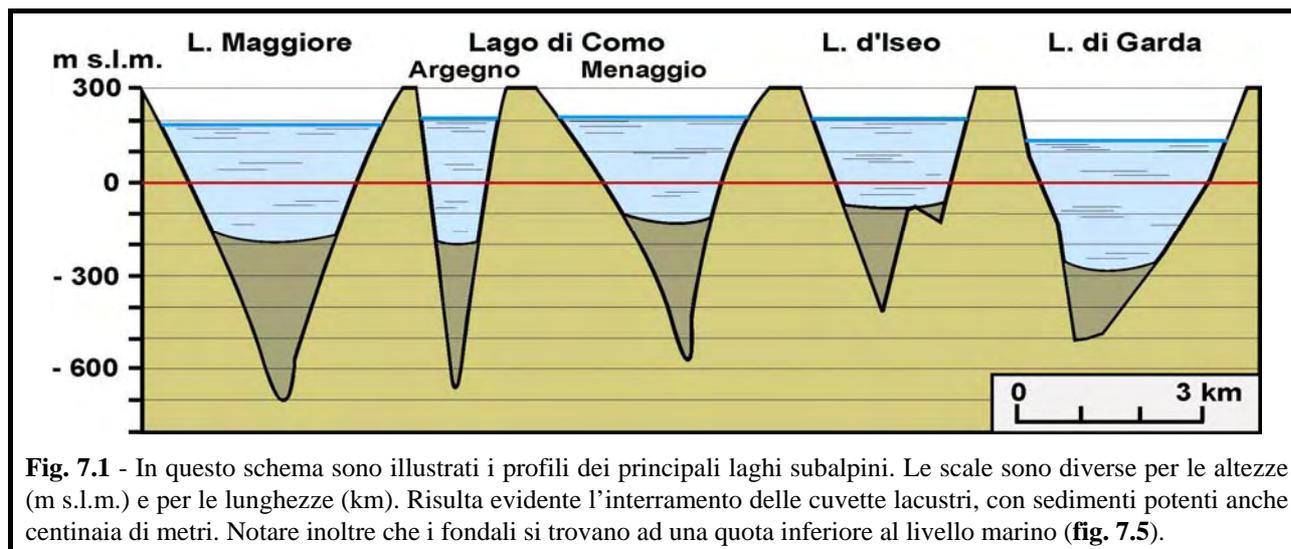


## 7 - ORIGINE ED EVOLUZIONE DEI LAGHI

Da un punto di vista fisico il lago è un fenomeno transitorio. È una massa d'acqua raccolta in una depressione naturale della superficie terrestre; indipendentemente dal substrato litologico, oltre ad avere un livello variabile per ragioni idrologiche diverse, è sottoposto a processi di interramento (**figg. 5.27 e 7.1**). Un lago (specchio d'acqua con profondità superiore a 3 ÷ 5 m) si colma in un tempo definibile "geologicamente breve" in un ciclo nel quale si distinguono diverse fasi che, attraverso la sedimentazione di materiali detritici derivanti dal bacino imbrifero, giunge allo stadio di **stagno** (con vegetazione acquatica molto abbondante soprattutto presso le rive e con ampie zone con profondità intorno ad almeno 2 m), di **palude** (la vegetazione ingombra tutta la superficie e la profondità massima difficilmente supera il metro) e di **torbiera** (estensione non più occupata dall'acqua anche se da questa impregnata per tutto l'anno).



**Fig. 7.1** - In questo schema sono illustrati i profili dei principali laghi subalpini. Le scale sono diverse per le altezze (m s.l.m.) e per le lunghezze (km). Risulta evidente l'interramento delle cuvette lacustri, con sedimenti potenti anche centinaia di metri. Notare inoltre che i fondali si trovano ad una quota inferiore al livello marino (**fig. 7.5**).

Sul territorio nazionale sono presenti, 320 laghi dei quali 35 con salinità più o meno elevata situati presso il litorale marino. I rimanenti 285 laghi d'acqua dolce sono così classificati:

- **185 laghi artificiali;**
- **100 laghi naturali** di cui:
  - 28 modificati (che hanno assunto maggiori dimensioni per l'intervento dell'uomo);
  - 72 non modificati.

Dei cento laghi naturali, 79 sono situati nell'Italia settentrionale, 17 nell'Italia centrale, 1 in Campania, 1 in Basilicata e 2 in Sicilia. La distribuzione dei laghi artificiali è opposta con 100 bacini in Italia meridionale e insulare, dove le carenze idriche nel periodo estivo sono molto accentuate sia per fini irrigui, sia per quelli potabili; la maggior parte di essi infatti si trovano nelle isole (23 in Sicilia e 21 in Sardegna). I rimanenti laghi artificiali sono localizzati sulle Alpi per fini prevalentemente idroelettrici.

### 7.1 - Classificazione dei laghi naturali

Durante il Quaternario, circa l'ultimo milione di anni della storia della Terra, vi furono notevoli cambiamenti climatici. In riferimento alle regioni italiane (Alpi soprattutto) e senza entrare nel dettaglio di una precisa cronologia, vi furono quattro lunghi periodi freddi (**glaciazioni**) intercalati ad altri decisamente più caldi (**interglaciali**). La prima glaciazione iniziò circa 1.200.000 anni fa e l'ultima terminò intorno a 10.000 anni prima di Cristo. Attualmente stiamo vivendo in un periodo **postglaciale** che segue l'ultima glaciazione. Nei periodi interglaciali il clima era anche più caldo dell'attuale; le grandi masse di ghiaccio ai poli erano ridotte, il livello marino più alto e la Pianura Padana parzialmente invasa dall'Adriatico (**fig. 7.2**). Nei periodi glaciali le temperature erano più basse dell'attuale; le masse di ghiaccio ai poli erano più estese invadendo buona parte dei continenti Nord - europeo e americano; il livello marino era più basso, l'Adriatico aveva dimensioni più ridotte ed il Po sfociava presso l'attuale Ancona (**fig. 7.3**). Le Alpi erano

“coperte” da masse di ghiaccio che scendevano fino quasi ad invadere la pianura “scavando” il fondo e i fianchi delle valli e trascinando, verso il basso, grandi quantità di materiali detritici “strappati” a monte.

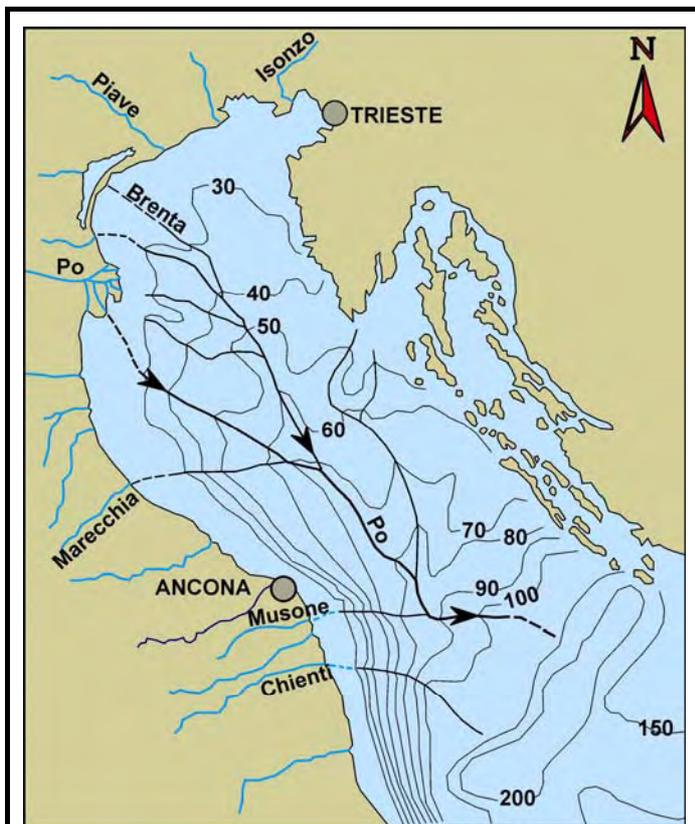
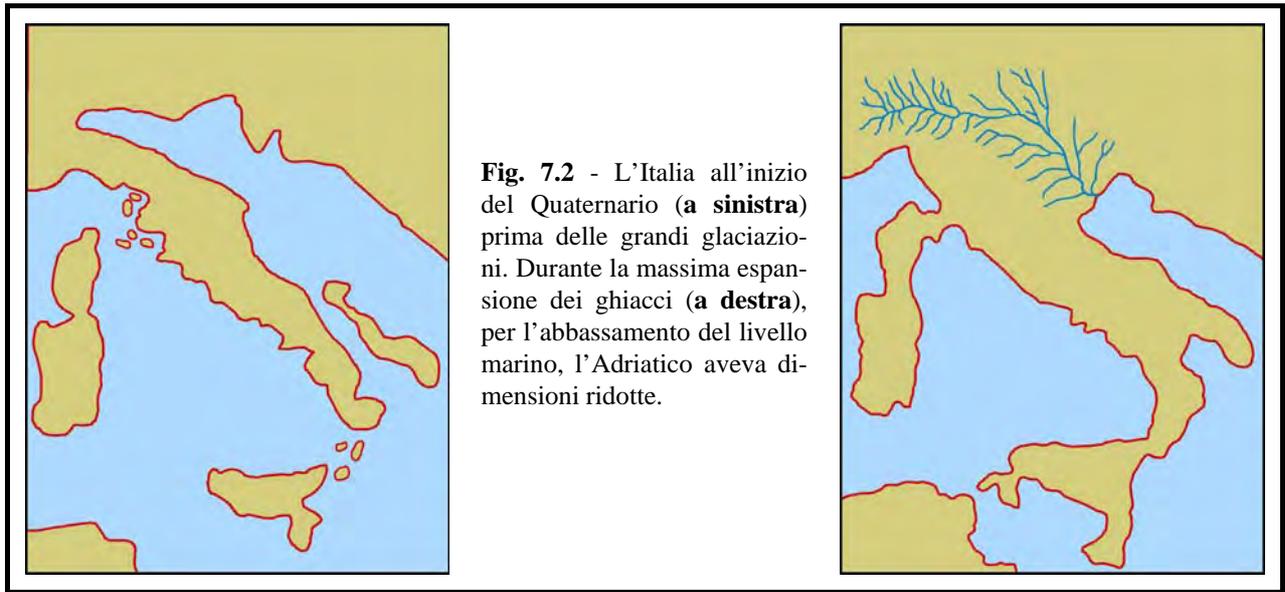


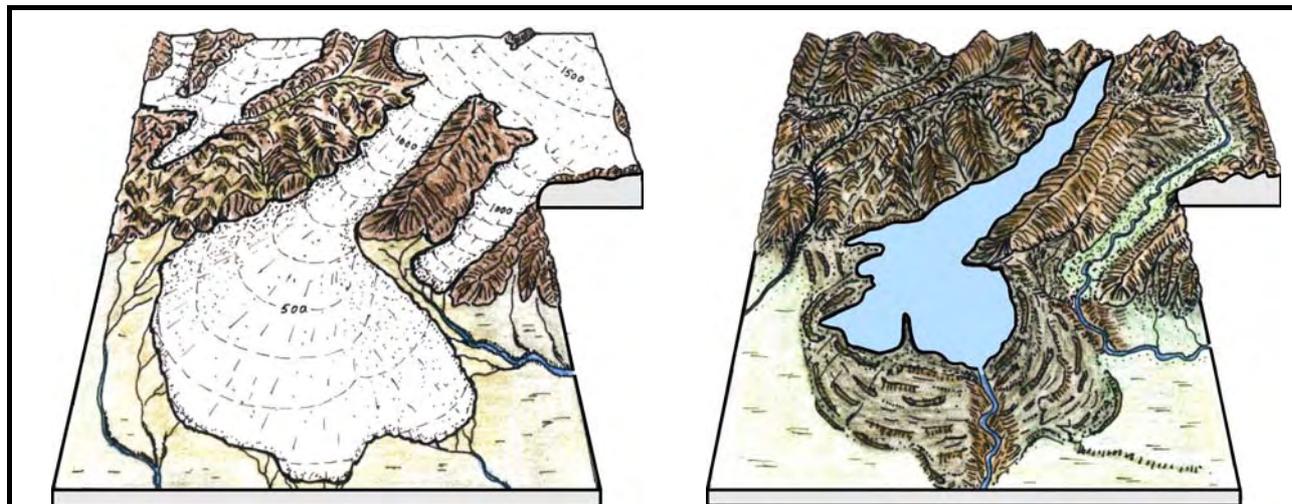
Fig. 7.3 - Studiando le isobate (linee che congiungono i punti di uguale profondità) dell'Adriatico, è stato ricostruito il corso dei fiumi sull'antica pianura Padana che si estendevano fino a Sud di Ancona durante l'ultimo periodo glaciale (Wurm).

Nelle regioni settentrionali l'azione morfologica dell'acqua solida durante le glaciazioni è stata molto intensa tanto da poter affermare che, nell'era Quaternaria, il glacialismo è stato il maggior agente geomorfologico nei confronti delle nostre montagne. L'azione modellatrice del ghiaccio ha contribuito in modo importante alla formazione di depressioni successivamente colmate dall'acqua; la maggior parte dei laghi naturali italiani sono di origine glaciale, distribuiti soprattutto nell'Italia settentrionale. dove più intensa è stata l'azione degli antichi ghiacciai. Dopo lo scioglimento dei ghiacciai (gli ultimi 15.000 anni) molte valli alpine, allo sbocco in pianura. dove le lingue glaciali erano più spesse e più pesanti, risultarono talmente sovrascavate sul fondo da presentarsi come profonde depressioni mentre, verso valle, i detriti trascinati dal ghiaccio costituirono degli sbarramenti (cerchie moreniche), dighe naturali a forma di anfiteatri (fig. 7.4) dando origine ai **laghi marginali subalpini** (Maggiore, Orta, Como, Garda, Iseo,...) alcuni dei quali così profondi da costituire delle “criptodepressioni” (fig. 7.5).

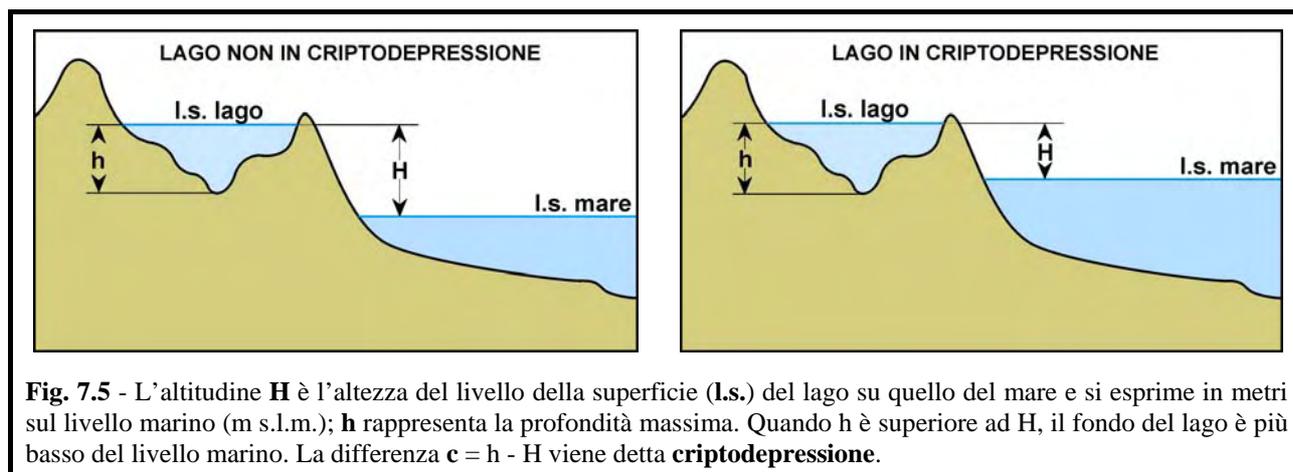
Non bisogna tuttavia pensare unicamente a fenomeni puramente glaciali; probabilmente nell'ultima glaciazione le lingue glaciali occupavano antiche valli fluviali già allargate in passato dai ghiacciai dei precedenti periodi

freddi. Inoltre fenomeni tettonici possono aver contribuito ad accentuare la profondità delle depressioni; un caso è quello del lago d'Orta (il più occidentale dei laghi prealpini), appartenente al bacino del lago Maggiore. Esso è il prodotto dal ramo destro del ghiacciaio pleistocenico della val d'Ossola. È un lago che presenta un “deflusso invertito”; infatti lo scarico delle acque, anziché avvenire a Sud, secondo la direzione di flusso dell'antico ghiacciaio, avviene nel senso opposto, per cui il suo emissario (lo Strona), confluendo

nel Toce, porta le sue acque nel Verbano. Questo fenomeno è dovuto ai movimenti tettonici che hanno portato a sollevamenti differenziati del margine sudalpino. Contemporaneamente si è verificata una erosione più accentuata nella parte alta della valle del Ticino, che ha portato alla cattura dell'antica valle sospesa su cui è impostato il lago d'Orta dopo il ritiro del ghiacciaio, diventando quindi tributario del lago Maggiore.



**Fig. 7.4** - A sinistra il ghiacciaio del Garda essere durante la fase di massima espansione della glaciazione wurmiana. A destra lo stesso panorama come appare oggi dopo il ritiro dei ghiacci. Nell'anfiteatro morenico rimasto (dove era il fronte glaciale) si notano le cerchie moreniche appartenenti alle diverse fasi glaciali.

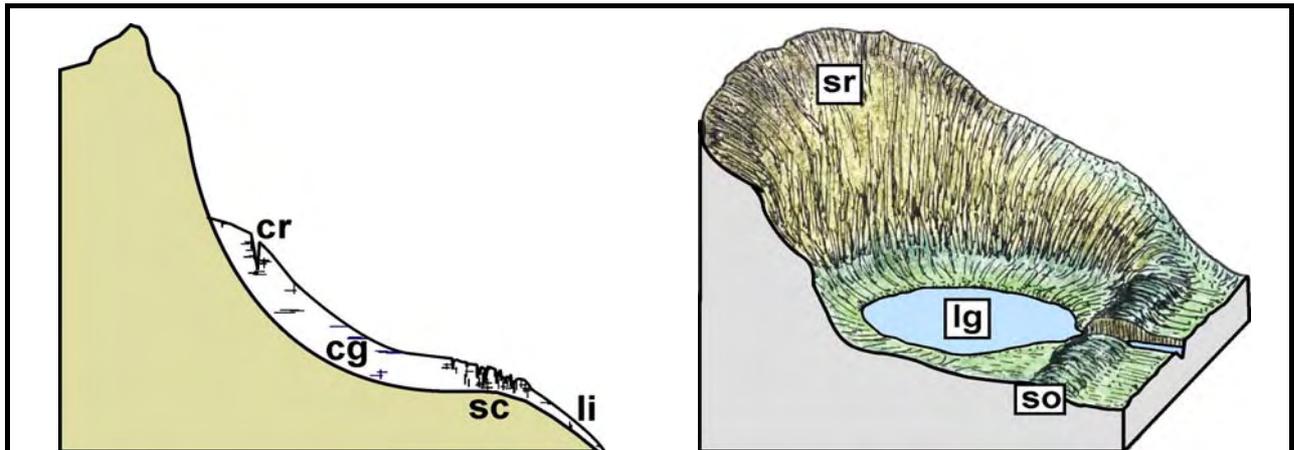


**Fig. 7.5** - L'altitudine  $H$  è l'altezza del livello della superficie (l.s.) del lago su quello del mare e si esprime in metri sul livello marino (m s.l.m.);  $h$  rappresenta la profondità massima. Quando  $h$  è superiore ad  $H$ , il fondo del lago è più basso del livello marino. La differenza  $c = h - H$  viene detta **criptodepressione**.

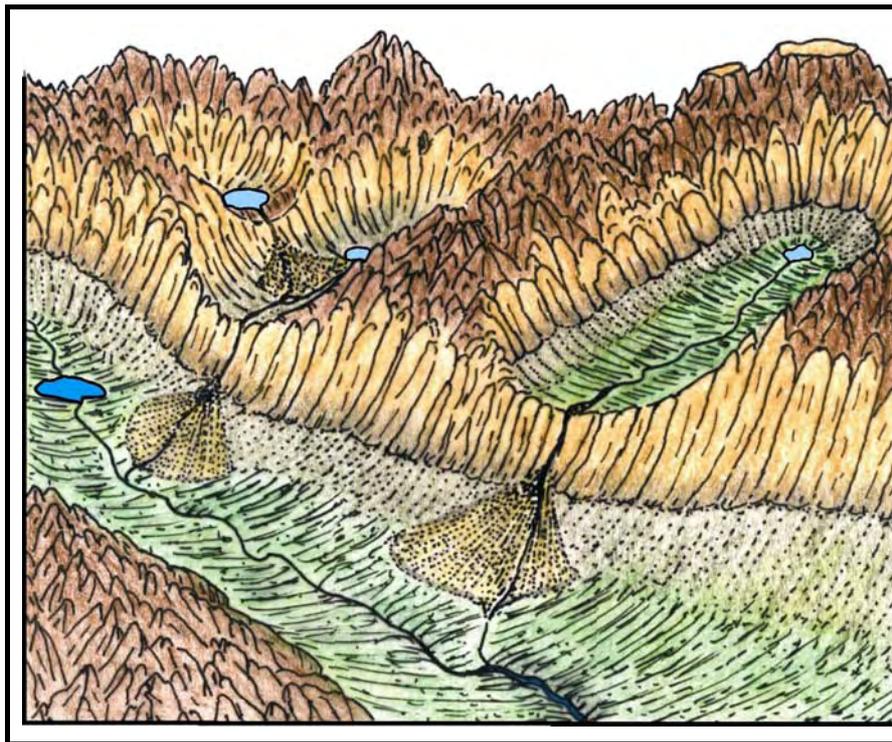
I **laghi morenici** sono in depressioni fra colline allo sbocco delle principali valli alpine. Quelle colline (moreniche) sono costituite dai materiali detritici accumulati dai ghiacciai che li avevano “trascinati” verso la pianura. I migliori esempi sono in Piemonte, con i laghi di Avigliana (allo sbocco della Val Susa, nell'anfiteatro morenico di Avigliana), Viverone, Candia, Sirio, Pistono, Nero (allo sbocco della Valle d'Aosta, nell'anfiteatro morenico di Ivrea), oltre a quelli di Varese, Monate, Comabbio, Pusiano,... tutti nell'Italia Settentrionale. Un esempio particolare è il lago Miage, compreso fra l'omonimo ghiacciaio e la sua morena laterale destra (massiccio del Monte Bianco). In alta montagna vi sono piccoli “**laghi di circo**” (**figg. 7.6 e 7.7**), dalle limpide acque, “incastonati” fra le pendici più aspre. Nelle zone più elevate possono essere presenti **laghi su ghiacciai**; sul ghiacciaio, se molto coperto da materiale morenico, si formano depressioni che possono contenere piccoli laghetti, poco profondi e di breve durata (per es. quelli sul ghiacciaio del Gorner a Zermatt e sul ghiacciaio Testa Rossa nel gruppo del Bianco).

Il rilievo glaciale porta a forme molto diverse, sia nelle nostre montagne, sia nelle regioni pedemontane o di antichi islandis. Nel loro insieme le forme dovute all'azione del ghiaccio si presentano come apparentemente caotiche (rocce montonate, profili a truogolo, morene; laghi; **figg. 7.8**), complicate dall'interazione con le acque di fusione che ad esse sovrappongono superfici piane (alluvioni colmanti laghi periglaciali, terrazzi fluvioglaciali). Le forme dovute al sistema glaciale e fluvioglaciale sono, in seguito,

obliterate abbastanza rapidamente nel corso dei periodi interglaciali e postglaciali; esse sono soggette ad una continua degradazione che fa loro subire quel complesso di fenomeni noto come *sistema periglaciale*.



**Fig. 7.6** - Nella sezione trasversale di un ghiacciaio di circo sono visibili il crepacchio periferico (**cr**), la soglia crepacciata (**sc**), il **circo glaciale** (**cg**) e la lingua (**li**). Molti laghetti di alta montagna sono dovuti all'azione di piccoli circhi glaciali che "scavarono" delle ripide sponde (**sr**), trascinando materiali a valle, formando contropendenze o sponde (**so**) successivamente incise da piccoli emissari dei laghetti (**lg**) formati in seguito allo scioglimento dei ghiacci. Tali conche prendono il nome di **laghi di circo** e talora caratterizzano frequentemente i paesaggi alpini modellati dall'erosione glaciale (**fig. 7.7**)

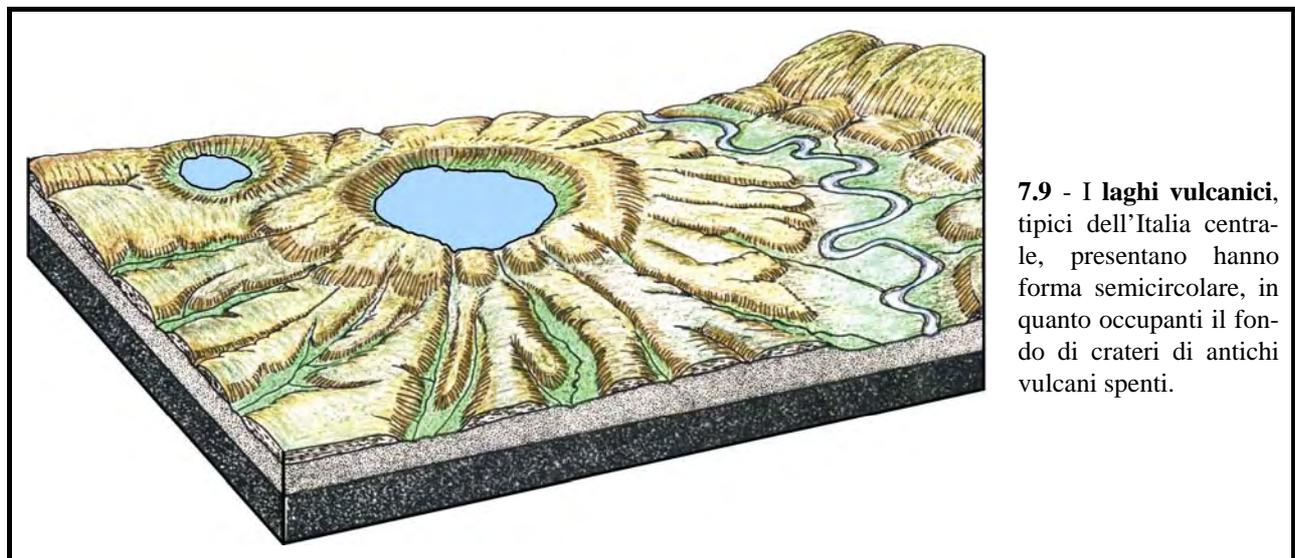
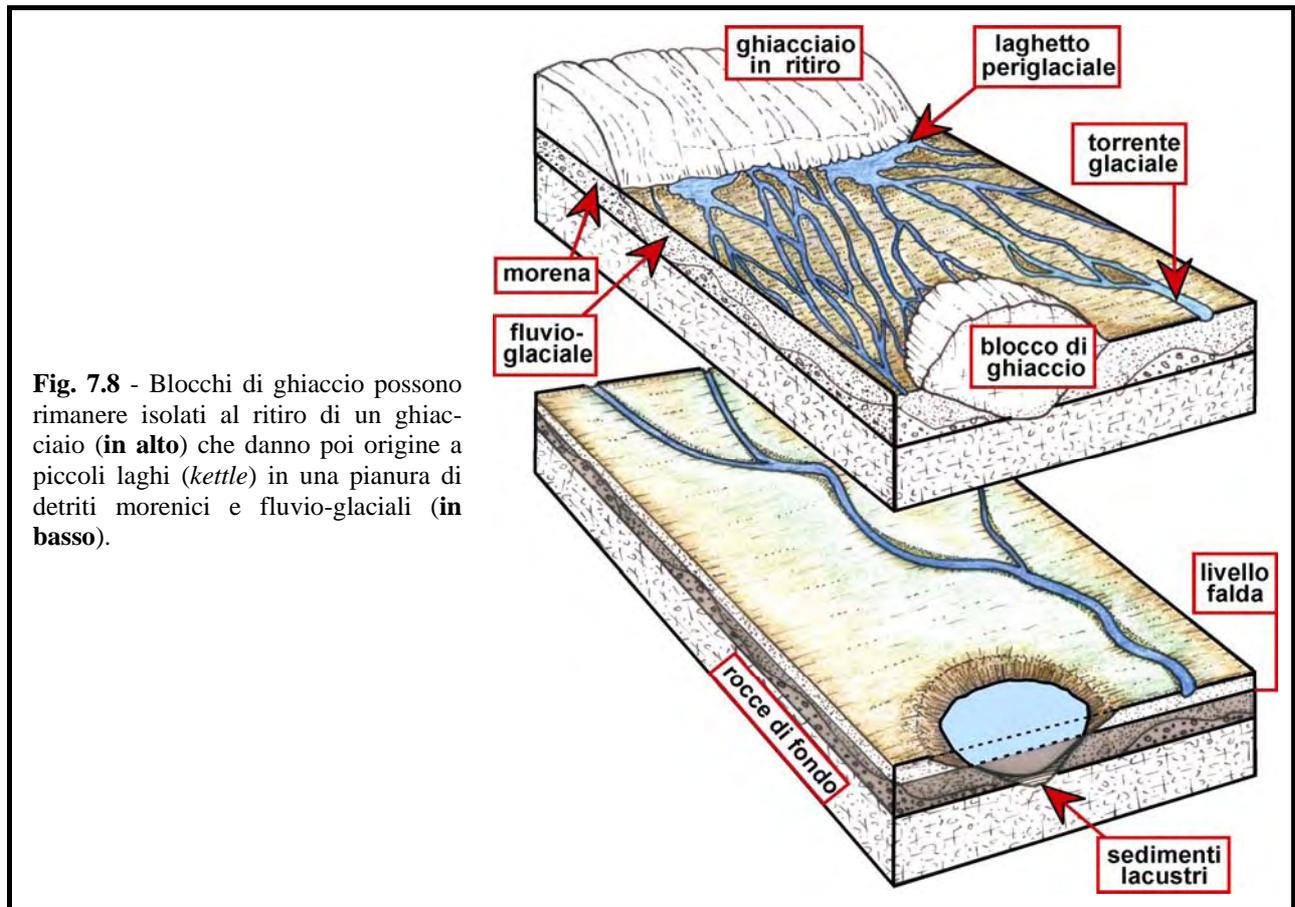


**Fig. 7.7** - Tipico paesaggio alpino. Sulla sinistra orografica della valle glaciale principale si affacciano delle **valli sospese**. Le confluenze delle valli glaciali non sono sempre allo stesso livello come si verifica per le valli fluviali. Sulle testate delle valli sospese sono spesso impostati piccoli **laghi di circo**. In alta montagna quasi tutti i laghi naturali hanno questa origine.

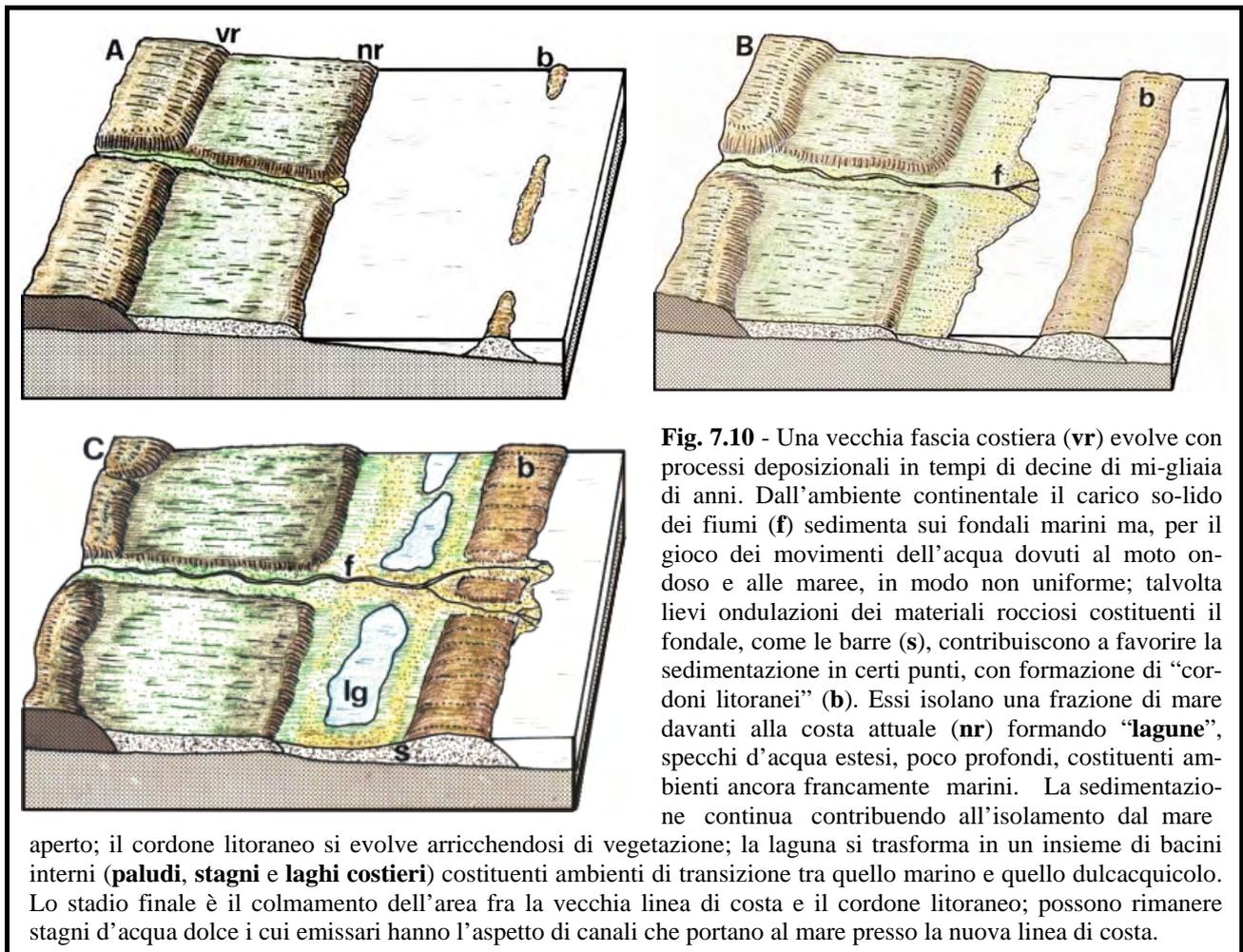
I **Laghi di frana** si originano per lo sbarramento, dovuto a movimenti gravitativi di materiali detritici, di tratti di valle. Hanno durata limitata perchè lo sbarramento, costituito da materiali incoerenti, in genere non resiste alla pressione dell'acqua che si accumula a monte; inoltre vengono interrati velocemente dai detriti portati dai corsi d'acqua. Un esempio è il lago di Alleghe (Trentino) originatosi per una frana nel 1771; si prevede che esso sarà completamente interrato entro due secoli. Il lago di Antrona, in val d'Ossola, è dovuto al ristagno d'acqua a monte dello sbarramento provocato da una frana nel 1642.

In Italia di poca importanza sono i **laghi di dolina** (Abruzzo, Puglia, Appennino centro-meridionale) alla formazione dei quali si fa cenno ad un successivo capitolo. Più importanti sono i **laghi vulcanici** (**fig. 7.9**) fra i quali distinguiamo i *laghi craterici* (riempimento di crateri vulcanici ormai spenti; es. Vico, Bracciano,...), *laghi di caldera* (in avvallamenti provocati da grosse esplosioni o implosioni che, avendo

distrutto con preesistenti, hanno lasciato depressioni che si sono successivamente colmate d'acqua; es. Bolsena), *laghi pseudovulcanici* (associati a fenomeni di vulcanesimo secondario; es lago di Arquà negli Euganei e il Bagno dell'Acqua nell'isola di Pantelleria).



In pianura i laghi sono meno frequenti, spesso associati ad interventi dell'uomo, oppure a fenomeni erosivi delle acque correnti superficiali come i *laghi circumfluviali*, frequentemente dovuti all'abbandono di anse che si chiudono su stesse (lago di Sartirana in Lomellina e i laghetti di Mantova). Tipici sono i **laghi costieri salmastri** (fig. 7.10) sul litorale tirrenico (Fogliano, Monaci, Caprolace, Patria,...) o nel Gargano (Lesina, Varano,...), talvolta estesi, ma sempre poco profondi, separati dal mare da dune sabbiose accumulate dal vento e dalla turbolenza delle acque marine.



## 7.2 - Movimenti d'acqua nei laghi

I corsi d'acqua presentano un flusso idrico più o meno veloce ed abbondante, variabile nel tempo in funzione del regime idrologico. I volumi d'acqua in alveo e la velocità della corrente condizionano gli aspetti fisici e biologici degli ambienti fluviali. Nelle zone umide stagnanti l'acqua appare immobile; sembrano assenti movimenti significativi, tali da condizionare le cenosi acquatiche; anzi la composizione di queste ultime è conseguenza dell'apparente immobilità dell'acqua. Tuttavia anche nelle zone umide stagnanti sono presenti movimenti d'acqua importanti. La conoscenza di tali fenomeni è fondamentale per la limnologia (scienza dei laghi). La materia è complessa e riguarda numerosi ambienti, dalle paludi e stagni, fino ai laghi di maggiori dimensioni. Per semplicità ed in considerazione che tali movimenti sono tanto più accentuati ed importanti per le conseguenze sulla biologia quanto maggiori sono i volumi d'acqua, verranno considerati i fenomeni che si manifestano nei laghi.

I movimenti d'acqua in un lago sono indotti da fenomeni diversi quali il vento e le "spinte" dovute a immissari e a sorgenti subacquee, oppure da richiami di massa liquida tramite l'emissario. Un fattore importante è il bilancio energetico del lago, soprattutto nei confronti dei movimenti verticali. Le entrate di energia sono costituite dalla radiazione solare, dal calore dell'atmosfera, dalle condensazioni, dall'energia degli immissari, dal calore terrestre,... Le perdite sono rappresentate dall'irraggiamento verso l'atmosfera, dall'evaporazione, dall'energia persa attraverso l'emissario, ecc.... L'esatta determinazione dei termini negativi e positivi del bilancio energetico è di difficile valutazione; ci limiteremo a considerare, come entrate, soltanto la radiazione solare in funzione della successione delle stagioni. L'errore è trascurabile, perchè la quasi totalità del calore immagazzinato deriva dalla radiazione solare incidente. Per semplificare gli argomenti che stiamo trattando, trascureremo le vicende termiche legate alle fluttuazioni giornaliere, dedicando più attenzione al regime termico annuale, molto importante nel determinare l'evoluzione stagionale delle acque lacustri.

### 7.3 - Le stagioni dei laghi

Consideriamo un ipotetico lago alla fine dell'inverno e supponiamo che la temperatura dell'acqua sia inferiore a 4 °C a tutte le profondità. Presso la superficie, grazie all'energia solare, la temperatura sale ed aumenta la densità dell'acqua (**par. 2.2**) che scende verso il fondo determinando un rimescolamento (movimento verticale) in grado di portare verso l'alto acqua più fredda destinata a scaldarsi. Quando tutta la massa d'acqua raggiunge la temperatura di 4 °C si ha una situazione di uguale temperatura (*omeotermia*) e di massima densità dell'acqua dalla superficie al fondo. In tale situazione le caratteristiche fisiche dell'acqua sono identiche a tutte le profondità; quindi è possibile la circolazione di masse liquide che comportano il rimescolamento dell'acqua a tutti i livelli.

In primavera, con la maggiore insolazione, aumenta la temperatura delle acque superficiali fino alla profondità alla quale arriva abbondante la luce, in funzione della trasparenza. Il riscaldamento è poco consistente già a modeste profondità, poiché la radiazione infrarossa è fermata nei primi strati, soprattutto nei laghi meno trasparenti. Risultando insignificante il trasporto di energia per conduzione, il riscaldamento interessa solo gli strati più superficiali; la temperatura sale oltre i 4 °C e l'acqua diventa più "leggera"; essa tende a "galleggiare" su quella sottostante più fredda e più "pesante". Il vento determina una turbolenza con movimenti verticali che portano ad un certo rimescolamento delle acque e quindi ad un trasporto di energia in profondità; tale fenomeno è meno efficace nei confronti di strati sempre più profondi. Ad una certa profondità, non vi è più apporto di energia ad opera del rimescolamento; al di sotto di quella profondità l'acqua rimane "fredda". Il valore dell'isobata alla quale riesce a giungere il riscaldamento è molto variabile: molto basso in assenza di vento e sempre più elevato in funzione dell'intensità dello stesso.

L'azione del rimescolamento del vento è efficace fino ad una certa profondità, coinvolgendo uno strato d'acqua nel quale la temperatura è pressoché costante (**epilimnio**). Mentre tale azione si attenua verso il basso, la temperatura diminuisce rapidamente tanto che le acque prossime al fondo non vengono coinvolte nel processo di riscaldamento. Nei laghi meno profondi, in una prima fase, una certa quantità di energia riesce ad arrivare fino alle acque sovrastanti i fondali che, pur se limitatamente, riescono a scaldarsi. Verso la fine della primavera le acque superficiali diventano più calde e si accentua il gradiente termico. L'azione di rimescolamento ad opera del vento diventa più difficile, in quanto vi è una maggiore differenza di densità fra le acque superficiali e quelle sottostanti. Inoltre il lavoro necessario per rimescolare strati con differente temperatura cresce con l'aumentare di quest'ultima; il lavoro necessario per rimescolare strati con differenti temperature, per esempio di 12 °C e di 13 °C, è maggiore rispetto a quello necessario per rimescolare strati con temperature di 5 °C e di 6 °C, pur con la stessa differenza di 1 °C. Il trasferimento di energia verso il basso diventa più difficile, anche nei laghi meno profondi.

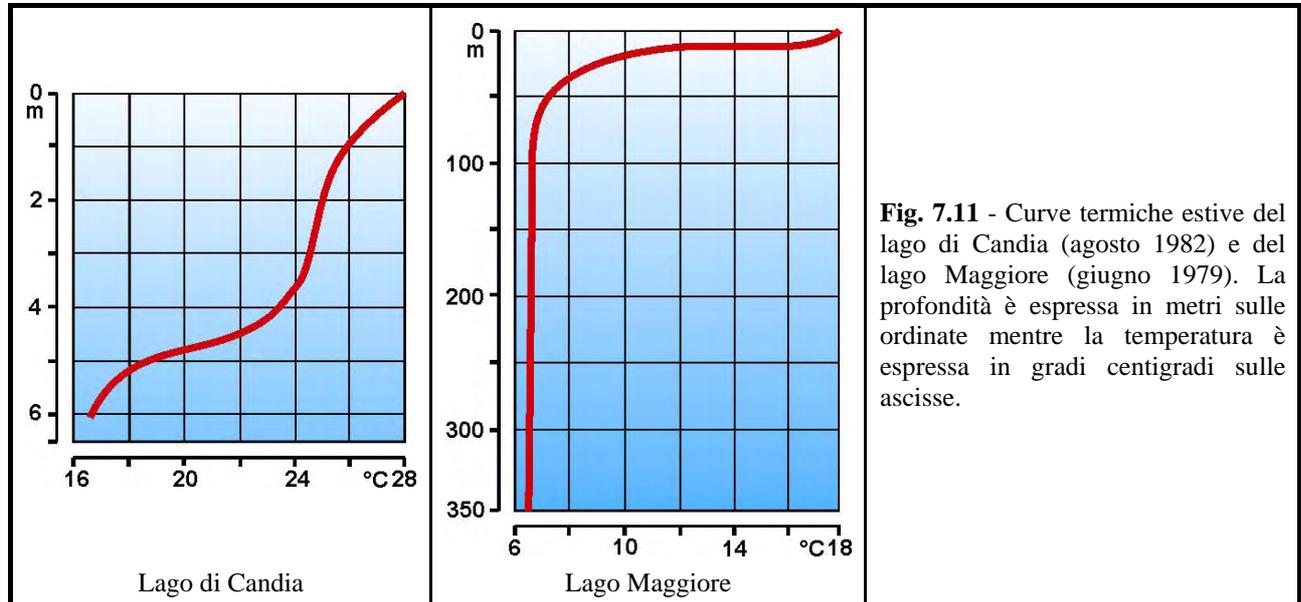
In estate la temperatura degli strati superficiali raggiunge i più alti valori e tutta la massa del lago è nettamente stratificata. La **fig. 7.11** mostra due esempi. Nel lago Maggiore, nel giugno 1979, la temperatura dell'acqua era intorno a 16 ÷ 18 °C fino a 5 m di profondità; al di sotto, fino a poco più di 20 m, si verificava un brusco abbassamento a circa 9 °C; la temperatura continuava a scendere, più lentamente, al valore di 6,5 °C a 100 m di profondità; da questo limite la temperatura rimaneva costante, intorno a 6,4 °C, in tutto il volume d'acqua, fino alla profondità massima di 360 m. La temperatura registrata presso il fondo nel febbraio 1989 era pari a 6,3 °C: nelle acque più profonde non giunse calore. La temperatura delle acque superficiali del lago di Candia, nell'agosto 1982, era quasi 28 °C; la curva di diminuzione della temperatura con la profondità assumeva un aspetto diverso da quella del lago Maggiore; le acque erano stratificate, ma data la scarsa profondità massima, una certa quantità di energia riusciva a raggiungere il fondo, dove la temperatura era di circa 16 °C, contro un valore di appena 3 °C del febbraio 1982 (**fig. 7.12**).

Nel caso del lago Maggiore, come si verifica nei laghi con volumi d'acqua e profondità sufficienti, le acque si stratificano nettamente separando tre distinte regioni:

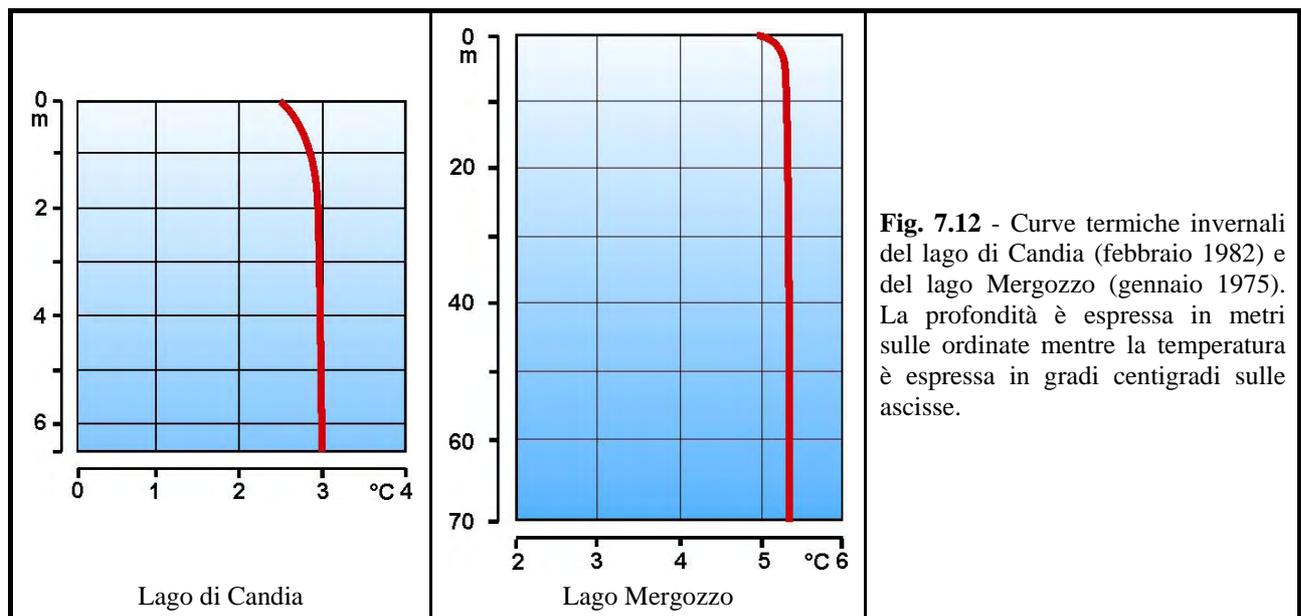
- **epilimnio** - insieme degli strati d'acqua superficiali nei quali la temperatura assume i valori più elevati; al suo interno la temperatura è pressoché costante o con una differenza di pochi gradi fra i valori estremi; la profondità del limite inferiore varia notevolmente con la trasparenza (zona fotica) e con il moto ondoso, ma raramente supera i 5 ÷ 7 m;
- **metalimnio** (o **termoclinio**) - insieme di strati d'acqua nei quali la temperatura diminuisce rapidamente con la profondità; la definizione più ortodossa è "*piano orizzontale che passa per il punto di flesso della curva termica*"; esso con l'avanzare della stagione si approfondisce (non oltre 1 o 2 m); non è uno strato con spessore uniforme e perfettamente orizzontale, ma può trovarsi a profondità diverse con variazioni

stagionali ed anche giornaliere in funzione di numerose variabili meteorologiche e fisiche del lago; il metalimnio spesso coincide con la fascia in cui la luce è notevolmente ridotta ed insufficiente per sostenere i processi di fotosintesi (zona oligofotica);

- **ipolimnio** - è il dominio delle acque profonde e buie (zona afotica); la temperatura è bassa anche in estate, spesso vicina ai valori invernali; nei grandi e profondi laghi è la zona che occupa la maggior parte del volume; nei piccoli e poco profondi laghi ha volume molto ridotto e talvolta addirittura inesistente.



**Fig. 7.11** - Curve termiche estive del lago di Candia (agosto 1982) e del lago Maggiore (giugno 1979). La profondità è espressa in metri sulle ordinate mentre la temperatura è espressa in gradi centigradi sulle ascisse.



**Fig. 7.12** - Curve termiche invernali del lago di Candia (febbraio 1982) e del lago Mergozzo (gennaio 1975). La profondità è espressa in metri sulle ordinate mentre la temperatura è espressa in gradi centigradi sulle ascisse.

La stratificazione termica ed il volume dell'ipolimnio dipendono da numerosi fattori: il clima (temperature estive e vento), le caratteristiche biologiche e quelle fisiche-chimiche delle acque, la morfologia della cuvetta lacustre e soprattutto la profondità. Il criterio per distinguere i laghi dagli stagni potrebbe essere l'esistenza o meno della stratificazione termica nella stagione estiva, che permette di distinguere la presenza di un dominio buio di acque fredde e profonde. Secondo le definizioni della letteratura idrobiologica, uno dei criteri per tale distinzione è la profondità; essa è il fattore principale nel condizionare il fenomeno della stratificazione termica. Assumendo tale criterio, nelle regioni con clima temperato, tutti i laghi con profondità massima inferiore a 10 m dovrebbero essere considerati stagni; tuttavia, rispetto alla tradizione toponomastica, è difficile definire "stagni" grandi specchi d'acqua come il Trasimeno (124 km<sup>2</sup> di superficie e 6,3 m di profondità massima), anche se in esso non si forma un vero e proprio ipolimnio. Al contrario si può ritenere improprio definire "lago" il bacino di Mezzo Mantova con superficie inferiore a 0,6 km<sup>2</sup> e con una profondità massima di appena 4 m. Due bacini con caratteri morfometrici e profondità massime

analoghe, potrebbero presentare curve termiche diverse in funzione dei numerosi altri fattori ambientali che ne determinano le caratteristiche. Si possono presentare situazioni molto diverse, per cui non sempre è possibile evidenziare andamenti termici delle acque tali da poter distinguere chiaramente le fasce stratificate come suggerisce la teoria. Quando si vogliono determinare criteri certi per distinguere le zone umide, come sempre accade ogni qualvolta si tenti di classificare gli “oggetti” e i “fenomeni” naturali, sorgono complicazioni e situazioni intermedie di difficile catalogazione. In tali casi non conviene insistere eccessivamente sulla nomenclatura, ma piuttosto descrivere dettagliatamente i fenomeni oggetto di studio.

In autunno la temperatura dell'aria diminuisce condizionando anche quella delle acque superficiali; diminuisce il gradiente termico con la profondità ed il rimescolamento, che prima coinvolgeva quasi esclusivamente l'epilimnio, interessa anche le acque più profonde. Con l'avanzare della stagione viene eliminata quella sorta di barriera fisica che divideva le acque superficiali da quelle profonde impedendone il rimescolamento. Nei piccoli laghi, nei quali al termine della stagione estiva non esiste una netta stratificazione, dove le acque più profonde riescono a scaldarsi e quindi minore è il gradiente termico, in breve tempo si raggiunge l'omeotermia, con temperature di  $10 \div 12$  °C. Anche nei laghi alpini si raggiunge in poco tempo l'omeotermia, ma per ragioni opposte e con una temperatura molto più bassa; infatti la scarsa differenza termica fra acque profonde e superficiali questa volta è dovuta al fatto che le seconde vengono poco riscaldate in estate per ragioni climatiche. Nei grandi e profondi laghi, in regioni con clima temperato (per esempio i laghi marginali sud-alpini), le acque dell'ipolimnio, in conseguenza di una netta stratificazione termica estiva, sono molto fredde, con temperature intorno a 4 °C o poco superiori, simili a quelle delle acque durante la situazione di omeotermia precedente il riscaldamento primaverile e molto più basse rispetto a  $20 \div 25$  °C della superficie. Di conseguenza occorre più tempo perchè il raffreddamento degli strati superficiali comporti abbassamenti di temperatura fino ai livelli del freddo ipolimnio.

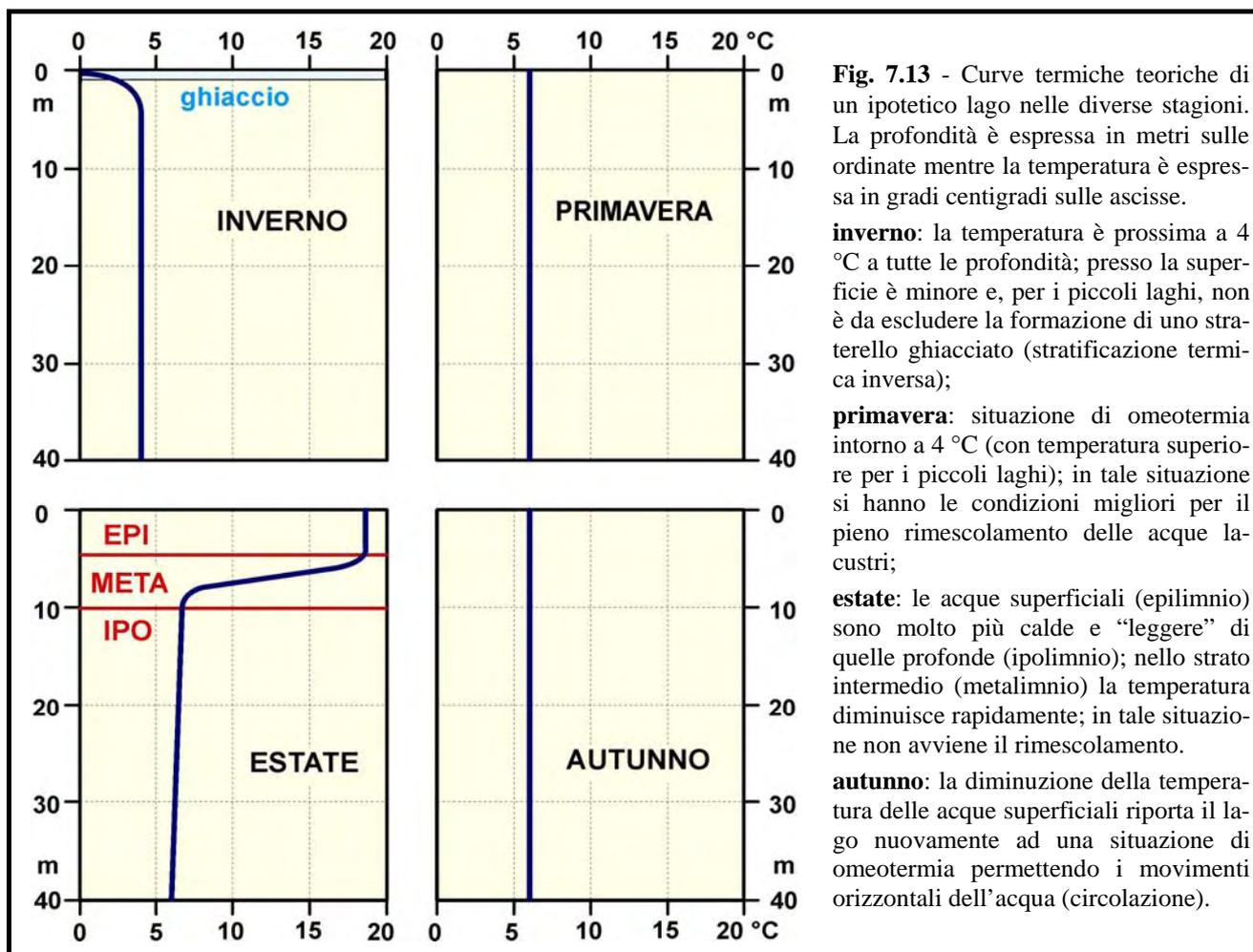
Verso il tardo autunno (o all'inizio dell'inverno) la temperatura raggiunge valori prossimi a 4 °C a tutte le profondità giungendo ad una situazione di omeotermia, analoga a quella dell'inizio di primavera; questa situazione consente nuovamente il pieno rimescolamento delle acque. Nella stagione invernale continua il raffreddamento delle acque superficiali; a temperature inferiori a 4 °C la densità è minore e si forma uno straterello più freddo che galleggia sull'acqua sottostante. La **fig. 7.12** illustra due esempi dalla quale si osserva come nei piccoli laghi (per esempio Candia) la temperatura delle acque può risultare inferiore a 4 °C fino in prossimità del fondo e risultare ancora inferiore presso la superficie con conseguente formazione di ghiaccio. Questo limita la perdita di calore verso l'esterno ed evita l'abbassamento della temperatura ai valori prossimi allo zero e i rischi di congelamento delle acque profonde con gravi conseguenze per gli organismi. Questo fenomeno è caratteristico anche delle zone umide ad acque stagnanti di minori dimensioni e profondità dei laghi (stagni e paludi).

Nei laghi profondi il volume è talmente grande che la temperatura delle acque rimane superiore al valore corrispondente alla massima densità (4 °C). Nel lago di Mergozzo (gennaio 1975; **fig. 7.12**) la temperatura delle acque in prossimità del fondo (70 m) era di 5,3 °C. Nel più grande lago Maggiore, nel febbraio 1979, a 360 m di profondità, la temperatura era pari a 6,3 °C. Data la bassa temperatura media dell'aria durante l'inverno, anche se molto difficilmente si formano strati di ghiaccio, le acque superficiali sono leggermente più fredde e la curva termica risulta, verso la superficie, leggermente piegata a sinistra, all'opposto di quanto accade in estate (*stratificazione inversa*). Alla fine dell'inverno ritorna la situazione descritta precedentemente e inizia un nuovo ciclo. La massa ipolimnica dei più grandi laghi subalpini è tale per cui il raffreddamento autunnale non è sufficiente a portare la temperatura delle acque superficiali agli stessi valori di quella delle acque profonde; durante il tardo autunno non viene ancora raggiunta l'isotermia, ma bisogna aspettare la fine dell'inverno per avere la piena circolazione. La **fig. 7.13** riassume l'andamento termico delle acque di un lago in funzione delle stagioni.

La successione di eventi termici sopra descritta è un modello schematico. A seconda del clima, delle vicende meteorologiche mutevoli di anno in anno, del volume e della forma del lago e di altre variabili, le situazioni reali si discostano più o meno dal modello teorico. I laghi possono essere classificati in funzione delle caratteristiche delle curve termiche stagionali; è una classificazione molto semplice, che soffre delle limitazioni che emergono ogni volta che si tenta la catalogazione di fenomeni naturali complessi:

- **laghi di tipo polare**; temperatura dell'intera massa d'acqua permanentemente inferiore a 4 °C; superficie del lago sempre ghiacciata, situazione perenne di stratificazione termica inversa con assenza di periodi di piena circolazione (laghi **amittici**); in Italia sono praticamente assenti laghi di questo tipo;

- **laghi di tipo sub - polare**; solo durante la breve estate le acque sono prive di ghiaccio, con temperature in superficie leggermente superiori a 4 °C; si ha un solo periodo estivo di isoterma (laghi **monomittici freddi**); in Italia sono i laghi alpini di alta quota;
- **laghi di tipo temperato**; si verifica la successione di eventi sopra descritta, con stratificazione termica inversa nell'inverno e diretta nell'estate; per il fatto di presentare due periodi all'anno di isoterma e di piena circolazione vengono detti **dimittici**;
- **laghi di tipo sub - tropicale**; temperatura delle acque di fondo superiore a 4 °C; un solo periodo di isoterma (piena circolazione) alla fine dell'inverno (**monomittici caldi**); sono tali i più grandi laghi subalpini;
- **laghi di tipo tropicale**; l'intera massa d'acqua ha sempre temperatura superiore a 4 °C; non esiste una netta stratificazione termica data la scarsa differenza di temperatura tra superficie e fondo (**anisomittici**).



Esiste quindi la possibilità di classificare i laghi con criteri di tipo climatico oppure (o contemporaneamente) in funzione della frequenza dei momenti di piena circolazione nell'arco dell'anno. Tuttavia non sempre è possibile una buona corrispondenza fra i due criteri; tutto ciò è complicato dalla necessità di distinguere i laghi che almeno una volta all'anno presentano una situazione di piena circolazione quando sono isotermi (**olomittici**) da quelli nei quali l'acqua di fondo non entra mai in circolazione (**meromittici**). Se si tiene conto della possibilità di numerose situazioni intermedie di difficile catalogazione, emerge quanto è complesso ed opinabile definire con sicurezza un lago in funzione delle caratteristiche termiche. Inoltre possono verificarsi casi di curve termiche anomale; in particolare si possono citare:

- **dicotermia**; durante la stratificazione estiva il minimo di temperatura non si trova alla massima profondità, ma ad un livello intermedio; questa anomalia è spesso dovuta alla presenza di immissari, le cui acque fredde si inseriscono fra uno strato superiore più caldo ed uno inferiore anch'esso più caldo, ma di densità maggiore per la presenza di elevate concentrazioni di soluti;

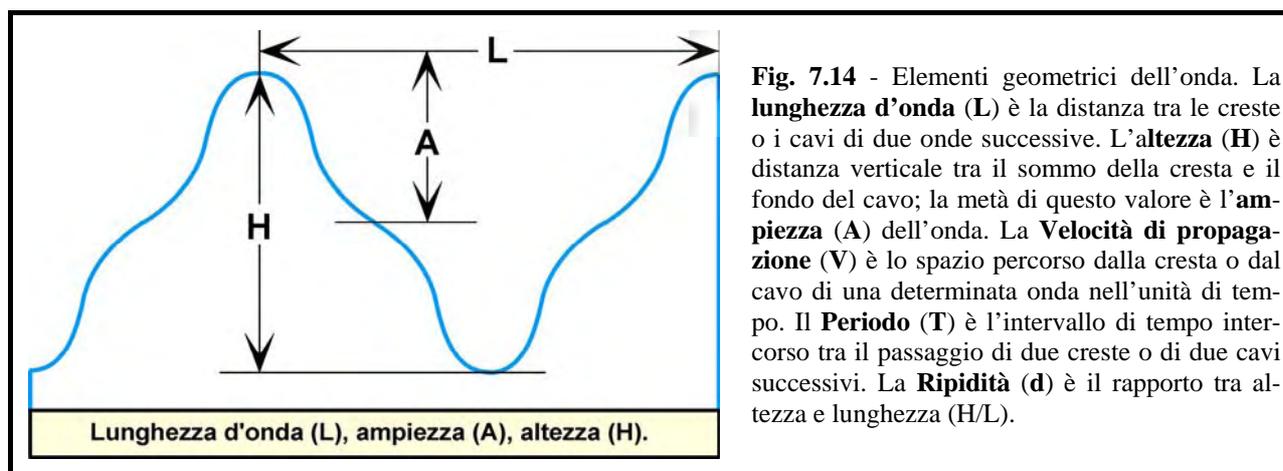
- **mesotermia**; nella tarda estate o all'inizio dell'autunno, il massimo di temperatura non si trova in superficie, ma ad un livello intermedio; l'origine può essere attribuita ad apporti di acque minerali calde da sorgenti o da immissari che vanno a collocarsi alla profondità alla quale corrisponde la giusta densità;
- **poichilotermia**; è un fenomeno molto raro ed è caratterizzato dalla coesistenza di più strati alla temperatura massima, con altri a temperatura minima.

Una attenzione particolare merita l'analisi dello **stato meromittico**. La massa d'acqua di fondo che non entra in circolazione viene detta **monimolimnio**; gli strati superiori che possono essere liberamente mescolati costituiscono il **mixolimnio**; la fascia di transizione prende il nome di **chemoclinio**. I laghi meromittici sono poco produttivi; l'isolamento del monimolimnio, la conseguente scomparsa dell'ossigeno ed i processi di decomposizione anaerobica che vi avvengono, determinano la comparsa di varie sostanze riducenti. I sedimenti profondi assumono colore nero o grigio - nerastro ed hanno più o meno il caratteristico odore di acido solfidrico. È necessario sottolineare che non è corretto parlare in termini assoluti di laghi oloimittici e meromittici, in quanto esistono anche numerosi casi per cui la piena circolazione può coinvolgere o meno le acque più profonde in funzione, anno per anno, delle vicende meteorologiche. In genere nei bacini più profondi (per esempio Garda e Maggiore) non in tutti gli anni vi è piena circolazione.

## 7.4 - Il moto ondoso

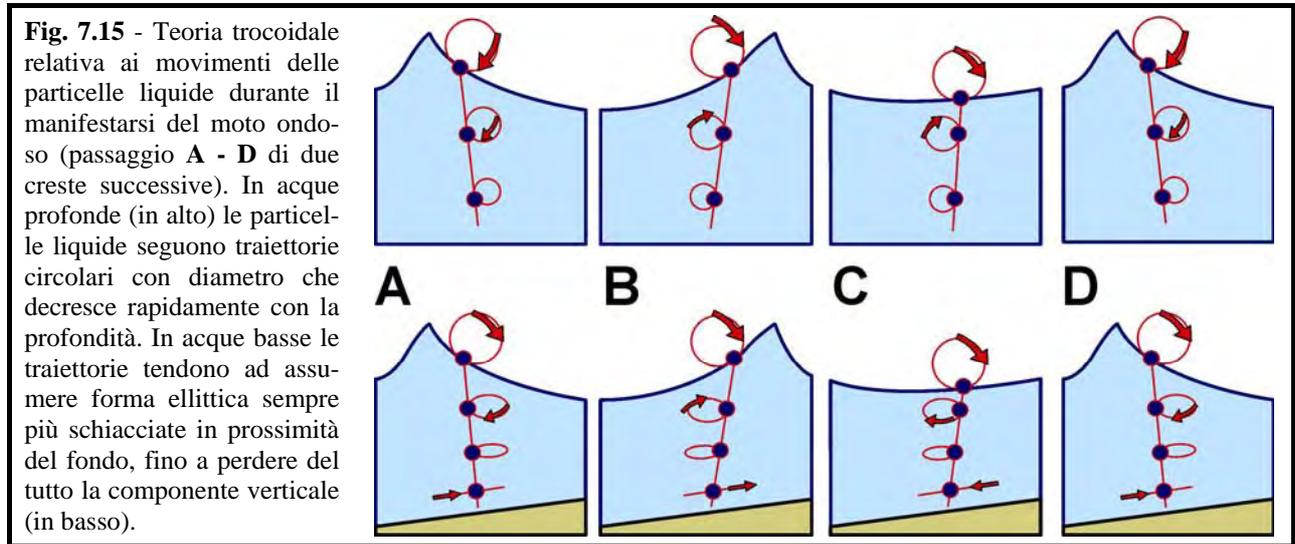
Il vento, soffiando sulla superficie dei laghi, cede energia determinando il moto ondoso, una serie di movimenti dell'acqua riconducibili essenzialmente ad oscillazioni di ampiezza molto variabile. Se si immagina di collocare un galleggiante sulla superficie dell'acqua in presenza di onde, esso si muove con ampi movimenti prevalentemente verticali, alzandosi in corrispondenza di una cresta ed abbassandosi al passaggio di una depressione fra due onde successive, ma senza spostarsi sensibilmente lungo la superficie. Gli spostamenti verticali del galleggiante e l'apparente spostamento orizzontale dell'acqua dimostrano che le onde trasportano energia, ma non comportano trasporto di materia.

I movimenti verticali dell'acqua al passaggio delle onde coinvolgono anche gli strati sottostanti favorendo, in una certa misura e fino a limitate profondità, il rimescolamento e il trasporto di calore. Se le caratteristiche fisiche delle acque dell'epilimnio in un lago ben stratificato, sono relativamente costanti, ciò è anche dovuto dal rimescolamento indotto dal moto ondoso. Per lo stesso motivo è possibile un certo rimescolamento fino agli strati in prossimità del fondo nei piccoli laghi con profondità massima di pochi metri. L'azione di rimescolamento indotto dal moto ondoso interessa gli strati superficiali in fase di stratificazione termica e contribuisce alla circolazione generale durante la situazione di omeotermia. Tale azione è tanto più efficace quanto maggiore è l'energia ceduta dal vento. Data l'importanza di tale fenomeno si è ritenuto opportuno ricordare alcune definizioni (**fig. 7.14**).



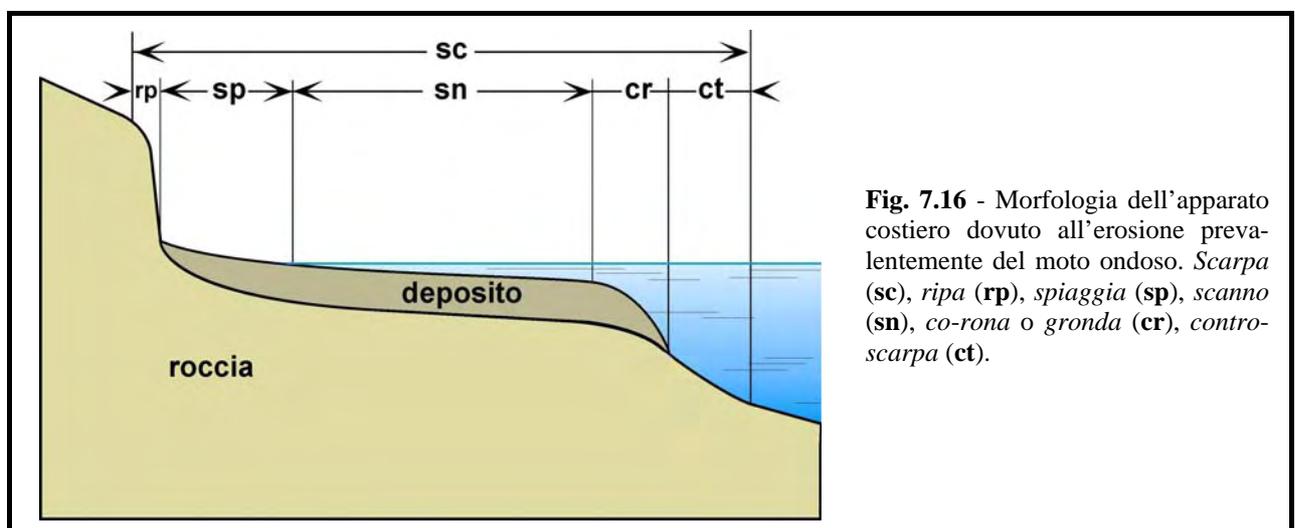
Dove l'acqua è profonda (**Fig. 7.15**) le particelle si muovono in orbite circolari, compiendo un giro completo in un tempo uguale a quello del periodo; il diametro di tali orbite è uguale all'altezza delle onde (teoria trocoidale). Questo schema riesce a mantenersi se la lunghezza d'onda è sufficientemente lunga rispetto all'altezza. Quando la lunghezza d'onda diminuisce (per esempio a causa del vento che diventa più veloce) fino a diventare circa sette volte la sua altezza, le particelle ruotano nelle loro orbite circolari ad una

velocità superiore a quella di propagazione dell'onda. Questa diventa instabile e frange determinando uno spostamento di particelle nella stessa direzione del vento. Sotto la superficie le particelle si muovono in orbite di diametro sempre più piccolo e a una profondità pari a mezza lunghezza d'onda, il diametro dell'orbita circolare è meno di un ventesimo di quello alla superficie. Si può ritenere che l'azione del vento è praticamente trascurabile intorno a 10 m di profondità.



In acqua profonda le onde più lunghe viaggiano più velocemente di quelle corte e in linea di massima il modello sopra descritto è sufficiente. In acqua bassa la situazione cambia; dove la profondità è inferiore a mezza lunghezza d'onda, le onde cominciano a “sentire” la resistenza del fondo e il moto circolare delle particelle d'acqua si appiattisce assumendo forma ellittica (**fig 7.15**). Le ellissi diventano sempre più piatte fino a che, presso il fondo, la componente verticale si annulla e le particelle si spostano alternativamente avanti e indietro secondo traiettorie parallele al fondo. Questo effetto è evidente nelle riprese subacquee effettuate a bassa profondità, dove è possibile osservare i detriti che, in prossimità dei fondali, si muovono ritmicamente sfiorando le superfici. Quando il moto ondoso è dotato di grande energia (onde più ampie e veloci), nei bassi fondali, si possono avere fenomeni di intorbidimento dell'acqua in conseguenza della diffusione delle particelle detritiche messe in movimento dall'energia dell'acqua.

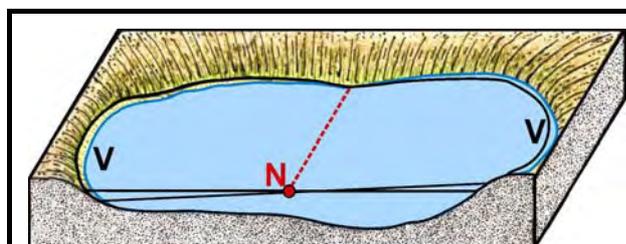
Quando l'onda arriva sui fondali meno profondi avvicinandosi alla riva, tende a frangersi e a “spingere l'acqua” a risalire lungo il pendio per tornare indietro verso il largo. In tal modo l'acqua mette in movimento le particelle detritiche facendole “scorrere” sul fondo o facendole “urtare” contro superfici ripide di coste rocciose. Questa è l'azione tipica dell'erosione costiera che può essere considerata una forma di corrosione; l'acqua modella le coste dei laghi (**fig. 7.16**) e limita, con il continuo movimento indotto dal moto ondoso, la sedimentazione nelle acque basse immediatamente sovrastanti le rive; l'accumulo dei sedimenti è pertanto facilitato alle profondità superiori a quella fin dove il moto ondoso fa sentire energeticamente i suoi effetti.



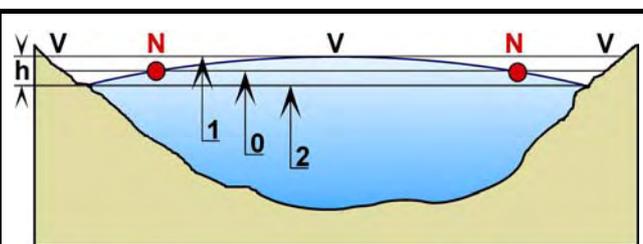
## 7.5 - Le sesse

Si supponga di disporre di una bacinella parzialmente colma, con l'acqua inizialmente in quiete. Sollevando leggermente una estremità della bacinella e riportandola repentinamente nella posizione iniziale, la superficie dell'acqua si solleva ad una estremità abbassandosi contemporaneamente in corrispondenza di quella opposta; quindi le posizioni si invertono per tornare nuovamente a quelle precedenti. Si ha una oscillazione attorno ad un asse orizzontale con i massimi spostamenti verticali alle estremità della bacinella; con il tempo l'energia viene dissipata per attrito, e l'oscillazione si smorza fino ad estinguersi del tutto.

La **fig. 7.17** mostra un fenomeno analogo a quello della bacinella, ma riferito ad un lago (**sesse superficiali**), dove sono evidenziati il **nodo** (punto, al centro della massa d'acqua, in cui sono nulli i movimenti di oscillazione) e i **ventri** (anche detti **antinodi**, punti alle estremità del lago di massima oscillazione). I cambiamenti di livello lasciano ritmicamente "a secco" lembi di spiaggia, da cui il termine francese "seiche", dato al fenomeno dai pescatori del Lemano. Le sesse di questo tipo vengono dette uninodali, ma possono presentarsi anche con più nodi (**fig. 7.18**); in tali casi vengono denominate binodali o trinodali. Il dislivello tra il massimo e il minimo in corrispondenza del ventre è detto **ampiezza**, mentre il periodo di tempo compreso tra due alti (o bassi) livelli successivi è il **periodo**. La prima dipende dalla intensità del fenomeno che innesca la sessa e non ha influenza sul periodo (aumenta dove la cuvetta lacustre si restringe). Il secondo cresce all'aumentare della lunghezza del bacino e diminuisce con la profondità. Quindi tale fenomeno è largamente condizionato dalle caratteristiche morfometriche del lago.



**Fig. 7.17** - Oscillazione delle acque in un lago: **sesse uninodale**. Il punto che si trova sull'asse di oscillazione (linea tratteggiata rossa) viene detto "nodo" (N), mentre gli estremi del lago, dove massima è l'oscillazione, vengono detti "ventri" (V).



**Fig. 7.18** - **Sessa binodale** con due nodi (N) e tre ventri (V). È rappresentato il momento di massima altezza (1) del ventre centrale sul livello di equilibrio e di livello minimo dei ventri periferici. L'oscillazione completa si raggiunge con le posizioni invertite. L'altezza di oscillazione è  $h$  = differenza fra i livelli massimo e minimo.

Le sesse sono difficili da studiare; spesso si sovrappongono e con movimenti di acque di origine diversa. Nei bacini vallivi, stretti, profondi ed allungati, vi sono le condizioni favorevoli per lo sviluppo di sesse pronunciate soprattutto in senso longitudinale. Nel Benaco, nel Verbano e nel Lario le sesse uninodali hanno un periodo di circa 40 minuti. Nel lago di Garda vi sono una sessa con oscillazione longitudinale uninodale il cui periodo è di 43 minuti, una sessa binodale con periodo di 23 minuti e una trinodale con periodo di 16 minuti. Nel lago Eire, nel 1892, è stata osservata una sessa con ampiezza di quasi 5 metri. Nell'Aral sono state osservate sesse con periodo di 22 ore. Il vento, spirando a lungo nella stessa direzione, può accumulare acqua ad una estremità del bacino; al cessare della sua azione, si instaurano oscillazioni che, col tempo, si esauriscono. L'equilibrio del livello delle acque può essere modificato da differenze locali della pressione atmosferica a causa di intensi temporali. Le sesse, provocando spostamenti periodici delle masse d'acqua, generano deboli moti di corrente, dell'ordine di pochi centimetri al secondo.

Gli squilibri di livello delle acque superficiali generano oscillazioni delle acque sottostanti (**sesse interne**). Quando il vento accumula acqua verso una estremità del lago, lo spessore dell'epilimnio aumenta con sprofondamento del termoclinio. Al cessare del vento inizia l'oscillazione delle acque superficiali; a quel punto si ha una diminuzione dello spessore dell'epilimnio e il termoclinio risale ad una profondità inferiore a quella di equilibrio. Viene innescata anche una oscillazione del metalimnio, ma con periodi ed ampiezze superiori. Considerato che i vari strati d'acqua non si mescolano conservando le proprie caratteristiche ed in particolare la temperatura, le sesse interne sono osservabili disponendo di una serie di sensori termici disposti a diverse profondità lungo una verticale in corrispondenza di un determinato punto sulla superficie. È possibile constatare che un determinato strato, caratterizzato da un preciso valore di temperatura, si innalza e si abbassa denunciando una pulsazione relativamente profonda delle acque del lago.

## 7.6 - Le correnti

Il vento è la causa principale della formazioni di correnti. Quando esso spira sulla superficie, oltre a determinare movimenti verticali (con formazione di onde), “spinge” le particelle liquide, “strappandole” dalla loro giacitura e mettendole in movimento con il coinvolgimento di quelle sottostanti, ma che si muovono meno velocemente. Si forma una **corrente superficiale di deriva**, una forma di trascinamento meccanico di lame d’acqua sovrapposte la cui velocità diminuisce rapidamente con la profondità.

La velocità media delle correnti di deriva (intorno al 2 % di quella del vento) dipende dalla forza del vento e dalla sua inclinazione rispetto alla superficie dell’acqua. Se poco inclinato la sua azione è poco efficace e lo spessore della corrente molto limitato. Se intenso e molto inclinato si innesca rapidamente una corrente più veloce e profonda. Gli strati superficiali vengono forzati nei confronti di quelli sottostanti riuscendo in parte a penetrare in essi pur essendovi differenza di densità dell’acqua che si oppone al rimescolamento. Il vento, attraverso la formazione di correnti e la turbolenza provocata dal moto ondoso, fornisce energia per il rimescolamento nell’epilimnio (sufficiente ad impedire accentuati gradienti fisici e chimici al suo interno) e più in profondità nelle situazioni di omeotermia (talora da consentire la piena circolazione).

Il regime delle correnti superficiali dipende dalle caratteristiche morfometriche del lago e dal clima (in funzione della ventosità). Sulle ampie superfici, a parità di intensità e di inclinazione del vento, le correnti si sviluppano meglio che sui piccoli laghi. Importante è l’orientamento rispetto ai venti dominanti; i laghi marginali italiani sono prevalentemente orientati lungo i meridiani in valli più o meno incassate nelle quali gli intensi venti da Nord si incanalano scendendo dalle montagne; si manifestano intense correnti che possono tra l’altro contribuire ad accumulare acque presso i margini meridionali innescando le sesse.

Quando viene provocata una corrente, che ha origine per esempio ad una estremità del lago, l’acqua si allontana da quella zona determinando non solo fenomeni di sessa, ma anche richiami di masse liquide dagli strati sottostanti. Si forma una corrente di risalita che, a sua volta, richiama acqua dagli strati profondi circostanti. Nella zona dove, spinta dal vento, si accumula l’acqua, si formano correnti discendenti in parte richiamate dalle masse liquide che si sono spostate orizzontalmente verso le zone dove si sono innescate le correnti di risalita. Il tutto è molto simile a correnti convettive analoghe a quelle che si possono osservare in una pentola scaldata dal basso, anche se le cause sono del tutto diverse.

I meccanismi e le direzioni delle correnti si presentano in natura con situazioni più complesse di quella appena descritta, ma lo schema di principio rimane valido. Ciò che importa è mettere in evidenza che questo sistema di circolazione determina un certo rimescolamento delle acque contro la resistenza offerta dalla diversa densità degli strati con differenti temperature. Ma vi è un preciso limite fisico; tale rimescolamento è presente entro strati le cui caratteristiche non sono molto diverse; il lavoro necessario per rimescolare acque con elevate differenze termiche risulta troppo grande. Questo limite è rappresentato dal termoclinio; al contrario sappiamo che in situazione di omeotermia la densità dell’acqua è simile a tutte le profondità.

In condizioni di stratificazione termica lo schema di circolazione sopra descritto coinvolge esclusivamente l’epilimnio, determinando un certo rimescolamento esclusivamente al suo interno (**fig. 7.19**). La corrente di ritorno negli strati inferiori dell’epilimnio coinvolge anche gli strati d’acqua più profondi; questi, più freddi e pesanti, non si mescolano con le acque sovrastanti, ma vengono messi in movimento nella stessa direzione. Si forma una corrente negli strati superiori dell’ipolimnio che innesca una circolazione nella massa d’acqua profonda. Si hanno due circolazioni speculari, una con correnti più veloci che determina un certo rimescolamento nell’epilimnio ed un’altra con correnti più lenti che provoca un debole rimescolamento nella più grande massa ipolimnica. In ogni caso, salvo situazioni eccezionali, nei laghi ben stratificati, le due zone rimangono ben separate non essendovi rimescolamento fra esse.

Durante le notti estive il raffreddamento degli strati superficiali può essere tale da far assumere all’acqua valori termici leggermente inferiori a quelli immediatamente sottostanti. Essa diventa più pesante e scende sostituendosi all’acqua più profonda che risale in superficie. Sono vere e proprie **correnti di convezione** che, ancora una volta, coinvolgono esclusivamente l’epilimnio in estate e tutta la massa del lago nei periodi di piena circolazione. Correnti convettive possono instaurarsi anche in quei laghi in cui sono presenti zone all’ombra di rilievi adiacenti; in quelle aree, mancando il riscaldamento diretto del Sole, le acque possono risultare leggermente più fredde di quelle adiacenti; le prime sprofondano e vengono sovrastate dalle seconde più leggere, innescando una controcorrente in profondità.

Le acque convogliate da un immissario sono in genere, soprattutto in estate, più fredde e più cariche di materiali solidi e quindi più dense delle acque superficiali del lago. La corrente d’acqua si immerge

scivolando lungo il profilo della costa sommersa, sino alla profondità alla quale la densità dell'acqua fluviale e quella d'acqua lacustre si uguagliano. Da quel momento la **corrente di immissario** decorre orizzontalmente fino a quando non viene smorzata dalla resistenza meccanica offerta dalle acque lacustri circostanti. Nella maggior parte dei casi questo fenomeno avviene al di sopra del termoclinio coinvolgendo quindi soltanto le acque epilimniche. La corrente di emissario può provocare un richiamo d'acqua dalla porzione superficiale del lago che esso emunge; si tratta di un movimento raramente cospicuo. È doveroso ricordare che se l'emunzione di un lago da parte dell'emissario non è molto importante dal punto di vista idraulico, la sottrazione d'acqua dagli strati superficiali comporta altri fenomeni ben più significativi, quali la perdita di energia termica e di sostanza vivente sospesa (plancton).

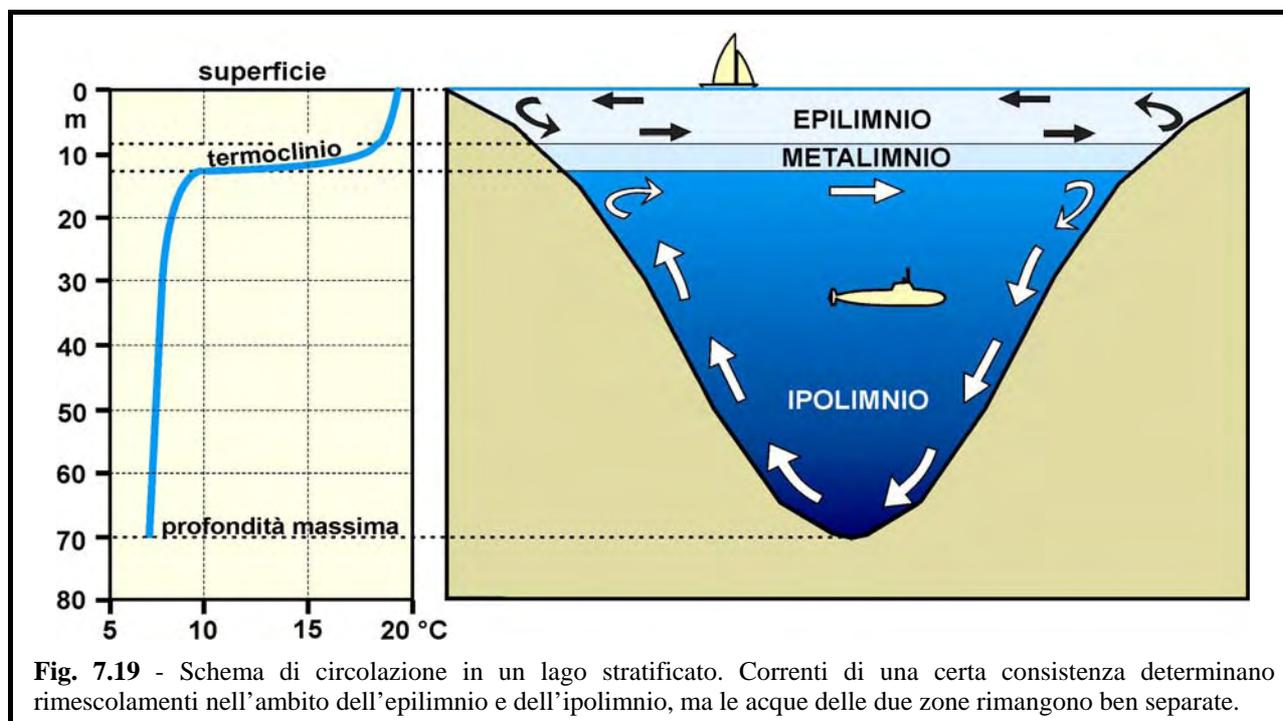


Fig. 7.19 - Schema di circolazione in un lago stratificato. Correnti di una certa consistenza determinano rimescolamenti nell'ambito dell'epilimnio e dell'ipolimnio, ma le acque delle due zone rimangono ben separate.

Vale la pena citare ancora le **correnti di torbida**. Sono dovute a vere e proprie "frane subacquee" lungo le scarpate in seguito a crolli di materiali detritici trasportati dagli immissari e sedimentati sull'orlo delle scarpate stesse. I cedimenti improvvisi mettono in moto grandi masse d'acqua particolarmente densa per il notevole carico solido; quest'ultimo non viene semplicemente accumulato al piede della scarpata, ma trasportato da una corrente profonda a notevoli distanze prima di sedimentare definitivamente sul fondo.

## 7.7 - Recupero naturalistico dei bacini artificiali

Il ripristino di zone umide marginali, alterate o artificiali e la realizzazione di nuovi ambienti umidi, è importante per la conservazione degli Uccelli acquatici, secondo solamente alla conservazione prioritaria degli ambienti umidi naturali ancora esistenti. Il numero di specie animali ed in particolare di Uccelli di uno stagno (o altra zona umida assimilabile) è condizionato da alcuni fattori fisici e vegetazionali; esso cresce con l'aumentare della superficie dello stagno. Un'ambiente acquatico di una decina di ettari può ospitare il 30 ÷ 40 % delle specie nidificanti in una regione posta alle nostre latitudini. Molti studi di valutazione di impatto ambientale sono connessi alla realizzazione di zone umide ad acque stagnanti artificiali, quali:

- **Vasche di colmata.** Bacini per l'accumulo di torbide mediante deposito. Non vi sono le condizioni per l'affermazione di cenosi acquatiche stabili. Sono oggetto di rimaneggiamenti che coinvolgono soprattutto le rive, spesso poco o nulla vegetate. Le vasche abbandonate sono destinate ad un rapido colmamento.
- **Invasi di ritenuta.** Bacini per l'accumulo di acqua dei fiumi per usi idroelettrici, irrigui, potabili, promiscui,... Spesso poco interessanti dal punto di vista naturalistico per le ampie variazioni del livello che limita l'affermazione di cenosi acquatiche stabili e la formazione di vegetazione riparia. In montagna si sono rivelati relativamente adatti alla riproduzione di rana temporaria ed alla immissione di salmerini.

- **Casse di espansione.** Bacini per l'accumulo delle piene dei corsi d'acqua. In qualche caso costituiscono un'occasione per la ricostituzione di zone umide ad acque stagnanti (simili a stagni o paludi) adatte sia per le cenosi acquatiche, sia per quelle strettamente legate all'acqua (Anfibi e molte specie di Uccelli).
- **Cave a laghetto.** Piccoli laghi dovuti alle attività di estrazione di sabbia e ghiaia, spesso collocati nelle fasce di pertinenza fluviale dei corsi d'acqua di pianura. Nella maggior parte dei casi sono ambienti caratterizzati da una notevole profondità e da ripe molto ripide.
- **Stagni artificiali.** Invasi di ritenuta analoghi a quelli succitati, ma caratterizzati da scarsa profondità e per fini prevalentemente irrigui. Si distinguono due ulteriori categorie. **Stagni artificiali appositamente realizzati** (profondità è inferiore a 6 metri; assenza di manutenzione assidua; naturalizzano in tempi più o meno rapidi, soprattutto quando non vengono utilizzati materiali da rivestimento). **Stagni artificiali per evoluzione da altre zone umide artificiali** (spesso interessanti dal punto di vista naturalistico, quasi o quanto gli stagni naturali; la loro evoluzione a stagno deriva in genere da zone umide originariamente non eccessivamente profonde o dopo lunghi tempi che hanno comportato un parziale colmamento, condizioni che favoriscono la diversificazione e l'arricchimento biologico).
- **Paludi artificiali.** Specchi d'acqua con profondità inferiore a 2 metri. Sono rari, spesso risultato dell'evoluzione di stagni realizzati per fini irrigui. Si distinguono le **paludi artificiali appositamente realizzate** (analogamente a quanto descritto per gli stagni artificiali, ma soprattutto per fini naturalistici; la loro tipologia è quasi sempre adatta per lo sviluppo di cenosi acquatiche e riparie ricche e diversificate) e le **paludi artificiali per evoluzione da altre zone umide artificiali** (valgono le considerazioni espresse per gli stagni artificiali, ma con tempi di evoluzione più lunghi che portano ad una maggiore diversificazione e ricchezza biologica, con livelli di trofia talora elevati).

Lo studio di impatto relativo alla realizzazione di un bacino artificiale deve prevedere un rapporto tecnico sugli interventi di naturalizzazione. Una zona umida ad acque stagnanti artificiale, una volta abbandonata, con la cessazione delle attività cantieristiche e/o produttive, si evolve verso una situazione pseudonaturale che, in molti casi, porta alla formazione di ambienti di interesse naturalistico. Tuttavia l'evoluzione verso situazioni naturali è assai lenta, generalmente della durata di decenni. È pertanto opportuno prevedere interventi tendenti sia ad accelerare il processo di naturalizzazione, sia ad orientare l'evoluzione verso equilibri caratterizzati dalla massima complessità biologica e quindi di maggiore interesse naturalistico.

I progetti devono prevedere finalità chiaramente indicate, in modo che la loro riuscita possa essere valutata con i successivi monitoraggi. In generale essi devono tendere a ricreare ambienti palustri paesaggisticamente attraenti, che abbiano la possibilità di sostenere una comunità ben diversificata, di cui facciano parte anche specie rare, minacciate o scomparse in tempi recenti a livello regionale. Gli ambienti dovrebbero essere anche produttivi, affinché per gli animali (ed in particolare gli Uccelli palustri) non rappresentino solo un luogo di sosta protetto, ma possano fornire anche abbondante alimentazione nei vari periodi dell'anno.<sup>1</sup>

Gli interventi utili alla rinaturalizzazione sono numerosi e la loro integrazione ed efficacia dipende dalle capacità dei tecnici progettisti coadiuvati da naturalisti botanici e zoologi di provata competenza. Data la complessità della materia è difficile fornire un quadro completo utile a rappresentare tutte le situazioni possibili (ciascuna delle quali, tra l'altro, può richiedere soluzioni particolari e non sempre riproponibili). Tuttavia si ritengono necessarie alcune considerazioni generali, relative ad alcuni parametri di base, tanto importanti, quanto spesso trascurati.

In sede di progetto è importante considerare le dimensioni dell'area naturale che si vuole realizzare, che non coincide esattamente con la superficie dello specchio d'acqua. Occorre prevedere una fascia intorno al lago (o stagno) sufficientemente estesa da consentire interventi di manutenzione, varie modalità di fruizione e la formazione di ambienti tipici che delimitano le zone umide. Interessante risulta la realizzazione di fossi e di piccoli stagni, meglio se privi di pesci, importanti per la riproduzione degli Anfibi. Questo gruppo conta

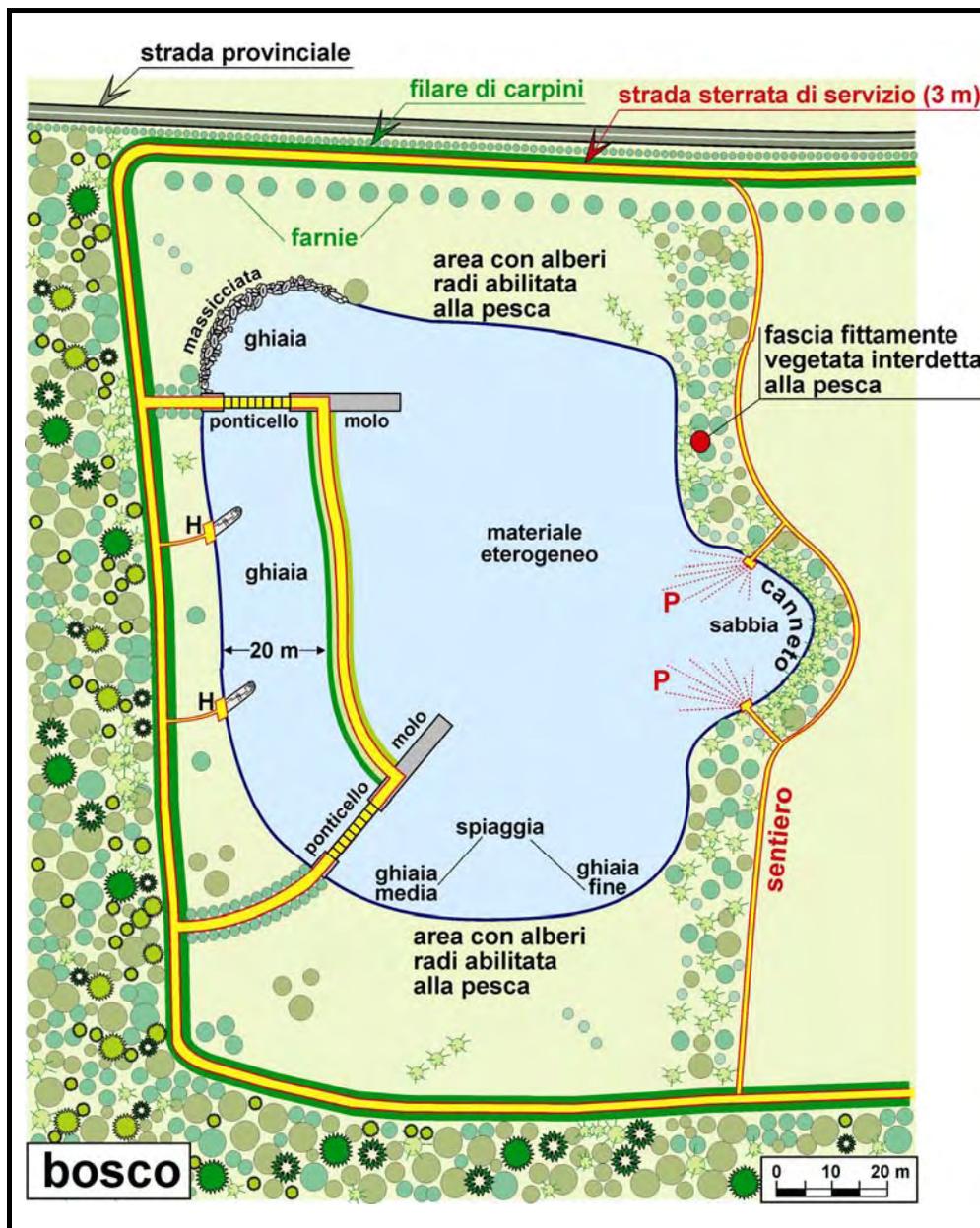
---

<sup>1</sup> La rinaturalizzazione di laghi di cava ha, come obiettivo principale, la formazione di ambienti eutroficamente ricchi, in grado di sostenere sistemi biologicamente produttivi e caratterizzati da maggiore biodiversità. Ciò è una contraddizione rispetto all'obiettivo di controllo del livello di trofia del sistema acquatico. L'eutrofizzazione di un lago di cava, soprattutto per le connessioni con i sistemi di falda, viene considerata negativamente. È probabile che tale questione sia sopravvalutata ed in ogni caso occorre effettuare delle scelte, in quanto, per evitare il naturale processo di eutrofizzazione, sarebbe necessaria la creazione di una sorta di assetto "deserto" nella fascia riparia intorno al lago, delimitata ed interdotta alla fruizione e nella quale venga limitata la colonizzazione biologica. Ma ciò costituirebbe il contrario rispetto alla necessità di trasformare gli ambienti devastati dalle attività in aree naturali, oggi ridotte a piccole frazioni rispetto ad un contesto territoriale ampiamente antropizzato.

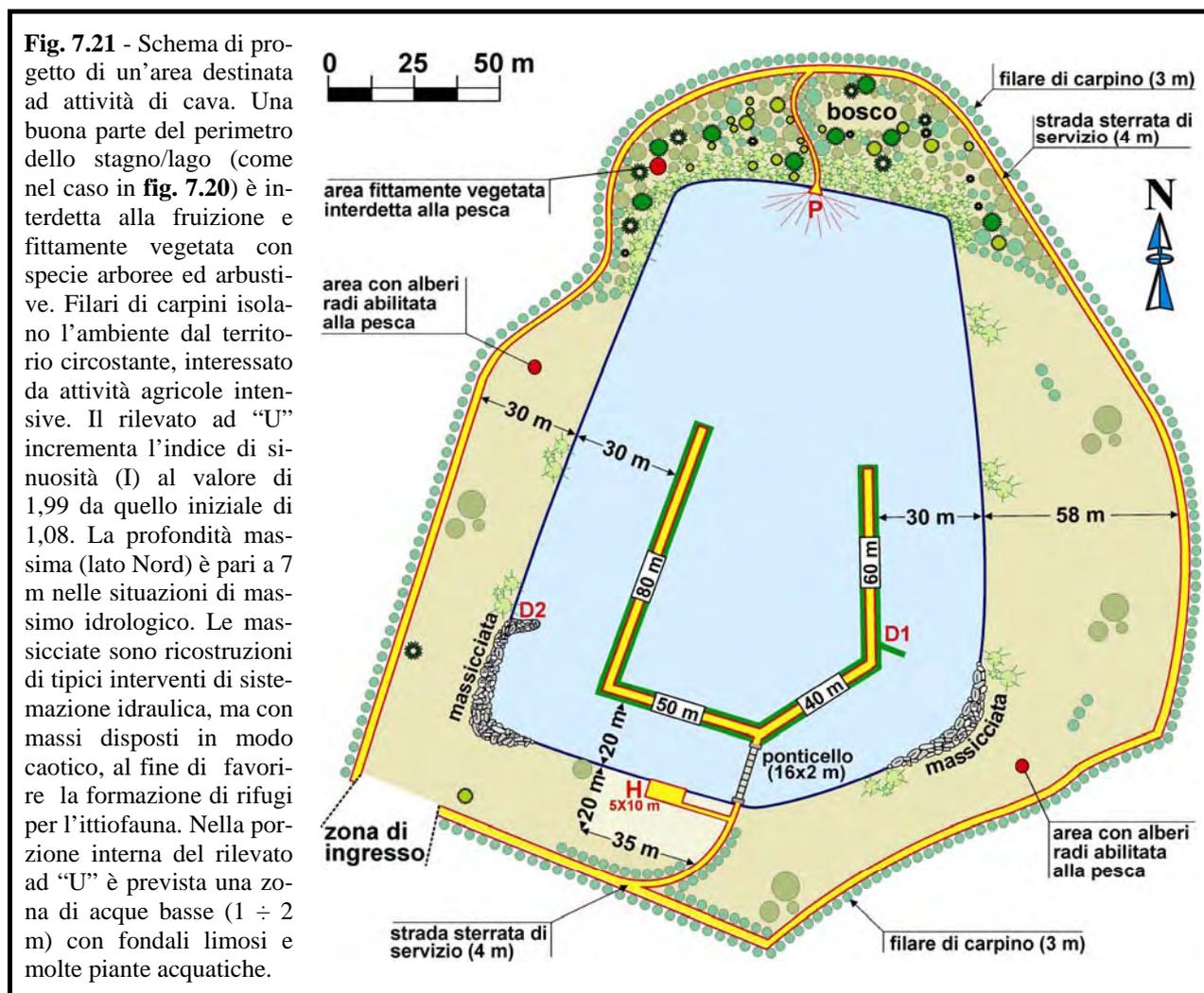
molte specie minacciate nei vari paesi europei e in Italia. Anche gli insetti acquatici possono essere abbondanti e con specie di notevole interesse conservazionistico, fra cui vari Odonati (libellule). È importante la realizzazione dei sistemi di transizione fra gli ambienti acquatici e quelli francamente terrestri; essi sono importanti per le seguenti ragioni:

- esercitano una funzione di “filtro” nei confronti di eventuali inquinanti derivanti dal territorio circostante;
- sono adatti ad ospitare numerosi organismi (per la ricchezza di rifugi e di situazioni adatte alla riproduzione) che utilizzano, per fini trofici, le zone umide, condizionandone le catene alimentari;
- contribuiscono alla diversificazione ambientale, soprattutto nelle aree di pianura (inserimento di specie vegetali attualmente poco diffuse ed azione di “richiamo” per molti animali).

Interessante risulta il prevedere, nell’area intorno agli ambienti acquatici oggetto di recupero, strutture tali da permettere ricerche scientifiche e opportunità di fruizione pubblica a diversi livelli e di sperimentazioni attinenti la gestione faunistica, i cui risultati possano essere utili per futuri interventi di ricostruzione ambientale di aree palustri. La **fig. 7.20** illustra un progetto di un ambiente (transizione tra stagno e lago) destinato all’accumulo di risorsa idrica ad uso agricolo. La **fig. 7.21** illustra un altro caso relativo ad un progetto di recupero connesso ad una attività di cava.



**Fig. 7.20** - Schema di progetto di una area prevista per uno stagno per la raccolta d’acqua destinata alla irrigazione e (come attività collaterale) alla pesca. Il lato Est dell’area umida è caratterizzato da una fascia riparia fittamente vegetata (ricostruita) e non accessibile alla fruizione (salvo due sentieri che portano a punti panoramici “P”). Il rilevato fra i due moli (realizzato con massi metrici) è utile per incrementare l’indice di sinuosità. Un filare di farnie ed un secondo più esterno di carpini (fra i quali è previsto un piccolo sterrato di servizio) isolano l’ambiente dalla strada provinciale. La profondità massima è di pochi metri. Il lato Sud è una sponda poco inclinata a form di spiaggia. Sono previste due piazzole (H) per portatori di difficoltà. Il bosco è preesistente. Il fondale è costituito da diverse frazioni, caratterizzate da materiali da granulometria differenziata.



In sede di progetto occorre considerare le possibilità d'uso alieutico e/o ricreativo/didattico e soprattutto le indicazioni di carattere generale che si ritengono, in linea di massima, estendibili alle diverse situazioni:

1. Elevato rapporto tra perimetro della zona umida rispetto alla sua superficie; questo aspetto può essere descritto quantitativamente mediante l'indice di sinuosità (capitolo nono) che deve risultare  $I \geq 1,4$ . La presenza di Uccelli è molto condizionata da questo parametro. A maggior perimetro corrisponde (a parità di superficie) una ricchezza maggiore. Molte specie nidificano presso l'interfaccia vegetazione/acqua o presso le zone di contatto fra due tipi di vegetazione diversa. La presenza di isole contribuisce all'incremento dell'indice di sinuosità; esse sono importanti per gli Uccelli che nidificano al suolo, che sono così più protetti rispetto ai predatori terrestri (cani randagi, volpi, mustelidi, ratti,...).
2. Indicando con " $A_1$ " [ $m^2$ ] la superficie dello stagno/lago (nella situazione di livello idrometrico medio) e con " $A_2$ " [ $m^2$ ] quella complessiva dell'intervento di recupero (la somma di quella dello specchio d'acqua più quella della porzione territoriale intorno) ed al fine di garantire gli spazi utili alla predisposizione di aree vegetate, alla fruizione e per la manutenzione, valgono, indicativamente, le relazioni:

$$A_2 \geq 3,6 \cdot A_1^{0,92} \quad \text{per } A_1 \leq 800.000 \text{ m}^2$$

$$A_2/A_1 \geq 1,2 \quad \text{per } A_1 > 800.000 \text{ m}^2$$

3. Almeno 1/4 della lunghezza del perimetro del lago/stagno deve essere occupata da un bosco ripario, utilizzando le specie arboree ed arbustive adatte (**tab. 7.1**) per formare una fascia con larghezza minima di 10 m; gli alberi vanno posti a distanze minime di 3 m l'uno dall'altro, per una densità media di 0,11 individui/ $m^2$  ed inferiore per gli arbusti, collocati in prevalenza sulla riva (prevedendo una parziale sommersione nelle situazioni di massimo idrologico).
4. Indipendentemente dai valori di  $A_1$  e di  $A_2$ , la larghezza ( $L$ ) della fascia compresa tra il perimetro dello specchio d'acqua e quello relativo al territorio complessivo oggetto di recupero deve essere  $L \geq 5 \text{ m}$ , che diventa  $L \geq 10 \text{ m}$  in corrispondenza delle porzioni di fasce interessate dalla realizzazione del bosco

ripario di cui al punto precedente. Il disegno dello scavo deve tenere conto, per quanto possibile, della vegetazione preesistente, al fine di conservare la maggior parte degli alberi spontanei che abbiano già raggiunto un certo grado di sviluppo. Occorre inoltre favorire, con opportuni interventi di rimboschimento, la formazione di alneti (alno-ulmion, alno-fraxinon) ed altra vegetazione riparia.

5. Indicando con “P” la profondità (nella situazione corrispondente al livello idrologico medio), deve risultare una porzione di superficie dello specchio d’acqua  $A_{6m} \geq 0,4A_1$  con  $P \leq 6 \text{ m}$ ,<sup>2</sup> di cui una porzione  $A_{2m} \geq 0,5A_{6m}$  ( $0,2A_1$ ) con  $P \leq 2 \text{ m}$ <sup>3</sup> ed ancora  $A_{1m} \geq 0,5A_{2m}$  ( $0,1A_1$ ) con  $P \leq 1 \text{ m}$ ,<sup>4</sup> in tal modo è garantita l’esistenza di ambienti con profondità adatte all’idrofauna ed alle piante acquatiche (tab. 7.2). Si tratta di indicazioni importanti. Infatti la massima ricchezza di specie e la massima densità di nidi si hanno quando il rapporto fra copertura della vegetazione e acque libere è compreso fra 1:1 e 1:2. Un rapporto di 1:1 tra specchi d’acqua libera e zone ricoperte da vegetazione è in molti casi ottimale. La copertura della vegetazione è favorita dalle porzioni della cuvetta lacustre caratterizzate da scarsa profondità. La gestione della profondità delle acque può rivelarsi utile per controllare la vegetazione: i temporanei cambi di livello possono infatti tenere a bada l’eccessiva crescita della vegetazione oppure il temporaneo disseccamento può essere utilizzato per favorirne l’incremento. Con il disseccamento parziale in certi periodi dell’anno si possono attirare facilmente specie quali Ciconiformi e Caradriformi.
6. Almeno 1/4 della lunghezza del perimetro del lago/stagno deve corrispondere alla porzione dello specchio d’acqua indicato con  $A_{2m}$  di cui al precedente punto 5; su gran parte del litorale sommerso (nelle zone dello scanno e della corona) e della fascia riparia emersa (spiaggia e ripa) devono essere previste (con il maggior numero di specie) le piante acquatiche sommerse e/o a foglie galleggianti o emerse (idrofite) e quelle tipiche della bordura esterna (elofite).<sup>5</sup> Nel caso in cui si intenda utilizzare la porzione di perimetro già prevista per il bosco (di cui al precedente punto 3), diventa necessario realizzare la successione tipica di ambienti nella fascia di transizione (piante sommerse nella corona, piante a foglie galleggianti nello scanno, piante semisommerse nella bordura interna, elofite nella bordura esterna, arbusti sulla ripa ed infine alberi nella fascia retrostante); in tal caso si impone  $L \geq 15 \text{ m}$ . Le tabb. 7.1 e 7.2 riportano gli elenchi delle piante che possono essere utilizzate.
7. Indicando con “ $Z_{med}$ ” e “ $Z_{max}$ ” rispettivamente le profondità media e massima dello stagno/lago (riferite ad  $A_1$ ), deve indicativamente valere un indice di incavamento  $Z_{med}/Z_{max} < 0,5$ ; ciò al fine di evitare, in sede progettuale, la realizzazione di bacini caratterizzati da profondità massime e da pendenze delle ripe troppo elevate, che possono vanificare le soluzioni tecniche proposte ai fini del recupero naturalistico.
8. La granulometria dei materiali costituenti i fondali può essere qualunque (meglio se grossolana) in corrispondenza delle porzioni del lago/stagno caratterizzate da profondità superiore a 6 m; ciò vale anche per i fondali che si trovano a profondità inferiori se tutto lo specchio d’acqua risulta poco profondo, purchè non oltre il 60 % dell’intera superficie ( $A_1$ ). È invece importante prevedere granulometrie particolari per le acque meno profonde (o almeno per il 40 % di  $A_1$ ) ed in particolare sabbia (da grossolana a fine verso le rive) per la porzione  $A_{6m}$  e limo (silt) per la porzione  $A_{2m}$ . Per quanto attiene le acque meno profonde (in corrispondenza di  $A_{1m}$ ), insieme al limo si può utilizzare argilla e, verso la bordura esterna, anche modeste quantità di ammendante organico (oppure di terreno vegetale), al fine di favorire il massimo sviluppo delle piante acquatiche semisommerse (elofite), ma anche quello delle idrofite costituenti la massa vegetale immediatamente esterna alla spiaggia.

<sup>2</sup> Il limite di 6 m è un termine solitamente utilizzato per la distinzione tra lago (con profondità sufficiente all’instaurarsi della stratificazione termica estiva, in genere superiore a 6 m nelle aree di pianura dell’Italia settentrionale) e stagno (al di sotto di tale profondità difficilmente la luce riesce a sostenere i processi di fotosintesi).

<sup>3</sup> Per valori di profondità superiori a 2 m sono più difficili, per le piante acquatiche, le condizioni adatte per occupare interamente la superficie dello stagno. La profondità dell’acqua preferita da diverse anatre di superficie (genere *Anas*) per la ricerca del nutrimento oscilla intorno ai 15 cm; mentre le anatre tuffatrici (genere *Aythya*) si immergono sino a 3,5 m e più. La produttività di una zona allagata è vicina al massimo intorno ad 1,5 m di profondità. Quelle comprese fra 1 e 1,5 m favoriscono la produttività biologica, la formazione di ambienti idonei alle specie tuffatrici (generi *Tachybaptus*, *Podiceps*, *Aythya*, *Fulica*) e impediscono una diffusione eccessiva di *Typha* e *Phragmites*. Le aree con acqua più bassa (< 30 ÷ 50 cm) vanno “disegnate” curando il massimo sviluppo del perimetro affinché sia massimizzata l’interfaccia acqua/vegetazione palustre.

<sup>4</sup> Profondità inferiori ad un metro favoriscono la presenza dell’ittiofauna, soprattutto ai fini della riproduzione e a vantaggio degli stadi giovanili per la maggior parte delle specie ittiche.

<sup>5</sup> La struttura della vegetazione è più importante della composizione floristica. Tuttavia alcune specie di piante acquatiche più di altre forniscono semi appetiti o supporto idoneo alla costruzione dei nidi. Ad esempio alcune specie del genere *Acrocephalus* utilizzano esclusivamente la cannuccia di palude quale supporto per i loro nidi.

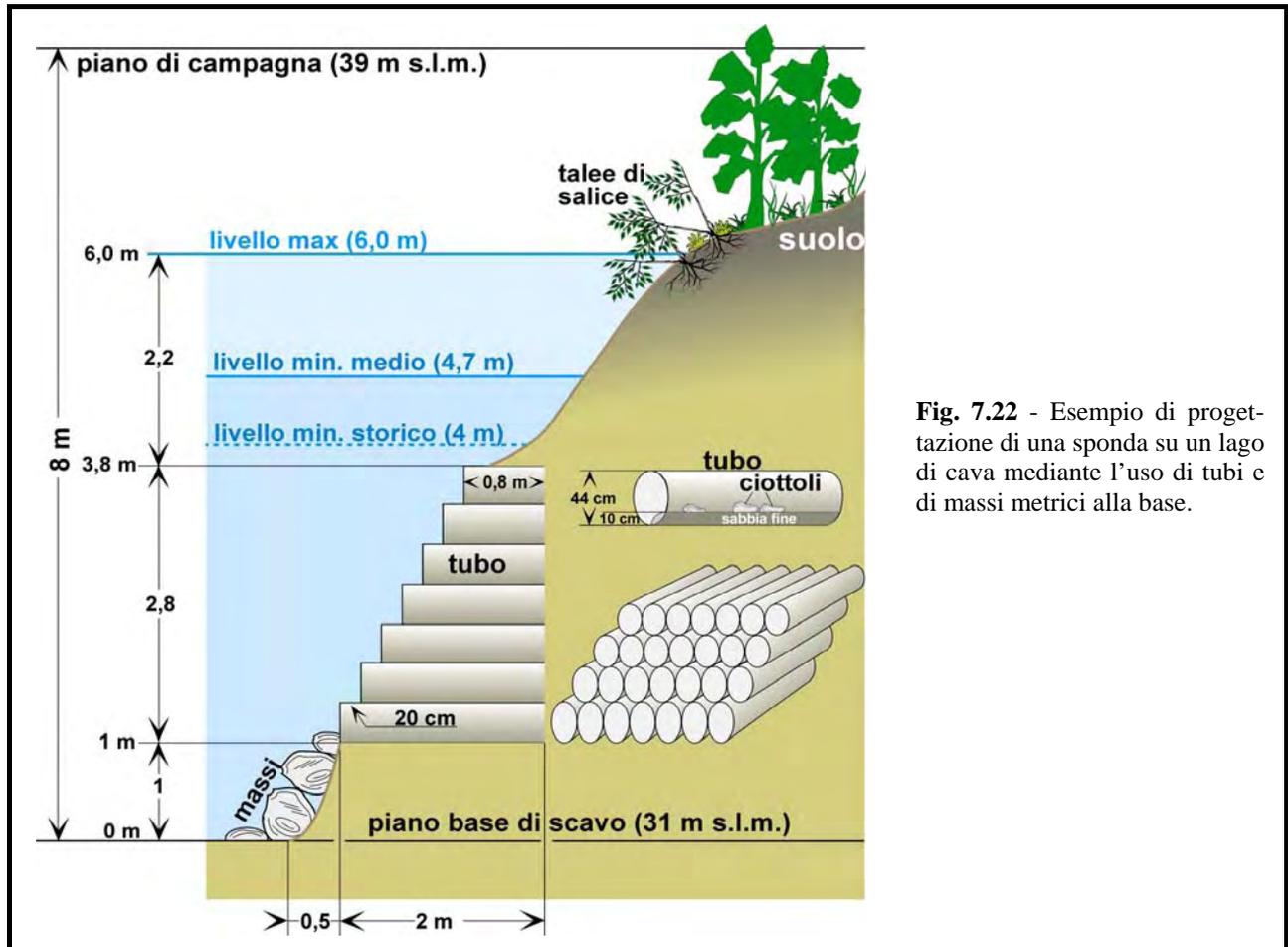


| <b>Tab. 7.2</b> - Elenco delle piante acquatiche utilizzabili per le zone umide adatte per le acque correnti (AC), per quelle stagnanti (AS) e per le bordure umide (BU). |  |                                  |    |    |    |
|---|--|----------------------------------|----|----|----|
| <b>Famiglia</b>   | Nome volgare                               | Nome scientifico                 | AC | AS | BU |
| <i>Alismataceae</i>   | <b>Mestolaccia lanceolata</b>              | <i>Alisma lanceolatum</i>        |    | X  | X  |
|   | <b>Mestolaccia (Piantaggine acquatica)</b> | <i>Alisma plantago-aquatica</i>  |    | X  | X  |
| <i>Umbelliferae</i>   | <b>Sedano d'acqua</b>                      | <i>Apium nodiflorum</i>          | X  |    |    |
| <i>Butomaceae</i>   | <b>Giunco fiorito</b>                      | <i>Butomus umbellatus</i>        |    | X  | X  |
| <i>Graminaceae</i>  | <b>Scagliola palustre</b>                  | <i>Typhoides arundinacea</i>     |    |    | X  |
|   | <b>Panico acquatico</b>                    | <i>Paspalum paspaloides</i>      |    |    | X  |
|   | <b>Cannuccia di palude</b>                 | <i>Phragmites australis</i>      |    |    | X  |
|   | <b>Gramignone natante</b>                  | <i>Glyceria fluitans</i>         | X  |    |    |
|   | <b>Gramignone maggiore</b>                 | <i>Glyceria maxima</i>           |    |    | X  |
|   | <b>Cannella delle paludi</b>               | <i>Calamagrostis epigejos</i>    |    |    | X  |
| <i>Callitrichaceae</i>  | <b>Gamberaia comune</b>                    | <i>Callitriche palustris</i>     | X  |    |    |
|   | <b>Gamberaia maggiore</b>                  | <i>Callitriche stagnalis</i>     | X  |    |    |
| <i>Ceratophyllaceae</i>   | <b>Ceratofillo comune</b>                  | <i>Ceratophyllum demersum</i>    | X  | X  |    |
|   | <b>Ceratofillo sommerso</b>                | <i>Ceratophyllum submersum</i>   | X  | X  |    |
| <i>Onagraceae</i>   | <b>Garofanino di palude</b>                | <i>Epilobium palustre</i>        |    |    | X  |
| <i>Equisetaceae</i>   | <b>Equiseto invernale</b>                  | <i>Equisetum hiemale</i>         |    |    | X  |
|   | <b>Coda di cavallo palustre</b>            | <i>Equisetum palustre</i>        |    |    | X  |
|   | <b>Equiseto massimo</b>                    | <i>Equisetum telmateia</i>       |    |    | X  |
| <i>Rosaceae</i>   | <b>Olmaraia</b>                            | <i>Filipendula ulmaria</i>       |    |    | X  |
| <i>Rubiaceae</i>  | <b>Caglio delle paludi</b>                 | <i>Galium palustre</i>           |    |    | X  |
| <i>Theligonaceae</i>  | <b>Coda di cavallo acquatica</b>           | <i>Hippuris vulgaris</i>         |    | X  |    |
| <i>Hydrocharitaceae</i>   | <b>Scargia</b>                             | <i>Stratiotes aloides</i>        |    | X  |    |
|   | <b>Morso di rana</b>                       | <i>Hydrocharis morsus-ranae</i>  | X  | X  |    |
| <i>Iridaceae</i>  | <b>Giaggiolo acquatico</b>                 | <i>Iris pseudacorus</i>          |    |    | X  |
| <i>Cyperaceae</i>   | <b>Lisca lacustre</b>                      | <i>Scheonoplectus lacustris</i>  |    | X  | X  |
|   | <b>Lisca mucronata (Giunco di palude)</b>  | <i>Schoenoplectus mucronatus</i> |    | X  | X  |
|   | <b>Giunchetto comune</b>                   | <i>Holoschoenus vulgaris</i>     |    |    | X  |
|   | <b>Lisca marittima</b>                     | <i>Bolboschoenus maritimus</i>   |    | X  |    |
|   | <b>Pennacchi a foglie strette</b>          | <i>Eriophorum angustifolium</i>  |    | X  | X  |
|   | <b>Pennacchi a foglie larghe</b>           | <i>Eriophorum latifolium</i>     |    | X  | X  |
|   | <b>Pennacchi di Scheuchzer</b>             | <i>Eriophorum scheuchzeri</i>    |    | X  | X  |
|   | <b>Panicastrella di palude</b>             | <i>Cladium mariscus</i>          |    |    | X  |
|   | <b>Zigolo ferrugineo</b>                   | <i>Cyperus glomeratus</i>        |    |    | X  |
|   | <b>Zigolo comune</b>                       | <i>Cyperus longus</i>            |    |    | X  |
|   | <b>Giunchina comune</b>                    | <i>Eleocharis palustris</i>      |    |    | X  |
|   | <b>Carice tagliente</b>                    | <i>Carex acutiformis</i>         |    |    | X  |
|   | <b>Carice spondicola</b>                   | <i>Carex elata</i>               |    |    | X  |
|   | <b>Carice falso cipero</b>                 | <i>Carex pseudocyperus</i>       |    |    | X  |
|   | <b>Carice delle ripe</b>                   | <i>Carex riparia</i>             |    |    | X  |
|   | <b>Carice rigonfia</b>                     | <i>Carex rostrata</i>            |    |    | X  |
| <b>Carice vescicosa</b>   | <i>Carex vesicaria</i>                     |                                  |    | X  |    |
| <i>Juncaceae</i>  | <b>Giunco nodoso</b>                       | <i>Juncus articulatus</i>        |    |    | X  |
|   | <b>Giunco comune</b>                       | <i>Juncus effusus</i>            |    |    | X  |
|   | <b>Giunco filiforme</b>                    | <i>Juncus filiformis</i>         |    |    | X  |
|   | <b>Giunco tenace</b>                       | <i>Juncus inflexus</i>           |    |    | X  |
| <i>Lemnaceae</i>  | <b>Lente d'acqua maggiore</b>              | <i>Spirodela polyrrhiza</i>      |    | X  |    |
|   | <b>Lenticchia d'acqua spugnosa</b>         | <i>Lemna gibba</i>               |    | X  |    |
|   | <b>Lenticchia d'acqua comune</b>           | <i>Lemna minor</i>               |    | X  |    |
|   | <b>Lenticchia d'acqua spatolata</b>        | <i>Lemna trisulca</i>            |    | X  |    |

|                         |  |                                    |   |   |   |
|-------------------------|--|------------------------------------|---|---|---|
| <i>Labiatae</i>         | <b>Betonica</b>                              | <i>Stachys palustris</i>           |   |   | X |
|                         | <b>Menta acquatica</b>                       | <i>Mentha aquatica</i>             | X |   | X |
|                         | <b>Erba-sega comune</b>                      | <i>Lycopus europaeus</i>           |   |   | X |
| <i>Primulaceae</i>      | <b>Erba scopina</b>                          | <i>Hottonia palustris</i>          |   | X |   |
|                         | <b>Lino d'acqua</b>                          | <i>Samolus valerandi</i>           |   |   | X |
|                         | <b>Mazza d'oro (Cruciata maggiore)</b>       | <i>Lysimachia vulgaris</i>         |   |   | X |
| <i>Lythraceae</i>       | <b>Salcerella o Salicaria</b>                | <i>Lythrum salicaria</i>           |   |   | X |
| <i>Menyanthaceae</i>    | <b>Trifoglio fibrino</b>                     | <i>Menyanthes trifoliata</i>       |   | X | X |
| <i>Boraginaceae</i>     | <b>Non ti scordar di me palustre</b>         | <i>Myosotis scorpioides</i>        |   |   | X |
| <i>Haloragaceae</i>     | <b>Millefoglio d'acqua comune</b>            | <i>Myriophyllum spicatum</i>       |   | X |   |
|                         | <b>Millefoglio d'acqua ascellare</b>         | <i>Myriophyllum verticillatum</i>  |   | X |   |
| <i>Najadaceae</i>       | <b>Ranocchina maggiore</b>                   | <i>Najas marina</i>                |   | X |   |
|                         | <b>Ranocchina minore</b>                     | <i>Najas minor</i>                 |   | X |   |
| <i>Cruciferae</i>       | <b>Crescione di Chiana</b>                   | <i>Rorippa amphibia</i>            |   |   | X |
|                         | <b>Crescione</b>                             | <i>Nasturtium officinale</i>       | X |   |   |
| <i>Nymphaeaceae</i>     | <b>Ninfea gialla (Nannufaro)</b>             | <i>Nuphar luteum</i>               |   | X |   |
|                         | <b>Ninfea bianca</b>                         | <i>Nymphaea alba</i>               |   | X |   |
| <i>Polygonaceae</i>     | <b>Poligono anfibio</b>                      | <i>Polygonum amphibium</i>         |   | X |   |
|                         | <b>Pepe d'acqua</b>                          | <i>Polygonum hydropiper</i>        |   | X | X |
|                         | <b>Poligono minore</b>                       | <i>Polygonum minus</i>             |   | X | X |
| <i>Potamogetonaceae</i> | <b>Brasca a foglie opposte</b>               | <i>Groenlandia densa</i>           |   | X |   |
|                         | <b>Brasca increspata (Lattuga ranina)</b>    | <i>Potamogeton crispus</i>         | X |   |   |
|                         | <b>Brasca ingrossata</b>                     | <i>Potamogeton gramineus</i>       | X |   |   |
|                         | <b>Brasca trasparente</b>                    | <i>Potamogeton lucens</i>          | X | X |   |
|                         | <b>Brasca comune</b>                         | <i>Potamogeton natans</i>          |   | X |   |
|                         | <b>Brasca nodosa</b>                         | <i>Potamogeton nodosus</i>         | X |   |   |
|                         | <b>Brasca delle lagune</b>                   | <i>Potamogeton pectinatus</i>      | X | X |   |
|                         | <b>Brasca arrrotondata</b>                   | <i>Potamogeton perfoliatus</i>     | X | X |   |
|                         | <b>Brasca palermitana</b>                    | <i>Potamogeton pusillus</i>        | X | X |   |
| <b>Brasca capillare</b> | <i>Potamogeton trichoides</i>                |                                    | X |   |   |
| <i>Ranunculaceae</i>    | <b>Calta palustre</b>                        | <i>Caltha palustris</i>            | X |   | X |
|                         | <b>Ranuncolo acquatico</b>                   | <i>Ranunculus aquatilis</i>        |   | X |   |
|                         | <b>Ranuncolo fluitante</b>                   | <i>Ranunculus fluitans</i>         | X |   |   |
|                         | <b>Ranuncolo strisciante</b>                 | <i>Ranunculus repens</i>           |   |   | X |
|                         | <b>Ranuncolo a foglie capillari</b>          | <i>Ranunculus trichophyllus</i>    | X |   |   |
| <i>Salviniaceae</i>     | <b>Erba pesce</b>                            | <i>Salvinia natans</i>             |   | X |   |
| <i>Solanaceae</i>       | <b>Dulcamara (Vite selvatica)</b>            | <i>Solanum dulcamara</i>           |   |   | X |
| <i>Sparganiaceae</i>    | <b>Coltellaccio a fusto semplice</b>         | <i>Sparganium emersum</i>          |   |   | X |
|                         | <b>Sala (Stiancia/Coltellaccio maggiore)</b> | <i>Sparganium erectum</i>          |   | X | X |
| <i>Caryophyllaceae</i>  | <b>Centocchio dei rivi</b>                   | <i>Stellaria alsine</i>            |   |   | X |
| <i>Thelypteridaceae</i> | <b>Felce palustre</b>                        | <i>Thelypteris palustris</i>       |   |   | X |
| <i>Trapaceae</i>        | <b>Castagna d'acqua</b>                      | <i>Trapa natans</i>                |   | X |   |
|                         | <b>Lisca a foglie strette</b>                | <i>Typha angustifolia</i>          |   | X | X |
|                         | <b>Mazzasorda maggiore (Lisca magg.)</b>     | <i>Typha latifolia</i>             |   |   | X |
| <i>Scrophulariaceae</i> | <b>Graziella (Sanca-cavalli)</b>             | <i>Gratiola officinalis</i>        |   |   | X |
|                         | <b>Beccabungna grossa (Crescione)</b>        | <i>Veronica anagallis-aquatica</i> | X | X |   |
|                         | <b>Veronica beccabungna (Erba Grassa)</b>    | <i>Veronica beccabungna</i>        | X | X |   |
| <i>Zannichelliaceae</i> | <b>Zannichellia</b>                          | <i>Zannichellia palustris</i>      | X | X |   |

La **fig. 7.22** rappresenta una sponda progettata per un lago di cava, in corrispondenza della massima profondità dello stagno (6 m in fase di massimo idrologico); alla sua base (per un'altezza di un metro dal fondale) sono presenti massi caoticamente disposti. Per uno sviluppo di circa 2,8 m verso l'alto sono disposte serie di tubi, parzialmente colmi di sabbia e ciottoli. Un ultimo "strato" di materiale eterogeneo (parte di quello di esubero risultante dall'attività di cava) consente il raccordo con l'ambiente retrostante,

fittamente vegetato con arbusti ed erbe, con rami liberi di crescere e svilupparsi fino ad immergersi in acqua ed a formare un complicato “intrico” vegetale (adatto alla riproduzione delle specie ittiche fitofile. È possibile disporre alcuni tronchi (e rami connessi) con base appoggiata alla riva e coricati sull’acqua (come piante cadute dalla riva) a fornire ripari per i pesci ed a conferire al paesaggio caratteristiche più naturali.



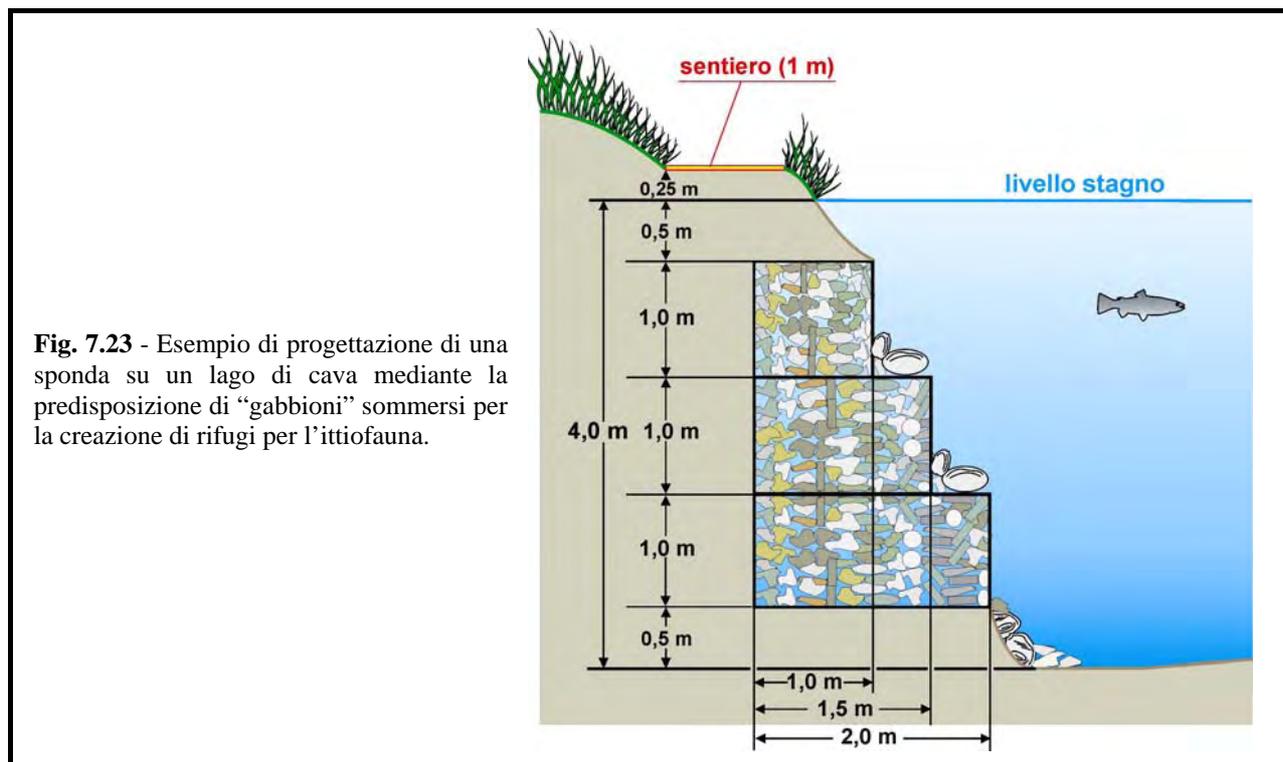
**Fig. 7.22** - Esempio di progettazione di una sponda su un lago di cava mediante l’uso di tubi e di massi metrici alla base.

I massi e i tubi, ben ombreggiati dalla fitta vegetazione soprastante, costituiscono rifugi per i pesci. Le dimensioni dei tubi possono essere diverse da quelle indicate, ma è importante tenere conto del livello minimo idrologico, allo scopo di garantire, anche in occasione dei minimi idrometrici, la sommersione (e quindi l’invisibilità) di tali strutture. L’esempio rappresentato riguarda un tratto di sponda fittamente vegetato, inaccessibile alla fruizione e particolarmente adatto alla fauna.

La **fig. 7.23**, diversamente dalla precedente, illustra una situazione accessibile alla fruizione ed alla pesca sportiva. La predisposizione di rifugi per l’ittiofauna avviene mediante il posizionamento di gabbioni, reti metalliche, di altezza pari ad un metro, riempiti con ghiaia. Gli interstizi fra i ciottoli sono sfruttati dai pesci. Nel caso rappresentato sono previste tre file di gabbioni (per una altezza totale di 3 m); quella di base con granulometria più grossolana e quella più alta con ghiaia più minuta. Risultano “scalini” larghi 0,5 m, sui quali sono appoggiati massi di varie dimensioni, sia per aumentare la disponibilità di rifugi, sia per mascherare le gabbie nelle situazioni caratterizzate da elevata trasparenza dell’acqua. Al piede della scarpata della sponda sono collocati altri massi, mentre alla sommità vi è mezzo metro di spazio per predisporre un raccordo in terra che emerge fuori acqua a formare una stretta fascia inerbita. L’accesso è facilitato da un sentiero largo un metro (in terra battuta, in ghiaia o lastricato). La porzione di terreno retrostante è un prato con radi alberi, adatto alla fruizione ed alla organizzazione di attività varie.

La **fig. 7.21** illustra un esempio di progetto che ha previsto, allo scopo di aumentare l’indice di sinuosità, la realizzazione di un rilevato (a forma di “U”). È una tecnica utile, in quanto consente di incrementare, in misura notevole, l’estensione degli ambienti ripari, capaci di garantire una maggiore ricchezza biologica della zona umida. È evidente che simili strutture possono essere realizzate in corrispondenza delle porzioni di lago caratterizzate da modeste profondità; in particolare vanno raccomandate per quelle precedentemente siglate con  $A_{6m}$  (con profondità massima di 6 m). Si possono realizzare anche mediante semplici cumuli di

terra, ma soltanto nei casi in cui si esclude l'accesso alle persone. Allo scopo di aumentare la stabilità e soprattutto per creare situazioni adatte all'idrofauna, conviene fare ricorso a soluzioni che richiedono l'utilizzo di materiali diversi, quali gabbioni (fig. 7.23) o massi (fig. 7.24).



**Fig. 7.23** - Esempio di progettazione di una sponda su un lago di cava mediante la predisposizione di "gabbioni" sommersi per la creazione di rifugi per l'ittiofauna.

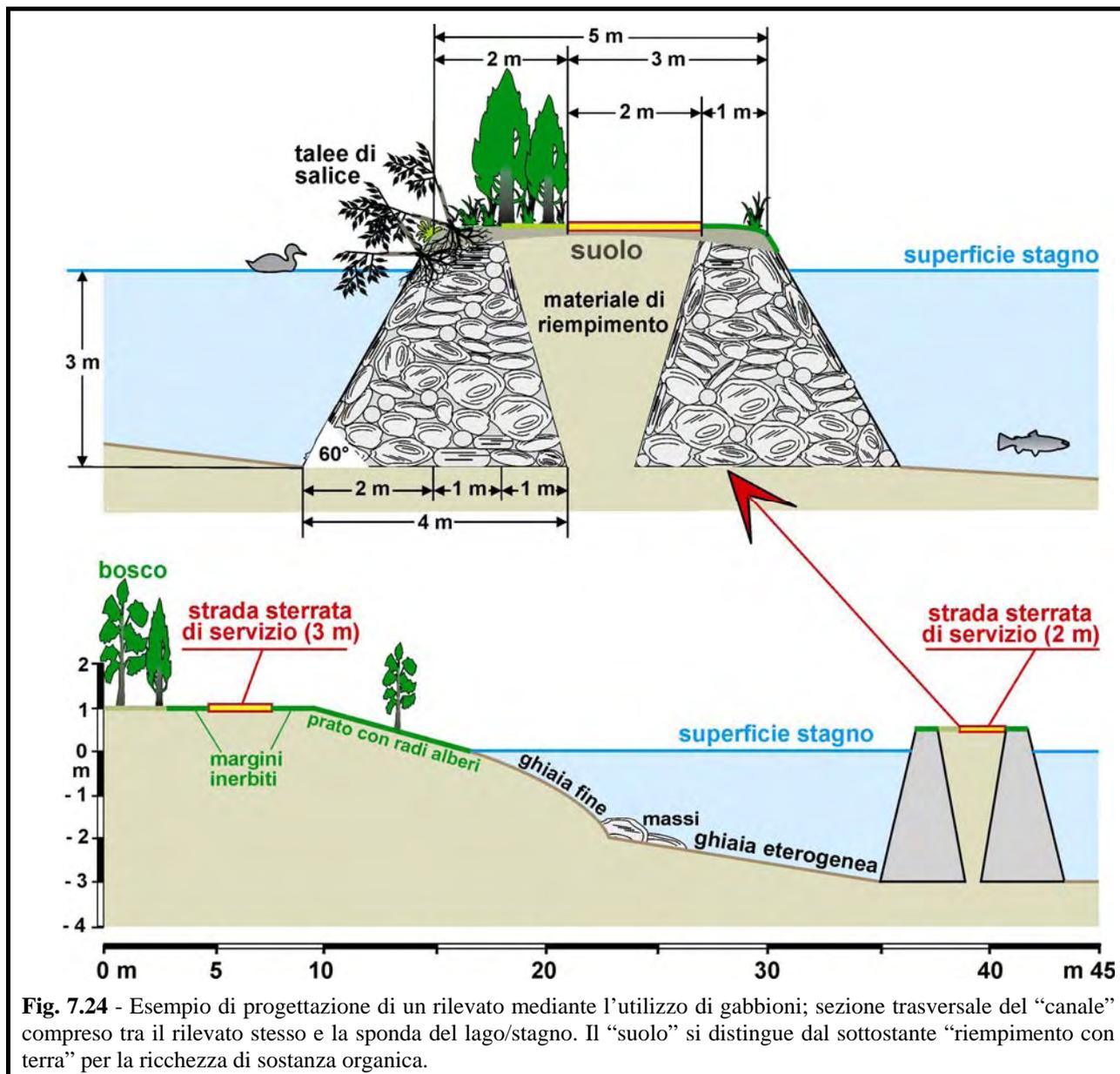
Il rilevato (fig. 7.24) può essere realizzato mediante una doppia cornice di massi giustapposti a sezioni pseudotriangolari e con inclinazione esterna di circa 60°. L'uso dei massi, senza materiali interstiziali, oltre a consentire la stabilità del rilevato, permette l'esistenza di rifugi per l'ittiofauna. Lo spazio fra le due cornici è riempito con materiale detritico vario (parte di quello risultante dallo scavo e provvisoriamente accantonato). La superficie del rilevato, emergente dall'acqua per circa 0,5 m, è complessivamente larga 5 m, longitudinalmente così divisa:

- una fascia larga 1 m verso l'interno (sinistra) vegetata con arbusti (es. salici);
- una fascia larga 1 m fittamente vegetata con filare di alberi (es. ontani e salici);
- una strada sterrata di servizio/fruizione larga 2 m;
- una fascia larga 1 m verso l'esterno (destra) inerbita ed accessibile.

La sezione del "canale" compresa tra la sponda ed il rilevato (fig. 7.24) ha larghezza pari a circa 20 m, sufficiente per le esigenze della pesca sportiva; il canale ha profondità degradante ("spiaggia" relativamente ripida, ~ 30°) con fondale costituito da ghiaia fine in corrispondenza della sponda e con la profondità massima (3 m) in corrispondenza del rilevato, con granulometria più grossolana. Il lato del rilevato che si affaccia sulla sponda è fittamente vegetato, tale da impedire (quando è presente il fogliame) la visuale verso il largo; la fitta vegetazione è prevista con rami e fogliame che ombreggiano il sottosponda favorendo la formazione di rifugi per la fauna; per l'osservatore deve risultare l'impressione di trovarsi di fronte ad una sorta di canale, apparentemente non connesso con la restante porzione dello stagno. La sponda è facilmente accessibile e corrisponde ad un'area con alberi radi ed abilitata alla fruizione ed alla pesca sportiva.

In fig. 7.25 la superficie del rilevato, realizzato con una doppia cornice di gabbioni, emerge dall'acqua durante il massimo idrologico per circa 0,5 m in altezza e risulta complessivamente larga 6 m, trasversalmente così divisa:

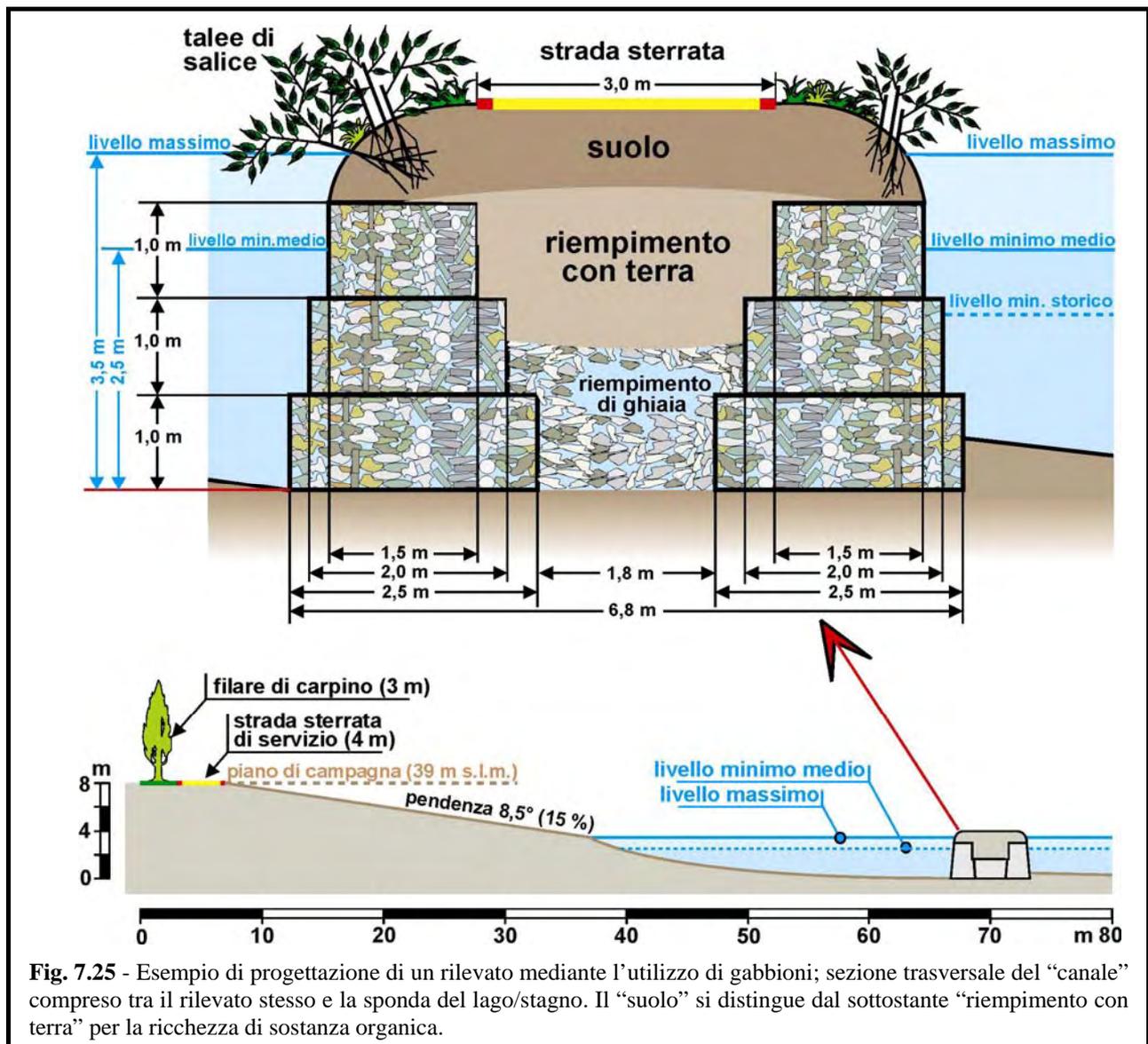
- una fascia larga 1,5 m verso l'esterno (destra) vegetata con erbacee e con qualche macchia di arbusti (es. salici), in quanto accessibile ai pescatori e/o fruitori;
- una stradina sterrata di servizio/fruizione/manutenzione larga 3 m;
- una fascia larga 1,5 m verso l'interno (sinistra) inerbita (miscele di semina) e con qualche macchia di canne, in quanto accessibile ai pescatori e/ fruitori.



**Fig. 7.24** - Esempio di progettazione di un rilevato mediante l'uso di gabbioni; sezione trasversale del "canale" compreso tra il rilevato stesso e la sponda del lago/stagno. Il "suolo" si distingue dal sottostante "riempimento con terra" per la ricchezza di sostanza organica.

Solitamente i progetti di ritanuralizzazione dei laghi/stagni prevedono anche l'uso alieutico; ma la presenza di pesci è funzionale anche alla realizzazione di sistemi finalizzati alla valorizzazione naturalistica. Si tratta comunque di obiettivi non incompatibili, a condizione di subordinare le pratiche di pesca sportiva alle esigenze di corretta gestione degli ambienti acquatici.

La gestione di un lago di cava, inteso come "bacino di pesca", potrebbe indirizzare verso il massimo sfruttamento di un ambiente in termini di densità e biomassa ittica sostenibili, capace di soddisfare le esigenze dei pescatori. Si tratta di un problema di non poco conto in quanto, in generale, un qualunque ambiente acquatico, per essere ricco di pesce, deve presentare una elevata produttività e quindi spesso accompagnata da livelli di trofia piuttosto elevati. Escludendo le tipologie ambientali quali stagni e paludi (quasi sempre eutrofici per definizione) e considerando quelle più frequenti (laghi di cava intersecanti i sistemi di falda), occorre evitare l'instaurarsi di situazioni di eccessiva eutrofia, incompatibili rispetto alle esigenze di conservazione dei livelli di qualità delle acque connesse con quelle sotterranee. Quindi appare evidente come debba, ad esempio, essere evitata l'alimentazione artificiale, in quanto potrebbe contribuire all'incremento del livello trofico del bacino. Sarebbe opportuno prevedere limiti all'uso di pasture, pericolosi "fertilizzanti" quando usati in quantità eccessiva. In linea di massima le attività alieutiche interessanti il bacino sono generalmente compatibili con gli interventi di recupero ambientale. Ciò a condizione che le eventuali immissioni di pesci nel lago di cava siano effettuate con particolare cautela, evitando il ricorso a specie alloctone e privilegiando quelle tipiche delle acque stagnanti e capaci di formare popolazioni stabili, riducendo quindi la necessità di frequenti immissioni (tab. 7.3).



**Fig. 7.25** - Esempio di progettazione di un rilevato mediante l'utilizzo di gabbioni; sezione trasversale del "canale" compreso tra il rilevato stesso e la sponda del lago/stagno. Il "suolo" si distingue dal sottostante "riempimento con terra" per la ricchezza di sostanza organica.

Per quanto attiene i salmonidi è necessario che la temperatura massima estiva non superari il limite di 18 °C in superficie, altrimenti potrebbero emergere situazioni di stress e quindi la morte. Il lago potrebbe presentare anche notevoli profondità; presso i fondali le acque risultano più "fresche", ma inospitali in condizioni di eutrofia, con minore concentrazione di ossigeno presso il fondo. Eventuali immissioni, escludendo possibilmente i mesi di luglio e agosto, garantirebbero maggiore successo con la trota iridea che, tuttavia, è una specie alloctona, quindi poco adatta secondo criteri naturalistici. In effetti il problema più importante consiste nell'evitare immissioni di specie alloctone. L'introduzione di elementi esotici è pericolosa, inopportuna e contraddittoria rispetto alla corretta gestione della fauna. Il rischio di introduzione di specie ittiche infestanti è talmente serio da compromettere seriamente le attività di recupero ambientale. Sono numerosi i casi di immissioni di carassi frammisti a carpe o di pseudorasbore frammiste ad alborelle. Frequentemente vengono effettuate immissioni senza controlli sanitari, con rischi di diffusione di patologie nei confronti delle popolazioni ittiche preesistenti. È bene ridurre al minimo i "ripopolamenti", specialmente quelli con "pesce bianco" (ciprinidi), cercando modalità alternative per garantire una buona produzione ed un minimo di "soddisfazione" per il cestino dei pescatori. Occorre effettuare immissioni con le specie elencate nella **tab. 7.3**, se non sono già presenti con popolazioni stabili nei casi, molto frequenti di laghi preesistenti o interessati da progetti di ampliamento delle attività. Lo scopo è quello di favorire l'acclimatazione del maggior numero di specie potenzialmente adatte, in modo da favorire l'occupazione di tutte le nicchie disponibili. Una volta raggiunto l'obiettivo di introduzione delle specie ritenute compatibili con l'ambiente e verificata la loro "tenuta" (sopravvivenza, riproduzione ed accrescimento naturali), non dovrebbero risultare necessarie integrazioni successive. In sintesi è possibile la gestione alieutica degli ambienti ad acque stagnanti artificiali e recuperati, a condizione che essa avvenga secondo precisi criteri

naturalistici, capaci di garantire la massima diversità biologica, la riduzione ai minimi livelli di rischi circa l'introduzione di specie esotiche e dei processi di utrofizzazione, il mantenimento di popolazioni stabili, diversificate e strutturate ed una buona produttività biologica naturale senza necessità di frequenti immissioni.

| <b>Tab. 7.3</b> - Elenco specie ittiche (interessanti ai fini alienica e/o per il recupero ambientale) per le immissioni nei laghi/stagni. <b>O</b> : specie esotica ( <b>E</b> ) e specie indigena ( <b>I</b> ). |                           |          |   |
|---|---------------------------|----------|---|
| <i>Genere specie sottospecie</i>  | <b>denomin. volgare</b>   | <b>O</b> | <b>GESTIONE e PROBLEMI</b>  |
| <i>Micropterus salmoides</i>  | <b>persico trota</b>      | <b>E</b> | L'introduzione di tali specie comporta un'alta probabilità di formazione di popolazioni stabili, ma pone seri problemi per l'interazione negativa con le popolazioni delle altre specie. Si tratta di specie esotiche, estranee alla fauna tipica del territorio nazionale. <b>Immissioni da non effettuare.</b>  |
| <i>Lepomis gibbosus</i>   | <b>persico sole</b>       |          |   |
| <i>Ictalurus melas</i>  | <b>pesce gatto</b>        |          |   |
| <i>Carassius carassius</i>  | <b>carassio comune</b>    |          |   |
| <i>Carassius auratus</i>  | <b>pesce rosso</b>        |          |   |
| <i>Ictalurus melas</i>  | <b>pesce gatto</b>        |          |   |
| <i>Salvelinus fontinalis</i>  | <b>salmerino di fonte</b> | <b>E</b> | Possibilità nulle di formazione di popolazioni stabili (ripetute immissioni per il mantenimento). Rischio elevato di morie in estate per le temperature elevate (> 18 °C). Per il temolo la sopravvivenza è molto dubbia anche nella stagione fredda. Per i salmerini vi è possibilità di formazione di popolazioni stabili nei laghi alpini, ma sono pesci esotici che non andrebbero utilizzati. <b>Immissioni da non effettuare.</b> |
| <i>Salvelinus alpinus</i>   | <b>salmerino alpino</b>   |          |   |
| <i>Salmo trutta trutta</i>  | <b>trota fario</b>        |          |   |
| <i>Thymallus thymallus</i>  | <b>temolo</b>             | <b>I</b> | Possibilità nulle di formazione di popolazioni stabili (ripetute immissioni per il mantenimento). Rischio moderato di morie in estate per le temperature elevate (>25 °C). <b>Immissioni sconsigliate.</b>  |
| <i>Salmo [trutta] marmoratus</i>  | <b>trota marmorata</b>    |          |   |
| <i>Cottus gobio</i>   | <b>scazzone</b>           |          |   |
| <i>Oncorhynchus mykiss</i>  | <b>trota iridea</b>       | <b>E</b> | Possibilità nulle di formazione di popolazioni stabili (ripetute immissioni per il mantenimento). Rischio moderato di morie in estate per le temperature elevate (>25 °C). <b>Immissioni sconsigliate.</b>  |
| <i>Barbus meridionalis</i>  | <b>barbo canino</b>       | <b>I</b> | Possibilità nulle di formazione di popolazioni stabili (ripetute immissioni per il mantenimento). Rischio moderato di morie in estate per le temperature elevate (>25 °C). <b>Immissioni sconsigliate.</b>  |
| <i>Barbus plebejus</i>  | <b>barbo</b>              |          | Possibilità nulle di formazione di popolazioni stabili per assenza di acque correnti, necessarie per la riproduzione (ripetute immissioni per il mantenimento della popolazione). <b>Immissioni sconsigliate.</b>   |
| <i>Chondrostoma genei</i>   | <b>lasca</b>              |          | Possibilità nulle di formazione di popolazioni stabili per assenza di acque correnti, necessarie per la riproduzione (ripetute immissioni per il mantenimento della popolazione). <b>Immissioni sconsigliate.</b>   |
| <i>Cyprinus carpio</i>  | <b>carpa</b>              | <b>E</b> | <b>Specie interessanti per la pesca sportiva.</b> Alta probabilità di formazione di popolazioni stabili (quasi certa per la carpa, cavedano e tinca; probabile per luccio e persico, in funzione dell'arredo mediante l'utilizzo di vegetali adatti). <b>Immissioni consigliate.</b>  |
| <i>Esox lucius</i>  | <b>luccio</b>             | <b>I</b> |   |
| <i>Leuciscus cephalus</i>   | <b>cavedano</b>           |          |   |
| <i>Tinca tinca</i>  | <b>tinca</b>              |          |   |
| <i>Perca fluviatilis</i>  | <b>pesce persico</b>      |          |   |
| <i>Cobitis tenia</i>  | <b>cobite</b>             | <b>I</b> | <b>Specie interessanti per la diversità biologica</b> (interesse didattico/divulgativo). Possibile formazione di popolazioni stabili. La ricostruzione di numerose tipologie ambientali favorisce la riproduzione spontanea. In caso di insuccesso delle prime immissioni, sospendere i tentativi. <b>Immissioni consigliate.</b>   |
| <i>Gobio gobio</i>  | <b>gobione</b>            |          |   |
| <i>Padogobius martensi</i>  | <b>ghiozzo padano</b>     |          |   |
| <i>Leuciscus souffia</i>  | <b>vairone</b>            |          |   |
| <i>Alburnus alburnus albor.</i>   | <b>alborella</b>          | <b>I</b> | <b>Specie interessanti per la diversità biologica</b> (modesto interesse alienico). Alta probabilità di formazione di popolazioni stabili. <b>Immissioni consigliate.</b>   |
| <i>Scardinius erythrophthal.</i>  | <b>scardola</b>           |          |   |
| <i>Rutilus erythrophthalmus</i>   | <b>triotto</b>            |          |   |