

## STRUTTURA GEOLOGICA DELLA PIANURA PADANA

La geologia della pianura padana e' molto complessa.



Sezione geologica schematica della pianura lombarda.

Per semplificare il discorso prenderemo in considerazione solo la sua piu' recente evoluzione che sinteticamente si divide in tre fasi:

- A) fase del ritiro del mare e della sedimentazione di depositi continentali fluvio-lacustri, deltizi e di pianura costiera su parte della pianura; (7 +1,8 Manni)
- B) fase glaciale comprendente le glaciazioni note in letteratura con i nomi di Gunz, Mindel, Riss e Wurm); (1,8 +0,011 Manni)
- C) fase postglaciale, di sedimentazione alluvionale e di erosione, recente. (0,011 Manni + Attuale)

Il sollevamento della pianura inizio' dal Piemonte occidentale e si estese gradualmente e con minore intensita' alla Lombardia, dove si hanno riscontri di depositi continentali in periodi piu' recenti a ovest di una linea che congiunge il Bresciano con il Pavese occidentale; nelle altre regioni il sollevamento fu meno accentuato, e porto' al permanere di condizioni di sedimentazione marina (sia pure con larghi intervalli di emersione in corrispondenza delle glaciazioni) fino a epoca recente. Durante questa fase di ritiro non si ebbe una sedimentazione di materiali alluvionali grossolani, per il predominare delle condizioni di acque tranquille. I terreni tipici di questa fase di transizione sono rappresentati da depositi continentali fini: prevalgono i limi, ma sono comuni anche le sabbie fini e le argille, e sono molto frequenti le torbe, che indicano un ambiente di sedimentazione in acque paludose prive o quasi di ossigeno.

Lo spessore di questi terreni, soprattutto a ovest della sopra citata linea, puo' essere anche superiore ai 100 m.

Con l'andare del tempo, questi terreni sono stati sottoposti ad un sollevamento dopo la loro deposizione; nel corso del quale la loro parte superiore venne erosa e profondamente incisa; nei solchi vallivi cosi' creati si vennero a deporre ghiaie e sabbie di grande spessore, che nella Lombardia a Est del F. Seveso e gia' in parte nella valle del F. Olona, sono frequentemente cementate. A seguito di questi fenomeni, i terreni fini piu' vecchi vennero quasi interamente ricoperti da quelli piu' grossolani recenti; raggiungendo uno spessore elevato (anche 100 m) al centro della pianura, come ad esempio a Milano ed. uno

spessore moderato in corrispondenza delle aree pedemontane (parte settentrionale della pianura).

Al di sopra di queste unita' in seguito si sono imposti dei livelli conglomeratici (unita' ceppo) che nel comasco raggiungono spessori di 60 m, mentre nel milanese si trovano ad una profondita' compresa tra gli 80 e i 100 m..

In Piemonte la sua presenza e' segnalata in modo discontinuo; in Friuli un deposito analogo di rilevante spessore e' segnalato su vaste estensioni di territorio.

Anche questa unita' mostra chiare tracce di sollevamento e la sua parte superiore e' molto modellata dall'erosione successiva; essa presenta una chiara inclinazione generale verso S nella Lombardia centrale e verso SSE nel Bergamasco e nel Bresciano, ma tale pendenza non supera la decina di gradi.

Gli affioramenti sono abbondanti nella parte alta della pianura, dove talora si nota come essi siano contenuti all'interno dei solchi vallivi scavati nei sedimenti fini piu' vecchi; a Milano questa osservazione non si puo' fare poiche' i conglomerati ricoprono totalmente questi ultimi.

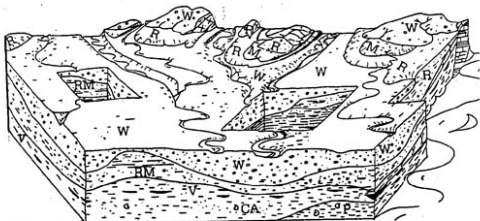
I successivi episodi glaciali, convenzionalmente raggruppati nelle tre glaciazioni Mindel, Riss e Wurm, sono caratterizzati dalla disposizione di una vasta coltre di sedimenti "fluvoglaciali" (FASE B).

Dai ghiacciai mindeliani usciva infatti, mentre la lingua glaciale avanzava verso la pianura, una massa idrica notevole, capace di trasportare e di deporre in pianura grandi quantita' di sedimenti; questi depositi formano la pianura mindeliana, sulla quale il ghiacciaio pervenne in un secondo tempo dopo avere eroso in parte i sedimenti deposti dalle fiumane. Sui sedimenti della parte alta della pianura fluvio-glaciale, vennero deposte le morene frontali mindeliane.

Tutto questo complesso venne successivamente sottoposto a un processo di erosione da parte delle fiumane che erano collegate con il ghiacciaio rissiano: esse risparmiarono una parte della pianura fluvio-glaciale mindeliana, che ora affiora in lembi concentrati sugli altipiani terrazzati della zona pedemontana, e piu' a valle coprirono completamente i sedimenti fluvio-glaciali mindeliani. Analogo effetto ebbe l'avanzata del ghiacciaio wurmiano, che determino' su larga parte della pianura l'erosione e l'incisione del deposito rissiano, di cui rimangono isolati frammenti, addossati ai piu' elevati terrazzi mindeliani nella zona pedemontana e dell'alta pianura.

I sedimenti fluvio-glaciali wurmiani coprono ora vaste estensioni di territorio, cioe' quasi tutta la pianura lombarda, tranne le fasce pedemontane, dove si nota come i depositi fluvio-glaciali in questione si raccordino con gli archi morenici wurmiani. Per facilitare la comprensione dei rapporti fra le diverse unita' nominate, e' qui riportato uno schema in prospettiva che rappresenta una parte idealizzata della pianura milanese.

I depositi fluvio-glaciali mindeliani in Piemonte e in Lombardia non si distinguono da quelli rissiani se non in aree particolari; ad esempio, si e' osservato che in alcuni settori (nord-Milano) in corrispondenza degli affioramenti dei depositi rissiani i pozzi incontrano terreni a granulometria piu' grossolana che non dei depositi mindeliani. Tuttavia questa possibilita' di separare le due unita' e' limitata a casi sporadici e controversi; quasi sempre i fluvio-glaciali che giacciono sopra il "Ceppo" o ai terreni piu' vecchi mostrano una litologia mista, caratterizzata dall'alternanza di lenti anche molto estese e spesse di argille e limi con lenti di ghiaia e sabbia.



W=wurmiano R=teriss M=medelli CA=calabrian V=villa Santhiana P=piocenae

I depositi fluvio-glaciali wurmiani sono tendenzialmente molto grossolani nella media e alta pianura piemontese, lombarda e friulana; sono ghiaioso-sabbiosi anche sulle conoidi dei maggiori fiumi appenninici della pianura emiliano-romagnola, limitatamente alla fascia pedemontana.

Nella zona assiale della pianura, essi sono ovunque sabbioso-limosi, con rare lenti di ghiaia.

In Veneto, si incontra una condizione analoga a quella della pianura emiliana, sia pure con una maggiore estensione verso valle della fascia di sedimenti grossolani.

Infine, si e' avuta una fase post glaciale (FASE C) di sedimentazione alluvionale che ha deposto notevoli quantita' di materiale sciolto di origine sabbiosa con la presenza nelle parti piu' superficiali di livelli ghiaioso-sabbiosi intercalati da livelli limoso argillosi.

#### OBIETTIVI DELL'IDROGEOLOGIA

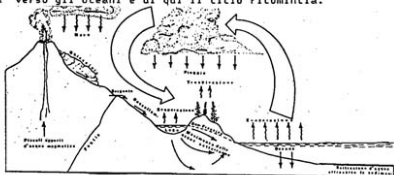
L'idrogeologia ha come oggetto lo studio delle acque sotterranee al fine di accertare la presenza, valutarne la quantita', precisarne la qualita' e definire i metodi piu' idonei al loro sfruttamento.

L'idrogeologia, dunque, nella sua forma piu' moderna, riunisce in se', su un comune substrato fornito dalla geologia, tutto un novero di principi, di metodologie e di tecnologie derivanti dalla fisica, dall'ingegneria, dall'idraulica teorica e applicata, dalla idrologia, dalla meteorologia, dalla geochimica, ecc.. Con l'ausilio di tali principi e di processi speculativi propri delle scienze esatte, l'idrogeologo moderno tratta e risolve su base matematica e quantitativa molti dei problemi inerenti alle acque sotterranee, quegli stessi problemi che ancora di recente erano visti soltanto in chiave naturalistica e descrittiva.

Il ruolo di ciascuna delle discipline sopra nominate in seno all'idrogeologia puo' essere facilmente messo in evidenza se si considera nelle sue diverse fasi uno dei processi fisici piu' importanti tra quelli che hanno luogo sul nostro pianeta e dal quale dipende l'esistenza stessa della vita nelle sue molteplici

forme: il ciclo idrogeologico. Si tratta di tutto un insieme di fenomeni che si ripetono ciclicamente e che hanno come motore l'energia solare.

E' il sole, infatti, che determina l'evaporazione di notevoli masse idriche dai bacini oceanici e continentali trasferendole nell'atmosfera. Tali masse sono quindi soggette a variazioni di temperatura e pressione tali da provocarne la condensazione e la ricaduta sulla superficie terrestre sotto forma di precipitazioni (P). All'atto di recepire tali precipitazioni (pioggia, neve, grandine, precipitazioni occulte, ecc.), la superficie terrestre esplica una funzione separatrice, suddividendo le quantità P in tre parti: una di queste ritorna direttamente all'atmosfera per evaporazione e traspirazione della copertura vegetale (E); una seconda parte, detta ruscellamento superficiale (R), resta al di sopra della superficie e su di essa si sposta sotto l'azione della forza di gravita' sino a raggiungere i bacini oceanici e continentali; la terza, infine, penetra piu' o meno profondamente al di sotto della superficie, ove da' luogo a masse idriche contenute negli interstizi delle rocce ed e' chiamata infiltrazione (I). Tali masse idriche si spostano anche esse per gravita' verso gli oceani e di qui il ciclo ricomincia.



L'intero ciclo idrogeologico puo', dunque, essere espresso dalla relazione:

$$\text{Precipitazioni} = \text{Evaporazione} + \text{Ruscellamento} + \text{Infiltrazione}$$

Orbene, lo studio delle precipitazioni da un punto di vista quantitativo, della loro distribuzione temporale e geografica, rientra nel campo della meteorologia, cosi' come tutti i fenomeni di evaporazione e condensazione. Le leggi fisiche secondo le quali le acque meteoriche si infiltrano nel sottosuolo e si spostano nelle rocce che lo compongono riguardano la fisica e l'idraulica, mentre l'idrologia si occupa prevalentemente degli spostamenti delle acque superficiali e delle leggi che li governano nel loro intorno geomorfologico. Come gia' si e' detto, e' evidente che a substrato di questi fenomeni vi e' la geologia, poiche' sono sempre le rocce costituenti il suolo e il sottosuolo, con i loro fattori chimici, fisici, mineralogici e il loro contesto strutturale, che giocano il ruolo determinante sia per la suddivisione di P in E, I e R, sia per l'evoluzione della circolazione idrica sotterranea. Ed e' studiando quantitativamente lo spostamento delle acque sotterranee che l'idrogeologo puo' arrivare a una stima delle quantita' d'acqua sotterranea presenti in una regione e, dunque, a valutare l'entita' delle risorse sfruttabili.

## ROCCE ACQUIFERE E ROCCE IMPERMEABILI

Gli spazi non occupati da materiale solido, esistenti all'interno di una roccia sciolta o lapidea, si definiscono meati, interstizi o vuoti. Tali vuoti hanno una grande varieta' di forme, dimensioni e disposizione spaziale; la loro origine e' strettamente connessa alla natura e alla storia geologica delle varie rocce.

La caratteristica di una roccia, sia essa sciolta o lapidea, di contenere un certo numero di meati piu' o meno intercomunicanti viene detta porosita' totale. (nt)

La capacita' di una roccia di lasciarsi attraversare dall'acqua, in condizioni normali di temperatura e pressione, viene definita permeabilita'.

Una formazione rocciosa che contiene dell'acqua o/e ne permette lo spostamento viene detta acquifero. Il termine non e' sinonimo di roccia permeabile ma di roccia permeabile che si trovi in posizione topografica e strutturale tale da ricevere alimentazione per infiltrazione diretta o indiretta.

Porosita' delle rocce. La porosita' e' una delle caratteristiche idrogeologiche principali dei mezzi rocciosi: essa viene espressa mediante il rapporto percentuale tra il volume-somma dei vuoti o meati della roccia (Vv) e il volume totale della roccia stessa (Vt)

Il coefficiente nt, detto porosita' totale, e' dunque puramente geometrico.

La porosita' e' assai variabile in rapporto al numero, alle dimensioni, alla forma e alla disposizione spaziale dei meati che la roccia stessa contiene. L'origine di tali meati e' duplice: puo' essere primaria o secondaria, a seconda che gli interstizi si siano generati durante o dopo i processi di litogenesi (di formazione della roccia).

I meati di origine primaria si sono formati contemporaneamente alla roccia che li contiene. Essi comprendono, da un lato, le cavita' intercrystalliche, da degassazione, ecc., delle rocce ignee; e, dall'altro, i meati di origine sedimentaria che permangono nella roccia anche dopo che si sia esplicato l'intero processo di diagenesi, i quali, dunque, fanno parte della struttura e tessitura della roccia.

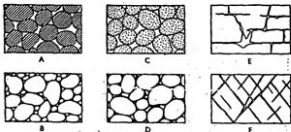
I meati di origine secondaria, invece, sono dovuti a quei fenomeni che intervengono dopo la litogenesi (tettonica, metamorfismo, azione degli agenti esogeni, ecc.): fessurazione, fratturazione, meati da dissoluzione chimica, azione delle variazioni termiche, erosione meccanica.

In quanto alle dimensioni, i meati possono dividersi in tre classi: meati capillari, supercapillari e subcapillari. I limiti dimensionali delle tre classi non sono generalmente fissabili con esattezza, poiche' variano moltissimo con i materiali costituenti la roccia, con la pressione e la temperatura, tutti fattori che influiscono sui fenomeni che vanno sotto il nome di capillarita'. In effetti, i meati capillari sono abbastanza stretti da favorire la risalita dell'acqua ben al di sopra del livello idrostatico a causa del fenomeno della capillarita', che e' dovuto all'attrazione molecolare tra le pareti del meato e l'acqua (adesione) e tra le stesse molecole dell'acqua tra loro (coesione). I meati di questo tipo, di contro, sono abbastanza larghi perche' il raggio di attrazione delle molecole costituenti le pareti non si estenda attraverso tutta la sezione del meato stesso. I meati supercapillari sono dotati di luce tale da non permettere o da limitare al minimo l'ascesa dell'acqua al di

sopra del livello idrostatico per fenomeni di capillarità. Sono sufficientemente larghi perché al loro interno si possano generare correnti trasversali e vortici: in effetti si considerano come supercapillari tutti gli interstizi di grandi dimensioni, compresi i canali carsici, le fessure e le fratture, ecc..

I meati sub-capillari, infine, sono i meno definiti: sono così angusti che il raggio d'azione delle molecole delle parti si estende attraverso tutto lo spazio vuoto. L'acqua che in essi è contenuta vi permane per adesione, una forza paragonabile a quella che unisce le molecole della roccia, ed è inamovibile, almeno in condizioni ordinarie.

Rispetto ai reciproci rapporti, i meati possono essere intercomunicanti o isolati: ciò riveste una notevole importanza sia teorica sia pratica, poiché una roccia può essere considerevolmente porosa e nel contempo scarsamente permeabile se i meati, pur di notevoli dimensioni, non sono comunicanti tra loro.



Alcuni tipi di interstizi delle rocce

A, sedimenta ben assortita ad alta permeabilità; B, sedimenta sovrasortita a livello e bassa permeabilità; C, sedimenta ben assortita a piccoli di porosità; D, sedimenta ben assortita a permeabilità ridotta per sovraccarico negli interstizi; E, roccia poco permeabile per azione solvente della acqua negli interstizi; F, roccia permeabile per fratturazione.

Confronto tra porosità e permeabilità delle rocce più comuni

Permeabilità	Porosità
Ghiaia a granulometria omogenea	Argilla tenera
Basalto poroso	Limo
Calcere cavernoso	Tufo vulcanico
Sabbia a granulometria omogenea	Sabbia a granulometria omogenea
Sabbia e ghiaia a granulometria eterogenea	Sabbia e ghiaia a granulometria eterogenea
Arenaria	Ghiaia
Roccia cristallina fratturata	Arenaria
Limo e tufo vulcanico	Basalto poroso
Argilla	Calcere cavernoso
Roccia cristallina densa (compatta)	Roccia cristallina fratturata
	Roccia cristallina densa

Appare chiaramente che i rapporti tra porosità e permeabilità sono fortemente influenzati anche dal diametro dei meati, ossia, nella maggior parte dei casi citati, dalla porosità primaria della roccia.

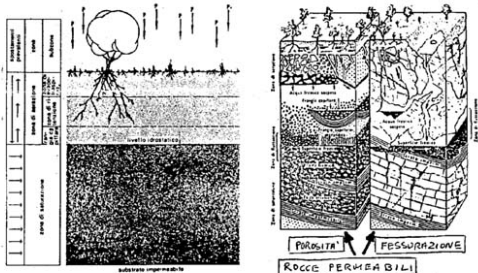
Tralasciando per ora le rocce a porosità primaria trascurabile (igne intrusive ed effusive, metamorfiche, sedimentarie fortemente cementate), vediamo quali fattori influiscono

direttamente sulla porosità primaria di una roccia sedimentaria sciolta o scarsamente cementata. Primo di questi fattori è la granulometria, ossia la misura dei granelli costituenti la roccia: a seconda che nella roccia prevalga o non una buona uniformità del diametro dei granuli, la porosità è più o meno alta. Analogamente, grande influenza ha anche la forma dei granelli, i quali sono sempre più o meno irregolari, il che accresce il volume dei pori che si formano tra granulo e granulo. Molto importante è anche la disposizione reciproca dei granelli.

Zone d'umidità. Si consideri ora il caso teorico di una massa rocciosa sciolta, omogenea e dotata di porosità, giacente su un substrato impermeabile orizzontale. L'acqua meteorica, che cade uniformemente su di essa, uniformemente si infiltra in profondità, raggiunge il substrato impermeabile e satura completamente la roccia per un certo spessore. Si stabilisce, cioè, una superficie di separazione tra due zone, nel corpo della massa rocciosa: una zona al di sotto della suddetta superficie (la superficie piezometrica o, semplicemente, piezometrica) prende il nome di zona di saturazione; mentre la zona al di sopra della piezometrica prende il nome di zona di aerazione.

Nella zona di saturazione, a meno che non esistano meati isolati e inaccessibili, l'acqua occupa tutti i vuoti per un volume pari alla porosità totale: il coefficiente di saturazione è pari al 100%.

La zona d'aerazione viene, invece, divisa, a seconda del coefficiente di saturazione, in tre sub-zone che, dal basso in alto, sono: la frangia capillare, la zona di ritenzione e la zona di evaporazione. La frangia capillare è caratterizzata dalla presenza di acqua capillare continua e ha uno spessore inversamente proporzionale alla granulometria della roccia: essa varia, in realtà, tra una decina di centimetri (ghiaie) e 3 + 4 m (limi). In questa prima sub-zona, il coefficiente di saturazione  $S$  è sempre superiore al 75%. Essendo



l'acqua capillare continua soggetta alla forza di gravita', la frangia capillare segue le fluttuazioni della piezometrica, gli spostamenti positivi o negativi, cioe', della zona di saturazione dipendenti dalle aliquote di infiltrazione che la roccia riceve nel tempo.

La zona di ritenzione o zona intermedia ha uno spessore medio dell'ordine del metro ma puo' raggiungere anche ordini di grandezza di qualche decina di metri o, addirittura, mancare del tutto. Il coefficiente S si stabilizza sul 75% e il volume dell'acqua presente nella sub-zona e' all'incirca pari al coefficiente di ritenzione specifica della roccia.

La zona di evapotraspirazione giunge sino alla superficie del suolo e, dunque, attraverso essa, avvengono gli scambi idrici con l'atmosfera: l'alimentazione in acqua meteorica e le perdite per evaporazione e attraverso la traspirazione delle piante. Sia l'alimentazione che le perdite, essendo fenomeni legati agli eventi meteorologici e, quindi, irregolarmente distribuiti nel tempo e quantitativamente irregolari, si riflettono sul valore del coefficiente S che risulta generalmente molto variabile. Lo spessore della zona di evapotraspirazione varia con il tipo di clima e con il tipo di copertura vegetale: nei nostri climi ha, in genere, uno spessore di 1 ++ 3 m.

#### CIRCOLAZIONE DELLE ACQUE SOTTERRANEE

Le acque che si infiltrano nel sottosuolo sono soggette a compiere essenzialmente due tipi di spostamenti: verticali e orizzontali.

Si e' gia' fatto cenno in precedenza allo spostamento verso il basso che compie l'acqua di infiltrazione, quell'aliquota di acqua per lo piu' di provenienza meteorica che supera l'effetto separatore della superficie del suolo e inizia il suo cammino in profondita' sino a raggiungere un substrato impermeabile. Se le aliquote infiltrative sono sufficienti, il terreno poroso viene saturato progressivamente dal basso in alto: si genera cosi' una superficie piezometrica.

#### STRUTTURE IDROGEOLOGICHE E FALDE ACQUIFERE

Rocce dotate di permeabilita' diversa, come tipo e grado, formano per sovrapposizione stratigrafica normale una serie idrogeologica in tale serie, i membri a permeabilita' diversa sono separati da un elemento geometrico piu' o meno ben definito, detto limite di permeabilita', il quale puo' corrispondere a un limite geologico, cioe' al passaggio nelle tra due limiti litologicamente diversi, oppure identificarsi con una fascia sfumata nel corpo stesso di una formazione litologicamente omogenea o al passaggio graduale tra due livelli litologicamente diversi. Nel primo caso, il limite di permeabilita' e' netto e ben definito; nel secondo, invece, il limite e' indefinito, poiche' viene a corrispondere a una zona nella quale si registra un progressivo abbassamento del grado di permeabilita' (per esempio cio' si puo' verificare in un complesso roccioso fessurato, nel quale le fessure tendono a richiudersi in profondita').

Una struttura idrogeologica consta di una serie idrogeologica o parte di essa in cui si verificano le condizioni necessarie sufficienti per l'accumulo di acqua sotterranea e il suo spostamento sotto l'azione della forza di gravita'.

