



REGIONE CALABRIA

Dipartimento N. 6 - Infrastrutture - Lavori Pubblici - Mobilita' Settore: Difesa del Suolo

PROGETTO PER LA SALVAGUARDIA DEL LITORALE COSTIERO

II STRALCIO - CALOPEZZATI (CS)

C.U.P. J23B18000340001 - CIG 8181782C16 - Cod. Rendis 18IR980/G1

PROGETTO DEFINITIVO

elaborato:

PIANO DI MONITORAGGIO MORFOLOGICO ED AMBIENTALE
PIANO DI MANUTENZIONE DELLE OPERE

TAVOLA	R21
SCALA	----
DATA	MAR.22
FILE	R21_PIAN_MONIT.doc
COORDINATE PROGETTO	0422/CE

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO DI PROFESSIONISTI (R.T.P.):

DOTT. ING. ANTONIO D'ARRIGO

DOTT. ING. NICOLA RUSTICA

DOTT. ING. DOMENICO MANGANO

DOTT. ING. AGOSTINO LA ROSA

DOTT. ING. LEOPOLDO ROSSI

DOTT. ING. MANUELA BARBAGIOVANNI GASPARO

DOTT. ING. ALBERTO LO PRESTI

DOTT. ARCHEOL. TIZIANA FISICHELLA

DOTT. BIOL. SEBASTIANO CAPONE

DOTT. GEOL. PIERO MERK

c/o Sede legale: Studio D'Arrigo Via Gagini n.6 98122 Messina - Tel./Fax. 090364154 3356573963 - pec: antoniop.darrigo@ingpec.eu - mail: a.darrigo@tiscali.it

IL DIRIGENTE DEL SETTORE 6:

DOTT. ARCH. ORSOLA REILLO

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO:

DOTT. GEOL. GIOVANNA CHIODO



Regione Calabria

Dipartimento N. 6 - Infrastrutture - Lavori Pubblici - Mobilità

Settore: Difesa del Suolo

PROGETTO PER LA SALVAGUARDIA DEL LITORALE COSTIERO

II STRALCIO – CALOPEZZATI (CS)

C.U.P. J23B18000340001 - CIG 8181782C16 - Cod. Rendis 18IR980/G1

PROGETTO DEFINITIVO

**PIANO DI MONITORAGGIO MORFOLOGICO, PIANO DI MANUTENZIONE DELLE
OPERE E PIANO DI MONITORAGGIO AMBIENTALE**

INDICE

1. GENERALITA'	1
1.1. PREMESSE AL PIANO DI MONITORAGGIO MORFOLOGICO	1
1.2. OBIETTIVI DEL MONITORAGGIO	1
1.3. REQUISITI TECNICI DI UN PROGRAMMA DI MONITORAGGIO	2
1.4. PREMESSE AL PIANO DI MANUTENZIONE	4
1.4.1. Piano di manutenzione – il manuale d'uso.....	5
1.4.2. Manuale e programma di manutenzione	5
1.4.3. Manutenzione degli interventi previsti	6
2. METODOLOGIE DI MONITORAGGIO	7
2.1. METODI DI ACQUISIZIONE DEI DATI DELLA SPIAGGIA EMERSA – RILIEVO TOPOGRAFICO DIRETTO	7
2.2. METODI DI ACQUISIZIONE DEI DATI DELLA SPIAGGIA EMERSA – GLOBAL POSITIONING SYSTEM (G.P.S.).....	10
2.3. METODI DI ACQUISIZIONE DEI DATI DELLA SPIAGGIA EMERSA – RILIEVO AEROFOTOGRAMMETRICO.....	11
2.4. METODI DI ACQUISIZIONE DEI DATI DELLA SPIAGGIA EMERSA – LASERSCAN.....	13
2.5. METODI DI ACQUISIZIONE DEI DATI DELLA SPIAGGIA EMERSA – LIDAR AEROTRASPORTATO.....	14
2.6. METODI DI ACQUISIZIONE DEI DATI DELLA SPIAGGIA EMERSA – IMMAGINE DA SATELLITE. 16	16
2.7. METODI DI ACQUISIZIONE DEI DATI DELLA SPIAGGIA EMERSA – VIDEO SISTEMI.....	18
2.8. METODI DI ACQUISIZIONE DEI DATI DELLA SPIAGGIA SOMMERSA – SEA SLED, CRAB (COASTAL RESERACH AMPHIBIOUS BUGGY).	19
2.9. METODI DI ACQUISIZIONE DEI DATI DELLA SPIAGGIA SOMMERSA – RILIEVO CON ECOSCANDAGLIO (SINGLEBEAM).....	19
2.10. METODI DI ACQUISIZIONE DEI DATI DELLA SPIAGGIA SOMMERSA – RILIEVO CON MULITBEAM.	21
2.11. METODI DI ACQUISIZIONE DEI DATI DELLA SPIAGGIA SOMMERSA – RILIEVO CON LIDAR MARINO (A.L.B.)	23
3. MANUTENZIONE E MONITORAGGIO DELLE OPERE PREVISTE IN PROGETTO	25
3.1. PREMESSA	25
3.2. MODALITÀ DI USO CORRETTO	25
3.3. ANOMALIE RISCONTRABILI	25
3.4. MANUTENZIONI ESEGUIBILI DIRETTAMENTE DALL'UTENTE E O A CURA DI PERSONALE SPECIALIZZATO.	25
3.5. PROGRAMMA DEGLI INTERVENTI DI MANUTENZIONE	26
3.6. PROGRAMMA DI MONITORAGGIO MORFOLOGICO E CONTROLLI	27
3.6.1. Premessa	27
3.6.2. Modalità di esecuzione delle attività di monitoraggio	27
3.6.3. Cronoprogramma delle attività di monitoraggio	28
3.6.4. Rapporti di monitoraggio	29
4. PIANO DI MONITORAGGIO AMBIENTALE	30
4.1. MODELLO DI GESTIONE ADATTIVA DEL MONITORAGGIO	30
4.2. MONITORAGGIO E VERIFICA DELLO STATO DELLE OPERE	31
4.2.1. Premessa	31
4.2.2. Monitoraggio delle attività di escavo.....	32
4.2.3. Monitoraggio delle attività di trasporto dei materiali.....	33
4.2.4. Monitoraggio delle attività di ripascimento	33
4.2.5. Monitoraggio nelle fasi preliminari alla costruzione dell'opera.....	34
4.2.6. Monitoraggio in corso d'opera	35
4.2.7. Monitoraggio in fase di esercizio	36
4.3. ATTIVITÀ DI MONITORAGGIO DA ESEGUIRE NELLE DIVERSE ZONE OPERATIVE.....	37
4.3.1. Analisi dei dati di monitoraggio e rapporti periodici.....	37
4.3.2. Qualità delle acque.....	38
4.3.3. Prelievo campioni sulla spiaggia emersa.....	38

4.3.4.	<i>Prelievo campioni sulla spiaggia sommersa</i>	38
4.3.5.	<i>Analisi sedimentologiche applicative</i>	38

1. GENERALITA'

1.1. PREMESSE AL PIANO DI MONITORAGGIO MORFOLOGICO

Il monitoraggio dell'evoluzione delle spiagge riveste un ruolo fondamentale in ogni politica territoriale in cui sia coinvolta la fascia litorale. La zona costiera concentra, infatti, circa 2/3 della popolazione mondiale e in molti paesi supporta una florida attività turistica. Dato che la spiaggia costituisce l'elemento di maggior valore economico del sistema costiero, ma, anche quello più fragile e più soggetto a variazioni morfologiche che ne modificano la funzione protettiva dei territori retrostanti e le potenzialità di utilizzazione a fini turistici ricreativi, lo studio dell'evoluzione dei litorali è fondamentale per la pianificazione di questa zona densamente popolata, economicamente interessante ma anche complessa e dinamica.

Fra i vari aspetti che un programma di gestione integrata della fascia costiera deve affrontare, vi è la gestione delle spiagge, il controllo dell'erosione costiera e dei rischi naturali, per cui un input di dati specifici è necessario perché si possa condurre tal programma in una forma scientificamente coerente. Alcuni dei problemi tipici di gestione includono il controllo dell'erosione delle spiagge, la progettazione di ripascimenti artificiali, la realizzazione e il controllo di opere di difesa, la definizione di linee di *set-back* per la costruzione e quella di zone di rischio, che dipendono tutti dalla valutazione precisa dell'evoluzione morfodinamica costiera.

Oscillazioni della posizione della linea di riva e del volume della spiaggia emersa su tempi brevi (dell'ordine compreso fra il giorno e l'anno) intorno a valori relativamente stabili sul lungo periodo sono la conseguenza della discontinuità degli input fluviali e del succedersi dei diversi eventi meteomarinari e la loro identificazione e determinazione può consentire di evitare interventi di stabilizzazione del litorale non necessari e spesso dannosi per le spiagge stesse e per i tratti contigui.

Variazioni degli stessi parametri, che dimostrino un trend ben definito su tempi medio/lunghi (dell'ordine degli anni) impongono, al contrario, interventi normativi e strutturali che possono essere definiti solo in conformità a un'esatta quantificazione dei processi, sulla determinazione delle cause e sulla previsione dell'efficacia delle soluzioni proposte.

1.2. OBIETTIVI DEL MONITORAGGIO

Gli obiettivi diretti del monitoraggio possono essere riassunti nella tabella seguente, che non è certamente esaustiva, ma mostra l'interesse e la vastità delle problematiche connesse a quest'attività:

- studio dell'evoluzione costiera a medio/lungo termine per l'impostazione di piani di sviluppo e di gestione;
- analisi del bilancio sedimentario del litorale per lo studio dei rapporti fra input fluviale e dispersione *cross-* e *long-shore* dei materiali;
- studio dell'evoluzione costiera a breve termine per la valutazione dell'impatto sulle opere marittime;
- studio dell'evoluzione costiera a breve termine per la valutazione dell'efficacia degli interventi previsti
- determinazione dell'estensione e della qualità dell'arenile ai fini dell'ottimizzazione degli usi e della determinazione dei canoni demaniali;

L'impostazione di un sistema di monitoraggio dell'evoluzione costiera è quindi un momento importante e l'efficacia dello stesso deriva dalla scelta della scala d'indagine, delle procedure di misura e della tempistica associata, parametri tutti che dipendono dagli obiettivi che si intendono raggiungere e dalle risorse finanziarie disponibili.

1.3. REQUISITI TECNICI DI UN PROGRAMMA DI MONITORAGGIO

Una corretta impostazione dovrà quindi identificare le metodologie di rilievo e di analisi dei dati più idonee senza incorrere in un sovra-campionamento, spaziale e temporale, che rende più costoso il sistema.

Nell'impostazione del monitoraggio si dovrà quindi preferire:

- ***la possibilità di acquisizione dei dati con la tempistica prevista.*** Ciò è particolarmente importante nel monitoraggio di breve termine, quando devono essere acquisiti dati su sistemi in rapida evoluzione, come le spiagge soggette a interventi di ripascimento o di stabilizzazione con opere a mare, nelle quali le variazioni morfologiche possono essere estremamente rapide;
- ***l'accuratezza dei dati.*** Piccole variazioni morfologiche implicano lo spostamento d'ingenti volumi di sedimenti e errori modesti nelle misure determinano forti errori nella quantificazione dei processi coinvolti. In aggiunta, l'identificazione di errori di misura, anche grossolani, è veramente difficile nella spiaggia sommersa e la variabilità morfologica del sistema, conseguente anche ad una singola mareggiata, rende impossibile la ripetizione della singola misura eventualmente sospettata di errore;
- ***operatività dei sistemi di acquisizione.*** La necessità di avere misure sinottiche su ampie superfici e in finestre temporali spesso assai ristrette (es. intervallo fra due mareggiate in periodo invernale) impone l'impiego di metodologie collaudate e rapidamente attuabili;

- ***l'economicità delle procedure.*** L'elevata frequenza dei rilievi necessaria per un monitoraggio di breve/medio termine e l'estensione temporale dei monitoraggi di lungo periodo, associata all'ampiezza delle zone che spesso è necessario mettere sotto osservazione, impongono la scelta di metodologie di rilievo economicamente sostenibili, anche per evitare che il monitoraggio possa essere interrotto per carenza di risorse finanziarie;
- ***la velocità di elaborazione.*** In molti casi è indispensabile poter avere i dati e delle loro elaborazioni in tempi molto rapidi. Alcuni sistemi di acquisizione (ad esempio dei dati rilevati da satellite) richiedono tempi relativamente lunghi per la fornitura del dato; altri (ad esempio quelli acquisiti con sistemi Lidar) hanno tempi di processo incompatibili con la necessità che talvolta si pone di prendere decisioni rapide in fasi operative di realizzazione dei progetti;
- ***confrontabilità dei dati.*** I dati devono essere acquisiti con procedure collaudate e ampiamente adottate, in modo che la loro validità sia universalmente accettata, sia dai soggetti direttamente coinvolti nei processi decisionali che dagli “*stakeholders*” le cui aspettative si basano sulle decisioni stesse. La confrontabilità dei dati consente anche lo scambio fra le varie esperienze, la valutazione e la comparazione fra diversi problemi esistenti e il confronto fra i risultati raggiunti in diversi interventi.

Nell'analisi dell'evoluzione costiera conseguente ad interventi di riequilibrio, siano essi basati su opere rigide che su ripascimenti artificiali, si richiede una definizione delle condizioni di partenza, non facili a determinare proprio per la variabilità intrinseca del sistema. Il rilievo *una tantum* della costa, spesso effettuato nel momento zero del monitoraggio, non consente di evidenziare quelle dinamiche che vanno a sovrapporsi ai processi innescati dall'intervento e che possono ostacolare una corretta interpretazione dei dati e la corretta valutazione dell'efficacia dell'intervento. Quando si vanno ad effettuare interventi su litorali per i quali sono note solamente le tendenze di lungo periodo e non la variabilità di breve termine (es. stagionale), è quindi opportuno che il monitoraggio inizi assai prima del momento zero, in modo che possa emergere la variabilità intrinseca del sistema.

Altro aspetto fondamentale è la delimitazione della zona da sottoporre a monitoraggio e la definizione della scala dei documenti da produrre.

Per l'analisi delle tendenze evolutive di medio e lungo termine l'entità di riferimento è l'unità fisiografica, definita come quella estensione di spiaggia che non ha scambi sedimentari con tratti adiacenti. È solo all'interno di essa che si possono analizzare i flussi sedimentari e capire se

determinate variazioni morfologiche sono dovute ad oscillazioni del sistema, ma non a perdite nette, o se invece non sono il prodotto di un deficit sedimentario alterato del sistema complessivo. Monitoraggi impostati per valutare l'impatto di strutture costiere, in genere porti commerciali o turistici, devono avere come zona di studio un tratto di litorale di estensione almeno pari a un ordine di grandezza superiore a quella dell'opera, dato che solo l'impatto istantaneo dell'opera sui processi costieri si sviluppa per una lunghezza che va da una a tre volte la dimensione maggiore dell'opera.

È evidente che l'impatto dell'opera può alterare nel breve e medio termine le dinamiche sedimentarie del tratto posto immediatamente sottoflutto, ma che questo impatto può propagarsi in tempi più lunghi a tutta l'unità fisiografica. I tempi di analisi dei due processi e la scala spaziale del monitoraggio sono necessariamente diversi.

La rappresentazione cartografica dei parametri che descrivono le variazioni morfologiche intervenute può oscillare fra 1:1.000 e 1:5.000, ma è comunque richiesta un'accuratezza planimetrica del dato digitale di 1-5 cm ed un'altezza di circa 10 cm in modo da poter effettuare analisi estremamente accurate. Data la modesta energia del rilievo delle spiagge, sia nella parte emersa che in quella sommersa, fatta eccezione per le aree dunali, un errore nel posizionamento dei punti di 1-10 cm non determina significative deformazioni o stime inesatte dei volumi dei sedimenti di spiaggia. Un'accuratezza di 5 cm nelle quote, e di 10 cm nei confronti fra coppie di rilievi, consente di evidenziare variazioni morfologiche nell'intorno delle opere, in genere di un ordine di grandezza superiore, ma non di eseguire accurate stime del bilancio sedimentario dei litorali. Infatti, per profili attivi di spiagge di ampiezza pari a 1000 m, un caso frequente lungo le coste italiane, l'incertezza è pari a circa 100 m³ per metro lineare di spiaggia, una quantità analoga a quella che caratterizza ripascimenti del litorale di medie dimensioni.

1.4. PREMESSE AL PIANO DI MANUTENZIONE

Il piano di manutenzione è il documento che prevede, pianifica e programma, sulla scorta degli elaborati progettuali, l'attività di manutenzione dell'intervento al fine di mantenere nel tempo il funzionamento, le caratteristiche di qualità, l'efficienza e il valore economico.

Il piano di manutenzione assume contenuto diverso a proposito dell'importanza e alla specificità dell'intervento, ed è costituito dai seguenti documenti:

- il manuale d'uso;
- il manuale di manutenzione;
- il programma di manutenzione.

1.4.1. PIANO DI MANUTENZIONE – IL MANUALE D’USO

Il manuale d’uso si riferisce all’uso delle parti più importanti del bene; il manuale contiene l’insieme delle informazioni atte a permettere all’utente di conoscere le modalità di fruizione del bene, nonché tutti gli elementi necessari per limitare quanti più possibile i danni derivanti da un’utilizzazione impropria, per consentire di eseguire tutte le operazioni volte alla sua conservazione che non richiedono conoscenze specialistiche e per riconoscere tempestivamente fenomeni di deterioramento anomalo al fine di sollecitare interventi specialistici.

1.4.2. MANUALE E PROGRAMMA DI MANUTENZIONE

Il manuale si riferisce alla manutenzione delle parti più importanti del bene. Esso fornisce, a proposito delle caratteristiche dei materiali o dei membri interessati, le indicazioni necessarie per la corretta manutenzione.

Infine il programma di manutenzione prevede un sistema di controlli e d’interventi da eseguire, a cadenze temporalmente o altrimenti prefissate, al fine di una corretta gestione del bene e delle sue parti nel corso degli anni e si articola secondo tre sottoprogrammi:

- sottoprogramma delle prestazioni che prende in considerazione le prestazioni fornite dal bene e dalle sue parti nel corso del suo ciclo di vita;
- sottoprogramma dei controlli, che definisce il programma delle verifiche e dei controlli al fine di rilevare il livello prestazionale (qualitativo e quantitativo) nei successivi momenti di vita del bene;
- sottoprogramma degli interventi di manutenzione, che riporta in ordine temporale i differenti interventi di manutenzione, al fine di fornire le informazioni per una corretta conservazione del bene.

E’, infatti, opportuno rilevare che le opere marittime ed in particolare le scogliere a gettata, dopo la realizzazione ed a seguito di eventi meteo-marini, subiscono facilmente assestamenti, “rimodellazioni” e con il tempo anche l’asportazione di materiale lapideo.

A tal riguardo le opere flessibili, tipo le gettate di scogli, sono tra quelle più esposte e necessitano, in alcuni casi, di usuali ed efficaci opere di manutenzione per il ripristino continuo delle forme loro assegnate in fase di progetto e nella realizzazione delle stesse.

Ovviamente è fondamentale anche rilevare come l’efficacia delle opere marittime, basata sulle dimensioni previste in sede di progetto iniziale, risulta anche strettamente legata al grado di manutenzione della struttura, cioè al rifiorimento e al mantenimento delle forme assunte dalle scogliere.

Questa circostanza si ripercuote sullo stato della spiaggia difesa dall'opera, con maggiore evidenza su quelle sabbiose e più esposte, che sono più sensibili agli arretramenti in caso di opera di protezione degradata.

1.4.3. MANUTENZIONE DEGLI INTERVENTI PREVISTI

Nel caso delle opere che si andranno a realizzare si è provveduto alla redazione di un piano di manutenzione delle opere stesse.

Nel suddetto piano è indicato un programma di manutenzione, che prevede un'indicazione sui controlli da effettuarsi a determinate cadenze ed in particolare dopo eventi meteomarini di notevole intensità e durata.

Inoltre, si prevede un programma di controlli e verifiche nel tempo, specifico per le opere suddette. Ad esempio, per la scogliera soffolta si controllerà lo stato della barriera. In tale fase di progettazione definitiva si è indicata una tempistica ed una metodologia per l'esecuzione di tali controlli e verifiche.

Un tale monitoraggio nel tempo delle opere realizzate, consentirà di evidenziare la necessità di eventuali interventi manutentivi volti alla salvaguardia delle opere stesse.

2. METODOLOGIE DI MONITORAGGIO

2.1. METODI DI ACQUISIZIONE DEI DATI DELLA SPIAGGIA EMERSA – RILIEVO TOPOGRAFICO DIRETTO.

I rilievi topografici tradizionali sono effettuati oramai con l'utilizzo delle Stazioni Totali. Per stazione totale (traduzione letterale dell'inglese *Total Station*) si intende un goniometro a lettura digitale dei cerchi, dotato di distanziometro con portata e precisioni variabili. Salvo problemi di sicurezza dell'attrezzatura, alcune stazioni totali non hanno bisogno di operatori: seguono il prisma riflettente collimandolo con continuità e aggiornandone la posizione. Vale la pena accennare alla necessità di dotare, per i rilievi delle spiagge, l'asta (palina) che sostiene il prisma riflettente di un terminale inferiore piatto, in modo da evitare errori dovuti all'infissione della palina stessa nella sabbia.

Il rilievo con stazione totale richiede un inquadramento che consiste in quell'insieme di operazioni che conducono alla materializzazione e alla determinazione della posizione di un numero discreto di punti. La precisione della rete è certificata tramite il calcolo della compensazione delle misure eseguite, che fornisce i parametri statistici sugli errori di posizione di tutti i vertici (scarti quadratici medi, ellissi standard). Generalmente si stabilisce un errore di posizione massimo in relazione allo scopo del rilievo e comunque alquanto inferiore alla precisione nominale della cartografia da produrre.

Particolare attenzione deve essere rivolta alla materializzazione dei punti nodali della rete di inquadramento (capisaldi), infatti, la durabilità nel tempo del manufatto e la stabilità del contrassegno fisico (centrino) costituiscono un prezioso elemento per tutte le operazioni di monitoraggio dell'evoluzione temporale dei litorali.

Il rilievo di dettaglio della spiaggia emersa si svolge per sezioni tra loro parallele ed ortogonali alla linea di riva. La spaziatura tra le sezioni e il numero dei punti che convenientemente possono essere rilevati nell'unità di lunghezza della sezione (punti al metro o punti per ettometro) dipende dalla precisione e dallo scopo del rilievo della spiaggia e da criteri di economicità del rilievo.

Generalmente il rilievo è finalizzato, oltre che alla documentazione della geometria della spiaggia, anche al calcolo del volume di un tratto di costa sabbiosa (rispetto a un piano di riferimento), per lo più utilizzato nel monitoraggio dell'evoluzione del litorale e/o nel collaudo di interventi di ripascimento artificiale.

Uno dei problemi da affrontare è quello concernente la spaziatura dei punti del rilievo al fine di raggiungere il miglior compromesso fra accuratezza nella descrizione della superficie della spiaggia e tempi e costi impiegati.

Tenendo conto del fatto che i ripascimenti artificiali in Italia sono più spesso realizzati con volumi dell'ordine di $100000 \text{ m}^3/\text{Km}$, l'errore nella stima di variazione di volume fra due rilievi successivi è dell'ordine di 1%-5%. Errori pseudo-sistematici, dovuti alla scarsa precisione del controllo del livello di riferimento del mare o a non perfetta taratura degli ecoscandagli, danno origine ad errori di ordine di grandezza maggiore rispetto a quelli dovuti al rilievo delle sezioni ed alla loro spaziatura.

Vista la difficoltà a eseguire un rilievo per sezioni, e ove si intenda privilegiare una conoscenza più omogenea della morfologia della spiaggia ed eventualmente anche di opere di difesa o affioramenti rocciosi presenti, si può articolare il rilievo in modo da ottenere la posizione altimetrica dei punti nodali di una rete regolare a maglia generalmente quadrata con distanza fra i vertici inversamente proporzionale alla complessità del terreno da rilevare.

Per quanto riguarda il rilievo della linea di riva non ci sono grandi problemi dal punto di vista del rilievo strumentale, poiché l'approssimazione massima richiesta ($\pm 20 \text{ cm}$ in planimetria e $\pm 5 \text{ cm}$ in quota) non è difficilmente raggiungibile. Più complesso è invece il problema della definizione della linea stessa, in quanto variabile con la marea e la pressione atmosferica, con la direzione e intensità del vento e con molteplici altri fattori. Data inoltre la disomogeneità dei riferimenti altimetrici assoluti (i capisaldi IGM sono relativamente scarsi, le reti presenti nei pressi delle spiagge sono talvolta riferite a origini diverse) si capisce che i rilievi, per essere ripetibili nel tempo e confrontabili, necessitano di alcuni accorgimenti specifici (materializzazione di capisaldi livellati e riferiti alla rete IGM) che non sono sempre adeguatamente considerati sia in fase di progettazione che in fase di esecuzione del rilievo.

Ammettendo che questo problema sia affrontato con sufficiente accortezza, resta da definire la linea di riva; convenzionalmente si hanno 2 riferimenti non coincidenti (ci sono mediamente 20-25 cm di differenza):

- la linea del livello di riduzione degli scandagli (LRS) definita nelle carte italiane come livello medio delle basse maree sigiziali che è la linea batimetria 0.00 m;
- la linea del livello massimo dell'acqua nell'ultima alta marea (*HWL = High Water Level*) definita come contorno della sabbia bagnata subito dopo l'evento di alta marea, più adatta ai rilievi da terra o da immagini;
- la linea del livello coincidente con lo zero I.G.M, ovvero a quota ortometrica 0,00 m. Ricordiamo che la quota ortometrica di un punto è la sua distanza verticale rispetto alla superficie di riferimento del geoide.

Si capisce che le prime due convenzioni, oltretutto in contrasto tra di loro, prescindono da quello che sulle coste italiane è il fattore predominante nella determinazione del livello del mare, cioè

dalle condizioni meteo-marine. Per evitare confusioni e dare un riferimento univoco ai rilievi si suggerisce di utilizzare la terza convenzione, ovvero di identificare la linea con la isoipsa 0,00 metri (ortometrica), in modo da svincolarsi dai fenomeni di variabilità circadiana o legati alle condizioni meteorologiche. Per ottenere il risultato costituito dall'identificazione dei punti di quota ortometrica 0,00 metri utilizzando un rilievo tradizionale con stazione totale, è possibile eseguire un doppio rilievo, passando una prima volta sul contorno asciutto della riva, in modo da avere punti in quota sicuramente positiva e una seconda volta tenendo la palina con l'estremità inferiore immersa nell'acqua, fino all'eventuale soglia di un cambio di pendenza della sezione bagnata. In questo modo anche se la seconda quota fosse positiva, sarà possibile, con una semplice interpolazione lineare, ricavare la posizione planimetrica del punto di quota zero. L'indicazione analitica della pendenza della battigia così ottenuta è inoltre utile per traslare la linea di riva dedotta da immagini aeree o da satellite, sulla sua corretta posizione riferita allo "0" IGM, eliminando l'effetto dovuto alla variazione del livello marino al momento della presa.

Per il nostro rilievo, qualora si scegliesse di adoperare con una stazione totale, bisognerà realizzare una nuova poligonale di infittimento lungo tutto il litorale. La poligonale dovrà essere realizzata con due strati per le osservazioni angolari e con la contemporaneità delle reciproche zenitali; è dovrà essere quindi chiusa sul punto di origine, realizzando un anello di circa 3 chilometri con i seguenti errori di chiusura:

- angolare: 0.0001 m;
- lineare: 0.050-0.007 m;
- quota: 0.013 m.

Dai nuovi capisaldi così determinati, si eseguiranno i rilievi topografici dei completamenti a terra delle sezioni ed i rilievi della linea di riva.

Il rilievo topografico dei completamenti a terra delle sezioni verrà realizzato individuando ogni linea di progetto con due paline sull'allineamento. Tramite un apposito software, che permette di individuare gli scostamenti di ogni punto battuto dalla linea scelta, l'elaboratore sarà collegato allo strumento topografico e, contestualmente alla registrazione dei dati, visualizzerà numericamente gli spostamenti da realizzare per portarsi sulla linea progettata. Questi vengono comunicati al canneggiatore che si sposta fino a raggiungerla con sufficiente precisione, una volta realizzato l'allineamento ne rileva i punti caratteristici.

Il rilievo celerimetrico della linea di riva è effettuato determinando una coppia punti scelti in modo che si pongano da parti opposte all'isoipsa zero e con intervalli di circa 5 metri di costa, o ogni qualvolta vi siano variazioni morfologiche evidenti. In ciascun punto la linea di riva è poi individuata con interpolazione lineare.

2.2. METODI DI ACQUISIZIONE DEI DATI DELLA SPIAGGIA EMERSA – GLOBAL POSITIONING SYSTEM (G.P.S.).

Il rilievo GPS con ricevitori geodetici che registrano i dati per le misure di fase consente elevate precisioni nel posizionamento differenziale tra i centri di fase di 2 antenne poste agli estremi di una linea di misura (*baseline*) la cui lunghezza, orientata nel sistema cartesiano geocentrico, può essere determinata con precisione nell'ordine del centimetro.

I ricevitori possono utilizzare la sola frequenza L1 (monofrequenza) o entrambe le frequenze L1 e L2 (bifrequenza) dei segnali emessi dai satelliti del sistema; in questo caso la rapidità, l'accuratezza nella determinazione della posizione e la distanza massima raggiungibile rispetto alla stazione di riferimento vengono considerevolmente aumentate.

La portata utile, in dipendenza dal tipo di ricevitore e dal tempo di stazionamento che si è previsto di adottare in funzione della tipologia del rilievo, varia da 5 a 30 Km (con sistemi di collegamento tra stazioni di riferimento, tipo VRS (*Virtual Reference Stations*), si potranno estendere tali limiti. Le prospettive di ampliamento delle risorse costituite dalle reti di stazioni permanenti di riferimento gestite dagli enti pubblici territoriali sono un fattore importante, che potrà ulteriormente incrementare l'applicabilità e la produttività di questo sistema.

Il rilievo di spiaggia si presta particolarmente all'impiego delle misure GPS, in quanto le coste sabbiose italiane sono raramente caratterizzate dalla presenza di ostacoli fisici (alberi, edifici alti, etc.) che ostacolano la ricezione dei segnali emessi dai satelliti.

L'elevata precisione intrinseca e l'omogeneità dell'accuratezza dei dati di posizione che si possono ottenere con il metodo in questione determinano una diffusione sempre maggiore dell'impiego del sistema GPS. Le già elevate caratteristiche di produttività sono ulteriormente incrementate dai metodi "RTK" (*Real Time Kinematic*) che prevedono un collegamento (via radio, telefono o internet) tra i 2 ricevitori e consentono la determinazione di posizione e la quantificazione della sua precisione in tempi anche inferiori a quelli necessari al rilievo topografico eseguito con stazioni motorizzate.

Rispetto al rilievo topografico classico, si hanno i vantaggi dell'indipendenza dall'intervisibilità tra il punto di rilievo e la stazione di riferimento e l'incremento della distanza da quest'ultima; anche l'elaborazione dei dati avviene in modo relativamente semplice e non si corre il rischio di errori sistematici dovuti a problemi nelle fasi del rilievo di inquadramento. Come limite restano i problemi dovuti al cambio di DATUM cartografico e del riferimento altimetrico. La precisione può essere quantificata nell'ordine del centimetro per il posizionamento planimetrico ed altimetrico.

L'operatività del rilievo può essere del tutto simile a quella dell'operatore che movimentata la stazione riflettente in un metodo topografico classico. Il rilievo, oltre in modalità "RTK" può essere

fatto in cinematico-postelaborazione, permettendo, grazie ad un'acquisizione veloce e continua dei dati, di rilevare l'arenile anche con modalità differenti rispetto alle classiche sezioni parallele.

Nel caso del rilievo della linea di riva si può ricorrere a una movimentazione con veicolo attrezzato (moto da spiaggia). Inoltre la modalità "RTK" permette all'operatore di percorrere in tempo reale la linea di riva direttamente sulla quota zero, consentendo così di effettuare il rilievo senza successive interpolazioni.

Per il rilievo della linea di riva e per quegli scopi che consentono di acquisire dati con precisioni decimetriche (GCP per immagini da satellite, GIS) si possono anche impiegare i ricevitori con solo codice, molto meno costosi e più maneggevoli di quelli "geodetici" che registrano anche i dati relativi alle misure di "fase".

2.3. METODI DI ACQUISIZIONE DEI DATI DELLA SPIAGGIA EMERSA – RILIEVO AEROFOTOGRAMMETRICO.

Il rilevamento fotogrammetrico stereoscopico è basato sulla restituzione di coppie di prese, solitamente con asse nadirale ed eseguite da un aereo. La zona comune a 2 fotogrammi viene analizzata con apposite apparecchiature (restitutori fotogrammetrici) che, attraverso le tre fasi di orientamento del rilievo (interno, relativo e assoluto), consentono la determinazione di posizione dei punti visibili. Per compiere la restituzione di un rilevamento aerofotogrammetrico le prese devono quindi essere organizzate in "strisciate" lungo le quali i fotogrammi si sovrappongono l'uno all'altro oltre il 50% (solitamente al 60%).

Ultimamente è sempre più diffuso l'uso di camere metriche digitali. La fotogrammetria digitale ha forti analogie con il metodo analitico, perché utilizza il medesimo schema concettuale e spesso anche gli stessi algoritmi di calcolo e di compensazione. La principale differenza consiste nel materiale di partenza, cioè nell'impiego di immagini digitali ottenute per captazione diretta (camere digitali) o per scansione di immagini fotografiche.

Nel caso si proceda alla captazione diretta delle immagini mediante camere metriche digitali ad alta risoluzione, si hanno risultati di buon livello qualitativo, paragonabili a quelli della fotogrammetria analitica. In prima approssimazione si può prevedere, per le attrezzature di presa digitali metriche e per le scansioni "rigorose" dei fotogrammi analogici eseguiti con camere metriche, uno scarto quadratico medio sui risultati di posizione dei punti rilevati, pari a 1-3 pixel riportati al terreno. Per esempio, se il fotogramma ha una risoluzione tale che 1 pixel equivale a un quadrato di 8x8 cm sul terreno, la precisione del rilievo varierà tra 8 e 24 cm.

I problemi per il rilievo fotogrammetrico delle spiagge nascono dalla difficoltà nella determinazione dei punti omologhi sui 2 fotogrammi in assenza di particolari morfologici

riconoscibili sul terreno. Infatti, la sabbia, soprattutto se livellata meccanicamente, non presenta punti facilmente distinguibili uno dall'altro, per cui la visione stereoscopica risulta difficile e quindi poco precisa; si può quindi indicativamente pensare ad errori circa doppi di quelli che si ottengono su terreni con tessitura univoca.

Un altro problema si pone per la segnalizzazione e determinazione dei punti di appoggio necessari al riferimento cartografico del rilievo: in assenza di punti facilmente identificabili sul terreno, soprattutto in prossimità della linea di riva, sarà necessario "attrezzare" preventivamente le prese con segnali artificiali di dimensioni adeguate i cui centri possono essere determinati con metodi topografici o mediante rilievo satellitare GPS.

Infine, resta da notare il problema economico conseguente alla forma fortemente allungata della zona di interesse: nei rilievi per cartografia a media scala la copertura dei fotogrammi eccede di molto l'ampiezza della spiaggia e ne deriva un certo "spreco" di risorse, in quanto viene elaborata solo una porzione assai limitata del territorio rappresentato. La conseguenza è un elevato costo di acquisizione e di elaborazione per unità di superficie interessata dal monitoraggio.

La diffusione sempre crescente di apparecchiature fotografiche digitali, dotate anche di risoluzione elevata, ma di basso costo relativo, fanno propendere gli operatori al loro impiego nel rilievo fotogrammetrico, soprattutto per riprese che riguardano zone pianeggianti, quali appunto le spiagge. Nei rilievi con metodiche fotogrammetriche non rigorose possono essere utilizzate attrezzature di presa dotate di proprietà metriche ridotte (cosiddette semi-metriche) e apparecchi di metricità non determinata (camere amatoriali, telecamere, scansioni di immagini parziali, ecc.).

L'errore nella determinazione della posizione dei punti restituiti da prese digitali semi-metriche può variare tra 3 e 10 pixel riportati al terreno. L'errore planimetrico, soprattutto su terreni pianeggianti, è di solito inferiore rispetto a quelle inerenti determinazioni di quota, che più risente degli effetti distorsivi dell'immagine.

In letteratura si hanno numerosi riferimenti a esperienze di immagini semi-metriche captate da aeromobile, tese a validare il sistema mediante raffronti con metodi già consolidati (*Brasington, 2000; Baily, 2002; Judge, 2001*) e si riportano precisioni variabili dai 20 agli 80 cm in quota; generalmente viene confermata una precisione migliore per le determinazioni planimetriche. Altri autori (*Hancock, 2001*) riportano l'impiego delle stesse attrezzature fotografiche per rilievi *close-range* (su modelli), mentre un orientamento critico abbastanza interessante emerge dal contributo di (*Henry, 2002*) che raffronta le varie metodologie di ripresa di foto aeree (con velivolo attrezzato per prese metriche, con elicottero, con ultraleggeri o con piccoli aerei radioguidati), variando le altezze di volo e le camere da presa; tuttavia le precisioni ottenute non vengono quantificate e si rimanda

ad esperienze dirette che, di caso in caso, consentono una verifica delle scelte di progetto, in armonia con quanto già riportato in questo paragrafo.

Per quanto riguarda le camere amatoriali non metriche, si raccomanda un uso per il solo rilievo planimetrico (es. linea di riva) utilizzando un maggior numero di punti di controllo a terra (GCP) ed evitando le determinazioni in quota che, come abbiamo visto, sono più sensibili ai fenomeni distorsivi.

La ripresa, nel nostro caso, dovrebbe essere eseguita con camera digitale 4000x4000 pixel con risoluzione geometrica 20x20 cm e devono essere prodotte ortofoto digitali a colori con risoluzione 20x20 cm.

Questo tipo di immagini, una volta georeferenziate, può essere anche un utile strumento per il tracciamento della linea di riva. Uno dei principali problemi nella digitalizzazione della linea di riva da immagini è il suo corretto riconoscimento da parte degli operatori. Nel caso di confronto con la linea di riva rilevata con GPS si noterà come esistano notevoli differenze di interpretazione che possono portare ad errori di diversi metri.

Le foto riprese con la camera digitale devono essere restituite con opportuno software.

I risultati, che saranno oggetto di una più approfondita analisi, già da questa prima elaborazione mostrano come la metodologia utilizzata possa fornire un contributo attivo nella descrizione e, soprattutto, nella quantificazione dei fenomeni costieri.

2.4. METODI DI ACQUISIZIONE DEI DATI DELLA SPIAGGIA EMERSA – LASERSCAN.

Lo scanner terrestre nasce dall'abbinamento di un distanziometro laser a impulsi con uno strumento topografico (goniometro) motorizzato e dà la possibilità di determinare la posizione spaziale di una serie di punti equidistanziati in azimuth ed elevazione.

Si ha così la generazione di una cosiddetta "immagine solida" o "modello". L'immagine viene captata da un sensore rotante (scanner) che rileva il colore (o il tono di grigio) del "punto" considerato e la sua posizione spaziale relativa al "centro" dello strumento, solitamente espressa con una terna di numeri corrispondenti alle coordinate cartesiane. Ciascun pixel che compone l'immagine è cioè associato a una posizione nello spazio per cui, con opportuni programmi, è possibile visualizzare l'assetto tridimensionale del terreno rilevato.

L'analogia tra gli scanner terrestri e gli strumenti topografici motorizzati (Stazione Totale) è molto stretta: infatti, la principale e quasi unica differenza consiste nell'eliminazione del cannocchiale e nella sua sostituzione con un "raggio" laser capace di effettuare le misure di riflettanza e di distanza (talvolta anche colorimetriche) in frazioni di secondo (la frequenza di acquisizione va da 1 a 100

KHz circa); questi dati vengono associati ai valori angolari di direzione azimutale e zenitale e registrati nella memoria dello strumento in tempi decisamente contenuti. Ne consegue la possibilità di ottenere in pochi minuti quantità rilevanti di dati (milioni di punti). La precisione di misura, negli strumenti più recenti, è simile a quella degli strumenti topografici, quindi nell'ordine del centimetro, mentre la portata utile può variare da qualche decina a qualche centinaio di metri a seconda dei modelli.

La relativa facilità di esecuzione delle misure e la grande quantità di informazioni che si possono acquisire in tempi decisamente più brevi di quelli necessari al rilievo topografico classico forniscono un'indicazione positiva per l'impiego di questo metodo nel rilievo di scogliere o di opere morfologicamente complesse, che possono essere descritte cioè solo con un'elevata densità di punti per unità di superficie.

Dato che lo scanner procede per "profili" successivi, cioè registrando i dati relativi a una serie di punti aventi tutti lo stesso angolo azimutale (il raggio laser ruota in senso zenitale fra 2 valori prestabiliti partendo dall'alto verso il basso), questo primo "sfolgimento" non è molto efficace e riguarda solamente la zona del rilievo più vicina alla postazione dello strumento (dai 4-5 m fino al limite inferiore di ripresa che è di circa 2.3 m).

Ovviamente sarà necessario una seconda elaborazione dei dati, tesa a individuare e rimuovere gli "ostacoli" presenti sulla spiaggia (soprattutto costituiti da vegetazione e da ostacoli di vario genere, come tronchi, detriti, ecc.).

Questo passaggio di calcolo analizza i singoli "profili" rilevati eliminando i punti relativamente "alti", tali cioè da generare pendenze negative maggiori, in valore assoluto, di un valore prefissato, con i punti successivi. Questa analisi metterà in evidenza diversi punti "critici".

2.5. METODI DI ACQUISIZIONE DEI DATI DELLA SPIAGGIA EMERSA – LIDAR AEROTRASPORTATO.

L'airborne laser scanning è una metodologia di rilievo basata sulla scansione del territorio sorvolato da un aereo o da un elicottero per mezzo di un telemetro laser, che determina la distanza fra il punto di emissione, di fatto un telemetro, e il punto di riflessione costituito dal suolo.

Il telemetro misura il tempo di andata e ritorno che l'impulso laser, riflesso dal terreno, impiega a percorrere il suo percorso. Il telemetro opera mediante un generatore di frequenza, che può essere pensato come una sorta di metronomo (*clock*) che scandisce con regolarità (fino a 8-10 GHz) il fluire del tempo; la distanza fra strumento e target è una semplice funzione del tempo che intercorre tra l'emissione e la ricezione del segnale riflesso (dato che la velocità di propagazione della luce è nota e può essere considerata costante).

Lo scanner laser non si limita a misurare la distanza fra strumento e terreno, ma fornisce le coordinate dei vari punti riflettenti. Perché questo sia possibile, si deve conoscere la posizione e l'assetto dell'aeromobile in ogni istante. Il GPS è in grado di fornire autonomamente le coordinate dell'aereo, ma nel caso della scansione laser è necessario conoscere anche l'orientamento del mezzo sul quale il telemetro è montato: a ciò provvede un sensore integrato GPS/IMU.

La precisione che può essere ottenuta con queste apparecchiature e la densità dei punti rilevati per unità di superficie sono evidentemente legati alle caratteristiche dei vari componenti l'attrezzatura di misura e di controllo, ma anche alla quota di volo. Infatti, l'angolo di abbracciamento della strisciata non può superare un valore determinato per ciascun modello di scanner; anche la frequenza di acquisizione dei punti ha un limite e varia con l'altezza relativa al suolo del sensore (prima di emettere un secondo raggio, il riflesso del primo deve essere ricevuto), per cui più bassa è la quota di volo, più densa è la matrice dei punti rilevati.

Di fatto, questa considerazione pone dei limiti operativi al metodo, in quanto la produttività più elevata si otterrebbe con quote relativamente alte (maggior abbracciamento, minor numero di strisciate, minore inclinazione dei raggi di misura a parità di superficie rilevata), mentre a queste si associa una minor densità angolare dei raggi e una minor precisione nelle determinazioni di posizione (gli errori dovuti alle incertezze sui parametri angolari di orientamento del raggio laser influiscono negativamente sulla posizione planimetrica dei punti rilevati).

Per quanto riguarda la precisione nella determinazione dei punti, in letteratura (*French, 2002; Charlton, 2003*) si hanno esperienze che la quantificano, mediante raffronti con rilievi topografici e/o GPS diretti, tra i 10 e i 40 cm in altezza; valori più precisi si ottengono per la planimetria. Soprattutto l'esperienza comparativa condotta dall'Università di Pavia (Casella, 2000 e 2002) fornisce dati di notevole interesse e analizza i meccanismi di generazione degli errori suddividendoli in una parte sistematica (± 4 cm) e in un'accidentale (± 6 cm). *Huisling* (1998) propone accorgimenti simili a quelli impiegati nella fotogrammetria digitale (GCP, sovrapposizione tra strisciate contigue) per ridurre gli errori sistematici. Nel caso dei rilievi di spiagge questi accorgimenti sono indispensabili, data la rilevante influenza degli errori sistematici nei calcoli dei volumi e delle loro variazioni nel tempo.

Altri autori, oltre al già più volte citato gruppo di Casella, analizzano raffronti di precisione con la fotogrammetria analitica o digitale, mostrando risultati univocamente a favore del sistema LIDAR per quanto riguarda la precisione e la completezza del rilievo.

2.6. METODI DI ACQUISIZIONE DEI DATI DELLA SPIAGGIA EMERSA – IMMAGINE DA SATELLITE.

Il telerilevamento ha dimostrato di essere un sistema affidabile e con un favorevole rapporto costi/benefici per l'analisi territoriale a media e piccola scala. Fino a pochi anni addietro la risoluzione dei sensori posizionati su piattaforme spaziali produceva immagini con dimensioni dei pixel al suolo di 30 metri (*Landsat*), 20 metri (SPOT multispettrale) e 10 m (SPOT Pancromatico), non sufficienti per il posizionamento della linea di riva o delle opere di difesa.

La messa in orbita di sensori ad alta risoluzione *Ikonos* (4 m multispettrale ed 1 m pancromatico) e *Quickbird* (2,4 m multispettrale e 0,61 m pancromatico) ha aperto nuove prospettive in questo campo, anche se non sono stati effettuati sufficienti studi per la validazione dei dati. Nell'ambito di questo progetto queste tecniche si possono sviluppare ed analizzare mediante il confronto fra linee di riva ottenute sia con fotointerpretazione dell'immagine che con tecniche di riconoscimento automatico e linee ottenute con misure GPS condotte in contemporanea o poche ore dopo l'acquisizione del dato telerilevato.

Per la digitalizzazione della linea di riva si renderà necessario avere una georeferenziazione, la più precisa possibile, delle immagini satellitari. Per fare ciò si dovrà utilizzare il software della *Research Systems, Envi v.4.0*. Si dovrà provvedere ad effettuare la georeferenziazione in tre modi diversi per vedere il grado di precisione ed il tempo necessario alla stessa.

La prima, e più veloce, potrebbe essere effettuata per mezzo di 5 punti presi dalla Carta Tecnica Regionale vettoriale della Regione Calabria e posti in prossimità della linea di riva, in modo da avere un grado di distorsione minimo proprio in prossimità di quest'ultima.

Per il *warping* dell'immagine deve essere utilizzata la trasformazione polinomiale di 1° grado, l'unica possibile con un così ridotto numero di punti.

Ogni volta, poi, che su un'immagine viene applicata una trasformazione geometrica per rettificarla, il risultato è che i pixel si trovano in una nuova posizione, più accurata, ma la cui radiometria non rappresenta più i valori reali misurati sulla scena. Una stima dei nuovi valori di radianza e quindi dei nuovi numeri digitali dei pixel viene fatta mediante delle procedure di interpolazione matematica che sono dette tecniche di ricampionamento (*Gomarasca, 1997*). Gli algoritmi di ricampionamento più diffusi sono tre: *Nearest neighbor* (prossimo più vicino), *Bilinear* (bilineare) o *Cubic* (cubico). Nel nostro caso si dovrebbe utilizzare il ricampionamento *nearest neighbor* in quanto è quello che non modifica i valori digitali. Questo perché associa il valore del pixel dell'immagine "deformata" a quello più vicino dell'immagine di partenza. Gli altri due, invece, associano al pixel "deformato" la media dei 4 pixel adiacenti (*bilinear*) o dei 16 pixel adiacenti (*cubic*), modificando il valore dello stesso. Abbiamo scelto di operare in un tale modo in quanto,

volendo rilevare il confine terra-mare, abbiamo reputato opportuno che i valori dei pixel non fossero modificati.

La seconda georeferenziazione deve essere effettuata per mezzo di almeno 40 punti presi, come prima, dalla CTR vettoriale della Regione Calabria, distribuiti in modo uniforme su tutta l'immagine.

Questa volta è possibile effettuare la georeferenziazione utilizzando le trasformazioni polinomiali di 1°, 2° e 3° ordine.

Si è deciso poi di utilizzare la polinomiale di 1° ordine dato che, sebbene la georeferenziazione abbia un errore medio minore per le trasformazioni di ordine superiore, con esse si ottiene anche una distorsione maggiore nelle zone lontane dai CGP (punti di controllo) con i quali si è effettuato il *warping* dell'immagine. Essendo difficile trovare punti di controllo nella zona in prossimità della riva, ed in particolare in mare, le immagini georiferite con polinomiali di 2° e 3° ordine erano più precise nelle zone intensamente urbanizzate, dove maggiori erano i punti di controllo, e meno proprio dove volevamo avere il massimo grado di precisione. Anche in questo caso si deve optare per il ricampionamento *nearest neighbor*.

La terza georeferenziazione deve essere effettuata mediante 6 punti di controllo rilevati per mezzo di un rilievo GPS in modalità cinematica con una precisione di circa 20 cm. Come negli altri due metodi si deve optare per il ricampionamento *nearest neighbor*.

A questo punto si deve effettuare il confronto tra le tre immagini georiferite per vedere quale delle tre è la migliore. Si deve provvedere a confrontare dapprima le due immagini georiferite per mezzo della CTR vettoriale e si vedrà, come è da aspettarsi, che quella georiferita con un numero di punti maggiori è anche quella con il minore errore.

Il successivo controllo deve essere fatto tra le due immagini georiferite con i 40 punti CTR ed i 6 punti GPS. In questo caso si vedrà che la discrepanza tra le due immagini sarà maggiore.

La scelta di operare con solo 6 punti rilevati col GPS viene dettata dal fatto che il rilievo in automatico della linea di riva è economicamente vantaggioso se si riesce ad operare con tempi minori di quelli necessari al rilievo celerimetrico o al rilievo con il GPS cinematico. Per effettuare la registrazione di un punto di controllo GPS, tenendo conto anche degli spostamenti, sono, infatti, necessari molti minuti, che vanno sommati ai tempi di elaborazione. L'acquisizione di un elevato numero di GCP può richiedere quindi più tempo del rilievo stesso della linea di riva con GPS e non sempre i punti di controllo rilevati per la georeferenziazione di un'immagine sono utilizzabili per altre immagini.

Una volta georeferenziata l'immagine sarà necessario estrarre la linea di riva, cosa che può essere fatta sia con i tradizionali metodi della fotointerpretazione che con quelli classici dell'*image processing*. Un modo di procedere potrebbe essere il seguente:

- georeferenziazione dell'immagine;
- *density slicing* per la separazione terra/mare (sia sulle immagini multispettrali che su quella pancromatica);
- applicazione di un filtro digitale passa alto per il tracciamento della linea di riva;
- esportazione dell'immagine raster della linea di riva e sua vettorializzazione in Autocad;
- traslazione del vettore di 0,5 pixel per posizionarlo nel punto di contatto fra i pixel di terra e quelli di acqua (si ottiene così la linea di riva del momento dell'acquisizione);
- traslazione della linea di riva in funzione della marea e della pressione atmosferica nel momento dell'acquisizione e della pendenza media della battigia ottenuta da misure dirette e considerata invariabile.

Il confronto della linea di riva così ottenuta con quella rilevata direttamente sulla spiaggia con GPS indicherà che il sistema, comporta un errore medio di 1-2 pixel, cosa accettabile solo nell'ambito di un monitoraggio di lungo termine in litorali soggetti a variazioni morfologiche consistenti.

La possibilità teorica di frequenti ripetizioni della misura, dati i brevi tempi di rivisitazione dei satelliti, potrebbe portare ad una posizione media su breve periodo di maggiore accuratezza, ma che verrebbe ad avere un costo elevato.

La frequenza di acquisizione di immagini utili è comunque assai maggiore del tempo di rivisitazione, sia per la presenza di copertura nuvolosa che per l'inutilità delle immagini rilevate durante eventi meteomarini anche modesti.

2.7. METODI DI ACQUISIZIONE DEI DATI DELLA SPIAGGIA EMERSA – VIDEO SISTEMI.

Il monitoraggio dell'evoluzione della spiaggia può essere effettuato con rilievi ad elevata frequenza per mezzo di telecamere installate su punti prominenti del paesaggio o su supporti appositamente posizionati. L'immagine acquisita è obliqua e necessita di un'operazione di ortorettificazione oltre che di una georeferenziazione. È possibile acquisire immagini in continuità per studiare la risposta della spiaggia a singoli eventi meteomarini, oppure immagini giornaliere o con periodicità più alta per valutare l'evoluzione su breve periodo, in genere a seguito della realizzazione di interventi di difesa.

Dall'immagine ortorettificata e georeferenziata è possibile estrarre la linea di riva, sia con procedure automatiche che tramite fotointerpretazione. In entrambi i casi si devono affrontare tutte le problematiche messe in evidenza per le foto aeree e per le immagini da satellite.

Devono essere effettuati rilievi topografici della spiaggia sia per ottenere la posizione della linea di riva, da confrontare con quella estratta dalle immagini, che la pendenza della battigia, per apportare le correzioni di marea e di pressione atmosferica.

L'elaborazione ed il confronto fra i dati metteranno in evidenza che in condizioni di mare calmo il riconoscimento della linea di riva sulle immagini generate dalla telecamera è affetto da un errore medio di circa 0.5 m, valore accettabile anche in considerazione dell'elevato numero di immagini acquisibili che può portare ad una riduzione dell'errore inerente a ciascuna singola misura.

Questa tecnologia di video monitoraggio non consente comunque la realizzazione di un modello digitale del terreno e la valutazione delle variazioni volumetriche della spiaggia.

2.8. METODI DI ACQUISIZIONE DEI DATI DELLA SPIAGGIA SOMMERSA – SEA SLED, CRAB (COASTAL RESEARCH AMPHIBIOUS BUGGY).

La *sea sled* è una slitta (con varianti su ruote) sulla quale è posta un'asta graduata in posizione verticale. La slitta, che poggia sul fondo del mare, viene prima trainata verso il largo da un'imbarcazione e poi recuperata verso riva tramite un verricello le cui rotazione segna la lunghezza del cavo recuperato e quindi del tratto che via via viene coperto dalla slitta. L'asta che emerge dalla superficie del mare indica la profondità dell'acqua che viene letta da terra con un cannocchiale.

Con questo sistema si possono eseguire profili di spiaggia di buona precisione (3 cm in quota), ma l'operatività è ridotta ed i tempi di esecuzione assai lunghi. Il sistema, molto utilizzato negli Stati Uniti, ha trovato una ridotta applicazione in Europa e non risulta che in Italia siano mai state costruite o adottate slitte di questo tipo.

Sono stati sviluppati anche veicoli semoventi in grado di acquisire la propria posizione e profondità, tramite GPS cinematico, fra i quali il CRAB (*Coastal Research Amphibious Buggy*) è il più collaudato (Dean, 2002).

2.9. METODI DI ACQUISIZIONE DEI DATI DELLA SPIAGGIA SOMMERSA – RILIEVO CON ECOSCANDAGLIO (SINGLEBEAM)

Il rilievo batimetrico con ecoscandaglio (*single Beam*) è il sistema attualmente più utilizzato per effettuare il rilievo idrografico. Viene eseguito con un'imbarcazione di contenuto pescaggio, capace quindi di rilevare anche in bassi fondali, e opportunamente attrezzata che percorre, a

bassissima velocità, le rotte di progetto, spesso perpendicolari alla linea di riva. Queste generalmente rappresentano il proseguimento delle sezioni utilizzate per il rilievo della spiaggia emersa. Vengono spesso effettuate anche alcune rotte perpendicolari alle precedenti come controllo delle quote agli incroci. Il rilievo viene effettuato a mare calmo ed in assenza di vento.

Il sistema è generalmente composto da un calcolatore di bordo in cui è installato il software di navigazione ed un ecoscandaglio in asse con il sistema ricevente (GPS-DGPS-Prismi). Questo consente anche ad un solo operatore di svolgere il rilievo.

Una configurazione completa di un sistema integrato *singlebeam* dovrebbe essere composta dai seguenti apparati:

- sistema di posizionamento superficiale (DGPS, RTK, sistemi ottici, sistemi range-range, sistemi *range bearing*);
- sistema di acquisizione ed elaborazione dati composto da hardware e software generalmente dedicati a questo specifico scopo;
- ecoscandaglio idrografico professionale;
- compensatore d'onda per la correzione delle profondità rilevate in relazione al moto ondoso;
- compensatore di moto per la correzione delle profondità rilevate in funzione dei movimenti di rollio e beccheggio del trasduttore dell'ecoscandaglio (generalmente non utilizzato);
- sonda di velocità del suono in acqua (non sempre utilizzata);
- mareografo (non necessario se si utilizza un sistema di posizionamento RTK).

L'uso di un GPS "RTK" offre notevoli vantaggi in quanto, oltre alle coordinate planimetriche, calcola anche la quota assoluta del trasduttore in tempo reale e con precisione centimetrica. Diventa possibile, in abbinamento con i dati provenienti dall'ecoscandaglio, correggere così automaticamente tutte le oscillazioni della superficie marina (marea, onde, sopralzo dovuto alla massa d'acqua spinta dal vento) durante il rilievo batimetrico.

Gli ecoscandagli *singlebeam* utilizzati sono di tipo idrografico con risoluzione digitale di 1 cm. Il trasduttore emette un impulso sonoro, il segnale di ritorno dell'onda riflessa dal fondo viene rilevato dalla sonda. Il tempo di ritorno del segnale dipende dalla velocità del suono in acqua. Il rilievo risulta quindi puntuale sotto la traiettoria dell'imbarcazione. La frequenza adottata è generalmente di 200 KHz; un buon compromesso per garantire un rilievo accurato del fondale con poca interferenza della colonna d'acqua. In generale le frequenze più usate sono da 100-1000 kHz. La determinazione della velocità del suono in acqua è forse la procedura più difficile di tutta l'operazione. La velocità del suono varia, infatti, con la densità e le proprietà elastiche dell'acqua che sono funzione della temperatura, dei materiali in sospensione o dissolti e della salinità.

L'ecoscandaglio viene quindi tarato per la temperatura dell'acqua e la salinità, o direttamente ad una profondità nota tramite il metodo "bar check", ovvero facendo riferimento ad un'apposita piastra metallica calata in acqua a profondità note.

Nelle acque basse la temperatura e la salinità variano notevolmente. Un aumento di 5° in 5 metri di profondità può causare un errore fino a 10 cm (Gibeaut, 1998).

Anche il cono di apertura del segnale dei vari trasduttori influenza notevolmente la precisione del rilievo.

Ulteriori sensori permettano le correzioni per il rollio ed il beccheggio dell'imbarcazione che provocano errori anche notevoli nelle misure. Ad esempio, 8° di inclinazione a 10 metri di profondità causano un errore di 10 cm sulla quota e 150 sulla planimetria (Gibeaut, 1998). È quindi fondamentale eseguire il rilievo a mare completamente calmo.

L'errore probabile sulle misure di profondità, tenendo conto anche dell'errore proprio di un ecoscandaglio di precisione, può essere stimato in condizioni ottimali pari a circa ± 7 cm, normalmente invece la precisione dei rilievi è dell'ordine di ± 17 cm. La precisione scende ulteriormente se non vengono effettuate le correzioni di marea o se non viene controllata periodicamente la taratura dell'ecoscandaglio (Aminti, 1999).

Per ogni sezione di lavoro si deve provvedere alla taratura dello scandaglio tramite piastra equidistante collocata alla profondità di 2 e 9 metri (metodo *bar check*).

L'editing della strisciata digitale vedrà la correzione tramite programmi adeguati dei disturbi dovuti al moto ondoso, alla marea, che è stata rilevata contestualmente.

Il rilievo in mare sarà integrato con quello topografico del fondo in prossimità della riva e della parte emersa.

2.10. METODI DI ACQUISIZIONE DEI DATI DELLA SPIAGGIA SOMMERSA – RILIEVO CON *MULTIBEAM*.

Il sistema *multibeam* è una tecnologia che consente di avere una mappatura di alta definizione del fondale marino investigato. Rispetto alle classiche metodologie di rilievo batimetrico con un normale ecoscandaglio, questa tecnica si caratterizza per la notevole mole di dati acquisiti nella stessa unità di tempo.

Si tratta di una strumentazione che, anziché misurare una sola profondità ne misura 60, 100 o 240 contemporaneamente a seconda della sua apertura angolare. Oggettivamente l'utilizzo di un sistema *multibeam* aumenta in modo esponenziale le potenzialità di un singolo ecoscandaglio (Maso, 2002). Tecnicamente esso può essere descritto come un sonar acustico che rileva le distanze tra il trasduttore ed il fondale marino o qualsiasi altro target presente sul fondo.

Il trasduttore del sistema è composto da tanti ricevitori che rilevano l'eco di ritorno proveniente dal suono emesso dal trasmettitore e riflesso dal fondo.

Uno strumento con apertura di 90° rileva una porzione di fondale pari a due volte la profondità presente al di sotto del trasduttore, mentre un'apertura di 150° arriva fino a sette volte.

La spaziatura tra i singoli segnali, a sua volta, determina il grado di risoluzione spaziale con cui uno strumento è in grado di discernere gli oggetti presenti sul fondo; uno strumento con una spaziatura di 0.5°, in opportune condizioni, sarà in grado di rilevare anche una piccola condotta presente sul fondo.

In ogni istante il fascio emesso e rilevato dal trasduttore di un *multibeam* deve essere posizionato correttamente rispetto al sistema di riferimento utilizzato per eseguire i rilievi.

Ciò comporta che per poter funzionare adeguatamente, un sistema *multibeam* necessita dei seguenti strumenti di misura:

- sistema di posizionamento GPS differenziale;
- girobussola;
- sensore di moto;
- sonda di velocità del suono in acqua.

Il sistema di posizionamento è necessario per poter georeferenziare ogni singola distanza misurata dai *beams* di cui è composto il trasduttore; la girobussola fornirà l'informazione riguardante l'orientamento del fascio del *multibeam*, il sensore di moto correggerà i movimenti del trasduttore relativi al moto ondoso, al rollio ed al beccheggio dell'imbarcazione, ed infine la sonda di velocità del suono fornirà il giusto valore di propagazione acustica lungo tutta la colonna d'acqua.

I dati misurati dai singoli strumenti sono gestiti da un sistema di navigazione ed acquisizione che provvederà ad associare ad ogni distanza misurata dal trasduttore una terna corretta di valori X, Y e Z nel sistema di riferimento utilizzato.

I dati ottenuti sono trasferiti ad un PC per il processo che comporta quanto segue (Matsumoto et al, 2001):

- compensazione dei sensori di moto e latenza di tempo (*patch test*);
- correzione della velocità del suono e della marea;
- identificazione e rimozione del rumore;
- considerazioni sulla distribuzione degli ostacoli e bassi fondali;
- selezione del suono.

Il criterio di acquisizione dati *multibeam* si basa sulla copertura totale di un'area da indagare. Fondamentalmente tanti più dati verranno rilevati sulla superficie di quest'area tanto più dettagliata sarà la definizione della morfologia del fondale.

A tale scopo, prima di eseguire i rilievi, viene definita la cosiddetta “maglia di acquisizione”, che verrà ad essere costituita da tante piccole celle di una determinata ampiezza (es. 1x1 m o 0.5x0.5 m) a seconda del grado di risoluzione desiderato.

Durante l’acquisizione, ogni volta che il sistema rileverà delle profondità all’interno di quelle celle provvederà ad eseguire la media di tutte le misure effettuate ed a fornire la profondità media per quella unità di superficie. Al termine del processo tutta l’area indagata sarà uniformemente coperta da una densità di punti tale da definire con un alto grado di dettaglio la batimetria della zona.

Uno degli svantaggi di questo sistema è la scarsa operatività nei bassi fondali. In generale esso può operare in acque profonde da un minimo di 1.5-2 metri in poi. Un altro problema è la falsa rifrazione indotta dalla presenza di pendii laterali estremamente ripidi (Piccin et al, 2002). Vale inoltre la pena di citare la tecnologia *GeoSwath*. Si tratta di uno strumento disponibile solo recentemente sul mercato specialmente in Italia, costituito da un interferometrico multiraggio per il rilievo a larga fascia completamente integrato, adatto al rilievo di bassi fondali, ed economicamente vantaggioso. Il *GeoSwath* è un sonar progettato per fornire un’alta risoluzione di rilievo. Usa la tecnologia di misura di fase (interferometrica) che offre il vantaggio di coprire un’ampia fascia di fondale (10-30 volte la profondità) con una notevole risoluzione attraverso un sistema compatto, adatto per operare in bassi fondali, laddove, come abbiamo visto, i sistemi *multibeam* hanno particolari problemi. Inoltre tale sistema offre il vantaggio di poter acquisire dati tipo “*sidescan sonar*” di ottima qualità.

2.11. METODI DI ACQUISIZIONE DEI DATI DELLA SPIAGGIA SOMMERSA – RILIEVO CON LIDAR MARINO (A.L.B.)

L’*Airborne Laser Bathymetry* (ALB) è una tecnica che consente di effettuare rilievi batimetrici a bassa profondità usando impulsi laser trasmessi da un’apparecchiatura avio-trasportata.

Questa tecnologia è nata negli stati uniti per scopi militari (ricerca di sottomarini) negli anni Sessanta. Negli anni Novanta il sistema è divenuto operativo in ambito commerciale negli Stati Uniti (*SHOALS*), in Australia (*LADS-LADSII*) ed in Svezia (*Hawk Eye*).

Il sistema, secondo la tipologia, può essere montato o su piccoli aerei o su elicottero.

Le principali ragioni per l’utilizzo di questa tecnica sono la possibilità di:

- eseguire rilievi in tempi rapidi anche in ampie aree;
- effettuare rilievi in zone dove le metodologie tradizionali potrebbero essere difficoltose da applicare o pericolose;
- eseguire contemporaneamente rilievi del fondale e della zona emersa come anche le strutture costiere.

Il Lidar marino è particolarmente adatto in rilievi di bassa profondità. Uno dei vantaggi è la possibilità di poter rilevare simultaneamente la parte emersa e quella sommersa della spiaggia, anche a basse profondità dove sistemi come il *multibeam* non possono operare. Questa tecnica utilizza due impulsi laser, uno verde ed un infrarosso. Il primo penetra attraverso l'acqua per la sua particolare frequenza, mentre il secondo viene riflesso dalla superficie del mare e dalla spiaggia emersa. La profondità dell'acqua è derivata dalla differenza di tempo di ritorno fra il segnale riflesso dalla superficie marina e quello riflesso dal fondale. Si tratta di una apparecchiatura complessa, che varia leggermente a seconda delle case costruttrici, in generale costituita da un trasmettitore laser che può generare fino a 1000 impulsi al secondo, da alcuni ricevitori del segnale di ritorno, da un GPS differenziale per seguire la rotta impostata, da una tecnologia GPS per il “*real time*” e “*post-flight data processing*”, da un insieme di sensori per le correzioni automatiche di rollio e beccheggio e da un sistema inerziale.

L'altezza di volo è compresa fra i 200-5000 metri. La massima inclinazione dello scanner laser è di circa 20° con una fascia di indagine pari a circa la metà della quota di volo. I rilievi generalmente avvengono con una densità di un punto ogni 16 m², ma può essere raggiunta anche una densità maggiore, con coperture areali di circa 60 km²/ora.

I dati, una volta raccolti e processati anche da particolari algoritmi per la correzione delle fluttuazioni della superficie e delle proprietà ottiche dell'acqua, vengono elaborati e restituiti secondo le metodologie tradizionali.

La limitazione principale di questo sistema è la scarsa penetrazione in acque non estremamente limpide e con bassa riflettività del fondale. In generale possiamo dire che la profondità massima raggiungibile è pari a 2-3 volte quella di “Secchi”. In termini più specifici la profondità massima rilevabile è data da n/K , dove n è una costante che varia da 3 a 5 a seconda che sia giorno o notte, mentre K è un fattore esponenziale per il quale il vettore dell'irradianza della luce incidente decresce con la profondità.

Il raggio laser in acqua viene disperso oltre che dalle onde anche dalla presenza di materiale organico ed inorganico. In acque caraibiche di notte sono stati raggiunti i 70 metri di profondità.

La precisione verticale potenzialmente raggiungibile dall'ALB è di ± 15 cm; che rientra nello standard generalmente accettato per i rilievi idrografici e stabilito dall'*International Hydrographic Organization* (IHO). In maniera semplificata l'accuratezza verticale per rilievi idrografici a bassa profondità è di ± 25 cm (1σ). Possiamo dire che tutti i sistemi ALB esistenti hanno potenzialmente un'accuratezza maggiore.

Una nuova funzionalità del sistema *SHOALS 1000* permette di avere immagini di pseudo-riflettanza del fondale utili per la sua caratterizzazione.

3. MANUTENZIONE E MONITORAGGIO DELLE OPERE PREVISTE IN PROGETTO

3.1. PREMESSA

Le opere di difesa previste hanno la funzione di difendere le opere a terra dal moto ondoso e ripristinare lo stato dei luoghi, danneggiati da numerose mareggiate.

Il funzionamento delle opere di difesa è strettamente connesso alla geometria delle stesse; notevoli fenomeni di degrado della scogliera potrebbero determinare il cattivo funzionamento dell'opera di protezione impedendo a quest'ultima di smorzare il moto ondoso incidente che in tal modo andrebbe ad interessare la costa accentuando il regime di erosione che si è instaurato negli ultimi anni perdendo la funzione di stabilizzare il litorale.

3.2. MODALITÀ DI USO CORRETTO

È necessario verificare e valutare eventuali variazioni batimetriche in una successiva fase progettuale.

3.3. ANOMALIE RICONTRABILI

Le strutture di protezione, come la barriera ed i pennelli previsti in progetto, che già possono presentare delle disomogeneità all'interno della stessa barriera o delle difformità per effetto delle variazioni assunte in fase di realizzazione rispetto alle sezioni di progetto, cambiano facilmente la loro forma anche con il trascorrere del tempo, essendo sottoposte continuamente all'azione modellatrice del moto ondoso incidente soprattutto in testata. Così le dimensioni delle opere costiere cambiano abbastanza facilmente e non rimangono sempre stabili come potrebbe sembrare da una analisi solo superficiale. Per ciò che concerne i pennelli si potranno riscontrare eventuali spostamenti di scogli a seguito di mareggiate di notevole intensità che altereranno il profilo delle scarpate. Proprio nel caso in cui si dovesse riscontrare lo spostamento degli scogli, soprattutto in testata, si dovrà intervenire con il ripristino o la ricollocazione degli stessi.

3.4. MANUTENZIONI ESEGUIBILI DIRETTAMENTE DALL'UTENTE E O A CURA DI PERSONALE SPECIALIZZATO.

In conseguenza di mareggiate di notevole intensità, le Autorità competenti dovranno eseguire dei sopralluoghi per accertare eventuali danni subiti dalle strutture per le quali non si richiedono conoscenze specialistiche.

Inoltre periodicamente effettuare dei controlli al fine di riconoscere tempestivamente fenomeni di deterioramento anomalo al fine di sollecitare interventi specialistici.

La regolarizzazione delle scarpate avverrà con l'ausilio di adeguati mezzi marittimi e anche con l'ausilio del palombaro.

3.5. PROGRAMMA DEGLI INTERVENTI DI MANUTENZIONE

Ripristino dei pennelli in quelle zone dove l'azione del moto ondoso ne avrà determinato il danneggiamento o l'asportazione di qualche scoglio.

Il controllo dello stato del coronamento del nucleo avverrà attraverso un'indagine morfologico - stratigrafica ogni **2 anni**.

Si eseguirà una campagna periodica di rilievi batimetrici per il monitoraggio dei fondali. Ogni **anno nella fase iniziale**.

Ricollocazione degli scogli costituenti il coronamento del pennello rimossi a seguito di violente mareggiate ogni **5 anni**.

Per quanto riguarda il materiale del ripascimento, i sedimenti fluviali del Trionto sono più grossolani e costituiti da ciottoli di fillade (50%) scuri e nella frazione sabbiosa da frammenti di rocce metamorfiche scuri (33%). Inoltre i ciottoli di fillade come i clasti sabbiosi di roccia metamorfica sono fragili all'azione meccanica del moto ondoso e producono pochi clasti sabbiosi stabili. Sulla base delle osservazioni e discussione dei dati raccolti, confermati da recenti studi (*Morrone and Fabio Ietto 2020. Shoreline evolution and modern beach sand composition along a coastal stretch of the Tyrrhenian Sea, southern Italy. Journal of Palaeogeography 10/7*), possiamo affermare che: i clasti dei sedimenti sabbiosi e ghiaiosi (ciottoli) di rocce metamorfiche di basso grado come le filladi producono meno clasti sabbiosi e ghiaiosi stabili nella spiaggia emersa e sommersa rispetto ai graniti, alle rocce metamorfiche di medio-alto grado, le arenarie, i conglomerati. I clasti sabbiosi e ghiaiosi derivanti dalle rocce carbonatiche invece oltre a disgregarsi rapidamente vanno anche in dissoluzione e rappresentano la sorgente sedimentaria meno stabile. In considerazione del fatto che il sedimento utilizzato proviene dal Fiume Trionto (Calopezzati), caratterizzato da una percentuale di clasti di rocce metamorfiche di basso grado facilmente, è necessario prevedere una quota integrativa di ripascimento valutabile nell'ordine del 20% e/o di un piano di manutenzione caratterizzato eventualmente, sulla base del monitoraggio, già al primo anno da nuovi versamenti capaci di bilanciare le possibili perdite.

3.6. PROGRAMMA DI MONITORAGGIO MORFOLOGICO E CONTROLLI

3.6.1. PREMESSA

Il progetto prevede la realizzazione di un'opera che non dovrebbe comportare problemi di stabilità nel tempo. Tuttavia la presenza di un moto ondoso incidente può comportare il dissesto della mantellata con danni alle strutture sovrastanti. Occorre che sia quindi predisposto un piano di monitoraggio con lo scopo di rendersi conto delle effettive condizioni della mantellata foranea prima che il danno si estenda alla struttura superiore. Il monitoraggio deve essere esteso alle condizioni della linea di costa e del fondo in corrispondenza del *suf-zone* per analizzare l'andamento e l'evoluzione della stessa nel tempo.

Si controllerà lo stato della berma foranea e del coronamento del nucleo attraverso un'indagine morfologico-stratigrafica, utilizzando un sistema *Side Scan Sonar*, a tecnologia chip, che consente di incrementare sensibilmente la qualità dei dati raccolti.

3.6.2. MODALITÀ DI ESECUZIONE DELLE ATTIVITÀ DI MONITORAGGIO

Il monitoraggio prevede lo svolgimento nel tempo delle seguenti attività:

Rilievi della linea di riva

Il rilievo sarà effettuato con GPS ad alta precisione che garantisce una precisione minima di 20 cm.

Il rilievo della linea di riva sarà effettuato con mare calmo e verrà determinato un punto ogni 10 metri e comunque infittito per descrivere tutti i punti singolari presenti.

L'operatore batterà almeno tre punti sopra e sotto la linea di riva distanti tra loro al massimo 1,5 metri in modo da ottenere per interpolazione la posizione della linea di riva relativa allo zero assoluto.

Rilievi batimetrici

I rilievi saranno eseguiti con l'ausilio di un mezzo navale a basso pescaggio in grado di operare anche in fondali bassi o bassissimi. Tutte le posizioni misurate saranno inserite nel sistema di navigazione che potrà essere integrato alla strumentazione stessa oppure esterno con l'ausilio di pc di supporto.

Il posizionamento dell'imbarcazione sarà ottenuto mediante una coppia di ricevitori GPS con metodologia differenziale/cinematica RTK, di cui una (base) sarà posizionato a terra su di un caposaldo necessariamente appartenente alla rete di caposaldi di riferimento per la macro-area, preventivamente materializzata, ed ubicato in prossimità dell'area di indagine, mentre l'altro (*rover*) sarà a bordo dell'imbarcazione.

Il sistema di posizionamento dell'imbarcazione (*rover*) provvederà a calcolare in continuo la posizione dell'antenna GPS posta sull'imbarcazione con una frequenza di aggiornamento non inferiore di 1 Hz.

Il rilievo batimetrico sarà essere eseguito mediante ecoscandaglio idrografico di precisione il cui sonar sarà essere in grado di acquisire dati di profondità con cadenza di almeno un punto al secondo con la precisione di +/- 5 cm e che utilizzi un impulso con una frequenza operativa di almeno 200 KHz e cono di emissione inferiore a 10°.

I dati di profondità saranno riferiti al livello medio marino e corretti in *post-processing* dalle variazioni del livello della marea locale verificatasi durante l'arco temporale di effettuazione delle misure.

Esecuzione di profili di riva

Saranno eseguiti dei profili di riva il cui numero verrà concordato con la Direzione dei Lavori.

Rilievi topografici

Il rilievo sarà eseguito, con mezzi, tecnologie e metodologie idonee a garantire una precisione del rilievo pari a: ± 20 mm planimetricamente, ± 50 mm altimetricamente.\

Il rilievo topografico della spiaggia emersa sarà eseguito nella zona compresa tra il ciglio della strada ovvero il cordone dunale, se presente, ovvero di altro manufatto che delimiti la fascia di spiaggia attiva e la linea di riva.

3.6.3. CRONOPROGRAMMA DELLE ATTIVITÀ DI MONITORAGGIO

Le attività di monitoraggio si svolgeranno secondo le seguenti tempistiche:

Rilievi della linea di riva

Il rilevamento della linea di riva sarà eseguito con cadenza trimestrale (1 per ogni stagione) per una durata di un anno.

Rilievi batimetrici e delle opere

Il rilievo della spiaggia sommersa sarà eseguito con cadenza semestrale per una durata di un anno.

Esecuzione di profili di riva

I profili di riva saranno eseguiti con cadenza semestrale per una durata di un anno.

Rilievi topografici

I rilievi topografici saranno eseguiti con cadenza semestrale per una durata di un anno.

3.6.4. RAPPORTI DI MONITORAGGIO

Tutte le attività svolte saranno presentate all'Amministrazione, in funzione delle tempistiche descritte nel cronoprogramma mediante dei rapporti di monitoraggio che devono avere i seguenti contenuti:

- relazione sintetica descrittiva delle operazioni di monitoraggio;
- planimetria georeferenziata con evoluzione della linea di riva;
- documentazione fotografica dell'area a rischio, ante e post intervento;
- sezioni significative di confronto e particolari in scala adeguata;

I rapporti verranno consegnati in duplice copia cartacea e su supporto informatico.

Al termine delle operazioni di monitoraggio sarà redatto un rapporto finale che deve contenere la sintesi del progetto con gli studi eseguiti in fase di progettazione, la sintesi delle misurazioni eseguite in fase di monitoraggio, il confronto tra le situazioni *ante e post operam* e un breve commento dei risultati raggiunti sulla base dei dati monitorati.

4. PIANO DI MONITORAGGIO AMBIENTALE

4.1. MODELLO DI GESTIONE ADATTIVA DEL MONITORAGGIO

Il concetto di gestione adattiva, sia dei disastri naturali, che delle attività di gestione ordinaria del territorio è stata introdotta per tenere conto dei vari livelli di “incertezza” che sono insiti nei programmi e progetti di assetto o di mitigazione dei rischi.

A maggior ragione per il Rischio Costiero, i modelli adottati, anche quelli più sofisticati, non consentono una verifica deterministica di efficacia delle azioni e degli interventi di protezione e salvaguardia costiera. È per questo motivo che molti piani e programmi, anche quelli di monitoraggio, sono stati impostati nella logica della Gestione Adattiva (*Adaptive Management*).

Il concetto di Gestione Adattiva che vogliamo perseguire è stato, infatti, sviluppato al fine di fornire un quadro procedurale a supporto dei processi decisionali sul territorio che devono tenere conto della incertezza delle basi conoscitive. Tali incertezze possono derivare da incompletezza della base scientifica, dal limitato tempo a disposizione per affrontare la problematica ed, infine, la mancanza di risorse economiche per risolvere il problema. L’aspetto rilevante è che i principi dell’*Adaptive Management* sono dotati di una estrema flessibilità e possono essere applicati alle varie scale, utilizzando diverse strategie. L’elemento più importante è che “si deve imparare dal progetto”, infatti, l’“*adaptive management*” viene anche denominato, per brevità, imparare attraverso il fare (“learning by doing”). Solo durante il “fare” le incertezze vengono individuate e progressivamente superate, “adattando” le varie soluzioni alle risposte positive o negative del sistema. Uno schema di riferimento significativo è fornito non a caso dal NOAA americano.



Figura 1 – Schema Adaptive Management

4.2. MONITORAGGIO E VERIFICA DELLO STATO DELLE OPERE

4.2.1. PREMESSA

Alla realizzazione delle opere del presente progetto seguirà una fase di gestione e manutenzione delle opere realizzate caratterizzata da un costante monitoraggio del moto ondoso e della morfologia della spiaggia.

Il monitoraggio delle opere dovrà essere realizzato sia con sopralluoghi, documentati da verbali, schede e fotografie, che con campagne di misure, eseguiti ambedue a cadenze regolari e comunque ogni qualvolta che in fase di esercizio si registrino eventuali assestamenti o danni delle opere a gettata e del litorale interessato dagli eventi di difesa costiera.

Il piano di monitoraggio costituisce, inoltre, un elemento indispensabile per la definizione degli interventi di manutenzione; le scadenze temporali nelle quali vengono suddivise le varie attività di monitoraggio sono così definite:

- monitoraggio prima dell'inizio dei lavori (prima cioè che venga ad essere modificato l'assetto costiero attuale);
- monitoraggio in corso d'opera, durante la costruzione dell'opera (dall'inizio dei lavori al completamento delle opere marittime e collaudo);
- monitoraggio nelle fasi di esercizio, successivamente alla costruzione dell'opera (dal collaudo in poi).

Si evidenzia che le attività di monitoraggio previste nelle suddette fasi temporali, saranno seguite con il supporto diretto, per i diversi aspetti ambientali, dagli enti competenti (ASL, ARPACAL e Autorità di Bacino del Distretto Meridionale).

Le attività di dragaggio, trasporto e immersione devono essere sottoposte ad un monitoraggio ambientale con l'obiettivo di verificare l'ipotesi di impatto, ovvero l'entità degli effetti sul comparto abiotico e biotico e verificare la tendenza al ripristino delle condizioni precedenti le attività di movimentazione, ponendo particolare attenzione alla variazione della biodisponibilità di sostanze potenzialmente tossiche, alla comparsa di modificazioni "precoci" (*biomarker*) nei sistemi biologici indicatori e di effetti tossici a breve o più lungo termine, nonché alle alterazioni a carico delle biocenosi, soprattutto di habitat e specie di interesse conservazionistico.

Tali indagini devono riguardare la valutazione dei possibili impatti sulla colonna d'acqua e/o sul fondale, privilegiando l'utilizzo di bioindicatori.

Le attività di dragaggio, trasporto e immersione devono essere sottoposte ad un monitoraggio ambientale secondo il principio della gradualità: il numero delle stazioni, i parametri da monitorare nella colonna d'acqua, nel sedimento superficiale e nel biota devono essere commisurati alla qualità

e alla quantità dei materiali da sottoporre a movimentazione, alla durata e alle modalità operative relative alla localizzazione degli specifici interventi.

La fase *ante operam* può essere esclusa o opportunamente ridotta tenendo conto di quella parte di indagine già effettuata nella fase di caratterizzazione qualora non siano trascorsi 3 anni e non si siano verificati eventi tali da aver modificato lo stato dei luoghi.

Le indagini devono essere condotte da Enti e/o Istituti Pubblici di comprovata esperienza, oppure da laboratori privati accreditati da organismi riconosciuti ai sensi della norma UNI CEI EN 17011/05 per le specifiche prove previste, inseriti in circuiti di intercalibrazione nazionali e/o internazionali ove esistenti.

4.2.2. MONITORAGGIO DELLE ATTIVITÀ DI ESCAVO

Relativamente all'area portuale, fluviale e litoranea, il monitoraggio deve tener conto dei seguenti aspetti relativi ai comparti sedimento, colonna d'acqua e biota, nelle aree circostanti la zona di dragaggio:

- variazioni nella qualità dei sedimenti superficiali tramite analisi chimiche dei parametri risultati più critici nella fase di caratterizzazione ed esecuzione di saggi ecotossicologici;
- variazioni nella qualità della colonna d'acqua tramite il controllo dei livelli di torbidità e/o concentrazione di solidi sospesi in particolare lungo percorsi preferenziali di trasporto verso zone di interesse alieutico e/o ricreativo, nonché variazioni della biodisponibilità e/o ecotossicità (bioaccumulo, saggi in situ, saggi biologici di tipo 3 di cui alla Tabella 2., *biomarker* e/o accumulatori passivi che consentono la rilevazione anche di basse concentrazioni di elementi nella frazione disciolta);
- eventuali alterazioni delle principali biocenosi bentoniche (con verifica della presenza/distribuzione di habitat e specie di interesse conservazionistico).

Nella fase "*ante operam*" occorre individuare un valore di riferimento relativo alla torbidità e/o concentrazione dei solidi sospesi nella colonna d'acqua, corrispondente al 90° percentile del set di misure sufficientemente ampio da risultare rappresentativo della variabilità dell'area, qualora non sia desumibile da letteratura o da indagini pregresse, o diversamente stabilito dal Piano di monitoraggio che deve anche prevedere le opportune misure da intraprendere in caso di difformità.

Nella fase "*in corso d'opera*", deve essere verificato che le eventuali variazioni della torbidità e/o della concentrazione di solidi sospesi siano contenute entro il valore di riferimento definito nell'ambito delle indagini "*ante operam*".

In fase *post operam*, condotta al termine delle operazioni di dragaggio deve essere verificato il ripristino delle condizioni ambientali "*ante operam*" o definite nella fase di caratterizzazione.

TIPOLOGIA INDAGINE	COMPARTO	FREQUENZA MISURAZIONI
Analisi chimiche dei parametri risultati critici in fase di caratterizzazione (<i>ante operam</i>)	sedimento	<u>In corso d'opera:</u> • 1 durante i lavori; <u>Post operam:</u> • 1 a fine lavori;
Individuazione di un valore di riferimento relativo alla torbidità e/o concentrazione dei solidi sospesi	colonna d'acqua	<u>Ante operam:</u> • 1 prima dei lavori.
Controllo delle variazioni dei livelli di torbidità e/o concentrazione di solidi sospesi	colonna d'acqua	<u>In corso d'opera:</u> • 1 durante i lavori; <u>Post operam:</u> • 1 a fine lavori;

Figura 2 – Elementi da monitorare durante la fase di escavo

4.2.3. MONITORAGGIO DELLE ATTIVITÀ DI TRASPORTO DEI MATERIALI

L'attività di trasporto dei materiali verso la specifica collocazione deve essere sottoposta ad un monitoraggio ambientale qualora sussistano rischi di “sversamenti” di materiale lungo i tragitti stabiliti, in particolare nei confronti di habitat e specie di interesse conservazionistico (praterie di Posidonia oceanica, coralligeno, *beach rocks*, ecc.), nonché transiti in zone limitrofe destinate ad attività di acquacoltura.

Nel caso del progetto in esame, non sussistono grandi rischi di sversamenti di materiale lungo il tragitto, in quanto il trasporto avverrà per un tratto breve lungo il percorso via terra che conduce dall'area di escavo a quella di ripascimento.

4.2.4. MONITORAGGIO DELLE ATTIVITÀ DI RIPASCIMENTO

L'attività di monitoraggio deve essere commisurata ai volumi e alla qualità del materiale, nonché alle caratteristiche dell'area ricevente, e deve essere sviluppata nello spazio e nel tempo. Tale sviluppo può prevedere fasi successive (*Ante operam*, in corso d'opera e *Post operam*). In particolare si dovranno indagare:

- granulometria dei sedimenti superficiali dell'area di ripascimento e delle aree limitrofe;
- livelli di torbidità nell'area e nelle immediate vicinanze del sito da ripascere.

La ricerca di parte o tutti i parametri della caratterizzazione standard sui sedimenti dell'area da ripascere e nelle immediate vicinanze deve essere orientata dalla presenza di eventuali valori critici

di concentrazione chimica, da difformità rispetto alle misure effettuate sui sedimenti dell'area di prelievo, o da eventuali evidenze di ecotossicità riscontrate nella fase di caratterizzazione dei sedimenti dell'area di escavo e/o dell'area da ripascere.

Per valutare l'efficacia dell'intervento è necessario prevedere un ulteriore monitoraggio finalizzato alla valutazione della compatibilità tessiturale e relativa stabilità e durevolezza dell'opera, che comprenda, nel tempo, rilievi topografici della linea di riva, rilievi batimetrici dell'area di intervento e della costa limitrofa.

TIPOLOGIA INDAGINE	COMPARTO	FREQUENZA MISURAZIONI
Analisi della granulometria e colorimetria dei sedimenti superficiali dell'area di ripascimento e aree limitrofe	sedimento	<u>Ante operam:</u> • 1 prima dei lavori; <u>Post operam:</u> • 1 a fine lavori; • 1 dopo un anno.
Controllo dei livelli di torbidità nell'area e nelle immediate vicinanze del sito da ripascere	colonna d'acqua	<u>Ante operam:</u> • 1 prima dei lavori; <u>In corso d'opera:</u> • 1 durante i lavori; <u>Post operam:</u> • 1 a fine lavori;
Valutazione della stabilità e durevolezza dell'opera (rilievi topografici e batimetrici)	sedimento	<u>Post operam:</u> • 1 a fine lavori; • 1 dopo un anno.

Figura 3 – Elementi da monitorare durante il ripascimento.

4.2.5. MONITORAGGIO NELLE FASI PRELIMINARI ALLA COSTRUZIONE DELL'OPERA

Il piano di monitoraggio prevede un'implementazione di tutte le caratteristiche già rilevate, di tipo geometrico (batimetria, profilo della linea di riva e ampiezza del litorale), fisico (granulometria della spiaggia sommersa ed emersa), biologico, oltre ai dati chimici se necessario (qualità delle acque) che dovranno essere disponibili al “momento zero” ossia prima dell'inizio delle attività di costruzione dell'opera.

I dati registrati dall'ondametro saranno di estrema importanza per la verifica della dinamica dei sedimenti costieri. Si evidenzia a tal riguardo che gli studi condotti per il presente progetto si sono basati sulle misure onda metriche eseguite sull'ondametro appartenente alla Rete Ondametrica Nazionale (RON) di Crotona che è gestito dall'ISPRA.

La necessità di eseguire il monitoraggio della qualità delle acque marine deriva da una duplice necessità. La prima riguarda la verifica dell’impatto che potrebbe essere esercitato dalle opere di difesa costiera sulla qualità delle acque marino-costiere.

La seconda riguarda il controllo della possibile produzione di torbidità durante l’esecuzione dei lavori marittimi.

Per quanto riguarda il primo aspetto si evidenzia come le opere di difesa rigide presentano un modesto impatto sulla capacità di ricambio idrico costiero essendo costituite per lo più da difese sommerse. Tale monitoraggio dovrà iniziare prima dell’inizio dei lavori (almeno tre mesi, al fine di poter definire il così detto “bianco” e si dovrà protrarre per almeno una stagione estiva a partire dal termine dei lavori.

4.2.6. MONITORAGGIO IN CORSO D’OPERA

Nelle attività di monitoraggio da svolgere durante la fase realizzativa si dovrà prevedere ad aggiornare e custodire i seguenti dati:

- rilevamento delle caratteristiche del moto ondoso mediante dati ondometrici misurati dalla boa installata al largo di Crotone. In questo modo si avranno informazioni sul clima e sugli eventi estremi del moto ondoso fin dal momento della realizzazione delle opere di difesa, permettendo utili correlazioni con le concomitanti modificazioni della spiaggia anche durante tale breve periodo. Inoltre si avranno i primi dati utili per aggiornare la definizione del clima del moto ondoso posto a base del modello matematico di evoluzione costiera che verrà applicato subito dopo la fine della realizzazione delle opere;
- aggiornamento del rilievo topografico-batimetrico della spiaggia emersa della linea di riva sia i profili trasversali di spiaggia, che confrontati con i precedenti consentiranno di valutare le variazioni volumetriche dei sedimenti e quindi valutare il trasporto degli stessi. Il rilievo verrà effettuato all’inizio dei lavori di realizzazione delle opere;
- aggiornamento del rilievo topografico delle opere a mare in avanzamento, riportato sul rilievo di base;
- predisposizione della planimetria ad opere finite, che servirà da supporto per il piano di manutenzione;
- aggiornamento delle schede descrittive delle opere già predisposte indicando eventuali modifiche che dovessero essere apportate durante l’esecuzione dei lavori;
- campionamenti di sedimento per analisi granulometriche, che saranno raccolti sia lungo della linea di battigia sia nelle zone che saranno interessate direttamente dalla posa in opera delle opere a terra, al fine di porre in essere utili correlazioni con le caratteristiche

morfologiche evidenziate dai rilievi. Verrà eseguito un campionamento subito prima dell'inizio della realizzazione dei pennelli;

- monitoraggio parametri di qualità delle acque: temperatura, pH, salinità, ossigeno disciolto, clorofilla “a”, azoto totale, azoto ammoniacale, azoto nitroso, fosforo totale, ortofosfato, silicati, trasparenza. Il rilievo verrà effettuato all’inizio dei lavori di realizzazione delle opere;
- diario di monitoraggio nel quale verranno annotati, quotidianamente, tutti gli eventi significativi per il litorale in esame (mareggiate, variazioni morfologiche litoranee, interventi antropici, interventi sui fossi retrostanti).

4.2.7. MONITORAGGIO IN FASE DI ESERCIZIO

Le attività di monitoraggio da svolgere durante tale fase di gestione e manutenzione che dovrà durare un anno consistono in:

- rilevamento delle caratteristiche del moto ondoso mediante la gestione dei dati provenienti dalla boa ondometrica installata nei pressi di Crotone ed appartenenti alla Rete Ondometrica Nazionale. In questo modo si avranno informazioni sul clima e sugli eventi estremi del moto ondoso, permettendo utili correlazioni con le concomitanti modificazioni della spiaggia e consentendo di aggiornare la definizione del clima del moto ondoso posto a base del modello matematico di evoluzione costiera. I dati verranno archiviati, a cura dell'Appaltatore;
- rilievo topografico-batimetrico della spiaggia emersa e sommersa e delle opere. Tali rilievi permetteranno di stimare sia la nuova posizione della linea della battigia sia i profili trasversali di spiaggia, che confrontati con i precedenti consentiranno di valutare le variazioni volumetriche dei sedimenti e quindi valutare il trasporto degli stessi. Tali rilievi andranno eseguiti con cadenza temporale bimestrale fino a quattro mesi dopo il termine di realizzazione delle opere. A partire dalla data di ultimazione degli interventi si dovranno pianificare le attività di rilievo topografici e batimetrici conformi a quelli condotti nella fase di realizzazione delle opere. Tali attività di rilievo andranno eseguite preferibilmente con cadenza annuale nel periodo primaverile (aprile - giugno);
- Ordinariamente dovranno essere realizzati dei sopralluoghi almeno con cadenza semestrale. Nel corso dei sopralluoghi dovrà essere redatto un verbale sullo stato di conservazione delle scogliere più esposte all'azione del moto ondoso, della eventuale variazione della linea di riva e della spiaggia emersa. Occorrerà eseguire, sempre dalla stessa postazione e con lo stesso angolo visuale, un rilievo fotografico, sempre con cadenza semestrale, delle opere per

poter confrontare e documentare visivamente l'evoluzione dello stato di conservazione delle stesse. Qualora si dovessero verificare mareggiate con altezza significativa al colmo superiori a 5 m si procederà ad un sopralluogo specifico entro 5 giorni dall'accadimento dell'evento al fine di verificare l'insorgere di eventuali danni o necessità di interventi manutentivi straordinari delle opere;

- campionamenti di sedimento per analisi granulometriche, che saranno raccolti sia lungo la linea di battigia sia nelle zone che saranno interessate direttamente dalla posa in opera dei pennelli e delle scogliere, al fine di porre in essere utili correlazioni con le caratteristiche morfologiche evidenziate dai rilievi. La cadenza di realizzazione di tali operazioni sarà annuale;
- monitoraggio parametri di qualità delle acque: temperatura, pH, salinità, ossigeno disciolto, clorofilla "a", azoto totale, azoto ammoniacale, azoto nitroso, fosforo totale, ortofosfato, silicati, trasparenza. Il rilievo verrà effettuato con la fine dei lavori e a cadenza semestrale.
- diario di monitoraggio nel quale verranno annotati, quotidianamente, tutti gli eventi significativi per il litorale in esame (mareggiate, variazioni morfologiche litoranee, interventi antropici, interventi sui fossi retrostanti, ecc ..

Nel caso in esame il monitoraggio post operam sarà eseguito per 12 mesi con cadenza quadrimestrale delle attività riportate nel piano in oggetto.

4.3. ATTIVITÀ DI MONITORAGGIO DA ESEGUIRE NELLE DIVERSE ZONE OPERATIVE

4.3.1. ANALISI DEI DATI DI MONITORAGGIO E RAPPORTI PERIODICI

Sulla base dei rilievi eseguiti, con cadenza annuale andrà eseguita una analisi dei dati che consentirà di raggiungere i seguenti obiettivi:

- documentare lo stato di conservazione delle opere a gettata;
- individuare eventuali fenomeni localizzati di accrescimento ed erosione;
- documentare l'esposizione ondometrica verificatasi durante l'anno;
- individuare gli eventuali interventi di manutenzione.

Tali rapporti andranno ad aggiornare il Piano di Manutenzione delle Opere come previsto dalla normativa.

Di seguito si forniscono indicazioni specifiche da osservare per le attività di monitoraggio da eseguire nelle diverse fasi operative sopra descritte.

4.3.2. QUALITÀ DELLE ACQUE

Si è ritenuto indispensabile eseguire una campagna di monitoraggio volta proprio alla definizione della qualità delle acque in assenza delle stesse opere ed in seguito alla messa in opera delle celle, dei pennelli, delle barriere e del ripascimento.

La qualità delle acque dovrà essere analizzata *ante operam*, durante la fase di cantierizzazione e *post operam*, rilevando i parametri relativi al ricambio delle stesse acque ed alla loro trasparenza. Dovranno essere rilevati i parametri di conducibilità, temperatura, pressione e trasparenza, con l'ausilio di apposite sonde (CTD) e altri sistemi idonei (disco di Secchi etc). Il piano di monitoraggio, nel caso in cui gli interventi comportino la delimitazione di specchi acquei a ridotto scambio idrico, nel quale sono previsti pennelli e barriere soffolte, dovrà prevedere l'aggiunta a quanto sopra descritto, la definizione di punti di prelievo secondo gli standard stabiliti dalla normativa vigente sulle acque di balneazione, per la determinazione periodica di parametri quali: Ossigeno disciolto, Trasparenza, Coliformi fecali, Streptococchi fecali, Solidi sospesi.

In particolare si prevede il rilievo di parametri chimico-fisici con sonda multiparametrica (profondità, torbidità, temperatura, potenziale redox, pH, salinità, conducibilità, ossigeno disciolto e % di ossigeno) e determinazione dei solidi sospesi, nelle stazioni così definite:

- 1 per ogni area di ripascimento, per cui si avrà una stazione.

4.3.3. PRELIEVO CAMPIONI SULLA SPIAGGIA EMERSA

Il prelievo dei campioni sarà effettuato, in allineamento con i profili topografici, sulla cresta e sul piede della duna a fronte mare, sulla spiaggia interna (Berme di tempesta) e sulla battigia. Ciascun campione sarà chiaramente identificato e geo referenziato.

4.3.4. PRELIEVO CAMPIONI SULLA SPIAGGIA SOMMERSA

Il prelievo dei campioni va effettuato, in allineamento con i transetti batimetrici, sul gradino di battigia e ad ogni 2 m di profondità fino a -8 m.

Ciascun campione va chiaramente identificato e georeferenziato.

Infine i prelievi di sedimento saranno praticati tramite l'utilizzo di benna campionatrice di tipo *Van-Veen*.

4.3.5. ANALISI SEDIMENTOLOGICHE APPLICATIVE

Su tutti i campioni prelevati sulla spiaggia emersa e sommersa saranno eseguite analisi sedimentologiche applicative (analisi granulometriche e dinamico-modali) per la determinazione

delle caratteristiche tessiturali e dei vettori di transito dei materiali. La rappresentazione dei dati granulometrici verrà effettuata in forma consueta (tabelle, istogrammi e curve cumulate; calcolo dei parametri statistici, diagrammi di *Riviere*, di *Visher*) e mediante carte tematiche georeferenziate (carta della ubicazione dei campioni, della distribuzione areale dei sedimenti, della deviazione standard, della densità modale) in scala appropriata.

L'analisi modale seguirà le metodologie ricorrenti nella letteratura scientifica: verranno determinate le formule modali di ciascun campione, quindi la formula modale media al fine di individuare le sub-popolazioni granulometriche che partecipano alla dinamica del litorale.

L'elaborazione delle curve di isodensità modale, riferite ad ogni sub-popolazione riscontrata, dovrà consentire di individuare gli assi di transito lungo i quali è mobilizzato il sedimento di fondo.