COMUNE DI OSPEDALETTI (IM)

INTERVENTO DI AUMENTO DEL LIVELLO DI RESILIENZA DELLE STRUTTURE ED INFRASTRUTTURE PRESENTI LUNGO LA COSTA ED IL PARCO COSTIERO, A SEGUITO DELL'EVENTO ALLUVIONALE DELL'OTTOBRE 2018.

Indagine sedimentologica e morfodinamica

1. Premessa

Il comune di Ospedaletti ha dato incarico a Geoscape Soc. Coop. di svolgere uno studio sedimentologico del tratto di litorale della cittadina, compreso tra la struttura portuale e Capo Nero. Lo scopo dell'indagine è quello di definire gli aspetti dinamico sedimentari dell'area, con particolare riferimento al settore centro - orientale, che sarà oggetto di un intervento di ricostruzione del litorale mediante ripascimento contenuto.

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 ed individuarne gli squilibri morfologico – sedimentari anche alla luce dell'inserimento delle nuove strutture; 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 al ripascimento.

2. Metodologia d'indagine

2.1. Indagini di campagna

Le indagini batimetriche ed i prelievi di sedimento della spiaggia emersa e sommersa (fig. 1) e le relative analisi granulometriche dei campioni, sono stati realizzati da Geocoste s.n.c. e forniti dal Comune di Ospedaletti. La realizzazione delle attività di campagna è stata effettuata nel periodo successivo ad una agitazione ondosa, relativamente intensa, proveniente da SE (Scirocco). Poiché, come è noto, nel settore ligure il mare regnante e dominante ha provenienza da SW (Libeccio), presumibilmente l'assetto morfo – sedimentario studiato non corrisponde a quello rappresentativo del litorale specie per quanto riguarda gli aspetti dinamico sedimentari.

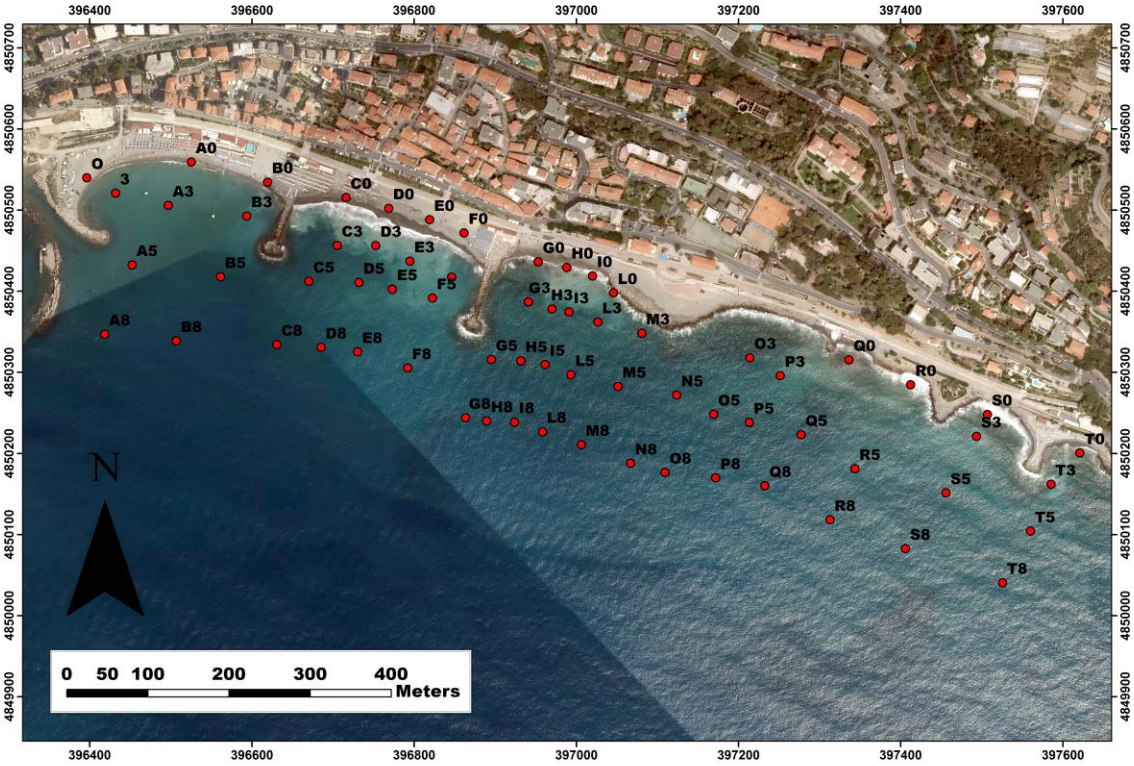

Fig. 1 –Ubicazione campioni di sedimento

2.2. Indagine sedimentologica della spiaggia

Le indagini dei sedimenti di spiaggia sono state condotte su campioni di materiale prelevati in corrispondenza della 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 Wentworth a ½φ 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) e delle classi modali più significative.

2.3. Determinazione dei vettori di trasporto

La determinazione dei vettori di trasporto è stata realizzata con la metodologia di Gao & Collins (1992). Questa tecnica è basata sulle variazioni spaziali dei parametri statistici dimensionali Media, Classazione e Skewness.

2.4. 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.), ed è quindi utile ricordare le affermazioni fatte da Pilkei et al. (1993). 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. Infatti, una volta stabilito l'avanzamento che si vuole ottenere 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.

Nello studio in oggetto i risultati ottenuti sembrano indicare una buona corrispondenza con la situazione reale, ma i profili risultano generalmente più acclivi che nella realtà. Quindi si è ritenuto opportuno introdurre un coefficiente di sicurezza che incrementi il quantitativo di materiale calcolato pari al 20%.

Infine, sono stati calcolati i quantitativi di materiale necessari al ripascimento anche nel caso di utilizzo di sedimenti alluvionali, quindi con tessiture bimodali.

La metodologia utilizzata è stata sviluppata grazie ai risultati ottenuti dal monitoraggio dell'intervento effettuato nel 2010 nella spiaggia adiacente (Vacchi et al. 2020). Il presupposto di partenza si fonda sull'osservazione che la frazione ghiaiosa sarà distribuita sulla spiaggia emersa e in quella sommersa fino alla profondità di frangenza. Oltre questa profondità sarà distribuita la componente sabbiosa presente nei sedimenti alluvionali. Il profilo determinato sarà quindi costituito da due profili d'equilibrio, calcolati con la metodologia di Dean, e rappresentativi delle due tessiture utilizzate. Il primo profilo caratterizzato da ghiaie si svilupperà dalla battigia fino alla frangenza ed il secondo nel restante tratto di spiaggia sommersa fino alla profondità di chiusura. I diametri utilizzati in questa simulazione sono quelli determinati nello studio precedentemente citato: 20 mm per la frazione ghiaiosa e 0.7 mm per quella sabbiosa.

3. Caratteri generali

Il litorale oggetto di studio è identificabile come il tipico litorale a tessitura mista (definito dalla letteratura anglosassone mixed shingle beach); esso risulta infatti caratterizzato da una porzione di spiaggia, comprendente il tratto emerso e quello sottomarino fino alla zona di frangenza, essenzialmente costituita da ghiaie e ciottoli misti a sabbia ed una porzione, riferibile alla spiaggia sottomarina più esterna, caratterizzata da sabbie medio – fini. Questa suddivisione dei sedimenti è evidente nella carta di distribuzione dell'indice sedimentologico media (fig. 2) espresso in Φ dove si osserva una distribuzione dei sedimenti con dimensioni decrescenti procedendo verso il largo. Le due celle occidentali, oggetto del passato intervento

di recupero, mostrano in battigia tessiture riferibili alle ghiaie molto fini ed alle sabbie grossolane, con una tendenza a ridurre le dimensioni procedendo verso ponente, specie nel settore adiacente al porticciolo. Questo aspetto è presumibilmente attribuibile, in parte alle caratteristiche della già citata mareggiata di Scirocco, ma soprattutto dalla forma del molo posto in prossimità di Rio Porrine che determina una zona protetta che favorisce l'accumulo di sedimenti. Procedendo verso il largo si osserva una graduale diminuzione delle dimensioni con andamento delle isolinee circa parallelo alla linea di riva. In particolare, il tratto compreso tra i due nuovi pennelli mostra le sabbie fini che si spingono maggiormente verso terra. Questo aspetto mostra chiaramente l'efficacia del setto sommerso, posto in prosecuzione del pennello del Crosio, che favorisce la deposizione di questi sedimenti a minori profondità.

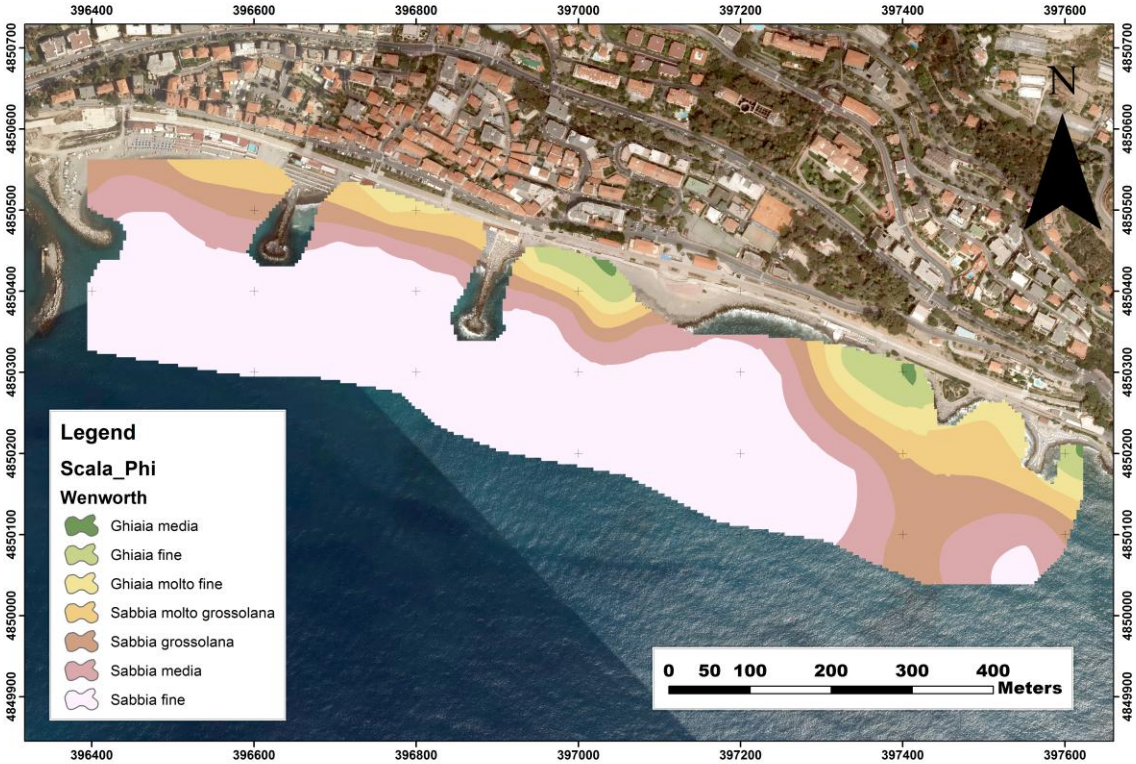

Fig. 2 – Distribuzione dell'indice sedimentologico media (espressa in Φ)

Il restante tratto, oggetto di questo progetto, presenta una situazione relativamente più complessa. Il settore situato a ponente della ex discarica stabilizzata presenta, in battigia e nella spiaggia sommersa fino alla frangenza, tessiture maggiori rispetto ai settori descritti precedentemente e riferibili alle ghiaie medie e fini. Inoltre, è osservabile la presenza di sedimenti ghiaiosi in prossimità della scogliera posta a protezione del piazzale. La loro presenza denota una evidente azione riflettente della struttura che favorisce il flusso lungo

riva verso la porzione orientale della spiaggia. La cella adiacente presenta una situazione simile a quella ora descritta. In battigia e nella surf zone sono presenti, su tutto l'arco di spiaggia, sedimenti ghiaiosi che raggiungono le dimensioni massime nel settore orientale. Anche in questo caso è ipotizzabile la presenza di intensi fenomeni riflessivi della struttura, i quali favoriscono un flusso verso ponente. L'ultimo tratto, fino alla zona di frangenza, presenta tessiture uniformi su tutto l'arco di spiaggia e riferibili alle ghiaie molto fini. Per quanto riguarda la porzione più esterna della spiaggia sommersa essa mostra in generale dimensioni dei sedimenti maggiori, rispetto ai settori oggetto dei passati interventi, specie nel settore orientale dove le sabbie fini sono pressoché assenti. In particolare si segnala la presenza di sabbie medie e grossolane che, in coincidenza del piazzale si spingono fino alla profondità di circa 6/7 metri, a confermare l'azione riflessiva della scogliera e/o la presenza di flussi trasversali che tendono a disperdere all'esterno i sedimenti.

Le distribuzioni relative agli altri indici sedimentologici contribuiscono a caratterizzare ulteriormente l'area d'indagine. Il sorting dei sedimenti (fig. 3) mostra una discreta classazione su tutta l'area, specie per quanto riguarda i settori della spiaggia sottomarina interessati dalle sabbie. Costituiscono eccezione le porzioni estreme del litorale indagato: una prima area caratterizzata da sedimento mediocremente classato nelle spiagge oggetto del ripascimento strutturale effettuato nel recente passato, che evidentemente non è stato ancora completamente elaborato. Una seconda area con valori simili è ubicata nella spiaggia situata nell'estremo orientale, anche in questo caso è presumibile ipotizzare il versamento di sedimenti alloctoni, anche se non noti allo scrivente. Infine, è presente un'ampia porzione di fondale del settore centrale caratterizzata da sedimenti ben classati ed una propaggine che si spinge fino in prossimità del piazzale. Aspetto che conferma, ancora una volta, l'energica azione riflettente della scogliera.

Fig. 3 – Distribuzione dell'indice sedimentologico classazione

L'interpretazione della carta di distribuzione dell'indice sedimentologico skewness (fig. 4), evidenzia valori negativi di questo parametro nel settore compreso tra il pennello del Crosio ed il piazzale, a conferma della presenza in questo settore di sedimenti molto elaborati e depauperati delle frazioni meno stabili, a testimonianza di un litorale sottoposto a depauperamento. La sua forma allungata, con asse circa perpendicolare alla costa, potrebbe indicare la presenza di un flusso trasversale concentrato che favorisce la dispersione dei sedimenti. La restante area mostra valori pressoché nulli del parametro o addirittura positivi nell'estremo settore orientale, ad indicare l'assenza di evidenti fenomeni erosivi.

Fig. 4 – Distribuzione dell'indice sedimentologico Asimmetria

La distribuzione tessiturale, si ripercuote ovviamente anche nell'assetto morfologico della spiaggia. Si osserva la presenza di pendenze relativamente maggiori nel tratto posto a levante del pennello del Crosio e caratterizzato da materiale più grossolano (pendenza compresa tra 10 - 15%), mentre il tratto a ponente, oggetto del passato intervento, presenta pendenze decisamente meno acclivi in coincidenza dei sedimenti sabbiosi meno grossolani.

4. Dinamica litorale

L'assetto meteomarino dell'area implica, come è ben noto, una deriva litoranea generalmente rivolta verso levante, a causa della prevalenza delle ondazioni di libeccio. Tuttavia, nell'area di studio questa situazione risulta essere parzialmente modificata ad opera della peculiare conformazione morfologica della costa. Inoltre, l'assetto generale precedentemente descritto determina un differente comportamento anche nella dinamica sedimentaria del tratto costiero in esame. Infatti, si osserva un trasporto della frazione grossolana, che occupa la surf – zone, essenzialmente per getto di riva e comunque ad opera delle correnti generate successivamente alla frangenza dell'onda; la frazione sabbiosa, presente oltre la zona di breacking, subisce un

trasporto ricollegabile alla trazione esercitata dal moto ondoso sul fondale prima del frangimento.

Le differenti modalità di deriva concorrono ulteriormente a determinare movimenti parzialmente dissimili dei sedimenti. Infatti, i materiali presenti in battigia si muovono principalmente verso levante ma, nel settore centrale compreso tra il pennello di rio Crosio ed il piazzale, il drift litoraneo risulta invertito, con un trasporto essenzialmente rivolto verso ponente. l'anomala deriva è da imputare principalmente ai fenomeni riflettivi generati dalla scogliera posta a protezione del piazzale stesso. I fenomeni riflettivi generati dalla scogliera convogliano l'energia del moto ondoso verso la spiaggia sopraflutto e determinano conseguentemente l'inversione del movimento. Analoga situazione è osservabile nel successivo settore in prossimità del piccolo piazzale. Anche in questo caso l'azione di riflesso della scogliera genera un parziale flusso di sedimenti rivolto verso levante. La situazione si regolarizza invece nell'ultimo settore. L'omogeneità tessiturale della spiaggia sottomarina, che, come abbiamo già osservato, è costituita principalmente da sabbie medio – fini, rende assai problematica una sicura definizione dell'assetto dinamico sedimentario della spiaggia sottomarina più esterna.

Quindi, per cercare di chiarire la dinamica sedimentaria della spiaggia sommersa è stata realizzata la carta dei vettori. La metodologia proposta da Gao & Collins, precedentemente descritta, risulta essere particolarmente adatta a comprendere la dinamica sedimentaria di un'area caratterizzata da tessiture sabbiose relativamente uniformi come quelle presenti nell'area d'indagine. La carta realizzata (fig. 5) risente in particolar modo dei caratteri contingenti del momento di campionamento.

Infatti il periodo, successivo ad una mareggiata di Scirocco, in cui si è svolta l'indagine corrisponde ad una fase in cui la spiaggia tende ad assumere una morfologia di relativamente alta energia, ma impostata sulla traversia secondaria e conseguentemente gli assi di transito individuati mostrano una deriva rivolta verso ponente.

Le sole considerazioni utili alla comprensione della dinamica sedimentaria dell'area sono riferibili alla presenza di movimenti longshore ancora sostenuti ad una profondità di circa 7 – 8 metri, ed alla presenza di rip currents in coincidenza delle principali strutture.

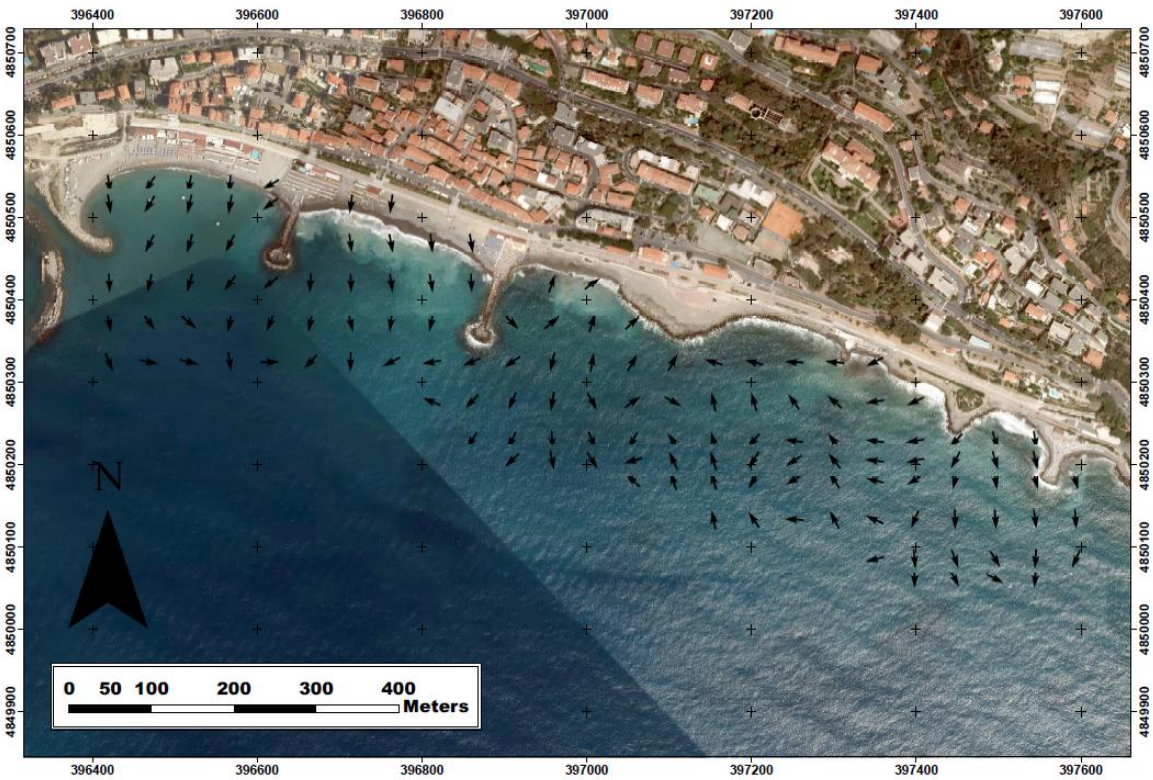

Fig. 5 – Vettori di trasporto (Gao & Collins)

5. Profondità di chiusura e run - up

La profondità di chiusura, cioè la profondità alla quale può ritenersi quasi completamente esaurito il movimento dei sedimenti, ed il run – up, cioè la massima altezza di risalita dell'agitazione ondosa sulla spiaggia emersa, sono parametri essenziali nella corretta impostazione, non solo delle strutture di difesa, ma anche nella determinazione dei quantitativi di materiale necessario al ripascimento.

La determinazione di questi due parametri è stata effettuata in prima analisi attraverso le comuni applicazioni teoriche relative al modo ondoso in bassi fondali, successivamente i risultati sono stati confrontati con le analisi di campo.

La profondità di chiusura è stata in primo luogo calcolata con la formulazione proposta da Birkemeir (1985), dove essa è data da:

$h_* = 6.75 * H_{sign}$.

Con: h_* = profondità di chiusura H_{sign}. = altezza significativa dell'onda media.

Adottando il valore di 1.2 m per H_{sign}. Si ottiene: h_* = 8.1 m. Quindi indicativamente il movimento dei sedimenti si esaurisce ad una profondità di circa 8 metri.

Il run – up teorico è stato calcolato sia con le formulazioni empiriche proposte da Mase (1989), sia con quella proposta da Walton (1989). Sostanzialmente, entrambi sono determinati attraverso l'utilizzo dei parametri descrittivi del moto ondoso messi in relazione con la morfologia della spiaggia, nel primo caso utilizzando il parametro ξ_0 di surf – similarity di Battjes (1974), nel secondo considerando semplicemente la pendenza della surf – zone.
In particolare sono stati determinati con la metodologia di Mase:

R_{max}: corrispondente al run-up massimo, cioè dovuto alle onde eccezionali
$R_{1/3}$: corrispondente al run-up eccedente 1/3 delle onde, cioè dovuto all'onda di progetto
R_{medio}: corrispondente al run-up medio.

Per quanto riguarda l'altra applicazione questa individua solamente il run-up massimo.
I valori adottati per i parametri in gioco sono:

H_0: 3.5 metri
T_0: 7.0 secondi
L_0: 87.75 metri
Tanβ: 0.12

I risultati individuano un run-up massimo rispettivamente di 5.1 metri e 4.8 metri; un run up 1/3 pari a 3.2 metri ed infine un run-up medio di 2.1 metri.
Ricordando che la trattazione teorica è riferita ad agitazioni ondose normali alla costa, mentre nel nostro caso il moto ondoso principale provenendo da SW, subisce una rotazione ad opera dei fenomeni di rifrazione ed attenuando conseguentemente la sua energia, si può adottare con un buon margine di sicurezza $R_{1/3}$.

6. Profili d'equilibrio

L'obiettivo che s'intende perseguire con questa analisi è di individuare granulometrie stabili sul litorale oggetto di studio, ed individuare i quantitativi di materiale necessario al ripascimento.
A tale scopo sono stati individuate tre sezioni ideali nell'area d'intervento, coincidenti con la zona centrale delle falcate di spiaggia che costituiscono il tratto indagato (fig. 6).

In base ai risultati emersi nel paragrafo precedente, le due metodologie sono state applicate alle tre sezioni, ipotizzando in generale un avanzamento medio di 40 metri ed un'altezza di 3.5 metri. Le dimensioni del materiale da ripascimento applicato nello studio corrispondono a valori del D_{50} pari a 10 e 20 mm e, nel caso di utilizzo di sedimenti alluvionali sono stati adottati valori di D_{50} pari a 20 mm e 0,7 mm, rispettivamente per la frazione ghiaiosa e sabbiosa. Questi valori sono stati desunti dalle analisi tessiturali, dei sedimenti alluvionali, effettuate durante la progettazione del precedente intervento di ripascimento.

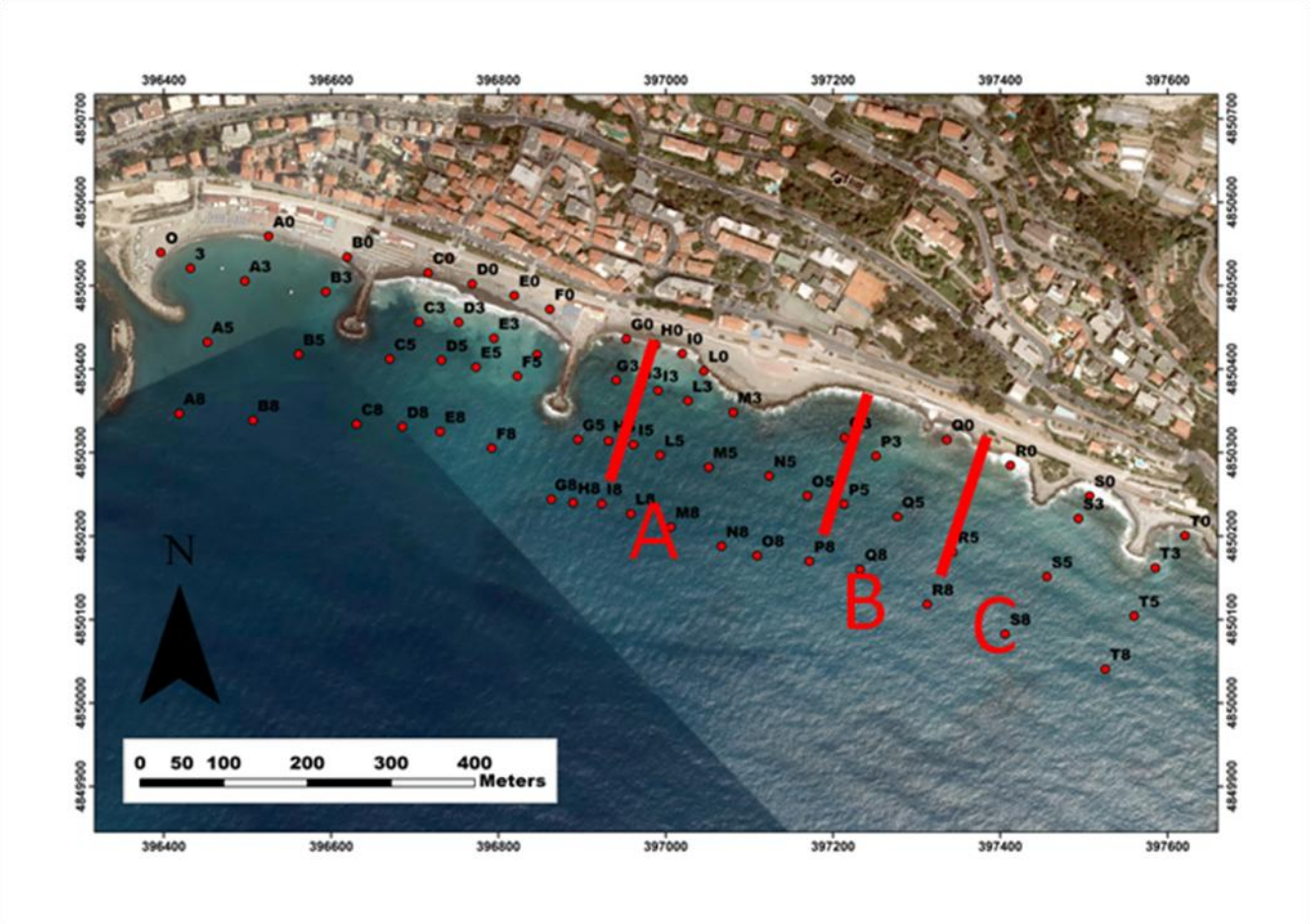

Fig. 6 – Ubicazione dei profili d'equilibrio

Profilo sezione A

La sezione A presenta un profilo naturale con una pendenza compresa tra il 5 e 7%. La metodologia di Dean, applicata ad essa (figg. 7 - 8), mostra valori relativamente simili per entrambe le tessiture utilizzate; i quantitativi richiesti sono compresi tra 120 e 130 m^3 per metro lineare, con una profondità d'intersezione di circa 4.3 metri (tabella 1). L'utilizzo di sedimenti alluvionali incrementa il quantitativo fino a circa 175 m^3 per metro lineare, con la frazione sabbiosa che raggiunge la profondità di chiusura.

Metodologia Dean				
Sezione A				
	Ampiezza (m)	Altezza (m)	Prof. int. (m)	Volume (m^3)
Dean 20 mm	40	3.5	4.2	120
Dean 10 mm	40	3.5	4.4	130
Dean 20 mm + 0.7 mm	40	3.5	4.2 (Prof. ch.)	180

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

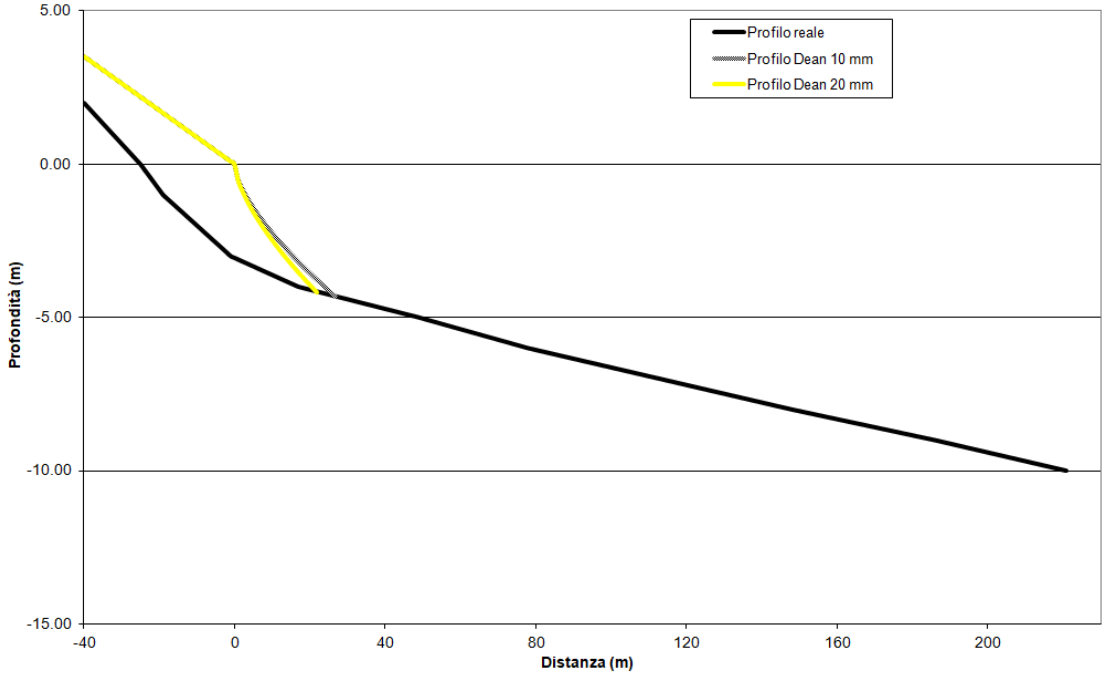

Fig. 7 – Sezione A profili d'equilibrio 10 e 20 mm

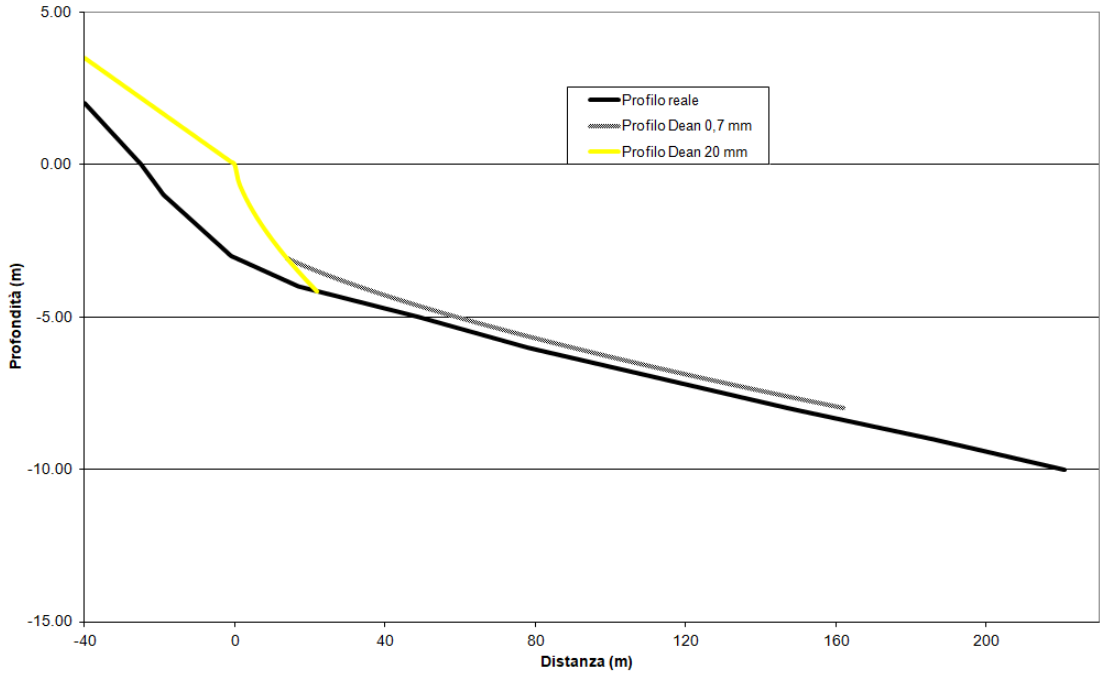

Fig. 8 – Sezione A profilo d'equilibrio materiale alluvionale

Profilo sezione B

Questa sezione presenta un profilo naturale leggermente più favorevole del precedente con pendenze prossime al 3 - 5%. Grazie a ciò i quantitativi di materiale necessario risultano essere inferiori rispetto alla sezione precedente. Il profilo di Dean (figg. 9 - 10), infatti individua volumetrie pari a 110 m^3 e 105 m^3 rispettivamente per tessiture con D_{50} pari a 10 mm e 20 mm, ed una profondità di intersezione posta a circa 4 metri.

Ovviamente, nel caso di utilizzo di sedimenti alluvionali, il quantitativo risulta superiore e si attesta su quantitativi pari a 150 m^3. Anche in questo caso la frazione sabbiosa che raggiunge la profondità di chiusura (tabella 2).

Metodologia Dean				
Sezione B				
	Ampiezza (m)	Altezza (m)	Prof. int. (m)	Volume (m^3)
Dean 20 mm	40	3.5	4.0	105
Dean 10 mm	40	3.5	4.1	110
Dean 20 mm + 0.7 mm	40	3.5	4.0 (prof. Ch.)	150

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

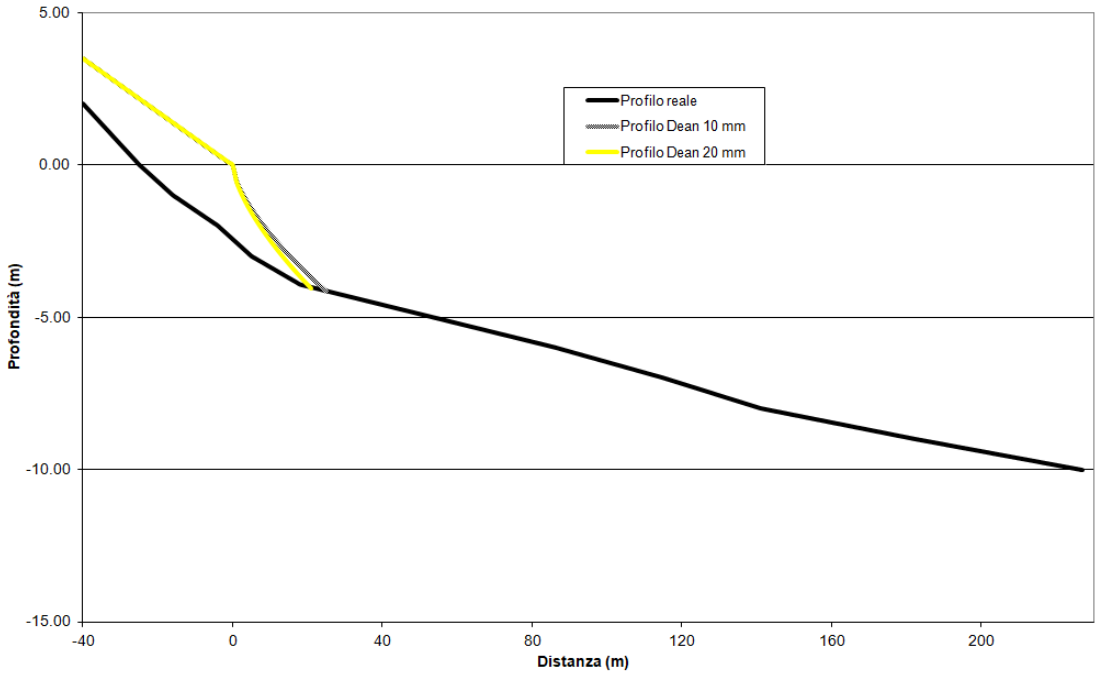

Fig. 9 – Sezione B profili d'equilibrio 10 e 20 mm

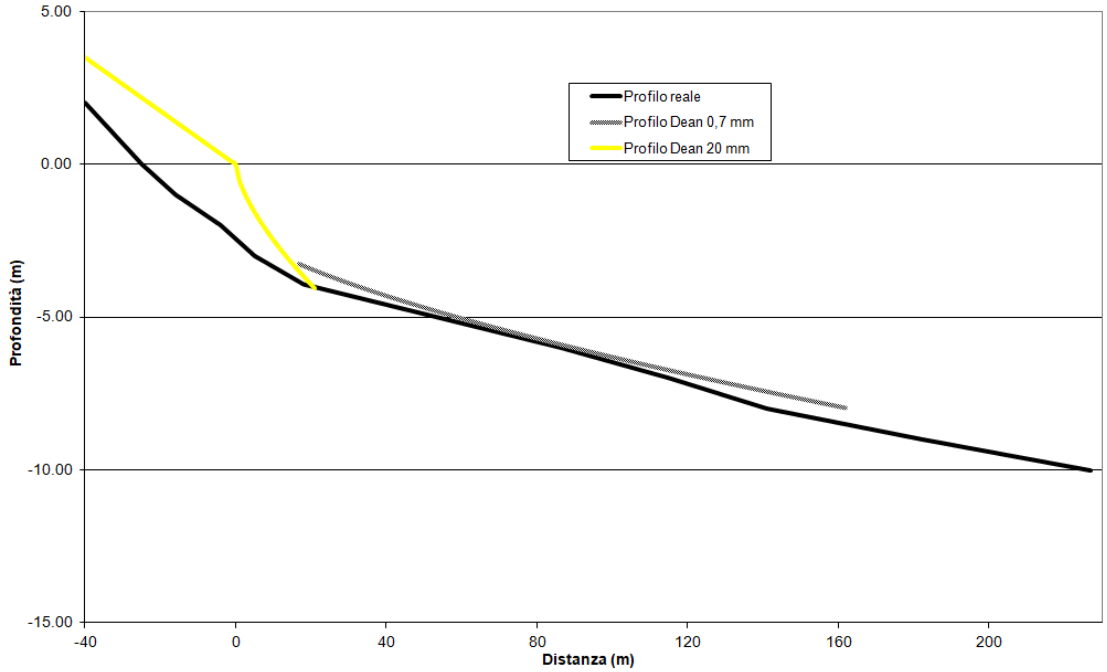

Fig. 10 – Sezione B profilo d'equilibrio materiale alluvionale

Profilo sezione C

Questa sezione è quella che presenta il profilo meno acclive, con valori compresi tra 3 – 5% nella surf zone, pendenza che però si mantiene costante anche nei settori più esterni. Conseguentemente i quantitativi richiesti, utilizzando le sole tessiture grossolane che intersecano il profilo a basse profondità, si riducono ulteriormente.

In questo caso il profilo d'equilibrio proposto da Dean (figg. 11 - 12) individua, per entrambe le tessiture proposte, un quantitativo di materiale di circa 95 m^3 per metro lineare ed una profondità d'intersezione situata a 3.8 metri. Al contrario, nel caso di utilizzo di sedimenti alluvionali, dove il sedimento sabbioso raggiunge la profondità di chiusura, il quantitativo necessario risulta essere maggiore delle sezioni precedenti ed è pari a 205 m^3 (tabella 5).

Metodologia Dean				
Sezione C				
	Ampiezza (m)	Altezza (m)	Prof. Int. (m)	Volume (m^3)
Dean 20 mm	40	3.5	3.4	93
Dean 10 mm	40	3.5	3.8	97
Dean 20 mm + 0.7 mm	40	3.5	3.4 (prof. Ch.)	205

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

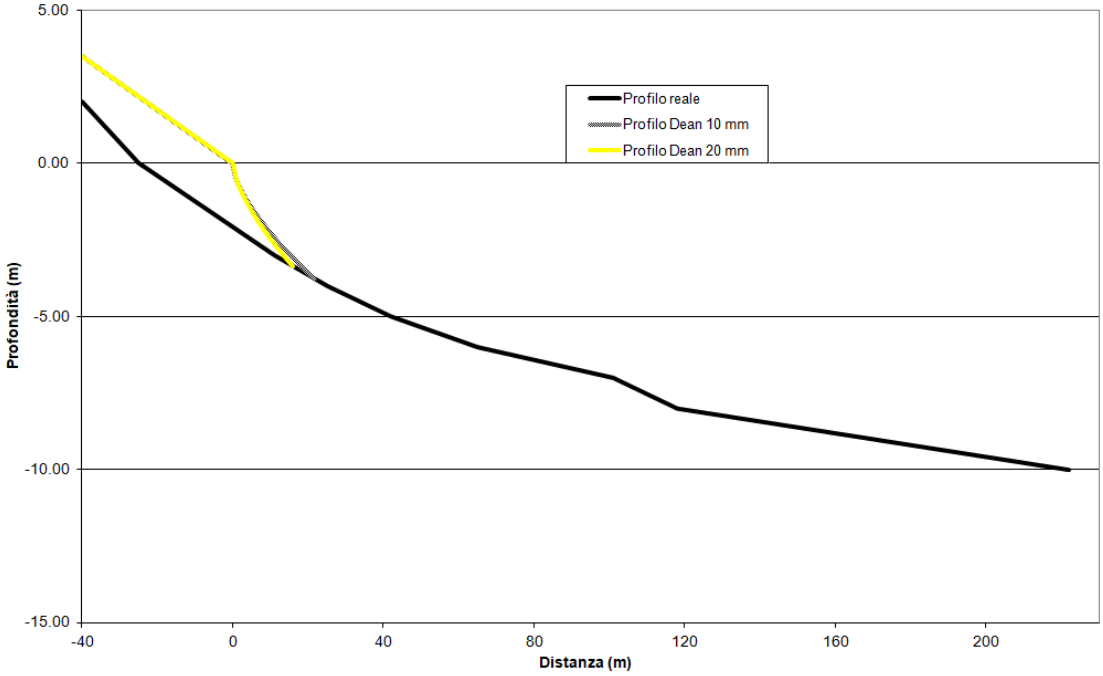

Fig. 11 – Sezione C profili d'equilibrio 10 e 20 mm

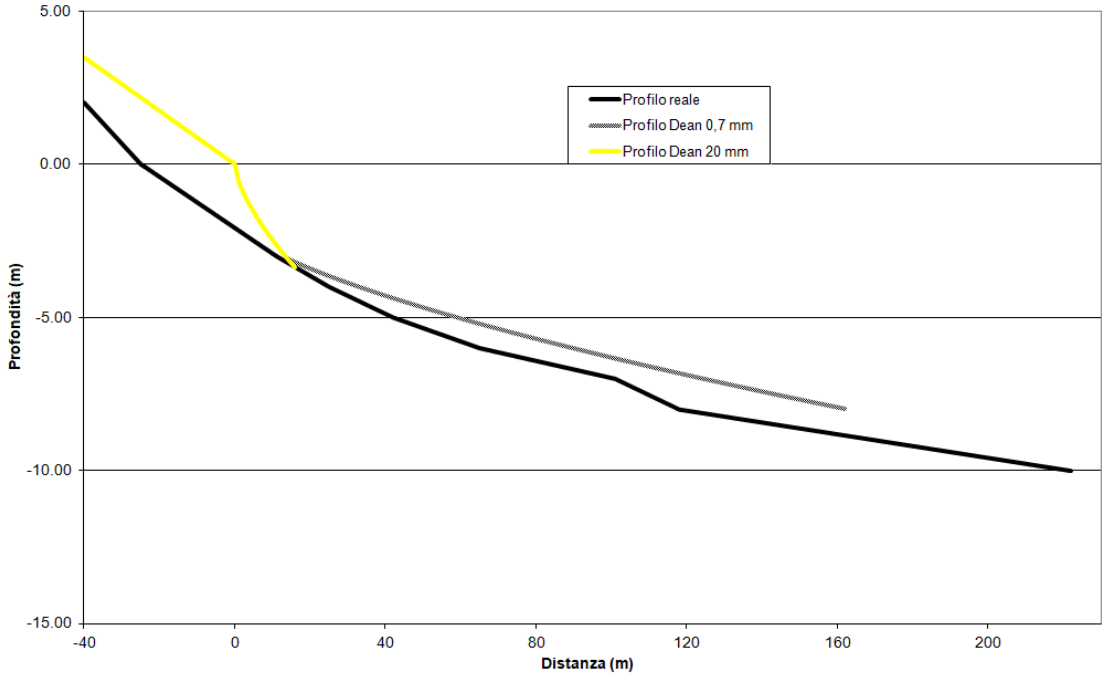

Fig. 12 – Sezione C profilo d'equilibrio materiale alluvionale

8. RISULTATI ATTESI

L'intervento, definibile come ripascimento contenuto, prevede la ricostruzione del litorale, attraverso la realizzazione di opere di difesa che garantiscano stabilità al materiale versato.
In particolare le strutture previste sono:

- Realizzazione di due pennelli posti ai lati del piazzale, potenziati sulla testata e dotati di setti sommersi;
- Costruzione di un pennello curvo in prossimità del successivo piazzale posto a levante del precedente, anche questo rinforzato sulla testata e dotato di un setto sommerso in prosecuzione.

In base alle evidenze dinamico-sedimentarie si può ipotizzare che:
La realizzazione dei pennelli posti ai lati del piazzale si rende necessaria per evitare i fenomeni riflettivi che sono presenti in coincidenza del piazzale stesso e che determinano una concentrazione dell'energia sui tratti di litorale adiacenti, accentuando conseguentemente i fenomeni erosivi. Particolare attenzione dovrà essere tenuta nella determinazione della posizione e dimensioni delle strutture. Esse, anche in combinazione con l'avanzamento previsto della spiaggia, dovranno essere in grado di contenere l'agitazione ondosa senza

permettere che questa giunga a contatto con strutture rigide, specie la porzione laterale della scogliera preesistente. Il pennello posto sopraflutto, che ha anche la funzione di contenere i sedimenti della spiaggia dovrà essere dimensionato di conseguenza, mentre quello di levante, che non esercita questa funzione, potrebbe essere di dimensioni inferiori, ma sufficienti ad eliminare l'azione riflettente della scogliera posta a protezione del piazzale. Tuttavia, allo scopo di ridurre l'energia che si concentrerà sulla scogliera del piazzale, nel tratto posto tra i due pennelli, si ritiene opportuno realizzarlo con dimensioni analoghe al precedente.
Infine, la struttura di ponente potrà essere completata da un setto sommerso in prosecuzione della stessa, che contribuirà a stabilizzare la spiaggia più esterna, come già dimostrato dai risultati ottenuti con il passato intervento, specie nel caso di utilizzo di sedimenti alluvionali che presentano una frazione sabbiosa. Non risulta essere necessario il setto sommerso nel pennello sottoflutto per le considerazioni svolte precedentemente.
Il pennello situato all'estremo di levante costituirà la struttura di chiusura del sistema. Essa dovrà garantire l'appoggio sufficiente a trattenere tutto il materiale presente, affinché esso non si disperda verso levante ad opera della deriva litoranea. Le sue dimensioni dovranno essere maggiori delle altre strutture, appunto per poter assolvere pienamente allo scopo. Inoltre, la forma ricurva contribuirà a ridurre e contrastare l'eventuale formazione di correnti trasversali, che potrebbero disperdere al largo i sedimenti. Anche in questo caso, la presenza del setto sommerso, che si estende fino alla profondità di chiusura, garantirà ulteriore stabilità a tutto il sistema, specie alla spiaggia sottomarina più distale.

9. Conclusioni

Il presente studio sedimentologico permette di trarre alcune considerazioni anche in relazione alle opere di difesa previste in progetto:

- Il litorale, di tipo misto, è costituito da sedimenti grossolani fino alla zona di frangenza, sedimenti medio – fini nella spiaggia sottomarina più esterna.
- La dinamica dell'area mostra un trasporto essenzialmente rivolto verso est, che in situazioni contingenti può invertire la sua direzione con movimenti di sedimento di notevole intensità, anche nella spiaggia sommersa più esterna.

- Le caratteristiche morfo – sedimentarie del litorale indicano una discreta criticità nel settore oggetto dell'intervento, a causa dei fenomeni riflettivi indotti dalle scogliere poste a protezione dei piazzali presenti;
- le tessiture del materiale per il ripascimento che offrono maggiori garanzie di stabilità sono quelle comprese tra 10 e 20 mm;
- in questo caso i quantitativi necessari, adottando le soluzioni più conservative, risultano stimabili in 120 m^3 per metro lineare nell'alveolo posto tra il pennello del Crosio ed il piazzale, 110 m^3 per metro lineare nel tratto occidentale dell'alveolo successivo, ed in circa 100 m^3 per metro lineare nel tratto orientale.
- Nel caso si adottassero sedimenti di origine alluvionale i volumi necessari aumenterebbero sensibilmente raggiungendo rispettivamente i seguenti quantitativi: 180 m^3, 150 m^3, 205 m^3.
- tessiture maggiori non sembrano offrire una sensibile riduzione dei quantitativi e la loro scelta sarebbe a scapito della qualità della spiaggia;

Sulla base di queste considerazioni e per quanto esposto precedentemente, risultano opportune tutte le soluzioni progettuali adottate.

Il quantitativo globale di materiale necessario al ripascimento della spiaggia posta a ponente del piazzale è valutabile in circa 20.000 m^3. Nel caso di utilizzo di sedimenti alluvionali il quantitativo è maggiore e pari a circa 30.000 m^3. Per quanto riguarda la cella di levante il materiale necessario è pari a circa 20.000 m^3 nel tratto occidentale e circa 18.000 m^3 in quello orientale, per un totale di 38.000 m^3. Questi quantitativi sono riferiti a materiale avente le caratteristiche tessiturali previste a progetto, rappresentate da valori di D_{50} pari a 10 – 20 mm, cioè ipotizzando materiale di cava e considerando un coefficiente di sicurezza pari a 0.2. Nell'eventualità che i materiali utilizzati contengano anche una abbondante frazione sabbiosa medio - fine, come nel caso di sedimenti di origine torrentizia, i quantitativi saranno maggiori e pari a circa 30.000 m^3 nella spiaggia di ponente e 55.000 m^3 in quella di levante.

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.

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.

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.

Vacchi M., Berriolo G., Schiaffino C. F., Rovere A., Anthony E. A., Corradi N., Firpo M., Ferrari M. (2020) Assessing the efficacy of nourishment of a Mediterranean beach using bimodal fluvial sediments and a specific placement design. Geo-Marine Letters.

Work, P.A. and Dean R.G. (1991) Effect of Varying Sediment Size on Equilibrium Beach Profiles. Coastal Sediments ’91, Amer. Soc. Civil Eng.: 890-904.

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