COMUNE DI LOANO

(SV)

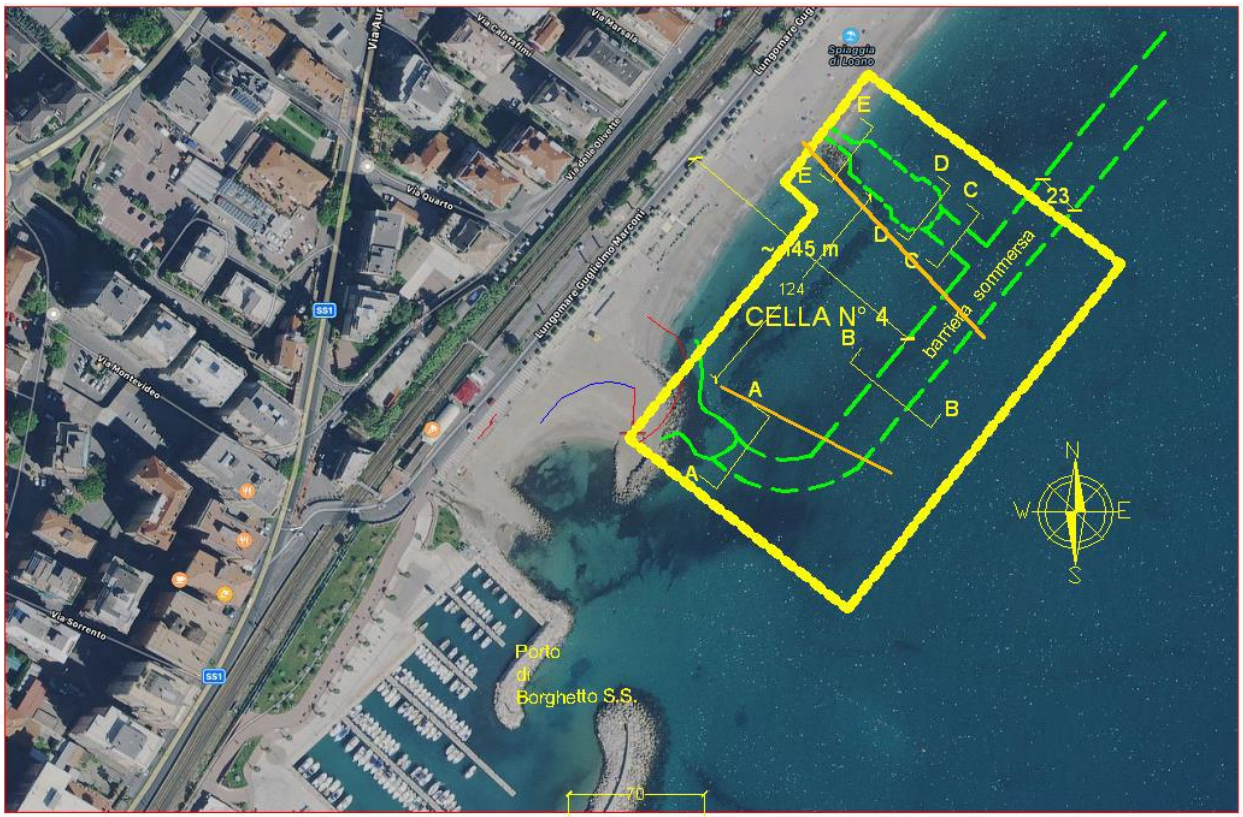
RIPASCIMENTO ARENILI

RELAZIONE ILLUSTRATIVA E TECNICA

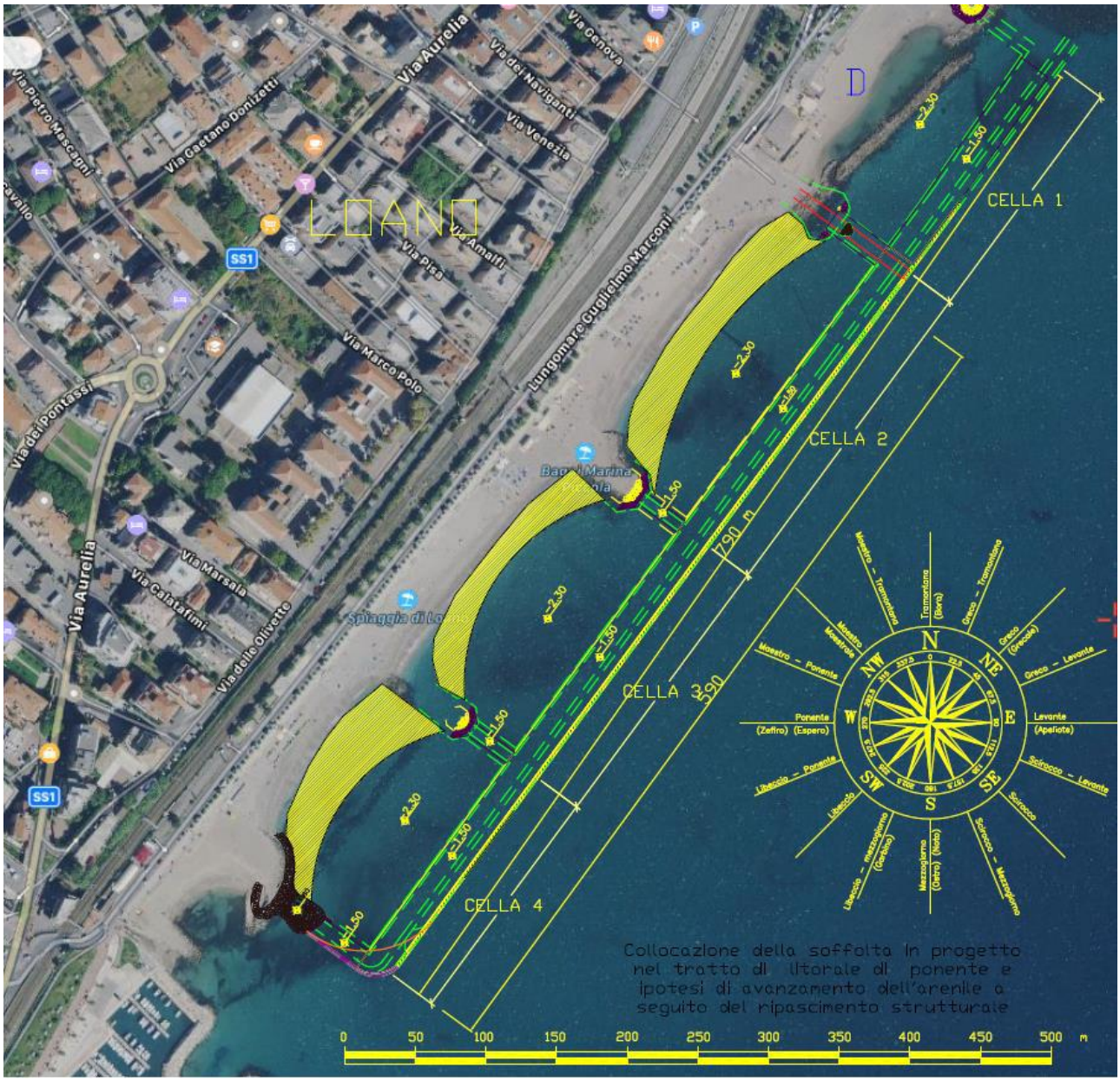
OPERE DI DIFESA DEL LITORALE DI PONENTE - PRIMO LOTTO		
Committente : COMUNE DI LOANO (SV) - Piazza Italia 2, 17025 Loano (SV)		
Direzione Lavori :	*Dott. Ing. Alessandro Chini*	DATA :
Coordinamento Sicurezza :	*Dott. Ing. Emanuela Maraglino*	
Collaudo in corso d'opera:	*Dott. Ing. Guido Ferri*	
RUP :	*Dott. Ing. Luciano Vicinanza*	Ott.. 2022

Premessa

L'arenile lungo la costa nel tratto a ponente del Comune di Loano , al confine con il Comune di Borghetto S. S. , presentava da anni fenomeni sempre più accentuati di arretramento. Saltuari ripascimenti stagionali non hanno frenato la riduzione della superficie della spiaggia costituita da sabbie e ghiaia. Allo scopo di stabilizzare la situazione e quindi creare una linea di costa compatibile con le attività turistico-balneari è in corso la realizzazione di una barriera soffolta formata da massi naturali di 2^ 3e 3^ categoria. Associato a questo intervento , è in via di ultimazione il primo stralcio funzionale ed è in via di attivazione il secondo stralcio. Nel progetto vi sono consistenti ripascimenti strutturali per i quali si è previsto l'impiego di sabbie e ghiaie (4÷ 8 mm) . Le quantità previste nel presente progetto rientrano in una autorizzazione già ottenuta, se si manterrà la stessa fonte di approvvigionamento. Nel caso in cui si ricorrerà a cave diverse , purché i materiali siano compatibili con le disposizioni, si dovranno riproporre all'esame dell'Arpa Liguria i nuovi certificati di laboratorio in modo da rinnovare l'autorizzazione di cui si è detto.



Il perimetro in giallo indica l'area di intervento del 1° Stralcio – sono compresi :
Pennello P5 (zona verso l'approdo turistico di Borghetto S. Spirito)
Pennello P4 (sezioni C-C_ ; D-D ; E-E)
Diga soffolta (sezione B-B)



Un primo intervento di prova è stato eseguito in corrispondenza della cella n° 4 (rif. al progetto complessivo dell'opera) ed è stato, per ora, autorizzato dall'Arpal di Savona fino a 4.000 mc-

arpal.ARPAL.REGISTRO UFFICIALE.U.0012812.10-05-2021.h.08:00

ARPAL
Agenzia regionale per la protezione dell'ambiente ligure

Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente

Comune di Loano (SV)
POSTA CERTIFICATA
Prot. 18080/2021
Reg. 10/05/2021

COMUNE DI LOANO
Area Gestione del Territorio e Demanio Marittimo
Servizio Lavori Pubblici e Manutenzione
loano@peccomuneloano.it

REGIONE LIGURIA
Settore Valutazione Impatto Ambientale e Sviluppo Sostenibile
via.certificata@cert.regione.liguria.it

Settore Ecosistema Costiero e Acque
protocollo@pec.regione.liguria.it

OGGETTO: "Realizzazione barriera soffolta di ponente nell'ambito degli interventi volti alla difesa della costa del comune di Loano - Decreto Dirigenziale Regione Liguria n. 5650/2020 del 25/09/2020. Non assoggettamento a V.I.A. con condizioni ambientali.

Parere di compatibilità ambientale del materiale utilizzato.

PREMESSA

Con D.D. del Settore Valutazione Impatto Ambientale e Sviluppo Sostenibile della Regione Liguria n. 5650 del 25.09.2020 è stato sottoposto a verifica di assoggettabilità alla VIA il progetto relativo al "completamento della ristrutturazione del litorale urbano nel tratto compreso tra la testata della diga emersa antistante la Stazione ferroviaria e il confine con il Comune di Borghetto SS – Ocdpc 558/2018" che prevede, tra le varie opere, la realizzazione di un ripascimento strutturale mediante 50000 mc di materiale da cava; il procedimento si è concluso con parere di non assoggettabilità a VIA con prescrizioni.

Il provvedimento sopra citato riporta, al punto 1b) della parte dispositiva: "*La compatibilità ambientale del materiale utilizzato per il ripascimento dovrà essere sottoposta al parere preventivo e vincolante di Arpal*".

A seguito dell'istanza di parere da parte del Comune di Loano (prot. n. 14924 del 15.04.2021 - prot. ARPAL n. 10470 del 16/04/2021), questa Agenzia ha trasmesso richiesta di integrazioni (prot. ARPAL n. 12006 del 30/04/2021), che sono state fornite dal Comune con nota prot. 17344 del 04/05/2021 (prot. ARPAL n. 12488 del 05/05/2021).

CONSIDERAZIONI

Dalla documentazione esaminata si rileva quanto segue.

- Il materiale che il Comune di Loano intende utilizzare è costituito da circa 4000 mc di materiale da cava costituito da una miscela di aggregati 0/4 mm (circa 27%) e 4/8 mm (circa 73%), provenienti dalla Cava Martinetto di Zuccarello e lavorati nel sito di Bastia d'Albenga.
- Le indagini granulometriche, eseguite su un campione già miscelato, evidenziano un contenuto in pelite pari a 2.88%, sabbia 26.63% e ghiaia 73.37, rispettando il limite previsto in pelite dalla DGR 1209/2016 per l'arenile di Loano, pari a 5%. Si evidenzia che è stata determinata la pelite ad umido e, sulla restante frazione del campione, è stata eseguita la granulometria a secco per determinare sabbia e ghiaia riportando il valore ottenuto al campione esente da pelite, procedura inusuale ma che si ritiene comunque ammissibile per le finalità del presente parere.
- Con riferimento ai rapporti di prova citati ai punti g) e h) dell'elenco della documentazione esaminata, eseguite separatamente sui due materiali costituenti la miscela prevista, le indagini analitiche sono state condotte relativamente ai parametri amianto e metalli, le cui risultanze non hanno evidenziato criticità, risultando compatibili con quanto indicato nei Criteri di cui alla DGR 1209/2016.
- Dal punto di vita del colore, dalla documentazione esaminata il materiale viene definito "grigiastro". Non essendo noto il colore del materiale di spiaggia, si demanda a codesto Comune la verifica della compatibilità cromatica del materiale in oggetto con il sito di destinazione.

CONCLUSIONI

Alla luce di quanto sopra evidenziato si ritiene di poter esprimere **parere favorevole** per il materiale oggetto della richiesta (miscela di aggregati 0/4 mm (circa 27%) e 4/8 mm (circa 73%)), ai fini del suo utilizzo per il ripascimento previso dalla DD della Regione Liguria 5152/2020.

Nella prima parte di tale intervento sono stati posti in opera lungo la battigia circa 1.500 mc dei 4.000 mc autorizzati

Con le quantità previste in questo progetto si arriverà a completare la posa con ulteriori 2.500 mc per cui sul tratto di costa di 125 m destinato a ricevere i nuovi materiali si arriveranno pertanto a posare complessivamente 2.500 mc/125 m = 20 mc/m

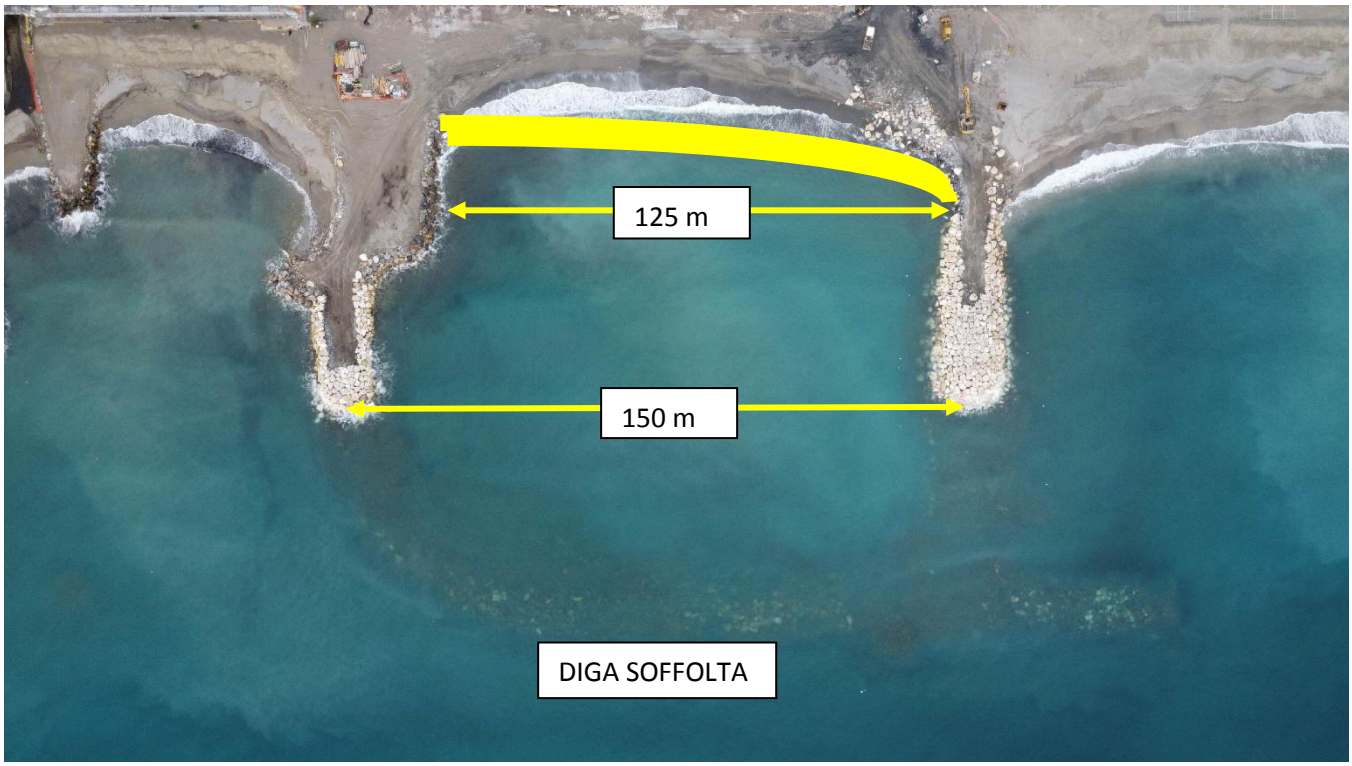
Si prevede , con questo progetto, di mantenere la percentuale : 32% sabbie e 68 % ghiaie corrispondenti rispettivamente a 800 mc e 1700 mc.

Il tempo per porre in opera i suddetti materiali è stato calcolato in 50 giorni.

Tratto di arenile interessato dai ripascimenti 11- 10- 2021

Materiale idoneo al ripascimento (rif. moneta da 1 euro)

La foto rappresenta un cumulo del materiale impiegato per un primo ripascimento rientrante nei lavori appaltati . Il materiale è stato lavato all'impianto di macinazione ed in effetti non ha dato luogo ad intorbidimenti delle acque marine una volta spianato.

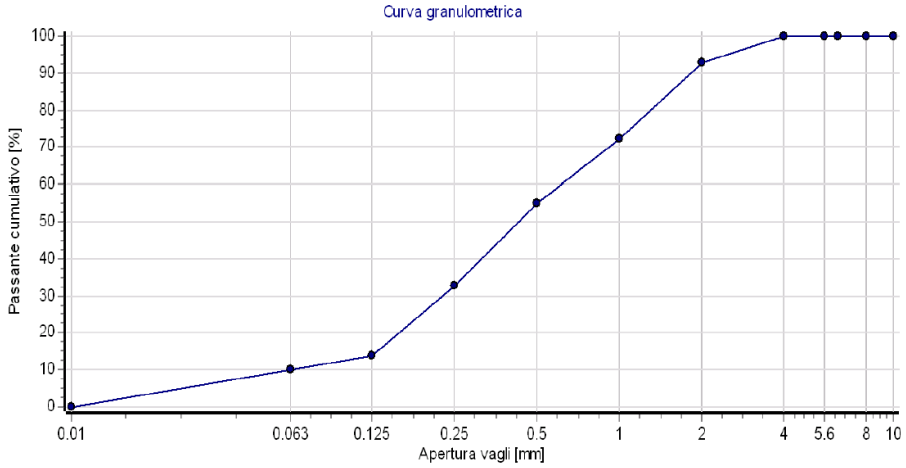


Tratto di arenile oggetto di ripascimento strutturale e opere realizzate al dicembre 2021.

CAMPIONI DI SABBIA E GHIAIA PREVISTI PER I RIPASCIMENTI 2022

Sabbia :

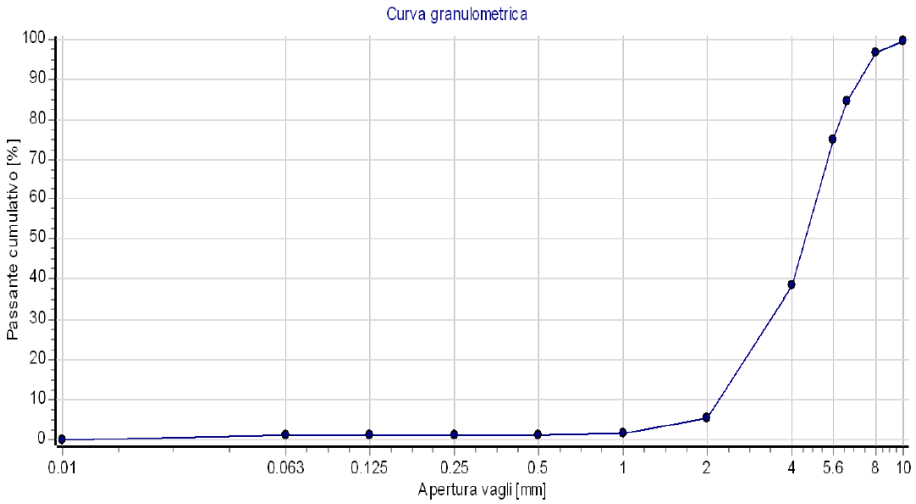
Rappresentazione grafica



Pelite < 5 %

Ghiaia 2 ÷ 10 : 94,4 % -Pelite : 1,5 %

Rappresentazione grafica



RELAZIONE TECNICA

ANALISI DELL'INTERVENTO DI RIPASCIMENTO

Premessa

Il progetto approvato in conferenza dei servizi nel 2020 prevede sia la costruzione della barriera soffolta che un ripascimento degli arenili. Per le modalità di finanziamento e quindi di esecuzione delle opere, previste in più stralci, ma anche per questioni tecniche non si potrà eseguire il ripascimento lungo il tratto di costa tutto in un'unica tornata ma anno dopo anno in corrispondenza delle zone in cui è stata realizzata la soglia sommersa. Inoltre i quantitativi a metro di sviluppo longitudinale della spiaggia saranno suddivisi in più interventi. Ad esempio nel primo stralcio funzionale si è iniziato con un versamento di poco meno di 10 mc/m di volume (come per un ripascimento stagionale) , quindi alla ripresa dei lavori, dopo la prevista pausa estiva, si è programmata la successiva fase di ripascimento in base anche agli esisti del monitoraggio della prima fase. I materiali da impiegare dovranno essere sottoposti preventivamente al parere dell'ARPAL.

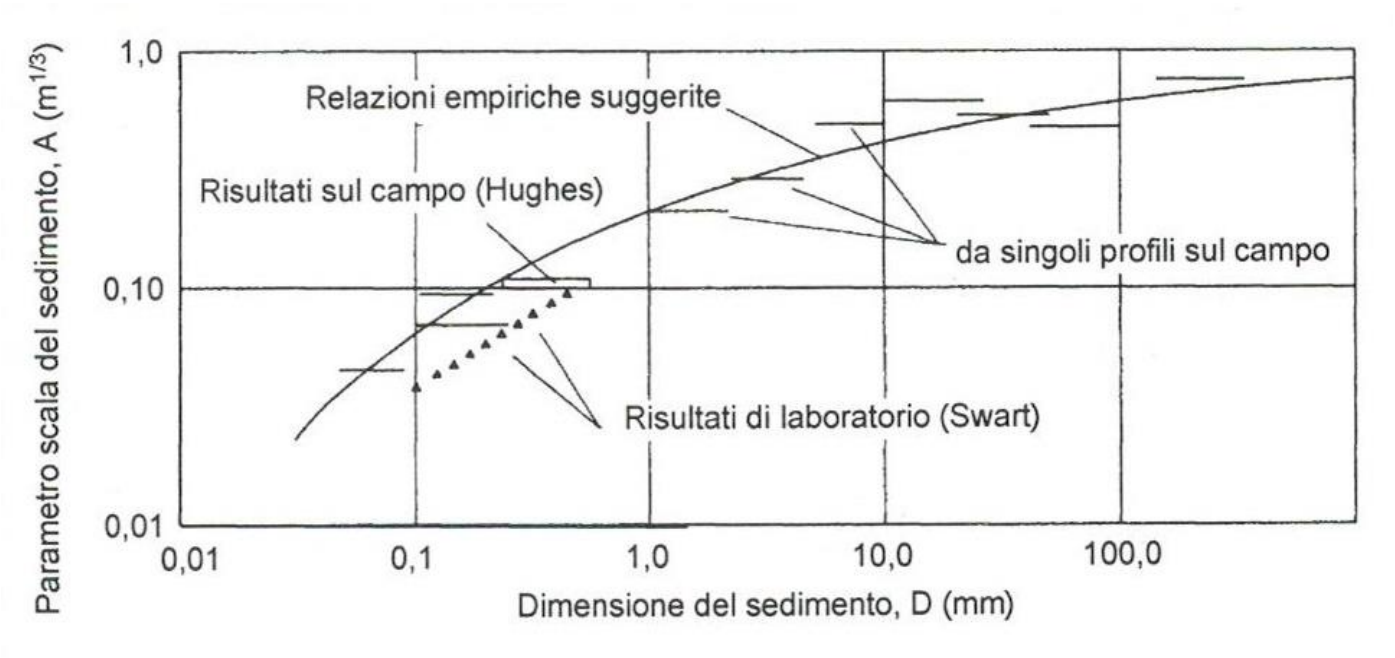
L'opera protettiva composta da massi naturali sommersi si pone il duplice scopo di attenuare l'irruenza dell'attacco ondoso presso l'arenile in esame e di rappresentare un valido supporto al piede del volume di ripascimento introdotto quale complementare difesa della spiaggia. La soluzione tecnica prevede, in concomitanza con la costruzione della soglia sommersa, la stesura di uno strato di materiale inerte Tout - Venant di idonee pezzatura e spessore fino a quota – 2,30 m, strato che partirà in aderenza alla base del lato verso terra della barriera soffolta. Questo strato è a sua volta una base di appoggio dei sedimenti formanti il volume di ripascimento introdotto in corrispondenza del fronte a mare dell'arenile. Questi ultimi granuli inseriti sulla faccia della spiaggia da preservare, dovranno provenire da una cava preferibilmente della zona in modo da rendere l'intervento quanto più ambientalmente compatibile . In altri termini se non esistessero opere antropiche lungo gli argini del torrente Varatella e nel tratto che separa la foce dalla zona prevista per l'intervento in esame, i materiali di ripascimento sarebbero proprio quelli provenienti dalla vallata di quel corso d'acqua. Attualmente l'arenile emerso presenta materiali costituiti in prevalenza da ghiaie (oltre il 70 %) con diametro a 4 mm in giù ed il 28 % di sabbie. Si prevede quindi di riproporre un ripascimento dove la componente ghiaiosa avrà una importanza percentuale non trascurabile, il diametro medio D_{n50} maggiore (questi ultimi hanno la consistenza dimensionale di una ghiaia, il cui diametro medio è compreso nel range 4 mm ÷ 6 mm, secondo la scala granulometrica di C.K. Wentworth (1922)) dei sedimenti già presenti in sito al passaggio tra la parte emersa e quella sommersa della spiaggia dove i sedimenti hanno dimensioni dell'ordine di 1.5 mm . (si rimanda alla relazione geologica per i dettagli).

A tergo del volume di ripascimento richiamato nel periodo che precede e formante il nuovo fronte dell'arenile in questione, è prevista l'eventuale introduzione di ulteriore di materiale arido di minore dimensione rispetto agli elementi lapidei appena menzionati e finalizzato ad uniformare e completare, qualora risulti necessario nel tempo, il nuovo profilo conferito a detta spiaggia.

Sulla scorta di quanto appena asserito, l'avanzamento Δy della linea di battigia a seguito di un ripascimento del volume V, può esser determinato ricorrendo alla consolidata teoria del profilo di equilibrio proposta da R.G. Dean (1991), così come richiamato anche dai Documenti tecnici di riferimento predisposti dalla Regione Liguria. Secondo tale metodologia empirica, il profilo di equilibrio del fronte della spiaggia, compresa la porzione sommersa, è descrivibile attraverso la relazione:

$$h(y) = A \cdot y^{\frac{2}{3}}$$

ove $h(y)$ indica la profondità del profilo di spiaggia alla distanza y dalla linea di costa, mentre A esprime il parametro di scala legato alla dimensione dei sedimenti e dedotto dal grafico di natura sperimentale riprodotto di seguito (con riferimento anche al lavori di B.D. Moore (1982)) , in funzione delle dimensioni del singolo sedimento in esame:



In base al diagramma appena illustrato, di seguito si mostrano le relazioni empiriche che permettono di definire analiticamente ed in base al diametro del granulo inerte considerato, l'andamento della curva rappresentata nel grafico d'interesse:

$$A = 0.41 \cdot D_{n50}^{0.94} \qquad \text{per } D_{n50} < 0.4mm$$

$$A = 0.23 \cdot D_{n50}^{0.32} \qquad \text{per } 0.4mm \leq D_{n50} \leq 10mm$$

$$A = 0.23 \cdot D_{n50}^{0.28} \qquad \text{per } 10mm \leq D_{n50} \leq 40mm$$

$$A = 0.46 \cdot D_{n50}^{0.11} \qquad \text{per } D_{n50} \geq 40mm$$

dalle quali si evince come, nel caso in esame, si verifichi la condizione secondo cui ai granuli esistenti della spiaggia in corrispondenza della battigia (il cui diametro medio D_{n50} risulta equivalente a circa 1.5 mm) corrisponde un coefficiente A_N pari a circa 0.26, mentre ai sedimenti introdotti nell'ambito dell'intervento di ripascimento strutturale in corrispondenza del fronte a mare dell'arenile da tutelare (aventi una dimensione media eguale a circa 5 mm) si calcola un fattore di scala A_F pari approssimativamente a 0.38, tenuto in conto anche dell'entità della profondità di chiusura h_* di tale nuovo profilo granulare, impostata a circa 2.3 m.

Il grafico sopra raffigurato evidenzia come il parametro di scala A denoti un andamento proporzionalmente crescente all'aumentare della dimensione dei sedimenti di riferimento, tale per cui, data l'equazione sperimentale già inserita e che descrive i profili di equilibrio secondo R.G. Dean (1991), si determinano, quindi, assetti trasversali di stabilità dell'arenile considerato che possiedono valori di ripidità in incremento, a fronte di un aumento del diametro medio dei granuli che compongono il volume di spiaggia in esame.

Definiti, pertanto, con i termini A_N ed A_F i coefficienti di scala associati rispettivamente ai sedimenti che caratterizzano il litorale naturale ed il materiale da ripascimento introdotto sull'arenile stesso, le osservazioni prima riportate permettono di asserire che la realizzazione di un ripascimento con $A_F > A_N$ (immissione di materiale più grossolano rispetto a quello preesistente) indurrà un nuovo profilo di spiaggia più pendente rispetto a quello esistente e pertanto intersecante con lo stesso prima del raggiungimento della profondità di chiusura h_* della fascia attiva; di converso la realizzazione di ripascimenti con $A_F \leq A_N$ provocherà un nuovo profilo di spiaggia non intersecante con quello naturale sicché, a parità di volume granulare versato, nel primo caso (ossia qualora si abbia la condizione nella quale: $A_F > A_N$) si otterranno avanzamenti Δy della linea di costa certamente maggiori rispetto a quelli che si avrebbero utilizzando sedimenti da ripascimento con $A_F < A_N$.

Per comprendere se, in funzione della scelta granulometrica individuata per il volume di ripascimento, si prevede un profilo intersecante o non intersecante, da parte della quantità inerte introdotta a protezione della faccia dell'arenile trattato, è possibile avvalersi della seguente relazione proposta a riguardo sempre da R.G. Dean (1991) e indicante, per il problema affrontato, una condizione di intersezione per il nuovo volume lapideo, formato da granuli di dimensione media D_{n50} pari a circa 5 mm, come anzidetto:

$$\frac{1}{W_*}+\left(\frac{A_N}{A_F}\right)^{\frac{3}{2}}=\left(\frac{A_N}{h_f}\right)^{\frac{3}{2}}+\left(\frac{A_N}{A_F}\right)^{\frac{3}{2}}\begin{cases}<1\rightarrow \text{int}\,er\,\text{sec}\,ante\\ >1\rightarrow NON_\text{int}\,er\,\text{sec}\,ante\end{cases}$$

$$\text{con } W_*=\left(\frac{h_f}{A_N}\right)^{\frac{3}{2}}\text{, ove si pone } h_f\cong h_*$$

in cui la batimetria h_f è approssimata alla profondità di chiusura h_*, quest'ultima individuata in posizione retrostante alla diga sommersa, data appunto la sua medesima presenza.

Corrispondentemente ed in analogia con quanto previsto in merito da R.G. Dean (1991), così come mostrato dallo schema grafico riportato di seguito, si specifica come per profili intersecanti (ossia contraddistinti dalla circostanza nella quale $A_F > A_N$) il legame esistente tra l'avanzamento Δy della linea di battigia atteso a seguito di un ripascimento di volume V (inteso quale volume di ripascimento per estensione unitaria e lineare della costa esaminata) è esprimibile tramite la relazione empirica:

$$V=B\cdot\Delta y+\frac{3}{5}\cdot\frac{h_*}{B}\cdot\left(\frac{\Delta y}{W_*}\right)^{\frac{5}{3}}\cdot\frac{1}{\left[1-\left(\frac{A_N}{A_F}\right)^{\frac{3}{2}}\right]^{\frac{2}{3}}}$$

$$\text{con } W_*=\left(\frac{h_f}{A_N}\right)^{\frac{3}{2}}\text{, ove si pone } h_f\cong h_*$$

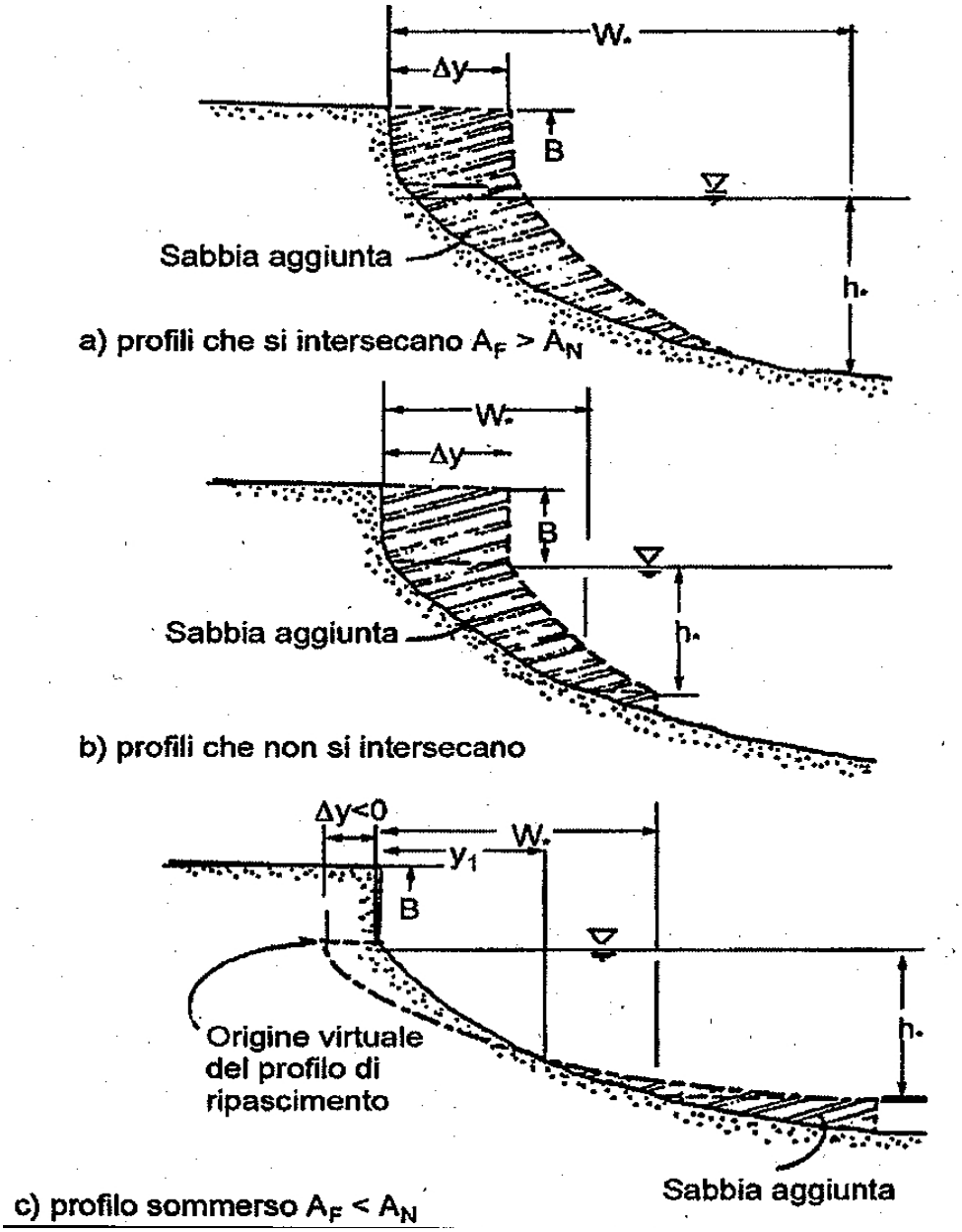
mentre nel caso di profili non intersecanti (cioè caratterizzati da una situazione in cui si ha $A_F < A_N$) la rispettiva formulazione assume la forma matematica:

$$V = B \cdot \Delta y + \frac{3}{5} \cdot W_* \cdot h_* \cdot \left\{ \left[\frac{\Delta y}{W_*} + \left(\frac{A_N}{A_F} \right)^{\frac{3}{2}} \right]^{\frac{5}{3}} - \left(\frac{A_N}{A_F} \right)^{\frac{3}{2}} \right\}$$

con $W_* = \left(\frac{h_f}{A_N} \right)^{\frac{3}{2}}$, ove si pone $h_f \cong h_*$

ove B rappresenta l'altezza della berma misurata sul livello medio marino di riferimento e prevista pari a circa 1.5 m, come da indicazioni progettuali desunte dagli Elaborati di progetto, h_* indica la profondità di chiusura della fascia trasversale attiva del tratto litoraneo in esame (tale batimetria è identificata in 2.3 m, presso la zona a tergo dello sbarramento soffolto già citato) e W_* rappresenta la larghezza trasversale della fascia attiva sul profilo indisturbato ed esente da ripascimento (questa medesima fascia attiva viene definita quale ampiezza trasversale di costa in cui si rileva movimentazione dei sedimenti del fondale e, nel caso valutato, contenuta entro la distanza tra la barriera sommersa e la linea di battigia) stimata grazie all'espressione sopra menzionata: $W_* = \left(\frac{h_f}{A_N} \right)^{\frac{3}{2}}$.

Rammentando come nell'ambito dell'analisi sviluppata, si sia individuato un assetto trasversale intersecante per il volume di ripascimento composto da sedimenti da collocare sul fronte dell'arenile da preservare, detta quantità V desunta dalla corrispondente equazione sopra riportata . Successivamente, a completamento di quanto finora esposto, si illustra lo schema generale di ripascimento costiero, sul quale si fondano i calcoli appena presentati e così come suggerito da R.G. Dean (1991):



Sulla scorta delle verifiche dei diametri granulari presenti attualmente in sito, per il materiale da usare nell'intervento di ripascimento del fronte della spiaggia, è stata prevista la possibilità di utilizzare sedimenti dal diametro medio D_{n50} superiore rispetto a quello riscontrato in loco sulla porzione emersa della spiaggia da salvaguardare, in modo da realizzare un profilo di ripascimento intersecante con il fondale antistante e che, allo stesso tempo, non generi assetti trasversali eccessivamente ripidi (si tenga in conto, a tale proposito, che il fondo su cui si innesta il profilo del nuovo arenile è appositamente formato da materiale inerte Tout - Venant, collocato in tale posizione al fine di costituire una valida base di appoggio al suddetto volume di ripascimento).

Al fine di conferire un idoneo grado di interconnessione e, conseguentemente, stabilità, al nuovo ammasso lapideo introdotto sul fronte spiaggia, si prevede che circa il 60% del volume di sedimenti apportato sia del

tipo a spigoli vivi e destinato a comporre la realizzazione del "nucleo" del ripascimento, mentre il restante 40% circa dei granuli deve essere del tipo a spigoli smussati (operazione quest'ultima che sarà eseguita meccanicamente).

L'evoluzione del profilo trasversale di una spiaggia è strettamente correlato sia alle caratteristiche dei sedimenti che la compongono che alle caratteristiche degli attacchi ondosi che ivi si manifestano. Numerose indagini e sperimentazioni, condotte da diversi Autori, hanno permesso di stabilire i principali legami funzionali tra i diversi parametri governanti il processo.

Per la verifica della stabilità dinamica di ripascimenti artificiali, risulta particolarmente efficace l'applicazione del modello numerico proposto da J.W. Van der Meer (1988) e derivato da una lunga serie di sperimentazioni, nonché validato per strutture dinamicamente stabili, così come sinteticamente definito dalla condizione:

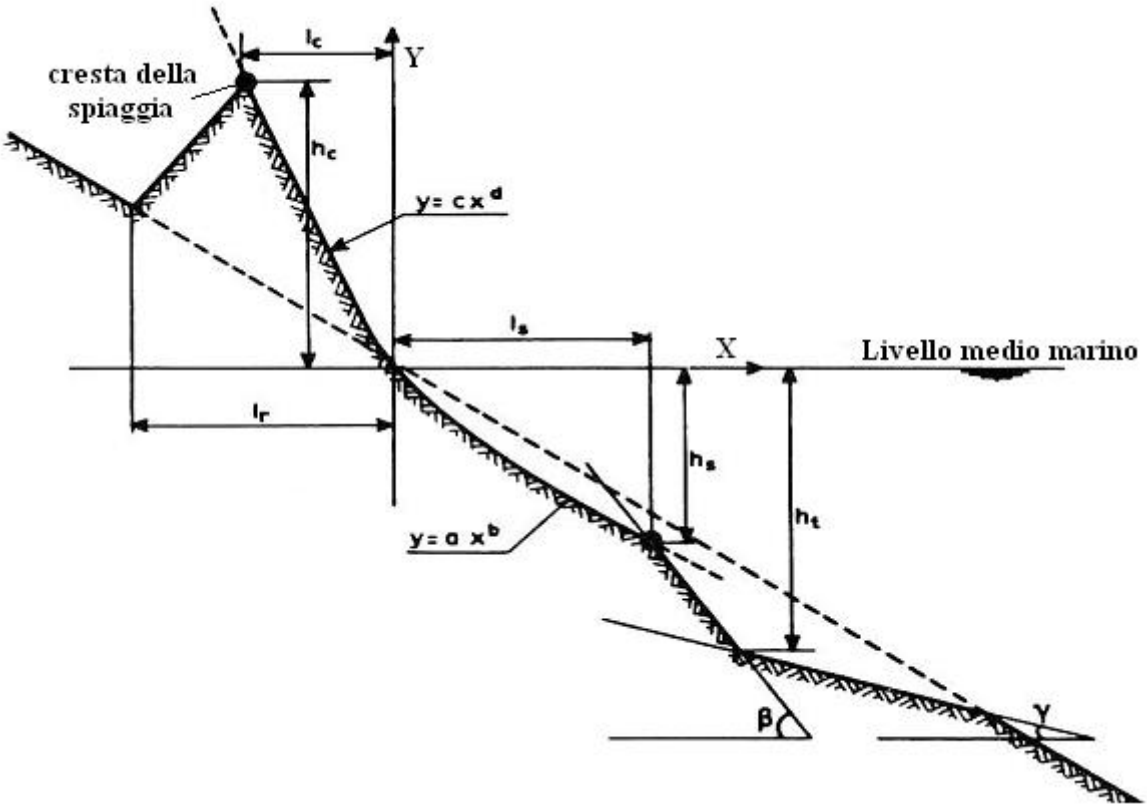
$$3 < \frac{H_{trasmessa}}{\Delta \cdot D_{n50}} < 500$$

ove D_{n50} corrisponde alla dimensione media dei sedimenti che compongono il volume di ripascimento inserito sul fronte dell'arenile ed eguale a circa 5 mm, Δ è il termine adimensionale che contempla il rapporto tra le densità dei granuli citati e dell'acqua marina, ossia $\Delta = \left(\frac{\rho_s}{\rho_a} - 1 \right) \cong 1.57$ ed, infine, $H_{trasmessa}$ denota coerentemente l'altezza dell'onda che oltrepassa, in maniera energeticamente attenuata, la struttura soffolta in questione, già impiegata ai fini del calcolo dei valori di run-up suindicati e correlati ad incidenze ondose relative a periodi di ritorno pari ad 1 anno e a 50 anni (sinteticamente, quindi, si rilevano elevazioni d'onda $H_{trasmessa}$ trasferite a tergo dell'opera sommersa, così come configurata secondo il progetto, pari a circa 0.98 m per stati di mare con periodi di ritorno equivalenti ad 1 anno e pari a circa 1.72 m per climi ondosi impattanti sulla costa in esame aventi un tempo di ritorno eguale a 50 anni, a partire dalle informazioni del clima ondoso presso il paraggio d'interesse, desumibili dal Testo tecnico regionale di riferimento precedentemente menzionato.

Con i dati appena richiamati si riscontra una sostanziale condizione di stabilità dinamica del volume di ripascimento posto a protezione della faccia della spiaggia tenuta in conto, con entità del rapporto $\frac{H_{trasmessa}}{\Delta \cdot D_{n50}}$ compresi nell'intervallo numerico suindicato (è doveroso precisare come, nel caso di attacchi d'onda contrassegnati da un periodi di ritorno pari a 50 anni, il valore estremo di detto range sia lievemente

superato, considerato lo stato deformativo dell'arenile protetto e sottoposto a tali impatti ondosi, comunque, rilevanti.

Di seguito si raffigura lo schema seguito dal procedimento d'analisi proposto da J.W. Van der Meer (1988), ai fini della stima del nuovo profilo assunto dall'arenile, qualora sia sottoposto all'incidenza ondosa:



Sinteticamente, sulla scorta delle prove sperimentali condotte, l'Autore appena nominato ha individuato le relazioni che, grazie ai vari parametri sotto elencati, permettono di definire le variazioni dell'assetto trasversale della spiaggia trattata:

- $H_{trasmessa}$ = altezza dell'onda trasmessa in corrispondenza della fascia di mare retrostante alla diga soffolta;
- T_m = periodo medio dell'onda trasferita a tergo della struttura sommersa ed impattante sull'arenile in questione;
- D_{n50} = diametro medio dei granuli che compongono il volume di ripascimento;
- $\Delta = \left(\frac{\rho_s}{\rho_a} - 1 \right) \cong 1.57$ densità relativa del materiale inerte impiegato nella quantità lapidea dedicata al ripascimento;

- N = numero delle ondazioni che partecipano all'attacco ondoso (tale dato è stato assunto in conformità alla durata della mareggiata che si abbatte sulla spiaggia esaminata, prevista dal metodo empirico adottato).

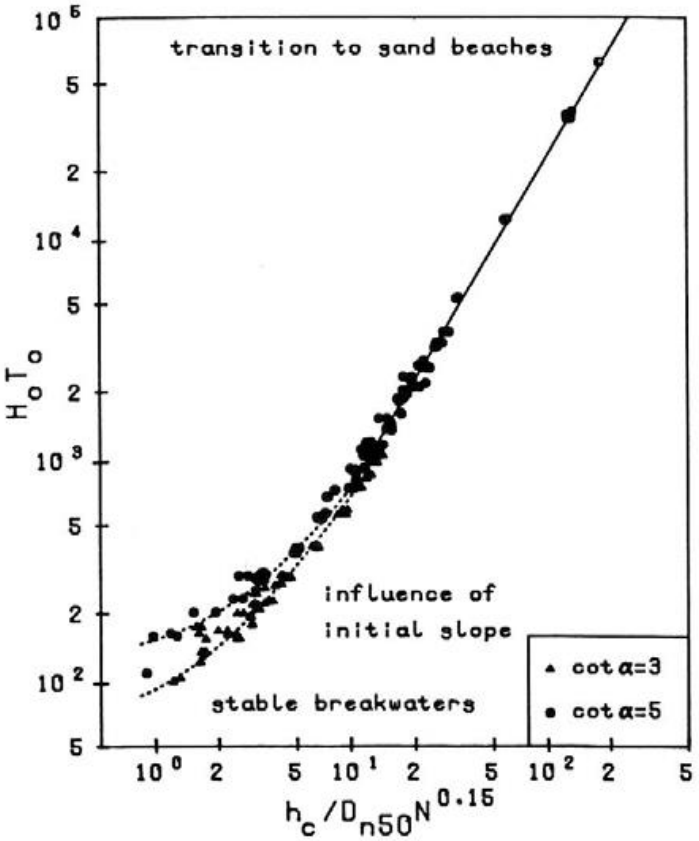
A questo punto, la determinazione dell'elevazione h_c raggiunta dall'arenile emerso, a seguito dell'incidenza ondosa trasmessa a tergo della diga soffolta, consente di derivare l'aumento ΔB, dovuto all'impatto ondoso, dell'altezza corrispondente alla parte apicale della spiaggia, misurato al di sopra della quota B impostata in fase di ripascimento nonché equiparata a 1.6 m, come da documenti progettuali del 2007 e tale per cui si ha che $\Delta B = h_c - B$.

Detta valutazione è identificabile generalmente sia a livello grafico, avvalendosi del diagramma seguente, sia attraverso l'impiego delle relazioni sperimentali riportate successivamente :

$$H_0 \cdot T_0 = \frac{H_{trasmessa}}{\Delta \cdot D_{n50}} \cdot T_m \cdot \sqrt{\frac{g}{D_{n50}}}$$

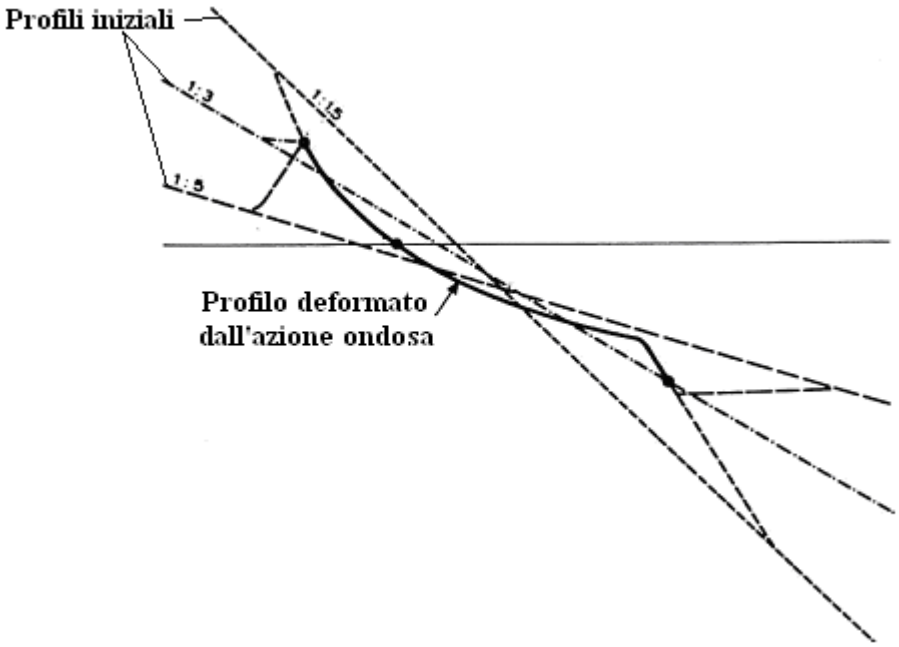
in cui $H_0 = \frac{H_{trasmessa}}{\Delta \cdot D_{n50}}$ e $T_0 = T_m \cdot \sqrt{\frac{g}{D_{n50}}}$

$$H_0 \cdot T_0 = 25 \cdot \left(\frac{h_c}{D_{n50} \cdot N^{0.15}} \right)^{\frac{3}{2}} \rightarrow h_c = D_{n50} \cdot N^{0.15} \cdot \left(\frac{H_0 \cdot T_0}{25} \right)^{\frac{2}{3}}$$

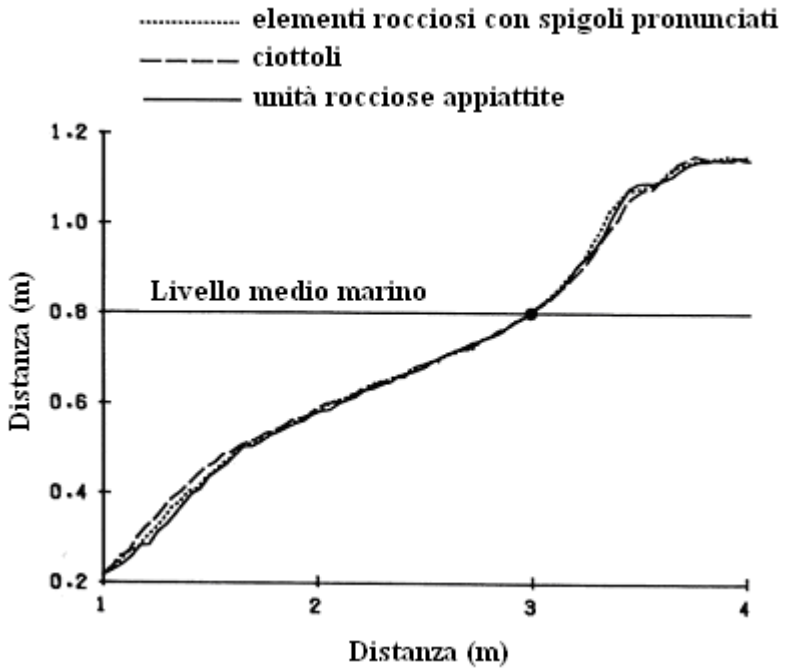


Le indagini empiriche condotte da J.W. Van der Meer (1988) hanno, inoltre, stabilito:

- i coefficienti correttivi da applicare alle grandezze geometriche del profilo, in funzione dell'eventuale obliquità dell'attacco ondoso;
- che per valori del rapporto adimensionale $\frac{H_{trasmessa}}{\Delta \cdot D_{n50}}$ > 15, l'evoluzione del profilo trasversale è sostanzialmente indipendente dalla pendenza iniziale del profilo stesso, come mostrato dall'immagine sottostante:



- che l'andamento del profilo trasversale non risente della forma dei sedimenti utilizzati nell'ambito dell'intervento di ripascimento, ma solo della loro grandezza, come raffigurato dal diagramma seguente:



Nella tabella che segue, sulla base delle informazioni sopra introdotte e verificata l'applicabilità del metodo sperimentale proposto da J.W. Van der Meer (1988) e che permette di definire la deformazione altimetrica ΔB suindicata, nonché riferita all'arenile in questione, protetto dall'intervento di ripascimento trattato, sono

indicate le variazioni di quota ricercate ed indotte dall'impatto dell'onda trasmessa oltre lo sbarramento sommerso collocato al piede di detto volume inerte:

D_{n50} sedimenti del ripascimento fronte spiaggia = 2.2 mm						
Periodo di ritorno (anni)	**Altezza d'onda incidente sulla barriera soffolta (m)**	**Elevazione dell'onda trasferita a tergo della struttura soffolta (m)**	$H_0 \cdot T_0$	h_c **(m)**	$\frac{h_c}{D_{n50} \cdot N^{0.15}}$	**Deformazione altimetrica della cresta emersa dell'arenile** $\Delta B = h_c - B$ **(m)**
1	1.8	0.98	$1.86 \cdot 10^4$	1.82	82.2	0.22
50	4.6	1.72	$4.33 \cdot 10^4$	2.86	144.3	1.26

Che permette di evidenziare l'essenziale contributo protettivo fornito dall'opera sommersa disposta alla base della spiaggia ripasciuta oggetto d'approfondimento, dato che le variazioni ΔB stimate per tale assetto, sono risultate notevolmente inferiori rispetto a quelle calcolate in una condizione di assenza della diga soffolta citata. In particolare, detti valori deformativi d'altezza ΔB riferiti ad una spiaggia preservata al piede dallo sbarramento lapideo in questione, come appena mostrati, sono stati quantificati oltre circa l'85% ed il 75%, delle corrispondenti entità dedotte in una condizione priva di struttura sommersa ed a parità di tempo di ritorno.