

Il colore marino: parametri ottici attivi

Corso di Elaborazione e
Trasmissione delle Immagini

Il modulo

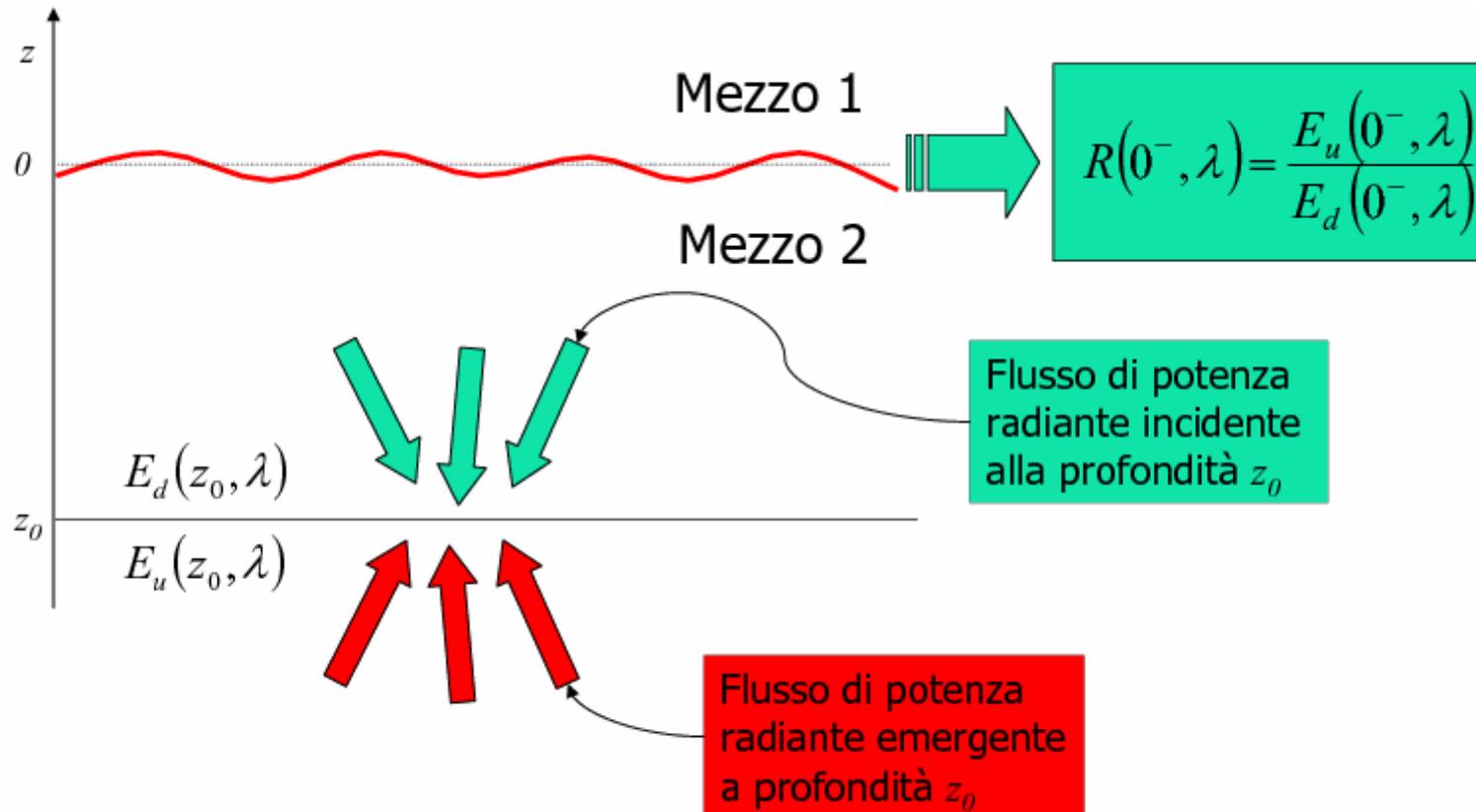
Pisa, 13 Dicembre 2006

Il colore marino

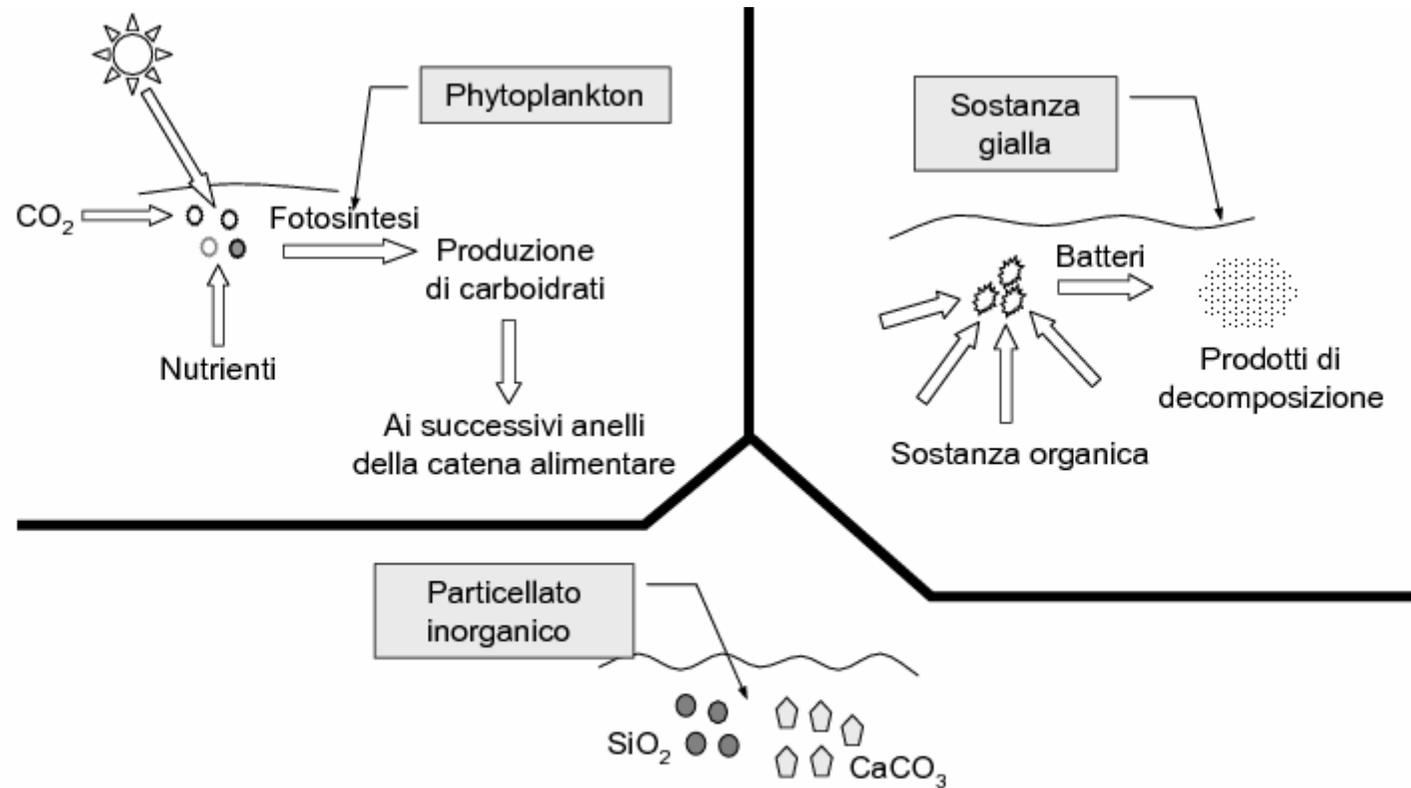
Sostanze otticamente attive: Tutte le sostanze che interagiscono con la radiazione luminosa attraverso fenomeni di assorbimento o diffusione sono dette otticamente attive.

Un modello di colore marino lega la concentrazione di sostanze otticamente attive con la riflettanza sub-superficiale dell'acqua.

Riflettanza sub-superficiale

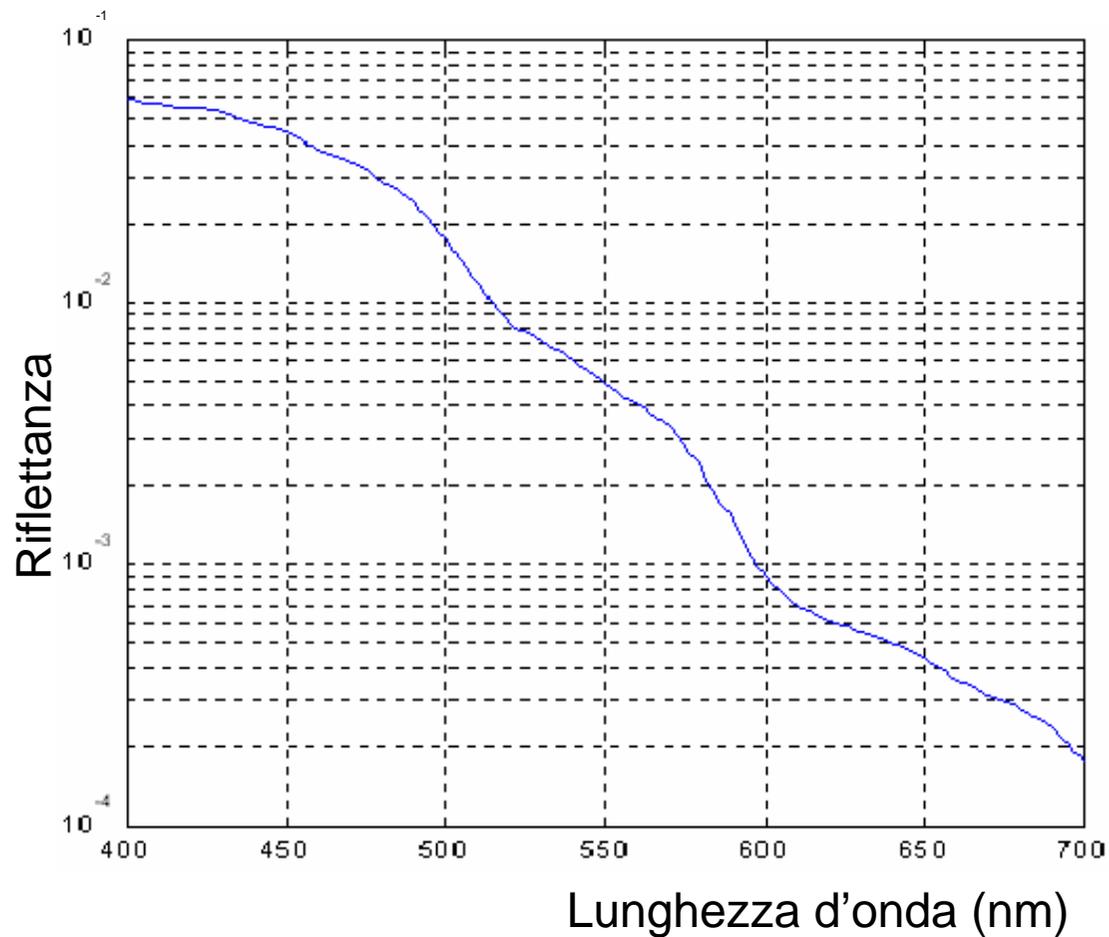


Sostanze otticamente attive



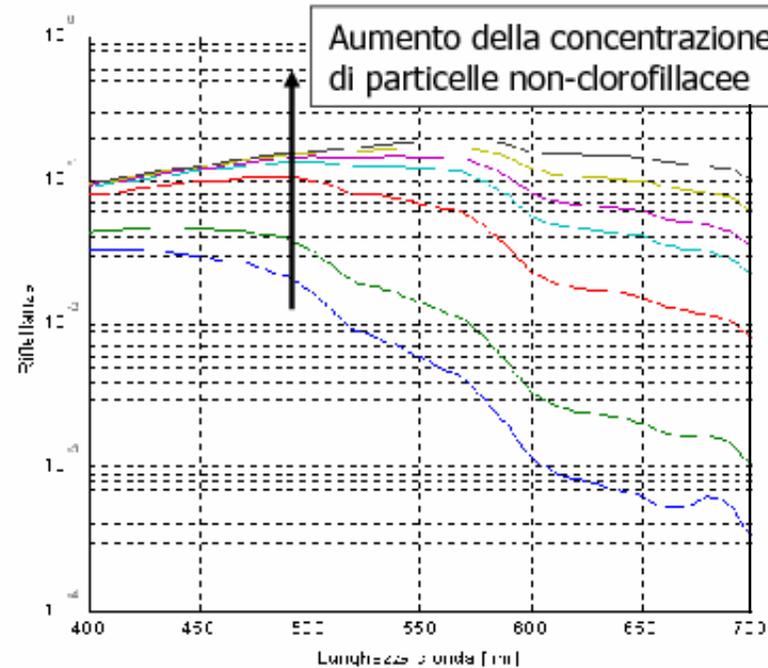
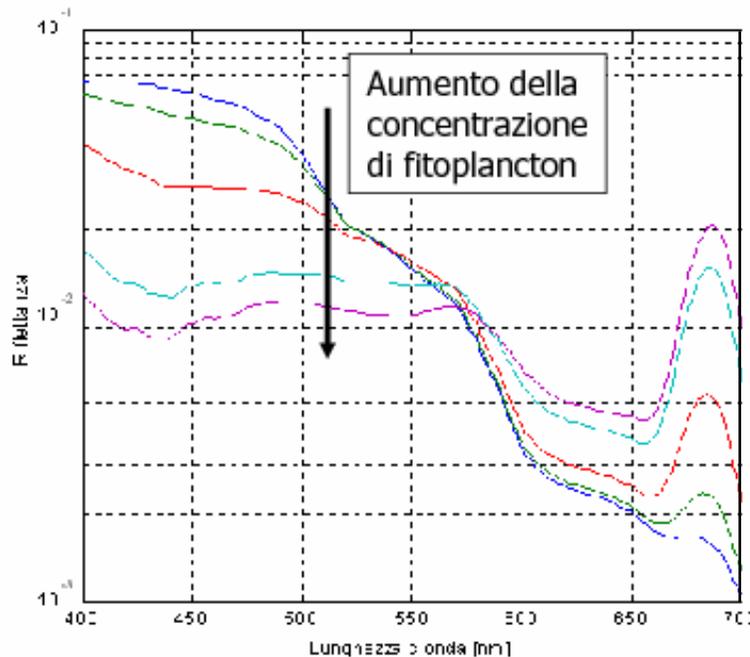
Riflettanza sub-superficiale

Acqua di mare pura

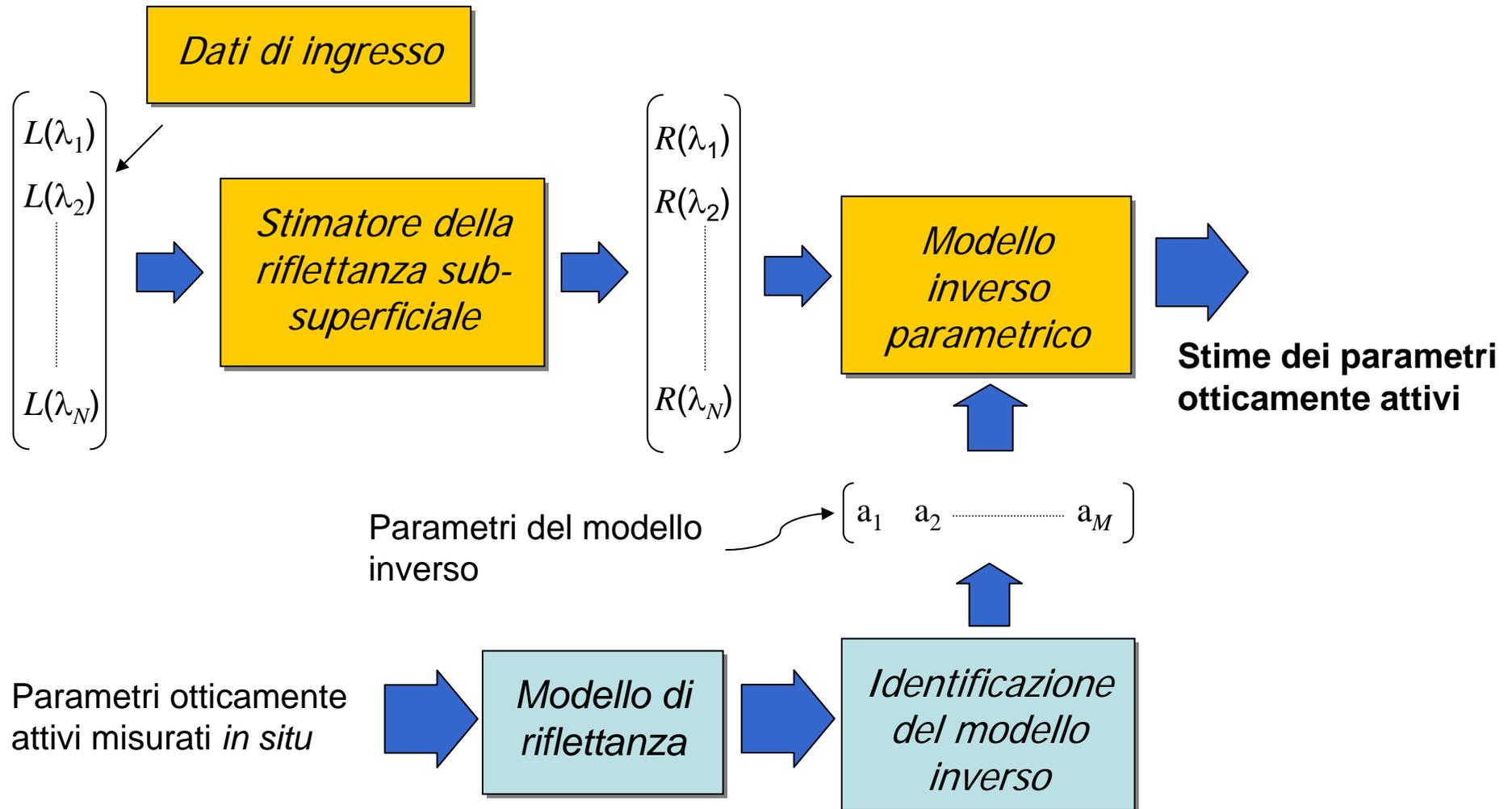


Riflettanza sub-superficiale

Effetto del fitoplancton e dei sedimenti sospesi



Stima dei parametri otticamente attivi



Modello diretto di riflettanza sub-superficiale

Modello di riflettanza (o modello di colore marino)

$$R(0^-, \lambda) = \frac{E_u(0^-, \lambda)}{E_d(0^-, \lambda)} = f(b_{b\lambda}, a_\lambda) = r \cdot \frac{b_{b\lambda}}{a_\lambda + b_{b\lambda}} \approx r \cdot \frac{b_{b\lambda}}{a_\lambda} \approx 0.33 \cdot \frac{b_{b\lambda}}{a_\lambda} = f(C, X, Y; \lambda)$$

Riflettanza spettrale sub-superficiale

Coefficiente che dipende da geometria e funzione di fase delle particelle sospese

Coefficienti di assorbimento e di back-scattering

In condizioni di mare aperto:

$$a_\lambda \gg b_{b\lambda}$$

Modello diretto di riflettanza sub-superficiale

Coefficienti di assorbimento e back-scattering

$$a_{\lambda} = a_{w\lambda} + a_{ph\lambda} + a_{yel\lambda} + a_{sed\lambda}$$

$$b_{b\lambda} = b_{bw\lambda} + b_{bph\lambda} + b_{bsed\lambda}$$

- $a_{w\lambda}$ il coefficiente di assorbimento dell'acqua di mare pura [m^{-1}],
- $a_{ph\lambda}$ il coefficiente di assorbimento del fitoplancton [m^{-1}],
- $a_{yel\lambda}$ il coefficiente di assorbimento della sostanza gialla in soluzione [m^{-1}],
- $a_{sed\lambda}$ il coefficiente di assorbimento delle particelle non clorofillacee [m^{-1}],

- $b_{bw\lambda}$ il coefficiente di *backscattering* dell'acqua di mare pura [m^{-1}],
- $b_{bph\lambda}$ il coefficiente di *backscattering* del fitoplancton [m^{-1}],
- $b_{bsed\lambda}$ il coefficiente di *backscattering* delle particelle non clorofillacee [m^{-1}].

Modello diretto di riflettanza sub-superficiale

Optically Active Parameters (OAPs), dai quali ricavare la riflettanza sub-superficiale

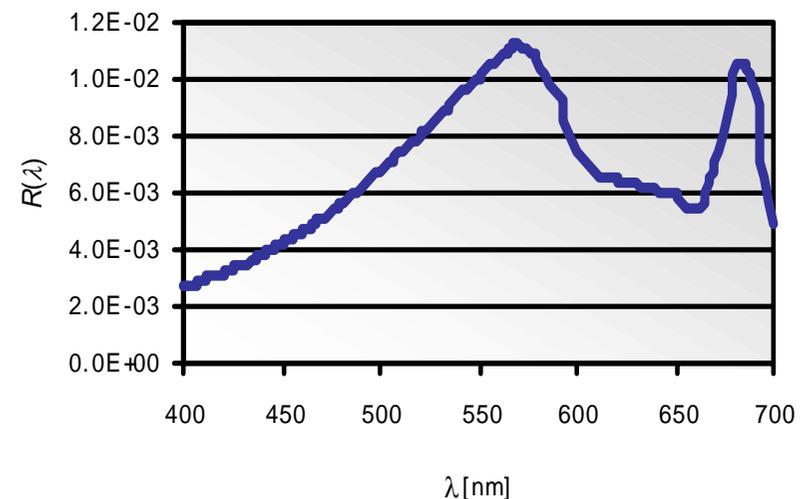
C: concentrazione di **chlorophyll-a + phaeophytin-a** [mg/m³].

X: $b_{sed\lambda}$ (550 nm typ.) [m⁻¹] coefficiente di back-scattering delle **Particelle non-clorofillacee (sedimenti)** a $\lambda=550$ nm.

Y: $a_{yel\lambda}$ (440 nm) [m⁻¹] coefficiente di assorbimento della **Sostanza Gialla** a $\lambda=440$ nm.



Modello di riflettanza sub-superficiale
 $f(C, X, Y; \lambda)$



Algoritmi bio-ottici

- The subsurface reflectance direct model of the sea water can be expressed as a function of the three optically active parameters C , X and Y through its inherent optical properties i.e. absorption and back-scattering coefficients, a_λ and $b_{b\lambda}$ respectively.

- The inversion scheme of the direct model consists in:

- assuming a parametric inverse model relating the OAPs to a combination of mean reflectance in each or in some of the sensor channels.

i.e.
$$\text{Log} (OAP) = a_0 + \sum_{i=1}^N a_i \cdot \text{Log} \left[\frac{R_{ch-l}}{R_{ch-m}} \right]_i$$

- simulating the mean reflectances in the channels of the sensor by using a set of N in-situ measurements of OAPs as inputs to the direct model.
- estimating the inverse model parameters by minimizing the Mean Square Error (MSE) between the measured OAPs and the ones estimated through the inverse model.

Inversione del modello di riflettanza sub-superficiale

Modello inverso parametrico che lega l'OAP che si intende stimare alle riflettanze in uno o più canali

$$\text{Log} (OAP) = a_0 + \sum_{i=1}^{N_{channels}} a_i \cdot \text{Log} (Q_i)$$

Riflettanza media nella banda l-esima o rapporto di riflettanze tra bande diverse

Algoritmo usato per la stima del parametro C con SeaWiFS

$$\text{Log}(C) = a_0 + a_1 \cdot \text{Log} \left(\frac{R_3}{R_5} \right)$$

Inversione del modello di riflettanza sub-superficiale

Modello inverso

$$\text{Log}(OAP) = a_0 + \sum_{i=1}^{N_{\text{channels}}} a_i \cdot \text{Log}(Q_i)$$

Algoritmo Multi-Lineare

$$Q_i = R_{ch-i}$$

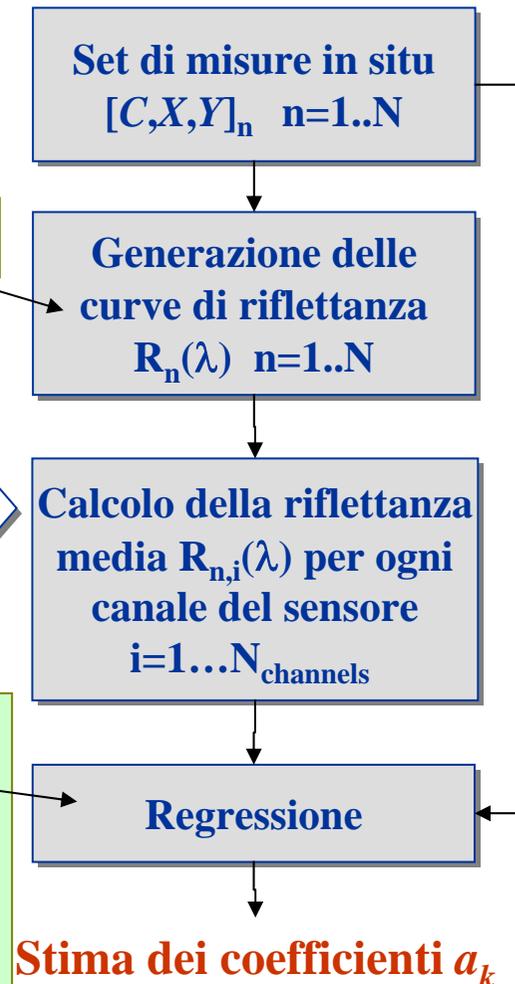
Algoritmo a rapporto di bande

$$Q_i = \left[\frac{R_{ch-l}}{R_{ch-m}} \right]_i$$

Modello diretto

Stima dei coefficienti a_i

Individuazione del set di a_i che minimizza MSE tra OAPs stimati e misurati

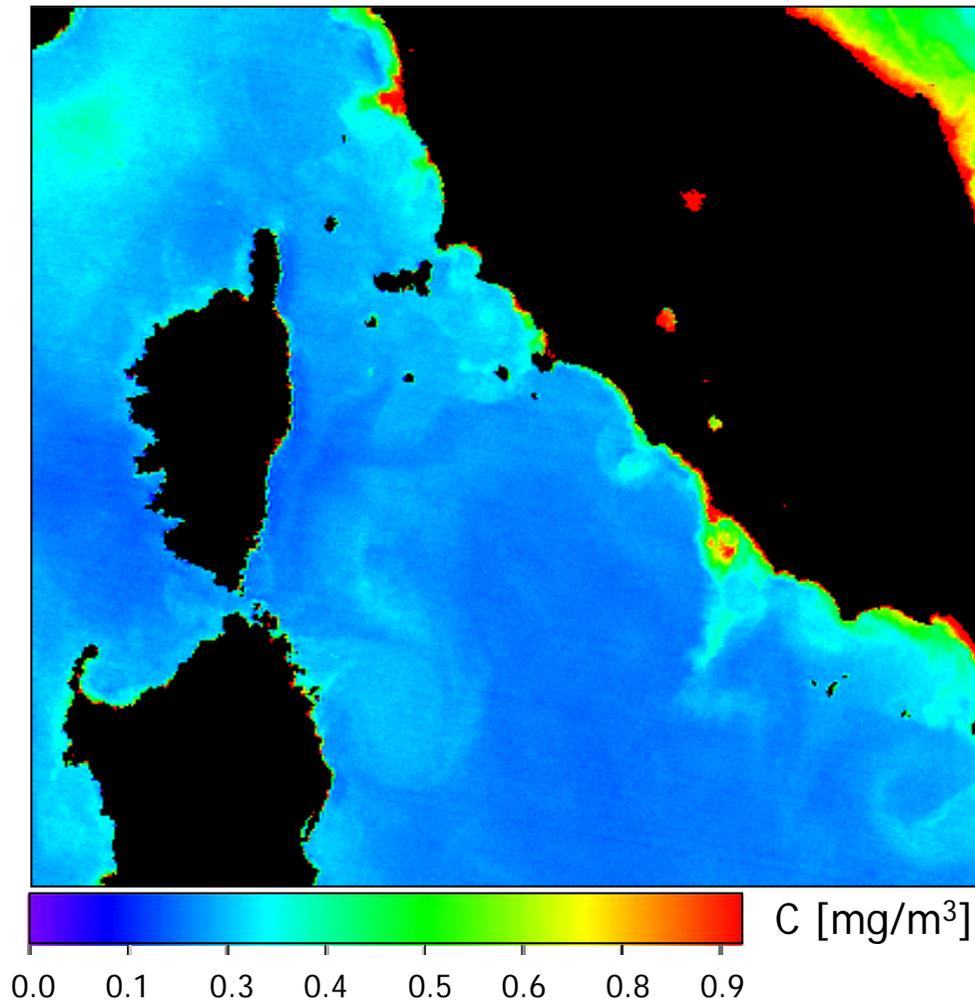


Stima dei coefficienti a_k

Mare di Alboran: misure *in-situ*

- The in-situ measurements of the three OAPs (C, X and Y) have been acquired in October 1996 during an OMEGA project cruise on board the vessel Bio-Hespérides.
- Surface values of OAPs at the north-western Alborán Sea were recorded by a multi-parametric probe connected to the pumping system of the vessel.
- Besides the thermosalinograph of the vessel, two Turner ® fluorimeters with the adequate sets of excitation and emission filters were used for the continuous recording of Chlorophyll fluorescence and Gelbstoff absorbance.
- Particle abundance was estimated through their attenuation coefficient at 660 nm using a Wet Labs C Star ® transmissometer with 25 cm of path length.

Concentrazione di pigmenti clorofillacei nel Mar Tirreno



Chlorophyll Concentration
Map from SeaWiFS data.

Acquisition Date: 21/07/1998

Acquisition Time: 11:29 GMT