



Ricerca di Sistema elettrico

## Stima degli impatti sugli ecosistemi costieri da impianti "Waves Energy" tramite tecniche di Remote Sensing

F. Borfecchia, C. Micheli, A. Belmonte,  
D. Iantosca, L. De Cecco

## STIMA DEGLI IMPATTI SUGLI ECOSISTEMI COSTIERI DA IMPIANTI "WAVES ENERGY" TRAMITE TECNICHE DI REMOTE SENSING

Flavio Borfecchia, Carla Micheli, Alessandro Belmonte, Domenico Iantosca, Luigi De Cecco (ENEA)

Settembre 2016

### Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2015

Area: GENERAZIONE DI ENERGIA ELETTRICA CON BASSE EMISSIONI DI CARBONIO

Progetto: B.1.5 ENERGIA ELETTRICA DAL MARE

Obiettivo: Stima degli impatti sugli ecosistemi costieri da impianti "Waves Energy" tramite tecniche integrate di Remote Sensing (c).

Responsabile del Progetto: G. Sannino, ENEA

Si ringrazia la prof.ssa G. Mattiazzo del Politecnico di Torino, Dip. Ing. Meccanica, per il supporto alle attività in particolare quelle relative all'organizzazione delle campagne di rilievo, il dr. C. Gomez per i campionamenti a mare di *sea truth* nonché la soc. Cantieri Navali Esposito di Pantelleria per il supporto nell'organizzazione generale delle attività.

## Indice

|  |    |
|--|----|
| SOMMARIO.....  | 4  |
| 1 INTRODUZIONE.....  | 5  |
| 2 ELABORAZIONE DATI RELATIVI AL 2015 .....                 | 6  |
| 2.1 SEA TRUTH E BIOMETRIA .....                            | 6  |
| 2.2 PROCESSING E CALIBRAZIONE DEI DATI LANDSAT 8 OLI ..... | 10 |
| 3 CAMPAGNA DI SEA TRUTH DEL 2016 .....                     | 12 |
| 4 ACQUISIZIONE E TEST SU SENTINEL 2.....                   | 13 |
| 5 CONCLUSIONI .....  | 15 |
| 6 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....                           | 16 |
| 7 ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI .....                          | 17 |

## Sommario

Nel 2015 è stato installato a Pantelleria il primo prototipo in scala 1:1 del sistema ISWEC (Inertial Sea Wave Energy Converter), per la produzione di energia elettrica dal moto ondoso. Il prototipo, costituito da una piattaforma galleggiante basculante lunga 15 m., larga 8 ed alta 4,5, è stato posizionato nei bassi fondali della costa, a 800 m dalla terraferma, dove attualmente già immette nella rete l'energia elettrica prodotta. L'area in cui opera il sistema presenta fondali con acque di elevata trasparenza e ricchezza rilevante di habitat sommersi, in particolare di praterie di Posidonia oceanica (PO) che caratterizzano gran parte degli ecosistemi costieri dell'isola e sono ritenute un'efficace bio-indicatore della qualità ambientale degli habitat marini dei bassi fondali. Pertanto, tra le attività di ricerca dell'ENEA inserite nel programma, oltre agli sviluppi ed applicazioni della modellistica multiscala relativa alle correnti marine è stata inclusa la messa a punto di metodologie efficaci per il monitoraggio degli eventuali impatti su questi ecosistemi costieri derivanti dalle attività del prototipo. 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 ad alta risoluzione (HR) calibrate mediante misurazioni di verità a mare supportate da analisi genetiche e di laboratorio. La metodologia sfrutta le caratteristiche di efficacia, ripetitività e sinotticità delle informazioni fornite dai sensori multispettrali di ultima generazione a bordo delle piattaforme satellitari polari che riprendono sistematicamente la superficie terrestre. Durante l'estate del 2015 una prima campagna di verità mare è stata progettata e condotta sull'area d'interesse con misurazioni puntuali di diversi parametri biofisici (biomassa, densità dei ciuffi, copertura,...) relativi alla fenologia della PO, effettuate in immersione 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 una prima serie di riprese satellitari pressoché sincrone fornite dai sistemi Landsat 8 OLI della NASA che sono state successivamente elaborate per la rimozione degli effetti di noise atmosferico ed utilizzate per stime delle distribuzioni di parametri biofisici nell'area d'interesse sulla base della calibrazione effettuata per mezzo dei rilievi del 2015 tramite modellistica appropriata. Nel 2016 è stata pianificata e condotta un'altra campagna di rilievi in situ nell'area d'interesse con ulteriori stazioni di misura distribuite sempre nei pressi dell'installazione ISWEC, ma prevalentemente sul versante sud, maggiormente esposto ad eventuali aumenti di torbidità dell'acqua derivanti dalle attività connesse al prototipo, come previsto dalla configurazione media locale delle correnti preventivamente stimata. Sono stati quindi selezionati ed acquisiti immagini del nuovo sistema europeo Sentinel 2 MSI, reso operativo successivamente nell'ambito del programma Copernicus dell'U.E. dall'ESA (European Space Agency), con canali 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. Dai risultati preliminari ottenuti si evince che 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 e degli eventuali impatti dovuti alle attività antropiche, in particolare di quelle connesse alla messa in opera di infrastrutture per lo sfruttamento delle energie rinnovabili marine, di particolare interesse a livello nazionale, specialmente nei territori insulari non connessi alla rete elettrica principale.

## 1 Introduzione

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 redatte con mezzi convenzionali, 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 rilievo 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. Pertanto l'obiettivo generale delle attività qui descritte, inserite nell'ambito di quelle per la ricerca sul sistema elettrico a carico dell'ENEA unitamente alla modellistica relativa alla circolazione marina, è stato quello della messa a punto di metodologie operative per la mappatura ed il monitoraggio degli eventuali impatti sugli ecosistemi costieri di Pantelleria interessati dall'installazione dell'ISWEC. In tale contesto la prospettiva è stata quella di cercare di sfruttare al meglio le potenzialità dei sensori multispettrali satellitari Landsat 8 OLI e Sentinel 2, implementati rispettivamente da NASA ed ESA. Questi sono caratterizzati da una risoluzione spaziale di circa 10-30 m, caratteristiche spettrali e sensibilità radiometrica adeguate per il monitoraggio estensivo ed efficace dei bassi fondali e dei relativi habitat, caratterizzati spesso da concentrazioni significative di sostanze otticamente attive derivanti principalmente da attività antropiche. Tali sistemi riprendono sistematicamente la superficie terrestre con periodicità compatibili con lo sviluppo stagionale della vegetazione, i dati ripresi sono registrati e resi liberamente accessibili all'utenza, per cui ben si prestano ad essere utilizzati per la messa a punto di strategie di monitoraggio operativo. I rilievi di *sea truth* risultano indispensabili per la calibrazione dei dati satellitari e comportano misure in sito dispendiose in termini di risorse umane ed economiche da effettuare in immersione sulla base di protocolli di campionamento in grado di coprire aree limitate che debbono essere accuratamente selezionate sulla base della loro rappresentatività e significatività statistica. In tale contesto sono state effettuate due campagne di *sea truth* nel 2015 e nel 2016 con misurazioni sulle praterie di PO in corrispondenza dell'installazione ISWEC condotte con metodologia innovativa, che sono state preprocessate con l'obiettivo di utilizzarle per la calibrazione dei dati Landsat 8 OLI e Sentinel2.

Una delle principali problematiche per l'utilizzo delle tecniche di telerilevamento per il monitoraggio operativo marino e costiero è connessa alla possibilità di effettuare un'adeguata correzione atmosferica del dato TOA (Top of Atmosphere) rilevato dai sensori satellitari orbitanti, tenendo conto che i deboli segnali utili provenienti dalle superfici acquatiche, tipicamente sono simili in termini di intensità al contributo di rumore introdotto dal passaggio atmosferico. Per il monitoraggio costiero degli habitat dei bassi fondali, ulteriori problemi derivano dalla torbidità della colonna d'acqua nonché dalla possibile contaminazione della più elevata (tipicamente di ordini di grandezza) risposta di riflessione tipica delle adiacenti (Adjacency effect) coperture terrestri (ex. sabbie) a causa della dispersione atmosferica. In questo contesto l'approccio operativo tipico utilizzato è caratterizzato dal recupero dei parametri di torbidità atmosferica (ex. aerosol optical depth, AOD) dalla stessa immagine sfruttando le proprietà della riflessione dell'acqua nei differenti canali di acquisizione attraverso metodologie consolidate (Image Based) tipicamente per le applicazioni "open seas".

Nel caso delle applicazioni per il monitoraggio costiero dove si richiede una maggiore risoluzione geometrica e radiometrica fornita dai nuovi sensori HR utilizzati, intervengono però ulteriori difficoltà dovute alle caratteristiche tipiche di più accentuata torbidità dei bassi fondali (case II waters) e risulta necessaria l'applicazione di metodi ed algoritmi maggiormente complessi rispetto a quelli comunemente utilizzati per la stima del "Ocean Color". Tali algoritmi solo da poco tempo risultano disponibili in package

idonei per l'utilizzo operativo in grado di rimuovere efficacemente questi effetti di rumore dovuti all'atmosfera sui segnali utili di riflettanza provenienti dalla superficie d'acqua. Pertanto dopo vari test, è stato utilizzato prevalentemente il package open source ACOLITE (Atmospheric Correction of OLI), da poco rilasciato ed in grado di stimare efficacemente la distribuzione spaziale di AOD anche su acque costiere, ma inizialmente operante solo su dati OLI. Solo qualche mese fa è stata rilasciata una nuova versione del codice in grado di trattare anche i dati Sentinel 2 che stiamo diffusamente testando sulle aree d'interesse.

In questo contesto le attività condotte prevalentemente dalla fine del 2015 a tutto il 2016 hanno riguardato specificamente:

1. il completamento dell'elaborazione dei dati di *sea truth* rilevati nel 2015 con la calibrazione, il processing dei dati telerilevati Landsat 8 OLI e la produzione dei primi prodotti tematici;
2. la pianificazione e conduzione di una successiva campagna di rilievi in sito nella zona adiacente al prototipo su differenti stazioni di misura nella seconda metà del 2016;
3. l'acquisizione di dati Sentinel 2 ed i test preliminari con l'utilizzo della nuova versione del software ACOLITE per la loro correzione atmosferica e stima "image based" della distribuzione di AOD e degli altri parametri.

## 2 Elaborazione dati relativi al 2015

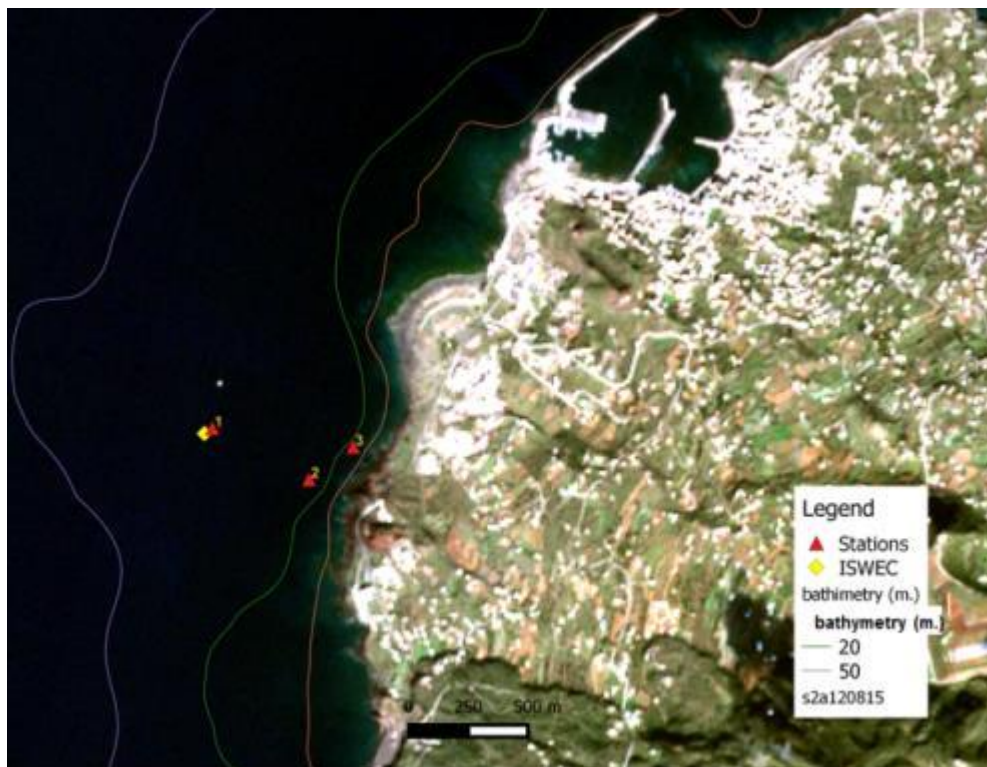
### 2.1 Sea truth e biometria

I dati di *sea truth* acquisiti sulle praterie di PO interessate dall'installazione del prototipo ISWEC nel periodo fine luglio-inizio agosto 2015 includevano sia una serie di misurazioni dirette in immersione sulle praterie di PO nel sito. Tali misure includevano sia vari parametri biometrici relativi alla densità e copertura delle piante, sia il prelievo di campioni, in accordo con lo schema ed protocollo precedentemente messo a punto, da sottoporre poi alle opportune misure biometriche ed analisi di laboratorio. C'era inoltre l'esigenza di utilizzare i risultati di questa campagna di rilievi 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.

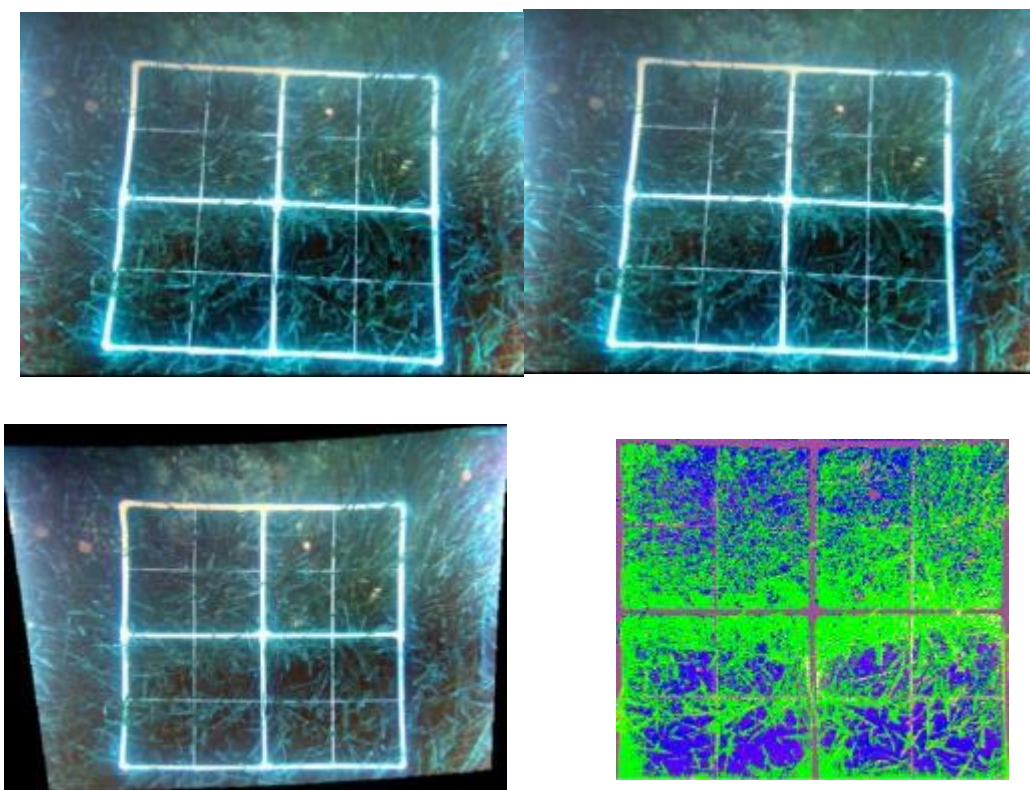
In tale prospettiva sono stati elaborati i rilievi relativi a densità e copertura acquisiti in immersione con l'ausilio di un telaio di campionamento (vedi precedente rapporto) sui subplot di 1 m<sup>2</sup> di ognuna delle 3 stazioni di misura distribuite come riportato in Figura 1. In particolare i parametri fenologici rilevati sono stati: copertura (tramite analisi visiva) e densità con rilievo del numero di ciuffi (shoot/m<sup>2</sup>): la conta è stata effettuata su una porzione di 50x50 cm. in corrispondenza del quadrante Nord-Ovest del telaio di campionamento di 1 m<sup>2</sup> appositamente predisposto e visibile nelle immagini di Figura 2. Mediante l'applicazione del protocollo convenzionale, la densità media è stata calcolata ed espressa in numero di ciuffi/m<sup>2</sup> (shoot/m<sup>2</sup>) in ciascuna stazione (1,2,3) esaminata. Il valore finale della densità è rapportato a tutta la prateria in corrispondenza della stazione di misura. Inoltre sono state elaborate le immagini digitali RGB riprese con apposita camera subacquea su ciascun subplot ed includenti approssimativamente il telaio con orientamento definito, utilizzando la procedura semiautomatica innovativa robusta precedentemente implementata (rapporto precedente) per la stima alternativa della copertura/densità, maggiormente affidabile. I campioni (3-5 shoot) prelevati dal quadrante Nord-Ovest del telaio, conservati adeguatamente, sono stati poi sottoposti ad analisi 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 Figura 2. Tale stima generalmente risulta significativamente 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 dal punto di vista radiometrico e geometrico ha permesso la messa a punto di

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

Come riportato nelle immagini di Figura 2, sono state utilizzate delle procedure digitali appositamente messe a punto per le correzioni sia radiometriche che geometriche dell'immagine digitale rilevata dei subplot, successivamente si è proceduto con un algoritmo di classificazione standard che ha permesso di segmentare opportunamente l'immagine pre-elaborata in tre classi costituite da PO (verde), fondo (blu) e telaio (Figura 2 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 di immagini acquisite sulle 3 stazioni.

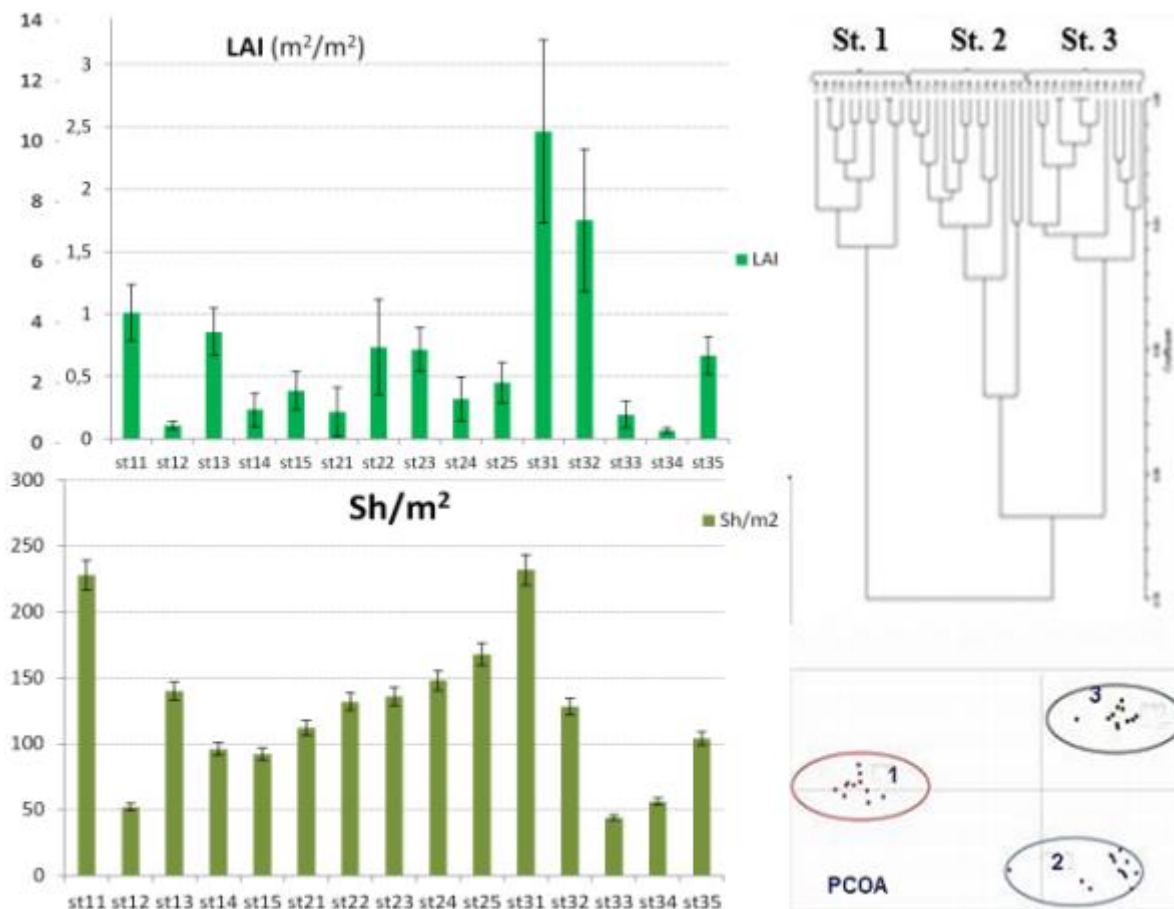


**Figura 1 - Localizzazione delle 3 stazioni di misura per la campagna di rilievi sulle praterie di PO nel sito d'installazione del prototipo ISWEC. In sovrapposizione a true color (RGB) Sentinel 2 a 10 m. del 12-08-2015, le curve iso-batimetriche.**



**Figura 2- Utilizzo del telaio di campionamento sulle praterie e procedura semiautomatica per l'individuazione della copertura di PO**

Presso il laboratorio ENEA Casaccia, Biomasse e Biotecnologie per l'Energia), è stata valutata 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 3 è riportata la distribuzione di densità della PO (shoots/m<sup>2</sup>) misurata sulle praterie in corrispondenza dei subplot delle 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 3. I grafici a destra della Figura 3 sintetizzano infine i risultati ottenuti dalle analisi genetiche effettuate su tutti i campioni. Da questi si nota una buona clusterizzazione dei valori di variabilità genetica per le tre stazioni (St.1, St.2, St.3) con valori maggiormente simili per le stazioni 2 e 3 che trovano riscontro anche con le misure di densità e le stime di LAI corrispondenti.



**Figura 3 - Grafici relativi alle distribuzioni di densità (Shoots/m<sup>2</sup>), 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.**

Le misure biometriche sono state successivamente elaborate per il calcolo preliminare del LAI (Leaf Area Index) a livello delle singole stazioni (Tabella 1). In accordo con la classificazione di Giraud per la Posidonia basata sulla densità, le stazioni presentano praterie di 2 classi di densità: classe IV(st1) e II (st2, st3). Successivamente i parametri medi calcolati per stazione ottenuti dai rilievi 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.

**Tabella 1 - Risultati dalle stime biometriche derivati dai rilievi puntuali sulle 3 stazioni di misura.**

|     | Depth (m.) | sh/m <sup>2</sup> | cov. (%) | LAI (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ) | DLAI  | mg.dw/sh | Dmg.dw/sh |
|-----|------------|-------------------|----------|---------------------------------------|-------|----------|-----------|
| st1 | 33,90      | 121,600           | 54,900   | 0,519                                 | 0,147 | 1,236    | 0,290     |
| st2 | 24,90      | 139,200           | 65,700   | 1,948                                 | 0,877 | 0,900    | 0,248     |
| st3 | 15,00      | 112,800           | 69,200   | 4,109                                 | 1,262 | 1,280    | 0,198     |

## 2.2 Processing e calibrazione dei dati Landsat 8 OLI

A seguito della campagna di *sea truth* dell'agosto 2015 sono state selezionate ed acquisite immagini multispettrali Landsat 8 OLI, compatibili con i rilievi in situ sia dello stesso anno che dei 2 anni precedenti nelle stesse stagioni estive. La correzione radiometrica delle frames acquisite per gli effetti atmosferici è stata preliminarmente effettuata attraverso un approccio "image based" utilizzando il codice ATCOR integrato all'interno del package commerciale Erdas-Imagine ed in prevalenza ACOLITE, reso recentemente disponibile tra i codici scientifici open-source (Vanhellemont et. al 2014). 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. ATCOR 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 l'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 terrestri. Nei test preliminari però si è rivelato maggiormente efficace ACOLITE, in grado di fornire la distribuzione spaziale accurata dell'AOD anche in caso di aumento di torbidità dell'acqua, per cui esso è stato successivamente utilizzato nel lavoro. Nella figura successiva (Figura 4) è riportata la distribuzione ottenuta tramite metodo integrato di classificazione unsupervised 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. In particolare nell'immagine superiore di figura 4 le aree verdi corrispondono alla distribuzione stimata delle praterie di PO sommerse, restituite in sovrapposizione all'immagine RGB della stessa ripresa, unitamente alle principali curve batimetriche. Questo risultato preliminare ottenuto da dati satellitari antecedenti la campagna di rilievi risulta in buon accordo con le mappature precedenti effettuate tramite dispendiose metodologie convenzionali (Figura 4 – immagine inferiore).

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 situ rilevati unitamente alla batimetria locale stimata sia dalle curve disponibili che dalle stesse immagini multispettrali elaborate. In quest'ottica come si evince in Tabella 1, 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 di misura. La batimetria è stata utilizzata come layer aggiuntivo a quelli di riflettanza multispettrale ottenuti dai rilievi satellitari. Come si vede dalla mappa tematica ottenuta (Figura 5), 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.



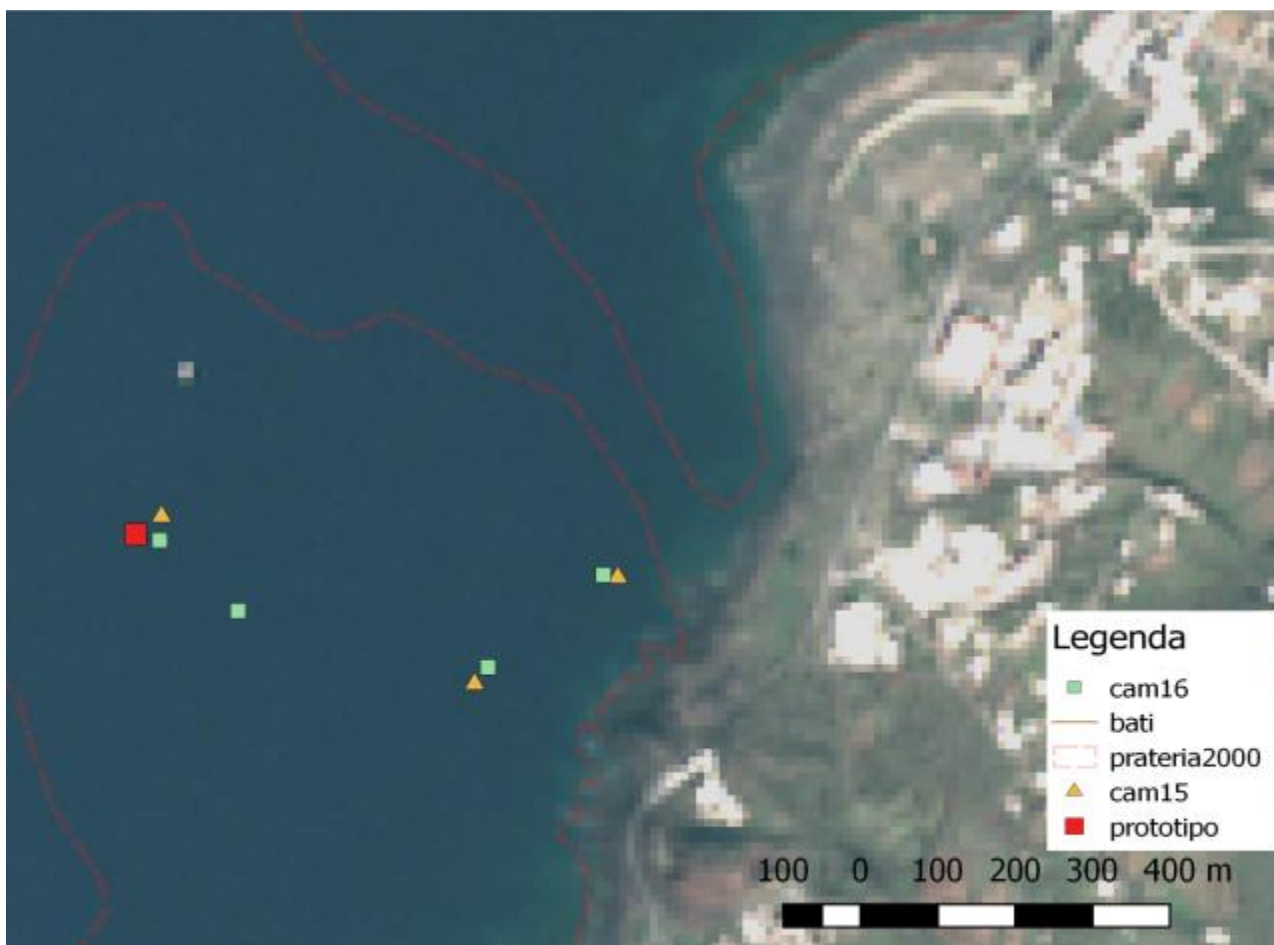
**Figura 4 - Mappa tematica della distribuzione di PO in verde preliminarmente ottenuta dai dati multispettrali Landsat 8 OLI acquisiti in data 08-08-2014, corretti per gli effetti atmosferici e classificati tramite procedura unsupervised. In basso mappatura precedente ottenuta con metodi convenzionali.**



Figura 5 - 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

### 3 Campagna di sea truth del 2016

Nell'estate 2016 sono state avviate le procedure per ripetere la campagna di *sea truth* nei pressi dell'installazione ISWEC al fine di ampliare il dataset dei rilievi in situ di calibrazione migliorando la statistica a supporto della modellistica impiegata.



**Figura 6 – L’immagine riporta il dettaglio della distribuzione delle stazioni di misura utilizzate nelle 2 campagne del 2015 (cam15) e 2016 (cam16) in sovrapposizione ad un’immagine RGB ripresa dal sensore Sentinel 2 a 10 m. di risoluzione a terra.**

## 4 Acquisizione e test su Sentinel 2.

Nel 2016, oltre che con il Landsat 8 OLI, sono stati effettuati una serie di test per poter utilizzare proficuamente le caratteristiche innovative del sensore satellitare Sentinel 2, con 10 m. di risoluzione a terra nelle bande del visibile (RGB) e NIR, messo in orbita nell’ambito del programma Europeo Copernicus. Il software ACOLITE utilizzato per la correzione atmosferica opera correggendo prima per il rumore introdotto dallo scattering molecolare (Figura 7). Successivamente dopo una discriminazione della superficie acquatica, su di essa viene stimata la componente dovuta all’aerosol atmosferico utilizzando il metodo messo a punto recentemente basato sul canale SWIR (Vanhellemont et al., 2015). Nelle figure successive sono riportati alcuni esempi dei risultati preliminari ottenuti (Figura 7 ed 8). Da questi ultimi emergono alcune considerazioni che fanno ritenere il risultato ottenuto con il Landsat 8 OLI migliore di quelli derivati dal Sentinel 2, sebbene il sensore OLI abbia risoluzione geometria peggiore (30 m.). A nostro avviso la maggiore complessità strutturale del dato Sentinel 2, distribuito anche in formato compresso, richiede una ulteriore messa a punto del software utilizzato, sviluppato inizialmente solo per il Landsat. Infatti l’immagine corretta Sentinel 2 presenta un noise residuo ed eccessiva granulosità, tanto che è stato necessario mettere a punto procedure di filtraggio mirato per il miglioramento delle immagini risultanti in modo da poterle renderle confrontabili con quelle Landsat 8 OLI e poterle utilizzare proficuamente per le attività di mappatura sopra descritte.



Figura 7- Immagine Sentinel 2 TOA (Top of Atmosphere) del 11-02-2016 dell'isola di Pantelleria senza alcuna correzione atmosferica (a sinistra) e dopo la rimozione della componente di scattering molecolare (Rayleigh) a destra.

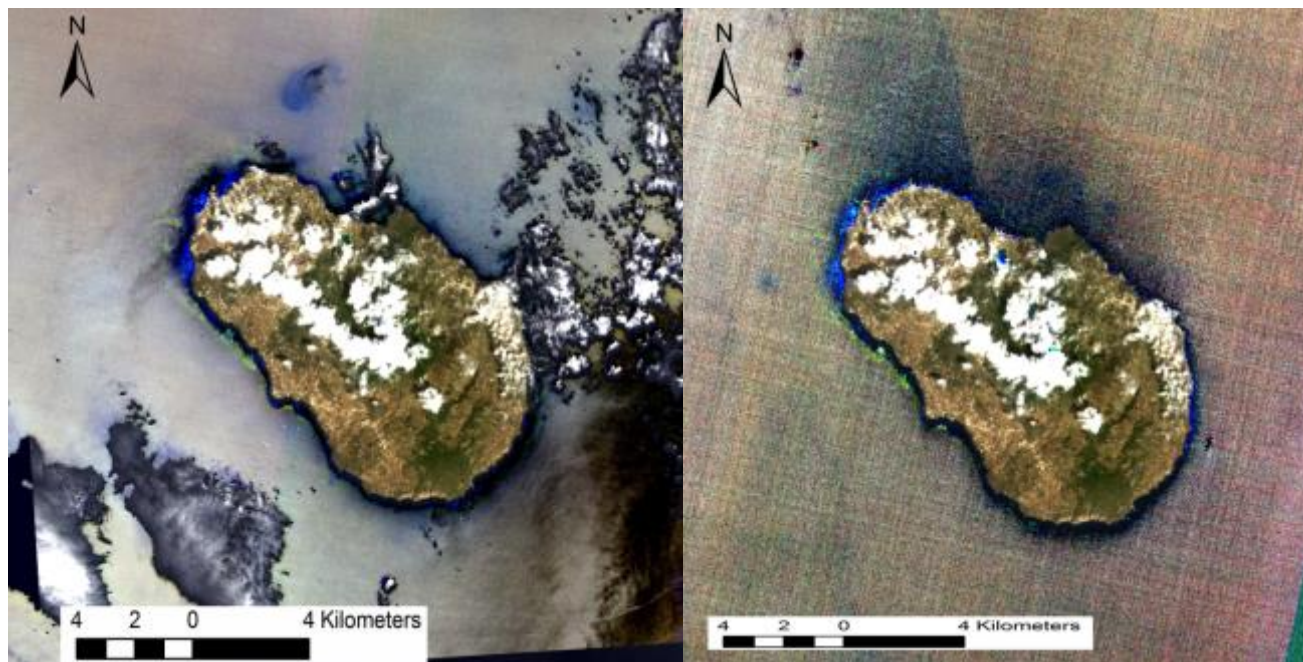


Figura 8 – A sinistra è riportato un primo risultato ottenuto dalla correzione atmosferica dell'immagine Sentinel 2 ripresa in data 11-02-2016 restituito utilizzando per la parte land le componenti RGB dell'immagine Landsat 8 OLI dell'14-08-2016. Il risultato della correzione atmosferica di quest'ultima è mostrato con la stessa modalità a sinistra.

## 5 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 m<sup>2</sup>, 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., 2014) spesso soggette anche a blooms (Borfecchia et al., 1997, Cibic et al., 2015, Micheli et al., 2016) o invasione di specie aliene. 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 assicurare un monitoraggio e una 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 (Vanhellemont 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 (C12-C13) e sparse (C11), 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 / m<sup>2</sup>) 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 / m<sup>2</sup>) 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, 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 e 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.

## 6 Riferimenti bibliografici

1. Borfecchia F., De Cecco L., Martini S., Ceriola G., Bollanos S., Vlachopoulos G., Valiante L. M., Belmonte A., Micheli C., *Posidonia oceanica* genetic and biometry mapping through HR satellite spectral vegetation indices and sea truth calibration. *International Journal of Remote Sensing*, 34 (2013): 4680, 4701.
2. Borfecchia F., Micheli C., Carli F., Cognetti De Martis S., Gnisci V., Piermattei V., Belmonte A., De Cecco L., Martini., Marcelli M., Operative Monitoring and Mapping of the Seagrass and *Posidonia oceanica* coastal ecosystems by means of the Landsat 8 OLI satellite Remote Sensing system. *European Journal of Remote Sensing*. (in press).
3. Borfecchia, Flavio, et al. "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*. Vol. 18. 2016.
4. Cibic, Tamara, et al. "Ecosystem functioning approach applied to a large contaminated coastal site: the study case of the Mar Piccolo of Taranto (Ionian Sea)." *Environmental Science and Pollution Research* 23.13 (2016): 12739-12754.
5. Micheli C., Paganin P, Peirano A, Caye G, Meinesz A, Bianchi CN. Genetic variability of *Posidonia oceanica* (L.) Delile in relation to local factors and biogeographic patterns. *Aquatic Botany* 82 (2005): 210–221
6. Micheli C., D'Esposito D, Belmonte A, Peirano A, Valiante LM, Procaccini G. Genetic diversity and structure in two protected *Posidonia oceanica* meadows. *Marine Environmental Research* 109 (2015): 124-131
7. Micheli C., Cupido R, Lombardi C, Belmonte A, Peirano A. Changes in genetic structure of *Posidonia oceanica* at Monterosso al Mare (Ligurian Sea) and its resilience over a decade (1998–2009). *Environmental management*, 50 (2012): 598-606.
8. Vanhellefont Q., Ruddick K., (2014). Turbid wakes associated with offshore wind turbines observed with Landsat 8. *Remote Sensing of Environment* 145, 105-115.
9. Vanhellefont 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.

## 7 Abbreviazioni ed acronimi

AOD (Aerosol Optical Depth);  
ATCOR (ATmospheric Corrections);  
*AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer);*  
CDOM (Coloured Dissolved Organic Matter);  
CHL (Chlorophyll);  
EO (Earth Observation);  
ESA (European Space Agency);  
GIS (Geographical Information System)  
GPS (Global Positioning System)  
ISWEC (Inertial Sea Wave Energy Converter);  
LAI (Leaf Area Index);  
*MERIS (MEdium Resolution Imaging Spectrometer);*  
NASA (National Aeronautics and Space Administration);  
NIR (Near Infrared);  
OLI (Operational Land Imager);  
*PO (Posidonia oceanica);*  
RGB (Red, Green, Blu);  
RS (Remote Sensing);  
SAM (Spectral Angular Mapper);  
SeaWIFS (Sea-Viewing Wide Field-of-View Sensor);  
SNR (Signal to Noise Ratio);  
SST (Sea Surface Temperature);  
SWIR (Short Wave Infra Red);  
TIR (Thermal Infra Red);  
TOA (Top Of Atmosphere);  
TSM (Total Suspended Sediment);  
UAV(Unmanned Aerial Vehicle);  
UTM (Universal Transverse Mercator);  
WLR(Water Leaving Radiance);