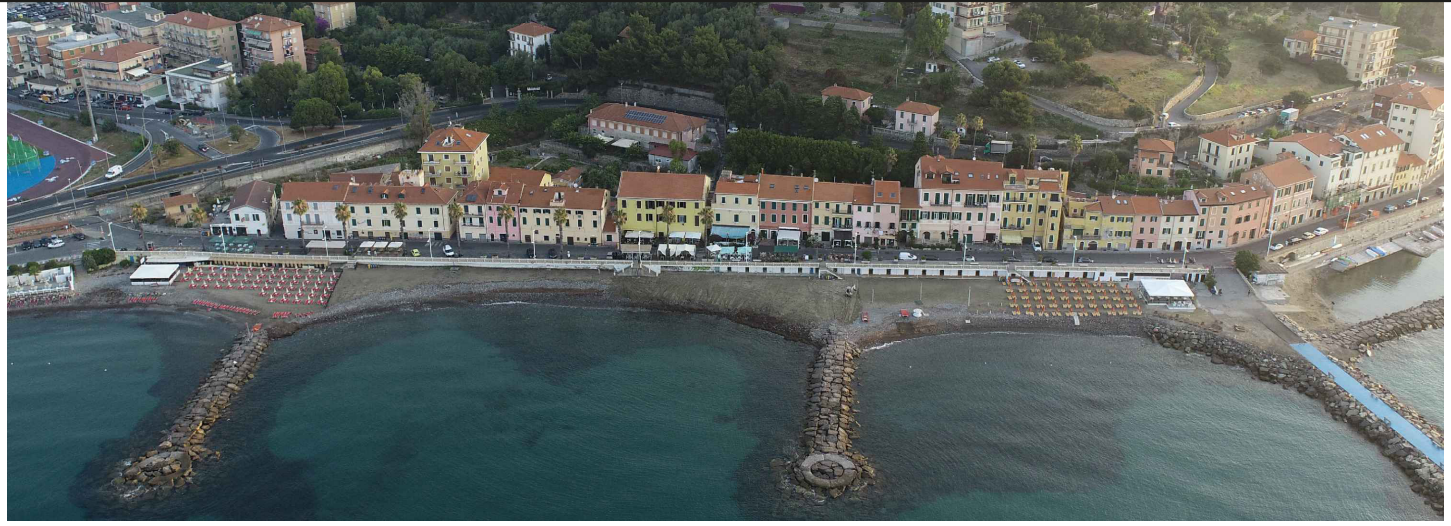


# LOTTO A : ECCEZIONALI EVENTI METEO OTTOBRE 2018 OCDPC 558 DEL 15 NOVEMBRE 2018 ANNUALITA' 2021 DCD 7/2021 SCOGLIERE BORGO PRINO RIPRISTINO, CONSOLIDAMENTI, RIMODELLAMENTI E SPOSTAMENTI LOTTO B : RIQUALIFICAZIONE PASSEGGIATA A MARE OOGGETTO DI ALTRI FINANZIAMENTI

CUP D57H21001220001

**Commitente:**

CITTÀ DI IMPERIA

R.U.P. Ing. Marco Marvaldi
Viale Matteotti, 157
18100 - Imperia (IM)


**Progettisti:**

**SERTEC ENGINEERING CONSULTING S.R.L**
Strada Provinciale 222 n. 31 - Loranzè (TO)
tel +39 01251970499
info.sertec@ilquadrifoglio.to.it
www.sertec-engineering.com

**Ing. Domenico GABRIELE**
Ordine Ingegneri della Prov. di Torino n. 7261T
domenico.gabriele@ilquadrifoglio.to.it

**LD+SR architetti**
vico delle vele 7/2 - 16128 Genova
tel 010 2462478 - fax 010 42031123
www.LDpiuSR.it

**Arch. Silvia Rizzo**
Ordine Architetti P.P.C. della Prov. di Genova n°4712
rizzo@LDpiuSR.it

ORDINE DEGLI ARCHITETTI-PIANIFICATORI-PAESAGGISTI E CONSERVATORI DI GENOVA
ARCHITETTO SILVIA RIZZO n. isc. 4712

**Collaboratori esterni:**

**STUDIO TECNICO ASSOCIATO FERRI E GAZZANO**
Via Dante 15/a
18017 Civezza (IM)
tel/fax 018392673
guido@ferrigazzano.it


| Fase Progettuale | Archivio | Scala | Data |
|---|---|---|---|
| PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO | 5385 | __:___ | 11/08/2022 |

| Revisione | Data | Descrizione | Redatto | Verificato | Riesaminato |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 11/08/2022 | PROGETTO DEFINITIVO - ESECUTIVO VAR | G.F. | F.T. | D.G. |
| 1 | 27/05/2022 | PROGETTO DEFINITIVO - ESECUTIVO VAR | G.F. | F.T. | D.G. |
| 0 | 30/03/2022 | PROGETTO DEFINITIVO - ESECUTIVO | G.F. | F.T. | D.G. |

TITOLO

# RELAZIONE SEDIMENTOLOGICA

TAV N°

09

10/01/2022

Geoscape società cooperativa
SpinOff dell'università di Genova
Sede legale Via Varese 2 – CAP 16132 (GE)
Sede operativa Corso Europa 26 – CAP 16132 (GE)
Pec: geoscape@pec.geoscape.it
Mail: info@geoscape.it
P.iva 02594600997

# Servizio specialistico propedeutico alla progettazione di opere di miglioramento e resilienza del lungomare del Prino e Piazzale Lamboglia CUP: D57H21001220001 CIG: ZF933FF3D3 AGGIORNAMENTO agosto 2022

Indagine sedimentologica

Sommario

1. Premessa ..... 2

2. Metodologia d'indagine ..... 2

2.2. Indagine sedimentologica della spiaggia ..... 3

2.3. Determinazione del profilo d'equilibrio ..... 3

3. Caratteri generali ..... 4

4. Dinamica litorale ..... 11

5. Ipotesi d'intervento ..... 12

6. Profili d'equilibrio ..... 15

8. RISULTATI ATTESI ..... 19

10. Bibliografia ..... 20

1. Premessa

Il comune di Imperia ha dato incarico, a Geoscape s.c.a.r.l., di svolgere uno studio morfo - sedimentologico propedeutico alla progettazione definitiva degli interventi di "**RESILIENZA ED OPERE DI MIGLIORAMENTO E RESILIENZA LUNGOMARE DEL PRINO E PIAZZALE LAMBOGLIA – AFFIDAMENTO INCARICO PER STUDIO AMBIENTALE – CUP: D57H21001220001 CIG: ZF933FF3D3"**. Lo scopo dell'indagine è quello di definire gli aspetti dinamico - sedimentari dell'area che sarà oggetto di un intervento di difesa. A tale scopo il lavoro è stato suddiviso in due fasi distinte ma complementari tra loro: la prima indirizzata alla caratterizzazione dell'assetto costiero, allo scopo di analizzare gli aspetti dinamici del litorale, individuarne gli squilibri morfologico – sedimentari e definire le migliori soluzioni progettuali; la seconda mirata alla determinazione delle caratteristiche tessiturali del materiale più idoneo da utilizzare per il ripascimento, con indicazioni per la stima dei quantitativi necessari per la spiaggia.

## 2. Metodologia d'indagine

Le indagini batimetriche ed i prelievi di sedimento della spiaggia emersa e sottomarina (fig. 1) e le analisi granulometriche dei campioni sono stati eseguiti da Geologia Verticale, e forniti dal Comune di Imperia. In figura 1, le celle di spiaggia e le strutture presenti a Borgo Prino, sono state numerate rispettivamente in colore rosso ed azzurro. Questa numerazione sarà adottata nel testo allo scopo di rendere più facile la comprensione.




Fig. 1 – Ubicazione dei campioni e numerazione delle celle (in rosso) e delle strutture (in azzurro).

**2.2. Indagine sedimentologica della spiaggia**

Le indagini dei sedimenti di spiaggia sono state condotte su campioni di materiale prelevati in corrispondenza della spiaggia emersa, in battigia, e nella spiaggia sommersa fino alla profondità massima di circa 10 metri.

Le analisi granulometriche sono state eseguite tramite setacciatura a secco, utilizzando la scala di Wenworth a 1 □ allo scopo di determinare le caratteristiche dimensionali ed i parametri statistici sedimentologici. Sulla base delle risultanze, sono state realizzate le carte di distribuzione dei parametri statistici dimensionali principali (media, classazione e skewness).

**2.3. Determinazione del profilo d'equilibrio**

La determinazione teorica del profilo trasversale d'equilibrio della spiaggia è stata effettuata con la metodologia proposta da Dean (1977), soluzione comunemente adottata negli studi d'ingegneria idraulica.

L'algoritmo matematico utilizzato per l'ottenimento del profilo è basato sulla semplice relazione tra la distanza da costa (off-shore) e la profondità del fondale:

$d = Ax^m$ in cui: $m = \frac{2}{3}$

Il parametro A (dimensionalmente legato al fattore m per fare assumere a *d* il valore di una distanza) è funzione delle caratteristiche del sedimento (diametro medio) e và ad agire sulla forma del profilo di equilibrio. Il suo modulo risulta compreso tra 0.079 e 0.398.

Risulta evidente che tale metodologia, appunto per i suoi caratteri generali, presenti sostanzialmente una approssimazione del problema, inoltre essa è basata su presupposti teorici limitativi (onda monocromatica, indice di frangimento costante, piani d'onda paralleli alla costa ecc.) è quindi utile ricordare le affermazioni fatte da Pilkei et al. (1993). Infatti la trasposizione dei dati desunti dalla modellizzazione dei profili di equilibrio della shoreface nella realtà, devono tenere conto di diversi assunti di base sui profili di equilibrio che talvolta non vengono riscontrati in situazioni reali. In particolare:

1. il movimento dei sedimenti è guidato solo dalla diffusione legata all'energia delle onde, attraverso la shoreface
2. la shoreface presenta una coltre di sedimenti tanto abbondante da rendere la struttura geologica di fondo totalmente ininfluente sulla forma del profilo.

Questa metodologia risulta particolarmente utile nella determinazione della granulometria più idonea alla ricostruzione del litorale e nel calcolo delle quantità di materiale da versare. Una volta stabilito l'avanzamento che si vuole effettuare è possibile, mantenendo o modificando le dimensioni del diametro mediano calcolare il profilo che andrebbe ad assumere il litorale e, successivamente, determinare la profondità d'intersezione del profilo teorico con quello reale nonché la quantità di materiale necessario alla ricostruzione, espresso in metri cubi per metro lineare.

Comunque, citando anche in questo caso le enunciazioni di Pilkei relative alla modellizzazione, si può affermare che i profili descritti dalle equazioni di equilibrio nascono per permettere un'utile approssimazione della reale forma della shoreface da usare per i progetti di ingegneria costiera.

Quindi bisogna comunque ribadire che tutte queste considerazioni vogliono fornire una base di partenza per la stima approssimativa dei volumi necessari al ripascimento ma non devono essere considerate come determinazioni assolutamente esatte della tessitura dei sedimenti e dei volumi in gioco.

## 3. Caratteri generali

*Evoluzione storica*

Borgo Prino, nella prima metà del XIX secolo, grazie agli apporti dell'omonimo corso d'acqua e del flusso sedimentario indotto dalla deriva litorale, era dotato di un ampio litorale.

Ma, la realizzazione della linea ferroviaria e le conseguenti opere accessorie di protezione, da avvio al fenomeno erosivo che interessa tutto il tratto costiero compreso tra S. Lorenzo ed Imperia. Il fenomeno a Borgo Prino, già all'inizio del secolo successivo, anche a causa della riduzione del materiale trasportato dal corso d'acqua, aveva assunto proporzioni allarmanti. Negli anni '20 del XX secolo, venne effettuata una gettata di scogli e gabbioni zincati posti a protezione del borgo. L'intervento non ebbe successo ed infatti nell'ottobre dello stesso anno, una mareggiata danneggiò il muro di protezione della strada. S'intervenne allora con la costruzione di un pennello a levante delle abitazioni, con andamento circa parallelo alla riva, struttura che però non riusciva a trattenere i sedimenti. Situazione analoga era osservabile nel successivo tratto di levante, dove la spiaggia era quasi totalmente scomparsa ed il mare minacciava le case situate in prossimità della foce del torrente Caramagna. Anche in questo tratto si intervenne con una scogliera frangiflutti lunga circa 140 metri e posta a 20 metri dalla linea di riva. Successivamente, negli anni 1960, furono realizzati a ponente una nuova scogliera lunga circa 80 metri ed un pennello in sponda destra del T. Caramagna. Situazione che è rimasta sostanzialmente immutata fino ad oggi.

A Borgo Prino negli anni successivi al dopoguerra, la spiaggia si mantenne in una condizione di equilibrio precario che, verso la fine degli anni 1960, a causa delle cospicue estrazioni d'inerti dall'alveo del torrente Prino, peggiorò ulteriormente. Il mare ormai minacciava la strada litoranea dinanzi all'abitato che, nonostante fosse difeso da una scogliera aderente, le case a monte della via di comunicazione venivano investite dalle onde durante le mareggiate. La gravità del fenomeno erosivo indusse l'Amministrazione comunale ad avviare un progetto di recupero del litorale. Inizialmente venne realizzata, sulla sponda sinistra del Torrente Prino, una discarica con i detriti provenienti dai lavori di scavo per la realizzazione dell'Autostrada dei Fiori. Contemporaneamente, fu avviata la demolizione della scogliera parallela. Fu rinforzato il vecchio pennello a levante e realizzate tre "piattaforme – isola" in prossimità delle case del borgo. La prima struttura garantiva un appoggio ed impediva la dispersione dei sedimenti verso levante, mentre le altre opere avevano la funzione di evitare la perdita di materiale, favorendone l'accumulo con un effetto "tombolo", senza però limitare il passaggio dei sedimenti da una cella alla successiva. Il progetto, grazie all'alimentazione proveniente dalle alluvioni del torrente Prino, ma soprattutto dai sedimenti provenienti dalla discarica permise la ricostruzione della spiaggia per un fronte di circa 700 metri (Fig. 2).




Fig. 2 – Il litorale di Borgo Prino negli anni 1970.

Purtroppo, negli anni 1980, la chiusura della discarica e la sua stabilizzazione, mediante la realizzazione di una scogliera aderente, privò il litorale dagli apporti sedimentari forniti da quest'ultima. Inoltre, allo scopo di proteggere la spiaggia dalle agitazioni ondose di SW, venne realizzato un pennello radicato alla scogliera dell'ex discarica, con sviluppo circa parallelo alla costa. La struttura privò la spiaggia anche dell'alimentazione dei sedimenti provenienti dal corso d'acqua. Inoltre determinò la fuga dei sedimenti della spiaggia stessa verso la zona protetta creata dal nuovo molo. Conseguentemente la spiaggia fu nuovamente interessata dai fenomeni erosivi. I successivi interventi volti a contrastare il fenomeno erosivo ottennero scarsi risultati ma contribuirono ad irrigidire ulteriormente il litorale. Inizialmente le isole furono trasformate in pennelli, successivamente furono realizzati altri pennelli ed altre strutture accessorie che hanno frammentato il litorale in sei celle non comunicanti tra loro, rendendo praticamente impossibile lo scambio di sedimenti.

*Assetto costiero*

Il litorale di borgo Prino è caratterizzato da sabbie e ghiaie nella porzione emersa, sabbie fini nella spiaggia sommersa (fig. 3).

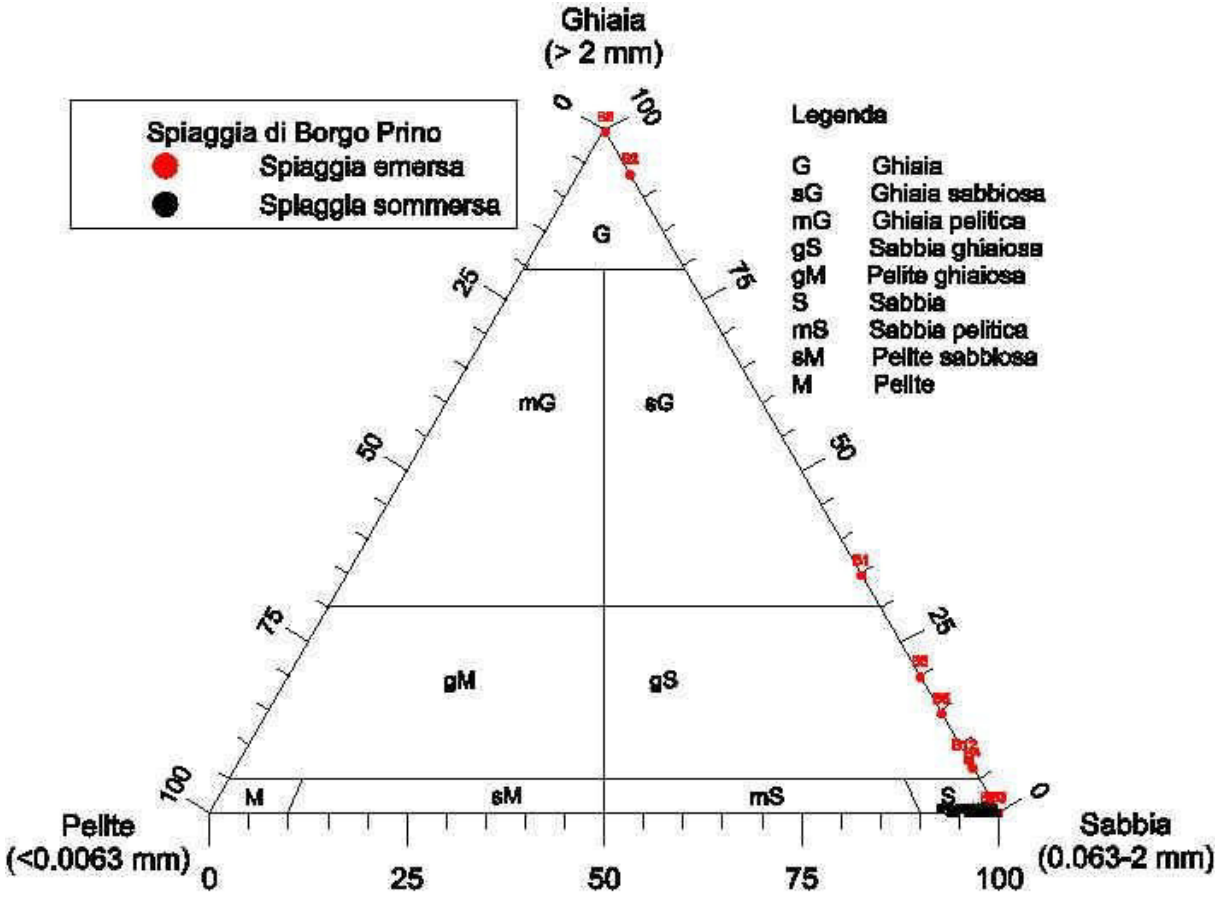



Fig. 3 – Classificazione dei sedimenti (folk & Ward 1967).

In particolare, nella spiaggia emersa, si osservano tessiture riferibili alle ghiaie, con valori del diametro medio ($M_z$) maggiori di -2 Φ, corrispondente a 4 mm, nelle celle 2 e 6, ghiaie sabbiose nella cella 1, sabbie ghiaiose nelle celle 4 e 5, mentre la cella 3 è caratterizzata da sabbie ghiaiose nel settore di levante e sabbie in quello di ponente. I due campioni, B10 e B12, prelevati a levante della spiaggia di borgo Prino sono caratterizzati da sabbie. In tutta l'area d'indagine i sedimenti della spiaggia sommersa sono riferibili alle sabbie con diametro medio compreso tra 2 e 3 Φ (0.25 - 0.125 mm) o inferiori, ad eccezione del settore all'estremo di levante dove sono presenti sabbie con diametro medio pari a 1 Φ (0.5 mm).

La carta rappresentativa della percentuale di ghiaia (fig. 4) mostra appunto la presenza di questa frazione solo nella porzione emersa di spiaggia, mentre risulta essere praticamente assente nella parte sommersa.

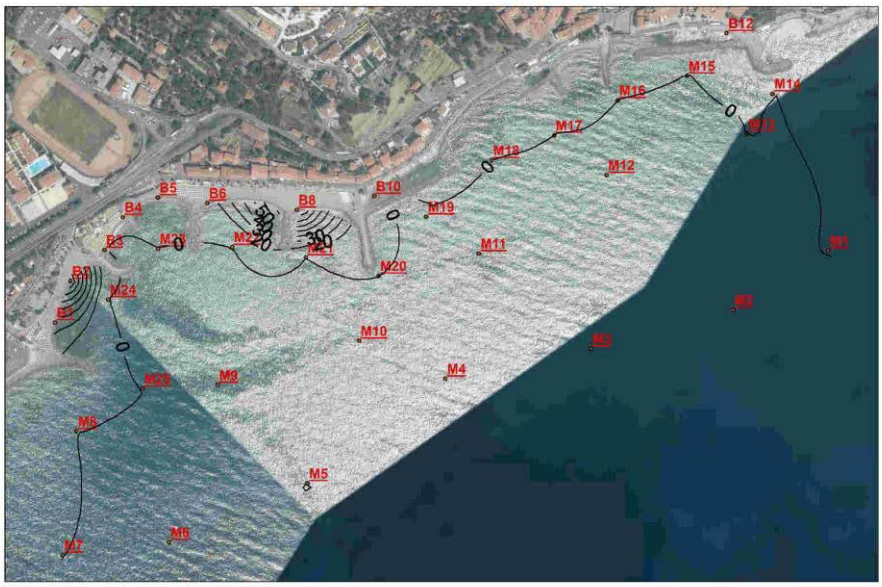



Fig. 4 – Distribuzione percentuale della frazione ghiaiosa.

Le distribuzioni relative agli indici sedimentologici, pur contribuendo alla caratterizzazione dell'area d'indagine, risultano purtroppo condizionate dalla distribuzione dei punti di campionamento, poiché nessun prelievo è stato effettuato nella spiaggia sommersa all'interno delle celle.

La distribuzione dell'indice sedimentologico media, espresso in mm, (fig. 5) mostra, a grandi linee, una diminuzione delle dimensioni procedendo verso il largo. La situazione risulta però fortemente condizionata dalle numerose strutture che determinano uno sviluppo irregolare della distribuzione. In particolare le tessiture maggiori sono osservabili nella spiaggia sommersa posta nell'estremo levante in prossimità del torrente Caramagna.

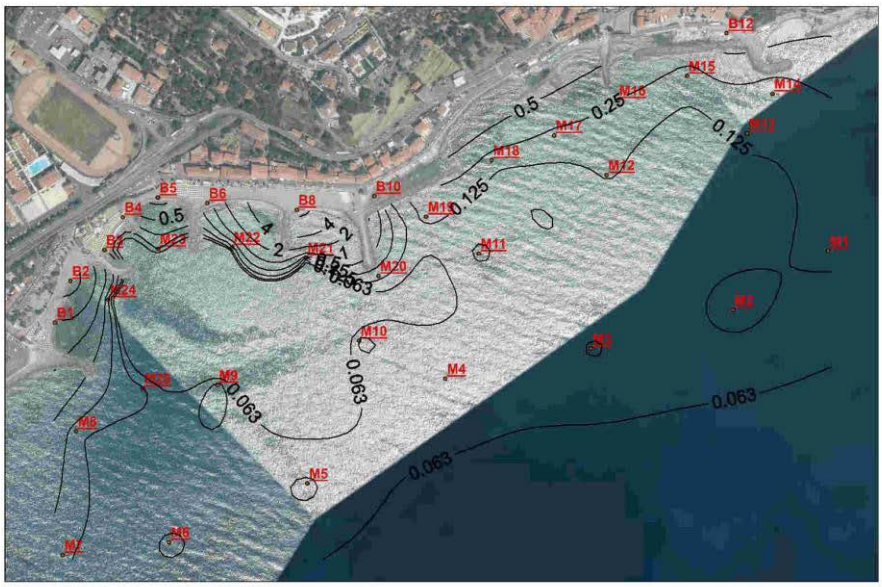



Fig. 5 – Distribuzione dell'indice sedimentologico media (espressa in mm).

Il sorting (fig. 6), mostra dei sedimenti con valori superiori a 0.8 nella spiaggia emersa ed inferiori in quella sommersa, indicando rispettivamente sedimenti mediocremente classati nella porzione emersa e discretamente classati in quella sommersa.

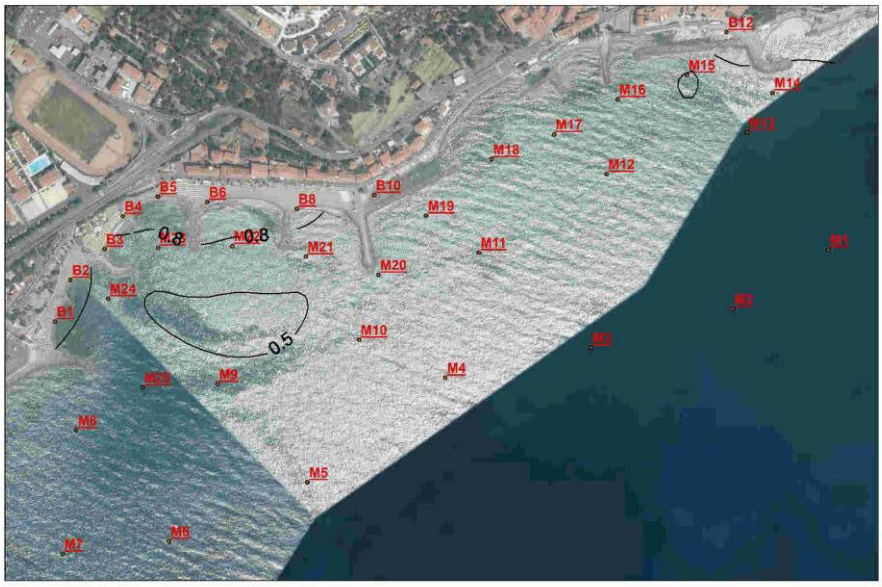



Fig. 6 – Distribuzione dell'indice sedimentologico classazione.

L'interpretazione della carta di distribuzione dell'indice sedimentologico skewness (fig. 7), evidenzia valori negativi del parametro nella spiaggia emersa ad eccezione dei campioni B1 e

B6, che presentano curve simmetriche, ed il campione B5 con valori positivi. La spiaggia sommersa presenta valori positivi in tutta l'area d'indagine. I valori di questi due parametri risultano sostanzialmente caratteristici dell'ambiente litorale.

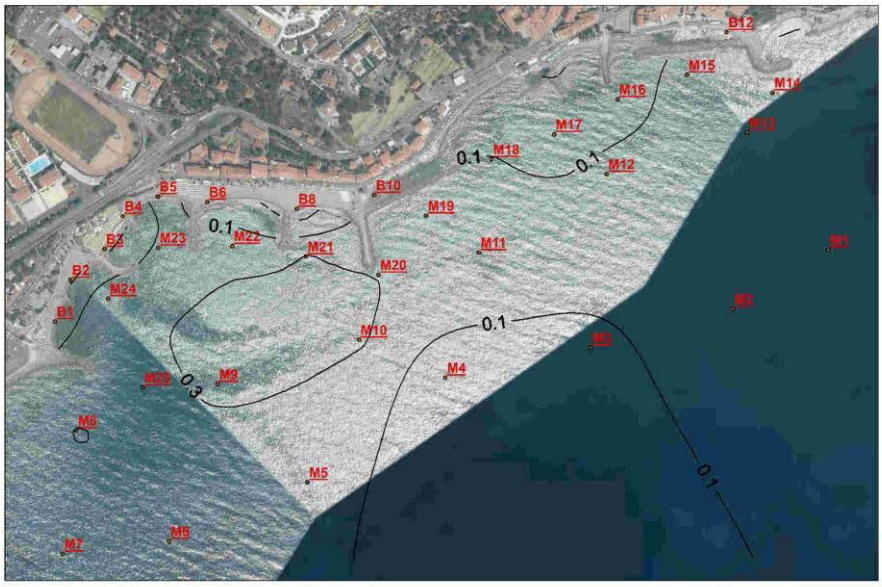



Fig. 7 – Distribuzione dell'indice sedimentologico skewness.

Grazie al supporto della carta batimetrica (fig. 8) è possibile effettuare alcune considerazioni sull'attuale assetto morfo - sedimentario della spiaggia di Borgo Prino.

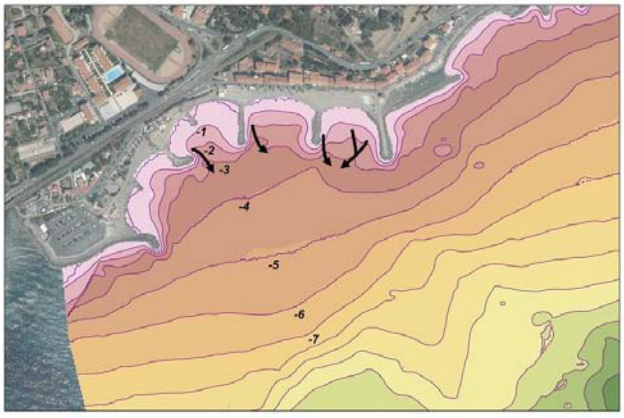



Fig. 8 – Carta batimetrica dell'area d'indagine (le frecce indicano i settori interessati da potenziali rip currents).

Infatti, l'andamento delle batimetriche evidenzia la presenza di alcune depressioni in prossimità delle strutture, presumibilmente imputabili a flussi trasversali concentrati (rip currents), correnti che favoriscono la dispersione al largo dei sedimenti. In particolare, è osservabile una prima struttura erosiva nella cella 3, in prossimità del pennello a forma di elle situato a ponente. La depressione si sviluppa tra i 2 ed i 3 metri di profondità con una direzione circa perpendicolare alla riva. La sua posizione non sembra indicare una genesi ricollegabile al molo ma piuttosto alla particolare idrodinamica indotta dalle strutture difensive che condizionano la forma della cella. Una seconda depressione è ubicata in coincidenza del pennello di ponente della cella 5. Essa si sviluppa con andamento parallelo all'opera di difesa dalla batimetrica dei 2 metri fino ad oltre la batimetrica dei 3 metri. La posizione del canale erosivo fa supporre che la sua formazione sia imputabile alla struttura difensiva che, interrompendo il flusso longshore indotto dal moto ondoso, determina un accumulo d'acqua in prossimità della battigia, creando un gradiente idraulico, che successivamente origina la corrente trasversale. I restanti canali erosivi sono ubicati nella cella 6 situata nell'estremo levante della spiaggia. In questo settore si osserva una prima depressione in coincidenza del pennello di ponente, con uno sviluppo in asse con la stessa struttura. Questa depressione raggiunge ed oltrepassa i 3 metri di profondità. Altri due canali, che confluiscono alla batimetrica dei 3 metri, sono ubicati rispettivamente al centro della cella ed in prossimità del pennello di chiusura di levante. In questo caso risulta evidente che il canale erosivo di ponente, analogamente a quello presente nella cella 5, sia generato dalla presenza del molo, mentre le altre depressioni sembrano avere origine dalla particolare idrodinamica che si viene a creare all'interno della cella.
Infine si segnalano due importanti depressioni presenti a partire dalla batimetrica degli 8 metri e già note in letteratura. Come già segnalato da studi precedenti (Ligurimpact), queste possono essere vie preferenziali di dispersione dei sedimenti in profondità.

## 4. Dinamica litorale

L'assetto meteomarino della Liguria implica, come è ben noto, una deriva litoranea generalmente rivolta verso levante, a causa della prevalenza delle ondazioni di libeccio.
Nell'area di studio questa situazione risulta essere rispettata nell'estremo settore di levante, oltre il pennello di chiusura della spiaggia del Borgo Prino, mentre, in quest'ultima, la notevole artificializzazione del tratto costiero, causata dai numerosi interventi realizzati, ha

determinato una complessa articolazione del fronte mare ed una notevole frammentazione dello stesso che condiziona fortemente la dinamica litorale. In particolare, l'attuale assetto costiero risulta essere fortemente condizionato dalla presenza del piazzale realizzato sulla ex discarica e dal relativo molo ad esso associato. Le strutture determinano un importante effetto di diffrazione del moto ondoso, con la conseguente rotazione dei piani d'onda. Il fenomeno coinvolge le celle 1, 2, 3 ed almeno in parte la cella 4. Questa rotazione dei piani d'onda induce un flusso di sedimenti da levante verso ponente che tendono a depositarsi nella zona d'ombra generata dal molo precedentemente citato, determinando uno sviluppo a parabola della linea di riva. Questa situazione è ulteriormente complicata dalla presenza delle altre tre strutture che interrompendo il drift determinano la formazione delle tre subunità anch'esse caratterizzate da uno sviluppo parabolico della spiaggia. La cella 4 risente solo parzialmente di questo fenomeno ed infatti si osserva un modesto accumulo preferenziale nel lato occidentale della cella. Le restanti celle 5 e 6, non risentono del fenomeno precedentemente descritto. La loro orientazione è coerente con la direzione di provenienza delle agitazioni ondose come dimostra il profilo longitudinale della spiaggia che risulta essere ben equilibrato su tutto l'arco, a conferma che l'originaria impostazione progettuale fosse corretta.

Le problematiche descritte non sono i soliti fenomeni negativi indotti dalla ex discarica e dal molo. Infatti, con la loro presenza, queste strutture costituiscono un ostacolo alla distribuzione dei sedimenti alluvionali provenienti dal torrente Prino, i quali sono spinti al largo dai fenomeni riflessivi indotti dalla scogliera posta a protezione del piazzale e impossibilitati a rientrare verso la spiaggia per la presenza del molo. Questa situazione risulta essere particolarmente grave per la presenza nella spiaggia sottomarina delle già citate depressioni che convogliano verso il largo disperdendoli in profondità i sedimenti. Quest'ultimo aspetto è fondamentale per la dinamica sedimentaria della spiaggia di Borgo Prino, in quanto, di fatto, preclude ad essa qualsiasi alimentazione naturale, rendendola dipendente da periodici interventi di ripascimento artificiale.

## 5. Ipotesi d'intervento

Lo studio ha evidenziato che la dinamica sedimentaria della spiaggia è estremamente complessa a causa dell'elevato grado di artificializzazione del tratto costiero. Il piazzale ed il molo 1 creano una zona d'ombra dove i sedimenti tendono ad accumularsi determinando una forma parabolica della spiaggia secondo il processo identificato e modellizzato da Hsu (Fig. 9). Questo flusso è parzialmente interrotto dai pennelli 2, 3, 4 che però determinano una replica del fenomeno a scala locale (Fig. 10). Questo fenomeno interessa le celle 1, 2, 3 e

parzialmente la cella 4. Le restanti celle, pur presentando una spiaggia sicuramente più equilibrata, sono oggetto di fenomeni erosivi sia a causa della cronica assenza di alimentazione naturale, che interessa tutto il tratto costiero, sia per la presenza di flussi di ritorno concentrati che favoriscono la dispersione al largo dei sedimenti.




Fig. 9 – Effetto indotto dalla struttura 1 secondo il modello di Hsu.




Fig. 10 – Effetto indotto dalla struttura 3 secondo il modello di Hsu.

Poiché, a causa dell'attuale assetto urbanistico risulta pressoché impossibile intervenire sul piazzale e sul pennello 1, anzi è previsto per quest'ultimo un ulteriore ampliamento che accentuerà ulteriormente il disequilibrio, la sola soluzione percorribile risulta essere quella di

intervenire sulle restanti strutture migliorandone l'efficienza ed associando alle modifiche delle strutture un intervento di ripascimento.

La soluzione individuata con il progettista prevede la riorganizzazione del litorale in 2 settori di cui, quello di ponente, suddiviso in ulteriori due celle.

Nel settore orientale è previsto il ripristino delle piattaforme isola in coincidenza dei pennelli 5 e 6: le nuove strutture saranno collocate in posizione più arretrata e con diametro maggiorato rispetto alle attuali, allo scopo di fornire maggior protezione alla spiaggia. Il pennello 3, in passato anch'esso piattaforma isola sarà modificato, eliminando il tratto obliquo, ma mantenuto in quanto la sua presenza si rende necessaria per evitare il flusso di sedimenti verso la zona d'ombra creata dal molo 1. Infine anche il pennello 4 sarà eliminato poiché la modifica del pennello tre lo rende non più necessario.

Solo dopo il necessario monitoraggio si potrà decidere l'eventuale prolungamento del pennello di chiusura, struttura 7, allo scopo di garantire un maggiore appoggio al sistema e ridurre conseguentemente le perdite di sedimento. Se ritenuto opportuno potrà essere anche realizzato un setto sommerso in continuità con il pennello allo scopo di fornire maggiore stabilità alla spiaggia sommersa ( Dalla modellazione matematica non sembrerebbe per ora necessario).

Questa soluzione consentirà di eliminare l'attuale parcellizzazione del litorale creando un litorale pressoché continuo tra le strutture 3 e 6, permettendo quindi il passaggio dei sedimenti ed una conseguente miglior distribuzione dei medesimi. Inoltre, lo smantellamento e la modifica dei pennelli annullerà l'attuale "effetto baia" indotto dalle strutture che è la causa principale della dispersione al largo dei sedimenti ad opera delle rip currents attualmente presenti nelle celle 3, 5 e 6. Infine, il nuovo assetto del pennello 3 ridurrà la zona protetta, situata alla radice della struttura stessa, determinando un parziale riequilibrio della spiaggia (fig. 11).




Fig. 11 – Riduzione dell'effetto indotto dalla struttura 3 secondo il modello di Hsu.

Il restante tratto, costituito dalle celle 2 e 3, non sarà oggetto di nessun intervento strutturale, in quanto ricade completamente nella zona protetta dalla struttura 1 e sembra avere ormai raggiunto un sostanziale equilibrio. Si può, nel caso, prevedere una risistemazione del pennello 2 fornendogli una orientazione con asse perpendicolare alla linea di riva.
Le strutture, supportate da un adeguato ripascimento, dovrebbero essere in grado di permettere un avanzamento della linea di riva in entrambi i settori sufficiente a porre in sicurezza le infrastrutture retrostanti, anche in relazione alla modifica che verrà apportata alla struttura 1.

## 6. Profili d'equilibrio

L'obiettivo che s'intende perseguire con questa analisi è di individuare granulometrie stabili sulla spiaggia oggetto di studio ed individuare i quantitativi di materiale necessario al ripascimento.
Una corretta valutazione dei quantitativi necessari risulta però complessa a causa delle strutture presenti. In particolare, la presenza del molo di ponente (struttura 1) determina una zona d'ombra che favorisce l'accumulo di sedimenti nei settori protetti. Inoltre le nuove piattaforme isola favorirà l'accumulo di sedimenti a tergo e lateralmente alla struttura stessa. Pertanto, sono stati individuati tre profili rappresentativi della spiaggia, situati rispettivamente nelle attuali celle 3, 5 e 6 (fig. 12).
Rappresentative rispettivamente dei tratti di spiaggia compresi tra le strutture 1 e 4, le strutture 4 e 6, le strutture 6 e 7.




Fig. 12 – Ubicazione dei profili.

Si è ipotizzato un avanzamento medio di circa 25 metri che, ovviamente sarà maggiore in prossimità delle strutture e minore nei settori centrali, con un'altezza massima di spiaggia di circa 4 metri.

Le dimensioni del materiale da ripascimento applicato nello studio hanno valori del $D_{50}$ pari a 1, 2 e 4 mm. Questi valori sono stati desunti dalle analisi tessiturali dei campioni prelevati in battigia.

*Profilo sezione 1*

Questa sezione è collocata in prossimità dei pennelli 3 e 4 conseguentemente presenta un profilo naturale, con pendenze relativamente contenute, con la batimetrica di 3 metri che si colloca a circa 100 metri dalla riva. Il profilo di Dean (fig. 13), individua volumetrie di poco inferiori a 80 $m^3$ per metro lineare, utilizzando tessiture con $D_{50}$ pari a 1 mm, 2 mm e 4 mm.

La profondità di intersezione è posta a circa 1 metro (tabella 1).

| Metodologia Dean | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Sezione 1 | | | | |
| | Avanzamento (m) | Altezza (m) | Prof. int. (m) | Volume ($m^3$) |
| Dean 4 mm | 30 | 4.0 | 0.8 | 78 |
| Dean 2 mm | 30 | 4.0 | 0.9 | 78.5 |
| Dean 1 mm | 30 | 4.0 | 1.0 | 79 |

Tabella 1 - parametri ottenuti con il profilo teorico di Dean applicato alla sezione 1

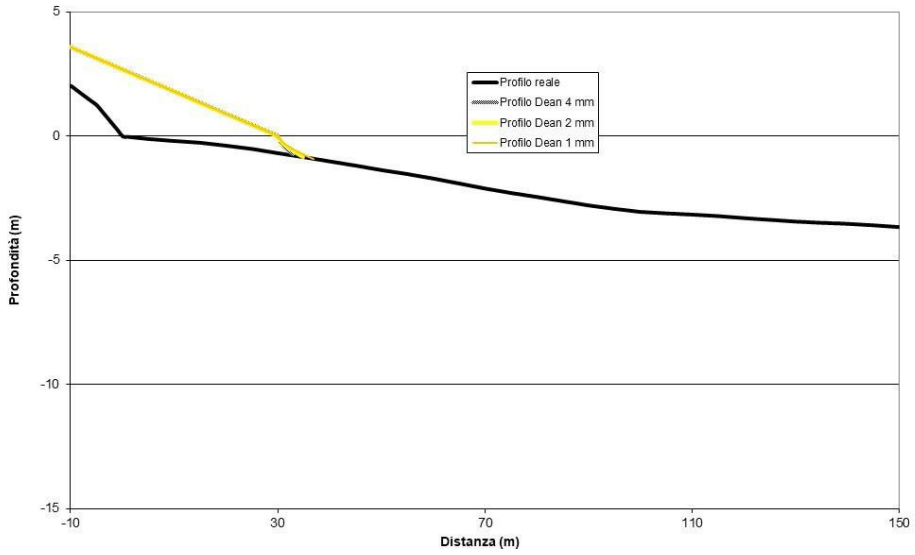



Fig. 13 – Sezione 1 profili d'equilibrio

*Profilo sezione 2*

La sezione 2 presenta un profilo naturale leggermente più acclive rispetto al precedente. In questo caso la batimetrica di 3 metri si attesta a circa 90 metri dalla battigia. La maggiore acclività del profilo richiede un maggior quantitativo di sedimento rispetto al profilo precedente. Infatti la metodologia di Dean applicata ad essa (fig. 14), mostra valori superiori, compresi tra 105 e 120 $m^3$ per metro lineare. La profondità d'intersezione del profilo è collocata a circa 2.5 metri (tabella 2).

| Metodologia Dean | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Sezione 2 | | | | |
| | Avanzamento (m) | Altezza (m) | Prof. int. (m) | Volume ($m^3$) |
| Dean 4 mm | 30 | 4.0 | 2.2 | 106 |
| Dean 2 mm | 30 | 4.0 | 2.5 | 112 |
| Dean 1 mm | 30 | 4.0 | 2.7 | 119 |

Tabella 2 - parametri ottenuti con il profilo teorico di Dean applicato alla sezione 2

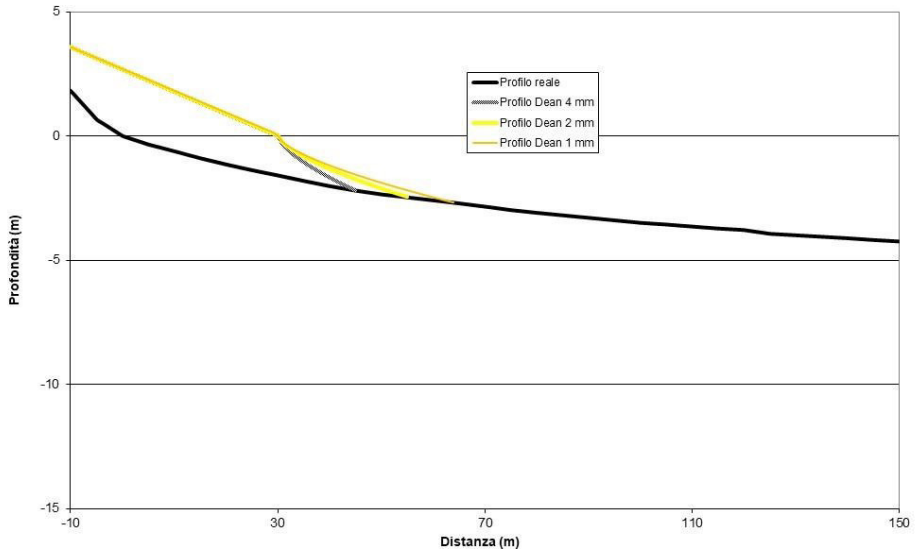



Fig. 14 – Sezione 2 profili d'equilibrio

*Profilo sezione 3*

Questa sezione (fig. 15) è quella che presenta il profilo meno acclive con la batimetrica dei 3 metri che si colloca ad oltre 100 metri da riva. Conseguentemente i quantitativi richiesti, utilizzando le tessiture già proposte per i profili precedenti risultano inferiori e pari a circa 65 - 70 $m^3$ per metro lineare ed una profondità d'intersezione che si colloca a 1.5 metri di profondità (tabella 3).

| Metodologia Dean | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Sezione 3 | | | | |
| | Avanzamento (m) | Altezza (m) | Prof. Int. (m) | Volume ($m^3$) |
| Dean 4 mm | 20 | 4.0 | 1.3 | 64 |
| Dean 2 mm | 20 | 4.0 | 1.5 | 66 |
| Dean 1 mm | 20 | 4.0 | 1.7 | 68 |

Tabella 3 - parametri ottenuti con il profilo teorico di Dean applicato alla sezione C

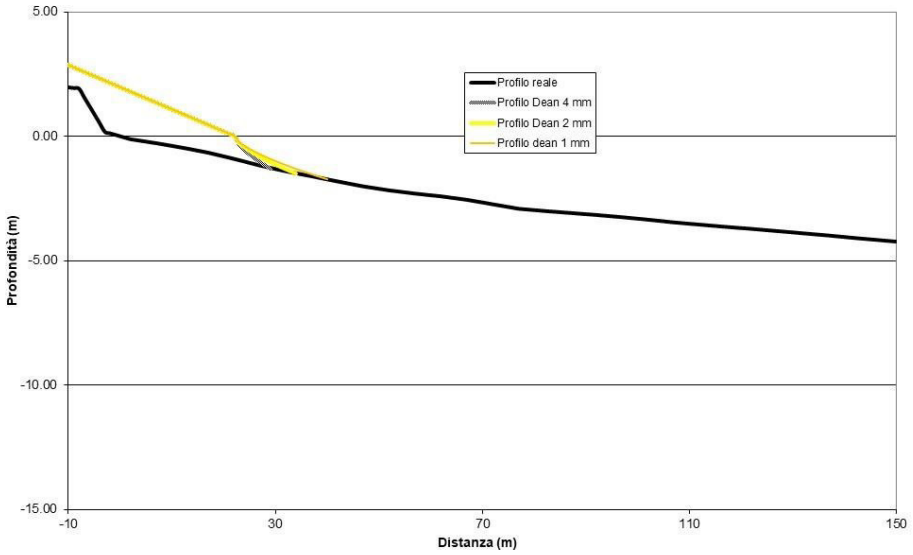



Fig. 15 – Sezione 3 profili d'equilibrio

## 8. RISULTATI ATTESI

L'intervento prevede la risistemazione del litorale, attraverso la ridefinizione delle opere di difesa in modo che queste possano garantire una maggiore stabilità al materiale che sarà versato.

In particolare, le strutture previste sono:

- Ripristino delle piattaforme isola in coincidenza delle strutture 5 e 6 in posizione più prossima alla battigia e di dimensioni maggiori.
- Rimozione del pennello 4.
- Rimodellazione del pennello 3 con l'eliminazione del braccio obliquo. • Eventuale riorientazione del pennello 2

In base alle evidenze dinamico sedimentarie si può ipotizzare che questa soluzione possa fornire una maggiore stabilità al sistema anche in relazione alle previste modifiche del pennello 1.

Per quanto riguarda il materiale da utilizzare per il ripascimento, le tessiture più indicate sembrano essere quelle caratterizzate da $D_{50}$ pari a 2 mm. Utilizzando questi sedimenti i quantitativi totali di materiale per il ripascimento sono stimabili in circa 50.000 $m^3$.

- Nelle attuali celle 1, 2 e 3 la lunghezza della spiaggia è di circa 220 metri ed il quantitativo necessario calcolato con il profilo d'equilibrio è di circa 80 $m^3$ per metro lineare, risulta

quindi necessario un versamento di circa 18.000 $m^3$ quantitativo che andrebbe a ripascere tutta la cella fino al pennello 3.

- Nelle celle 4 e 5 la spiaggia ha una lunghezza di circa 210 metri ed il quantitativo necessario calcolato con il profilo d'equilibrio è di circa 115 $m^3$ per metro lineare, risulta quindi necessario un versamento stimabile in circa 25.000 m3, quantitativo che andrebbe a ripascere tutta la cella e, anche in questo caso, contribuirebbe a fornire materiale ai settori a tergo delle piattaforme isola.
- Nella cella 6 di ponente la spiaggia interessata ha una lunghezza di circa 95 metri ed il quantitativo necessario calcolato con il profilo d'equilibrio è di circa 70 $m^3$ per metro lineare, quindi, risulta necessario un versamento di circa 7.000 $m^3$, quantitativo che contribuirebbe anche a formare il tombolo a tergo della piattaforma isola.

Infine, è utile ricordare che come già espresso precedentemente questo tratto di litorale è ormai totalmente privo di alimentazione naturale e conseguentemente le usuali perdite a cui sono sottoposte le spiagge non possono essere compensate naturalmente. Pertanto, si rende assolutamente necessario prevedere un piano di manutenzione che, con cadenza annuale, compensi queste perdite con versamenti di materiale pari a qualche migliaio di metri cubi. I quantitativi necessari potranno essere valutati più correttamente in base ai risultati dei monitoraggi previsti.




## 10. Bibliografia

Bruun, P. (1954) - “Coastal erosion and development of beach profiles.” U.S. Army Beach Erosion Board Tech. Memo. No. 44, Beach Erosion Board, U.S. Army Corps of Engrs., Washington, D.C.

Carobene L. & Brambati A. (1975) - Metodo per l’analisi morfologica quantitativa delle spiagge. Boll. Soc. Geo. It., 94: 479-493.

Dean, R.G. (1976) - Beach Erosion: Causes, processes and Remedial Measures. CRC Critical Review of Envir. Control 6 (3): 259-296.

Dean, R.G. (1977) - “Equilibrium beach profiles: U.S. Atlantic and Gulf Coasts.” Oc. Engrg. Rep. No. 12, Dept of Civ. Eng., Univ. Of Delaware, Newark, Del.
Dean, R.G. (1987) - Coastal Sediment Processes: Characteristics and Application. Journal of Coastal Reserch 7: 53-84.

Ferrari, L Carpi, G Pepe, L Mucerino, CF Schiaffino, M Brignone, A Cevasco A. (2019) -. A geomorphological and hydrodynamic approach for beach safety and sea bathing risk estimation. Science of the Total Environment, 671: 1214 – 1226.

Folk, R.L. e Ward, W.C. (1957) – Brazos river bar: a study in the significance of the grain size parameters. J. Sed. Petrol., 27: 3 – 28.

Gao S., Collins M. (1992) – Net sediment transport patterns inferred from grain – size trends, based upon definition of “transport vectors”. Sedim. Geol., 81: 47 – 60.

Hsu, JRC., Silvester, R., Xia, YM., 1987. New Characteristics of Equilibrium Shaped Bays. Proceedings of 8th Australasian Conference on Coastal and Ocean Engineering ASCE; 140144.

Kriebel, D.L., Kraus N.C. and Larson M. (1991) - Engineering methods for predicting beach profile response. Amer.Soc.Civil Eng. Coastal Sediments ’91, Seattle, WA Vol. 1: 557-571.
Mase H. (1989). Random wave run up height on gentle slope. J. Waterway Port Coast. Ocean Eng. 115 (5): 649 – 661.

Pilkei, O.H., Young, R.S., Riggs, S.R. Smith, A.W., Wu. H.and Pilkei, W.D. (1993). The concept of shoreface profile of equilibrium: A critical review. J. Coastal Res., 9: 255-278.

Short A.D. & Masselink G. (1999) - Embayed and structurally controlled beaches. In: Short A.D. (ed.), Handbook of beach and shoreface morphodynamics. New York, Wiley, 230-249.

Walton T.L., Ahrens J. (1989). Maximum periodic wave run – up on smooth slopes. J. Waterway Port, coast. Ocean Eng., 115: 703 – 708.