



Ricerca di Sistema elettrico

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

Flavio Borfecchia, Carla, Micheli, Luigi De Cecco

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

Flavio Borfecchia, Carla, Micheli, Luigi De Cecco (ENEA)

Settembre 2015

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2014

Area: Produzione di energia elettrica e protezione dell'ambiente

Progetto: Studi e valutazioni sulla produzione di energia elettrica dalle correnti marine e dal moto ondoso

Obiettivo: Monitoraggio e mappatura degli ecosistemi costieri interessati dall'installazione di impianti di produzione di energia dal mare

Responsabile del Progetto: Gianmaria Sannino, ENEA

Indice

SOMMARIO.....	4
1 INTRODUZIONE.....	5
2 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI.....	6
2.1 LAYERS DI BASE E GEODATABASE.....	7
2.2 PRE-ELABORAZIONE DATI SATELLITARI.....	8
2.3 SEA TRUTH E CAMPIONAMENTO.....	10
2.4 BIOMETRIA ED ANALISI DATI.....	12
3 CONCLUSIONI.....	14
4 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	15
5 ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI.....	15

Sommario

Sono qui presentate alcune attività relative alla messa a punto di una metodologia innovativa per monitorare a scale spazio-temporali adeguate l'ecosistema costiero, in particolare la *Posidonia oceanica* (PO), nei siti d'interesse del progetto, utilizzando un approccio basato sulle tecniche di telerilevamento (RS) e GIS (Geographical Information System) più recenti integrate da metodi avanzati per il campionamento, misure in situ e di laboratorio. L'area d'interesse delle attività è quella dell'isola di Pantelleria, caratterizzata da elevata trasparenza delle acque costiere e dove recentemente è stato installato l'innovativo sistema ISWEC (presentato nel corso delle precedenti annualità) per la produzione di energia elettrica dal moto ondoso. Il sistema, messo a punto dal Politecnico di Torino, è costituito da una piattaforma larga 8 metri, lunga 15 e alta 4,5, ormeggiata a circa 800 metri m. circa dalla riva, con alta efficienza derivante dalla adattabilità alle diverse condizioni d'onda ed un impatto ambientale limitato dovuto all'utilizzo di ormeggi mobili ed assenza di ancoraggi fissi al fondale. Questa soluzione limita gli eventuali danni agli habitat sommersi, in particolare alle praterie di PO che caratterizzano gli ecosistemi costieri dell'isola ancora con significativi livelli di biodiversità e specificità di adattamento all'idrodinamismo accentuato di queste coste. La metodologia da implementare è basata sul reperimento, omogeneizzazione, integrazione e produzione d'informazioni spazialmente geo-riferite sotto forma di "layer" (strati) in proiezione cartografica e congruenti, conservati in un geodatabase appositamente configurato e gestito con modalità informatiche. Tali informazioni ivi incluse quelle acquisite dai sensori satellitari, sono elaborate in modo digitale tramite tecnologie GIS e procedure espressamente sviluppate per ottenere vari prodotti tematici anch'essi sotto forma di layer costituiti da mappe tematiche digitali di distribuzione dei vari parametri biofisici d'interesse (estensione, densità, copertura, LAI,...) relativi nel nostro caso alle praterie di PO sotto indagine. Nel seguito dopo una introduzione sono descritte le varie attività portate avanti in questa fase del lavoro che ha incluso una parte iniziale in cui sono stati reperiti e pre-processati una serie di strati vettoriali di base che sono stati inseriti nel geodatabase. Sono state quindi acquisite alcune riprese satellitari multispettrali Landsat 8 OLI, sulle quali è stata messa a punto una prima versione della procedura di preprocessing geometrico e radiometrico propedeutica al loro utilizzo successivo per la produzione dei tematismi d'interesse. Utilizzando i tool messi a disposizione dall'ambiente GIS e le informazioni del geodatabase è stata quindi progettata una prima campagna di misura sulle praterie di PO in corrispondenza del sito d'installazione del prototipo con un metodo di campionamento innovativo. Tale campagna è stata condotta nella seconda metà dello scorso mese di Agosto mentre le analisi di laboratorio sui campioni raccolti e l'elaborazione dei dati rilevati sono tutt'ora in corso. Contemporaneamente sono state selezionate e sono in corso di acquisizione ulteriori immagini multispettrali Landsat 8 OLI rilevate nel periodo estivo scorso da calibrare con i rilievi acquisiti in situ.

1 Introduzione

Sebbene diversi paesi all'interno dell'Unione Europea abbiano legislazioni nazionali e regolamenti diversi finalizzati a proteggere le praterie di fanerogame marine e la *Posidonia oceanica* (PO) dai disturbi di origine antropica, con la direttiva quadro sulle acque gli Stati Membri hanno stabilito una piattaforma comune e l'obbligo di garantire un "buono stato ecologico" corrispondente a situazioni con il minimo impatto antropico di tutte le acque superficiali. Praterie di fanerogame estese con una buona penetrazione di acque profonde costituiscono efficaci bio-indicatori di "buono stato ecologico" su cui può essere basato il monitoraggio ambientale a supporto della gestione sostenibile delle acque costiere. Da questo punto di vista la PO costituisce quindi un sensibile bio-indicatore della qualità dell'ambiente marino costiero adatto a supportare l'introduzione di eco innovazione nei processi produttivi e lo sviluppo di politiche di gestione ecosostenibile che ben si accordano con il progetto B.1.4 di sfruttamento di energia rinnovabile a basso impatto ambientale. Quindi, vi è una forte necessità di strategie di monitoraggio e gestione efficienti per le varie specie di PO europee e del Mediterraneo, bacino caratterizzato dalla forte pressione antropica dovuta alla concentrazione delle attività connesse alla sovrappopolazione ed allo sfruttamento delle risorse.

La vegetazione sommersa rappresenta un elemento chiave degli ecosistemi marini sebbene oggi in molte aree costiere in varie zone della terra la sua distribuzione risulta in declino a causa sia dell'impatto delle varie attività antropiche sia degli effetti dei cambiamenti climatici in atto. Le varie specie di vegetazione costiera, in particolare la PO, sono notevolmente importanti per il loro fondamentale ruolo ecologico connesso alla riduzione dell'erosione costiera con l'attenuazione dell'impatto del moto ondoso, al sequestro dei sedimenti sospesi ed il conseguente miglioramento della trasparenza, al mantenimento della catena trofica e dell'habitat per una molteplicità di organismi alla base anche di attività con valenze economiche legate alla pesca ed al turismo. La PO, che nel Mediterraneo è tra le più importanti specie per la varietà e l'estensione delle sue praterie, appare sempre più a rischio con la riduzione significativa delle sue estensioni in varie aree e l'aumento della vulnerabilità a stress derivanti sia da variazioni di parametri ambientali (torbidità, temperatura, acidità, salinità,...) che di eventi legati ad attività antropiche (pesca, lavori costieri connessi ad infrastrutture, nuovi insediamenti,...). L'Italia è caratterizzata da oltre 7400 Km di costa lungo la quale si trova oltre il 40% delle praterie di PO dell'intero bacino del Mediterraneo in cui l'aumento della pressione antropica per lo sfruttamento delle risorse richiede preventivamente un monitoraggio estensivo alle diverse scale spazio-temporali e con strumenti innovativi a sostegno della gestione sostenibile di questi ecosistemi. In questo contesto i sistemi aerospaziali di Earth Observation (EO) forniscono un contributo rilevante specialmente con l'utilizzo dei sensori e missioni più recenti o di quelli che si prevede di rendere operativi nell'immediato futuro dotati di caratteristiche di risoluzione spaziale-spettrale e radiometrica unitamente a capacità di rivisitazione adeguate alle esigenze specifiche. Sebbene già da decenni le missioni di telerilevamento satellitare operanti a scala sinottica (AVHRR, MERIS, SeaWifs,...) supportino efficacemente gli studi oceanografici con canali e risoluzioni spettrali in grado di rilevare efficacemente il "colore" del mare da cui, in base ad algoritmi consolidati, è possibile derivare distribuzioni d'importanti variabili geo-biofisiche come SST (Sea Surface Temperature) o CHL (Chlorophyll), la loro risoluzione spaziale intorno al chilometro risulta fortemente limitante per la caratterizzazione degli ecosistemi costieri sui quali si richiedono informazioni più dettagliate in termini di risoluzione geometrica. Infatti tali sensori malgrado la loro indubbia utilità per la caratterizzazione della circolazione e delle variabili geo-bio fisiche a scala regionale ed in mare aperto purtroppo risultano meno adeguati per l'analisi degli ecosistemi costieri in termini di stima dei parametri biofisici sia di qualità dell'acqua sia dell'eventuale vegetazione presente sui bassi fondali, caratterizzata da distribuzioni con patch di dimensioni tipiche della decina di metri. D'altronde negli ultimi anni, nel settore del telerilevamento passivo multi/iperspettrale, sono stati resi operativi sistemi per telerilevamento satellitare (Landsat 8, IKONOS, Hyperion, Chris-Proba, Quick-Bird, World-View,...) e da piattaforme aeree con caratteristiche avanzate di canali di acquisizione, risoluzione spaziale/spettrale e radiometrica in grado di rispondere più adeguatamente a queste specifiche esigenze, tenuto conto anche della loro maggiore flessibilità nei tempi di rivisitazione. Per tali applicazioni

locali sono da considerare anche le modalità di gestione oltremodo vantaggiose sotto molti punti di vista tipiche delle nuove piattaforme UAV (Unmanned Aerial Vehicle) utilizzabili proficuamente in modo integrato per questo genere di applicazioni. I metodi maggiormente diffusi sono quindi 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 utilizzando sensori HR (5-50 m.) e VHR (<m-5 m.) (alta ed altissima risoluzione spaziale) sia satellitari [1] che aerei, con risoluzioni da alcune decine di metri sino a quella submetrica (QuickBird, WorldView 2, Dedalus ATM,...). Tali sistemi VHR però operano su richiesta ed in modo non sistematico, con aree riprese dell'ordine di 10X10 Km o inferiori, più adatte ad un monitoraggio locale limitato 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 HR OLI (Operational Terra Imager), di nuova generazione che, come i precedenti della famiglia Landsat, acquisisce sistematicamente con periodo di circa 20 gg. immagini multispettrali di porzioni di circa 180X180 km della superficie terrestre. 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 (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, spesso otticamente complesse (case Il waters). A tal fine, anche sulla base di alcuni risultati ottenuti in precedenza sulla costa tirrenica [2], si è optato per sfruttare le funzionalità di questo nuovo sensore Landsat 8 OLI, operativo dall'estate 2013 per il monitoraggio estensivo della PO e dei bassi fondali dell'isola di Pantelleria in particolare nelle aree interessate dall'installazione del prototipo ISWEC (Fig 2). In prospettiva i rilievi sistematici Landsat OLI potranno essere integrati da altri acquisiti dai sistemi sopra menzionati e da altri resi operativi con caratteristiche avanzate (ex. Sentinel 2 dell'ESA).

In tale contesto in questa prima fase lavoro la metodologia di monitoraggio è stata focalizzata alla valutazione preliminare dello status delle praterie di PO nelle aree d'interesse dove esistono alcuni fattori di impatto derivanti dalle attività di origine antropica connesse all'installazione del sistema ISWEC e specialmente alle interazioni meccaniche con le praterie di PO sul fondale dovute agli ormeggi. Tenendo conto che i lavori d'installazione possono aver dato luogo anche ad un aumento della concentrazione dei sedimenti, con riduzione della trasparenza dell'acqua i cui eventuali effetti unitamente agli altri suddetti in generale si cumulano dando luogo a danni evidenti sulle praterie a distanza di tempo, l'obiettivo di queste prime attività di monitoraggio integrato è quello di arrivare ad una valutazione effettiva dello stato ecologico attuale delle praterie di PO interessate, assimilabile a quello precedente l'installazione. In tal modo tramite monitoraggi successivi nel tempo sarà possibile evidenziare meglio il trend locale e gli eventuali effetti ascrivibili all'intervento tenendo conto anche della sua possibile influenza positiva sulle praterie dovuta essenzialmente all'attenuazione dell'idrodinamismo accentuato che, specialmente nell'area selezionata, costituisce un notevole fattore impattante naturale che ne ostacola lo sviluppo.

2 Descrizione delle attività svolte e risultati

Nella figura seguente (Fig. 1) è riportato lo schema generale delle attività definito sulla base di un'analisi preliminare dei requisiti di progetto in cui sono evidenziate in grassetto le principali procedure con i relativi blocchi di lavoro simboleggiati da rettangoli includenti i riferimenti alle varie operazioni da svolgere tramite algoritmi e metodi specifici. Nel diagramma sono riportate altresì le interrelazioni tra le varie procedure sotto forma di frecce che collegano i vari blocchi con il flusso dei prodotti tematici assestati nel geodatabase indicato tramite tratteggio il diagramma a sinistra che indica sinteticamente il livello di

completamento della messa a punto delle procedure. Terminata questa prima fase di sviluppo, dopo l'elaborazione dei dati della prima campagna di monitoraggio e delle relative acquisizioni satellitari, i vari tematismi prodotti saranno registrati nel geodatabase di progetto, utilizzati per un'analisi dello stato delle praterie monitorate e resi disponibili all'utenza.

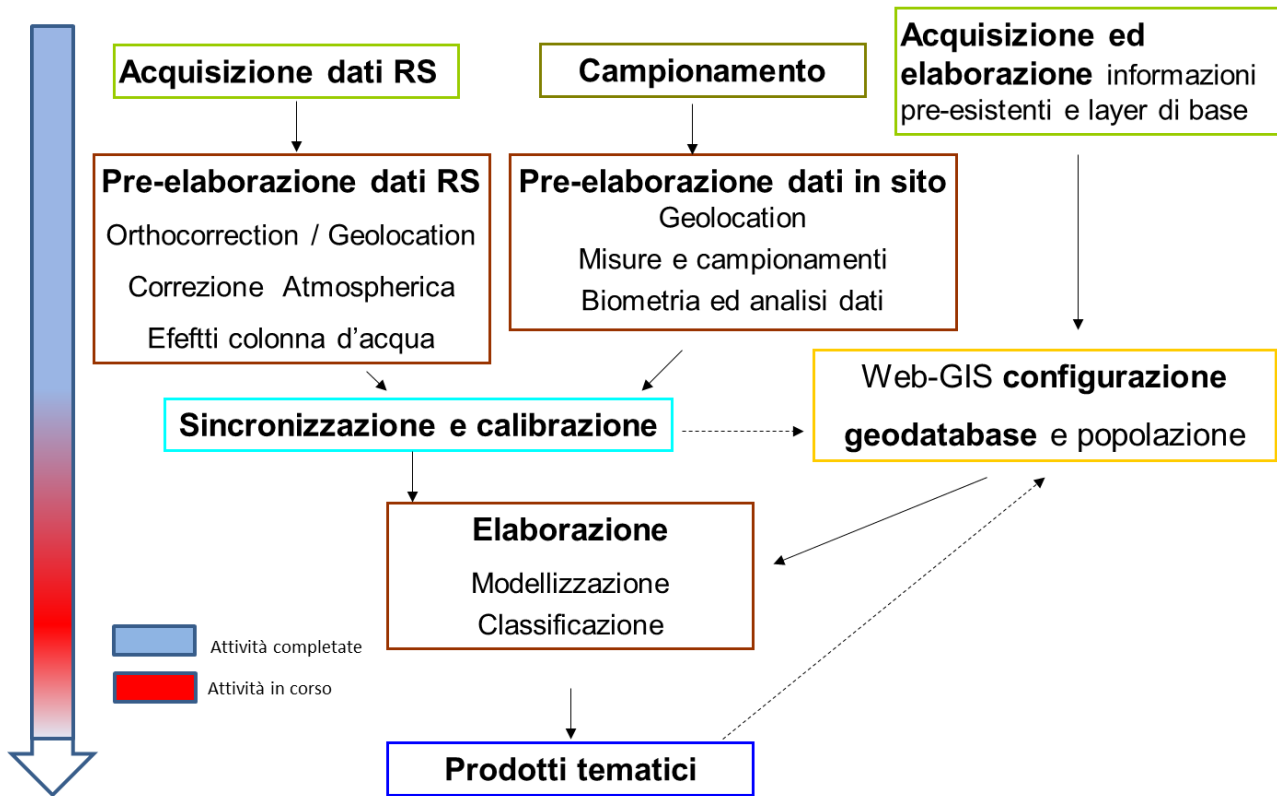


Figura 1 - Schema generale delle attività portate avanti in questa fase di lavoro

Le procedure ed i tools sviluppati e configurati nello schema precedente, saranno raffinati ulteriormente ed utilizzati anche per le campagne di monitoraggio successive in modo da pervenire alla registrazione di una serie storica di dati che sintetizzi il trend dello stato ecologico delle praterie di PO interessate dall'installazione del sistema ISWEC.

Nel seguito è riportata una descrizione delle procedure sviluppate unitamente al loro modo di operare, alle informazioni e dati acquisiti, strumenti utilizzati ed infine ai risultati preliminari ottenuti.

2.1 Layers di base e geodatabase

Tra i layer di base preesistenti reperiti per le finalità del progetto figurano l'altimetria (Fig. 2) 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. 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 geodatabase, 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.

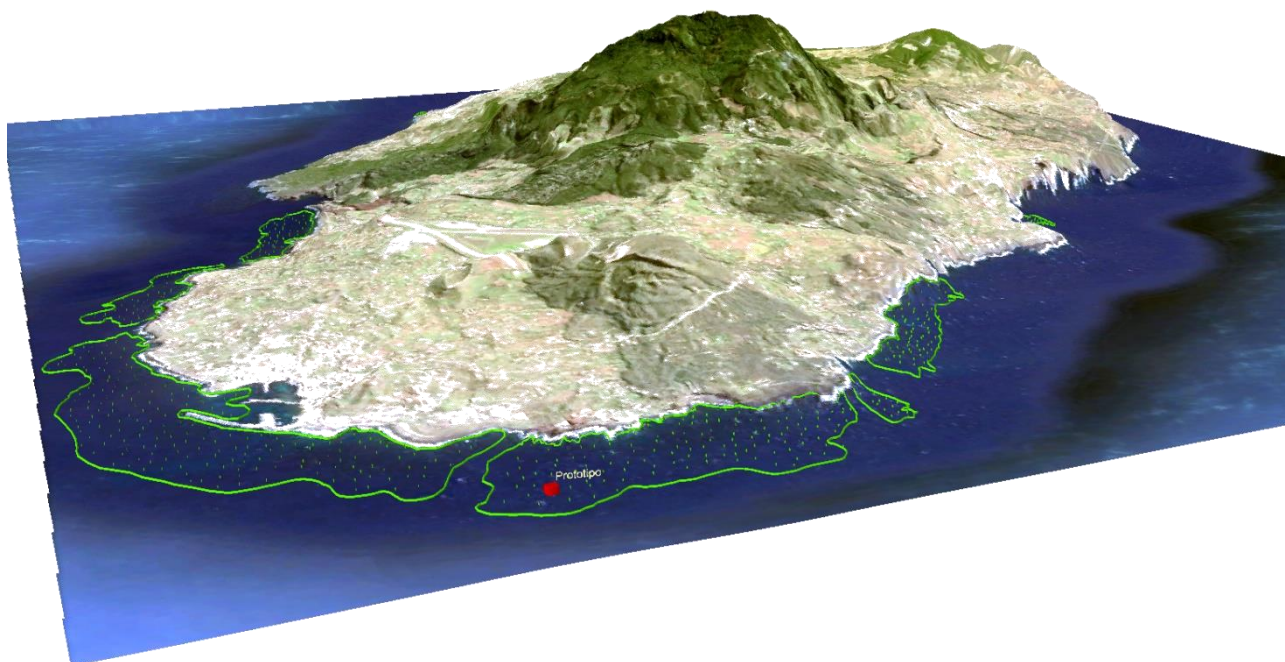


Figura 2- Restituzione 3-D dell'isola di Pantelleria ottenuta utilizzando il modello altimetrico e la combinazione RGB derivante dai rilievi Landsat 8 OLI del 08-08-2014. Oltre alle aree di localizzazione delle praterie di PO con puntinatura verde è riportata la posizione prevista per il sistema ISWEC con simbolo in rosso.

2.2 Pre-elaborazione e dati satellitari

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. 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 2013, come per i precedenti della famiglia Landsat, sono acquisite sistematicamente con periodo di circa 20 gg. su porzioni di circa 180X180 km della superficie terrestre. 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 (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, spesso otticamente complesse (case II waters). Queste immagini con risoluzione di 30 m. nei canali del visibile e NIR, sono state corrette geometricamente con ri-proiezione nel sistema cartografico UTM-WGS 84 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 layers di base.

Successivamente a seguito della campagna di "sea truth" dell'agosto 2015 sono state selezionate e sono in corso di acquisizione 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'ultimo 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 codice ATCOR integrato all'interno del package commerciale Erdas-Imagine. 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 così pre-elaborate saranno quindi utilizzate per stimare la distribuzione reale attuale della PO e dei relativi parametri bio-geofisici nei siti d'interesse.



Figura 3 - Restituzione true-color 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.

Nella figura successiva (Fig. 4) è riportata la distribuzione preliminarmente ottenuta tramite metodi 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. Nell'immagine le aree verdi corrispondono alla firma spettrale 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 situ e senza il supporto dei rilievi di calibrazione, esso appare in buon accordo con le distribuzioni precedentemente rilevate (Fig. 3), prevalentemente con metodologie tradizionali. In prospettiva riteniamo possibile un miglioramento

significativo delle stime della distribuzione sulla base di un approccio maggiormente efficace basato sull'integrazione dei dati puntuali di sea truth ed ausiliari.



Figura 4 – Mappa tematica della distribuzione di PO in verde preliminarmente ottenuta dai dati multispettrali Landsat 8 OLI acquisiti in data 08-08-2014 e preprocessati tramite la procedura descritta.

2.3 Sea truth e campionamento

Come riportato nello schema di Fig. 1, 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 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 quest'ottica è stato messo a punto uno schema di campionamento sintetizzato nella figura seguente:

N. 5 subplot per stazione incluso quello centrale

Coordinate delle 3 stazioni:

St.A: Lat: 36° 49' 23"N , Long :11° 55' 13" E (Prototipo)

St.B: Lat: 36° 49' 21"N, Long: 11° 55' 25" E

St.C: Lat: 36° 49' 20"N, Long: 11° 55' 35"E

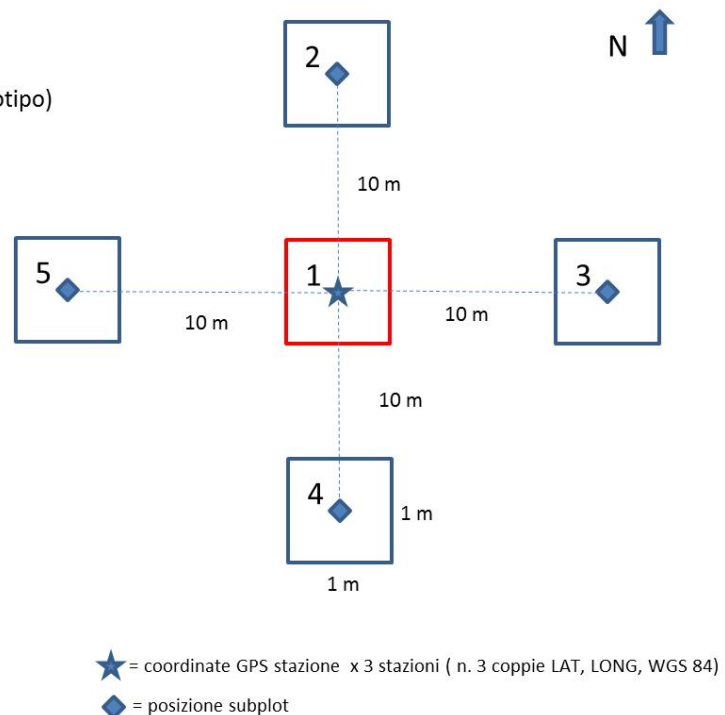


Figura 5 – Schema di campionamento utilizzato per la campagna di rilievi sulle praterie di PO nel sito d’installazione del prototipo ISWEC.

Come si vede, tenendo conto di tali esigenze lo schema utilizzato prevedeva 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 precedente. 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 m² compatibile anche con la risoluzione delle immagini satellitari a terra. Con l’ausilio di un telaio di 1 m², di colore adatto ad assicurare sufficiente discriminazione e contrasto ed appositamente predisposto (Fig. 6), 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. 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 della copertura/densità che verrà illustrata nel seguito. Dal quadrante Nord-Ovest del telaio sono state prelevate le 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. 6. 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.

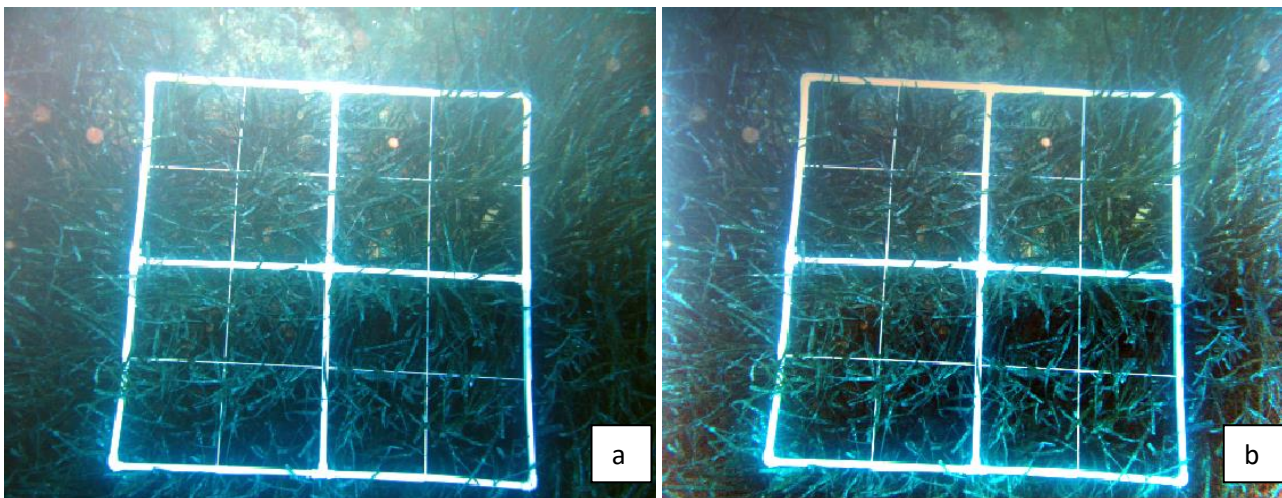


Figura 6 - Utilizzo del telaio di campionamento sulle praterie di PO. Immagine originale (a sinistra) e dopo correzioni digitali per minimizzare gli effetti di disomogeneità nell’illuminazione (a destra)

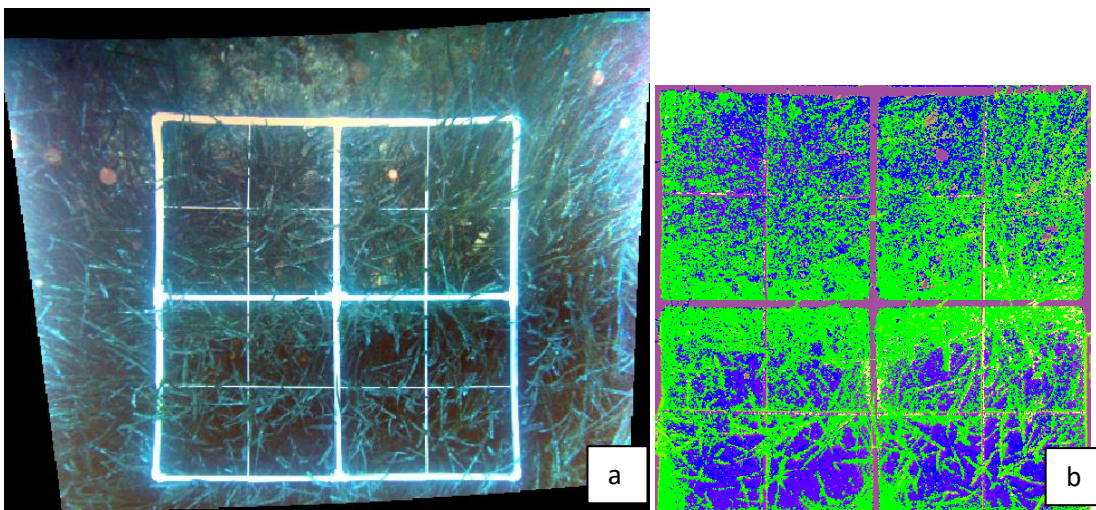


Figura 7 – Immagine corretta per gli effetti di distorsione geometrica prospettici (a sinistra) e classificata tramite procedura semiautomatica per l’individuazione della copertura di PO (a destra)

Come riportato nelle Fig. 6 e 7, sono state utilizzate delle procedure digitali appositamente messe a punto per le correzioni sia radiometriche (Fig. 6 b) che geometriche (Fig. 7 a) dell’immagine di uno dei subplot dello schema ripresa in immersione(Fig. 6 a), 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. 7 b) da cui è possibile derivare agevolmente la copertura percentuale della PO. La procedura messa a punto è in corso di validazione e test sull’intero set d’immagini acquisite sulle 3 stazioni.

2.4 Biometria ed analisi dati

Il lavoro in campo costituito dai rilievi in immersione con l’ausilio del telaio 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. In particolare Il 22 agosto 2015, mediante SCUBA diving ed utilizzando lo schema di campionamento riportato nella figura 4, alla profondità di 31

metri sono state prelevate 3-5 piante in ciascuno dei 5 siti (sub-plots) nella stazione 1(A) che si trova in prossimità del ISWEC (N 36 49 391, E 11 55 234). La densità dei fasci è stata calcolata contando il n° dei ciuffi in 50 x 50 cm (quadrante Nord-Ovest del telaio) mentre la copertura della prateria è stata valutata visivamente all'interno dell'area delimitata dal telaio assimilabile ad un quadrato 1 m².

Il giorno 31 agosto 2015 sono stati eseguiti gli altri 2 campionamenti nelle stazioni B e C, sulla batimetrica, a profondità di 20 e 10 metri rispettivamente. La trasparenza dell'acqua durante i campionamenti è stata medio-alta con un moto ondoso sufficientemente attenuato da assicurare condizioni di stabilità dell'imbarcazione di appoggio che hanno consentito non solo di effettuare in sicurezza tutte le operazioni previste ma anche il rilievo affidabile delle coordinate GPS.

1ª STAZIONE	Geographic coordinates (GIS)		N 36 49 391 E 11 55 234		
	Density (shoots/m ²) ± SD		121,60 ± 67,15		
	Coverage (%)				
	1° sito	2° sito	3° sito	4° sito	5° sito
Depth (mt)	31	31	31	31	31
Leaf number (n°/shoot) ± SD	5.75 ± 0.5	5.0 ± 0.5	6.60 ± 0.55	9.20 ± 3.96	7.20 ± 1.79
Leaf width (cm) ± SD	0.90 ± 0.07	0.74 ± 0.06	0.89 ± 0.06	0.90 ± 0.05	0.88 ± 0.07
Leaf length (cm) ± SD	40.41 ± 24.24	32.55 ± 30.8	37.63 ± 21.98	35.22 ± 21.8	38.93 ± 26.15
Density (shoots/0.5m ²)	57	13	35	24	23
Coverage (%)					
*Biomass of shoot <u>FWg</u> ± SD	6.30 ± 1.48	7.33 ± 1.41	4.98 ± 0.96	8.99 ± 2.81	9.24 ± 2.74
°Biomass of shoot <u>DWg</u> ± SD	0.88 ± 0.40	1.33 ± 0.22	1.20 ± 0.13	1.36 ± 0.32	1.41 ± 0.38
*Biomass of rhizome <u>FWg</u> ± SD	10.22 ± 1.48	11.03 ± 7.36	9.49 ± 2.71	10.46 ± 5.67	8.30 ± 4.90
°Biomass of rhizome <u>DWg</u> ± SD	2.06 ± 1.03	1.96 ± 1.58	2.48 ± 1.21	2.02 ± 1.04	1.70 ± 1.28
*fresh weigh (<u>FW</u> g)					
°dried weigh (<u>DW</u> g)					

Tabella 1 – Risultati dei rilievi in sito e delle misure biometriche e di laboratorio eseguite sui campioni della prima stazione di misura (Stz. A). I dati di Coverage saranno desunti dalle immagini digitali acquisite.

Tutte le piante campionate in ciascuna delle stazioni (ABC) con l'ausilio di sacche di diverso colore corrispondenti ai diversi subplot (siti), dopo il prelievo sono state conservate adeguatamente al fine di poterle poi sottoporre in laboratorio alle successive misure ed analisi qui di seguito descritte.

Presso il laboratorio ENEA Casaccia, Biomasse e Biotecnologie per l'Energia (DTE BBC BBE), è stata effettuata 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).

Sulle stesse piante, le foglie giovani sono state 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 [3,4].

Le misure biometriche sono state successivamente elaborate per il calcolo preliminare del LAI (Leaf Area Index). Tutti i parametri ottenuti saranno utilizzati per la calibrazione finalizzata alla stima di mappe tematiche di distribuzione dei parametri d'interesse della prateria di Posidonia oceanica (PO) con l'ausilio dei dati satellitari. In particolare i dati fenologici, indicatori di condizioni ambientali nel tempo, con la loro resilienza [5] descrivono lo stato di salute dell'habitat e possono essere seguiti con le tecniche satellitari sia a scale temporali che spaziali [1]. Nella tabella sono riportate a titolo d'esempio i risultati delle misure ed analisi di laboratorio relative alla stazione di misura n. 1 (Stz. A). Risultati analoghi sono stati prodotti per le altre due stazioni di misura. Sono in corso le analisi delle immagini ed i test della procedura semiautomatica per la stima dei valori di copertura (Coverage) tramite le tecniche di image processing digitale.

Successivamente i parametri medi per stazione (Tabella 1) ottenuti dai rilievi puntuali in sito saranno utilizzati per l'ottimizzazione della calibrazione dei dati telerilevati finalizzata ad ottenere le distribuzioni relative ai vari parametri biogeofisici d'interesse degli ecosistemi di PO monitorati

3 Conclusioni

Le attività descritte riguardano la configurazione e messa a punto della metodologia innovativa per il monitoraggio estensivo e ripetitivo delle praterie di PO, sulla base dell'utilizzo integrato del dato telerilevato satellitare Landsat 8 OLI e dei rilievi sincroni in sito, sulle aree costiere d'interesse. Sulla base delle caratteristiche di risoluzione geometrica e sensibilità radiometrica del sensore satellitare polare OLI, di nuova generazione gestito dalla NASA, è stato possibile implementare e testare preliminarmente la capacità di mappare le praterie di PO sommerse incluse quelle nei pressi del sito d'installazione dell'impianto ISWEC. E' stata implementata una prima versione della metodologia che sarà successivamente affinata tenendo conto dei risultati ottenuti e della possibilità di utilizzo di ulteriori rilievi ottenibili dalle varie tecniche di telerilevamento disponibili. In prospettiva i dati acquisiti sistematicamente dal sensore renderanno possibile un monitoraggio protratto nel tempo in grado di catturare eventuali cambiamenti intervenuti negli ecosistemi sotto indagine. Nel periodo estivo appena scorso è stata progettata, pianificata e condotta una campagna di rilievi in sito sulle praterie di PO dell'isola di Pantelleria, in corrispondenza del punto d'installazione del sistema ISWEC. I rilievi sono stati condotti secondo uno schema di campionamento messo a punto "ad hoc" allineato ai protocolli standard più diffusi e contemporaneamente in grado di rispondere alle esigenze di calibrazione dei dati telerilevati satellitari. La metodologia di campionamento originale ha introdotto l'uso d'immagini digitali, riprese opportunamente in immersione e tese a permettere una stima semiautomatica assistita dal computer maggiormente "robusta" di quella visiva in immersione comunemente effettuata. In questa prospettiva sono state sviluppate una serie di procedure basate su algoritmi di "image processing" che hanno dato risultati preliminari apprezzabili. Oltre alle misure in sito sulle 3 stazioni secondo lo schema progettato, sono stati acquisiti una serie di campioni le cui misure biometriche ed analisi di laboratorio sono state pressoché completate. Sono in corso le analisi mirate a stimare le caratteristiche genetiche dei campioni.

4 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. 35th EARSeL Symposium- 7th EARSeL Workshop on Remote Sensing of the Coastal Zone. 17th - 19th June 2015, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden. (in press)
3. 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
4. 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
5. 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

5 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).