



REGIONE MARCHE
COMUNE DI PORTO SANT'ELPIDIO
(Prov. di Fermo)

**OPERE DI DIFESA COSTIERA
PER CONTRASTARE L'EROSIONE MARINA
- INTERVENTO DI DIFESA DELLA COSTA
NEL PARAGGIO DAL F. CHIANTI AL F. TENNA -
- PROGETTO ESECUTIVO -
1° LOTTO**

Elaborato:

RELAZIONE TECNICA

DATA: Maggio 2018

ELAB.:

B

R.T.P.:

Prof. Ing. ALESSANDRO MANCINELLI
Dott. Ing. RAFFAELE SOLUSTRI
Dott. Ing. ELISA SETA

Responsabile Settore LL.PP.:

Dott. Ing. FABIO ALESSANDRINI



1.	DESCRIZIONE DEL PROGETTO	1
2.	INQUADRAMENTO GENERALE.....	7
3.	ANALISI STORICA DEL LITORALE	10
3.1	EVOLUZIONE DELLA LINEA DI RIVA	10
3.2	EVOLUZIONE STORICA DELLE OPERE DI DIFESA	14
4.	CARATTERISTICHE SEDIMENTOLOGICHE E PARAMETRI CARATTERISTICI DELLA SPIAGGIA NATIVA.....	20
5.	STUDIO METEOMARINO	28
5.1	DETERMINAZIONE DEI FETCH GEOGRAFICI ED EFFICACI E METODO DI TRASPOSIZIONE GEOGRAFICA DEI DATI ONDOSI ...	28
5.2	DETERMINAZIONE DELLE ONDE ESTREME AL LARGO DEL PARAGGIO DI PORTO S. ELPIDIO	37
5.3	TRASFERIMENTO DELLE ONDE DAL LARGO ALLA PROFONDITÀ DI IMBASAMENTO DELLE SCOGLIERE	38
5.4	MODELLO DI PROPAGAZIONE DELLE ONDE LATO TERRA DELLE SCOGLIERE	44
6.	PROGETTO DEL RIPASCIMENTO.....	53
6.1	PROCEDURE PER LA STIMA DEI VOLUMI.....	56
6.2	MODELLO MATEMATICO PER L'EVOLUZIONE TRASVERSALE DELLE SPIAGGE GHIAIOSE.....	58
6.3	VALUTAZIONE DEL TRASPORTO LONGSHORE	65
7.	REPERIMENTO DEL MATERIALE DI RIPASCIMENTO	70

1. DESCRIZIONE DEL PROGETTO

Il litorale del Comune di Porto Sant'Elpidio è soggetto a forti fenomeni di erosione che causano danni alla spiaggia, alle strutture balneari ed alle strade litoranee mettendo a rischio di inondazione, nei tratti critici, le abitazioni retrostanti.

Nel 2005 è stato realizzato un sistema di opere di difesa per un tratto di 2365 m di litorale consistente in una barriera sommersa parallela alla linea di riva, senza varchi, chiusa alle due estremità da due pennelli in parte emersi ed in parte sommersi. In prossimità della foce del fosso Castellano veniva inoltre realizzato un pennello della lunghezza di 70 m oltre alla testata di chiusura. Nel tratto protetto dalla barriera sommersa, che ha una sommergenza di -1.20 m, è stato inoltre effettuato un parziale ripascimento, rispetto quanto previsto nel progetto generale, con materiale ghiaioso.

Inoltre negli anni 2015 e 2016 è stata eseguita la manutenzione straordinaria delle scogliere sommerse, con sistemazione della sagoma senza modifica della sommergenza, per complessivi 544m, risultati da un rilievo batimetrico del 2014 i più danneggiati dalle mareggiate, su una lunghezza totale della scogliera di 2.3km (v. TAV.1 – Stato Attuale).

L'opera è stata ripristinata con le stesse caratteristiche del progetto originale, sommergenza di 1.20m, berma di 10m pendenza lato mare 1/2 e lato terra 1/1.5, l'opera era necessaria poiché anche in occasione di mareggiate di media intensità la spiaggia emersa, retrostante la soglia esistente, era soggetta ad allagamenti ed a erosioni localizzate, con danni alle strutture esistenti.



Figura 1.1 – Stralcio TAV. 1 –Planimetria stato attuale

L'attuale progetto prevede la realizzazione di un ripascimento all'interno dell'area protetta dalla scogliera sommersa.

Con l'Accordo di Programma sugli interventi contro il dissesto idrogeologico stipulato tra l'Amministrazione del Comune di Porto Sant'Elpidio, la Regione Marche e la Rete Ferroviaria Italiana S.p.A. si è previsto di finanziare un intervento generale di protezione del paraggio ricompreso tra i transetti 580 e 613 di circa Km. 7.00 con opere rigide e contestuale ripascimento con materiale proveniente prioritariamente dall'alveo dei fiumi Chienti e Tenna, come previsto dal Piano di Gestione Integrata delle Aree Costiere della Regione Marche (aggiornato con D.A.C.R. n.120 del 20/01/2015).

Le mareggiate del 2016-2017 hanno accentuato le erosioni in alcuni tratti del litorale e quindi l'intervento di ripascimento, visto l'importo limitato, non potrà ricoprire l'intera lunghezza del tratto protetto da scogliera sommersa ma dovrà essere concentrato in alcune aree dove la spiaggia emersa è completamente scomparsa mettendo in pericolo le strutture esistenti e la strada retrostante. Per questi tratti le quantità previste del ripascimento dovranno essere quindi molto superiori ai $30\text{m}^3/\text{m}$ utilizzati nel progetto del 2005.

Figura 1.2 – Planimetria di progetto (Progetto di Fattibilità)

A seguito di numerosi incontri con gli Enti Territoriali interessati il Comune di Porto Sant’Elpidio ha incaricato i sottoscritti progettisti, coadiuvati dal dott. Federico Politano specialista ambientale, di valutare preventivamente le possibili aree di approvvigionamento del materiale da utilizzare per il ripascimento sui fiumi Tenna e Chienti.

Dall'esame delle aree fluviali individuate, e dall'incontro preparatorio presso il Comune di Porto S. Elpidio è emerso l'impossibilità di usare le ghiaie da prelevare lungo il corso del fiume Tenna salvo quelle poste sulla spiaggia in prossimità della sua foce. In accordo con i tecnici del Genio Civile

tutela gestione e assetto del territorio di Macerata si è individuata invece un'area compresa tra la foce dell'Ete Morto ed il ponte sulla S.S. N° 16 Adriatica come zona di possibile approvvigionamento del materiale ghiaioso per effettuare il ripascimento.

Per le aree del Chienti, dopo aver effettuato lo studio idraulico, si sono individuate le modalità di campionamento del materiale in accordo con ARPA di Fermo.

La valutazione dei volumi di ghiaia disponibile nella foce del Tenna e sul Chienti impone comunque l'utilizzo anche di materiale proveniente da cave autorizzate.

In definitiva si era previsto che la ghiaia del ripascimento fosse prelevata in parte alla foce del fiume Tenna, in parte in cave autorizzate ed in parte sul tratto finale del fiume Chienti.

Poiché il processo erosivo è aumentato in conseguenza delle mareggiate invernali e l'approvvigionamento delle ghiaie dal Chienti richiede tempi più lunghi sia per la caratterizzazione sia per il prelievo si è deciso, in accordo con il RUP, nella fase di progettazione definitiva, di predisporre due lotti funzionali ed un unico documento di screening ambientale dove vengono riportate tutte le azioni e le valutazioni svolte per l'intero progetto.

I lavori sono stati quindi articolati con:

- 1° LOTTO in cui si utilizzano ghiaie provenienti dalla foce del fiume Tenna e da cave autorizzate.
- 2° LOTTO in cui si utilizzano ghiaie provenienti dal fiume Chienti.

Il Comune di Porto Sant'Elpidio ha presentato istanza di avvio del procedimento di assoggettabilità a VIA del progetto Definitivo correlato dallo Studio Preliminare Ambientale e dalla Relazione Paesaggistica il 28/02/2018. Il procedimento si è concluso con la riunione del 27/04/2018 a seguito della quale il Responsabile del Servizio Tutela, Assetto e Gestione del Territorio della Regione Marche ha proposto “di escludere il progetto di ripascimento dalla successiva VIA nel rispetto delle seguenti condizioni”:

Per il presente 1° lotto:

- *Qualora i sedimenti della foce del F. Tenna che si intende utilizzare facciano rilevare anch'essi la non compatibilità con il ripascimento, dovrà essere modificato alla luce di tale eventuale esito;*
- *Qualora i sedimenti alla foce del Tenna, facciano rilevare la compatibilità con il ripascimento, tenuto conto del parere dell'ASUR Area Vasta n.3 e del divieto di collocare nel sito di destinazione tali sedimenti posto al pf.2.6.1 del capitolo 2 dell'Allegato tecnico del D.M. n.173/2016, comunque essi potranno essere impiegati solo dopo il termine della stagione balneare. Ne deriva che il primo lotto, a cui si potrà dare attuazione non appena*

ottenuta l'autorizzazione, qualora il Comune lo ritenga opportuno, anche a stagione balneare in corso, dovrà essere realizzato solo con materiale da cava.

Nel procedimento di verifica di assoggettabilità a Valutazione di Impatto Ambientale del Progetto Definitivo, sulla base delle risultanze delle analisi chimico-ecotossicologiche eseguite sui campioni prelevati nell'alveo del Chienti, è stata verificata l'incompatibilità di detto materiale all'utilizzo a ripascimento. Pertanto il 2° lotto sarà realizzato esclusivamente con materiale proveniente da cava autorizzata.

A seguito delle mareggiate intervenute durante l'iter di autorizzazione per la non-assoggettabilità a V.I.A., il Comune ha predisposto interventi di somma urgenza sul tratto di litorale interessato dal ripascimento previsto sia nel 1° che nel 2° Lotto, per l'aggravarsi della situazione erosiva.

Poiché alcune parti dei lavori di 1° Lotto sono interessati dai sopradetti interventi, nel presente Progetto Esecutivo si effettuerà il ripascimento nei tratti in maggior erosione, rinviando al 2° Lotto il completamento di quanto previsto nel Progetto Definitivo.

Il presente 1° Lotto prevede quindi i seguenti lavori:

- Ripascimento per una lunghezza di circa 300m con ghiaie compatibili con un versamento di **60m³/m** per il tratto in maggiore erosione.

Il totale del materiale previsto è quindi pari a 18'000m³, da reperire nella foce del fiume Tenna per un totale 10'000m³, e per un totale di 8'000m³ da cave autorizzate.



Figura 1 – Stralcio Planimetria di Progetto Esecutivo – 1° Lotto

Nel progetto è stato valutato il diametro minimo indispensabile da utilizzare nel ripascimento compatibile con le ghiaie esistenti come risulta dalla campagna di caratterizzazione granulometrica effettuata dal Geologo Orazi nel 2014 su tutto il litorale del Comune e allegata alla Relazione Tecnica. La compatibilità litologica è scontata poiché il fiume Tenna è il fiume che con il proprio trasporto solido alimenta la spiaggia di Porto Sant'Elpidio.

2. INQUADRAMENTO GENERALE

Il litorale in esame si affaccia sul Mar Adriatico centrale di fronte alle coste della Croazia, esso fa parte dell'unità fisiografica N.20 come riportato nel *Piano di gestione integrata delle aree costiere* (vedi **Figura 2.**), la quale si estende in lunghezza per 7.25 Km totalmente ricadente nel Comune di Porto Sant'Elpidio compresa tra le due foci fluviali del Chienti a nord-ovest e del Tenna a sud-est. L'Adriatico, nel tratto di interesse, è caratterizzato da fondali di 50 m di profondità a circa 23 km dalla costa ed un litorale prevalentemente ghiaioso con basse pendenze con profondità inferiori di 10 m anche a 1.3 km dalla costa.

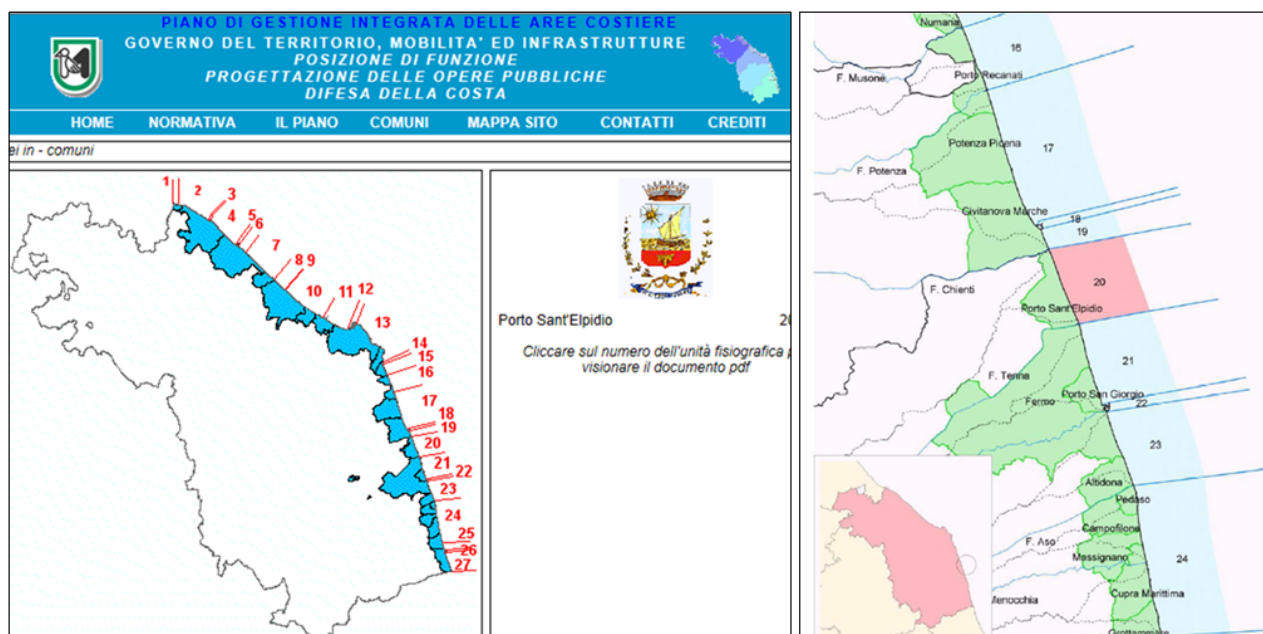


Figura 2.1 – Unità fisiografica N.20 dalla foce del fiume Chienti alla foce del fiume Tenna

Il piano non prevedeva la realizzazione di opere marittime ma un considerevole intervento di ripascimento con ghiaie e sabbie da reperire sia dai fiumi limitrofi che dall'Unità Fisiografica n.19.

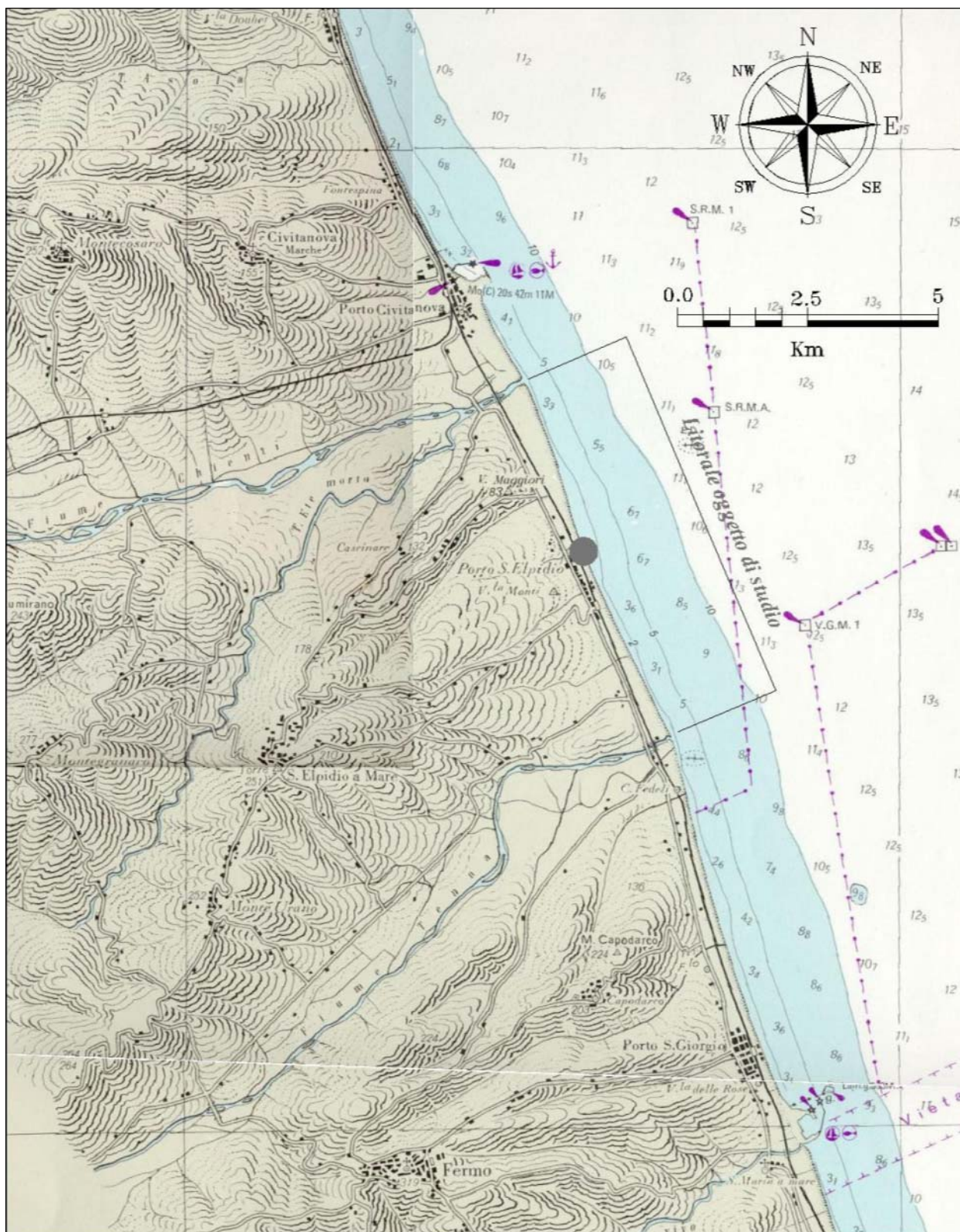


Figura 2.2 – Litorale oggetto di studio riportato in scala 1:200000 (Fonte Carta I.I.M. anno 1987-scala 1:100000)

I bacini principali di apporto solido sono costituiti dal fiume Chienti e dal fiume Tenna, i quali fanno risentire la loro positiva influenza nell'alimentazione della spiaggia con sedimenti di buona qualità, in particolare il pennello collocato sul foce del Tenna ha contribuito ad un accumulo di tale materiale per effetto del trasporto solido prevalentemente diretto da sud-est (SE) a nord-ovest (NO)

(V. Figura 2.3), i sedimenti della foce del Chienti sono prevalentemente trasportati a ridosso del molo di sopraflutto del porto di Civitanova Marche, come testimoniato dall'avanzamento della spiaggia emersa.

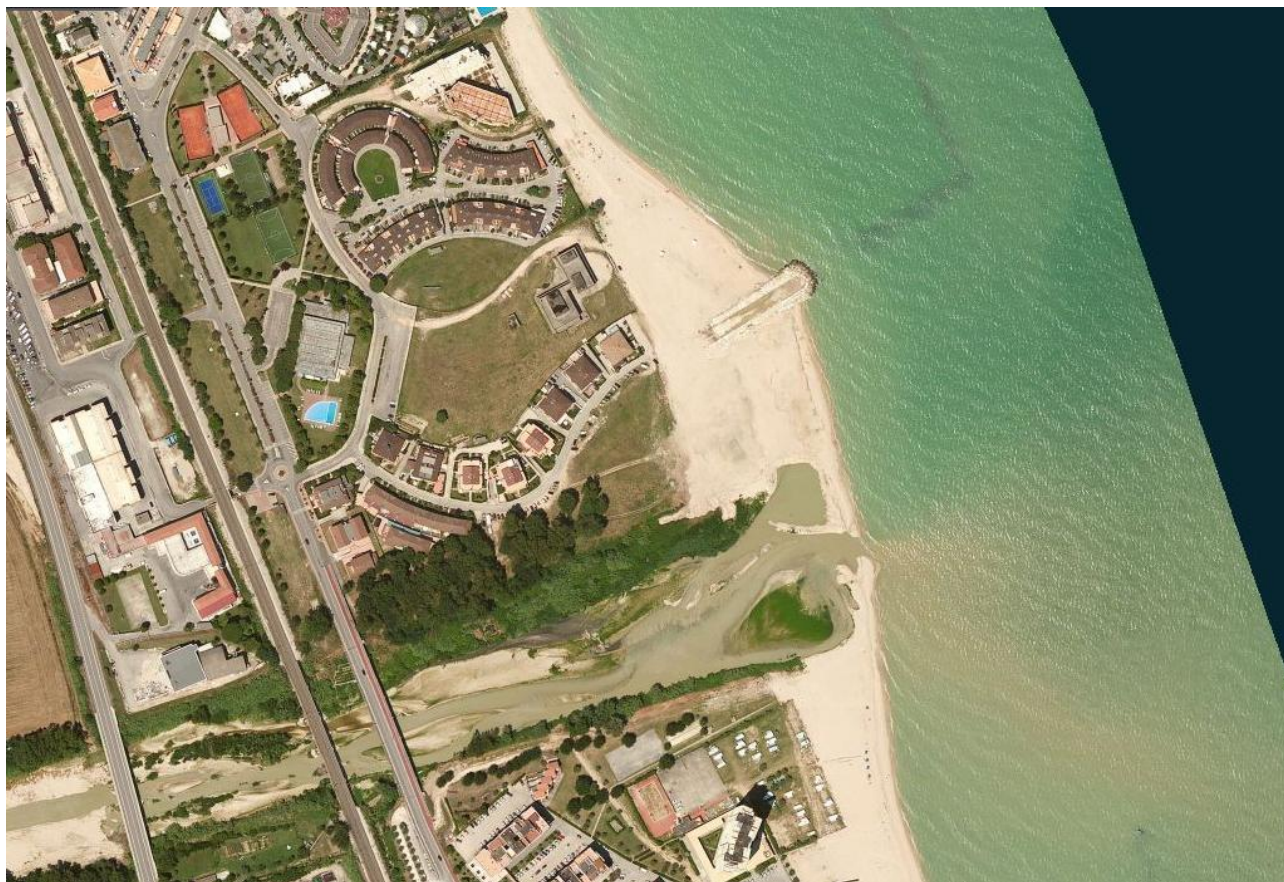


Figura 2.3 – Pennello alla foce del Fiume Tenna

3. ANALISI STORICA DEL LITORALE

3.1 EVOLUZIONE DELLA LINEA DI RIVA

Lo studio dell'evoluzione del litorale è stato condotto facendo riferimento alle seguenti fonti di dati:

1. linea di riva del 1894 derivata dalla base cartografica in scala 1:50.000 della "Carta d'Italia" dell' I.G.M;
2. linea di riva del 1948 derivata dalla base cartografica in scala 1:25.000 della "Carta d'Italia" dell' I.G.M;
3. linea di riva del 1985 derivata da rilievo aerofotogrammetrico in scala 1:10.000;
4. linea di riva del 1988 derivata dal rilievo aerofotogrammetrico in scala 1:10.000;
5. linea di riva del 1999 derivata dal rilievo della Regione Marche in scala 1:10.000;
6. linea di riva del 2004 derivata dal rilievo della Regione Marche in scala 1:4.000;
7. linea di riva del 2009 derivata dal rilievo della Regione Marche in scala 1:10.000;
8. linea di riva del 2014 derivata dal rilievo (di tipo multibeam) della Regione Marche in scala 1:10.000;

L'evoluzione della linea di riva, valutata utilizzando le fonti cartografiche 1, 2, 3 e 5 dell'elenco sopra riportato, è riportata nelle Tavole allegate agli studi ed indagini effettuati nel 2000 e finalizzati alla redazione del *Piano di gestione integrata delle aree costiere* della Regione Marche (vedi **Figura 3.1**).



Figura 3.1 – Evoluzione storica della linea di costa per gli anni 1894, 1948, 1985 e 1999 – Porto Sant’Elpidio.
Fonte: Tavola C1 - 13 (scala 1:10000) – Studio, indagini, modelli matematici finalizzati alla redazione del *Piano di gestione integrata delle aree costiere* della Regione Marche, 2000 (Istituto di Idraulica, Facoltà Ingegneria AN)



Figura 3.2 – Evoluzione storica della linea di costa per gli anni 1894, 1948, 1985, 1988, 1999, 2004, 2009 e 2014. Indicazione delle opere di difesa (*Progetto Esecutivo - 2005*)

Gli studi e le indagini finalizzati alla redazione del Piano di difesa della costa inerenti l'evoluzione della linea di riva hanno permesso di valutare come questa si è modificata nel tempo. La Figura mostra la valutazione dell'evoluzione della linea di costa stimata fino agli anni 2000, basandosi sulla rilevazione delle linee di costa.

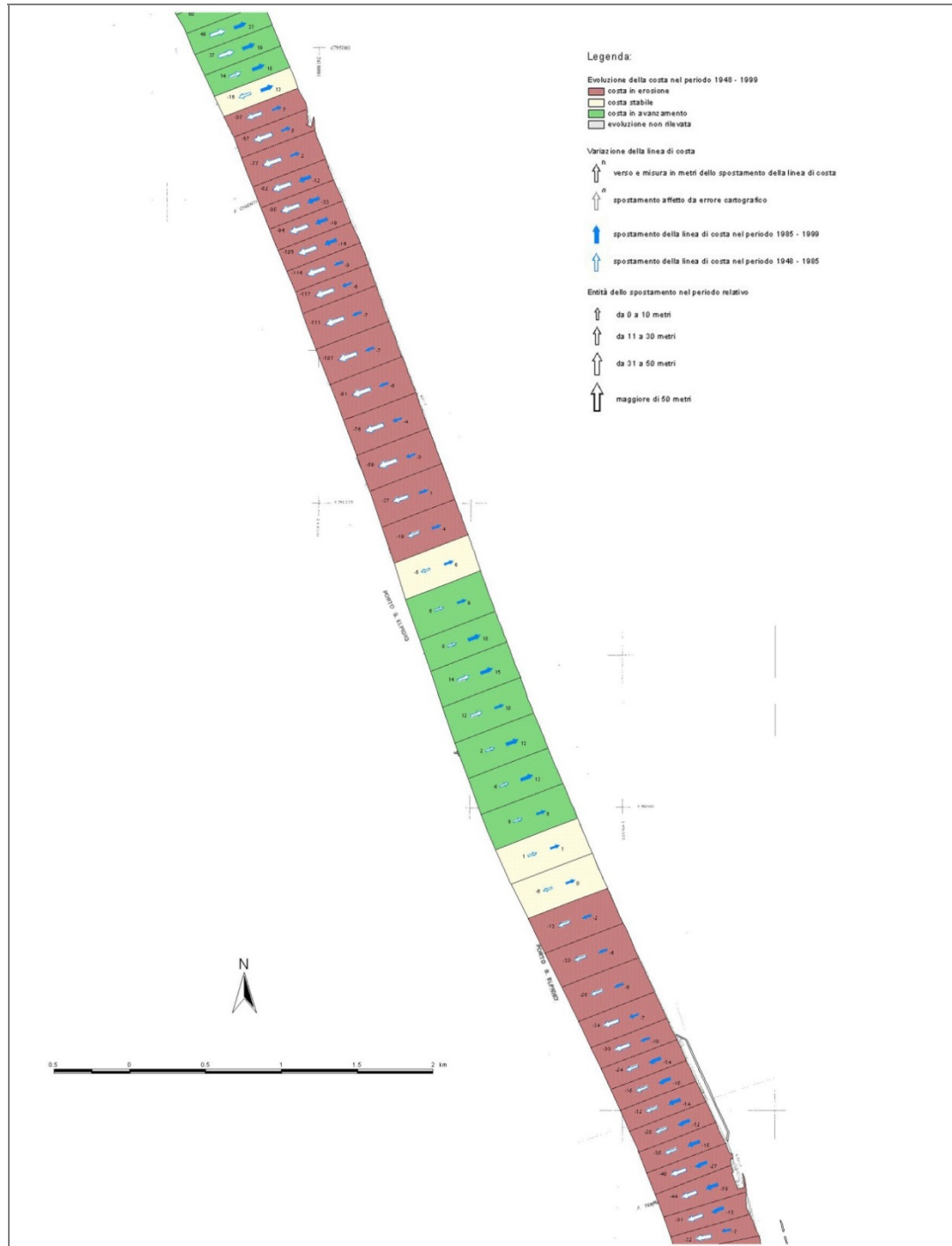


Figura 3.3 – Valutazione dell'evoluzione della linea di costa – Porto Sant'Elpidio. Fonte: Tavola C3 - 13 (scala 1:10000) – Studio, indagini, modelli matematici finalizzati alla redazione del *Piano di gestione integrata delle aree costiere* della Regione Marche, 2000 (Istituto di Idraulica, Facoltà Ingegneria AN)

Lo stesso tipo di indagine è stata condotta tenendo conto dei dati dei rilievi della linea di costa più recenti (successivi al 2000).

Il rilievo topo-batimetrico, eseguito nel 2014, dal Comune di Porto Sant'Elpidio su tutto il litorale del territorio comunale ha consentito di verificare arretramenti della linea di riva nel periodo 1999-2014, stimati dell'ordine della decina di metri nella parte sud, dove le mareggiate del 2013-2014 hanno raggiunto e allagato la strada provocando numerosi danni alle concessioni esistenti, e di 40m in media nel litorale nord sottoflutto del pennello realizzato sulla foce del torrente Castellano.

3.2 EVOLUZIONE STORICA DELLE OPERE DI DIFESA

Gli studi e le indagini finalizzati alla redazione del *Piano di gestione integrata delle aree costiere* hanno permesso di individuare e classificare tutte le opere di difesa costiera esistenti fino al 2000 lungo il litorale marchigiano.

Fino a tale data il tratto di costa del Comune di Porto Sant'Elpidio risultava ancora poco interessato da opere costiere. Nel 1984-85, per il progressivo lento smantellamento della foce del Tenna, venne posto sottoflutto ad essa un ripascimento con soglia sommersa al piede. L'opera, di modeste dimensioni trasversali alla costa, non aveva avuto gravi ripercussioni sulla spiaggia che quindi risultava godere di una buona salute. La lunghezza di tale intervento a spiaggia sospesa è stato di 0.75km, che rappresentava il 10% della lunghezza del litorale. La **Figura 3.4** mostra l'evoluzione storica delle opere di difesa fino al 2000.

Gli interventi previsti dal *Progetto Esecutivo - Difesa del litorale di Porto Sant'Elpidio* del 2005 hanno riguardato:

1. un ripascimento con sedimento avente $D_{50} \geq 1,0$ mm e volume tale da garantire a breve termine, dopo il rimodellamento da parte del moto ondoso, un avanzamento netto della linea di riva di circa 15 m,
2. un pennello di armatura della foce del fosso Castellano posto in sinistra idraulica rispetto alla foce della lunghezza di circa 70 m;
3. un pennello di armatura della foce del fiume Tenna posto in sinistra idraulica rispetto alla foce della lunghezza di circa 70 m;
4. una scogliera longitudinale sommersa di 2.5 km di lunghezza posta mediamente a circa 275 m dalla linea di riva su fondali di -3.5 m s.l.m., avente quota di coronamento di circa -1.3 m s.l.m. e larghezza in sommità di circa 10 m.

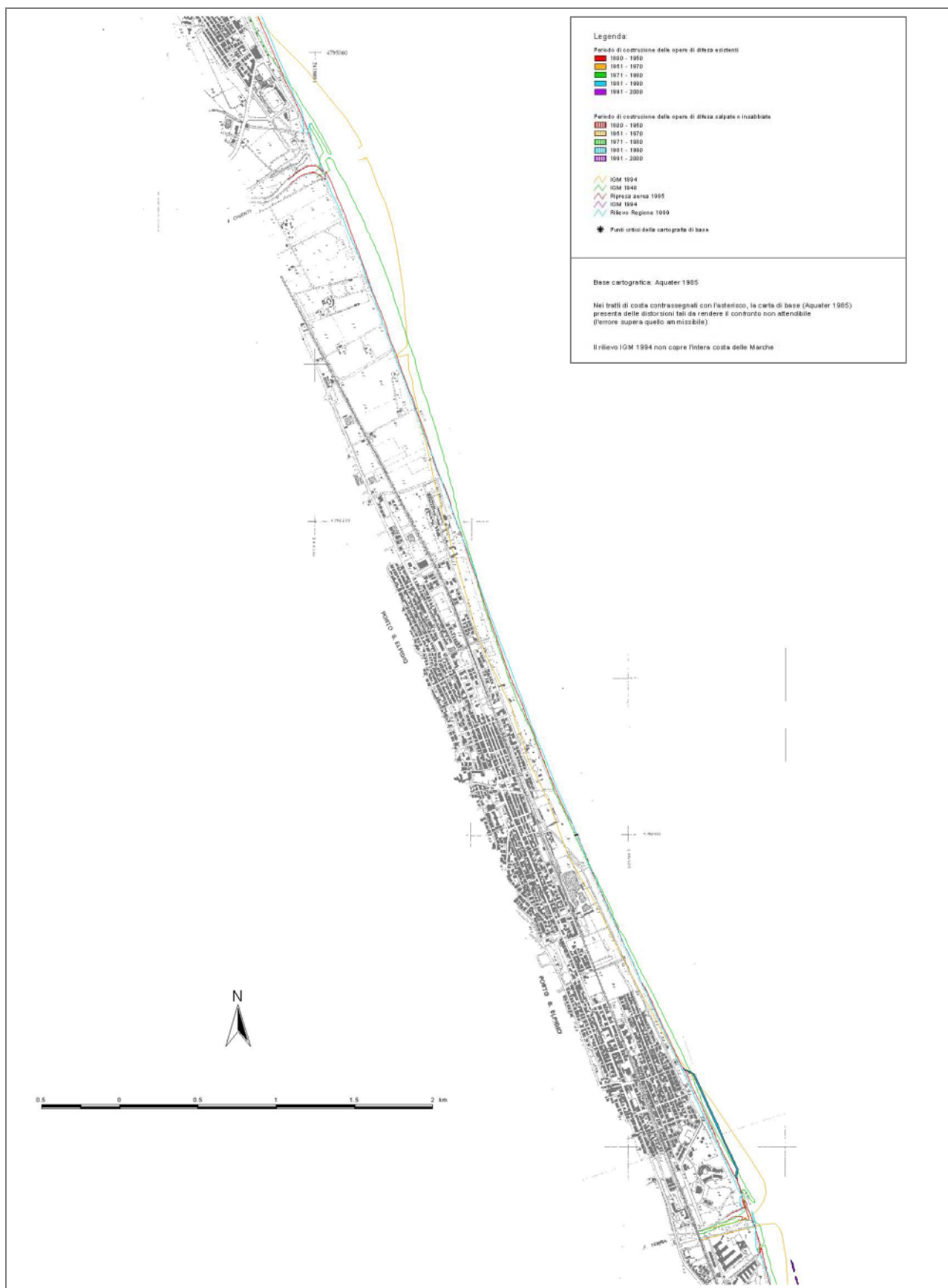


Figura 3.4 – Evoluzione storica delle opere di difesa – Porto Sant’Elpidio. Fonte: Tavola C2 - 13 (scala 1:10000) – Studio, indagini, modelli matematici finalizzati alla redazione del Piano di gestione integrata delle aree costiere della Regione Marche, 2000

L'effetto delle opere di difesa costiera su tutto il litorale di Porto Sant'Elpidio è stato valutato confrontando l'evoluzione delle linee di riva, in particolare quella pre-intervento (rilievo del 2004), post-intervento (rilievo del 2009) e attuale (rilievo 2014). La Figura 3.5 mostra l'evoluzione della linea di riva nel lungomare sud di Porto Sant'Elpidio, interessato dall'intervento di difesa con ripascimento, barriere sommerse e pennello, mentre la Figura 3.6 mostra le linee di riva del lungomare nord di Porto sant'Elpidio e l'opera di difesa a pennello.

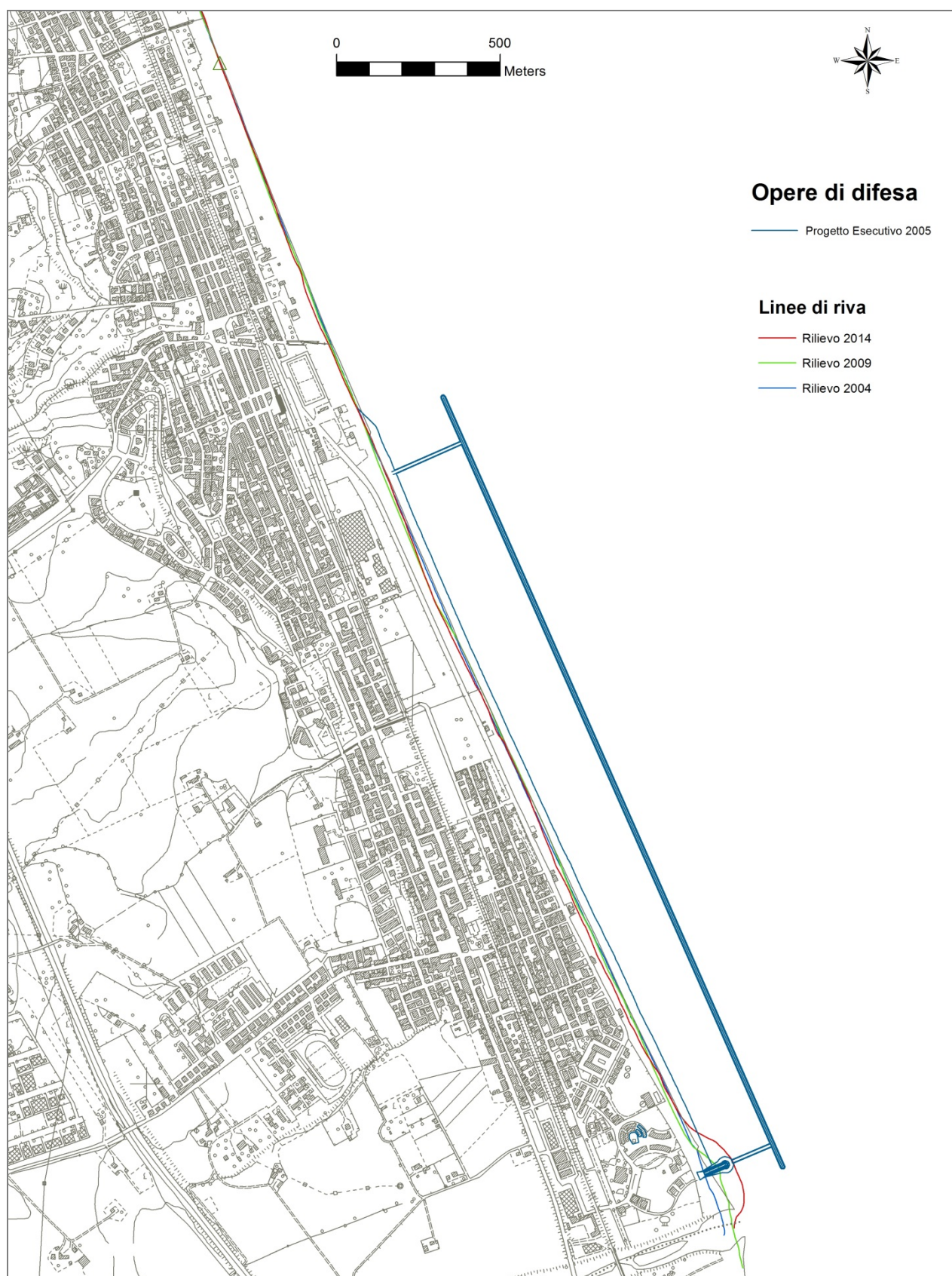


Figura 3.5 – Evoluzione storica delle linee di riva pre- e post-opere di difesa previste dal *Progetto Esecutivo – Difesa del litorale di Porto Sant’Elpidio*. (Rilievi del 2004, 2009, 2014). Lungomare Sud

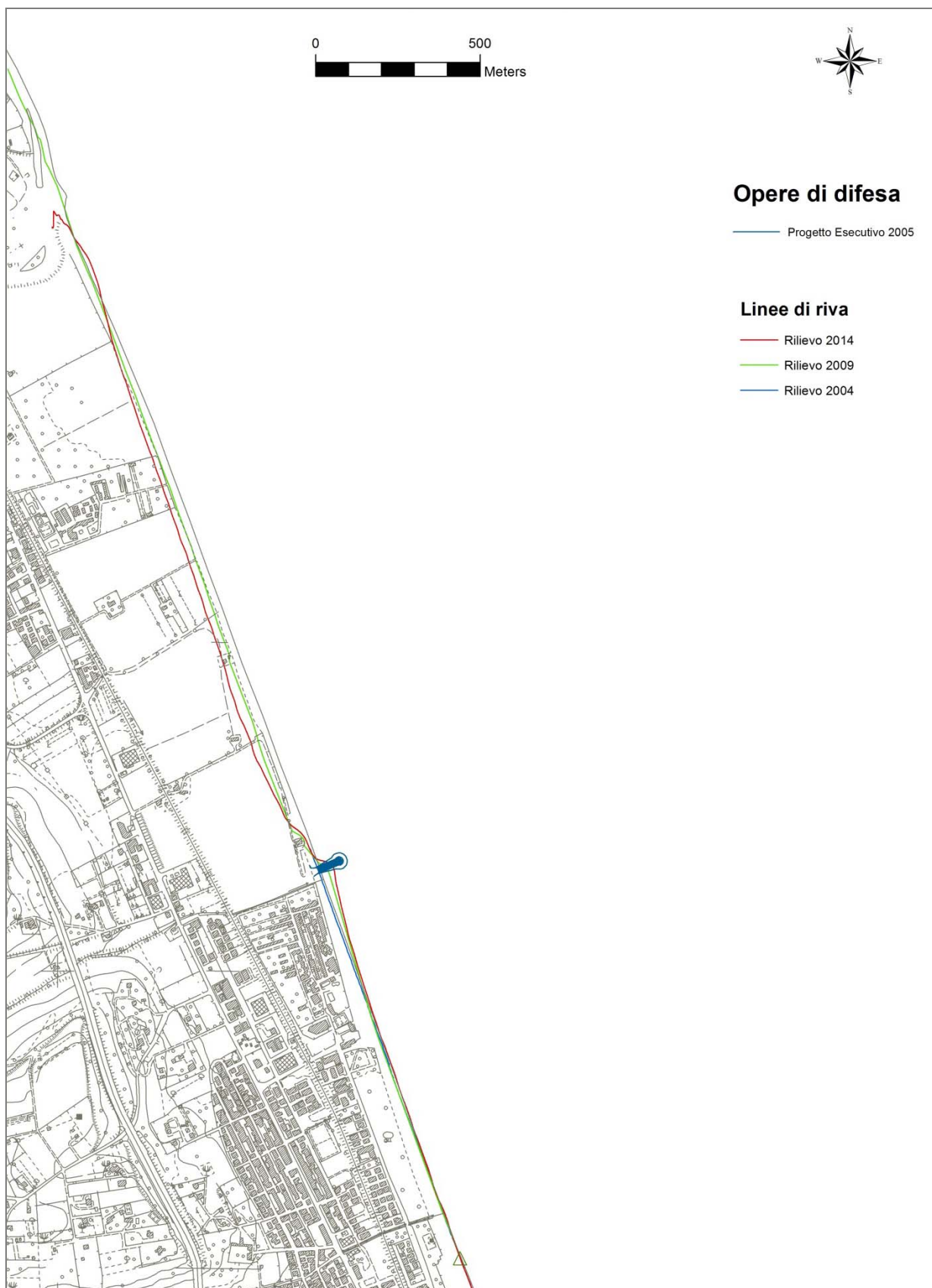


Figura 3.6 – Evoluzione storica delle linee di riva pre- e post-opere di difesa previste dal *Progetto Esecutivo – Difesa del litorale di Porto Sant’Elpidio*. (Rilievi del 2004, 2009, 2014). Lungomare Nord

Il rilievo multi-beam effettuato nel 2014 ha permesso di verificare lo stato della scogliera sommersa esistente, mostrando dei tratti in cui l'opera risultava fortemente danneggiata dalle intense mareggiate e per i quali sono stati eseguiti nel 2016 lavori di manutenzione straordinaria con ripristino della sagoma originale e della sommergenza di progetto di -1.20m.

4. CARATTERISTICHE SEDIMENTOLOGICHE E PARAMETRI CARATTERISTICI DELLA SPIAGGIA NATIVA

Le caratteristiche granulometriche della spiaggia emersa del litorale di Porto Sant'Elpidio (tratto che va dalla foce del fiume Tenna fino alla foce del fiume Chienti) sono state rilevate dalla campagna di campionamenti effettuata nel 2014 dal *Laboratorio Geomeccanico Orazi SAS*.

I campionamenti del terreno sono stati effettuati a partire dalla foce del Tenna nel cumulo di detriti formatosi e sono quelli denominati 0-A, 0-B, 0-C e 0-D, i restanti campioni sono stati prelevati lungo la costa dal numero 1 fino al numero 82 prelevato nelle vicinanze della foce del Chienti. Ogni campionamento è stato ripetuto in tre punti lungo la trasversale alla costa ed in particolare la lettera A indica che il campione è stato prelevato in mare a circa 3 m di distanza dalla battigia, la lettera B sulla battigia e la lettera C a monte della battigia (circa 3-5 m). La frequenza dei prelievi è la seguente:

- da 1 a 51 ogni 50 m circa
- da 51 a 61 ogni 100 m circa
- da 61 a 71 ogni 150 m circa
- da 71 a 82 ogni 200 m circa

I prelievi più ravvicinati sono stati eseguiti in corrispondenza delle barriere sommerse per caratterizzarne meglio il comportamento idrodinamico e morfologico.

I risultati delle analisi granulometriche sui materiali presenti sulla spiaggia emersa e sommersa sono riportati di seguito (Tab. 4.1.a÷4.1.b e Fig. 4.1.a÷4.1.d).

campione		D50 (mm)	tipo di terreno				
0	A	14.35	ghiaia				
	B	3.19	ghiaia con sabbia				
	C	8.50	ghiaia				
	D	8.72	ghiaia				
1	A	3.34	ghiaia con sabbia	21	A	3.92	ghiaia con sabbia
	B	9.61	ghiaia		B	11.43	ghiaia
	C	13.97	ghiaia debolmente sabbiosa		C	9.70	ghiaia
2	A	5.88	ghiaia sabbiosa	22	A	4.66	ghiaia con sabbia
	B	3.83	ghiaia con sabbia		B	9.42	ghiaia sabbiosa
	C	16.80	ghiaia		C	13.47	ghiaia
3	A	12.80	ghiaia	23	A	6.66	ghiaia sabbiosa
	B	13.58	ghiaia		B	8.83	ghiaia
	C	29.18	ghiaia		C	14.10	ghiaia
4	A	2.90	ghiaia con sabbia	24	A	4.86	ghiaia con sabbia
	B	5.77	ghiaia con sabbia		B	7.03	ghiaia sabbiosa
	C	5.71	ghiaia con sabbia		C	13.35	ghiaia
5	A	1.28	ghiaia con sabbia	25	A	4.22	ghiaia con sabbia
	B	6.78	ghiaia debolmente sabbiosa		B	7.55	ghiaia
	C	13.09	ghiaia debolmente sabbiosa		C	15.65	ghiaia debolmente sabbiosa
6	A	1.21	sabbia con ghiaia	26	A	5.57	ghiaia sabbiosa
	B	7.52	ghiaia debolmente sabbiosa		B	6.03	ghiaia sabbiosa
	C	7.24	ghiaia debolmente sabbiosa		C	12.16	ghiaia
7	A	0.94	sabbia con ghiaia	27	A	6.52	ghiaia sabbiosa
	B	10.54	ghiaia debolmente sabbiosa		B	4.74	ghiaia con sabbia
	C	19.04	ghiaia		C	6.41	ghiaia sabbiosa
8	A	1.89	sabbia con ghiaia	28	A	1.66	sabbia con ghiaia
	B	8.63	ghiaia sabbiosa		B	4.07	ghiaia con sabbia
	C	14.85	ghiaia		C	14.42	ghiaia
9	A	4.81	ghiaia con sabbia	29	A	3.16	ghiaia con sabbia
	B	6.79	ghiaia sabbiosa		B	7.91	ghiaia
	C	19.20	ghiaia		C	10.19	ghiaia
10	A	6.80	ghiaia sabbiosa	30	A	4.15	ghiaia con sabbia
	B	8.93	ghiaia		B	8.44	ghiaia
	C	14.63	ghiaia sabbiosa		C	11.54	ghiaia sabbiosa
11	A	4.96	ghiaia con sabbia	31	A	1.88	sabbia con ghiaia
	B	13.43	ghiaia debolmente sabbiosa		B	7.38	ghiaia
	C	3.73	ghiaia con sabbia		C	14.81	ghiaia
12	A	5.32	ghiaia con sabbia	32	A	1.17	sabbia con ghiaia
	B	14.55	ghiaia		B	16.47	ghiaia
	C	15.42	ghiaia		C	29.48	ghiaia
13	A	7.96	ghiaia sabbiosa	33	A	1.76	sabbia con ghiaia
	B	10.44	ghiaia debolmente sabbiosa		B	14.43	ghiaia
	C	13.99	ghiaia sabbiosa		C	21.42	ghiaia
14	A	6.97	ghiaia con sabbia	34	A	2.59	ghiaia con sabbia
	B	10.56	ghiaia sabbiosa		B	12.26	ghiaia debolmente sabbiosa
	C	12.81	ghiaia sabbiosa		C	14.08	ghiaia
15	A	4.66	ghiaia con sabbia	35	A	1.91	sabbia con ghiaia
	B	14.11	ghiaia		B	16.24	ghiaia
	C	14.62	ghiaia		C	19.74	ghiaia
16	A	1.41	sabbia con ghiaia	36	A	0.84	sabbia con ghiaia
	B	7.80	ghiaia con sabbia		B	13.79	ghiaia debolmente sabbiosa
	C	17.31	ghiaia		C	22.10	ghiaia
17	A	5.78	ghiaia con sabbia	37	A	4.03	ghiaia con sabbia
	B	7.84	ghiaia sabbiosa		B	12.82	ghiaia
	C	15.69	ghiaia		C	13.45	ghiaia
18	A	3.45	ghiaia con sabbia	38	A	5.75	ghiaia con sabbia
	B	13.60	ghiaia		B	13.52	ghiaia
	C	11.61	ghiaia		C	14.34	ghiaia
19	A	7.33	ghiaia sabbiosa	39	A	1.62	sabbia con ghiaia
	B	10.66	ghiaia debolmente sabbiosa		B	6.27	ghiaia
	C	15.45	ghiaia		C	14.43	ghiaia
20	A	4.88	ghiaia sabbiosa	40	A	5.80	ghiaia sabbiosa
	B	8.98	ghiaia debolmente sabbiosa		B	13.04	ghiaia
	C	10.54	ghiaia		C	24.59	ghiaia

Tabella 4.1.a – Tabella riassuntiva dei campioni prelevati lungo il litorale di Porto Sant’Elpidio con relativo D_{50} e tipologia di terreno dal numero 0 al numero 40 (A=a mare; B=battigia; C=a monte)

41	A	2.74	ghiaia con sabbia	62	A	5.07	ghiaia
	B	12.98	ghiaia		B	6.04	ghiaia
	C	27.36	ghiaia		C	16.28	ghiaia
42	A	2.78	ghiaia con sabbia	63	A	1.16	sabbia con ghiaia
	B	4.29	ghiaia con sabbia		B	7.42	ghiaia
	C	13.19	ghiaia		C	13.57	ghiaia sabbiosa
43	A	3.83	ghiaia con sabbia	64	A	3.34	ghiaia con sabbia
	B	7.87	ghiaia		B	0.94	sabbia con ghiaia
	C	20.88	ghiaia		C	15.28	ghiaia sabbiosa
44	A	1.96	sabbia con ghiaia	65	A	1.18	sabbia con ghiaia
	B	10.61	ghiaia debolmente sabbiosa		B	5.51	ghiaia debolmente sabbiosa
	C	14.99	ghiaia		C	15.08	ghiaia
45	A	4.74	ghiaia con sabbia	66	A	7.76	ghiaia con sabbia
	B	13.57	ghiaia		B	8.19	ghiaia debolmente sabbiosa
	C	18.51	ghiaia		C	11.73	ghiaia sabbiosa
46	A	1.72	sabbia con ghiaia	67	A	11.35	sabbia con ghiaia
	B	11.66	ghiaia		B	7.95	ghiaia sabbiosa
	C	18.28	ghiaia		C	17.34	ghiaia
47	A	1.32	sabbia con ghiaia	68	A	5.17	ghiaia con sabbia
	B	12.05	ghiaia		B	9.56	ghiaia
	C	22.44	ghiaia		C	15.48	ghiaia
48	A	1.89	sabbia con ghiaia	69	A	1.41	sabbia con ghiaia
	B	15.43	ghiaia		B	5.63	ghiaia con sabbia
	C	13.21	ghiaia		C	15.19	ghiaia
49	A	3.33	ghiaia con sabbia	70	A	1.35	sabbia con ghiaia
	B	11.79	ghiaia		B	13.24	ghiaia
	C	20.43	ghiaia		C	16.44	ghiaia
50	A	1.48	sabbia con ghiaia	71	A	0.73	sabbia con ghiaia
	B	9.54	ghiaia		B	13.68	ghiaia debolmente sabbiosa
	C	22.54	ghiaia		C	13.28	ghiaia
51	A	3.28	ghiaia sabbiosa	72	A	2.17	ghiaia con sabbia
	B	11.27	ghiaia		B	11.53	ghiaia
	C	18.63	ghiaia		C	15.35	ghiaia
52	A	2.59	ghiaia con sabbia	73	A	0.78	sabbia con ghiaia
	B	8.60	ghiaia		B	5.51	ghiaia con sabbia
	C	14.82	ghiaia		C	20.36	ghiaia
53	A	2.67	ghiaia con sabbia	74	A	2.47	ghiaia con sabbia
	B	9.72	ghiaia		B	9.18	ghiaia
	C	14.15	ghiaia		C	15.59	ghiaia
54	A	3.20	ghiaia sabbiosa	75	A	0.92	sabbia con ghiaia
	B	6.79	ghiaia		B	9.55	ghiaia
	C	16.22	ghiaia		C	17.22	ghiaia
55	A	3.39	ghiaia sabbiosa	76	A	3.28	ghiaia con sabbia
	B	13.22	ghiaia		B	8.22	ghiaia sabbiosa
	C	20.03	ghiaia		C	15.26	ghiaia
56	A	5.59	ghiaia debolmente sabbiosa	77	A	2.19	ghiaia con sabbia
	B	8.67	ghiaia		B	9.99	ghiaia sabbiosa
	C	20.45	ghiaia		C	14.19	ghiaia
57	A	1.87	sabbia con ghiaia	78	A	2.55	ghiaia con sabbia
	B	13.99	ghiaia		B	9.48	ghiaia sabbiosa
	C	15.39	ghiaia sabbiosa		C	16.11	ghiaia
58	A	3.35	ghiaia sabbiosa	79	A	3.46	ghiaia sabbiosa
	B	9.31	ghiaia		B	8.06	ghiaia debolmente sabbiosa
	C	16.34	ghiaia		C	14.47	ghiaia
59	A	6.02	ghiaia sabbiosa	80	A	2.09	ghiaia con sabbia
	B	8.03	ghiaia		B	9.64	ghiaia debolmente sabbiosa
	C	20.29	ghiaia		C	15.71	ghiaia
60	A	5.61	ghiaia	81	A	3.70	ghiaia sabbiosa
	B	9.72	ghiaia		B	6.94	ghiaia
	C	16.87	ghiaia		C	14.77	ghiaia
61	A	5.30	ghiaia	82	A	2.44	ghiaia con sabbia
	B	5.76	ghiaia		B	5.61	ghiaia sabbiosa
	C	14.66	ghiaia		C	11.50	ghiaia

Tabella 4.1.b– Tabella riassuntiva dei campioni prelevati lungo il litorale di Porto Sant’Elpidio con relativo D_{50} e tipologia di terreno dal numero 41 al numero 82 (A=a mare; B=battigia; C=a monte)

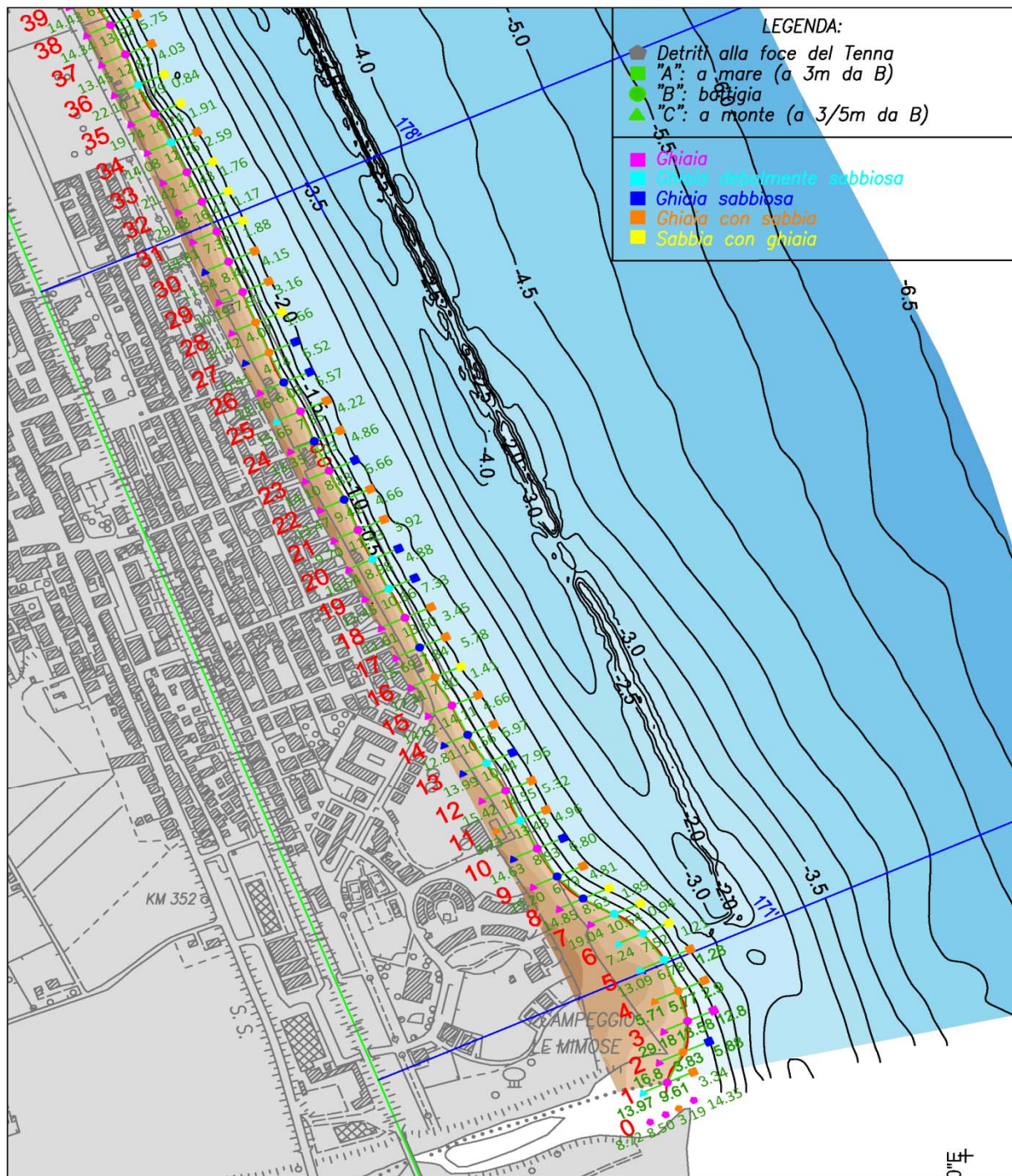


Figura 4.1.a - Distribuzione planimetrica dei campionamenti effettuati lungo il litorale di Porto Sant'Elpidio con il relativo D_{50} dal numero 1 al numero 38

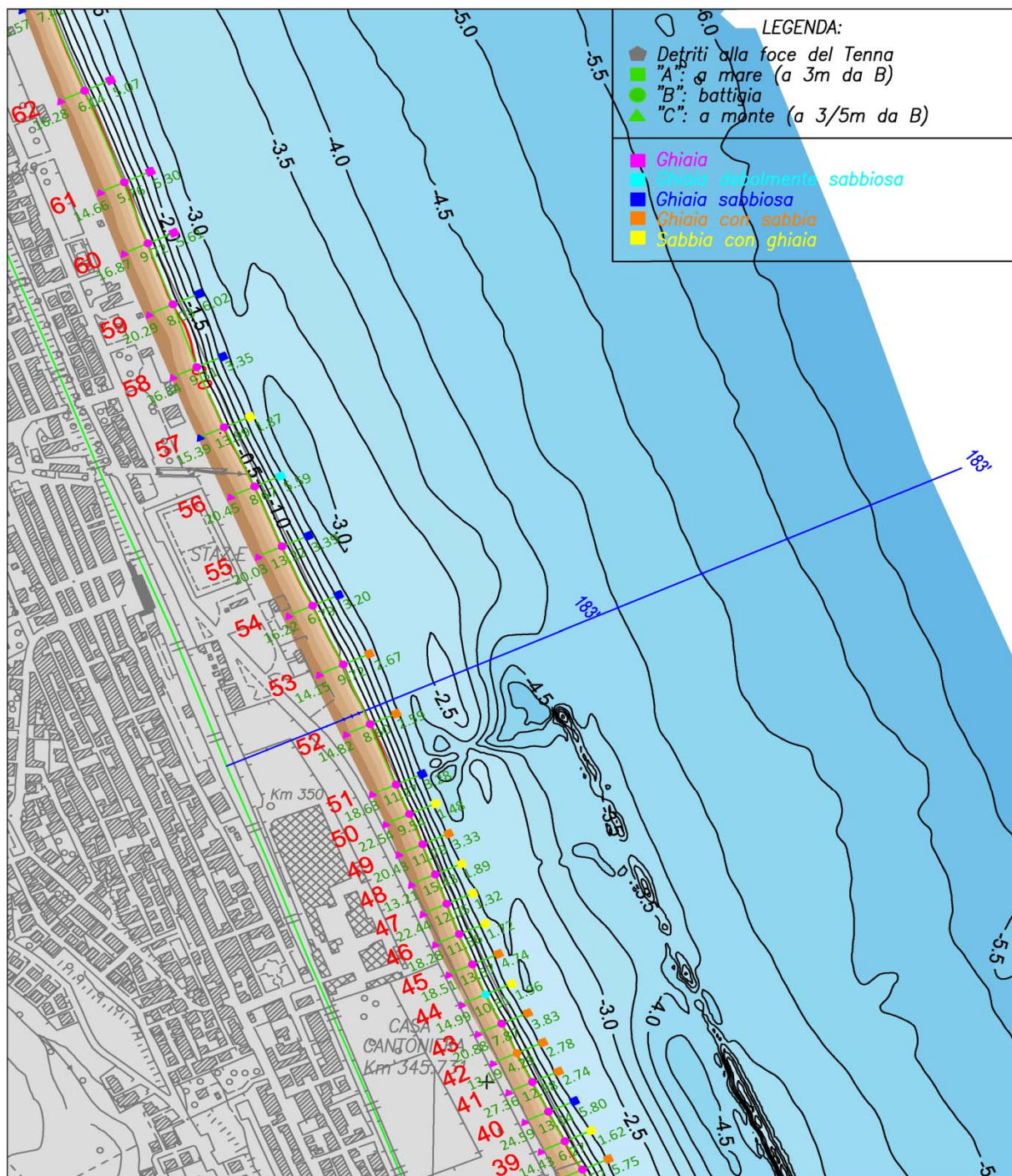


Figura 4.1.b - Distribuzione planimetrica dei campionamenti effettuati lungo il litorale di Porto Sant'Elpidio con il relativo D_{50} dal numero 39 al numero 62

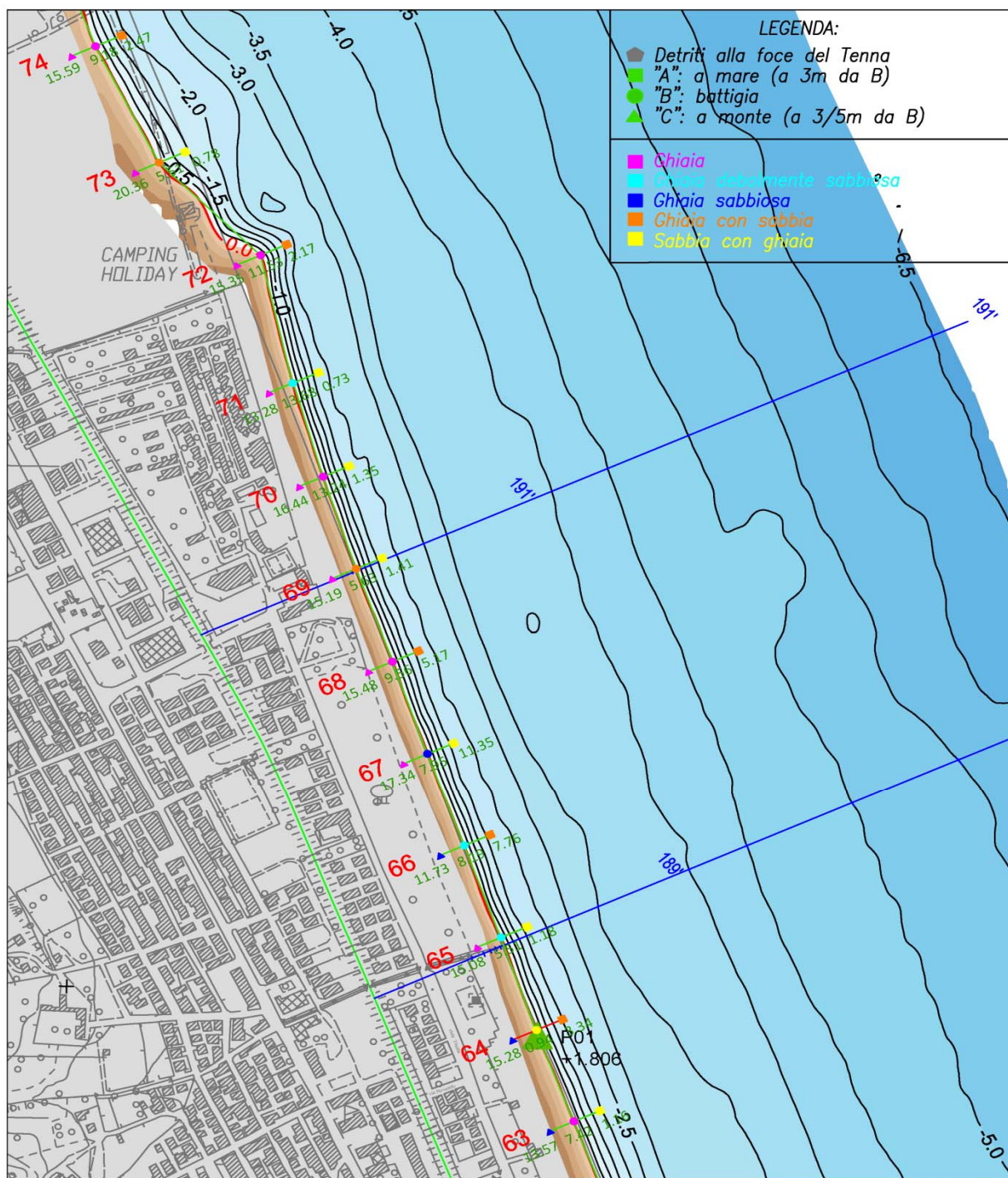


Figura 4.1.c - Distribuzione planimetrica dei campionamenti effettuati lungo il litorale di Porto Sant'Elpidio con il relativo D_{50} dal numero 63 al numero 74

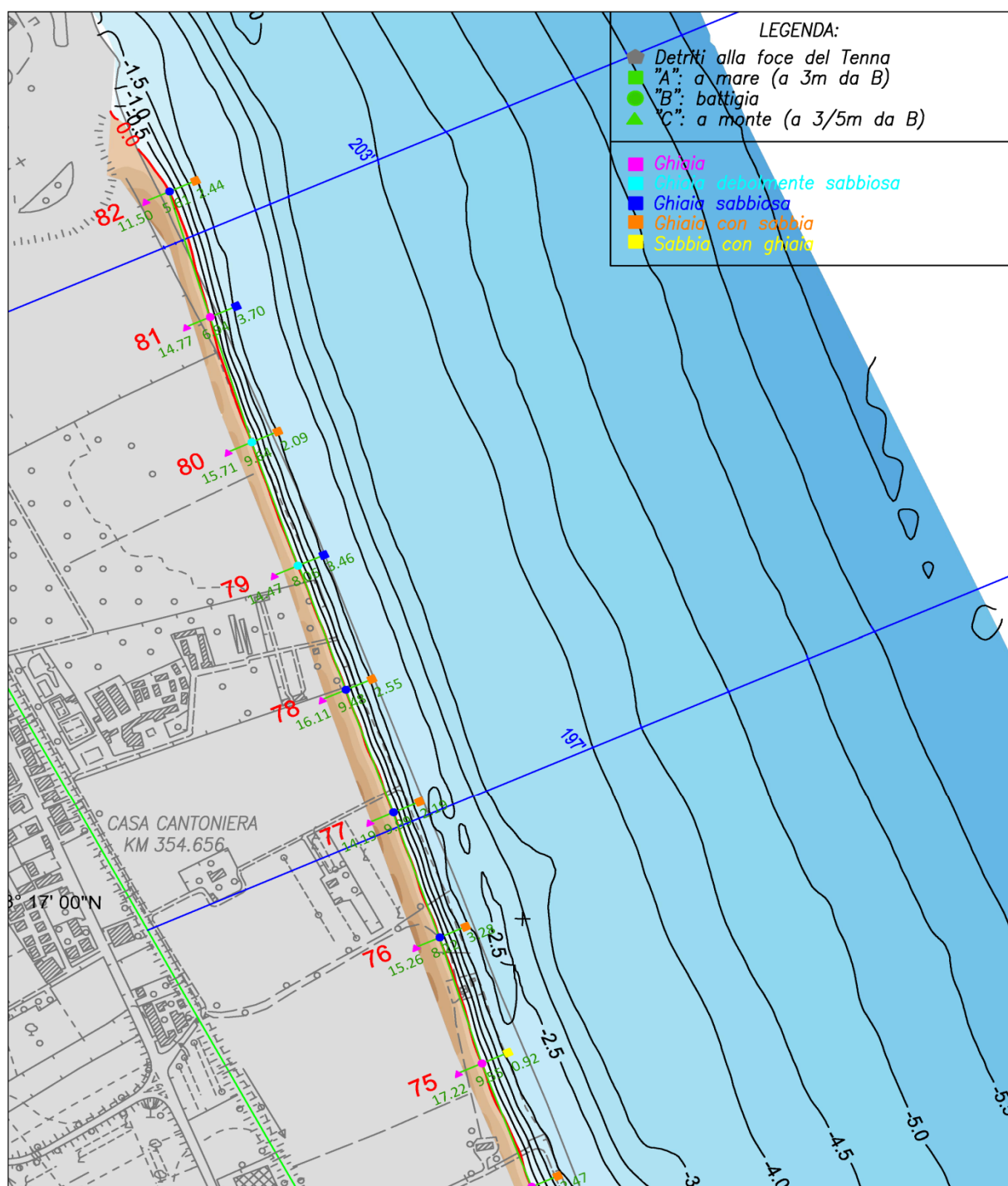


Figura 4.1.d - Distribuzione planimetrica dei campionamenti effettuati lungo il litorale di Porto Sant'Elpidio con il relativo D_{50} dal numero 75 al numero 82

La spiaggia emersa è costituita quindi prevalentemente da ghiaie, la composizione mineralogica riflette quella delle rocce di provenienza (formazioni della successione umbro marchigiana, carbonatica-selcifera e quarzoso-felspatiche) di colore bianco / giallo chiaro.

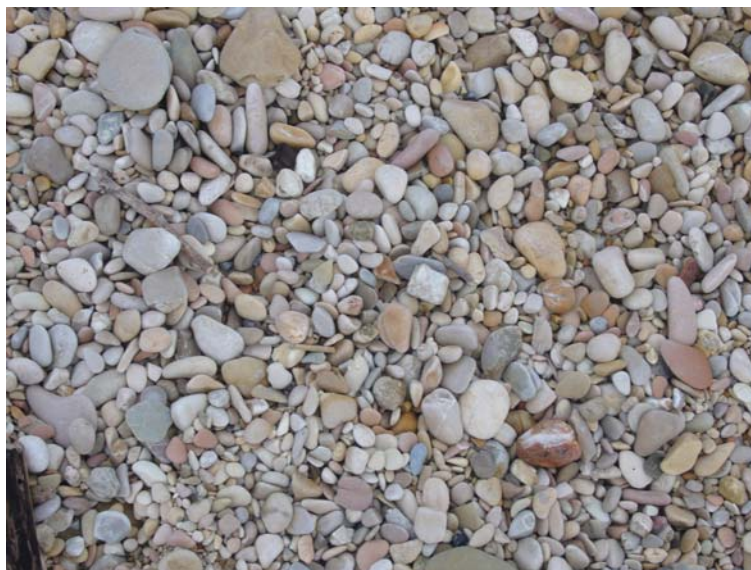


Figura 4.2 – Sedimenti della spiaggia emersa

5. STUDIO METEOMARINO

5.1 DETERMINAZIONE DEI FETCH GEOGRAFICI ED EFFICACI E METODO DI TRASPOSIZIONE GEOGRAFICA DEI DATI ONDOSI

L'analisi dell'esposizione geografica di una stazione di misura del moto ondoso o di un sito costiero si basa sulla determinazione dei fetch geografici ed efficaci.

Il fetch geografico (F_w) indica la distesa di mare libero, ossia la distanza tra il punto di interesse e la terra più vicina in relazione ad una prefissata direzione.

Il fetch efficace o effettivo (F_e) invece denota l'estensione effettiva della porzione di mare sulla quale si esplica "effettivamente" l'azione di trasferimento energetico dal vento al moto ondoso. Il valore del fetch efficace relativo ad una determinata direzione è funzione anche dell'estensione dei fetch geografici associati alle direzioni contigue; in questo modo i fetch efficaci tengono conto del fatto che alla generazione del moto ondoso contribuiscono, oltre alla superficie marina individuata nella direzione media lungo la quale spira il vento, anche le porzioni di mare calcolate dalle direzioni comprese in un settore di ampiezza fissata rispetto alla direzione media di azione del vento.

A partire dai diagrammi dei fetch geografici sono stati determinati quelli dei fetch efficaci. Fissata una direzione Φ_w , la lunghezza del corrispondente fetch efficace può essere valutata attraverso una media ponderata delle distanze geografiche relative alle direzioni comprese all'interno di un settore di ampiezza $90^\circ (\pm 45^\circ)$ a cavallo di quella considerata:

$$F_e = \frac{\sum_i F_{wi} \cdot \cos^2(\Phi_i - \Phi_w)}{\sum_i \cos^2(\Phi_i - \Phi_w)}$$

in cui:

F_{wi} = lunghezza del fetch geografico lungo la i-esima direzione Φ_i ;

Φ_i = i-esima direzione, riferita al Nord geografico, compresa nel settore di ampiezza fissata, il cui relativo fetch geografico contribuisce alla determinazione di F_e ;

Φ_w = direzione media all'interno del settore di ampiezza prefissata di provenienza del vento responsabile della generazione del moto ondoso e per la quale si vuole valutare il relativo fetch efficace.

Di seguito vengono riportati i fetch geografici ed efficaci di Porto Sant'Elpidio, di Ancona e un confronto dei fetch efficaci di Porto Sant'Elpidio e Ancona.

Tabella 5.1- Fetch geografici (F_w) ed efficaci (F_e) al largo di Porto Sant'Elpidio per ogni direzione geografica

Direzione F_w °N	F_w (km)	F_e (km)	Direzione F_w °N	F_w (km)	F_e (km)
0	171.41	168.86	180	72.23	80.46
5	194.27	161.73	185	59.44	70.50
10	132.12	153.95	190	48.35	61.53
15	136.28	146.36	195	41.07	53.47
20	128.95	138.15	200	35.48	46.41
25	119.48	130.77	205	30.69	40.53
30	117.12	124.45	210	28.21	35.79
35	116.41	119.60	215	26.59	32.01
40	112.99	116.18	220	25.19	28.91
45	111.83	116.21	225	24.11	26.50
50	110.54	117.04	230	23.32	24.71
55	109.94	117.86	235	23.32	23.47
60	114.74	122.11	240	22.32	22.70
65	117.42	131.98	245	22.10	22.28
70	124.66	145.17	250	22.06	22.17
75	136.34	161.38	255	22.17	22.37
80	157.66	180.37	260	22.48	22.78
85	164.20	203.21	265	23.25	26.56
90	188.56	219.43	270	24.15	31.79
95	190.86	234.81	275	24.89	38.60
100	171.63	248.81	280	26.05	46.56
105	238.08	260.74	285	27.35	56.85
110	449.67	269.72	290	29.17	68.53
115	496.96	275.23	295	31.89	81.49
120	521.32	276.92	300	35.78	95.51
125	540.49	274.75	305	37.33	110.16
130	610.77	268.56	310	176.13	123.02
135	222.51	258.82	315	195.07	135.45
140	206.68	245.54	320	214.61	147.59
145	196.21	229.64	325	210.86	157.29
150	182.82	212.07	330	262.79	165.45
155	158.98	191.86	335	263.55	171.62
160	132.25	167.45	340	267.10	175.57
165	110.42	143.41	345	269.07	177.40
170	98.81	120.78	350	263.96	177.17
175	85.82	100.01	355	167.78	175.03

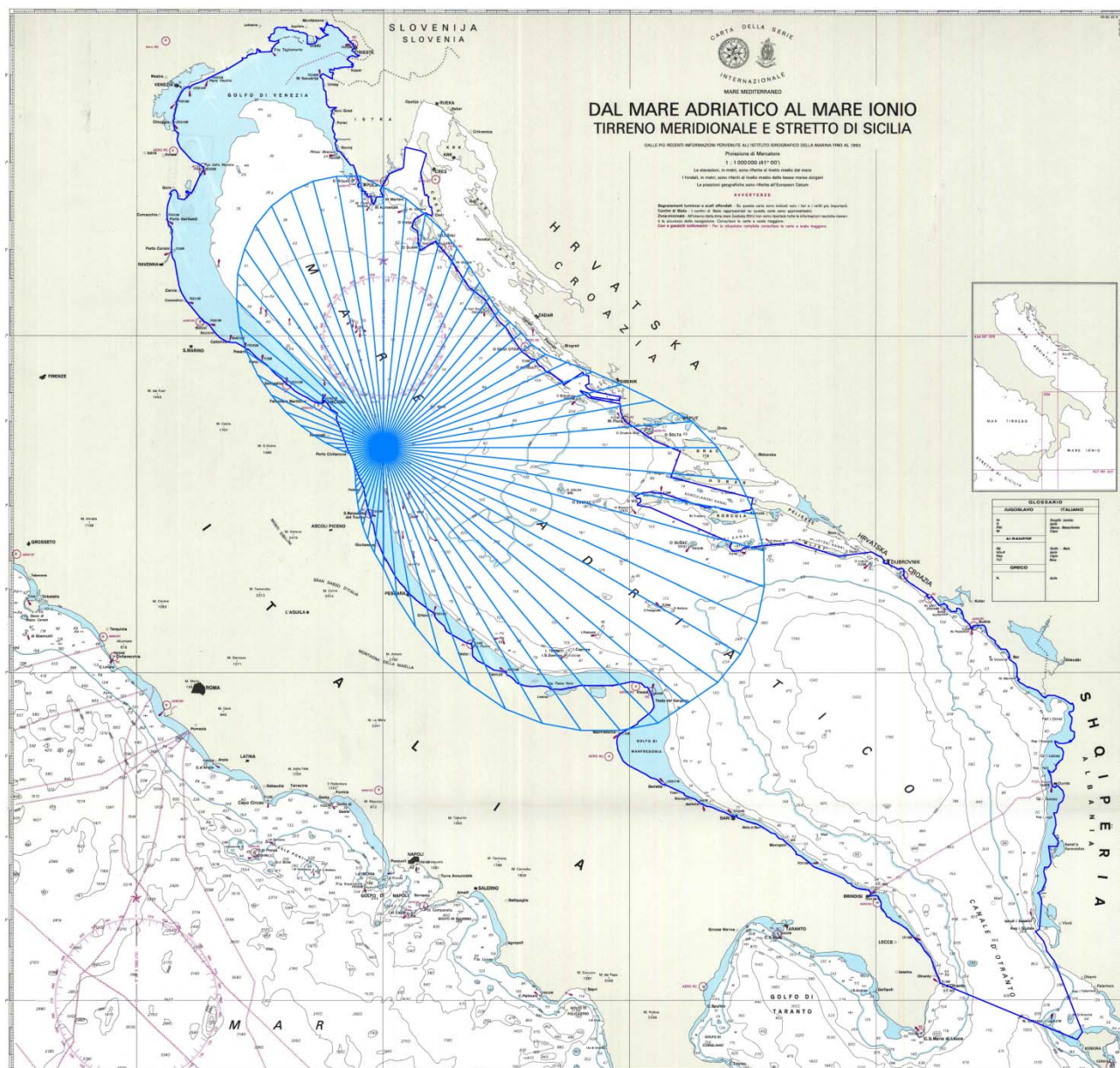


Figura 5.2 - Fetch efficaci al largo di Porto Sant'Elpidio riportati su Carta Nautica con scala 1:1000000

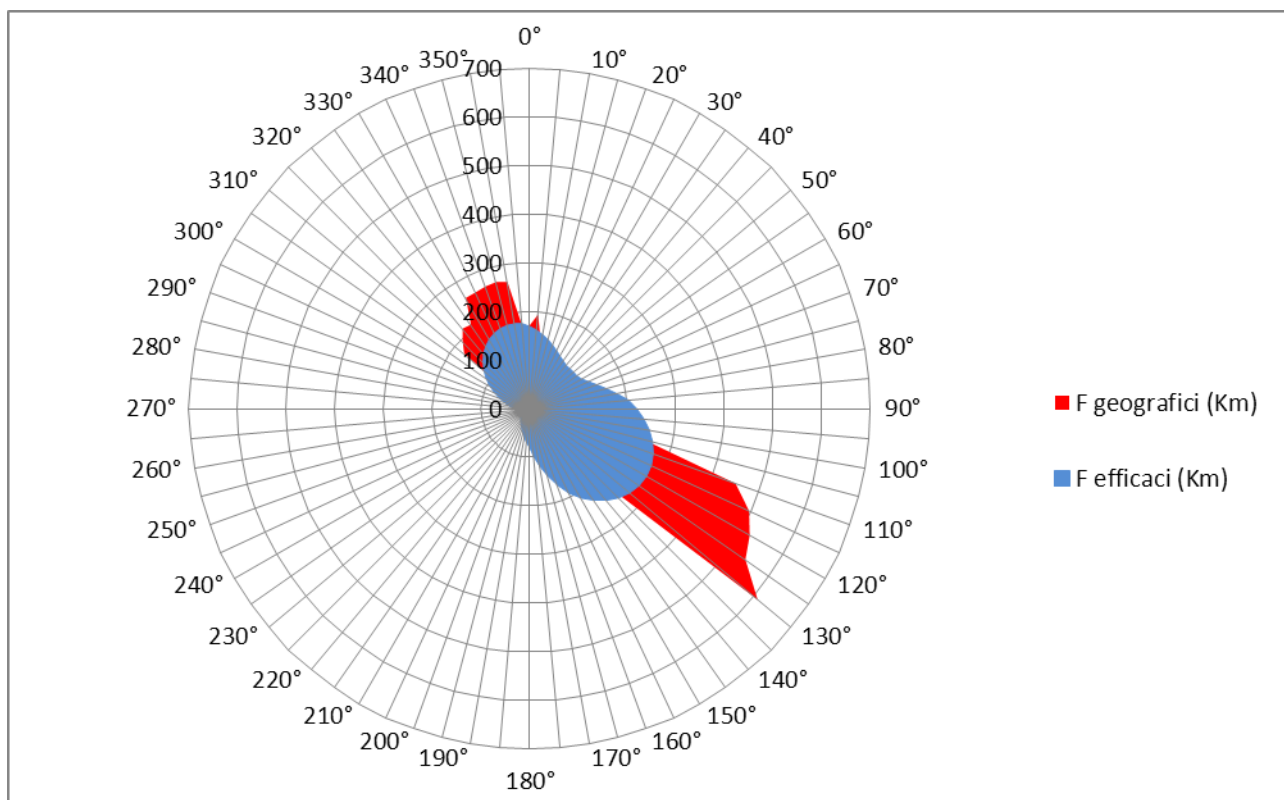


Figura 5.3 - Fetch geografici ed efficaci in km al largo di Porto Sant'Elpidio

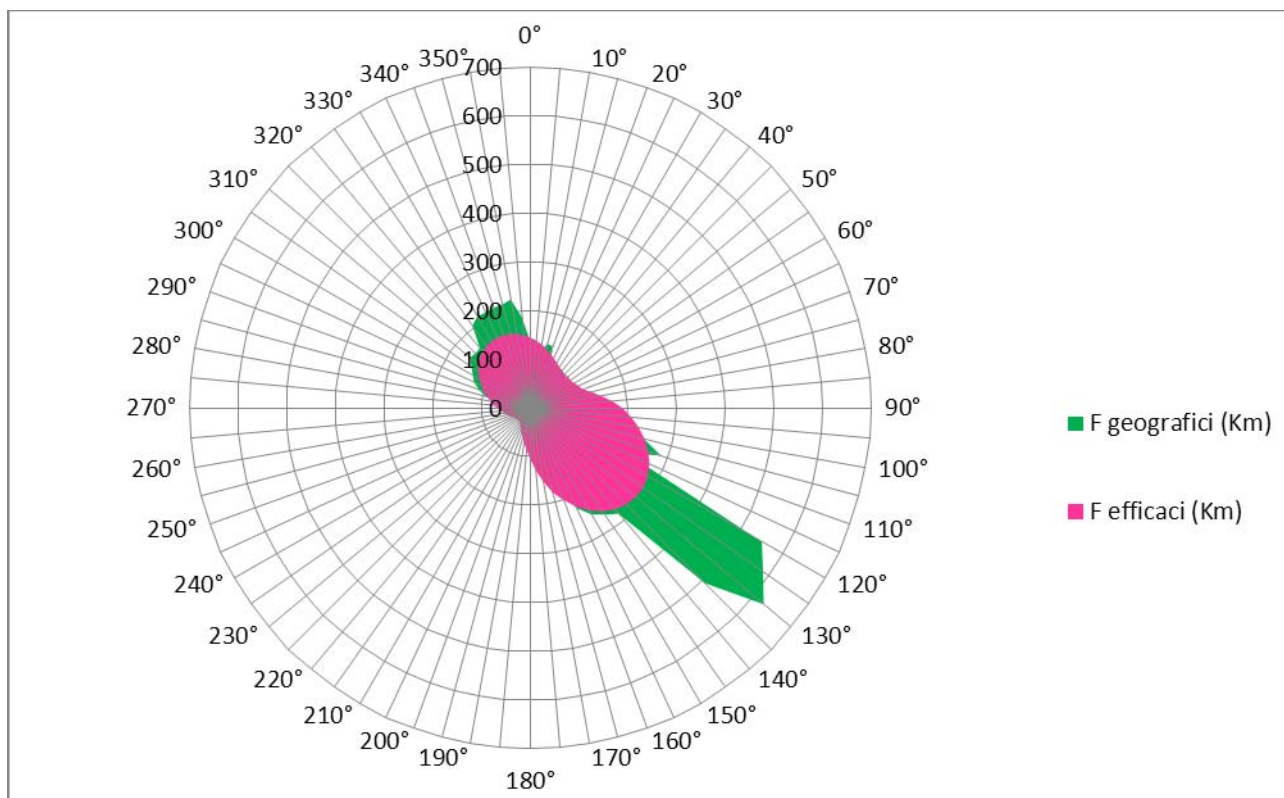


Figura 5.4 - Fetch geografici ed efficaci in km al largo di Ancona

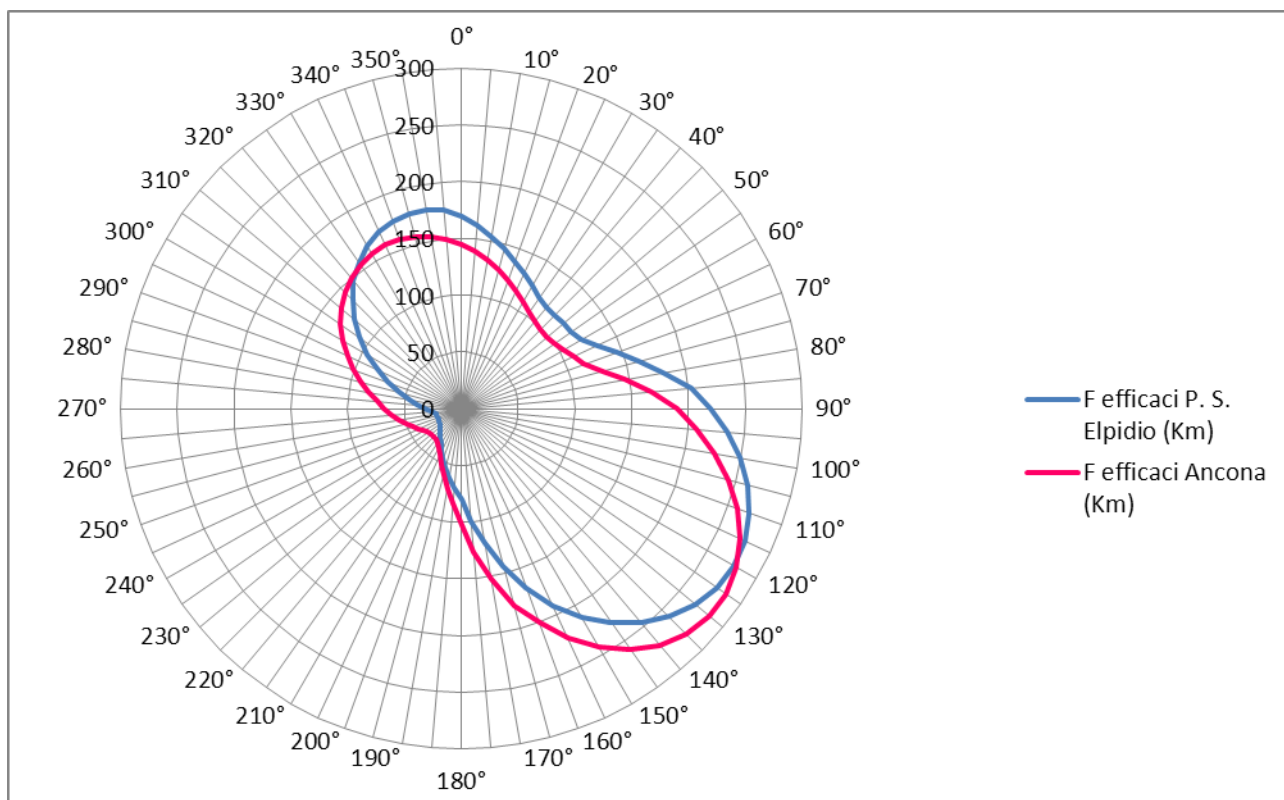


Figura 5.5 - Confronto fetch efficaci (in km) al largo di Porto Sant'Elpidio e Ancona

Per caratterizzare il moto ondoso che investe il litorale di Porto Sant'Elpidio si fa riferimento alle misure registrate dalla boa della R.O.N. posta al largo di Ancona, trasposte poi nel sito di interesse con il metodo di trasposizione geografica. Il punto di trasposizione al largo di Porto Sant'Elpidio è stato scelto in corrispondenza di una profondità di -50 m, in modo da avere caratteristiche geografico-climatiche simili a quelle della stazione ondometrica di Ancona. Tale punto è collocato a 14° E e 43° 20' N. L'ipotesi fondamentale alla base del metodo di trasposizione è che le stesse condizioni di vento (velocità e direzione) che hanno determinato le condizioni di moto ondoso registrate dall'ondametro di riferimento abbiano interessato anche l'area di generazione al largo del sito di interesse. Si suppone inoltre che la direzione del moto ondoso è correlata alla direzione del vento che lo ha generato. Il metodo stabilisce una corrispondenza tra le direzioni, le altezze ed i periodi del moto ondoso relative al sito di registrazione ed a quello oggetto di studio. Nel caso di fetch limitati le leggi che permettono di calcolare l'altezza d'onda significativa spettrale H_s ed il relativo periodo di picco spettrale T_p in funzione della lunghezza del fetch considerato e della velocità del vento sono:

$$\frac{g \cdot H_s}{U_A^2} = 1.6 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{g \cdot F_e}{U_A^2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad \frac{g \cdot T_p}{U_A^2} = 2.857 \cdot 10^{-1} \cdot \left(\frac{g \cdot F_e}{U_A^2} \right)^{\frac{1}{3}}$$

dove:

g = accelerazione di gravità;

U_A = *wind stress factor*, dipendente in modo non lineare dalla velocità del vento misurata alla quota di +10 m sul livello del mare;

F_E = lunghezza del fetch efficace relativo alla direzione prefissata.

Indicando con gli apici A e P rispettivamente le grandezze relative al punto di misura (Ancona) e al punto di trasposizione (Porto Sant'Elpidio) e fissata una direzione geografica dalla quale si ritenga spirare il vento, le relazioni precedenti permettono di trovare la corrispondenza ricercata tra le altezze ed i periodi delle onde relative al punto A e al punto P:

$$K_H = \frac{H_{S,P}}{H_{S,A}} = \left(\frac{F_{E,P}}{F_{E,A}} \right)^{\frac{1}{2}}$$
$$K_T = \frac{T_{P,P}}{T_{P,A}} = \left(\frac{F_{E,P}}{F_{E,A}} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Questi coefficienti di trasposizione geografica K_H e K_T sono stati ottenuti nell'ipotesi che il fattore di velocità del vento (U_A) sia lo stesso per i due punti in esame. Per ottenere H_s e T_p nel sito di interesse è sufficiente moltiplicare i dati registrati dalla stazione di misura per i valori di tali coefficienti relativi alla direzione a cui i dati si riferiscono. Per il calcolo del periodo significativo più probabile per i diversi settori direzionali di provenienza si sono ricavate delle relazioni funzionali che tengono conto delle altezze significative. Nelle tabelle che seguono viene riportato il clima ondoso di Ancona per differenti classi di direzione e altezza d'onda.

Tabella 5.2- Distribuzione delle frequenze percentuali per classi di direzione e di altezza d'onda; località: Ancona; periodo: marzo 1999-novembre 2013

Distribuz. delle frequenze percentuali per classi di direzione e di altezza d'onda						
DMT (° N)	Classi di H_{M0} (m)					TOTALE
	0-1	1-2	2-3	3-4	> 4	
345-15	7.6965	2.3764	0.3625	0.0394	0	10.4748
15- 45	5.6946	4.1142	1.3872	0.1813	0.0275	11.4048
45- 75	3.7241	1.466	0.603	0.1143	0.0355	5.9429
75-105	5.2966	1.9468	0.2798	0.0433	0.0158	7.5823
105-135	13.5093	3.5113	0.8157	0.2128	0.0236	18.0727
135-165	10.735	0.599	0.0394	0.0118	0.0039	11.3891
165-195	3.2867	0.1497	0.0197	0	0	3.4561
195-225	1.8483	0.1852	0.0157	0	0	2.0492
225-255	2.7823	0.2758	0.0118	0	0	3.0699
255-285	4.3507	0.5005	0.0236	0	0	4.8748
285-315	9.2138	2.1872	0.1773	0.0118	0	11.5901
315-345	8.5872	1.4069	0.0906	0.0078	0	10.0925
TOTALE	76.7251	18.7192	3.8266	0.6227	0.1064	100

Tabella 5.3 - Periodi significativi (s) per i diversi settori direzionali e altezze d'onda

Periodi significativi (s) per i diversi settori direzionali e altezze d'onda					
DMT (° N)	Classi di H_{M0} (m)				
	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5
345-15	4.093	5.410	6.158	6.707	7.148
15- 45	4.350	5.568	6.240	6.725	7.111
45- 75	4.372	5.702	6.442	6.979	7.407
75-105	4.576	5.846	6.519	6.999	7.380
105-135	4.327	6.078	7.116	7.895	8.531
285-315	3.736	4.848	5.470	5.922	6.284
315-345	3.884	4.947	5.533	5.956	6.292

Tabella 5.4 - Confronto tra altezze significative e relativi periodi al largo Ancona e altezze significative e relativi periodi al largo di Porto Sant'Elpidio calcolati con il metodo di trasposizione

DMT °N	H_A (m)	H_P (m)	T_A (s)	T_P (s)
345-15	0.5	0.538	4.093	4.296
	1.5	1.613	5.410	5.678
	2.5	2.688	6.158	6.464
	3.5	3.764	6.707	7.040
	4.5	4.839	7.148	7.503
15-45	0.5	0.537	4.350	4.560
	1.5	1.610	5.568	5.836
	2.5	2.683	6.240	6.540
	3.5	3.756	6.725	7.049
	4.5	4.829	7.111	7.454
45-75	0.5	0.549	4.372	4.651
	1.5	1.646	5.702	6.067
	2.5	2.743	6.442	6.854
	3.5	3.841	6.979	7.424
	4.5	4.938	7.407	7.881
75-105	0.5	0.541	4.576	4.821
	1.5	1.622	5.846	6.159
	2.5	2.704	6.519	6.868
	3.5	3.785	6.999	7.374
	4.5	4.866	7.380	7.776
105-135	0.5	0.501	4.327	4.331
	1.5	1.502	6.078	6.083
	2.5	2.503	7.116	7.123
	3.5	3.505	7.895	7.902
	4.5	4.506	8.531	8.539
285-315	0.5	0.440	3.736	3.431
	1.5	1.320	4.848	4.453
	2.5	2.201	5.470	5.024
	3.5	3.081	5.922	5.440
	4.5	3.961	6.284	5.772
315-345	0.5	0.507	3.884	3.920
	1.5	1.521	4.947	4.993
	2.5	2.535	5.533	5.585
	3.5	3.549	5.956	6.012
	4.5	4.563	6.292	6.351

5.2 DETERMINAZIONE DELLE ONDE ESTREME AL LARGO DEL PARAGGIO DI PORTO S. ELPIDIO

Il metodo di trasposizione dei fetch efficaci è stato applicato anche ai valori estremi di H_{m0} e T_{m0} delle onde registrate dall'ondamento di riferimento di Ancona, che sono state analizzate applicando la procedura di elaborazione P.O.T., determinando le altezze significative associate a diversi tempi di ritorno al largo del paraggio di Porto Sant'Elpidio. L'elaborazione è stata condotta suddividendo i dati registrati nei seguenti settori direzionali di interesse, di ampiezza 30° :

- $285^\circ N - 315^\circ N$;
- $315^\circ N - 345^\circ N$;
- $345^\circ N - 15^\circ N$;
- $15^\circ N - 45^\circ N$;
- $45^\circ N - 75^\circ N$;
- $75^\circ N - 105^\circ N$;
- $105^\circ N - 135^\circ N$.

La seguente tabella riassume le onde al largo di Porto Sant'Elpidio.

Tab. 5.5 Valori delle altezze significative e dei periodi delle onde al largo di Porto Sant'Elpidio

15-45			45-75			75-105			105-135		
Tr	H _{PSE} (m)	T _{PSE} (s)	Tr	H _{PSE} (m)	T _{PSE} (s)	Tr	H _{PSE} (m)	T _{PSE} (s)	Tr	H _{PSE} (m)	T _{PSE} (s)
1	3.66	7.01	1	3.31	7.17	1	3.12	7.15	1	3.95	8.29
2	4.16	7.21	2	3.95	7.48	2	3.89	7.49	2	4.52	8.65
5	4.82	7.45	5	4.69	7.78	5	4.90	7.86	5	5.20	9.02
10	5.32	7.62	10	5.18	7.97	10	5.67	8.11	10	5.67	9.27
15	5.61	7.71	15	5.45	8.07	15	6.11	8.24	15	5.92	9.40
20	5.82	7.77	20	5.63	8.13	20	6.43	8.33	20	6.10	9.48
25	5.98	7.82	25	5.77	8.18	25	6.68	8.39	25	6.24	9.55
30	6.11	7.85	30	5.88	8.21	30	6.88	8.44	30	6.35	9.60
50	6.48	7.96	50	6.19	8.31	50	7.44	8.59	50	6.64	9.73
70	6.72	8.02	70	6.38	8.37	70	7.81	8.67	70	6.83	9.82
100	6.97	8.09	100	6.58	8.43	100	8.21	8.76	100	7.03	9.90
140	7.21	8.15	140	6.76	8.49	140	8.58	8.85	140	7.21	9.98
150	7.26	8.16	150	6.79	8.50	150	8.66	8.86	150	7.24	10.00
200	7.47	8.21	200	6.95	8.54	200	8.97	8.93	200	7.39	10.06
300	7.76	8.28	300	7.15	8.60	300	9.45	9.03	300	7.62	10.15
500	8.12	8.37	500	7.41	8.68	500	9.98	9.13	500	7.86	10.25
1000	8.62	8.48	1000	7.74	8.77	1000	10.75	9.28	1000	8.19	10.38

135-165			285-315			315-345			345-15		
Tr	H _{PSE} (m)	T _{PSE} (s)	Tr	H _{PSE} (m)	T _{PSE} (s)	Tr	H _{PSE} (m)	T _{PSE} (s)	Tr	H _{PSE} (m)	T _{PSE} (s)
1	1.29	5.45	1	2.24	5.05	1	1.91	5.25	1	2.84	6.56
2	1.57	5.83	2	2.54	5.20	2	2.35	5.49	2	3.29	6.80
5	1.99	6.31	5	2.89	5.36	5	2.93	5.77	5	3.84	7.07
10	2.33	6.66	10	3.13	5.46	10	3.37	5.94	10	4.23	7.25
15	2.54	6.86	15	3.26	5.51	15	3.63	6.04	15	4.45	7.35
20	2.69	7.00	20	3.35	5.55	20	3.81	6.10	20	4.61	7.41
25	2.81	7.11	25	3.42	5.58	25	3.95	6.15	25	4.73	7.46
30	2.91	7.19	30	3.48	5.60	30	4.06	6.19	30	4.82	7.50
50	3.20	7.42	50	3.63	5.65	50	4.39	6.30	50	5.09	7.60
70	3.39	7.57	70	3.72	5.69	70	4.60	6.36	70	5.26	7.66
100	3.60	7.73	100	3.82	5.72	100	4.83	6.43	100	5.44	7.73
140	3.80	7.87	140	3.92	5.76	140	5.04	6.49	140	5.60	7.79
150	3.84	7.90	150	3.93	5.76	150	5.08	6.50	150	5.64	7.80
200	4.02	8.02	200	4.01	5.79	200	5.26	6.55	200	5.78	7.85
300	4.29	8.20	300	4.12	5.82	300	5.54	6.63	300	5.99	7.92
500	4.59	8.40	500	4.25	5.87	500	5.84	6.70	500	6.22	7.99
1000	5.04	8.67	1000	4.42	5.92	1000	6.28	6.81	1000	6.54	8.10

5.3 TRASFERIMENTO DELLE ONDE DAL LARGO ALLA PROFONDITÀ DI IMBASAMENTO DELLE SCOGLIERE

Una volta ottenuti i valori delle caratteristiche ondose al largo si è proceduto al trasferimento a riva delle onde determinate, considerando i vari effetti che separatamente agiscono su di esse: rifrazione e shoaling, ovvero riduzione e rotazione del fronte d'onda, che provocano la variazione della celerità di propagazione e dell'altezza d'onda, a parità di contenuto energetico dalla situazione a largo a quella a profondità ridotte sino al limite del frangimento.

Nel nostro caso il trasferimento a riva viene eseguito con il procedimento numerico e grafico proposto da *Goda* (“*Random Seas and Design of Maritime Structures*”).

Dalla conservazione del flusso di energia trasmesso da due raggi adiacenti (nell'ipotesi di effetti dissipativi trascurabili), otteniamo l'altezza d'onda alla profondità voluta prima del frangimento.

Poiché l'energia dell'onda è proporzionale al quadrato dell'altezza d'onda, la variazione dell'altezza d'onda dovuta alla rifrazione è data dalla seguente equazione:

$$\frac{H}{H_0} = \sqrt{\frac{b_0}{b}} = K_r$$

dove b è la distanza fra i raggi d'onda nella zona di interesse, b_0 è la distanza fra gli stessi raggi in acque profonde, e K_r è il coefficiente di rifrazione dell'onda regolare con periodo costante ed unica direzione di propagazione.

Il coefficiente di rifrazione delle onde irregolari e la variazione della loro direzione predominante possono essere rispettivamente determinati mediante i grafici delle Fig. 5.6 e 5.7.

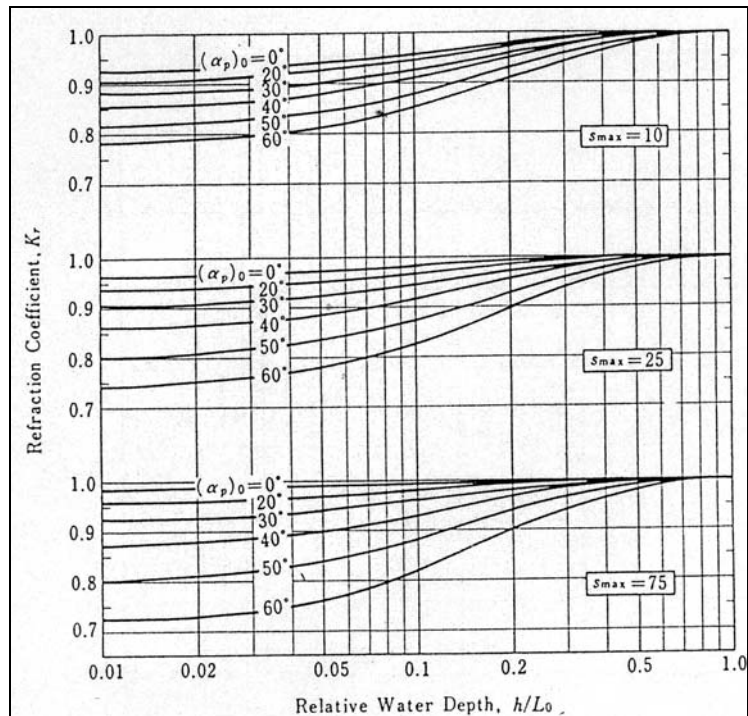


Fig. 5.6 - Coeff. di rifrazione di onde irregolari in un fondale con isobate rettilinee e parallele (Goda 1985)

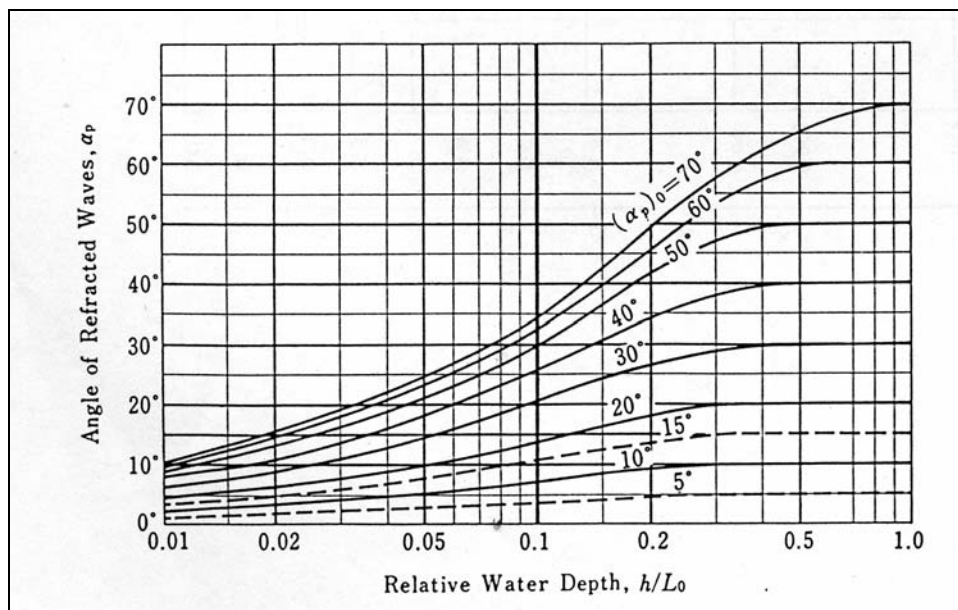


Fig. 5.7 - Variazione della direzione predominante delle onde irregolari dovuta alla rifrazione (Goda 1985)

La lunghezza d'onda L_0 che compare nella ascissa dei diagrammi precedenti è la lunghezza d'onda in acque profonde corrispondente al periodo significativo T_0 ; il parametro $(\alpha_p)_0$ rappresenta l'angolo di incidenza delle onde in acque profonde.

Il coefficiente di rifrazione delle onde irregolari dipende dal parametro di dispersione s_{\max} dello spettro direzionale, anche se l'errore commesso nel non considerare questo parametro risulta essere trascurabile (per onde da vento consideriamo il parametro di dispersione $s_{\max}=10$).

L'analisi della trasformazione delle onde durante la fase di trasferimento verso riva può essere facilitata introducendo il concetto di altezza d'onda equivalente H'_0 :

$$H'_0 = K_d \cdot K_r \cdot H_0$$

$$T'_0 = T_0$$

H'_0 = altezza d'onda equivalente (corrispondente all'altezza significativa)

H_0 = altezza d'onda significativa in acque profonde

T_0 = periodo d'onda significativo in acque profonde

K_d = coefficiente di diffrazione

K_r = coefficiente di rifrazione

Il coefficiente di shoaling è stato ottenuto tramite la relazione:

$$K_s = \frac{H}{H'_0} = \sqrt{\frac{(C_G)_0}{C_G}} = \frac{1}{\sqrt{\left[1 + \frac{4\pi h/L}{\sinh(4\pi h/L)}\right] \cdot \tanh \frac{2\pi h}{L}}}$$

K_s = coefficiente di shoaling

C_G = celerità di gruppo

$(C_G)_0$ = celerità di gruppo in acque profonde.

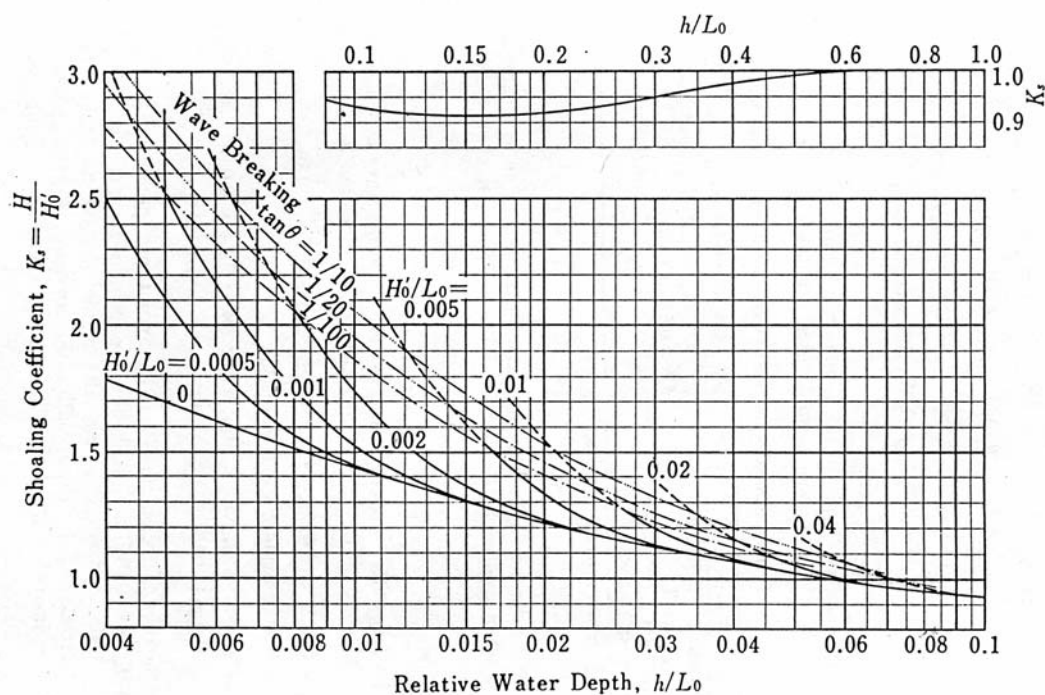


Fig. 5.8 - Coefficiente di shoaling per onde irregolari (Goda 1985)

Le curve tratteggiate indicate con la scritta “wave breaking” rappresentano il limite oltre il quale l’attenuazione di H dovuta al fenomeno del frangimento è superiore al 2%. In questa zona l’altezza d’onda deve essere valutata tenendo conto del processo dissipativo dovuto al frangimento.

Nelle seguenti tabelle sono rappresentati per onde aventi tempi di ritorno di 1 e 30anni i risultati del trasferimento a riva alla profondità di imbasamento delle scogliere di -4.0m l.m.m.

Tabella 5.6 – Altezze d’onda di fronte alle scogliere

	Θ_0 (°N)	Hs (m)	Ts (s)	Lo (m)	α_0	h/Lo	Kr	H'o (m)	H'o/Lo	Ks	Θ_h (°N)	H _{1/3} (progetto)
Tr = 1 anno	0	2.84	6.56	67.14	70.00	0.06	0.82	2.331	0.035	0.998832	43	2.144
	30	3.66	7.01	76.68	40.00	0.05	0.87	3.180	0.041	1.020733	52	2.419
	60	3.31	7.17	80.22	10.00	0.05	0.93	3.077	0.038	1.028599	65	2.418
	90	3.12	7.15	79.86	20.00	0.05	0.92	2.874	0.036	1.027805	80	2.406
	120	3.95	8.29	107.46	50.00	0.04	0.83	3.282	0.031	1.084752	88	2.467
Tr = 30 anni	0	4.82	7.50	87.78	70.00	0.05	0.8	3.858	0.044	1.044964	47	2.475
	30	6.11	7.85	96.35	40.00	0.04	0.86	5.255	0.055	1.062776	53	2.566
	60	5.88	8.21	105.40	10.00	0.04	0.93	5.471	0.052	1.080782	65	2.593
	90	6.88	8.44	111.40	20.00	0.04	0.92	6.328	0.057	1.092264	78	2.649
	120	6.35	9.60	143.86	50.00	0.03	0.83	5.268	0.037	1.149226	85	2.641

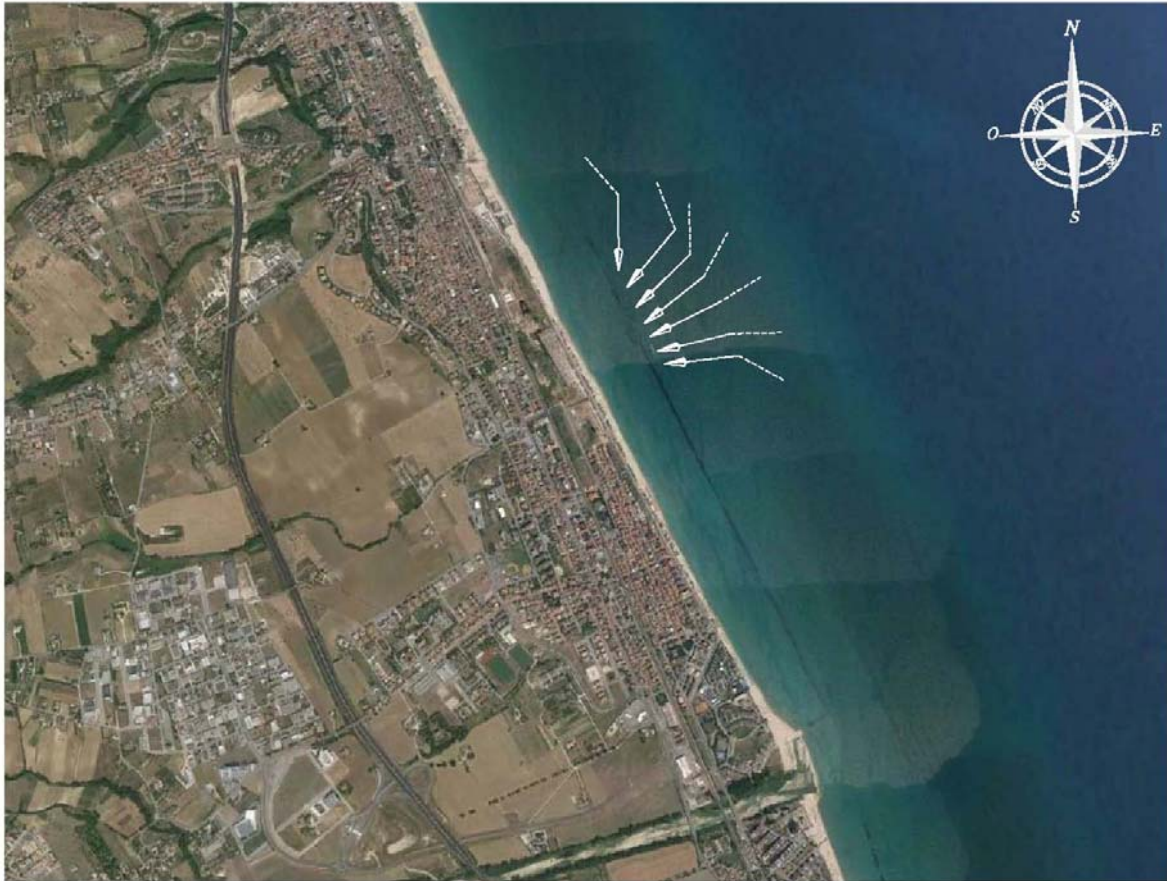


Fig. 5.9 – Rotazione dei fronti d’onda dal largo alla profondità della scogliera

Le onde che maggiormente influenzano il paraggio di interesse, in termini di trasporto solido da sud verso nord sono le onde che provengono dal largo con direzioni da 90°N e 120°N, che, come si nota dalla Figura 5.9, pur ruotando verso riva mantengono una seppur minima inclinazione rispetto alla riva ed alla scogliera sommersa.

Per tali onde si è approfondita la stima del fenomeno del frangimento che è sintetizzata nelle figure seguenti, in cui vengono mostrati i successivi frangimenti verso riva con riduzione dell’energia e quindi di altezza d’onda.

L’espressione usata per descrivere l’altezza d’onda frangente è quella di Goda, largamente impiegata in letteratura:

$$H_b = 0.17 L_0 \left\{ 1 - \exp \left[-1.5 \frac{\pi h}{L_0} (1 + 15 \tan^{4/3} \theta) \right] \right\}$$

dove L_0 è la lunghezza d’onda al largo, h la profondità e $\tan \vartheta$ rappresenta la pendenza del fondale.

Le altezza d’onda successive al frangimento vengono calcolate considerando che durante il fenomeno di frangimento avvenga una dissipazione del 30% circa dell’energia ondosa.

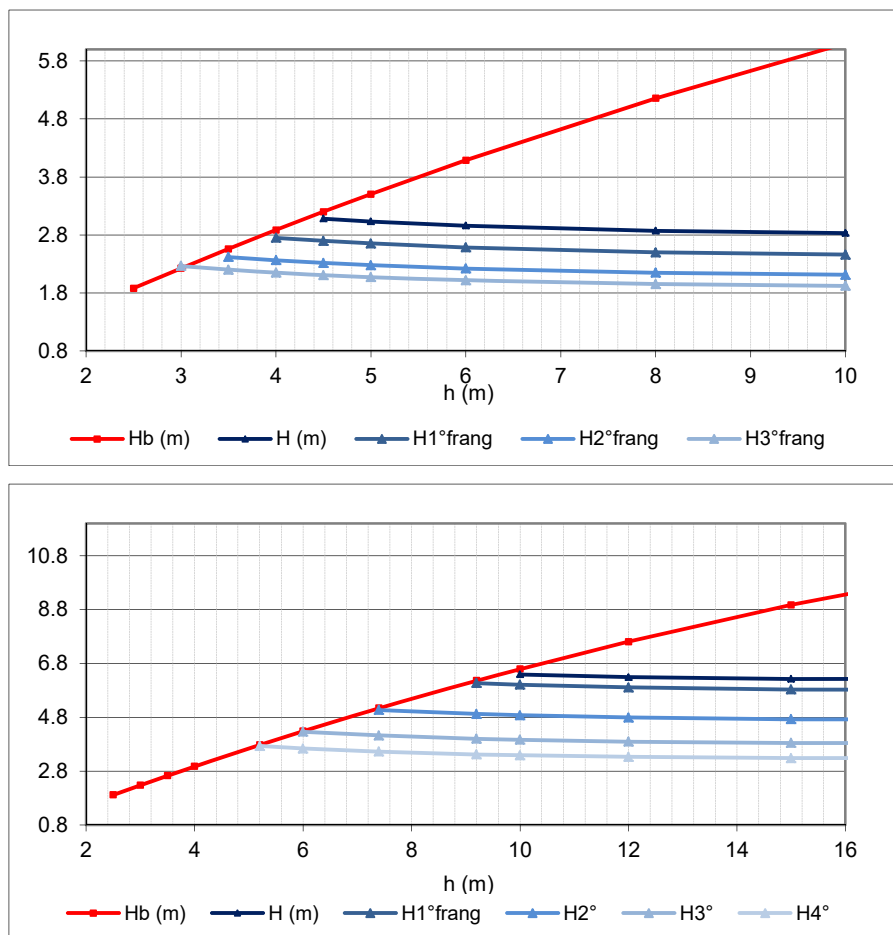


Fig. 5.10 – Variazione dell'altezza d'onda verso riva, con frangimenti successivi – onda da 90°N (Tr 1 anno sopra – Tr 30 anni sotto)

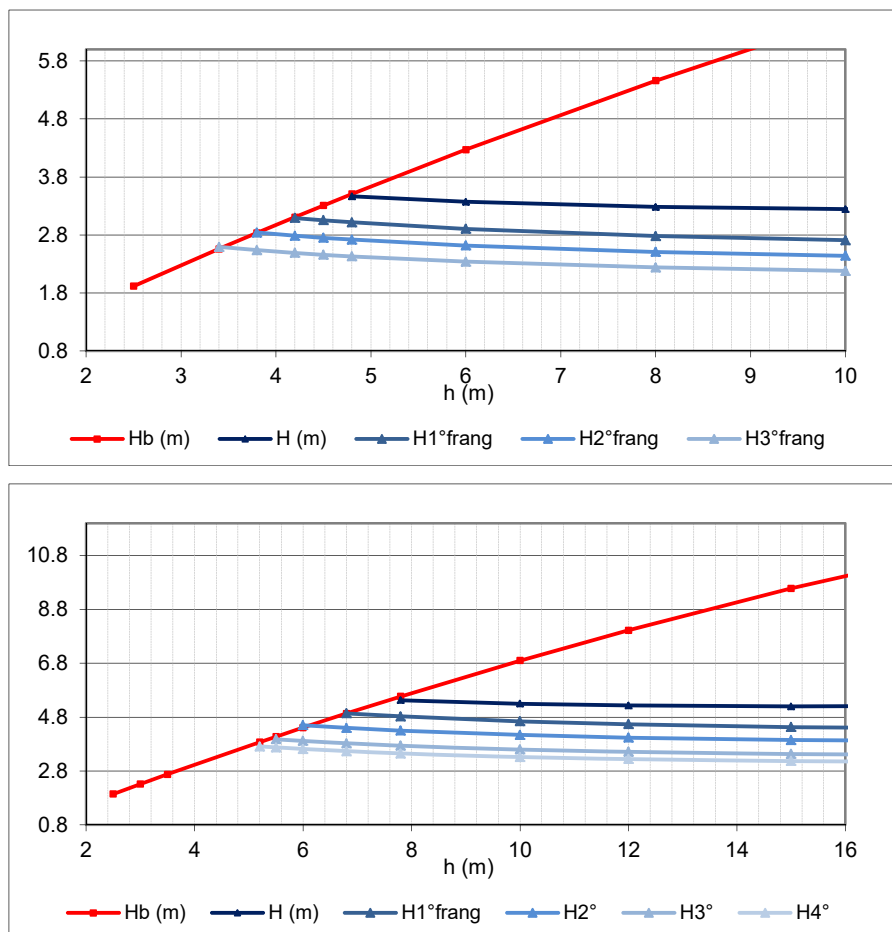


Fig. 5.11 – Variazione dell'altezza d'onda verso riva, con frangimenti successivi – onda da 120°N (Tr 1 anno sopra – Tr 30 anni sotto)

La linea dei primi frangenti può essere individuata intorno alla profondità di -4.5÷-5.0m l.m.m. circa per le mareggiate con tempi di ritorno annuali (H_s al largo dell'ordine dei 3.0-4.0m) e tra i -8.0÷-12.0m per le mareggiate con tempi di ritorno di 30 anni (H_s al largo dell'ordine dei 6.0-7.0m).

5.4 MODELLO DI PROPAGAZIONE DELLE ONDE LATO TERRA DELLE SCOGLIERE

I lavori di manutenzione della scogliera sommersa esistente recentemente realizzati hanno consentito il ripristino della sagoma originale della scogliera e della continuità della quota della berma su tutto il tratto protetto del litorale di Porto Sant'Elpidio.

Per determinare le onde verso riva è stata valutata la trasmissione ondosa della scogliera considerando le caratteristiche geometriche ripristinate con i lavori di straordinaria manutenzione: sommergenza di -1.20 m, larghezza di berma di 10 m e pendenza di 1/2 lato mare e 1/1.5 lato terra.

Le barriere sommerse sono utilizzate a difesa dei litorali in erosione in Italia sin dagli anni '80 del secolo scorso. Questa tipologia di opere è stata introdotta per evitare alcuni inconvenienti legati all'uso di scogliere foranee emerse quali la formazione di tombolo, la scarsa circolazione idrodinamica con conseguente deposito di materiale fine in prossimità della costa e lo spostamento dell'erosione sottoflutto. Le barriere sommerse migliorano la circolazione idrodinamica poiché a seconda della sommergenza trasmettono le onde più piccole facendo frangere quelle più alte e non producono formazione di tombolo ma nello stesso tempo non evitano l'erosione sottoflutto, soprattutto se la sommergenza è piccola. La loro efficacia dipende appunto dalla sommergenza e nei mari in cui lo storm surge è considerevole la trasmissione delle onde lato terra rimane elevata proprio durante le mareggiate più intense. Inoltre il frangimento sulla barriera sommersa produce il fenomeno del piling-up (innalzamento del livello medio mare lato terra della barriera) che induce un sistema di circolazione con formazione di correnti di ritorno (rip currents) le quali producono erosioni localizzate in presenza di varchi e pericolo per i bagnanti che vengono trascinati verso il largo. Non secondaria è la formazione di vorticità che si genera alle estremità della barriera e che causa insieme alle rip currents intensi fenomeni erosivi.

Il loro utilizzo richiede quindi un'analisi del piling-up e della trasmissione del moto ondoso in modo da calibrare la loro efficacia a seconda delle necessità del paraggio in esame. Per studiare il comportamento idrodinamico della barriera sommersa sono stati analizzati il fenomeno della trasmissione ondosa e dell'innalzamento medio mare a tergo del frangiflutti.

La trasmissione è stata valutata stimando il coefficiente di trasmissione K_t con le formule di Van der Meer et al. (2005). Per $B/H_i < 8$ si ha:

$$K_t = -0.4 \cdot \frac{R_c}{H_i} + 0.64 \cdot \left(\frac{B}{H_i} \right)^{-0.31} \cdot (1 - e^{-0.5 \cdot \xi})$$

dove B è la larghezza della cresta, H_i l'altezza dell'onda incidente, R_c la sommergenza della struttura e ξ il parametro di Iribarren calcolato con il periodo di picco T_p .

Stimato il coefficiente di trasmissione è possibile calcolare l'altezza d'onda trasmessa dalla struttura ($H_t = K_t \cdot H_i$).

Il piling-up è stato calcolato sia con la formula di Diskin (1970) che con il metodo CVB proposto da Calabrese et al. (2003). Secondo la teoria di Diskin (1970) il piling-up è dato da:

$$\delta = H_i \cdot 0.6 \cdot e^{\left[-\left(0.7 - \frac{R_c}{H_i} \right)^2 \right]}$$

Il metodo CVB invece prevede la somma di due contributi: il “*momentum set up*” (δ_m) e il “*continuity set up*” (δ_θ), da considerare quest’ultimo solo per sommergenze ridotte.

$$\delta_m = 0,5 \cdot [-b + (b^2 + 4 \cdot c)^{0,5}]$$

$$b = 2 \cdot d - A$$

$$A = \left\{ \left[1 + \frac{x_b + B}{L_g} \right] \cdot h_c - \left[x_b \cdot \frac{(d_b + R_c)}{L_g} \right] \right\}$$

$$c = \frac{3}{8} \cdot H_{\text{end}}^2 \cdot (1 - K_c^2)$$

$$\delta_q = \frac{q^2}{f^2 \cdot |R_c|} \cdot B_{eq}$$

$$\alpha_b = \left(\frac{H_t}{\gamma_b} \right)^{\frac{4}{5}} \cdot \alpha_{\frac{1}{6}}$$

$$\gamma_b = 0.56 \cdot e^{(3.5 \cdot \tan \alpha)}$$

$$B_{sg} = B + h_g \cdot \cot \alpha$$

$$q = \frac{1}{8} \cdot H_{ent}^2 \sqrt{\frac{q}{d}}$$

dove d è la profondità dell'acqua, $H_{\text{ent}} = H_i/\sqrt{2}$, L_x e x_b parametri geometrici come mostrato in Figura 5.12, h_e l'altezza della struttura e α la sua pendenza; f è stato posto uguale a 20, come indicato dagli autori.

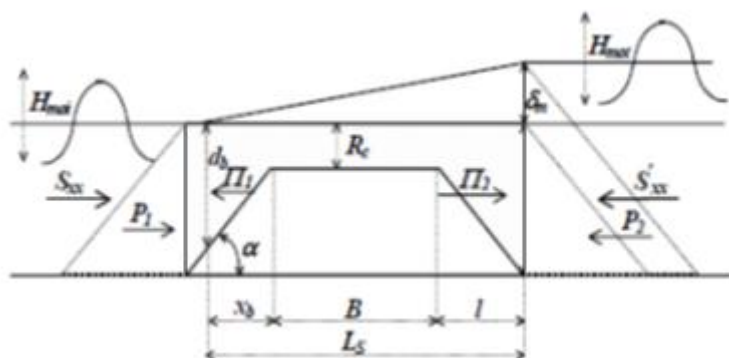


Figura 5.12 – Parametri geometrici per la determinazione del piling-up

La trasmissione ondosa ed il piling-up sono stati valutati per le mareggiate con tempo di ritorno di 30 anni sia in assenza che in presenza del fenomeno di storme-surge stimato di entità pari a +0.80m.

Tabella 5.7 – Parametri di trasmissione ondosa in assenza di storme-surge

direzione al largo ($^{\circ}$ N)	0	60	90	120
altezza onda incidente largo H_{s0} (m)	4.82	5.88	6.88	6.35
altezza onda incidente al piede scogliera (m)	2.48	2.59	2.65	2.64
periodo di picco T_s (s)	7.50	8.21	8.44	9.60
coeff. trasmissione Van der Meer K_t	0.515	0.521	0.521	0.538
altezza d'onda trasmessa H_t (m)	1.28	1.35	1.38	1.42
piling-up Diskin δ (m)	0.36	0.40	0.42	0.42
piling-up CVB δ (m)	0.25	0.28	0.29	0.28

Tabella 5.8 – Parametri di trasmissione ondosa in presenza di storme-surge +0.80m

direzione al largo ($^{\circ}$ N)	0	60	90	120
altezza onda incidente largo H_{s0} (m)	4.82	5.88	6.88	6.35
altezza onda incidente al piede scogliera (m)	2.48	2.59	2.65	2.64
periodo di picco T_s (s)	7.50	8.21	8.44	9.60
coeff. trasmissione Van der Meer K_t	0.635	0.644	0.642	0.616
altezza d'onda trasmessa H_t (m)	1.57	1.67	1.70	1.63
piling-up Diskin δ (m)	0.15	0.18	0.19	0.19
piling-up CVB δ (m)	0.14	0.15	0.16	0.16

Nell'ambito della progettazione dei lavori di manutenzione della scogliera esistente era stato verificato, tramite il confronto dei risultati di trasmissione ondosa nello stato attuale e in quello di progetto, che il ripristino della sagoma originaria avrebbe consentito un miglioramento della difesa dal moto ondoso, in assenza di storme surge, inteso come riduzione dell'altezza d'onda verso riva di circa il 30%.

Determinate le caratteristiche ondose al piede interno delle scogliere, per la propagazione dell'onda sino al piede del ripascimento è stato applicato un modello analitico.

In generale i modelli che descrivono il decadimento dell'onda nella zona del frangimento sono, nella maggior parte dei casi, funzione di parametri empirici stimati tramite calibrazione di dati sperimentali. Tali modelli possono essere suddivisi in due categorie: i modelli che utilizzano un criterio di similitudine e i modelli di flusso dell'energia. I primi impongono che il rapporto tra l'altezza dell'onda e la profondità sia costante punto per punto da largo a riva. I secondi, nei quali

rientra il modello di Dally, Dean e Dalrymple implementato in questo caso, risolvono l'equazione di bilancio dell'energia valutando il termine dissipativo. In un regime di tipo stazionario si considera l'energia localmente sempre uguale a se stessa:

$$\frac{dE}{dx} = \frac{\partial E}{\partial x} + \frac{\partial F}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x}(F_i \cos \theta) = -\delta$$

Tale modello impone che prima del frangimento il flusso di energia rimanga costante cioè dissipazione zero, mentre nella zona dei frangenti δ è proporzionale alla differenza tra il flusso di energia dell'onda e il flusso di energia stabile funzione della profondità d

$$\delta = -\frac{K}{d}(F_i - F_{stab})$$

con:

F_{stab} flusso di energia dell'onda stabile;

F_i flusso di energia dell'onda individuale;

K è il coefficiente di decadimento adimensionale (0.15)

$d = h + \text{setup} + \text{marea}$ (profondità totale d'acqua)

Il flusso di energia dell'onda può essere espresso usando la teoria lineare

$$F_i = \frac{1}{8} \rho g H^2 C_g b$$

in cui:

ρ è la densità dell'acqua di mare

g è l'accelerazione di gravità (9.81 m/s²)

C_g è la celerità di gruppo

La legge di Snell è impiegata per descrivere la rifrazione.

Il flusso di energia stabile dell'onda F_{stab} si riferisce all'altezza d'onda H_s a cui il frangimento cessa, dove H_s è espressa in termini di profondità come

$$H_s = \Gamma d$$

con $\Gamma = 0.4$

Quindi il flusso stabile può essere scritto come:

$$F_{stab} = \frac{1}{8} \rho g H_{stab}^2 C_g b = \frac{1}{8} \rho g (\Gamma d)^2 C_g b$$

Usando le differenze finite si può calcolare il flusso di energia in un punto del profilo (j+1) in funzione del flusso di energia stabile nel punto precedente del profilo (j)

$$\frac{\partial F}{\partial x} = \frac{(F_{j+1} - F_j) \cos \theta_j}{\Delta x} = -\frac{K}{d_j}(F_j - F_{stab}) - \frac{\rho C_g}{6\pi} \left(\frac{2\pi H_j}{T \sinh(k_j d_j)} \right)^3$$

Il primo termine del secondo membro è l'energia dissipata nel frangimento e il secondo termine è l'energia dissipata dall'attrito del fondo con $C_f = 0.05 - 0.25$ coefficiente di attrito

L'altezza d'onda è determinata dalla somma di due fattori opposti: la perdita di altezza dovuta alla dissipazione di energia e l'incremento dovuto allo shoaling, infatti incrementando la pendenza del profilo aumenta l'effetto dello shoaling, con un conseguente aumento dell'altezza d'onda:

$$H_{j+1} = \sqrt{\frac{C_{g_j} b_j}{C_{g_{j+1}} b_{j+1}} \left(H_j^2 - \frac{K}{d_j \cos \theta} (H_j^2 - (\Gamma d_j)^2) \right) - \frac{\rho C_f}{6\pi} \left(\frac{2\pi H_j}{T \sinh(kd_j)} \right)^3 \frac{\Delta x}{\cos \theta} \frac{8}{\rho g C_{g_{j+1}} b_{j+1}}}$$

Il modello di propagazione è stato applicato considerando due profili rappresentativi della spiaggia di Porto Sant'Elpidio, ottenuti schematizzando i rilievi disponibili effettuati nel 2014 nei due tratti definiti “sud” (interventi di manutenzione della scogliera esistente N. 1-2-5) e “nord” (interventi di manutenzione della scogliera esistente N. 3-4), sia nel caso attuale (in figura profilo in nero) che in presenza di ripascimento (in figura profilo in rosso). Le onde propagate sono quelle con direzione al largo di 90 e 120°N e sono stati analizzati sia il caso di sola mareggiata con Tr 30anni sia il caso di mareggiata con sovrizzo del livello medio mare di 0.80m.

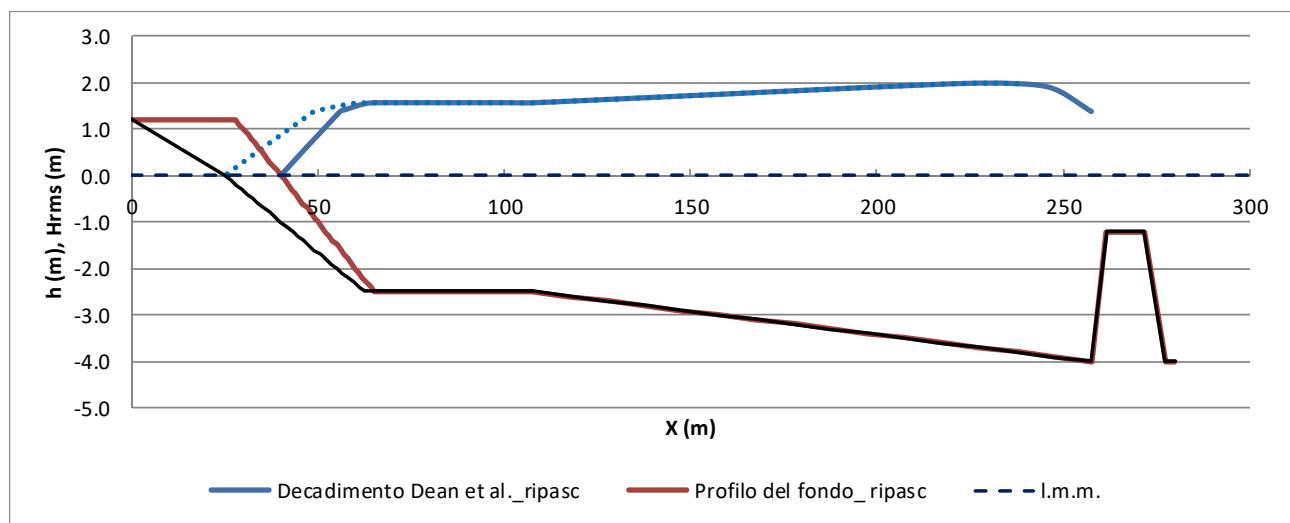


Figura 5.13 – Propagazione dell'onda (Tr 30anni – 90°N) dalla scogliera a riva – sez. tratto “nord”

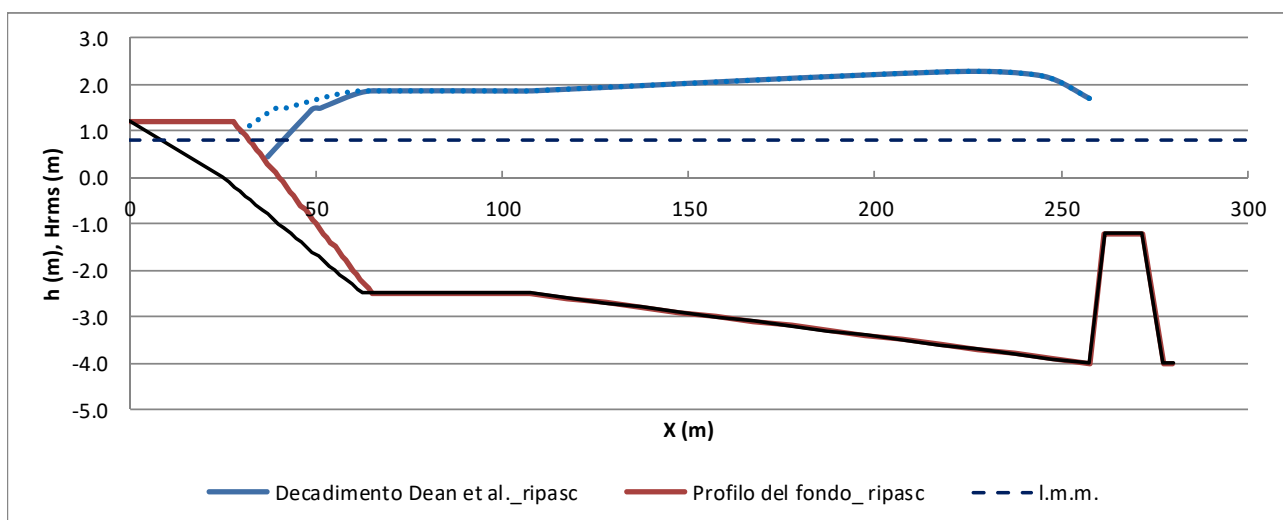


Figura 5.14 – Propagazione dell’onda (Tr 30anni con sovrizzo 0.80m – 90°N) dalla scogliera a riva – sez. tratto “nord”

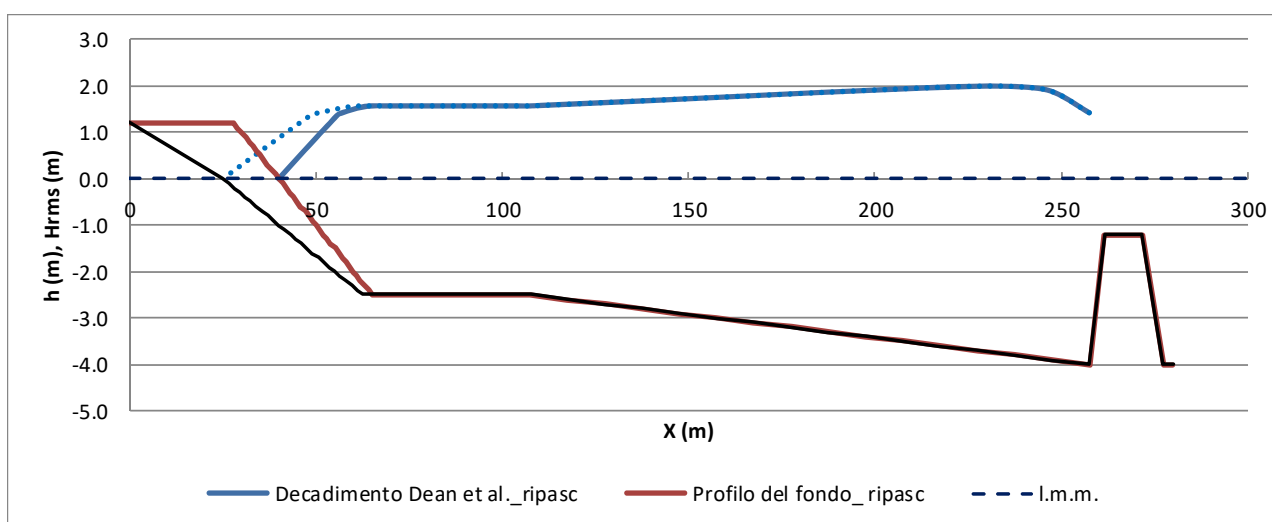


Figura 5.15 – Propagazione dell’onda (Tr 30anni – 120°N) dalla scogliera a riva – sez. tratto “nord”

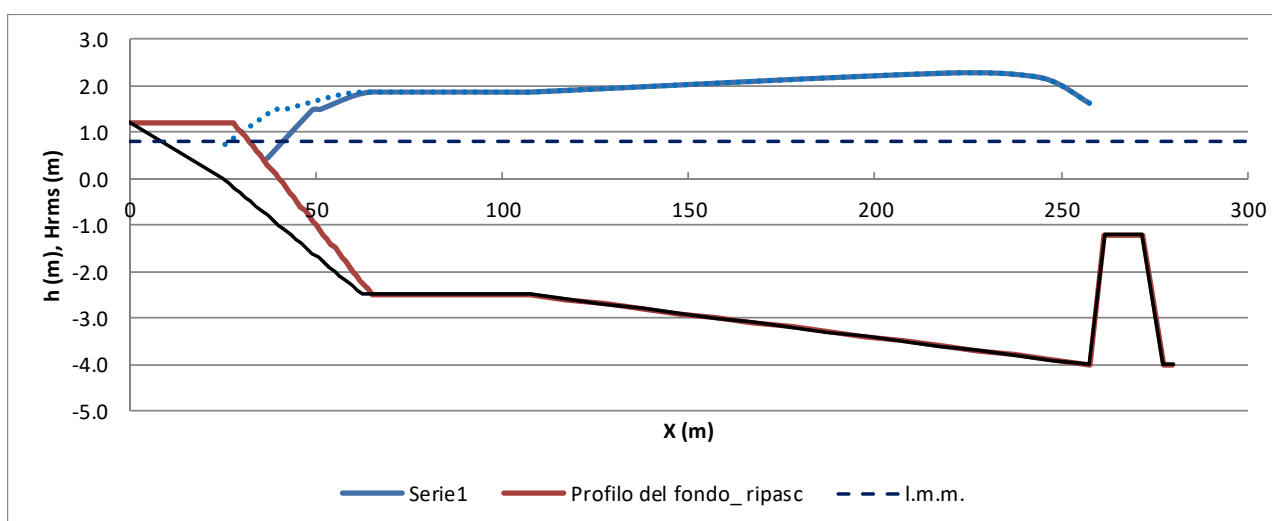


Figura 5.16 – Propagazione dell’onda (Tr 30anni con sovrizzo 0.80m – 120°N) dalla scogliera a riva – sez. tratto “nord”

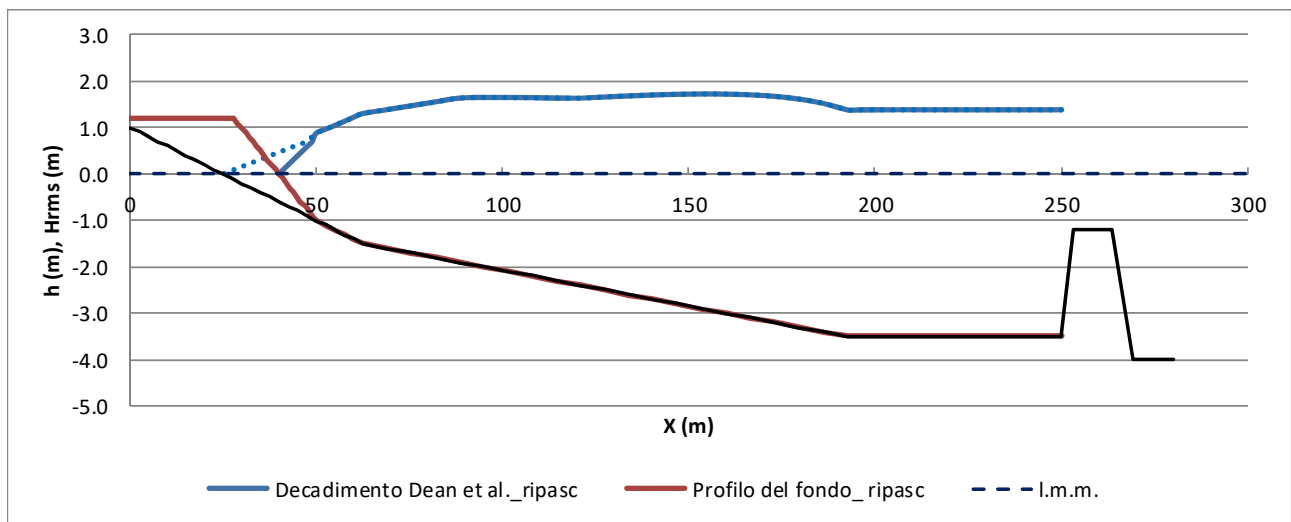


Figura 5.17 – Propagazione dell’onda (Tr 30anni – 90°N) dalla scogliera a riva – sez. tratto “sud”

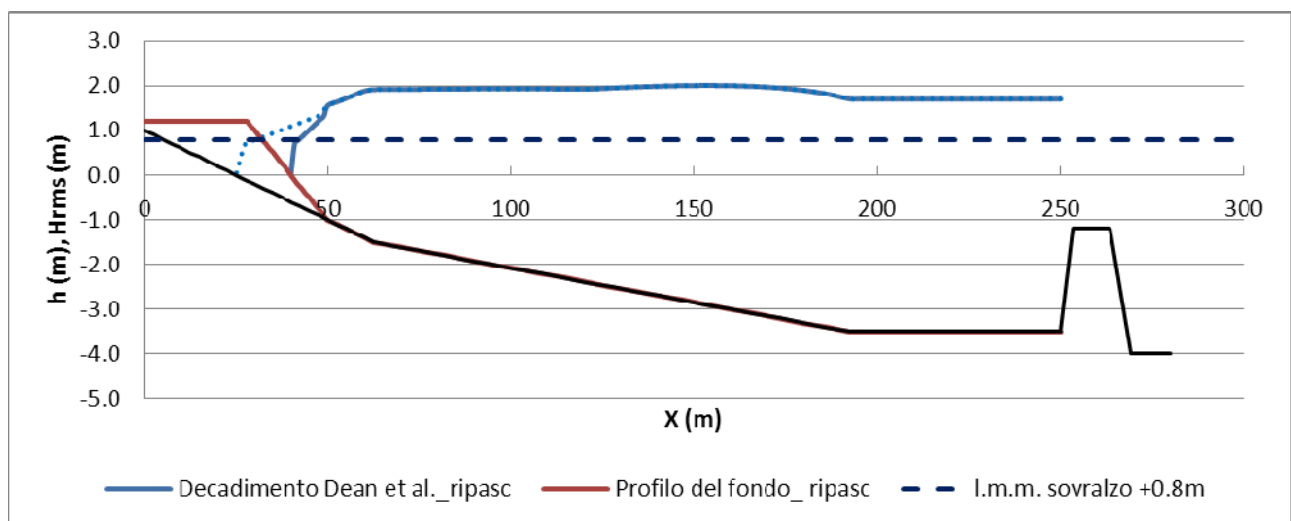


Figura 5.18 – Propagazione dell’onda (Tr 30anni con sovrizzo 0.80m – 90°N) dalla scogliera a riva – sez. tratto “sud”

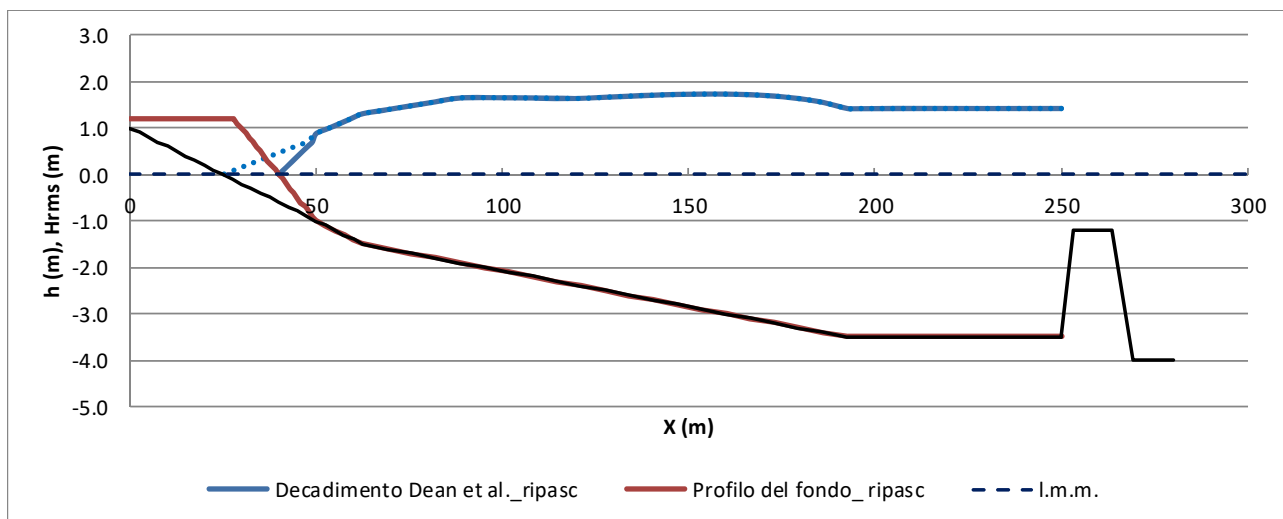


Figura 5.19 – Propagazione dell’onda (Tr 30anni – 120°N) dalla scogliera a riva – sez. tratto “sud”

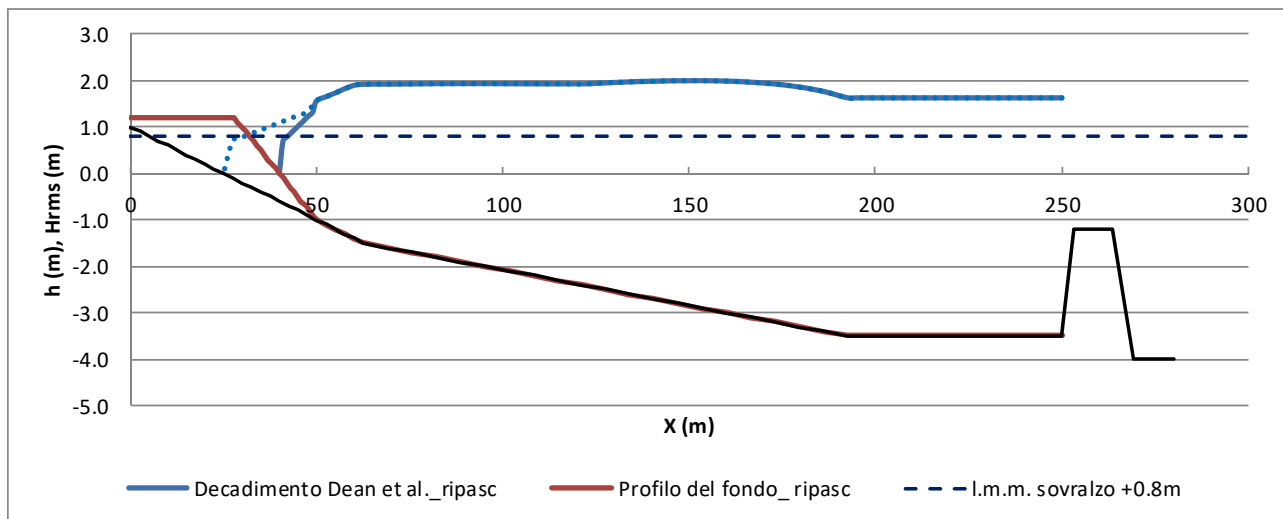


Figura 5.20 – Propagazione dell’onda (Tr 30anni con sovrалzo 0.80m – 120°N) dalla scogliera a riva – sez. tratto “sud”

Le caratteristiche ondose determinate al piede del ripascimento sono sintetizzate nella tabella seguente:

Tabella 5.9 – Altezza d’onda al piede del ripascimento in progetto

sez. tratto	H (m)	H (m) con sovrалzo
nord	1.51	1.82
sud	1.30	1.64

6. PROGETTO DEL RIPASCIMENTO

Il presente Progetto Esecutivo di 1°Lotto prevede la ricostruzione parziale della spiaggia emersa, nel tratto in maggiore erosione (TAV. 2) per una lunghezza di 300m, da realizzare con ripascimento di ghiaie provenienti dalla barra di foce del fiume Tenna e da cava autorizzata.

La documentazione fotografica allegata nel Progetto di Fattibilità Tecnico Economica mostrava lo stato di degrado nelle zone più colpite dall'erosione situate in corrispondenza del centro abitato di porto Sant'Elpidio nella zona sud del litorale. Le mareggiate verificatesi durante l'iter di approvazione per la non-assoggettabilità a V.I.A. hanno aggravato lo stato erosivo del litorale per cui si sono resi necessari interventi di somma urgenza nei tratti più colpiti.

La caratterizzazione sedimentologica della spiaggia nativa, da assumere come condizione nella progettazione dell'intervento, è stata eseguita a partire dalla campagna di campionamento (vedi paragrafo precedente) suddividendo il litorale in due tratti caratteristici, definiti per semplicità tratto sud e tratto nord. Per il tratto sud i campioni di riferimento vanno dal n. 15 al n. 28, mentre per il tratto nord dal n. 43 al n. 55.

Alla luce delle osservazioni e delle analisi, effettuate sulle caratteristiche granulometriche dei sedimenti della spiaggia nativa, sono stati definiti dei criteri di accettazione cui dovranno rispondere i sedimenti di ripascimento rappresentati nel fuso granulometrico di progetto.

Altro elemento che va tenuto in considerazione nel progetto è l'assenza della frazione "di fino", che va assolutamente esclusa per minimizzare sia la torbidità dell'acqua in fase di deposito e sia per evitare la diminuzione del volume della spiaggia di ripascimento dovuto alla perdita del materiale fino dovuta all'azione del moto ondoso.

Esprimendo i fusi granulometrici dei sedimenti in termini di percentuale del trattenuto e del diametro del setaccio, espresso in unità $\phi = -\log_2 D$, il parametro caratteristico utilizzato come riferimento è il diametro medio, espresso in termini dei percentili del ϕ_{50} , relativo alla percentuale del 50% del trattenuto in peso (o in alternativa del passante).

Dalla curva cumulata risulta che per l'area di intervento il materiale di ripascimento dovrà avere la granulometria prevalente delle ghiaie medie-grossolane.

Di seguito si riportano le curve cumulative del trattenuto del materiale rappresentativo dei due tratti oggetto di intervento ed i rispettivi fusi granulometrici di progetto.

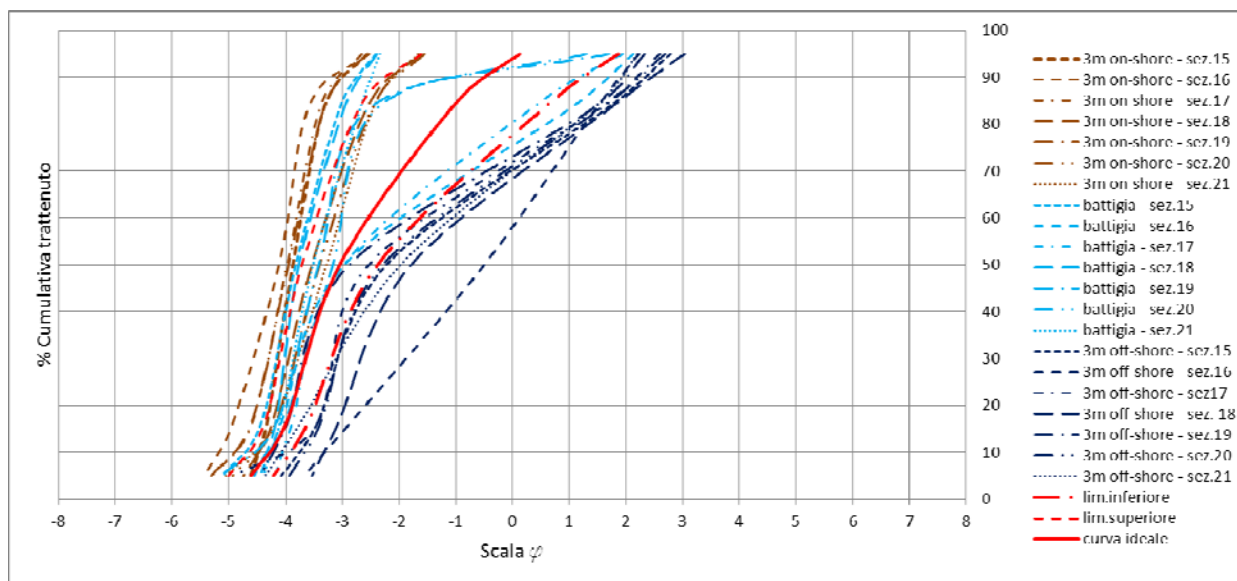


Figura 6.1 – Distribuzione granulometrica campioni del tratto “sud”

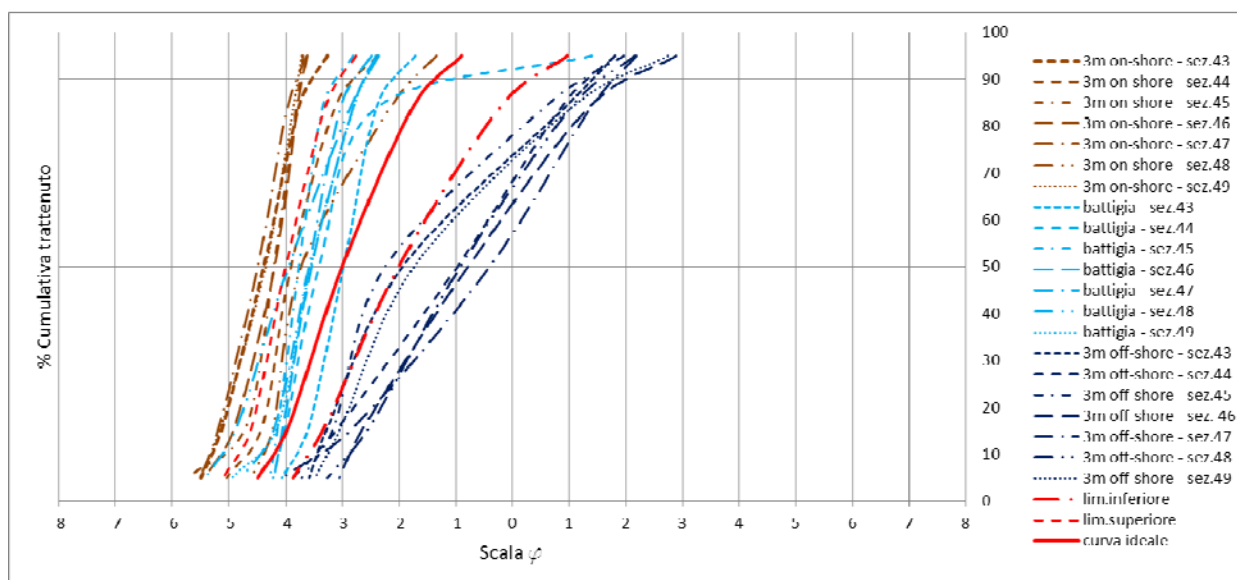


Figura 6.2 – Distribuzione granulometrica campioni del tratto “nord”

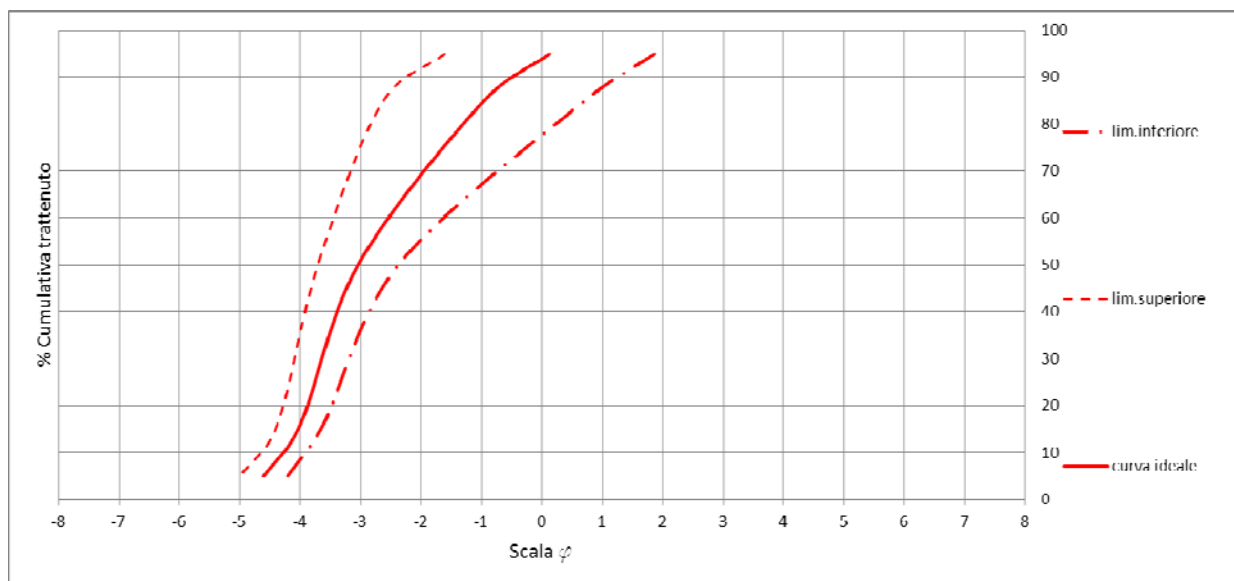


Figura 6.3 – Individuazione fuso granulometrico di progetto del tratto “sud”

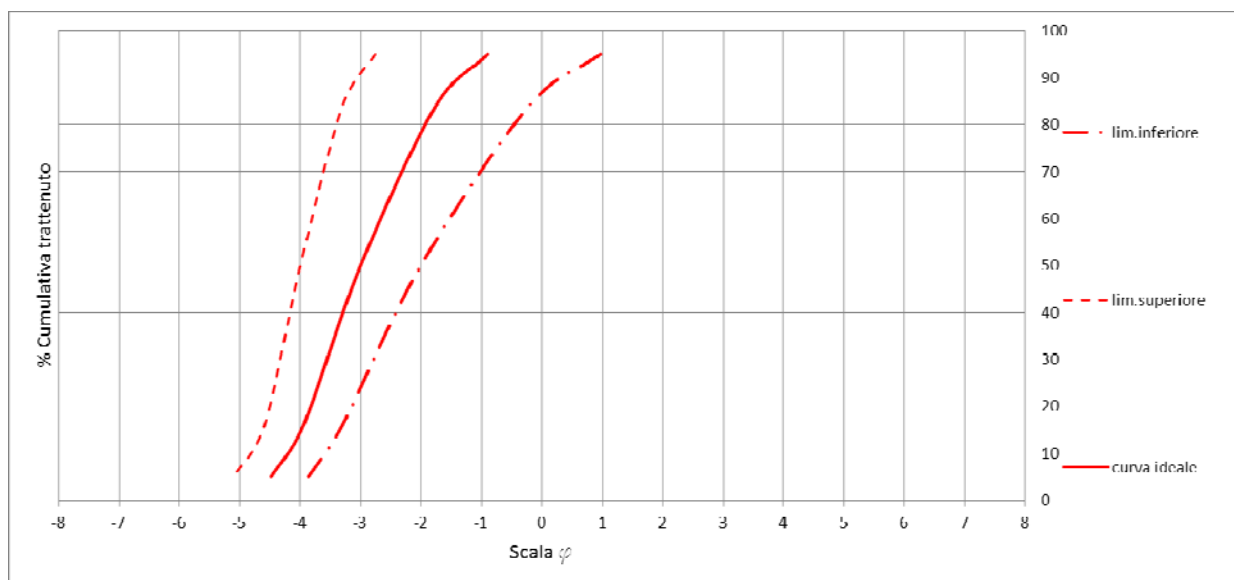


Figura 6.4 – Individuazione fuso granulometrico di progetto del tratto “nord”

In sintesi il materiale per rispondere ai criteri di compatibilità e ai parametri caratteristici previsti dal progetto deve avere i seguenti requisiti:

- provenire dalla foce del fiume Tenna e da cava autorizzata;
- essere di origine alluvionale;
- compatibilità mineralogica (carbonatica selciferà e quarzoso-feldspatica derivante dalle formazioni umbro-marchigiane);
- compatibilità colorimetrica (bianco / giallo chiaro);
- curva granulometrica compresa entro il fuso granulometrico di progetto o diametri maggiori per aumentare la stabilità del ripascimento.

Il materiale di cava, una volta individuata la cava di approvvigionamento, andrà caratterizzato valutando i parametri obbligatori previsti da legge.

Considerando un ripascimento di $60\text{m}^3/\text{m}$ si ottiene un avanzamento medio di 15-25m in relazione allo stato iniziale del profilo della spiaggia.

6.1 PROCEDURE PER LA STIMA DEI VOLUMI

Sotto l'azione delle onde, in assenza di gradienti longitudinali della portata solida, il profilo costiero si evolve fino a raggiungere una condizione di equilibrio dinamico. Quando si è cercato di dare una descrizione analitica del profilo, si è arrivati ad una curva iperbolica della seguente forma $h = A y^n$ dove A e n sono funzioni del materiale di cui è costituita la spiaggia (o del materiale di ripascimento, se si analizzano ripascimenti protetti) e delle caratteristiche dell'onda incidente; h e y sono, rispettivamente, la profondità dell'acqua rispetto al livello del mare e la distanza verso mare dalla linea di riva. Bruun (1954) ricavò un'espressione teorica per i profili di equilibrio delle coste sabbiose del tipo $h(y) = A y^{2/3}$; successivamente, Dean (1977), utilizzando la teoria d'onda lineare ad un semplice modello di frangimento, ottenne che il profilo di equilibrio potesse essere rappresentato dalla precedente espressione di Bruun $h(y) = A y^{2/3}$ dove A è detto parametro di scala dei sedimenti ed ha le dimensioni di una lunghezza alla 1/3 ($\text{m}^{1/3}$).

Hanson e Kraus (1989) proposero un'espressione di A basata sul diametro medio dei sedimenti D_{50} (corrispondente al 50% del passante di una curva granulometrica) con le seguenti forme:

$$A = 0.41(D_{50})^{0.94} \quad \text{per } D_{50} < 0.41\text{mm}$$

$$A = 0.23(D_{50})^{0.32} \quad \text{per } 0.4 < D_{50} < 10\text{mm}$$

$$A = 0.23(D_{50})^{0.28} \quad \text{per } 10 < D_{50} < 40\text{mm}$$

$$A = 0.46(D_{50})^{0.11} \quad \text{per } D_{50} > 40\text{mm}$$

Per descrivere il profilo di equilibrio per la granulometria esistente in sito sono state analizzate le indagini granulometriche effettuate nel 2014 lungo il litorale (vedi paragrafo 4) di cui si riporta una sintesi per i tratti precedentemente indicati come “nord” e “sud”.

tratto sud D_{50} (mm)	3m onshore	battigia	3m offshore	medie (0-3m offshore)
15	14.64	14.11	4.66	9.4
16	17.31	7.8	1.41	4.6
17	15.69	7.84	5.78	6.8
18	11.61	13.6	6.45	8.5
19	15.45	10.66	7.33	9.0
20	10.54	8.98	4.88	6.9
21	9.7	11.43	3.92	7.7
medie	13.6	10.6	4.5	7.6

tratto nord D_{50} (mm)	3m onshore	battigia	3m offshore	medie (0-3m offshore)
43	20.88	7.87	3.83	5.9
44	14.99	10.61	1.96	6.3
45	18.51	13.57	4.74	9.2
46	18.28	11.66	1.72	6.7
47	22.44	12.05	1.32	6.7
48	13.21	15.43	1.89	8.7
49	20.43	11.79	3.33	7.6
medie	18.4	11.9	2.7	7.3

Considerando un diametro uniforme $D_{50} = 3.5\text{mm}$ nella parte sommersa, il profilo di equilibrio per la granulometria esistente, assume la forma seguente:

$$A_N = 0.23(3.5)^{0.32} = 0.358\text{m}^{1/3}$$

y (m)	2	5	10	20	30	50	70	100
h (m)	0.54	1.00	1.59	2.53	3.31	4.66	5.83	7.40

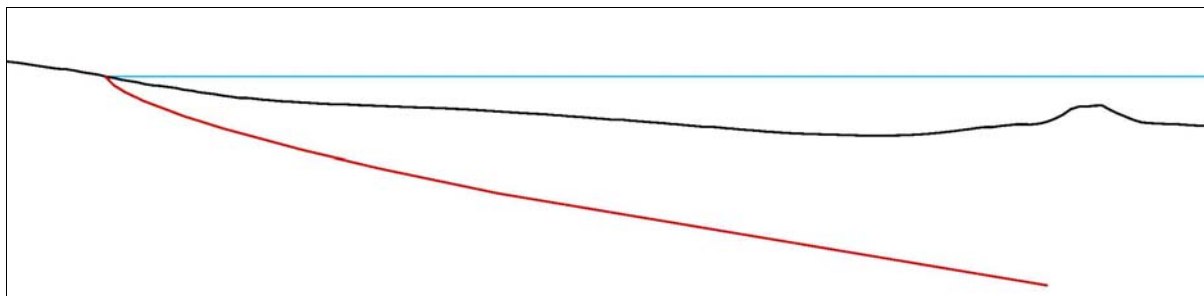


Figura 6.5 – Confronto del profilo esistente (nero) e di equilibrio (rosso) – sez. tratto sud

Una procedura per la stima del volume è quella consigliata da Dean che prevede la traslazione del profilo di equilibrio della quantità Δy sul livello medio mare con successiva correzione in positivo o in negativo della parte sommersa (a seconda delle caratteristiche granulometriche del materiale di riporto rispetto quello nativo) della quantità:

$$W_{add}(y) = h^{\frac{3}{2}} \left[\left(\frac{1}{A_R} \right)^{\frac{3}{2}} - \left(\frac{1}{A_N} \right)^{\frac{3}{2}} \right]$$

Considerando che nella parte sommersa della spiaggia i diametri esistenti e quelli di prestito possono essere considerati coincidenti i volumi ottenuti dalla traslazione rigida del profilo nella parte sommersa, con avanzamento di 15m della linea di riva, berma a +1.20m l.m.m. e pendenza nella parte emersa di 1/10 (come nel ripascimento realizzato nel 2005 su progetto della Regione Marche) sono dell'ordine di 80m³/m per il profilo caratteristico del tratto sud e 70m³/m per quello del tratto nord. Si tratta di una stima sommaria perché il profilo di equilibrio è una condizione di equilibrio nel lungo periodo e le condizioni attuali sono differenti.

6.2 MODELLO MATEMATICO PER L'EVOLUZIONE TRASVERSALE DELLE SPIAGGE GHIAIOSE

La procedura di stima analizzate basata sul profilo di equilibrio si applica prevalentemente a materiali di tipo sabbioso, nel caso di spiagge ghiaiose e ripascimenti realizzati con ghiaie può essere applicato un Modello di calcolo empirico, il quale permette di determinare, per via numerica, la configurazione geometrica bidimensionale corrispondente alle condizioni di equilibrio del profilo trasversale di una spiaggia ghiaiosa. Il più importante contributo nell'elaborazione di tale Modello è quello dovuto a J. N. Van der Meer (Rock and gravel beaches under wave attack, novembre 1988, Delft Hydraulics).

Van der Meer distingue le strutture di protezione in strutture staticamente stabili e strutture dinamicamente stabili.

Sono strutture staticamente stabili quelle che consentono nessuna o minime modifiche alla configurazione di progetto, a seguito di eventuali spostamenti di alcuni elementi costituenti la protezione esterna dell'opera di difesa.

Strutture dinamicamente stabili sono quelle strutture che ammettono la modifica del profilo iniziale sotto l'azione del moto ondoso. Si ammette cioè che il materiale costituente la struttura possa essere spostato in alto o in basso lungo il profilo iniziale fino al raggiungimento di un profilo finale stabile.

Introducendo il parametro $\frac{H}{\Delta D}$ in cui

H = altezza d'onda spettrale

$\Delta = (\rho_s / \rho_a) / \rho_a$ = densità relativa con

ρ_s = densità del materiale;

ρ_a = densità dell'acqua;

D = diametro caratteristico del materiale, definito in seguito;

le strutture dinamicamente stabili sono ritenute quelle con $\frac{H}{\Delta D} > 6$.

Sulla base del concetto di struttura “modificabile” si può individuare la configurazione finale della struttura che parte da un ipotizzato posizionamento. Si deve ritenere che, raggiunta tale posizione finale, essa sia stabile.

Van der Meer ha sviluppato un Modello che consente di schematizzare il profilo dinamicamente stabile con parametri di lunghezza, altezza ed angoli, caratteristici del profilo finale.

Il modello è stato messo a punto sulla base di una serie di circa 500 prove di Laboratorio in cui si è studiato il comportamento di un profilo al variare dei parametri ambientali (altezza e periodo d'onda, forma dello spettro e durata della mareggiata), della granulometria del materiale e della pendenza del profilo stesso.

Il campo di validità delle esperienze di Van der Meer è fissato dai segmenti limiti per il parametro

$$\frac{H}{\Delta D}:$$

$$6 < \frac{H}{\Delta D} < 500$$

Tali limiti individuano i profili realizzati con massi naturali e con sminuimento ghiaiosi e/o sabbiosi.

Il Modello analizza il comportamento della sezione trasversale della struttura, studiando la modifica del profilo della sezione dovuta al trasporto “cross-shore” (ortogonale alla spiaggia).

Ciò è possibile se si può ritenere che nel tratto di spiaggia caratterizzato dalla sezione in esame, non esiste un gradiente di trasporto longitudinale, cioè che il trasporto longitudinale sia uniformemente distribuito.

La presenza della scogliera sommersa, con pennelli trasversali alle estremità crea una cella chiusa per la zona di ripascimento, pertanto il modello è applicabile in prima analisi.

Le prove di Laboratorio, eseguite dall'Autore per la messa a punto del Modello, hanno consentito di stabilire quali sono, tra tutte le variabili del fenomeno, quelle che influenzano la formazione del profilo di equilibrio.

Ogni prova di Laboratorio prendeva in esame uno spettro di onde. A tale spettro si poteva associare una H_s ed un periodo medio T_m .

Dall'analisi dei risultati di tutte le prove eseguite si è ricavato che altezza e periodo d'onda influenzano grandemente la formazione del profilo, mentre minima importanza riveste la forma dello spettro.

Inoltre, si è visto che la durata della mareggiata influenza particolarmente la parte emersa del profilo di equilibrio.

Per quanto riguarda l'influenza delle variabili granulometriche, dalle prove si è ricavato che al variare del diametro D_{50} si ottiene un diverso profilo d'equilibrio, mentre l'assortimento granulometrico, ha influenza sul profilo solo per valori del rapporto $D_{85}/D_{15} > 2$.

Ugualmente importanti si sono rilevate le caratteristiche geometriche del profilo iniziale quali la pendenza (se il profilo è rettilineo) e la profondità al piede della struttura.

Sulla base di queste conclusioni Van der Meer ha definito il profilo dinamicamente stabile per mezzo di una serie di elementi geometrici (lunghezze ed altezza, angoli e linee curve), riferiti ad un sistema di coordinate cartesiane (di cui si parlerà più dettagliatamente in seguito) e legati, mediante relazioni analitiche, alle variabili del problema.

In questo progetto si è scelto di applicare il modello parametrico di Powell (1990) che rappresenta un'evoluzione del modello di Van der Meer, particolarmente adatto alle spiagge ghiaiose con queste granulometrie.

Lo schema generale del profilo d'equilibrio di Powell è illustrato nella seguente figura.

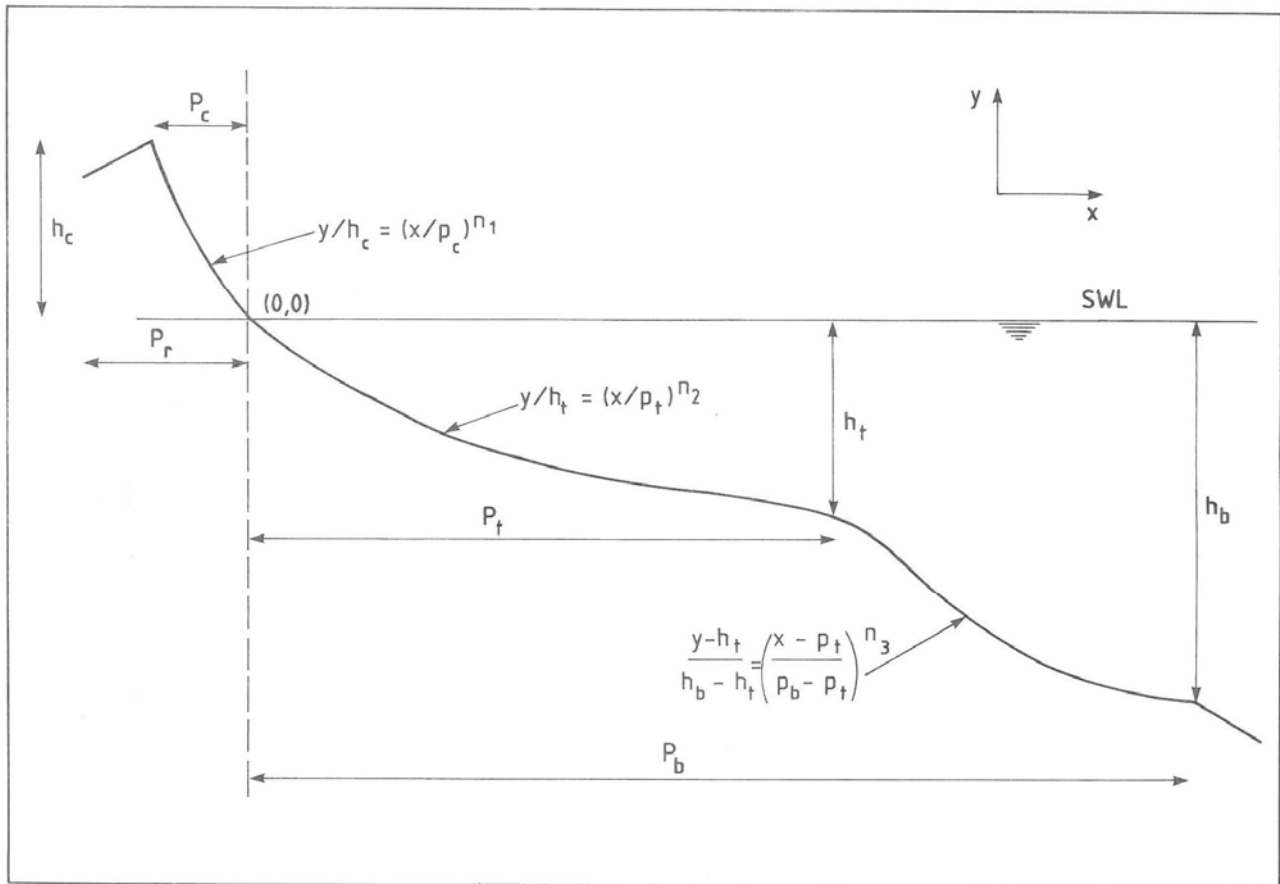


Figura 6.6 – Schematizzazione del profilo di spiaggia

Le variabili di progetto (ossia le grandezze di cui bisogna conoscere i valori per ricavare il profilo della sezione trasversale) sono:

H_s = altezza significativa al piede della struttura desunta dallo spettro di progetto;

T_m = periodo medio dello spettro assunto come spettro di progetto;

N = numero delle onde di una mareggiata (durata dell'attacco ondoso);

D_{50} = diametro mediano (percentile di 0,50) del materiale costituente la spiaggia;

Δ = densità relativa del materiale

ϕ = angolo di attacco delle onde.

Le relazioni analitiche che consentono di determinare le grandezze sufficienti ad individuare il profilo, una volta fissati i valori di progetto delle variabili del problema, sono riportate di seguito.

Va chiarito che tali relazioni sono condizioni necessarie ma non sufficienti. Si intende dire che con le relazioni riportate di seguito si individua la forma del profilo ma non la sua posizione. Per individuare quest'ultima, bisogna ricorrere, come sarà mostrato in seguito, ad impostare equazioni di altra natura che individuano la posizione del profilo.

Il modello descrive il profilo attraverso 3 curve iperboliche valide rispettivamente:

tra la cresta della spiaggia e il livello medio mare;
tra il livello medio mare ed il primo gradino (“barra”);
tra il primo gradino ed il limite inferiore di deformazione del profilo.

I parametri che descrivono questo modello sono:

p_r posizione di run-up massimo;

h_c elevazione della cresta del profilo;

p_c posizione della cresta del profilo;

h_t elevazione della “barra”;

p_t posizione della “barra”;

h_b elevazione della “base” della spiaggia;

p_b posizione della “base” della spiaggia.

Le relazioni analitiche con le quali si determinano i parametri, valide per $0.01 \leq H_s/L_m \leq 0.06$ sono:

$$\frac{p_r}{H_s} = 6.38 + 3.25 \ln\left(\frac{H_s}{L_m}\right)$$

$$\frac{p_c D_{50}}{H_s L_m} = -0.23 \left(\frac{H_s T_m g^{1/2}}{D_{50}^{3/2}} \right)^{-0.588}$$

$$\frac{h_c}{H_s} = 2.86 - 62.69 \left(\frac{H_s}{L_m} \right) + 443.29 \left(\frac{H_s}{L_m} \right)^2$$

$$\frac{p_t D_{50}}{H_s L_m} = 1.73 \left(\frac{H_s T_m g^{1/2}}{D_{50}^{3/2}} \right)^{-0.81} \quad \text{per } 0.01 \leq H_s/L_m \leq 0.03$$

$$\frac{p_t}{D_{50}} = 52.26 + 41.24 \left(\frac{H_s^2}{L_m D_{50}} \right) + 4.90 \left(\frac{H_s^2}{L_m D_{50}} \right)^2 \quad \text{per } 0.03 \leq H_s/L_m \leq 0.06$$

$$\frac{h_t}{H_s} = -1.12 + 0.65 \left(\frac{H_s^2}{L_m D_{50}} \right) - 0.11 \left(\frac{H_s^2}{L_m D_{50}} \right)^2 \quad \text{per } 0.01 \leq H_s/L_m \leq 0.03$$

$$\frac{h_t}{D_{50}} = -10.41 - 0.025 \left(\frac{H_s^2}{L_m^{1/2} D_{50}^{3/2}} \right) - 7.5 \cdot 10^{-5} \left(\frac{H_s^2}{L_m^{1/2} D_{50}^{3/2}} \right)^2 \quad \text{per } 0.03 \leq H_s/L_m \leq 0.06$$

$$\frac{p_b}{D_{50}} = 28.77 \left(\frac{H_s}{D_{50}} \right)^{0.92}$$

$$\frac{h_b}{L_m} = -0.87 \left(\frac{H_s}{L_m} \right)^{0.64}$$

Le equazioni delle iperboli che descrivono il profilo sono:

$$\frac{y}{h_c} = -A_1 \left(\frac{x}{p_c} \right)^{n_1} \quad (\text{per la curva 1});$$

$$\frac{y}{h_t} = -A_2 \left(\frac{x}{p_t} \right)^{n_2} \quad (\text{per la curva 2});$$

$$\frac{y - h_t}{h_b - h_t} = -A_3 \left(\frac{x - p_t}{p_b - p_t} \right)^{n_3} \quad (\text{per la curva 3});$$

I parametri delle curve sono stati ottenuti da Powell dalle regressioni con i numerosi dati sperimentali:

$$A_1, A_2, A_3 = -1.0$$

$$n_1 = 0.84 + 23.93 \left(\frac{H_s}{L_m} \right) \quad \text{per } \frac{H_s}{L_m} < 0.03$$

$$n_1 = 1.56 \quad \text{per } \frac{H_s}{L_m} \geq 0.03$$

$$n_2 = 0.84 - 16.49 \left(\frac{H_s}{L_m} \right) + 290.16 \left(\frac{H_s}{L_m} \right)^2$$

$$n_3 = 0.45 \quad \text{per } \frac{H_s}{L_m} < 0.03$$

$$n_3 = 16.6 \left(\frac{H_s}{L_m} \right) - 0.1 \quad \text{per } \frac{H_s}{L_m} \geq 0.03$$

Dall'esame delle relazioni sopra riportate si vede che una volta fissate le caratteristiche geometriche e granulometriche della struttura e la mareggiata di progetto cui la struttura stessa dovrà resistere, si può stabilire come si modificherà l'opera di difesa.

Il profilo che si otterrebbe con le relazioni sopra riportate risulta indefinito nella sua ubicazione rispetto al profilo iniziale. Ciò vuol dire che la posizione finale si otterrà solo ponendo altre condizioni. L'esatta posizione si ricava una volta individuata, con successivi tentativi, l'origine del sistema di riferimento rispetto al livello del medio mare ed al profilo iniziale, che è un dato del problema. Tali successive posizioni sono ottenute per mezzo di un processo iterativo in cui la posizione del profilo d'equilibrio si muove lungo il livello del mare finché non è soddisfatto il bilancio di massa tra il materiale asportato e quello accumulato.

Il modello viene utilizzato per valutare il volume necessario per garantire un ripascimento stabile sotto due mareggiate di riferimento (onda da 90°N con Tr 30 anni in assenza e in presenza di storme surge, vedi precedente paragrafo 4.4) con avanzamento della linea di riva di 15m.

I volumi che si ottengono sono dell'ordine di 40-45m³/m.

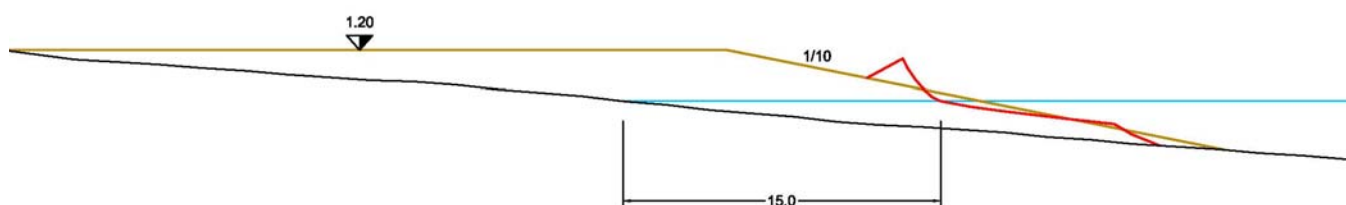


Figura 6.7 – Profilo di equilibrio di Powell – mareggiata Tr 30 anni 90°N – sezione tratto sud

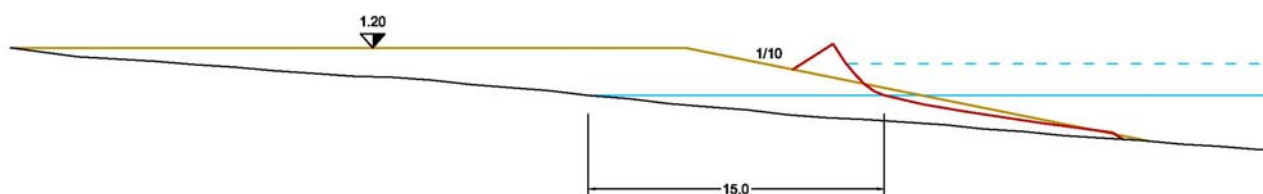


Figura 6.8 – Profilo di equilibrio di Powell – mareggiata Tr 30 anni 90°N e storme surge – sezione tratto sud

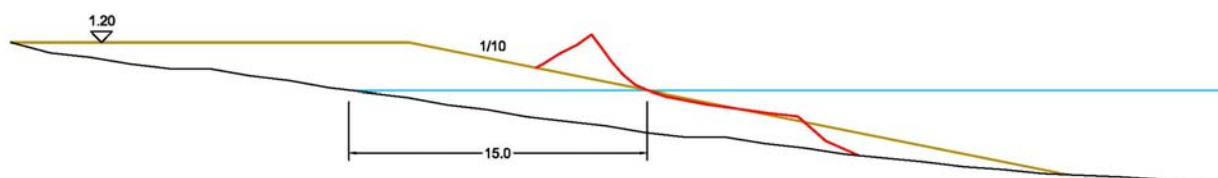


Figura 6.9 – Profilo di equilibrio di Powell – mareggiata Tr 30 anni 90°N – sezione tratto nord

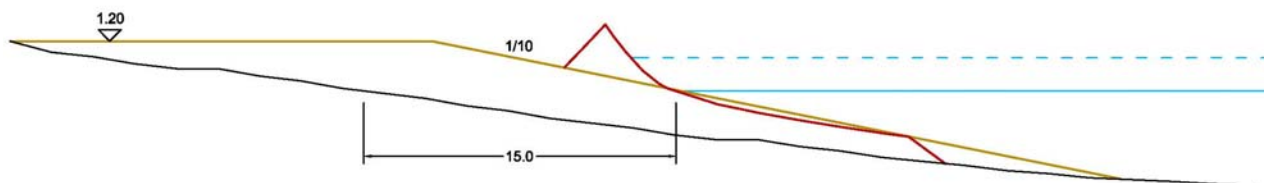


Figura 6.10 – Profilo di equilibrio di Powell – mareggiata Tr 30 anni 90°N e storme surge – sezione tratto nord

Nel Presente Progetto Esecutivo si fa riferimento ad un avanzamento medio di 20-25m con una quota di sommità di +1.20m, utilizzando in media 60m³/m date le quantità di materiale disponibili per il ripascimento, vista la possibilità di prelevare parte delle ghiaie dalla foce del Tenna.

6.3 VALUTAZIONE DEL TRASPORTO LONGSHORE

I metodi empirici utilizzati per stimare l'avanzamento della linea di costa in condizioni di equilibrio in seguito a ripascimento non considerano il trasporto *longshore* - lungo costa - dovuto all'azione del moto ondoso quasi mai perfettamente perpendicolare alla linea di costa e vanno quindi considerati come indicazioni di massima dell'avanzamento della linea di riva a seguito di ripascimento artificiale.

In questo caso la presenza della scogliera sommersa e dei pennelli trasversali alle estremità crea una unità fisiografica chiusa in cui il materiale non verrà perso ma potrà traslare longitudinalmente a seguito delle mareggiate più intense.

I sedimenti che formano la spiaggia emersa e quella sommersa si muovono lungo la costa sotto l'azione delle onde e delle correnti per trasporto al fondo, trasporto in sospensione e nella zona emersa della spiaggia, la “*swash-zone*”, secondo un trasporto denominato “*swash load*”. Trascurando l'azione delle correnti prodotte dalle maree o dal vento, le correnti longitudinali, prodotte dal frangimento delle onde, sono il fattore principale nella dinamica dei litorali nel lungo periodo (scala temporale annuale). Le correnti longitudinali si sviluppano nella zona dei frangenti quando sui fronti d'onda che si propagano inclinati rispetto alla linea di costa si raggiungono le condizioni di frangimento. L'intensità della corrente dipende dall'altezza d'onda frangente e dall'angolo di inclinazione dei fronti d'onda. Alla velocità della corrente si può associare una portata solida quando le tensioni tangenziali al fondo prodotte dalle onde superano la tensione critica legata al diametro delle particelle che formano il fondo. Per la variabilità della direzione delle onde che raggiungono un determinato paraggio costiero la corrente longitudinale assume direzioni, parallele alla costa, di verso opposto. Nel lungo periodo (un anno) si determina, dal clima delle onde del paraggio, una direzione prevalente della corrente longitudinale e quindi del trasporto solido costiero. Nel caso del litorale di Porto Sant'Elpidio la direzione prevalente del trasporto solido longitudinale è diretta da destra verso sinistra guardando il mare (da sud a nord).

Il verso del trasporto è stato dedotto sia dall'analisi dei dati di moto ondoso trasferiti a terra nei processi di rifrazione sino al frangimento, sia dall'analisi storica di evoluzione della linea di costa.

Il processo del trasporto dei sedimenti nella zona dei frangenti, pur essendo ormai conosciuto nelle linee generali è di difficile quantificazione numerica per la presenza di scale temporali e spaziali molto diverse tra loro e che rendono onerosa l'integrazione numerica delle equazioni che regolano il fenomeno.

Per determinare la distribuzione delle velocità e della corrente longitudinali si fa riferimento all'analisi condotta nel 1970 da Longuet e Higgins che considera un moto ondoso stazionario ed

uniforme che incide con un angolo β su una spiaggia uniforme, per il quale, si può scrivere che il radiation stress nella direzione verso riva vale:

$$\widetilde{S}_{xx} = \frac{E}{2} \left[\left(2 \frac{C_g}{C} - 1 \right) \delta_{ij} + 2 \frac{C_g}{C} \cos^2 \beta \right]$$

ed è generato sia dal termine isotropo che dalla componente di quantità di moto correlata al set up, mentre lungo riva è presente solamente la componente anisotropa legata alla quantità di moto, perciò si scrive:

$$\widetilde{S}_{xy} = E \frac{C_g}{C} \cos \beta \sin \beta$$

Nella direzione lungo riva l'equazione del moto si riduce dunque alla sola presenza della componente del radiation stress parallela la costa, allo scambio di quantità di moto all'interno della colonna d'acqua e dell'attrito con il fondo, e si può scrivere come

$$\frac{\partial \widetilde{S}_{xy}}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} (v_s \rho h \frac{\partial V}{\partial x}) + \tau_y^x = 0$$

dove V è la componente della corrente lungo riva e v_s è il coefficiente di diffusione turbolenta.

Sotto le ipotesi di:

piccoli valori di β ;

condizione di acque basse;

legge di resistenza al fondo quadratica;

pendenza costante a della spiaggia;

le componenti non nulle dell'equazione del moto lungo riva danno luogo ad una soluzione in cui la velocità della corrente V' , $V'' = V/V_0$, adimensionalizzata con V_0 velocità teorica della corrente al frangimento in caso di assenza di diffusione turbolenta, è funzione dell'ascissa adimensionale X h/h_b tramite i parametri P_1 , P_2 ed A.

Tale soluzione è data da due equazioni, la prima delle quali esprime la velocità adimensionale della corrente all'interno della surf zone, quindi per $0 < X < 1$, mentre la seconda vale all'esterno della breaker line, cioè per $X > 1$.

$$V' = A \left(X + \frac{P_2 - 1}{P_1 - P_2} X^{P_1} \right)$$

$$V'' = A \left(\frac{P_2 - 1}{P_1 - P_2} X^{P_2} \right)$$

$$P = \frac{2\pi N \tan \alpha}{\gamma f}$$

È interessante notare come in realtà nella soluzione sia presente un solo parametro dipendente dalla velocità orbitale delle particelle N , dalla pendenza della tavola d'acqua corretta dal set up a , tramite cui si ottengono gli altri parametri.

Il fatto che vi sia una corrente anche all'esterno della surf zone è dovuto alla presenza della diffusione turbolenta, poiché questa trasferisce quantità di moto anche dove teoricamente non ci dovrebbe essere; questo comportamento risulta evidente ponendo pari a zero il valore del coefficiente di diffusione turbolenta, condizione che dà luogo ad una soluzione per $P = 0$ in cui la velocità della corrente lungo riva cresce proporzionalmente al fondale dalla linea di riva, per presentare poi una brusca discontinuità che ne annulla il valore in corrispondenza della linea dei frangenti (vedi Figura 6.11).

Nella realtà è però presente la diffusione turbolenta, perciò onde che incidono obliquamente sulla spiaggia generano correnti lungo riva che si estendono per tutta la surf zone e che, una volta raggiunta la massima intensità, decrescono allontanandosi verso il largo.

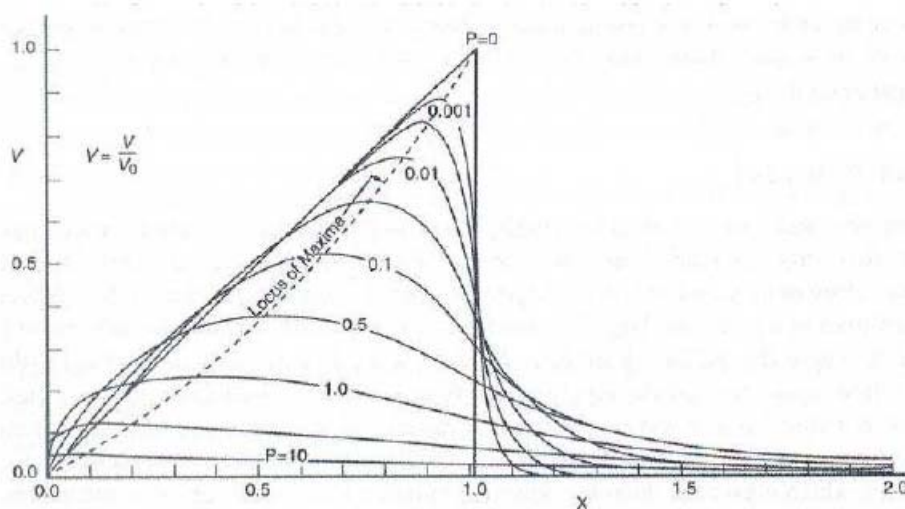


Fig. 6.11 – Andamento della velocità adimensionale della corrente V/V_0 in funzione della distanza da riva e del parametro P secondo L. Higgins

Due importanti parametri che influenzano l'intensità delle correnti long shore sono l'altezza d'onda e l'inclinazione: più un'onda è alta più la corrente indotta è veloce, mentre l'inclinazione che massimizza l'intensità è a 45° rispetto alla perpendicolare alle batimetriche.

Le figure che seguono mostrano la distribuzione della corrente longitudinale che si viene a creare tra la scogliera sommersa e la riva nel caso di due mareggiate con direzione al largo di $90^\circ N$ e $120^\circ N$ con tempo di ritorno di 30 anni in assenza e in presenza di storme-surge.

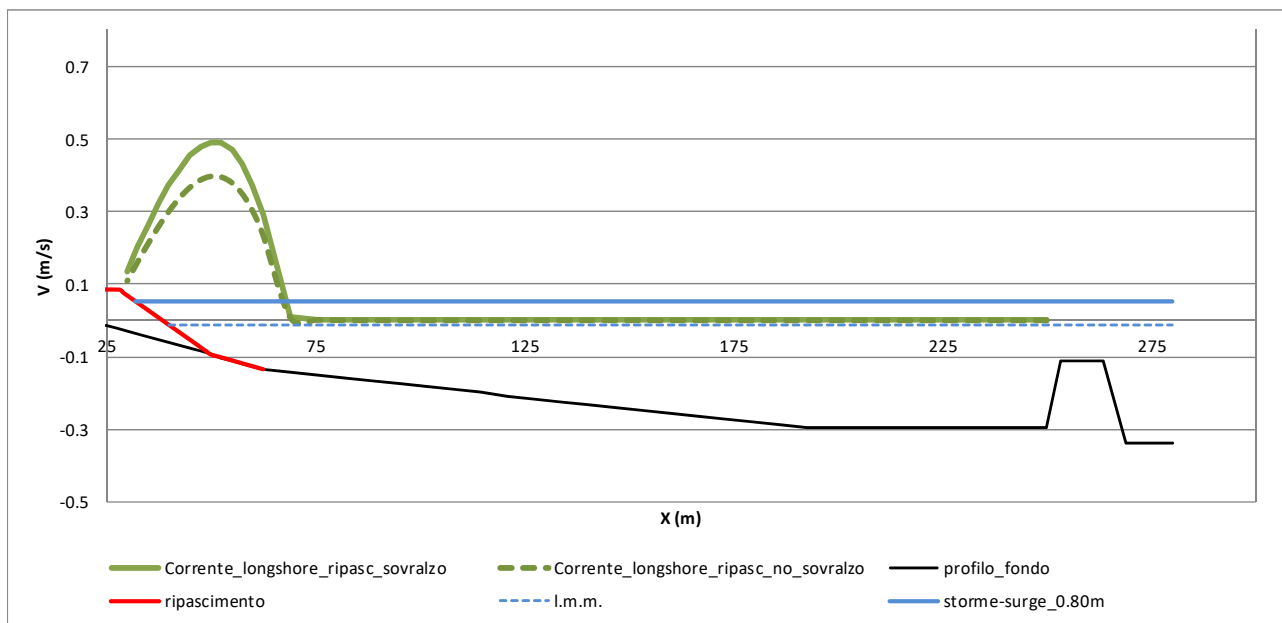


Figura 6.12 – Corrente longitudinale – mareggiata Tr 30 anni 90°N – sezione tratto sud

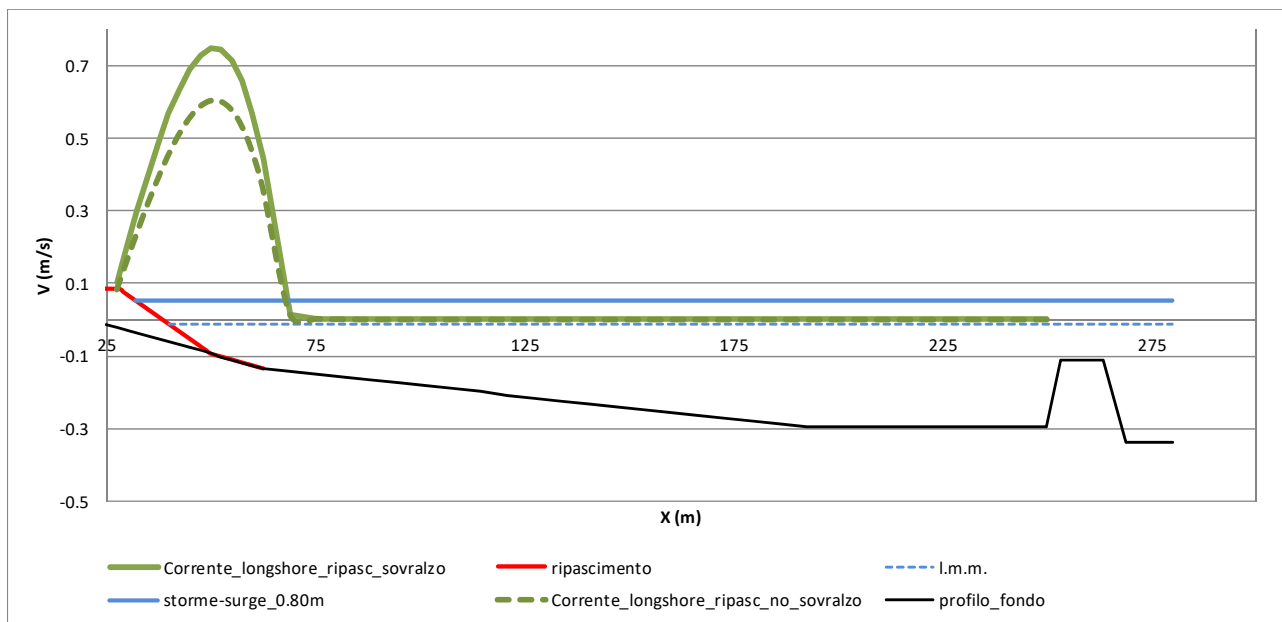


Figura 6.13 – Corrente longitudinale – mareggiata Tr 30 anni 120°N – sezione tratto sud

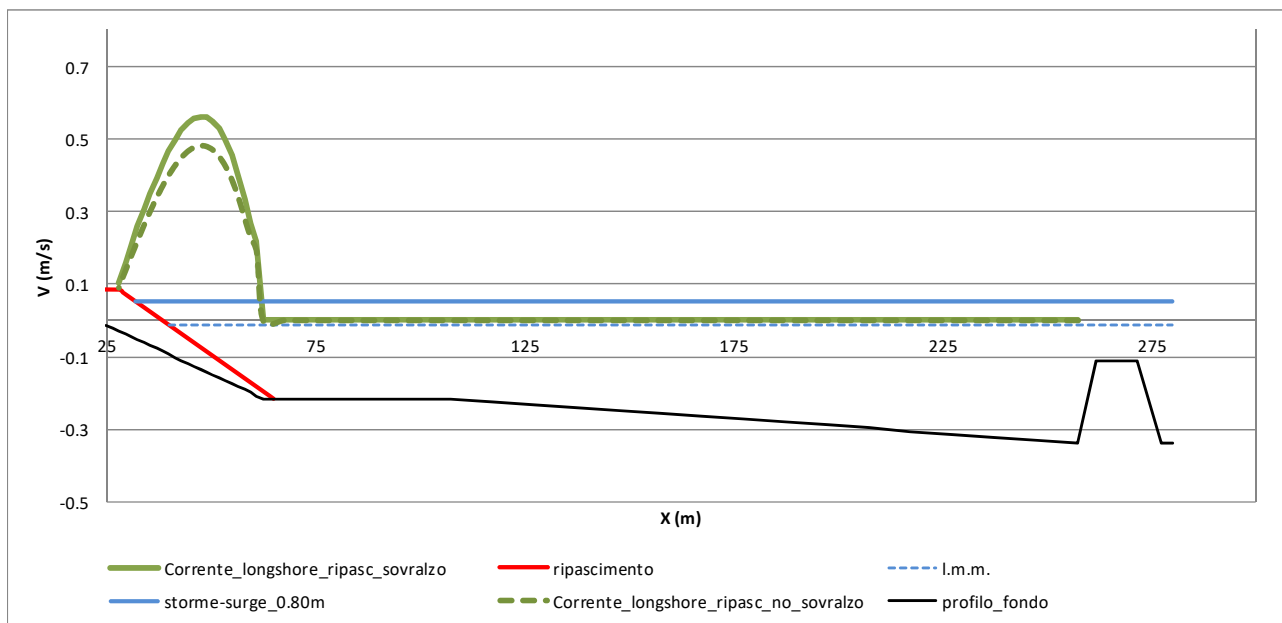


Figura 6.14 – Corrente longitudinale – mareggiata Tr 30 anni 90°N – sezione tratto nord

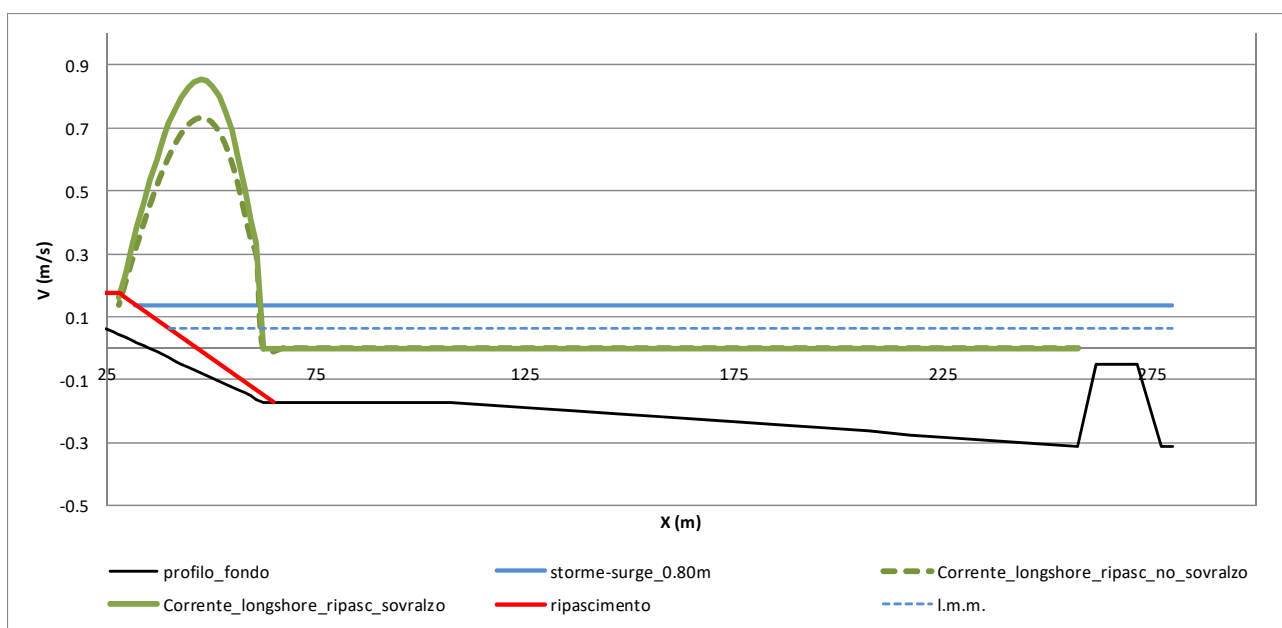


Figura 6.15 – Corrente longitudinale – mareggiata Tr 30 anni 120°N – sezione tratto nord

La corrente longitudinale si concentra nella zona di battigia con valori massimi per l'onda più inclinata (da 120°N al largo) dell'ordine di 0.73-0.85m/s rispettivamente in assenza e in presenza di storme-surge. Con tali valori di velocità i diametri più piccoli del materiale possono essere traslati verso nord.

7. REPERIMENTO DEL MATERIALE DI RIPASCIMENTO

Nel presente Progetto Esecutivo di 1° Lotto il reperimento del materiale avverrà dalla foce del fiume Tenna e da cava autorizzata.

Per preservare l'aspetto della spiaggia attuale si dovrà garantire una compatibilità mineralogica, colorimetrica e di proprietà chimico fisiche e di proprietà meccaniche del materiale utilizzato che risultano condizioni necessarie all'attuazione dell'intervento. I sedimenti di ripascimento dovranno, pertanto, essere compatibili sia per la colorazione (bianco / giallo chiaro); sia per la composizione mineralogica (carbonatica selcifera e quarzoso-feldspatica) con le spiagge native e quindi anche con le proprietà meccaniche del materiale, che riflettono quindi le caratteristiche delle rocce di provenienza e cioè quella delle formazioni della successione umbro marchigiana.

Sulla base dei due differenti ambienti di deposizione che contraddistinguono la genesi dei sedimenti costieri rispetto a quelli fluviali/depositi arenacei si evidenzia che l'unica differenza tra i depositi nativi e quelli di ripascimento potrebbe essere la morfometria (grado di arrotondamento e di appiattimento).