta delle isometriche, il flusso dell'inquinamento da atrazina segue un andamento anomalo rispetto ad un ipotetico ed indisturbato flusso naturale in direzione monti-mare.

Si osserva un'area ristretta nella quale si ha la massima concentrazione dell'inquinante; dal punto di massima concentrazione le curve isometriche assumono una forma a "becco" con direzione sud sud-est.

Tale andamento è senza dubbio l'effetto di richiamo determinato dall'azione di emungimento dei pozzi dell'acquedotto comunale (in condizioni di massima potenzialità hanno una portata di 200 l./sec.).

Si nota chiaramente l'influenza determinata dai richiami d'acqua dal pozzo dello stabilimento SKF EATON, dai pozzi della SANAC, da quelli della NUOVA PIGNONE e dai pozzi della DALMINE:

Nella zona lato mare dell'autostrada Genova-Livorno, si ha un'azione di restringimento delle curve isometriche dell'atrazina dovuto in parte alla normale diluizione con graduale esaurimento dell'effetto inquinante, e in parte dovuto all'azione tampone determinata dalla minore permeabilità delle sabbie di deposito costiero presenti in questa fascia.

Le conclusioni di questo lavoro furono che probabilmente si trattò di un episodio isolato, dovuto all'azione incauta di diserbi in aree non agricole, o all'immissione irresponsabile di prodotto inquinante in una delle discariche che sussistono nella zona.

In tal caso potrebbe trattarsi anche di un'azione non troppo recente nel tempo i cui effetti di sversamento fisico nel terreno cominciano solo adesso a

manifestarsi. Infatti nelle gascromatografie effettuate nelle acque campionate si rivela la presenza, oltre all'atrazina, di alcune sostanze ancora sconosciute che potrebbero corrispondere a prodotti di degradazione dell'atrazina stessa.

BIBLIOGRAFIA

ALBANI D.

- *Le spiagge della Toscana settentrionale dalla foce del Fiume Magra ai Monti Livornesi, Le spiagge Toscane 2*
CNR (1940)

ANDREANI M., MALFATTI P., MARRACCINI P.

- *Sulla presenza di nitrati nei pozzi dell'Acquedotto delle Polle*
Regione Toscana, Servizio Igiene Pubblica e del Territorio (1989)

ANDREANI M., MALFATTI P., MARRACCINI P.

- *Sulla presenza di atrazina nei pozzi dell'Acquedotto dello Stadio*
Regione Toscana, Unità Sanitaria Locale n. 2, Servizio di Igiene Pubblica del Territorio (1989)

ANDREANI M., CAMICI G., MALFATTI P., MARRACCINI P.

- *Sulla presenza di percloroetilene nei pozzi dell'Acquedotto delle Polle*
Regione Toscana, Unità Sanitaria Locale n. 2, Servizio Igiene Pubblica e del Territorio (1989)

AUTORI VARI

- *Piano di tutela ed uso delle risorse idriche del Comune di Massa*
(1989)

AUTORI VARI

- *Espletamento delle attività propedeutiche alla predisposizione del piano per gli interventi di bonifica e smaltimento dei rifiuti speciali della marmettola nell'area di Massa Carrara*
ENEA, 1991

BARTOLINI C., BERNINI M., CARLONI G.C., CASTALDINI D., COSTANTINI A., FEDERICI P.R., FRANCAVILLA F., GASPERI G., LAZZAROTTO A., MARCHETTI G., MAZZANTI R., PAPANI G., PRANZINI G., RAU A., SANDRELLI F., VERCESI P.L.

- *Carta Neotettonica dell'Appennino Settentrionale, note illustrative*
BOLL. SOC. GEOL. IT, 101 (1982)

BALDACCI F., RAGGI G.

- *Carta della permeabilità delle rocce del bacino del Fiume Magra*
IST. GEOL. UNIVERSITA' DI PISA

BERRETTA G.P.

- *Idrogeologia per il disinquinamento delle acque sotterranee*
PITAGORA EDITORE (1982)

BIANUCCI G., RIBALDONE BIANUCCI E.

- *La chimica delle acque sotterranee*

HOEPLI

BIGI L., RUSTICI L.

- *Regime idrico dei suoli e tipi climatici in Toscana*

REGIONE TOSCANA DIP. AGRICOLTURA E FORESTE (1984)

BOCCALETTI M., ELTER P., GUAZZONE G.

- *Plate tectonic models for the development of the Western Alps and Northern Apennines*

NATURE PHYS. , SC., 234/108 III (1971)

BOZZI M., FREDIANI R., ZUCCHINI L.

- *Tesi di laurea*

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PISA 1983

CARMIGNANI L., GIGLIA G.

- *Aperçu sur la géologie des Apuanes: les unités tectoniques et les grandes structures*

BOLL. SOC. GEOL. FR. SER 17 (1975)

CASTANY G.

- *Traité pratique des eaux souterraines*

DUNOD (1967)

CASTANY G.

- *Idrogeologia, principi e metodi*

LIBRERIA DARIO FLACCOVIO EDITRICE (1987)

CELICO P.

- *Prospezioni Idrogeologiche, vol. 1-2*

LIGUORI EDITORE (1988)

CHIESA G.

- *Inquinamento delle acque sotterranee*

BIBLIOTECA TECNICA HOEPLI (1988)

COLI M.

Times and mode of uplift of the Apuane Alps metamorphic complex
(1989)

COOP. GEOVERSILIA

- *Progetto per la ricerca delle risorse idriche e formazione della carta delle acque del territorio comunitario*

COMUNITA' MONTANA N. 3 APUO-VERSILESE (1980)

CUSTODIO E., LLAMES M.R.

- *Hidrologia subterranea*

ED. OMEGA (1976)

DALLAN NARDI L., NARDI R.

- *Schema stratigrafico e strutturale dell'Appennino settentrionale*

MEM. ACC. LUNIG. SC. G. CAPPELLINI, 42/1- 212 (1974)

DESIO A.

- *Geologia applicata all'ingegneria*

HOEPLI (1959)

FEDERICI P.R., RAGGI G.

- *Brecce sedimentarie e rapporti tra le unità tettoniche toscane nel gruppo delle Alpi Apuane*

(1974)

GIARDI M., PRANZINI G., SERRETTI L.

- *Salt water intrusion in the costal plains of Versilia and Elba Island*

HAMILL L., BELL F.G.

- *Acque sotterranee, ricerca e sfruttamento*

DARIO FLACCOVIO EDITORE

MASINI R.

- *Il Frigido di Massa Carrara e l'anomalia del suo rendimento idrologico*

(1958)

MASINI R.

- *I bacini costieri delle Alpi Apuane (studi geoidrologici sulle acque sotterranee)*

ESTR. BOLL. SERV. GEOL. VOL. LXXX (1958)

MAZZANTI R.

- *Il punto sul Quaternario della fascia costiera e dell'arcipelago di Toscana*

BOLL. SOC. GEOL. IT. VOL. CII (1983)

MECCHERI M.

- *Nuove interpretazioni sulla geologia delle Alpi Apuane*

(1980)

MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI - SERVIZIO IDROGRAFICO

- *Annali Idrologici, Parte Prima*

ANNI 1963- 1993

MONTEFORTI B., RAGGI G.

- *Carta Geologica dell'entroterra di La Spezia fra Sarzana e Zignago*

(1975)

PERRONE

- *Carta idrografica d'Italia. Corsi d'acqua del litorale toscano a N del Serchio e della riviera ligure*

MIN. AGRIC. IND. COMM. ROMA (1912)

SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA

- *Carta geologica d'Italia . Foglio 96 (Massa)*

SESTINI A.

- *Un' antica ripa marina nella pianura costiera Apuana*

ATTI SOC. TOSC. SC. NAT. MEM. 57 (1950)

SIENKO M.J., PLANE R.A.

- *Chimica, principi e proprietà*

PICCIN EDITORE (1986)

TONGIORGI M., BAGNOLI G.

- *Stratigraphie du socle paleozoique de la bordure continentale de l'Appennin Septentrional (Italie Centrale)*

BOLL. SOC. GEOL. FR. 7 (XXIII) (1981)

TREVISAN L., DALLAN L., FEDERICI P.R., GIGLIA G., NARDI R.,
RAGGI G.

- *Note illustrative della carta geologica d'Italia , foglio 96 (Massa)*
(1971)

ZACCAGNA D.

- *Descrizione geologica delle Alpi Apuane*

MEM. DESC. CARTA GEOL. DTT. VOL 25 (1932)

RINGRAZIAMENTI

Desidero rivolgere un ringraziamento a tutti coloro che in ogni modo hanno reso possibile la realizzazione di questo lavoro, ed in particolar modo:

- il Dirigente, Ing. Q. Capuzzi, e tutto il personale del Genio Civile di Massa, e specialmente la Dott.ssa Fanny Milano, la cui amicizia, disponibilità e competenza mi ha sostenuto nei momenti più difficili;
- il Direttore del Servizio Multizonale di Prevenzione di Massa, Dott. G. Camici, il Dott. G. Biancardi, e specialmente il Sig. P. Barabotti per la preziosa collaborazione;
- il Dott. S. Palandri, dell'ufficio Ambiente della Provincia di Massa Carrara;
- l'Ufficio Idrografico di Pisa, per il materiale messomi a disposizione;
- la Società Autostrade Ligure-Toscana, per il materiale fornitomi;
- i Dott. Geol. C.A. Turba, Dott. Geol. A. Baldini e Dott. Geol. F. Dumas, per la disponibilità e per l'aiuto.

Il ringraziamento maggiore va soprattutto ai miei genitori, che mi hanno permesso di compiere questi studi, a tutta la mia famiglia, ed in special modo alla mia cugina Anna, per l'aiuto al computer, a tutti i miei amici e a tutti coloro che mi sono stati vicini durante questo mio lavoro.