

Valutazione dell'impatto ambientale del sistema ISWEC tramite tecniche integrate di remote sensing ed in situ.

Borfecchia F.¹, Micheli C.², Belmonte A.², De Cecco L.¹, Gomez C.⁵, Bracco G.⁴, Mattiazzo G.⁴, Struglia M. V.³, Sannino G.³

ENEA, Agenzia Nazionale Italiana di Ricerca per l'Energia, le Nuove tecnologie e lo Sviluppo Economico Sostenibile,

(1) ENEA SSPT-PROTER-OAC Sustainability of productive and territorial systems Dep., Protection and valorization of territory and natural heritage Div., Earth & Climate Observation and Analysis lab.

Via Anguillarese, 301 00123, Rome, e-mail: flavio.borfecchia@enea.it;

(2) ENEA DTE-BBC-BBE Energy Technologies Dep., Bioenergy Div., Bio-refinery and green chemistry lab.

(3) ENEA SSPT-MET-CLIM Sustainability of productive and territorial systems Dep., Models & technologies for impacts and natural hazards reduction .Div., Climate modelling and impacts lab.

(4) Polytechnicique University of Turin, Mechanical Engineering Dep. Turin Italy.

(5) Cantieri Navali Esposito S.n.c., via Borgo Italia, snc. Pantelleria (TP), Italy.

Riassunto

In gran parte del territorio insulare Italiano, non collegato alla rete nazionale e caratterizzato spesso da alte valenze e vulnerabilità ambientali, la produzione elettrica è assicurata prevalentemente da vecchi impianti alimentati a combustibili fossili, con alti costi e sussidi gravanti sulla bolletta elettrica, malgrado in queste aree le potenzialità delle rinnovabili siano enormi. In particolare, una delle fonti di energia rinnovabile è quella resa disponibile dal moto ondoso marino che, pur non offrendo, nel Mediterraneo, potenziali pari a quelli di altri bacini (Oceani, mar del Nord,...), presenta eccellenti prospettive per un suo sfruttamento concorrenziale nel quadro su esposto, grazie anche alle sue caratteristiche di continuità e stabilità nel tempo. In quest'ottica è stato sviluppato dal politecnico di Torino l'innovativo sistema basculante ISWEC (Inertial Sea Wave Energy Converter), progettato per minimizzare l'impatto ambientale sugli ecosistemi costieri dovuto agli ancoraggi utilizzando un sistema di ormeggio inerziale innovativo a basso impatto ambientale, in grado di assicurare un collegamento affidabile alla rete elettrica. Il primo prototipo a scala 1:1 del sistema, costituito da una piattaforma galleggiante basculante lunga 15 m., larga 8 ed alta 4,5, è stato installato la scorsa estate nei bassi fondali a 800 m dalla costa dell'isola di Pantelleria, dove attualmente già immette nella rete l'energia elettrica prodotta. Quest'ambiente insulare marino costiero e dei bassi fondali, con acque ad elevata trasparenza, presenta una ricchezza rilevante di habitat sommersi, in particolare di praterie di Posidonia oceanica (PO) che caratterizzano gli ecosistemi costieri dell'isola, ancora con significativi livelli di biodiversità e specificità di adattamento all'idrodinamismo accentuato di queste coste. In quest'ottica è necessario un monitoraggio adeguato dell'ecosistema di PO locale al fine di consentire l'individuazione del potenziale stress ed eventuali danni causati delle attività connesse alla messa in opera ed al funzionamento dell'ISWEC o/e ad altri fattori di origine antropica(pesca,...) e/o naturale (aumento di temperatura, acidificazione,...). A tal fine è stata implementata quindi una metodologia integrata per il monitoraggio e la mappatura delle praterie PO utilizzando tecniche satellitari di remote sensing calibrate mediante misurazioni di verità a mare supportate da analisi genetiche e di laboratorio. Durante la scorsa estate una prima campagna di verità mare sulle aree d'interesse è stata condotta con misurazioni puntuali di diversi parametri biofisici (biomassa, densità dei ciuffi, copertura,...) relativi alla fenologia della PO., effettuate mediante un metodo di campionamento originale, su stazioni distribuite lungo il gradiente batimetrico, partendo dalla posizione dell'ISWEC, a 31 m. di profondità. E' stata acquisita quindi una prima serie di riprese satellitari



pressoché sincrone fornite dai sistemi Landsat 8 OLI della NASA e Sentinel 2 MSI (recentemente reso operativo nell'ambito del programma Copernicus dell'U.E.) dell'ESA (European Space Agency), con dati multispettrali nel visibile ed infrarosso e risoluzioni spaziali da 10 a 30 m. includenti l'intera area d'interesse dell'isola di Pantelleria. L'obiettivo è stato quello di testare preliminarmente le capacità di monitoraggio e mappatura della distribuzione PO e dei relativi

parametri biofisici in acque costiere anche otticamente complesse, da parte di questi nuovi sensori di ultima generazione dalle caratteristiche spettrali e radiometriche migliorate rispetto ai precedenti. La disponibilità su base sistematica di questi dati telerilevati, con il supporto della calibrazione periodica mediante dati di verità mare, consentono il loro impiego efficace per la messa a punto di metodologie operative di monitoraggio degli habitat costieri basate sulla modellistica statistica e/o bio-ottica.

Abstract

Marine renewable energy extraction plays a key role both in energy security of small islands and in mitigation of climate change, but at the same time poses the important question of monitoring the effects of the interaction of such devices with the marine environment.

In this work we present a new methodology, integrating satellite remote sensing techniques with in situ observations and biophysical parameters analysis, for the monitoring and mapping of Posidonia Oceanica (PO) meadows in shallow coastal waters.

This methodology has been applied to the coastal area offshore of Pantelleria Island (Southern Mediterranean) where the first Italian Inertial Sea Wave Energy Converter (ISWEC) prototype has been recently installed. The prototype, developed by the Polytechnic of Turin consists of a floating platform 8 meters wide, 15 meters long and 4.5 meters high, moored at about 800 meters from the shore.. It is characterized by high conversion efficiency, resulting from its adaptability to different wave conditions, and a limited environmental impact due to its mooring innovative method with absence of fixed anchors to the seabed. The island of Pantelleria, is characterized by high transparency of coastal waters and PO meadows ecosystems with still significant levels of biodiversity and specific adaptation to accentuated hydrodynamics of these shores.

Although ISWEChas a low-impact mooring inertial system able to ensure a reliable connection to the electric grid with minimal impact on seagrass growing in the seabed, the prototype installation and operation involves an interaction with local PO and seagrass meadows and possible water transparency decreasing. In this view monitoring of local PO ecosystem is mandatory in order to allow the detection of potential stress and damages due to ISWEC related activities and/or other factors.

However, monitoring and collection of accurate and repetitive information over large areas of the necessary parameters by means of traditional methods (e.g. diving and plants counting), can be difficult and expensive. To overcome these limits we present an integrated methodology for effective monitoring and mapping of PO meadows using satellite/airborne EO (Earth Observation) techniques calibrated by means of sea truth measurements and laboratory genetics analyses. During last summer a sea truth campaign over the areas of interest has been performed and point measurements of several biophysical parameters (biomass, shoot density, cover) related to PO phenology has been acquired by means of original sampling method on the stations distributed along a bathymetry gradient starting from the ISWEC location, at 31 m. of depth. The Landsat 8 OLI with the Sentinel 2 MSI (recently made available within the Copernicus EU program) synchronous satellite multispectral data, including the entire coastal area of interest, were acquired and preprocessed with the objective to test their improved mapping capabilities of PO distribution and related biophysical parameters on the basis of the previously developed operative methods and near synchronous sea truth data. The processed point samples measurements were then exploited for multispectral data calibration, with the support of the statistic and bio-optical modelling approaches to obtain improved thematic maps of the local PO distributions.



Introduzione

I sistemi satellitari di telerilevamento multispettrale passivo operativi a risoluzione spaziale intermedia (SeaWiFS, MODIS, MERIS, ..), utilizzati principalmente per il rilevamento del colore dell'oceano a livello globale, forniscono dati per la mappatura sistematica di parametri biofisici fondamentali come SST (Sea Surface Temperature) e concentrazione di CHL (clorofilla) e sedimenti, sulla base di algoritmi ben consolidati (Dierssen, 2009). Nonostante la loro comprovata utilità per il monitoraggio operativo marino delle zone di mare aperto, a causa di esigenze di scala spaziale più stringenti nella zona d'interfaccia "land-sea" e della maggiore complessità ottica delle acque costiere, questo tipo di dati telerilevati con risoluzione spaziale da 250 m. al Km., purtroppo risulta meno utilizzabile per la stima delle distribuzioni delle concentrazioni dei vari costituenti otticamente attivi dei bassi fondali ed il monitoraggio degli ecosistemi vegetali costieri in termini di discriminazione, estensione ed altri parametri biofisici specifici. In questo contesto i metodi maggiormente diffusi sono basati su rilievi aerospaziali maggiormente efficaci in termini di risoluzione spaziale più adatti a fornire un supporto per un monitoraggio operativo solitamente in sinergia con le misurazioni di verità mare utilizzate per la calibrazione. Tali rilievi multispettrali sono effettuati tramite varie tecniche di osservazione (EO) della Terra attualmente disponibili utilizzanti sensori HR (5-50 m.) e VHR (<m-5 m.) (alta ed altissima risoluzione spaziale) sia satellitari (Pasqualini et al. 2005, Borfecchia et al. 2013 a) che aerei (Borfecchia et al 2013 b) con risoluzioni da alcune decine di m sino a quella submetrica (QuickBird, WorldView 2, Dedalus ATM,...). Tali sistemi però operano su richiesta ed in modo non sistematico, con aree riprese dell'ordine di 10X10 Km, più adatte ad un monitoraggio locale e limitatom nel tempo. In tale contesto, nell'estate 2013 è stato messo in orbita dalla NASA il nuovo satellite polare Landsat 8 che trasporta a bordo il sensore OLI (Operational Terra Imager), di nuova generazione che, come i precedenti della famiglia Landsat, acquisisce sistematicamente con periodo di circa 20 gg. (alle nostre latitudini) immagini multispettrali di porzioni di circa 180X180 km della superficie terreste. Questo sensore rispetto a quelli precedenti della stessa famiglia oltre all'aumento nelle bande di acquisizione nel visibile e TIR, presenta miglioramenti nella loro radiometria che offrono una maggiore capacità per il monitoraggio operativo degli ecosistemi costieri in precedenza non disponibile. Oltre alle usuali bande spettrali è stato introdotto un nuovo canale di acquisizione "coastal" nelle frequenze più alte del blu, per migliorare le sue capacità di monitoraggio costiero alla risoluzione spaziale di 30 m. maggiormente proficua in acque costiere e interne, spesso otticamente complesse.

In Italia, nonostante molte zone e bassi fondali costieri presentino indizi di degrado dovuti alle crescenti pressioni antropiche ed agli effetti dei cambiamenti climatici, su di essi spesso a causa della carenza di risorse non si opera con metodi di monitoraggio a scale spazio-temporali efficaci, conseguentemente la vegetazione acquatica e molti habitat costieri sono poco mappati, spesso le mappe già esistenti hanno una risoluzione spaziale insoddisfacente e/o le informazioni sono poco aggiornate (Micheli et al., 2010). In questo contesto quindi l'utilizzo delle tecniche di telerilevamento aerospaziale più recenti in modo integrato con quelle di rilevo in sito consolidate rappresenta una soluzione maggiormente vantaggiosa ed efficace in grado di dare un contributo determinante a supporto della gestione sostenibile degli ambienti costieri dei bassi fondali sui quali risulta d'interesse testare preliminarmente le potenzialità e le migliorate funzionalità di questi sistemi satellitari di ultima generazione anche per supportare la valutazione dell'impatto derivante dall'introduzione di sistemi avanzati di sfruttamento delle energie rinnovabili in ambienti marini e costieri caratterizzati da elevate biodiversità e valenze ambientali ma significativamente vulnerabili alla pressione delle attività antropiche ivi incluse quelle per lo sfruttamento delle energie rinnovabili (Borfecchia et al., 2016) ed all'impatto del climate change. L'obiettivo principale del presente lavoro è stato pertanto quello di valutare preliminarmente le nuove funzionalità del sensore Landsat



8 OLI per il monitoraggio estensivo dei bassi fondali, in particolare della quelli attigui all'installazione ISWEC (fig 1-2) dove diversi fattori di impatto derivanti principalmente dalla concentrazione delle attività di origine antropica possono dar luogo a produzione e diffusione di inquinanti, sostanze nutrienti e sedimenti nelle aree circostanti, con riduzione della trasparenza dell'acqua e sollecitazioni meccaniche potenzialmente dannose per le praterie di Posidonia.

Materiali e metodi

Area d'interesse, dati EO ed ausiliari

Tra i laver di base preesistenti reperiti per le finalità del progetto figurano l'altimetria e la batimetria su tutta l'isola ed alcune informazioni relative alla distribuzione delle principali praterie di PO, acquisite nell'ambito di un progetto del 2000 supportato dal Ministero dell'Ambiente. Il progetto è stato sviluppato facendo uso di rilievi in immersione, un mezzo sottomarino ROV (Remote Observation Vehicle) ed anche di acquisizioni satellitari, in particolare immagini multispettrali Landsat TM5, che hanno avuto un utilizzo limitato prevalentemente a causa della loro scarsa sensibilità radiometrica, limiti che sono stati in gran parte superati con il nuovo sensore OLI, della stessa famiglia, impiegato in queste attività qui descritte. I layer vettoriali di distribuzione della PO e di batimetria articolati nelle isobate a 10, 20, e 30 m., acquisiti nella proiezione cartografica UTM-ED50 sono stati resi congruenti e riproiettati nel sistema UTM-WGS84 per renderli compatibili con le specifiche scelte per il progetto, tenendo conto anche delle indicazioni per l'ottimizzazione delle elaborazione delle immagini telerilevate che sono rese disponibili dai relativi providers nella loro versione di base inquadrate in tale riferimento cartografico. Nella figura 1 è riportata un'immagine dell'area d'interesse dell'isola di Pantelleria ottenuta integrando le informazioni relative alla batimetria con un'immagine multispettrale True color Landsat 8 OLI dell'Agosto 2014. Sull'immagine sono riportate le distribuzioni delle praterie di Posidonia stimate nel 2000 e la posizione dell'apparato ISWEC attualmente funzionante sull'isola.

Per testare preliminarmente le capacità del Landsat 8 OLI per la mappatura delle praterie di PO sui bassi fondali dell'isola di Pantelleria, sono state acquisite inizialmente 2 frames riprese dal Landsat 8 OLI rispettivamente nell'agosto 2013 e nell'agosto 2014 (Fig. 1), con l'obiettivo di utilizzarle per la messa a punto delle procedure di preprocessing geometrico e radiometrico. Le immagini multispettrali riprese dal sensore di nuova generazione OLI (Operational Terra Imager), a bordo del satellite polare Landsat 8 messo in orbita dalla NASA nell'estate 201. Questo sensore rispetto a quelli precedenti della stessa famiglia oltre all'aumento nelle bande di acquisizione nel visibile e TIR, presenta miglioramenti nella loro radiometria che offrono una maggiore capacità per il monitoraggio operativo degli ecosistemi costieri in precedenza non disponibile(Tabella1). Oltre alle usuali bande spettrali (RGB, NIR, SWIR, TIR) opportunamente riconfigurate per migliorare il loro SNR (Signal to Noise Ratio), è stato introdotto un nuovo canale di acquisizione "coastal", per migliorare le sue capacità di cattura dei segnali relativi al "ocean color" nell'intervallo di frequenze più alte a ridosso del blu (deep blue), alla risoluzione spaziale di 30 m. maggiormente proficua specialmente nelle acque costiere e interne (Blondeau-Patissier et al, 2014, Cibic et al., 2015), spesso otticamente complesse (case II waters). Queste immagini con risoluzione di 30 m. nei canali del visibile e NIR, sono state corrette geometricamente e dopo la selezione dell'area d'interesse relativa all'isola di Pantelleria (circa 20 x 20 Km.) sono state inserite nel geodatabase di progetto ed utilizzate anche come lavers di base. Nella figura successiva (Figura 2) è riportata una restituzione 3-D dell'area d'interesse ove è installato il convertitore ISWEC ottenuta integrando le informazioni relative all'orografia locale sotto forma di DTM (Digital Terrain Model). Sebbene la posizione del convertitore sia stata scelta sulla base della distribuzione della disponibilità di energia dal moto ondoso lungo le coste dell'isola



valutata nell'ambito dell'analisi di fattibilità preliminare supportata da modellistica oceanografica e dati multi-temporali opportunamente acquisiti a risoluzione adeguata, essa si colloca, come si vede, entro aree in cui sono presenti praterie di Posidonia che necessitano di essere monitorate per evidenziare eventuali stress conseguenti.



Figura 1 - Restituzione true-color dell'area di Pantelleria ripresa dal Landsat 8 OLI nell'Agosto 2014. Sono riportate in sovrapposizione la posizione dell'ISWEC, le batimetrie e le distribuzioni di PO rilevate nel 2000.



Figura 2 - Restituzione 3-d dell'area di Pantelleria ripresa dal Landsat 8 OLI nell'Agosto 2014. Sono riportate in sovrapposizione le batimetrie e le distribuzioni di PO rilevate nel 2000. Oltre alle aree di localizzazione delle praterie di PO con puntinatura verde è riportata la posizione del sistema ISWEC con simbolo in rosso.



	MERIS		Landsat 7 ETM+				Landsat 8 OLI				
Ban d	λ _{cent} (nm.)	FWH M	Ban d	λ _{cent} (nm.)	FWHM	SNR	Band	λ _{cent} (nm.)	FWHM	SNR	
1	412,69	9,94									
2	442,56	9,95					1	443	20	130	Coastal / Aerosol
3	489,88	9,96	1	485	70	40	2	482,5	65	130	Blue
4	509,82	9,96									
5	559,69	9,97	2	560	80	41	3	562,5	75	100	Green
6	619,6	9,98									
7	664,57	9,99	3	660	60	28	4	655	50	90	Red
8	680,82	7,49									
9	708,33	9,99									
10	753,37	7,5									
12	778,41	15,0 1									
13	864,88	20,0 5	4	835	130	35	5	865	40	90	NIR
							6	1375	30		Cirrus
			5	1650	200	36	7	1610	100	100	SWIR1
			7	2220	260	29	8	2220	200	100	SWIR2
			6	11450	2100		9	10895	59		TIR1
		_					10	12005	101		TIR2

Tabella 1- Caratteristiche delle bande spettrali di acquisizione dei vari sensori utilizzati per applicazioni di monitoraggio costiero e marino tramite telerilevamento satellitare

Sea truth e campionamento

Le attività di progetto hanno riguardato anche la progettazione e la conduzione di una campagna di rilievi sulle praterie di PO interessate dall'installazione del prototipo ISWEC che ha avuto luogo nel periodo fine luglio-inizio agosto 2015. Gli obiettivi della campagna di rilievi, effettuata nella seconda metà di agosto, includevano sia quelli di fornire una serie di misurazioni dirette sulle praterie di PO nel sito dell'intervento con vari parametri biometrici atti alla loro caratterizzazione, sia il prelievo di campioni, in accordo con schemi e protocolli diffusamente utilizzati da sottoporre poi ad opportune misure biometriche ed analisi di laboratorio. C'era inoltre l'esigenza di utilizzare i risultati di questa campagna di rilevi di "sea truth" come base per la calibrazione dei dati telerilevati al fine della messa a punto delle procedure necessarie alla stima estensiva e ripetuta nel tempo delle distribuzioni dei parametri relativi alla PO nelle aree d'interesse. In quest'ottica è stato messo a punto uno schema di campionamento sintetizzato ha previsto rilievi su 3 stazioni di misura localizzate sui nei pressi prototipo, sui fondali lungo il gradiente batimetrico (approssimativamente 30, 20 e 10 m.). Le 3 stazioni sono individuate dalle rispettive coordinate acquisite in superficie e sono associate ai relativi 5 subplot, ciascuno di 1 m² distribuiti come riportato nella figura seguente.





N. 5 subplot per stazione incluso quello centrale

Figura 3-Localizzazione delle 3 stazioni e schema di campionamento e utilizzato per la campagna di rilievi sulle praterie di PO nel sito d'installazione del prototipo ISWEC.

L'obiettivo di questo schema, in accordo con i protocolli più diffusi, è quello di permettere la caratterizzazione campionaria robusta di un'area di $20x20 \text{ m}^2$ compatibile anche con la risoluzione delle immagini satellitari a terra. Il lavoro in campo costituito dai rilievi in immersione con l'ausilio del telaio di campionamento visibile nelle immagini di Figura 4 e strumentazione ausiliare (bussola e profondimetro), è avvenuto nella seconda metà di Agosto scorso in tempi successivi per le 3 stazioni di misura in accordo con le condizioni meteo e marine.

Con l'ausilio di un telaio di 1 m² utilizzato in immersione, di colore adatto ad assicurare sufficiente discriminazione e contrasto ed appositamente predisposto (Fig. 4), su ciascun subplot sono stati effettuati in immersione vari rilievi riguardanti i parametri fenologici quali: copertura (tramite analisi visiva) e densità con rilievo del numero di ciuffi (shoot/m2): la conta è stata effettuata su una porzione di 50x50 cm., definita nel quadrante Nord-Ovest del telaio di campionamento di 1 m^2 appositamente predisposto e visibile nelle immagini di Figura 6. Successivamente, mediante l'applicazione del protocollo convenzionale, la densità media è stata calcolata ed espressa in numero di ciuffi/m² (shoot/m²) in ciascuna stazione (ABC) esaminata. Il valore finale della densità sarà rapportato a tutta la prateria. Inoltre è stata ripresa un'immagine digitale RGB con apposita camera subacquea includente approssimativamente il telaio con orientamento definito, al fine di supportare adeguatamente la messa a punto di una procedura semiautomatica innovativa robusta per la stima alternativa della copertura/densità che verrà illustrata nel seguito. Dal quadrante Nord-Ovest del telaio sono state prelevate alcune piante(3-5 shoot) che, conservate adeguatamente, sono state analizzate in laboratorio per la caratterizzazione dei parametri fenologici e fisiologici come la biomassa (peso fresco e secco) e la biometria, unitamente al polimorfismo genetico per la determinazione della struttura genetica della prateria. I protocolli più diffusi per la stima della copertura delle praterie di PO in immersione, prevedono la valutazione visiva della copertura percentuale di PO, in corrispondenza del telaio di campionamento visibile in Fig. 4. Tale stima potrebbe risultare affetta da approssimazioni dovute alla soggettività dell'operatore frequentemente aggravate da situazioni d'illuminazione non omogenea e limitazioni varie connesse alle modalità operative subacquee. L'utilizzo di immagini digitali ad adeguata risoluzione dell'area d'interesse



debitamente orientate e preprocessate mira ad introdurre procedure operative foto-interpretative e/o semiautomatiche da applicare successivamente alle riprese tese ad aumentare l'affidabilità e la robustezza del dato rilevato/stimato.



Figura 4 - Utilizzo del telaio di campionamento sulle praterie di PO. Immagine originale (alto a sinistra) e dopo correzioni digitali per minimizzare gli effetti di disomogeneità nell'illuminazione (alto a destra). Immagine corretta per gli effetti di distorsione geometrica prospettici (basso a sinistra) e classificata tramite procedura semiautomatica per l'individuazione della copertura di PO (basso a destra)

Come riportato nelle immagini di Fig. 4, sono state utilizzate delle procedure digitali appositamente messe a punto per le correzioni sia radiometriche che geometriche dell'immagine rilevata dei subplot, successivamente si è proceduto con un algoritmo di classificazione che ha permesso di segmentare opportunamente l'immagine pre-elaborata in tre classi costituite da PO (verde), fondo(blu) e telaio (Fig. 3 in basso a destra), da cui è possibile derivare agevolmente la copertura percentuale della PO. La procedura messa a punto è stata poi applicata sull'intero set d'immagini acquisite sulle 3 stazioni.

Presso il laboratorio ENEA Casaccia, Biomasse e Biotecnologie per l'Energia), è stata inoltre stimata la biometria di ogni pianta (numero, lunghezza e larghezza delle foglie), ed è stata calcolata la biomassa sia in peso fresco (grammi \pm DS) che in peso secco (grammi \pm DS) dopo essiccazione a 70°C per 72 ore, sia del comparto epigeo (fogliare) che di quello ipogeo (rizoma).

Una volta prelevate dalle piante, le foglie giovani sono state preventivamente lavate in acqua distillata, rimuovendo gli epifiti, messe in azoto liquido e conservate a -80° C prima dell'estrazione del DNA e sua amplificazione (mediante PCR) evidenziata con elettroforesi su gel di agarosio, per il calcolo dei polimorfismi di popolazione. Nel grafico in basso a sinistra di Figura 5 è riportata la distribuzione di densità della PO (shoots/m²) misurata sulle praterie in corrispondenza dei subplot



del 3 stazioni (i pedici a 2 cifre indicano rispettivamente la stazione ed il n° di subplot progressivo di 5, in accordo con lo schema di campionamento adottato). Da questi valori integrati con le misure biometriche sui campioni prelevati e sui dati di copertura stimati tramite elaborazione digitale delle immagini fotografiche acquisite in immersione è stata derivata la distribuzione di LAI riportata nel grafico in alto a sinistra di Figura 5. I grafici a destra della figura 5 sintetizzano infine i risultati



Figura 5 – Grafici relativi alle distribuzioni di densità (destra in basso), LAI (Leaf area Index), e variabilità genetica (grafici in alto ed in basso a destra) stimati per i 15 subplot delle 3 stazioni di misura.

ottenuti dalle analisi genetiche effettuate sui campioni. Da questi nota una buona clusterizzazione dei valori di variabilità genetica per le tre stazioni (St.1, St.2, St.3) con valori maggiormente similari per le stazioni 2 e 3 che trovano riscontro anche con le misure di densità e le stime di LAI corrispondenti.

	Depth (m.)	² sh/m	cov. (%)	LAI (m /m)	DLAI	mg.dw/sh	Dmg.dw/sh	Classe Giraud
st1	33,90	121,600	54,900	0,519	0,147	1,236	0,290	IV
st2	24,90	556,800	65,700	1,948	0,877	0,900	0,248	II
st3	15,00	451,200	69,200	4,109	1,262	1,280	0,198	II

Tabella 2- Risulati dalle stime biometriche derivati dai rilievi puntuali sulle 3 stazioni di misura.

Le misure biometriche sono state successivamente elaborate per il calcolo preliminare del LAI (Leaf Area Index) a livello delle delle singole stazioni (Tabella 2). In accordo con la classificazione di Giraud per la Posidonia basata sulla densità, le stazioni presentano praterie di 2



classi di densità: classe I (st1) e II (st2, st3). Successivamente i parametri medi calcolati per stazione ottenuti dai rilevi puntuali in sito sono stati utilizzati per l'ottimizzazione della calibrazione dei dati telerilevati finalizzata ad ottenere le distribuzioni relative ai vari parametri bio-geofisici d'interesse degli ecosistemi di PO monitorati.

Processing e calibrazione dei dati EO

Per testare preliminarmente le capacità del Landsat 8 OLI per la mappatura delle praterie di PO sui bassi fondali dell'isola di Pantelleria, sono state acquisite inizialmente 2 frames riprese dal Landsat 8 OLI rispettivamente nell'agosto 2013 (Fig. 2) e nell'agosto 2014 (Fig. 3-4), con l'obiettivo di utilizzarle per la messa a punto delle procedure di preprocessing geometrico e radiometrico. Successivamente a seguito della campagna di "sea truth" dell'agosto 2015 sono state selezionate ed acquisite altre 3 immagini multispettrali Landsat 8 OLI, maggiormente compatibili con i rilievi in sito rispettivamente del maggio, luglio ed agosto 2015. Nell'ambito della messa a punto delle procedura di preelaborazione è stata quindi applicata una correzione atmosferica standard al fine di rimuovere gli effetti atmosferici dai rilievi TOA (Top Of Atmosphere) al sensore che in generale sono equivalenti al segnale utile proveniente dalla superficie dell'acqua sotto forma di radianza WLR(Water Leaving Radiance). Quest'ultima comprende sia il contributo dei componenti otticamente attivi nella colonna d'acqua includenti principalmente oltre al fitoplancton anche sedimenti (TSM) e CDOM (Coloured Dissolved Organic Matter) che quello relativo alla copertura del basso fondale che può provenire da seagrass, macroalghe e substrati bentonici vari. La correzione radiometrica delle frames acquisite per gli effetti atmosferici è stata effettuata attraverso un approccio "image based" utilizzando il codici ATCOR integrato all'interno del package commerciale Erdas-Imagine ed ACOLITE reso recentemente disponibile tra i codici scientifici open-source(Vanhellemont et. al 2015). L'approccio "image based" sfrutta le informazioni specifiche contenute nella stessa immagine multispettrale da correggere e non richiede ulteriori misure in situ sul campo simultanee al passaggio satellitare, inoltre, essendo di agevole applicazione risulta adatto per il nostro uso operativo. Questo ci ha permesso di tener conto degli effetti perturbativi atmosferici sulla base del valore medio di AOD (Aerosol Optical Depth) derivato dalla stessa immagine, includendo anche dell'effetto di adiacenza che potrebbe essere molto importante per il monitoraggio efficace dei bassi fondali costieri all'interfaccia terra-mare a causa della possibile contaminazione dai valori di riflessione superiore da parte delle zone contigue di terra.

Le immagini multispettrali su citate cosi pre-elaborate sono quindi utilizzate per stimare la distribuzione reale attuale della PO e dei relativi parametri biofisisci nei siti d'interesse.

Nella figura successiva (Fig. 6) è riportata la distribuzione preliminarmente ottenuta tramite metodo integrato di classificazione unsupervised/supervised ed algoritmo SAM (Spectral Angular Mapper) dai dati telerilevati satellitari Landsat 8 OLI, acquisiti in data 08-08-2014 e preventivamente corretti geometricamente e per gli effetti atmosferici secondo la procedura sopra descritta. Si è operato effettuando un clustering unsupervised tramite isodata a 10 classi delle aree di bassofondale dopo aver preventivamente selezionato dalle immagini le superfici acquatiche tramite sogliatura del canle NIR. Successivamente le firme spettrali ottenute sono state utilizzate tramite schema supervised con algoritrmo SAM. Successivamente si è proceduto interattivamente all'etichetattura delle varie classi discriminando tra le praterie di PO e le altre classi di fondale sulla base delle distribuzioni precedentemente rilevate.

Nell'immagine le aree verdi corrispondono alla distribuzione stimata delle praterie di PO sommerse e sono restituite in sovrapposizione all'immagine RGB unitamente alle principali curve batimetriche. Come si vede, pur considerando questo come risultato preliminare ottenuto da dati satellitari antecedenti la campagna di rilievi in sito e con il supporto dati ausiliari, esso appare in buon accordo con le distribuzioni precedentemente rilevate con metodologie (Fig. 1), prevalentemente tradizionali.





Figura 6- Mappa tematica della distribuzione di PO in verde preliminarmente ottenuta dai dati multispettrali Landsat 8 OLI acquisiti in data 08-08-2014, corretti per gli effetti atmosferici e classificati tramite procedura unsupervised.

Successivamente è stato ottenuto un miglioramento significativo delle stime della distribuzione locale di PO sulla base di un approccio maggiormente efficace basato su un utilizzo dei dati di calibrazione in sito rilevati unitamene alla batimetria locale stimata sia dalle curve disponibili che dalle stesse immagini multispettrali elaborate. In quest'ottica come si evince in tabella 2, le densità di PO trovate nelle 3 stazioni rientrano in due classi di Giraud, per cui è stato utilizzato il dato satellitare preventivamente corretto per gli effetti atmosferici unitamente alla batimetria locale per la stima della distribuzione locale di queste due classi sulla base della calibrazione nelle 3 stazioni. Per la classificazione è stato adottato uno schema supervised basato sul classificatore ML (Maximum Likelihood) e firme spettrali estratte preventivamente in corrispondenza delle 3 stazioni La batimetria è stata utilizzata come layer aggiuntivo a quelli di misura. di riflettanza multispettrale ottenuti dai rilevi satellitari. Come si vede dalla mappa tematica ottenuta (Figura 7), la distribuzione delle classi di Giraud nella zona d'installazione dell'ISWEC risulta in buon accordo con quella generale preventivamente ottenuta tramite schema unsupervised. In corrispondenza della localizzazione dell'ISWEC risulta presente prateria "molto rada" di classe IV di Giraud, mentre nelle altre 2 stazioni di misura la prateria diventa "densa" (classe II di Giraud) ma nelle aree immediatamente a sud la densità diminuisce sensibilmente anche nelle zone a minore profondità. La distribuzione stimata non si estende nelle zone in alto a destra dell'immagine che risultano non mappate.





Figura 7- Distribuzione delle classi di densità della PO di Giraud IV (cl1) e II (cl2), nell'area d'installazione del convertitore ISWEC, ottenuta tramite classificazione supervised delle riprese Landsat 8 OLI del 27-08-15 corrette per gli effetti atmosferici e calibrate utilizzando i rilievi effettuati sulle 3 stazioni di misura nell'agosto 2015.

Risultati e conclusioni.

Per la valutazione ed il monitoraggio operativo dell'eventuale impatto sulle praterie di PO derivante dall'installazione e funzionamento dell'apparato ISWEC a Pantelleria, è stata messa a punto una metodologia basata su nuove tecniche di telerilevamento satellitare HR e misure di calibrazione in sito sulle praterie d'interesse, acquisite durante una campagna appositamente progettata e condotta nell'estate 2015. Le misure di sea truth sono state acquisite sulla base di uno schema di campionamento appositamente messo a punto ed articolato in 3 stazioni di misura caratterizzate mediante subplot di 1 m², su cui è stata valutata visivamente la densità (conteggio) da cui sono stati prelevati campioni analizzati successivamente in laboratorio mentre la loro copertura è stata stimata dalle loro immagini digitali tramite procedura semi-automatica. Dai campioni prelevati sono state stimate variabili biometriche, biomassa e successivamente il LAI e la variabilità genetica. In accordo con la distribuzione del LAI, la variabilità genetica è risultata più bassa nella stazione 1 (st 1) mentre la distribuzione genetica dei campioni nel loro insieme presenta un clustering (PCOA - Principal Coordinate Analysis) che conferma ulteriormente la distribuzione in 2 classi di densità di Giraud.

Dai risultati ottenuti per le distribuzioni dei tematismi si evince preliminarmente l'efficacia del nuovo sensore OLI Landsat 8 per il monitoraggio operativo degli ecosistemi costieri e delle acque superficiali, in particolare per la mappatura dei bassi fondali e delle praterie di PO che richiedono adeguata risoluzione geometrica e capacità di tener conto adeguatamente delle acque otticamente complesse (Vanhellemont et al., 2015) spesso soggette anche a blooms (Borfecchia et al., 1997,



Cibic et al., 2015, Micheli et al., 2016) o invasione di specie aliene (Petrocelli et al., 2015). Grazie al miglioramento anche delle caratteristiche radiometriche e spettrali del sensore è stato possibile implementare una procedura effettiva per correzione atmosferica "immagine based" alla base di tool operativi utilizzabili per un monitoraggio sistematico. La procedura è stata implementata mediante software specifico di nuova generazione (ATCOR, ACOLITE,...) che ha permesso la stima efficace del contributo dell'aerosol sulla base della sua distribuzione ottenuta lungo tutta l'area di studio. La correzione atmosferica adeguata dei dati HR telerilevati è necessaria per il assicurare un monitoraggio e mappatura efficaci delle acque poco profonde e fondali. L'immagine originale è stata elaborata rimuovendo gli effetti di noise atmosferico molecolare (Rayleigh) e dell'aerosol utilizzando algoritmi specificamente messi a punto per le aree costiere ed acque di caso II (Vanhellemon et Ruddik, 2015), per ottenere il segnale utile in uscita della superficie d'acqua, dopo averla selezionata utilizzando una soglia opportunamente selezionata nel canale di riflettanza NIR. Una classificazione supervisionata utilizzando il classificatore parametrico ML (massima verosimiglianza) con le firme spettrali estratte in corrispondenza delle 3 stazioni di misura, ci ha permesso di valutare preliminarmente la distribuzione del PO intorno alla posizione dell'ISWEC distinguendo due classi di densità secondo Giraud. In particolare, le praterie di PO dense (Cl2-Cl3) e sparse (Cl1), tra cui il limite inferiore, sono stati mappati con la prospettiva di essere successivamente monitorate al fine di rilevare le variazioni collegate con possibili effetti della installazione dell'impianto ISWEC e il suo funzionamento.

La prateria nella classe di densità sparsa (100-300 Sh / m²) è stata trovata alla stazione di misura 1, la più vicina all'impianto ISWEC (~ 31 m. profondità) mentre è stata rilevata prateria della classe densa (400-700 Sh / m²) nelle altre stazioni di misura a batimetria più bassa (5-20 m.).

Da questi risultati preliminari, da migliorare attraverso la correzione dei contributi di noise della colonna d'acqua attraverso la modellazione bio-ottica e/o statistica (Gege, 2014), l'integrazione di dati EO migliorati/aggiornati (ex. Sentinel 2) ed ulteriori dati di verità a mare acquisiti con metodi innovativi, il nuovo sistema di OLI Landsat 8 appare essere in grado di contribuire in modo significativo al monitoraggio operativo delle acque costiere e degli habitat di PO. In questo contesto per superare le limitazioni derivanti dai rilievi in situ di calibrazione, dalla copertura nuvolosa e dalla frequenza dei passaggi, è in corso una campagna ulteriore di campionamenti nella porzione sud della stessa area nonché l'integrazione basata sulle caratteristiche innovative del nuovo sistema Sentinel 2, del programma E.U. Copernicus, che, oltre della risoluzione spaziale di 10 m. è dotato di una duplice piattaforma satellitare in grado di assicurare un raddoppio delle opportunità di acquisizione alle nostre latitudini. Sulla base degli ulteriori dati di sea truth si potrà procedere anche alla stima di accuratezza delle mappe tematiche prodotte ed ad una migliore calibrazione dei modelli bio-ottici da utilizzare in prospettiva anche per la valutazione del contributo della colonna d'acqua, tenendo conto delle caratteristiche locali dell'habitat.

Bibliografia

Blondeau-Patissier D., Gower F.R. J., Dekker G. A., Phinn R. S., Brando E. V., 2014. A review of ocean color remote sensing methods and statistical techniques for the detection, mapping and analysis of phytoplankton blooms in coastal and open oceans. Progress in Oceanography 123 (2014) 123–144.

Borfecchia Flavio, Micheli Carla, Belmonte Alessandro, De Cecco Luigi, Sannino Gianmaria, Bracco Giovanni, Mattiazzo Giuliana, Struglia Maria Vittoria, 2016. Impact of ISWEC sea wave energy converter on posidonia oceanica meadows assessed by satellite remote sensing in the coastal areas of Pantelleria island. EGU General Assembly Conference Abstracts, 18, 16787.



Borfecchia Flavio, De Cecco Luigi, Martini Sandro, Ceriola Giulio, Bollanos Stelios, Vlachopoulos George, Valiante Luigi M., Belmonte Alessandro, Micheli Carla, **2013 a**. Posidonia oceanica genetic and biometry mapping through HR satellite spectral vegetation indices and sea truth calibration. International Journal of Remote Sensing, 34 (13): 4680, 4701.

Borfecchia, F.; Micheli, C.; Carli F.; De Martis S.C.; Gnisci V.; Piermattei V.; Belmonte A.; De Cecco L.; Martini S.; Marcelli M. Mapping spatial patterns of Posidonia oceanica meadows by means of Daedalus ATM airborne sensor in the coastal area of Civitavecchia (Central Tyrrhenian Sea, Italy). Remote Sens. **2013 b**, 5(10), 4877-4899.

Borfecchia F., Cimbelli A., De Cecco L., Della Rocca A. B., Martini S., Barbini R., Colao F., Fantoni R., Palucci A., Ribezzo S. Integrated remote sensing mission in the Venice Lagoon. Proc. SPIE 2959, Remote Sensing of Vegetation and Sea, 162 (January 17, 1997); doi:10.1117/12.264266.

Cibic T., Bongiorni L., Borfecchia F., Di Leo A., Franzo A., Giandomenico S., Karuza A., Micheli C., Rogelja M., Spada L., Del Negro P., 2015. Ecosystem functioning approach applied to a large contaminated coastal site: the study case of the Mar Piccolo of Taranto (Ionian Sea). Environ Sci Pollut. Res. DOI 10.1007/s11356-015-4997-2.

Gege P., 2014. WASI-2D:A software tool for regionally optimized analysis of imaging spectrometer data from deep and shallow waters. Computer & Geosciences, 62: 208-215.

Micheli C., Borfecchia F., De Cecco L, Martini S., Ceriola G., Bollanos S., Vlachopoulos G., Valiante L. M., Fresi E., Campbell G., 2010. Seagrass monitoring by remote sensing in the context of biodiversity conservation. Rapp. Comm. int. Mer Médit., 39.

Micheli C ., Belmonte A., Pignatelli V., De Cecco V., Piermattei V., Marcelli M., Borfecchia F. Evaluation of cyanobacteria bioenergy: a potential resource in Antarctica detected by Multi/Hyper-spectral satellite Image." International Journal of Renewable Energy Technology Research, Vol. 5, No. 3, June 2016, pp. 1-11, ISSN: 2325 -3924 (Online) Available online at http://ijretr.org.

Pasqualini V., Pergent-Martini C., Pergent G., Agreil M., Skoufas G., Sourbes L., Tsirika A.,2005. Use of SPOT 5 for mapping seagrasses: An application to Posidonia oceanica. Remote Sensing of Environment, 94: 39–45.

Petrocelli A., Cecere E., Portacci G., Micheli C., De Cecco L., Martini S., Borfecchia F., 2015. Preliminary Mapping of the alien seaweed Hypnea Cornuta (Rhodophyta, Gigartinales) in the Mar Piccolo of Taranto (Southern Italy, Mediterranean Sea). 46° SIBM Comgress, Rome 2015.

Vanhellemont Q., Ruddick K., (2015). Advantages of high quality SWIR bands for ocean colour processing, Examples from Landsat-8. Remote Sensing of Environment 16, 89–106.