

## ***4. Indici macrofitici per la valutazione della qualità ecologica dei laghi: MacroIMMI e MTI<sub>species</sub>***

**Alessandro Oggioni<sup>1\*</sup>, Fabio Buzzi<sup>2</sup> e Rossano Bolpagni<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Istituto per lo Studio degli Ecosistemi - CNR, Verbania-Pallanza*

<sup>2</sup>*ARPA Lombardia*

<sup>3</sup>*Dipartimento di Scienze Ambientali - Università di Parma*

\* *Autore per la corrispondenza (a.oggioni@ise.cnr.it)*

### **Ringraziamenti**

*Un particolare ringraziamento va ai colleghi che hanno fornito il loro contributo in termini di suggerimenti, consigli e dati: ARPA Lombardia (Elisa Villa), Istituto per la Ricerca sulle Acque (G. Tartari e E. Buraschi) e Università degli Studi di Milano - Bicocca, Dipartimento Scienze Ambiente e Territorio (R. Caroni e L. Garibaldi).*

## 4.1. Introduzione

A seguito dell'emanazione della Direttiva Quadro sulle acque (*Water Framework Directive*, WFD; *Directive 2000/60/CE*) numerose esperienze sono state condotte in ambito comunitario al fine di elaborare principi e metodologie su cui sostanziare le procedure di valutazione imposte dalla WFD medesima. In particolare, a scala nazionale sono stati elaborati metodi innovativi per la quantificazione dello stato ecologico delle acque lacustri, includendo le macrofite acquatiche tra le biocenosi di riferimento come richiesto dalla normativa comunitaria (CIS, 2003a; *Lakes Intercalibration Expert*, 2006).

Queste attività sono state condotte coerentemente ai dettami elaborati in seno alle commissioni di lavoro (*Working Groups*, WG) create per l'implementazione della WFD all'interno di ciascuno degli Stati Membri (§ 1.1.1, WFD), coordinate dal *Common Implementation Strategy* (CIS). Quanto alle criticità connesse alla comparazione dei principi e dei metodi di valutazione dello stato ecologico, è stato ritenuto necessario creando un apposito gruppo di lavoro (*Intercalibration*, IC; CIS 2004), nell'ambito del *Working Group ECOSTAT* (CIS 2003a), specificatamente dedicato all'armonizzazione e all'intercalibrazione dei metodi. In particolare, il lavoro dell'IC ha affrontato i seguenti argomenti: le condizioni di riferimento, le classi di qualità, i limiti tra classi e le metodologie da impiegare per la valutazione dello stato ecologico.

Il processo d'intercalibrazione è stato condotto su base geografica, previa suddivisione del territorio comunitario in 5 grandi ambiti denominati *Geographical Intercalibration Groups* (GIGs), all'interno dei quali i principi e i metodi valutativi devono essere necessariamente comuni. L'Italia è inclusa in due di questi ambiti: l'*Alpine GIG* e il *Mediterranean GIG*, e ha partecipato attivamente ai processi d'intercalibrazione. Ciò ha imposto lo sviluppo di specifiche metodologie valutative, basate tra l'altro sull'utilizzo delle macrofite, e l'attivazione di protocolli per la raccolta e sistematizzazione delle informazioni ad oggi disponibili relative ai gruppi tassonomici di riferimento a scala di distretto idrografico ed ecoregione. Questa ultima attività è di centrale importanza nelle procedure di verifica e controllo delle metodologie tra Stati Membri inclusi nel medesimo GIG.

Le procedure valutative sviluppate a livello comunitario sono tutti costruite sulla base di uno schema comune (*Lakes Intercalibration Expert* 2006) che utilizza informazioni relative alla composizione tassonomica e abbondanza delle singole specie presenti in un determinato corpo idrico per permetterne la classificazione di qualità. Nel complesso, i dati di composizione e

abbondanza vengono in svariate guise tra loro combinati e/o associati in modo da ottenere una valutazione complessiva dello stato ecologico della tipologia in studio, di solito in modo da ottenere un valore numerico. Questo valore può essere determinato applicando un unico indice che associa composizione e abbondanza, oppure può essere ottenuto mediante l'uso di un indice multimetrico che considera contemporaneamente più fattori legati alla composizione e/o all'abbondanza delle specie macrofite.

Il valore numerico dell'indice, attribuito al corpo lacustre o a parte di esso, deve essere poi confrontato con le condizioni di riferimento definite per la biocenosi in analisi per la specifica tipologia in studio. Questo rapporto (*Ecological Quality Ratios*, EQR) delinea lo stato di conservazione del corpo idrico sulla base della distanza esistente tra il valore del parametro biologico misurato *in situ* e il valore "ideale" riscontrabile nel medesimo tipo lacustre in presenza di condizioni "*pristine*" (vd. All. II, 1.3; All. V, 1.2, 1.2.1 e 1.2.2, WFD; CIS, 2003b). Il rapporto è espresso da un valore numerico compreso tra 0 e 1: lo stato ecologico "elevato" è rappresentato da valori prossimi a 1, al contrario valori che poco si discostano dallo 0 sono rappresentativi dello stato ecologico "pessimo".

In Italia lo studio sistematico delle macrofite lacustri ha una tradizione recente, che può essere fatta risalire ai primi anni '60 del secolo scorso. L'elaborazione d'indici macrofitici per la valutazione della qualità delle acque lacustri ha imposto, pertanto, la messa in opera d'alcuni passaggi fondamentali rivolti specificatamente: **1)** alla redazione di un protocollo comune per guidare la raccolta delle informazioni, così come richiesto dalla WFD; **2)** al recupero e sistematizzazione delle serie storiche di dati disponibili (scarsi) su cui sostanziare la costruzione del *dataset* di riferimento, e **3)** all'attivazione di specifiche campagne di monitoraggio per colmare le ampie lacune conoscitive in alcuni dei principali laghi italiani dell'ecoregione alpina.

Ricordiamo, inoltre, che l'impossibilità di giungere alla formalizzazione di un indice nazionale imporrebbe l'utilizzo dei limiti di classe dell'unico indice elaborato ad oggi in seno al GIG Alpino (Shaumburg, 2007), condizione che avrebbe portato con ogni probabilità a valutazioni non rappresentative per i corpi idrici italiani dell'ecoregione alpina.

I dati utilizzati per l'elaborazione degli indici macrofitici illustrati nel presente documento sono stati raccolti negli ultimi quattro decenni circa (inizio anni '70 - 2008) in 25 distinti ambienti lacustri dell'ecoregione alpina: Alserio, Annone Est (Oggiono), Annone Ovest, Candia, Comabbio, Como, Endine, Ganna, Garda, Garlate, Ghirla, Maggiore, Mergozzo, Mezzola, Monate, Montorfano, Moro, Orta, Piano, Pozzo di Riva, Pusiano, Sartirana, Segrino, Varese e Viverne; complessivamente sono

state censite 61 specie di macrofite.

Per macrofite si intendono tutti gli organismi vegetali con dimensioni macroscopiche (cioè riconoscibili senza l'ausilio di un microscopio ad alta definizione), il cui ciclo vitale avviene interamente, o quasi, in acqua. È una categoria eterogenea che non ha valore tassonomico, in cui sono comprese specie appartenenti ad alghe, briofite, pteridofite e fanerogame. Per quanto riguarda l'ecosistema lacustre, le macrofite sono rinvenibili all'interno della colonna d'acqua nei contesti litoranei, dove si presentano condizioni adeguate alla loro crescita. Le macrofite sono classificabili in base alla forma biologica (Raunkiaer, 1934), ossia alla categoria morfo-funzionale che aggruppa i vegetali in funzione delle risposte morfo-funzionali all'ambiente circostante, in particolare alle condizioni climatiche e micro-edafiche. La forma biologica riconosce, quindi, la capacità delle specie di colonizzare i differenti meso-habitat presenti negli ambienti litoranei o poco profondi dei laghi e permette di ricostruire i transetti distributivi dei singoli *taxa* lungo la sezione trasversale della cuvetta lacustre. Le macrofite sono suddivisibili in tre tipologie morfologiche prevalenti: pleustofite, rizofite ed elofite, cui sono accoppiate differenti forme di crescita (Den Hartog & Segal, 1964; Den Hartog, 1981; Müller, 1992). I *taxa* individuati nei siti campione sono riconducibili alle sole due prime tipologie (pleustofite e rizofite) che rappresentano la compagine idrofita della flora di un bacino lacustre. A loro volta queste tipologie morfologiche possono essere declinate in 4 differenti forme di colonizzazione:

- a. macrofite flottanti non radicate (**Lemnidi, Stratiotidi, Idrocaridi e Ricellidi**), rappresentate da forme completamente galleggianti sull'acqua le cui radici, se presenti, non hanno alcuna funzione di ancoraggio ma unicamente assimilatrice, immerse completamente nella colonna d'acqua (ad esempio, *Lemna* sp.pl., *Wolffia arrhiza*, *Riccia fluitans*, *Stratiotes aloides*, *Hydrocharis morsus-ranae*, *Salvinia* sp.pl., ecc);
- b. macrofite infracquatiche non radicate (**Ceratofillidi**), rappresentate da forme che occupano ambienti del tutto simili alle flottanti, ma le cui strutture trofiche non sono mai emergenti, sono completamente sommerse - includono forme prive di apparato radicale (ad esempio, *Ceratophyllum* sp.pl., *Utricularia* sp.pl., ecc.);
- c. macrofite sommerse radicate natanti (**Vallisneridi, Elodeidi e Miriofillidi**), rappresentate da specie completamente sommerse all'interno della massa d'acqua (non emergenti), ancorate al substrato tramite radici oppure rizoidi; i **vallisneridi** aggruppano le specie a foglie indivise non caulescenti (ad esempio, *Vallisneria spiralis*, *Butomus umbellatus* var. *vallisneriifolia*), gli elodeidi le specie caulescenti (ad esempio, *Elodea* sp.pl., *Callitriche*

sp.pl., *Najas* sp.pl., e alcune specie del genere *Potamogeton*) e, infine, i miriofillidi le specie sommerse a foglie profondamente divise (ad esempio, *Myriophyllum* sp.pl., *Ranunculus tricophyllus* subsp. *trichophyllus*);

- d. macrofite flottanti radicate a foglie galleggianti (**Ninfeidi** e **Batrachidi**), rappresentate da specie ancorate al substrato che presentano foglie e organi riproduttivi galleggianti o emergenti al di sopra della superficie dell'acqua; colonizzano zone a profondità assai variabile (dagli ambienti litoranei fino a 3-4 m di profondità) e possono presentare eterofilia (ossia possedere foglie sommerse morfologicamente diverse da quelle emergenti) come adattamento morfologico (ad esempio, *Nuphar lutea*, *Nymphaea* sp.pl., alcune specie del genere *Potamogeton*).

Alcune delle specie individuate possono essere considerate delle anfitite (macrofite radicate anfibie), ai fini della classificazione utilizzata nella redazione degli indici questi *taxa* sono da ricondurre al gruppo funzionale corrispondente alla forma acquatica.

I 25 ambienti lacustri indagati possono essere a loro volta ripartiti, in funzione della posizione geografica, della quota e della morfologia, in 2 macrotipi che includono 4 tipologie distinte: L-AL3 (tipologia corrispondente a laghi profondi con profondità massima superiore a 125 m) e L-AL4, L-AL5 e L-AL6 (tipologie corrispondenti a laghi poco profondi con profondità massima minore o uguale a 125 m).

I dati processati hanno permesso di formalizzare due distinti indici macrofitici, presentati di seguito, che saranno sottoposti a processo d'intercalibrazione nel prossimo esercizio. Si è proceduto, infatti, alla definizione di un indice basato esclusivamente sulle valenze trofiche delle specie macrofitiche (*MTI<sub>species</sub>*) e di un indice multimetrico (*MacroIMMI*). Il primo indice potrà essere utilizzato solo per i laghi di tipo L-AL3, mentre il secondo valuterà la qualità dei soli laghi appartenenti alle tipologie L-AL4, L-AL5 e L-AL6. Questi indici non possono essere applicati per lo studio dei corpi idrici lacustri mediterranei, i dati utilizzati per la loro definizione sono limitati a siti inclusi nell'*Alpine GIG* delimitandone geograficamente, in tal modo, l'applicabilità.

## 4.2. Campo di applicazione

I dati utilizzati nel presente documento si riferiscono a corpi idrici inclusi nella sola ecoregione alpina (*Alpine GIG*) appartenenti solo a 4 tipologie lacustri [laghi di profondità massima superiore a 125 m (L-AL3) e laghi poco profondi con profondità massima minore o uguale a 125 m (L-AL4, L-AL5 e L-AL6), anche polimitici], di conseguenza il campo di applicazione degli indici di seguito illustrati è limitato a questo ristretto ambito geografico e ai tipi lacustri sopraccitati.

Nonostante la fase di indicizzazione sia stata condotta su una serie robusta di dati, riferiti a 25 ambienti lacustri e 61 specie complessive, il *dataset* costruito ai fini dell'indicizzazione presenta alcuni non trascurabili condizionamenti. In primo luogo, dovendo testare gli intervalli di tolleranza delle specie macrofite verso la pressione trofica, alcuni dei parametri chimico-fisici indagati presentano una minima variabilità tra siti. Ad esempio, se consideriamo la concentrazione di fosforo totale misurata alla circolazione, ben il 50% degli ambienti si colloca in un intervallo molto limitato compreso tra 14 e 72  $\mu\text{g l}^{-1}$  (Fig. 6), ambito che corrisponde a condizioni meso- ed eutrofiche. Peraltro, nessuno degli ambienti analizzati può essere rappresentativo delle condizioni di riferimento, nemmeno utilizzando il *set* di dati storici acquisiti.

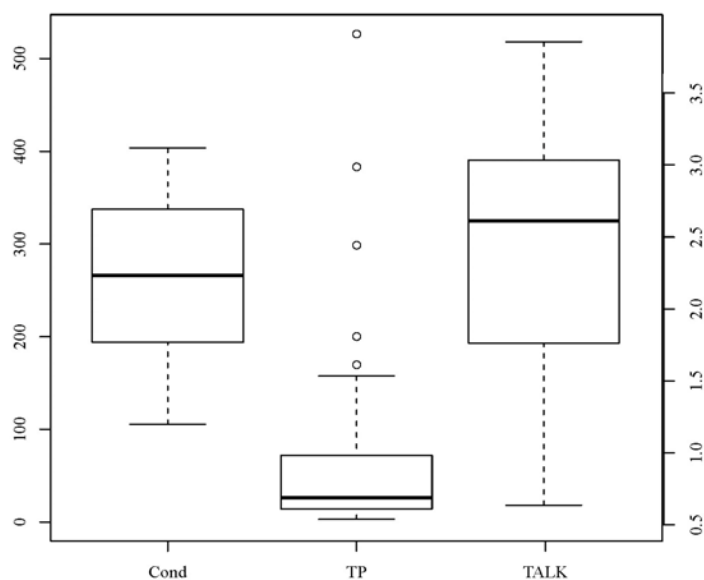


Fig. 6. Distribuzione delle variabili chimiche, quali conducibilità (Cond,  $\mu\text{S cm}^{-1} 20^\circ\text{C}$ ), fosforo totale (TP,  $\mu\text{g l}^{-1}$ ) e alcalinità totale (TALK,  $\text{meq l}^{-1}$ , riferito all'asse a destra), misurate alla circolazione.

Gli indici presentati possono essere applicati previa verifica della composizione floristica del sito in studio:

- se si rinvencono numerose specie non riportate nella tabella sinottica delle macrofite allegata al presente documento (Tab. 7), specie che vanno considerate non indicative, l'indice potrebbe produrre valutazioni inattendibili; si fissa il valore limite del 25% in specie non indicative per considerare le valutazioni attendibili, superata questa soglia ( $\leq$  al 25% del corteggio floristico) l'indice non può essere ritenuto valido.
- se si rinvencono numerose specie esotiche, indicate come tali nella lista delle specie aliene *sensu* Celesti *et al.* (2009) e Cardoso & Free (2008), le valutazioni prodotte dagli indici devono essere rimodulate; si fissa il valore limite del 70% in frequenza di specie aliene per considerare le valutazioni attendibili, superata questa soglia ( $\geq$  al 70% del corteggio floristico) la valutazione prodotta dal calcolo degli indici va ridotta di 0,25.

Gli indicatori (e i valori relativi agli EQR) dovranno essere sottoposti ad un'ulteriore fase di ricalibrazione nel momento in cui si disporrà dei dati del monitoraggio esteso a tutto il territorio nazionale (riferiti ai singoli GIG presenti e/o nel loro complesso); contemporaneamente si procederà all'individuazione dei siti di riferimento per le tipologie censite.

#### **4.3. Stato dell'arte**

Nell'ambito del progetto WISER e nel corso del precedente esercizio d'intercalibrazione è stato possibile analizzare la struttura degli indici utilizzati ad oggi negli Stati Membri coinvolti nei GIGs, riconducibili nel complesso a due tipologie generali:

##### 1) indici basati sulle esigenze trofiche delle specie macrofite

Esemplificativo di tale tipologia è l'Indice Tedesco o *Reference Index* (Shaumburg, 2007), costruito sulla base di un *dataset* molto ampio (Melzer, 1999; Stelzer, 2005), un indice che ha permesso di classificare i laghi tedeschi, divisi in 5 tipologie, sulla base di 3 categorie di specie: indifferenti e quindi non indicatrici (categoria B), indicatrici di condizioni di alta trofia (categoria C) e indicatrici di bassi stati trofici (categoria A). La quantità, intesa come abbondanza al cubo, di tutte le specie rilevate determinano la qualità dell'ambiente lacustre.



## 2) indici basati su più metriche

Numerosi nazioni hanno adottato indici di questo tipo, secondo l'idea che più metriche possono fornire una indicazione maggiormente precisa sullo stato di qualità di un lago che un valore singolo, anche se riferito direttamente alla struttura delle comunità. Infatti, metriche quali l'abbondanza e la composizione potrebbero non essere sufficienti per giungere ad una valutazione corretta dello stato di conservazione del tipo lacustre. La composizione di un indice multimetrico e delle metriche associate sono state testate da Hering *et al.* (2006).

Le proposte elaborate per la realtà italiana sono coerenti con le tipologie di indici sopraccitate, in accordo a quanto stabilito nel protocollo di campionamento proposto (Gruppo di lavoro per l'armonizzazione dei metodi biologici, 2006). Ciò permetterà di affrontare il prossimo esercizio di intercalibrazione con cauto ottimismo dato che le tipologie di dati finora raccolti sono facilmente utilizzabili anche nelle tipologie di indici sopraelencati. Essenziale per il buon fine dell'intercalibrazione sarà la campagna di monitoraggio da compiersi nella stagione vegetativa (primavera-estate) del 2010.

### **4.4. Formulazione e utilizzo degli indici**

Gli indici proposti sono stati costruiti utilizzando due metodi distinti: l'impiego delle medie ponderate per l' $MTI_{species}$  e l'uso di un approccio multimetrico per il *MacroIMMI*, tra le cui metriche è stato considerato anche uno score trofico calcolato come abbondanza media ponderata dei *taxa* vs la concentrazione di fosforo totale ( $s_k$ ) alla circolazione. Entrambi gli indici sono stati calcolati a partire dai dati elencati in Appendice A, secondo le modalità descritte in Appendice B.

#### 4.4.1 $MTI_{species}$ (Macrophytes Trophic Index species)

L'indice ( $MTI_{species}$ ) è applicabile per la sola tipologia L-AL3 utilizzando i dati relativi alle sole specie indicatrici (riportate in tabella 6). Il valore dell'indice si ricava a partire dal valore di abbondanza di ciascuna k-esima specie ( $A_k$ ) rinvenuta nel lago e dal valore trofico ( $v_k$ ) della stessa k-esima specie ricavato dalla tabella 1.

$$MTI_{species} = \frac{\sum A_k \cdot v_k}{\sum A_k}$$

Come precedentemente ricordato, e' necessario verificare che le specie considerate indicative rappresentino almeno il 75% del totale delle specie rinvenute, se così non fosse l'indice non può essere utilizzato. Qualora la compagine di specie alloctone mostrasse frequenze superiori al 70% l'indice va ridotto di un fattore pari a 0,25. I valori trofici saranno oggetto di continua verifica e aggiornamento a seguito dell'implementazione del *database* sulla base delle campagne di monitoraggio promosse ai sensi della WFD.

#### 4.4.2 MacroIMMI (Macrophytes Italian MultiMetrics Index)

L'indice (*MacroIMMI*) è applicabile per la tipologie L-AL4, L-AL5 e L-AL6; per i corpi idrici L-AL4 sono sufficienti i dati relativi alle sole specie presenti in tabella 8 (abbondanza, calcolata come indicato nell'Appendice B, e frequenza), mentre per gli ambienti lacustri di tipo L-AL5 e L-AL6 a tali informazioni si deve aggiungere il dato di massima profondità di crescita.

A partire dal valore di abbondanza di ciascuna k-esima specie ( $A_k$ ) rinvenuta nel lago e dal valore trofico ( $v_k$ ) della stessa k-esima specie ricavato dalla tabella 7 è possibile ricavare il valore di punteggio trofico (score trofico,  $s_k$ ).

$$s_k = \frac{\sum A_k \cdot v_k}{\sum A_k}$$

I valori trofici delle specie ( $v_k$ ) da utilizzare nel calcolo del punteggio trofico ( $s_k$ ) variano al variare dell'alcalinità dell'ambiente lacustre che si sta monitorando. Se il valore di alcalinità media sulla colonna d'acqua, espressa in milli equivalenti litro (meq l<sup>-1</sup>) e misurata alla circolazione (preferibilmente nel mese di febbraio) è  $\geq 2,40$  meq l<sup>-1</sup> si dovranno utilizzare i valori trofici riportati nella seconda colonna della tabella 1, mentre per valori inferiori vanno impiegati i dati della terza colonna della medesima tabella.

A partire dalla frequenza, intesa come rapporto percentuale tra il numero di punti con vegetazione ( $n_k$ ) e il numero totale di punti ( $n_{tot}$ ) campionati con e senza vegetazione compresi entro la massima profondità di crescita, sarà possibile calcolare la frequenza delle specie sommerse (*som*), delle specie esotiche (*exot*) *sensu* Celesti *et al.* (2009) e Pignatti (1982), e la diversità ( $S_d$ ) attraverso le seguenti formule:

$$som = \sum \left( \frac{f_{k_{som}}}{\sum f_k} \cdot 100 \right)$$

dove

$$f_{k_{som}} = \frac{n_{k_{som}}}{n_{tot}} \cdot 100 \quad \text{e} \quad f_k = \frac{n_k}{n_{tot}} \cdot 100$$

$$exot = 100 - \sum \left( \frac{f_{k_{exot}}}{\sum f_k} \cdot 100 \right)$$

dove

$$f_{k_{exot}} = \frac{n_{k_{exot}}}{n_{tot}} \cdot 100 \quad \text{e} \quad f_k = \frac{n_k}{n_{tot}} \cdot 100$$

$$S_d = \left[ 1 - \sum \left( \frac{\frac{f_k}{\sum f_k} \cdot 100}{100} \right)^2 \right] \cdot 100$$

dove

$$f_k = \frac{n_k}{n_{tot}} \cdot 100$$

La massima profondità di crescita ( $z_{c-max}$  in metri), da utilizzare esclusivamente per i laghi di tipo L-AL5 e L-AL6, è intesa come la massima profondità di colonizzazione raggiunta *in situ* da una qualunque delle specie rinvenute, non considerando esclusivamente le specie indicatrici.

Le singole metriche calcolate per permettere il calcolo dell'indice dovranno essere normalizzate secondo la seguente formula:

$$v_{norm} = \frac{v_m - v_{min}}{v_{max} - v_{min}}$$

dove per  $v_m$  si intende il valore ottenuto per il corpo idrico in oggetto, per  $v_{min}$  il valore del limite di classe tra la cattiva e la pessima e per  $v_{max}$  il valore del limite di classe tra l'alta e la buona.

L'indice, infine, non è che il valore medio delle metriche sopra descritte (per i laghi di tipologia L-AL4) secondo la seguente formula:

$$MacroIMMI = \frac{som + exot + S_d + s_k}{4}$$

quanto per i laghi di tipologia L-AL5 e L-AL6, a tale calcolo sarà necessario aggiungere la massima profondità di crescita ( $z_{c-max}$ ) secondo la formula:

$$MacroIMMI = \frac{som + exot + S_d + s_k + z_{c-max}}{5}$$

Tab. 7. Elenco dei valori trofici ( $v_k$ ) delle diverse entità ritrovate per i tipi lacustri analizzati; per le tipologie L-AL4, L-AL5 e L-AL6 la classificazione e' funzione dell'alcalinità (vd. testo per ulteriori approfondimenti).

Specie	$v_k$ - L-AL3	$v_k$ - L-AL4, AL5 e AL6	
		Alk $\geq$ 2,40 meq·l <sup>-1</sup>	Alk < 2,40 meq·l <sup>-1</sup>
<i>Ceratophyllum demersum</i>	0,37	0,34	0,36
<i>Chara globularis</i>	0,78	0,40	0,74
<i>Chara sp.</i> (non <i>C. globularis</i> )	0,56	0,59	-
<i>Lagarosiphon major</i>	0,64	-	0,59
<i>Myriophyllum spicatum</i>	0,47	0,35	0,43
<i>Najas marina</i>	0,43	0,39	-
<i>Nelumbo nucifera</i>	0,25	0,12	0,04
<i>Nuphar lutea</i>	0,35	0,35	0,06
<i>Nymphaea alba</i>	0,46	0,36	0,39
<i>Nymphoides peltata</i>	0,37	-	0,10
<i>Persicaria amphibia</i>	0,66	0,33	0,01
<i>Potamogeton crispus</i>	0,43	0,39	0,28
<i>Potamogeton lucens</i>	0,46	0,34	0,35
<i>Potamogeton perfoliatus</i>	0,37	0,27	0,4
<i>Potamogeton pusillus</i>	0,47	0,42	0,31
<i>Trapa natans</i>	0,32	0,32	0,16
<i>Vallisneria spiralis</i>	0,46	0,47	0,31

Analogamente a quanto premesso per il calcolo dell'indice  $MTI_{species}$ , anche per l'indice  $MacroIMMI$  le specie considerate indicative devono rappresentare almeno il 75% del totale delle specie rinvenute, se così non fosse l'indice non può essere utilizzato. Se la frequenza delle specie alloctone è superiore al 70% l'indice va diminuito di un fattore pari a 0,25. I valori trofici saranno oggetto di continua verifica e aggiornamento a seguito dell'implementazione del *database* sulla base delle campagne di monitoraggio promosse ai sensi della WFD.

#### 4.5. Definizione dei siti di riferimento

Gli indici presentati non sono stati ad oggi intercalibrati, e le diverse tipologie lacustri analizzate non possiedono un proprio specifico sito di riferimento per le macrofite in ambito nazionale. Non è stato possibile, infatti, individuare nell'ecoregione alpina italiana ambienti “*pristine*” o con livelli di alterazione trascurabili e compatibili con un elevato stato ecologico. Sulla base di queste riflessioni, l'intercalibrazione assume un'importanza centrale nel più generale processo di definizione delle condizioni di riferimento e dei limiti di classe ecologica. Al termine dell'intercalibrazione sarà, infatti, possibile assumere come siti di riferimento per i nostri corpi idrici lacustri quelli ad oggi individuati per l'Austria e la Germania (all'interno dell'*Alpine GIG*).

#### 4.6. Conclusioni

I due indici proposti (*MTI<sub>species</sub>* e *MacroIMMI*) sono stati formalizzati sulla base delle indicazioni fornite dai gruppi di lavoro coinvolti nelle procedure di implementazione della WFD a livello degli Stati Membri (WG, CIS, IC); peraltro, i dati acquisiti per il calcolo dei due indici sopraccitati sono compatibili con le metriche proposte dagli Stati coinvolti nell'*Alpine GIG* consentendoci di poter partecipare attivamente ai futuri esercizi d'intercalibrazione.

In entrambi i casi, la qualità di un corpo idrico lacustre è determinata sulla base al livello di adattamento morfo-funzionale evoluto dai diversi *taxa* macrofitici in risposta al variare delle condizioni trofiche: nel caso del *MacroIMMI* il livello di adattamento (valore trofico) è mediato dalla *performance* di altre metriche accessorie, nel caso del *MTI<sub>species</sub>* esso rappresenta il dato chiave per il calcolo dell'indice data l'impossibilità di individuare limiti coerenti di classe per metriche differenti alla composizione e abbondanza delle specie.

**E' possibile affermare, dunque, che gli indici proposti rappresentano strumenti essenziali per procedere alla valutazione dello stato ecologico di un corpo idrico lacustre per quanto riguarda la componente macrofite, coerentemente a quanto imposto dalla WFD, fornendo un adeguato livello di garanzia per quanto riguarda l'attendibilità della valutazione medesima.**

Non vanno, comunque, nascosti i limiti associati alla natura del *dataset* storico utilizzato, in particolare rispetto alla robustezza delle valutazioni trofiche ed ecologiche relative alle singole

specie individuate. Infatti, gli ambienti analizzati mostrano un *range* eccessivamente limitato per quanto riguarda i parametri chimico-fisici indagati, in particolare per quanto riguarda i nutrienti. Inoltre, l'impossibilità di procedere all'individuazione di siti di riferimento non consente di attuare estrapolazioni generali sul comportamento trofico-ecologico dei *taxa* individuati. La limitata variabilità tassonomica rilevata limita, infine, l'applicabilità dei metodi, specificatamente per quei siti che si possono trovare in stati di conservazione buono o eccellente, ove le specie presenti possono essere differenti da quelle riportate nella tabella ad oggi elaborata. Tali riflessioni pongo la necessità di ampliare il *set* di ambienti indagati, in modo da comprendere un sempre maggior numero di ambienti lacustri dell'ecoregione alpina.

#### 4.7. Bibliografia

- Cardoso, A.C. and G. Free. 2008. Incorporating invasive alien species into ecological assessment in the context of Water Framework Directive. *Acquatic Invasions*. 3 (4): 361-366.
- Celesti-Grapow L., Pretto F., Brundu G., Carli E. and Blasi C. 2009. Plant invasion in Italy - an overview. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Direzione Protezione della Natura. Palombi & Partner Srl, Roma.
- CIS, 2003a. Overall Approach to the Classification of Ecological Status and Ecological Potential. Working Group 2.A, Ecological Status (ECOSTAT). Final version, 5 November 2003. 47 pp.
- CIS, 2003b. Rivers and Lakes - Typology, Reference Conditions and Classification Systems. Working Group 2.3, REFCOND. Final version, 78 pp.
- CIS, 2004. Overview of common Intercalibration types. Working Group 2.A, Ecological Status (ECOSTAT). Final version, 23 April 2004. 38 pp.
- Den Hartog C., 1981. Synecological classification of aquatic plant communities – Colloques phytosociologiques 10 “Végétation aquatiques”: 171-182.
- Den Hartog C., Segal S., 1964. A new classification of the water plant communities – Acta Botanica Neerlandica, 13: 367-393.
- Directive of the European Parliament and of the Council 23 October 2000 n. 60. Framework for Community action in the field of water policy. Official Journal European Communities n. 327, 22/12/2000: 72 pp.
- Gruppo di lavoro per l'Armonizzazione dei metodi biologici per le Acque Superficiali – Sottogruppo “Laghi”. 2007. Protocollo di campionamento di macrofite acquatiche in ambiente lacustre. [http://www.apat.gov.it/site/it-IT/APAT/Pubblicazioni/metodi\\_bio\\_acque.html](http://www.apat.gov.it/site/it-IT/APAT/Pubblicazioni/metodi_bio_acque.html)
- Hering, D., C.K. Feld, O. Moog and T. Ofenböck. 2006. Cook book for the development of a Multimetric Index for biological condition of aquatic ecosystems: Experiences from the European AQEM and STAR projects and related initiatives. *Hydrobiologia*. 566: 311-324.
- Lakes Intercalibration Expert. (non pubbl.). Draft Report from Macrophyte Group. Lakes Intercalibration Expert Workshop. Ispra (VA) 26-27 October 2006.

- Müller T., 1992. Klasse: Lemnetaea (Lemnetaea minoris). In: Oberdorfer E. (Editor). Süddeutsche Pflanzengesellschaften, Teil I, 3. Aufl., Fischer, Stuttgart: 67-77.
- Pignatti, S. 1982. La Flora d'Italia. (3 vol). Edagricole, Bologna.
- Raunkiaer O. 1934. Life forms and terrestrial plant geography. Clarendon Press, Oxford.
- Shaumburg, J., C. Schranz, D. Stelzer & G. Hofmann. 2007. Action Instructions for the ecological Evaluation of Lakes for Implementation of the EU Water Framework Directive: Makrophytes and Phytobenthos.

## Appendice A. Dati Utilizzati

Elenco dei laghi inclusi nelle procedure di tipizzazione (per i due differenti indici) con i rispettivi anni di campionamento e analisi.

### MTI<sub>species</sub>

Alserio	1972-1973	1985	1999	2006	
Annone Est (Oggiono)	1972-1973	1985			
Annone Ovest	1972-1973	1985			
Candia			2007	2008	2009
Comabbio		1985	1999	2006	2008
Como			1999	2008	
Endine		1985	2008		
Ganna			2008		
Garda			1999	2000	
Garlate			2008		
Ghirla		1985	2008		
Maggiore	1976-1977		1999	2009	
Mergozzo			1999		
Mezzola		1985			
Monate	1971-1974	1985	2008		
Montorfano	1972-1973	1985	1999	2006	
Moro		1985			
Orta			1999	2007	
Piano		1985			
Pusiano	1972-1973	1985	1999	2006	
Sartirana	1974				
Segrino	1972-1973	1985	1999	2006	2008
Varese		1985	2008		
Viverone			1999	2007	

### MacroIMMI

Alserio	1972-1973	1985	1999	2006	
Annone Est (Oggiono)	1972-1973	1985			
Annone Ovest	1972-1973	1985			
Candia			2007	2008	2009
Comabbio		1985	1999	2006	2008
Endine		1985	2008		
Ganna			2008		
Garlate			2008		
Ghirla		1985	2008		
Mezzola		1985			
Monate	1971-1974	1985	2008		
Montorfano	1972-1973	1985	1999	2006	
Moro		1985			
Piano		1985			
Pusiano	1972-1973	1985	1999	2006	
Sartirana	1974				
Segrino	1972-1973	1985	1999	2006	2008
Varese		1985	2008		



## **Appendice B. Esempio di calcolo degli indici**

### Applicazione protocollo:

Il procedimento d'indagine per ciascun corpo d'acqua si compone di 4 fasi:

1. Raccolta preliminare di informazioni circa la presenza di macrofite attraverso la consultazione dei frequentatori e dei fruitori del lago e la ricerca bibliografica.
2. Individuazione dei siti in base alle informazioni raccolte nel corso della fase 1 e all'esito di perlustrazioni propedeutiche al campionamento.
3. Descrizione delle caratteristiche ambientali dei siti e del territorio a ridosso dei siti medesimi.
4. Esecuzione delle osservazioni o dei campionamenti lungo i transetti.

La quarta fase prevede che i campionamenti siano svolti ispezionando transetti perpendicolari alla riva, percorrendoli dalla zona litoranea verso il punto di massima profondità. L'ispezione va effettuata con la barca posizionata (ancorata) in corrispondenza dei diversi intervalli di profondità, per ciascuno dei quali vanno effettuati 4 campionamenti distinti: uno verso prua ed uno verso poppa, per ognuno dei due lati della barca. L'ispezione deve consentire di rilevare le specie presenti e l'abbondanza di ciascuna.

### Procedura del calcolo delle diverse metriche e dell'indice:

Di seguito si ripercorre passo-passo la procedura di calcolo delle metriche e degli indici, a conclusione della spiegazione si allega un esempio pratico.

- 1) Completare le schede di campagna allegate al protocollo di campionamento.
- 2) Calcolare il valore dell'abbondanza relativa di ciascuna specie all'interno degli intervalli di profondità individuati sulla base della presenza/assenza del *taxon* nei 4 punti di campionamento previsti per ciascun intervallo di profondità (tabella 8).

Tab. 8. Criterio per la determinazione dell'abbondanza.

Abbondanza della specie	Descrizione
0	Assente in tutti e 4 i rilevamenti effettuati
1	Presente in 1 solo rilevamento su 4
2	Presente in 2 rilevamenti su 4
3	Presente in 3 rilevamenti su 4
4	Presente in 4 rilevamenti su 4

- 3) Calcolare, per ciascuna specie rinvenuta lungo il transetto, il valor medio dell'abbondanza. Nel calcolare quest'ultimo parametro, vanno mediati anche valori di abbondanza uguali a 0 quando nello stesso punto sul transetto è presente una qualsiasi altra specie macrofita  
Esempio (Appendice C): nel sito 3, l'abbondanza media di *Myriophyllum spicatum* (Ms) sul transetto numero 3 (T3) è calcolata comprendendo gli zeri relativi alle profondità di 5-6 m poiché sullo stesso transetto è presente *Ceratophyllum demersum* (Cd) fino alla profondità di 5,5 m.
- 4) Calcolare l'abbondanza media di ciascuna specie all'interno del sito, come media delle abbondanze medie calcolate nel punto 3.
- 5) Calcolare l'abbondanza media di ciascuna specie ( $k$ ) nel lago ( $A_k$ ), come media ponderata su tutta la costa occupata dalle piante. Secondo la formula:

$$A_k = \frac{\sum_{i=1}^n (A_i \cdot E_i)}{\sum_{i=1}^n E_i}$$

dove  $A_i$  è l'abbondanza della stessa specie  $n$  nel sito  $i$ -esimo e  $E_i$  è l'estensione in metri del sito  $i$ -esimo.

Esempio: l'abbondanza di *Myriophyllum spicatum* (Ms) nell'intero lago è stata calcolata come:

$$A_{(Ms)} = \frac{(3,2 \cdot 262) + (2,5 \cdot 46) + (2,7 \cdot 852)}{(262 + 46 + 852)} = 2,81$$

In questo caso il numero di siti con vegetazione sono 3 e si sviluppano per una lunghezza totale di 1.160 m, come somma tra i 262 m del primo sito, 46 m del secondo e 852 del terzo sito. Ipotizzando

che il resto del lago le piante siano assenti, se così non fosse occorrerebbe sommare la lunghezza degli di altri siti con altre specie diverse da *Myriophyllum spicatum*.

### ***MTI<sub>specie</sub>***

- 6) Calcolare il valore dell'indice *MTI<sub>specie</sub>*, sulla base del calcolo dell'abbondanza di tutte le specie rinvenute, per i laghi di tipo L-AL3:

$$MTI_{specie} = \frac{\sum A_k \cdot v_k}{\sum A_k}$$

Esempio (Appendice C): le abbondanze delle specie rinvenute sull'intero lago (3,00 per *Myriophyllum spicatum* (Ms), 1,36 per *Ceratophyllum demersum* (Cd), 0,90 per *Nelumbo nucifera* (Nu) e 0,27 per *Trapa natans* (Tn)), sono stati moltiplicati per il rispettivo valore trofico ( $v_k$  – cfr. tabella 7) e poi tra loro sommati ottenendo il valore di 2,22, questo diviso per la somma delle abbondanze (5,53) fornisce il valore dell'indice *MTI<sub>specie</sub>* di 0,40:

$$MTI_{specie} = \frac{(3,00 \cdot 0,47) + (1,36 \cdot 0,37) + (0,90 \cdot 0,25) + (0,27 \cdot 0,32)}{(3,00 + 1,36 + 0,90 + 0,27)} = \frac{2,22}{5,53} = 0,40$$

### ***MacroIMMI***

- 7) Calcolare le diverse metriche per l'indice *MacroIMMI*, applicabile per i soli corpi idrici di tipo L-AL4, L-AL5 e L-AL6 (prestare attenzione alla specificità della metriche).
- 8) Calcolare il punteggio trofico ( $s_k$ ) come sommatoria dei prodotti tra le abbondanze di ciascuna specie e i relativi valori trofici ( $v_k$ ), dividendo per la somma dell'abbondanza di tutte le specie secondo la formula:

$$s_k = \frac{\sum A_k \cdot v_k}{\sum A_k}$$

dove  $A_k$  è l'abbondanza della specie k e  $v_k$  è il valore trofico della specie k, tenendo conto del valore di alcalinità del tipo lacustre.

Esempio: considerando di poter utilizzare lo stesso esempio citato in precedenza (Appendice C), le abbondanze delle specie rinvenute sull'intero lago (3,00 per *Myriophyllum spicatum* (Ms), 1,36 per *Ceratophyllum demersum* (Cd), 0,90 per *Nelumbo nucifera* (Nu) e 0,27 per *Trapa natans* (Tn)), sono stati moltiplicati per i rispettivi valori trofici ( $v_k$  - tabella 7), per un lago con alcalinità maggiore o uguale a 2,40, e poi tra loro sommati ottenendo il valore di 1,72, questo diviso per la somma delle abbondanze (5,53) fornisce il valore

della metrica  $S_k$  equivalente a 0,31:

$$S_k = \frac{(3,00 \cdot 0,35) + (1,36 \cdot 0,34) + (0,90 \cdot 0,12) + (0,27 \cdot 0,32)}{(3,00 + 1,36 + 0,90 + 0,27)} = \frac{1,72}{5,53} = 0,31$$

- 9) Calcolare la frequenza di tutte le specie k-esime, intesa come rapporto percentuale tra il numero di punti con vegetazione ( $n_k$ ) e il numero totale di punti ( $n_{tot}$ ) campionati con e senza vegetazione compresi entro la massima profondità di crescita.

$$f_k = \frac{n_k}{n_{tot}} \cdot 100$$

Esempio: come esemplificazione il numero totale di punti può essere considerato come tutti gli intervalli di profondità, campionati e non campionati, compresi entro la massima profondità di crescita delle piante moltiplicato per il numero di transetti effettuati: 6 intervalli (da 0-1 a 5-6 m), moltiplicato per 7 transetti equivale a 42 punti totali ( $n_{tot}$ ) entro la massima profondità di crescita.

Ogni specie avrà un numero totale di punti ( $n_k$ ) in cui è stata rilevata: 33 per *Myriophyllum spicatum* (Ms), 21 per *Ceratophyllum demersum* (Cd), 4 per *Nelumbo nucifera* (Nu) e 3 per *Trapa natans* (Tn).

Calcolare la frequenza di ogni specie ( $f_k$ ) come rapporto tra  $n_k$  e  $n_{tot}$ : 78,57 per *Myriophyllum spicatum* (Ms), 50,00 per *Ceratophyllum demersum* (Cd), 9,52 per *Nelumbo nucifera* (Nu) e 7,14 per *Trapa natans* (Tn). La cui somma ( $\sum f_k$ ) è 145,24.

- 10) Calcolare la frequenza delle specie sommerse ( $som$ ) come somma tra il rapporto percentuale della frequenza delle specie sommerse e della frequenza di tutte le specie.

$$som = \sum \left( \frac{f_{k_{som}}}{\sum f_k} \cdot 100 \right)$$

Esempio: considerando le sole specie sommerse *Myriophyllum spicatum* (Ms), *Ceratophyllum demersum* (Cd):

$$som = \left( \frac{78,57}{145,24} \cdot 100 \right) + \left( \frac{50,00}{145,24} \cdot 100 \right) = 54,10 + 34,43 = 88,52$$

- 11) Calcolare la frequenza delle specie esotiche [*exot - sunsu* Celesti *et al.* (2009) e Pignatti (1982)] come somma tra il rapporto percentuale della frequenza delle specie esotiche e della frequenza di tutte le specie.

$$exot = 100 - \sum \left( \frac{f_{k_{exot}}}{\sum f_k} \cdot 100 \right)$$

Esempio: considerando la sola specie esotica *Nelumbo nucifera* (Nu):

$$exot = 100 - \left( \frac{9,52}{145,24} \cdot 100 \right) = 100 - 6,56 = 93,44$$

- 12) Calcolare la diversità ( $S_d$ ) come indicato dalla formula:

$$S_d = \left[ 1 - \sum \left( \frac{\frac{f_k}{\sum f_k} \cdot 100}{100} \right)^2 \right] \cdot 100$$

Esempio: si può semplificare la formula se questa viene esplicitata:

$$S_d = \left[ 1 - \left( \frac{\frac{78,57}{145,24} \cdot 100}{100} + \frac{\frac{50,00}{145,24} \cdot 100}{100} + \frac{\frac{9,52}{145,24} \cdot 100}{100} + \frac{\frac{7,14}{145,24} \cdot 100}{100} \right) \right] \cdot 100 =$$

$$\left[ 1 - \left( \frac{54,10}{100} + \frac{34,43}{100} + \frac{6,56}{100} + \frac{4,92}{100} \right) \right] \cdot 100 = [1 - 0,42] \cdot 100 = 58,21$$

- 13) Calcolare i valori normalizzati di ciascuna metrica secondo la formula:

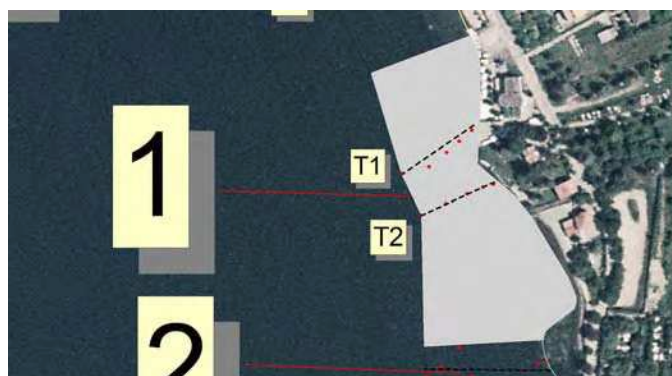
$$v_{norm} = \frac{v_m - v_{min}}{v_{max} - v_{min}}$$

dove  $v_m$  è il valore ottenuto per il corpo idrico in oggetto,  $v_{min}$  è il valore del limite di classe tra cattiva e pessima e  $v_{max}$  è il valore del limite di classe tra alta e buona. Si rimanda per i valori dei limiti di classe al decreto di classificazione.

- 14) Calcolare il valore dell'indice *MacroIMMI* come somma delle metriche normalizzate, secondo le formule precedentemente definite.

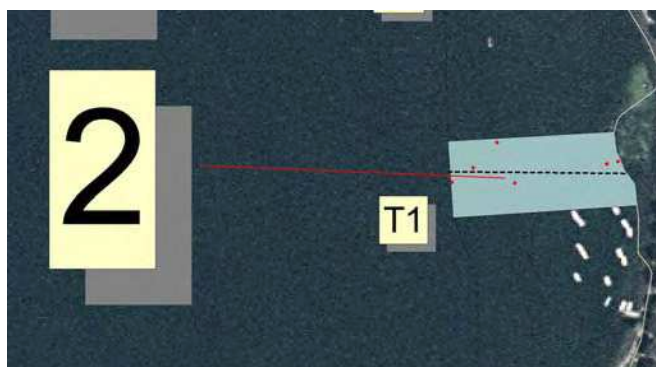
Appendice C. Schede di sintesi di 3 siti per la comunità macrofitica

**Sito 1**



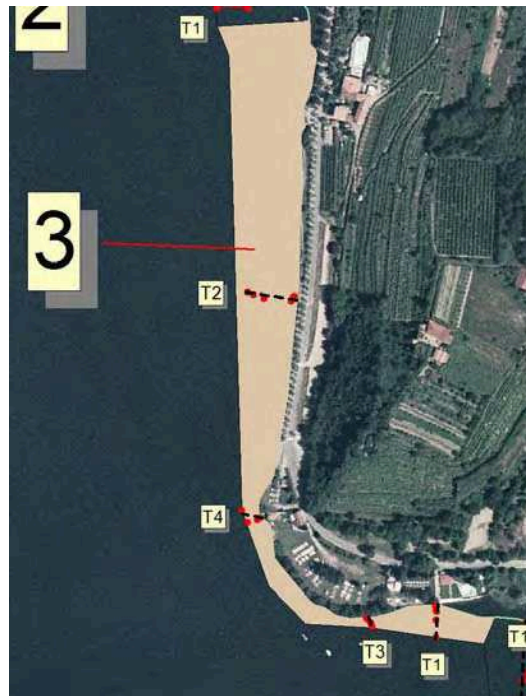
Sito 1 - Estensione: 262 m								
Intervallo di profondità	<i>Ms</i>		<i>Cd</i>		<i>Nu</i>		<i>Tn</i>	
	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2
0-1	4	4	0	0	4	4	0	0
1-2	4	4	0	0	4	4	2	2
2-3	4	4	3	3	0	0	0	0
3-4	3	3	3	3	0	0	0	0
4-5	1	1	1	1	0	0	0	0
Media sul transetto	3.2	3.2	1.4	1.4	1.6	1.6	0.4	0.4
Media nel sito	3.2		1.4		1.6		0.4	

## Sito 2



Sito 2 - Estensione: 46 m			
	<i>Ms</i>	<i>Cd</i>	<i>Tn</i>
Intervallo di profondità	T1	T1	T1
0-1	4	2	1
1-2	4	0	0
2-3	3	3	0
3-4	1	4	0
4-5	2	3	0
5-6	1	3	0
Media sul transetto	2.5	2.5	0.2
Media nel sito	2.5	2.5	0.2

## Sito 3



Sito 3 - Estensione: 852 m								
Intervallo di profondità	<i>Ms</i>				<i>Cd</i>			
	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
0-1	4	4	4	4	0	0	0	0
1-2	4	4	4	4	0	0	4	0
2-3	4	4	4	4	0	0	0	0
3-4	1	1	4	4	2	1	2	4
4-5	0	1	0	0	4	2	4	2
5-6	0		0		0		4	
Media sul transetto	2.2	2.8	2.7	3.2	1.0	0.6	2.3	1.2
Media nel sito	2.7				1.3			