

Mappatura della vegetazione sommersa mediante immagini multispettrali telerilevate da satellite

Vincenzo PAMPALONE*, Antonino MALTESE*, Giuseppe CIRAULO* e Goffredo LA LOGGIA *

*Università degli Studi di Palermo, Dipartimento di Ingegneria Idraulica ed Applicazioni Ambientali, Palermo, Italia, pampalone@idra.unipa.it

Sintesi

La mappatura della distribuzione della vegetazione sommersa nelle aree costiere è una delle attività più difficoltose da attuare con una accuratezza idonea. Le tecniche tradizionali fanno uso di prospezioni subacquee dirette che forniscono informazioni dettagliate su aree di limitata estensione e che sono del tutto inadeguate alla mappatura di vaste aree. Un calcolo accurato del coefficiente di attenuazione diffusa è perciò importante per potere effettuare una buona correzione dell'influenza della colonna d'acqua nelle immagini telerilevate, così da rendere possibile una mappatura su aree più vaste. La stima del coefficiente di attenuazione permette inoltre di dare un giudizio sintetico sulle condizioni di trasparenza del corpo idrico. Questo studio mostra come stimare i coefficienti di attenuazione diffusa mediante misure di irradianza spettrale *in situ*.

Abstract

Mapping the distribution of the submerged vegetation in coastal zones is one of the most difficult monitoring activities to perform with an appropriate accuracy. Traditional techniques use direct underwater prospecting that provides detailed information on areas of limited extension. These techniques are inadequate to map large areas. Using remotely sensed imagery, an accurate evaluation of the diffuse attenuation coefficient is needed because this allows a precise correction of the influence of the water column in order to retrieve the bottom reflectance. These remote sensing techniques allow classifying the bottom coverage types over large areas. This study shows how it is possible to retrieve the diffuse attenuation coefficients through *in situ* spectral irradiance measurements.

Introduzione

Le tecniche di telerilevamento sono applicate per la mappatura della vegetazione sommersa in zone costiere, in ambienti lagunari e per la caratterizzazione della trasparenza dei laghi. La mancanza di firme spettrali univoche sulla vegetazione sommersa e l'attenuazione del segnale radiometrico a causa della colonna d'acqua spesso limitano l'uso degli algoritmi di classificazione. In questo lavoro verranno discusse delle tecniche di trattamento delle misure di irradianza spettrale per la determinazione del coefficiente di attenuazione diffusa necessario per la mappatura della vegetazione sommersa.

Una campagna di pieno campo è stata eseguita per quantificare la trasparenza dell'acqua a varie profondità, utilizzando la misura di irradianza *downwelling*.

Un calcolo accurato del coefficiente di attenuazione diffusa è quindi importante per una corretta correzione della colonna d'acqua; questo studio dimostra come siano ottenibili dei coefficienti di attenuazione diffusa corretti utilizzando le misure di irradianza spettrale *in situ*.

Area di studio

Le aree di studio sono state lo Stagnone della laguna di Marsala, sulla costa ovest della Sicilia, la Baia di Mondello del Golfo di Palermo, sulla costa Nord della Sicilia e il lago di Prizzi, in provincia di Palermo (figura 1).



Figura 1. Aree di studio.

Le campagne di misura sono state eseguite per valutare i parametri di attenuazione dell'acqua e includono la misura di irradianza *downwelling* in acqua e la misura di irradianza spettrale in aria.

Acquisizione dei dati - misure spettrali

I punti di misura sono stati posizionati nel sistema UTM WGS84 utilizzando un'unità EGNOS-enabled Magellan Meridian Platinum. Le misure di irradianza spettrale subacquea e in aria sono state acquisite mediante uno spettroradiometro *Analytical Spectral Devices FieldSpec®ProFR* che opera con una risoluzione di 3 nm nella regione tra i 350 – 1000 nm e 10 nm nella regione tra i 1000 – 2500 nm collegato attraverso una fibra ottica di 10 m ad un *Cosine Receptor* che ha permesso l'acquisizione dell'irradianza discendente a diverse profondità.

Elaborazione dati – correzione della colonna d'acqua

Per ottenere la riflettanza del fondale è necessario depurare il segnale radiometrico dall'influenza della colonna d'acqua. A questo scopo si utilizza un modello semplificato di trasferimento radiativo della luce nell'acqua dove la riflettanza spettrale della superficie dell'acqua è calcolata come la somma del contributo della colonna d'acqua più il contributo del fondale.

$$R_{0-}(\lambda_i) = R_{\infty}(\lambda_i) * [1 - e^{(-2K_d z)}] + R_b(\lambda_i) * e^{(-2K_d z)} \quad (1)$$

dove:

$R_{0-}(\lambda_i) = 0.545 * R_{0+}(\lambda_i)$ è la riflettanza sotto il pelo libero dell'acqua;

$R_{0+}(\lambda_i)$ è la riflettanza sopra il pelo libero dell'acqua;

$R_{\infty}(\lambda_i)$ è la riflettanza ad una profondità infinita;

$R_b(\lambda_i)$ è la riflettanza del fondale;

$K_d(\lambda_i)$ è il coefficiente di attenuazione diffusa;

z è la profondità dell'acqua;

il termine z posto ad esponente nell'equazione (1) ci dice che più grande è la profondità, meno influenza avrà il fondale nella misura spettroradiometrica, similmente per fondali bassi avremo una

influenza della colonna d'acqua minore rispetto a quella del fondale. La profondità alla quale una colonna d'acqua può essere considerata otticamente infinita dipende dal K_d , che è un parametro spettrale.

Il K_d può essere calcolato attraverso il modello di *Sathyendranath and Platt* (Sathyendranath e Platt, 1989) come una funzione dei coefficienti di assorbimento (a) e *backscattering* (b_b) (Equazione 2):

$$K_d(\lambda) = [a(\lambda)^2 + 2a(\lambda)b_b(\lambda)]^{0.5} \quad (2)$$

In questo studio invece il K_d (Mobley, 1994) è stato determinato attraverso le misure di irradianza spettrale a diverse profondità (equazione 3) (Kirk, 1994)

$$K_d(\lambda, z) = \ln \left(\frac{E_d(\lambda, z_1)}{E_d(\lambda, z_2)} \right) / (z_2 - z_1) \quad (3)$$

dove:

$E_d(\lambda, z_1)$ e $E_d(\lambda, z_2)$ è l'irradianza spettrale discendente misurata *in situ* rispettivamente alla profondità z_1 e z_2 .

Ponendo z_1 uguale a 0, si ottiene:

$$E_{(z, \lambda)} = E_{0-}(\lambda) * e^{-K_d(\lambda) * Z} \quad (4)$$

Dove E_{0-} rappresenta l'irradianza sotto il pelo libero dell'acqua e z una generica profondità. L'equazione 4 descrive la variazione dell'irradianza spettrale con la profondità, senza però considerare l'altezza del sole al momento dell'acquisizione. Nell'equazione (5) invece questo parametro viene preso in esame attraverso il termine j (Jerlov, 1976)

$$E_{(z, \lambda)} = E_{0-}(\lambda) * e^{-K_d(\lambda) * Z / \cos j} \quad (5)$$

con:

$$\sin i / \sin j = \sin(90 - h_s) / \sin j = 4/3 \quad (6)$$

dove h_s è l'elevazione solare e i, j sono gli angoli di rifrazione assoluta tra aria e acqua.

Risultati

Il picco di irradianza spettrale è localizzato approssimativamente a 550-580 nm per le misure effettuate allo Stagnone di Marsala e sul lago di Prizzi e si sposta verso lunghezze d'onda più elevate aumentando la profondità mentre è tra i 400-450 nm per le misure di Mondello.

I valori di $K_d(\lambda)$ sono stati calcolati per tutti e tre i luoghi presi in esame utilizzando come valori di riferimento le lunghezze d'onda centrali dei sensori MODIS, SeaWiFS e CZCS.

I risultati ottenuti sono stati comparati con quelli riportati da *Jerlov* per diversi tipi di acqua e da questo confronto possiamo dedurre che le acque dello Stagnone di Marsala possono essere classificate come acque di tipo "3" (acque litoranee: trasparenza moderata), quelle di Mondello come acque di tipo IA (acque di tipo oceanico: trasparenza intermedia) mentre quelle del lago di

Prizzi si possono classificare come acque di tipo “7” (acque costiere: relativamente torbide). La figura (3) mostra i coefficienti di attenuazione diffusa nei tre casi esaminati e descritti in tabella 2.

Centro Banda [nm]	MODIS	SeaWiFs	CZCS	$K_d(\lambda)$ [m ⁻¹] Stagnone di Marsala	$K_d(\lambda)$ [m ⁻¹] Baia di Mondello	$K_d(\lambda)$ [m ⁻¹] Lago di Prizzi
412	405-420	402-422	-	0.57	0.07	1.53
443	438-448	433-453	433-453	0.48	0.08	1.04
490	483-493	480-500	-	0.23	0.04	0.69
510	-	500-520	510-530	0.20	0.01	0.60
531	526-536	-	-	0.17	0.01	0.51
555	546-556	545-565	540-560	0.16	0.11	0.45
670	662-672	660-680	660-680	0.30	0.31	0.81
678	673-683	-	-	0.31	0.33	0.82
756	743-753	745-785	-	1.49	0.86	3.33
865	862-877	845-885	700-800	2.29	0.66	3.14

Tabella 2. Parametri di estinguimento dell'irradianza spettrale in colonna d'acqua.

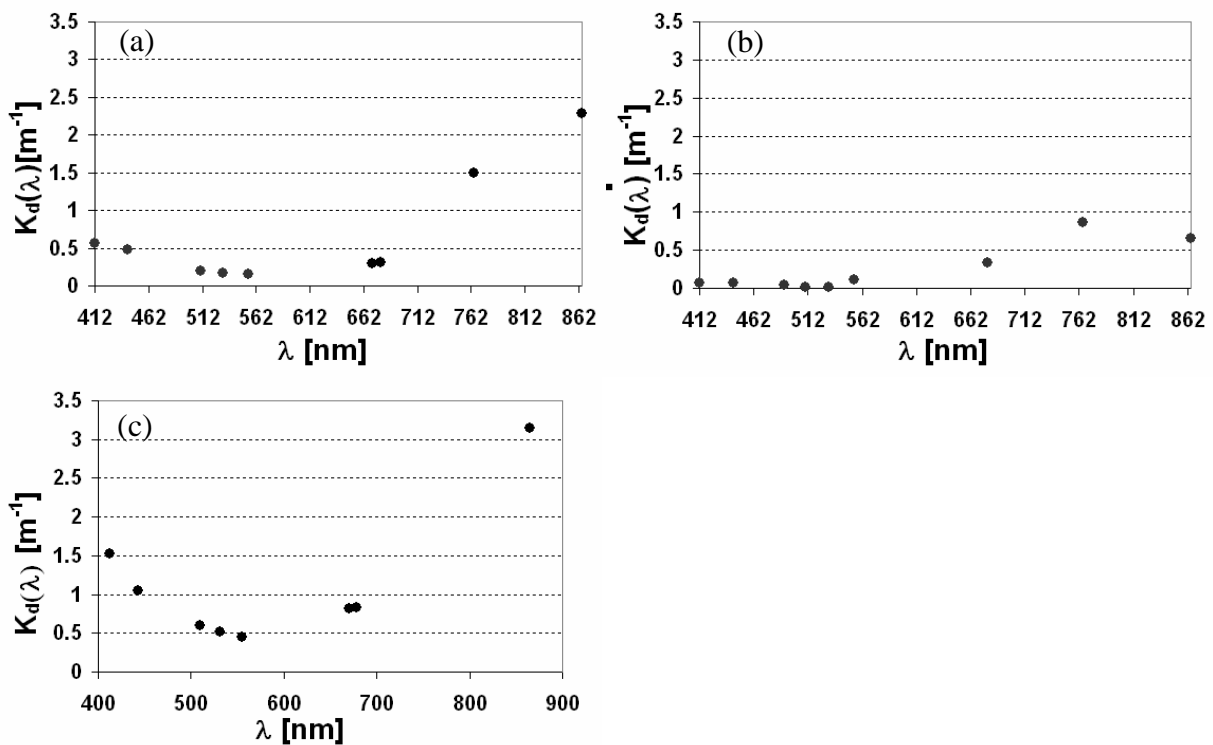


Figura 3. Coefficienti di attenuazione diffusa al variare della lunghezza d'onda.
(a)Stagnone di Marsala, (b)Baia di Mondello, (c)Lago di Prizzi

Una legge esponenziale che descrive la quantità spettrale $K_d(\lambda)$ ci permette di valutare le profondità di visibilità spettrale, poiché solo una piccola parte dell'irradianza entrante, riesce a riemergere (approssimativamente l'1%) dopo avere attraversato la colonna d'acqua prima come irradianza discendente (*downwelling irradiance*) e poi come irradianza ascendente (*upwelling irradiance*). Questi valori ci hanno dato un'idea della profondità della visibilità spettrale che ha un sensore remoto in questo tipo di acque. Per le acque di laguna la massima visibilità è a circa 562 nm (approssimativamente 8 m di profondità), per le acque costiere si trova a 512 nm (circa 100 m di profondità), mentre per le acque lacustri abbiamo un massimo della visibilità a 555 nm (2,5 m di profondità) (figura 4).

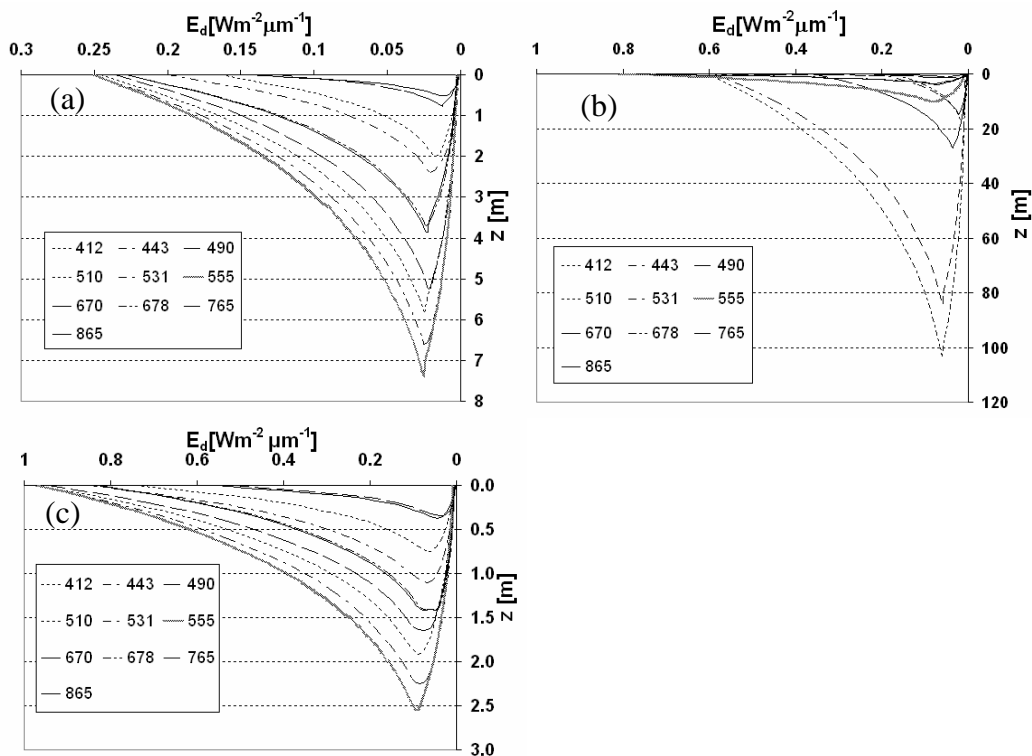


Figura 4. Decadimento dell'irradianza incidente in colonna d'acqua.

(a)Stagnone di Marsala, (b)Baia di Mondello, (c)Lago di Prizzi

In tutti i casi è stata ipotizzata una riflettanza del fondale pari al 100%, mentre nella realtà la riflessione dipende anche dal tipo di fondale che si sta esaminando e di conseguenza si abbassa la profondità di visibilità spettrale.

L'analisi del decadimento dell'irradianza con la profondità mostra che il lago di Prizzi è caratterizzato da una forte attenuazione, comparata con quella della Laguna di Marsala (circa 4 volte superiore) e a quella di Mondello (circa 50 volte).

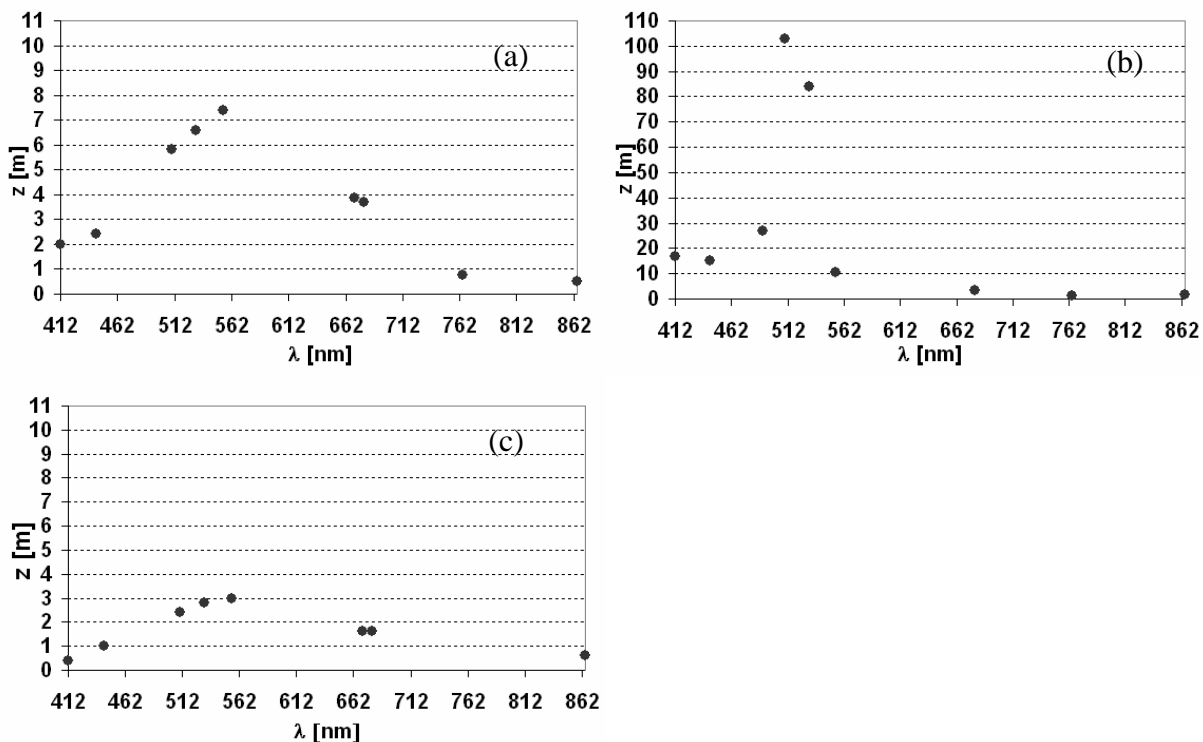


Figura 5. Profondità di visibilità spettrale.
 (a) Stagnone di Marsala, (b) Baia di Mondello, (c) Lago di Prizzi

La figura 5 mostra la massima profondità spettrale per i centri banda presi in esame in Tabella 1. La profondità spettrale è bassa in tutti e tre i corpi idrici esaminati nella regione del blu, cresce fino ad un massimo che si aggira sui 500-560 nm per tutti e tre i casi e poi decresce nel rosso e nell'infrarosso, a causa del forte assorbimento dell'acqua.

Conclusioni

La metodologia utilizzata per la determinazione del K_d è stata utilizzata per la correzione della colonna d'acqua su immagini telerilevate (equazione 1) che hanno permesso la mappatura delle specie vegetali sommerse nelle due aree marine prese in esame, ottenendo dei buoni risultati nella classificazione ed un'accuratezza, calcolata con dei punti verità acquisiti durante la campagna di misura *in situ*, pari a circa il 70%. L'applicazione sul lago di Prizzi ha permesso di caratterizzare la trasparenza delle acque. Nel prosieguo del lavoro si cercherà di abbandonare l'ipotesi di totale riflettanza del fondale per ottenere profondità di visibilità spettrali meno teoriche.

Riferimenti Bibliografici

- Jerlov, N.G. (1976) *Marine Optics*. Elsevier Oceanography Series, 14. New York. pp. 231
- Kirk, J.T.O. (1994) "Light and Photosynthesis in Aquatic Ecosystems", Cambridge University Press, 509
- Mobley, C.D. (1994) "Light and Water. Radiative Transfer in Natural Waters" *Optical properties of Water*, 61-142.
- Sathyendranath, S., Platt, T., 1989. "Remote sensing of oceanic primary production: Computations using a spectral model's" *Deep-Sea Res.* I 36, 431-453.