MOLFINO & LONGO

STUDIO DI INGEGNERIA

PROGETTO PER LA SISTEMAZIONE DEL PONTILE DELL'AREA DEMANIALE A SERVIZIO DEL COMPLESSO DELLA EX "COLONIA MARINA" E DEL RIPASCIMENTO DELLA SPIAGGIA ADIACENTE

CELLE LIGURE

Relazione – Revisione B – Ottobre 2011

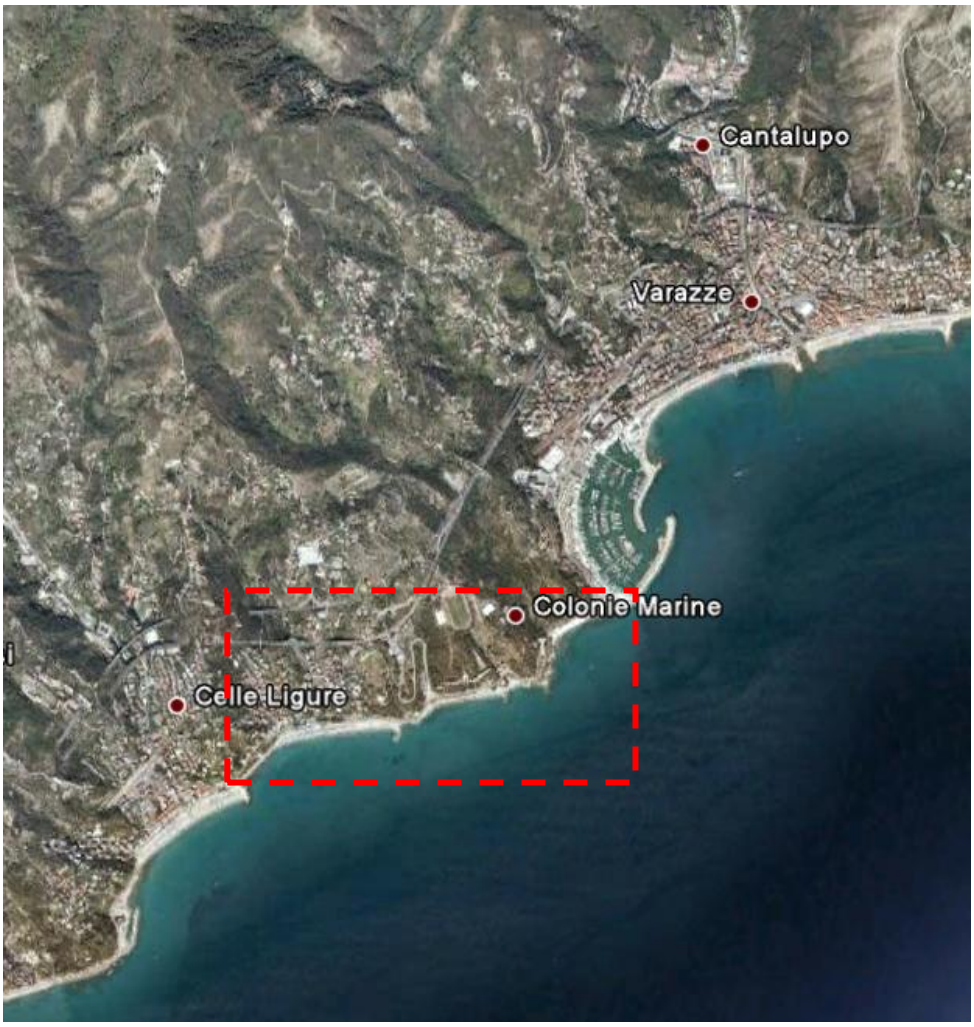
Ing. AGOSTINO MOLFINO - Ing. ELIO LONGO
16124 GENOVA - VIA INTERIANO, 3 - TEL. 010542577 - FAX 0105764586
E-MAIL molfinoelongo@genovaprogetti.it
CODICE FISCALE E PARTITA IVA: 02700700103

Sommario

1. Premessa 3
2. Parte I - Quadro conoscitivo del sito oggetto di intervento 7
2.1. Verifiche, rilievi ed indagini preliminari alla progettazione 7
Strumenti di programmazione e pianificazioni vigenti 7
Identificazione dell'unità fisiografica 14
Rilievo dello stato attuale e della tendenza evolutiva 17
Rilievi batimetrici 21
Indagini geognostiche 22
Analisi delle biocenosi marine 22
Qualità delle acque 23
Analisi meteo-marine 24
Clima ondoso al largo 28
Stato di mare di progetto 33
3. Parte II – Le opere 37
3.1. La scelta progettuale 37
3.2. Tipologia di difesa 38
3.3. Analisi dell'intervento 39
3.4. Ripascimento 46
3.5. Pennello 50
4. Piano di monitoraggio 52
4.1. Monitoraggio della dinamica costiera 52
Allegato 1 56

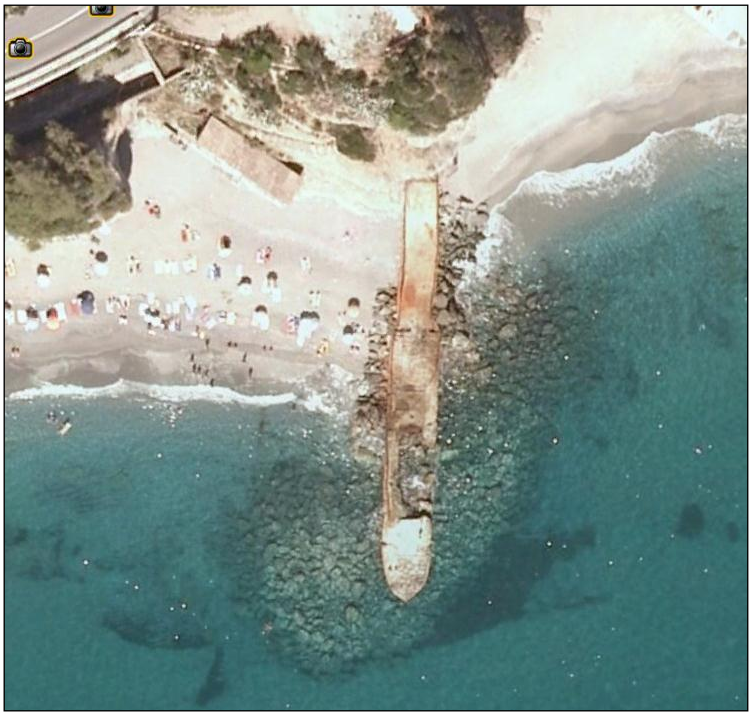
1. **Premessa**

Il progetto di seguito descritto riguarda la sistemazione del pontile che insiste sull'area in concessione demaniale in prossimità e a servizio del complesso immobiliare ex "Colonia Marina" nel comune di Celle Ligure in riferimento alla relativa richiesta di permesso di Costruire.




Colonie Marine
Celle Ligure
© 2010 Tele Atlas





Attualmente, il pontile si presenta in condizione di precarietà, in evidente stato di degrado, con la mancanza di parti della struttura in calcestruzzo armato e la fuoriuscita dei ferri dell’armatura come si può osservare nelle figure che seguono:





Questo stato di degrado avanzato è causato principalmente dalle insistenti mareggiate di Libeccio che hanno causato l'evidente erosione sul lato di Levante del pennello, tale situazione è ulteriormente aggravata dalla mancanza di una mantellata di protezione, prevista nel nuovo progetto.

Il paragrafo successivo si propone di introdurre la tematica della difesa dei litorali, proponendo, a livello nazionale ed in particolare a livello regionale, un inquadramento morfo – sedimentologico, lo stato erosivo dei litorali, le diverse tecniche di ripascimento adottabili ed, infine, le diverse tipologie di opere di difesa costiera realizzabili, incentrandosi principalmente sulla soluzione a pennelli trasversali.

Quanto di seguito esposto è frutto di ricerche supportate da relazioni redatte da: Piano Territoriale di Coordinamento della Regione Liguria, ENEA (Ente per le nuove tecnologie, l'energia e l'ambiente); Dipartimento Tutela dell'ambiente ed Edilizia; Dipartimento Pianificazione Territoriale, Paesistica ed Ambientale; ARPAL.

2. **Parte I - Quadro conoscitivo del sito oggetto di intervento**

2.1. Verifiche, rilievi ed indagini preliminari alla progettazione

Strumenti di programmazione e pianificazioni vigenti

All'interno della relazione che segue si farà più volte riferimento al P.T.C. della costa della Regione Liguria.

Nel suddetto piano sono contenute le disposizioni relative al piano di utilizzazione del demanio marittimo ed alla sua attuazione ed in particolare , negli art. 8 e 12 delle norme di attuazione del Piano, vengono esposti gli indirizzi di ordine generale e il rilascio delle concessioni demaniali.

A livello territoriale, la Provincia di Savona propone, sotto il profilo insediativo, una gamma abbastanza articolata di situazioni: le aree del ponente, che presentano problematiche per molti aspetti riconducibili a quelle riscontrabili nell'imperiese (problemi di mobilità, formazione di nuove città costiere, aspettative legate al raddoppio ferroviario); una zona con caratteristiche prettamente urbane, quella che si estende da Vado alle Albisole e interessata da un profondo processo di riorganizzazione che riguarda sia la base produttiva che la forma urbana con numerose ricadute sulle aree costiere ed infine una zona abbastanza particolare, quella di Celle e Varazze con valenze marcatamente turistiche non disgiunte da funzioni di servizio per le circostanti realtà metropolitane e un non trascurabile peso insediativo.

Per quel che riguarda il settore orientale della Provincia, il tratto di costa compreso tra Albisola Capo e Arenzano presenta un carattere particolare, in cui convivono un'anima turistica convenzionale, rivolta prevalentemente al mondo padano, ed una più orientata nel senso del servizio rispetto ai due poli urbani di Genova e Savona.

La costa presenta inoltre soluzioni di continuità e aspetti paesistici degni di tutela oltre a potenzialità, come il sedime ferroviario dei Piani di Invrea, non adeguatamente messi in valore.

Si tratta di temi e condizioni già messe in evidenza dal Piano Paesistico e dal P.T.C. Savonese Bormide.

Le aspettative di rilancio turistico caldeggiate dai Comuni, in particolare da quello di Varazze, dovranno misurarsi in primo luogo con il problema della riqualificazione urbana.

Come si può osservare nell'ambito di progetto A.P.19 che interessa principalmente la provincia di Varazze è presente un'indicazione relativa alla tutela e alla valorizzazione del promontorio di punta Aspera e della zona delle colonie.

Lo stato attuale delle coste liguri presenta accentuate condizioni di criticità e di vulnerabilità delle spiagge e più in generale della linea di costa, a causa del grado di artificializzazione raggiunto.

Inoltre vi è una netta distinzione tra litorale di ponente e di levante. Nel ponente il litorale fruibile è assai più esteso di quanto non sia per la provincia di Genova e la costa di levante anche sotto il profilo della unitarietà dei tratti di litorale fruibile, nel ponente esistono spiagge dotate di relativa estensione e continuità nell'ambito dei golfi e insenature di arco maggiore e minore rispetto a quanto si verifica nel levante, dove l'unico tratto di una certa continuità è rappresentato dal litorale del Golfo del Tigullio.

Altrettanto vale per la qualità delle spiagge per le quali il ponente presenta condizioni migliori del levante.

Il P.T.C. della Costa inoltre ribadisce l'importanza che il settore del turismo balneare ha per la Regione che rende ormai indispensabile un approccio adeguato ai tempi, in cui si integri l'originario concetto di difesa degli abitati (per cui gli interventi sono finalizzati alla protezione dell'aggressione marina) con quello di spiaggia come risorsa turistica (per cui gli interventi sono finalizzati al mantenimento o alla creazione di litorale fruibile e rappresentano un investimento che ha ampie ricadute nel comparto turistico).

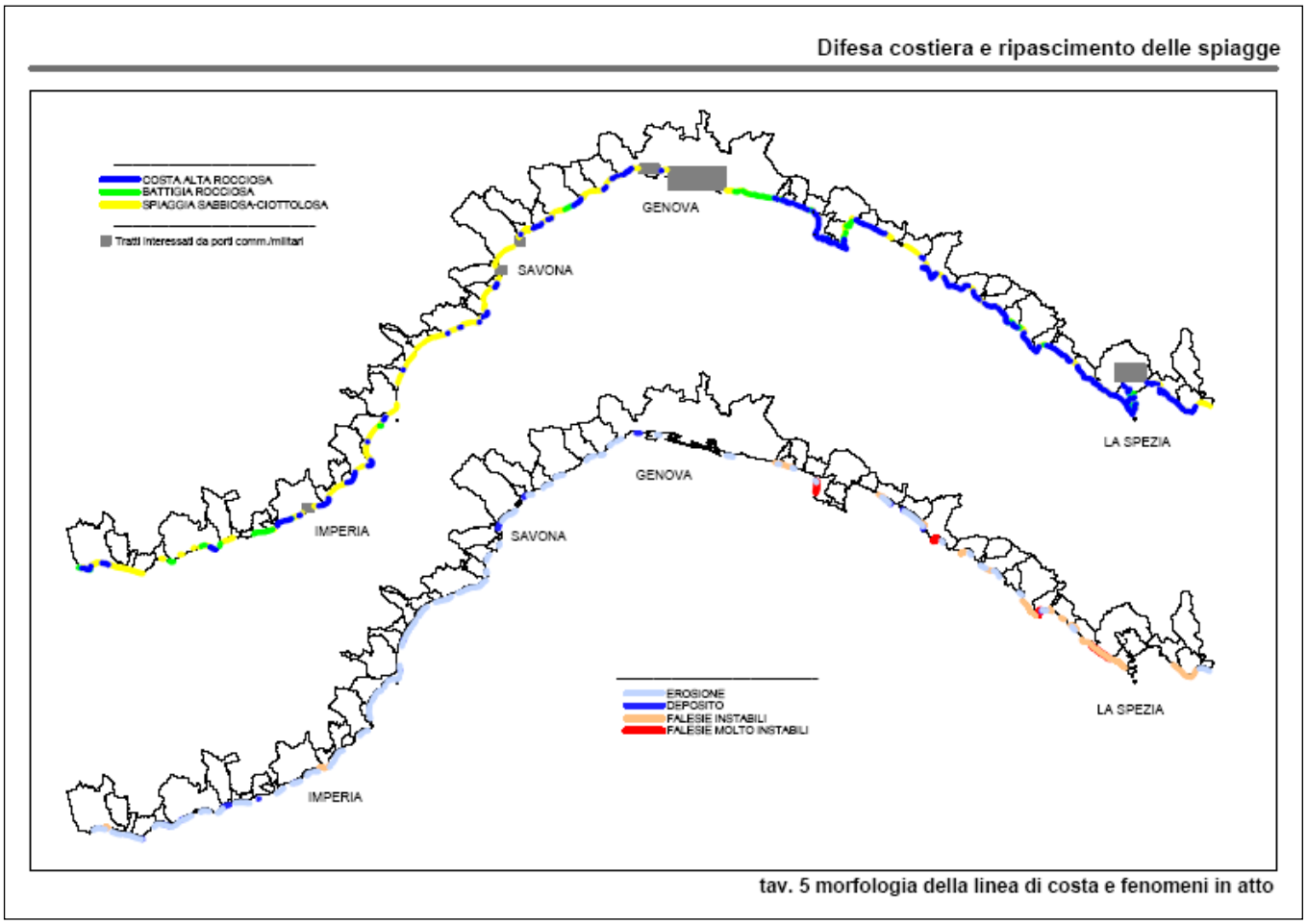
Il Piano si propone quindi di favorire condizioni di più naturale evoluzione della linea di costa e garantirne una maggiore stabilità attraverso un complesso di interventi organici basato su due componenti fondamentali:

a) una sistemazione dei bacini e delle aste fluviali (nonché un trattamento delle coste alte) funzionale a favorire il ripristino di un maggior trasporto solido a mare.

b) un sistema di opere di difesa e di ripascimenti non più caotico, improvvisato e controproducente come quello esistente ma adeguatamente studiato per tratti unitari del litorale e soprattutto coordinato con le altre componenti che rendono appetibile la costa ligure (il paesaggio, la qualità dei centri rivieraschi, le peculiarità naturalistiche, la mitezza del clima che consente stagioni particolarmente prolungate).

Ed è proprio su questo secondo aspetto che punta maggiormente la progettazione del ripascimento della spiaggia annessa alle colonie marine.

Si riporta di seguito la tavola 5 del paragrafo relativo alla "Difesa costiera e ripascimento delle spiagge" del P.T.C. della Costa.



Si osserva che il tratto in esame possiede una conformazione a spiaggia sabbiosa-ciottolosa in stato di erosione, come accade per la maggior parte del tratto costiero ligure.
Sempre secondo quanto contenuto nel piano, si riportano gli estratti relativi alle linee guida sul reperimento e sulla qualità dei materiali per il ripascimento e sulla tipologia delle opere di protezione:

Reperimento e qualità dei materiali per il ripascimento

La disponibilità di materiale idoneo per il ripascimento è un aspetto critico dal momento che rappresenta spesso il fattore limitante nelle fasi operative.
E' auspicabile quindi che si faccia fronte alla domanda di materiale per il ripascimento delle spiagge agevolando l'utilizzo prioritario in tal senso di tutte quelle fonti di materiali di risulta:

- idonei;
- che possono diventare idonei dopo trattamento o periodo di inertizzazione ragionevolmente praticabili.

Per il materiale derivante da opere di sistemazione idraulica dei corsi d'acqua, bisogna affermare che esso rappresenta il materiale che ha la massima vocazione per il ripascimento delle spiagge alimentate da tali fiumi, dal momento che sarebbe naturalmente destinato ad esse; tali sedimenti dovrebbero quindi essere totalmente utilizzati in questo senso; nel caso in cui i sedimenti non risultino idonei a causa di una contaminazione di origine fecale lo smaltimento in discarica rappresenta senz'altro uno spreco ed una soluzione non in linea con gli indirizzi volti alla gestione delle risorse in termini di riutilizzo. La soluzione del problema va perseguita:

- definendo delle modalità di stoccaggio (ad esempio la risistemazione in alveo sembra quella più facile) per evitare lo smaltimento in discarica e permettere di ripetere le analisi in un secondo momento;
- portando avanti un programma di ricerca (già avviato con Arpal) volto alla conoscenza del decadimento microbico a cui tali sedimenti vanno naturalmente incontro per pervenire ad un protocollo di riutilizzo su basi scientifiche e adeguato alle implicazioni igienico-sanitarie del caso.

Nel caso delle opere di infrastrutturazione pubblica e privata occorre affermare che, almeno fino a quando il trend sedimentologico delle nostre spiagge non sarà invertito, il materiale di risulta idoneo deve prioritariamente essere destinato al ripascimento delle spiagge; importante è che nel termine "idoneo" vengano comprese anche quelle frazioni di materiale che possono diventare adeguate dopo trattamenti ragionevolmente praticabili (selezione, macinatura, lavaggio); l'eventuale aumento del costo di tale materiale trattato deve essere valutato anche in termini di vantaggio ambientale conseguito.

Sotto il profilo della qualità del materiale occorre affermare la necessità di una adeguata attività istruttoria che assicuri che il materiale immesso nel sistema spiaggia sia compatibile con l'ecosistema e non ne alteri l'equilibrio.
A questo scopo occorre senz'altro pervenire ad un riordino e ad un completamento dei protocolli di istruttoria relativi alle diverse fonti di reperimento attualmente ipotizzabili:

⇒ materiale da sistemazione idraulica fiumi;
⇒ materiale di risulta dovuto ad opere pubbliche e private;
⇒ materiale da cava;
⇒ materiale importato da altri territori;
⇒ materiale da dune sottomarine.

Una corretta valutazione deve comprendere i seguenti aspetti:

- granulometria e forma del materiale;
- composizione mineralogica;
- eventuali contaminazioni (rifiuti, sostanze tossiche, microbiologia);
- modalità (spaziali e temporali) di sversamento.

Mentre da una parte occorre impedire l'utilizzo di materiale non idoneo, sarebbe auspicabile dall'altra prevedere possibilità di riutilizzo per quel materiale che potrebbe diventare adeguato dopo trattamento, affermando che il costo aggiuntivo del trattamento deve essere valutato in un'ottica di economia ambientale.

La tipologia delle opere di protezione

Le opere di protezione di un litorale in erosione possono essere di diverso tipo. A grandi linee si possono distinguere le difese parallele, che possono essere soffolte, aderenti o distaccate, le difese trasversali, cioè i pennelli ed i setti sommersi, e i ripascimenti artificiali. Ognuna di queste richiede condizioni particolari per essere efficace, e presenta comunque vantaggi e svantaggi. Per questo, quando si opera in difesa della costa, occorre una valutazione complessiva di tutti i parametri che caratterizzano il tratto di costa in esame.
A causa della conformazione e delle caratteristiche della costa ligure, si può affermare che, in generale, le difese parallele sono di scarsa efficacia e spesso sono dannose. Infatti, le difese soffolte sono in genere improponibili in quanto impediscono il ricambio dei sedimenti in senso trasversale, isolano la spiaggia dal flusso longitudinale ed infine determinano uno scadimento granulometrico rendendo difficile la presenza nella spiaggia emersa di sedimenti sottili, mentre le difese distaccate emerse devono essere molto massicce per resistere al moto ondoso e quindi determinano azioni di riflesso del moto ondoso che provocano il rigetto dei sedimenti verso gli alti fondali con conseguenze anche per il mantenimento delle spiagge vicine. Esse inoltre possono dar luogo ad effetti poco gradevoli per il paesaggio e per la balneazione (vedi ad esempio i casi di Vallecrosia, Arma, Recco, Moneglia).
Un tipo di intervento molto usato in Liguria, soprattutto per difendere opere a terra, sono le difese aderenti. Queste sono senza dubbio efficaci ma si sostituiscono alle spiagge e generano fenomeni di turbolenza che possono portare alla erosione rapida degli arenili vicini(vedi il caso di Albenga).
Le opere trasversali o pennelli possono essere efficaci soprattutto per modificare l'articolazione della costa e quindi la falcatura degli arenili , o per intercettare sedimenti che andrebbero dispersi in alti fondali.
Questo tipo di intervento richiede peraltro una profonda conoscenza del regime della costa e generalmente tempi lunghi di realizzazione (esempi di uso corretto di queste strutture si possono vedere a Spotorno, Finale, Celle, e Savona).In generale occorre tener presente che l'uso di questa struttura per intercettare materiale in transito deve essere molto oculato onde evitare immediati squilibri nelle spiagge sottoflutto.
L'uso di materiali di ripascimento associato ai pennelli consente di ottenere risultati ottimi ma necessita di grande sensibilità e competenza da parte dei progettisti.
L'alimentazione artificiale può essere assicurata dal gettito di materiale da ripascimento da posizioni predeterminate ad intervalli più o meno regolari a seconda delle necessità (a questo proposito nelle tavole che seguono sono indicate alcune posizioni già ripetutamente usate a questo scopo in passato e che devono essere mantenute per le operazioni future).
In alternativa, per interventi sporadici, aventi lo scopo non solo di manutenzione ma anche di intervento più incisivo la tipologia di intervento é essenzialmente di due tipi: si effettuano versamenti diretti sul tratto di spiaggia da ripascere, oppure preferibilmente si posizionano lungo la costa i cosiddetti "pennelli alimentatori", lasciando che sia il susseguirsi delle mareggiate a distribuire e lavare il materiale.
Si ricorda comunque che ogni intervento di ripascimento richiede sempre un dettagliato studio ed un'accurata scelta del materiale di discarica, in modo da ridurre al minimo eventuali conseguenze negative sull'ecosistema costiero.
Mentre sin da ora risulta consigliabile prevedere la possibilità di operare sulla costa mediante ripascimento, la scelta della metodologia operativa (per esempio versamento diretto su tutto un tratto di litorale oppure uso di pennelli alimentatori) dovrà essere indicata in fase successiva, sulla base di appositi studi, così come la tessitura del materiale da utilizzare, in modo da evitare interventi non corretti come già accaduto.
Si ricorda inoltre che il ripascimento artificiale delle spiagge è comunque un alterazione dell'equilibrio costiero e che quindi, se la costa tende all'erosione, questa tendenza (a meno di intervenire sul regime naturale di alimentazione) continuerà nel tempo ed il mare tenderà a riprendersi ciò che l'uomo artificialmente gli fornisce. Per questo motivo non ci si può limitare ad interventi puntuali e saltuari ma si deve attuare un programma di ripascimenti a lungo termine, anche tenendo conto della notevole quantità di materiale che si renderà disponibile a seguito dei grandi interventi infrastrutturali previsti in Liguria (raddoppio F.S., alta velocità, potenziamento viabilità).

Nello specifico, per quanto concerne il tratto compreso tra Capo Torre e Punta Aspera (comprendente le spiagge di Celle), nel suddetto Piano è stata redatta una scheda corredata di breve relazione, che tratta l'aspetto della difesa costiera e del ripascimento delle spiagge relative alla zona in esame, di seguito riportata:

TRA CAPO TORRE E PUNTA ASPERA - seconda parte della scheda relativa alla tav. 13

Sintesi della storia evolutiva

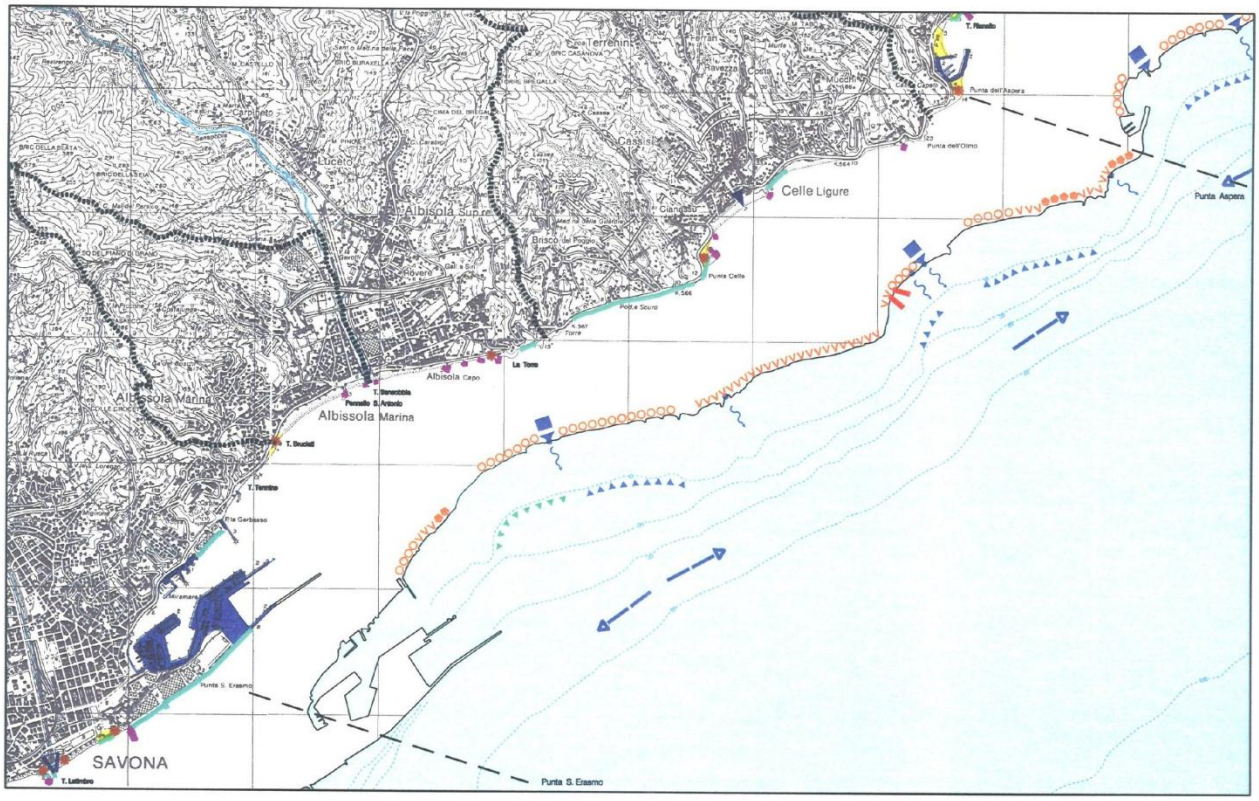
La spiaggia di Celle Ligure fu soggetta all'inizio del secolo ad un processo di gravissima erosione innescato, (come anche in parte per le Albissole) da prelievo di sabbie dai fondali (per la costruzione del porto di Savona).
La costruzione di una scogliera aderente, nel 1934, a difesa del rilevato ferroviario, fu scongiurata per la decisa opposizione della popolazione che ottenne una variante con costruzione di una palancolata al piede del rilevato ferroviario e di un pennello (di fronte alla stazione).
La spiaggia lentamente si stabilizzò ma l'erosione riprese con il primo dopoguerra a causa delle estrazioni di inerti dal Sansobbia.
L'istituzione di una discarica a Ponente (Craviolo) restituì l'equilibrio alla spiaggia.
Oggi a lato di questa discarica è stato ricavato un piccolo bacino soggetto a facile interrimento.

Problemi aperti

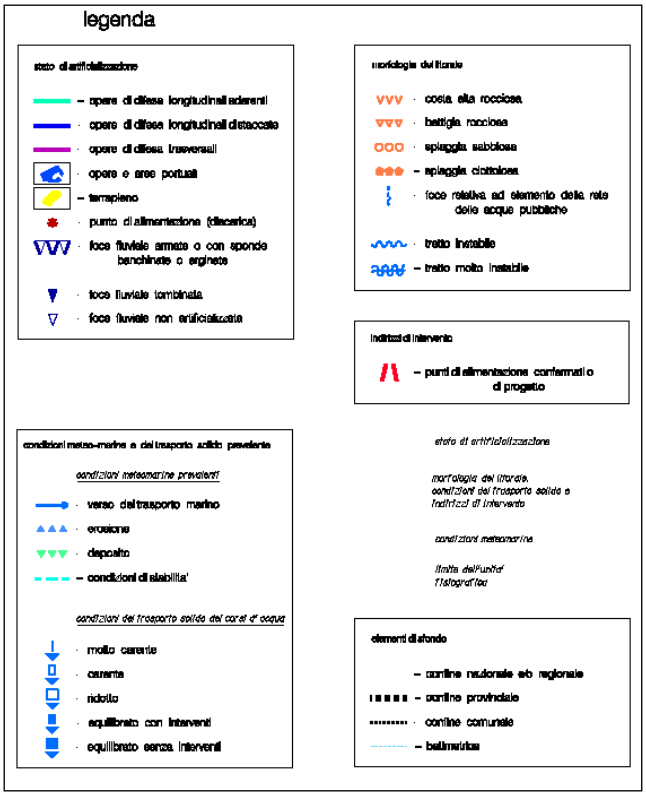
L'equilibrio della spiaggia di Celle ponente è soddisfacente mentre quella a levante (Piani) è come sempre reso difficile dal riflesso che si verifica in corrispondenza del promontorio.
Sarebbe opportuno, dato lo scarso interesse delle spiagge a levante del promontorio, la costruzione di un appoggio allo scopo di ottenere un'attenuazione del fenomeno di riflesso.
Lo studio redatto per conto del Comune di Celle, che propone, accanto alla costruzione di un appoggio, da studiarsi come consistenza ed orientamento, un adeguato ripascimento è meritevole della massima attenzione e sembra volto, se opportunamente tradotta in termini progettuali, al superamento del sopracitato effetto di riflesso.
In tale contesto andrà verificata la tutela delle grotte scavate dal mare in corrispondenza del promontorio.
Di seguito si riporta la tav.13 sopracitata.

Ricognizione delle condizioni attuali

Difesa costiera e ripascimento delle spiagge



tav. 13 – da Punta S.Erasmo a Punta dell'Aspera



Queste premesse risultano estremamente utili ai fini della valutazione della coerenza dell'opera a progetto con il principale strumento di programmazione e pianificazione territoriale in vigore, il già citato P.T.C. della Costa.

Identificazione dell'unità fisiografica

L'Italia ha uno sviluppo costiero di 7911.5 km ove sono ubicati importanti centri urbani ed industriali, infrastrutture viarie ed attività turistiche.

Le coste alte e/o rocciose (litorali di costiere ripide con eventuali tasche o nastri di spiaggia al piede) sono circa il 59%; le spiagge (litorali di costiere piatte con spiagge ampie sabbiose, localmente ghiaiose) rappresentano il 41%.

Più nello specifico, su una lunghezza di coste marine totale di 7911 km, abbiamo 4138 km di coste scoperte rocciose, 3181 km scoperti sabbiosi e 592 km di coste armate.

Per quanto concerne la Liguria, la suddivisione risulta essere: 189 km di coste scoperte rocciose, 41 km di coste scoperte sabbiose e 114 km di coste armate; per un totale di 345 km di lunghezza di coste marine (4.36% rispetto al totale).

Dal punto di vista mineralogico, i sedimenti costieri liguri e tirrenici sono prevalentemente Cartonatici.

ENEA ha definito 12 diverse tipologie di assetti morfo-sedimentimentologici a livello nazionale, come mostrato nella tabella che segue, dove sono contenute le lunghezze relative ad ogni tipologia.

Tipi morfo - sedimentologici	Lunghezza tratto naturale (km)	%	Lunghezza tratto armato (km)	%
Costa di falesia	*1092.083*	*14.9*	*8.837*	*1.5*
Costa articolata	*1721.354*	*23.5*	*142.868*	*24.1*
Costa terrazzata	*719.461*	*9.8*	*64.309*	*10.9*
Costa piattaformale	*180.982*	*2.5*	*26.784*	*4.5*
Costa di golfo	*605.485*	*8.3*	*104.373*	*17.6*
Costa di piana di conoide	*285.99*	*3.9*	*9.733*	*1.6*
Costa di litorale stretto	*575.655*	*7.9*	*29.115*	*4.9*
Costa di litorale diritto	*1216.636*	*16.6*	*45.072*	*7.6*
Costa di isola – barriera	*46.746*	*0.6*	*0*	*0*
Costa di laguna – baia	*540.172*	*7.4*	*84.509*	*14.3*
Costa di fronte delta	*231.408*	*3.2*	*7.454*	*1.3*
Costa di laguna, sacca, baia e bocca deltizia	*103.668*	*1.4*	*68.781*	*11.7*
Totale	*7319.639*	*100*	*591.854*	*100*

Per quanto concerne la Liguria, le tipologie presenti sono 6:

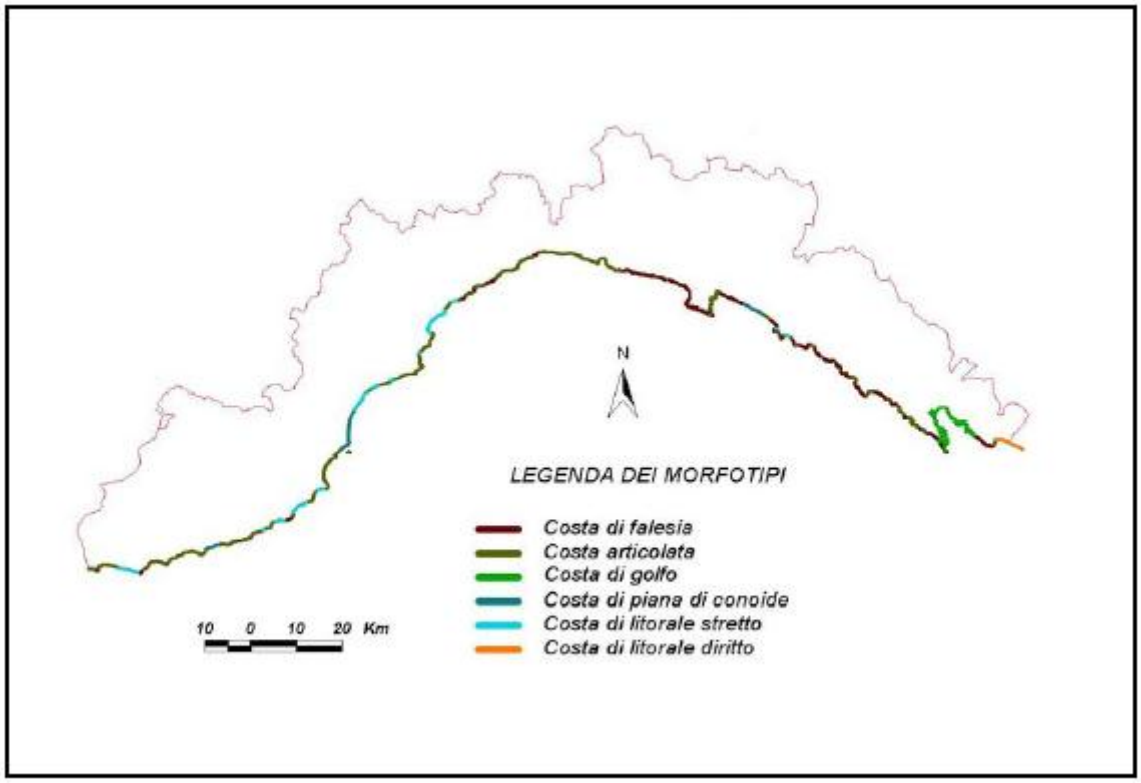
1. Costa articolata: è caratterizzata da rilievi montuosi o collinari affacciati direttamente sul mare. Il profilo sottomarino comunemente riproduce quello subaereo e, meno frequentemente, esibisce piattaforme di erosione. Il contatto

terra – mare è eventualmente rappresentato da seni di spiaggia comunemente in ghiaia. Gli apporti solidi provengono da corsi d'acqua ad alto gradiente e da accumuli di frana e crollo della parete dei rilievi.

2. Costa di falesia: è rappresentata da un profilo subaereo a strapiombo che si prolunga nella parte sottomarina. Il contatto terra – mare è rappresentato da pareti subverticali o strette falciature di spiaggia, comunemente in ghiaia. Gli apporti solidi provengono da corsi d'acqua ad alto gradiente e da accumuli di frana e crollo della parete.
3. Costa di golfo: la riva, in costa alta, non è esposta ai marosi del mare aperto, e la protezione dinamica naturale è spesso incrementata dalla presenza di moli e dighe foranee.
4. Costa di litorale dritto: il contatto terra – mare avviene su spiaggia sabbiosa ampia e diritta. Il profilo sottomarino è a bassissima pendenza con la presenza di barre. Il retrospiaggia si presenta con campi dunari stagni costieri e l'eventuale presenza di laghi costieri. Gli apporti dalla terraferma provengono da corsi d'acqua a basso gradiente. Si ha la presenza di foci non aggettanti in mare e con eventuali ali ciottolose.
5. Costa di piana di conoide: presenta una piana litorale acclive con isoipsa 50 m da meno di un km a qualche km da riva. La spiaggia, da sabbiosa a ciottolosa, e relativamente stretta e il profilo sottomarino è relativamente pendente. Gli apporti solidi, cospicui, provengono da corsi d'acqua ravvicinati a gradiente elevato, efficientemente trasportati dalla corrente lungoriva.
6. Costa di litorale stretto: la piana costiera è relativamente poco pendente, di larghezza massima da qualche centinaio di metri a qualche chilometro. Il contatto terra – mare avviene su litorale ampio che comunemente disegna falciature di costa da grandi a molto grandi. Il retrolitorale è spesso rappresentato da sistemi di terrazzi fluviali e costieri. Gli apporti solidi provengono da corsi d'acqua ad alto gradiente che alimentano un'Unità Fisiografica costiera spesso delimitata da promontori.

Nella tabella e nella figura successiva vengono mostrati, rispettivamente, le percentuali relative ad ogni tipologia e la loro ubicazione nel territorio costiero ligure.

Morfotipi	Lunghezza tratto naturale (km)	%	Lunghezza tratto armato (km)	%
Costa articolata	*87.984*	*38.2*	*67.652*	*59*
Costa di falesia	*87.239*	*37.8*	*6.211*	*5.4*
Costa di golfo	*14.139*	*6.1*	*24.134*	*21.1*
Costa di litorale diritto	*3.166*	*1.4*	*0.231*	*0.2*
Costa di piana di conoide	*8.713*	*3.8*	*7.603*	*6.6*
Costa di litorale stretto	*29.261*	*12.7*	*8.843*	*7.7*
Totale	*230.502*	*100*	*114.674*	*100*



Come già esposto in precedenza, vi è una netta distinzione fra litorale di ponente e levante. Nel ponente la spiaggia è più estesa e continua di quanto non sia per il tratto di levante, ed esistono inoltre golfi e insenature di arco maggiore e con minore profondità batimetrica rispetto a quanto si verifica nel levante, dove l'unico tratto di una certa continuità è rappresentato dal litorale del Golfo del Tigullio.

La pendenza del fondale marino dalla battigia fino all'isobata dei 5 m si mantiene estremamente elevata lungo tutto il litorale e in particolar modo in corrispondenza delle coste alte del tratto di levante, raggiungendo una punta massima del 10.5% nei pressi di Voltri a Nord di Genova.

L'unità fisiografica di riferimento è quella compresa tra Punta Aspera e il porto di Savona (linee blu nell'immagine seguente):



Rilievo dello stato attuale e della tendenza evolutiva

Da Regione Liguria (1999), si può leggere che fino al 1800 le spiagge liguri hanno subito un graduale aumento raggiungendo in questo periodo la massima estensione della linea di costa. L'inversione di tendenza inizia nei primi anni dell'800, con la costruzione dei primi cantieri per la linea ferroviaria costiera. Il suo passaggio portò non solo alla riduzione diretta della superficie delle spiagge, ma alla realizzazione di consistenti opere di difesa costituite generalmente da scogliere di massi radenti la costa, che costituirono il primo elemento di turbativa nelle dinamiche meteomarine e che crearono i primi processi erosivi, innescando un processo di effetto a catena di un opera per far fronte alla erosione provocata da una precedente.

Nel periodo post – bellico le dinamiche costiere vengono squilibrate da tre processi principali:

- forte prelievo di inerti dai principali bacini liguri, che riduce ai minimi il trasporto di materiali verso le spiagge;
- lo sviluppo dell'economia turistica, che porta non solo alla espansione lungo costa dei centri abitati, ma anche alla realizzazione dei primi porti turistici. La loro ubicazione, non ponderata rispetto agli effetti sul rimanente litorale, accentua in molti casi i fenomeni erosivi nei litorali di sottoflutto;
- la costruzione di scogliere aderenti e pennelli, finalizzati alla difesa di singole spiagge, realizzati in modo "disordinato" in quasi tutti i golfi della Liguria.

Al giorno d'oggi il litorale presenta accentuate condizioni di criticità e di vulnerabilità delle spiagge e più in generale della linea di costa, a causa del grado di artificializzazione raggiunto. Le situazione più acute di erosione sono riscontrabili:

- tra Capo Mele e Capo di Noli;
- tra Varazze e Arenzano;
- a Sud della foce del fiume Entella.

Il litorale presenta, come accennato anche in precedenza, varie tipologie di difesa rigida in corrispondenza di questi tratti, in particolar modo difese aderenti, ma anche opere trasversali e miste, mentre quelle longitudinali sono praticamente assenti.
Per quanto concerne i processi erosivi, lo stato dei litorali italiani, secondo l'Atlante delle Spiagge, risulta essere in uno stato di erosione evolutiva, come mostrato dalla figura successiva, in cui si denota un generale aggravamento dei fenomeni erosivi nonostante le attenuazioni prodotte localmente dagli interventi di difesa.



Nella tabella che segue si riporta il quadro dello stato dei litorali italiani.

REGIONE	Opere portuali e banchine		Coste alte		Spiagge								Totale km
					In erosione		In crescita		Stabili		Totale		
	km	%	km	%	km	%	km	%	km	%	km	%	
Veneto					18	11	20	13	122	76	160	100	160
Friuli Venezia Giulia	29	28	15	14	2	3	2	3	56	94	60	58	104
Liguria	63	18	177	50	47	40	3	3	66	57	116	32	356
Emilia Romagna	2	1			31	20	16	10	108	70	155	99	157
Toscana	14	3	242	51	122	57	22	10	72	33	216	46	472
Marche	4	2	37	22	57	44	7	5	65	51	129	76	170
Lazio	13	5	61	21	117	54	12	6	87	40	216	74	290
Abruzzo	3	2	23	19	48	48	2	2	49	50	99	79	125
Molise	1	3	2	6	26	81			6	19	32	91	35
Campania	16	5	172	49	44	27	5	3	113	70	162	46	350
Puglia	41	5	450	57	89	30	1	0	212	70	302	38	793
Basilicata			19	32	40	98			1	2	41	68	80
Calabria	4	1	125	17	196	32	23	4	394	64	613	82	742
Sicilia	37	4	436	41	140	24	36	6	401	70	577	55	1050
Sardegna	12	1	960	71	62	17	17	4	295	79	374	28	1346
Tirreno	125	4	1883	53	585	39	79	5	856	56	1520	43	3528
Adriatico	63	5	353	28	242	28	48	6	555	66	845	67	1261
Ionio	51	4	483	34	212	24	39	4	636	72	887	62	1421
ITALIA	239	4	2719	44	1039	32(*)	166	5	2047	63(*)	3252	52	6210(**)

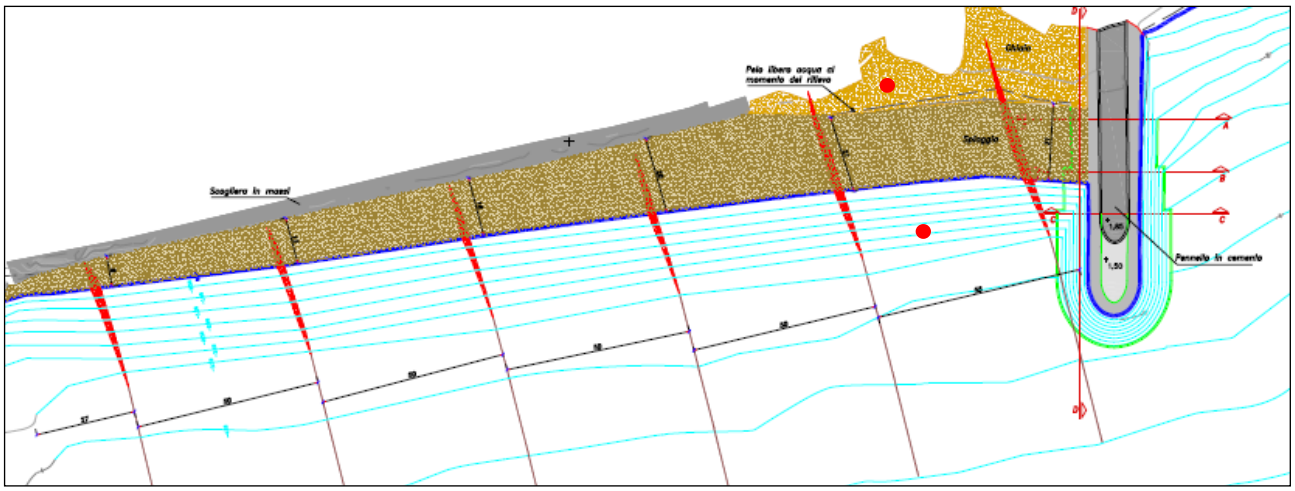
NOTE: (*) al valore relativo alle spiagge in erosione occorre aggiungere un ulteriore 10% (oltre 300 km), per quei litorali che sono stati resi stabili mediante opere di protezione. Pertanto le spiagge 'naturalmente' stabili costituiscono poco più del 50% del totale.
(**) compresa l'isola d'Elba; escluse le isole minori, i cui litorali hanna uno sviluppo di circa 1290 km.

- Tendenza evolutiva del litorale ligure.

Sulla base dei caratteri evolutivi sopraesposti, e sulla documentazione disponibile è possibile rilevare come la tendenza evolutiva delle spiagge liguri, che rappresenta circa il 60% della costa, sia fortemente indirizzata verso un'erosione generalizzata che le opere di difesa non riescono sempre a contrastare. Infatti dagli studi condotti negli anni '80 e '90 collegati alla redazione dei fogli liguri dell'Atlante delle Spiagge Italiane si evince il quadro evolutivo delle coste deposite liguri: 3% in naturale ripascimento, 18% in erosione, 79% stabili. L'alto valore relativo alla stabilità delle spiagge, al momento della redazione dei fogli dell'Atlante (1985-1990) risentiva significativamente della costruzione di opere di difesa o delle discariche poste in opera in conseguenza delle disponibilità di inerti dovuta principalmente alla sistemazione della rete viaria o ferroviaria.

L’aggiornamento degli studi sulla costa ligure collegati alla redazione del Piano Territoriale di coordinamento della Costa della Regione Liguria (PTC) (2000) ha rilevato come si sia (completamente o quasi) esaurito l’effetto degli interventi che rendevano relativamente stabili ampi settori della costa ligure. I nuovi dati collegati all’aggiornamento offerto dal Piano delle Coste mostrano come l’80% delle spiagge censite sia indicata in erosione e solo il 14% stabili e il 6% in avanzamento.

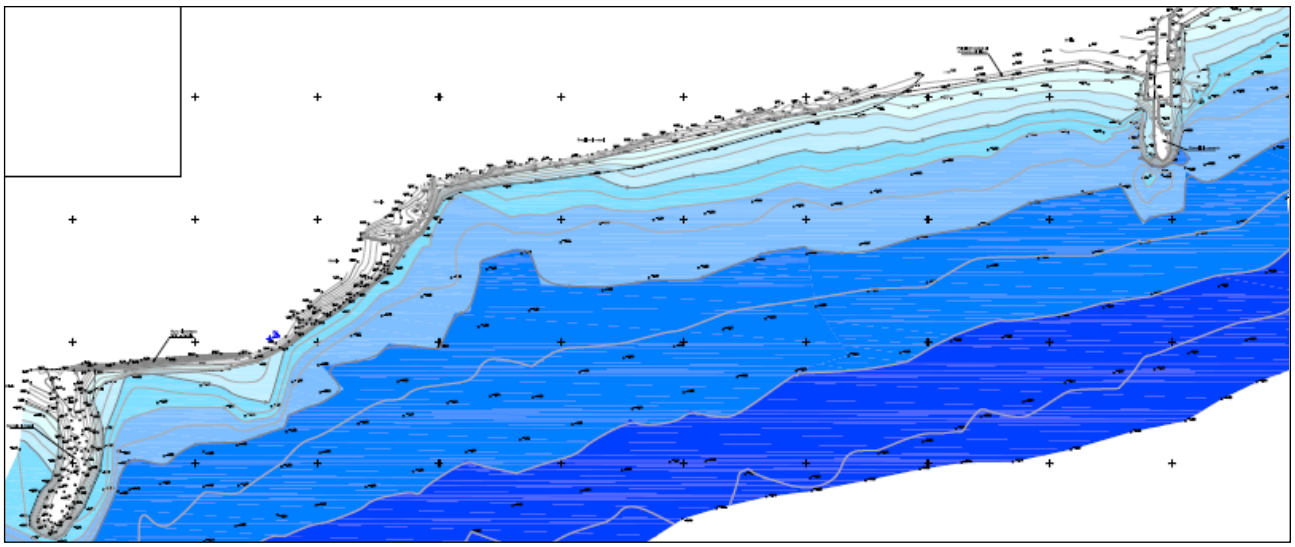
Per quanto riguarda la spiaggia del bacino in esame, sono state effettuate delle analisi granulometriche su due campioni, uno prelevato su spiaggia emersa, l’altro su quella sommersa (in corrispondenza della batimetrica -2.5), come indicato nella cartina sottostante con i due punti rossi:



I risultati sono riportati nell’Allegato 1.

Rilievi batimetrici

Nell’immagine che segue si riporta la batimetria della zona in esame.



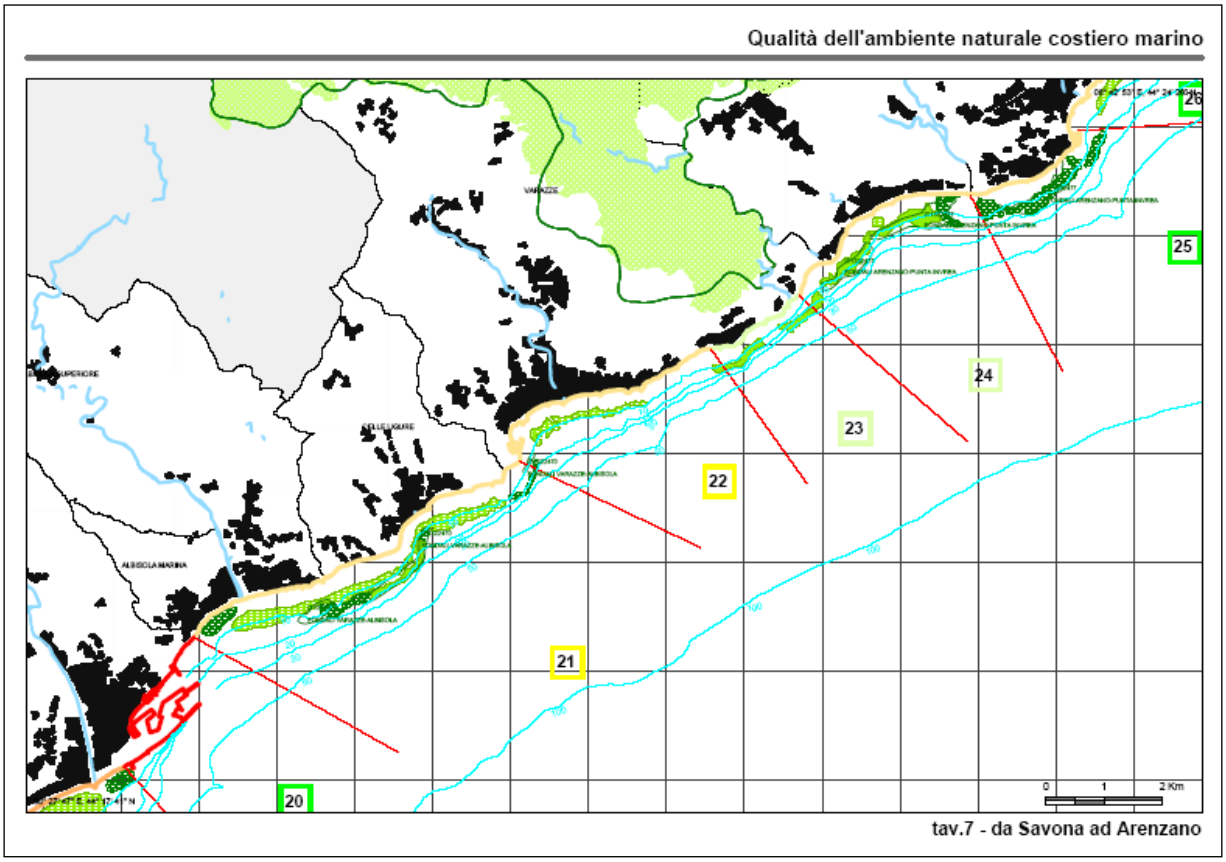
Si evidenzia come le batimetrie della spiaggia delle colonie sia molto similare a quella di Celle Piani, aspetto molto importante, che verrà sviluppato nel seguito della relazione.

Indagini geognostiche

L'intervento, data la sua consistenza limitata, non necessita di indagini geognostiche approfondite al fine della verifica di stabilità della fondazione.
Inoltre la configurazione del fondale non è tale dal presupporre un'indotta instabilità del complesso opera-litorale.

Analisi delle biocenosi marine

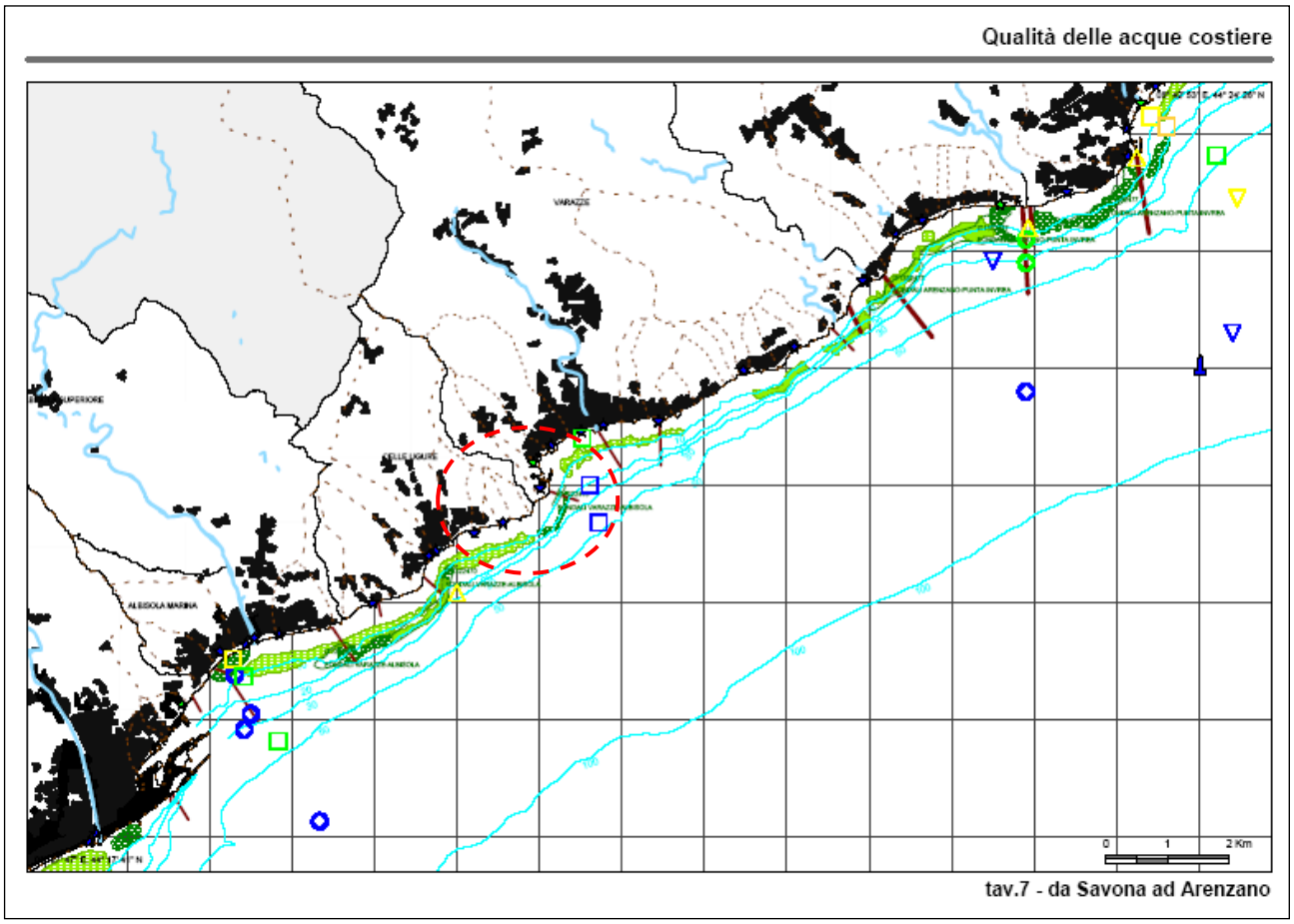
Secondo quanto contenuto all'interno del P.T.C. della Costa, la zona in esame risulta essere interessata da un prateria di posidonia oceanica molto degradata, che probabilmente costituisce il residuo di un'ampia prateria, scomparsa soprattutto in seguito allo sviluppo urbano ed industriale della zona.
Nella tavola successiva viene mostrato lo stato di conservazione delle biocenosi esistenti.

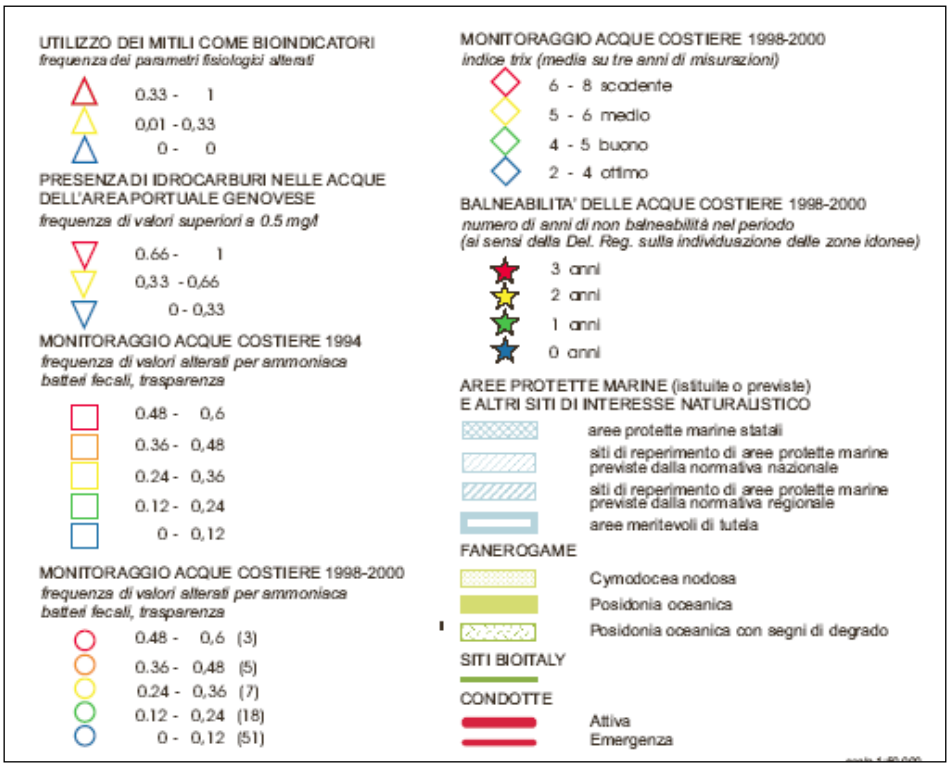




Qualità delle acque

Sempre secondo quanto contenuto nel P.T.C. della Costa della Regione Liguria, di seguito viene riportato lo stato attuale delle acque del sito in esame.





Il livello di conoscenza naturalistica del sito risulta essere medio, mentre il livello di naturalità si assesta su un grado medio-basso.

In ogni caso il tipo di opera è tale da garantire il naturale ricambio idrico delle acque antistanti il tratto di costa interessato.

Analisi meteo-marine

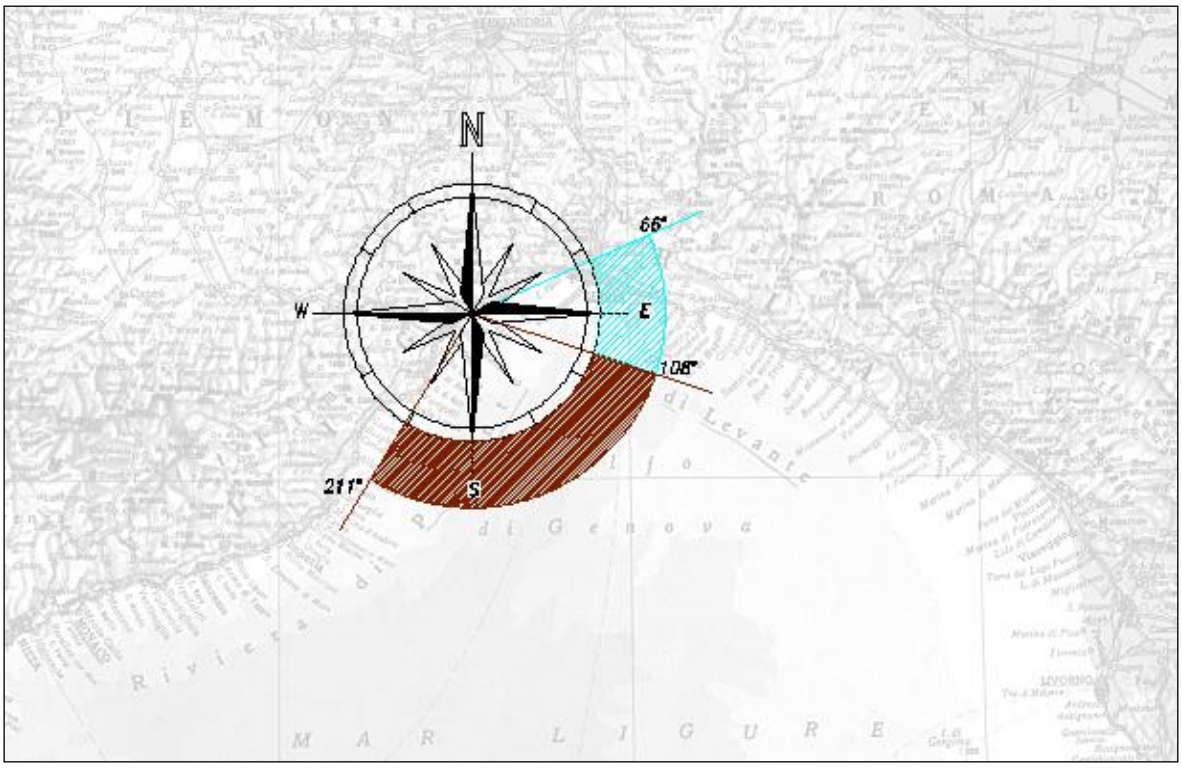
L'area è identificata catastalmente al Fg. 6 Mapp. 408; ricade nella zona F2 ID-CE del Piano Urbanistico Comunale. La normativa nella zona F2 consente l'intervento in oggetto evidenziando la necessità di riordino dell'arenile e di conseguenza del pontile stesso.

L'intervento si colloca in conformità con quanto previsto all'interno dei seguenti regimi di PTCP:

- Assetto insediativo ID CE
- Assetto geomorfologico CO
- Assetto vegetazionale COL ISS



Il paraggio risulta esposto ad ondazioni comprese nella traversia geografica delimitata dalle direttrici tangenti al litorale di Genova (DD. 66°) e a Capo Noli (DD. 211°).
Nell'ambito di tale settore, di ampiezza 145°, si individua un settore secondario, delimitato dalle tangenti al litorale di Genova ed all'isola di Palmaria, ed un settore principale, delimitato dalle tangenti all'isola di Palmaria (D.D. 108°) e a Capo Noli (DD. 211°).



Settore di traversia principale e secondario per il paraggio di Savona.

Il pontile risulta difeso dai mari più violenti del quadrante S.W. e S.S.W. dai promontori di Capo Noli e Capo Vado, mentre rimane esposto ai mari dai settori di levante e scirocco.

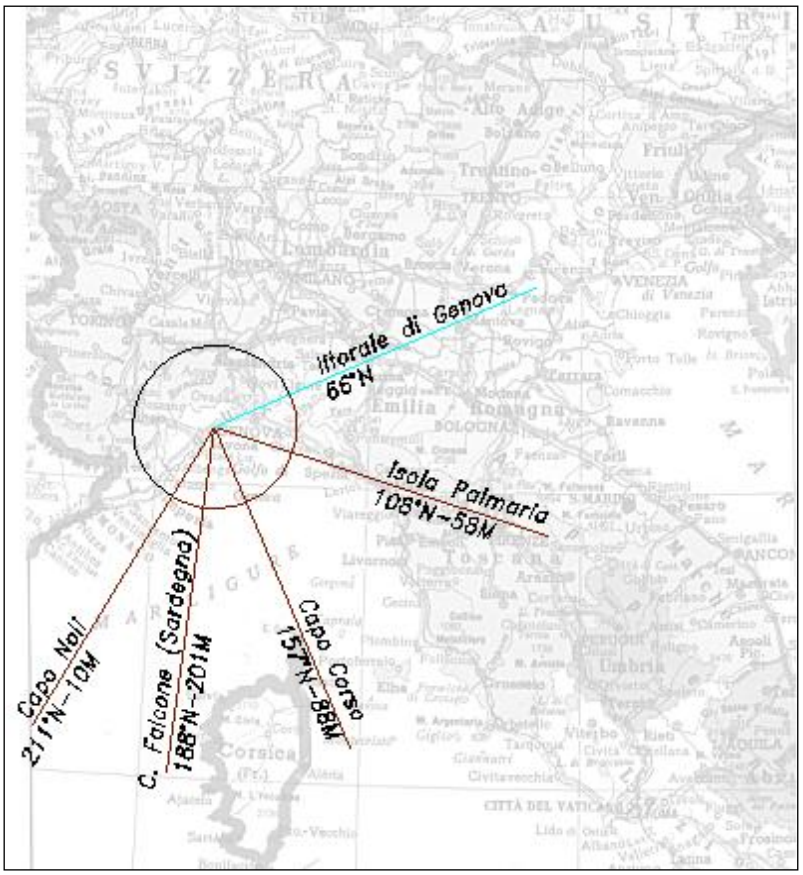
Il pontile è situato nel Golfo Ligure in zona relativamente protetta, infatti solo le onde provenienti fra 66° e 211° possono raggiungerlo.

Fra 188° e 201° la zona è aperta alle onde provenienti dalla costa africana.

Fra 157° e 188°, il fetch è limitato dalla presenza della Corsica e della Sardegna.

Fra 108° e 157° il fetch è nuovamente piuttosto lungo a causa della distanza fra la Corsica e la penisola italiana, anche se tale lunghezza è parzialmente limitata dalla presenza dell'isola d'Elba.

Infine fra 108° e 66° il fetch diminuisce gradualmente a causa dell'incurvamento progressivo della costa italiana.



Direzione e lunghezza in miglia dei fetches per il porto di Savona.

Il tratto costiero in esame è prevalentemente esposto alle mareggiate di Libeccio che, avendo un'incidenza molto elevata rispetto al litorale, hanno energia sufficiente ad indurre una rapida migrazione verso Est. Le mareggiate di Scirocco invece provocherebbero un trasporto verso Ovest, parzialmente evitato grazie alla presenza del pontile.

L'insistenza delle mareggiate di Scirocco hanno causato una maggiore erosione del pontile rispetto a quelle causate dalle azioni di Libeccio.
Attraverso indagini in sito riguardanti le zone costiere esposte principalmente al Libeccio hanno confermato questa teoria; ciò trova conferma se si osservano le spiagge del litorale savonese e della vicina Albissola, che possiedono lo stesso orientamento della spiaggia di Celle Ligure.
Infatti le spiagge savonesi, non avendo protezione nei confronti del Libeccio, hanno un deposito più marcato verso Levante, mentre la spiaggia di Albissola, essendo protetta ad Ovest dal Porto di Savona, risulta quasi esclusivamente esposta alle mareggiate di Scirocco con conseguente trasporto verso Ovest in direzione Albissola Marina, a scapito di quello di Albissola Superiore; a tal proposito nel recente passato vennero realizzati due

moli guardiani in corrispondenza della foce del torrente Sansobbia con lo scopo di stabilizzare il ripascimento.

Questo inciso è utile per poter determinare in maniera precisa la soluzione più adeguata per quanto riguarda il rifacimento del pontile della spiaggia dell'area demaniale a servizio del complesso dell'ex "colonia marina"; infatti realizzando una mantellata con un'estensione maggiore rispetto a quella attuale si potrebbe proteggere in maniera più significativa la spiaggia dalle mareggiate di Scirocco favorendone il deposito verso Est.

I fenomeni di diffrazione e riflessione non saranno considerati, in quanto la tipologia di opera non presenta caratteristiche geometriche tali da rendere significativo tale fenomeno nei confronti dell'assetto costiero.

Clima ondoso al largo

Allo scopo di determinare l'onda di progetto, è stato utilizzato uno studio effettuato per il porticciolo turistico di Albisola, che si riporta nelle pagine seguenti. In particolare si fa riferimento agli Studi Idraulici elaborati dal Delft Hydraulics Laboratory (1986) e agli Studi meteomarini della costa di ponente elaborati dall'Università degli Studi di Padova (2002).

"Nel periodo 1961/1980 sono state effettuate delle osservazioni visive delle onde da parte dei capitani delle navi in transito in tutte le aree del mondo; osservazioni che sono state raccolte ed analizzate dall'Istituto Meteorologico Reale Olandese (K.N.M.I.).

[…]

	DIREZIONI						
Hs [m]	60°-75°	75°-105°	105°-135°	135°-165°	165°-195°	195°-205°	205°-60°
0 – 0.25	1.71	2.45	0.61	0.70	0.72	0.37	6.56
0.25-0.75	1.51	2.24	1.70	2.10	2.10	0.97	10.62
0.75-1.25	0.27	0.91	0.97	1.70	1.50	0.97	6.32
1.25-1.75	0.03	0.33	0.31	0.43	0.59	0.57	2.26
1.75-2.25	0.01	0.08	0.19	0.21	0.39	0.32	1.20
2.25-2.75		0.02	0.06	0.11	0.05	0.09	0.33
2.75-3.25		0.01	0.03	0.05	0.04	0.05	0.18
3.25-3.75			0.02	0.01	0.03	0.02	0.08
3.75-4.25				0.01	0.01	0.03	0.05
4.25-4.75					0.01		0.01
4.75-5.25							
5.25-5.75			0.01				0.01

5.75-6.25						0.01	0.01
Totale	**3.53**	**6.04**	**3.90**	**5.32**	**5.44**	**3.40**	**27.63**

valori in percentuale di tempo;
$H_s = H_v$.

Altezze d'onda al largo.

Dalle osservazioni delle onde per le direzioni 105° e 205° sono stati calcolati i valori medi dei periodi d'onda caratteristici delle diverse classi d'altezza d'onda. Fra periodo di picco spettrale ed il periodo osservato visivamente si è assunta come valida la relazione $T_P = 1.08T_V$. *I valori così ottenuti sono stati confrontati con la relazione teorica secondo lo spettro Jonswap standard:* $T_P = 4.5\sqrt{H_S}$, *e si è visto che esiste un buon accordo fra i valori medi ricavati dalle osservazioni K.N.M.I. e la relazione teorica a supporto della selezione dello spettro Jonswap standard.*

Per le direzioni 60°-75° e 75°-105° sono state assunte le relazioni:

$T_P = 4.35(H_S)^{1/3}$ *e* $T_P = 4.88(H_S)^{1/3}$

[…]

Negli studi effettuati nei Laboratori di Delft, si fa riferimento alle altezze d'onda significative ed ai relativi periodi di picco per vari periodi di ritorno così come ottenuti dalle distribuzioni di Weibull, di cui sono stati calcolati i parametri per le varie direzioni di provenienza delle onde.

In particolare si sono considerate due condizioni limite per il modello: una direzione principale d'onda (135°) ed una secondaria (195°). […].

PERIODO DI RITORNO	Hs [m]	Tp [s]
1 anno	2.73	7.4
10 anni	4.08	9.1
30 anni	4.72	9.8
50 anni	5.02	10.1

Altezza d'onda e periodi di picco a profondità infinita per la direzione 135°.

[…]

Per determinare le statistiche d'onda estrema si è fatto riferimento alla distribuzione Gumbel o Weibull. Tale distribuzione è caratterizzata da:

$$P(H \leq h) = 1 - \exp[-(h-a)c/b]$$

dove:

h *è il valore estremo considerato;*

P(H ≤ h) è la probabilità di occorrenza di eventi inferiori al valore estremo considerato;

a *è un parametro di localizzazione;*

b *è un parametro di scala;*

c *è un parametro di forma.*

La probabilità di eccedere un dato valore è pari a:

$$P(H > h) = 1 - P(H \leq h)$$

Sulla base dei dati disponibili per le varie direzioni si sono determinati i tre parametri per la funzione distribuzione di probabilità.

	DIREZIONI					
	60°-75°	75°-105°	105°-135°	135°-165°	165°-195°	195°-205°
frequenza di occorenza per direzione	3.53%	6.04%	3.90%	5.32%	5.44%	3.40%
Parametri Weibull:						
a	0.0901	-0.0935	0.1604	0.1116	0.1163	0.1113
b	0.2730	0.5380	0.6022	0.7107	0.7489	0.9733
c	0.9342	1.1964	0.9480	1.1697	1.1180	1.1178
Coeff. correlazione	0.9992	0.9995	0.9967	0.9985	0.9982	0.9941

Parametri della distribuzione Weibull per le varie direzioni di provenienza delle onde.

La durata di una mareggiata è stata considerata di 6 ore e ciò significa che una mareggiata all'anno corrisponde ad una percentuale 6 : (365x24) x 100%.

Per determinare i valori estremi dalla distribuzione Weibull, il valore così ottenuto deve essere moltiplicato per un fattore 100/percentuale di occorrenza della direzione considerata, per tener conto del fatto che le distribuzioni Weibull sono tutte normalizzate al 100% di occorrenza in tutte le direzioni. Ad esempio: la direzione 135°-165° è presente per il 5.32% del tempo. Quindi la percentuale da considerare per la mareggiata annuale è: 6 : (365x24) x 100 x 100 : 5.32 = 1.29%.

Il valore di P(H ≤ h) è quindi 1 - 1.29% x 10-2 ed h può essere determinata dall'inverso della distribuzione Weibull per questa direzione d'onda.

	DIREZIONI											
	60-75°		75°-105°		105°-135°		135°-165°		165°-195°		195°-205°	
Periodo di ritorno	HS [m]	TP [s]	HS [m]	TP [s]	HS [m]	TP [s]	HS [m]	TP [s]	HS [m]	TP [s]	HS [m]	TP [s]
0.5 anni	0.97	4.3	1.72	5.8	2.26	6.8	2.38	6.9	2.88	7.6	2.88	7.6
1 anno	1.17	4.6	1.99	6.1	2.72	7.4	2.74	7.4	3.4	8.3	3.41	8.3

10 anni	1.86	5.3	2.86	6.9	4.27	9.3	3.89	8.9	5.13	10.2	5.11	10.2
30 anni	2.20	5.7	3.25	7.2	5.03	10.1	4.41	9.5	5.96	11.0	5.89	10.9
50 anni	2.35	5.8	3.43	7.4	5.38	10.4	4.65	9.7	6.34	11.3	6.25	11.3
100 anni	2.57	6.0	3.67	7.5	5.86	10.9	4.89	10.0	6.86	11.8	6.74	11.7

Altezze d'onda e periodi di picco per vari periodi di ritorno, ottenuti dalle distribuzioni Weibull.

[…]

Per la determinazione degli effetti sulla costa nel rapporto di Delft si è utilizzato il programma ENDEC (realizzato dal Delft Hydraulics Laboratory).

Tale programma calcola la perdita di energia (ENergy DECay) di onde irregolari che viaggiano (obliquamente) su batimetriche rette e parallele, tenendo conto, contemporaneamente, degli effetti di shoaling e rifrazione.

Per i vari periodi di ritorno si è valutata l'evoluzione dell'onda dal largo verso riva, fino alla profondità di –50 m, profondità utile ai fini dello studio effettuato nei Laboratori di Delft.

[…]

Le variazioni del livello dell'acqua, causate dall'azione delle maree, sono state ricavate dalle tabelle di marea relative a Genova e cioè:

- Mean High Water Spring (M.H.W.S.) = C.D. + 0.3 m
- Mean High Water Neap (M.H.W.N.) = C.D. + 0.2 m
- Mean Low Water Neap (M.L.W.N.) = C.D. + 0.2 m
- Mean Low Water Spring (M.L.W.S.) = C.D. + 0.1 m

[…]

Descrizione del codice di calcolo MIKE 21 NSW

Nella prima fase dello studio della propagazione del moto ondoso si è indagato sul trasferimento dal largo alle zone costiere considerando l'intero paraggio di indagine, […]. In particolare in questa fase si sono determinate le caratteristiche delle onde in un numero discreto di punti prossimi alle aree di indagine, necessarie per lo svolgimento dei successivi studi idrodinamici e morfologici di dettaglio.

Il codice di calcolo consente di simulare il moto ondoso in zone costiere tenendo conto dei fenomeni di shoaling, rifrazione, attrito di fondo, frangimento, interazione tra moto ondoso e correnti, generazione locale di onde dovuta al vento e dispersione direzionale dello spettro energetico che caratterizza il moto ondoso.

La griglia con cui viene discretizzato il campo di integrazione è costante sia nelle direzioni x e y che nella direzione di propagazione θ. La griglia deve essere scelta in modo tale da

garantire un'adeguata risoluzione nella rappresentazione della batimetria, del campo di venti e di correnti nel piano x, y e del campo d'onda nello spazio x, y, θ.

La dissipazione di energia per attrito sul fondo viene regolata con il parametro di scabrezza di Nikuradse. Per quanto concerne la perdita di energia dovuta al frangimento il MIKE 21 NSW utilizza la formulazione di Battjes e Janssen.

[…]

[…] Nel modello sono state imposte condizioni ondametriche che vengono mediamente superate solo in pochi giorni nell'anno.

Si sono perciò considerate le onde calcolate, con il modello descritto in precedenza, avendo assunto altezza d'onda significativa Hs = 0.75 m per la direzione di propagazione MWD = 75°N, e Hs=1.5 m per MWD = 90°N, 120°N e 150°N. Le caratteristiche delle onde considerate nelle simulazioni matematiche sono riportate nella seguente tabella. Con riferimento a tale tabulato si può notare che le onde non subiscono apprezzabili alterazioni nella propagazione dal largo alla zona dell'imboccatura, viste le profondità relativamente elevate dell'imboccatura portuale.

Essendo le profondità locali nella zona dell'imboccatura tali da non provocare il fenomeno del frangimento dell'onda, è stato possibile escludere dal modello questa condizione, ottenendo in questo modo un modello semplificato lineare. Ciò sta a significare che la "risposta" del bacino portuale, in termini di coefficiente di diffrazione (rapporto tra l'altezza d'onda locale e l'altezza d'onda incidente) è indipendente dal valore di H assunto.

ONDA AL LARGO			ONDA TRASFERITA SOTTOCOSTA			
Hmo (m)	Tm (s)	MWD (°N)	Hm (m)	Tm (s)	Tp (s)	MWD (°N)
0.75	4.0	75	0.75	4.0	4.8	75
1.50	6.0	90	1.50	6.0	7.3	90
1.50	6.0	120	1.50	6.0	7.3	120
1.50	6.0	150	1.50	6.0	7.3	150

Onde di input adottate per il calcolo del moto ondoso.

In altre parole, se ad esempio il modello matematico fornisse un coefficiente di diffrazione pari a 0.5, ciò significherebbe che, in quel punto l'altezza d'onda è prevedibilmente pari a metà del valore dell'onda incidente.

Alla luce della precedente osservazione si è ritenuto conveniente adottare un valore unitario per l'altezza d'onda e valutare di conseguenza il "coefficiente di diffrazione" in tutto il campo di moto […].

Lo studio della propagazione del moto ondoso è stato anzitutto effettuato implementando il modulo EMS (Elliptic Mild Slope) del citato pacchetto MIKE21 del Danish Hydraulic Institute.

L'applicazione del modello EMS comporta la costruzione di una serie di griglie di calcolo in grado di rappresentare tutti gli aspetti geometrici della zona in esame. Si sono costruite tre diverse griglie: una che rappresenta la planimetria della zona di studio e la batimetria locale (BATH layer), una che definisce i contorni "assorbenti", per evitare di propagare l'onda al di fuori della zona di studio, consentendo quindi di ridurre sensibilmente i tempi di calcolo (SPONGE layer) ed una infine che definisce i coefficienti di riflessione, in funzione del periodo dell'onda incidente e della profondità locale (POROSITY layer). Con riferimento a quest'ultima griglia, si è perciò costruita una differente griglia Porosity per ogni onda avente diverso periodo.

La dimensione delle celle di calcolo di 4 m di lato è dettata dal fatto che, nella discretizzazione dell'equazione differenziale ellittica, il codice di calcolo necessita di almeno 10 punti per lunghezza d'onda.

[…]

Calcolo dell'altezza d'onda

Per individuare il clima ondoso in un paraggio marino è necessario precisare il periodo di ritorno (R) di determinati eventi ondosi e la probabilità di accadimento di tali eventi in un intervallo temporale che in genere coincide con la vita prevista dell'opera marittima.

Per determinare l'onda di progetto al largo si è fatto riferimento ad un periodo di ritorno pari alla durata di vita dell'opera, assunta pari a 50 anni; così facendo la probabilità che durante la vita V dell'opera si abbia una mareggiata con il periodo di ritorno pari alla vita dell'opera (R = V) è del 63% (relazione di Borgmann).

***Facendo riferimento ai valori forniti da Delft si è assunta, alla profondità di -200 m, una altezza d'onda al largo pari a 5.02 m, caratterizzata da un periodo di picco TP = 10.1 s.** […]".*

Stato di mare di progetto

Prendendo come dati di input l'altezza d'onda al largo e il periodo di picco sopra sottolineati, è stato sviluppato il calcolo dell'onda di progetto secondo la relazione di Goda.

Durante l'evoluzione dal largo verso riva su fondali acclivi le onde subiscono modifiche di alcune grandezze quali l'altezza d'onda, la direzione di propagazione e la densità di energia.

Nelle ipotesi di:

- Modesta pendenza del fondo → profondità localmente costante;
- Assenza di fenomeni dissipativi;
- Batimetriche rettilinee e parallele alla linea di riva → schema bidimensionale;
- Onde Stokiane;

si distinguono i due casi:

attacco frontale: l'unica trasformazione geometrica del moto ondoso è data dal fenomeno dello *shoaling* che è una trasformazione bidimensionale dell'onda che ne provoca il progressivo accorciamento, rallentamento ed incremento di altezza durante l'avanzamento su profondità decrescenti.

Il processo di shoaling è un fenomeno di tipo conservativo che si esplica nella conservazione del flusso medio di energia nella direzione di propagazione x del moto ondoso. Questo può essere sinteticamente espresso tramite le due relazioni:

$$\frac{d}{dx}(cgE) = 0 \qquad \rightarrow \qquad Ef_0 = Ef \qquad \rightarrow \qquad cg_0 \rho g H^2 / 8 = cg \rho g H^2 / 8$$

In condizioni di attacco frontale pertanto l'andamento delle altezze d'onda è esprimibile tramite la relazione:

$$H = H_0 Ks \qquad \text{dove } Ks = (cg_0 / cg)^{0.5} = \text{ coefficiente di shoaling}$$

dove cg è la velocità di gruppo: $cg = \frac{d\sigma}{dk} = \frac{c}{2}(1 + \frac{2kh}{senh(2kh)})$ e le grandezze con il pedice 0 sono riferite alla profondità infinita.

attacco obliquo: accanto al fenomeno di shoaling si verifica anche quello della *rifrazione* che consiste in una rotazione dei fronti per rallentamento differenziale con conseguenti variazioni d'altezza lungo di essi.

Nell'ipotesi di fondale con batimetriche rettilinee e parallele alla linea di costa si ha:

$$\frac{d}{dx}(ksen\alpha) = 0 \qquad \rightarrow \qquad \frac{sen\alpha}{L} = \frac{sen\alpha_0}{L_0} = \cos t$$

Ed esprimendo la conservazione del suddetto rapporto dal largo verso riva si ottiene senα < $sen\alpha_0$ essendo L < L_0. Il processo di rifrazione tende pertanto a disporre le ortogonali

d'onda perpendicolarmente alle batimetriche mano a mano che si procede dal largo verso riva.

La relazione di conservazione del flusso medio di energia assume la forma:

$$\frac{\partial}{\partial x}(cgE\cos\alpha) = 0 \quad \rightarrow \quad cgE\cos\alpha = cg_0E\cos\alpha_0$$

Che esplicitata in termini di altezza d'onda (E = 1/8 * ρgH^2) fornisce:

$$H = H_0KsKr \qquad \text{con } Kr = \left(\frac{\cos\alpha_0}{\cos\alpha}\right)^{0.5} \text{ coefficiente di rifrazione.}$$

I processi di propagazione sopra descritti terminano quando si raggiungono le condizioni di frangimento (H > $H_{frangimento}$) e l'onda progressiva si trasforma in onda di traslazione.

Per la determinazione dell'altezza d'onda al frangimento Hf Goda suggerisce:

$$Hf = 0.17\frac{gT^2}{2\pi}\left(1-\exp\left(-3\pi\left(\frac{h}{gT^2}\right)\left(1+15(s_b)^{1..33}\right)\right)\right)$$

Dove s_b è la pendenza del fondo.

Il foglio di calcolo allegato permette di calcolare l'altezza d'onda H su bassa profondità nel caso di attacco obliquo α ≠ 0 (sotto l'ipotesi di batimetriche rettilinee e parallele alla linea di riva) ed indica quando si raggiungono le condizioni di frangimento.

	H0 [m]	T [sec]	L0 [m]												
	5.02	10.1	159.269232												
h	gT2/2pi	kh	L	f(L)=0	h/L	k	sigma	c	cg	Ks	Kr	Hsr	Hf (GODA)	?	α
[m]			[m]			[1/m]		[m/s]	[m/s]			[m]	[m]		[°]
200	159.269	7.890	159.269	0.000	1.256	0.039	0.622	15.769	7.885	1.000	1.000	5.020	27.031	non frange	23.000
190	159.269	7.496	159.269	0.000	1.193	0.039	0.622	15.769	7.885	1.000	1.000	5.020	27.014	non frange	23.000
180	159.269	7.101	159.269	0.000	1.130	0.039	0.622	15.769	7.885	1.000	1.000	5.020	26.991	non frange	23.000
170	159.269	6.707	159.269	0.000	1.067	0.039	0.622	15.769	7.885	1.000	1.000	5.020	26.959	non frange	23.000
160	159.269	6.312	159.269	0.001	1.005	0.039	0.622	15.769	7.885	1.000	1.000	5.020	26.915	non frange	23.000
150	159.269	5.918	159.267	0.000	0.942	0.039	0.622	15.769	7.886	1.000	1.000	5.020	26.854	non frange	23.000
140	159.269	5.523	159.264	0.000	0.879	0.039	0.622	15.769	7.887	1.000	1.000	5.019	26.770	non frange	22.999
130	159.269	5.129	159.258	0.000	0.816	0.039	0.622	15.768	7.890	1.000	1.000	5.018	26.655	non frange	22.998
120	159.269	4.735	159.245	0.000	0.754	0.039	0.622	15.767	7.895	0.999	1.000	5.017	26.496	non frange	22.996
110	159.269	4.341	159.215	0.000	0.691	0.039	0.622	15.764	7.905	0.999	1.000	5.013	26.277	non frange	22.992

100	159.269	3.948	159.151	0.000	0.628	0.039	0.622	15.757	7.925	0.997	1.000	5.007	25.975	non frange	22.982
90	159.269	3.556	159.010	0.000	0.566	0.040	0.622	15.744	7.963	0.995	1.000	4.994	25.560	non frange	22.960
80	159.269	3.167	158.705	0.000	0.504	0.040	0.622	15.713	8.033	0.991	1.000	4.972	24.987	non frange	22.914
70	159.269	2.783	158.055	0.000	0.443	0.040	0.622	15.649	8.158	0.983	0.999	4.932	24.199	non frange	22.815
60	159.269	2.406	156.699	0.000	0.383	0.040	0.622	15.515	8.365	0.971	0.999	4.867	23.113	non frange	22.608
50	159.269	2.040	153.976	0.000	0.325	0.041	0.622	15.245	8.674	0.953	0.997	4.772	21.617	non frange	22.194
40	159.269	1.689	148.768	0.000	0.269	0.042	0.622	14.730	9.063	0.933	0.994	4.656	19.556	non frange	21.406
30	159.269	1.353	139.321	0.000	0.215	0.045	0.622	13.794	9.402	0.916	0.990	4.550	16.718	non frange	19.986
20	159.269	1.023	122.820	0.001	0.163	0.051	0.622	12.160	9.350	0.918	0.983	4.529	12.807	non frange	17.536
10	159.269	0.672	93.431	0.000	0.107	0.067	0.622	9.251	8.103	0.986	0.972	4.816	7.420	non frange	13.251
9.75	159.269	0.663	92.419	0.000	0.105	0.068	0.622	9.150	8.042	0.990	0.972	4.832	7.262	non frange	13.105
9.5	159.269	0.653	91.387	0.000	0.104	0.069	0.622	9.048	7.978	0.994	0.972	4.850	7.103	non frange	12.956
9.25	159.269	0.643	90.336	0.000	0.102	0.070	0.622	8.944	7.913	0.998	0.972	4.869	6.942	non frange	12.804
9	159.269	0.634	89.264	0.000	0.101	0.070	0.622	8.838	7.845	1.003	0.971	4.888	6.781	non frange	12.650
8.75	159.269	0.624	88.170	0.000	0.099	0.071	0.622	8.730	7.775	1.007	0.971	4.909	6.617	non frange	12.492
8.5	159.269	0.613	87.054	0.000	0.098	0.072	0.622	8.619	7.702	1.012	0.971	4.930	6.453	non frange	12.331
8.25	159.269	0.603	85.914	0.000	0.096	0.073	0.622	8.506	7.626	1.017	0.970	4.953	6.287	non frange	12.168
8	159.269	0.593	84.750	0.000	0.094	0.074	0.622	8.391	7.548	1.022	0.970	4.977	6.120	non frange	12.000
7.75	159.269	0.583	83.561	0.000	0.093	0.075	0.622	8.273	7.467	1.028	0.970	5.003	5.952	non frange	11.829
7.5	159.269	0.572	82.346	0.000	0.091	0.076	0.622	8.153	7.382	1.033	0.969	5.030	5.782	non frange	11.655
7.25	159.269	0.562	81.103	0.000	0.089	0.077	0.622	8.030	7.295	1.040	0.969	5.058	5.611	non frange	11.477
7	159.269	0.551	79.830	0.000	0.088	0.079	0.622	7.904	7.205	1.046	0.969	5.088	5.438	non frange	11.294
6.75	159.269	0.540	78.528	0.000	0.086	0.080	0.622	7.775	7.111	1.053	0.969	5.120	5.264	non frange	11.107
6.5	159.269	0.529	77.193	0.000	0.084	0.081	0.622	7.643	7.013	1.060	0.968	5.154	5.089	frangimento	10.916
6.25	159.269	0.518	75.825	0.000	0.082	0.083	0.622	7.507	6.912	1.068	0.968	5.190	4.912	frangimento	10.721
6	159.269	0.507	74.421	0.000	0.081	0.084	0.622	7.368	6.806	1.076	0.968	5.228	4.734	frangimento	10.520
5.75	159.269	0.495	72.979	0.000	0.079	0.086	0.622	7.226	6.697	1.085	0.967	5.269	4.554	frangimento	10.314
5.5	159.269	0.483	71.498	0.000	0.077	0.088	0.622	7.079	6.582	1.094	0.967	5.313	4.373	frangimento	10.102
5.25	159.269	0.471	69.974	0.000	0.075	0.090	0.622	6.928	6.464	1.104	0.967	5.359	4.191	frangimento	9.885
5	159.269	0.459	68.404	0.000	0.073	0.092	0.622	6.773	6.340	1.115	0.966	5.410	4.007	frangimento	9.661
4.75	159.269	0.447	66.786	0.000	0.071	0.094	0.622	6.612	6.210	1.127	0.966	5.464	3.821	frangimento	9.430
4.5	159.269	0.434	65.116	0.000	0.069	0.096	0.622	6.447	6.075	1.139	0.966	5.523	3.634	frangimento	9.192
4.25	159.269	0.421	63.389	0.000	0.067	0.099	0.622	6.276	5.933	1.153	0.965	5.586	3.446	frangimento	8.946
4	159.269	0.408	61.600	0.000	0.065	0.102	0.622	6.099	5.785	1.167	0.965	5.655	3.256	frangimento	8.692
3.75	159.269	0.394	59.746	0.000	0.063	0.105	0.622	5.915	5.630	1.183	0.965	5.731	3.064	frangimento	8.428
3.5	159.269	0.380	57.817	0.000	0.061	0.109	0.622	5.724	5.466	1.201	0.964	5.814	2.871	frangimento	8.154

3. **Parte II – Le opere**

3.1. La scelta progettuale

In questo intervento la scelta progettuale è risultata essere abbastanza obbligata dalla presenza di un elemento orientato perpendicolarmente alla linea di costa.

Le opere che si intende eseguire riguardano principalmente il ripristino, attraverso una parziale ricostruzione, del pontile a protezione della spiaggia.

Saranno completate le parti mancanti, ristrutturate le parti di calcestruzzo ammalorate e verrà risagomato il profilo.

Le opere sopra descritte si rendono necessarie al fine di garantire la sicurezza, il decoro della struttura e una migliore fruizione dell'area.

Il progetto del pontile prevede principalmente:

- il ripristino del pontile esistente oggi fortemente degradato, soprattutto sul lato Est;
- la risagomatura del profilo con il ripristino della struttura esistente e la sua messa in sicurezza;
- il raccordo delle quote esistenti del pontile che attualmente risultano variabili attraverso la creazione di una sezione costante a quota 1.85 e la creazione di una gradinata in grado di raggiungere la quota attuale nella parte terminale del pontile di 3.00 metri;
- la pavimentazione del pontile;
- la messa in opera di una mantellata di protezione;

Nel dettaglio si procederà, per quanto riguarda le opere in c.a.:

a ripristinare la struttura in c.a. del pontile asportando il calcestruzzo ammalorato fino ad arrivare alle zone meccanicamente solide e ripristinando la sezione originaria della struttura;

Per quanto riguarda la mantellata di protezione questa sarà costituita da:

- un basamento realizzato con materiale tout-venant di cava, la cui porosità influisce sulla stabilità verso il moto ondoso;
- uno strato filtro di transizione, costituito da massi di seconda categoria;
- una mantellata esterna, verso mare, realizzata con massi naturali di terza categoria, di peso sufficiente a resistere all'azione del moto ondoso.

3.2. Tipologia di difesa

In generale la classificazione delle opere di difesa artificiali, secondo Cortemiglia et al. ("Raccomandazioni tecniche per la protezione delle coste"), viene raggruppata in due macrocategorie: la prima riguarda le strutture la cui funzione è di difesa, ovvero quella di impedire l'azione erosiva del mare, la seconda è quella che convoglia le opere di rifornimento artificiale di sedimento al litorale libero o con opere di contenimento.

Sulla costa ligure, le tipologie di opere di difesa adottate risultano essere 3:

- Difese aderenti: generalmente realizzate allo scopo di proteggere dal moto ondoso le infrastrutture stradali e ferroviarie o i centri abitati (un esempio di questa tipologia di opera è presente ad ovest della spiaggia in esame);
- Difese parallele emerse: hanno lo scopo di provocare una dissipazione dell'energia del moto ondoso prima di giungere a riva e allo scopo di proteggere la spiaggia e favorire la deposizione del sedimento;
- Difese trasversali (pennelli): trovano applicazione nelle zone interessate da forti fenomeni di trasporto longitudinale. Generalmente si estendono sulla spiaggia emersa fino alla prima linea dei frangenti. La loro presenza crea un accumulo di sedimenti sopraflutto a scapito dei settori sottoflutto. Fenomeni indesiderati riconducibili a questo tipo di opere sono, oltre all'interruzione del drift litoraneo ed il conseguente depauperamento delle spiagge sottoflutto, le modificazioni indotte alla circolazione costiera che spesso spingono i sedimenti in transito verso profondità maggiori, sottraendoli alla dinamica litoranea.

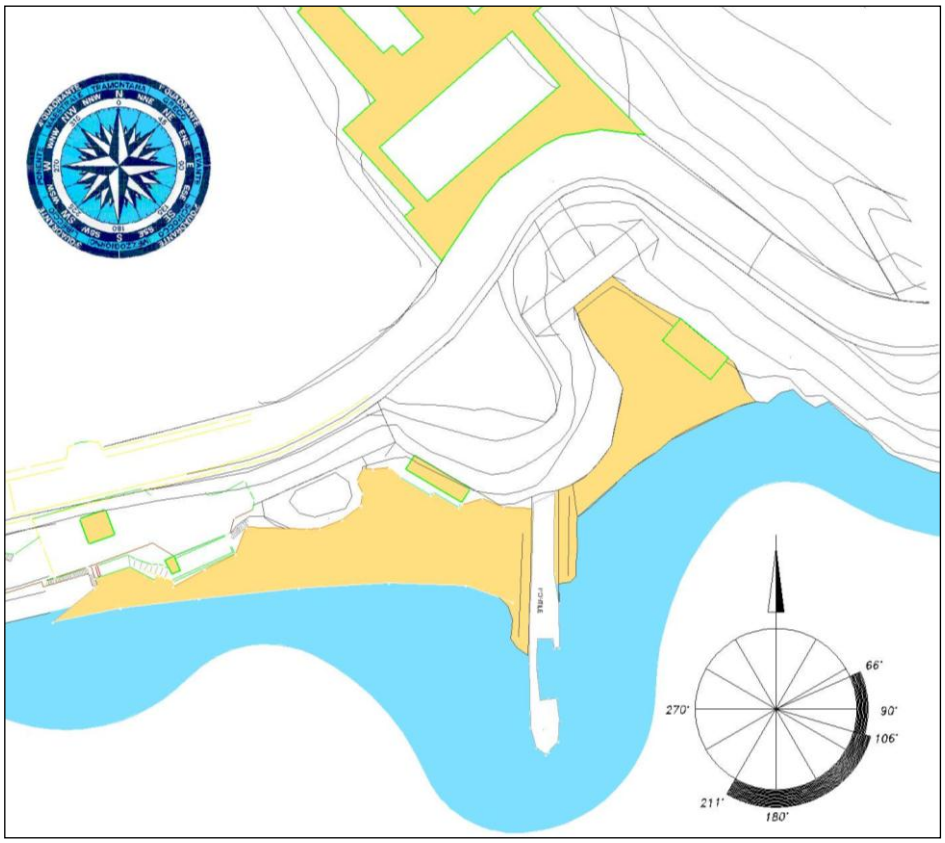
Quest'ultima tipologia di difesa, che interessa il progetto esaminato, dovrebbe attenersi ad alcuni aspetti paesistici suggeriti dal Dipartimento Tutela dell'ambiente ed Edilizia e dal Dipartimento Pianificazione Territoriale, Paesistica ed Ambientale, che suggeriscono:

- L'utilizzo di materiale lapideo con caratteristiche cromatiche simili a quello locale, tipico e prevalente del sito oggetto di intervento;
- Evitare la realizzazione di pavimentazioni con cemento o asfalto del piano di calpestio dei pennelli quando possibile; nel caso di studio il pennello necessita di un recupero e non di una nuova progettazione, per tutelare la memoria storica verrà mantenuta la pavimentazione esistente in battuto di cemento;
- Realizzazione di un corretto radicamento dei pennelli alla base per adeguarli alla configurazione naturale delle scogliere, delle spiagge e/o delle strutture esistenti;

- Utilizzo di mezzi d'opera tali da contenere le dimensioni delle opere di cantiere e gli interventi sulla vegetazione presente ed in generale sul contesto d'ambito;
- Limitazione dell'altezza fuori terra ed al di sopra del livello medio marino al fine di non pregiudicare le visuali paesaggistiche pubbliche.

3.3. Analisi dell'intervento

L'immagine che segue riproduce il rilievo effettuato sulla zona precedentemente l'intervento.



Come già esposto, si fa notare l'ammaloramento del pontile sul fronte Est ed il deposito prevalente ad Ovest del pontile causato dalle prevalenti mareggiate di Libeccio.

L'obiettivo di questo lavoro è quello di realizzare un ripascimento totale della cella tale da poter garantire uno sviluppo di circa 300 ml di fronte mare, suddivisi in 100m in concessione demaniale alle colonie e nei restanti 200m di spiaggia libera.

Per garantire tale ripascimento è necessario il ripristino totale del pennello lato Est, con la realizzazione di un'adeguata massicciata.

Lo studio della massicciata è stato effettuato preliminarmente grazie ad un'analisi meteo-marina accurata, mostrata in precedenza.

E' importante sottolineare che apparentemente il bilancio complessivo di un tratto di litorale difeso da pennelli sembrerebbe paritario, con accumuli sopraflutto che bilanciano le perdite sottoflutto. In realtà la dinamica sedimentaria può venire fortemente modificata e, una volta che un pennello si è riempito, il flusso di sedimenti viene in parte spinto verso il largo.

Generalmente i pennelli vengono costruiti in pietrame e, non dovendosi opporre frontalmente alle onde, non necessitano, se non alla loro testa, di elementi di dimensioni notevoli (massi di II o III categoria). Opere di questo tipo, come contenuto nel testo "La forma delle coste" di E. Pranzini, sono ben viste, in quanto favoriscono il ripopolamento ittico.

Per quanto riguarda la distanza tra le singole opere, in letteratura si trovano valori per il rapporto distanza/lunghezza variabili tra 1.5 e 5, verosimilmente tale rapporto individua la porzione di spiaggia protetta in funzione della lunghezza del pennello, opportunamente orientato rispetto alla direzione prevalente del vento; nel caso in esame tale rapporto risulta essere pari a circa 2.5.

In altri termini si garantisce che il ripascimento previsto a progetto non subisca una perdita verso l'esterno grazie alla presenza del pennello, tale teoria è avvalorata dalla configurazione della spiaggia di Celle Piani, avente lo stesso orientamento e la stessa batimetria della spiaggia studiata, in quanto possiede un pennello di estensione di circa 80 m ottenendo una spiaggia di oltre 400 m; nel progetto il pennello a protezione della spiaggia delle colonie marine si attesterà ad una lunghezza emersa di circa 80 m, che sarà in grado di garantire la presenza di una spiaggia protetta di un estensione di circa 300 m.

La quantità di materiale necessario al ripascimento in oggetto si attesta intorno ai 15.000 mc, comprese quantità immerse che dovranno creare il nuovo profilo del fondale.

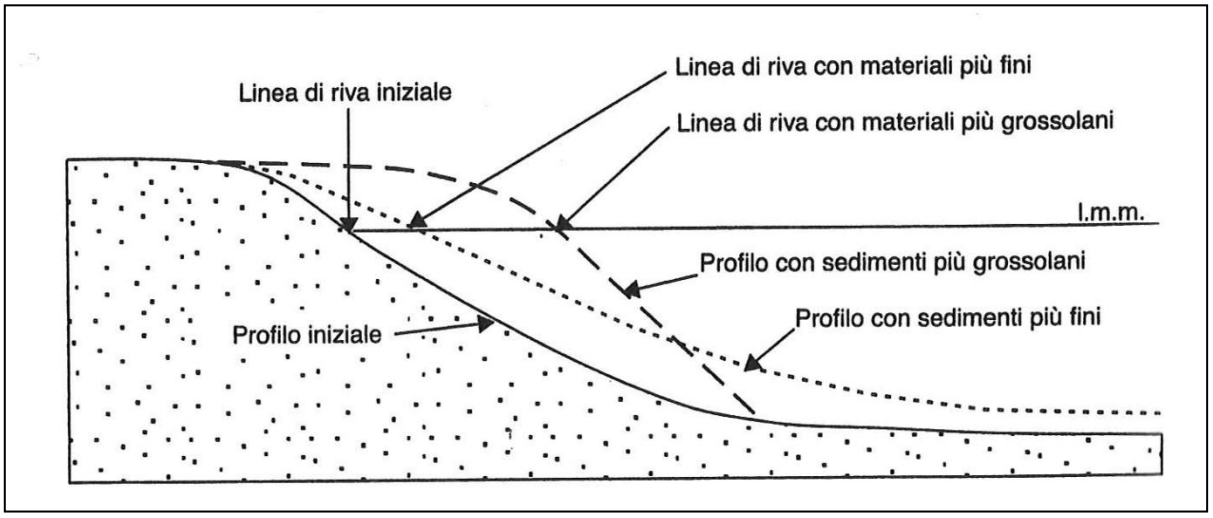
L'opera appena esposta si propone perciò di modificare il bilancio sedimentario della spiaggia limitando l'entità dei deficit, intrappolando i sedimenti in transito e riducendo l'energia incidente sulla spiaggia; esiste una teoria opposta, ma che in alcuni casi, come quello in esame, risulta essere complementare che consiste nell'incrementare l'input sedimentario con il versamento di nuovi materiali in vari punti del profilo di spiaggia. Il vantaggio di tale tecnica è quello di mantenere l'aspetto paesaggistico originario, in quanto di espande l'arenile senza l'apporto delle spiagge limitrofe.

L’aspetto principale della progettazione riguarda la scelta delle dimensioni dei sedimenti da utilizzare, in quanto la durata dell’intervento, la fruibilità della spiaggia e l’ampiezza dell’arenile ricostruito dipendono, per ugual volume di materiali impiegati, quasi esclusivamente da questo parametro.

Ricordiamo infatti che, a parità di energia del moto ondoso incidente, la pendenza di una spiaggia è direttamente proporzionale alle dimensioni medie dei granuli che la costituiscono.

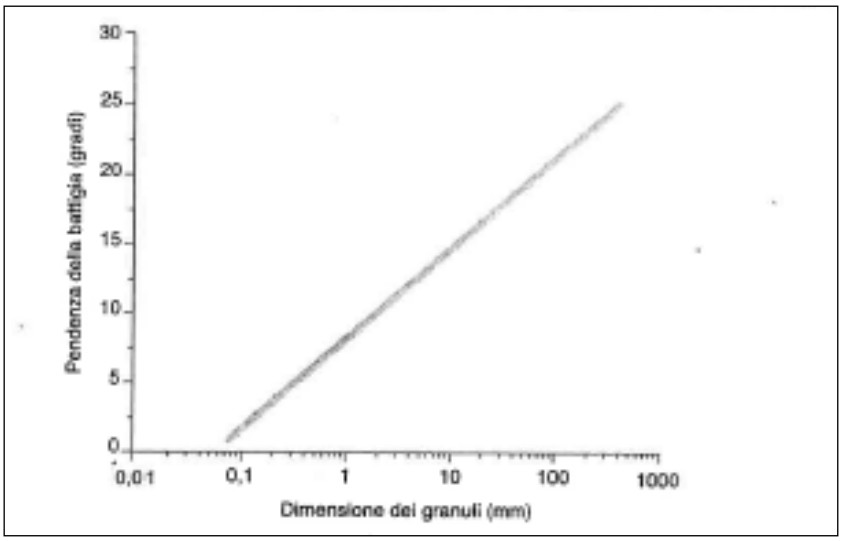
Immettendo sedimenti a granulometria minore si ottiene una spiaggia a minore pendenza di quella originaria, con un innalzamento dei fondali ed una limitata espansione della parte emersa; al contrario, materiali più grossolani impongono alla spiaggia una pendenza maggiore e una consistente parte dei sedimenti immessi va ad incrementare l’ampiezza dell’arenile direttamente sfruttabile ai fini balneari.

I vantaggi dell’impiego di sedimenti grossolani sono dovuti anche ad una loro minore mobilità, in particolare in senso trasversale, dovuta in buona parte ad una maggiore porosità e permeabilità che riducono la sottrazione di granuli dalla battigia (backwash) (Pancini et al., 1999).

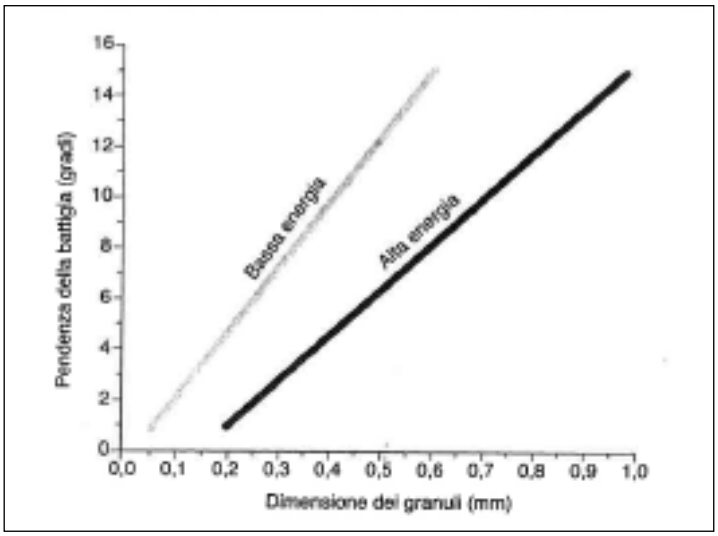


Nel caso in esame, in accordo anche con i contenuti del P.T.C. della Costa, si suggerisce l’utilizzo di materiali di ripascimento con granulometria meno differente possibile dall’esistente.

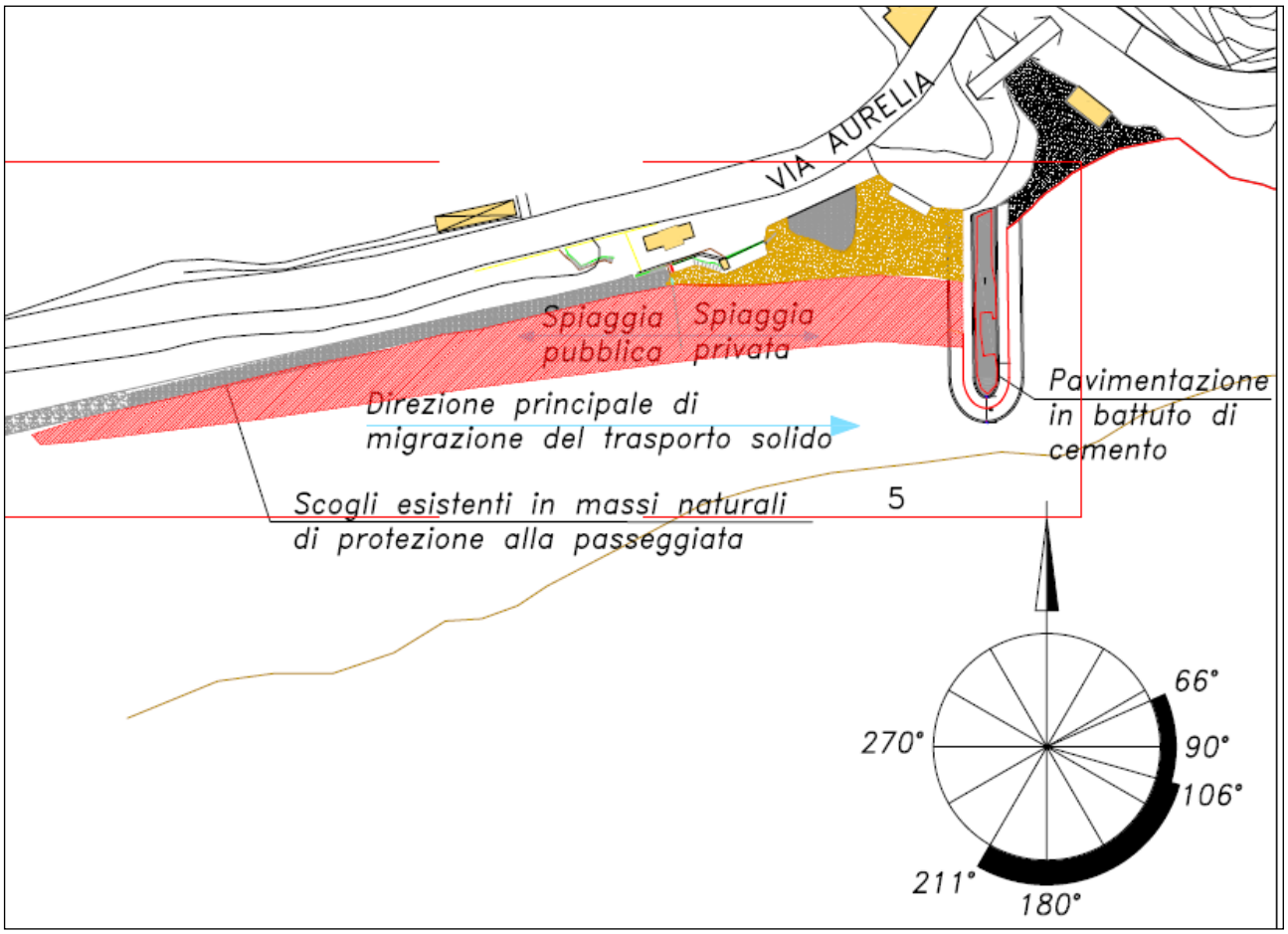
Quanto appena esposto è confermato dalla figura che segue che espone l’andamento della pendenza della battigia in funzione della dimensione dei granuli:

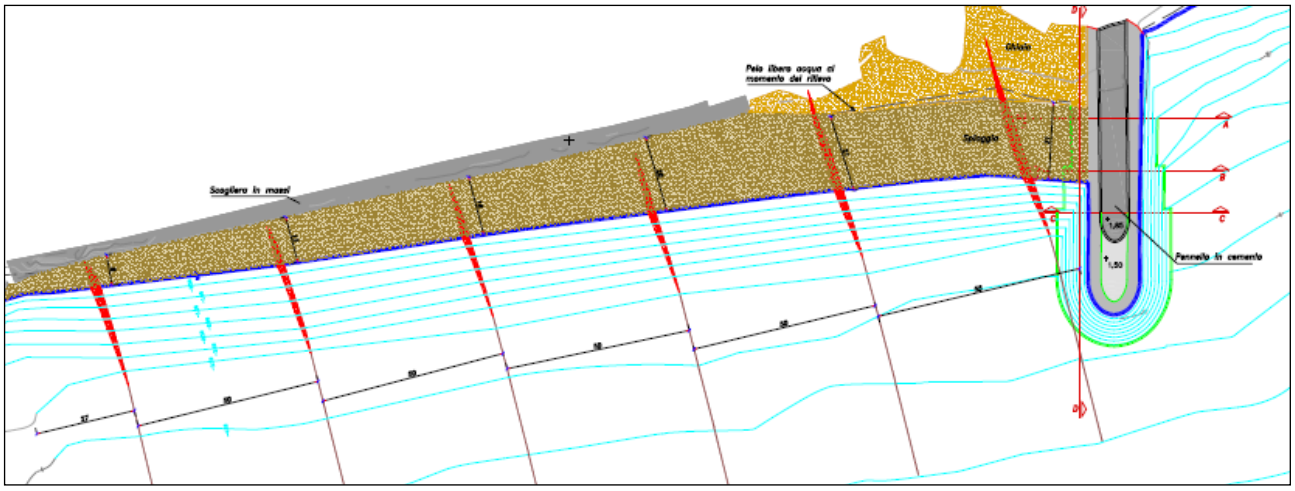


Evidentemente, a parità di granulometria, le spiagge particolarmente esposte hanno una battigia a pendenza minore di quella delle spiagge più riparate con un evidente processo di feedback che porta la spiaggia a distendersi per ridurre la quantità di energia incidente per unità di superficie (Komar, 1998), come esposto nella figura che segue:



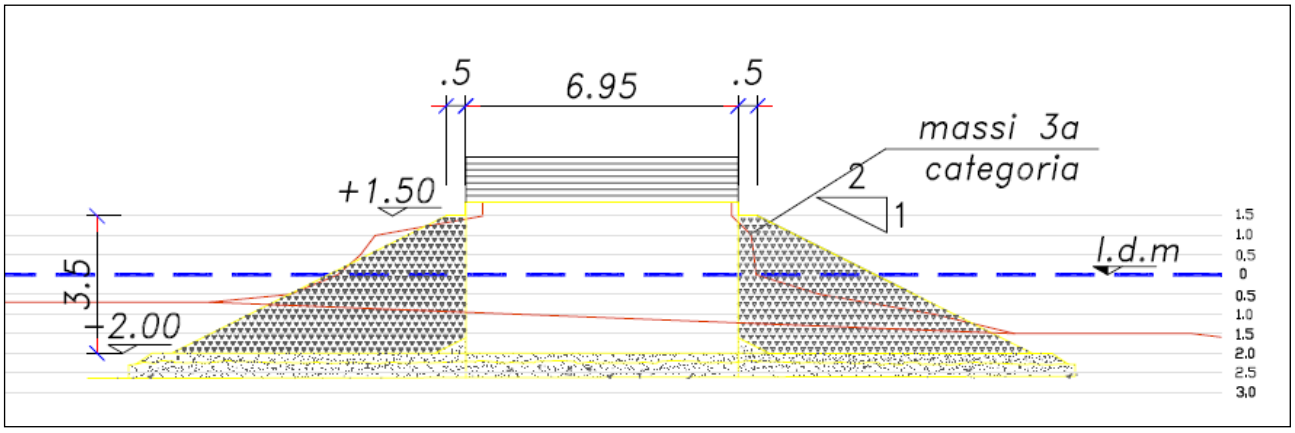
Di seguito viene proposta la soluzione appena esposta dove si evidenzia la suddivisione tra area pubblica e privata.





Come si può osservare, è stata mantenuta la dimensione attuale del pennello (profilo rosso), al quale è stata aggiunta la mantellata con massi di III categoria.

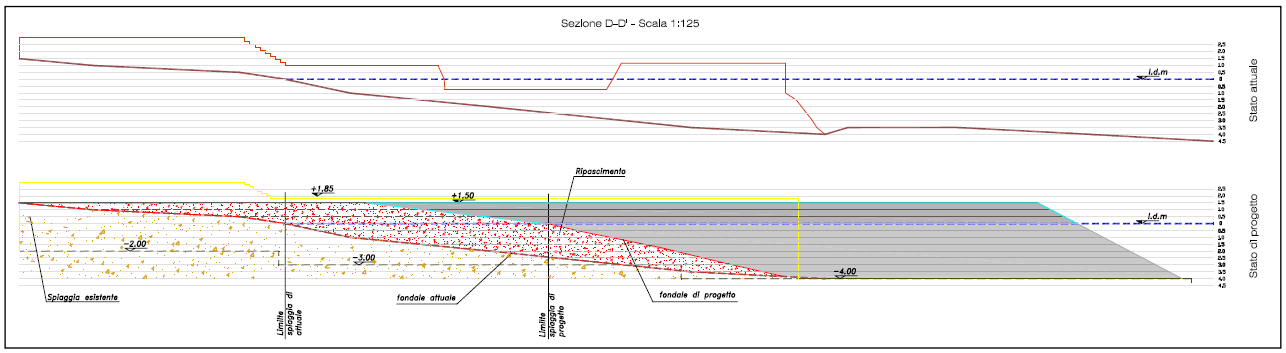
Di seguito viene mostrata anche la sezione trasversale del pennello (A-A') dove viene mostrata la protezione dell'elemento.



Inoltre si evidenzia l'estensione del ripascimento da effettuare secondo quanto esposto in precedenza.

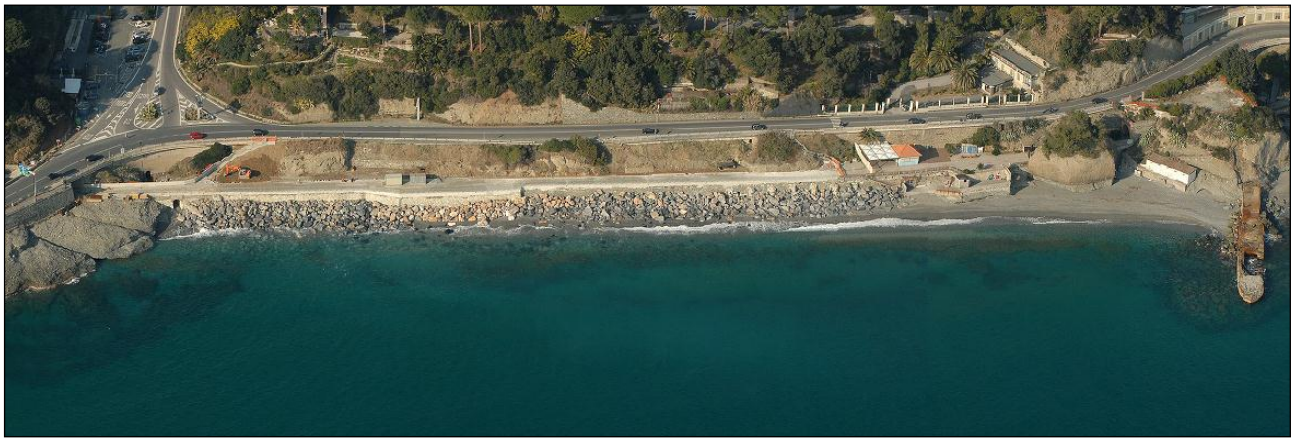
La suddivisione tra area privata e pubblica è circa paritaria; tale suddivisione risulta essere necessaria anche al fine di garantire un accesso diretto alla spiaggia privata, reso possibile dalla presenza del sottopasso collocato all'incirca all'altezza della linea di divisione tra le proprietà.

L'immagine che segue mostra come avverrà il ripascimento in prossimità del pennello attraverso un raffronto tra lo stato attuale e quello di progetto:



I tracciamenti del fondale esistente sono stati effettuati sfruttando le batimetrie in possesso, per quanto concerne il fondale di progetto si è cercato di mantenerlo il più possibile simile a quello esistente, anche perché è prevedibile che si disporrà in tale configurazione in maniera naturale.

Dai rilievi effettuati sul posto, si osserva che il ripascimento della spiaggia pubblica risulterà protetto anche a ponente dalla scogliera già presente, come mostrato dalla foto successiva:



Nella foto successiva si osserva l'assetto attuale della spiaggia e del pontile.



In questa foto si evidenzia l'assetto attuale della spiaggia delle colonie marine in uno stato di avanzato degrado oggettivo; grazie al progetto appena presentato, questo sito potrà riacquisire il decoro che merita integrandosi in maniera consona alle spiagge che lo circondano.

Nella zona dell'arenile, collegato funzionalmente alla struttura turistica ricettiva attraverso il tunnel sotterraneo esistente, sono previsti un bar ristoro, una zona solarium, servizi di spiaggia.

Si prevede una zona di bar ristoro, recuperando la volumetria della struttura esistente, per una superficie di 41,76 mq. Sarà recuperato anche un piccolo fabbricato esistente di 5,48 mq, con funzione di magazzino.

La progettazione prevede la realizzazione di percorsi a raso, rimovibili nei mesi invernali, pavimentati con doghe in legno per il collegamento tra il tunnel e i servizi sulla spiaggia, il ripristino dei fabbricati con materiali tradizionali, oltre all'inserimento di una tenso-struttura rimovibile nei mesi invernali, in grado di garantire zone d'ombra per il ristoro dei fruitori della spiaggia.

3.4. Ripascimento

L'intervento si propone altresì la possibilità di recuperare un elemento caratterizzante della zona dell'arenile rispetto alle future attività turistiche e alle attrezzature per la balneazione previste sulla spiaggia.

Non si tratta di un ripascimento stagionale, ma di un intervento volto ad aumentare la superficie dell'arenile per modificarne il profilo trasversale.

Sempre secondo quanto suggerito a livello regionale, per quanto concerne l'aspetto paesistico, il progetto dovrà prevedere:

- L'utilizzo di materiale lapideo con caratteristiche cromatiche simili a quello locale, tipico e prevalente del sito oggetto di intervento;
- Dimensionamento del ripascimento in relazione alle caratteristiche paesaggistiche ed al contesto d'ambito.

Il ripascimento prevede il riutilizzo del materiale lapideo di risulta di escavazioni eseguita in zona: esso andrà a costituire la base del ripascimento, essendo ovviamente di granulometria grossa; sopra questo strato ne verrà invece posto uno di sabbia grossolana in modo da costituire un manto più morbido e meno pendente. Di seguito si riporta il fuso granulometrico e le caratteristiche del ripascimento:

Campione	**g (%)**	**s (%)**	**limo/arg. (%)**
C1 TERRA	8.78	90.01	1.21
C2 MARE	0.91	96.93	2.16

Dal punto di vista petrografico, il campione dovrà essere conforme alle caratteristiche della spiaggia emersa, ovvero composto da litotipi affioranti in un intorno significativo alle spalle del tratto costiero su cui si interviene.

Il materiale di ripascimento dovrà risultare privo di pelite, per cui risultano verificate le specifiche tecniche per interventi di ripacimento stagionale previste dalla Regione Liguria. Di seguito si riportano le caratteristiche previste:

% ghiaia	% sabbia	% pelite	Colore	Odore	Presenza di Amianto
32-35	68-65	0	Verde scuro-bianco	inodore	No

Le pendenze del ripascimento, come illustrato nella Tav. 01, variano da 6 a 10 gradi, ovvero dal 10 al 17%, quindi sono abbastanza dolci e graduali.

Stabilita la pendenza, è necessario verificare la stabilità del ripascimento stesso, ovvero calcolare il diametro minimo dei granuli per quel determinato angolo.

I dati idraulici necessari per il calcolo della stabilità sono l'altezza dell'onda di progetto e il suo periodo. Poiché non esiste uno studio specifico per il bacino di Celle, si è attinto a dati bibliografici, trovando studi approfonditi sui bacini di Arenzano e Albisola.

In particolare si fa riferimento agli Studi Idraulici elaborati dal Delft Hydraulics Laboratory (1986) e agli Studi meteomarini dei paraggi di Vado Ligure e Savona elaborati dall'Università degli Studi di Padova (2002).

Facendo riferimento ai dati forniti da Delft si è assunta un'altezza d'onda al largo pari a 5.02 m, caratterizzata da un periodo di picco Tp = 10.1 s.

Nella fascia attiva l'altezza d'onda varia e diventa funzione dell'isobata: ad una profondità di 3.5 m usando la relazione di Weggel, l'altezza d'onda è pari a circa 0.8*h = 2.8 m.

Si analizzano quindi i due casi estremi con pendenza pari rispettivamente a 10% e 17%.

Le formule usate per ricavare il diametro sono:

$m_f = \sqrt{wT/H}$ (Kamphius, 1992) (1)

$w = \sqrt{\frac{4}{3} g \frac{(\rho_s - \rho_f) D}{C_D \rho_f}}$ (Dall'equilibrio alla traslazione verticale) (2)

$C_D = \frac{24}{Re} + \frac{3}{\sqrt{Re}} + 0.34$ (3)

$Re = \varphi \frac{wD}{\upsilon}$ (Numero di Reynolds) (4)

Dove:

m_f è la pendenza del ripascimento;

w è la velocità di sedimentazione;

T è il periodo dell'onda;

H è l'altezza dell'onda;

D è il diametro dei grani;

ρ_s è il peso di volume dei grani;

ρ_f è il peso di volume del fluido;

ϕ è il fattore di forma;

ν è la viscosità cinematica del fluido.

I dati iniziali sono la pendenza, il periodo e l'altezza d'onda, il peso di volume dei grani, e ovviamente le caratteristiche dell'acqua. Da qui si ricava la velocità di sedimentazione, e quindi il diametro iterativamente (il termine D compare in entrambi i membri della (2) tramite il numero di Reynolds e la sua radice).

Si riporta ora il calcolo nel dettaglio:

T	10.1	s
H	2.8	m
angolo	7	°
m	0.1228	
w	0.19	m/s
Φ	0.85	
ρs	2600	kg/mc
ρf	1000	kg/mc
g	9.81	m/s2
ν	0.000001003	m2/s
D (nona iterazione)	0.001148	m

T	10.1	s
H	2.8	m
angolo	10	°
m	0.1763	
w	0.38	m/s
Φ	0.85	
ρs	2600	kg/mc
ρf	1000	kg/mc
g	9.81	m/s2
ν	0.000001003	m2/s
D (ottava iterazione)	0.003199	m

Dai risultati si conclude che il diametro medio minimo per cui il ripascimento è stabile può essere assunto pari a 3.2 mm, che corrisponde ad una sabbia grossolana.

Poiché il materiale di cava che andrà a formare la base del ripascimento è di diametro medio maggiore (dell'ordine dei centimetri), esso sarà a maggior ragione stabile.

Come già accennato in precedenza, il ripascimento consta di circa 15000 mc, di cui circa 10000 saranno presi dalle escavazioni eseguite in zona (per il dettaglio si faccia riferimento alla relazione "Progetto di gestione terre e rocce da scavo" redatta dal Dr. Vezzolla), mentre i restanti 5000, di granulometria più fine e comunque conforme al calcolo e al minimo diametro sovraesposto, saranno presi da fonti esterne.

Il materiale di cava verrà sversato nei punti indicati nella cartografia in scala 1:500 che viene allegata fuori testo (Tav 01). Successivamente avverrà la distribuzione per mezzo di pale meccaniche lungo la spiaggia emersa nell'area di intervento.

3.5. Pennello

Il dimensionamento della massicciata del pennello è stato eseguito seguendo le formule di Hudson (Shore Protection Manual), di seguito discusse in funzione del numero di stabilità $N_s = \frac{H}{\Delta D_{n50}}$ che caratterizza la struttura. Risulta poi $N_S = (K_s cotg\alpha)^{1/3}$. Nel dettaglio:

h = 4 m (batimetrica)

H = 0.8 h = 3.2 m (altezza d'onda, confrontabile con quella frangente)

Kd = 2.9 (massi naturali singolo strato, onda non frangente)

ρ_s=2650 kg/mc (peso di volume dei massi)

ρ_A=1030 kg/mc (peso di volume dell'acqua)

$\Delta = \frac{\rho_s}{\rho_A} - 1 = 1.57$

cotgα = 2 (pendenza della massicciata)

$N_S = (K_s cotg\alpha)^{1/3} = 1.79$

$N_s = \frac{H}{\Delta D_{n50}} \rightarrow D_{n50} = \frac{H}{N_s \Delta} = 1.14\ m$

$M_{50} = \rho_s D_{n50}^3 = 3912\ kg$ (massi di III categoria).

Si è quindi stimata la capacità portante del fondale utilizzando la formula di Brinch-Hansen:

$$q_{lim} = \frac{1}{2}\gamma_s B N_\gamma s_\gamma + \gamma_w z$$

Dove:

- γ_s: peso di volume immerso del materiale di fondale;
- B: larghezza della fondazione della scogliera m;
- N_γ: coefficiente di portanza (Vesic);
- s_γ: coefficiente di forma della fondazione =1+0.1B/L (1+senϕ/(1-senϕ))
- γ_w: peso di volume dell'acqua di mare = 10.03 kN m^{-3};
- Z: profondità di posa della scogliera (valore medio 3 m).

Si assumono i seguenti dati:

- \γ_s = 5.53 kN m^{-3};
- B = 7 m;
- N□ : assumendo per materiali sciolti immersi con N_{SPT} <5, ϕ' = 24° e Nφ = 9.44;

- s_γ = 2.66.

Sostituendo si ricava: q_{lim} = 2370 kPa.

La scogliera in esercizio trasmetterà sul fondale una pressione così stimata:
W_S = (12.25 m^3 11.83 kN m^{-3})/7 m^2 = 20.7 kPa.

Il fattore di sicurezza sulla q_{lim} sarà pertanto:
F_S = 2370/20.7 > 114.

Gli incrementi tensionali esercitati sui terreni granulari di fondale sono particolarmente ridotti e tali da indurre fenomeni di cedimento trascurabili o comunque compatibili per la struttura deformabile proposta.

Per la determinazione del run-up occorre far riferimento ad un valore caratteristico, avente una certa probabilità; solitamente si utilizza il $Ru_{2\%}$, ossia il valore di risalita con la probabilità di superamento pari al 2%.
La formula più usuale per il calcolo del run-up è quella di Van Der Meer, che fornisce:

$$\frac{Ru_{2\%}}{H_s} = 1.5\gamma x_p$$

Dove $\xi_p = tg\alpha/(s_p)^{0.5}$ numero di Iribarren con riferimento al periodo di picco (con il periodo di ritorno si 1 anno);

γ = prodotto di diversi coefficienti, e generalmente assunto pari a 0.5.

tan(alfa)	H0 [m]	Tp [s]	ξ	γ	Ru/H
0.5	3.2	7.4	2.58	0.50	1.94

4. **Piano di monitoraggio**

La L.R. 13/99 prevede l'elaborazione di un piano di monitoraggio delle opere di difesa della costa e di ripascimenti degli arenili. Nel caso in esame si analizzerà il monitoraggio della dinamica costiera, come disposto dalla D.g.r. 1793/2005.

4.1. Monitoraggio della dinamica costiera

I limiti dell'unità fisiografica sono quelli indicati nella foto sottostante in blu (porto di Savona e Punta Aspera):



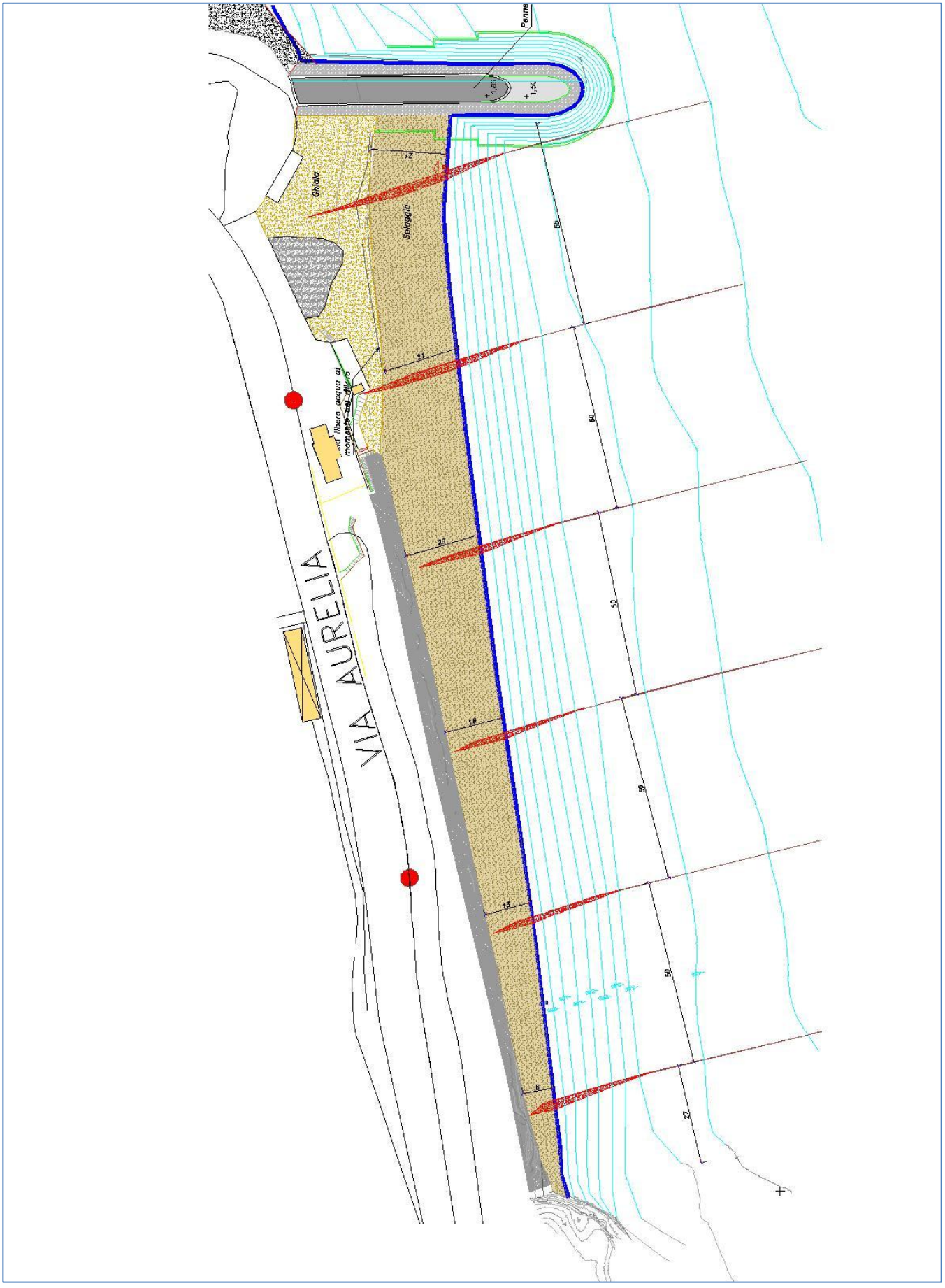


La profondità di chiusura della spiaggia sommersa è ricavata tramite la relazione di Hallermaier. Dalle medesime fonti bibliografiche sopracitate, si ricava che l'altezza di chiusura Dc è pari a 5.3 m.

Trattandosi di un'opera nuova la durata del monitoraggio sarà di 5 anni. In questo arco di tempo si prevedono tre controlli: uno a fine lavori, uno a distanza di 2 anni e l'ultimo dopo 5 anni dal primo.

Tutti i controlli prevedono una levata batimetrica agganciata ai capisaldi a terra per un rilievo topografico della linea di costa, ed infine il prelievo di 2 campioni da spiaggia emersa e 2 da spiaggia sommersa.

Nell'immagine seguente sono individuati i profili morfologici trasversali e i capisaldi (cerchi rossi), che saranno disposti sul marciapiede che affianca l'Aurelia, e le cui coordinate spaziali precise saranno fornite insieme ai dati del monitoraggio.

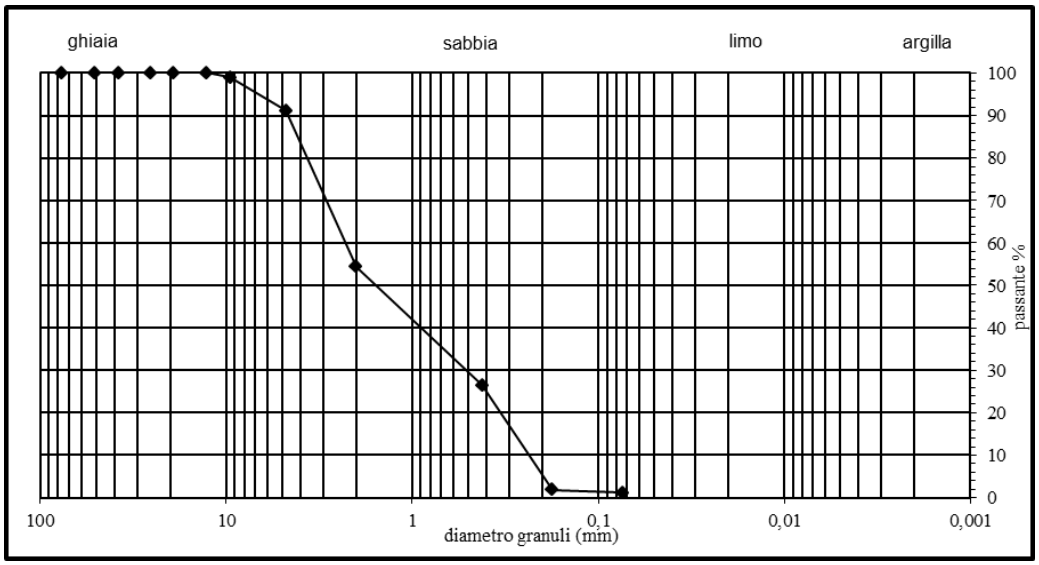

VIA AURELIA
Spiaggia
Ghiaia
Penne
+1.5
12
21
28
16
13
6
55
50
50
50
50
27

Il rilievo sarà effettuato dopo le mareggiate invernali e prima degli interventi pre-estivi.
I dati raccolti nel corso del monitoraggio della dinamica costiera saranno resi in forma di triplette x, y, z e in forma di elaborati grafici georiferiti secondo le coordinate metriche Gauss-Boaga fuso ovest e in coordinate metriche UTM, fuso 32.
La restituzione dei risultati delle analisi granulometriche sarà effettuata secondo il modello dell'Allegato 2 dei "Criteri generali per il monitoraggio delle opere di difesa della costa, degli abitati costieri e di ripascimento degli arenili". Sarà inoltre allegata una tabella riassuntiva dei dati secondo il modello dell'Allegato 3.

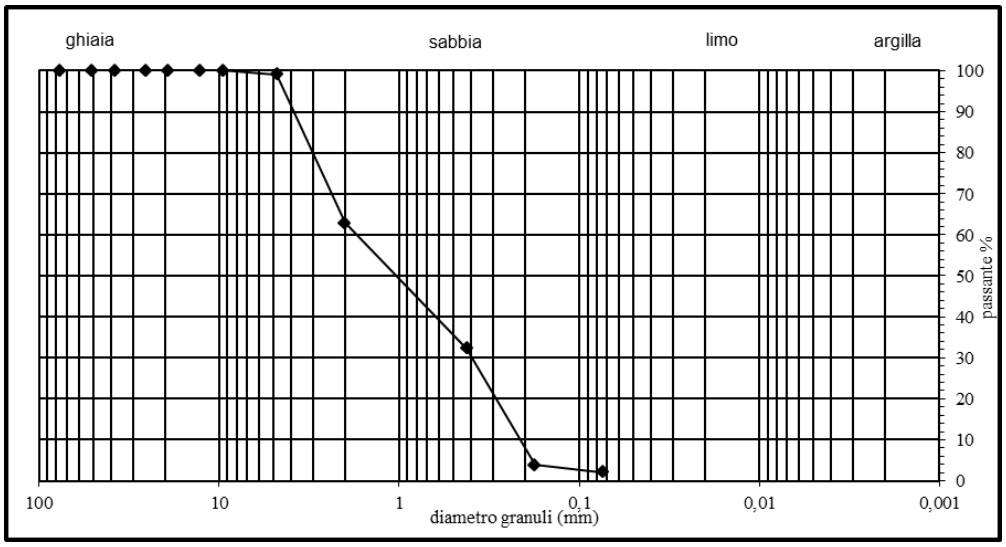
Allegato 1

Le analisi sono state svolte dai SERVIZI GEOTECNICI LIGURI – laboratorio terre e rocce.

ANALISI GRANULOMETRICA					
Committente: GHV srl					
Lavoro: Ex colonie milanesi - Comune di Celle Ligure					
Oggetto: analisi granulometrica spiaggia lato W pennello esistente					
Campione: C1					
Prelievo: spiaggia emersa			**Data esecuzione prova: 15 marzo 2011**		
			Specifica di prova: ASTM D421-93/D422-90		
Analisi con setacci			**Terreno analizzato M (gr) =**	**708,54**	
Setacci	Apertura	Massa terreno	Parziale dei	Totale dei	Totale dei
ASTM N°	maglie (mm)	trattenuto (gr)	trattenuti %	trattenuti %	passanti %
3"	**76,2**	0,00	0,00	0,00	100,00
2"	**50,8**	0,00	0,00	0,00	100,00
1" 1/2	**38,1**	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	**25,4**	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	**19,10**	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	**12,70**	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	**9,52**	7,04	0,99	0,99	99,01
4	**4,76**	55,18	7,79	8,78	91,22
10	**2,00**	260,63	36,78	45,57	54,43
40	**0,42**	198,43	28,01	73,57	26,43
80	**0,177**	174,66	24,65	98,22	1,78
200	**0,074**	4,03	0,57	98,79	1,21
Fondo		8,57			
Classificazione		**D (60%) =**	**% ghiaia**	**% sabbia**	**% limo/argilla**
USCS	**CNR-UNI**	**D (10%) =**	**8,78**	**90,01**	**1,21**
		U =			



Campione: C2					
Prelievo: - 2.5 m dal livello marino			**Data esecuzione prova: 15 marzo 2011**		
			Specifica di prova: ASTM D421-93/D422-90		
Analisi con setacci			**Terreno analizzato M (gr) =**	**692,80**	
Setacci	Apertura	Massa terreno	Parziale dei	Totale dei	Totale dei
ASTM N°	maglie (mm)	trattenuto (gr)	trattenuti %	trattenuti %	passanti %
3"	**76,2**	0,00	0,00	0,00	100,00
2"	**50,8**	0,00	0,00	0,00	100,00
1" 1/2	**38,1**	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	**25,4**	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	**19,10**	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	**12,70**	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	**9,52**	0,00	0,00	0,00	100,00
4	**4,76**	6,33	0,91	0,91	99,09
10	**2,00**	251,02	36,23	37,15	62,85
40	**0,42**	211,72	30,56	67,71	32,29
80	**0,177**	196,69	28,39	96,10	3,90
200	**0,074**	12,11	1,75	97,84	2,16
Fondo		14,93			
Classificazione		**D (60%) =**	**% ghiaia**	**% sabbia**	**% limo/argilla**
USCS	**CNR-UNI**	**D (10%) =**	**0,91**	**96,93**	**2,16**
		U =			


ghiaia
sabbia
limo
argilla
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
passante %
100
10
1
0,1
0,01
0,001
diametro granuli (mm)