



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI ROMA "TOR VERGATA"

LAUREA TRIENNALE IN ECOLOGIA

CORSO DI ECOLOGIA APPLICATA

Titolare del corso: PROF. STEFANO CATAUDELLA

A.A. 2007/2008

Testo consigliato per il corso:
R. Marchetti "Ecologia applicata", CittàStudi Edizioni S.r.l., 1993

GLI AMBIENTI ACQUATICI

L'ACQUA

- L'acqua allo stato libero, è presente in natura in tre stati di aggregazione: solido, liquido e gassoso
- Le molecole dell'acqua sono forti dipoli e si associano fra loro attraverso la formazione di ponti di idrogeno, che si rinnovano continuamente, con vita media di 10^{-11} s.
- La molecola d'acqua è circondata da altre 4 molecole poste ai vertici di un tetraedro
- La massima densità dell'acqua è raggiunta a $3,98$ °C

L'ACQUA



La presenza di ponti di idrogeno fa sì che l'acqua :

- a temperatura ambiente sia allo stato liquido;
- possieda un elevato calore specifico;
- un alto calore latente di fusione ed evaporazione;
- la più alta tensione superficiale;
- la più alta costante dielettrica;
- una bassissima dissociazione elettrolitica;
- una bassa conduttività termica.

IL GHIACCIO



- A 0 °C l'acqua ha una struttura cristallina
- Il ghiaccio ha una densità minore dell'acqua allo stato liquido
- Durante la fusione del ghiaccio, si rompono i legami di idrogeno



DISTRIBUZIONE DELL'ACQUA

- Il 94% è contenuta dagli oceani
- Il 2% è rappresentata da acqua dolce
- Lo 0,001 % si trova nell'atmosfera sotto forma di vapore acqueo



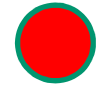
I tempi di permanenza variano da 8000 anni per il ghiaccio a pochi giorni per l'atmosfera e i fiumi



Tab. 1/II – Distribuzione dell'acqua nell'idrosfera.

	Volume (km ³ 10 ³)	% del volume totale	% del volume di acqua dolce	Tempo di resi- denza (a)
Oceani	1.370.323	93,9412		3000
Falda profonda	60.000	4,1132		5000
Falda superficiale	4000	0,2742	14,094	330
Ghiaccio	24.000	1,6453	84,566	8000
Laghi	280	0,0192	0,987	7
Umidità suolo	85	0,0058	0,300	1
Atmosfera	14	0,0010	0,049	0,027
Fiumi	1,2	0,0001	0,004	0,031
Totale acqua dolce	28.380,2	1,9415		
Totale acqua	1.458.703,2	100,0000	100,000	

CICLO DELL'ACQUA



E' un ciclo chiuso con un bilancio che si chiude in pareggio in 20-30 anni.

Il trasferimento da uno stato all'altro e da una sede all'altra è determinato dalla radiazione solare e dalle conseguenti variazioni di Temperatura.

Il calore, generando differenze di temperatura (e di densità) tra masse d'aria, ne provoca il movimento dalle zone più calde a quelle più fredde dove avvengono i fenomeni di condensazione e ghiacciamento del vapore, che ricade come pioggia, neve, grandine....

Da $1/3$ a $1/2$ della quantità di energia derivante dal sole ($6,15 \cdot 10^{20}$ kcal a⁻¹) è utilizzata per far muovere il ciclo dell'acqua.

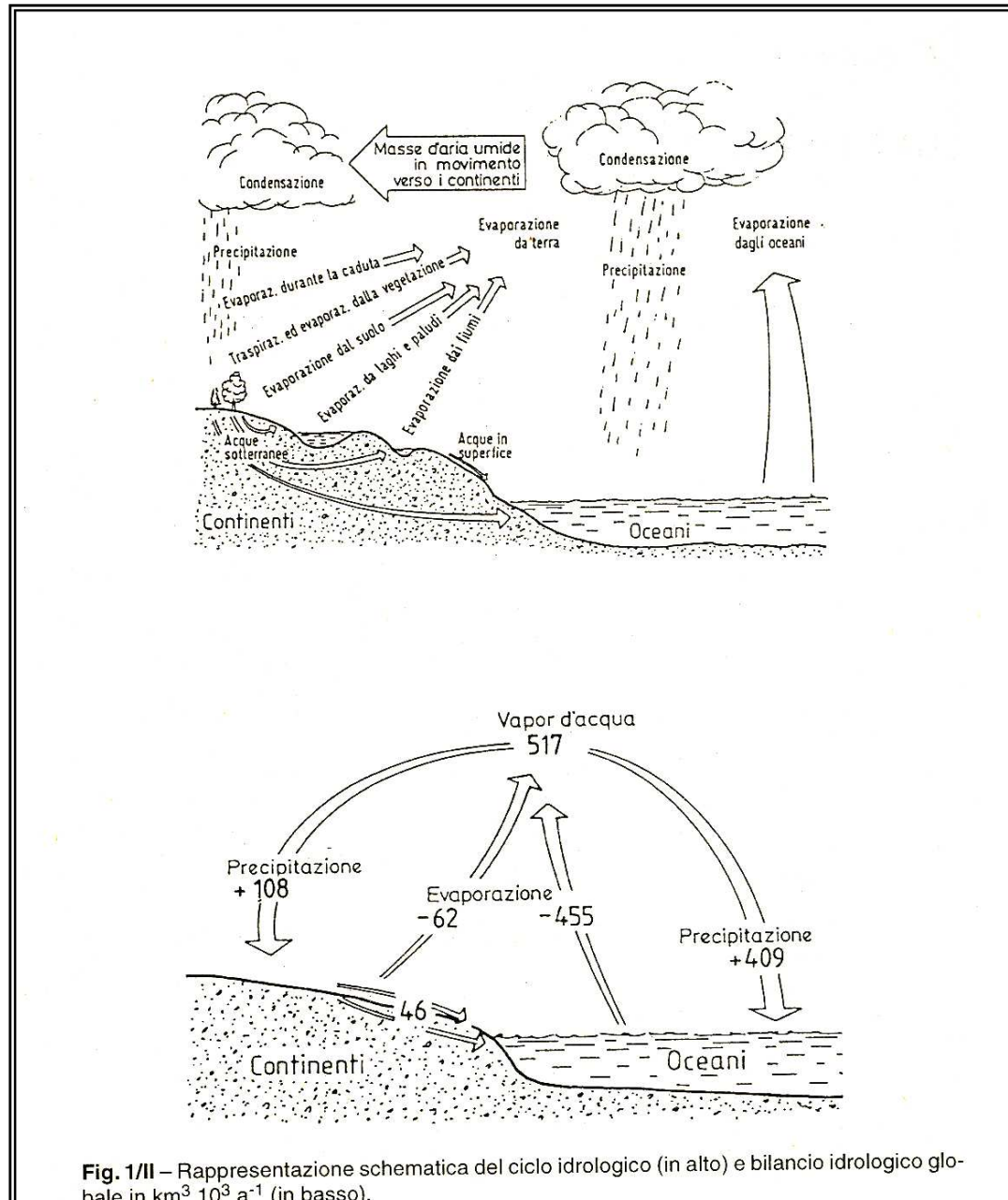


Fig. 1/II – Rappresentazione schematica del ciclo idrologico (in alto) e bilancio idrologico globale in $\text{km}^3 \cdot 10^3 \text{ a}^{-1}$ (in basso).



Ambienti Acquatici

- **Ambienti di acqua dolce:**
 - **Lotici:** corpi d'acqua in movimento più o meno rapido
 - **Lentici:** corpi d'acqua con movimenti orizzontali di modesta entità (“acque calme”)
- **Ambienti marini**

LEGGE MERLI 10/5/1976 n. 319

Classifica le acque interne:

a) Lentiche

- 1. Laghi naturali**
- 2. Laghi naturali ampliati**
- 3. Laghi naturali regolati**
- 4. Serbatoi**

b) Lotiche

- 1. Corsi d'acqua naturali**
- 2. Corsi d'acqua artificiali**

c) Acque di transizione

Definizioni

- Acque correnti. Corpi idrici le cui molecole sono caratterizzate da un movimento persistente nel tempo e lungo un direzione preferenziale (acque dei fiumi, torrenti, acque contenute nei canali, fossi e tubazioni artificiali)
- Pelo libero. Superficie che separa l'acqua dall'aria sovrastante
- Torrenti. Corsi d'acqua ubicati nelle parti più elevate altimetricamente, caratterizzati da forte pendenza, notevole velocità e grande trasporto solido. Sono alimentati dall'acqua che scorre lungo i pendii, da risorgive e ghiacciai
- Fiumi. Corsi d'acqua di fondo valle, alimentati da torrenti, o da risorgive. La corrente presenta una minore velocità e una configurazione dell'alveo stabile nel tempo.
- Bacino imbrifero. Superficie dalla quale tutte le particelle d'acqua giunte sul suolo contribuiscono a formare la massa liquida che si ritrova in un ben determinato punto del medesimo fiume o torrente
- Spartiacque. Contorno del bacino imbrifero spesso coincide con la sommità delle catene montuose e collinari
- Bacino idrografico. Zona dalla quale tutte le particelle liquide in moto sul suolo e nel sottosuolo contribuiscono a formare la massa liquida in una ben determinata sezione di un corso d'acqua

ACQUE CORRENTI



GRANDEZZE FONDAMENTALI

Geometria della corrente. E' data dalla **sezione trasversale** (piano perpendicolare alla direzione della corrente) e dal **perimetro bagnato** (lunghezza della linea di contatto tra il corso d'acqua e la parete solida che lo contiene, misurata in un piano perpendicolare alla direzione del flusso).

Velocità della corrente. Percorso che una particella elementare di acqua compie nell'unità di tempo (ms^{-1})

Portata della corrente. Volume di acqua che nell'unità di tempo passa per una sezione trasversale (m^3s^{-1})



Quando le grandezze sopra descritte non cambiano per lunghi intervalli di tempo si parla di **corrente permanente**

ACQUE CORRENTI

- Il moto dell'acqua è legato al dislivello esistente tra monte e valle.
- L'altezza dell'acqua sul fondo può variare procedendo da monte verso valle. Si parla di:
 - a. Profilo di chiamata (pendenza del pelo libero è maggiore rispetto a quella del fondo)
 - b. Profilo di rigurgito (pendenza del pelo libero è minore rispetto a quella del fondo)
- Moto uniforme. Pendenza del pelo libero è uguale a quella del fondo

ACQUE CORRENTI

Relazioni che legano le varie grandezze simulano un corpo idrico con corrente permanente e uniforme

- Gauckler-Strickler: velocità media della corrente v e la pendenza del profilo del pelo libero i sono legate tra loro ($v=kr^{0,67} i^{0,5}$)

r = raggio idraulico ($r=\Omega/\sigma$)

Ω = area della sezione trasversale

σ =lunghezza del perimetro bagnato

K = coefficiente di scabrezza

COEFFICIENTE DI SCABREZZA

Considera tutti i fenomeni di dissipazione di energia legati al moto dell'acqua e dovuti all'attrito sul fondo e sulle pareti

Tab. 2/II – Valori del coefficiente k.

cemento molto liscio	da 100 a 85
intonaco ordinario	80
calcestruzzo piano	75
terra molto regolare	70
terra irregolare, calcestruzzo grezzo	60
terra con erbe sporgenti, fiumi su roccia	50
terra in cattive condizioni, fiumi su ciottoli	40
fiumi con grande trasporto solido	20

Dinamica delle correnti a pelo liquido

La velocità della corrente varia da punto a punto sulla sezione trasversale: in modo “simmetrico” nei tratti di corrente rettilinea, in modo “turbolento” laddove il corso d’acqua si incurva

Trasporto delle correnti a pelo liquido

Trasporto di “fondo”= forma di trasporto mediante la quale fiumi e torrenti muovono un corpo, grosso e pesante, adagiato sul fondo, sottoposto sia all’azione del peso, predominante sulla spinta di Archimede, sia alla forza “tangenziale” generata dalla corrente idrica

Trasporto “in sospensione”= forma di trasporto di materiali minuti il cui peso prevale di poco sulla spinta di Archimede. Il movimento dell’acqua scalza dal fondo il corpo e sollevato nella massa d’acqua viene trasportato a valle

Forza di trascinamento limite

E' il valore di τ_0 , caratteristico per ogni materiale, che lo trattiene sul fondo. Il corpo si muove se $\tau > \tau_0$

Tab. 3/II – Forza di trascinamento limite.

sabbia da 0,5 mm	0,24
terra	0,50
sabbia grossa	0,65
ghiaietta	1,25
ghiaia	1,40-2,90
ciottoli	3,20
grossi ciottoli	15,00

FONDAMENTI IDROLOGICI



Afflusso = rappresentato dalle precipitazioni, solide e liquide, cadute sul bacino idrografico. Viene misurato con i pluviometri

Deflusso = la parte delle acque di precipitazione che non penetra nel sottosuolo (infiltrazione), né evapora (evaporazione, evapotraspirazione) ma scorre superficialmente (defluisce)

Bilancio idrologico= esprime il concetto che il volume idrico complessivamente affluito nel territorio in un certo periodo uguagli la somma del volume di acqua uscito dallo stesso e di quello accumulatosi nel territorio nello stesso periodo. L'equazione del bilancio idrologico si scrive:

$$\text{AFFLUSSO} = \text{DEFLUSSO} + \text{INFILTRAZIONE} + \text{EVAPOTRASPIRAZIONE}$$

La differenza tra gli afflussi e i deflussi prende il nome di deficit idrologico

COEFFICIENTE DI DEFLUSSO

rapporto tra quantità di precipitazione che passa in deflusso e in afflusso ($a=(\text{deflusso})/(\text{afflusso})$)

Tab. 4/II – Coefficienti di deflusso del Nera a Torre Orsina (1967).

	valori relativi all'anno	media dei 27 anni precedenti
anno	0,62	0,57
gennaio	0,80	0,63
febbraio	1,06	0,53
marzo	0,95	0,71
aprile	0,78	0,60
maggio	0,71	0,61
giugno	0,70	0,74
luglio	1,19	1,12
agosto	0,85	1,02
settembre	0,35	0,52
ottobre	2,24	0,38
novembre	0,24	0,35
dicembre	0,30	0,44

GLI EVENTI IDROLOGICI

- Gli eventi idrologici, cioè le portate dei fiumi e le precipitazioni liquide e solide, vengono analizzati con metodi statistici.
- A tal fine si deve disporre di una lunga serie di osservazioni. Ogni anno, in Italia, le osservazioni vengono pubblicate negli “Annali Idrologici” del Servizio Idrografico.
- Per le analisi statistiche vengono principalmente impiegati i “valori medi” e i “valori estremi”

GLI EVENTI IDROLOGICI

- Nella fig. 2/II è riportato l'andamento di una serie di valori medi giornalieri delle portate in un intervallo pluriennale di osservazioni
- Nella fig. 3/II è riportata la curva di durata delle portate medie pluriennali rappresentate in fig. 2/II

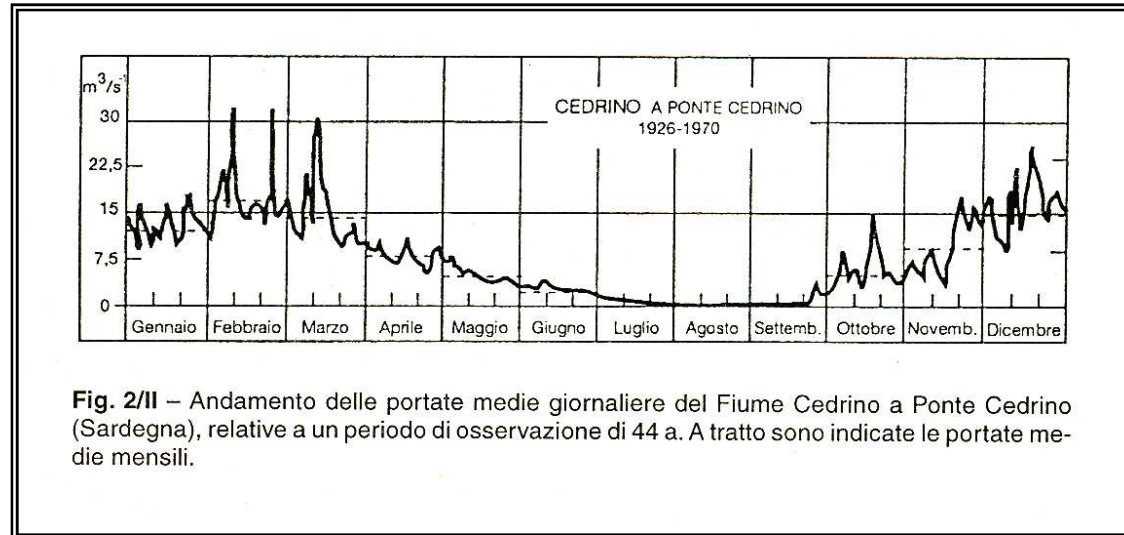


Fig. 2/II – Andamento delle portate medie giornaliere del Fiume Cedrino a Ponte Cedrino (Sardegna), relative a un periodo di osservazione di 44 a. A tratto sono indicate le portate medie mensili.

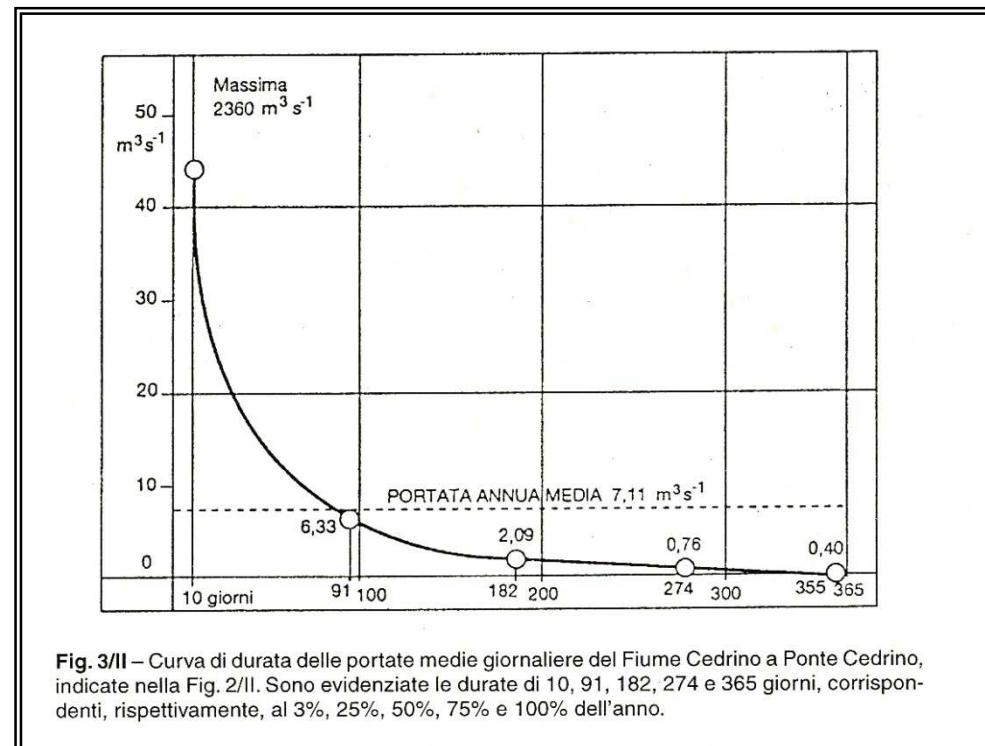


Fig. 3/II – Curva di durata delle portate medie giornaliere del Fiume Cedrino a Ponte Cedrino, indicate nella Fig. 2/II. Sono evidenziate le durate di 10, 91, 182, 274 e 365 giorni, corrispondenti, rispettivamente, al 3%, 25%, 50%, 75% e 100% dell'anno.

MISURA DELLE GRANDEZZE FONDAMENTALI DELLE CORRENTI A PELO LIBERO

- Geometria della corrente. Si misura: la forma e la dimensione delle sezioni trasversali, percorso planimetrico, altimetria e pendenze.
- Livello idrico. Cioè la quota del pelo libero misurata con idrometri (mediante operatore) o idrometrografi (fig. 4/II)
- Profondità. Misurata con vari tipi di scandaglio (fig. 5/II)
- Velocità. Misurata con il “molinello”(fig. 6/II)
- Portata. Non esistono metodi o strumenti di misura. Si procede indirettamente attraverso il rilevamento di altre grandezze:1) integrazione della velocità sulla sezione; 2) procedimento “chimico” o per “diluizione”
- Rilevamento in continuo.
- Carico dei sedimenti.

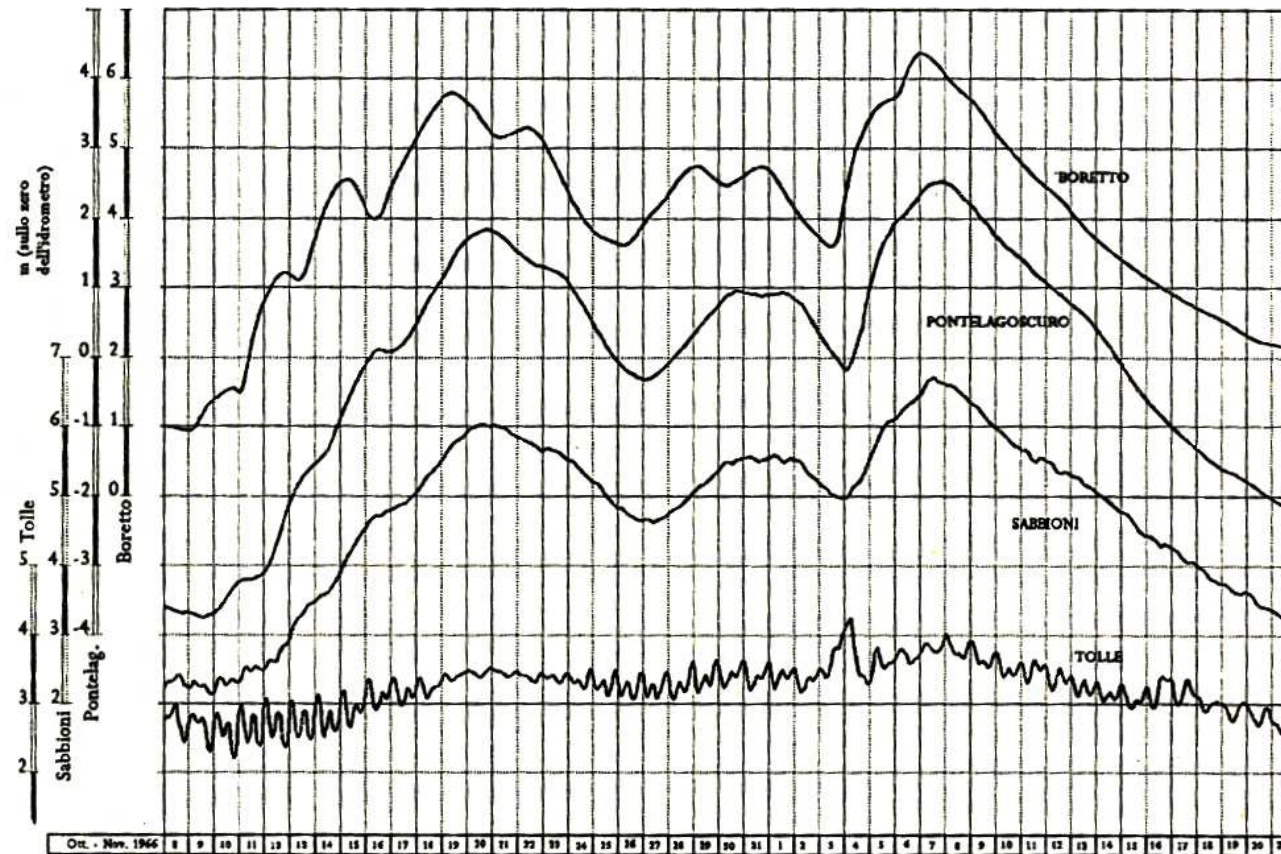


Fig. 4/II – Livelli d’acqua in alcune sezioni di misura del Po (ottobre-novembre 1966). Nelle sezioni più a valle (Sabbioni e Tolle), prossime alla foce, alle cospicue variazioni di livello dovute a eventi meteorici si sovrappongono gli effetti della marea, che denotano ogni giorno due massimi e due minimi.

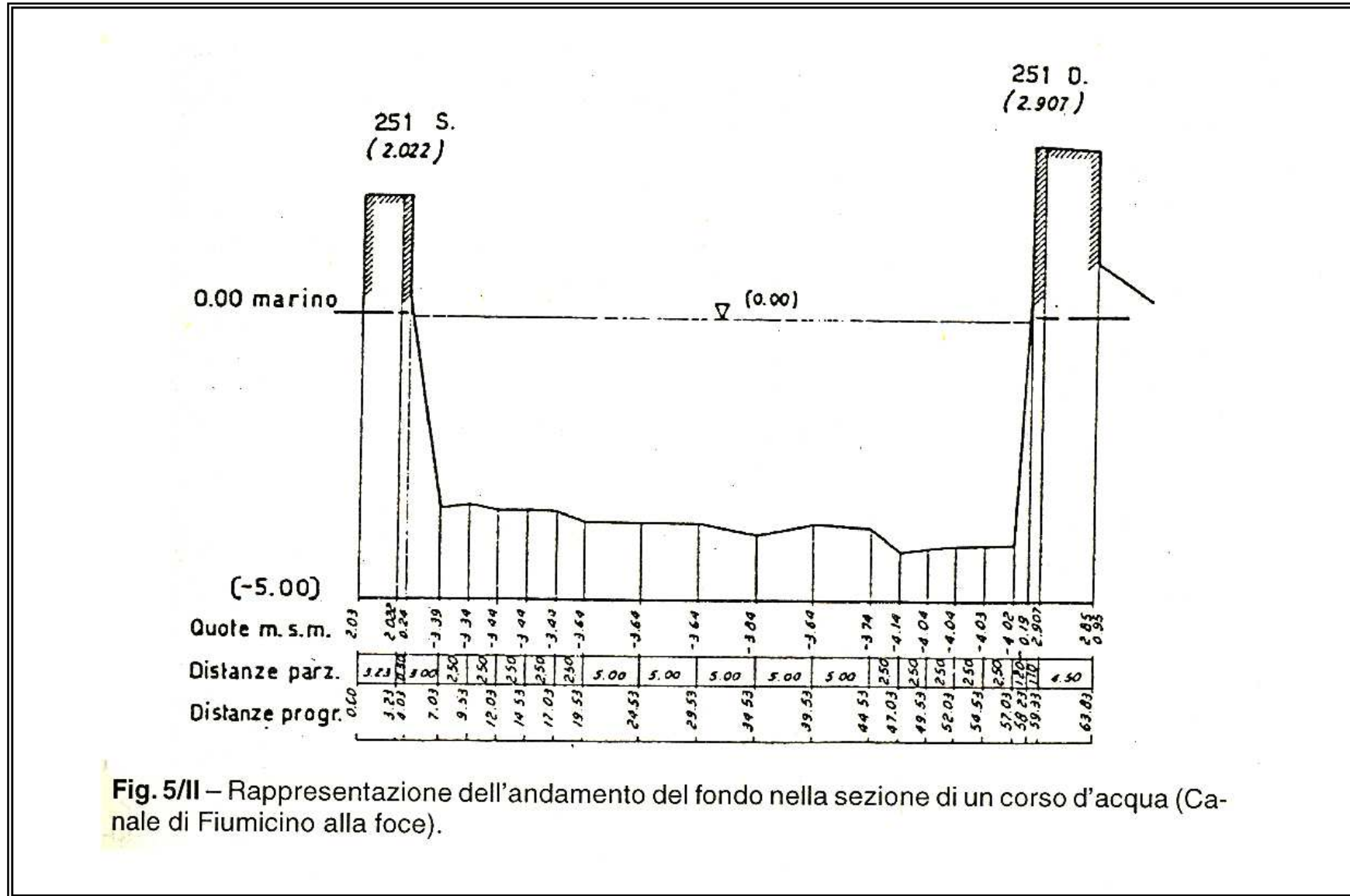
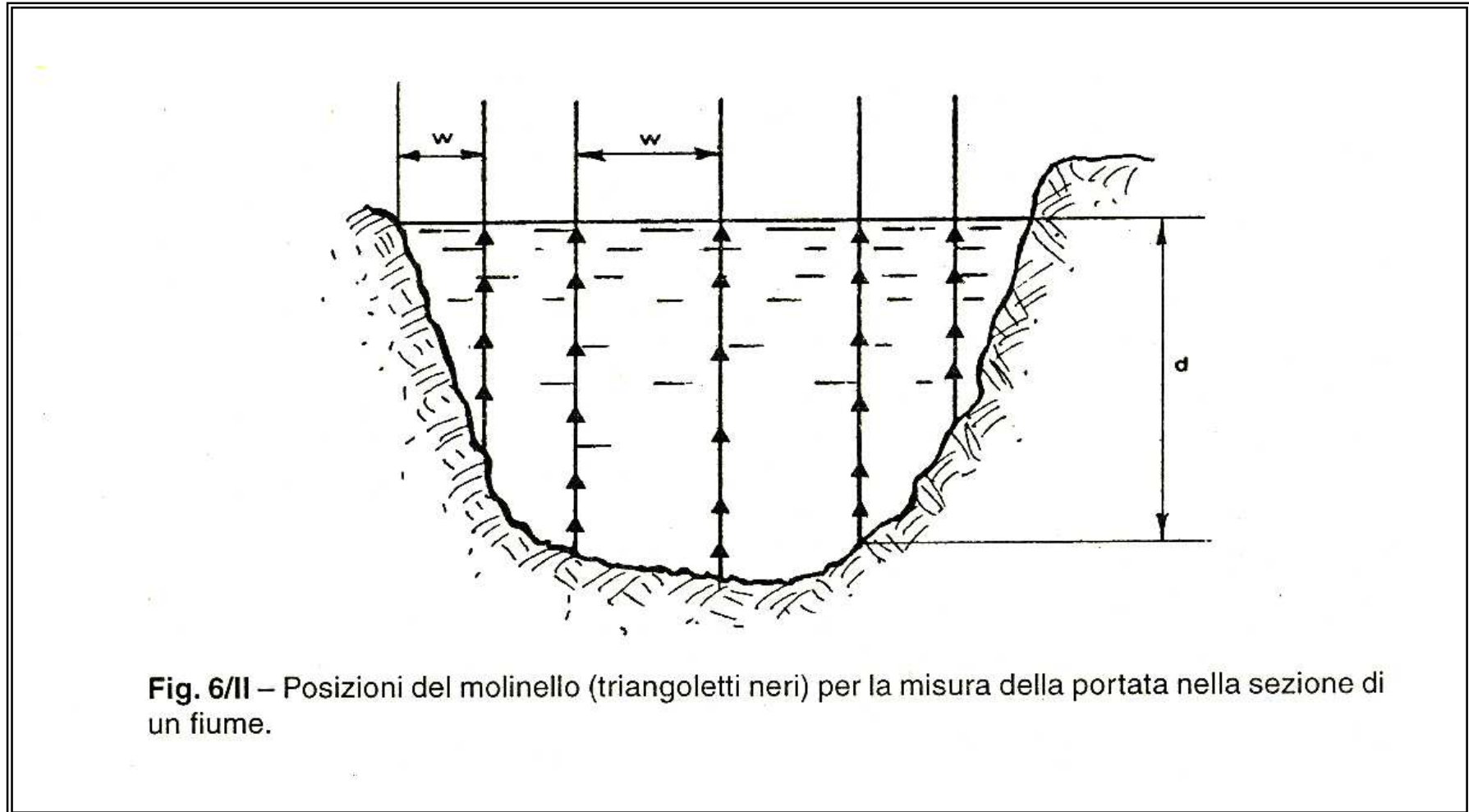


Fig. 5/II – Rappresentazione dell'andamento del fondo nella sezione di un corso d'acqua (Canale di Fiumicino alla foce).



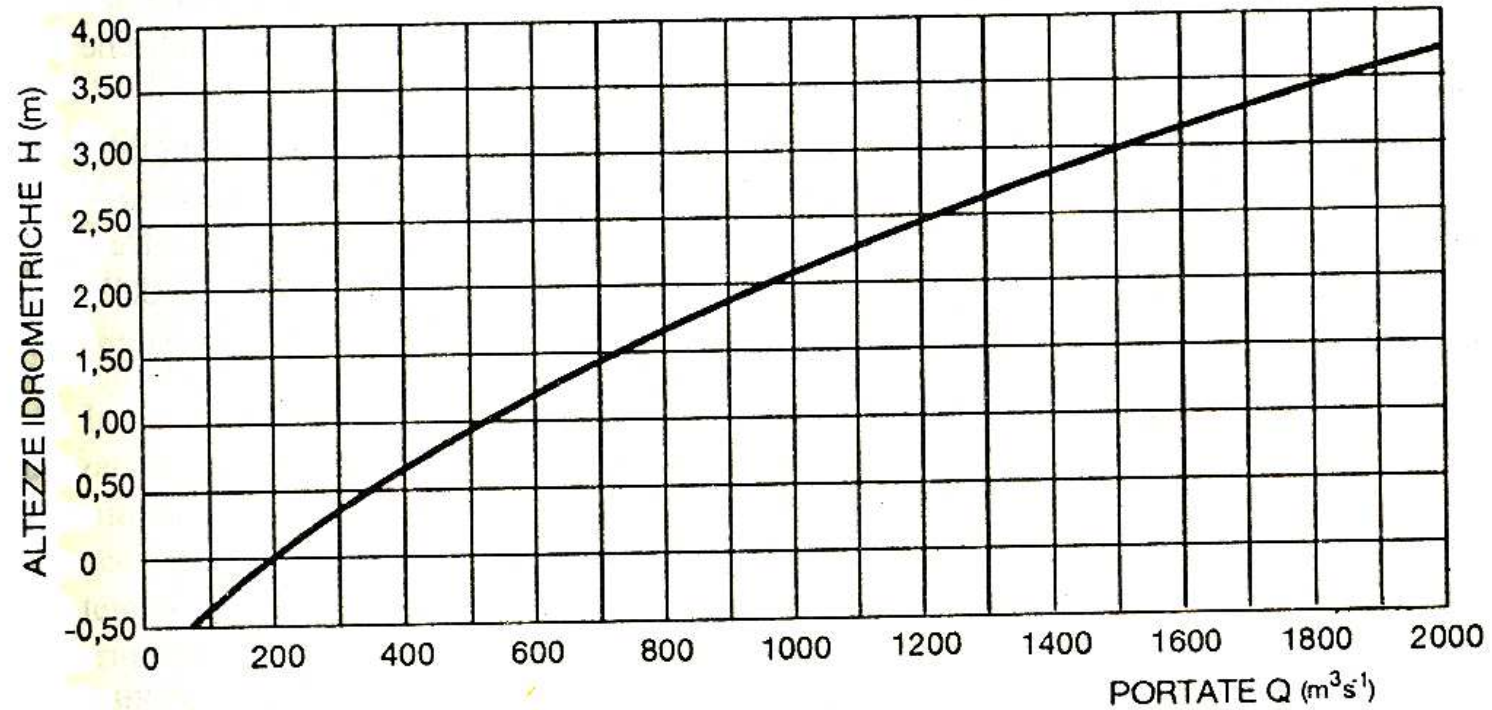


Fig. 7/II – Scala delle portate del Ticino a Sesto Calende.

Acque correnti



Caratteristiche fisiche:

- temperatura
- torbidità

Caratteristiche chimiche:

- solidi totali e disciolti
- componente organica
- Caratteristiche biologiche: ???

Caratteristiche fisiche



La temperatura

- Per valutare la qualità delle acque correnti si misura la **temperatura** e la **torbidità**
- Tra i fattori più importanti che determinano le caratteristiche termiche di un corso d'acqua vi sono:
 - a) il tipo di sorgente;
 - b) l'interazione con acque sotterranee;
 - c) la portata;
 - d) gli affluenti;
 - e) le condizioni climatiche.

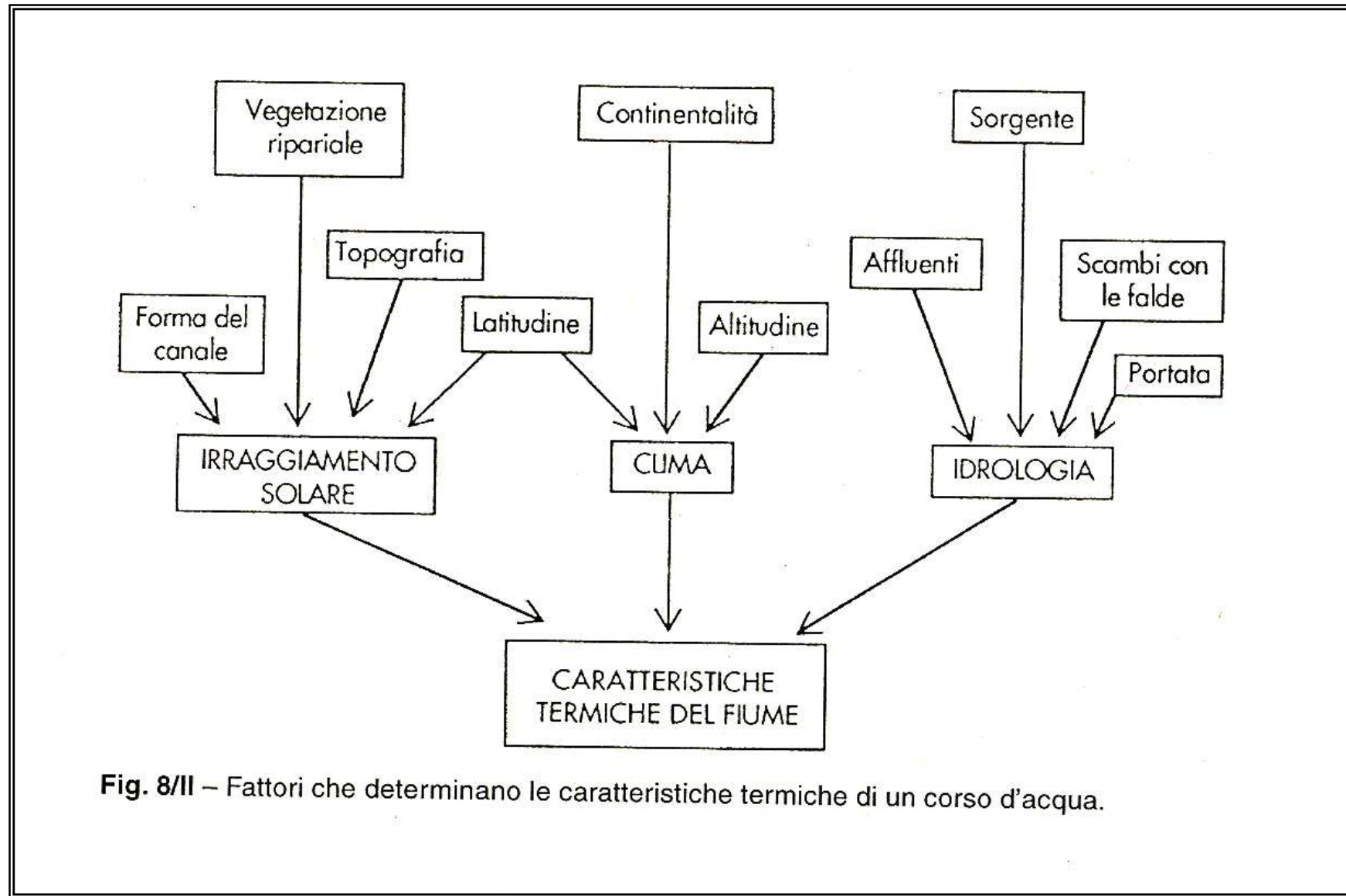


Fig. 8/II – Fattori che determinano le caratteristiche termiche di un corso d’acqua.

Caratteristiche fisiche: la temperatura

➤ **Il regime termico in un determinato tronco di acqua può essere descritto in termini diversi dalle seguenti componenti:**

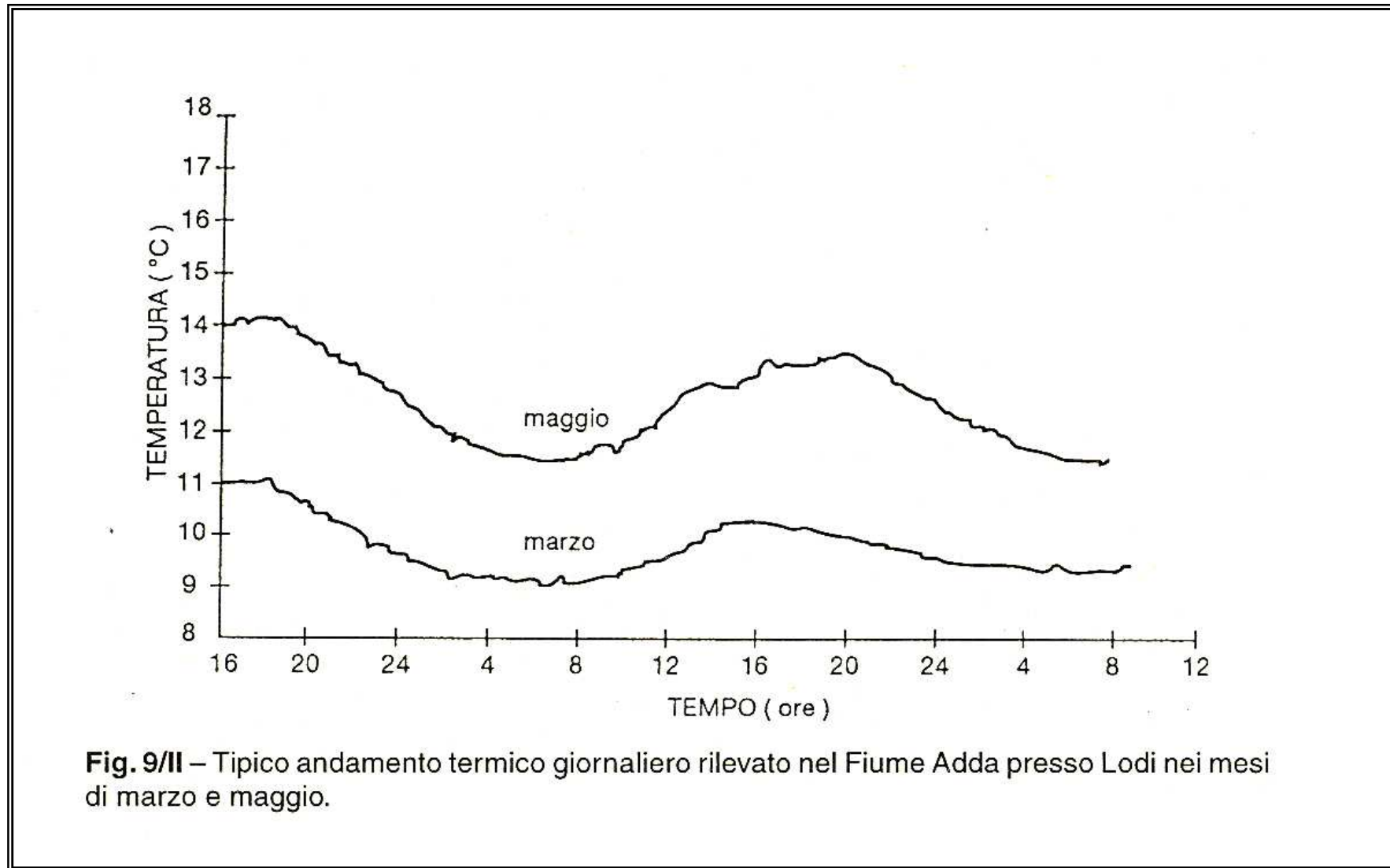
- ciclo giornaliero
- ciclo annuale
- cicli pluriennali

I tre cicli insieme caratterizzano il regime termico del corso d'acqua

➤ **A ciascuna componente sono associati quattro parametri:**

- temperatura media
- temperatura massima
- temperatura minima
- ampiezza di oscillazione ($T_{\text{massima}} - T_{\text{minima}}$)

Per ciascun parametro possono essere determinate le funzioni di distribuzione delle frequenze e i parametri ad esse associati (mediana, moda...)



Caratteristiche fisiche: la temperatura

- Le oscillazioni termiche giornaliere dell'acqua:
 - raramente superano i 2°C
 - tendono essere maggiori in primavera e in estate
 - da un lato tendono ad aumentare lungo l'asse del corso d'acqua al diminuire dell'altitudine, dall'altro, aumentando la portata e la profondità media, tendono a diminuire
- Le oscillazioni annuali tendono ad aumentare nel senso della corrente
- Il minimo giornaliero di temperatura si ha nelle prime ore del mattino, il massimo nel tardo pomeriggio
- Il regime termico di un corso d'acqua può variare a seconda del tronco considerato
- La temperatura massima di un corso d'acqua aumenta dalla sorgente alla foce

Andamenti ottenuti mediando i dati raccolti in due sezioni del fiume Po nel periodo 1924-1935

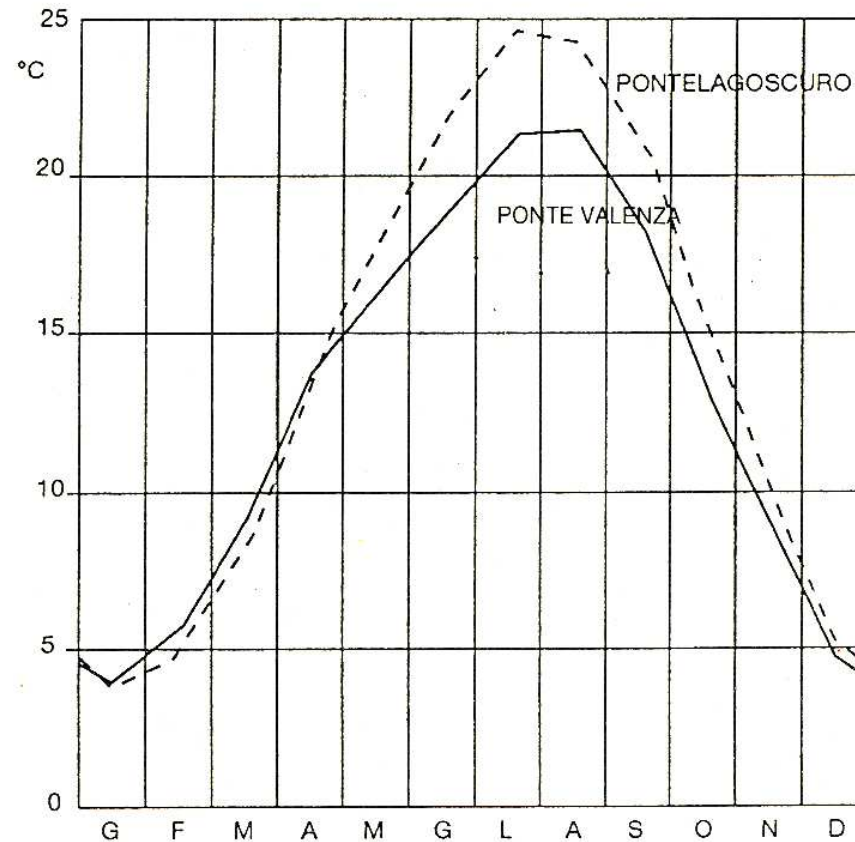


Fig. 10/II – Andamenti medi annuali delle temperature mensili in due sezioni del Fiume Po.

Caratteristiche fisiche: la temperatura

➤ Tecniche di misura

Termografi a sensore resistivo. Precisione ottenibile è di $\pm 0,1^\circ\text{C}$

Strumenti a dilatazione. Precisione ottenibile è di $\pm 0,5^\circ\text{C}$

Telerilevamento all'infrarosso da satellite o da sensore aerotrasportato (per la temperatura di un sottile strato superficiale dell'acqua)

Per corsi d'acqua in cui sono presenti stratificazioni verticali o gradienti trasversali Nota $T(x,y)$ cioè la temperatura puntuale in funzione delle due coordinate, profondità e distanza dalla riva, si calcola la T media di una sezione S :

$T =$

Caratteristiche fisiche: la temperatura

➤ Tecniche di misura

Per corsi d'acqua in cui sono presenti stratificazioni verticali o gradienti trasversali di temperatura, si calcola la T media di una sezione S:

$$T = 1/S \iint t(x, Y) dx dy$$

Nota $t(x, y)$ cioè la temperatura puntuale in funzione delle due coordinate, profondità e distanza dalla riva



Caratteristiche fisiche

La torbidità

➤ La torbidità dell'acqua è la proprietà di impedire la trasmissione diretta della luce per la presenza di materiale sospeso

Unità di misura della torbidità :

- JTU (Jackson Turbidity Unit)
- FTU (Formazin Turbidity Unit)

Metodi di misura:

- Disco di Secchi
- Nefelometri goniometrici

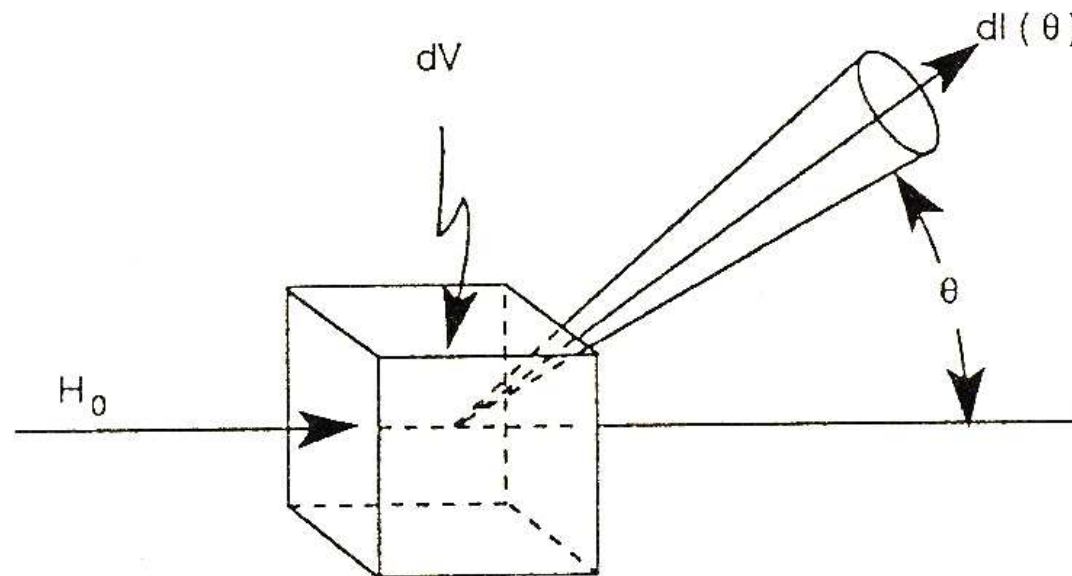


Fig. 11/II – Schema del principio di funzionamento del nefelometro. H_0 = intensità luminosa incidente; dV = volume di liquido; Θ = angolo di misura; $dl(\Theta)$ = intensità luminosa deviata dell'angolo Θ ; $\sigma(\Theta) = (1 / H_0) dl(\vartheta) / dV$ = "volume scattering function".

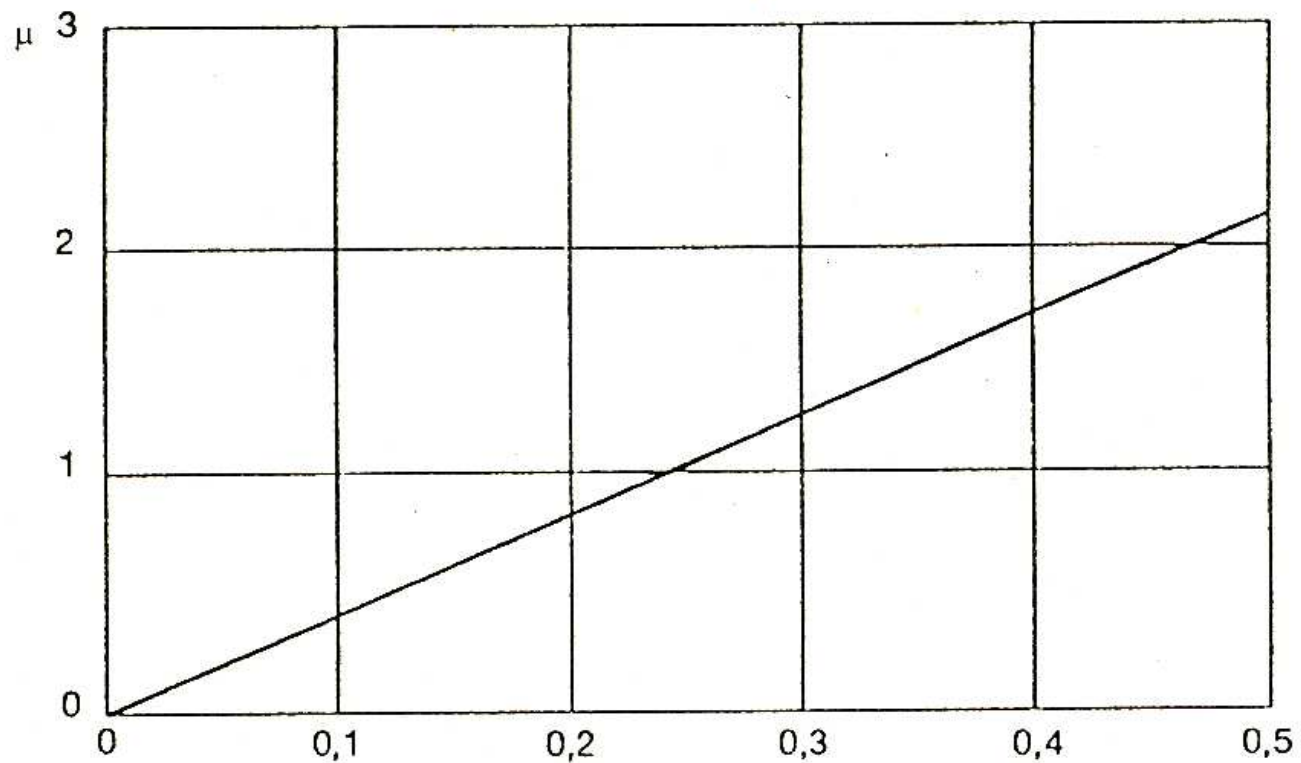


Fig. 12/II – Relazione tra il coefficiente di attenuazione per metro (μ) e la visibilità del disco di Secchi (D).



Caratteristiche chimiche

Per le acque correnti i parametri chimici richiesti per definire la qualità delle acque sono quelli che valutano i processi di trasporto di:

- materiali disciolti e sospesi
- componente organica (BOD, COD, carbonio organico totale)

Caratteristiche chimiche

Solidi totali. Si intende il residuo ottenuto dopo evaporazione e pesata a 105°C di un campione di acqua. Il residuo comprende materiali in sospensione e disciolti.

- Le acque correnti, con caratteristiche idonee alla vita acquatica dei salmonidi, devono contenere materiali in sospensione, come valore medio annuo, in quantità inferiore a 25 mg l⁻¹; le acque ciprinicole devono contenere meno di 80 mg l⁻¹

Caratteristiche chimiche

Solidi totali disciolti (TDS).

- Esprimo il contenuto dei sali minerali e delle sostanze organiche solubili
- La sostanza organica solubile in acqua proviene dalla degradazione di materiale alloctono (es. detriti vegetali) o autoctono (es. placton)
- La frazione inorganica è costituita da carbonati, cloruri, solfati, nitrati e fosfati. Questi si combinano con i cationi calcio, magnesio, sodio e potassio con formazione di sali idrolizzabili
- I corpi d'acqua poveri di sostanza organica , il contenuto di carbonio organico solubile varia da 0,02 a 1 mg l⁻¹, in quelli più ricchi la concentrazione di carbonio è di circa un ordine di grandezza superiore al valore massimo sopra riportato

Caratteristiche chimiche

Solidi totali disciolti (TDS)

La frazione organica incide poco sulla concentrazione dei TDS la cui stima viene effettuata principalmente sulla concentrazione degli ioni inorganici

$$\text{TDS}(\text{mg l}^{-1}) = \text{Ca} + \text{Mg} + \text{Na} + \text{K} + \text{SO}_4 + \text{Cl} + \text{NO}_3 + [\text{HCO}_3]/2 + \text{SiO}_2$$

Oppure si utilizza il valore della conducibilità (K)¹ riferita a 20°C:

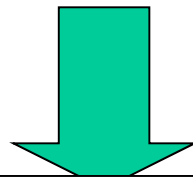
$$\text{TDS}(\text{mg l}^{-1}) = aH_{20}(\mu\text{S cm}^{-1})$$

Caratteristiche chimiche

Solidi totali disciolti

- La concentrazione dei TDS è considerata come un indicatore generale dei fattori chimici che contribuiscono a determinare il livello di produttività biologica di un corpo d'acqua
- I TDS dipendono in particolare:
 - dalla idrologia delle acque naturali;
 - dalla composizione litologica del bacino imbrifero
 - dall'esistenza ed entità di manifestazioni geochimiche (es. sorgenti termali);
 - dall'esistenza di processi naturali quali l'alterazione e dispersione di giacimenti naturali
 - da contributi di origine urbana, agricola e industriale
- I TDS aumentano dalla sorgente alla foce

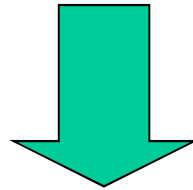
- In tab. 5/II si riportano le variazioni dei TDS del fiume Sesia che, a partire dalla stazione di campionamento più prossima alla sorgente, si incrementano di circa il 123% in 45 km di percorso. Le variazioni longitudinali dei TDS sono di origine antropica per i primi 29,5 km, mentre nel tratto terminale si ha un apporto di acqua con maggiore contenuto salino da parte del fiume Mastallone



Tab. 5/II – Fiume Sesia: solidi totali disciolti in mg l⁻¹.

Specie ioniche	Campione N°	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
	Località	Termine S.S. 229	Casacce	Scopetta	Otra di Guaifola	Baraggie	Crevolo Sesia	Valle Doccio
	Alt. s.l.m.	1600	900	600	530	460	400	300
	Data	05.09.86	05.09.86	05.09.86	05.09.86	05.09.86	05.09.86	05.09.86
	Ora	8.30	9.30	12.00	16.35	10.37	12.45	14.30
	Km	0	13	27	29,5	37	40,4	45
Calcio	Ca	3,01	6,36	6,17	6,28	5,90	6,84	8,59
Magnesio	Mg	0,82	0,73	0,76	0,84	0,87	1,04	1,18
Sodio	Na	0,93	0,61	1,00	1,26	0,83	0,94	1,19
Potassio	K	0,55	0,80	0,85	0,91	0,84	0,91	0,99
Bicarbonato	HCO ₃	10,37	18,05	17,81	17,69	17,69	20,74	26,47
Solfato	SO ₄	4,17	5,56	5,61	5,88	5,58	6,22	6,90
Cloruro	Cl	0,22	0,29	0,89	1,46	0,60	0,56	0,85
Nitrato	NO ₂	0,61	1,06	2,87	1,37	1,33	1,64	1,86
Silice	SiO ₂	2,14	2,46	2,91	3,30	3,18	3,80	4,53
TDS=Ca+Mg+Na+K+ HCO ₃ /2+ SO ₄ + Cl+NO ₃ +SiO ₂		17,63	26,89	29,96	30,14	27,97	32,32	39,32

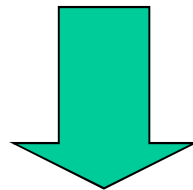
- In tab. 6/II si riportano le modalità di calcolo di bilancio ionico e della salinità di un ipotetico corpo d'acqua. La composizione ionica delle acque può essere rappresentata graficamente usando il metodo di Maucha modificato Kufferath.



Tab. 6/II – Bilancio ionico. $F = PM / Z$; PM = peso atomico o molecolare; Z = valenza.
 (1) concentrazione del carbonato ottenuta moltiplicando il valore dell'alcalinità totale, espressa come CaCO_3 in mg l^{-1} , per 0,61.

Specie chimica	Concentrazione		Milliequivalenti %
	(A) in mg l^{-1}	(B) in meq l^{-1} $B=A/F$	
Calcio (Ca)	9,32	0,465	57,0
Magnesio (Mg)	1,95	0,160	20,0
Sodio (Na)	3,52	0,153	18,0
Potassio (K)	1,64	0,042	5,0
Somma cationi (SC)	16,43	0,820	100,0
Carbonato (CO ₂)	22,22 (1)	0,740	88,3
Solfato (SO ₄)	2,98	0,062	7,4
Cloruro (Cl)	0,99	0,028	3,3
Nitrato (NO ₃)	0,50	0,008	1,0
Somma anioni (SA)	26,69	0,838	100,0
Salinità (SC+SA)	43,12	1,568	

- La composizione ionica delle acque può essere rappresentata graficamente usando il metodo di Maucha modificato Kufferath. Tale metodo prende in considerazione i sei maggiori ioni o gruppo di ioni : Ca, Mg, Na+K (fra i cationi) e CO₃, SO₄, Cl (fra gli anioni)



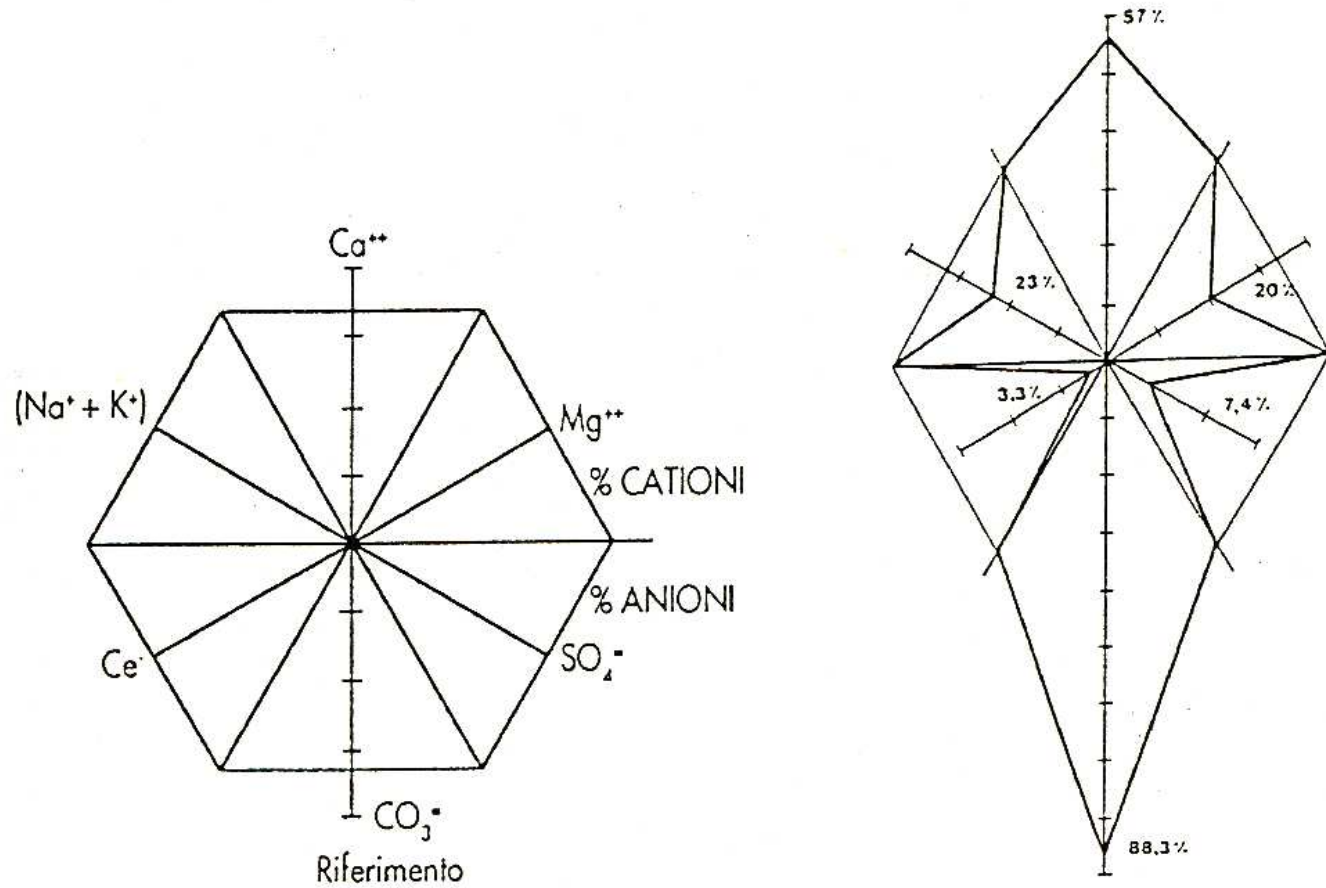


Fig. 13/II – Raffigurazione della composizione ionica di un'acqua secondo il metodo di Kuffner (dati di tabella 6/II).

Caratteristiche chimiche

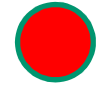


Componente organica

Per misurare la concentrazione delle sostanze organiche presenti in un mezzo liquido si ricorre ai seguenti parametri:

- la richiesta biochimica dell'ossigeno (BOD)
- la richiesta chimica dell'ossigeno (COD)
- il carbonio organico totale (TOC)

Caratteristiche chimiche



Richiesta biochimica dell'ossigeno (BOD)

- Il BOD (Biochemical Oxygen Demand) misura la quantità di ossigeno disciolto (mg l^{-1}) utilizzata da una popolazione microbica per ossidare il materiale organico biodegradabile presente in acqua.
- Il BOD si misura dopo 5 giorni da cui il nome di BOD_5 .
- Il suo elevato tenore indica la presenza di notevoli quantità di sostanze biodegradabili provenienti dalle acque usate di origine umana.

Caratteristiche chimiche



Richiesta biochimica dell'ossigeno (BOD)

Per acque correnti di buona qualità: $BOD_5 < 3 \text{ mg l}^{-1} \text{ O}_2$.

IL DL 130/1992 decreta:

- per le acque salmonicole $BOD_5 < 3$
- per le acque ciprinicole $BOD_5 < 6$

Le leggi **319/76** e **650/79** impongono per gli scarichi civili un BOD_5 pari a 40 mg l^{-1} , per gli scarichi industriali, la concentrazione limite deve essere riferita ad almeno il 70% del BOD totale

Caratteristiche chimiche

Richiesta chimica di ossigeno (COD)

IL COD (Chemical Oxygen Demand). Quantità di ossigeno consumato per ossidazione chimica da un campione di acqua inquinata da sostanze organiche (sia biodegradabili che non) e inorganiche, da parte di un energetico ossidante, quale il bicromato di potassio, in soluzione fortemente acida per acido solforico. Si esprime in $(\text{mg l}^{-1}\text{O}_2)$

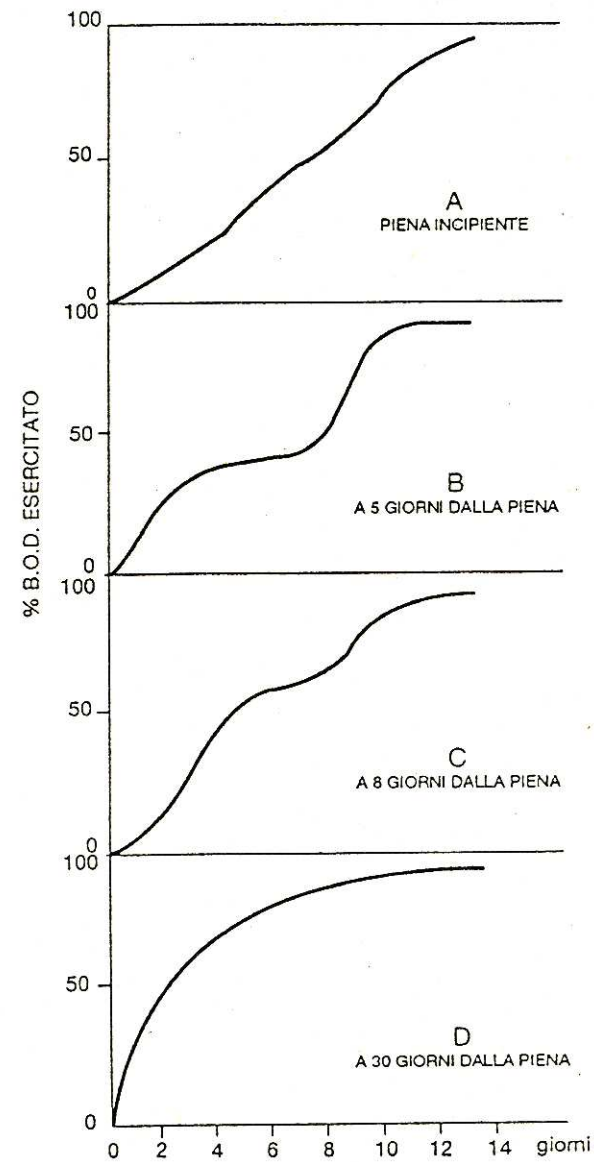


Fig. 14/II – Valori del BOD in diverse situazioni idrologiche.

Caratteristiche chimiche

Richiesta chimica di ossigeno (COD)

- Non permette una differenziazione tra sostanza organica biologicamente stabile e sostanza organica biologicamente instabile
- E' soggetto ad interferenze positive da parte di cloruri e altre sostanze inorganiche ossidate dal bicromato
- Non consente l'ossidazione completa di diversi composti organici

Caratteristiche chimiche

Richiesta chimica di ossigeno (COD)

IL DL 130/1992 decreta:

- per le acque salmonicole COD varia da 1,5 a 5 mg l⁻¹ O₂
- per le acque ciprinicole COD varia da 6 a 20 mg l⁻¹ O₂

Le leggi **319/76** e **650/79** impongono per gli scarichi di origine civile ed industriale una concentrazione limite pari a 160 mg l⁻¹ O₂

Caratteristiche chimiche

Carbonio organico totale (TOC)

Il TOC (Total Organic Carbon) misura il carbonio organico ($\text{mg l}^{-1} \text{ C}$) presente in acqua superficiale previa eliminazione del carbonio inorganico, esente da CO_2 , per spurgare la CO_2 risultante e quella eventualmente presente nel campione

Vantaggi: rapidità di esecuzione e indipendenza da fattori limitativi (biodegradabilità, struttura chimica...)

IL DL 130/1992 decreta:

- per le acque salmonicole TOC risulta inferiore a $1 \text{ mg l}^{-1} \text{ C}$
- per le acque ciprinicole TOC varia da 2 a 6 mg l^{-1} con punte fino a $10\text{-}15 \text{ mg l}^{-1}$ durante i transitori idrologici

Relazioni tra BOD, COD e TOC

Tra questi parametri esistono ovvi rapporti significativi

- IL COD nelle acque correnti è superiore o uguale al BOD.
- Un elevato rapporto COD/BOD indica scarsa biodegradabilità
- Un elevato rapporto BOD/BOD5 indica biodegradabilità molto lenta
- Il rapporto BOD5/COD rappresenta la frazione di materiale organico, ossidabile chimicamente (bicromato) che subisce la degradazione biologica
- $4(\text{TOC}-\text{COD})/\text{TOC}$?????

CARATTERISTICHE BIOLOGICHE



- Un corso d'acqua è costituito da una serie di ecosistemi diversi che si susseguono nella direzione della corrente
- Il fattore che determina la struttura della comunità degli ambienti lotici è, in assoluto, la corrente alla quale gli organismi si sono adattati in vario modo

CARATTERISTICHE BIOLOGICHE

➤ Componenti caratteristiche delle comunità lotiche:

- Il *perifiton* è l'insieme di organismi colonizzanti substrati sommersi di varia natura, costituito prevalentemente da batteri, funghi, muschi, alghe, protozoi, nematodi, oligocheti;
- le *macrofite* sono vegetali comprendenti diversi gruppi tassonomici;
- i *microinvertebrati* sono organismi di lunghezza generalmente non superiore al millimetro ad esempio protozoi, rotiferi ecc.;
- i *macroinvertebrati* sono organismi la cui dimensione raramente, alla fine dello sviluppo larvale o allo stadio di pupa, è inferiore ad un millimetro;
- i *vertebrati* presenti nei corsi d'acqua italiani sono rappresentati prevalentemente da specie e sottospecie di Ciclostomi e Pesci

ZONAZIONE DELLE ACQUE CORRENTI

Voigt (1892) per l'Europa Centrale:

- 1) regione a *Crenobia alpina* (più elevata)
- 2) regione a *Dugesia gonocephala* (intermedia)
- 3) regione a *Planaria lugubris* (meno elevata)

Thienemann (1925):

- 1) Sorgente priva di fauna ittica
- 2) Ruscello a trote (*Salmo trutta fario*)
- 3) Regione a temolo (*Thymallus thymallus*)
- 4) Regione a barbo (*Barbus fluviatilis*)
- 5) Regione a ciprinidi (*Abramis brama*)
- 6) Regione di foce o di estuario (*Acerina cernua*, *Pleuronectes flesus*)

Grafico delle pendenze di M. Huet :

si basa sul profilo delle pendenze e sulla larghezza dell'alveo (fig. 15/II)

Zonazione basata sulle confluenze dei corsi d'acqua (fig. 16/II)

Teoria del continuum (fig. 17/II)

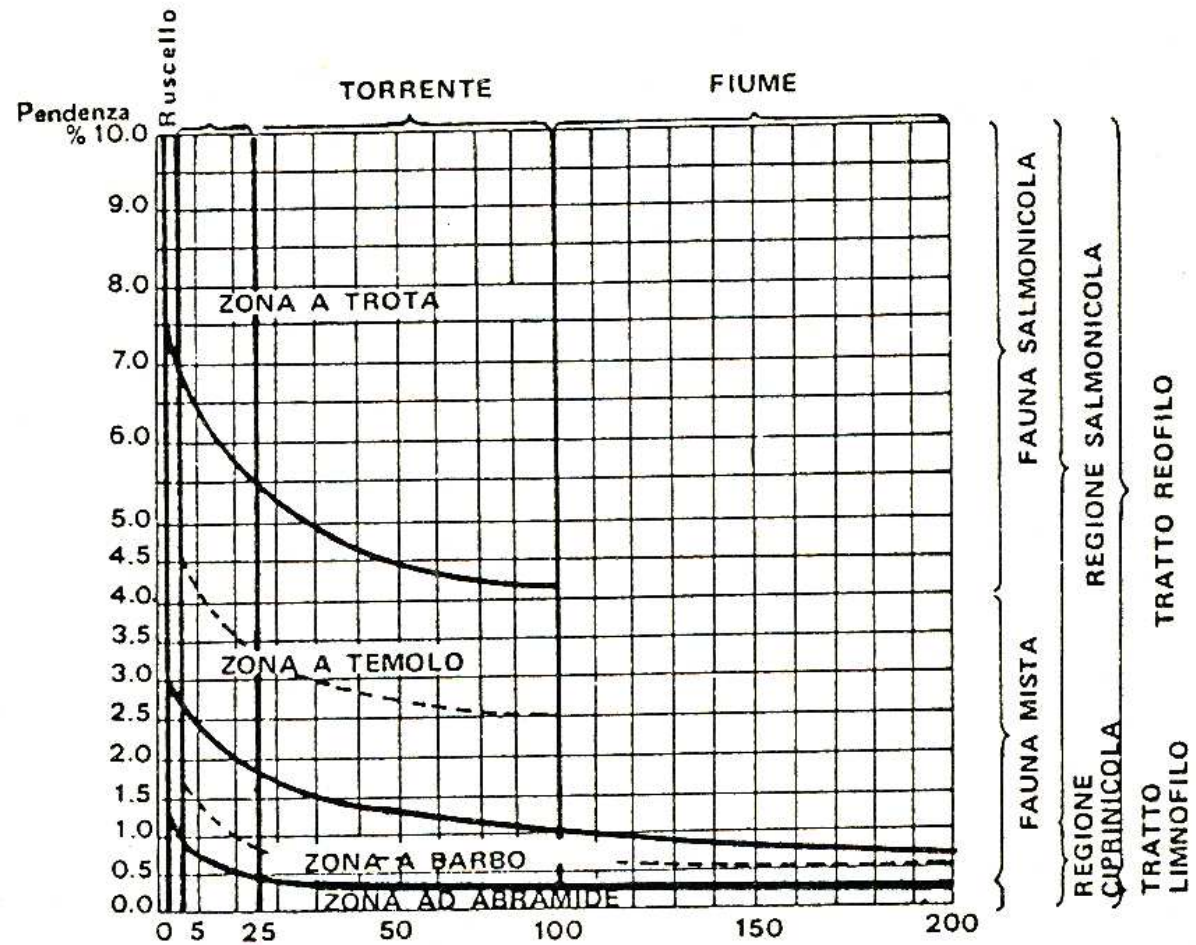


Fig. 15/II – Grafico delle pendenze di M. Huet in base al quale è possibile suddividere dal punto di vista piscicolo qualsiasi tipo di corso d'acqua europeo.

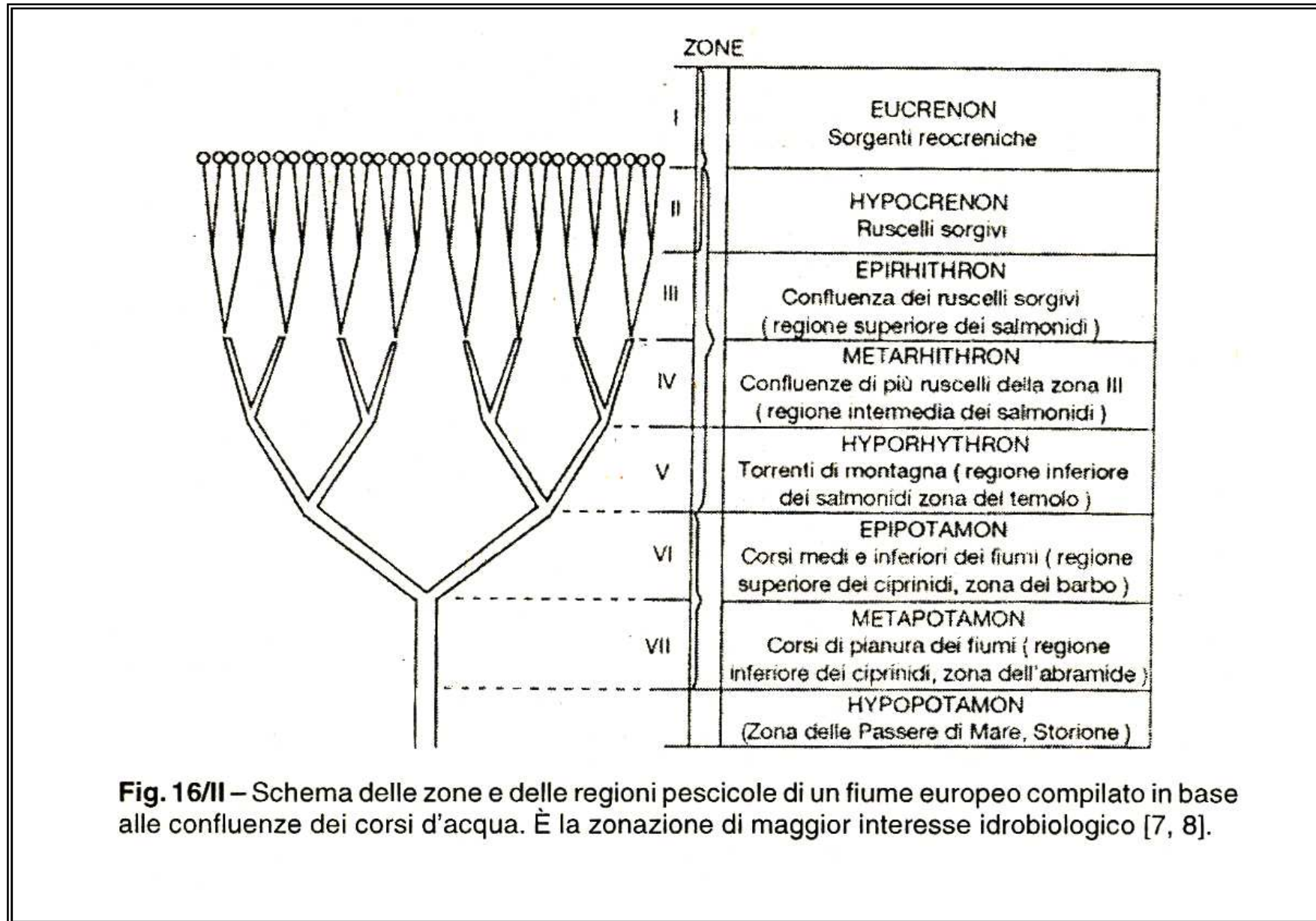


Fig. 16/II – Schema delle zone e delle regioni pescicole di un fiume europeo compilato in base alle confluenze dei corsi d'acqua. È la zonazione di maggior interesse idrobiologico [7, 8].

TEORIA DEL CONTINUUM

- Dalla sorgente alla foce variano le caratteristiche abiotiche e, in relazione ad esse, i popolamenti biologici.
- I vari tratti di un corso d'acqua sono costantemente influenzati dalle condizioni del tratto a monte e, a loro volta, influenzano quelli a valle. In questo senso i corsi d'acqua costituiscono un continuum, in cui è possibile isolare zone di relativa omogeneità dal punto di vista della struttura trofica e del metabolismo.

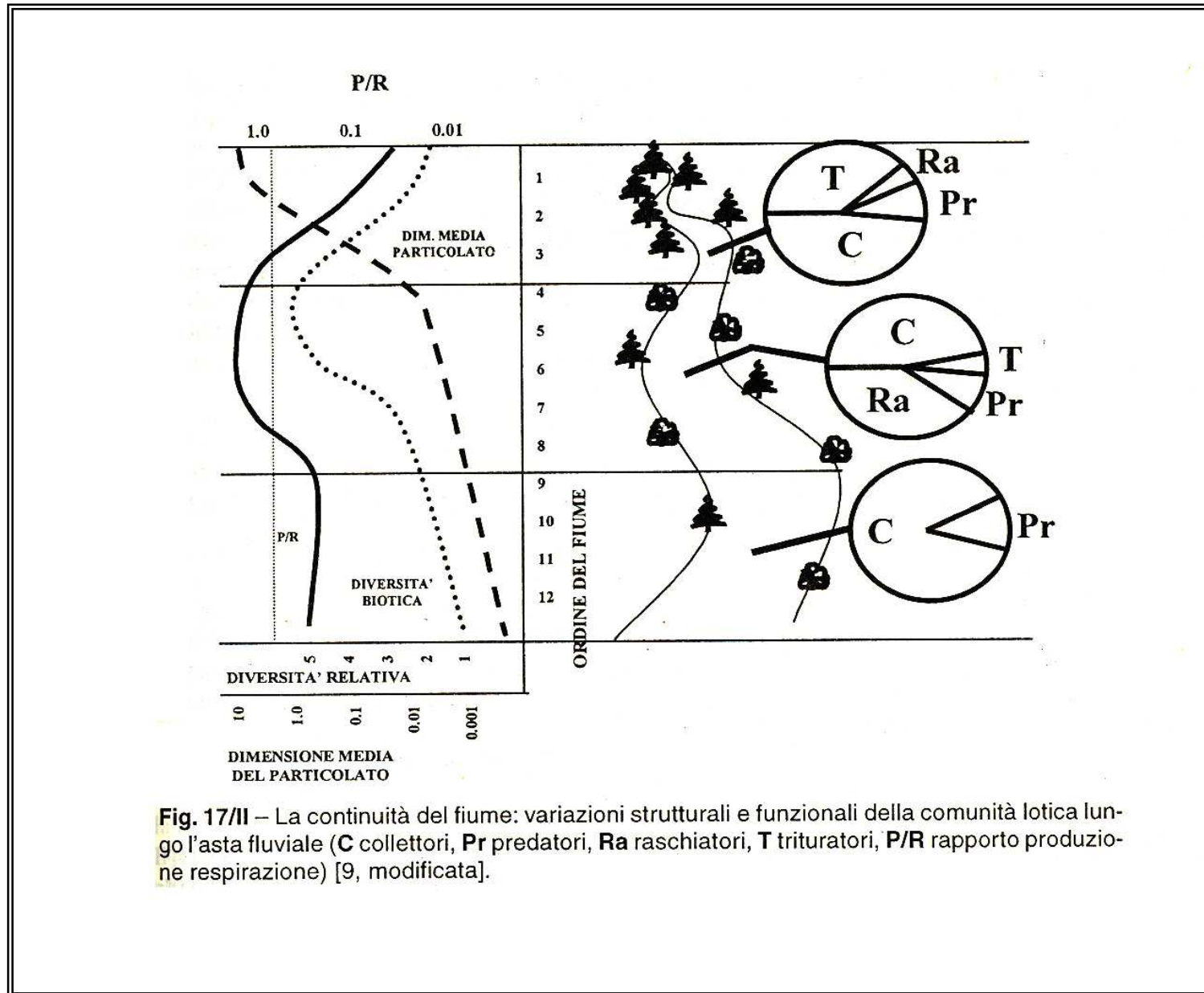


Fig. 17/II – La continuità del fiume: variazioni strutturali e funzionali della comunità lotica lungo l'asta fluviale (C collettori, Pr predatori, Ra raschiatori, T trituratori, P/R rapporto produzione respirazione) [9, modificata].

METODI PER LO STUDIO DELLE COMUNITA' LOTICHE

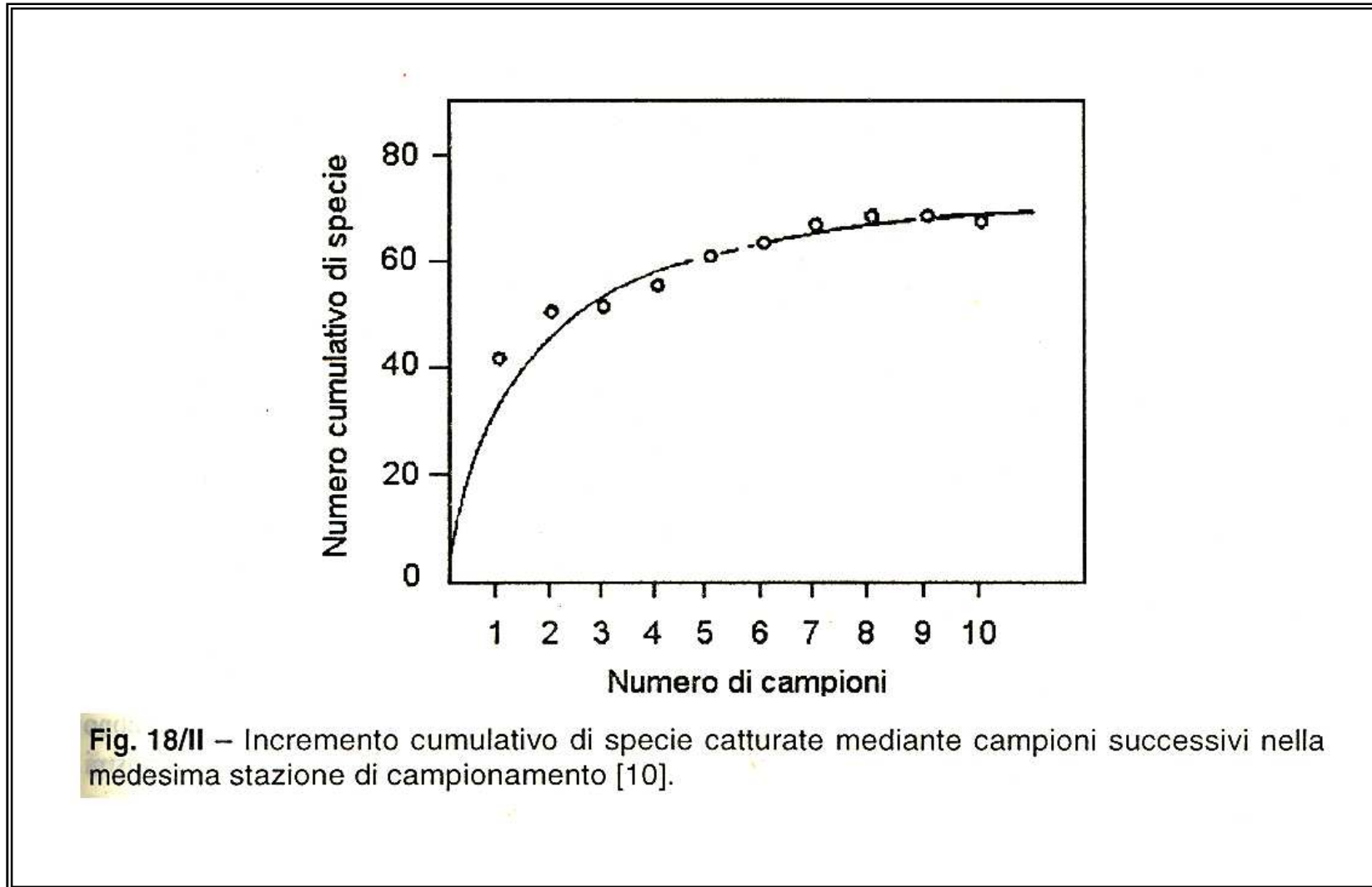
Perifiton e Invertebrati

La scelta di strumenti e tecniche di campionamento dipende dagli scopi della ricerca, dal tipo di campionamento (qualitativo o quantitativo) , dalle caratteristiche ambientali

- Per substrati molli: benne e carotatori (in prossimità delle foci)
- Per substrati duri: campionatori a rete, retino immanicato
- Substrati artificiali

Vertebrati

- Metodi di cattura (reti attive e passive, pesca elettrica e con lenza, raccolta manuale in tratti di corso d'acqua prosciugato, anestetici, veleni) osservazioni subacquee (fotografia, televisione, radar)



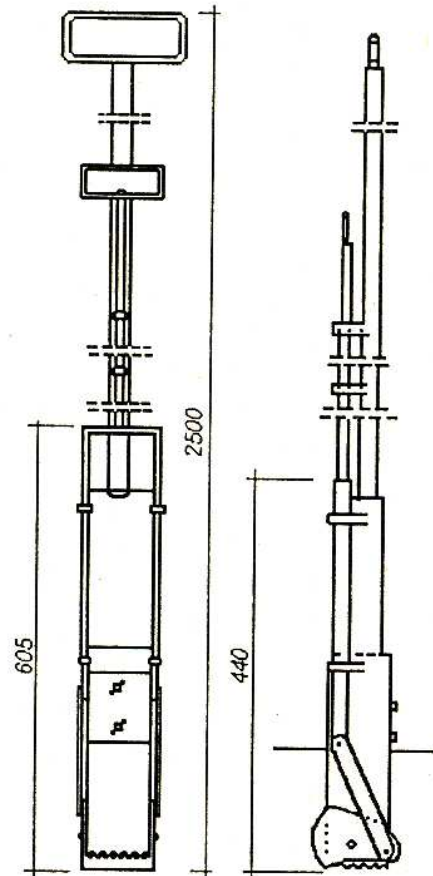


Fig. 19/II – Campionatore con comando a mano dall'alto per corsi d'acqua con altezze medie (1-2 m).

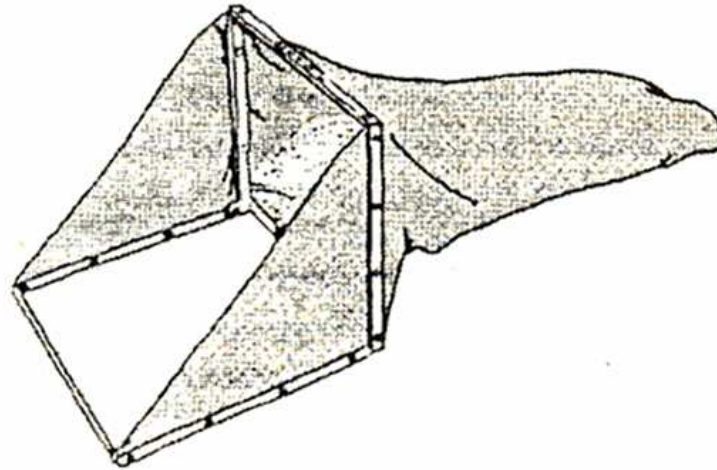


Fig. 20/II – Campionatore a rete che delimita una superficie di fondo da campionare (per acque basse): rete di Surber.

Tab. 7/II – Principali metodi per la cattura dei Pesci e la loro tipica applicazione nelle acque dolci correnti (X indica una maggiore efficacia; m un'efficacia minore) (19 modificata). I veleni si applicano ai corpi idrici di modeste dimensioni.

METODI										
HABITAT	Veleni	Pesca elettrica	Reti a trazione		Reti a strascico			Reti fisse		
			acque costiere	acque aperte	Fondo	Media prof.	Superficie	Tra-magli	Berto-velli	Trap-pole
Piccoli torrenti	X	X	X	–	–	–	m	–	m	X
Grandi fiumi	X	X	X	–	–	–	m	X	X	X

Tab. 8/II – Principali metodi per la cattura dei Pesci e la loro tipica applicazione nelle acque lacustri (X indica una maggiore efficacia; m un'efficacia minore) (19 modificata). I veleni in genere si applicano ai corpi idrici di modeste dimensioni o alle baie e ai bracci dei grandi laghi.

METODI										
HABITAT	Veleni	Pesca elettrica	Reti a trazione		Reti a strascico			Reti fisse		
			acque costiere	acque aperte	Fondo	Media prof.	Superficie	Tra-magli	Berto-velli	Trap-pole
Laghi	X	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Bassi fondali	–	X	–	–	m	m	m	X	X	X
Superficie	–	–	X	X	–	–	X	X	–	m
Media prof.	–	–	–	–	–	X	–	X	–	–
Fondo	–	–	–	–	X	–	–	X	–	X

ACQUE LACUSTRI



- Forel → il lago naturale è una massa d'acqua in una situazione idrodinamica di calma (o quasi calma) che occupa una depressione del terreno senza connessione diretta col mare
- I laghi costituiscono una formazione idrologica temporanea e scompariranno in un arco di tempo più o meno lungo
- Le acque contenute possono essere dolci o più o meno salmastre
- Più numerosi alle alte latitudini e nelle regioni montane

ACQUE LACUSTRI



- Laghi naturali ampliati. La superficie dei quali è stata artificialmente ampliata a scopo di creare una maggiore disponibilità idrica. Sono molto numerosi nel nostro Paese
- Laghi naturali regolati. L'uomo costruisce opere idrauliche al loro incile in grado di controllare con continuità il deflusso attraverso l'emissario . I gradni laghi italiani sono più o meno regolati.

ACQUE LACUSTRI



- Il 40% circa del volume globale delle acque dolci lacustri è contenuto in una ventina di grandi bacini . La restante parte è distribuita in conche più piccole prevalentemente in zone subartiche e temperate dell'emisfero settentrionale
- Laghi possono avere origine diversa. Essi di solito vengono classificati secondo criteri **geologici** (origine delle depressioni lacustri) o **geografici** (ubicazione dei laghi).

Classificazione dei laghi in base alla loro origine:

- tettonici
- vulcanici
- glaciali
- di frana
- carsici
- fluviali
- eolici
- costieri

➤ Dalla planimetria di un lago si possono ricavare parametri morfometrici:

- lunghezza e larghezza massima;
- perimetro;
- area;
- larghezza media (rapporto tra area e lunghezza massima);
- sviluppo della linea di costa;
- rapporto tra la superficie del bacino imbrifero e quella del lago

Tab. 9/II – Caratteristiche morfometriche ed idrologiche dei principali laghi italiani.

LAGO	Bacino idrografico		Quota media (m s.l.m.)	Area (km ²)	Rapporto area bacino area lago	Profondità (m)			Volume (km ³)	Portata emissario (m ³ s ⁻¹)	Tempo medio-residenza (a)
	Quota media (m s.l.m.)	Area (km ²)				max	media	cripto-depress.			
GARDA	966	2350	65	370,0	6,35	346	136	281	50,350	59,50	26,8
MAGGIORE	1283	6599	193	212,2	31,10	370	177	177	37,500	297,00	4,0
COMO	1569	4572	198	145,9	31,34	410	153	212	22,500	158,00	4,5
ISEO	1429	1842	186	61,8	29,81	251	123	65	7,600	59,40	4,1
LUGANO	786	615	271	48,9	12,58	288	134	17	6,250	25,00	8,3
ORTA	652	116	290	18,1	6,41	143	71	-	1,300	4,64	8,9
VARESE	370	110	238	14,9	7,38	26	11	-	0,160	2,87	1,7
TRASIMENO	287	376	258	128,7	3,02	6	4	-	0,586	0,86	21,6
BOLSENA	490	273	305	113,6	2,40	151	81	-	9,200	2,42	120,6
BRACCIANO	313	147	164	57,0	2,57	165	89	1	5,053	1,17	137,0

➤ Dalla batimetria di un lago si possono ricavare altri parametri morfometrici:

- Profondità massima, media e di criptodepressione
- Volume
- Pendenza massima e media dei fianchi della conca
- Sviluppo del volume

Curve ipsografiche delle aree. Relazione che intercorre tra le superfici racchiuse dalle successive isobate e la profondità di ciascuna di esse

Curve ipsografiche dei volumi. Distribuzione in profondità dei volumi di acqua compresi fra i successivi piani isobatimetrici

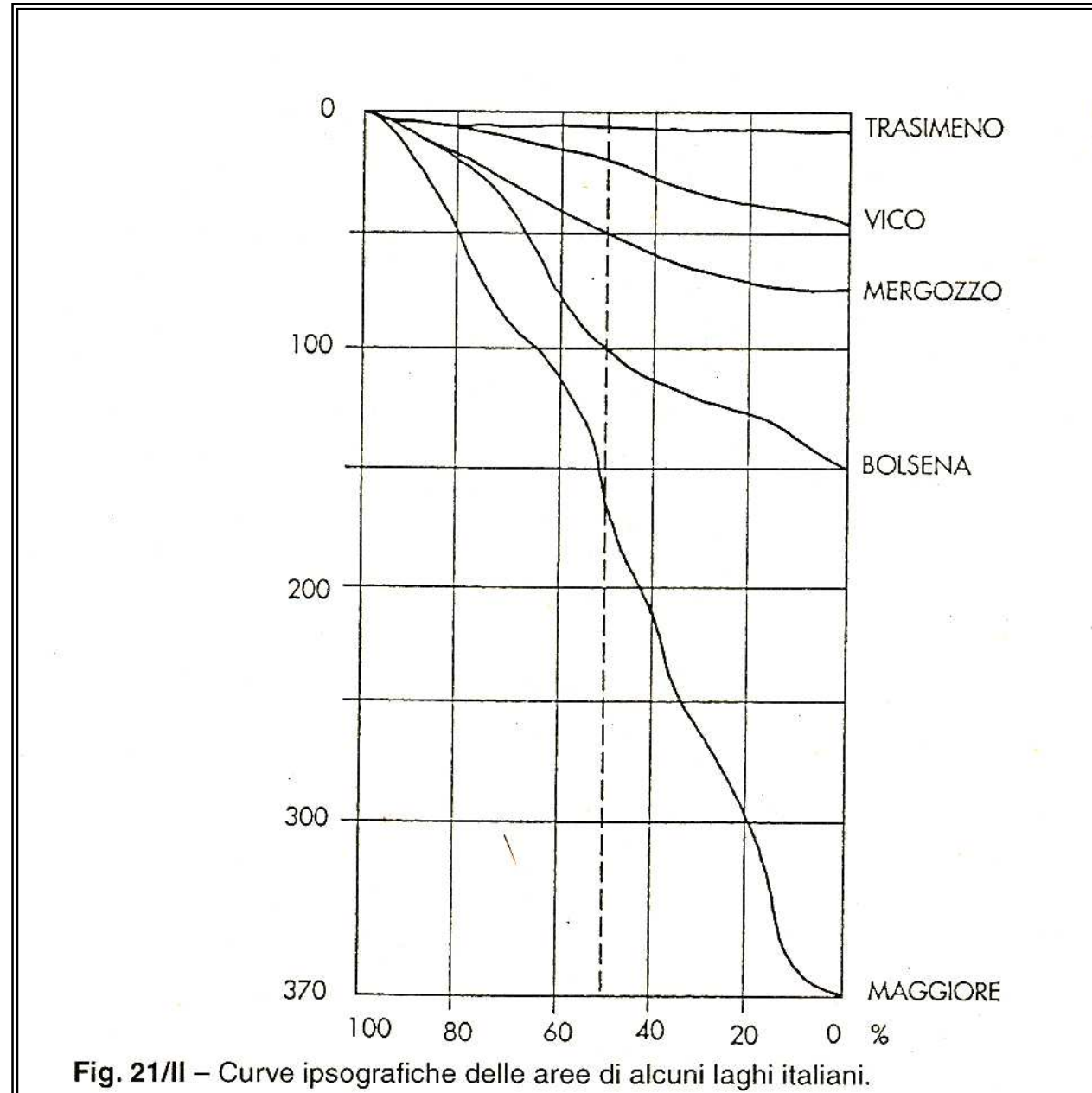


Fig. 21/II – Curve ipsografiche delle aree di alcuni laghi italiani.

Caratteristiche idrodinamiche

- Bilancio idrologico. Dipende da vari fattori: dalla presenza o assenza di collegamenti fluviali, dal drenaggio e dalla raccolta delle acque piovane, dalle perdite nel sottosuolo e dall'evaporazione.
- L'equazione che definisce il bilancio idrologico di un lago esprime la relazione tra la quantità d'acqua che in un determinato intervallo di tempo entra ed esce dal corpo idrico

$$P+I+R+S_i-O.S_0-E-ET \pm \Delta H=0$$

Caratteristiche idrodinamiche

- Tempi di residenza reali e teorici
 - Conseguenza diretta del bilancio idrologico è la vivacità di scambio della massa d'acqua di un lago quantificabile attraverso il tempo medio di residenza che può essere espresso in termini “teorici” o “reali”

Movimenti delle acque

➤ In presenza di un vento stazionario le risposte dinamiche della massa d'acqua possono essere:

- moti turbolenti
- ondazioni
- sesse (superficiali ed interne)
- correnti

Movimenti delle acque

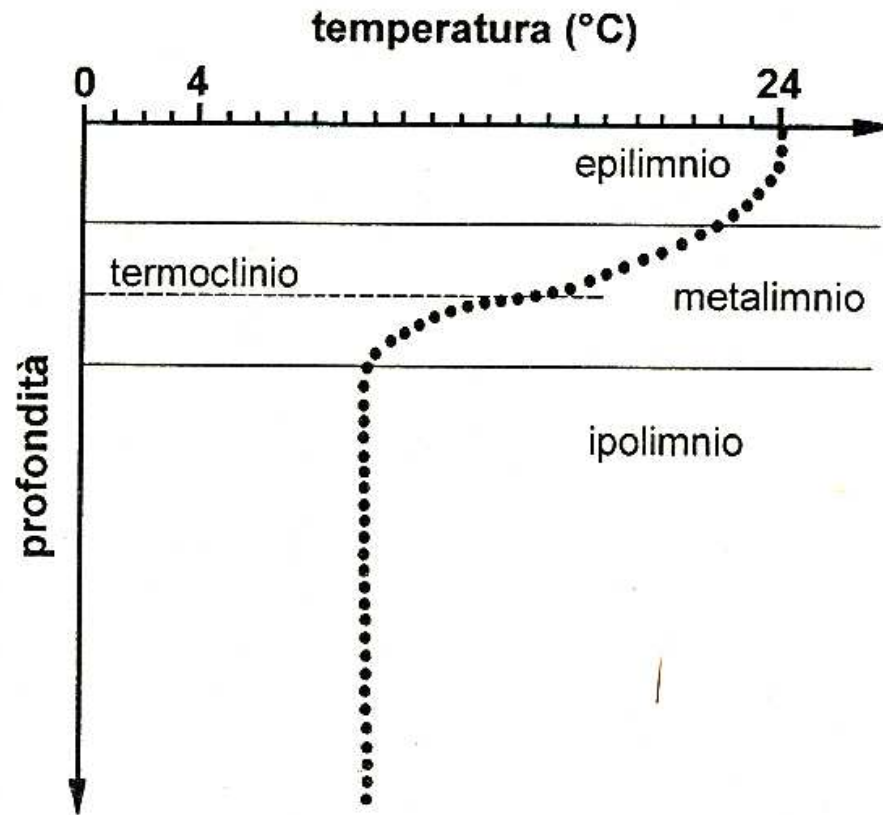
➤ Moti turbolenti

- Numero di Reynolds (R_e). Parametro adimensionale che definisce le condizioni che consentono lo stabilirsi in un determinato corpo di acqua, di un flusso di tipo laminare o turbolento

$$R_e = (\rho v L) / \eta$$

- Numero di Richardson. Definito dal rapporto tra il gradiente verticale di densità ed in quadrato del gradiente verticale della velocità

$$R_i = g(d\rho/dz) / \rho(dv/dz)^2$$



ig. 22/II – Schema della distribuzione della temperatura in un lago.

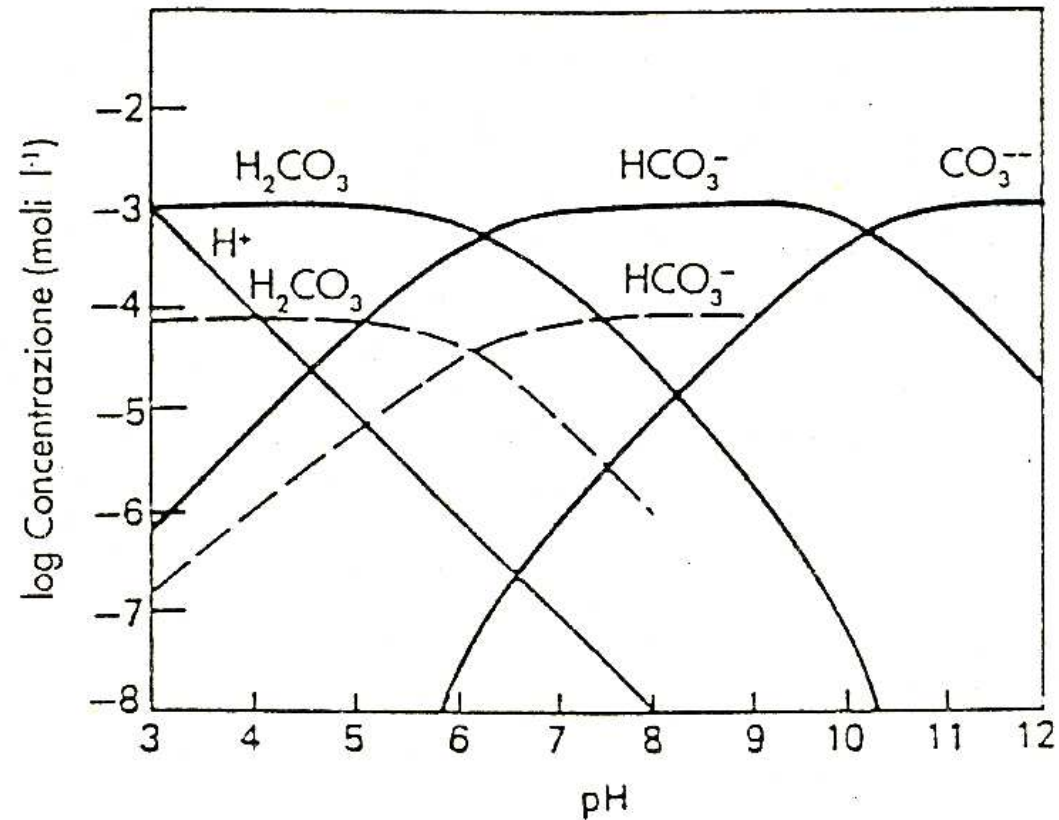


Fig. 23/II – Distribuzione delle specie carboniche e dello ione H⁺ in funzione del pH a 25 ° per soluzioni acquose diluite con concentrazioni totali di carbonio inorganico di 10⁻³ moli (linee continue) e 10⁻⁴ moli l⁻¹ (linee tratteggiate) [13].

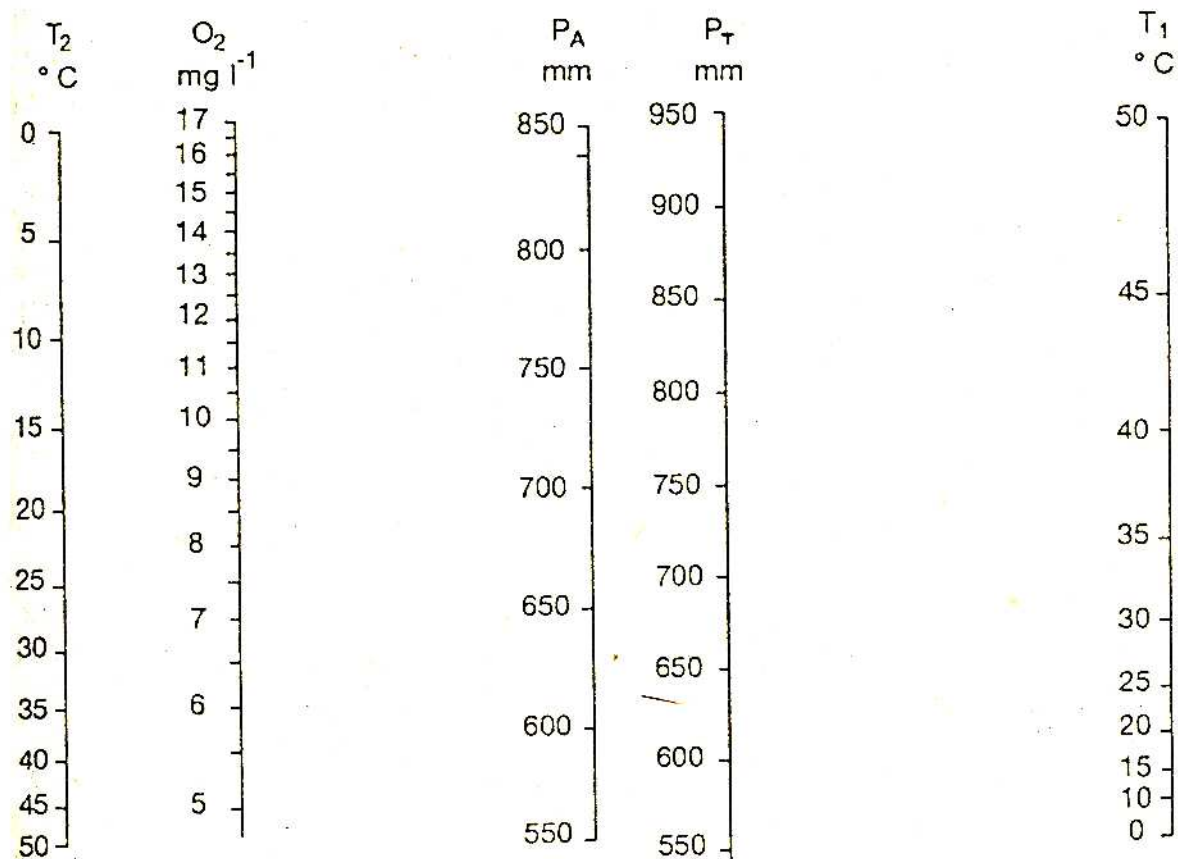


fig. 24/II – Nomogramma per il calcolo della solubilità dell'ossigeno in funzione della temperatura dell'acqua e della pressione atmosferica in una soluzione acquosa diluita, in equilibrio con acqua pura in equilibrio con vapore d'acqua [14, modificata]. T₁ e T₂: temperatura dell'acqua in °C; P_T: pressione atmosferica in mm Hg; O₂: concentrazione dell'ossigeno alla saturazione in acqua in mg l⁻¹. Per il calcolo si procede come segue:

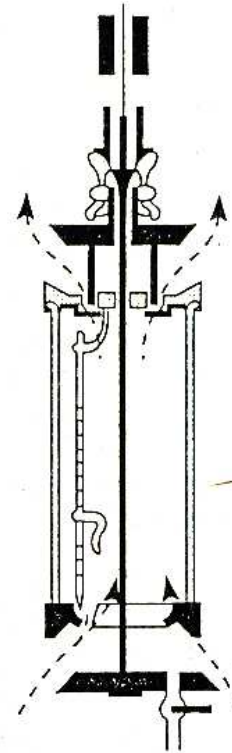


Fig. 25/II – Esempio di campionatore volumetrico per il fitoplancton: la bottiglia di Ruttner.

Tab. 10/II – Volume calcolato di alcune specie di organismi fitoplanctonici di acqua dolce.

	μm^3		μm^3
<i>Microcystis aeruginosa</i> (col.)	100.000	<i>Pandorina morum</i> (col.)	4000
<i>Gomphosphaeria lacustris</i> (col.)	2000	<i>Gloecococcus schroeteri</i> (col.)	5000
<i>Anabaena flos-aquae</i> (col.)	80.000	<i>Oocystis solitaria</i>	400
<i>Oscillatoria rubescens</i> (1 mm)	30.000	<i>Scenedesmus quadriacauda</i>	1000
<i>Uroglena americana</i> (col.)	90.000	<i>Ankistrodesmus falcatus</i>	250
<i>Mallomonas caudata</i>	10.000	<i>Botryococcus brauni</i> (col.)	10.000
<i>Dinobryon divergens</i> & <i>D. sociale</i>	800	<i>Tetraedron minimum</i>	4
<i>Kephyrion</i> sp. Pl.	50	<i>Chlorella vulgaris</i>	200
<i>Melosira granulata</i> (1 mm)	60.000	<i>Closterium aciculare</i>	4000
<i>Melosira islandica</i> (1 mm)	80.000	<i>Cosmarium phaseolus</i>	3000
<i>Cyclotella badonica</i>	10.000	<i>Cosmarium reniforme</i>	30.000
<i>Cyclotella comensis</i>	400	<i>Staurastrum paradoxum</i>	20.000
<i>Stephanodiscus astraea</i>	2000	<i>Gymnodinium helveticum</i>	20.000
<i>Stephanodiscus hantzschii</i> var. <i>pusillus</i>	200	<i>Perdinium willei</i>	40.000
<i>Asterionella formosa</i>	700	<i>Ceratium hirundinella</i>	70.000
<i>Tabellaria fenestrata</i>	4000	<i>Rhodomonas lacustris</i>	200
<i>Fragilaria crotenensis</i> (1 mm)	200.000	<i>Cryptomonas ovata</i>	2500
<i>Synedra acus angustissima</i>	1000	<i>Cryptomonas erosa</i>	2500
<i>Cymatopleura solea</i>	80.000		

Tab. 11/II – Indicazioni per la scelta degli strumenti di campionamento da utilizzare per la valutazione della densità degli organismi zooplanctonici [17].

Laghi profondi e acque pelagiche	Campioni puntiformi	Campioni integrati verticali	Campioni integrati orizzontali	Campioni sinusoidali
Bottiglie	(+)			
Trappole	(++)			
Tubi		(++)		
Pompe	(++)	(+)		
Reti	(++)			
Plancton samplers (ad es. Clarke Bumpus)		(++)	(++)	(++)
Laghi piatti e acque litorali	Campioni puntiformi	Campioni integrati verticali	Campioni integrati orizzontali	Campioni senza vegetazione
Bottiglie	(+)			(+)
Trappole	(++)			(+)
Tubi		(++)		(++)
Pompe	(++)			(++)
Reti				
Plancton samplers (ad es. Clarke Bumpus)				

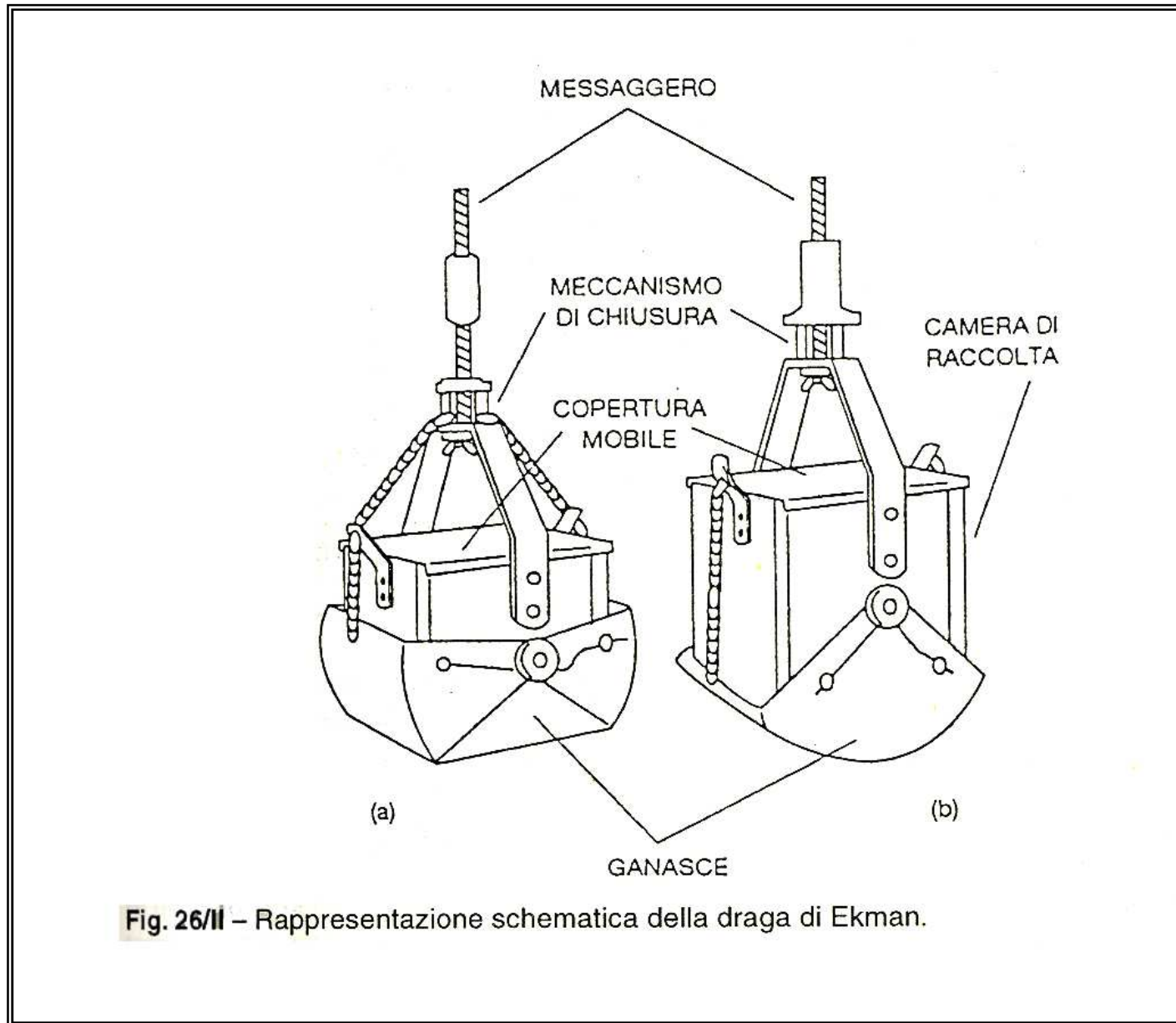


Fig. 26/II – Rappresentazione schematica della draga di Ekman.

Tab. 12/II – Volumi unitari medi delle specie che compongono il popolamento zooplanctonico.

SPECIE	VOLUME (μm^3)
COPEPODI	
<i>Cyclops strenuus</i> adulti	$5 \cdot 10^8$
<i>Macrocyclops albidus</i> adulti	$5 \cdot 10^8$
<i>Acanthocyclops bicuspidatus</i> adulti	$3 \cdot 10^8$
<i>Mesocyclops leukarti</i> adulti	$3 \cdot 10^8$
<i>Mesocyclops hyalinus</i> adulti	$3 \cdot 10^8$
Copepoditi di grossi <i>Cyclops</i>	$2 \cdot 10^8$
Copepoditi di piccoli <i>Cyclops</i>	$1 \cdot 10^7$
Naupli di <i>Cyclops</i>	$5 \cdot 10^4 - 1,5 \cdot 10^6$
CLADOCERI	
<i>Daphnia cucullata</i>	$5 \cdot 10^7 - 1 \cdot 10^8$
<i>Ceriodaphnia quadrangula</i>	$5 \cdot 10^7$
<i>Bosmina longirostris</i>	$4 \cdot 10^7 - 7 \cdot 10^7$
<i>Chydorus sphaericus</i>	$1 \cdot 10^7$
<i>Leptodora kindtii</i>	$1 \cdot 10^{10}$
<i>Alona quadrangularis</i>	$5,5 \cdot 10^7$
ROTIFERI	
<i>Keratella cochlearis</i>	$5 \cdot 10^4$
<i>Keratella quadrata</i>	$1 \cdot 10^5$
<i>Asplanchna priodonta</i>	$3 \cdot 10^7 - 3 \cdot 10^8$
<i>Polyarthra dolichoptera-vulgaris</i>	$6 \cdot 10^5$
<i>Brachionum calyciflorus</i>	$6 \cdot 10^5$
<i>Brachionum angularis</i>	$2 \cdot 10^5$
<i>Kellicottia longispina</i>	$1 \cdot 10^5$
<i>Filinia longiseta</i>	$1 \cdot 10^5$
<i>Chromocastor ovalis</i>	$2 \cdot 10^5$
<i>Synchaeta pectinata</i>	$2 \cdot 10^6$
<i>Conochilus unicornis</i>	$4 \cdot 10^5$
<i>Hexarthra mira</i>	$6 \cdot 10^5$
<i>Trichocerca pusilla</i>	$1 \cdot 10^5$
<i>Gastropus stylifer</i>	$5,5 \cdot 10^5$
<i>Polyarthra euryphera</i>	$6 \cdot 10^5$
ALTRI ROTIFERI	$2 \cdot 10^5$

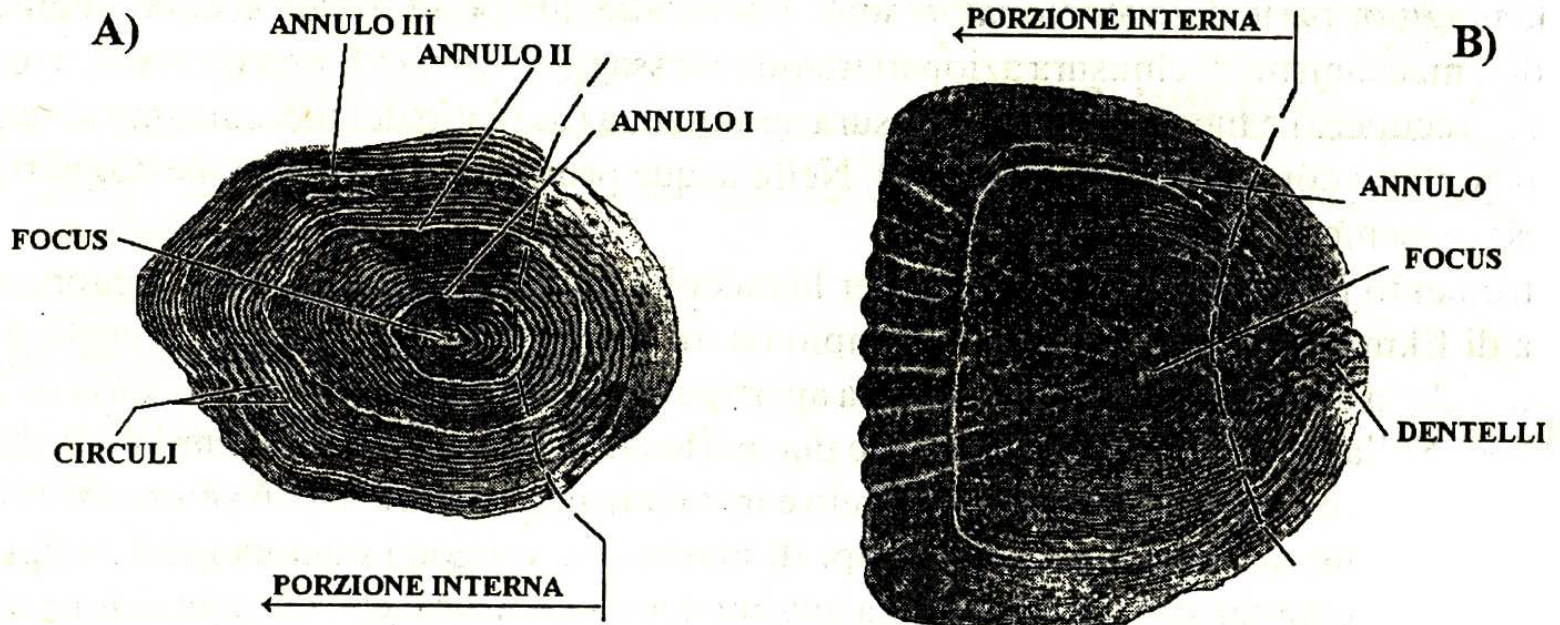
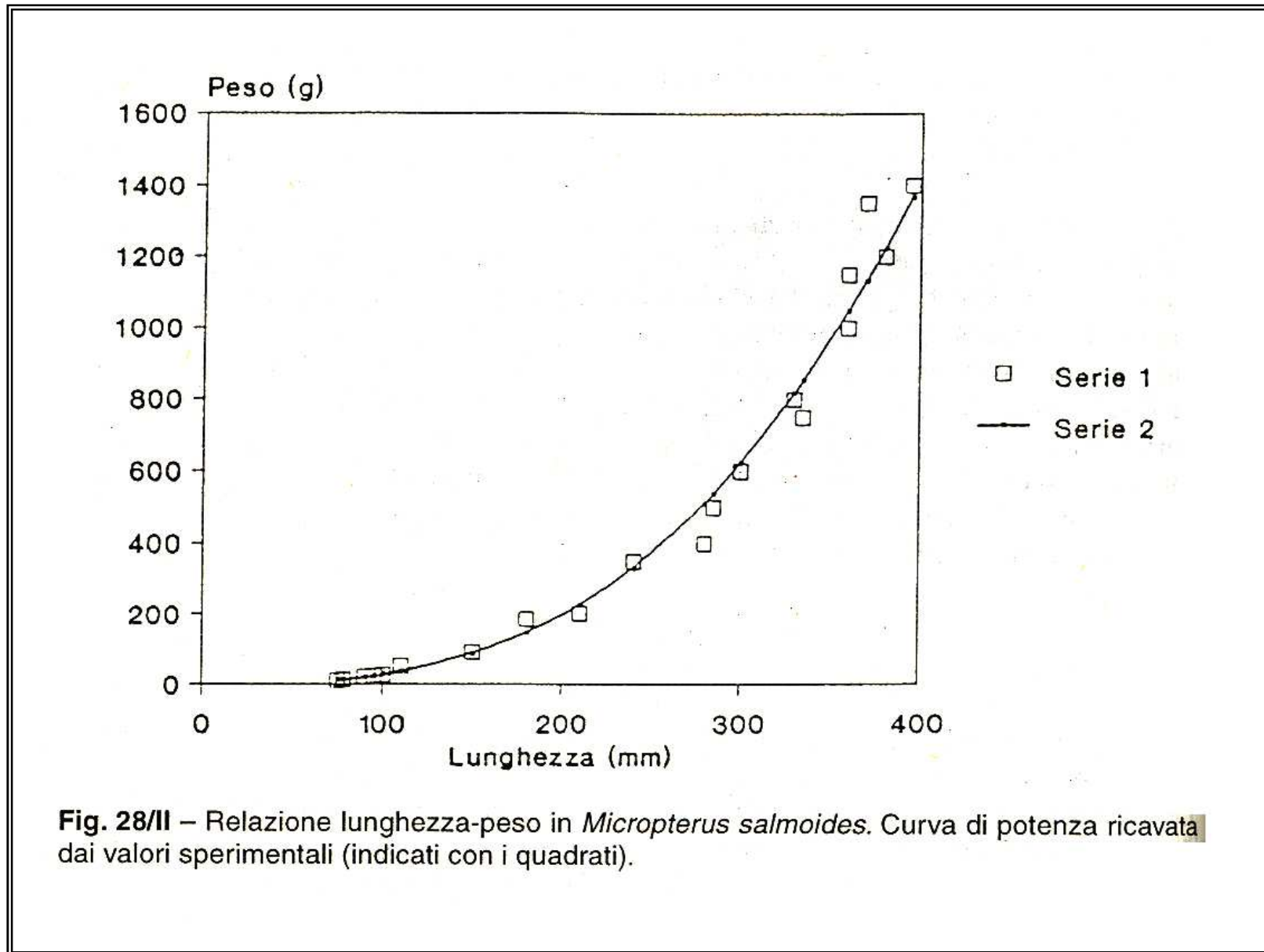


Fig. 27/II – Schema dei due principali tipi di scaglie. A): scaglia cicloide; B) scaglia ctenoide



Tab. 13/II – Esempificazione del calcolo dei parametri alimentari quale risultato dell'analisi del contenuto gastrico del coregone (*Coregonus* sp.) del Lago Maggiore. **A)** parametri biometrici: Lt (lunghezza totale, cm); Pp (peso totale, g); Kc (coefficiente di condizione); S (sesso). **B)** peso del contenuto gastrico: Ps (peso totale, g); Pss (peso del subcampione sul quale si effettua il conteggio degli organismi, g). **C)** risultati del conteggio microscopico degli organismi zooplanctonici rinvenuti: Da (*Daphnia*); By (*Bythotrephes*); Le (*Leptodora*); Cy (*Cyclops*). **D)** esempio di calcolo del coefficiente di ripienezza gastrico (Cr). **E)** esempio di calcolo del numero di individui (Ni kg⁻¹ pesce).

A					B		C				
N	Lt	Pp	Kc	S	Ps	Pss	Da	By	Le	Cy	Tot.
1	28,5	201	0,868	F	0,617	0,013	4	4	16		24
2	27,7	196	0,922	M	0,863	0,012	7	13	15		35
3	27,5	184	0,885	M	1,667	0,029	4	7	33		44
4	27,8	183	0,852	F	0,486	0,016	3	23	23		49
5	27,0	178	0,904	M	0,940	-	-	-	-		-
6	27,8	199	0,926	F	1,051	0,019		16	24		40
7	28,8	226	0,946	F	0,521	-	-	-	-		-
8	27,5	203	0,976	F	0,406	0,022		7	35	4	46
9	27,1	195	0,980	F	1,821	0,028	7	25	13		45
10	27,0	172	0,874	M	0,814	0,021	3	9	45		57

D		E				
N	Cr	Da	By	Le	Cy	Tot.
1	3,070	945	945	3778		5668
2	4,403	2568	4770	5504		12.842
3	9,060	1250	2187	10.309		13.746
4	2,656	498	3818	3818		8133
5	5,281	-	-	-		-
6	5,281		4448	6671		11.119
7	2,305	-	-	-		-
8	2,000	-	636	3182	364	4182
9	9,338	2335	8338	4336		15.008
10	4,733	676	2028	10.141		12.846

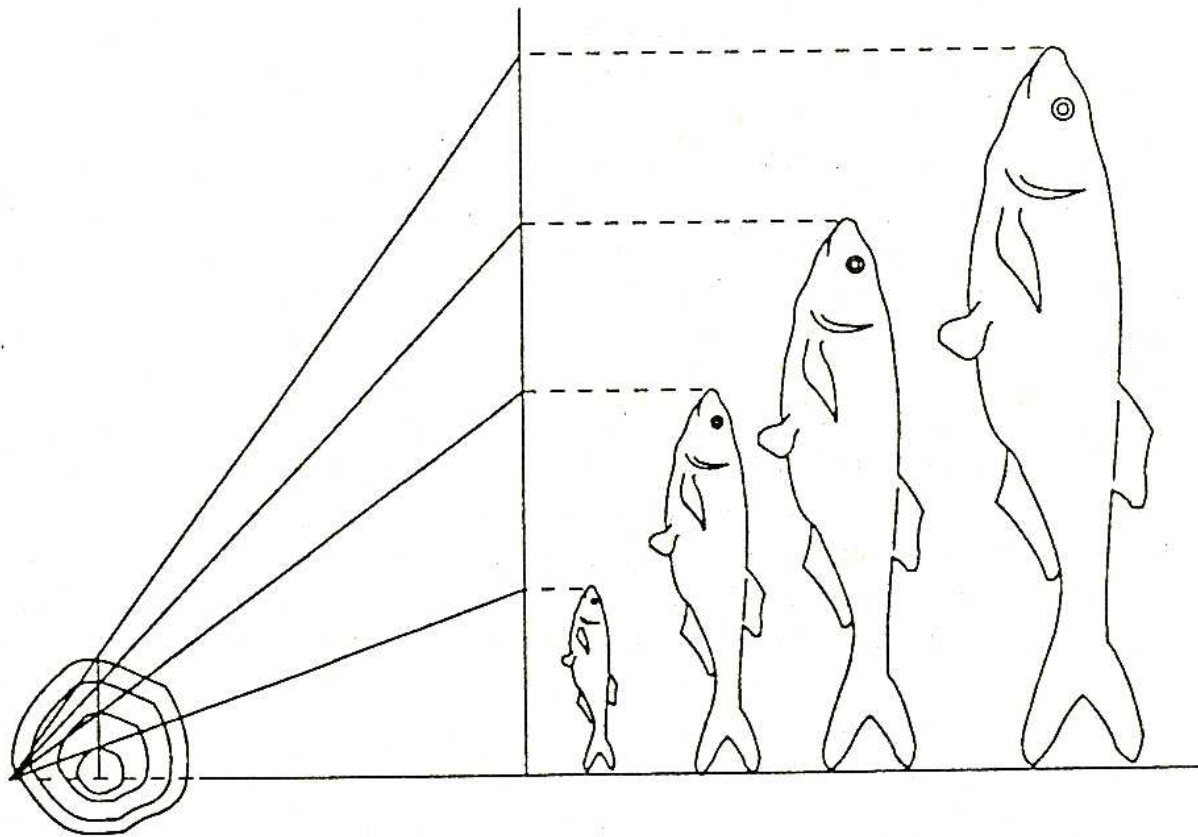
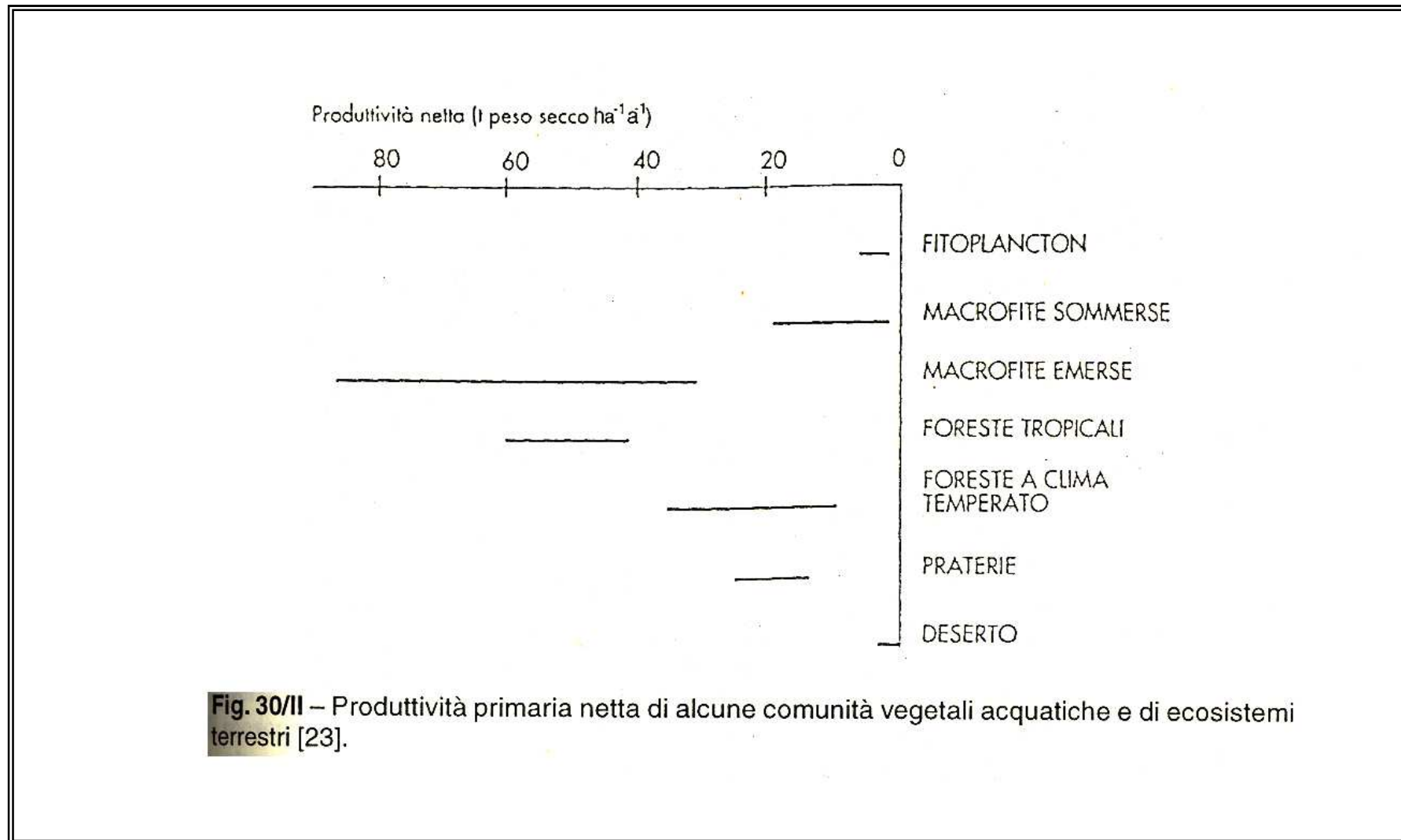


Fig. 29/II – Proporzionalità diretta tra accrescimento in lunghezza ed incremento di diametro rilevabile sulla scaglia.



ACQUE DI TRANSIZIONE



- Si intendono quei tratti terminali di fiumi in cui l'acqua proveniente dal drenaggio continentale entra in contatto e si mescola con l'acqua marina
- Differenti tipi di ambienti di transizione si possono a grandi linee classificare in: lagune costiere, stagni salmastri, zone di estuario e altri habitat.

ACQUE DI TRANSIZIONE

- Classificazione degli estuari basata sul tipo di circolazione, grado di mescolamento delle acque e distribuzione longitudinale della salinità:
 - Tipo “A”: estuari non stratificati (caratteristici di zone ad alta escursione di marea)
 - Tipo “B”: estuari parzialmente stratificati
 - Tipo “C”: estuari stratificati

- Numero adimensionale che definisce i tre gradi di mescolamento:

$$E_D = P_t \cdot F_0^2 / Q_f T$$

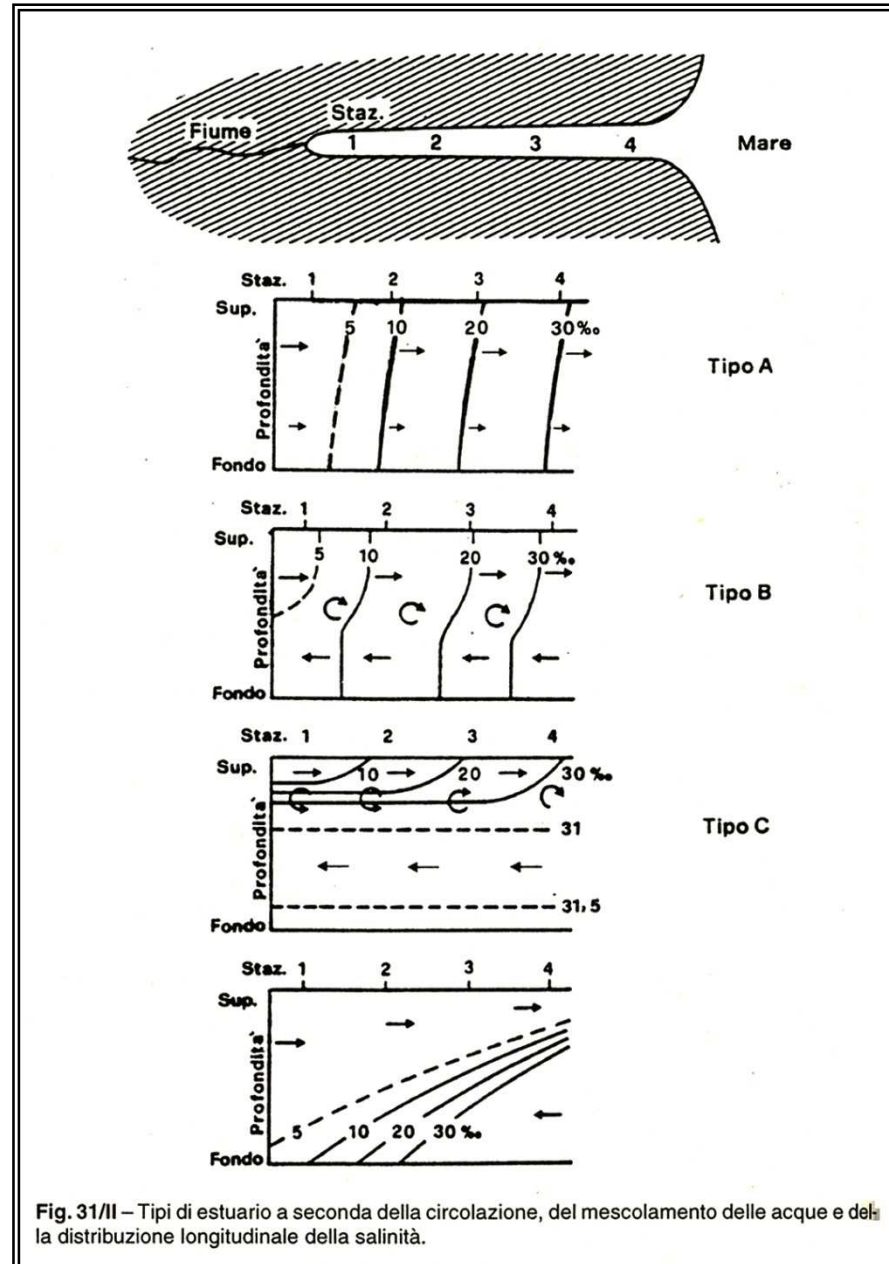
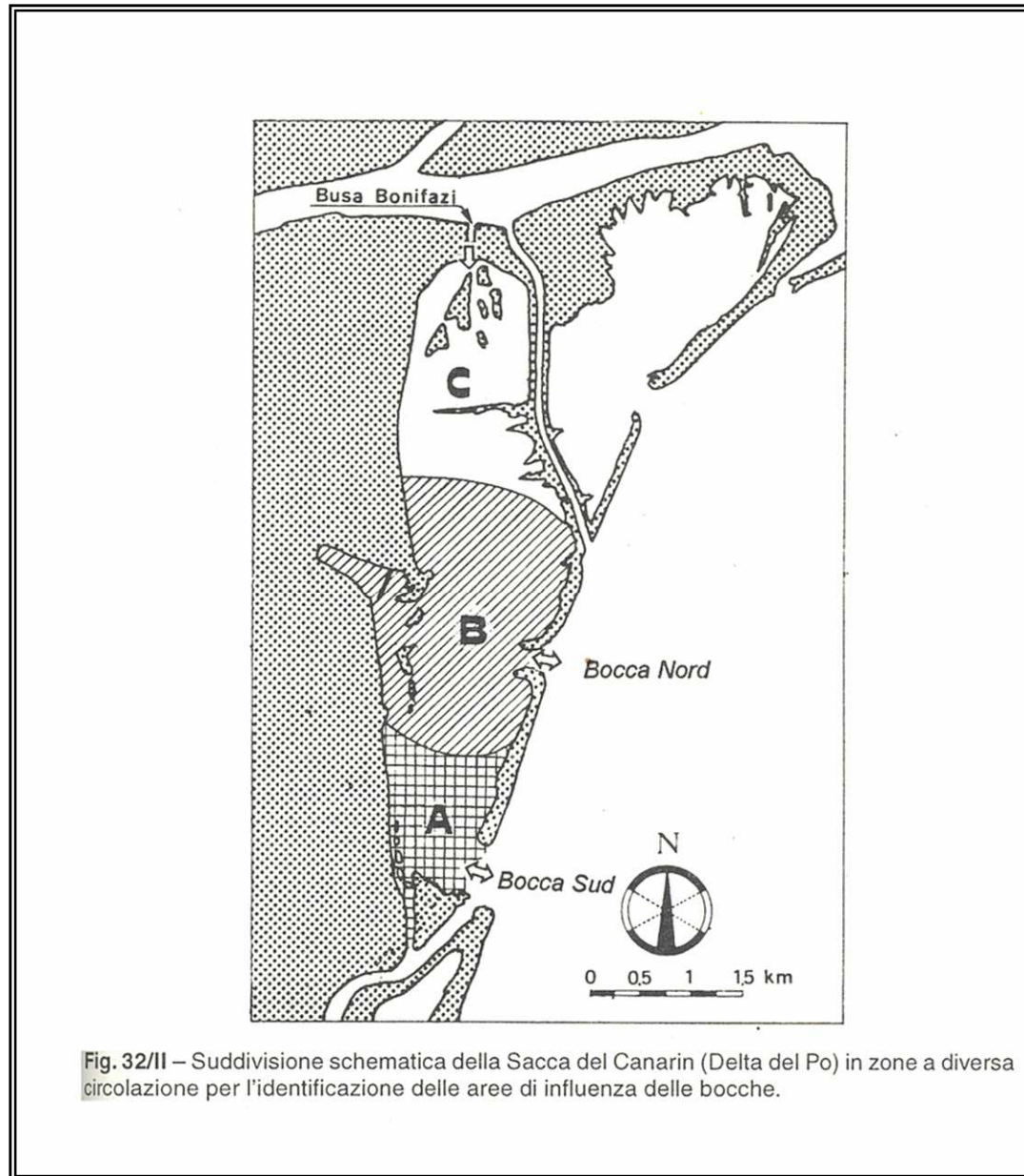


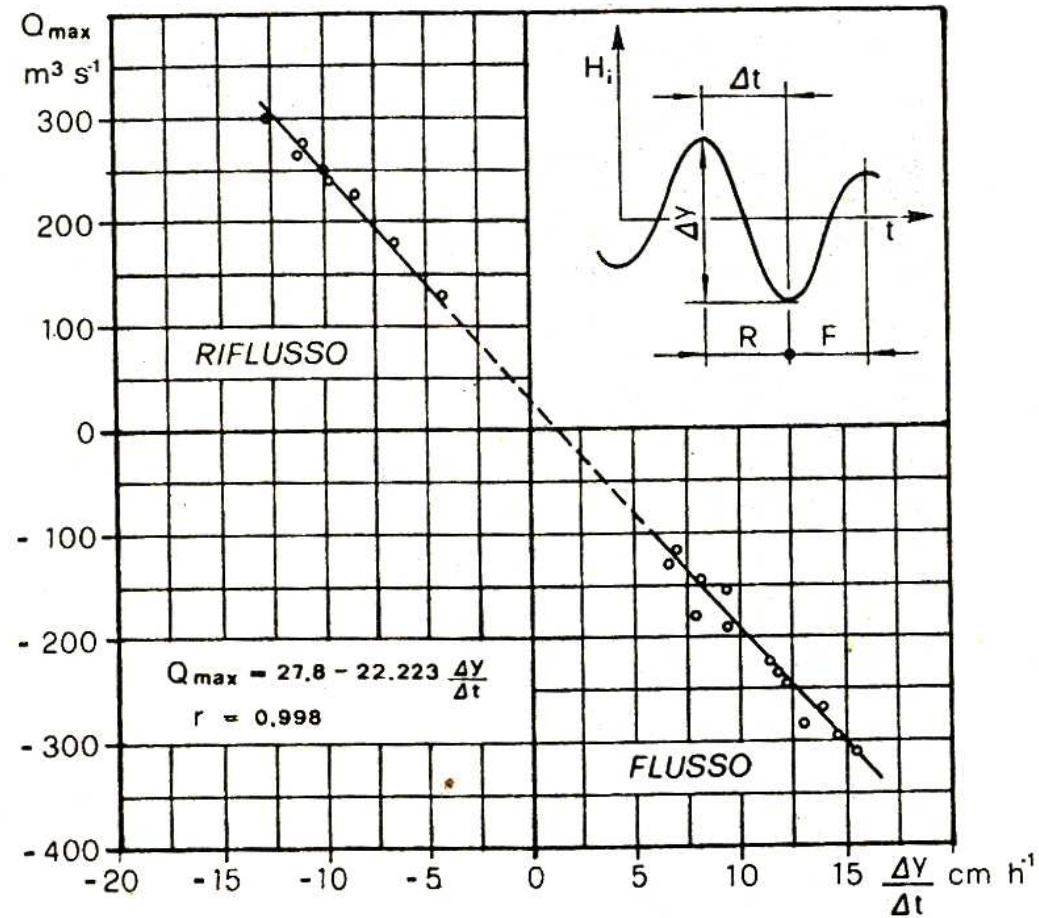
Fig. 31/II – Tipi di estuario a seconda della circolazione, del mescolamento delle acque e della distribuzione longitudinale della salinità.

Caratteristiche idrauliche

- Per laguna si intende un bacino collegato col mare attraverso un numero limitato di bocche che oscilla in dipendenza della marea esterna
- Laguna morta: zone confinate
- Laguna viva: zone che risentono delle comunicazioni col mare



- Per descrivere matematicamente il comportamento di una laguna su cui influiscono le correnti di marea occorre disporre di un metodo di calcolo che tenga conto delle leggi con cui la marea si propaga lungo i canali e gli adiacenti bacini
- Per studiare l'effetto della marea si effettuano indagini che:
 - quantificano la velocità delle correnti e le portate nelle bocche;
 - studiano andamento della salinità in laguna, della temperatura, della torbidità specifica.



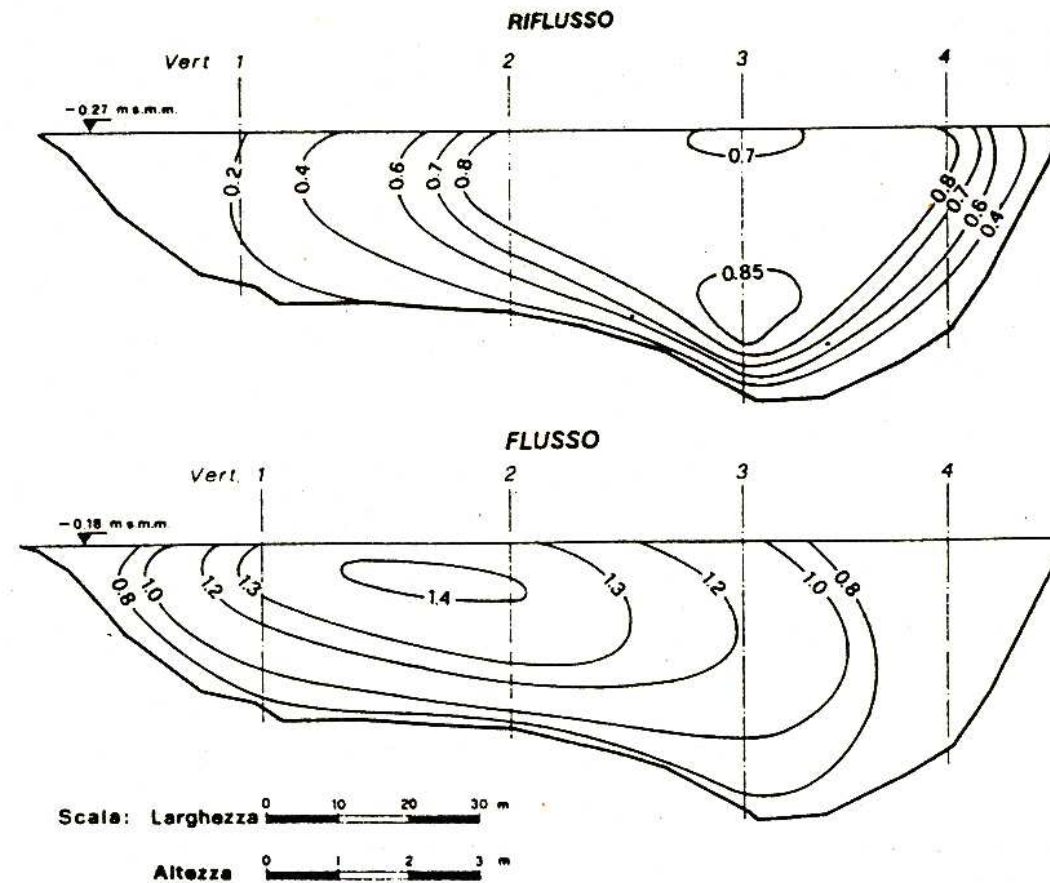


Fig. 34/II – Isotachie nella Bocca Nord in flusso e riflusso di marea – agosto 1981. Si noti il diverso andamento delle isotachie in fase di flusso e riflusso di marea. Questa particolarità fenomenologica diventa importante per la significatività dei prelievi.

Aspetti fisici e chimici

- Cuneo salino (salt wedge). Corrente d'acqua marina che con la marea risale sul fondo il corso dei fiumi per parecchi chilometri dalla costa
- L'ampiezza del cuneo salino dipende da:
 - densità dell'acqua marina e fluviale
 - condizioni meteo
 - marea
 - portata del fiume
 - profondità della foce, etc...
- Modalità di rilievo del cuneo salino. Ecografo montato su barca rileva la superficie di separazione acqua dolce – acqua salata. La struttura verticale del c.s. indagata con salinometro

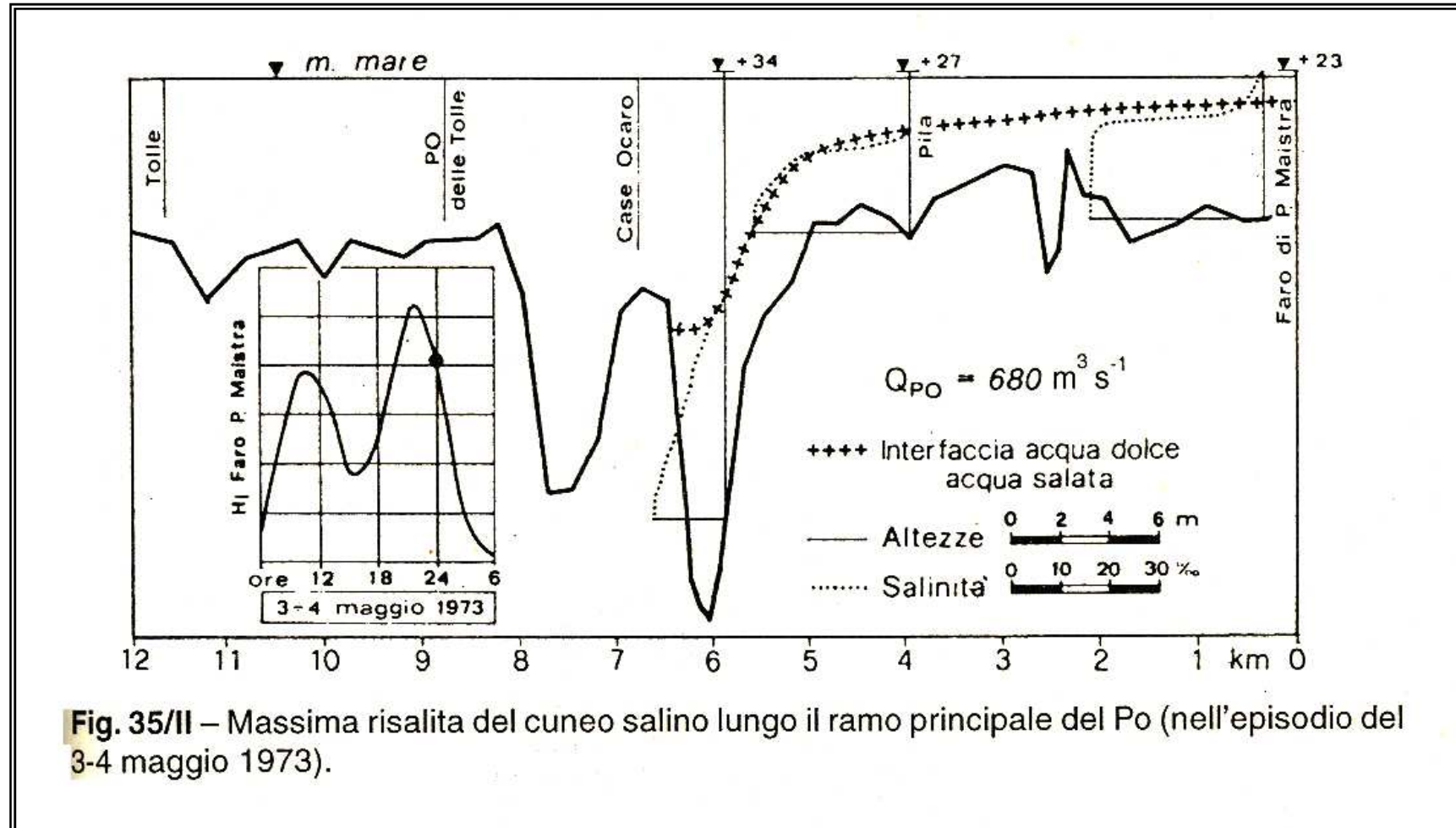
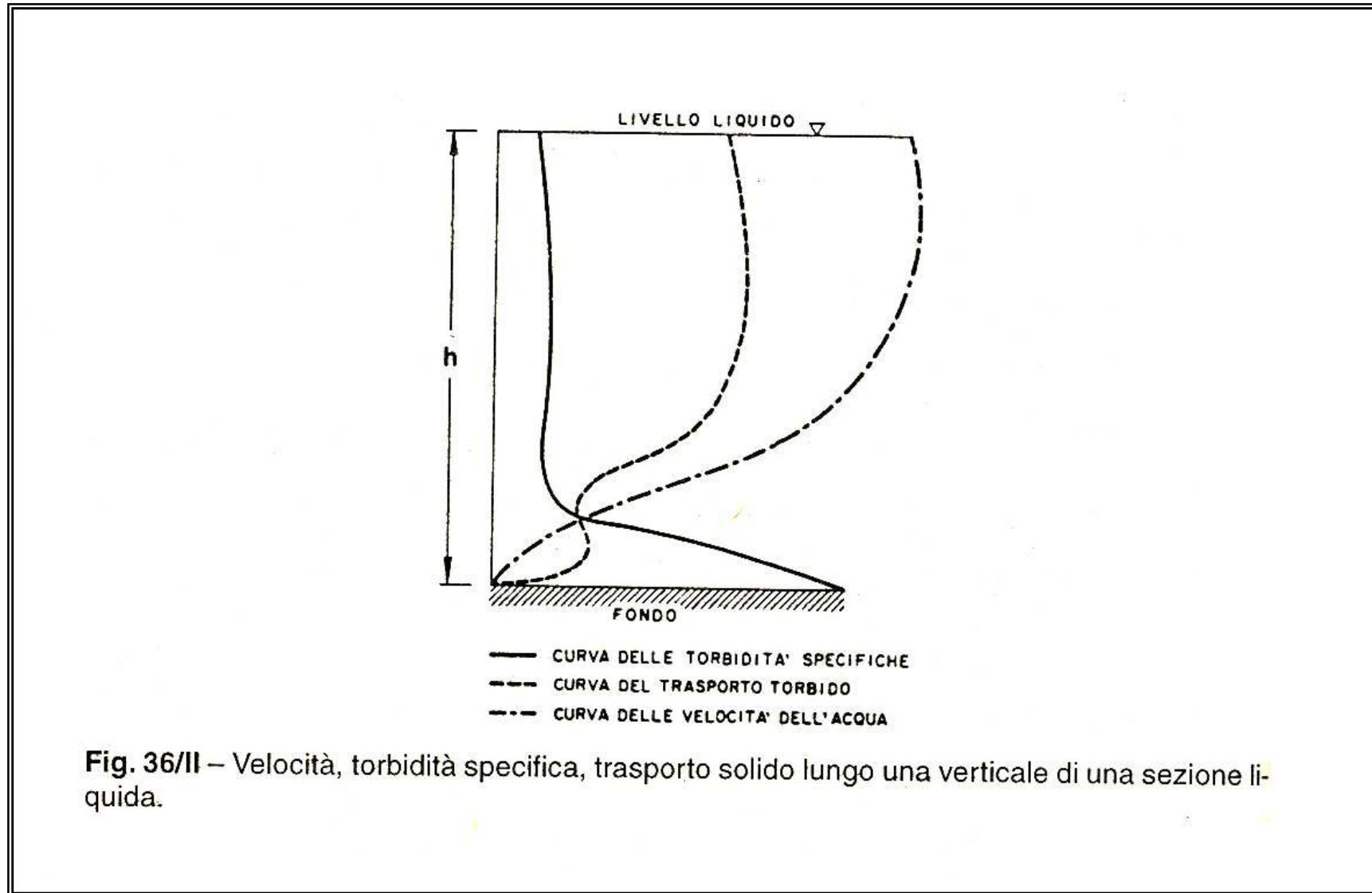


Fig. 35/II – Massima risalita del cuneo salino lungo il ramo principale del Po (nell'episodio del 3-4 maggio 1973).

Aspetti fisici e chimici

- Trasporto solido. Il materiale trasportato può essere adoperato come tracciante dei percorsi degli inquinanti terrigeni in mare
 - La curva di trasporto in presenza di cuneo salino subisce un brusco cambiamento
- Torbidità specifica. Si distribuisce in modo diverso con la profondità. La torbidità è maggiore al centro, dove è maggiore la velocità dell'acqua
 - Le torbidità specifiche sono indipendenti dalle velocità assolute dell'acqua



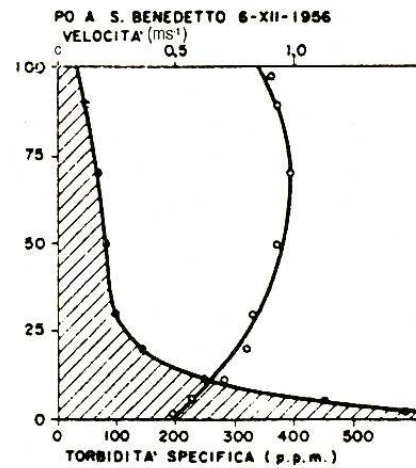


Fig. 37/II – Distribuzione della torbidità specifica lungo una verticale di una sezione liquida.

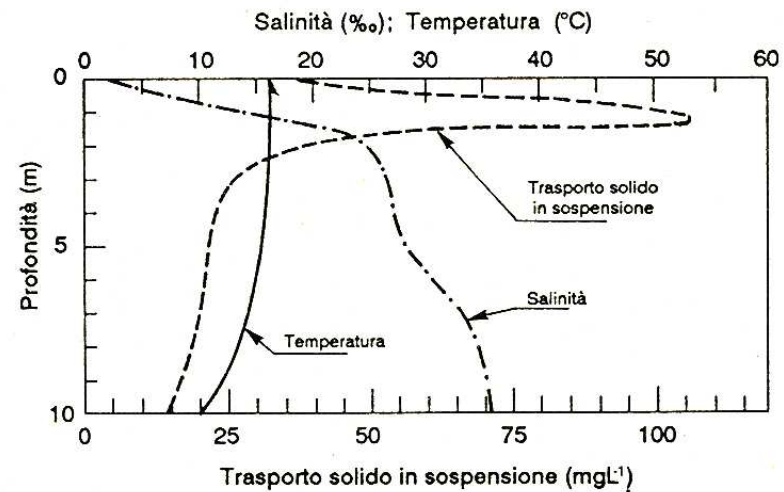


Fig. 38/II – Profili verticali della salinità, temperatura e trasporto solido in presenza del cuneo salino (Fiume Po, 6 maggio 1963).

Aspetti fisici e chimici

- Ossigeno disciolto. La misura della concentrazione di ossigeno va effettuata secondo un piano di campionamento che tenga conto di:
 - a) variazioni temporali legate ai vari tipi di ritmi
 - b) variazioni spaziali determinate dalla stratificazione di acque a densità diversa
 - c) Variazioni spazio-temporali connesse alla presenza di cospicui banchi di macrovegetali bentonici
- Misura della concentrazione di ossigeno: strumenti elettrici o metodo Winkler

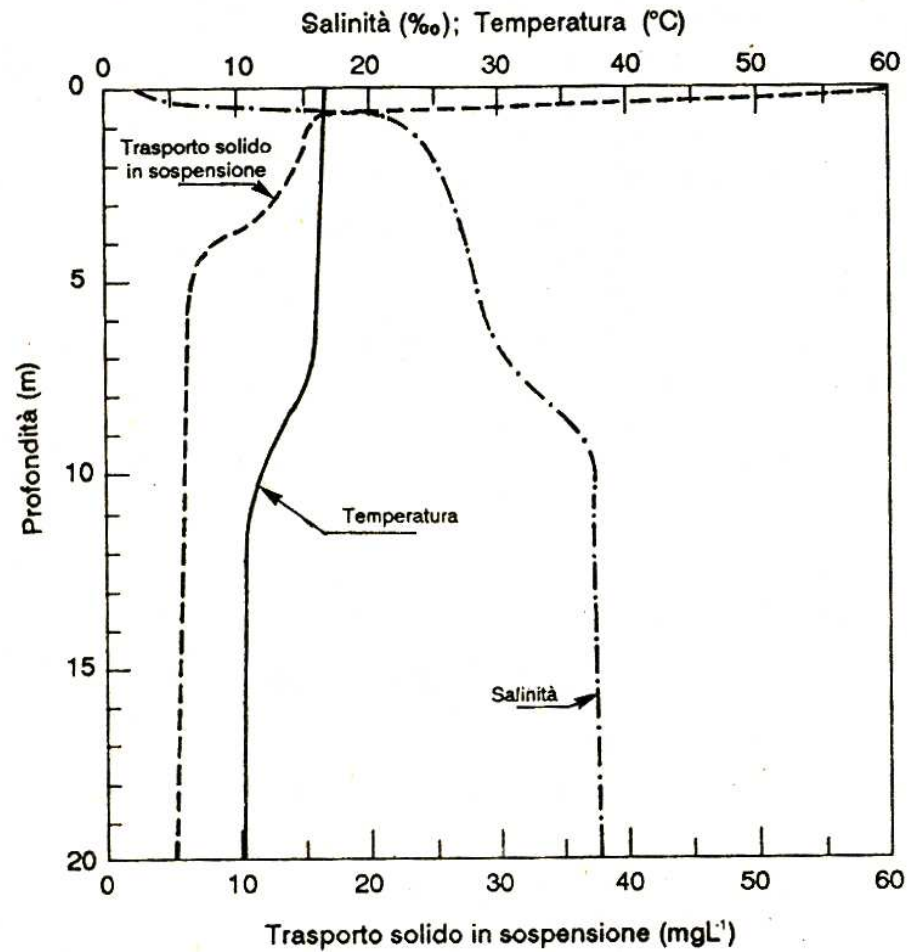


Fig. 39/II – Tipici profili verticali di salinità, temperatura e trasporto solido in sospensione fuori della bocca del Po (6 maggio 1963).

Tab. 14/II – Concentrazione dell'ossigeno disciolto. Sacca del Canarin (luglio 1988).

Ora	Marea	T °C	S ‰	(O ₂) ml l ⁻¹	(O ₂) % satur.
9,00	entrante	24,8	17	4,9	93,05
12,00	entrante	26,8	17	8,29	163,38
15,00	uscente	28,9	17	9,74	199,63
18,00	entrante	29,3	17	8,29	171,07
21,00	entrante	28,2	18	11,31	230,16
24,00	uscente	27,4	18	6,52	130,74
3,00	uscente	26,4	18	0,36	7,09
6,00	entrante	24,2	17	0,22	4,13
9,00	entrante	24,2	20	5,49	104,85

Aspetti biologici



- Produzione primaria. E' sostenuta da: piante vascolari, macroalghe e microalghe bentiche ed epifitiche, fitoplancton.
- Lo studio di queste biocenosi implica l'analisi di:
 - Carico esterno di nutrienti
 - Carico interno di nutrienti
 - Circolazione dei nutrienti
- Crisi distrofiche. Dovute alla rapida decomposizione di rilevanti masse di sostanza organica

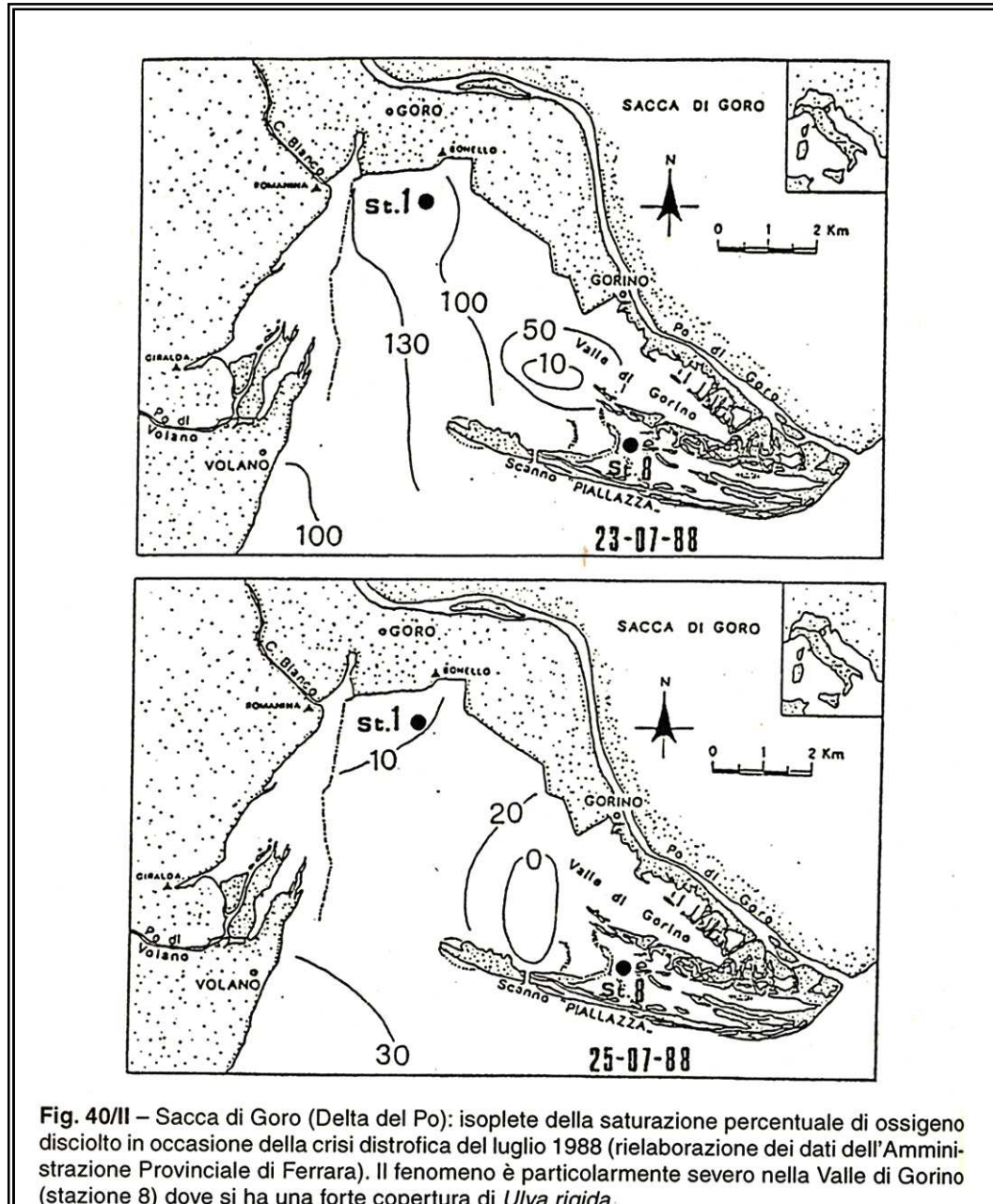


Fig. 40/II – Sacca di Goro (Delta del Po): isopete della saturazione percentuale di ossigeno disciolto in occasione della crisi distrofica del luglio 1988 (rielaborazione dei dati dell'Amministrazione Provinciale di Ferrara). Il fenomeno è particolarmente severo nella Valle di Gorino (stazione 8) dove si ha una forte copertura di *Ulva rigida*.

Aspetti biologici - Metodi di studio delle comunità di produttori

Piante vascolari e macroalghe.

- Prima fase dello studio del popolamento a macrofite è il rilevamento fitosociologico effettuato su dati di abbondanza o di copertura delle singole specie
- Vari criteri di classificazione per lo studio della distribuzione di tracheofite e macroalghe nelle lagune:
 - aree parzialmente o periodicamente sommerse : associazioni di Fanerogame alofite;
 - zone direttamente influenzate dal mare: insediamenti di Cymodocea e Posidonia;
 - ambienti più tipicamente salmastri: aptofite attaccate ai substrati duri, rizofite sui fondali mobili, pleustofite galleggianti
- La produzione viene calcolata come la somma dell'incremento differenziale di biomassa e di tutte le perdite che in quell'intervallo si sono verificate.
- La biomassa si misura come peso secco, contenuto di carbonio e contenuto energetico equivalente per unità di superficie
- Le stime di produzione delle macrofite variano: valori più alti $10^3 \text{ gC m}^{-2}\text{a}$
- La produzione delle macroalghe si può stimare con il metodo delle bottiglie chiare e scure

Aspetti biologici - Metodi di studio delle comunità di produttori

Microalghe bentoniche.

- Rilevante è il contributo delle microalghe sia epifitiche sia epibentiche alla produzione primaria.
- Questa comunità presenta una grande diversità specifica. Dominano le Diatomee Pennate
- La biomassa si determina sui dati di densità delle cellule ricavati dal conteggio al microscopio rovesciato
- Come indice per la stima della biomassa si considera il contenuto di clorofilla-a determinato su un volume noto di sedimento
- Le stime di produzione sono ottenute sottoponendo carote di sedimenti ad incubazione in situ con la tecnica del ^{14}C

Aspetti biologici - Metodi di studio delle comunità di produttori

Fitoplancton

- La componente più rappresentativa è costituita da Diatommee alle quali si aggiungono: Dinoficee, Euglenoficee, Criptoficee, Crisoficee, Cianobatteri.
- La composizione, il tipo di successione, il grado di organizzazione della comunità dipende dall'idrodinamismo e dai processi di riciclo dei materiali
- Metodi di stima della densità, della biomassa, e della produzione fitoplanctonica sono gli stessi adottati nello studio del fitoplancton lacustre e marino

Aspetti biologici-Metodi di studio delle comunità di produttori

Fitoplancton

- Nella parte della Sacca di Goro dove più spessi ed estesi sono i letti di *Ulva* si osserva una evidente depressione della biomassa fitoplanctonica stimata sia come contenuto di clorofilla-a che come biovolume delle cellule algali.
- Del tutto marginale appare il ruolo del fitoplancton nei processi che portano alle crisi anossiche

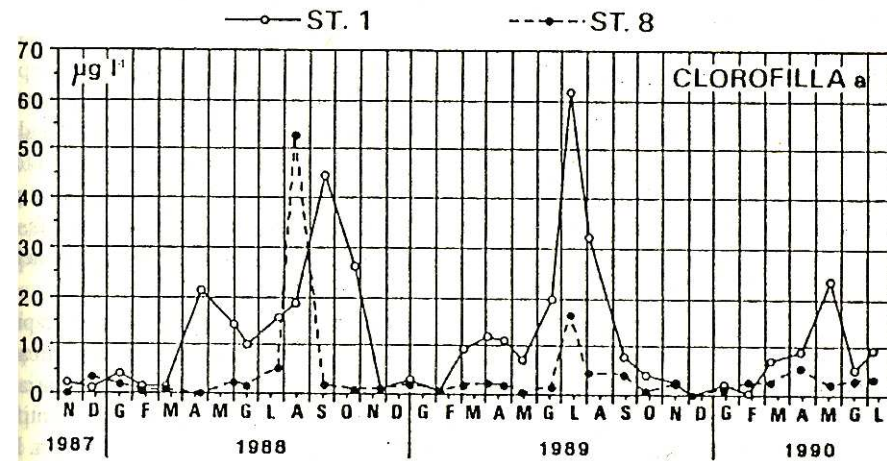


Fig. 41/II – Concentrazione di clorofilla-a fitoplanctonica nella Sacca di Goro: si hanno concentrazioni decisamente più contenute nella stazione 8, che corrisponde all'area di insediamento di spessi letti di *Ulva* [27].

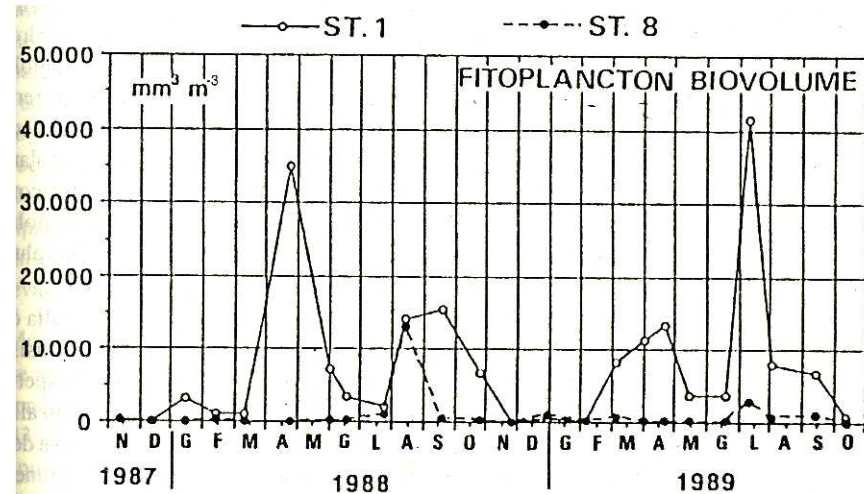


Fig. 42/II – Biovolume del fitoplancton nella Sacca di Goro: valori molto più bassi si hanno nella stazione 8 in accordo con i trend di clorofilla mostrati in figura 41/II [27].

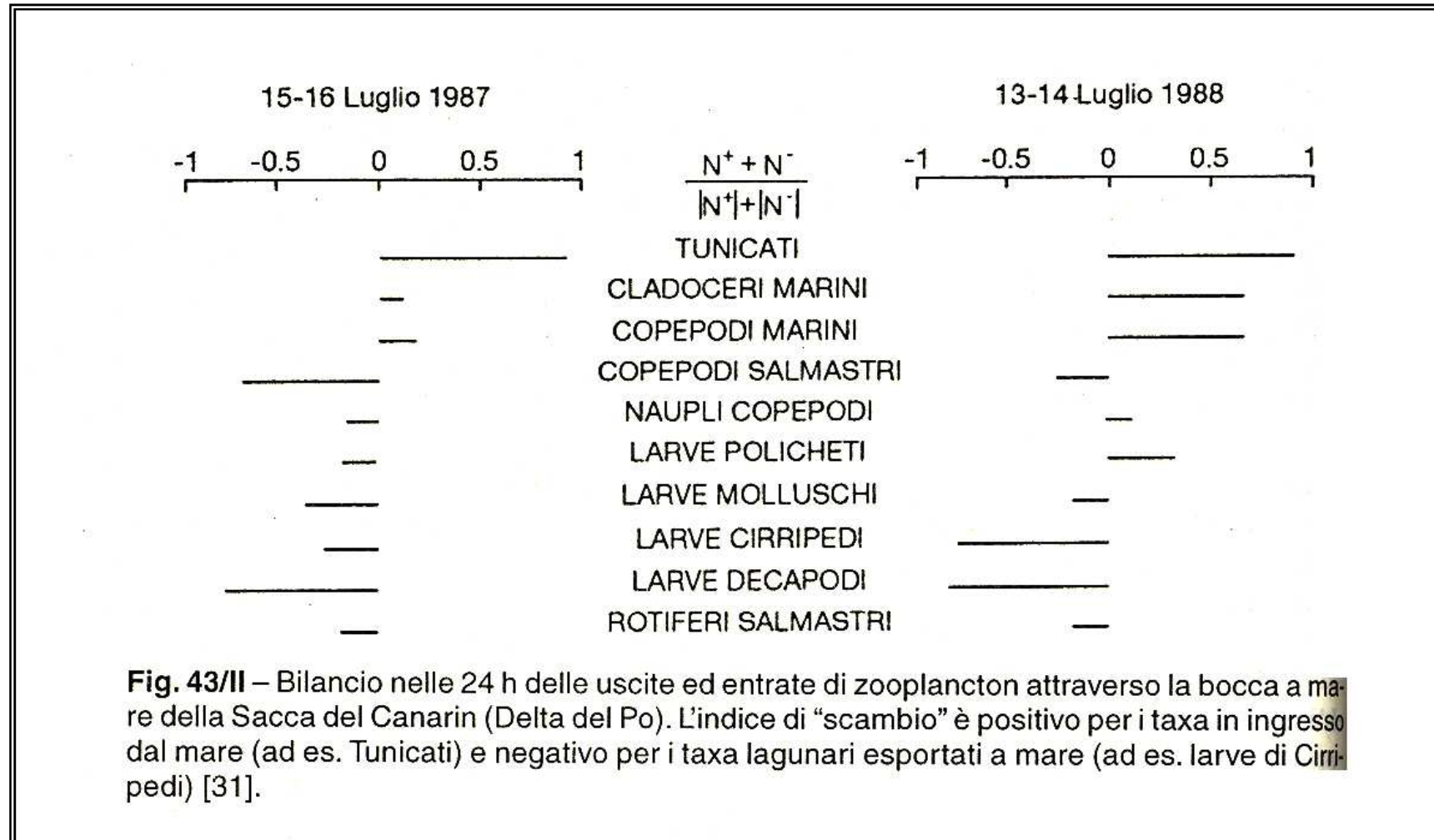
Aspetti biologici - Metodi di studio delle comunità di produttori

Zooplankton

- Nei rami terminali dei fiumi l'ingressione del cuneo salino può determinare una netta stratificazione del popolamento zoobentonico con forme dulcicole in superficie e forme marine sul fondo
- Negli ambienti lagunari si possono riconoscere tipologie del popolamento correlate principalmente alle caratteristiche idrodinamiche
- Le correnti tidali (di marea) attuano un continuo trasferimento di biomasse tra laguna e mare. Lo studio della dinamica di queste comunità è complesso perché è difficile ottenere una valutazione del trasporto tidale
- Per il campionamento si ricorre a una pompa con la quale si possono aspirare volumi cospicui di acqua che viene filtrata attraverso una rete a maglie di diverse dimensioni
- Per la stima della Biomassa e della produzione primaria si impiegano gli stessi metodi impiegati per lo Z. lacustre e marino.

Esempio dell'influenza che le correnti di marea possono avere sulla composizione della comunità zooplanctonica nella figura seguente che illustra per la Sacca del Canarin (Delta del PO) il bilancio giornaliero delle entrate dal mare e delle uscite dalla sacca dei principali taxa. La sacca da un lato riceve un importante contributo di plancton neritico che solo in piccola parte torna al mare col riflusso di marea, dall'altra esporta a mare una quota rilevante del suo popolamento autoctono





Aspetti biologici - Metodi di studio delle comunità di produttori

Meiobenthos

- Il meiobenthos (organismi di dimensioni comprese tra 0,5 e 1 mm) gioca un ruolo essenziale nella regolazione delle funzioni del sedimento e nel metabolismo dei sistemi estuariali
- Gruppi più importanti: Nematodi, Copepodi, Arpacticoidi
- La stabilità dei sedimenti è in forte misura espressione delle attività metaboliche del meiobenthos
- Il rapporto Produzione/Biomassa è più grande di quello calcolato per le specie di macrobenthos
- Per il campionamento si usano carotatori di piccolo diametro. Il sedimento viene setacciato con maglie di 30 μm
- Per la stima della produzione valgono i metodi usati per lo Zooplancton

Aspetti biologici - Metodi di studio delle comunità di produttori

Macrobenthos:

➤ Fondi incoerenti

Non sono presenti molte specie e il popolamento risulta monotono.

Infauna, ricca di individui più che di specie, costituita da microfagi, detritofagi o spazzini.

Il prelievo viene effettuato da natante tramite benna (Es. Van Veen)

➤ Sedimenti della fascia intertidale

Lagune tirreniche : modesta escursione delle maree

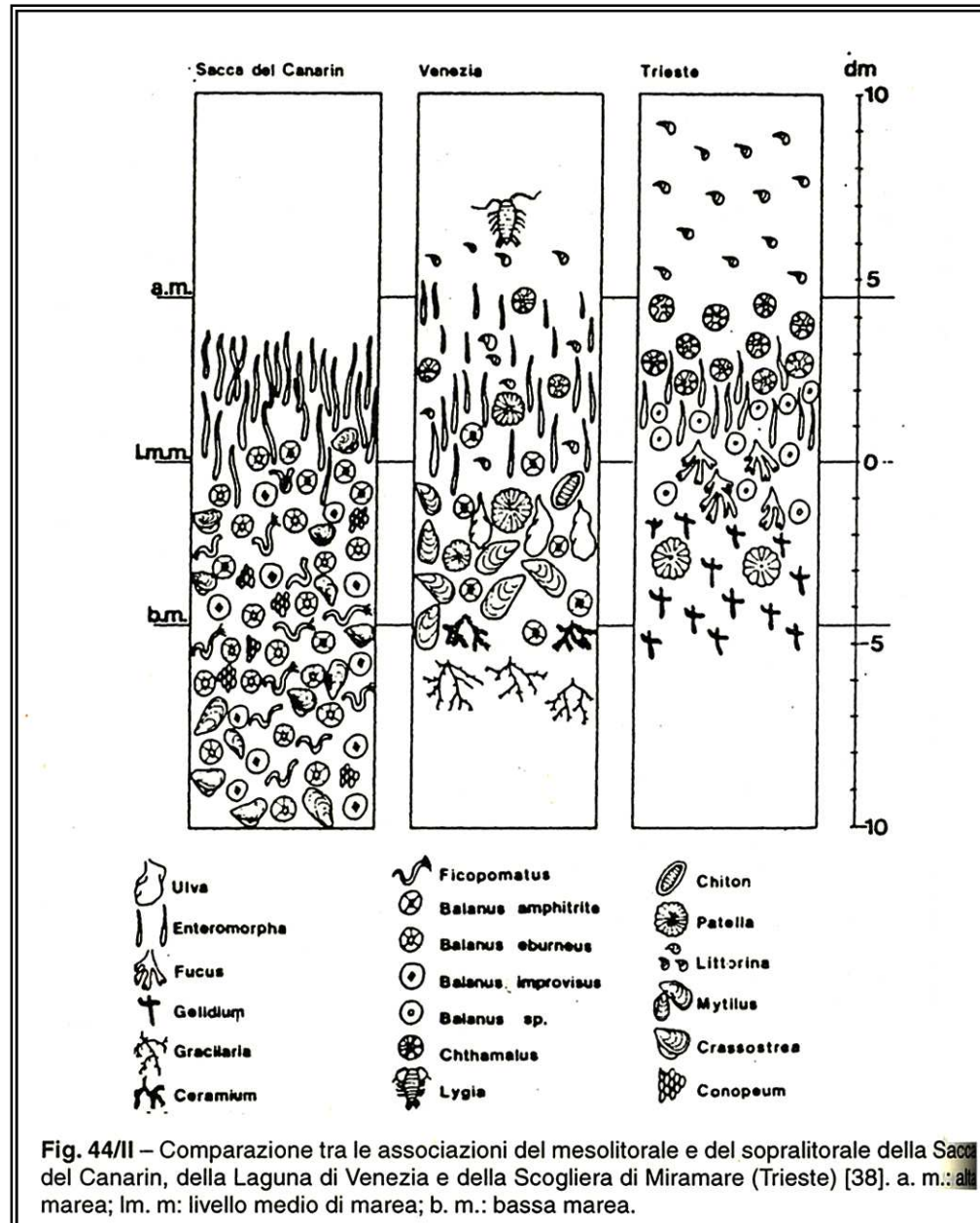
Ambienti particolari connessi con la fascia intertidale sono il canneto ed il salicornieto

Tab. 15/II – Tecniche di prelievo di organismi bentonici in ambienti salmastri.

Tipo di fondale	Tipo di benton	Tecnica di prelievo
1) Fondi incoerenti		
a) profondi	Infauna Macrobenton vagile (1)	Benna o carotatore Slittino o rabbio
b) intertidali	Infauna e forme legate a detriti grossolani o a macrovegetali	
2) Fondi duri		
a) naturali	Forme sessili e incrostanti	Grattatura (2)
b) artificiali	Forme sessili e incrostanti	Pannelli atossici, prelievo di massi

(1) Nel caso di presenza di banchi di macroalghe o di Fanerogame come ruppia o Zostera si ricorre ad altre tecniche.

(2) Nel caso di canneti si possono prelevare i fusti di fragmiti.



Tab. 16/II – Scambi faunistici tra ambienti acquatici confinanti nel Delta del Po.

	Specie totali	Specie esclusive	Specie comuni
Ramo terminale	20	16	7
Sacca del Canarin	27	3	20
Mare antistante	28	8	

ACQUE MARINE



- Acque marine. Le acque marine si differenziano da quelle fluviali per la loro salinità e densità
- Acque costiere. Si riferisce alle acque che, un ideale confine verticale, le separa dalle acque di mare aperto sul ciglio della platea continentale, quindi tutte le acque di profondità minori di 200 m.

Misura delle principali caratteristiche fisiche

Densità

- E' determinata principalmente da temperatura, salinità e pressione idrostatica
- E' funzione diretta della salinità e della pressione
- Si esprime in g cm^{-3} . In oceano aperto i valori sono di 1,02000 e 1,03000 g cm^{-3} ; nelle acque costiere sono più bassi
- Densità *in situ*: $\sigma_{s,t,p} = (\text{densità} - 1)10^3$
- La sua variazione costituisce uno dei processi che generano le correnti
- Le masse d'acqua di diversa densità si mescolano con difficoltà e tendono a stratificarsi

Misura delle principali caratteristiche fisiche



Fattori che determinano la densità:

temperatura :

- La temperatura delle masse marine è funzione di altre grandezze: la temperatura dell'aria, il vento, l'evaporazione, la radiazione solare, le correnti marine, la profondità .
- L'acqua marina ha calore specifico e calore latente elevati: ciò significa che occorrono notevoli quantità di energia per innalzarne la temperatura
- La temperatura diminuisce con la profondità. La variazione della temperatura non è regolare: presenza di uno strato di transizione, il termoclino, caratterizzato da una rapida diminuzione della temperatura.
- Nel Mar mediterraneo la T. rimane costante (13°C) a partire da una certa profondità (intorno ai 300 m).
- Metodi di misura: termometri a termoresistenza, batitermografi, batisonde, sensori all' infrarosso

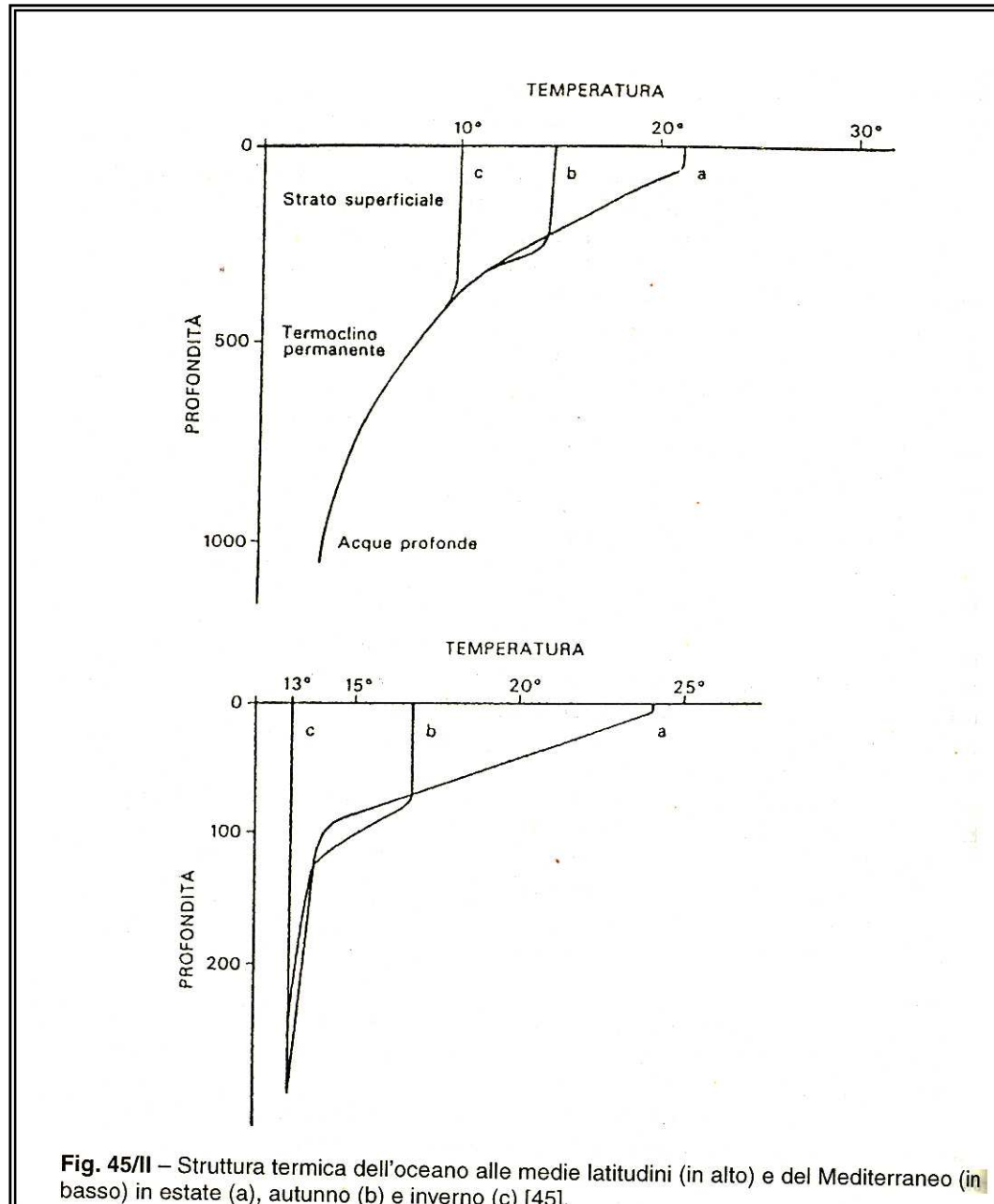


Fig. 45/II – Struttura termica dell'oceano alle medie latitudini (in alto) e del Mediterraneo (in basso) in estate (a), autunno (b) e inverno (c) [45].

Misura delle principali caratteristiche fisiche



Fattori che determinano la densità:

salinità : peso dei sali disciolti in 1000 parti di acqua di mare, ovvero g kg^{-1} , quando tutti i carbonati e la sostanza organica siano stati convertiti in ossidi e tutti i bromuri e gli ioduri in cloruri. Proprietà conservativa.

Si misura:

- Metodo argentometrico. Essendo il cloro (Cl^{-1}) lo ione più rappresentato, dalla “clorinità” si calcola la salinità: $S(\text{‰})=0,03+1,8050 \text{ Clorinità}$
- Metodo della conducibilità (capacità di una soluzione di condurre corrente elettrica): la conducibilità aumenta con l'aumentare del contenuto salino
- Variazioni di S. dipendono da : evaporazione, precipitazioni, mescolamento
- Salinità media di tutti i mari 34,73 (‰). Mari italiani compresa tra 37,7 e 38,35(‰)

Tab. 17/II – Principali costituenti dell'acqua di mare in g kg^{-1} e in % per una clorinità del 19‰ e con un peso totale degli ioni di $34,328 \text{ g kg}^{-1}$.

Ione	g kg^{-1}	%
Cloruro (Cl^-)	18,971	55,26
Solfato (SO_4^{2-})	2,635	7,68
Sodio (Na^+)	10,498	30,58
Magnesio (Mg^{++})	1,292	3,76

Misura delle principali caratteristiche fisiche

Diagrammi temperatura-salinità

Identificazione della provenienza delle masse d'acqua è possibile mediante:

- Misura della densità: le masse d'acqua di diversa densità si mescolano con difficoltà e tendono a stratificarsi.
- Diagrammi T/S

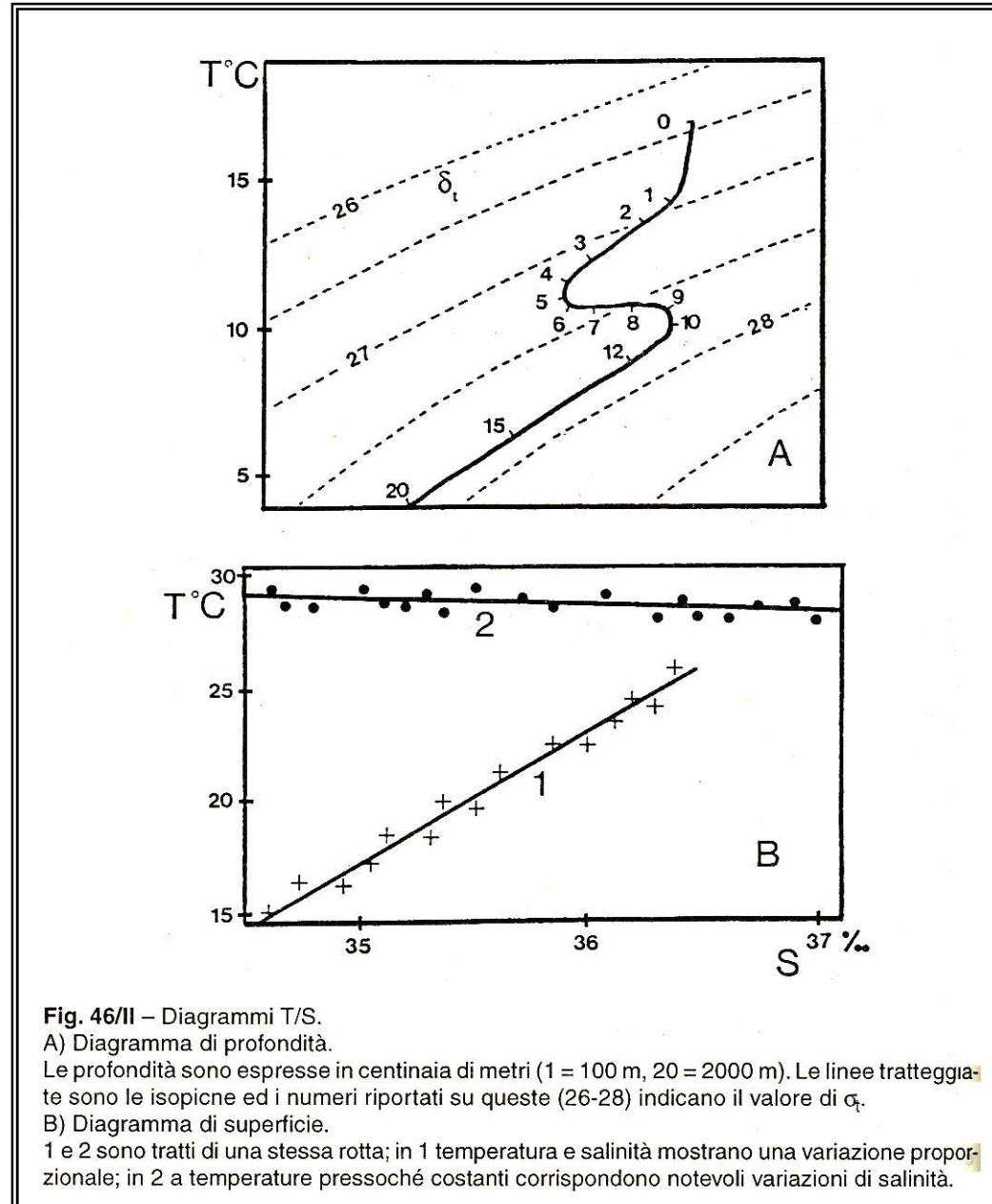


Fig. 46/II – Diagrammi T/S.

A) Diagramma di profondità.

Le profondità sono espresse in centinaia di metri (1 = 100 m, 20 = 2000 m). Le linee tratteggiate sono le isopiche ed i numeri riportati su queste (26-28) indicano il valore di σ_t .

B) Diagramma di superficie.

1 e 2 sono tratti di una stessa rotta; in 1 temperatura e salinità mostrano una variazione proporzionale; in 2 a temperature pressoché costanti corrispondono notevoli variazioni di salinità.

Misura delle principali caratteristiche fisiche



Trasparenza

- Esprime la capacità di penetrazione della luce e quindi l'estensione della “zona eufotica”. E' influenzata da fattori fisici (capacità di assorbimento della luce da parte dell'acqua e presenza di material inorganici in sospensione) e biologici (distribuzione della massa fito e zooplanctonica e contenuto di detrito organico)
- La misura della trasparenza delle acque viene effettuata mediante il disco Secchi. Il disco viene calato lentamente fino a che non scompare alla vista. Si legge la misura, segnata sulla sagola metrata, dalla superficie dell'acqua.
- La trasparenza dell'acqua per radiazioni di diverse lunghezze d'onda può essere espressa dalla quantità percentuale di radiazione che penetra uno strato di 1 m
- Relazione tra trasparenza e densità fitoplanctonica espressa come clorofilla: $K=0,04+0,0088 C+0,054 C^{2/3}$

Tab. 18/II – Percentuale di energia rilevabile a diverse profondità in differenti tipi di acque.

PROFONDITA' (m)	ACQUA PURA	ACQUA OCEANICA valori medi	ACQUA COSTIERA valori medi
0	100	100	100
1	38,9	35,2	26,7
2	33,7	28,0	17,0
5	28,0	17,3	5,95
10	22,0	9,50	1,21
20	15,8	3,72	0,064

Tab. 19/II – Coefficienti di estinzione in acqua pura ed in diversi tipi di acqua di mare [46].

	LUNGHEZZA D'ONDA (μm)								
	0,460	0,480	0,515	0,530	0,565	0,600	0,660	0,800	1000
Acqua pura	0,015	0,015	0,018	0,021	0,033	0,125	0,280	2,40	39,70
Oceanica									
minimo	0,038	0,026	0,035	0,038	0,074	0,199			
medio	0,086	0,076	0,078	0,084	0,108	0,272			
massimo	0,160	0,154	0,143	0,140	0,167	0,333			
Costiera									
minimo	0,224	0,230	0,192	0,169	0,375	0,477			
medio	0,362	0,334	0,276	0,269	0,437	0,623			
massimo	0,510	0,454	0,398	0,348	0,489	0,760			

Tab. 20/II – Percentuale di radiazione di lunghezza d'onda data, trasmessa da 1 m di acqua pura e di acqua marina costiera e oceanica (calcolata sui dati della tabella precedente) [46].

	LUNGHEZZA D'ONDA (μm)						
	0,460	0,480	0,515	0,530	0,565	0,600	0,660
Acqua pura	98,5	98,0	98,2	97,9	96,8	88,3	75,9
Oceanica							
minimo	96,4	97,5	96,6	96,3	92,9	81,8	
medio	91,8	92,7	92,5	91,8	89,8	75,9	
massimo	85,1	85,7	86,7	86,9	84,5	71,6	
Costiera							
minimo	80,0	79,4	82,6	84,5	68,7	62,0	
medio	69,7	71,6	75,9	76,4	64,6	53,6	
massimo	60,0	63,5	67,1	70,6	61,4	46,7	

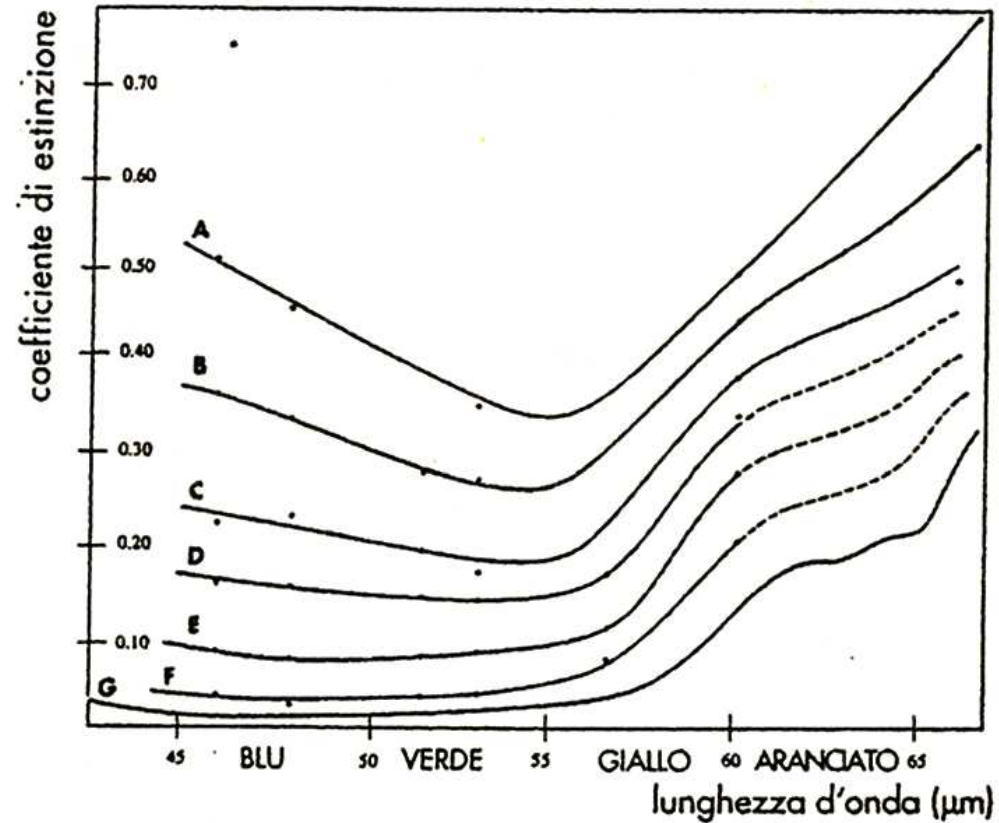


Fig. 47/II – Coefficienti di estinzione di diverse lunghezze d'onda in acqua pura ed in diversi tipi di acqua di mare.
A, B, C: acque costiere con valori massimi (A), medi (B) e minimi (C); D, E, F: acque oceaniche con valori massimi (D), medi (E) e minimi (F); G: acqua pura [46].

Principali caratteristiche chimiche

- La composizione chimica dell'acqua di mare è costante da circa 2 miliardi di anni e dipende da vari fattori:
 - apporto delle acque continentali
 - scarichi di acque
 - materiali dovuti alle attività umane
 - scambi e interazione tra superficie marina e atmosfera
 - processi tra gli ioni in soluzione e minerali costituenti i sedimenti del fondo e in sospensione
 - processi biochimici.

Principali caratteristiche chimiche



- Nell'acqua di mare si trovano in soluzione tutti gli elementi naturali, sali inorganici, gas e sostanze organiche, in percentuali molto diverse. Tra questi i più abbondanti sono il sodio e il cloro
- Al chimismo delle acque marine contribuiscono altre numerose sostanze come i sali nutrienti, comprendenti composti salini del fosforo e dell'azoto e la silice e gli oligoelementi, sostanze disciolte in mare in percentuali molto piccole o addirittura in tracce.

Principali caratteristiche chimiche

- L'acqua oceanica contiene disciolti anche numerosi gas provenienti principalmente dall'atmosfera.
- La composizione dell'aria disciolta dipende dalla diversa solubilità dei gas nell'acqua e dalle caratteristiche chimico-fisiche dell'ambiente (es. a temperature più basse e bassa salinità aumenta il quantitativo dei gas disciolti).

Tab. 21/II – Concentrazione degli elementi chimici presenti nell'acqua di mare [50].

Elemento		p. p. b.
Ossigeno	O	857.000.000
Idrogeno	H	108.000.000
Cloro	Cl	19.000.000
Sodio	Na	10.500.000
Magnesio	Mg	1.350.000
Zolfo	S	890.000
Calcio	Ca	100.000
Potassio	K	380.000
Bromo	Br	65.000
Carbonio	C	28.000
Stronzio	Sr	8000
Boro	B	4600
Silicio	Si	3000
Fluoro	F	1300
Argon	Ar	600
Azoto	N	500
Litio	Li	170
Rubidio	Rb	120
Fosforo	P	70
Iodio	I	60
Bario	Ba	30
Indio	In	20
Zinco	Zn	10
Ferro	Fe	10
Alluminio	Al	10
Molibdeno	Mo	10
Rame	Cu	3
Arsenico	As	3
Uranio	U	3
Nickel	Ni	2
Vanadio	V	2
Manganese	Mn	2
Titanio	Ti	1

segue nella pagina seguente

Elemento		p. p. b.
Stagno	Sn	0,8
Cesio	Cs	0,5
Antimonio	Sb	0,5
Selenio	Se	0,4
Yttrio	Y	0,3
Cadmio	Cd	0,1
Tungsteno	W	0,1
Cobalto	Co	0,1
Germanio	Ge	0,06
Cromo	Cr	0,05
Torio	Th	0,05
Argento	Ag	0,04
Scandio	Sc	0,04
Piombo	Pb	0,03
Mercurio	Hg	0,03
Gallio	Ga	0,03
Bismuto	Bi	0,02
Niobio	Nb	0,01
Lantanio	La	0,01
Tallio	Tl	<0,01
Cerio	Ce	0,005
Oro	Au	0,004
Terre rare		0,003-0,0005
Protoattinio	Pa	$2 \cdot 10^{-6}$
Radio	Ra	$1 \cdot 10^{-6}$

Principali caratteristiche chimiche

Ossigeno. Unità di misura usate per esprimere la concentrazione di ossigeno disciolto sono:

- ml l^{-1} e mg l^{-1}
- a livello internazionale mg at l^{-1} .
- in oceanografia : percentuale di saturazione
- Utile tracciante per lo studio dei movimenti delle masse d'acqua
- Indicatore dei processi biologici e chimici
- Apparent Oxygen Utilization (AOU) = esprime la differenza tra la concentrazione teorica e la concentrazione di ossigeno effettivamente riscontrata
- In Mediterraneo: concentrazioni elevate sia in superficie che in profondità.

Principali caratteristiche chimiche

- Sali nutritivi. Composti dell'azoto e del fosforo in forma disciolta; questi sono costituiti da nitrati, nitriti, sali di ammonio e fosfati. Tra essi viene compreso anche il silicio.
- La concentrazione dei nutrienti non è omogenea né in senso verticale, né orizzontale, né temporale.
 - Le acque del Mediterraneo sono caratterizzate da una relativa scarsità di nutrienti a parte eccezioni (Mare Adriatico)
 - L'azoto e il fosforo vengono assimilati dagli organismi in proporzione atomica costante (15:1). Il fosforo è uno dei nutrienti di maggiore importanza. Esiste in mare come ione dell'acido ortofosforico. La forma più abbondante di azoto è l'azoto elementare disciolto (N_2).
 - Il Silicio è presente in soluzione come acido silico, in forma particellata è costituito da frammenti di strutture appartenenti a Diatomee, Radiolari....

Principali caratteristiche chimiche

Carbonio organico.

- Vi sono basse concentrazioni di composti organici nell'acqua di mare

DOM= Sostanza organica disciolta

POM=Sostanza organica particellata (costituita da organismi viventi e da detrito organico)

- La sostanza organica disciolta nell'ambiente marino può essere divisa in quattro gruppi:
 - Carboidrati e prodotti derivanti dalla decomposizione
 - Proteine e i loro composti di degradazione
 - Lipidi
 - Sostanze complesse (es. acidi umici)

Moto ondoso, correnti e maree

- Moto ondoso. Le onde sono generate dall'attrito provocato dal vento che scorre sulla superficie marina. I fattori che intervengono sulla sua formazione sono:
 - intensità e persistenza del vento;
 - lunghezza del tratto di mare interessato senza la presenza di ostacoli (Fetch);
 - lunghezza dell'onda (funzione della velocità del vento).
 - velocità dell'onda (dipende dalla ripidità dell'onda)

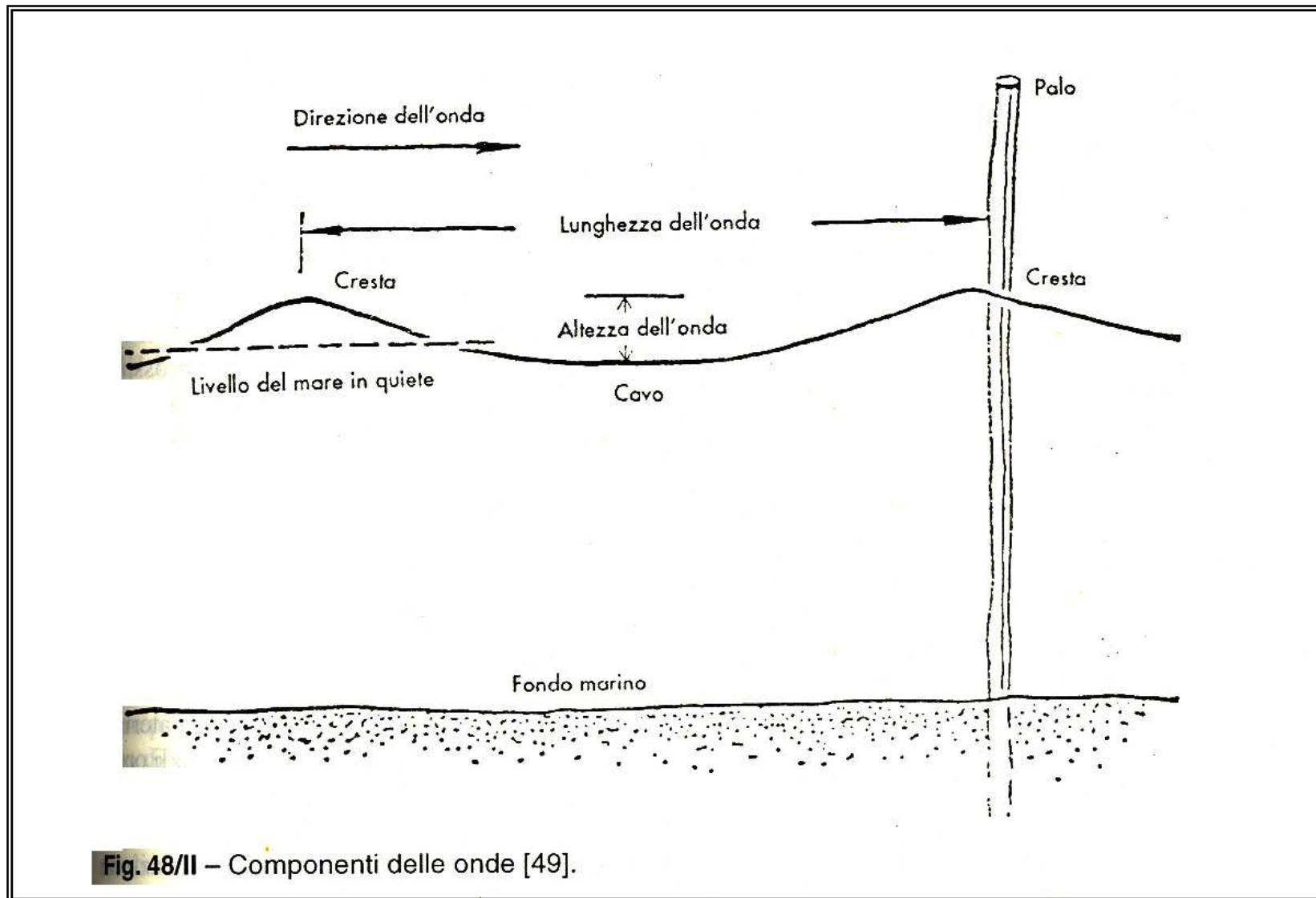
- In un'onda si distinguono :
 - la cresta e il cavo, ossia la parte più rilevata e la parte più depressa;
 - l'altezza, cioè la distanza tra la cresta e il cavo;
 - la lunghezza, ossia la distanza orizzontale tra due creste o due cavi successivi.

Moto ondoso, correnti e maree



- **Importanti sono pure:**
 - la velocità di propagazione (lo spazio percorso nell'unità di tempo dalla cresta),
 - il periodo (intervallo di tempo compreso fra due passaggi consecutivi di una cresta nello stesso punto)

- **Sistema di misura: segnalatore di pressione differenziale appoggiato sul fondo e di un cavo sottomarino collegato ad un registratore**



Classificazione delle onde: scala Douglas, suddivisa in 9 gradi, associata alla scala anemometrica Beaufort

Tab. 22/II – Scale dei venti e dello stato del mare.

SCALA Beaufort	DENOMINAZIONE DEL VENTO	VELOCITÀ (nodi)	ALTEZZA ONDE (m)	STATO DEL MARE	CODICE INTERNAZ.
0	Calma	<1	0	calmo	0
1	Bava di vento	1-3			
2	Brezza leggera	4-6	0-0,10	quasi calmo	1
3	Brezza tesa	7-10	0,10-0,50	poco mosso	2
4	Vento moderato	11-16	0,50-1,25	mosso	3
5	Vento teso	17-21	1,25-2,50	molto mosso	4
6	Vento fresco	22-27	2,50-4	agitato	5
7	Vento forte	28-33			
8	Burrasca	34-40	4-6	molto agitato	6
9	Burrasca forte	41-47			
10	Tempesta	48-55	6-9	grosso	7
11	Tempesta violenta	56-63	9-14	molto grosso	8
12	Uragano	>64	>14	tempesta	9

Moto ondoso, correnti e maree

- Correnti. Sono la risultante di componenti primarie, che imprimono al moto impulso ed energia, e di altre secondarie (forza di Coriolis), che modificano il moto o ne disperdono l'energia
- Gli elementi della corrente sono:
 - direzione (senso verso cui la corrente si dirige)
 - velocità (espressa in km o miglia orarie)
- Le correnti marine possono avere movimenti orizzontali e verticali.
- Metodi di misura: spostamenti delle “croci di corrente” o di “drifters” seguiti via Loran o via radio e lanciati in mare da nave o aereo

Moto ondoso, correnti e maree

CORRENTI DI GRADIENTE

- Nascono dall'irregolare distribuzione della pressione sulla superficie del mare, e dalla differenza di densità di masse d'acqua adiacenti. Si generano per l'azione del vento, o per la presenza di masse d'acqua a differenti temperature e salinità.

CORRENTI DI DERIVA

- Esercitano una forza di trascinamento dovuta dall'attrito esistente tra masse d'aria in movimento e la massa d'acqua superficiale del mare. I forti venti costanti (quali alisei e i monsoni), sono la causa di gran parte delle correnti di deriva.

CIRCOLAZIONE DI LANGMUIR

- Nasce da venti deboli e moderati, nelle acque vicino alla superficie, generando vortici in cui l'acqua si muove lungo traiettorie elicoidali in direzione del vento

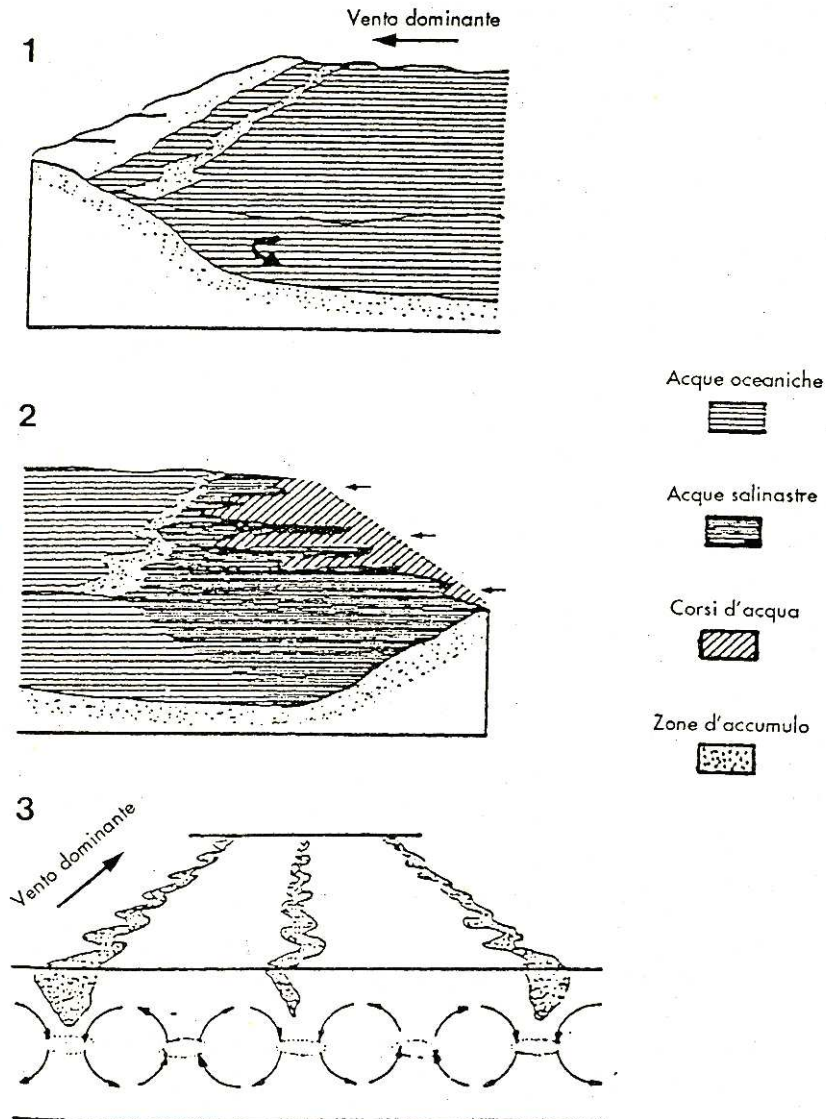
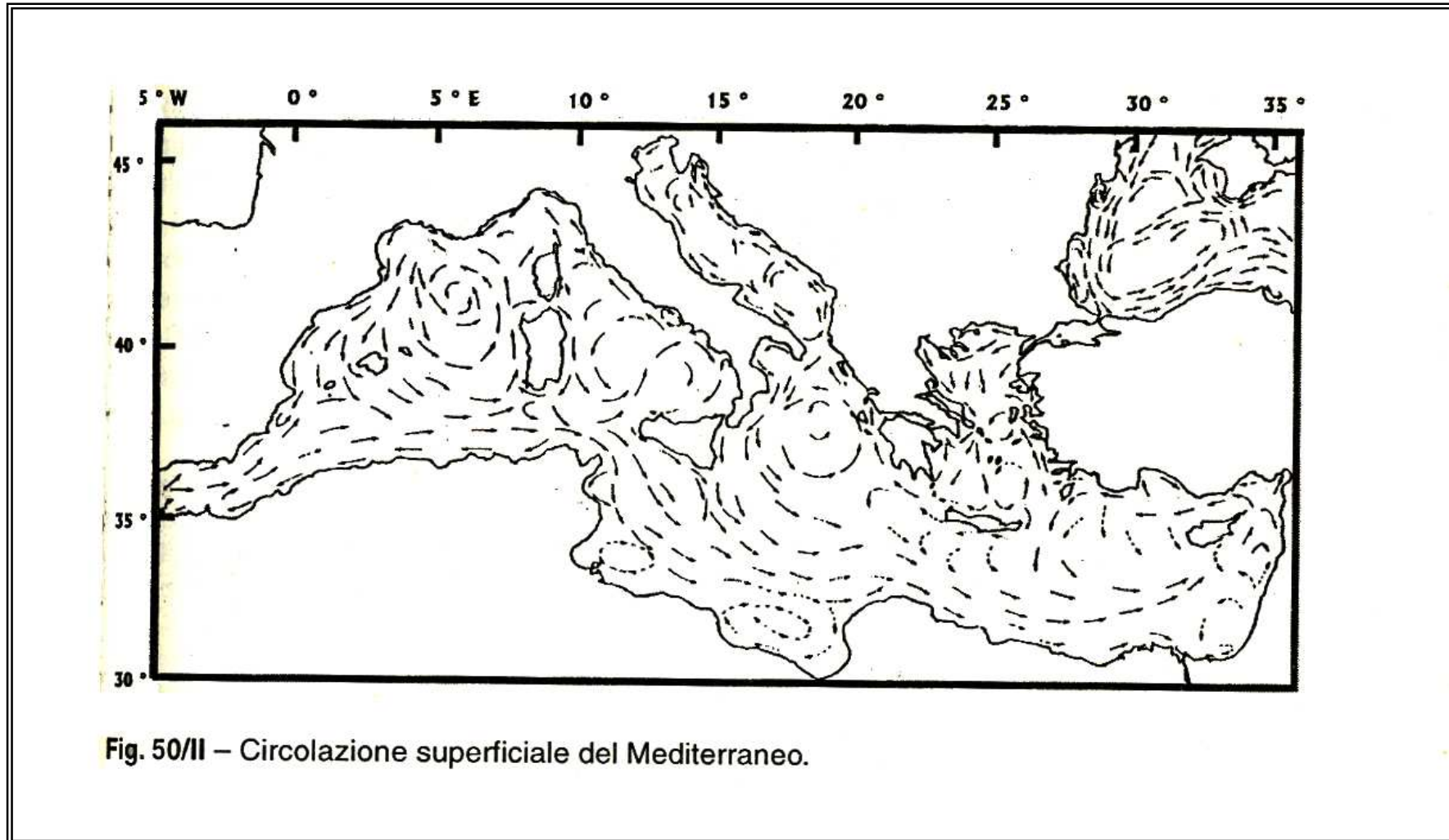


Fig. 49/II – Meccanismo di accumulo dei materiali galleggianti. 1: accumulo in superficie del materiale galleggiante in strisce parallele secondo Langmuir; 2: accumulo per differenza di densità; 3: accumulo per effetto dei venti di mare [51].



Moto ondoso, correnti e maree

- **Maree. Oscillazioni periodiche dovute alla forza di attrazione della luna, del sole e dei pianeti.**
 - Flusso : movimento ascende
 - Riflusso: movimento discendente
 - Maree sizigie: nei giorni di luna piena e luna nuova
 - Maree quadrature: nei giorni di luna al primo quarto e luna all'ultimo quarto
- **Principali maree:**
 - Maree semidiurne: per ogni giorno di marea , due alte maree e due basse maree
 - Marea diurna: una alta e una bassa marea al giorno
 - Marea di tipo misto: disuguaglianza diurna nelle altezze.
- **Dalle maree si originano le correnti di marea**
- **Nei Mari Italiani (eccetto M. Adriatico) le maree sono trascurabili**

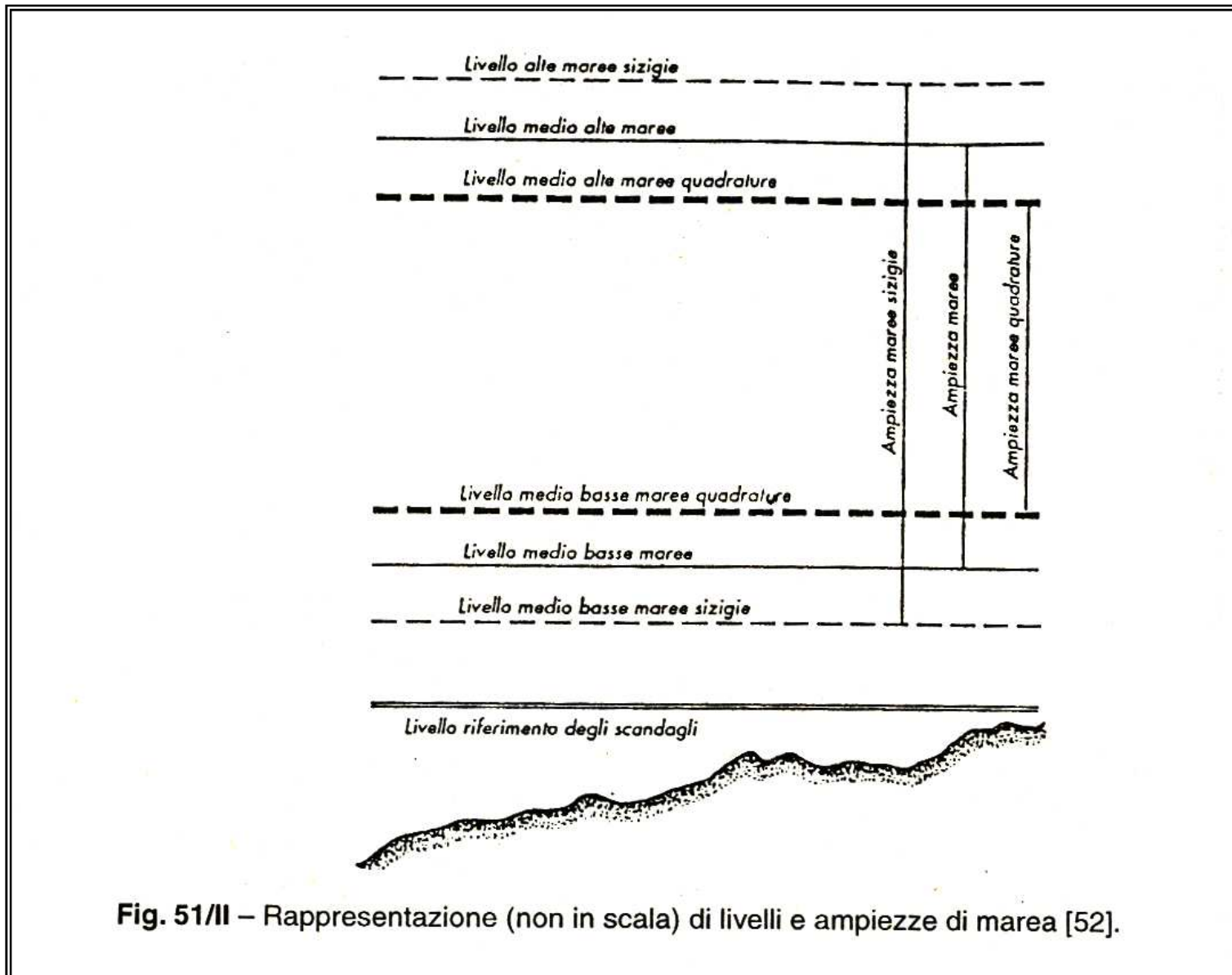


Fig. 51/II – Rappresentazione (non in scala) di livelli e ampiezze di marea [52].

Caratteristiche sedimentologiche in acque marine litorali

- Nel litorale si possono ritrovare: sabbia, ghiaia, detrito, ciottoli, fango e combinazioni di questi substrati. Nel sistema profondo domina il fango
- L'alternanza dei diversi tipi di sedimento con la profondità è dovuta al moto ondoso (fino ai 100m) ed alle correnti (al di sotto dei 100m)
- I sedimenti vengono distinti sulla base delle dimensioni delle particelle che li compongono (scala di Wentworth)
- I sedimenti costituiti da particelle di diametro maggiore di $63\mu\text{m}$ si separano mediante setacci, al di sotto di questo diametro si utilizza il “metodo delle pipette”, la bilancia di sedimentazione, i contatori di particelle
- Tra le proprietà dei sedimenti importante in ecologia è la “porosità” che determina la quantità di acqua nel sedimento e la possibilità di ricambio della stessa

Tab. 23/II – Classificazione dei sedimenti a seconda delle dimensioni delle particelle (mm).

Sedimento	dimensione (mm)	
	max	min
sassi	256	64
ciottoli	64	4
ghiaia	4	1
sabbia grossolana	1	0,5
sabbia di media grandezza	0,5	0,25
sabbia fine	0,25	0,125
sabbia molto fine	0,125	0,063
fango (silt)	0,063	0,004
argilla (clay)	<0,004	

Valutazione delle principali caratteristiche biologiche

Gli organismi marini possono essere divisi in tre grandi gruppi:

- *Il plancton*: l'insieme degli organismi che vagano per il mare senza avere quasi nessuna possibilità di opporsi ai movimenti delle acque. Il fitoplancton rappresenta la componente vegetale, lo zooplancton la componente animale.
- *Il necton*: l'insieme di animali capaci di spostarsi a loro piacimento nella direzione opportuna. Sono: pesci, mammiferi, rettili, molluschi e crostacei. Molti animali del necton allo stadio di larva vivono nel plancton.
- *Il benthos*: l'insieme degli organismi animali e vegetali che hanno rapporti con il fondo del mare, sia in maniera permanente che in maniera temporanea.

Valutazione delle principali caratteristiche biologiche

➤ Plancton

- Ultra e nanoplancton: alghe unicellulari, batteri e funghi
- Microplancton: Diatomee, Dinoflagellati, Ciliati e nauplii di Copepodi
- Mesoplancton: Copepodi (80%), appendicolarie
- Macroplancton: Crostacei, Pteropodi, Sifonofori, Ctenofori, Taliacei

➤ Necton

- Organismi che vivono nella colonna d'acqua
- Organismi che nuotano vicino al fondo

Valutazione delle principali caratteristiche biologiche

- Per il campionamento si deve tener conto che sia il plancton che il necton non sono uniformemente distribuiti sia sul piano orizzontale che verticale
- Distribuzione spaziale può dipendere da:
 - Fattori biologici: comportamento sociale, comportamenti riproduttivi, disponibilità di nutrienti danno origine a formazione di banchi sciame
 - Fattori fisici: correnti marine, mescolamento turbolento dell'acqua, circolazione di Langmuir
- Distribuzione verticale
 - Spostamenti verticali : giornalieri (nictemerali), stagionali e ontogenetici

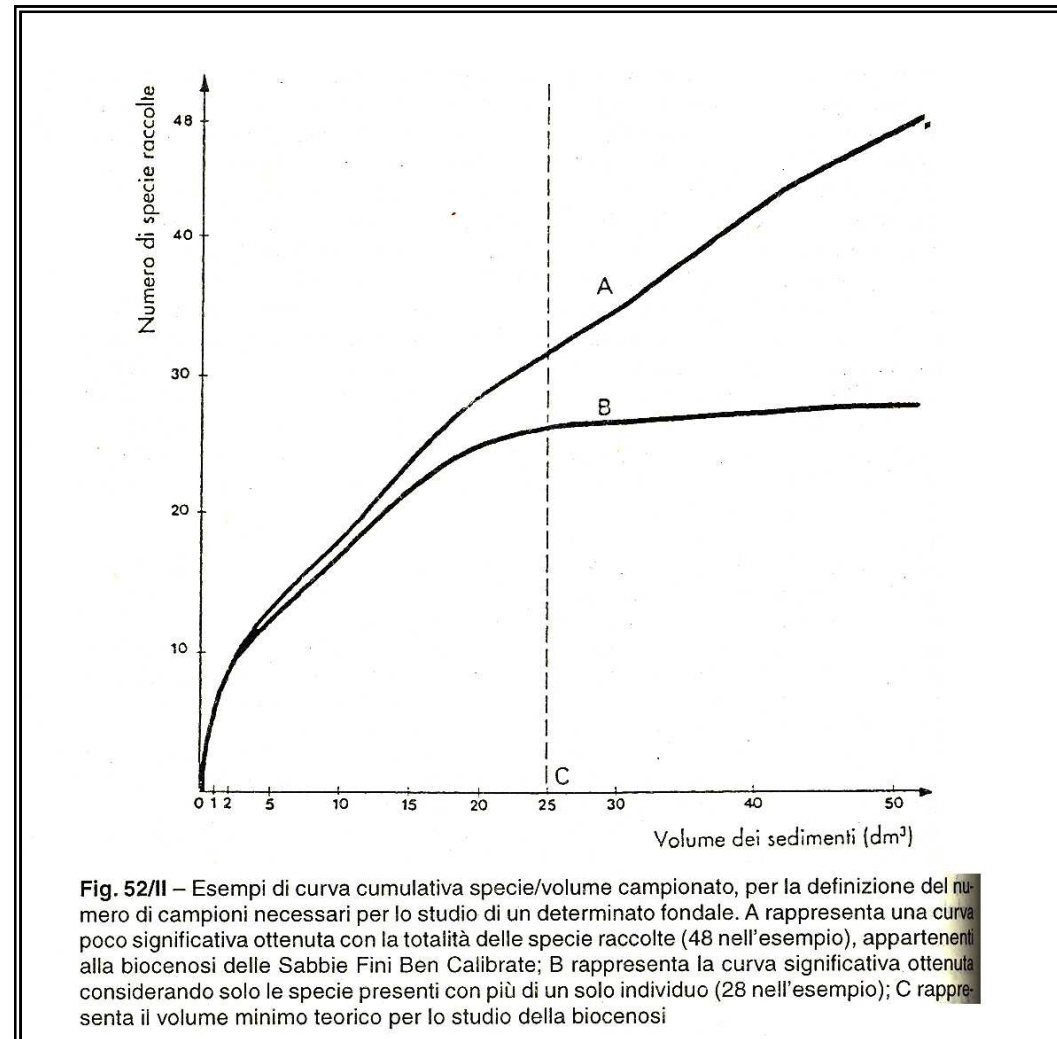
Valutazione delle principali caratteristiche biologiche



Benthos.

- Biocenosi: raggruppamento di esseri viventi, corrispondente per la sua composizione, per il numero di specie e di individui, a certe condizioni medie dell'ambiente; tali esseri viventi sono legati da una dipendenza reciproca (alimentazione, competizione, ecc.) e si mantengono e riproducono in un certo luogo in modo permanente".
- Le biocenosi vengono indicate mediante una denominazione che tiene conto del biotopo considerato
- Per individuare le biocenosi le specie sono classificate in categorie:
 - caratteristiche esclusive,
 - accompagnatrici,
 - accidentali
- Per campionare il benthos si usano: draghe, benne, carotatori, sorbone. Per i substrati duri: operatori subacquei

La curva indica esattamente il quantitativo necessario per la definizione della biocenosi e sottolinea la scarsa importanza delle specie rare



Funzioni delle comunità acquatiche

- I vari organismi della comunità sono visti come comparti che accumulano energia e trasformano energia. La valutazione dei flussi energetici all'interno di una comunità acquatica si basa sulla stima della produzione di sostanza organica
- Anche in acqua la vita si organizza sulla base dei rapporti che si stabiliscono tra alcuni organismi chiamati **produttori primari** e altri (erbivori e carnivori) detti **consumatori**, tra i quali si collocano quelli denominati degradatori o **decompositori**.
- I produttori primari in ambiente acquatico sono rappresentati da piante o **macrofite sommerse**, da piante emerse con radici acquatiche e da **alghe microscopiche**
- L'unità di misura per il calcolo dei bilanci energetici è la chilocaloria (Kcal) o Joule (J)

Tab. 24/II – Fattori di conversione: $A (g) \times f = B (g)$. Il peso, nel caso del materiale cellulare, è quello secco privo di ceneri. I valori indicati del fattore sono da intendersi come medi.

A	B	f
C	Proteine	1,92
C	Carboidrati	2,27
C	Lipidi	1,33
C	Materiale cellulare	
	Macrofite	2,20
	Alghe e particellato	1,90
	Zooplancton e batteri	1,90
C	Ossigeno (O ₂)	2,75
N	Proteine	6,25
N	Materiale cellulare	
	Macrofite	75,0
	Alghe e particellato	12,5
	Zooplancton e batteri	8,5
N	Ossigeno (delle proteine)	8,5
N	Carbonio (C)	4,75
O ₂	Proteine	0,75
O ₂	Carboidrati	0,85
O ₂	Lipidi	0,35
O ₂	Materiale cellulare	
	Macrofite	1,27
	Alghe e particellato	1,60
	Zooplancton e batteri	1,50

Tab. 25/II – Rapporti tra peso delle ceneri (a), peso secco (b) e peso fresco (c) in vari organismi acquatici.

	a/b	b/c
Macrofite	0,05-0,2	-
Alghe e Cianobatteri	0,04-0,1	0,1-0,3
Diatomee	0,3-0,7	-
Animali	0,1	0,1
Batteri	-	0,1

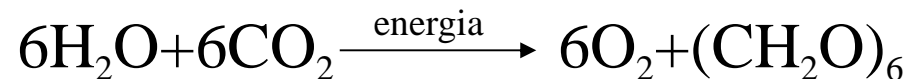
	RQ	PQ	Coefficiente ossicalorico	Calore di combustione
Proteine	0,97	1,03	3,7	5,5
Carboidrati	1,00	1,00	3,5	4,1
Lipidi	0,70	1,43	3,3	9,5
Materiale cellulare	0,90	1,20	3,6	5,8

Tab. 27/II – Fattori di conversione del materiale biologico espresso come carbonio o come peso in calorie. L'equivalente calorico è espresso in kcal. I valori riportati sono da considerarsi ampiamente approssimati.

Parametro	Equivalente calorico
Carbonio (1 g C)	10 kcal
Peso secco (1 g)	5 kcal
Peso fresco (1 g)	1 kcal

Produzione e decomposizione in acque lacustri

- Nei laghi il gruppo vegetale che svolge il maggiore ruolo ai fini della produzione primaria di sostanza organica vivente o biomassa, è quello delle alghe microscopiche che stanno in sospensione nell'acqua le cui dimensioni sono dell'ordine del millesimo di millimetro
- Produzione primaria. Per comprendere il funzionamento di un lago si considera la produzione fotosintetica di sostanza organica ad opera delle alghe, delle macrofite e dei batteri
- Tecniche impiegate per misurare la produzione fotosintetica: tecnica dell'ossigeno, tecnica del ^{14}C , tecnica della CO_2 che si basano sull'equazione della fotosintesi



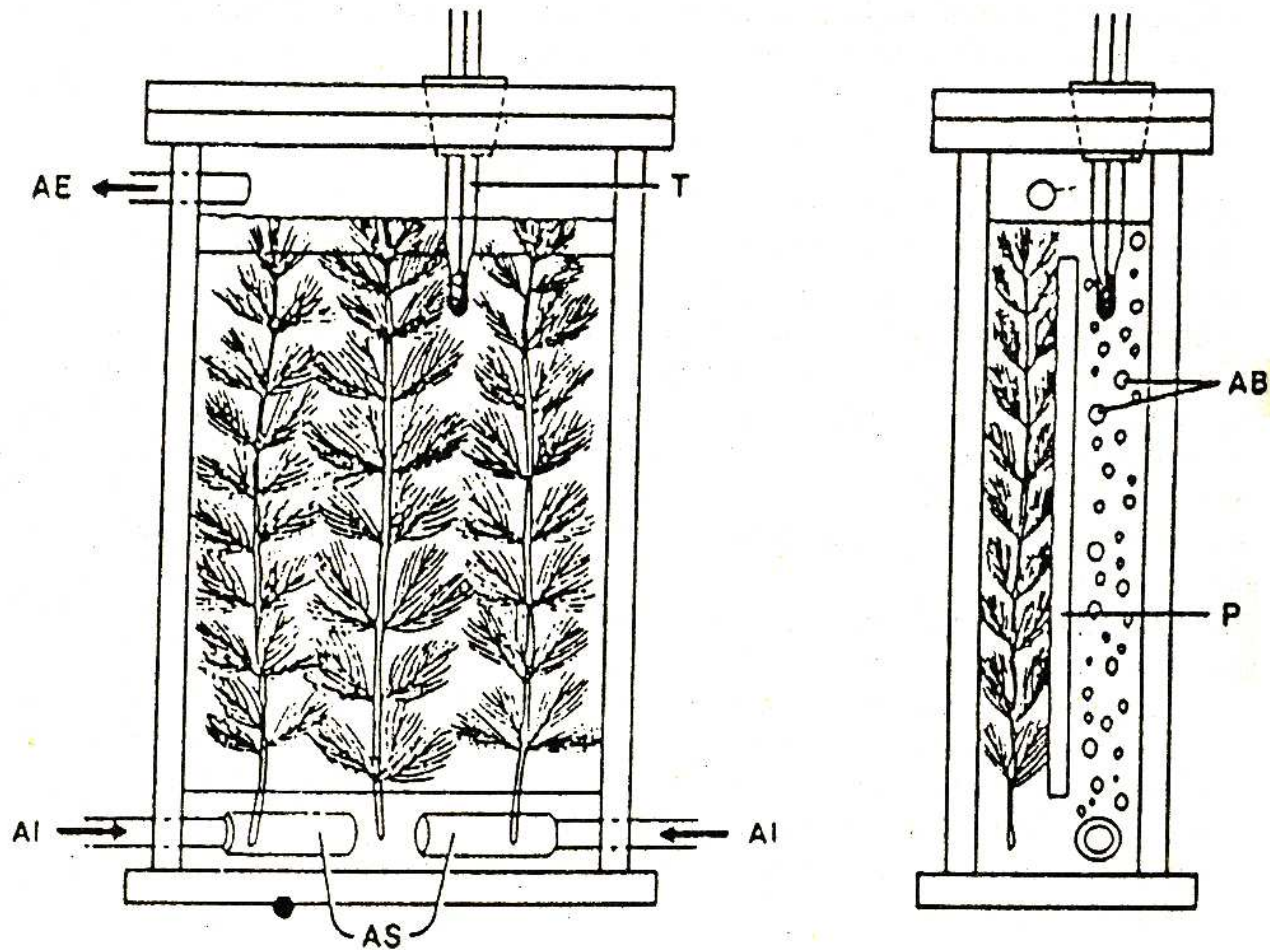


Fig. 53/II – Camera utilizzata per l'incubazione delle macrofite sottoposte ad esperimenti di produzione primaria mediante il metodo della CO_2 . AI = aria in ingresso; AE = aria in uscita diretta all'analizzatore all'infrarosso; AB = bolle d'aria; AS = diffusori d'aria; P = parete divisoria; T = termometro [57].

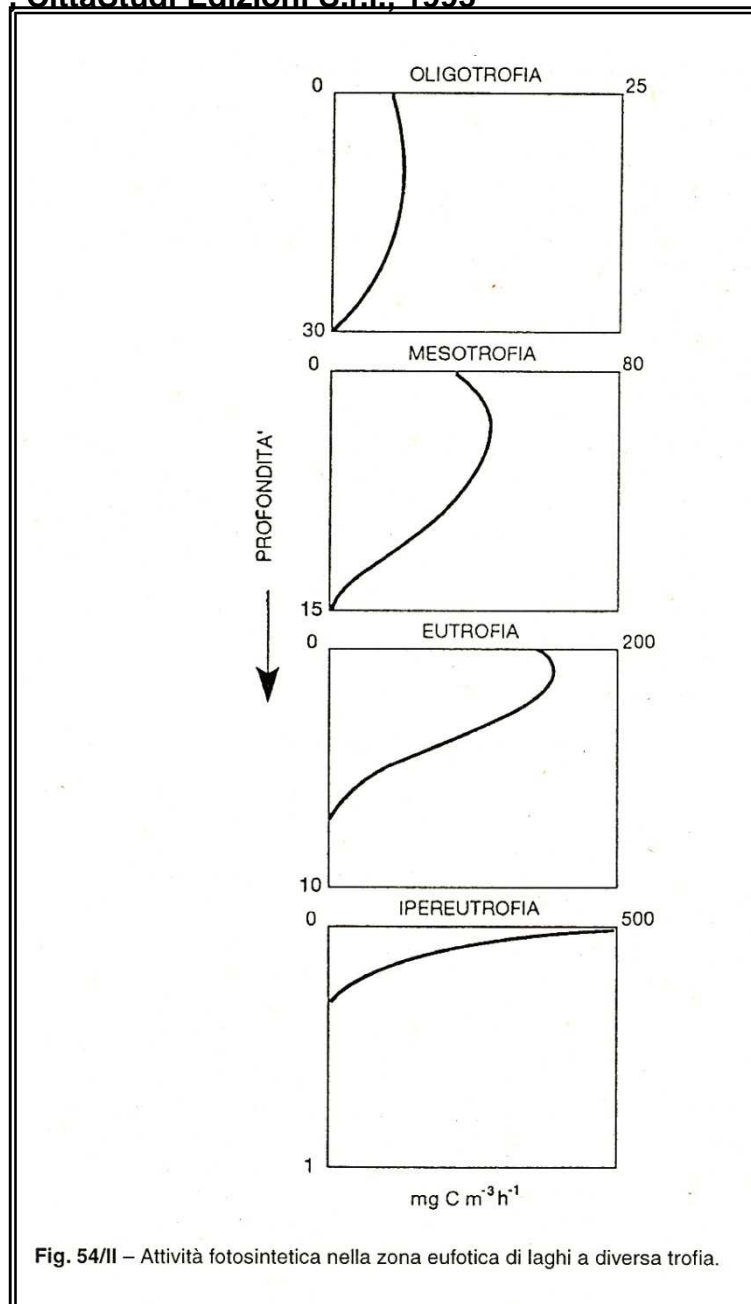


Fig. 54/II – Attività fotosintetica nella zona eufotica di laghi a diversa trofia.

Produzione e decomposizione in acque lacustri

- Produzione secondaria. Si intende la quantità di tessuti animali prodotti per unità di tempo e per unità di area o di volume, dalla totalità dei livelli trofici dei consumatori.
- I differenti metodi impiegati per la stima della produzione secondaria vengono divisi in due categorie:
 - metodi demografici: si basano sull'analisi della dinamica delle differenti popolazioni e sulle loro variazioni in biomassa in un arco di tempo
 - metodi fisiologici: derivano la produzione dalla misura di processi fisiologici legati alle popolazioni

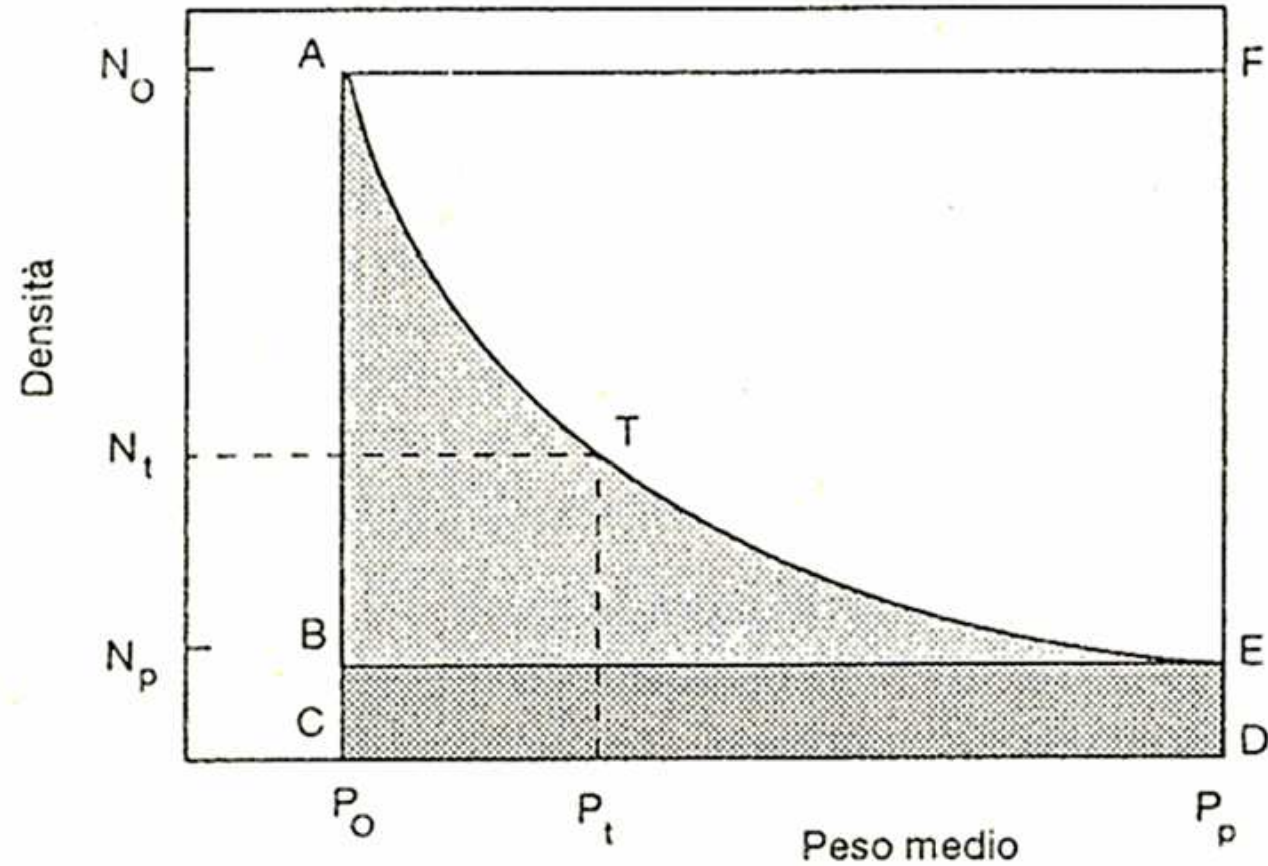


Fig. 55/II – Metodo di Allen per la stima della produzione di coorti animali.

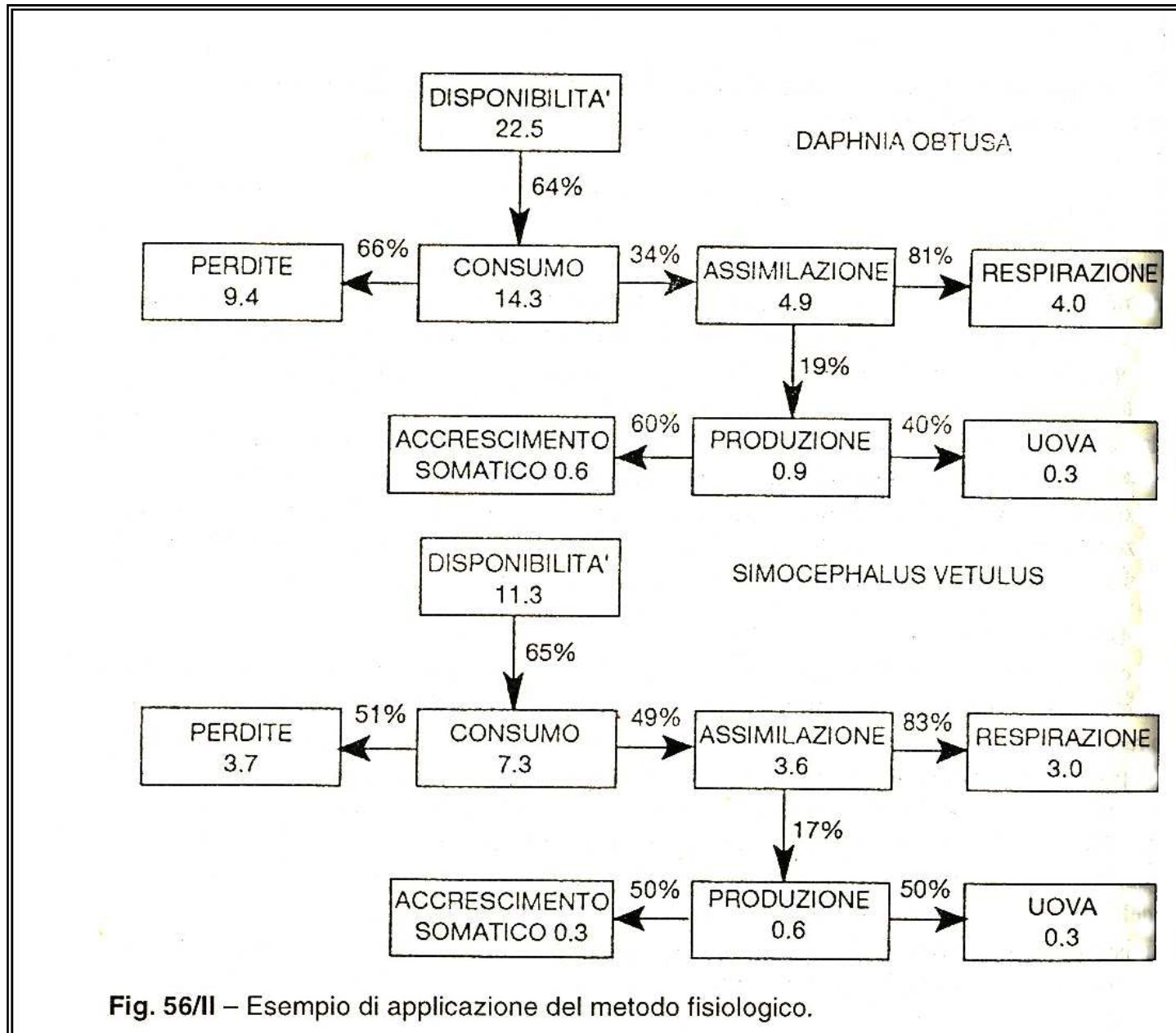


Fig. 56/II – Esempio di applicazione del metodo fisiologico.

La demolizione



- **La decomposizione è il processo attraverso cui l'energia contenuta nella materia organica morta viene utilizzata.**
- **La decomposizione rappresenta, una prima fase del processo di mineralizzazione della sostanza organica**
- **I processi di demolizione e decomposizione biologica hanno un importante ruolo ecologico**

La demolizione

- Batteri sono i principali agenti responsabili della decomposizione della materia organica, collettivamente vengono chiamati organismi decompositori
- Nel descrivere il ruolo dei microrganismi eterotrofi in un ambiente è indispensabile utilizzare metodi che concorrano a fornire informazioni su:
 - quantità di substrato organico disponibile
 - densità e biomassa dei popolamenti batterici
 - loro attività a carico del substrato stesso

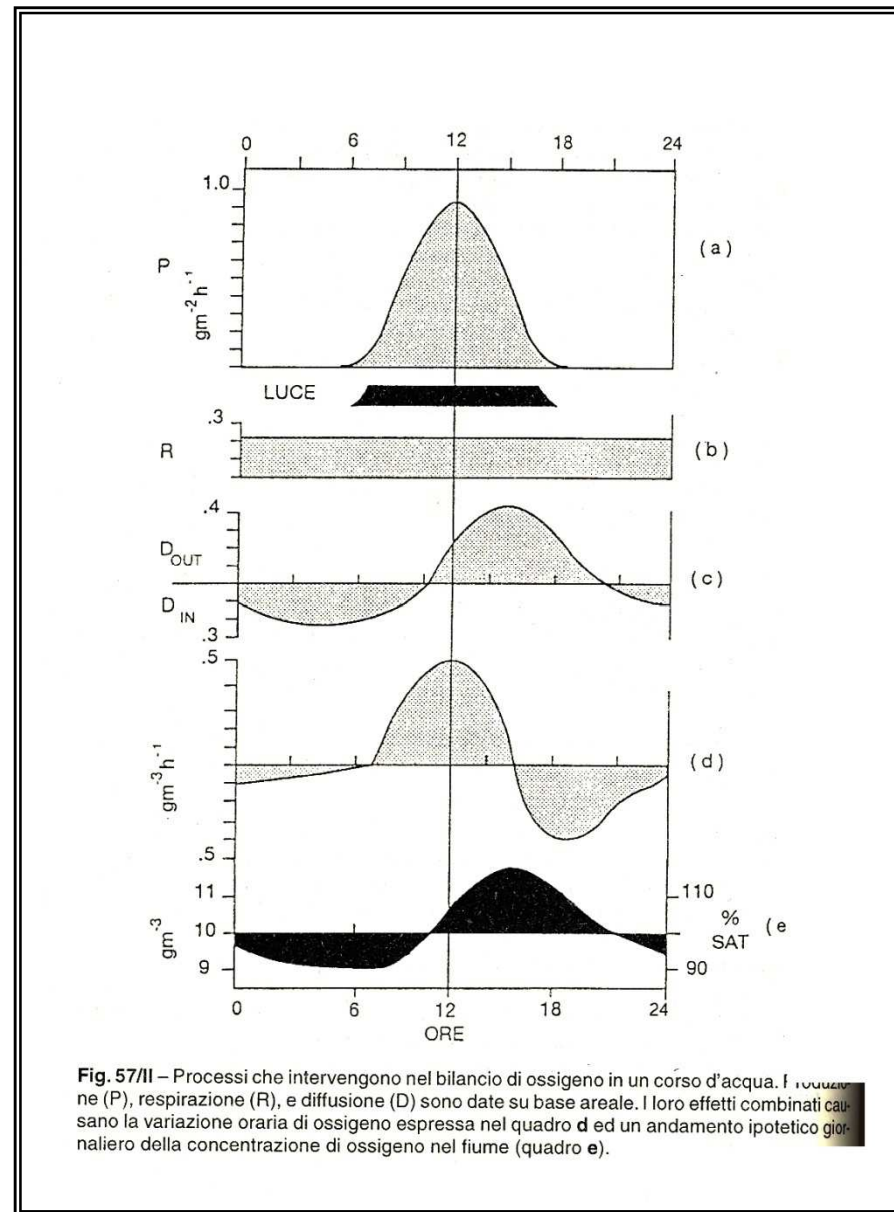
Produzione primaria in acque correnti.

➤ Non esiste un popolamento fitoplanctonico vero e proprio. Gli organismi fotosintetici sono: alghe e batteri, epifiti ed epiliti, e vegetazione macrofitica sommersa.

➤ La concentrazione di ossigeno dipende da varie componenti.

La curva della fotosintesi segue l'andamento della luce incidente; la respirazione può essere considerata costante in prima approssimazione; la diffusione cambia man mano che l'ossigeno viene prodotto per fotosintesi. Se si sommano i tre processi si ottiene la curva del grado di variazione di ossigeno nell'unità di tempo e da essa si può calcolare l'andamento della sua concentrazione nell'arco di una giornata





- Metodi di misura della produzione della **comunità:**
 - Metodo ad una singola stazione
 - Metodo a due stazioni
- La diversità tra le due metodiche risiede nel fatto che nella prima viene analizzata una sola curva nictemerale di ossigeno, nella seconda se ne prendono in considerazione due, una all'inizio del tratto di corso d'acqua e l'altra alla fine

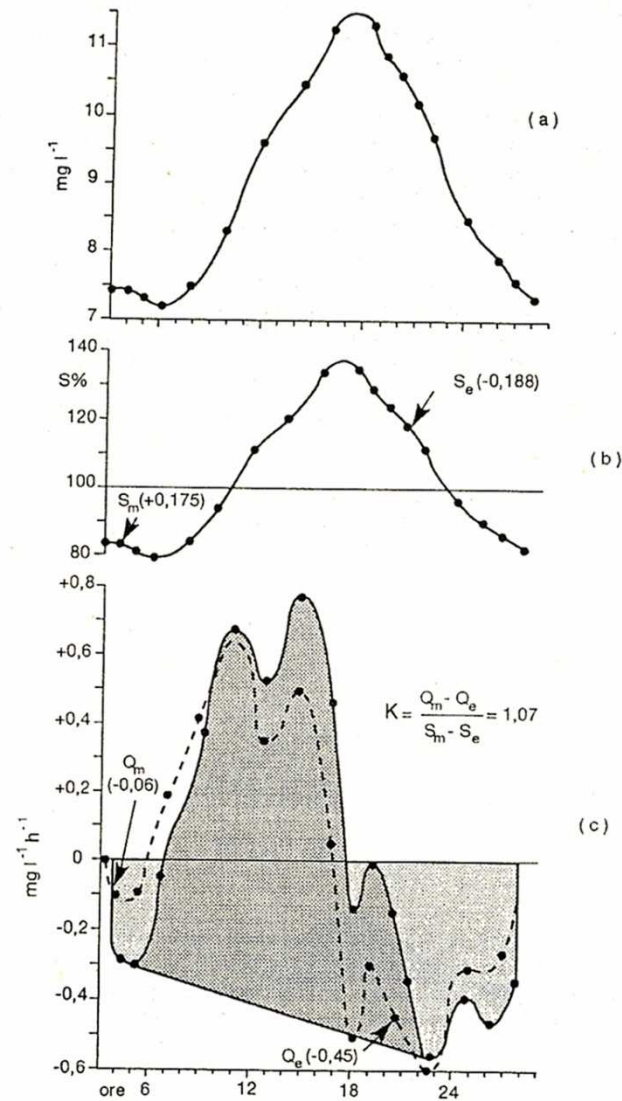


Fig. 58/II – Ciclo nictemerale dell'ossigeno nel Fiume Po a Valenza ed esempio di calcolo del coefficiente di diffusione K secondo la metodica di Odum. L'area punteggiata rappresenta la respirazione giornaliera, quella retinata la produzione lorda [65].

- Metodi di misura della produzione del **perifiton**:
- popolamento algale che cresce attaccato alle superfici sommerse

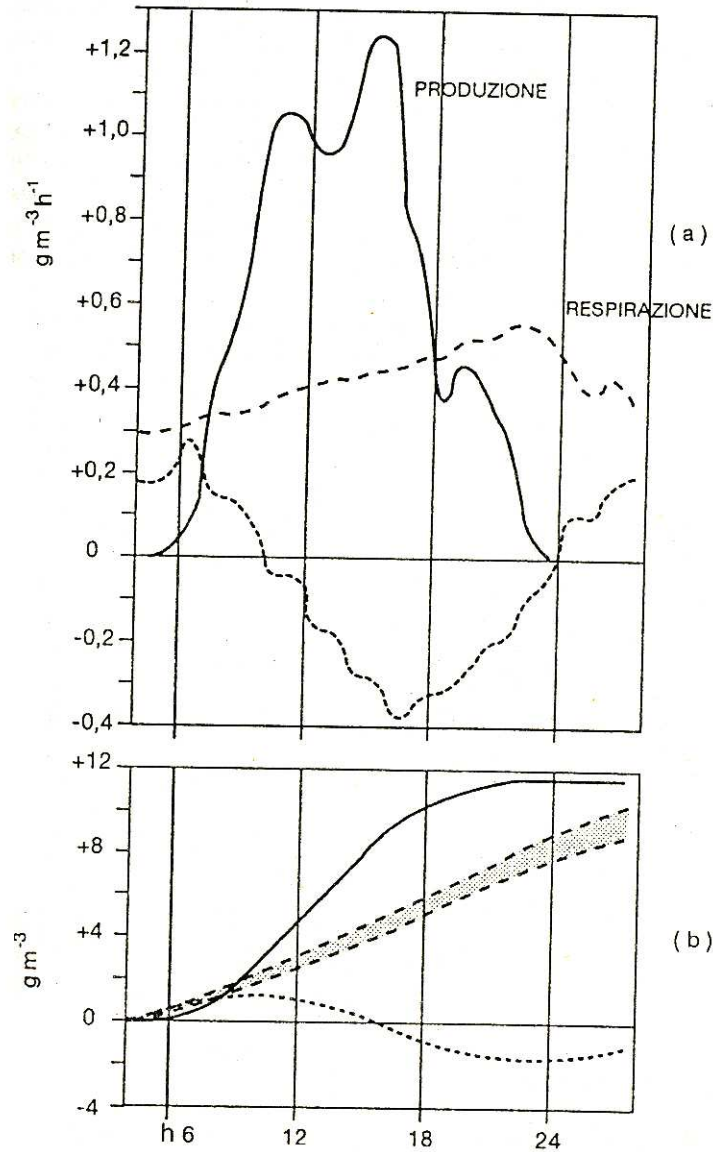


Fig. 59/II - Produzione, respirazione e diffusione orarie (in alto) e loro valore cumulativo nell'arco delle 24 h (in basso) alla stazione di Valenza. L'area tratteggiata indica la quantità di ossigeno respirata dal fitoplancton.

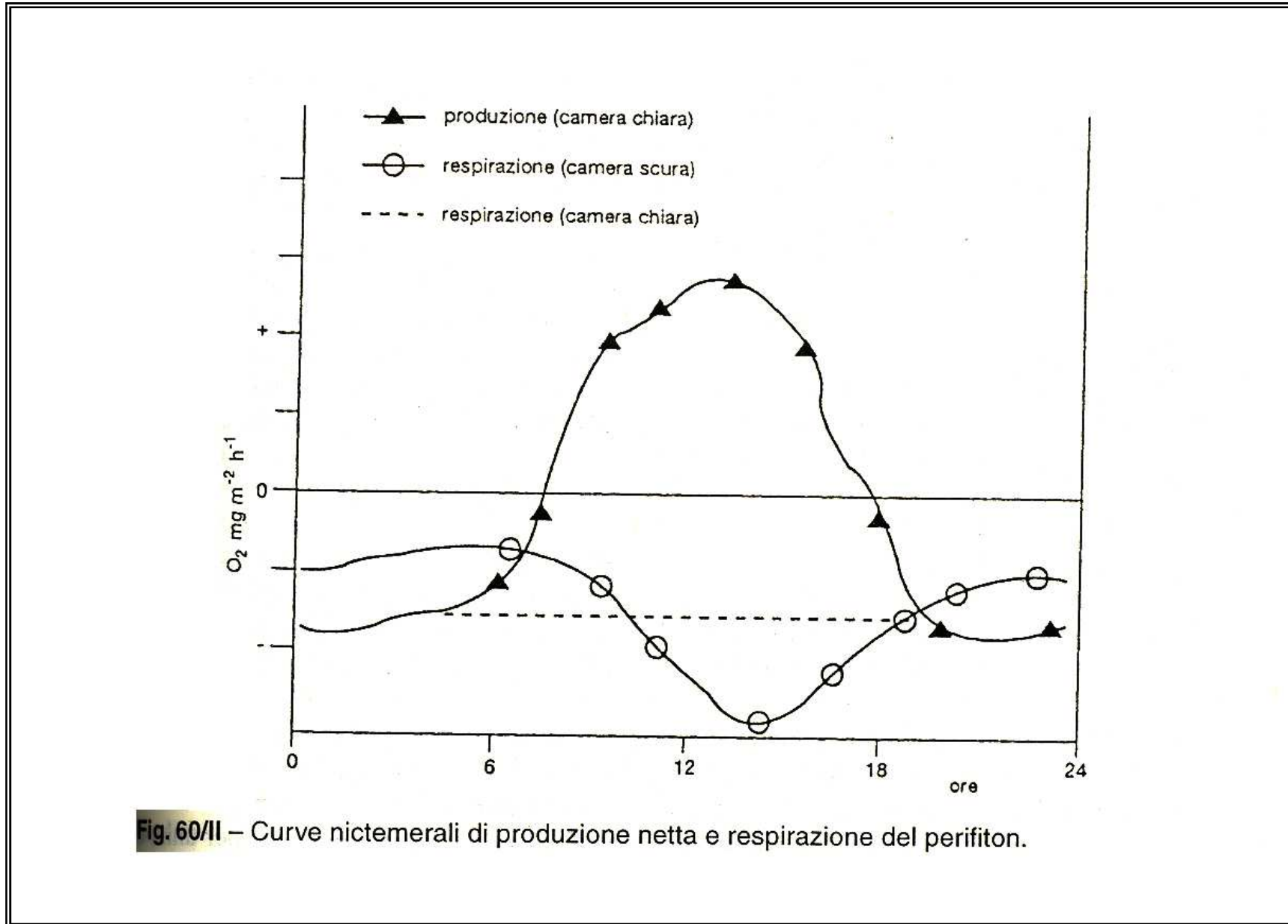


Fig. 60/II – Curve nictemerali di produzione netta e respirazione del perifiton.

Inquinamento delle acque superficiali



- I criteri di qualità definiscono la condizione qualitativa richiesta per un dato uso di un'acqua
- Tali criteri si conseguono imponendo dei “limiti di accettabilità” o di “emissione” agli effluenti, che costituiscono oggetto di normativa per la protezione delle acque dall'inquinamento

Inquinamento delle acque superficiali



- I criteri di qualità. Un criterio di qualità si deduce da un insieme di dati sperimentali ai quali viene fatto riferimento per definire l'idoneità di un'acqua a un dato uso e vocazione
- Nelle normative sono accompagnati dai termini “desiderabile” e “permissibile”, o “guida” e “imperativo”.
- Recentemente si parla di “linee guida”, ossia indicazioni di larga massima date sulla base dell'esperienza professionale più appropriata

Tab. 28/II – Criteri di qualità per la protezione della vita acquatica in acque dolci (mg l^{-1}) [70].

Materiali in sospensione	25
BOD	2
COD	4,5
Alluminio	0,1
Arsenico	0,02
Bario	0,3
Boro	0,2
Cadmio	0,0002
Cromo VI	0,025
Ferro	0,05
Manganese	0,02
Mercurio	0,00005
Nichel	0,05
Piombo	0,001
Rame	0,001
Selenio	0,005
Stagno	1
Zinco	0,03
Cianuri	0,01
Cloro attivo	0,004
Solfuri	0,002
Fluoruri	0,5
Fosforo totale	0,01
Fenoli	0,2
Tensioattivi	0,1
Pesticidi clorurati	0,000003
Pesticidi fosforati	0,000002

Inquinamento delle acque superficiali

- Limiti di accettabilità o di emissione. In riferimento a sorgenti di contaminazione, la concentrazione di un dato contaminante che può essere tollerato dall'ambiente è definita con i termini di “limite di accettabilità” o “di emissione”
- Il limite può essere:
 - Assoluto se rappresentato da un valore unico a prescindere dalla capacità recettiva del recapito dello scarico
 - Relativo se diverso da caso a caso, in funzione del recapito

Inquinamento delle acque superficiali

- Obiettivi di qualità. Sono rappresentati da valori derivati dai criteri di qualità e costituiscono il risultato di una analisi dei costi e dei benefici
- Capacità recettiva. Si intende la prerogativa di un corpo idrico di rispondere alla immissione di un contaminante, modificandone la qualità e la quantità fino a renderlo compatibile con gli usi e vocazioni ai quali il corpo idrico è destinato

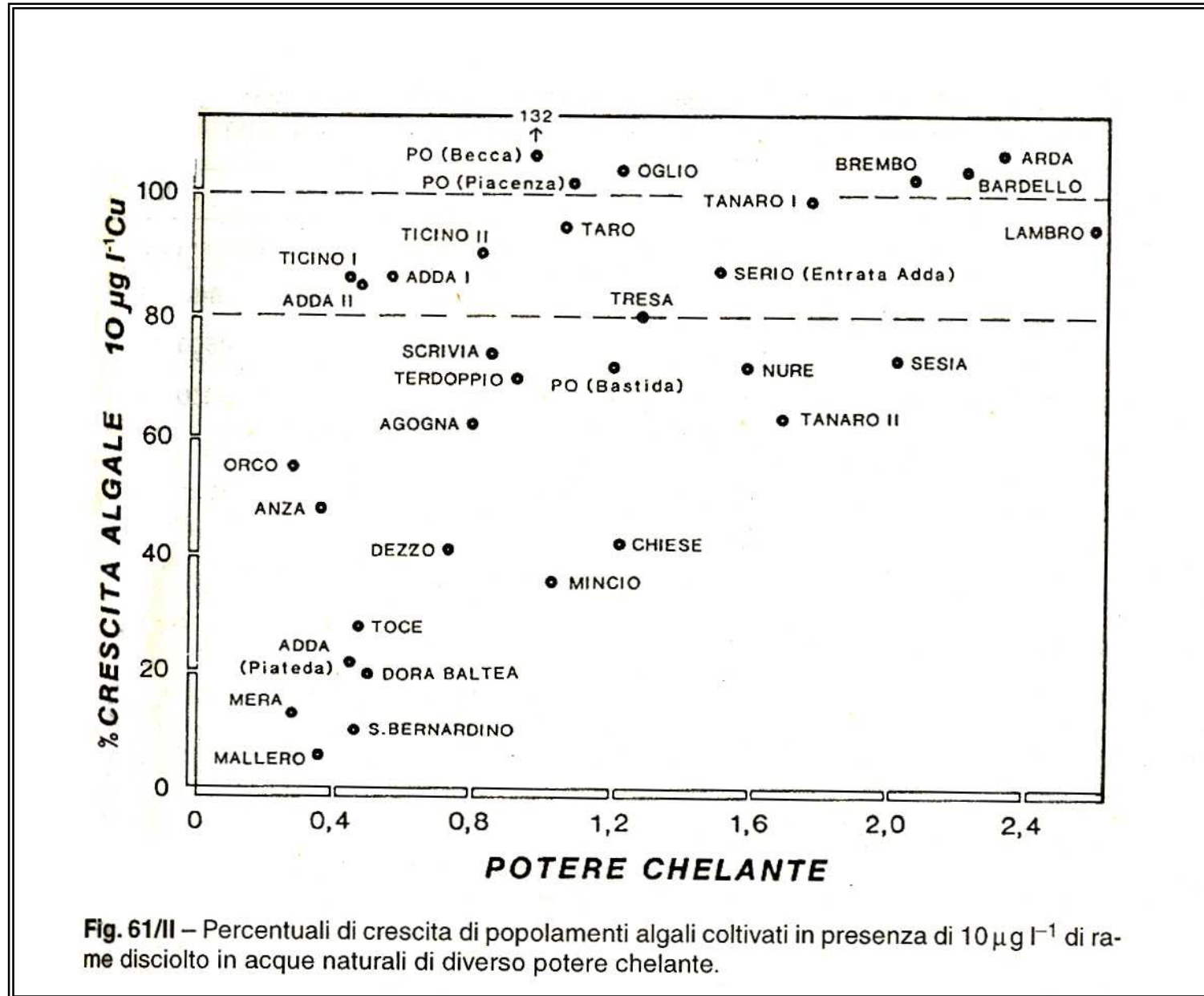


Fig. 61/II – Percentuali di crescita di popolamenti algali coltivati in presenza di $10 \mu\text{g l}^{-1}$ di rame disciolto in acque naturali di diverso potere chelante.

Tab. 29/II – Criteri di qualità per le acque destinate all'irrigazione e all'abbeveraggio del bestiame. Con SAR è indicato il rapporto di assorbimento del sodio (cfr cap. 3/III).

PARAMETRI	UNITÀ	USO	
		Irrigazione	Abbeveraggio
pH		4,5-9	6-9
Conducibilità elettrica	$\mu\text{S cm}^{-1}$	1500	4500
Solidi totali disciolti	mg l^{-1}	1000	3000
Fluoruri	$\text{mg l}^{-1} \text{ F}$	1	2
Cianuri	$\text{mg l}^{-1} \text{ Cn}$	-	0,05
Cloruri	$\text{mg l}^{-1} \text{ Cl}$	150	-
Boro	$\text{mg l}^{-1} \text{ Bo}$	0,75	5
Alluminio	$\text{mg l}^{-1} \text{ Al}$	5	5
Arsenico	$\text{mg l}^{-1} \text{ As}$	0,1	0,1
Berillio	$\text{mg l}^{-1} \text{ Be}$	0,1	-
Cadmio	$\text{mg l}^{-1} \text{ Cd}$	0,01	0,01
Cromo totale (III e IV)	$\text{mg l}^{-1} \text{ Cr}$	0,1	1
Cobalto	$\text{mg l}^{-1} \text{ Co}$	0,05	1
Ferro	$\text{mg l}^{-1} \text{ Fe}$	5	10
Litio	$\text{mg l}^{-1} \text{ Li}$	2,5	-
Manganese	$\text{mg l}^{-1} \text{ Mn}$	0,2	-
Mercurio	$\text{mg l}^{-1} \text{ Hg}$	0,002	0,003
Molibdeno	$\text{mg l}^{-1} \text{ Mo}$	0,01	0,01
Nichel	$\text{mg l}^{-1} \text{ Ni}$	0,2	1
Piombo	$\text{mg l}^{-1} \text{ Pb}$	2	0,1
Rame	$\text{mg l}^{-1} \text{ Cu}$	0,2	0,2
Selenio	$\text{mg l}^{-1} \text{ Se}$	0,02	0,02
Vanadio	$\text{mg l}^{-1} \text{ V}$	0,1	0,1
Zinco	$\text{mg l}^{-1} \text{ Zn}$	2	25
Indice SAR	meq l^{-1}	6	-

Fattori causali dell'inquinamento delle acque



- L'inquinamento delle acque provocato dall'uomo è determinato da emissioni di tipo urbano, industriale, agricolo
- Scarichi urbani. Per acque di scarico urbano si intendono quelle contenenti residui metabolici (feci e urine), delle attività domestiche e del dilavamento delle strutture urbane (tetti, strade, ecc.)

Scarichi urbani

1) Residui alimentari e metabolici.

- La quantità di residui metabolici e di materiali non assimilati, eliminati dall'uomo di età superiore ai 14 anni, sono valutabili in 1-1,6 l di urina e 60-250 g di feci con diete di tipo misto.
- Per quanto riguarda la componente microbica si valuta che nell'uomo il contenuto medio di coliformi fecali ammonta a 10^9 per g di feci (peso umido)

Scarichi urbani

2) Residui non metabolici dell'attività domestica

- Comprendono detersivi, saponi, pesticidi, oli alimentari, frammenti cartacei e di alimenti, cere, terriccio

3) Residui del dilavamento delle strutture urbane

- Per strutture urbane si intende strade, tetti, parchi, giardini. Il dilavamento è determinato da eventi meteorici e misure di pulizia delle strade e di irrigazione. (catrami, polveri, prodotti sciogli neve....)
- Composizione e volume degli scarichi urbani. Le tre componenti confluendo in genere in reti fognarie comuni danno luogo alla formazione degli scarichi urbani le cui caratteristiche sono riportate nella tabella .

Tab. 30/II – Composizione tipica di acque di scarico urbane (in mg l⁻¹ salvo che per i solidi sedimentabili) [75].

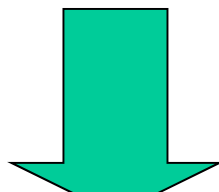
PARAMETRI	CONCENTRAZIONE		
	Liquami forti	Liquami medi	Liquami deboli
Solidi totali	1200	700	350
Solidi disciolti totali	850	500	250
– non volatili	525	300	145
– volatili	325	200	105
Solidi sospesi totali	350	200	100
– non volatili	75	5	30
– volatili	275	150	70
Solidi sedimentabili (ml l ⁻¹)	20	10	5
Richiesta biochimica di ossigeno (BOD ₅)	300	200	100
Carbonio organico totale (TOC)	300	200	100
Richiesta chimica di ossigeno (COD)	1000	500	250
Azoto (somma di tutte le forme come N)	85	40	20
– organico	35	15	8
– ammoniacale	50	25	72
– nitrico	0	0	0
– nitroso	0	0	0
Fosforo (somma di tutte le forme come P)	20	10	6
– organico	5	3	2
– inorganico	15	7	4
Cloruri	100	50	30
Alcalinità (come CaCO ₃)	200	100	50
Oli e grassi	150	100	50

Scarichi industriali



L'acqua nell'industria è impiegata per varie funzioni:

- Processo di produzione, lavaggio dei prodotti di base,
- Costituzione del copro di talune merci (bevande non alcoliche..)
- Raffreddamento
- Trasporto di merci diverse
- Le quantità richieste variano e anche il grado di inquinamento è diverso a seconda degli usi.
- Le caratteristiche delle acque di scarico sono riportate in tabella



Tab. 31/II – Principali contaminanti presenti nelle acque di scarico di alcune tipologie industriali [75, modificata].

Tipologia	Concerie	Cartiere	Chimiche e petrolchimiche	Raffinerie	Galvaniche e metallurgiche	Cementifici e lavorazione pietre	Tessili e tintorie	Minerarie	Distillerie e birrerie	Macelli e conserverie	Caseifici	Zuccherifici	Oli vegetali e margarine	Raffreddamento
pH	X	X	X	X	X	X	X	X					X	
Temperatura							X					X		X
Colore		X	X				X		X					
Odore	X		X											
Materiali grossolani	X	X	X			X		X	X	X	X	X		
Materiali sedimentabili	X	X	X			X		X	X	X	X	X		
Materiali in sospensione	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X	
BOD e COD	X	X	X		X		X		X	X	X	X	X	
Metalli tossici	X	X	X		X			X						
Cianuri					X									
Cloro		X			X		X							X
Solfuri	X			X										
Solfiti		X												
Solfati	X		X	X	X									
Cloruri	X		X	X	X			X						
Fluoruri					X									
Fosfati			X					X						X
Grassi, oli vegetali e animali			X	X										X
Fenoli			X		X									X
Solventi organici			X											
Tensioattivi			X				X							
Pesticidi	X	X	X				X							

Tab. 32/II – Valori tipici di BOD₅ per alcune tipologie di industrie alimentari.

TIPOLOGIA	BOD ₅
Distillerie, birrerie senza malteria	500-700
Macelli, salumifici, industrie conserviere	1000-2250
Caseifici	2000
Zuccherifici	1500
Oli vegetali	35.000-60.000

Tab. 33/II – Valori della popolazione equivalente per alcune tipologie industriali.

Tipo di industria	Unità produttiva	Popolazione equivalente (abitanti)
Latterie senza caseificio	1000 l di latte	25-70
Latterie con caseificio	1000 l di latte	45-23
Macelli	1 t di carne	130-140
Stalle per bovini	1 bovino	5-10
Stalle per suini	1 suino	3
Allevamenti di polli	1 pollo	0,12-0,25
Zuccherifici	1 t di barbabietole	45-70
Fabbriche di malto	1 t di cereali	10-100
Birrifici	1000 l di birra	150-350
Distillerie	1000 l di cereali	2000-3500
Fabbriche di lievito di birra	1 t di lievito	5000-7000
Cantine	1000 l di vino	100-140
Concerie	1 t di pellame	1000-3500
Lavatura lane	1 t di lana	2000-4500
Candeggi	1 t di panni	1000-3500
Colorificio con colori allo zolfo	1 t di materiale	2000-3000
Macerazione della canapa	1 t di canapa	700-1000
Cartiere	1 t di carta	200-900
Fabbriche di lana sintetica	1 t di lana sintetica	300-450
Lavanderie	1 t di biancheria	350-900
Scarichi di oli minerali	1 t di olio	11.000

Coefficienti unitari

- Per valutazioni confrontabili circa l'impatto di un carico sull'ambiente idrico è stato coniato un fattore di unificazione denominato "abitante equivalente" che consente di superare in parte l'eterogeneità esistente

Tab. 34/II – Valore della popolazione equivalente per alcune tipologie industriali. Le tipologie sono quelle adottate nel 6° Censimento dell'Industria (1981).

NOME ATTIVITÀ	Coefficiente per addetto
Estrazione e lavorazione combustibili solidi	20
Cokerie	96
Estrazione petrolio e gas naturali	30
Industria petrolifera	65
Industria combustibili nucleari	0,6
Produzione, distribuzione energia elettrica	1,4
Raccolta, depurazione e distribuzione acqua	0,6
Estrazione e preparazione minerali metalliferi	5
Produzione e prima trasformazione metalli	2,3
Estrazione minerali non metalliferi, torbiere	30
Lavorazione minerali non metalliferi	1,5
Industrie chimiche	68
Produzione fibre artificiali e sintetiche	40
Costruzione prodotti in metalli	2
Costruzione e installazione macchine	1
Costruzione, installazione e riparazione macchine ufficio	0,6
Costruzione e installazione impianti	1
Costruzione e montaggio autoveicoli e carrozzerie	1,7
Industria costruzione altri mezzi trasporto	1,7
Costruzione apparecchi precisione, orologeria	0,6
Industrie alimentari di base tabacco	84
Industrie tessili	18
Industrie pelli e cuoio	57
Industria calzature, abbigliamento e biancheria	0,6
Industria legno e mobili in legno	1,6
Industria carta, stampa ed editoria	60
Industria gomma e manufatti materie plastiche	15
Industrie manifatturiere diverse	2

Inquinamento da attività agricole

Per attività agricole si intende, sia quelle che hanno come scopo immediato la produzione di vegetali, che quella zootecnica che utilizza in parte questi vegetali

➤ Produzione di vegetali. Vengono impiegati composti di diversa natura per favorire la crescita delle piante e prevenire attacchi di parassiti. La probabilità che questi composti passino alle acque dipende da:

- quantità impiegata
- caratteristiche chimiche del composto (solubilità in acqua)
- natura geochimica del suolo
- caratteristiche topografiche
- clima
- modalità di conduzione delle pratiche colturali

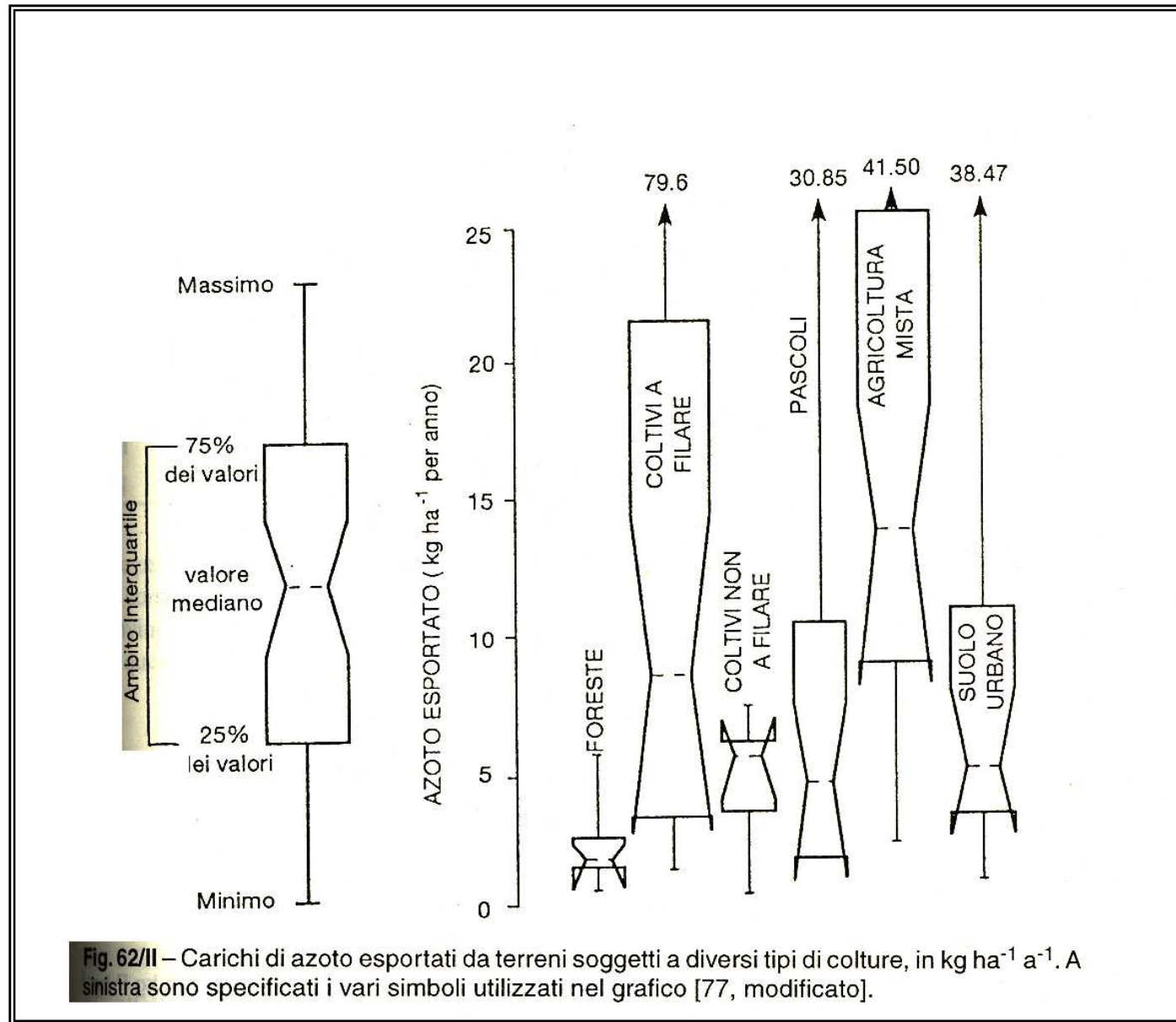
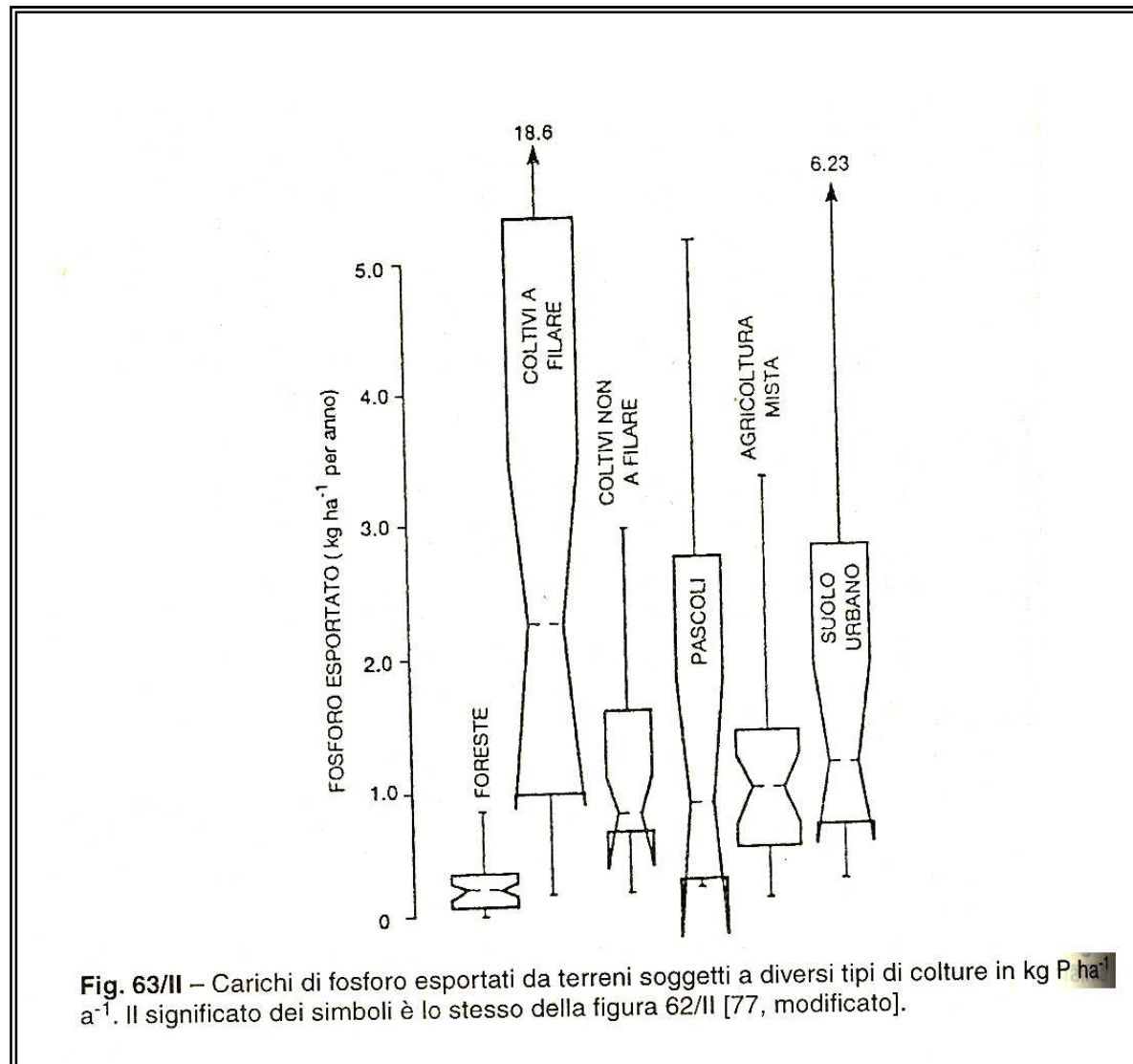


Fig. 62/II – Carichi di azoto esportati da terreni soggetti a diversi tipi di colture, in kg ha⁻¹ a⁻¹. A sinistra sono specificati i vari simboli utilizzati nel grafico [77, modificato].

Tab. 35/II – Valori del carico di fosforo e azoto ceduti dai terreni del bacino del Lago Lemano [80].

COLTURA	AZOTO			FOSFORO		
	Applicato	Perso		Applicato	Perso	
	(kg ha ⁻¹ a ⁻¹)	anno	%	(kg ha ⁻¹ a ⁻¹)	anno	%
Terreni forestali	-	3	-	-	0,18	-
Prati polifiti (policolture erbacee)	100	4,1	4	40	0,24	0,6
Terreni aperti a mais grano ecc.	160	15	10	75	0,5	0,7
Arboricoltura	50	8,5	17	25	0,2	0,8
Vigneti	100	22	22	60	4	7





Inquinamento da attività agricole

➤ Zootecnica o produzione animale. Si intende l'attività di allevamento di animali terrestri (l'acquacoltura è la zootecnica degli animali acquatici) destinata essenzialmente a soddisfare richieste alimentari. Le specie che generano maggiori problemi ai fini dell'inquinamento delle acque sono: equini, bovini, suini, ovini e caprini, polli e simili.

Di questi sono noti i contributi individuali per alcune componenti inquinanti

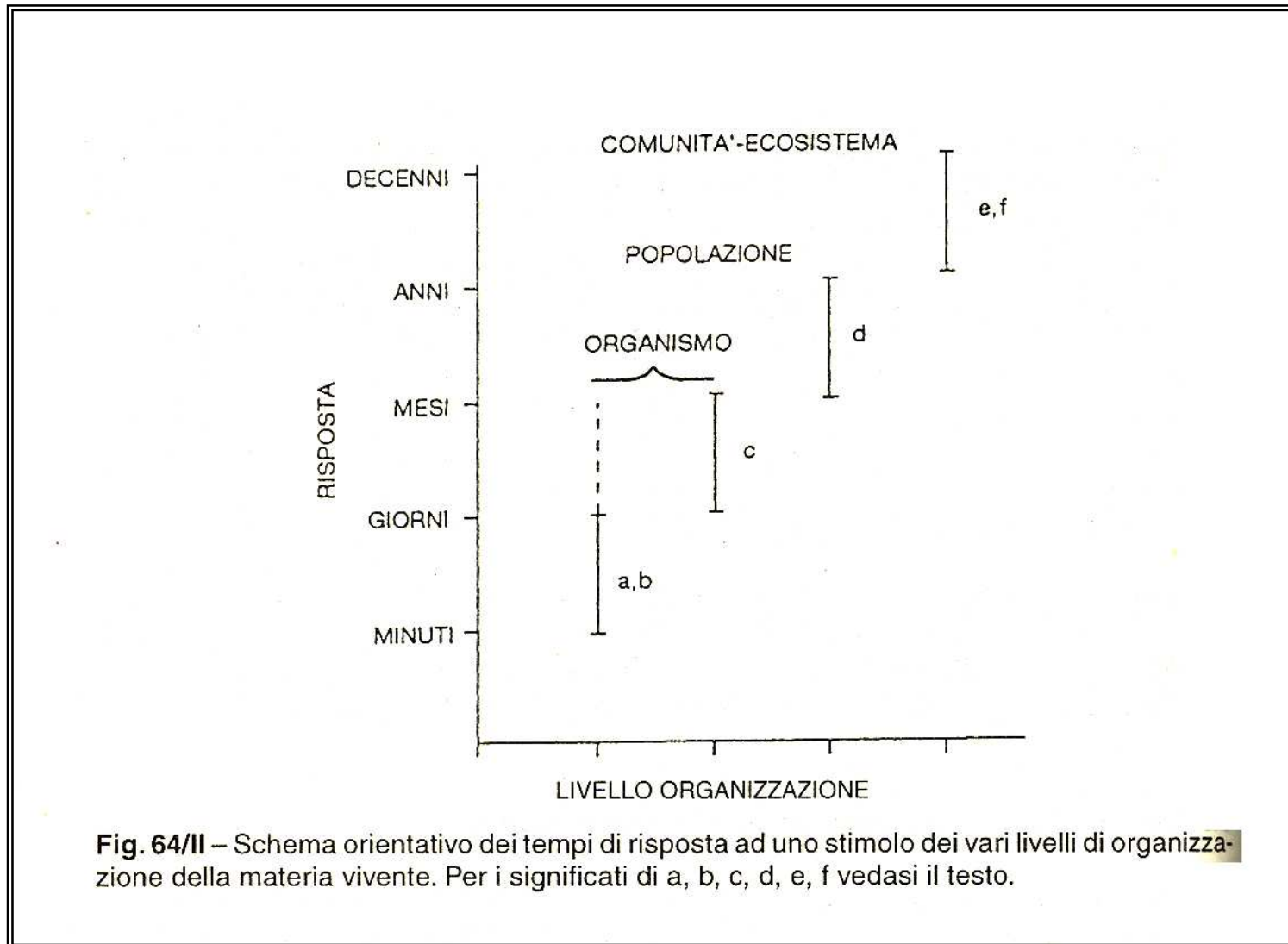


Tab. 36/II – Carichi unitari prodotti secondo vari Autori, per gli animali di maggiore interesse zootecnico (si hanno dati anche per polli e simili, per i quali si ha un carico unitario di 0,17 kg N a⁻¹ per capo di 1,6 kg di peso).

SPECIE	Deiezioni kg g ⁻¹		Carichi unitari kg a ⁻¹	
	Solide	Liquide	P totale	N totale
Equini	17	4,5	8,9	59,7
Bovini	27	9,3	7,4-15,7	54,8-112,5
Ovini	1,5	1,5	0,8-1,0	4,9-12,0
Suini	5,5	1,5	3,8-5,6	11,3-15,5

Conseguenze dell'inquinamento sull'ambiente acquatico

- I contaminanti emessi nell'ambiente esercitano effetti nocivi sulle popolazioni animali e vegetali e sulle comunità acquatiche e possono essere così raggruppati:
 - effetti deossigenanti
 - effetti eutrofizzanti
 - effetti fisici e meccanici
 - effetti da radiazioni
 - effetti patogeni
 - effetti da tossici
- Poco noti gli effetti dei contaminanti sulle popolazioni naturali , sulle comunità e sugli ecosistemi



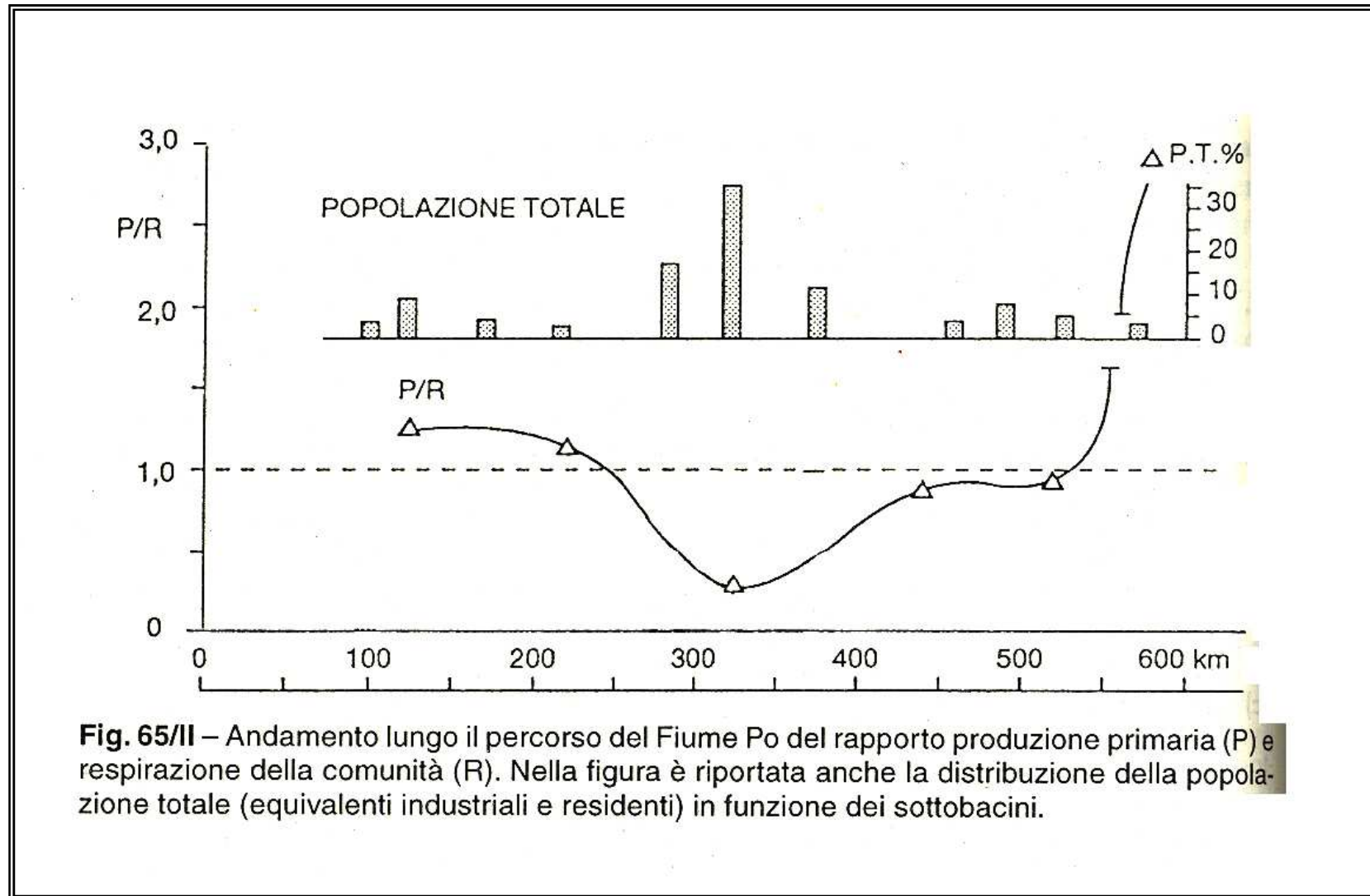


Fig. 65/II – Andamento lungo il percorso del Fiume Po del rapporto produzione primaria (P) e respirazione della comunità (R). Nella figura è riportata anche la distribuzione della popolazione totale (equivalenti industriali e residenti) in funzione dei sottobacini.

Tab. 37/II – Modificazioni della comunità in funzione del grado di trofia delle acque.

Parametri	Ambienti oligotrofi	Ambienti eutrofi
Numero di specie dello zoo e del fitoplancton	elevato	basso
Gruppi caratteristici	Diatomee, Cloroficee	Cloroficee, Cianobatteri
Produzione primaria	bassa	elevata
Frequenza di fioriture algali	rara	elevata
Distribuzione verticale della biomassa planctonica	ampia	ristretta alla superficie

Metalli pesanti



- Scala di tossicità dei metalli dai più tossici ai meno:
Hg, Cu, Cd e Zn, Sn, Al e Ni, Fe, Mn e Co, Sr
- L'inquinamento da metalli tossici genera una riduzione delle varie componenti della comunità tanto più marcata quanto più forte è l'azione del tossico.
- Agiscono sui processi metabolici interferendo più o meno con tutti i gruppi funzionali a base di zolfo, ossigeno, fosforo e azoto con formazione di complessi che inattivano il processo metabolico interessato
- L'entità del bioaccumulo nelle specie acquatiche varia da specie a specie e da metallo a metallo
- Vengono classificati in:
 - Metalli che non hanno azione fisiologica conosciuta
 - Metalli chimicamente simili ad un elemento indispensabile
 - Metalli che hanno importante ruolo fisiologico

Microinquinanti organici

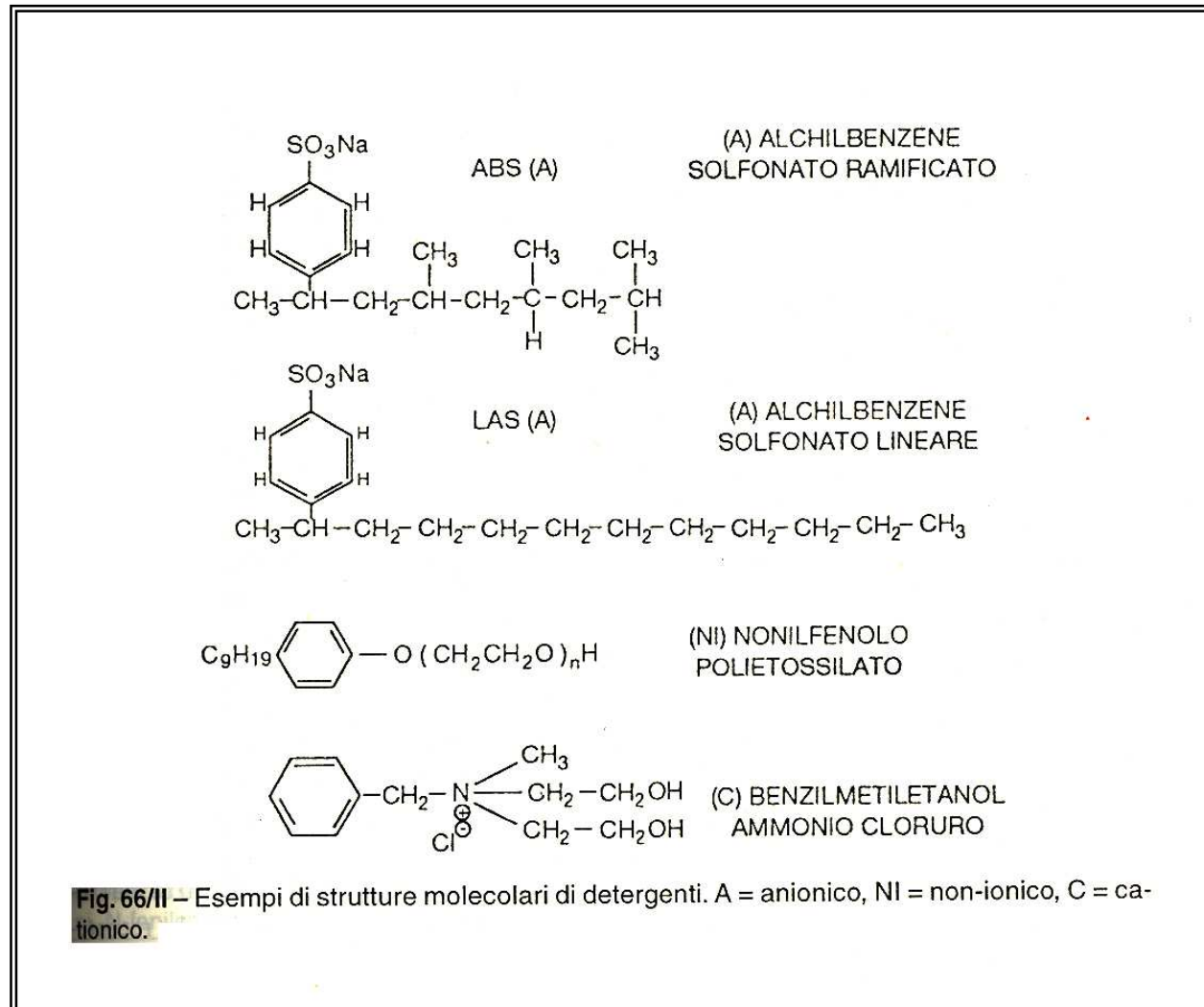
- Le concentrazioni ambientali di queste molecole non sono molto elevate ma risultano nocive anche a bassi livelli di esposizione o di assunzione, per questo vengono chiamate “microinquinanti”
- Esistono 10 milioni di molecole di sintesi. La maggior parte proviene dall’industria petrolchimica
- I composti sintetici (detti “xenobionti”) hanno struttura chimica differente da quella delle molecole organiche naturali per tale ragione gli organismi decompositori non sono sempre in grado di mineralizzarle.
- Le Organizzazioni Internazionali (US.EPA, U.E., OMS) hanno fatto tentativi per individuare i microinquinanti prioritari da monitorare nelle acque
- Le classi di inquinanti elencate sono quelle che hanno creato storicamente i maggiori problemi dal punto di vista ambientale

Microinquinanti organici

- Solventi. Comprende una classe di molecole organiche, a basso peso molecolare, impiegate dcome diluenti diprodotti commerciali e come solventi veri e propri nelle reazioni chimiche
- I solventi più rilevanti dal punto di vista ambientale: gli aromatici e i clorurati.
- Aromatici (benzene, toluene, xileni) sono stati rilevati frequentemente nelle acque superficiali e di falda e sono riportati nella “lista nera” delle sostanze pericolose.
- Clorurati (cloroformio) sono mutageni e cencerogeni su piccoli Mammiferi non sembrano avere effetti sull’uomo che possiede sistemi efficaci di detossificazione.

Microinquinanti organici

- Detergenti. Saponi e detersivi sintetici. In funzione della natura della carica ionica della molecola o della sua mancanza in soluzione acquosa sono classificati in anionici, non ionici, cationici
 - anionici: hanno un gruppo solfonico nella arte terminale della catena alchilica la quale può essere ramificata (ABS) o lineare (LAS) rappresentano i detersivi per lavaggio di tessuti
 - non ionici: sono per lo più monilfenoli polietossilati con unacatena etossilica a lunghezza variabile. Sono impiegati soprattutto dall'industria
 - cationici: derivati da sali di ammonio quaternario. Vengono utilizzati nei trattamenti dove è richiesta attività batteriostatica e battericida



Tab. 38/II – Tensioattivi anionici in alcuni fiumi italiani (mg l^{-1}) [88].

Località	Concentrazione
Po (S. Mauro Torinese)	0,5
Po (Pontelagoscuro, FE)	0,1
Tevere (Roma Sud)	0,4
Lambro (Milano)	2,1
Lambro (S. Colombano)	0,2
Seveso (Milano)	1,8
Olona (Pero, MI)	0,8

Microinquinanti organici

- Pesticidi e PCB. Vasta gamma di prodotti chimici naturali e sintetici utilizzati in agricoltura per combattere le erbe infestanti e gli animali parassiti dai raccolti.
- Alla struttura chimica si deve il modo d'azione e la selettività del composto per una particolare funzione fisiologica dell'organismo bersaglio
- Capostipite dei pesticidi: pp'DDT ancora diffuso nei paesi tropicali. In Italia è in uso il lindano
- I pesticidi clorurari hanno una solubilità in acqua molto bassa e una elevata affinità per i lipidi; la loro tossicità acuta è molto bassa per l'uomo e i Mammiferi in genere. I pesticidi fosforati sono solubili in acqua e non si accumulano nei tessuti.
- I pesticidi vengono deliberatamente dispersi nell'ambiente. Il loro destino ambientale dipende dalla volatilità, solubilità e persistenza
- PCB: classe di composti con comportamento ambientale simile al DDT. Sono una famiglia di 209 composti tra congeneri e isomeri ad elevatissima persistenza.

Tab. 39/II – Principali meccanismi d'azione dei pesticidi.

PESTICIDI	EFFETTO PRIMARIO	FUNZIONE DANNEGGIATA
Insetticidi organofosforici e carbammati	Inibizione colinesterasi	
Nicotina ed insetticidi fogliari tiocarbammati	Combinazione con il recettore colinergico	Coordinazione nervosa
DDT e derivati, piretroidi	Interferenza con la trasmissione assonica dell'impulso	
Ciclodieni e idrocarburi	Presunte interferenze a livello di membrana degli assoni	
Tiocarbammati	Inibizione sulle sintesi lipidiche	Organizzazione della struttura cellulare
Erbicidi dipiridilici	Alterazione del trasporto elettronico nella fotosintesi	
Fuoroacetati	Inibizione del ciclo di Krebs (inibizione del trasporto elettronico)	Produzione di energia
Dinitrofenoli	Disaccoppiamento delle fosforilazioni ossidative	
Uree, triazine, acilanilidi, idrossibenzonitrili, piridazioni, N-fenilcarbammati	Inibizione della reazione di Hill	

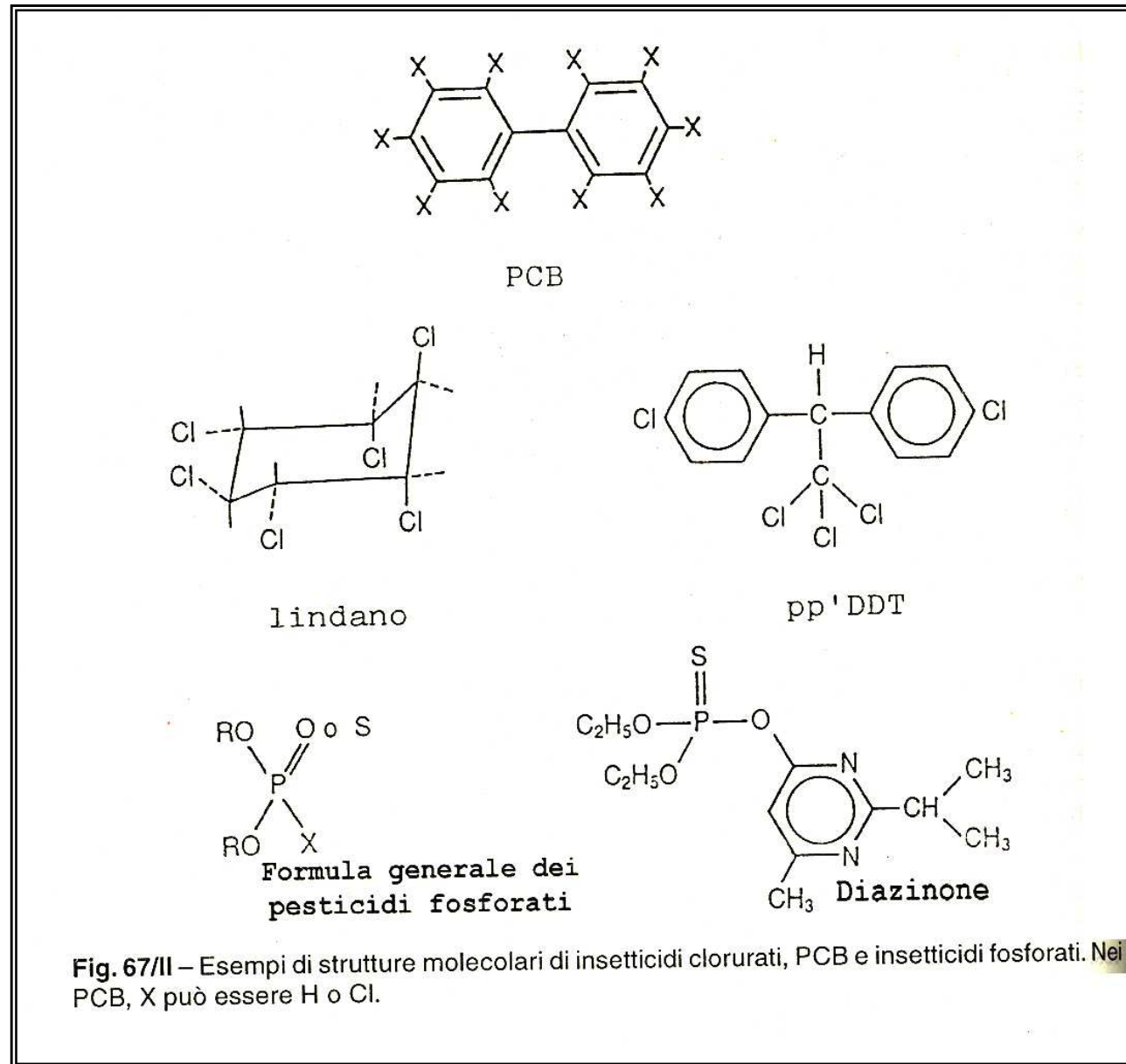
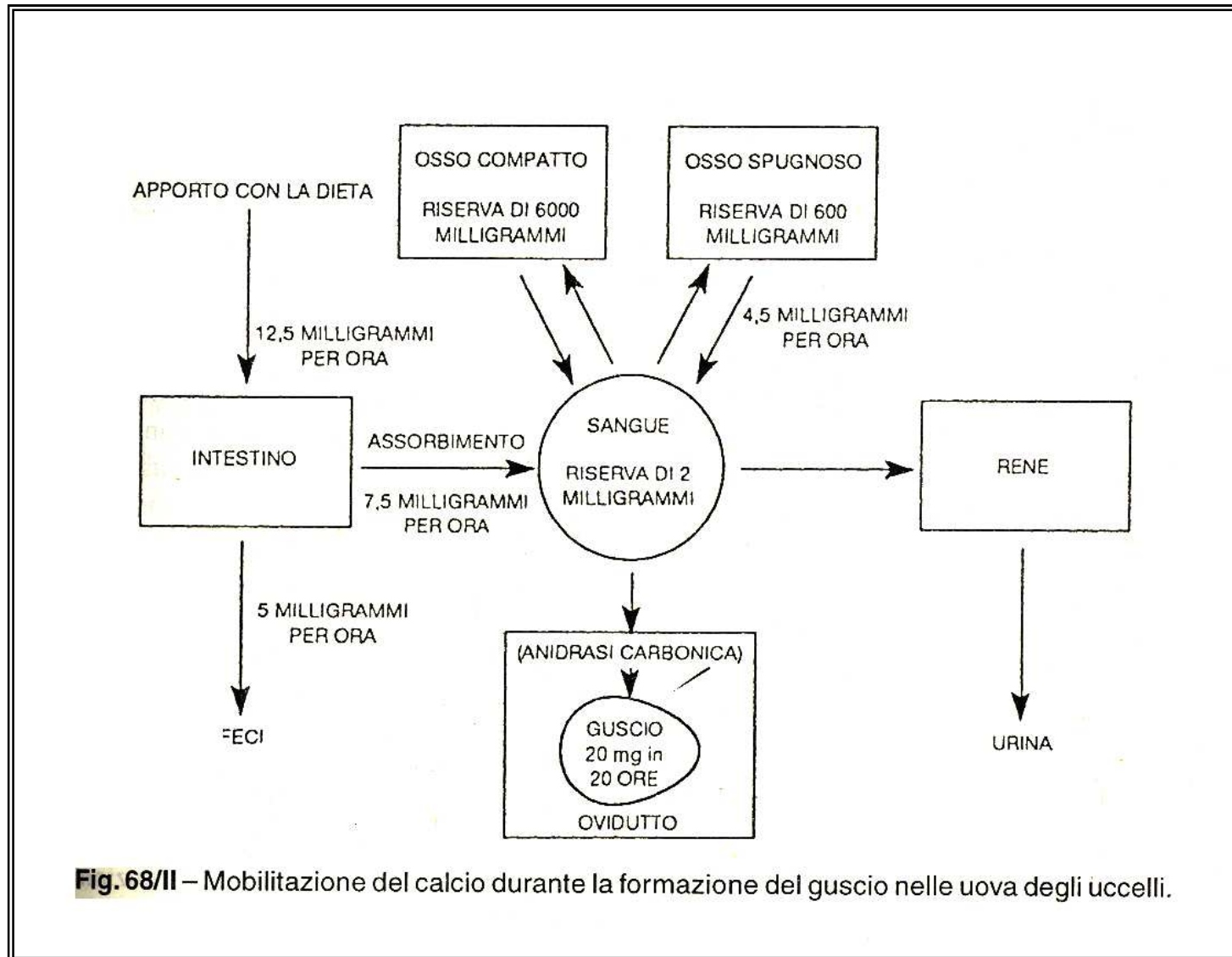


Fig. 67/II - Esempi di strutture molecolari di insetticidi clorurati, PCB e insetticidi fosforati. Nel PCB, X può essere H o Cl.



Tab. 40/II – Tossicità di alcuni pesticidi sulla *Daphnia* e sulle Alghe.

Pesticida	Concentrazione mg l ⁻¹	Effetto	Specie algale	24h IC ₅₀ su <i>Daphnia</i> sp. mg l ⁻¹
Molinate	0,15	96h EC ₂₀	<i>S. capricornutum</i>	0,6
Atrazina	0,034	24h EC ₅₀	<i>S. capricornutum</i>	3,6
Simazina	0,5	96h EC ₅₀	<i>P. tricornutum</i>	1
Alachlor	1,4	24h EC ₅₀	<i>C. Pyrenoidosa</i>	10,4
Diazione	0,01-25	96h EC ₅₀	Fitoplancton dulcicolo	0,001
pp'DDT	1	4h riduzione del 35% di pro- duzione di O ₂	<i>P. Tricornutum</i>	0,0044

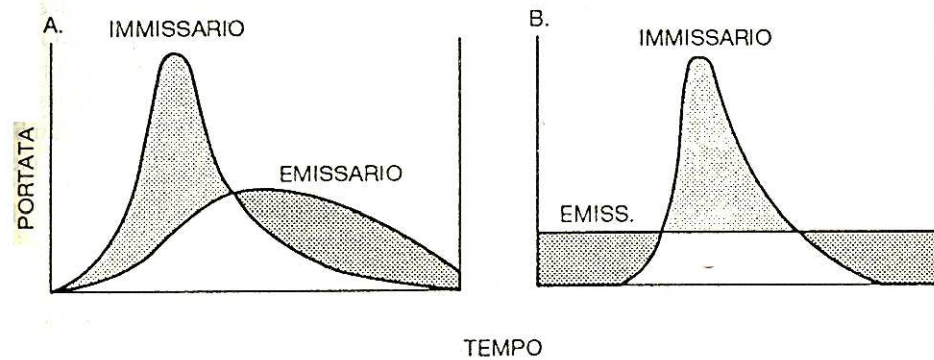


Fig. 69/II – In A il picco di portata dell'immissario viene ridotto e dilazionato nel tempo; in B è completamente laminato [90, modificato].

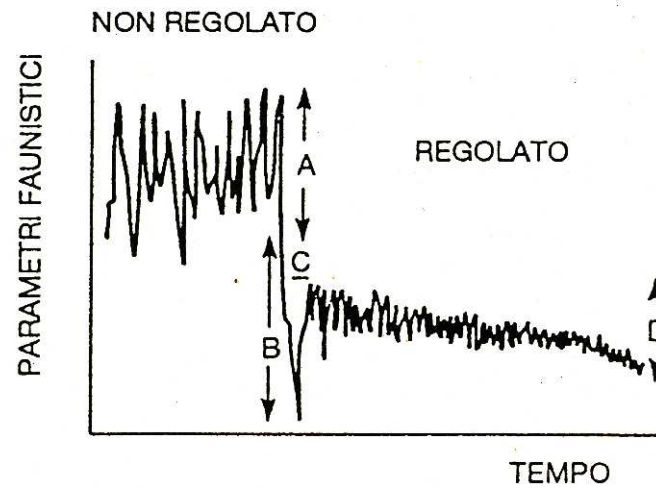


Fig. 70/II – Andamento dei parametri faunistici (quali la diversità specifica, la biomassa, l'abbondanza ecc.) in condizioni idrologiche regolate e non regolate. Il tempo può intendersi in termini giornalieri, stagionali e annuali. Con A si indica l'ampiezza delle oscillazioni esistenti prima dello sbarramento; con B la caduta iniziale; con C il tempo di recupero e con D le oscillazioni post-sbarramento [95, modificato].

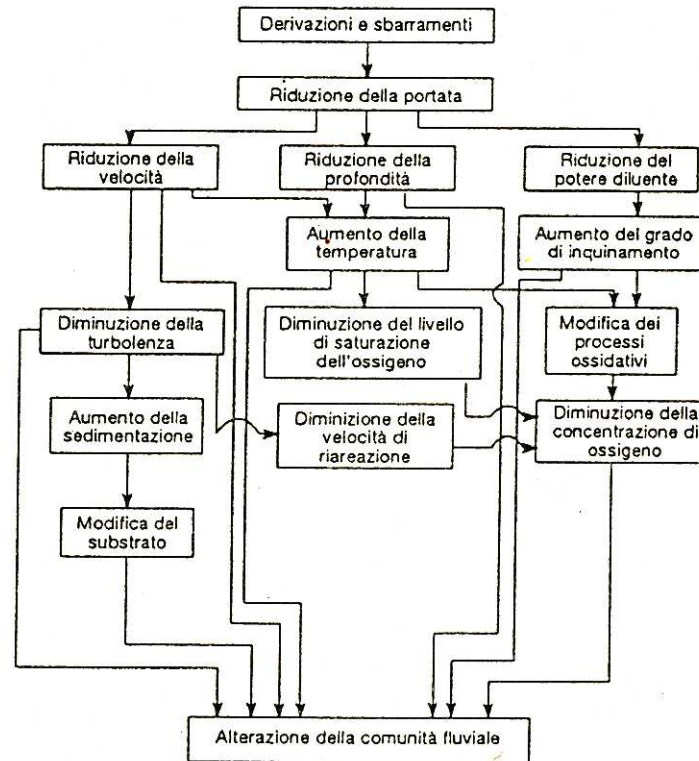


Fig. 71/II – Effetti negativi diretti e indiretti che possono aver luogo sulle comunità d’acqua corrente durante il periodo estivo per effetto della riduzione di portata.

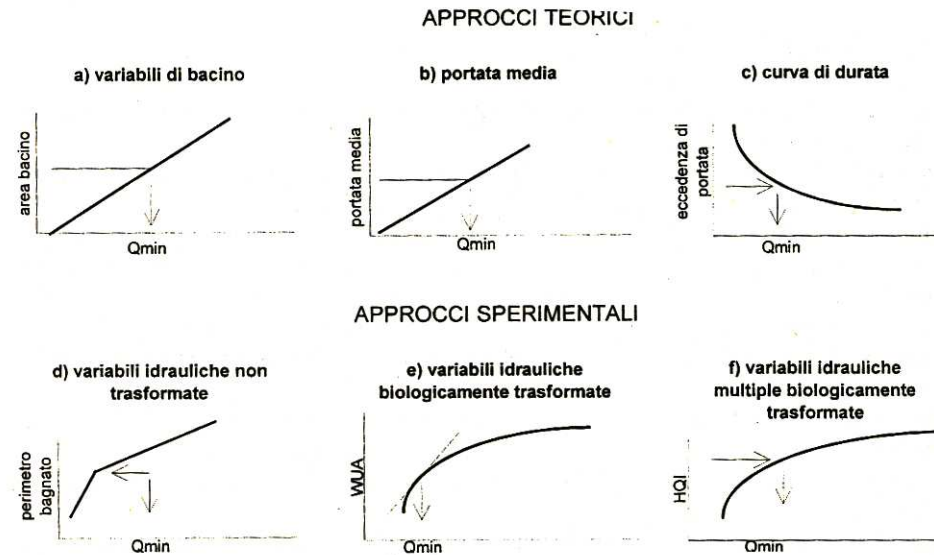


Fig. 72/II – Schema dei diversi approcci per la determinazione delle portate minime. WUA (Weighted Usable Area) e HQI (Habitat Quality Index) indicano, rispettivamente, l'area disponibile ponderata e l'indice di qualità dell'habitat. Q_{min} è la portata minima da garantire nel corso d'acqua. La Q_{min} negli approcci teorici è ricavata a partire da variabili di bacino (a), dalla portata media (b) o dalla curva di durata (c); in quelli sperimentali viene individuata sulla base degli elementi caratteristici della curva, punto di rottura (d) o tangente (e), oppure a partire da un valore di qualità dell'habitat determinato a priori (f).

Tab. 41/II – Percentuali della portata naturale da mantenere in alveo per garantire diversi livelli di protettività secondo il metodo del Montana.

Portata	Portata minima in percentuale della portata media annua	
	ottobre-marzo	aprile-settembre
Massima	200	200
Ottima	60-100	60-100
Più che eccellente	40	60
Eccellente	30	50
Buona	20	40
Scarsa	10	30
Insufficiente	10	10
Fortemente insufficiente	10-0	10-0

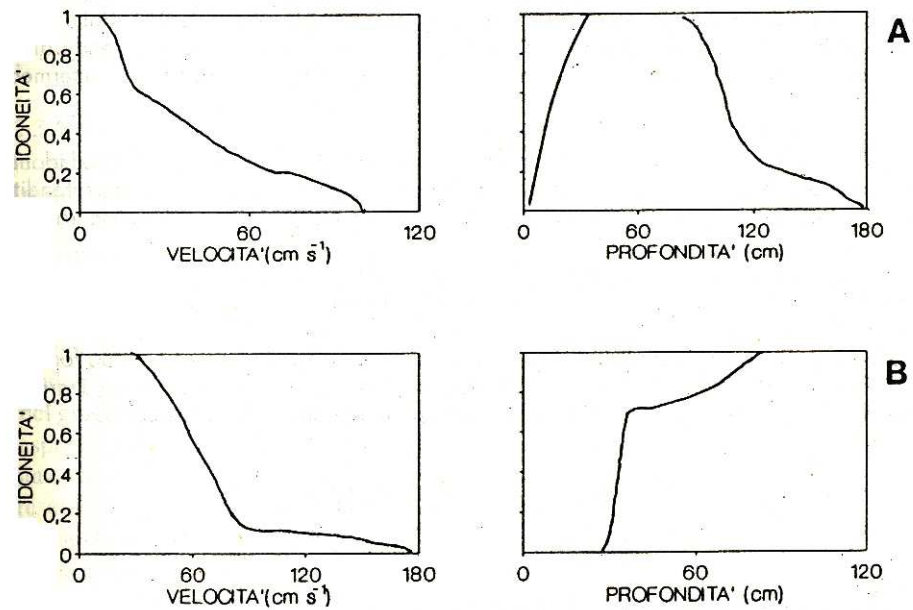


Fig. 73/II – Curve di preferenza per lo stadio giovanile (A) e adulto (B) di trota fario.

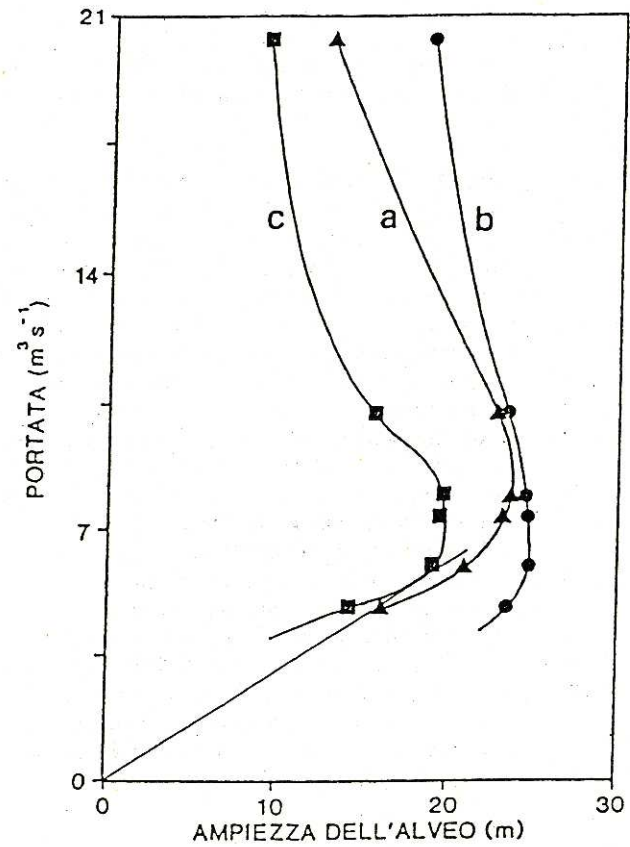


Fig. 74/II – Frazioni di alveo con velocità e profondità favorevoli allo sviluppo del salmonide *Oncorhynchus tshawytscha* in funzione della portata. Le curve rappresentano l'ampiezza dell'alveo calcolata con la velocità (a) o la profondità (b) ottimali e con entrambe le due variabili (c).

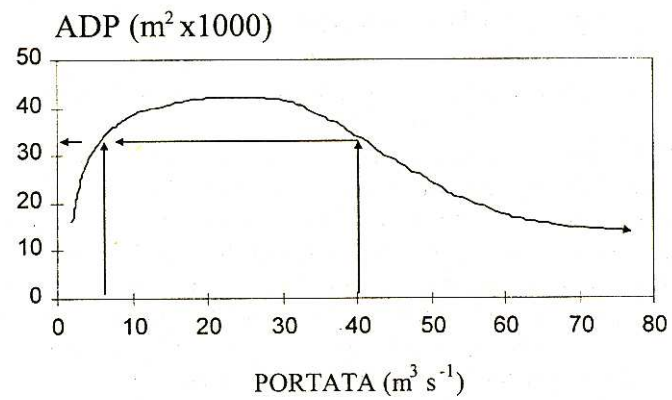


Fig. 75/II – Esempio di equivalenza tra le ADP corrispondenti a due diverse portate.

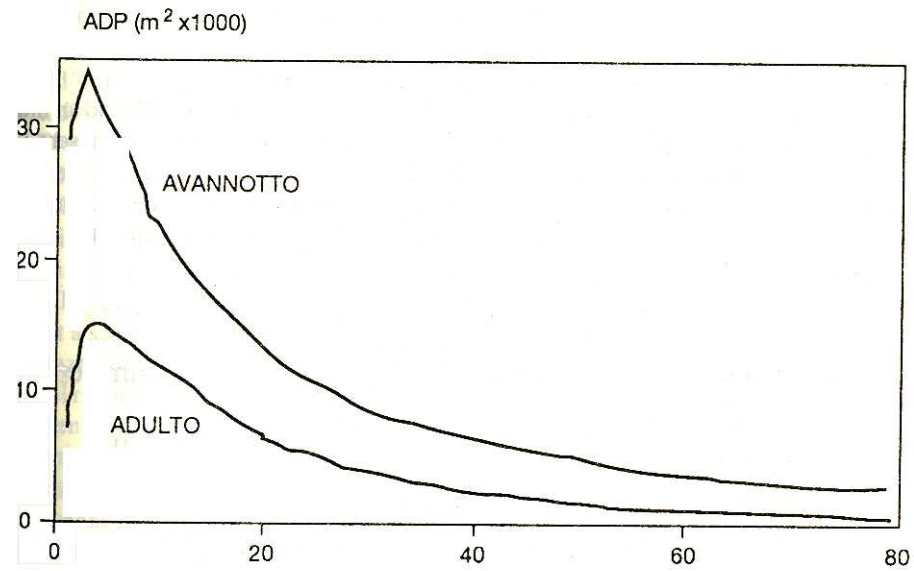


Fig. 76/II – Aree Disponibili Ponderate (ADP) valutate sperimentalmente per portate comprese tra 0,5 e 80 m³ s⁻¹.

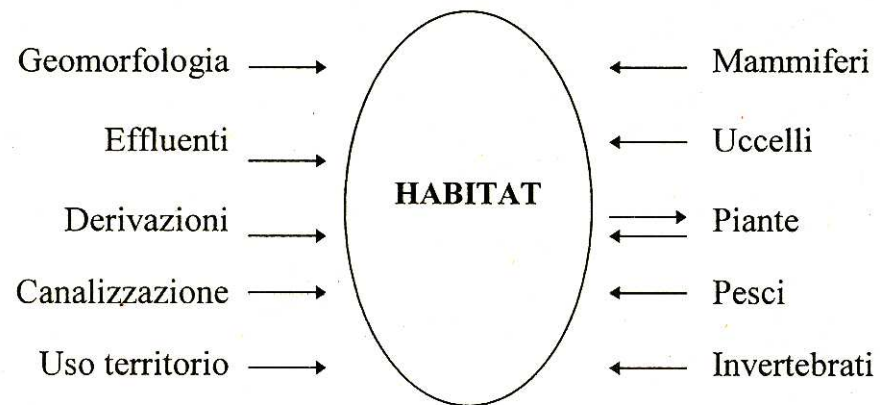


Fig. 77/II – L'habitat quale elemento di mediazione dei fattori di impatto sulle componenti biologiche fluviali [118, modificato].

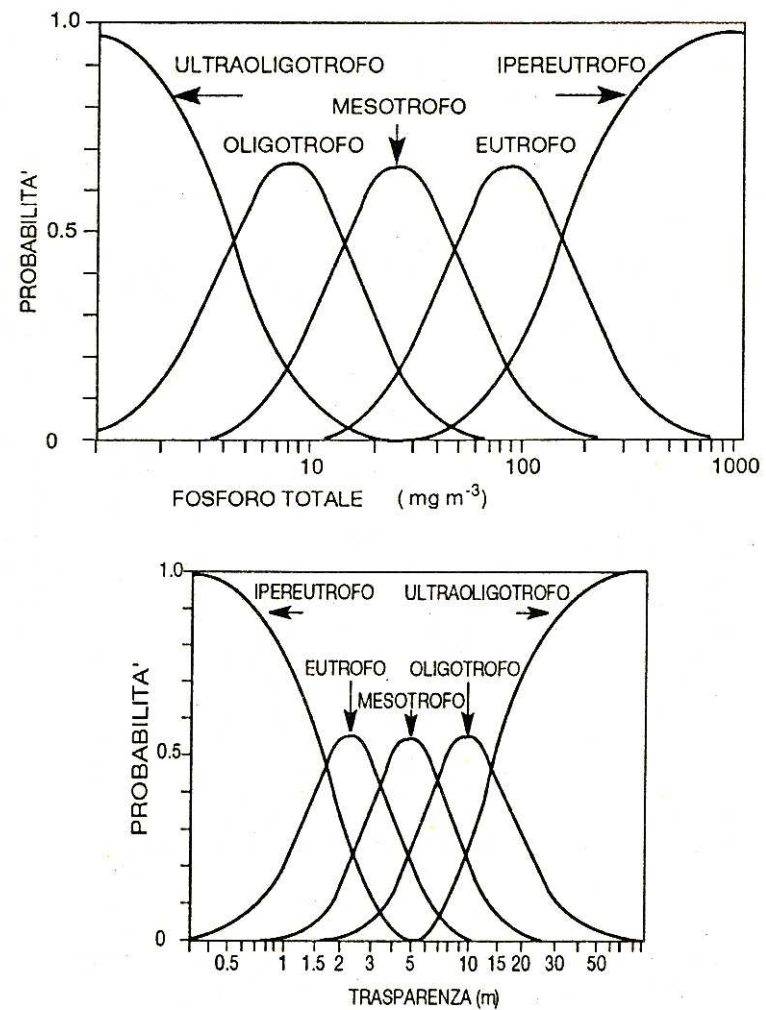


Fig. 78/II – Distribuzione della probabilità di appartenenza alle categorie trofiche indicate in funzione della concentrazione media annua di fosforo totale (in alto) e trasparenza media annua (in basso) [127].

Tab. 42/II – Classificazione trofica degli ambienti lacustri proposta dall'OCSE [127].

Stato trofico	Concentrazione media di fosforo (mg m ⁻³)	Clorofilla a (mg m ⁻³)		Profondità del disco di Secchi (m)	
		media	massima	media	massima
Ultraoligotrofico	4	1	2,5	12	6
Oligotrofico	10	2,5	8	6	3
Mesotrofico	10-35	2,5-8	8-25	6-3	3-1,5
Eutrofico	35-100	8-25	25-27	3-1,5	1,5-0,7
Ipereutrofico	100	25	75	1,5	0,7

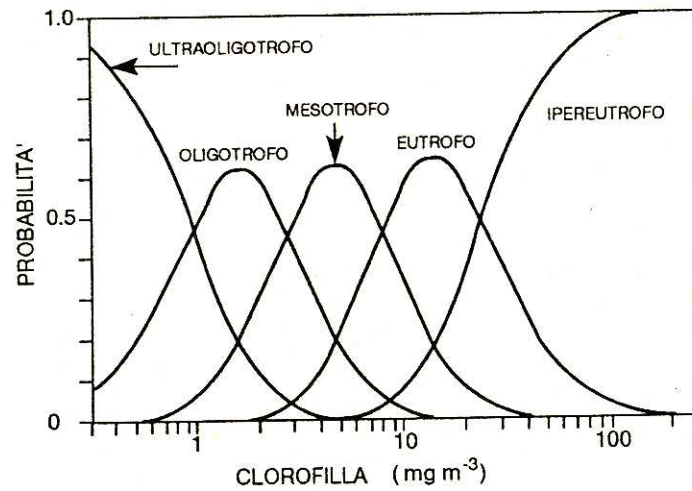


Fig. 79/II – Distribuzione della probabilità di appartenenza alle categorie trofiche indicate in funzione della concentrazione media annua di clorofilla [127].

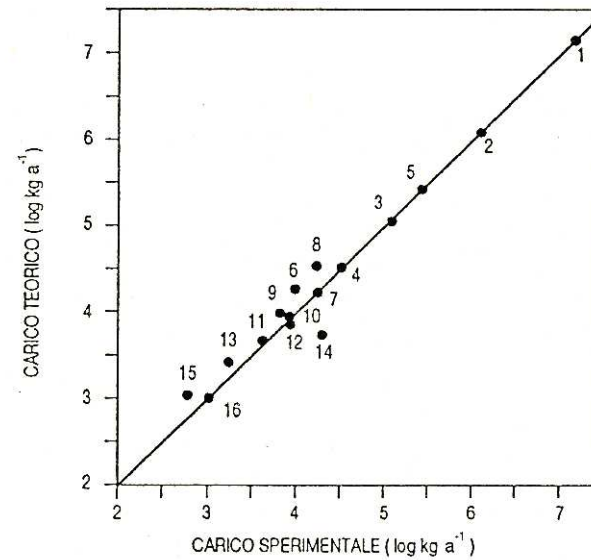


Fig. 80/II – Confronto tra i carichi teorici e sperimentali in 16 diversi corsi d'acqua italiani.

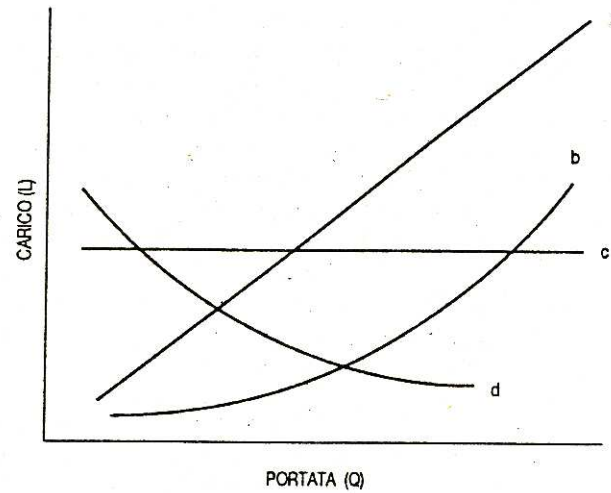


Fig. 81/II – Possibili andamenti del carico (L) in funzione della portata (Q).

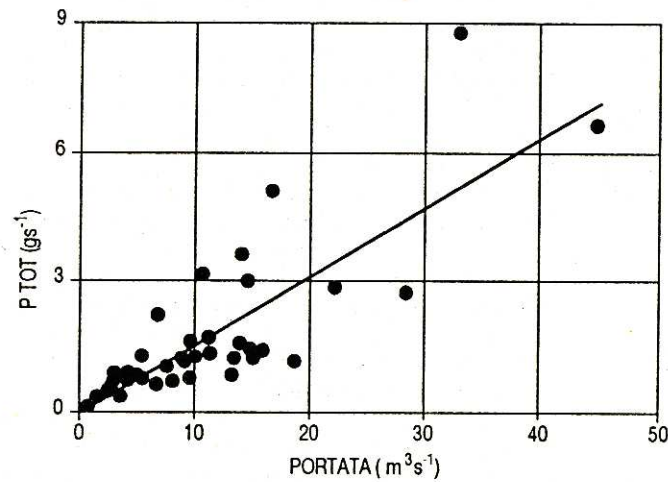


Fig. 82/II – Relazione tra carico istantaneo di fosforo e portata nel fiume Tirso (Sardegna) [135].

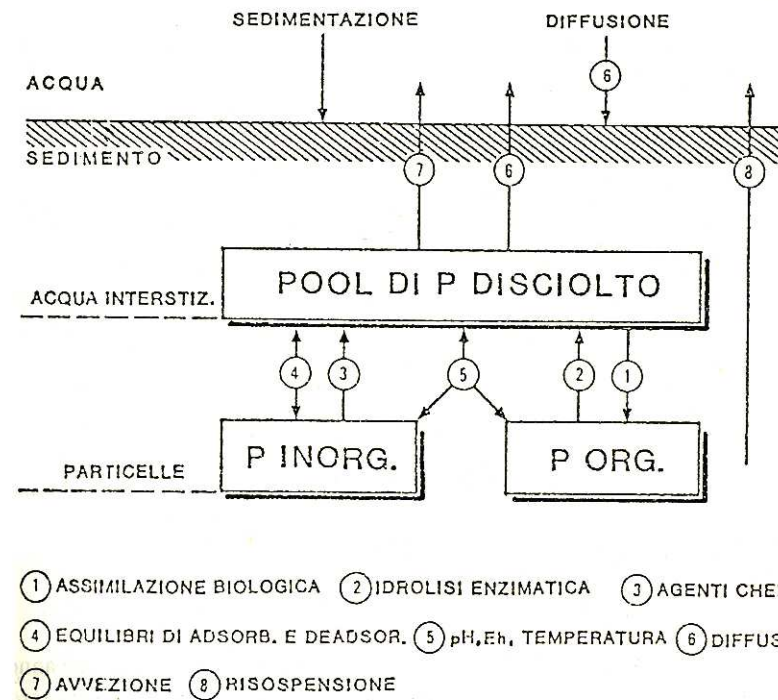


Fig. 83/II – Diagramma schematico dei processi di mobilizzazione e trasporto di fosforo tra sedimento e acqua.

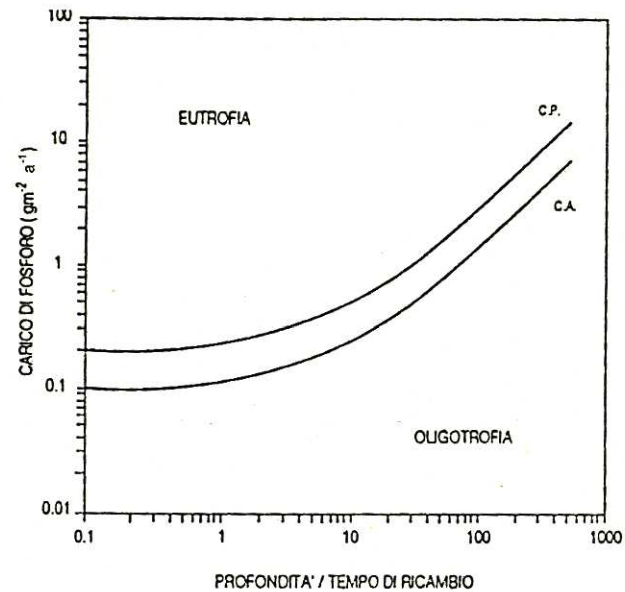


Fig. 84/II – Rapporto tra carico di fosforo e z / T_w . CP e CA significano carico pericoloso e carico accettabile [138].

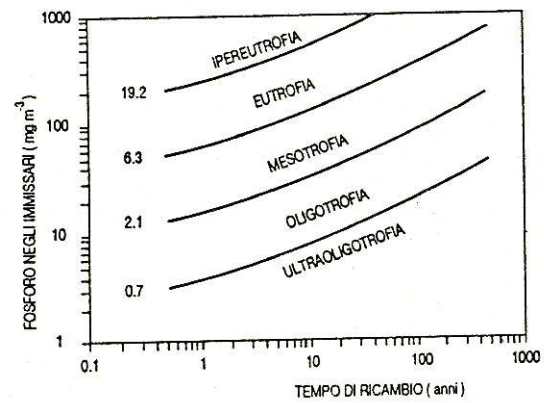


Fig. 85/II – Rapporti tra fosforo immissario, tempo di ricambio e clorofilla (valori in mg m⁻³) [127].

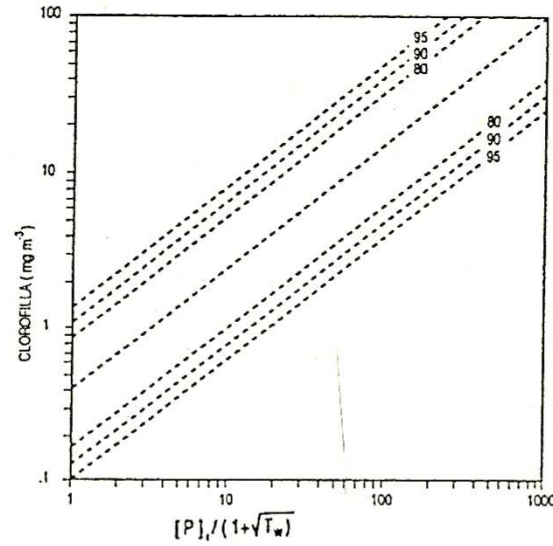


Fig. 86/II – Andamento della clorofilla media annua in funzione della concentrazione di fosforo e del tempo di ricambio a diversi livelli di probabilità [127].

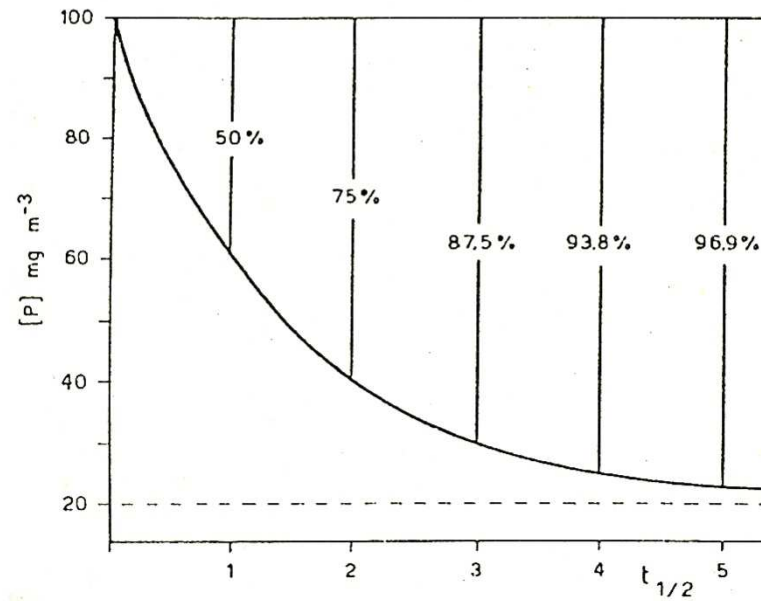


Fig. 87/II – Esempio di riduzione della concentrazione di fosforo in funzione del $t_{1/2}$ a seguito di una riduzione del carico dell'80%.

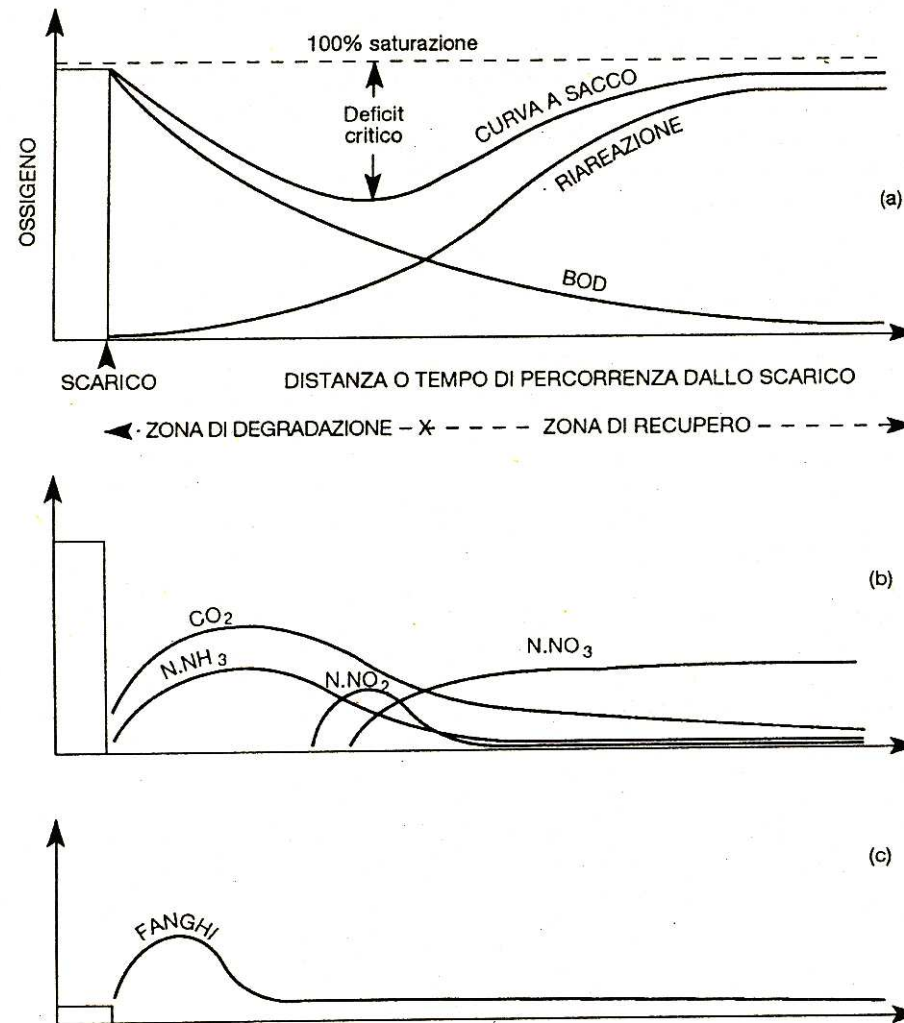


Fig. 88/II – Influenza di uno scarico organico sul contenuto di ossigeno, sui composti dell'azoto e sui sedimenti fluviali.

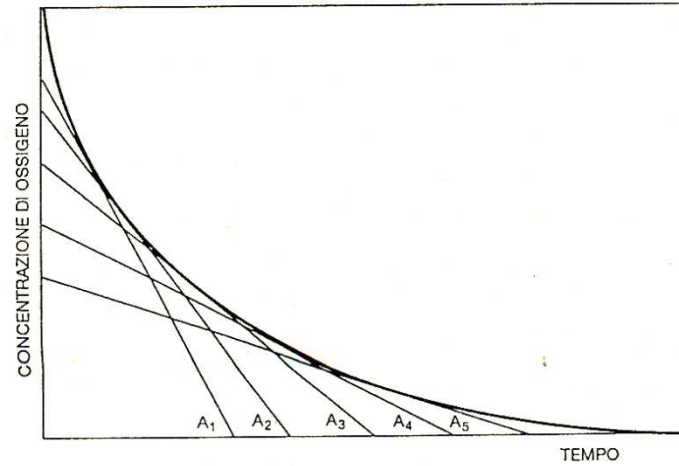


Fig. 89/II – Cinetica di primo ordine come risultante di diverse cinetiche di ordine zero ($A_1... A_n$).

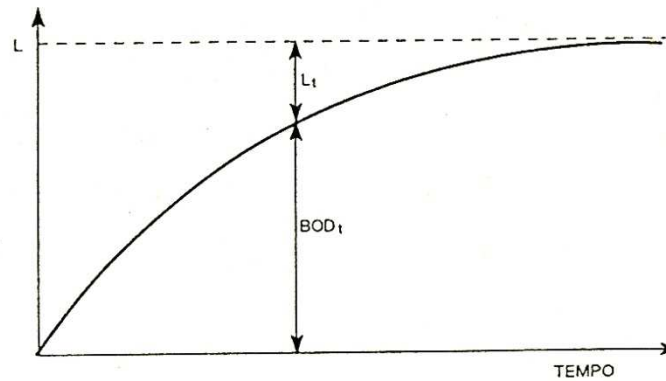


Fig. 90/II – Curva del BOD. Per il significato dei simboli cfr testo.

Siccome L_t/L rappresenta la frazione di BOD rimanente, allora

$$1 - \frac{L_t}{L} = 1 - 10^{-k \cdot t}$$

è la frazione di BOD che è stata soddisfatta. Moltiplicando entrambi i membri dell'equazione per L , si ottiene:

Tab. 43/II – Andamento giornaliero e cumulativo dei BOD con una velocità di reazione $k = 0,1$.

Tempo (giorni)	% del BOD iniziale		
	Rimanente all'inizio del giorno	Pagato durante il giorno	Pagamento cumulativo
(1)	(2)	(3)	(4)
0	100		0
		20,6	
1	79,4		20,6
		16,4	
2	63,0		37,0
		13,0	
3	50,0		50,0
		10,2	
4	39,8		60,2
		8,2	
5	31,6		68,4

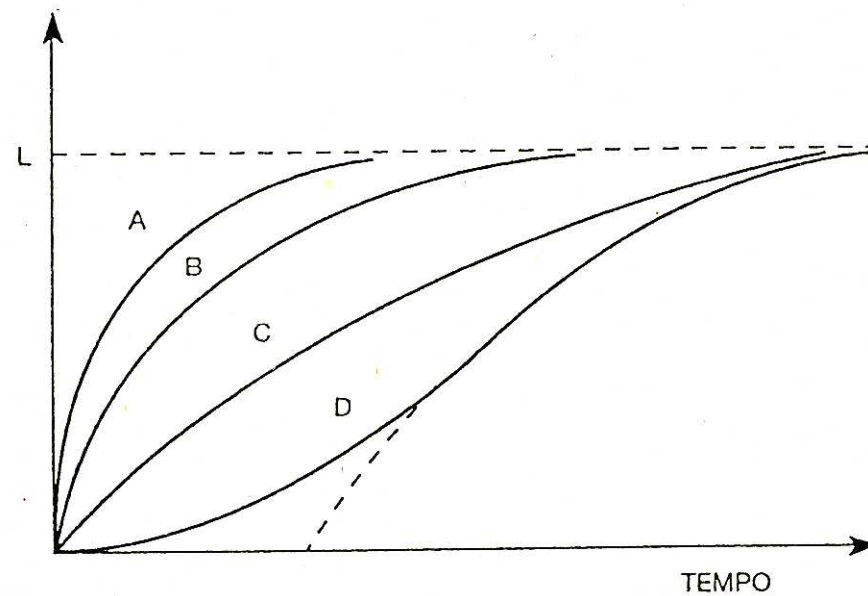


Fig. 91/II – Cinetiche del BOD con velocità di reazione decrescenti in funzione della degradabilità della sostanza organica. La curva D è tipica di un'insufficiente flora batterica iniziale o di flora non adattata.

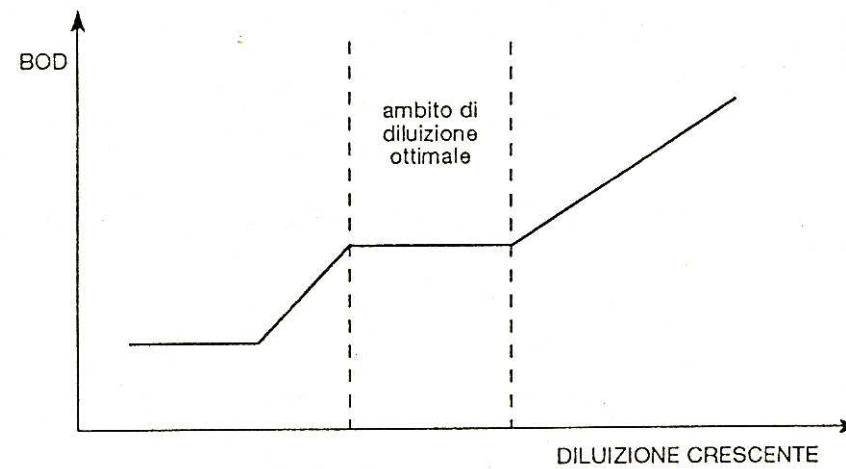


Fig. 92/II – Andamento schematico dei valori di BOD per una serie di diluizioni crescenti in un campione d'acqua tossico.

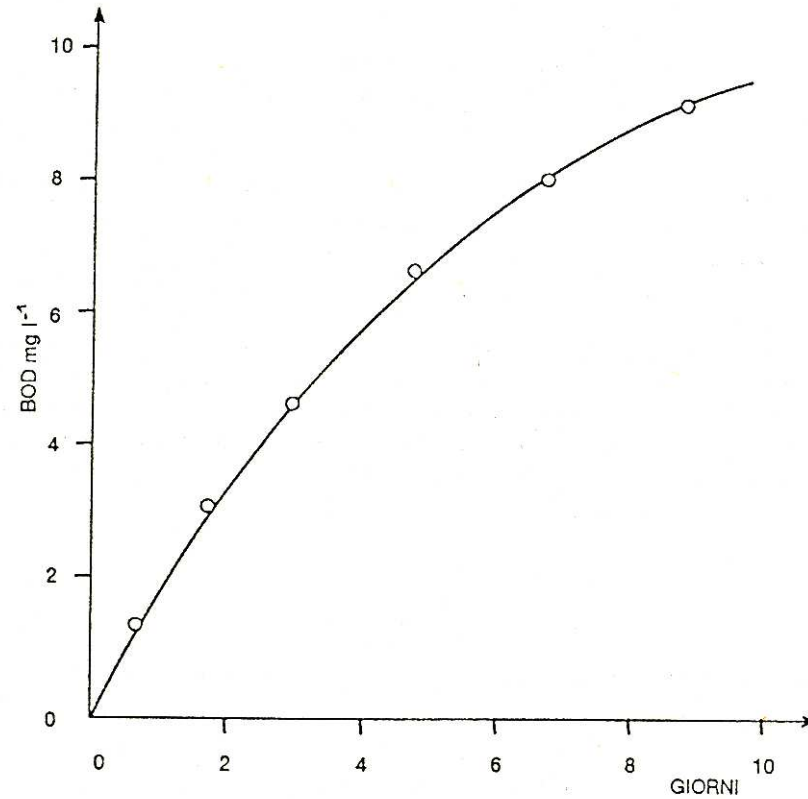


Fig. 93/II – Valori sperimentali di BOD e curva interpolata.

Tab. 44/II – Confronto fra le differenze giornaliere di BOD (colonna 3) ricavate dalla curva (colonna 2) e quelle rilevate dalla retta di correlazione semilogaritmica (colonna 3). Le frecce indicano il controllo dell'accordo fra i dati delle tre colonne (per le spiegazioni cfr testo).

t	Dalla curva		Dalla retta
	y	Δy	Δy
(1)	(2)	(3)	(4)
0	0		
1	1,90	1,90	1,89
2	3,40	1,50	1,58
3	4,70	1,30	1,33
4	5,80	1,10	1,11
5	6,80	1,00	0,93
6	7,60	0,80	0,78
7	→8,28	0,68	0,65
		→8,28	→8,27

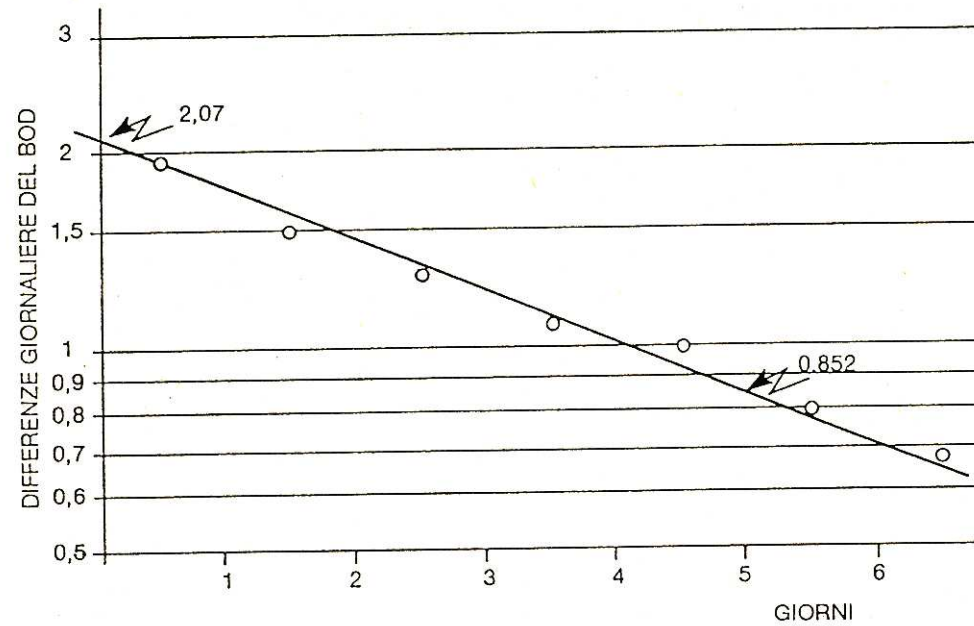


Fig. 94/II – Differenze giornaliere di BOD ricavate dalla curva di figura 93/II e retta risultante.

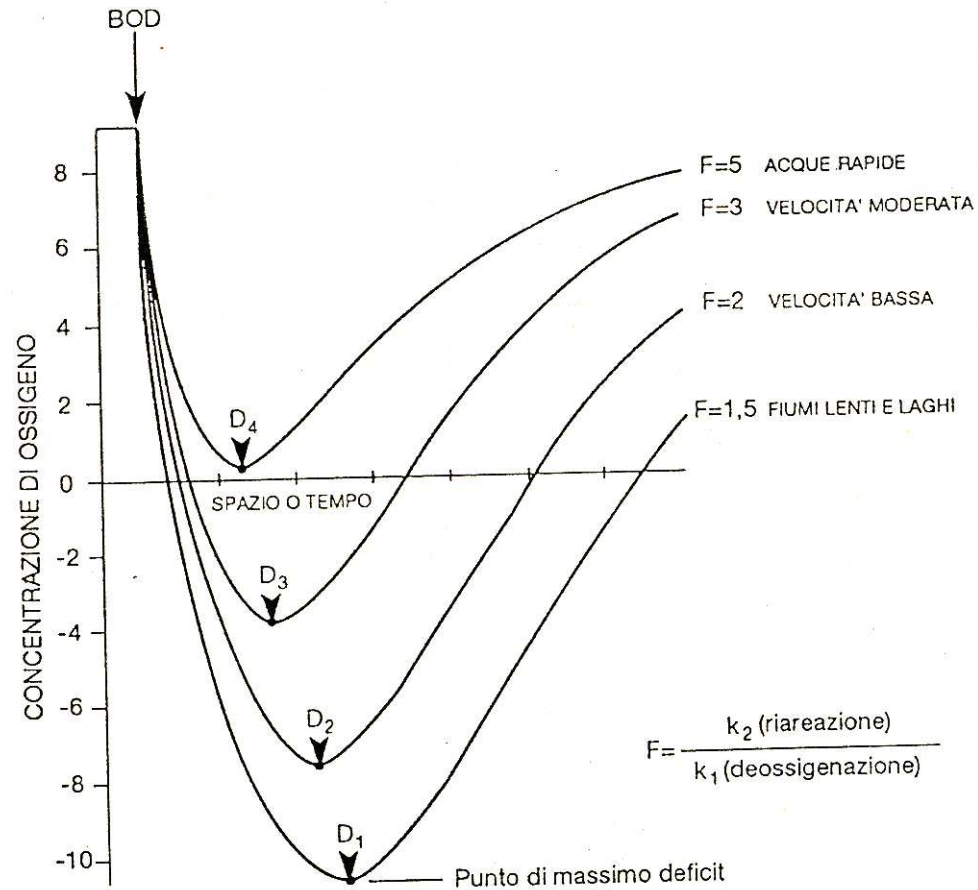


Fig. 95/II – Predizione delle concentrazioni di ossigeno che si avrebbero in diverse condizioni di portata per effetto dell'immissione di un carico di BOD costante.

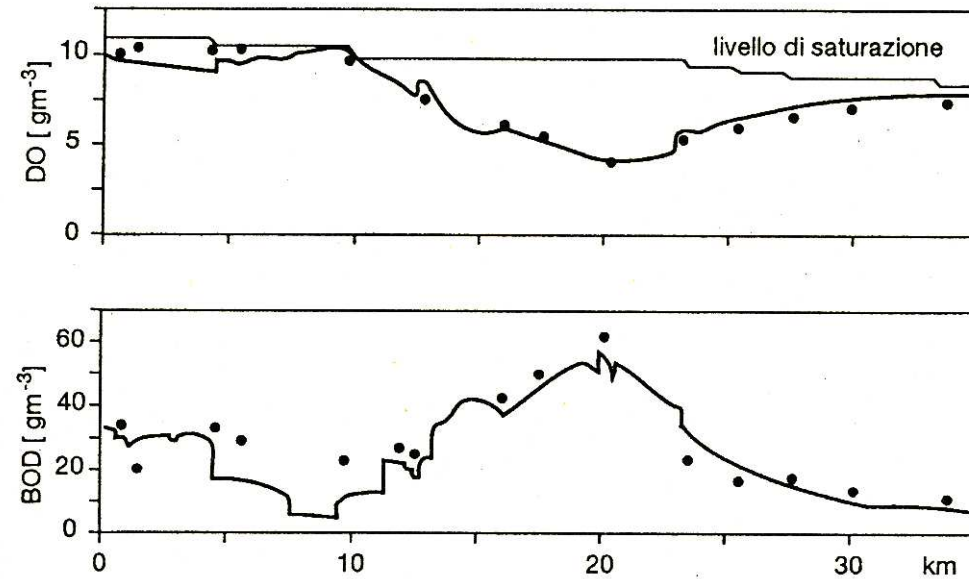


Fig. 96/II – Concentrazioni di ossigeno e di BOD misurate (•) e profili calcolati con il modello WODA.

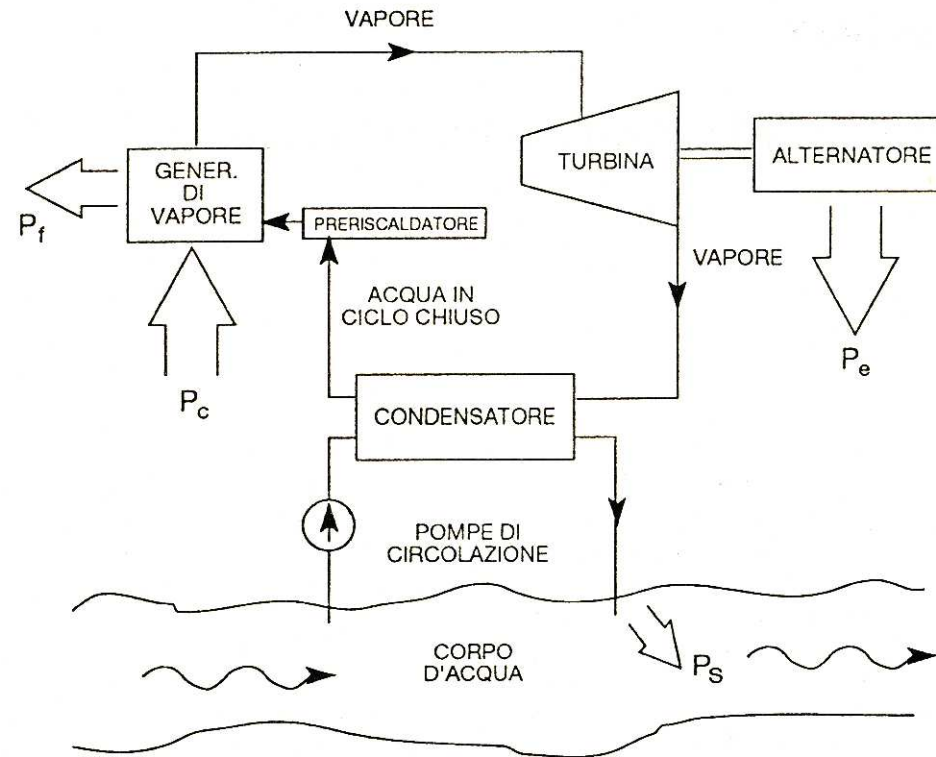


Fig. 97/II – Schema di bilancio termico complessivo di una centrale termoelettrica raffreddata in ciclo aperto.
 P_c : Potenza alimentata come combustibile, MW; P_e : Potenza elettrica prodotta, MW; P_s : Potenza termica smaltita nel corpo d'acqua, MW; P_f : Potenza termica perduta dalle superfici e scaricata con i fumi, MW.

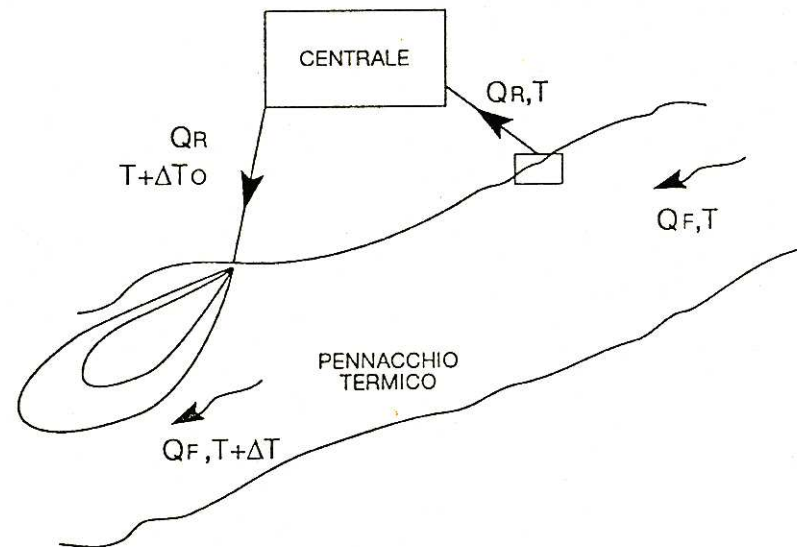


Fig. 98/II – Rappresentazione schematica dell'uso di un fiume per il raffreddamento di una centrale.

Q_F = Portata del fiume; Q_R = Portata acqua di raffreddamento; T = Temperatura del fiume; ΔT_c = Incremento termico al condensatore; ΔT = Incremento termico nel punto generico.

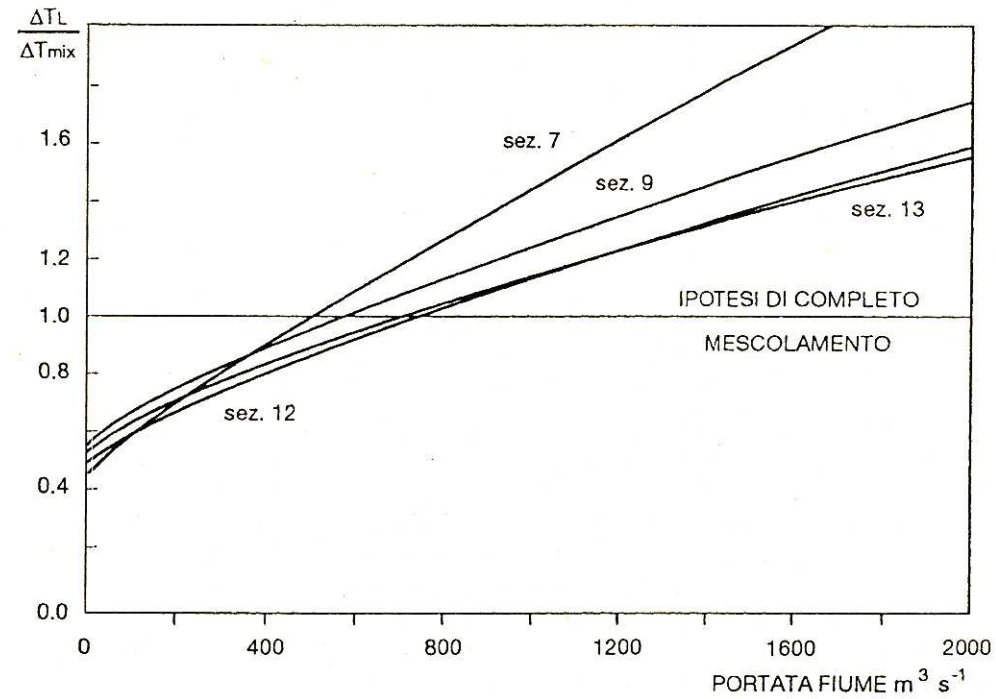


Fig. 99/II – Andamento del rapporto $\Delta T_L / \Delta T_{mix}$ in funzione della portata per le diverse sezioni esaminate a valle della centrale di Caorso.

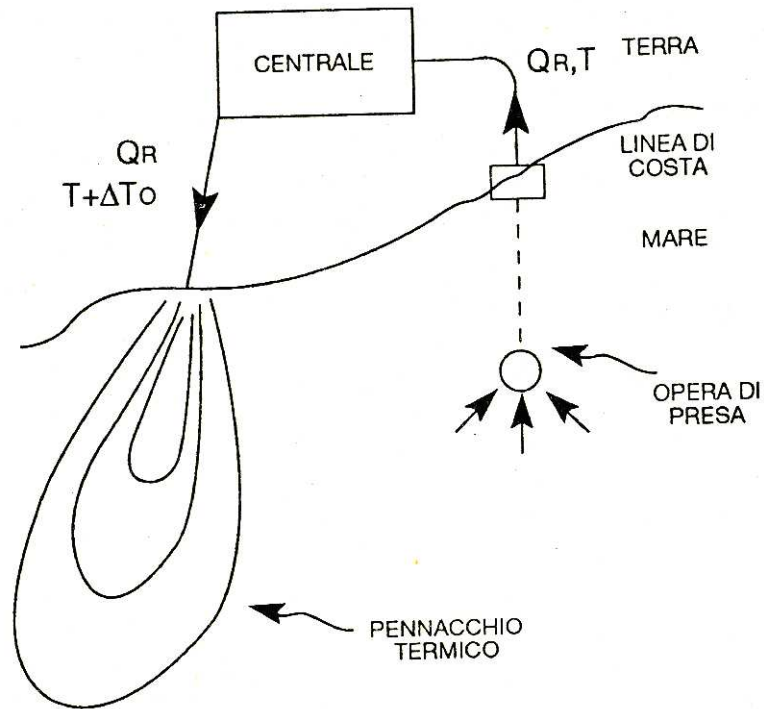


Fig. 100/II – Scarico termico in mare.

Tab. 45/II – Condizioni assunte dal fiume (valori medi approssimati) e risultati dei calcoli.

PARAMETRO	INVERNO	ESTATE
Portata ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)	400	400
Temperatura a monte ($^{\circ}\text{C}$)	5	25
Velocità vento (m s^{-1})	2	3
Profondità media (m)	2	2
Larghezza media (m)	200	200
Incremento termico medio dopo mescolamento ($T_{\text{mix}}, ^{\circ}\text{C}$)	0,95	0,95
Coefficiente di scambio acqua-aria ($K, \text{W m}^{-2} ^{\circ}\text{C}^{-1}$)	21	39,6
Tempo di riassetamento (t_r, d)	5,16	2,44
Distanza di riassetamento (D, km)	445	211
Incremento termico dopo 100 km ($^{\circ}\text{C}$)	0,75	0,58

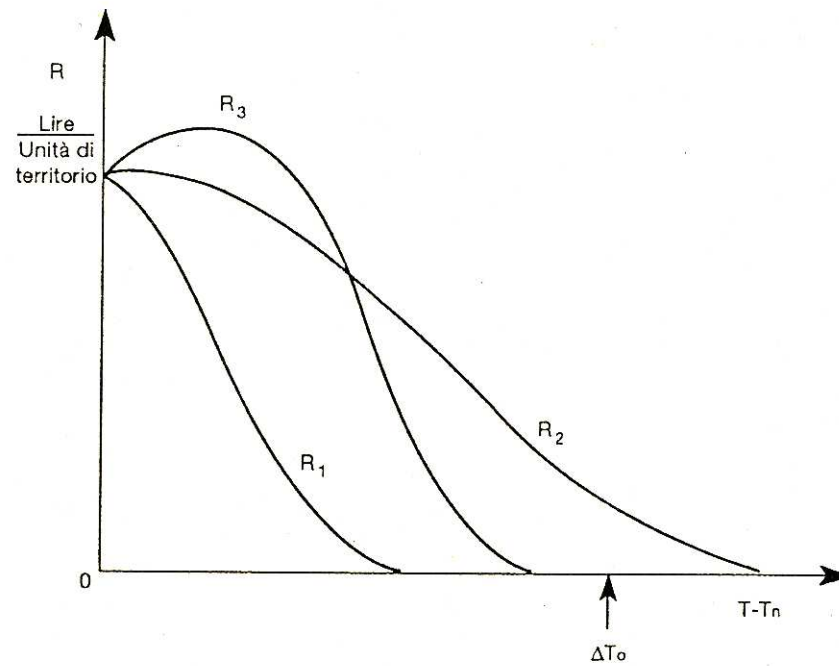


Fig. 102/II – Andamenti ipotetici del valore di risorse biologiche (R_1, R_2, R_3) in funzione della perturbazione termica $T - T_n$.

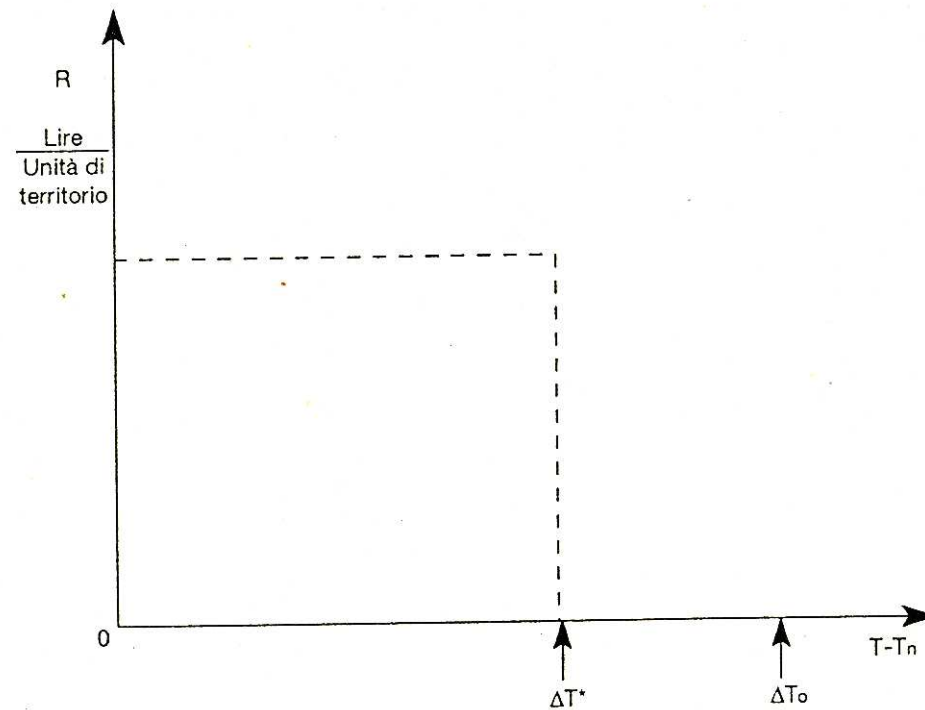


Fig. 103/II – Andamento ipotetico semplificato del valore di una risorsa biologica in funzione della perturbazione termica.

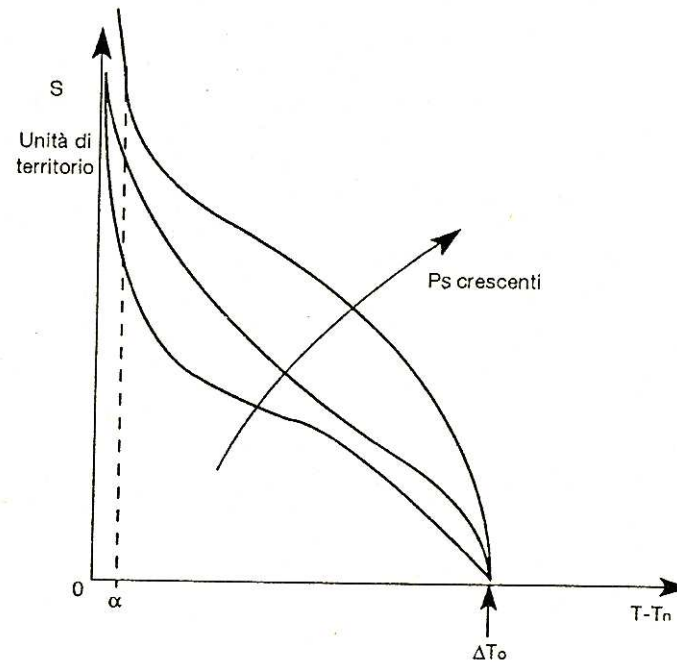


Fig. 104/II – Andamenti ipotetici delle unità di territorio (superficie o volume o lunghezza di linea di riva) soggette a perturbazione termica maggiore o uguale a quella indicata in ascissa; il parametro è la potenza termica smaltita (P_s).

DEPURAZIONE BIOLOGICA DELLE ACQUE DI SCARICO

- Consiste nell'azione combinata di popolazioni microbiche diverse che, per scopi metabolici propri, degradano le sostanze inquinanti con conseguente loro trasformazione, parte in composti semplici, come l'anidride carbonica, l'acqua, l'azoto e il metano e parte in nuovi organismi che, insieme ai detriti cellulari e ai materiali inerti dello scarico, costituiscono i fanghi di risulta dell'impianto di trattamento

DEPURAZIONE BIOLOGICA DELLE ACQUE DI SCARICO

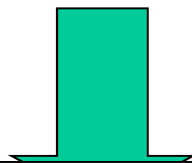
- I microrganismi responsabili della depurazione risultano da un processo di selezione tra i batteri che arrivano all'impianto con lo scarico stesso e quelli presenti nell'ambiente circostante.
- La composizione della biomassa di un impianto biologico di tipo aerobio può comprendere un'ampia varietà di microrganismi quali Batteri, Protozoi, Funghi, Alghe, Rotiferi, Nematodi.
- L'attività batterica risulta almeno 10 volte superiore di quella degli altri organismi eucarioti

Metabolismo aerobio e anaerobio

- Nel campo dei trattamenti biologici la forma di energia utilizzata è quella chimica e pertanto i microrganismi coinvolti prendono il nome di “chemotrofi” che si distinguono in:
 - Chemoeterotrofi (necessitano di carbonio organico per la crescita)
 - Chemolitotrofi (utilizzano invece la CO_2 come fonte di carbonio)
- Le vie di ossidazione delle sostanze organiche sono:
 - la respirazione (accettore inorganico di elettroni è l’ossigeno)
 - la respirazione anaerobica (in assenza di ossigeno, l’accettore di elettroni può essere il nitrato, nitrito o il solfato)
 - fermentazione (il processo di ossidoriduzione avviene all’interno del substrato stesso)
- Queste diverse vie del metabolismo microbico comportano differenze dal punto di vista applicativo

Crescita batterica

- Inizialmente una piccola quantità di microrganismi è aggiunta in un contenitore dove sono presenti tutti gli elementi (substrati) per la crescita
- I batteri provvedono a degradare i substrati e a produrre nuova biomassa
- Il tempo di duplicazione oscilla da un minimo di alcune decine di minuti a un massimo di diverse ore



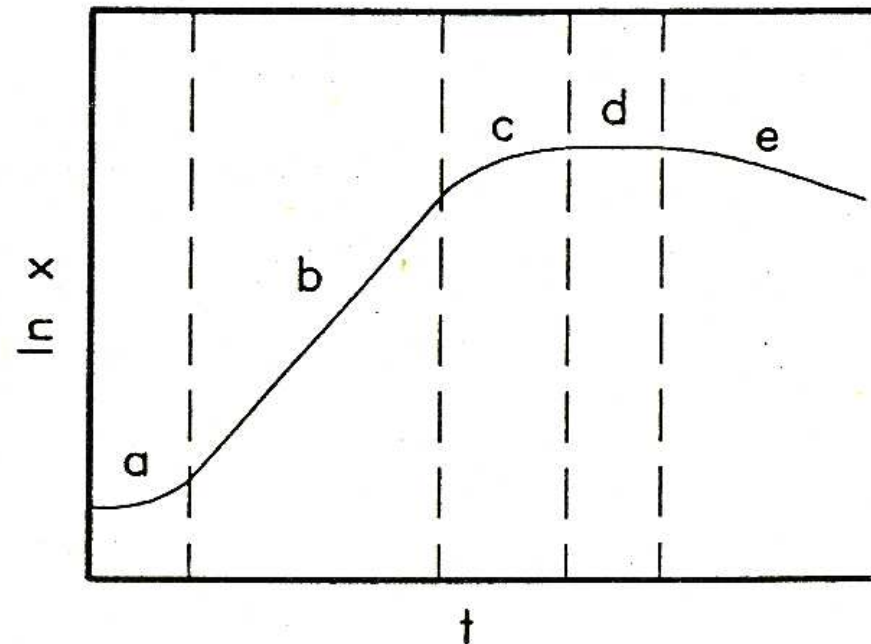


Fig. 105/II – Andamento della crescita batterica nel tempo in colture in discontinuo. X: concentrazione della biomassa; t: tempo; a: fase di induzione e crescita accelerata; b: fase di crescita esponenziale; c: fase di crescita rallentata; d: fase di crescita stazionaria; e: fase di declino.

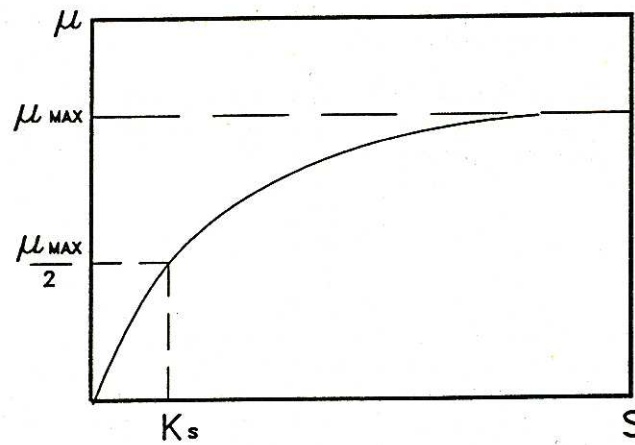


Fig. 106/II – Rappresentazione grafica dell'equazione di Monod. μ : tasso di crescita della biomassa; μ_{max} : tasso massimo di crescita della biomassa; S : concentrazione di substrato; K_s : costante di saturazione del substrato.

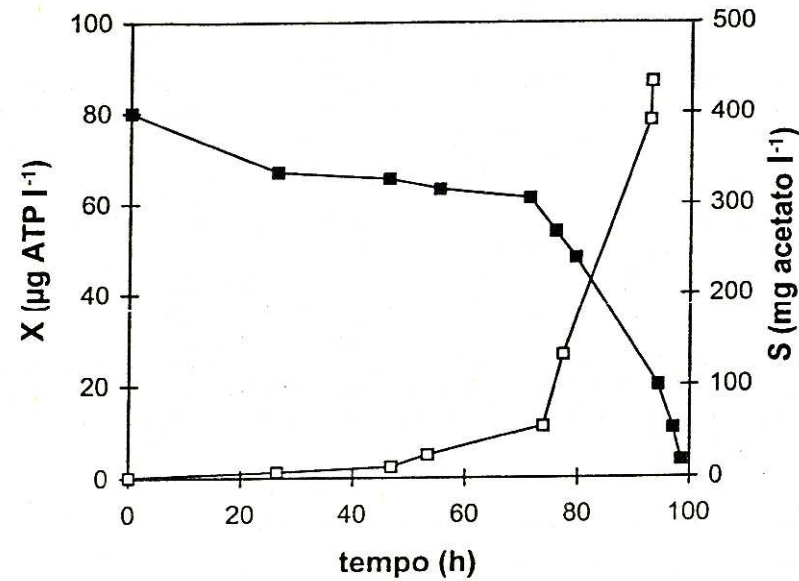


Fig. 107/II – Andamento nel tempo della biomassa (□) e della concentrazione di acetato (■) di una coltura di *Thiothrix CT3*.

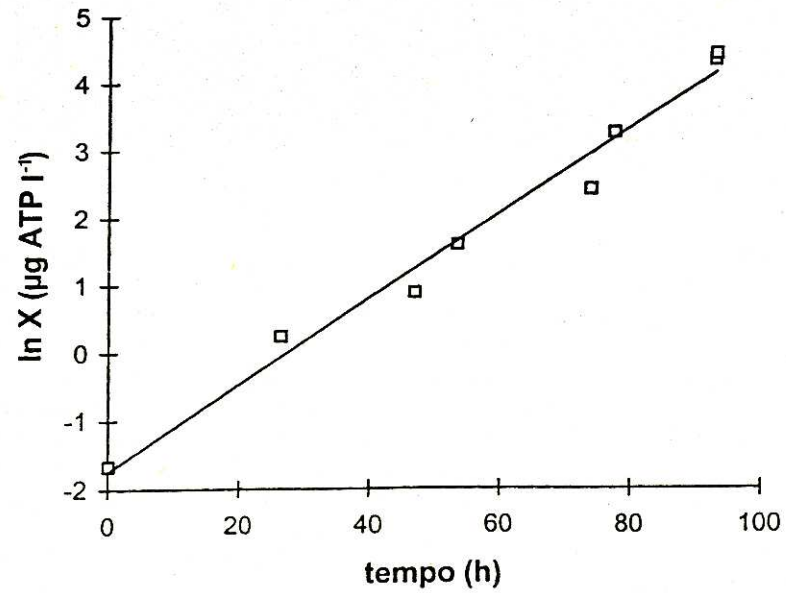


Fig. 108/II – Procedura grafica per la determinazione del tasso di crescita massimo di *Thiothrix* CT3.

Popolazioni microbiche degli impianti a fanghi attivi

- Il processo di depurazione biologica maggiormente usato è quello a **fanghi attivi** dove la coltura microbica mista rimane in fase dispersa sotto forma di **fiocchi biologici**.
- Il fango attivo che si ottiene aerando un liquame di tipo civile risulta composto essenzialmente da cellule microbiche vive associate con cellule allo stato quiescente e cellule morte, da detriti cellulari, da una matrice biopolimerica di origine batterica e da materiali inerti provenienti dallo scarico



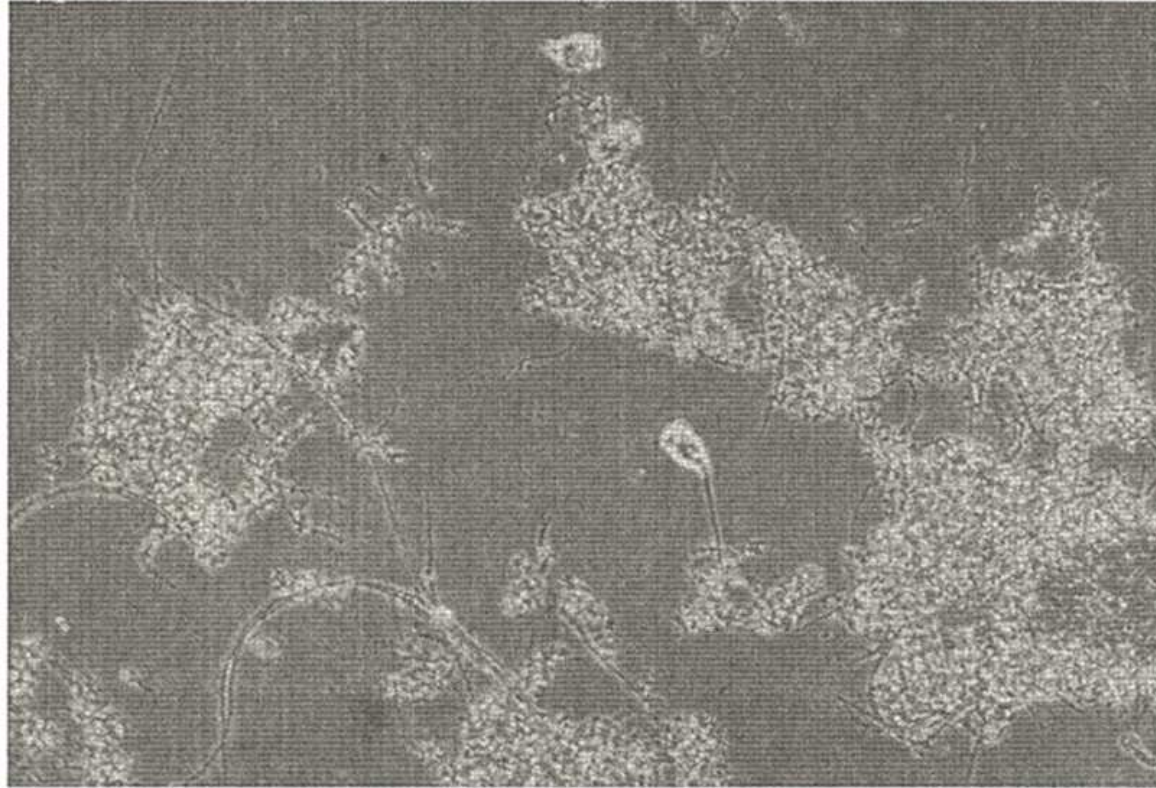
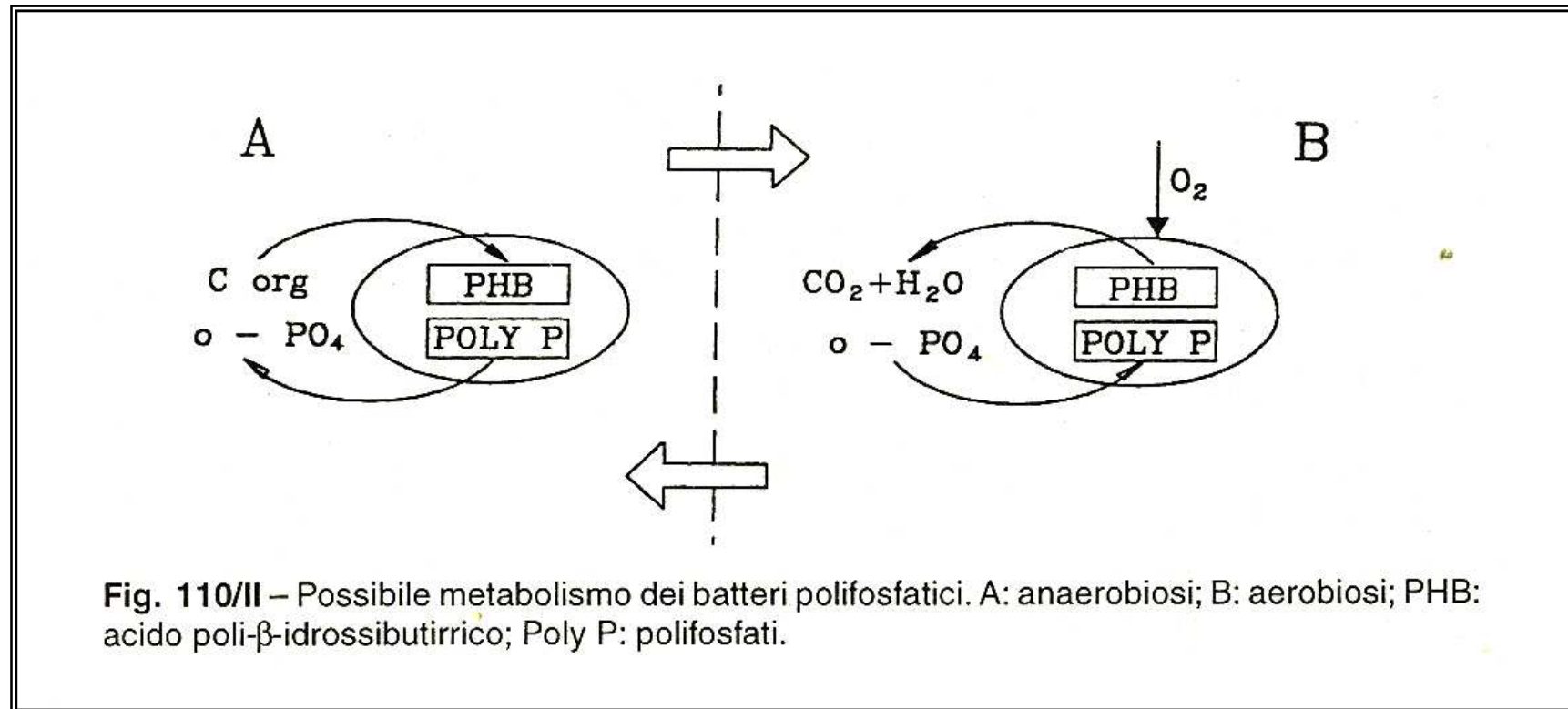
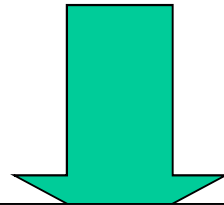


Fig. 109/II – Flocchi di fango attivo (100 x in contrasto di fase).



Popolazioni microbiche degli impianti a fanghi attivi

- Nei fanghi attivi sono presenti alcune specifiche popolazioni batteriche importanti o per la loro azione positiva (nitrificanti, denitrificanti...) o per il loro ruolo negativo (Batteri filamentosi e Batteri responsabili delle schiume) che diminuiscono la capacità di sedimentazione.



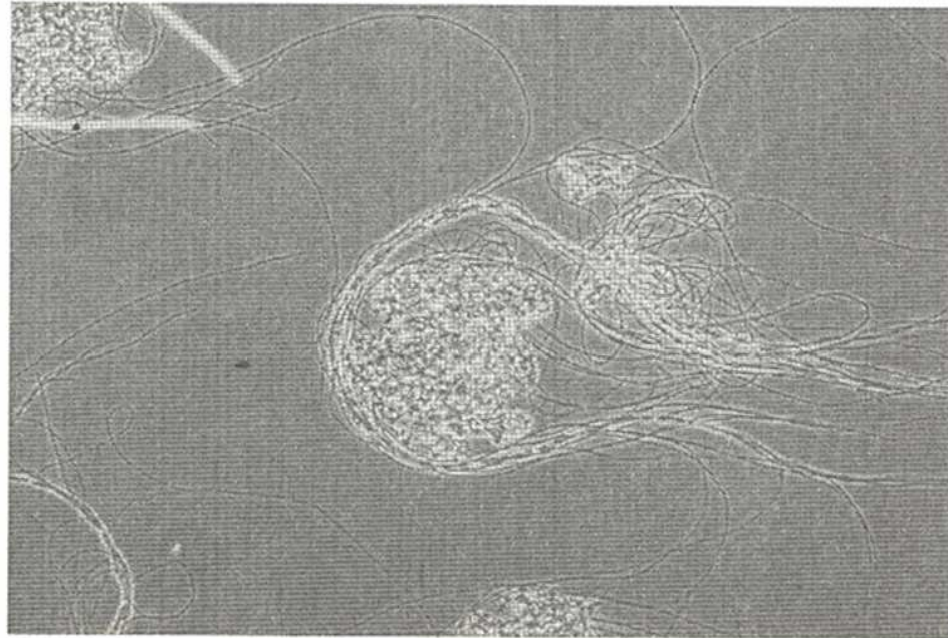


Fig. 111/II – Flocchi di fango attivo con presenza eccessiva di batteri filamentosi (100 x in contrasto di fase).

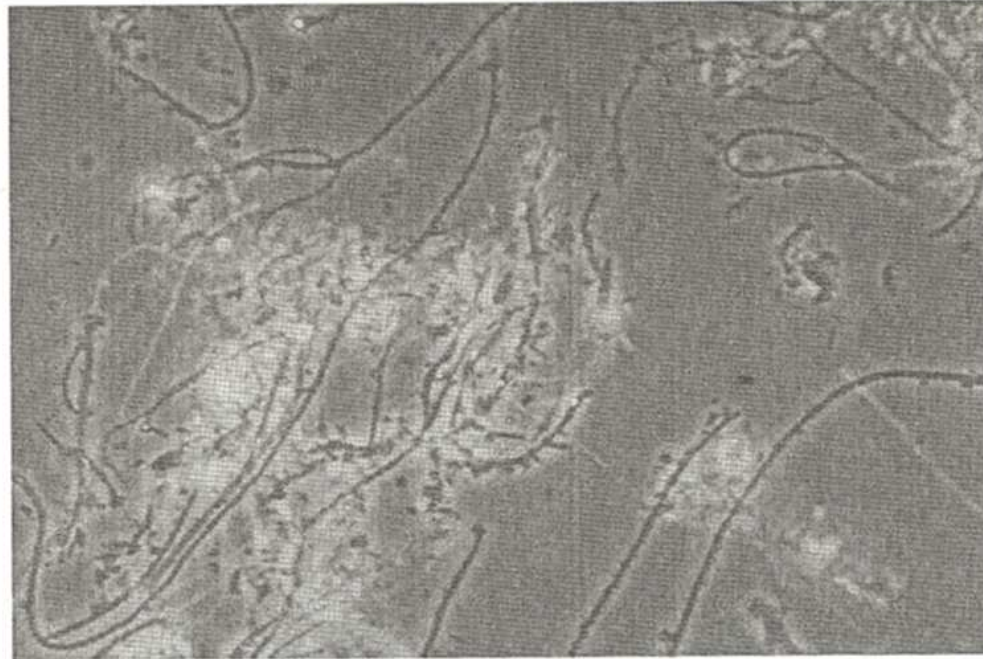


Fig. 112/II – *Microthrix parvicella*, batterio filamentoso (1000 x in contrasto di fase).

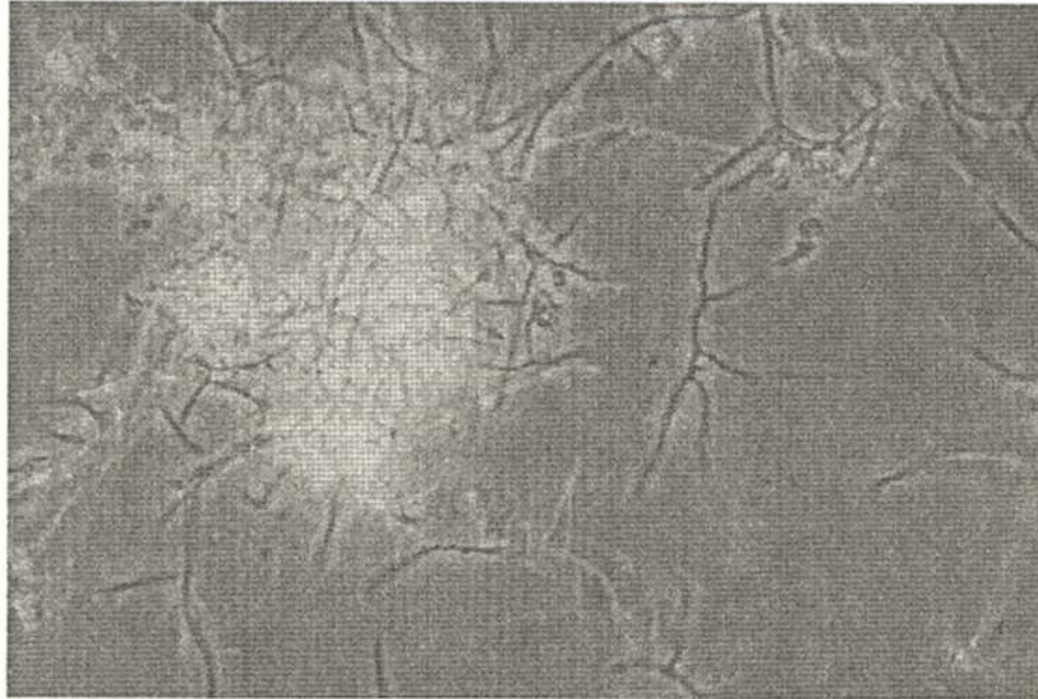


Fig. 113/II – Attinomiceti Nocardioformi, associati alla formazione di schiume biologiche (1000 x in contrasto di fase).

Tab. 47/II – Generi batterici identificati in impianti a fanghi attivi.

<i>Achromobacter</i>	<i>Cytophaga</i>
<i>Acinetobacter</i>	<i>Flavobacterium</i>
<i>Aeromonas</i>	<i>Micrococcus</i>
<i>Alcaligenes</i>	<i>Mycobacterium</i>
<i>Arthrobacter</i>	<i>Nitrobacter</i>
<i>Azotobacter</i>	<i>Nitrosomonas</i>
<i>Bacillus</i>	<i>Nocardia</i>
<i>Bdellovibrio</i>	<i>Pseudomonas</i>
<i>Chromobacterium</i>	<i>Staphylococcus</i>
<i>Comamonas</i>	<i>Sphaerotilus</i>
<i>Corynebacterium</i>	<i>Zooglea</i>

Tab. 48/II – Batterii filamentosi dominanti come indicatori di condizioni che causano bulking [147].

CAUSE	PRINCIPALI FILAMENTOSI RICONTRATI
Basso ossigeno disciolto	<i>Sphaerotilus natans</i> , <i>Haliscomenobacter hydrossis</i> , tipo 1701
Basso carico	<i>Microthrix parvicella</i> , <i>Nocardia spp.</i> , <i>Haliscomenobacter hydrossis</i> , tipi 021N, 0041, 0675, 0092, 0581, 0961, 0803
Liquami settici, solfuri	<i>Thiothrix spp.</i> , <i>Beggiatoa spp.</i> , tipo 021N
Carenza di nutrienti	<i>Thiothrix spp.</i> , <i>Sphaerotilus natans</i> , <i>Haliscomenobacter hydrossis</i> , tipi 021N, 0041 e 0675
Basso pH	Funghi

Microfauna e indice biotico dei Fanghi (SBI)

- La microfauna presente nel fango biologico a “regime” è diversa da quella presente nella fase di avviamento
- Durante la formazione del fango attivo si può osservare, la seguente successione nel tempo di Protozoi e piccoli Metazoi: all’inizio prevalgono i flagellati e ciliati natanti, successivamente i ciliati sessili, infine i ciliati mobili di fondo
- Una biomassa in buone condizioni è caratterizzata da:
 - alta densità della microfauna ($\geq 10^6$ individui l^{-1})
 - microfauna composta essenzialmente da ciliati sessili e mobili di fondo, con flagellati assenti
 - comunità altamente diversificata
- Le informazioni ottenute dall’osservazione al microscopi, consentono il calcolo dell’Indice Biotico del Fango, parametro utilizzato per definire la classe di qualità del fango stesso

Tab. 49/II – Tabella a due entrate per il calcolo dell'indice Biotico del Fango [149].

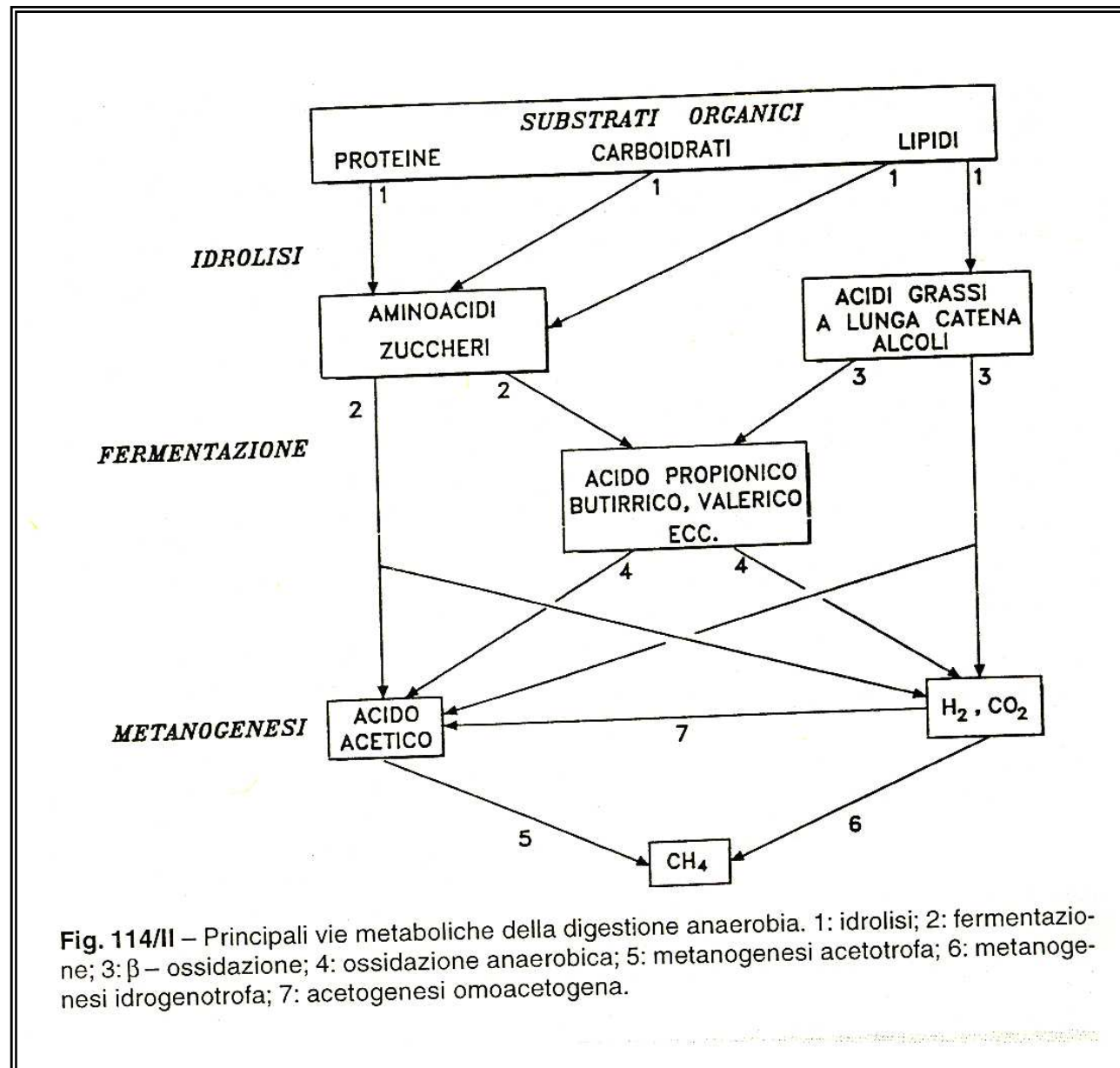
Gruppi della microfauna e sua densità che determinano l'ingresso orizzontale in tabella		Numero totale di specie che costituiscono la microfauna (esclusi i flagellati) del fango e densità dei flagellati (F) contati nella diagonale della camera di Fuchs-Rosenthal							
		> 10		8 - 10		5 - 7		<5	
GRUPPO DOMINANTE	DENSITA' (ind.l ⁻¹)	F<10	10<F<100	F<10	10<F<100	F<10	10<F<100	F<10	10<F<100
CILIATI MOBILI +SESSILI* e/o	≥10 ⁶	10	8	9	7	8	6	7	5
AMEBE CON TECA	<10 ⁶	9	7	8	6	7	5	6	4
CILIATI SESSILI*	≥10 ⁶	9	7	8	6	7	5	6	4
> 80%	<10 ⁶	8	6	7	5	6	4	5	3
<i>Opecularia</i> spp.	≥ 10 ⁶	7	5	6	4	5	3	4	2
	<10 ⁶	6	4	5	3	4	2	3	1
<i>Vorticella microstoma</i>	≥10 ⁶	6	4	5	3	4	2	3	1
	<10 ⁶	5	3	4	2	3	1	2	0
CILIATI NATANTI	≥ 10 ⁶	5	3	4	2	3	1	2	0
	<10 ⁶	4	2	3	1	2	0	1	0
PICCOLI	≥ 10 ⁶		4		3		2		1
FLAGELLATI (100) **	<10 ⁶		3		2		1		0

* *Opecularia* e *Vorticella microstoma* non abbondanti; ** numero di flagellati nella diagonale della camera di Fuchs-Rosenthal.

Tab. 50/II - Conversione dei valori di SBI in classi di qualità del fango con relativo giudizio [149].

VALORE SBI	CLASSE	GIUDIZIO
8-10	I	Fango ben colonizzato e stabile, ottima attività biologica; alta efficienza depurativa
6-7	II	Fango ben colonizzato e stabile, attività biologica sub-ottimale; discreta efficienza depurativa
4-5	III	Insufficiente depurazione biologica dell'impianto; mediocre efficienza depurativa
0-3	IV	Cattiva depurazione biologica dell'impianto; bassa efficienza depurativa

- Popolazioni microbiche dei filtri percolatori. Sono degli impianti di trattamento dove l'assenza di miscelazione e l'elevata età della biomassa determinano l'instaurarsi di una comunità microbica la cui attività depurativa è più complessa rispetto a quella che opera negli impianti fanghi attivi
- Popolazioni microbiche dei sistemi di lagunaggio. Le lagune sono costituite da vari bacini al cui interno è immesso periodicamente il liquame da trattare. Questo subisce una biodegradazione da parte di una comunità microbica la cui composizione dipende dal sistema di lagunaggio adottato.
- Popolazioni microbiche dei digestori anaerobi. La digestione anaerobia viene utilizzata come sistema di stabilizzazione del fango prodotto nei processi a fanghi attivi. Consiste in una serie di fermentazioni che trasformano parte del fango in metano e CO_2



- Stime di attività e biomassa. Per valutare la concentrazione della biomassa in un impianto di depurazione si determinano i solidi sospesi totali (SS) o quelli volatili (VSS).
- Accanto a questa misura si impiegano parametri biochimici e microbiologici: analisi batteriologiche, Acido desossiribonucleico(DNA), Proteine, Adenosin trifosfato (ATP), Attività respiratoria

Tab. 51/II – Numero di batteri totali ed attivi in campioni vari [153].

CAMPIONE	SOLIDI SOSPESI TOTALI (mg l ⁻¹)	CONTE BATTERICHE (N° ml ⁻¹)	
		Totali ⁽¹⁾	Attivi ⁽²⁾
Liquame sedimentato	190	$5,6 \cdot 10^8$	$6,3 \cdot 10^6$
Fanghi attivi	4600	$5,9 \cdot 10^9$	$5,9 \cdot 10^7$
Pellicola di letto percolatore	54.000	$6,2 \cdot 10^{10}$	$1,5 \cdot 10^9$
Effluente secondario	28	$5,4 \cdot 10^7$	$1,1 \cdot 10^6$

(1) Conteggi totali ottenuti con la camera di conta di Helber.

(2) Conteggi effettuati in piastre CGY agar, incubazione per 6 giorni.

Tab. 52/II – Composizione microbica di un digestore anaerobico di fanghi urbani.

GRUPPO	NUMERO ml ⁻¹
I Batteri idrolitici e fermentativi	10 ⁸ -10 ⁹
Batteri proteolitici	10 ⁷
Batteri cellulolitici	10 ⁵
II Batteri acetogeni riduttori di protoni (butirrato ossidanti)	10 ⁶
III Batteri metanogeni (idrogeno ossidanti)	10 ⁶ -10 ⁸
IV Batteri omoacetogeni (idrogeno ossidanti)	10 ⁵ -10 ⁶
Batteri solfato riduttori (lattato ossidanti)	10 ⁴

Soluzioni tecnologiche

- Lo schema di trattamento biologico convenzionale di depurazione delle acque di scarico urbane prevede trattamenti preliminari (grigliatura, disabbatura, disoelazione, equalizzazione, omogeneizzazione, neutralizzazione) e sedimentazione primaria per rimuovere solidi pesanti e materiali flottabili, seguiti da trattamenti biologici per la rimozione di sostanze organiche disciolte
- Il fango di supero viene prima ispessito, poi stabilizzato, e infine ulteriormente trattato prima dello smaltimento finale
- La biomassa che si forma durante il processo depurativo rimane dispersa sotto forma di biofiocchi, in seno al liquido o ancorata sotto forma di biofilm a superfici inerti

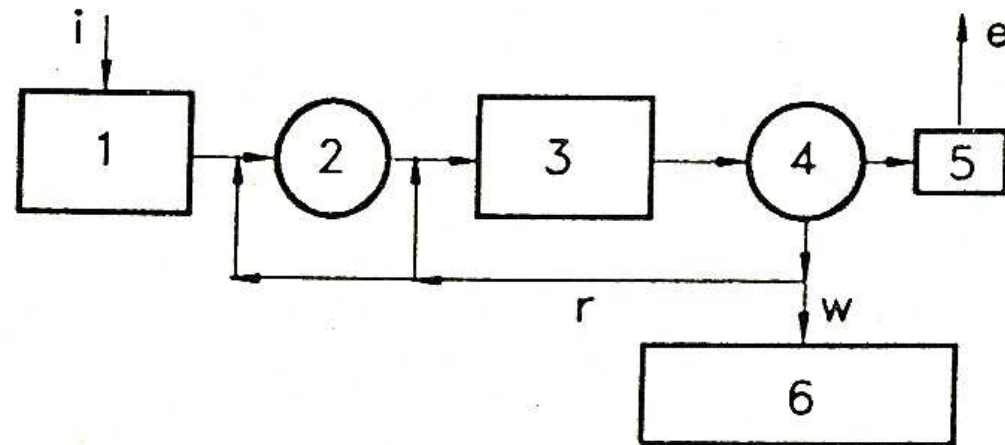


Fig. 115/II – Schema di trattamento biologico convenzionale. i: influente; e: effluente; r: riciclo fanghi; w: fanghi di spurgo; 1: trattamenti preliminari; 2: sedimentatore primario; 3: reattore biologico; 4: sedimentatore secondario; 5: disinfezione; 6: trattamento e smaltimento fanghi di risulta.

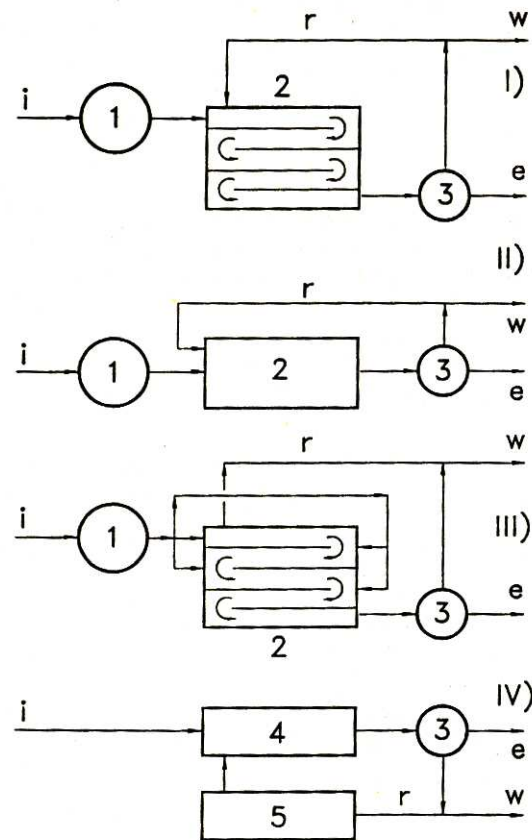


Fig. 116/II – Schemi di processo per il sistema biologico a fanghi attivi. I: processo con flusso a pistone; II: processo a mescolamento completo; III: processo a carico progressivo; IV: processo di stabilizzazione e contatto; i: influente; e: effluente; r: riciclo fanghi; w: fanghi di spurgo; 1: sedimentatore primario; 2: vasca d'aerazione; 3: sedimentatore secondario; 4: vasca di contatto; 5: vasca di stabilizzazione.

Tab. 53/II – Caratteristiche di funzionamento dei processi a fanghi attivi.

PROCESSO	CARICO ORGANICO		ETÀ DEL FANGO (d)	TEMPO DI	RAPPOR- TO DI
	kg BOD ₅ m ⁻³ d ⁻¹	mg BOD ₅ mg ⁻¹ VSS d ⁻¹		RESI- DENZA IDRAULI- CO (h)	RICIRCO- LAZIONE %
Convenzionale	0,5-0,6	0,2-0,5	5-15	6-8	30
Alto carico	fino a 1,6	0,5-1,0	3-10	2-4	100
Aerazione prolungata	0,15-0,5	0,05-0,2	20	20-30	100
Carico progressivo	0,5-0,8	0,2-0,5	5-15	5-7	50
Stabilizzazione e contatto	0,5-0,8	0,2-0,5	5-15	6-9	100
Ossigeno	fino a 2	0,6-1,5	5-10	1-3	30

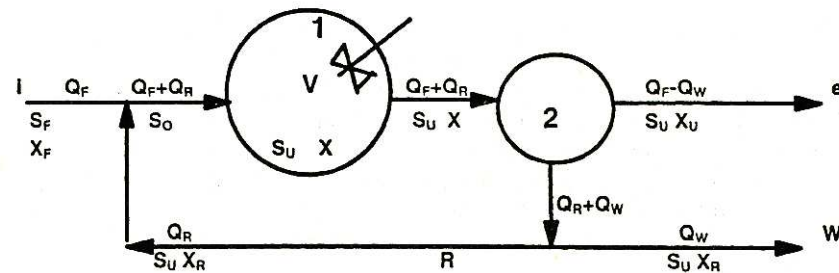


Fig. 117/II – Schema di processo a fanghi attivi con reattore a mescolamento completo. 1: reattore; 2: sedimentatore finale; i: liquame da trattare; e: effluente; W: spurgo dei fanghi di supero; R: riciclo dei fanghi; Q: portata; S: concentrazione del substrato; X: concentrazione della biomassa. Il pedice F si riferisce all'alimentazione, R alla corrente di riciclo, W alla corrente di spurgo e U alla corrente liquida in uscita dell'impianto.

Tab. 54/II - Calcolo di progetto di un reattore biologico a fanghi attivi per l'abbattimento del substrato carbonioso. Caratteristiche dell'influente: portata, $Q_F = 1 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$; concentrazione, $S_F = 250 \text{ mg BOD}_5 \text{ l}^{-1}$. Parametri caratteristici: $\mu_{\max} = 4 \text{ d}^{-1}$; $k_d = 0,07 \text{ d}^{-1}$; $K_s = 60 \text{ mg BOD}_5 \text{ l}^{-1}$; $Y = 0,6 \text{ mg VSS mg}^{-1} \text{ BOD}_5$. Si assume inoltre una concentrazione di biomassa nell'effluente, X_U pari a 20 mg VSS l^{-1} ; una concentrazione di biomassa nel riciclo, $X_R = 8000 \text{ mg VSS l}^{-1}$; una portata di riciclo, $Q_R = 0,5 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ e un tempo medio di residenza della biomassa nel reattore $\theta_c = 4 \text{ d}$.

$$1) \quad X = \frac{X_R Q_R}{Q_R + Q_F} = \frac{8000 \cdot 0,5}{0,5 + 1} = 2500 \text{ mg VSS l}^{-1}$$

$$2) \quad S_U = \frac{K_s (1 + k_d \theta_c)}{\theta_c (\mu_{\max} - k_d) - 1} = \frac{60 (1 + 0,07 \cdot 4)}{4 (4 - 0,07) - 1} = 5,2 \text{ BOD}_5 \text{ l}^{-1}$$

$$3) \quad V = \frac{\theta_c Y Q_F (S_F - S_U)}{X (1 + k_d \theta_c)} = 0,18 \text{ m}^3$$

$$4) \quad W = \frac{Y Q_F (S_F - S_U)}{(1 + k_d \theta_c)} = 115 \text{ g VSS d}^{-1}$$

$$5) \quad \frac{W - Q_F X_U}{X_R - X_U} = \frac{115 - 1 \cdot 20}{8000 - 20} = 0,012 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$$

$$6) \quad O_2 = Q_F (S_F - S_U) - 1,42 W = 1 (250 - 5,2) - 1,42 \cdot 115 = 82 \text{ g O}_2 \text{ d}^{-1} \approx 4 \text{ m}^3 \text{ aria d}^{-1}$$

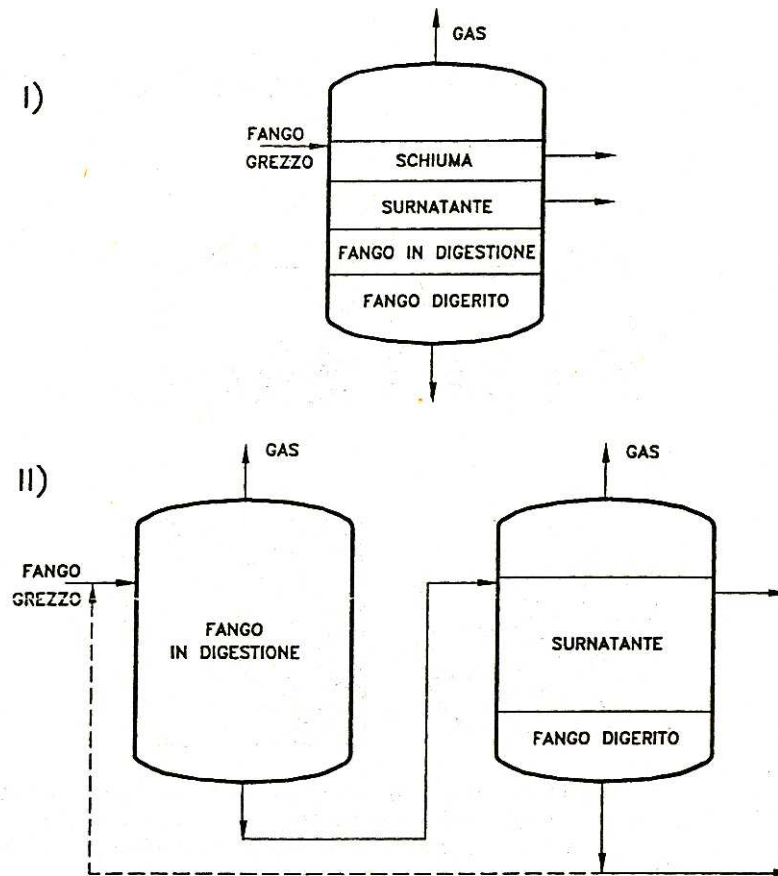


Fig. 118/II – Schemi di digestori: a basso carico (I) e ad alto carico (II).

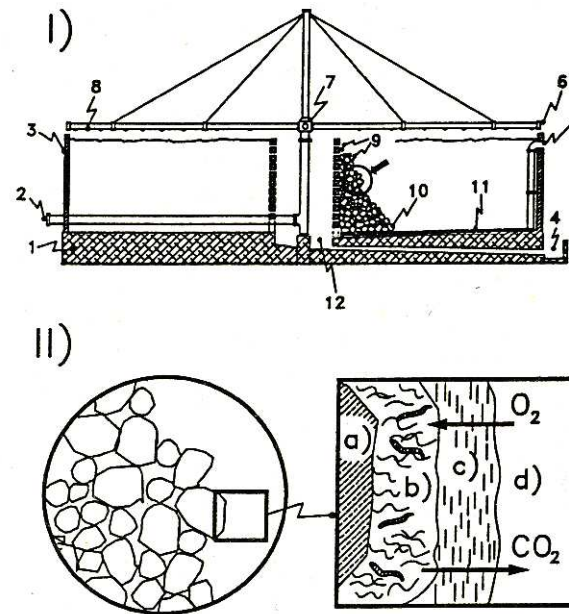


Fig. 119/II – Schema di filtro percolatore (I) e particolare del materiale di riempimento con biofilm adesivo (II). 1: basamento; 2: condotto di alimentazione; 3: parete di contenimento; 4: canale di raccolta dell'effluente; 5: condotto di aerazione; 6: braccio di distribuzione del liquame; 7: giunto mobile; 8: ugelli; 9: riempimento; 10: strato inferiore di riempimento; 11: piastre di sostegno; 12: condotto centrale di raccolta dell'effluente; a) materiali di riempimento; b) biofilm; c) flusso di liquame; d) aria.

Tab. 55/II - Caratteristiche di funzionamento dei filtri percolatori a basso e alto carico.

CARATTERISTICHE	BASSO CARICO	ALTO CARICO
Carico idraulico ($\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$)	2 - 5	10 - 30
Carico organico ($\text{kg BOD}_5 \text{m}^{-3} \text{d}^{-1}$)	0,1 - 0,4 intermittente	0,4 - 1,0 continua
Operazione	0	0,5 - 3,0
Rapporto di ricircolazione	1,5-2,0	2,0 - 6,0
Altezza del letto	50%	90%
Porosità del letto	pietrisco	plastica
Riempimento	80 - 90	200
Superficie specifica ($\text{m}^2 \text{m}^{-3}$)	2500	80
Densità (kg m^{-3})		

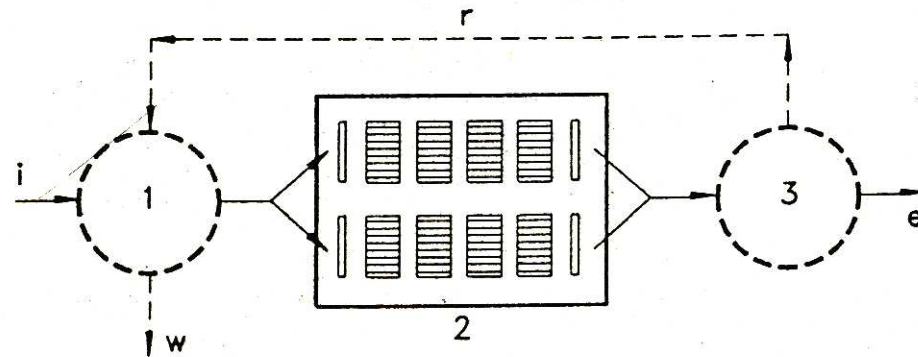


Fig. 120/II – Schema di processo per un sistema a biodischi a quattro stadi. i: influente; e: effluente; r: riciclo fanghi; w: fanghi di spurgo; 1: sedimentatore primario; 2: reattore a biodischi; 3: sedimentatore secondario.

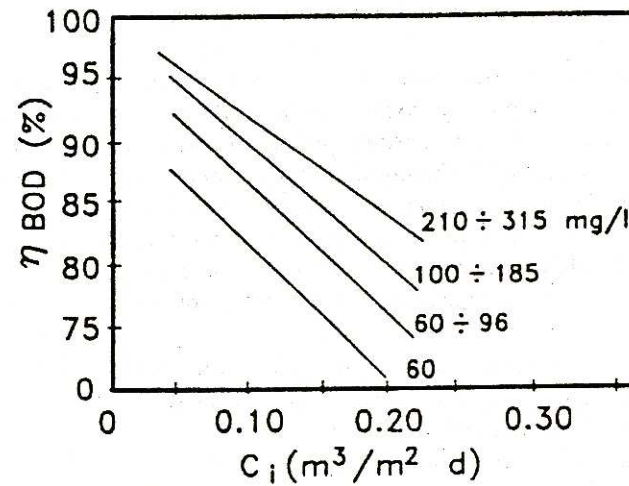


Fig. 121/II – Efficienza di rimozione del BOD₅ in funzione del carico idraulico e della concentrazione di BOD₅ del liquame influente in un sistema biologico a biodischi.

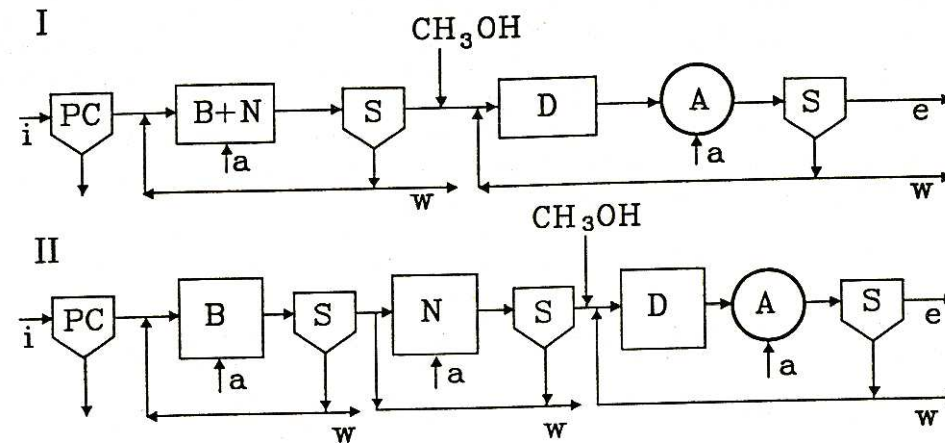


Fig. 122/II – Sistemi separati di nitrificazione-denitrificazione (comprensivi anche della rimozione delle sostanze organiche): sistema a 2 stadi (I) e sistema a 3 stadi (II). PC: sedimentazione primaria; B: ossidazione del carbonio organico; N: nitrificazione; D: denitrificazione; A: riaerazione; S: sedimentazione; i: liquame da trattare; e: effluente; a: aria; w: spurgo dei fanghi di risulta.

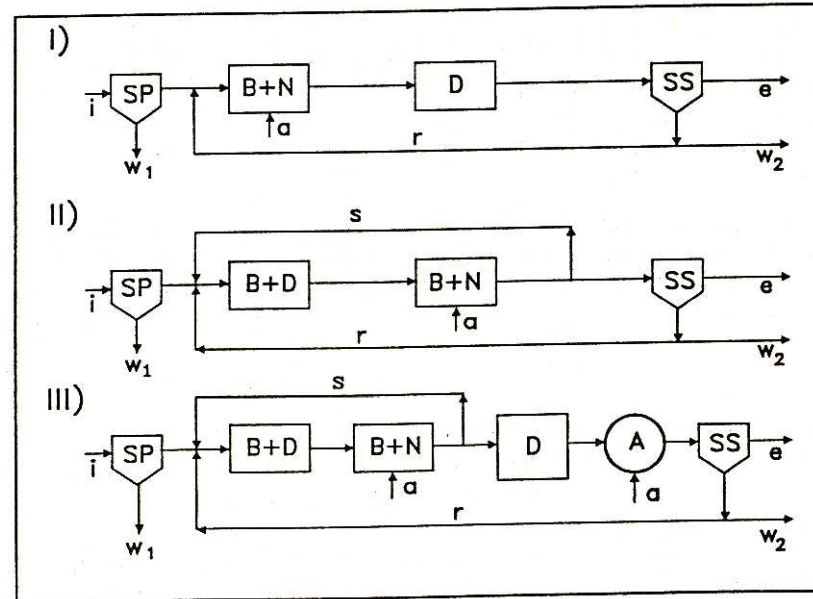


Fig. 123/II – Schemi integrati di rimozione del carbonio organico e dell'azoto: sistema Wuhrmann (I); sistema Ludzack-Ettinger modificato (II); sistema Bardenpho (III). i: liquame da trattare; e: effluente finale; r: riciclo fanghi; a: aria; s: riciclo miscela aerata; w₁: fanghi primari; w₂: fanghi biologici; SP: sedimentazione primaria; B: rimozione del carbonio organico; N: nitrificazione; D: denitrificazione; SS: sedimentazione secondaria; A: riaerazione.

Depurazione con sistemi naturali

- Si intendono i processi di estrema semplicità costituiti da comunità biologiche più varie e dove un ruolo fondamentale è svolto dalle piante acquatiche
- Sistemi di depurazione naturale:
 - Zone umide (naturali o artificiali)
 - Fitodepurazione (sistemi che utilizzano piante acquatiche)

Depurazione con sistemi naturali

- Le zone umide artificiali e la fitodepurazione utilizzano l'azione depurativa selettiva che alcune macrofite emergenti o sommerse) hanno nei riguardi di inquinanti specifici
- La progettazione di una zona umida artificiale si riconduce alle seguenti categorie
 - Sistemi a flusso superficiale (bacini a bassa profondità con fondo impermeabile , contenenti piante acquatiche)
 - Sistemi a flusso sommerso (bacini riempiti di materiale, sabbia o rocce, che sostengono la crescita di piante acquatiche)

Tab. 56/II – Caratteristiche di funzionamento delle zone umide artificiali [156].

PARAMETRO	UNITÀ	TIPO DI SISTEMA	
		flusso superficiale	flusso sommerso
Tempo di ritenzione idraulica	d	4-15	4-15
Profondità	m	0,092-0,610	0,3-0,76
Carico organico	kg BOD ₅ ha ⁻¹ d ⁻¹	< 67,3	< 67,3
Carico idraulico	m ³ m ⁻² d ⁻¹	0,014-0,050	0,014-0,050
Area specifica	ha 10 ⁻³ m ⁻³ d ⁻¹	7,2-2,2	7,2-2,2

Tab. 57/II – Caratteristiche di funzionamento di alcuni sistemi fitodepurativi [156].

CARATTERISTICHE	UNITÀ DI MISURA	GIACINTI D'ACQUA		PIANTE PALUSTRI	
		secondaria aerobia (non aerata)	rimozione nutrienti aerobia (non aerata)	–	–
Tipo		grigliato/sedimentato	grigliato/sedimentato	secondario	effluente laguna facoltativa
Influente	-				
BOD ₅ influente	mg l ⁻¹	130-180	130-180	30	40
Carico organico	kg BOD ₅ ha ⁻¹ d ⁻¹	4,5-9,0	168-336	1,2-4,5	2,2-3,3
Profondità	m	0,46-0,92	0,92-1,22	0,61-0,92	1,22-1,83
Tempo ritenzione idraulica	d	10-36	4-8	6-18	20-25
Carico idraulico	m ³ m ⁻² d ⁻¹	0,019-0,056	0,094-0,128	0,038-0,150	0,056-0,084
Temperatura	°C	>10	>10	>10	>7
Raccolta macrofite	-	annuale o stagionale	quindicinale/continua	quindicinale/continua	mensile/settimanale

Tab. 58/II – Piante acquatiche, e loro proprietà, utilizzate nella costruzione di zone umide [158].

MACROFITA	FORMA DI CRESCITA	HABITAT	ZONA IDONEA PER L'ILLUMINAZIONE	REGIME IDRAULICO	TOLLERANZA ALLA SALINITÀ
<i>Acer negundo</i>	arborea	zone umide forestali	assolata	irrigazione o saturazione regolare o irregolare	acqua dolce, resistente ad acque salate
<i>Acorus calamus</i>	emergente, erbacea	marcite di acqua dolce e salmastra	parzialmente ombreggiata	irrigazione regolare o permanente (< 15 cm)	acque dolci e salmastre
<i>Ainus serrulata</i>	arbustiforme	marcite di acqua dolce e paludi	assolata	irrigazione regolare o stagionale (<7 cm)	acque dolci
<i>Carex spp.</i>	emergente, erbacea	marcite di acqua dolce e paludi, laghi	assolata o ombreggiata	irrigazione irregolare o permanente (< 15 cm)	acque dolci
<i>Ceratophyllum demersum</i>	acquatica sommersa	laghi, acque lente		irrigazione regolare o permanente (< 0,3-1,5 m)	acque dolci
<i>Cyperus esculentus</i>	emergente, erbacea	marcite di acqua dolce, praterie	assolata	irrigazione regolare o irregolare (< 0,3 m)	acque dolci
<i>Eichhornia crassipes</i>	acquatica flottante non radicata	stagni, corsi d'acqua lenti	assolata	irrigazione permanente	acque dolci
<i>Hydrocotyle umbellata</i>	emergente-flottante, erbacea	rive, marcite basse	parzialmente ombreggiata	irrigazione regolare o permanente (< 0,3 m)	acque dolci
<i>Iris versicolor</i>	emergente, erbacea	marcite, praterie umide, paludi	parzialmente ombreggiata	irrigazione regolare o permanente (< 0,15 m)	acque dolci e moderatamente salmastre
<i>Juncus effusus</i>	emergente, flottante	marcite, paludi arbustiflori, praterie umide	assolata	irrigazione regolare o permanente (< 0,3 m)	acque dolci
<i>Lemma minor</i>	acquatica flottante non radicata	laghi e stagni	parzialmente ombreggiata	irrigazione permanente	acque dolci
<i>Nuphar luteum</i>	radicata flottante, erbacea	marcite, paludi, stagni	parzialmente ombreggiata	irrigazione regolare o permanente (fino a 1,8 m)	acque dolci o saltuariamente salmastre

Fonte: R. Marchetti "Ecologia applicata", CittàStudi Edizioni S.r.l., 1993.

MACROFITA	FORMA DI CRESCITA	HABITAT	ZONA IDONEA PER L'ILLUMINAZIONE	REGIME IDRAULICO	TOLLERANZA ALLA SALINITÀ
<i>Nyssa sylvatica</i>	arborea	zone umide forestali, paludi	parzialmente ombreggiata	irrigazione regolare o permanente	acque dolci o saltuariamente salmastre
<i>Phragmites australis</i>	emergente, erbacea	marcite di acqua dolce e salmastra, paludi	assolata	irrigazione stagionale o permanente (fino a 0,6 m)	acque dolci o salmastre
<i>Pontederia cordata</i>	emergente, erbacea	marcite di acqua dolce e salmastra, rive di stagni	parzialmente ombreggiata	irrigazione regolare o permanente (fino a 0,3 m)	acque dolci o moderatamente salmastre
<i>Populus deltoides</i>	arborea	zone umide forestali	assolata	irrigazione stagionale o saturazione	acque dolci o saltuariamente salmastre
<i>Potamogeton nodosus</i>	radicata sommersa, acquatica	torrenti, laghi, stagni		irrigazione regolare o permanente (0,3-1,8 m)	acque dolci
<i>Sagittaria latifolia</i>	emergente, erbacea	marcite di acqua dolce, rive di stagni	parzialmente ombreggiata	irrigazione regolare o permanente (fino a 0,6 m)	acque dolci
<i>Salix nigra</i>	arborea	marcite di acqua dolce, paludi	assolata	irrigazione irregolare o permanente	acque dolci
<i>Scirpus americanus</i>	emergente, erbacea	marcite di acqua salmastra e alcalina	assolata	irrigazione regolare o permanente (fino a 0,3 m)	acque dolci o salmastre
<i>Scirpus validus</i>	emergente, erbacea	marcite, di acqua dolce e salmastra	assolata	irrigazione regolare o permanente (fino a 0,3 m)	acque dolci o salmastre
<i>Sparganium eurycarpum</i>	emergente, erbacea	marcite, paludi, rive di stagni	parzialmente ombreggiata	irrigazione regolare o permanente (fino a 0,3 m)	acque dolci

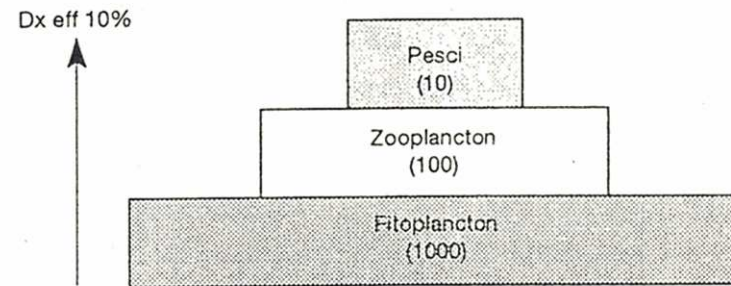


Fig. 124/II – Schema semplificato di una piramide ecologica in termini di energia in un ipotetico ambiente lacustre. L'efficienza di trasferimento è assunta uguale al 10%.

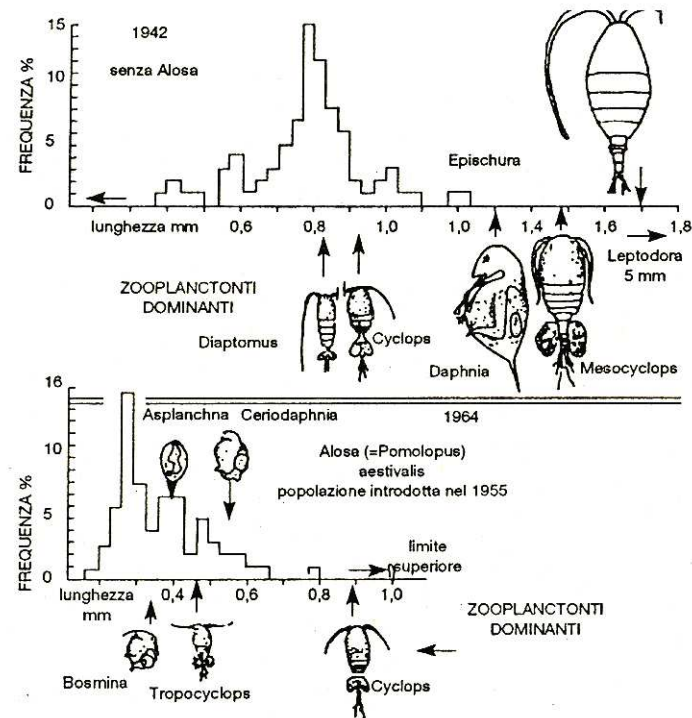


Fig. 125/II – Composizione del popolamento zooplanctonico a Crostacei nel Crystal Lake (Stofford Springs, Connecticut) prima (1942) e dopo (1964) l'introduzione di *Alosa aestivalis*. Ogni quadrato dell'istogramma indica che l'1% dell'intero campione contato è in quel range dimensionale. Gli zooplanctonti di maggiori dimensioni non sono rappresentati negli istogrammi a causa della relativa scarsità di individui adulti. Gli organismi raffigurati rappresentano le dimensioni medie (lunghezza) dei più piccoli individui maturi. Le frecce indicano la posizione del più piccolo stadio maturo di ciascuna specie dominante in relazione agli istogrammi. È incluso il Rotifero predatore *Asplanchna priodonta*, la sola specie non appartenente ai Crostacei; altre specie di rotiferi non sono state considerate [160].

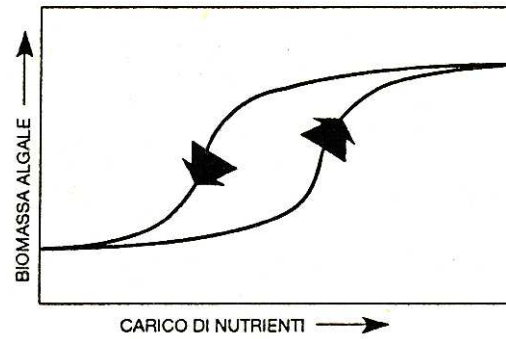


Fig. 126/II – Variazioni della biomassa algale in relazione all'aumento e alla diminuzione del carico di nutrienti [161, ridisegnata].

Tab. 59/II – Principali fattori di controllo in catene alimentari lacustri in due diverse ipotesi di gestione (159).

Anello	Principale fattore limitante	
	A	B
Fitoplancton	nutrienti (P e N)	"grazing"
Zooplancton	predazione	alimento
Pesci planctofagi	alimento	predazione

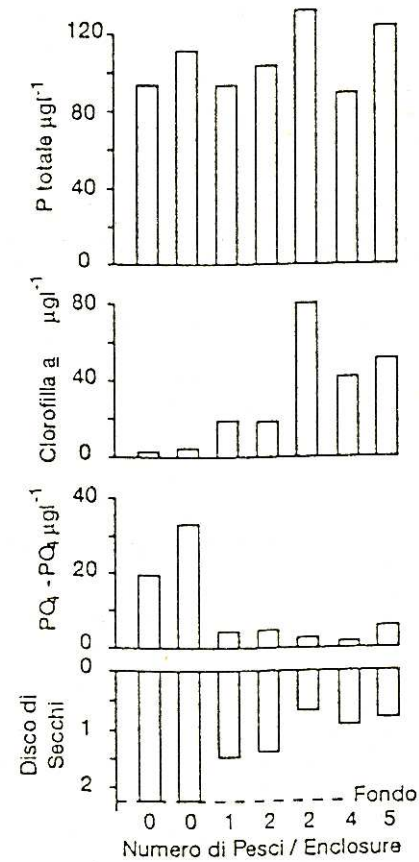


Fig. 127/II – Effetti della presenza di un numero crescente di Pesci zooplanctofagi in microcosmi sperimentali contenenti *Daphnia* [162].

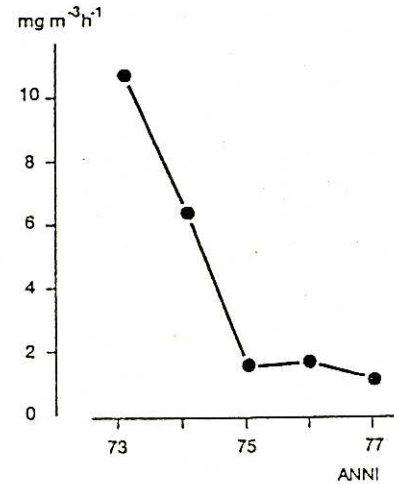


Fig. 128/II – Lago Lilla Stockelidsvatten (Norvegia); valori medi di produzione primaria planc-tonica. L'eliminazione totale della fauna ittica, mediante avvelenamento con rotenone, avven-ne nel novembre 1973 [163].

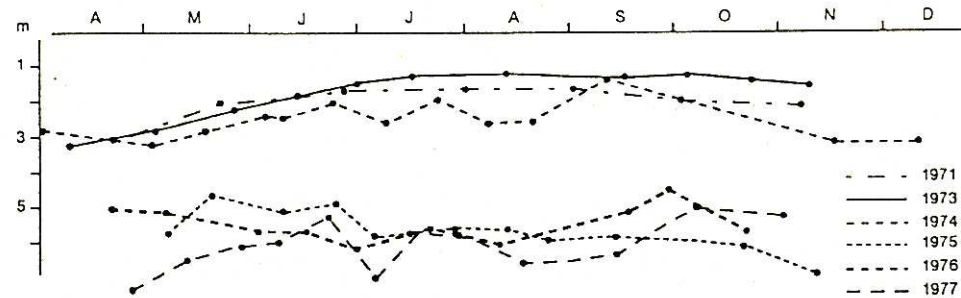


Fig. 129/II – Valori stagionali della trasparenza delle acque nel Lago Lilla Stockelidsvatten pri-ma e dopo l'eliminazione con rotenone della fauna ittica presente nel novembre 1973 (163).

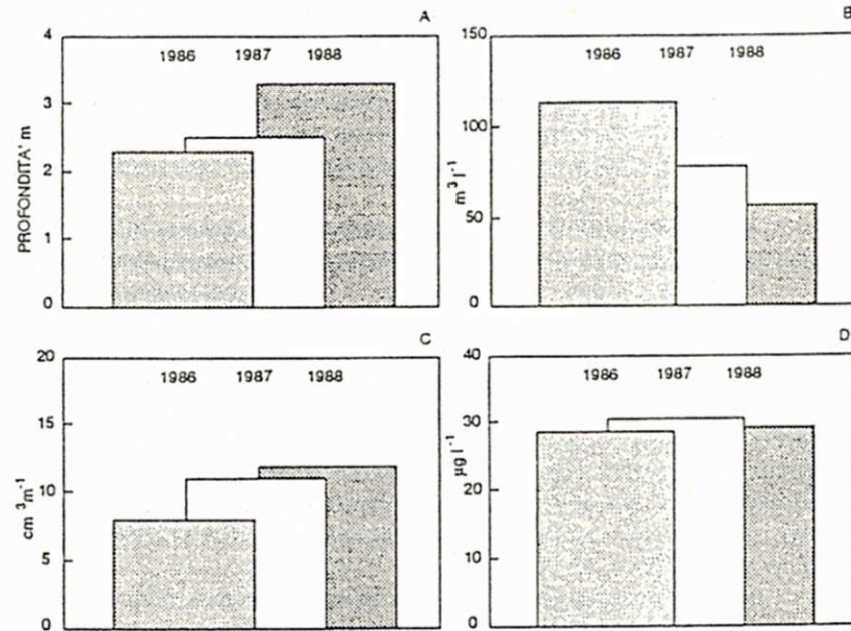


Fig. 130/II – Evoluzione dei valori medi annuali della trasparenza delle acque misurata con il disco di Secchi (A), del biovolume del fitoplancton (B), del biovolume dello zooplancton (C), della concentrazione del fosforo reattivo (D), a seguito della parziale rimozione dell'esuberante popolazione di scardola (*Scardinius erythrophthalmus*) avvenuta alla fine del 1986 [164].

Tab. 60/II – Principali metodologie applicate negli studi di biomanipolazione.

Metodo	Ambienti sperimentali
Microcosmi	L. Emily, L. Trummen and Bysjön, Green L., piccoli bacini artificiali
Eliminazione totale della fauna ittica	Lanche dell'Elbe, L. Lilla Stockelidsvatten, Round L., Pond Habo L., Wirth L., L. Haugatjern
Eliminazione della fauna ittica da una porzione di lago	Piccoli bacini artificiali, L. San Martino
Incremento delle specie ittiche piscivore	Hubenov Reservoir, L. Trummen, Loch Loso, Bacino sperimentale Gräfenhain, Bautzen Reservoir, Wirth L. Round L., L. Lenore, Feldberth Haussee
Eliminazione o alleggerimento numerico di alcune specie ittiche	L. Trummen, Bautzen Reservoir, Feldberg Haussee, L. Candia
Miglioramento delle aree riproduttive	L. Washington con il Fiume Cedar