

8 - LE ACQUE SOTTERRANEE

Con le precipitazioni giunge acqua al suolo; ad essa può aggiungersi quella di fusione dei ghiacciai e delle nevi nelle montagne più elevate. Una parte ruscella sulla superficie alimentando il reticolo idrografico (*deflusso superficiale*); una parte impregna il suolo e ritorna all'atmosfera per evaporazione dal terreno e per traspirazione delle piante; un'altra penetra nel sottosuolo in funzione della permeabilità dei materiali, andando a costituire il dominio delle **acque sotterranee**. Queste nell'intero globo sono oltre 5.000.000 km³, circa lo 0,4 % dell'acqua totale terrestre, 13 volte quella delle acque continentali superficiali (laghi e fiumi) e meno di 1/6 di quella solida nei ghiacciai alpini e polari (**fig. 4.1**). Tenendo conto che le acque "imprigionate" nei ghiacciai non sono utilizzabili dall'uomo, se non in seguito allo scioglimento, quelle sotterranee costituiscono un importante "serbatoio"; una riserva di acqua dolce con un volume 10 volte quello delle acque superficiali, spesso inquinate.

Se in una roccia vi sono interstizi tra i granuli che la compongono, essa è detta *porosa*, in grado di assorbire l'acqua come una spugna. Molte arenarie (costituite dai grani della sabbia, più o meno cementati) sono porose. Certi graniti o calcari duri si presentano con molte *diaclassi*, fratture che lasciano penetrare l'acqua (*rocce fessurate*). Le rocce che lasciano passare l'acqua sono dette *permeabili*; quelle come l'argilla, nelle quali i fini grani che le compongono sono talmente compatti da non lasciar passare l'acqua, si dicono *impermeabili*. I calcari fessurati, pur non essendo porosi, lasciano passare l'acqua; questa percorrendo le fessure può allargarle per alterazione chimica. L'acqua che scorre sulla superficie di rocce impermeabili, segue i solchi del reticolo idrografico che, con il tempo, incidono valli fluviali sempre più profonde. Nelle zone dove prevalgono le rocce permeabili, l'acqua scorre meno in superficie e l'erosione superficiale è limitata; ma l'azione chimica delle acque sotterranee sui materiali profondi finisce con influenza anche le forme del paesaggio, pur se con effetti diversi da quelli prodotti dall'erosione superficiale.

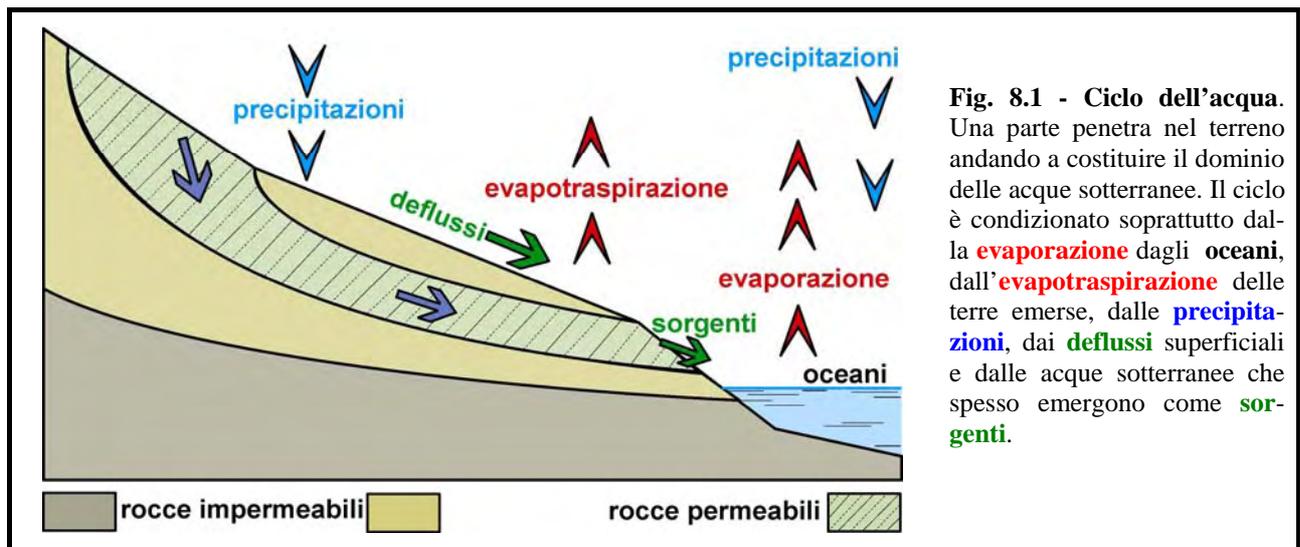


Fig. 8.1 - Ciclo dell'acqua. Una parte penetra nel terreno andando a costituire il dominio delle acque sotterranee. Il ciclo è condizionato soprattutto dalla **evaporazione** dagli oceani, dall'**evapotraspirazione** delle terre emerse, dalle **precipitazioni**, dai **deflussi** superficiali e dalle acque sotterranee che spesso emergono come **sorgenti**.

Dell'acqua sotterranea una parte risale per capillarità verso la superficie del suolo per evaporare o per essere assorbita dalle radici ed utilizzata per la traspirazione della vegetazione; una parte scende in profondità fino ad incontrare zone della crosta terrestre molto calde entrando nel gioco dell'endodinamica (vulcanismo secondario); un'altra parte agisce in processi di alterazione chimica come quelli illustrati più avanti. La maggior parte scorre negli interstizi delle rocce, come spugne impregnate, migrando per gravità verso il basso e riuscendo prima o poi ad emergere in superficie (**fig. 8.1**). In alcuni casi parte delle acque delle precipitazioni che si manifestano su un bacino, penetrano in profondità e riemergono tramite sorgenti in sui versanti di bacini adiacenti (**fig. 8.2**). A questo proposito si classificano i bacini secondo diverse categorie:

- **bacini impermeabili:** vi è coincidenza fra spartiacque superficiali e sotterranei; i materiali sono impermeabili e sono trascurabili i passaggi sotterranei di volumi d'acqua fra bacini adiacenti;
- **bacini semipermeabili:** volumi d'acqua di una certa rilevanza (mai superiori al 50 % del bilancio idrico complessivo) si trasferiscono da un bacino all'altro per la presenza di rocce permeabili;
- **bacini permeabili:** la maggior parte dei materiali sono permeabili e quindi i bilanci idrologici sono fortemente influenzati dai cicli delle acque sotterranee.

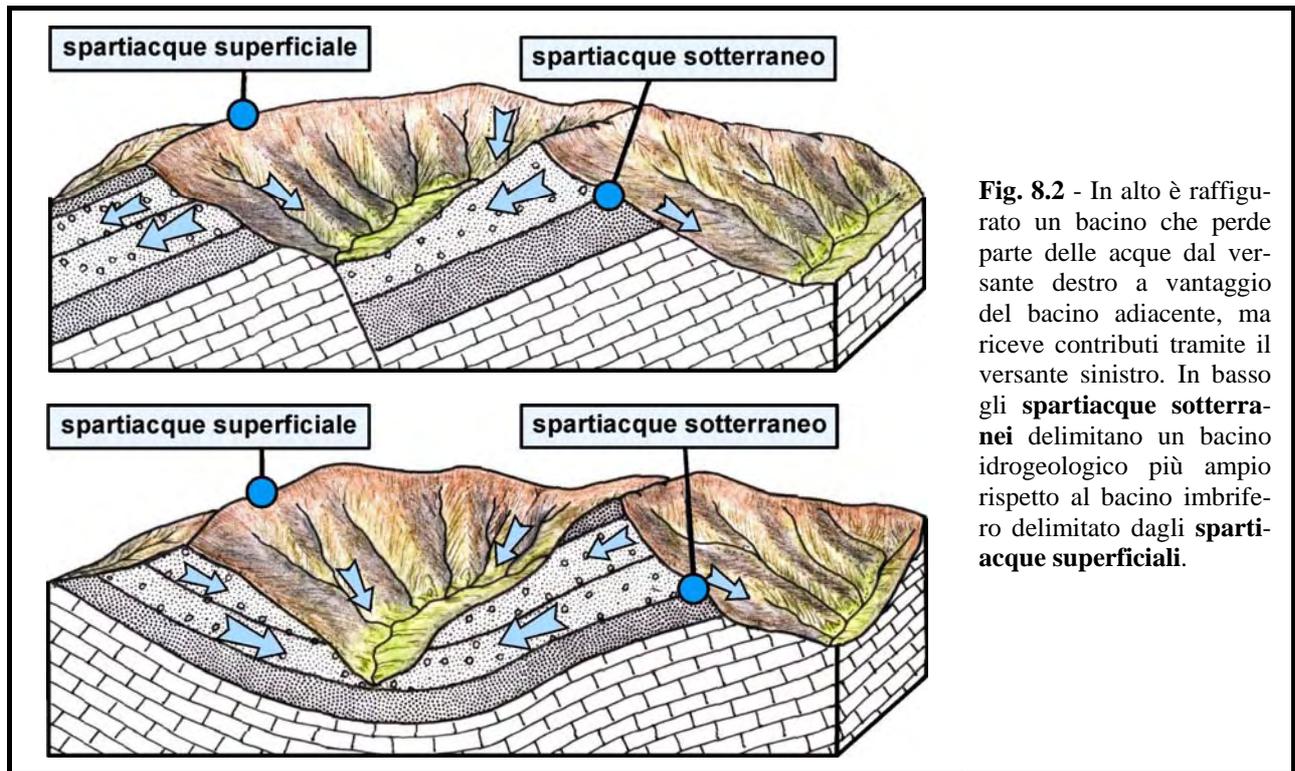


Fig. 8.2 - In alto è raffigurato un bacino che perde parte delle acque dal versante destro a vantaggio del bacino adiacente, ma riceve contributi tramite il versante sinistro. In basso gli **spartiacque sotterranei** delimitano un bacino idrogeologico più ampio rispetto al bacino imbrifero delimitato dagli **spartiacque superficiali**.

8.1 - Falde e pozzi

Se l'acqua che penetra nel terreno si arresta e si accumula su uno strato impermeabile, dà origine ad una **falda acquifera**. Se interessa il terreno prossimo alla superficie, alimentata direttamente dalle acque delle piogge, dello scioglimento delle nevi e dei ghiacci o dalle infiltrazioni dai corsi d'acqua sovrastanti, è detta **falda freatica** (**fig. 8.3**). Se interessa zone situate sotto lo strato impermeabile, è detta **falda profonda**; se questa è contenuta fra due strati impermeabili, la sua superficie "batte" contro quello superiore; essa è detta **falda artesianiana** ed è in pressione, come in una condotta forzata. Le acque e i pozzi freatici o artesianiani sono rispettivamente derivati dalle falde freatiche ed artesianiane. Nei **pozzi freatici** l'acqua, unicamente sottoposta alla pressione atmosferica, giunge in superficie solo se pompata. Nei **pozzi artesianiani** l'acqua può risalire ed anche zampillare all'esterno per il principio dei vasi comunicanti.

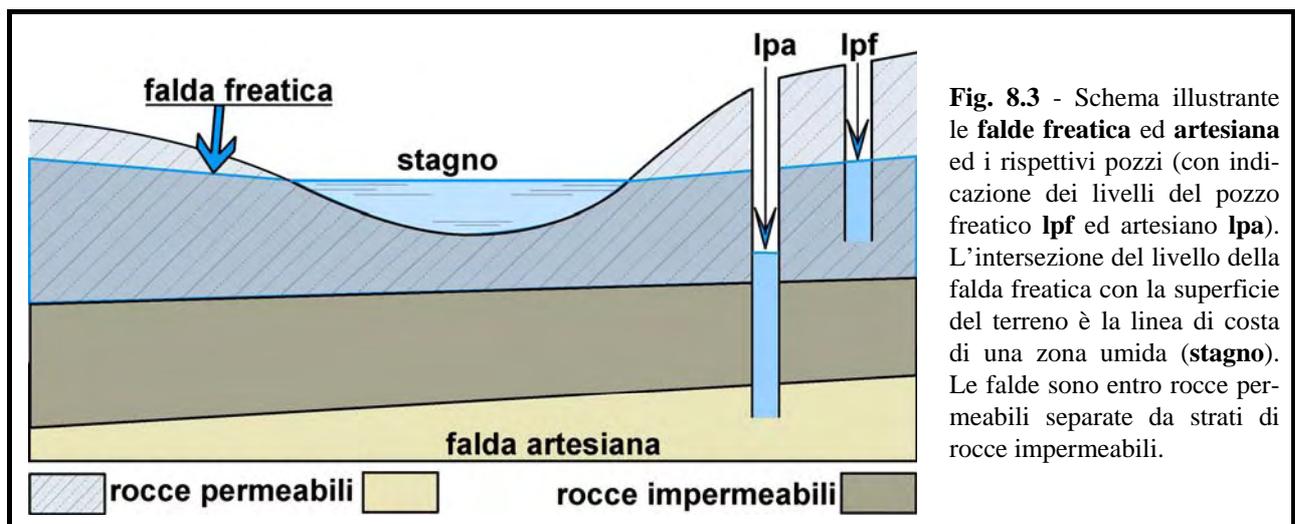
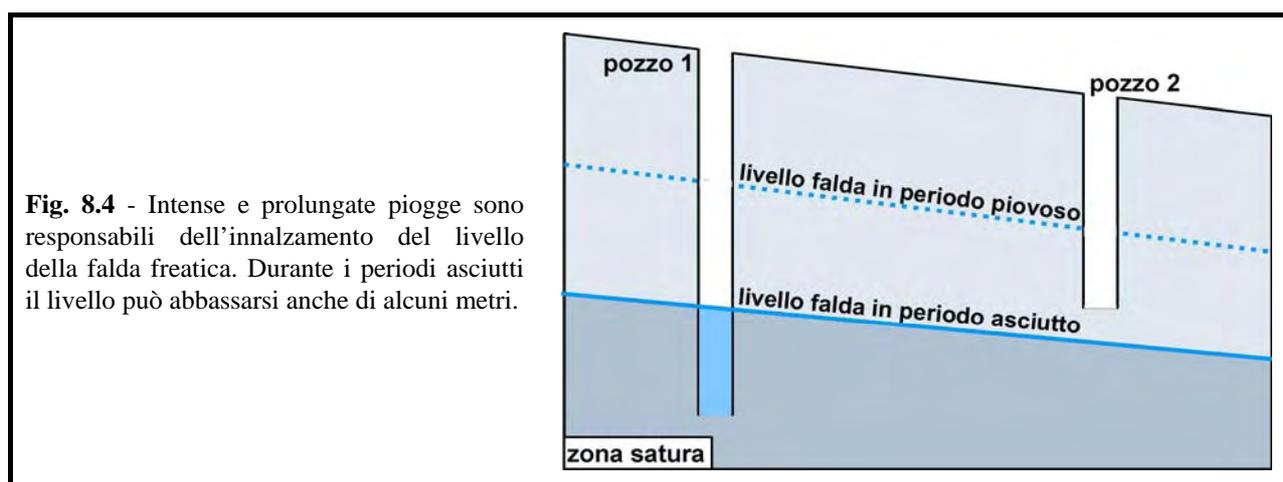


Fig. 8.3 - Schema illustrante le falde freatica ed artesianiana ed i rispettivi pozzi (con indicazione dei livelli del pozzo freatico **l_{pf}** ed artesianiano **l_{pa}**). L'intersezione del livello della falda freatica con la superficie del terreno è la linea di costa di una zona umida (**stagno**). Le falde sono entro rocce permeabili separate da strati di rocce impermeabili.

La superficie della falda freatica, nella maggior parte dei casi, non si trova alla stessa quota, ma può subire variazioni da pochi centimetri fino a parecchi metri. Il livello della falda dipende dal volume dei materiali impregnati d'acqua (saturi). Le variazioni di livello sono tanto più limitate quanto maggiore è la massa

d'acqua sotterranea. In Italia le falde più grandi sono quelle che impregnano i terreni delle maggiori pianure, con una superficie che può oscillare da pochi centimetri sotto il livello di campagna fino a qualche decametro. Sono grandi masse d'acqua, la più grande delle quali costituisce un complesso di falde, fra loro collegate a diversi livelli, che saturano i terreni profondi della pianura Padana.

Il fattore che maggiormente influisce sull'altezza della superficie della falda freatica è la situazione idrometeorologica (**fig. 8.4**). Durante le siccità la falda si abbassa per mancanza di precipitazioni e per i cospicui processi di evaporazione dal terreno, favoriti dalle alte temperature dell'aria e di traspirazione della vegetazione. Con il prolungarsi della siccità il livello della falda può abbassarsi a tal punto che i processi di capillarità sono insufficienti a portare acqua in superficie; essa quindi non evapora più dal terreno e non è più disponibile per le porzioni profonde dell'apparato radicale delle piante. I temporali occasionali o le prime precipitazioni di un giorno o due non sono in genere sufficienti per far giungere acqua alla falda; l'acqua bagna pochi centimetri (al massimo qualche decimetro) di suolo con beneficio delle piante limitato ad un breve periodo; nel giro di poco tempo (qualche giorno), il terreno è nuovamente secco. Sono questi i periodi in cui l'agricoltura ha bisogno di acqua per irrigazione; essa viene captata in gran parte da fiumi e torrenti, pompata da pozzi, ecc... I campi vengono inondata (irrigazione a spargimento) o bagnati con irrigatori a pioggia, ma difficilmente l'acqua riesce a raggiungere la falda, la cui superficie si trova spesso a parecchi metri di profondità. Quando eccezionalmente l'acqua di irrigazione raggiunge la falda, porta con se una parte di prodotti chimici utilizzati in agricoltura (concimi, antiparassitari e anticrittogamici, ecc...) contribuendo all'inquinamento delle acque sotterranee. L'inquinamento delle falde a causa dell'agricoltura è molto evidente nelle risaie dove vaste estensioni di terreno vengono trattate con grandi quantità di prodotti chimici e allagate per lunghi periodi; in tale situazione l'acqua inquinata penetra profondamente fino a raggiungere la falda tra l'altro poco profonda.



Soltanto le intense e prolungate precipitazioni fanno giungere acqua in profondità rimpinguando le falde; la loro superficie si innalza fino ad arrivare, in qualche caso, poco al di sotto della superficie libera del terreno. Le acque sotterranee, rispetto a quanto si crede comunemente, sono poco importanti per la vegetazione perché essa dipende quasi esclusivamente dall'acqua presente nel suolo fino alla profondità alla quale giungono le radici; tale profondità si spinge in genere fino a qualche metro per le essenze arboree di maggiori dimensioni. La funzione più importante è svolta dalle radici superficiali presenti nella porzione di terreno più ricco di nutrienti e dove è possibile trovare anche l'acqua di una breve pioggia in grado di impregnare solo la porzione superficiale del suolo. Nella maggior parte delle situazioni, durante le siccità, la falda si trova troppo in basso perché possa fornire acqua alle piante. Durante i periodi con abbondanti precipitazioni la falda si alza, talvolta fino a raggiungere l'apparato radicale della vegetazione, quando non c'è ne più bisogno perché i terreni sono abbondantemente "irrigati" dalla pioggia.

La profondità della superficie della falda freatica cambia in funzione delle condizioni idro-meteorologiche e della morfologia del terreno. Con rilevazioni particolari (perforazioni) e con misure in corrispondenza dei pozzi, è possibile tracciare, su una carta topografica, le **isofreatiche**, linee che uniscono punti con la stessa profondità della superficie freatica; questa può essere in piano (caso poco frequente) o inclinata, con conseguente flusso dell'acqua dalle porzioni di falda più elevate a quelle più profonde. L'andamento delle isofreatiche mette in evidenza l'aspetto della superficie della falda che varia in funzione dei fattori idrometeorologici visti precedentemente.

Un altro fattore che influisce sulla morfologia della superficie freatica è rappresentato dai livelli delle acque nei fiumi. Il caso "A" della **fig. 8.5** illustra una situazione in cui il livello dell'acqua nell'alveo del fiume è in equilibrio con quello della falda. In caso di siccità il livello del fiume scende e viene parzialmente alimentato dall'acqua della riserva sotterranea (caso "B"). Nel caso "C" si ha una situazione che potrebbe verificarsi durante una piena; il livello delle acque nell'alveo del fiume si alzano improvvisamente alimentando in parte la falda. Il fiume può anche ricevere acqua dalla falda da un lato e immetterne nella falda dall'altro (caso "D").

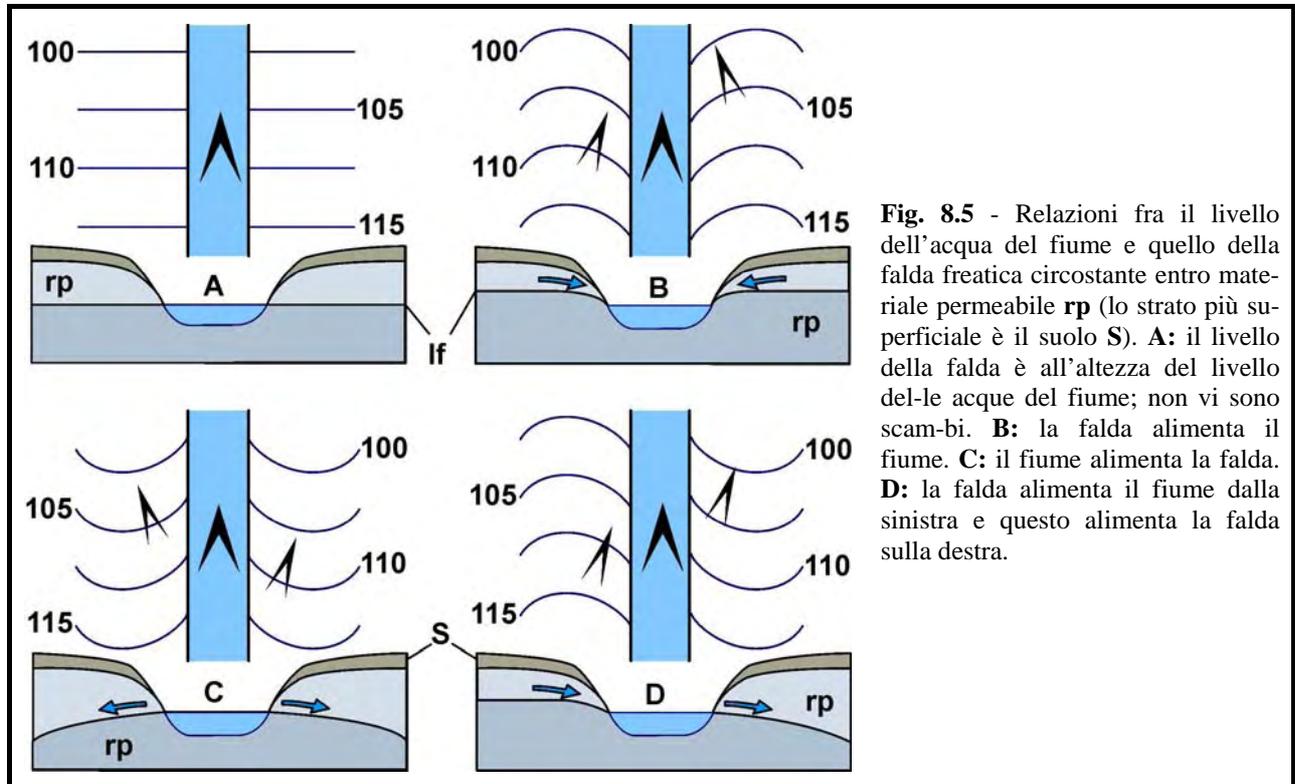


Fig. 8.5 - Relazioni fra il livello dell'acqua del fiume e quello della falda freatica circostante entro materiale permeabile **rp** (lo strato più superficiale è il suolo **S**). **A**: il livello della falda è all'altezza del livello delle acque del fiume; non vi sono scambi. **B**: la falda alimenta il fiume. **C**: il fiume alimenta la falda. **D**: la falda alimenta il fiume dalla sinistra e questo alimenta la falda sulla destra.

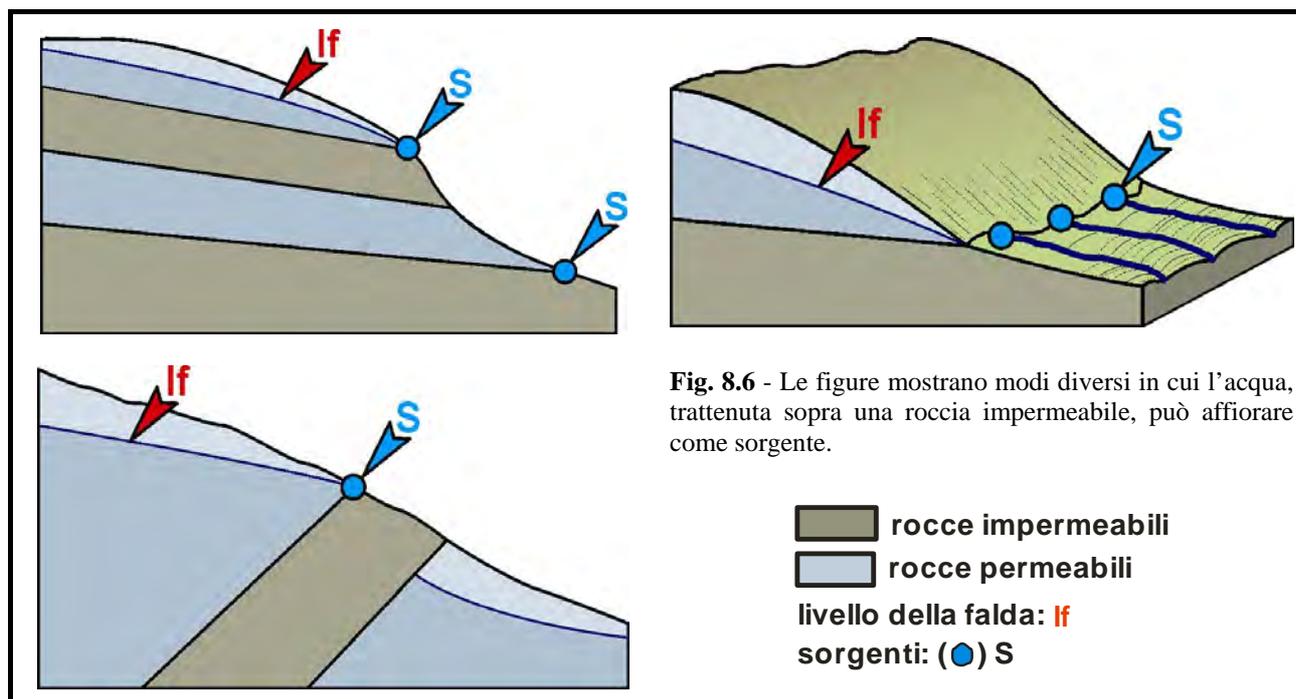
Esiste un delicato equilibrio tra le acque che corrono nei letti dei fiumi e quelle accumulate del sottosuolo; esso dipende dalle diverse situazioni idrometeorologiche che si succedono nel tempo. Tale equilibrio dipende dalla permeabilità delle sponde e del fondo del fiume per gli scambi di acqua nelle diverse direzioni; ogni intervento che limita tale scambio produce una alterazione più o meno grave dell'equilibrio. Questa è una ulteriore conseguenza negativa della cementificazione degli alvei dei fiumi (capitolo sesto).

Attualmente le acque sotterranee sono minacciate dall'inquinamento. Oltre a quello agricolo vi sono altri fonti pericolose. Acque luride (di fogna) possono giungere in profondità da pozzi perdenti o attraverso il dilavamento di concimaie o di discariche. Grave è l'inquinamento di origine industriale per l'elevata tossicità di molti prodotti; questi, anche se non scaricati direttamente in falda attraverso pozzi perdenti (abusivi), ma eliminati nelle acque di un fiume, possono giungere in falda per le connessioni fra acque superficiali e quelle profonde. Lo sfruttamento intenso delle acque sotterranee comporta l'abbassamento delle superfici freatiche. Eccessivo sfruttamento ed inquinamento hanno compromesso la qualità e la quantità delle riserve idriche sotterranee, creando problemi per il loro utilizzo, soprattutto per quanto riguarda gli approvvigionamenti idropotabili (paragrafo 3.4).

8.2 - Le sorgenti

L'intersezione fra la superficie freatica e quella topografica dà origine alle sorgenti (**fig. 8.6**). Spesso nella zona di transizione tra l'alta e la bassa pianura Padana, la falda, pur essendo vicina alla superficie, non affiora; ma è sufficiente scavare un poco il terreno perché l'acqua possa sgorgare (**fontanili** o **risorgive**) con una temperatura praticamente costante. Spesso l'emergenza della sorgente può essere subacquea, cioè al di sotto del livello marino o di quello di un lago (**fig. 8.7**). Tra i diversi tipi di sorgenti citiamo le principali:

- **sorgente di strato**; lo strato impermeabile sul quale si raccoglie la falda affiora in superficie;
- **sorgenti di trabocco**; lo strato impermeabile ha forma concava; le acque che permeano la roccia traboccano all'esterno quando costituiscono un volume superiore alla concavità che le accoglie;
- **sorgenti intermittenti**; emettono acqua ad intervalli più o meno regolari; la cavità sotterranea comunica con l'esterno per mezzo di una sorta di sifone ad "U" capovolto; quando il livello dell'acqua supera il tratto più alto del sifone, la sorgente sgorga e la cavità si svuota in parte; successivamente il flusso si arresta fino a quando le acque, percolando dall'alto, non riempiono nuovamente la cavità.
- **sorgente fredda**; quando l'acqua che sgorga ha una temperatura media inferiore alla media annua dell'aria del luogo in cui si trova la sorgente;
- **sorgente termale**; la temperatura dell'acqua è superiore alla media annua dell'aria del luogo in cui si trova la sorgente; la circolazione profonda dell'acqua avviene a contatto con materiali molto caldi della crosta terrestre;
- **sorgente minerale**; la concentrazione di sali presenti nell'acqua è elevata; la presenza di sali è dovuta all'attraversamento in rocce con porzioni solubili; le acque povere di minerali sono dette *oligominerali*.



8.3 - Il carsismo

Vi sono regioni dove predominano materiali rocciosi permeabili (rocce porose o fessurate). In esse, oltre ai processi di disfacimento dovuti alla disgregazione fisica ed alla alterazione chimica in funzione del clima, sono attivi fenomeni distruttivi particolari sotto la superficie del terreno, in grado di condizionare anche il paesaggio, le cui forme sono determinate dalla circolazione delle acque sotterranee più che dall'insieme degli agenti esogeni. Queste sono le **zone carsiche**, costituite da rocce calcaree o dolomitiche, dominate da forme particolari, dovute all'insieme del "carsismo".

L'acqua delle precipitazioni spesso non riesce a raccogliersi in ruscelli di una certa consistenza perché penetra rapidamente nel sottosuolo; i fenomeni di erosione superficiale sono più limitati e il paesaggio conserva più a lungo le sue forme giovanili. L'acqua agisce sulla superficie ed in profondità grazie soprattutto all'azione chimica che allarga e approfondisce spaccature, crepe, buche, inghiottitoi,... Essa corre poi attraverso i materiali rocciosi profondi per mezzo di gallerie, caverne, fessure,... ora allargandole per l'azione chimica ed anche erosiva, ora chiudendole per accumulo di detriti; talvolta può formare fiumi sotterranei che possono cambiare improvvisamente direzione per il crollo delle volte di caverne che ne sbarrano improvvisamente il corso. L'insieme dei condotti sotterranei viene indicato con il termine "reticolo carsico" (fig. 8.8).

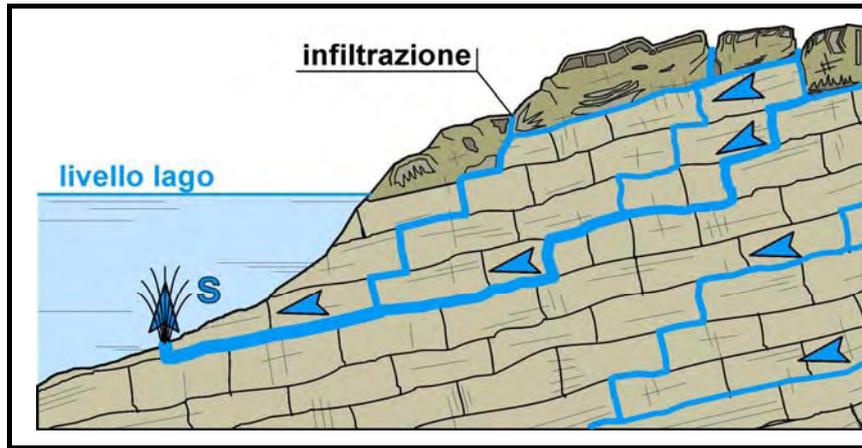


Fig. 8.7 - Rappresentazione di una sorgente (S) sotto il livello marino o sotto il livello di uno stagno o di un lago.

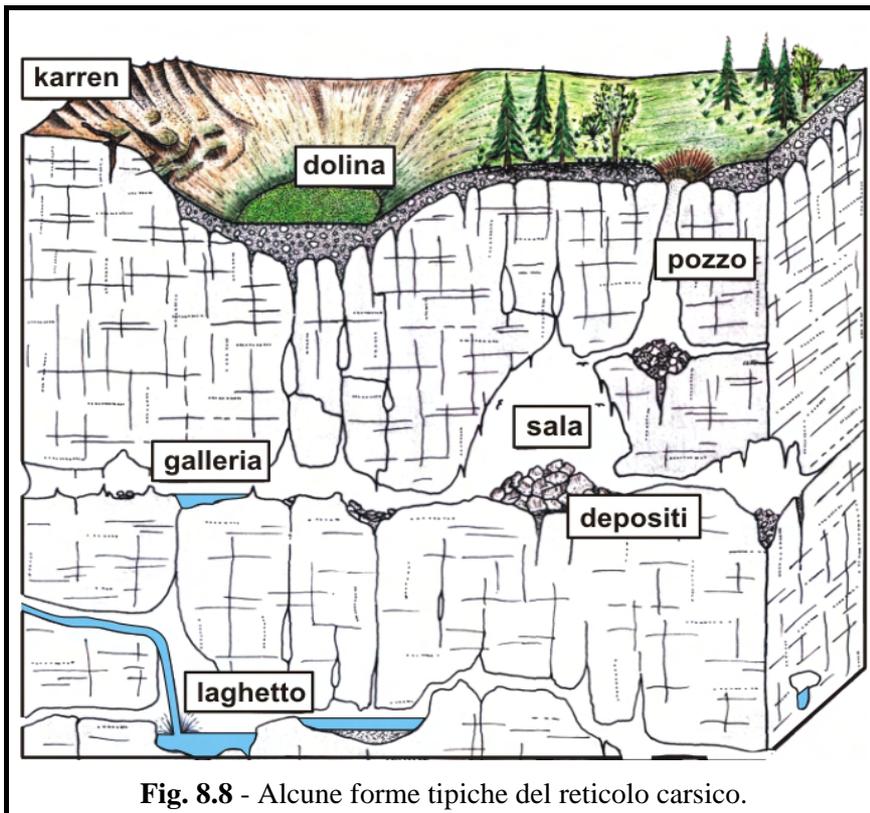


Fig. 8.8 - Alcune forme tipiche del reticolo carsico.

L'insieme di questi fenomeni che avvengono in profondità producono forme in superficie fra le quali le **doline**. Sono conche chiuse con diametro da pochi metri fino ad oltre un chilometro e profonde da 2 ÷ 3 m fino ad oltre 200 m. Possono avere forma analoghe ad un piatto (il cui fondo è spesso una piccola pianura coltivata), ad una scodella, ad imbuto o a pozzo, a seconda della pendenza delle pareti laterali e dell'estensione del fondo. I materiali calcarei sono, in genere impermeabili, ma eventuali fessure favoriscono la concentrazione e la permanenza dell'acqua. Al di sopra vi può essere un terreno ricco di sostanza organica e spugnoso, in grado di mantenere umido il sottosuolo calcareo; l'humus acidifica l'acqua aumentandone la capacità di sciogliere il calcare e

quindi di allargare le fessure, in parte erose per l'azione meccanica dell'acqua stessa che ormai vi scorre in rigagnoli. Si forma una depressione che favorisce l'ulteriore raccolta d'acqua verso il suo centro e l'accelerazione dei processi chimici e meccanici di disfacimento dei materiali calcarei che vengono sciolti e trasportati in profondità attraverso il reticolo carsico. Questa è l'origine più frequente delle doline. Le più spettacolari, con ripide pareti, sono quelle ad imbuto o a pozzo, la cui formazione è dovuta al crollo delle volte di ampie grotte. È raro che in fondo alle doline si formino dei laghi; sotto la coltre di terreno i calcari fessurati si comportano come rocce porose che non consentono l'accumulo di acqua. In qualche caso, se i calcari contengono sufficienti quantità di impurezze come l'argilla, esse possono raccogliersi in fondo alle depressioni impermeabilizzandole e consentendo la formazione dei **laghi di dolina**.

Non si devono escludere, nel paesaggio carsico, i fenomeni erosivi superficiali; si possono formare anche depressioni a forma di valli fluviali. Spesso in fondo a quelle valli non è presente il torrente che le ha incise (*valli morte*). A volte si verifica che nei tratti a monte il corso d'acqua sparisca in uno o più **inghiottitoi**, diventando un fiume sotterraneo. La valle quindi è interrotta, manca di una foce (*valle cieca*). Il fiume può tornare alla luce attraverso risorgive o in modo spettacolare improvvisamente da una grotta. Verso valle può esercitare un'azione puramente meccanica su calcari non fessurati, poco o nulla permeabili e molto resistenti; si formano allora *gole* o *canyon carsici*, profonde forre con ripidi versanti in roccia.