PAOLO
GAGGERO
16.04.2026
11:19:47
GMT+02:00

Rev.02	APRILE 2026
Rev.01	



STUDIOGAGGERO

SAVONA – VIA PIA 130 R – FAX 019/8386702 – TEL 019/829463
CELL. 335/303133 – E-MAIL ing.gaggero@libero.it

El. P

COMUNE DI IMPERIA

OPERE DI MESSA IN SICUREZZA E DIFESA DEL LITORALE DI BORGO PERI

DIMENSIONAMENTO DELLE OPERE FISSE E DEL MATERIALE DA RIPASCIMENTO

NP 2394

Gennaio 2026

NP 2394 Imperia Borgo Peri

Dott. ing. Paolo GAGGERO
C.F. GGGPLA49H27I480F

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI IMPERIA
PAOLO GAGGERO
INGEGNERE
N° 463

NP 2394

COMUNE DI IMPERIA

OPERE DI MESSA IN SICUREZZA E DIFESA DEL LITORALE DI BORGO PERI

Rev.02

El. P
DIMENSIONAMENTO DELLE OPERE FISSE E DEL MATERIALE DA RIPASCIMENTO

Gennaio 2026

Dott. ing. Paolo GAGGERO

Sommario

RIPASCIMENTO 3
DIMENSIONAMENTO DELLA MANTELLATA DELLA SECCA 5
Dati meteomarini per il dimensionamento delle opere in scogliera 5
Dimensionamento dei massi delle secche 6
Dimensionamento dei massi dei pennelli 8

RIPASCIMENTO

L'erosione di una spiaggia può avvenire per condizioni idrauliche (idrodinamiche) medie oppure per condizioni estreme (mareggiate intense). Benché gli effetti prodotti possono essere analoghi, le scale temporali in cui si verificano sono differenti: le condizioni medie influiscono generalmente in tempi lunghi (stagione, anno) mentre gli eventi estremi si sviluppano in durate di ore o giorni.

Le condizioni di erosione nel lungo periodo sono essenzialmente dovute ad un gradiente positivo della portata solida longitudinale che produce poi uno spostamento del profilo trasversale.

Il processo di erosione nel lungo periodo è di solito irreversibile.

Le condizioni estreme, meno frequenti, producono un forte trasporto trasversale con modifica del profilo. Queste condizioni possono essere sia reversibili, quando le condizioni medie riescono a ripristinare il profilo precedente l'evento, (passaggio da un profilo di tipo "invernale" a quello di tipo "estivo") oppure possono produrre effetti irreversibili se il processo erosivo è già in corso.

La stabilità dei profili di spiaggia in esito a condizioni erosive su lunghi periodi, e pertanto indotte da normali condizioni meteomarine, può essere valutata in prima approssimazione con l'applicazione della formula di DEAN, qui riportata

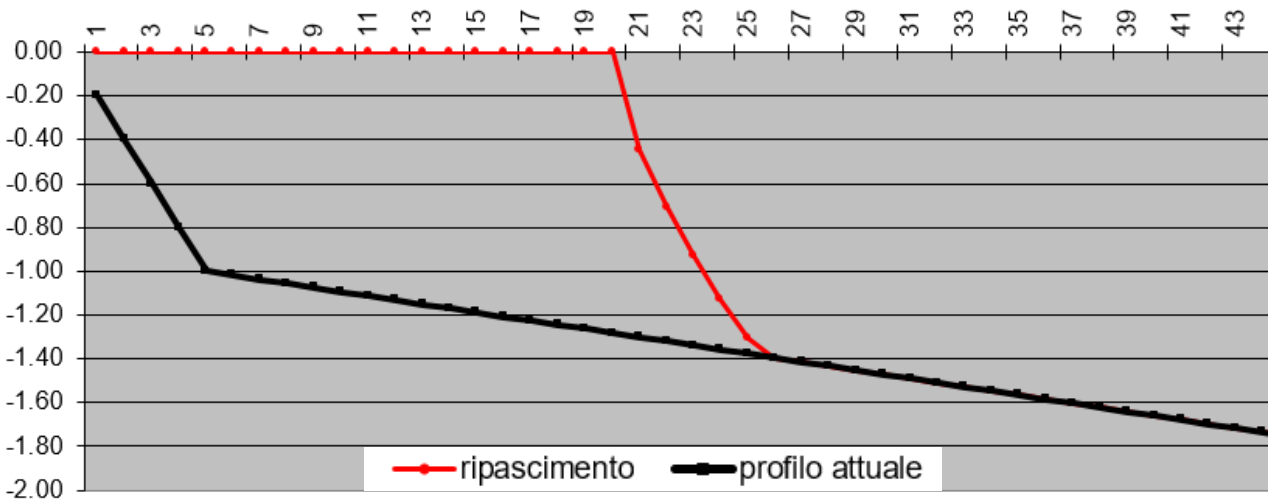
$$P=Ay^{2/3}$$

ove

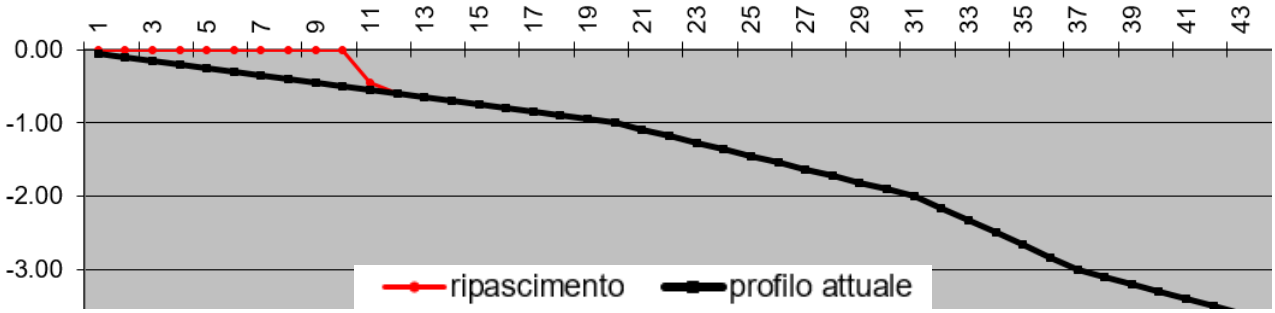
- P = profondità di equilibrio;
- y = distanza dalla linea di riva;
- A = coefficiente funzione del D_{50} materiale, A è valutato su campi dimensionali di D_{50}

$A=0,41*(D_{50})0.94$	per $D_{50}<0.4$
$A=0,23*(D_{50})0.32$	per $D_{50}<10$
$A=0,23*(D_{50})0.28$	per $10<=D_{50}<40$
$A=0,46*(D_{50})0.11$	per $D_{50}>=40$

Risulta pertanto che la stabilità di un granello di materiale da ripascimento cresce con la sua dimensione, e pertanto col suo peso. Altra variabile che influenza la stabilità del profilo da ripascimento è la pendenza del fondale. Nel caso dell'arenile di Imperia, il materiale di apporto previsto ha diametro 4⁄10 mm(ghiaia) con diametro medio (D_{50}) circa 8 mm; tale granulometria è idonea a garantire una stabilità, come si deduce dalle seguenti immagini.



Profilo DEAN tipologico e rappresentativo zona di ponente



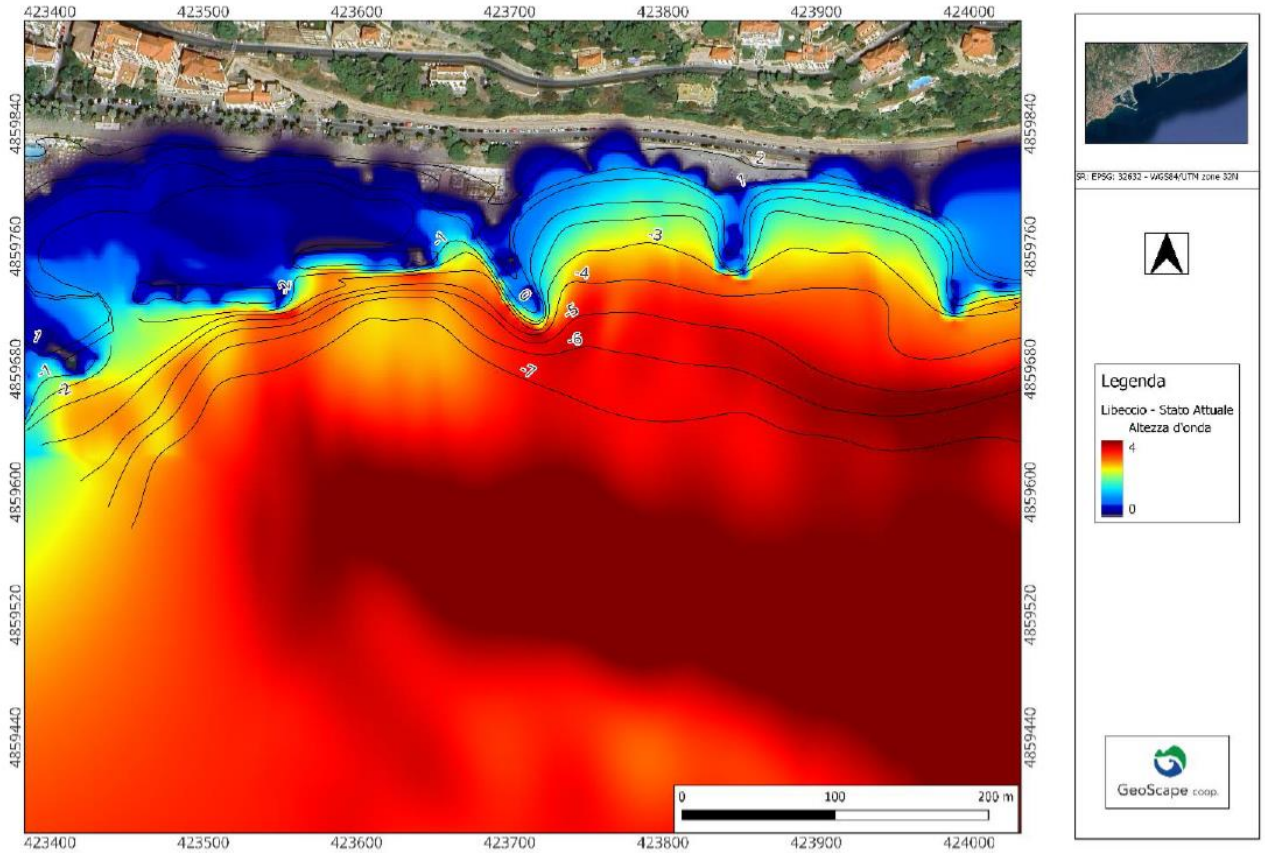
Profilo DEAN tipologico e rappresentativo zona di levante

I profili di ripascimento riportati risultano indicativi ed assumo un valore esemplificativo e tipologico: Durante l'esecuzione dei lavori, all'atto del versamento, in funzione del reale stato della spiaggia, sarà cura della D.L. individuare le criticità esistenti con possibile e conseguente ridistribuzione del tenore del materiale da ripascimento nell'ambito della cella.

DIMENSIONAMENTO DELLA MANTELLATA DELLA SECCA

Dati meteomarini per il dimensionamento delle opere in scogliera

A favore di un corretto dimensionamento delle opere in scogliera sono stati estratti i valori di altezza d'onda al piede delle opere per uno stato di mare estremo con tempo di ritorno cinquantennale proveniente da SUD-OVEST (libeccio); di seguito sono riportati i risultati di questa simulazione, dove l'altezza al piede dell'opera misura circa 2.5/3.0 m.



Al fine del dimensionamento dei massi si assume un valore di altezza d'onda parti a 3.0 m per le secche e 2.75 m per i pennelli.

Dimensionamento dei massi delle secche

La determinazione del peso del singolo elemento costituente la mantellata è condotta con la collaudata espressione di Hudson (1959), largamente diffusa in letteratura, ricavata in base ad un gran numero di risultati sperimentali.

La formulazione risulta la seguente:

$$W = \frac{\gamma \cdot H^3}{K_D \cdot (\gamma/\gamma_w - 1)^3 \cdot \cot\theta}$$

In cui :

γ = densità del materiale costituente la mantellata (2 600 kg/mc)

γ_W = densità dell'acqua di mare (1 030 kg/mc)

H = Altezza dell'onda di calcolo (3 m)

K_D = E' un coefficiente di stabilità in funzione della forma dei massi, della scabrezza superficiale della mantellata, del grado di ammorsamento dei massi, dell'ubicazione della sezione allo studio (2).

θ = Angolo che la scarpata forma con l'orizzontale

L' altezza d'onda di calcolo viene assunta pari a 3 m, valore dedotto dalla modellazione matematica.

Risulta pertanto

	altezza d' onda incidente														
pendenza	1.5	1.75	2	2.25	2.5	2.75	3	3.25	3.5	3.75	4	4.25	4.5	4.75	5
1/1	1.24	1.97	2.94	4.18	5.74	7.63	9.91	12.60	15.74	19.36	23.49	28.18	33.45	39.34	45.88
1.5/1	0.83	1.31	1.96	2.79	3.82	5.09	6.61	8.40	10.49	12.91	15.66	18.79	22.30	26.23	30.59
2/1	0.62	0.98	1.47	2.09	2.87	3.82	4.96	6.30	7.87	9.68	11.75	14.09	16.72	19.67	22.94
2.5/1	0.50	0.79	1.17	1.67	2.29	3.05	3.96	5.04	6.30	7.74	9.40	11.27	13.38	15.74	18.35
3/1	0.41	0.66	0.98	1.39	1.91	2.54	3.30	4.20	5.25	6.45	7.83	9.39	11.15	13.11	15.29
3.5/1	0.35	0.56	0.84	1.19	1.64	2.18	2.83	3.60	4.50	5.53	6.71	8.05	9.56	11.24	13.11
4/1	0.31	0.49	0.73	1.05	1.43	1.91	2.48	3.15	3.93	4.84	5.87	7.04	8.36	9.84	11.47
4.5/1	0.28	0.44	0.65	0.93	1.27	1.70	2.20	2.80	3.50	4.30	5.22	6.26	7.43	8.74	10.20
5/1	0.25	0.39	0.59	0.84	1.15	1.53	1.98	2.52	3.15	3.87	4.70	5.64	6.69	7.87	9.18

Risulta pertanto che i massi devono essere caratterizzati da un singolo tonnellaggio pari a circa 6.60 ton, valore molto prossimo al limite superiore della III cat, pertanto a favore di sicurezza si prevede l'utilizzo di massi naturali di IV categoria (>7.0 ton cad).

Lo spessore di copertura può essere determinato tramite la seguente formula:

$$r = nK_{\Delta}\left(\frac{W}{W_r}\right)^{1/3}$$

Dove:

- **r**: spessore dello strato;
- **n:** numero di massi della mantellata compresi nello spessore (2);
- **W:** peso dei singoli elementi ;
- **Wr:** peso specifico (2.6 ton/mc);
- $\mathbf{K_{\Delta}}$: coefficiente di strato, che per massi naturali a spigoli vivi disposti alla rinfusa assume il valore di 1.00.

Risulta che lo spessore di una mantellata composta da un doppio strato di massi di IV è circa pari a:

Categoria	**n**	**K_{Δ}**	**W**	**Wr**	**r**	**r_{medio}**
[-]	[-]	[-]	[ton]	[ton]	[m]	[m]
IV	2	1	7.0	2.6	2.78	≈ 3.0
			8.0	2.6	2.90	
			9.0	2.6	3.02	
			10.0	2.6	3.13	

Dimensionamento dei massi dei pennelli

La determinazione del peso del singolo elemento costituente la mantellata è condotta con la collaudata espressione di Hudson (1959), largamente diffusa in letteratura, ricavata in base ad un gran numero di risultati sperimentali.

La formulazione risulta la seguente:

$$W = \frac{\gamma \cdot H^3}{K_D \cdot (\gamma/\gamma_w - 1)^3 \cdot \cot\theta}$$

In cui :

γ = densità del materiale costituente la mantellata (2 600 kg/mc)

γ_W = densità dell'acqua di mare (1 030 kg/mc)

H = Altezza dell'onda di calcolo (2.5 m)

K_D = E' un coefficiente di stabilità in funzione della forma dei massi, della scabrezza superficiale della mantellata, del grado di ammorsamento dei massi, dell'ubicazione della sezione allo studio (2).

θ = Angolo che la scarpata forma con l'orizzontale

L' altezza d'onda di calcolo viene assunta pari a 2.75 m, valore dedotto dalla modellazione matematica.

Risulta pertanto

	altezza d' onda incidente														
pendenza	1.5	1.75	2	2.25	2.5	2.75	3	3.25	3.5	3.75	4	4.25	4.5	4.75	5
1/1	1.24	1.97	2.94	4.18	5.74	7.63	9.91	12.60	15.74	19.36	23.49	28.18	33.45	39.34	45.88
1.5/1	0.83	1.31	1.96	2.79	3.82	5.09	6.61	8.40	10.49	12.91	15.66	18.79	22.30	26.23	30.59
2/1	0.62	0.98	1.47	2.09	2.87	3.82	4.96	6.30	7.87	9.68	11.75	14.09	16.72	19.67	22.94
2.5/1	0.50	0.79	1.17	1.67	2.29	3.05	3.96	5.04	6.30	7.74	9.40	11.27	13.38	15.74	18.35
3/1	0.41	0.66	0.98	1.39	1.91	2.54	3.30	4.20	5.25	6.45	7.83	9.39	11.15	13.11	15.29
3.5/1	0.35	0.56	0.84	1.19	1.64	2.18	2.83	3.60	4.50	5.53	6.71	8.05	9.56	11.24	13.11
4/1	0.31	0.49	0.73	1.05	1.43	1.91	2.48	3.15	3.93	4.84	5.87	7.04	8.36	9.84	11.47
4.5/1	0.28	0.44	0.65	0.93	1.27	1.70	2.20	2.80	3.50	4.30	5.22	6.26	7.43	8.74	10.20
5/1	0.25	0.39	0.59	0.84	1.15	1.53	1.98	2.52	3.15	3.87	4.70	5.64	6.69	7.87	9.18

Risulta pertanto che i massi devono essere caratterizzati da un singolo tonnellaggio pari a circa 5.09 ton, valore mediano della III cat, pertanto a favore di sicurezza si prevede l'utilizzo di massi naturali di III+IV categoria.

Lo spessore di copertura può essere determinato tramite la seguente formula:

$$r = nK_{\Delta}\left(\frac{W}{W_r}\right)^{1/3}$$

Dove:

- **r**: spessore dello strato;
- **n:** numero di massi della mantellata compresi nello spessore (1 o 2);
- **W:** peso dei singoli elementi ;
- **Wr:** peso specifico (2.6 ton/mc);
- $\mathbf{K_{\Delta}}$: coefficiente di strato, che per massi naturali a spigoli vivi disposti alla rinfusa assume il valore di 1.00.

Risulta che lo spessore di una mantellata composta da un singolo/doppio strato di massi di III/IV è circa pari a:

n	$\mathbf{K_{\Delta}}$	**W**	**Wr**	**r**	**r medio**
[-]	[-]	[ton]	[ton]	[m]	[m]
1	1	5.0	2.6	1.24	≈ 2.0
		6.0		1.32	
		7.0		1.39	
2		5.0		2.49	
		6.0		2.64	
		7.0		2.78	