



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

FLORE

Repository istituzionale dell'Università degli Studi di Firenze

La fluorescenza in vivo del fitoplancton come metodo di indagine della biomassa in mare: due casi di studio nel Canale di Sicilia

Questa è la Versione finale referata (Post print/Accepted manuscript) della seguente pubblicazione:

Original Citation:

La fluorescenza in vivo del fitoplancton come metodo di indagine della biomassa in mare: due casi di studio nel Canale di Sicilia / Fossi L.; Nardello I.; Lazzara L.. - In: BIOLOGI ITALIANI. - ISSN 0392-2510. - STAMPA. - XXXIV (2):(2004), pp. 28-35.

Availability:

The webpage <https://hdl.handle.net/2158/213510> of the repository was last updated on

Terms of use:

Open Access

La pubblicazione è resa disponibile sotto le norme e i termini della licenza di deposito, secondo quanto stabilito dalla Policy per l'accesso aperto dell'Università degli Studi di Firenze (<https://www.sba.unifi.it/upload/policy-oa-2016-1.pdf>)

Publisher copyright claim:

La data sopra indicata si riferisce all'ultimo aggiornamento della scheda del Repository FloRe - The above-mentioned date refers to the last update of the record in the Institutional Repository FloRe

(Article begins on next page)

La fluorescenza *in vivo* del fitoplancton come metodo di indagine della biomassa in mare: due casi di studio nel Canale di Sicilia

L. Fossi, I. Nardello, C. Gallo, L. Lazzara

Dipartimento di Biologia Animale e Genetica – Università degli Studi di Firenze

Abstract

Optical measurements of fluorescence emission by Chlorophyll *a* (chl *a*) can be used to assess the abundance and the photosynthetic activity of phytoplankton in the marine ecosystem. The fluorescence technique was adopted to investigate the vertical and horizontal distribution of photo-autotrophic biomass in the Sicily Channel. Two oceanographic campaigns (SYMPLEX: Synoptic Mesoscale Plankton Experiment) were performed during the spring of 1996 and 1998, focusing on the continental shelf of the Sicily Channel with two repeated N/S and E/W crossing transects. Fluorescence measurements were performed with different fluorimeters. Chlorophyll concentration was assessed through traditional techniques (acetone extraction) and used to calibrate the fluorescence measurements. The analysis of the maps of chl *a* fluorescence revealed differences in the distribution of the biomass between the two campaigns, especially in the sub-surface concentration and in the depth of the maximum concentration. The average CHL concentration integrated within 0–100m was very similar in the two years. The study of the relationships between *in vivo* fluorescence measurements and CHL concentration pointed out that the reliability of the fluorescence technique is affected by i) the accuracy of fluorimeters calibration ii) the photoacclimation state of phytoplankton. Discrimination of data sub-sets according to surface irradiance (PAR) intensity resulted in an improved correlation between CHL concentration and *in vivo* fluorescence.

Introduzione

La misura della fluorescenza della clorofilla viene utilizzata da tempo come stima indiretta della concentrazione della biomassa fotoautotrofa nei microrganismi marini (Lorenzen, 1966). L'uso di misure di fluorescenza dei pigmenti fotosintetici come metodo di indagine sulla distribuzione della biomassa in mare, viene qui esemplificato attraverso l'analisi dei dati raccolti durante due campagne oceanografiche (SYMPLEX: Synoptic Mesoscale Plankton Experiment) realizzate nel Canale di Sicilia, nella primavera del 1996 e del 1998.

Negli ultimi anni lo studio delle proprietà ottiche *in vivo* dei pigmenti fotosintetici, quali le misure spettrali dei coefficienti di assorbimento e di emissione di fluorescenza, hanno notevol-

mente migliorato le conoscenze sulla distribuzione spaziale e temporale del fitoplancton marino, consentendo anche il monitoraggio degli oceani da sensori ottici remoti su piattaforme spaziali. Le misure effettuate *in situ* durante numerose campagne oceanografiche nei mari di tutto il mondo, e le conseguenti correlazioni tra proprietà ottiche dell'acqua e dei suoi componenti (tra cui il fitoplancton) hanno consentito la creazione di specifici algoritmi di calcolo per la stima e lo studio della distribuzione della biomassa e della produzione primaria planctonica.

Nel fitoplancton sono presenti oltre alla clorofilla *a* (chl *a*), altri pigmenti quali clorofilla *b*, clorofilla *c*, carotenoidi e ficobiliproteine, le loro proporzioni possono variare nelle diverse specie anche a seconda dello stato fisiologico delle cellule.

Questi pigmenti e i loro prodotti di degradazione presentano bande di assorbimento specifiche nella regione visibile dello spettro, da ciò deriva la possibilità di caratterizzazione spettrale dei pigmenti fotosintetici. Inoltre, i pigmenti all'interno delle cellule sono legati a proteine specifiche, formando i complessi pigmento-proteina o cromoproteine (Prezelin, 1981; Larkum and Barrett, 1983; Porra and Pfundel, 1997). Le cromoproteine sono le principali componenti dei fotosistemi (PS), localizzati nella membrana tilacoidale delle cellule vegetali: un fotosistema può essere definito come la più piccola unità in grado di effettuare fotosintesi (Prezelin, 1981). Nel PS II la chl *a* del centro di reazione ha un massimo di assorbimento a 680 nm. L'assorbimento della luce da parte della molecola di chl *a* provoca il suo passaggio ad un stato eccitato. Dai complessi foto-attivi periferici (antenna), l'energia di eccitazione passa con grande efficacia ai complessi dei recettori dei centri di reazione, dove viene usata nelle prime reazioni della fotosintesi. Le molecole eccitate riemettono sia una quantità di energia sotto forma di calore che come quanti di fluorescenza. La fluorescenza consiste quindi nell'emissione di una radiazione energetica di minore intensità e frequenza rispetto a quella assorbita per l'eccitazione del sistema stesso. In particolare per la fluorescenza della chl *a* viene utilizzata una lunghezza d'onda di eccitazione nel blu corrispondente al massimo di assorbimento spettrale (in acetone 432 ± 4 nm) e viene misurata la fluorescenza emessa nel rosso (massimo spettrale in acetone 666 ± 2 nm). L'intensità di emissione di fluorescenza quindi varia a seconda della lunghezza d'onda e dell'intensità dell'eccitazione, a temperatura ambiente ed *in vivo* la maggior parte della fluorescenza della chl *a* viene emessa dal centro di reazione del fotosistema 2 (PSII), con un massimo a 682 nm circa.

Pur essendo condizionata dallo stato fisiologico degli organismi, dall'intensità luminosa e da altri fattori ambientali l'emissione di fluorescenza artificialmente indotta è tuttavia un metodo che permette di stimare la concentrazione della chl *a* senza l'utilizzo di estrazione, per intervalli di concentrazione estesi almeno a tre ordini di grandezza (da 0.01 a 10 mg m^{-3} Loftus and Seliger, 1979; Cullen *et al.*, 1997). Infatti, le misure di fluorescenza *in vivo* effettuate, attraverso sonde subacquee *in situ* come le misure di laboratorio effettuate a bordo di una nave, permettono di avere una stima della biomassa fitoplanctonica in tempo reale, evidenziandone la distribuzione sia verticale che orizzontale. Tali misure possono essere utilizzate anche per ottenere stime di produzione primaria in ambiente marino (Nardella, 1999).

Le misure di fluorescenza *in vivo* e *in situ* del fitoplancton qui riportate hanno permesso di caratterizzare l'area del Canale di Sicilia orientale dal punto di vista della distribuzione verticale ed orizzontale della biomassa fotoautotrofa, e di stabilire correlazioni tra concentrazione di clorofilla e fluorescenza misurata con differenti fluorimetri, evidenziando anche alcune problematiche del metodo, relative sia alla fisiologia del fitoplancton che alla calibrazione strumentale. Lo scopo di questo lavoro è infatti l'applicazione e la validazione del metodo fluorimetrico per la caratterizzazione dell'ambiente marino pelagico dal punto di vista della distribuzione spaziale e temporale del fitoplancton, tramite misure di fluorescenza *in vivo* su popolamenti naturali.

Materiali e metodi

Le misure sono state effettuate durante due campagne oceanografiche primaverili compiute a distanza di due anni l'una dall'altra (SYMPLEX '96: 12 Aprile-12 Maggio 1996; SYMPLEX '98: 27 Marzo- 20 Aprile 1998), nel Canale di Sicilia (34° - 38° N; 11° - 17° S), a bordo di M/N Urania (CNR). Tali campagne sono inserite nel programma di ricerca SYMPLEX, dell'Agenzia Spaziale Italiana (ASI), con lo scopo di studiare la variabilità e le correlazioni a livello di mesoscala dei fenomeni oceanografici fisici e biologici nella regione, in relazione al rilevamento satellitare della distribuzione della biomassa e della produzione primaria nel Mar Mediterraneo (Bohm *et al.*, 1998).

Inquadramento dell'area di indagine

Il Canale di Sicilia separa la Sicilia dall'Africa e permette la comunicazione tra il bacino orientale e occidentale del Mar Mediterraneo. Il Canale ha una larghezza di circa 130 Km; è mediamente poco profondo (circa 200-300 m), ma presenta due escavazioni maggiori parallele all'asse longitudinale: una nord-orientale, più stretta con profondità massima di 560 m ed una sud-occidentale più ampia con profondità fino a 360 m, che rappresentano la principale via di scambio tra le acque dei due bacini. Le acque che circolano nel Canale presentano caratteristiche di temperatura e salinità diverse e appaiono quindi stratificate, con direzioni di flusso opposte: lo strato superficiale (fino a 200 m) è formato dalle acque che provengono dall'Atlantico attraverso lo Stretto di Gibilterra, dette atlantiche modificate (MAW-Modified Atlantic Water); si tratta di acque che fluiscono nel Canale verso est con velocità variabile, meno dense (temperatura media $16,5^{\circ}\text{C}$, salinità media 36,25 psu) delle acque sottostanti (Aliani *et al.*, 1998) comprese nello strato tra 200 e 600m e provenienti da un'area vasta e variabile nel tempo (Malanotte - Rizzoli, 1998) di origine nel bacino levantino (LIW, Levantine Intermediate Water) più dense (temperatura media $14,2^{\circ}\text{C}$, salinità media 38,75 psu) che si muovono verso ovest. Inoltre, le due masse d'acqua suddette si differenziano nella concentrazione di nutrienti: pur essendo il Canale di Sicilia un'area essenzialmente oligotrofica la concentrazione dei nutrienti nell'area orientale del Mediterraneo ha un profilo verticale tipico con concentrazioni di nitrati molto basse ($\text{NO}_3 = 0,3 \mu\text{M}$) in superficie, che aumentano con la profondità fino ad un ordine di grandezza intorno ai 250 m; la profondità del nutriclino indica il limite superiore dello strato di acqua levantina, al di sotto dell'acqua di origine atlantica (MAW). In determinate condizioni ambientali (rimescolamento invernale, forti venti, ostacoli batimetrici), il nutriclino può presentarsi più superficialmente determinando conseguenze favorevoli per la crescita del fitoplancton nella zona eufotica.

Operazioni in mare

In entrambe le campagne i prelievi di acqua sono stati effettuati mediante bottiglie di tipo Niskin da 10 dm^3 , montate su "rosette" (General Oceanics, 24x). Simultaneamente sono stati determinati i profili batimetrici di temperatura, salinità, ossigeno e fluorescenza usando una sonda CTD (Seabird) e un fluorimetro (SeaTech) collocati sulla "rosette" stessa.

Le stazioni con campionamento biologico durante le campagne SYMPLEX '96 e SYMPLEX '98 sono rispettivamente 41 e 36. Le stazioni di campionamento sono state individuate in modo da ottenere un quadro ambientale generale del Canale di Sicilia orientale e valutare la distribuzione e lo stato fisiologico degli organismi produttori primari effettuando campionamenti in aree differenziate. Particolare attenzione è stata dedicata alle acque a Sud di Capo Passero, tramite un campionamento più fitto dell'area, per la presenza di una struttura idrodinamica permanente (filamento) individuata attraverso le immagini satellitari di colore e di temperatura del mare. I campioni sono stati raccolti generalmente a 5-7 quote comprese tra 0-200 m, scelte sulla base dei profili CTD (salinità, temperatura, profondità) e del fluorimetro subacqueo SeaTech, in modo da rappresentare in modo significativo la variazione verticale della distribuzione del fitoplancton. I campioni di acqua prelevata sono stati utilizzati per le successive analisi di laboratorio: estrazione acetonica dei pigmenti fotosintetici liposolubili, e misure spettrali di fluorescenza *in vivo*.

Estrazione dei pigmenti liposolubili

Direttamente in nave è stata eseguita la filtrazione sotto vuoto (< 150 mmHg) su filtri in fibra di vetro Whatmann GF/F (\emptyset 47 mm) di volumi compresi tra 3 a 5 l. I filtri, posti in provette da centrifuga con 5 ml di acetone al 100% disidratato, sono stati conservati in frigo a -20 °C. In laboratorio, è stata completata l'estrazione del pigmento, tramite omogeneizzazione del filtro, aggiunta di 5 cm³ di acetone 80% e centrifugazione per la separazione del filtro dal soprannatante (Lazzara *et al.*, 1990).

Dosaggio spettrofotometrico

La concentrazione di clorofilla *a* e feopigmenti (clorofeopigmenti o Chl, Lazzara *et al.*, 1997) viene determinata per via spettrofotometrica sull'estratto acetonicamente utilizzando la misura di densità ottica (D.O.) nel picco di massimo assorbimento, che per estratti in acetone 90% si trova a 664 nm. Nella miscela di pigmenti in oggetto si assume come prevalente a quella lunghezza d'onda, il coefficiente di assorbimento specifico della sola clorofilla *a* (metodo monocromatico, Lazzara *et al.* 1990, 1997) e quindi si usa il valore di 87.67 cm⁻¹ g⁻¹ dm³ (Jeffrey and Humphrey, 1975).

E' possibile inoltre calcolare la concentrazione di chl *a* separatamente da quella dei feopigmenti (ottenuti dopo acidificazione del campione), utilizzando il metodo descritto da Lorenzen (1967), ma questo risulta validamente applicabile solo per concentrazioni sufficientemente elevate. Di conseguenza le misure sugli estratti acetonicamente sono state effettuate (spettrofotometro Uvikon 930, Kontron), con un protocollo diverso a seconda della concentrazione dell'estratto. I campioni sono stati analizzati in celle di quarzo, con cammino ottico da 1 a 5 cm, per la misura spettrale dell'assorbimento tra 350 e 700nm. Le misure di D.O. a 664 nm e 750 nm forniscono, rispettivamente, informazioni sulla concentrazione di chl *a* e sulla torbidità del campione, (la D.O. a 750 nm deve essere < di 0,005 per cm di c.o., in caso contrario si è effettuata una seconda centrifugazione). A seconda dei valori di D.O. si sono distinte le seguenti procedure.

a) D.O. a 664 nm compresa tra 0,150 e 0,800 si è registrato l'intero spettro di assorbimento, prima e dopo acidificazione (0,03cm³ HCl 0,66 mol per ogni cm³ di estratto), per stimare la concentrazione dei feopigmenti presenti nel campione.

b) D.O. a 664 nm > 0,800: il campione è stato diluito con acetone 90 %.

c) D.O. a 664 nm < 0,150 e >0,080: gli estratti sono stati letti di nuovo in cuvetta con c.o. = 5 cm.

d) Se invece il campione analizzato in cuvetta con c.o. da 5 cm mostrava una D.O. a 664 nm inferiore a 0,080, il campione non è stato acidificato ma recuperato per sottoporlo anche all'analisi spettrofluorimetrica.

Dosaggio spettrofluorimetrico

I campioni con valori di D.O. a 664 nm inferiore a 0,080 sono stati dosati in cuvetta di quarzo da 1 cm, mediante letture spettrofluorimetriche (Perkin-Elmer, LS-5B). Infatti, l'analisi spettrofluorimetrica è più sensibile rispetto al dosaggio spettrofotometrico di almeno due ordini di grandezza. Come è noto la misura di fluorescenza è dipendente dalle condizioni ottiche di misura e dallo strumento utilizzato ed è stato quindi necessario effettuare una taratura, con uno standard a concentrazione nota di chl *a* pura (SIGMA) in acetone al 90% seguendo in parte Lazzara *et al.* (1990) eccetto per i fattori di calibrazione, che sono stati ottenuti da una regressione lineare di fluorescenza vs concentrazione. Come in Lazzara *et al.*, 1997, della soluzione di chl *a* pura, si misura la concentrazione per via spettrofotometrica e si preparano 12 sub-standard con diluizioni seriali 1:2 in successione, si misura poi la fluorescenza (ex. 428 nm, em. 671 nm), prima dell'acidificazione (F₀), e dopo acidificazione (F_a) con HCl 0.66 mol. I valori F₀ e F_a dei campioni vengono utilizzati nel calcolo delle concentrazioni di chl *a* e di feofitina *a* evidenziando così sia la frazione fotosinteticamente attiva (chl *a*) che quella inattiva (feopigmenti) del campione in esame, secondo Lorenzen (1967).

Misure di fluorescenza *in vivo* e *in situ*

Le misure di fluorescenza *in vivo* sono state effettuate sia in profilo verticale tramite un fluorimetro SeaTech posizionato all'interno della rosette, che in modalità spettrale tramite lo spettrofluorimetro Perkin-Elmer LS5 su campioni discreti prelevati a quote fisse. Il SeaTech è dotato di appositi filtri selettivi per la misura della fluorescenza della chl *a* (picco di eccitazione a 425 nm; ampiezza della banda: 200 nm FWHM; picco di sensibilità nella misura dell'emissione a 685 nm, con 30 nm di ampiezza). Le misure sono state registrate ad ogni stazione lungo tutto la colonna d'acqua con valori mediati ogni metro. Lo spettrofluorimetro PE-LS5 misura l'eccitazione e l'emissione della fluorescenza *in vivo* o in estratti campione. E' possibile selezionare con questo strumento un'ampiezza spettrale delle fenditure tra i 5 e i 25 nm (generalmente 5nm in eccitazione e 10nm in emissione). Le misure si effettuano così sempre nelle medesime condizioni di illuminazione, ovvero al buio, determinando così una riduzione della variabilità nella misura. I campioni, prelevati a quote note tramite bottiglie Niskin, vengono posti in celle di quarzo con cammino ottico di 1 cm e immediatamente analizzati secondo uno schema di coppie di eccitazione e di emissione (ex/em) stabilite in base ai massimi di assorbimento ed emis-

sione di fluorescenza dei singoli pigmenti (435/682nm, 490/580nm, 550/580nm, 600/630nm). Ogni misura è stata corretta con le corrispondenti misure su acqua di mare filtrata (bianco). Su alcuni campioni di diverse profondità è stato misurato l'intero spettro di eccitazione e di emissione della fluorescenza della chl *a in vivo*. Le misure spettrali della fluorescenza *in vivo* consentono di definire la composizione pigmentaria delle cellule fitoplanctoniche; su tale base, poiché i differenti gruppi algali presentano composizioni pigmentarie caratteristiche, è possibile discriminare la composizione tassonomica approssimativa di un popolamento fitoplanctonico naturale in almeno quattro gruppi pigmentari (Yentsch and Yentsch, 1979; Lazara, 1999).

Elaborazioni grafiche e statistiche

Sono state analizzate le correlazioni tra la fluorescenza misurata *in vivo* dal fluorimetro subacqueo SeaTech e dallo spettrofluorimetro da laboratorio PE LS5 con ed i dosaggi di chl *a* relativi alla stessa massa d'acqua. Sono state effettuate una serie di regressioni ortogonali (o metodo dell'asse maggiore ridotto) tra fluorescenza misurata con il fluorimetro SeaTech, il fluorimetro Perkin Elmer e la concentrazione di clorofeopigmenti per i dati delle campagne SYMPLEX '96 e '98, i cui parametri statistici vengono riassunti in Tab. 1.

Relazione Fluorescenza /Clorofilla	n	y	R ²	r
Fluo SeaTech / Chl mono Symp 96:	169	0.318x + 0.020	0.7321	0.85
Fluo SeaTech / Chl mono Symp 98:	186	0.848x + 0.053	0.8661	0.93
Fluo PE / Chl mono Symp 96:	91	1.158x + 0.068	0.7399	0.86
Fluo PE / Chl mono Symp 98:	136	0.924x + 0.082	0.6449	0.80
Fluo PE / Chl mono Symp96-98:	227	1.091x + 0.061	0.7113	0.84

Tab. 1 - Parametri statistici relativi alle relazioni tra fluorescenza *in vivo* (fluorimetri PE e SeaTech) e clorofeopigmenti (Chl)

Il dosaggio dei pigmenti fotosintetici ha poi consentito di realizzare mappe di distribuzione orizzontale dei clorofeopigmenti nell'area di studio. Le mappe orizzontali sono relative alla concentrazione di chl *a* integrata tra 0 e 100 m, ovvero nella porzione di colonna d'acqua che comprende sicuramente tutto lo strato eufotico. I dati sono stati elaborati attraverso il programma informatico Surfer 6.01 (Golden Software).

Le misure *in vivo* ottenute dal fluorimetro subacqueo SeaTech sono state utilizzate per generare mappe di distribuzione orizzontale e verticale di fluorescenza del fitoplancton. Le mappe orizzontali riportate si riferiscono alle profondità di 5 m e 45 m. Le mappe di distribuzione verticale si riferiscono a stazioni individuate lungo transetti in senso Nord-Sud oppure Est-Ovest, per la caratterizzazione della colonna d'acqua tra 0 e 300m. Le elaborazioni di queste mappe sono state condotte con il programma Ocean Data View (Schlitzer, R., Ocean Data View, <http://www.awi-bremerhaven.de/GEO/ODV>, 2002).

Risultati

Relazione fluorescenza vs. clorofilla

La corrispondenza tra le misure di fluorescenza e la concentrazione di chl *a*, soprattutto nei campioni di popolamenti naturali

misti, deve essere verificata frequentemente mediante dosaggi di estratti acetonicici degli stessi, in quanto la variabilità del rapporto tra fluorescenza e chl può essere elevata. Le analisi di seguito effettuate consentono di valutare quale delle relazioni empiriche stabilite tra gli strumenti ottici e la concentrazione di biomassa sia più opportuno utilizzare al fine di utilizzare il metodo della fluorescenza *in vivo* della clorofilla per la stima e il monitoraggio della biomassa microalgale in mare. I dati misurati con due fluorimetri differenti (SeaTech e PE LS5) sono stati posti in regressione lineare dipendente con le rispettive concentrazioni di clorofilla (Tab.1). L'analisi statistica della relazione tra la fluorescenza misurata *in situ* con il fluorimetro SeaTech e la concentrazione di clorofeopigmenti (Fig. 1) effettuata per i dati delle campagne SYMPLEX '96 e '98 ha restituito un coefficiente di correlazione (r) pari a 0.85 per SYMPLEX '96 e pari a 0.93 per SYMPLEX '98.

Si osserva inoltre che, nonostante l'intervallo di variazione sia molto simile nelle due campagne (0-1.2 mg/m³, nel '98; 0-1.4 mg/m³ nel '96), i coefficienti angolari delle rette di regressione sono molto diversi: a parità di biomassa, i valori di fluorescenza del '98 sono più elevati di circa tre volte rispetto a quelli del '96 (Fig. 1). Ciò può essere dovuto principalmente ad una diversa taratura (calibrazione) della sonda ma in parte anche a differenti condizioni di illuminazione ambientale. Considerando infatti la nota variabilità dell'emissione di fluorescenza in funzione della disponibilità della risorsa luminosa nell'ambiente (Falkowski P.G., 1995), il corpo dati di ciascuna campagna è stato suddiviso in due sottoinsiemi sulla base della intensità della radiazione PAR (Photosynthetically Available Radiation) incidente alla superficie del mare rispetto ad un valore soglia considerato fotoinibente; la correlazione tra fluorescenza SeaTech e concentrazione di clorofeopigmenti (Simplex '98) per misure effettuate con PAR minore di 800 µE/m²sec (Fig. 2A) mostra un coefficiente di correlazione (r) pari a 0,93 (n=112) e per le misure con PAR maggiori di 800 µE/m²sec (Fig. 2B), r=0.95 (n=74). Inoltre, il coefficiente angolare della retta di regressione si

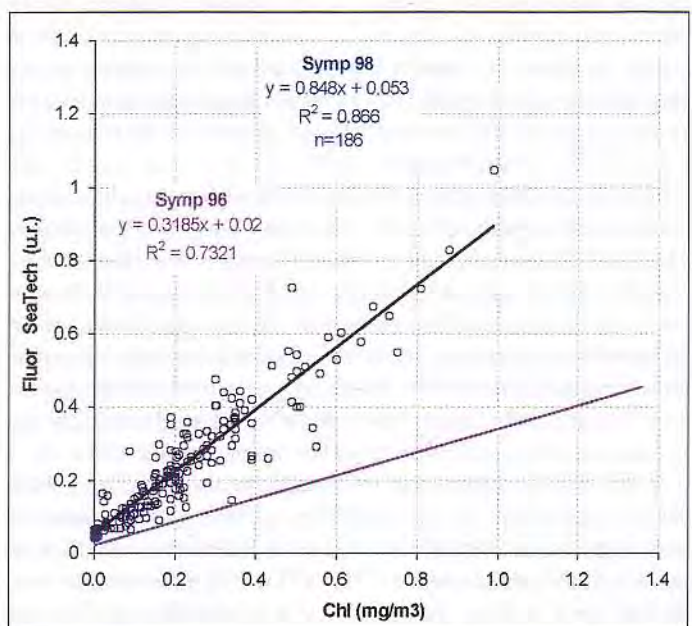


Fig. 1 - Regressione lineare tra fluorescenza (SeaTech) e clorofeopigmenti (Chl) (SYMPLEX 96-98)

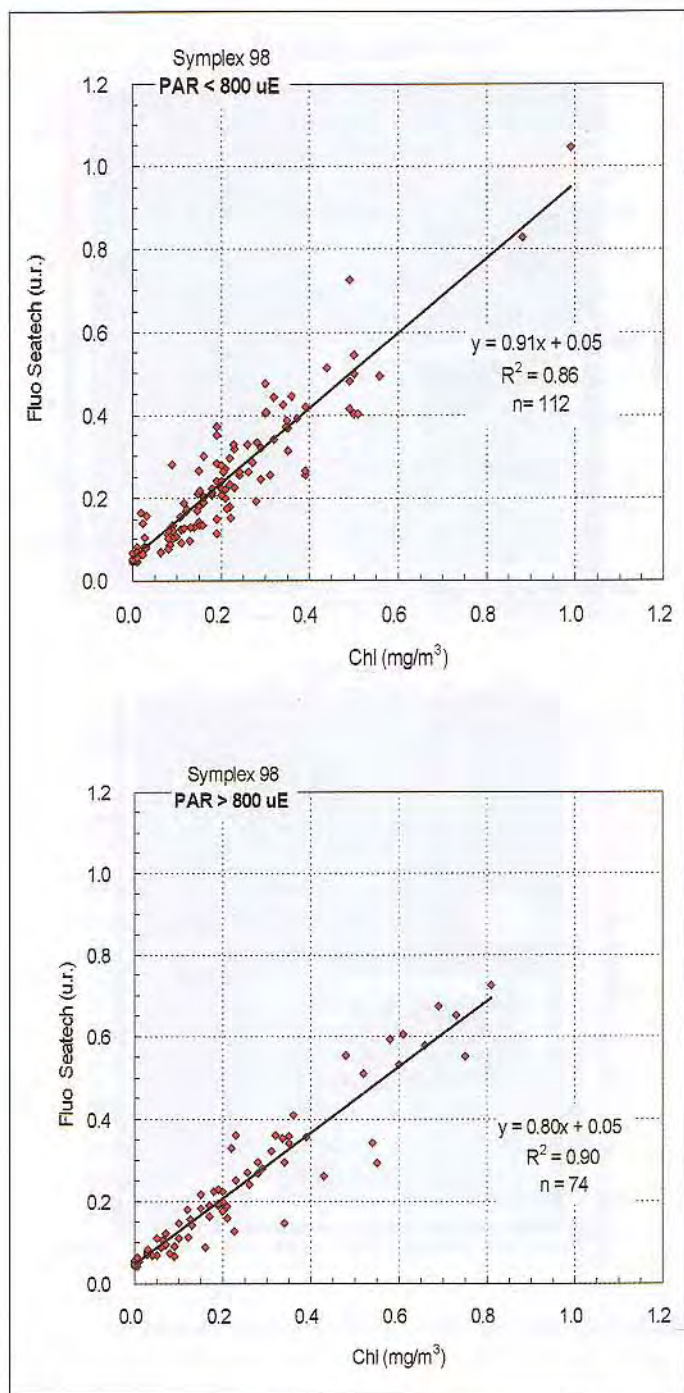


Fig. 2 - Regressione lineare fluorescenza / clorofilla: A) intensità luminosa < 800 µE; B) intensità luminosa > 800 µE B. (SYMPLEX 98)

abbassa in condizioni di PAR incidente maggiore di 800 µE/m²sec, indicando come atteso che il rendimento di fluorescenza è più basso (inibito) in condizione di fotosaturazione. Se confrontiamo poi in **Tab. 2** i coefficienti angolari delle rette relativamente ai dati delle due campagne si osserva come i coefficienti angolari delle campagne del '96 e del '98 siano molto differenti tra loro e come nel '96 separando i dati in due gruppi non si abbiano differenze significative nel coefficiente angolare.

In **Fig. 3** sono state messe in relazione le misure di fluorescenza *in vivo* dello spettrofluorimetro PE-LS5 nelle due campagne

Relazioni fluorescenza / biomassa fitoplanctonica	n	y	r
Fluo SeaTech / Chl a + feop Symp96:	360	0.385 x + 0.01	0.86
Fluo SeaTech / Chl mono Symp98	262	0.830 x + 0.04	0.86
Fluo SeaTech PAR<800 / Chl a + feop Symp96	260	0.387 x + 0.02	0.81
Fluo SeaTech PAR>800 / Chl a + feop Symp96	100	0.395 x + 0.00	0.93
Fluo SeaTech PAR<800 / Chl mono Symp98	112	0.976 x + 0.033	0.93
Fluo SeaTech PAR>800 / Chl mono Symp98	74	0.835 x + 0.05	0.95

Tab. 2 - Parametri statistici relativi alle relazioni tra fluorescenza *in vivo* (fluorimetro SeaTech) e biomassa fitoplanctonica (Chl, chl a + feopigmenti)

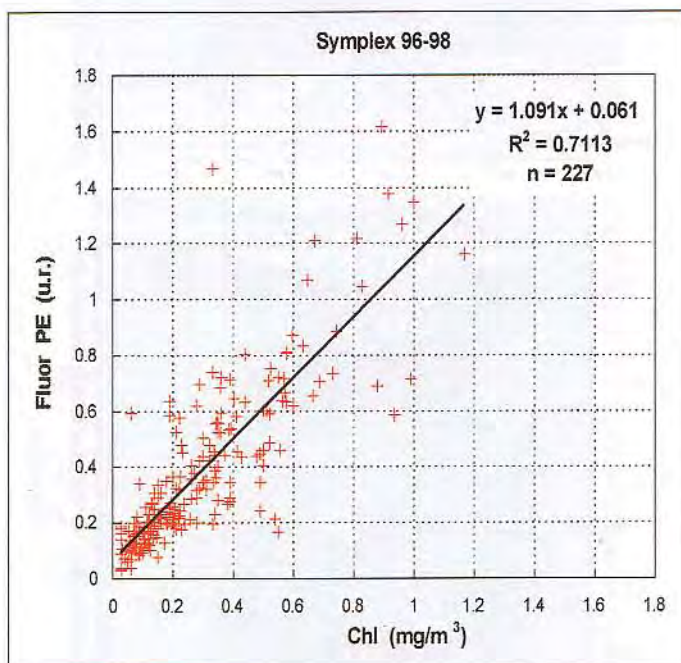


Fig. 3 - Regressione lineare tra fluorescenza (PE) e clorofeopigmenti: dati Symp96 e Symp98.

con la concentrazione dei clorofeopigmenti estratti. Il coefficiente di correlazione (**Tab. 1**) $r=0.84$ risulta simile a quello ottenuto con il SeaTech ma, a differenza di quanto evidenziato con la sonda in questo caso risultano, sia per la campagna del '96 che del '98, simili anche i coefficienti angolari delle rette.

Mappe di fluorescenza *in situ*

SYMPLEX '96

Le mappe orizzontali della fluorescenza di chl a mostrano evidente eterogeneità nella distribuzione del fenomeno, sia all'interno della stessa quota che con il variare della profondità. In superficie nell'aprile-maggio 1996 (**Fig. 4A**), solo la fascia prettamente costiera intorno a Capo Passero presenta un'intensità relativamente forte nell'emissione di fluorescenza (circa 0.1 u.r.); in tutta la zona circostante, il segnale appare piuttosto debole e pressoché omogeneo. A 45m (**Fig. 4B**), invece, emergono diversificazioni consistenti e strutturate con fluorescenza relativamente elevata (circa 0.25 u.r.): tutto il margine orientale della