n. 02

AUTORITA' PORTUALE DI GENOVA

Direzione Tecnica

PROGETTO PRELIMINARE N° 2931

PROTEZIONE PASSEGGIATA DI VOLTRI IN DESTRA IDRAULICA DEL TORRENTE LEIRA

STUDIO DEL TRASPORTO SOLIDO LITORANEO

	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO:
Rev. 3	Novembre 2014	Aggiornamento post incontro Regione Liguria del 3/10/14	

Progettista interni: Geom. Ivano Dellepiane Geom. Augusto Narizzano	Progettisti esterni: Dott. Ing. Paolo Turbolente

Coordinatore di progetto:	VERIFICATO	VALIDATO	VISTO
Geom. Ivano Dellepiane	Il Direttore Tecnico: **Dott. Ing. Andrea Pieracci**	Il Responsabile Unico del Procedimento: **Dott. Ing. Marco Vaccari**	Il Il Direttore Tecnico: **Dott. Ing. Andrea Pieracci**

1. PREMESSA 1

1.1. Oggetto del seguente rapporto 1

2. INQUADRAMENTO DELLA FASCIA COSTIERA OGGETTO DELLO STUDIO 2

3. SEDIMENTOLOGIA ED ANALISI DEGLI APPORTI SOLIDI FLUVIALI 8

3.1. Sedimentologia 8

3.2. Analisi degli apporti solidi fluviali 32

4. STUDIO DEL TRASPORTO SOLIDO POTENZIALE LONGITUDINALE 39

4.1. Stima della componente motrice del trasporto solido longitudinale 40

5. STUDIO DELL'EVOLUZIONE DELLA SPIAGGIA 47

5.1. Dati cartografici di riferimento: selezione ed analisi qualitativa 47

5.2. Censimento delle opere di difesa costiera 48

5.3. Analisi temporale delle linee di riva più recenti 49

6. CALCOLO DELLE PORTATE SOLIDE NETTE LONGITUDINALI 67

INDICE DELLE FIGURE 74

INDICE DELLE TABELLE 77

ALLEGATO 79

1. PREMESSA

L'Autorità Portuale di Genova ha affidato alla società Acquatecno S.r.l. l'incarico di eseguire la Modellazione numerica a supporto della "Progettazione passeggiata di Voltri in destra idraulica del Torrente Lejra", ricadente nel territorio del Comune di Genova (GE) nella Regione Liguria. Nell'ambito di tale incarico sono state eseguite le modellazioni numeriche per lo studio del trasporto solido litoraneo netto e potenziale.

1.1. Oggetto del seguente rapporto

Oggetto del presente rapporto è lo studio del trasporto solido litoraneo lungo il litorale di Voltri. L'assenza di misure dirette del trasporto solido litoraneo a Voltri, peraltro ancora oggi in generale di difficile attuazione, ha indotto al ricorso a misure indirette basate sulle variazioni morfologiche del fondale. In particolare si è fatto ricorso alla metodologia semplificata basata sulle variazioni della posizione della linea di riva, che presuppone la conservazione della forma del profilo di spiaggia nel tempo. Per una corretta applicazione del metodo è necessario un preliminare studio morfologico dell'intera unità fisiografica in cui si inserisce il litorale in esame.

Lo studio morfologico in generale comprende:

- un inquadramento territoriale su base cartografica dell'intera unità fisiografica, la quale nel presente caso si estende tra la foce del torrente Cerusa ed il porto di Sestri Ponente;
- l'analisi sedimentologica della spiaggia emersa e sommersa;
- un analisi dei profili trasversali della spiaggia emersa e sommersa;
- l'analisi degli apporti solidi dei principali corsi d'acqua che sfocino lungo l'unità fisiografica, costituiti nel presente caso dal Torrente Cerusa e dal torrente Lejra.

Lo studio dell'evoluzione della spiaggia è stato invece basato sull'analisi storica delle linee di riva dell'intera unità fisiografica disponibili nella configurazione attuale delle spiagge, in particolare sono stati utilizzati i dati del periodo che va dal 1988 al 2012.

Lo studio dell'evoluzione della spiaggia ha consentito di formulare un bilancio dei volumi netti di sabbia movimentati dai fattori meteomarini nel periodo investigato. E' stato così determinato l'andamento del trasporto solido litoraneo netto lungo tutta l'unità fisiografica, che ha costituito la base di riferimento dello studio di morfodinamica costiera allegato al presente progetto.

2. INQUADRAMENTO DELLA FASCIA COSTIERA OGGETTO DELLO STUDIO

Il litorale di Voltri si affaccia sul Golfo di Genova tra il promontorio di Punta del Molino ed il Porto di Voltri (vedi **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**). L'unità fisiografica in cui si nserisce il sito in esame è quella, estesa circa 1,7 km, compresa tra la foce del Torrente Cerusa e il Porto di Voltri. Il torrente Lejra sfocia al centro di tale unità.

L'entroterra del litorale in esame è caratterizzato dalla presenza dell'abitato di Voltri, e dalla linea ferroviaria Genova Ventimiglia che corre lungo la costa ai piedi delle pendici montuose.

L'unità fisiografica è alimentata principalmente dai sedimenti trasportati dal Torrente Cerusa e dal Torrente Lejra, mentre decisamente trascurabile risulta l'apporto del Rio San Giuliano che sfocia all'estremità orientale dell'unità fisiografica ai margini del Porto di Voltri (vedi Figura 2). Il retrospiaggia del litorale di Voltri ad ovest della foce del torrente Lejra è caratterizzato dalla passeggiata di recente costruzione.

Il litorale di Voltri ha subito durante la seconda metà del secolo scoro continui mutamenti per effetto dell'opera antropica, volta, nella logica di espansione in un territorio costiero particolarmente compresso dalle catene montuose, a strappare territorio al mare. Infatti la sistemazione dell'armatura di foce del torrente Lejra in destra idraulica realizzata nel dopo guerra ha comportato la formazione della spiaggia attuale tra la foce del Torrente Cerusa e la foce del Torrente Lejra. La realizzazione di un pennello ad est della foce del torrente Lejra ha comportato negli anni '70 la formazione di una spiaggia ad est della stessa foce. Si rileva che negli stessi anni invece il litorale posto ad est di tale pennello era ancora caratterizzato dalla presenza di una lunga scogliera radente a protezione dell'entroterra. Solamente agli inizi degli anni '80 con la realizzazione delle opere esterne del porto di Voltri la spiaggia ad est della foce del Torrente Lejra ha raggiunto la configurazione attuale.

Le opere marittime presenti attualmente lungo l'unità fisiografica sono costituite (vedi Figura 2):

- la scogliera radente a protezione dell'abitato di Voltri posta ad est della foce del Torrente Cerusa realizzata tra il 2000 ed il 2006;
- il muro posto nel retrospiaggia a protezione dell'edificio realizzato al centro della passeggiata di Voltri;
- l'armatura di foce del torrente Lejra;
- il pennello posto ad est della foce del torrente Lejra. realizzato negli anni '70 ed attualmente insabbiato;
- la scogliera di collegamento del pennello posto ad est della foce del torrente Lejra con le opere del Porto di Voltri, che limita attualmente la spiaggia verso terra;
- le opere portuali del Porto di Voltri;

Nella Figura 3 sono riportate le aerofoto del litorale di Voltri tratte dall'Atlante Cartografico del Ministero dell'Ambiente e Tutela del territorio e del Mare dal 1988 al 2012

La Figura 3 mostra come le opere esterne del porto di Voltri nella configurazione attuale erano già presenti alla fine degli ani '80. Dalla stessa figura emerge che anche la conformazione della spiaggia lungo tutto il litorale di Voltri non ha subito rilevanti cambiamenti negli ultimi 25 anni.

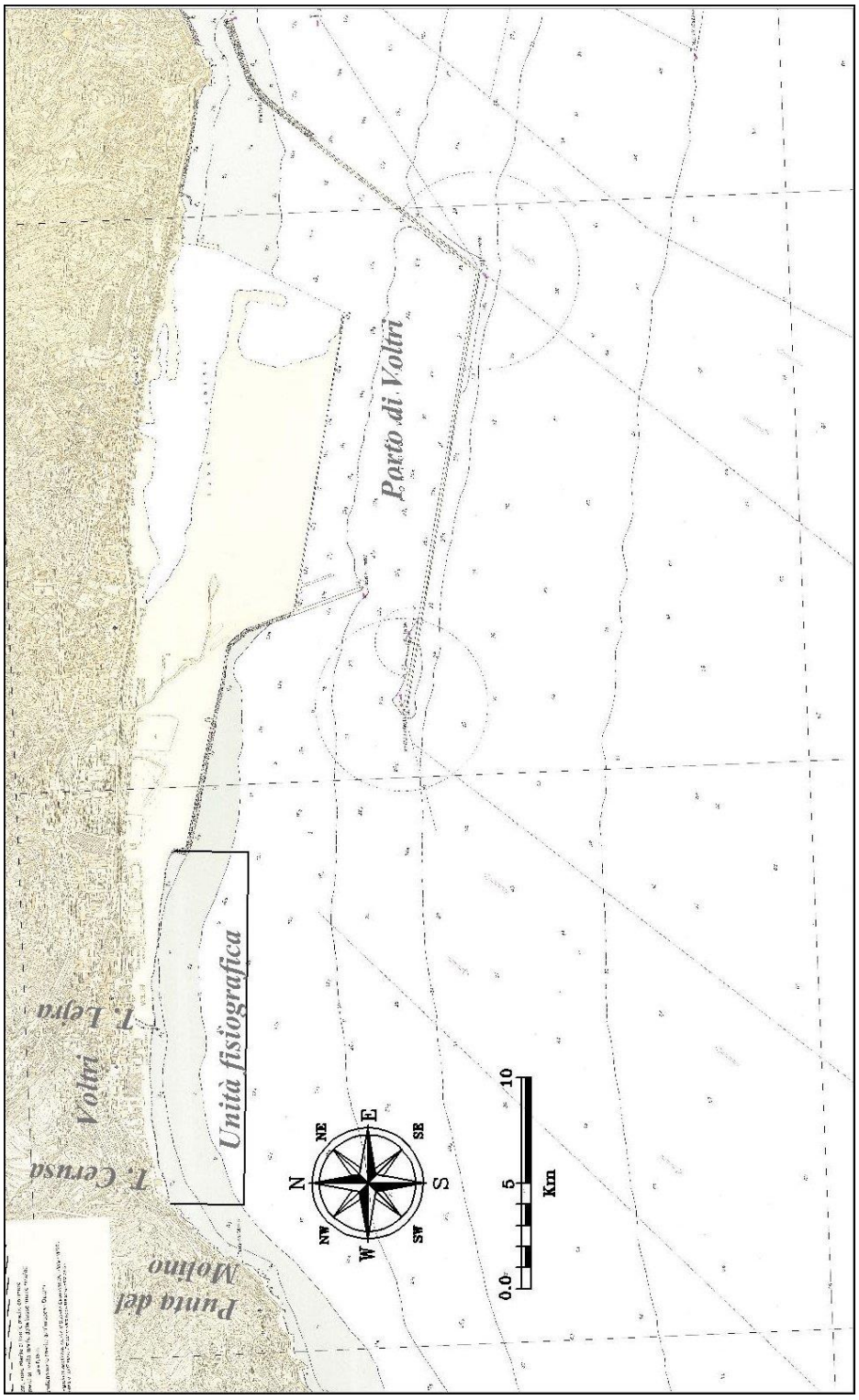


Figura 1. Unità fisiografica del litorale oggetto di studio

Fonte Carta I.M.M. anno 1994 - scala 1:10 000

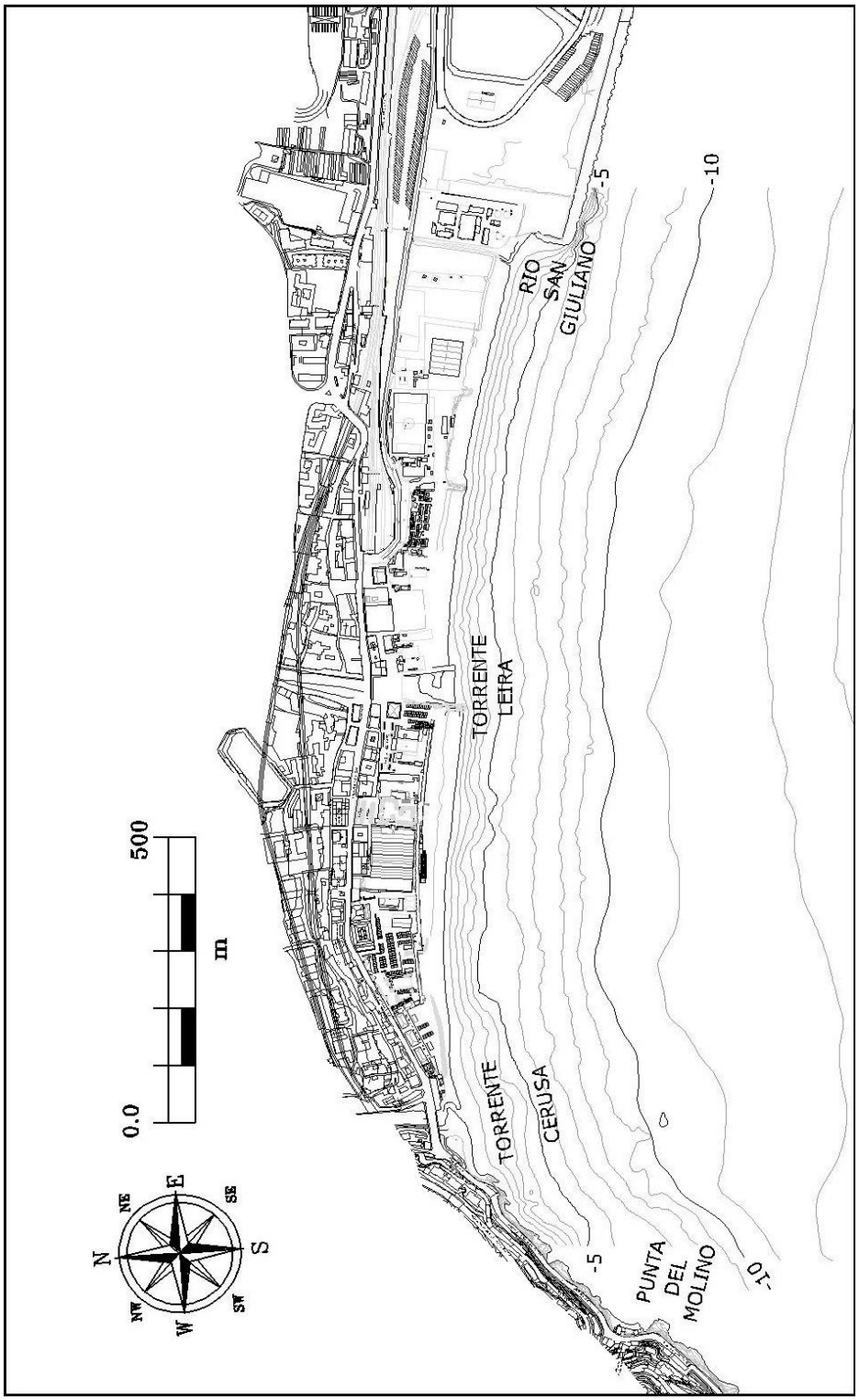


Figura 2. Litorale di Voltri

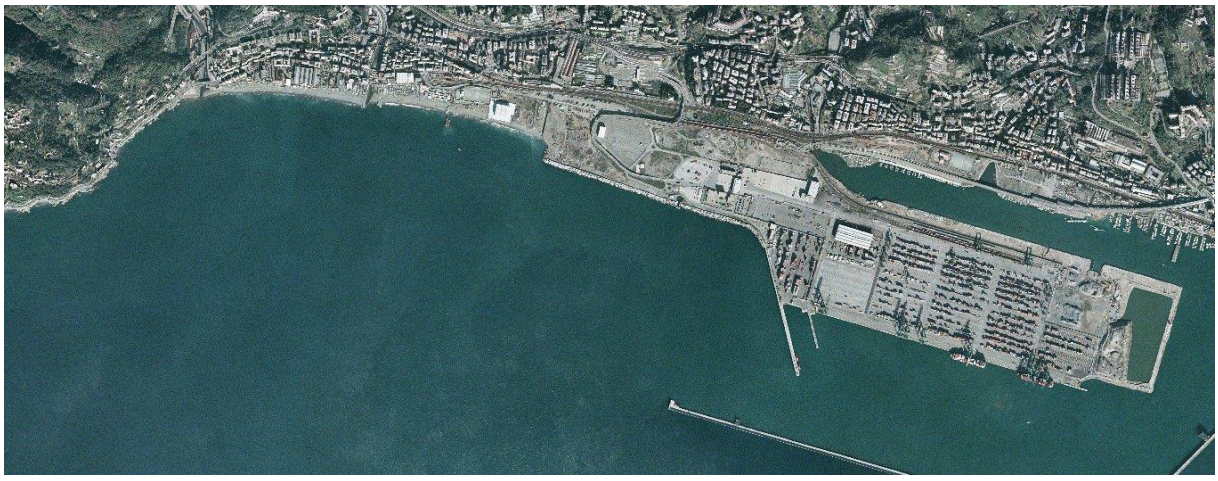
Fonte CRT, scala 1:10 000



Aerofoto 1988



Aerofoto 1994



Aerofoto 2000



Aerofoto 2006



Aerofoto 2012

Fonte: Atlante Cartografico Italiano - Ministero dell'Ambiente e Tutela del territorio e del Mare

Figura 3. Aerofoto del litorale di Voltri

3. SEDIMENTOLOGIA ED ANALISI DEGLI APPORTI SOLIDI FLUVIALI

Dal punto di vista sedimentario l'unità fisiografica in esame è alimentata essenzialmente all'estremità occidentale dagli apporti solidi grossolani del torrente Cerusa e nella parte centrale da quelli del torrente Lejra. Gli apporti solidi del Rio San Giuliano che sfocia all'estremità orientale della spiaggia sono trascurabili L'entità di tale alimentazione risulta attualmente sufficiente al mantenimento della conformazione del litorale.

3.1. Sedimentologia

Per la realizzazione del progetto in esame è stata effettuata, nel settembre 2014, una campagna sedimentologica sulla spiaggia emersa e su quella sommersa fino alla profondità di circa 6 m lungo tutto il litorale di Voltri.

In particolare durante la campagna sedimentologica sono stati prelevati campioni granulometrici lungo 7 transetti (A, B, C, D, E, F, e G). I primi 3 transetti sono poste ad ovest della foce del torrente Lejra ad una distanza di circa 250 m tra loro. Il transetto D è posto in corrispondenza della foce del Torrente Lejra, mentre gli ultimi 3 transetti sono posti ad est della foce del torrente Lejra ad una distanza di circa 230 m tra loro. Lungo ogni transetto sono stati prelevati campioni in corrispondenza della spiaggia emersa (+1,0 m sul l.m.m.) e in corrispondenza della spiaggia sommersa (alle quote -1,0 m, -3,0 m e -6,0 m sul l.m.m.), per un totale di 28 campioni sedimentologici (vedi Figura 4). Il rilievo batimetrico riportato in figura è stato fornito dall'Autorità Portule di Genova.

Nella parte emersa della spiaggia il sedimento è costituito prevalentemente da ciottoli (tra il 95,0% ed il 41,8%) e ghiaia (complessivamente tra il 99,6% ed il 83,8% di ciottoli e ghiaia), fa eccezione il transetto C che presenta una percentuale complessiva di ciottoli e ghiaia inferiore (circa il 64,2%).

Nella parte sommersa prossima alla battigia il sedimento è costituito:

- nei transetti A e B principalmente da sabbia molto grossolana con ghiaia e sabbia grossolana;
- nei transetti C e F principalmente da sabbia molto grossolana con ghiaia e ciottoli;
- nei transetti D, E e G principalmente da ciottoli con ghiaia e sabbia grossolana.

Alla profondità di -3 m sul l.m.m. il sedimento presenta dimensioni un po più ridotte essendo costituito:

- nei transetti A, B e G principalmente da sabbia grossolana con sabbia media;
- nei transetti C, E e F principalmente da sabbia finissima con sabbie fini e medie.

In fine a profondità maggiore (-6 m sul l.m.m.) il sedimento è costituito prevalentemente da sabbia finissima (tra il 50% e il 89%).

Fa eccezione il transetto D, posto in corrispondenza della foce del torrente Lejra, in cui il sedimento presenta dimensioni maggiori sia alla profondità di -3 m sul l.m.m. che a quella di -6 m sul l.m.m. Infatti lungo il transetto D esso è costituito:

- alla profondità di -3,0 m sul l.m.m. principalmente da sabbie molto grossolane con ciottoli e ghiaia;
- alla profondità di -6,0 m sul l.m.m. principalmente da sabbia finissima (41%) con sabbie medie e fini.

I sedimenti che costituiscono la spiaggia emersa e sommersa del litorale di Voltri sono stati studiati nelle loro caratteristiche tessiturali. L'azione combinata delle correnti e delle onde nella zona dei frangenti ed in fasce adiacenti è l'agente dinamico più importante nella mobilizzazione ed il trasporto dei sedimenti che compongono gli strati superficiali della fascia emersa e sommersa della spiaggia e di quelli immessi dai corsi d'acqua che sfociano lungo il litorale. Lungo il profilo trasversale la composizione granulometrica dei sedimenti varia in ragione della selezione, naturalmente effettuata dai fenomeni fisici sopra detti, per cui ogni componente granulometrica tende a convergere verso il fondale in cui essa si trova in equilibrio sotto l'azione delle onde frangenti, e delle correnti indotte dal moto ondoso.

Su tutti i campioni prelevati sono state eseguite analisi granulometriche per vagliatura tracciando su apposito modello in scala semilogaritmica la curva granulometrica relativa e determinando i seguenti percentili di passante: D_5, D_{16}, D_{25}, D_{50}, D_{75}, D_{84}.,D_{95}. Inoltre per ciascun campione sono stati individuati: la frazione media $M = (D_{16} + D_{50} + D_{84})/3$ espressa in unità $\phi = -\log_2 D$; la deviazione standard $\sigma = [(D_{84} - D_{16})/2 + (D_{95} - D_6)/3]/2$; il coefficiente α e β della curvatura granulometrica (vedi Tabella 1÷ Tabella 28). Infine sono state tracciati, in funzione del diametro medio e del $D_{50,}$ gli istogrammi di distribuzione dei sedimenti lungo il litorale alle diverse profondità (vedi Figura 5). Dall'analisi gli istogrammi di distribuzione dei sedimenti per le stesse profondità si evidenzia:

- nella parte emersa una maggiore dimensione del granulo medio delle spiagge ad ovest della foce del torrente Lejra rispetto a quelle ad est;
- nella parte sommersa prossima alla battigia invece una maggiore dimensione del granulo medio delle spiagge ad est della foce del torrente Lejra rispetto a quelle ad ovest;
- nella parte sommersa più profonda ancora una maggiore dimensione del granulo medio delle spiagge ad ovest della foce del torrente Lejra rispetto a quelle ad est.

Per quanto riguarda la spiaggia emersa si tratta prevalentemente di sedimenti classificabili nella scala di Udden-Werton nella classe dei ciottoli (120,0mm< D_{50}<8,0mm), in particolare mediamente D_{50}=24,5 mm. Per la spiaggia prossima alla riva si tratta prevalentemente di sedimenti classificabili come ciottoli (120,0mm< D_{50}<8,0mm) o ghiaia (8,0mm< D_{50}<2,0mm) con valori lungo il litorale compresi tra 3,6mm e 20,5mm.

Per la spiaggia sommersa alla profondità di 3 m si tratta di sedimenti classificabili nella classe di sabbia media, grossolana o molto grossolana (0,25mm<D_{50}<2,00mm). Fa eccezione il transetto in corrispondenza della foce del torrente Lejra in cui la spiaggia sommersa alla profondità di 3 m presenta sedimenti classificabili nella classe delle ghiaie con valori di 8,3mm.

Infine per la spiaggia sommersa alla profondità di 6 m si tratta di sedimenti classificabili nella classe delle sabbie medie (0,25mm<D_{50}<0,50mm) ed est della foce del torrente Lejra con valori mediamente D_{50}=260 μm, e classificabili nella classe di sabbie fini (125μm <D_{50}<250μm) ed ovest della stessa, foce con valori mediamente D_{50}=160 μm.

Peraltro il diverso valore del D_{50} della spiaggia sommersa più prossima a riva (fino a -5 m sul l.m.m.) rispetto a quello della spiaggia sommersa più profonda è confermato dall'adattamento dei profili di spiaggia all'equazione teorica proposta da Dean: $h=Ay^{2/3}$ (essendo: A un coefficiente funzione del valore del D_{50}; y la distanza della linea di riva e h la profondità). Infatti il rilievo batimetrico ha consentito il tracciamento dei profili trasversali di spiaggia ortogonali alla linea di riva ed alle linee batimetriche in corrispondenza dei punti di prelievo dei campioni (vedi Figura 4), rappresentati nella Figura **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**9.

I profili della Figura 10÷ Figura 15 mostrano un adattamento ai profili teorici per valori del D_{50}=1,8÷2.2mm fino alla profondità di circa 5,0 m (linea rossa). A profondità superiori fino a circa 8,0 m di profondità i profili della Figura 10÷ Figura 15 mostrano un adattamento ai profili teorici per valori del D_{50}=0,55÷0.90mm (linea blu). Oltre la profondità di 8 m e fino alla profondità di circa 12 m il profilo traversa assume una pendenza costante maggiore della precedente tra il 2,0% e il 1,7%. Tale circostanza indica che la profondità di circa 8,0 m può essere considerata come valore della profondità di chiusura oltre la quale la disposizione del sedimento non è condizionata dal moto ondoso.

La Figura9 mostra chiaramente l'assenza di barre sottomarine e la presenza di una discontinuità del fondale alla profondità di circa 12 m sul l.m.m.. Nella Figura 9 è riportato anche il profilo teorico che meglio approssima il profilo trasversale fino alla profondità di 8,0 m sul l.m.m per un valore uniforme del D_{50} lungo il profilo trasversale, utile per le applicazioni di morfodinamica litoranea.

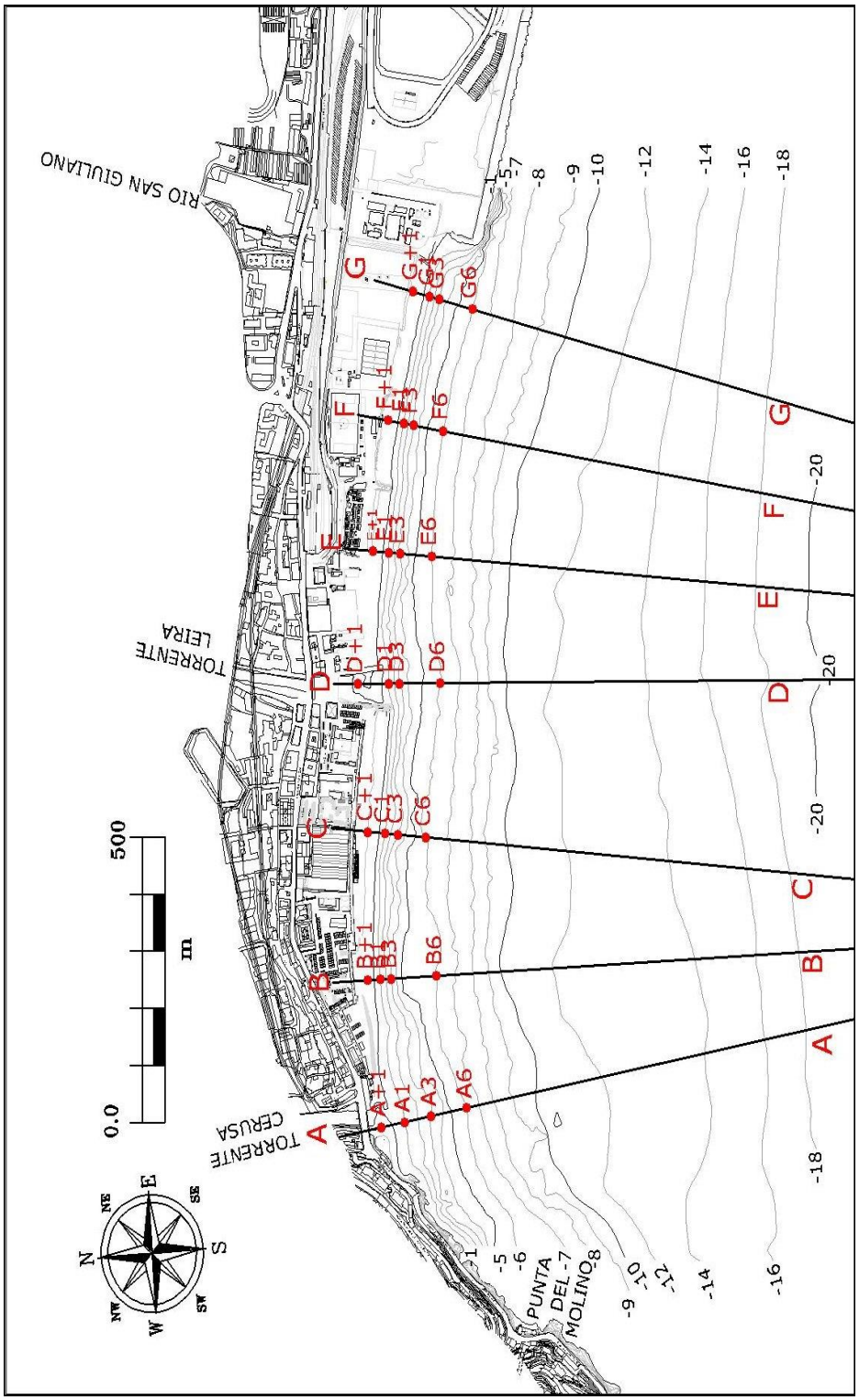


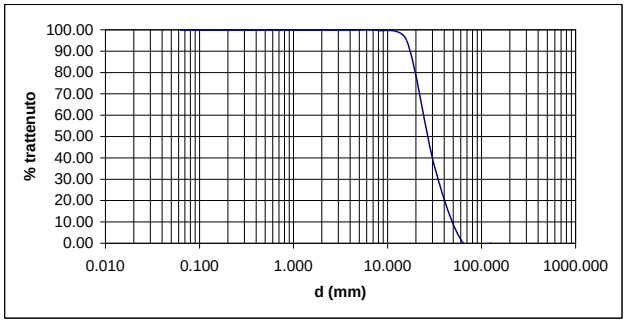
Figura 4. Rilievo batimetrico, Sezioni trasversali di riferimento e Punti di campionamento

Classe ϕ	Apertura Maglia mm	Percentuale trattenuta	Percentuale Cumulativa trattenuta	Percentuale Cumulativa passante
-7.00	128.000	0.00	0.00	100.000
-6.00	64.000	0.00	0.00	100.000
-5.00	32.000	35.19	35.19	64.810
-4.00	16.000	59.76	94.95	5.050
-3.00	8.000	4.68	99.63	0.370
-2.00	4.000	0.21	99.84	0.160
-1.00	2.000	0.00	99.84	0.160
0.00	1.000	0.00	99.84	0.160
0.32	0.800	0.00	99.84	0.160
0.67	0.630	0.00	99.84	0.160
1.00	0.500	0.00	99.84	0.160
1.32	0.400	0.00	99.84	0.160
1.74	0.300	0.00	99.84	0.160
2.00	0.250	0.00	99.84	0.160
3.00	0.125	0.00	99.84	0.160
3.99	0.063	0.00	99.84	0.160
FONDO		0.16	100.00	0.000
TOTALE		***100.00***		

SONDAGGIO A CAMPIONE A+1
locaità: Voltri +1,0
data analisi granulometrica : settembre 2014

ϕ_5	ϕ_{16}	ϕ_{25}	ϕ_{50}	ϕ_{75}	ϕ_{84}	ϕ_{95}
5.00	*16.00*	*25.00*	*50.00*	*75.00*	*84.00*	*95.00*
-5.894	-5.628	-5.367	-4.809	-4.416	-4.243	-3.992

D_{50}	D_M	M	σ	α_Φ (S_k)	β_Φ (K)
μm	μm	*phi*	*phi*		
28034.81	29718	-4.893	.663	-.161	.819



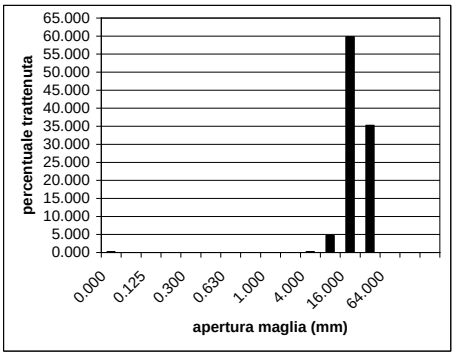


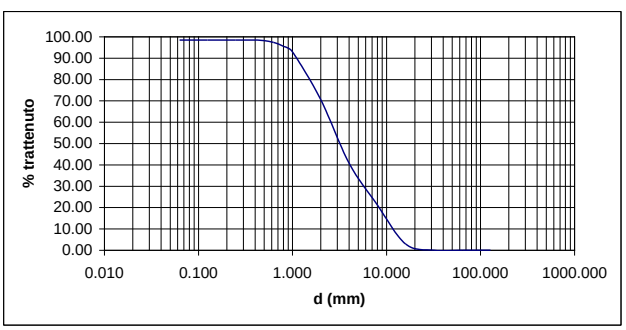
Tabella 1. Analisi granulometrica transetto A campione A+1

Classe ϕ	Apertura Maglia mm	Percentuale trattenuta	Percentuale Cumulativa trattenuta	Percentuale Cumulativa passante
-7.00	128.000	0.00	0.00	100.000
-6.00	64.000	0.00	0.00	100.000
-5.00	32.000	0.00	0.00	100.000
-4.00	16.000	2.89	2.89	97.110
-3.00	8.000	18.33	21.22	78.780
-2.00	4.000	19.61	40.83	59.170
-1.00	2.000	29.78	70.61	29.390
0.00	1.000	22.39	93.00	7.000
0.32	0.800	2.59	95.59	4.410
0.67	0.630	1.79	97.38	2.620
1.00	0.500	0.80	98.18	1.820
1.32	0.400	0.24	98.42	1.580
1.74	0.300	0.00	98.42	1.580
2.00	0.250	0.00	98.42	1.580
3.00	0.125	0.00	98.42	1.580
3.99	0.063	0.00	98.42	1.580
FONDO		1.58	100.00	0.000
TOTALE		***100.00***		

SONDAGGIO A CAMPIONE A1
locaità: Voltri -1,0
data analisi granulometrica : settembre 2014

ϕ_5	ϕ_{16}	ϕ_{25}	ϕ_{50}	ϕ_{75}	ϕ_{84}	ϕ_{95}
5.00	*16.00*	*25.00*	*50.00*	*75.00*	*84.00*	*95.00*
-3.914	-3.362	-2.854	-1.759	-0.851	-0.487	0.242

D_{50}	D_M	M	σ	α_Φ (S_k)	β_Φ (K)
μm	μm	*phi*	*phi*		
3384.15	3653	-1.869	1.411	-.076	.851



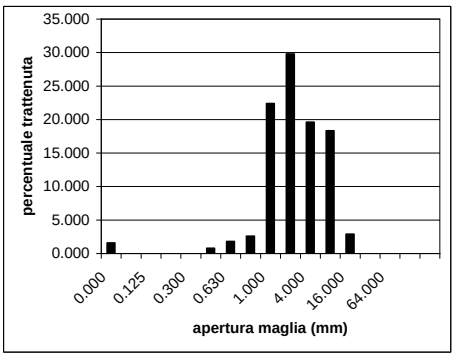


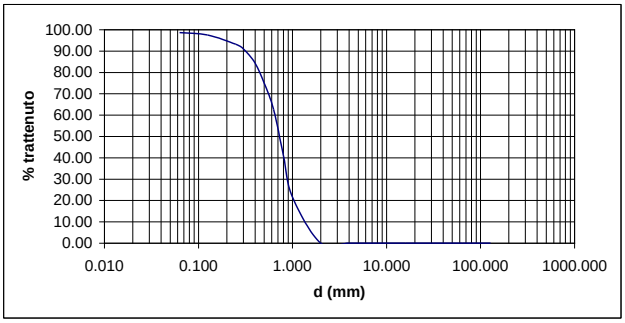
Tabella 2. Analisi granulometrica transetto A campione A1

Classe ϕ	Apertura Maglia mm	Percentuale trattenuta	Percentuale Cumulativa trattenuta	Percentuale Cumulativa passante
-7.00	128.000	0.00	0.00	100.000
-6.00	64.000	0.00	0.00	100.000
-5.00	32.000	0.00	0.00	100.000
-4.00	16.000	0.00	0.00	100.000
-3.00	8.000	0.00	0.00	100.000
-2.00	4.000	0.00	0.00	100.000
-1.00	2.000	0.00	0.00	100.000
0.00	1.000	21.67	21.67	78.330
0.32	0.800	19.44	41.11	58.890
0.67	0.630	21.47	62.58	37.420
1.00	0.500	12.47	75.05	24.950
1.32	0.400	9.29	84.34	15.660
1.74	0.300	6.71	91.05	8.950
2.00	0.250	2.11	93.16	6.840
3.00	0.125	4.39	97.55	2.450
3.99	0.063	1.10	98.65	1.350
FONDO		1.35	100.00	0.000
TOTALE		***100.00***		

SONDAGGIO A CAMPIONE A3
locaità: Voltri -3,0
data analisi granulometrica : settembre 2014

ϕ_5	ϕ_{16}	ϕ_{25}	ϕ_{50}	ϕ_{75}	ϕ_{84}	ϕ_{95}
5.00	*16.00*	*25.00*	*50.00*	*75.00*	*84.00*	*95.00*
-0.823	-0.335	0.050	0.455	0.998	1.309	2.339

D_{50}	D_M	M	σ	$\alpha_\Phi (S_k)$	$\beta_\Phi (K)$
μm	μm	*phi*	*phi*		
729.61	719	.476	.938	.115	1.367



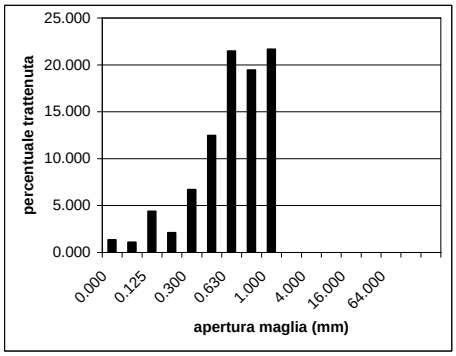


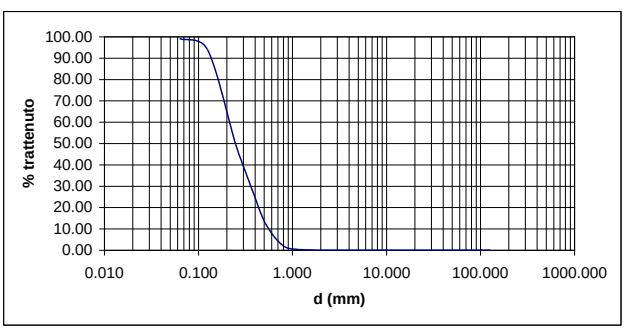
Tabella 3. Analisi granulometrica transetto A campione A3

Classe ϕ	Apertura Maglia mm	Percentuale trattenuta	Percentuale Cumulativa trattenuta	Percentuale Cumulativa passante
-7.00	128.000	0.00	0.00	100.000
-6.00	64.000	0.00	0.00	100.000
-5.00	32.000	0.00	0.00	100.000
-4.00	16.000	0.00	0.00	100.000
-3.00	8.000	0.00	0.00	100.000
-2.00	4.000	0.00	0.00	100.000
-1.00	2.000	0.00	0.00	100.000
0.00	1.000	0.64	0.64	99.360
0.32	0.800	1.41	2.05	97.950
0.67	0.630	4.60	6.65	93.350
1.00	0.500	7.16	13.81	86.190
1.32	0.400	10.80	24.61	75.390
1.74	0.300	14.88	39.49	60.510
2.00	0.250	9.92	49.41	50.590
3.00	0.125	44.56	93.97	6.030
3.99	0.063	5.21	99.18	0.820
FONDO		0.82	100.00	0.000
TOTALE		***100.00***		

SONDAGGIO A CAMPIONE A6
locaità: Voltri -6,0
data analisi granulometrica : settembre 2014

ϕ_5	ϕ_{16}	ϕ_{25}	ϕ_{50}	ϕ_{75}	ϕ_{84}	ϕ_{95}
5.00	*16.00*	*25.00*	*50.00*	*75.00*	*84.00*	*95.00*
0.533	1.060	1.331	2.010	2.488	2.709	3.149

D_{50}	D_M	M	σ	$\alpha_\Phi (S_k)$	$\beta_\Phi (K)$
μm	μm	*phi*	*phi*		
248.34	263	1.926	.848	-.140	.927



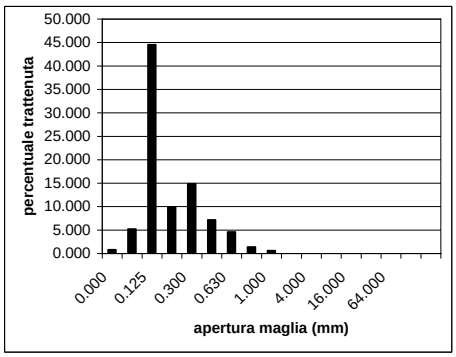


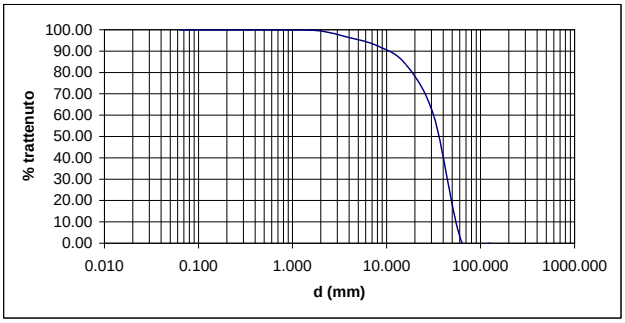
Tabella 4. Analisi granulometrica transetto A campione A6

Classe ϕ	Apertura Maglia mm	Percentuale trattenuta	Percentuale Cumulativa trattenuta	Percentuale Cumulativa passante
-7.00	128.000	0.00	0.00	100.000
-6.00	64.000	0.00	0.00	100.000
-5.00	32.000	59.38	59.38	40.620
-4.00	16.000	24.44	83.82	16.180
-3.00	8.000	8.61	92.43	7.570
-2.00	4.000	3.86	96.29	3.710
-1.00	2.000	3.11	99.40	0.600
0.00	1.000	0.42	99.82	0.180
0.32	0.800	0.00	99.82	0.180
0.67	0.630	0.00	99.82	0.180
1.00	0.500	0.00	99.82	0.180
1.32	0.400	0.00	99.82	0.180
1.74	0.300	0.00	99.82	0.180
2.00	0.250	0.00	99.82	0.180
3.00	0.125	0.00	99.82	0.180
3.99	0.063	0.00	99.82	0.180
FONDO		0.18	100.00	0.000
TOTALE		***100.00***		

SONDAGGIO B CAMPIONE B+1
locaità: Voltri +1,0
data analisi granulometrica : settembre 2014

ϕ_5	ϕ_{16}	ϕ_{25}	ϕ_{50}	ϕ_{75}	ϕ_{84}	ϕ_{95}
5.00	*16.00*	*25.00*	*50.00*	*75.00*	*84.00*	*95.00*
-5.938	-5.791	-5.659	-5.212	-4.445	-3.985	-2.416

D_{50}	D_M	M	σ	$\alpha_\Phi (S_k)$	$\beta_\Phi (K)$
μm	μm	*phi*	*phi*		
37054.90	31909	-4.996	1.039	.473	1.189



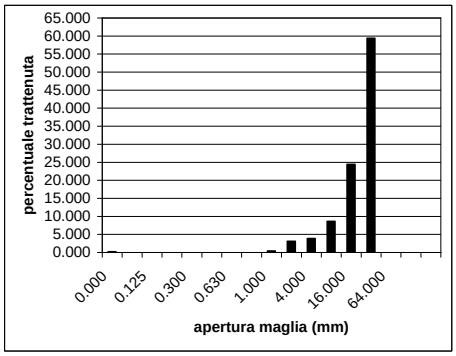


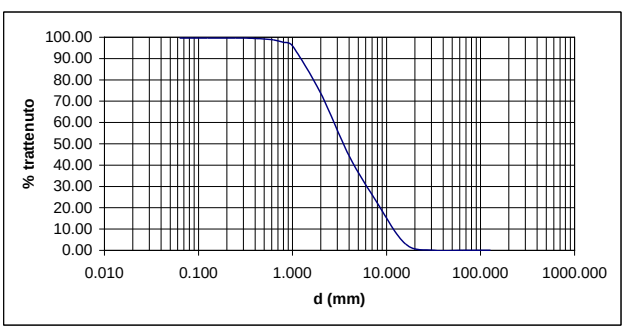
Tabella 5. Analisi granulometrica transetto B campione B+1

Classe ϕ	Apertura Maglia mm	Percentuale trattenuta	Percentuale Cumulativa trattenuta	Percentuale Cumulativa passante
-7.00	128.000	0.00	0.00	100.000
-6.00	64.000	0.00	0.00	100.000
-5.00	32.000	0.00	0.00	100.000
-4.00	16.000	2.93	2.93	97.070
-3.00	8.000	19.27	22.20	77.800
-2.00	4.000	22.24	44.44	55.560
-1.00	2.000	29.27	73.71	26.290
0.00	1.000	22.24	95.95	4.050
0.32	0.800	1.69	97.64	2.360
0.67	0.630	1.07	98.71	1.290
1.00	0.500	0.44	99.15	0.850
1.32	0.400	0.24	99.39	0.610
1.74	0.300	0.21	99.60	0.400
2.00	0.250	0.00	99.60	0.400
3.00	0.125	0.00	99.60	0.400
3.99	0.063	0.00	99.60	0.400
FONDO		0.40	100.00	0.000
TOTALE		***100.00***		

SONDAGGIO B CAMPIONE B1
locaità: Voltri -1,0
data analisi granulometrica : settembre 2014

ϕ_5	ϕ_{16}	ϕ_{25}	ϕ_{50}	ϕ_{75}	ϕ_{84}	ϕ_{95}
5.00	*16.00*	*25.00*	*50.00*	*75.00*	*84.00*	*95.00*
-3.920	-3.402	-2.906	-1.856	-0.958	-0.620	-0.060

D_{50}	D_M	M	σ	$\alpha_\Phi (S_k)$	$\beta_\Phi (K)$
μm	μm	*phi*	*phi*		
3620.09	3890	-1.960	1.339	-.091	.812



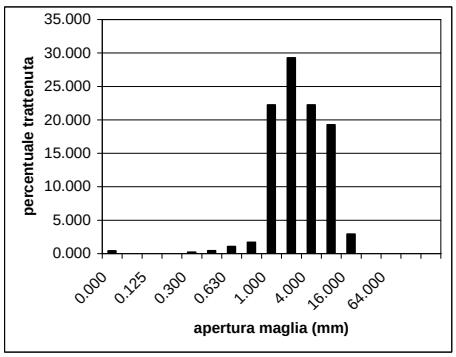


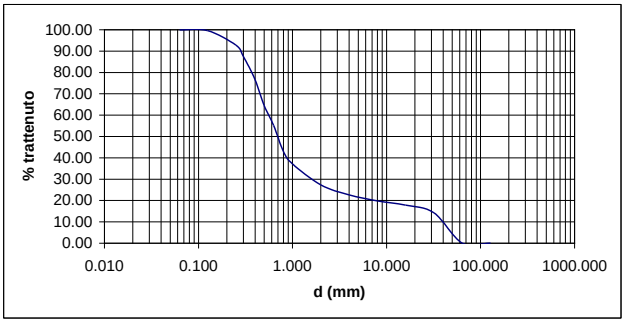
Tabella 6. Analisi granulometrica transetto B campione B1.

Classe ϕ	Apertura Maglia mm	Percentuale trattenuta	Percentuale Cumulativa trattenuta	Percentuale Cumulativa passante
-7.00	128.000	0.00	0.00	100.000
-6.00	64.000	0.00	0.00	100.000
-5.00	32.000	14.19	14.19	85.810
-4.00	16.000	3.64	17.83	82.170
-3.00	8.000	1.93	19.76	80.240
-2.00	4.000	2.86	22.62	77.380
-1.00	2.000	4.72	27.34	72.660
0.00	1.000	9.82	37.16	62.840
0.32	0.800	5.86	43.02	56.980
0.67	0.630	12.13	55.15	44.850
1.00	0.500	9.43	64.58	35.420
1.32	0.400	11.95	76.53	23.470
1.74	0.300	10.98	87.51	12.490
2.00	0.250	5.33	92.84	7.160
3.00	0.125	6.74	99.58	0.420
3.99	0.063	0.34	99.92	0.080
FONDO		0.08	100.00	0.000
TOTALE		***100.00***		

SONDAGGIO B CAMPIONE B3
locaità: Voltri -3,0
data analisi granulometrica : settembre 2014

ϕ_5	ϕ_{16}	ϕ_{25}	ϕ_{50}	ϕ_{75}	ϕ_{84}	ϕ_{95}
5.00	*16.00*	*25.00*	*50.00*	*75.00*	*84.00*	*95.00*
-5.720	-4.588	-1.581	0.510	1.276	1.591	2.252

D_{50}	D_M	M	σ	$\alpha_\Phi (S_k)$	$\beta_\Phi (K)$
μm	μm	*phi*	*phi*		
702.18	1776	-.829	2.873	-.607	1.143



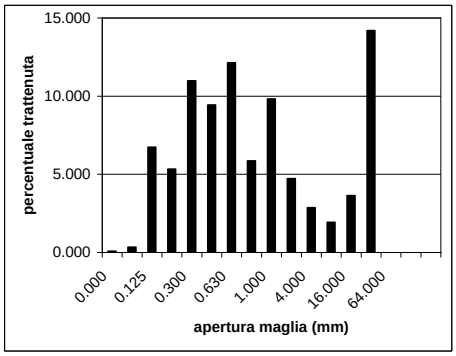


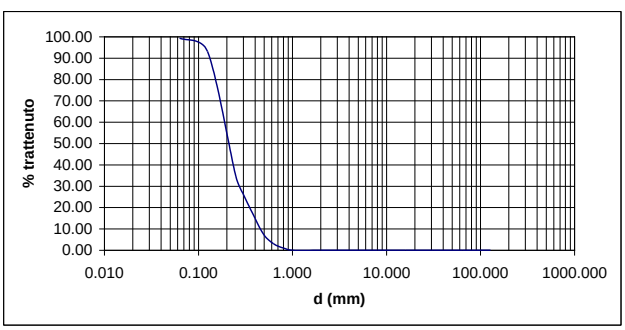
Tabella 7. Analisi granulometrica transetto B campione B3

Classe ϕ	Apertura Maglia mm	Percentuale trattenuta	Percentuale Cumulativa trattenuta	Percentuale Cumulativa passante
-7.00	128.000	0.00	0.00	100.000
-6.00	64.000	0.00	0.00	100.000
-5.00	32.000	0.00	0.00	100.000
-4.00	16.000	0.00	0.00	100.000
-3.00	8.000	0.00	0.00	100.000
-2.00	4.000	0.00	0.00	100.000
-1.00	2.000	0.00	0.00	100.000
0.00	1.000	0.00	0.00	100.000
0.32	0.800	1.05	1.05	98.950
0.67	0.630	1.94	2.99	97.010
1.00	0.500	4.15	7.14	92.860
1.32	0.400	7.76	14.90	85.100
1.74	0.300	11.26	26.16	73.840
2.00	0.250	8.58	34.74	65.260
3.00	0.125	58.41	93.15	6.850
3.99	0.063	6.16	99.31	0.690
FONDO		0.69	100.00	0.000
TOTALE		***100.00***		

SONDAGGIO B CAMPIONE B6
locaità: Voltri -6,0
data analisi granulometrica : settembre 2014

ϕ_5	ϕ_{16}	ϕ_{25}	ϕ_{50}	ϕ_{75}	ϕ_{84}	ϕ_{95}
5.00	*16.00*	*25.00*	*50.00*	*75.00*	*84.00*	*95.00*
0.818	1.358	1.688	2.202	2.610	2.790	3.233

D_{50}	D_M	M	σ	$\alpha_\Phi (S_k)$	$\beta_\Phi (K)$
μm	μm	*phi*	*phi*		
217.34	231	2.117	.760	-.163	1.074



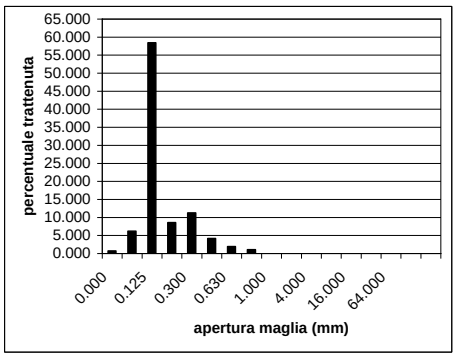


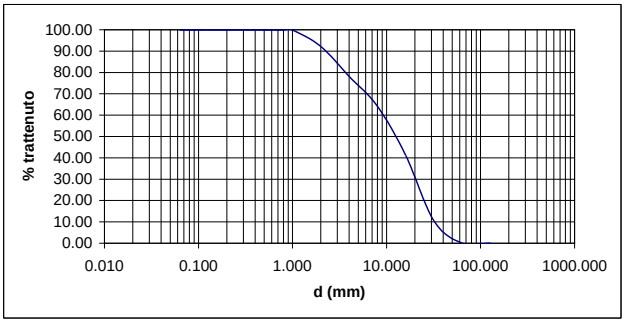
Tabella 8. Analisi granulometrica transetto B campione B6

Classe ϕ	Apertura Maglia mm	Percentuale trattenuta	Percentuale Cumulativa trattenuta	Percentuale Cumulativa passante
-7.00	128.000	0.00	0.00	100.000
-6.00	64.000	0.00	0.00	100.000
-5.00	32.000	10.48	10.48	89.520
-4.00	16.000	30.70	41.18	58.820
-3.00	8.000	23.00	64.18	35.820
-2.00	4.000	13.96	78.14	21.860
-1.00	2.000	14.05	92.19	7.810
0.00	1.000	7.64	99.83	0.170
0.32	0.800	0.00	99.83	0.170
0.67	0.630	0.00	99.83	0.170
1.00	0.500	0.00	99.83	0.170
1.32	0.400	0.00	99.83	0.170
1.74	0.300	0.00	99.83	0.170
2.00	0.250	0.00	99.83	0.170
3.00	0.125	0.00	99.83	0.170
3.99	0.063	0.00	99.83	0.170
FONDO		0.17	100.00	0.000
TOTALE		***100.00***		

SONDAGGIO C CAMPIONE C+1
locaità: Voltri +1,0
data analisi granulometrica : settembre 2014

ϕ_5	ϕ_{16}	ϕ_{25}	ϕ_{50}	ϕ_{75}	ϕ_{84}	ϕ_{95}
5.00	*16.00*	*25.00*	*50.00*	*75.00*	*84.00*	*95.00*
-5.607	-4.864	-4.611	-3.693	-2.293	-1.663	-0.707

D_{50} μm	D_M μm	M *phi*	σ *phi*	$\alpha_\Phi (S_k)$	$\beta_\Phi (K)$
12932.17	10604	-3.407	1.617	.244	.866



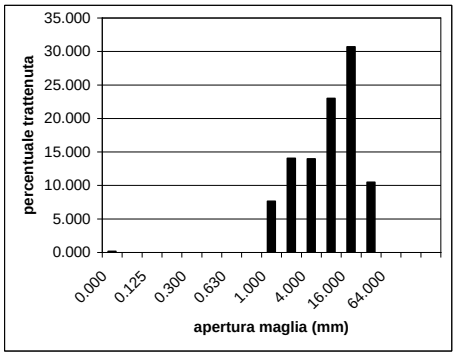


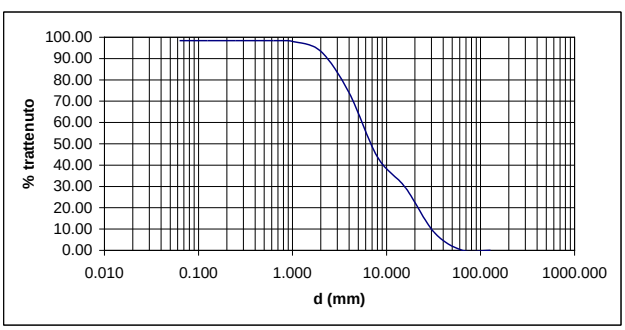
Tabella 9. Analisi granulometrica transetto C campione C+1

Classe ϕ	Apertura Maglia mm	Percentuale trattenuta	Percentuale Cumulativa trattenuta	Percentuale Cumulativa passante
-7.00	128.000	0.00	0.00	100.000
-6.00	64.000	0.00	0.00	100.000
-5.00	32.000	8.59	8.59	91.410
-4.00	16.000	20.69	29.28	70.720
-3.00	8.000	14.68	43.96	56.040
-2.00	4.000	30.03	73.99	26.010
-1.00	2.000	19.39	93.38	6.620
0.00	1.000	4.67	98.05	1.950
0.32	0.800	0.31	98.36	1.640
0.67	0.630	0.00	98.36	1.640
1.00	0.500	0.00	98.36	1.640
1.32	0.400	0.00	98.36	1.640
1.74	0.300	0.00	98.36	1.640
2.00	0.250	0.00	98.36	1.640
3.00	0.125	0.00	98.36	1.640
3.99	0.063	0.00	98.36	1.640
FONDO		1.64	100.00	0.000
TOTALE		***100.00***		

SONDAGGIO C CAMPIONE C1
locaità: Voltri -1,0
data analisi granulometrica : settembre 2014

ϕ_5	ϕ_{16}	ϕ_{25}	ϕ_{50}	ϕ_{75}	ϕ_{84}	ϕ_{95}
5.00	*16.00*	*25.00*	*50.00*	*75.00*	*84.00*	*95.00*
-5.504	-4.715	-4.271	-2.847	-1.962	-1.569	-0.725

D_{50} μm	D_M μm	M *phi*	σ *phi*	$\alpha_\Phi (S_k)$	$\beta_\Phi (K)$
7195.47	8247	-3.044	1.583	-.150	.848



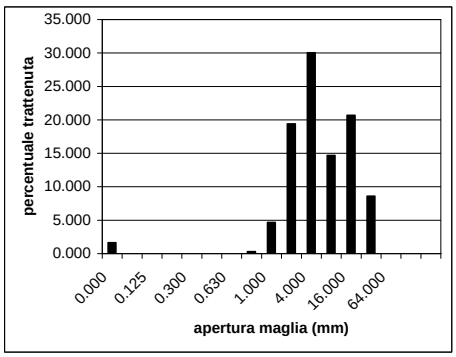


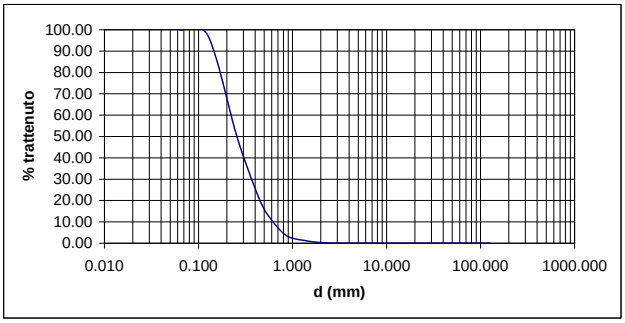
Tabella 10. Analisi granulometrica transetto C campione C1.

Classe ϕ	Apertura Maglia mm	Percentuale trattenuta	Percentuale Cumulativa trattenuta	Percentuale Cumulativa passante
-7.00	128.000	0.00	0.00	100.000
-6.00	64.000	0.00	0.00	100.000
-5.00	32.000	0.00	0.00	100.000
-4.00	16.000	0.00	0.00	100.000
-3.00	8.000	0.00	0.00	100.000
-2.00	4.000	0.00	0.00	100.000
-1.00	2.000	0.23	0.23	99.770
0.00	1.000	2.09	2.32	97.680
0.32	0.800	2.31	4.63	95.370
0.67	0.630	4.99	9.62	90.380
1.00	0.500	6.35	15.97	84.030
1.32	0.400	9.63	25.60	74.400
1.74	0.300	15.04	40.64	59.360
2.00	0.250	11.10	51.74	48.260
3.00	0.125	45.82	97.56	2.440
3.99	0.063	2.35	99.91	0.090
FONDO		0.09	100.00	0.000
TOTALE		***100.00***		

SONDAGGIO C CAMPIONE C3
locaità: Voltri -3,0
data analisi granulometrica : settembre 2014

ϕ_5	ϕ_{16}	ϕ_{25}	ϕ_{50}	ϕ_{75}	ϕ_{84}	ϕ_{95}
5.00	*16.00*	*25.00*	*50.00*	*75.00*	*84.00*	*95.00*
0.345	1.001	1.300	1.955	2.422	2.626	2.922

D_{50}	D_M	M	σ	$\alpha_\Phi (S_k)$	$\beta_\Phi (K)$
μm	μm	*phi*	*phi*		
257.84	275	1.861	.836	-.212	.941



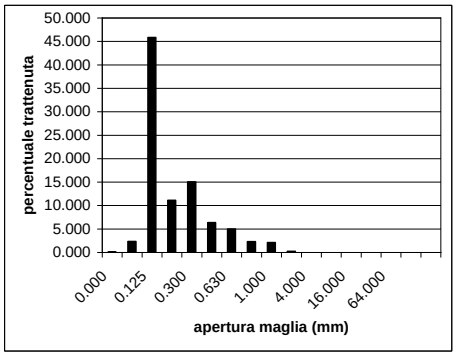


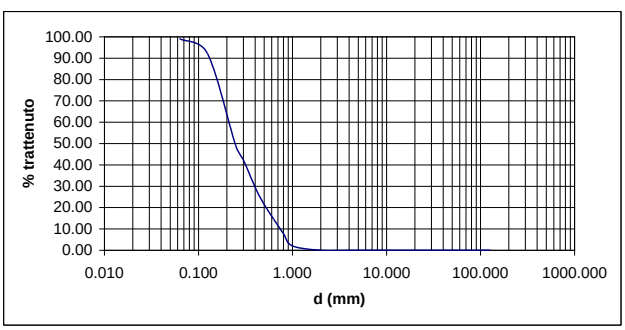
Tabella 11. Analisi granulometrica transetto C campione C3

Classe ϕ	Apertura Maglia mm	Percentuale trattenuta	Percentuale Cumulativa trattenuta	Percentuale Cumulativa passante
-7.00	128.000	0.00	0.00	100.000
-6.00	64.000	0.00	0.00	100.000
-5.00	32.000	0.00	0.00	100.000
-4.00	16.000	0.00	0.00	100.000
-3.00	8.000	0.00	0.00	100.000
-2.00	4.000	0.00	0.00	100.000
-1.00	2.000	0.00	0.00	100.000
0.00	1.000	2.02	2.02	97.980
0.32	0.800	5.75	7.77	92.230
0.67	0.630	6.81	14.58	85.420
1.00	0.500	6.90	21.48	78.520
1.32	0.400	8.05	29.53	70.470
1.74	0.300	12.82	42.35	57.650
2.00	0.250	6.62	48.97	51.030
3.00	0.125	43.13	92.10	7.900
3.99	0.063	7.07	99.17	0.830
FONDO		0.83	100.00	0.000
TOTALE		***100.00***		

SONDAGGIO C CAMPIONE C6
locaità: Voltri -6,0
data analisi granulometrica : settembre 2014

ϕ_5	ϕ_{16}	ϕ_{25}	ϕ_{50}	ϕ_{75}	ϕ_{84}	ϕ_{95}
5.00	*16.00*	*25.00*	*50.00*	*75.00*	*84.00*	*95.00*
0.158	0.729	1.132	2.017	2.518	2.752	3.328

D_{50}	D_M	M	σ	$\alpha_\Phi (S_k)$	$\beta_\Phi (K)$
μm	μm	*phi*	*phi*		
247.01	281	1.833	1.034	-.223	.937



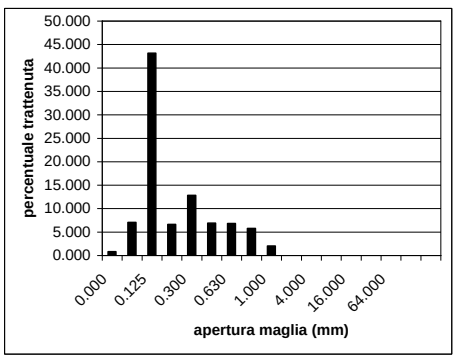


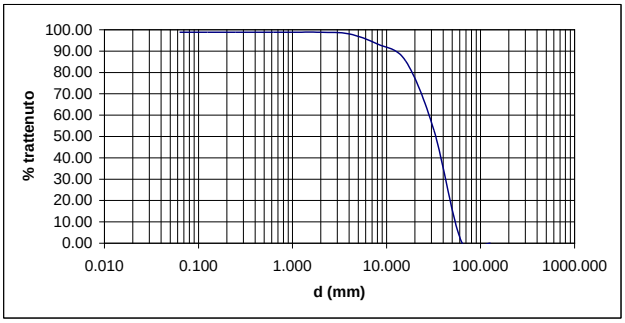
Tabella 12. Analisi granulometrica transetto C campione C6

Classe ϕ	Apertura Maglia mm	Percentuale trattenuta	Percentuale Cumulativa trattenuta	Percentuale Cumulativa passante
-7.00	128.000	0.00	0.00	100.000
-6.00	64.000	0.00	0.00	100.000
-5.00	32.000	52.95	52.95	47.050
-4.00	16.000	32.41	85.36	14.640
-3.00	8.000	7.99	93.35	6.650
-2.00	4.000	4.72	98.07	1.930
-1.00	2.000	0.71	98.78	1.220
0.00	1.000	0.00	98.78	1.220
0.32	0.800	0.00	98.78	1.220
0.67	0.630	0.00	98.78	1.220
1.00	0.500	0.00	98.78	1.220
1.32	0.400	0.00	98.78	1.220
1.74	0.300	0.00	98.78	1.220
2.00	0.250	0.00	98.78	1.220
3.00	0.125	0.00	98.78	1.220
3.99	0.063	0.00	98.78	1.220
FONDO		1.22	100.00	0.000
TOTALE		***100.00***		

SONDAGGIO D CAMPIONE D+1
locaità: Voltri +1,0
data analisi granulometrica : settembre 2014

ϕ_5	ϕ_{16}	ϕ_{25}	ϕ_{50}	ϕ_{75}	ϕ_{84}	ϕ_{95}
5.00	*16.00*	*25.00*	*50.00*	*75.00*	*84.00*	*95.00*
-5.930	-5.764	-5.612	-5.078	-4.400	-4.059	-2.723

D_{50}	D_M	M	σ	$\alpha_\Phi (S_k)$	$\beta_\Phi (K)$
μm	μm	*phi*	*phi*		
33782.81	31278	-4.967	.961	.332	1.085



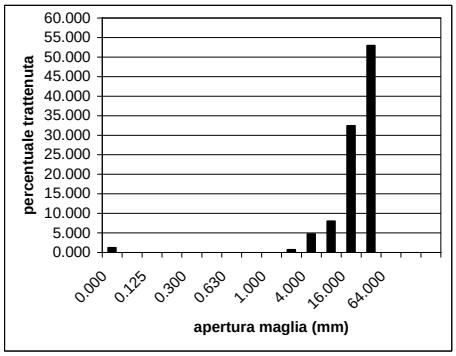


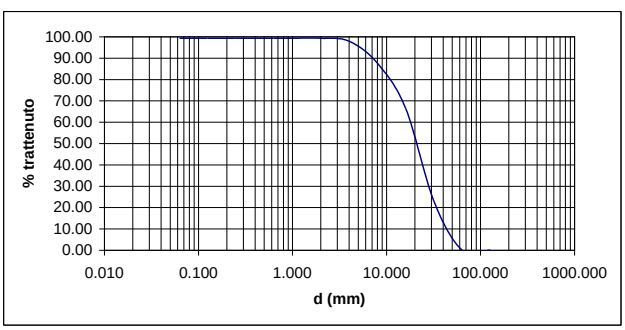
Tabella 13. Analisi granulometrica transetto D campione D+1

Classe ϕ	Apertura Maglia mm	Percentuale trattenuta	Percentuale Cumulativa trattenuta	Percentuale Cumulativa passante
-7.00	128.000	0.00	0.00	100.000
-6.00	64.000	0.00	0.00	100.000
-5.00	32.000	22.97	22.97	77.030
-4.00	16.000	43.57	66.54	33.460
-3.00	8.000	21.12	87.66	12.340
-2.00	4.000	10.29	97.95	2.050
-1.00	2.000	1.34	99.29	0.710
0.00	1.000	0.03	99.32	0.680
0.32	0.800	0.00	99.32	0.680
0.67	0.630	0.00	99.32	0.680
1.00	0.500	0.00	99.32	0.680
1.32	0.400	0.00	99.32	0.680
1.74	0.300	0.00	99.32	0.680
2.00	0.250	0.00	99.32	0.680
3.00	0.125	0.00	99.32	0.680
3.99	0.063	0.00	99.32	0.680
FONDO		0.68	100.00	0.000
TOTALE		***100.00***		

SONDAGGIO D CAMPIONE D1
locaità: Voltri -1,0
data analisi granulometrica : settembre 2014

ϕ_5	ϕ_{16}	ϕ_{25}	ϕ_{50}	ϕ_{75}	ϕ_{84}	ϕ_{95}
5.00	*16.00*	*25.00*	*50.00*	*75.00*	*84.00*	*95.00*
-5.834	-5.382	-4.966	-4.464	-3.678	-3.231	-2.364

D_{50}	D_M	M	σ	$\alpha_\Phi (S_k)$	$\beta_\Phi (K)$
μm	μm	*phi*	*phi*		
22073.90	20521	-4.359	1.116	.179	1.104



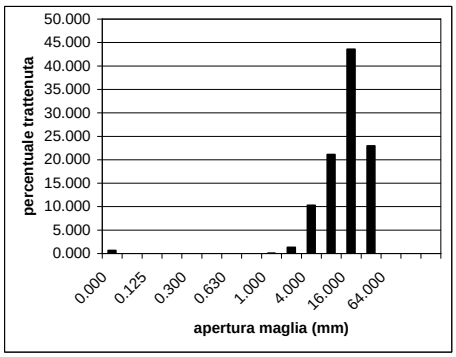


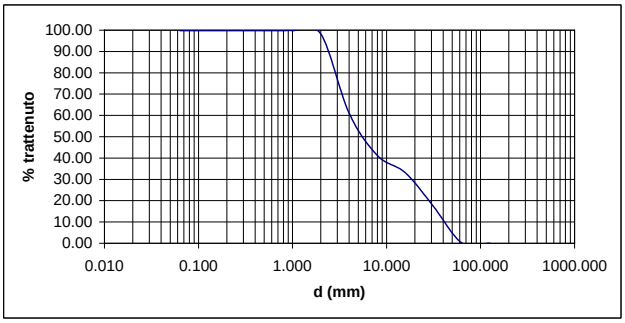
Tabella 14. Analisi granulometrica transetto D campione D1.

Classe ϕ	Apertura Maglia mm	Percentuale trattenuta	Percentuale Cumulativa trattenuta	Percentuale Cumulativa passante
-7.00	128.000	0.00	0.00	100.000
-6.00	64.000	0.00	0.00	100.000
-5.00	32.000	16.97	16.97	83.030
-4.00	16.000	16.03	33.00	67.000
-3.00	8.000	8.17	41.17	58.830
-2.00	4.000	19.98	61.15	38.850
-1.00	2.000	37.11	98.26	1.740
0.00	1.000	1.47	99.73	0.270
0.32	0.800	0.00	99.73	0.270
0.67	0.630	0.00	99.73	0.270
1.00	0.500	0.00	99.73	0.270
1.32	0.400	0.00	99.73	0.270
1.74	0.300	0.00	99.73	0.270
2.00	0.250	0.00	99.73	0.270
3.00	0.125	0.00	99.73	0.270
3.99	0.063	0.00	99.73	0.270
FONDO		0.27	100.00	0.000
TOTALE		***100.00***		

SONDAGGIO D CAMPIONE D3
locaità: Voltri -3,0
data analisi granulometrica : settembre 2014

ϕ_5	ϕ_{16}	ϕ_{25}	ϕ_{50}	ϕ_{75}	ϕ_{84}	ϕ_{95}
5.00	*16.00*	*25.00*	*50.00*	*75.00*	*84.00*	*95.00*
-5.770	-5.080	-4.584	-2.640	-1.702	-1.469	-1.121

D_{50} μm	D_M μm	M phi	σ phi	$\alpha_\Phi (S_k)$	$\beta_\Phi (K)$
6232.23	8357	-3.063	1.678	-.349	.661



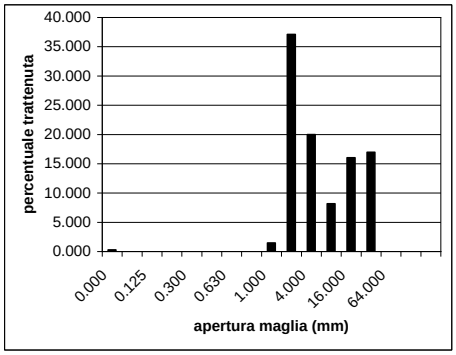


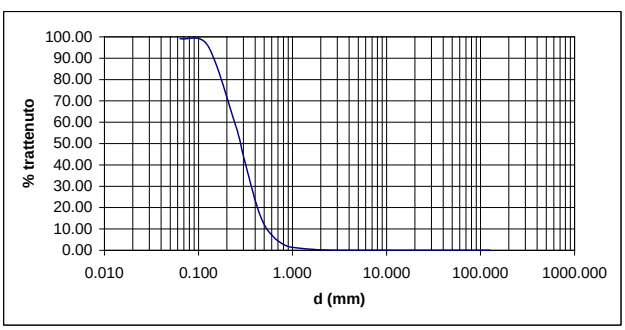
Tabella 15. Analisi granulometrica transetto D campione D3

Classe ϕ	Apertura Maglia mm	Percentuale trattenuta	Percentuale Cumulativa trattenuta	Percentuale Cumulativa passante
-7.00	128.000	0.00	0.00	100.000
-6.00	64.000	0.00	0.00	100.000
-5.00	32.000	0.00	0.00	100.000
-4.00	16.000	0.00	0.00	100.000
-3.00	8.000	0.00	0.00	100.000
-2.00	4.000	0.00	0.00	100.000
-1.00	2.000	0.20	0.20	99.800
0.00	1.000	1.21	1.41	98.590
0.32	0.800	1.36	2.77	97.230
0.67	0.630	3.41	6.18	93.820
1.00	0.500	5.99	12.17	87.830
1.32	0.400	11.41	23.58	76.420
1.74	0.300	20.75	44.33	55.670
2.00	0.250	13.81	58.14	41.860
3.00	0.125	37.93	96.07	3.930
3.99	0.063	3.09	99.16	0.840
FONDO		0.84	100.00	0.000
TOTALE		***100.00***		

SONDAGGIO D CAMPIONE D6
locaità: Voltri -6,0
data analisi granulometrica : settembre 2014

ϕ_5	ϕ_{16}	ϕ_{25}	ϕ_{50}	ϕ_{75}	ϕ_{84}	ϕ_{95}
5.00	*16.00*	*25.00*	*50.00*	*75.00*	*84.00*	*95.00*
0.538	1.100	1.347	1.839	2.363	2.601	2.960

D_{50} μm	D_M μm	M phi	σ phi	$\alpha_\Phi (S_k)$	$\beta_\Phi (K)$
279.47	278	1.847	.779	-.030	.977



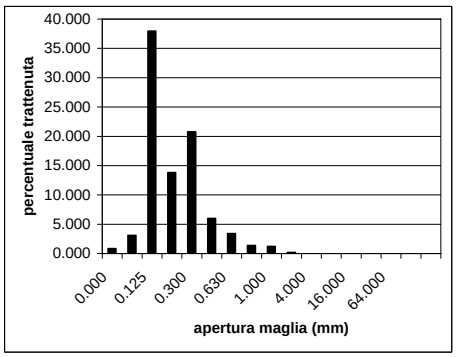


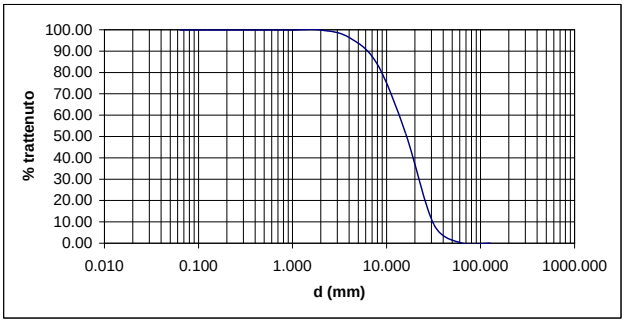
Tabella 16. Analisi granulometrica transetto D campione D6

Classe ϕ	Apertura Maglia mm	Percentuale trattenuta	Percentuale Cumulativa trattenuta	Percentuale Cumulativa passante
-7.00	128.000	0.00	0.00	100.000
-6.00	64.000	0.00	0.00	100.000
-5.00	32.000	8.73	8.73	91.270
-4.00	16.000	42.64	51.37	48.630
-3.00	8.000	32.43	83.80	16.200
-2.00	4.000	12.59	96.39	3.610
-1.00	2.000	3.47	99.86	0.140
0.00	1.000	0.00	99.86	0.140
0.32	0.800	0.00	99.86	0.140
0.67	0.630	0.00	99.86	0.140
1.00	0.500	0.00	99.86	0.140
1.32	0.400	0.00	99.86	0.140
1.74	0.300	0.00	99.86	0.140
2.00	0.250	0.00	99.86	0.140
3.00	0.125	0.00	99.86	0.140
3.99	0.063	0.00	99.86	0.140
FONDO		0.14	100.00	0.000
TOTALE		***100.00***		

SONDAGGIO E CAMPIONE E+1
locaità: Voltri +1,0
data analisi granulometrica : settembre 2014

ϕ_5	ϕ_{16}	ϕ_{25}	ϕ_{50}	ϕ_{75}	ϕ_{84}	ϕ_{95}
5.00	*16.00*	*25.00*	*50.00*	*75.00*	*84.00*	*95.00*
-5.513	-4.871	-4.695	-4.046	-3.346	-2.988	-2.151

D_{50}	D_M	M	σ	$\alpha_\Phi (S_k)$	$\beta_\Phi (K)$
μm	μm	*phi*	*phi*		
16514.07	15655	-3.969	1.031	.125	1.022



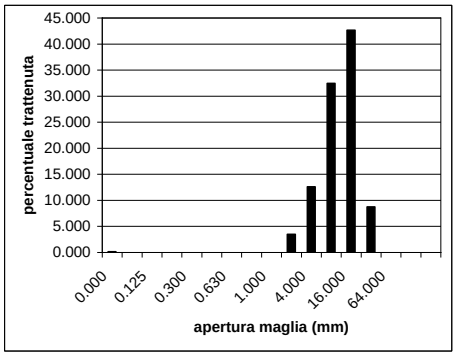


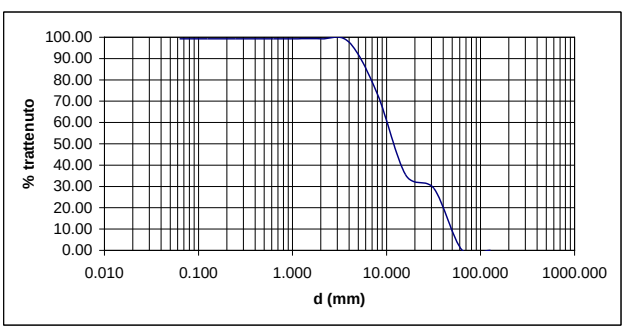
Tabella 17. Analisi granulometrica transetto E campione E+1

Classe ϕ	Apertura Maglia mm	Percentuale trattenuta	Percentuale Cumulativa trattenuta	Percentuale Cumulativa passante
-7.00	128.000	0.00	0.00	100.000
-6.00	64.000	0.00	0.00	100.000
-5.00	32.000	29.02	29.02	70.980
-4.00	16.000	6.44	35.46	64.540
-3.00	8.000	37.88	73.34	26.660
-2.00	4.000	24.36	97.70	2.300
-1.00	2.000	1.52	99.22	0.780
0.00	1.000	0.00	99.22	0.780
0.32	0.800	0.00	99.22	0.780
0.67	0.630	0.00	99.22	0.780
1.00	0.500	0.00	99.22	0.780
1.32	0.400	0.00	99.22	0.780
1.74	0.300	0.00	99.22	0.780
2.00	0.250	0.00	99.22	0.780
3.00	0.125	0.00	99.22	0.780
3.99	0.063	0.00	99.22	0.780
FONDO		0.78	100.00	0.000
TOTALE		***100.00***		

SONDAGGIO E CAMPIONE E1
locaità: Voltri -1,0
data analisi granulometrica : settembre 2014

ϕ_5	ϕ_{16}	ϕ_{25}	ϕ_{50}	ϕ_{75}	ϕ_{84}	ϕ_{95}
5.00	*16.00*	*25.00*	*50.00*	*75.00*	*84.00*	*95.00*
-5.870	-5.535	-5.187	-3.693	-2.950	-2.644	-2.152

D_{50}	D_M	M	σ	$\alpha_\Phi (S_k)$	$\beta_\Phi (K)$
μm	μm	*phi*	*phi*		
12929.25	15530	-3.957	1.342	-.223	.681



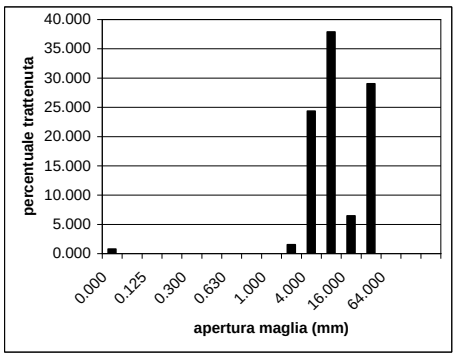


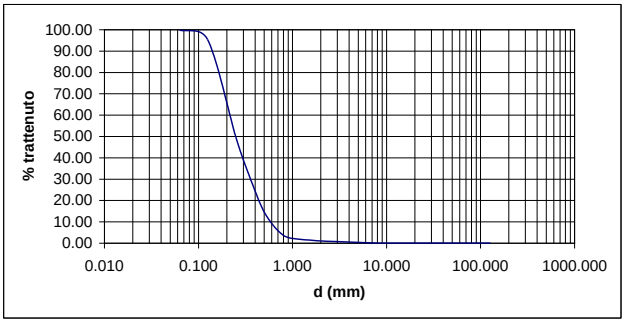
Tabella 18. Analisi granulometrica transetto E campione E1.

Classe ϕ	Apertura Maglia mm	Percentuale trattenuta	Percentuale Cumulativa trattenuta	Percentuale Cumulativa passante
-7.00	128.000	0.00	0.00	100.000
-6.00	64.000	0.00	0.00	100.000
-5.00	32.000	0.00	0.00	100.000
-4.00	16.000	0.00	0.00	100.000
-3.00	8.000	0.00	0.00	100.000
-2.00	4.000	0.49	0.49	99.510
-1.00	2.000	0.50	0.99	99.010
0.00	1.000	1.25	2.24	97.760
0.32	0.800	1.46	3.70	96.300
0.67	0.630	4.38	8.08	91.920
1.00	0.500	6.52	14.60	85.400
1.32	0.400	9.83	24.43	75.570
1.74	0.300	14.64	39.07	60.930
2.00	0.250	10.69	49.76	50.240
3.00	0.125	45.72	95.48	4.520
3.99	0.063	4.31	99.79	0.210
FONDO		0.21	100.00	0.000
TOTALE		***100.00***		

SONDAGGIO E CAMPIONE E3
locaità: Voltri -3,0
data analisi granulometrica : settembre 2014

ϕ_5	ϕ_{16}	ϕ_{25}	ϕ_{50}	ϕ_{75}	ϕ_{84}	ϕ_{95}
5.00	*16.00*	*25.00*	*50.00*	*75.00*	*84.00*	*95.00*
0.416	1.042	1.336	2.004	2.466	2.677	2.985

D_{50}	D_M	M	σ	$\alpha_\Phi (S_k)$	$\beta_\Phi (K)$
μm	μm	*phi*	*phi*		
249.34	267	1.907	.837	-.206	.932



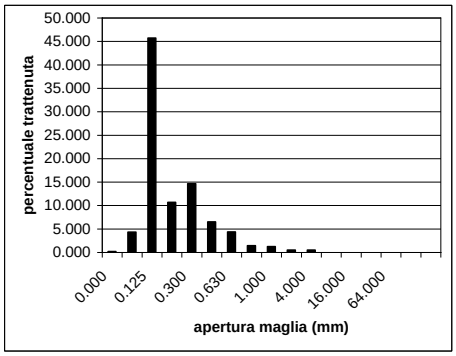


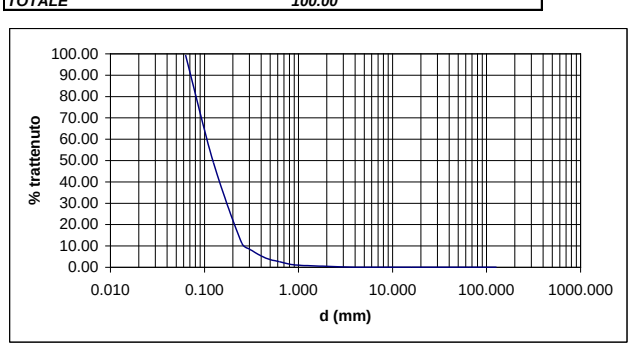
Tabella 19. Analisi granulometrica transetto E campione E3

Classe ϕ	Apertura Maglia mm	Percentuale trattenuta	Percentuale Cumulativa trattenuta	Percentuale Cumulativa passante
-7.00	128.000	0.00	0.00	100.000
-6.00	64.000	0.00	0.00	100.000
-5.00	32.000	0.00	0.00	100.000
-4.00	16.000	0.00	0.00	100.000
-3.00	8.000	0.00	0.00	100.000
-2.00	4.000	0.00	0.00	100.000
-1.00	2.000	0.39	0.39	99.610
0.00	1.000	0.59	0.98	99.020
0.32	0.800	0.48	1.46	98.540
0.67	0.630	1.15	2.61	97.390
1.00	0.500	0.95	3.56	96.440
1.32	0.400	1.78	5.34	94.660
1.74	0.300	3.22	8.56	91.440
2.00	0.250	2.72	11.28	88.720
3.00	0.125	37.65	48.93	51.070
3.99	0.063	50.50	99.43	0.570
FONDO		0.57	100.00	0.000
TOTALE		***100.00***		

SONDAGGIO E CAMPIONE E6
locaità: Voltri -6,0
data analisi granulometrica : settembre 2014

ϕ_5	ϕ_{16}	ϕ_{25}	ϕ_{50}	ϕ_{75}	ϕ_{84}	ϕ_{95}
5.00	*16.00*	*25.00*	*50.00*	*75.00*	*84.00*	*95.00*
1.255	2.093	2.290	3.015	3.427	3.609	3.869

D_{50}	D_M	M	σ	$\alpha_\Phi (S_k)$	$\beta_\Phi (K)$
μm	μm	*phi*	*phi*		
123.69	133	2.906	.815	-.282	.943



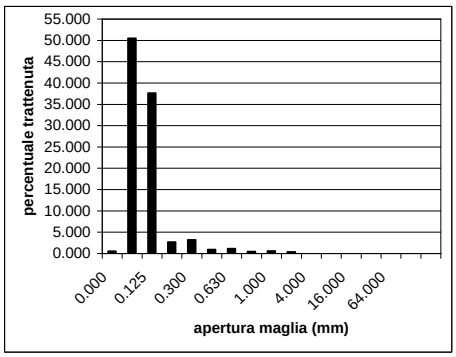


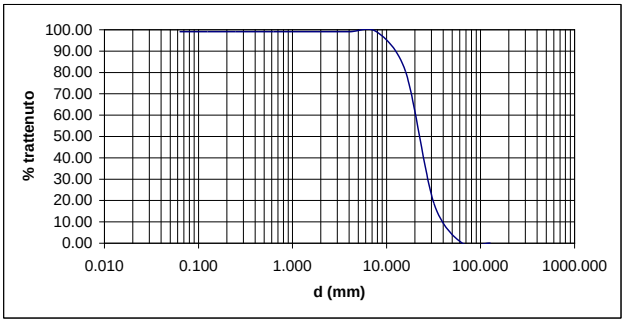
Tabella 20. Analisi granulometrica transetto E campione E6

Classe ϕ	Apertura Maglia mm	Percentuale trattenuta	Percentuale Cumulativa trattenuta	Percentuale Cumulativa passante
-7.00	128.000	0.00	0.00	100.000
-6.00	64.000	0.00	0.00	100.000
-5.00	32.000	18.66	18.66	81.340
-4.00	16.000	61.64	80.30	19.700
-3.00	8.000	18.54	98.84	1.160
-2.00	4.000	0.24	99.08	0.920
-1.00	2.000	0.00	99.08	0.920
0.00	1.000	0.00	99.08	0.920
0.32	0.800	0.00	99.08	0.920
0.67	0.630	0.00	99.08	0.920
1.00	0.500	0.00	99.08	0.920
1.32	0.400	0.00	99.08	0.920
1.74	0.300	0.00	99.08	0.920
2.00	0.250	0.00	99.08	0.920
3.00	0.125	0.00	99.08	0.920
3.99	0.063	0.00	99.08	0.920
FONDO		0.92	100.00	0.000
TOTALE		***100.00***		

SONDAGGIO F CAMPIONE F+1
locaità: Voltri +1,0
data analisi granulometrica : settembre 2014

ϕ_5	ϕ_{16}	ϕ_{25}	ϕ_{50}	ϕ_{75}	ϕ_{84}	ϕ_{95}
5.00	*16.00*	*25.00*	*50.00*	*75.00*	*84.00*	*95.00*
-5.792	-5.192	-4.924	-4.577	-4.119	-3.848	-3.272

D_{50}	D_M	M	σ	$\alpha_\phi (S_k)$	$\beta_\phi (K)$
μm	μm	*phi*	*phi*		
23865.02	23250	-4.539	.756	.060	1.284



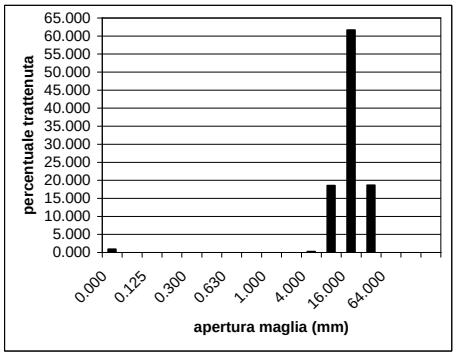


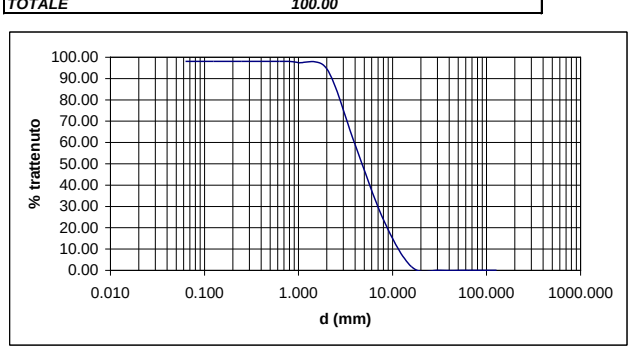
Tabella 21. Analisi granulometrica transetto F campione F+1

Classe ϕ	Apertura Maglia mm	Percentuale trattenuta	Percentuale Cumulativa trattenuta	Percentuale Cumulativa passante
-7.00	128.000	0.00	0.00	100.000
-6.00	64.000	0.00	0.00	100.000
-5.00	32.000	0.00	0.00	100.000
-4.00	16.000	1.59	1.59	98.410
-3.00	8.000	22.29	23.88	76.120
-2.00	4.000	35.23	59.11	40.890
-1.00	2.000	35.51	94.62	5.380
0.00	1.000	2.84	97.46	2.540
0.32	0.800	0.53	97.99	2.010
0.67	0.630	0.00	97.99	2.010
1.00	0.500	0.00	97.99	2.010
1.32	0.400	0.00	97.99	2.010
1.74	0.300	0.00	97.99	2.010
2.00	0.250	0.00	97.99	2.010
3.00	0.125	0.00	97.99	2.010
3.99	0.063	0.00	97.99	2.010
FONDO		2.01	100.00	0.000
TOTALE		***100.00***		

SONDAGGIO F CAMPIONE F1
locaità: Voltri -1,0
data analisi granulometrica : settembre 2014

ϕ_5	ϕ_{16}	ϕ_{25}	ϕ_{50}	ϕ_{75}	ϕ_{84}	ϕ_{95}
5.00	*16.00*	*25.00*	*50.00*	*75.00*	*84.00*	*95.00*
-3.885	-3.437	-2.977	-2.332	-1.635	-1.377	-0.900

D_{50}	D_M	M	σ	$\alpha_\phi (S_k)$	$\beta_\phi (K)$
μm	μm	*phi*	*phi*		
5034.35	5213	-2.382	1.012	-.057	.911



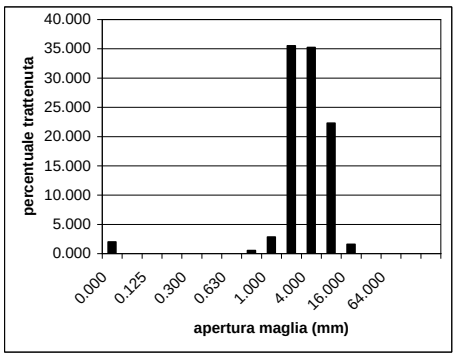


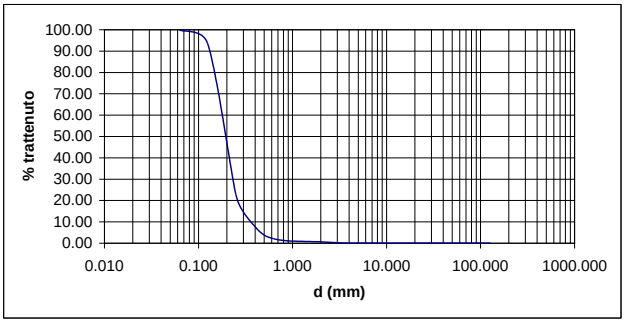
Tabella 22. Analisi granulometrica transetto F campione F1.

SONDAGGIO F CAMPIONE F3
locaità: Voltri -3,0
data analisi granulometrica : settembre 2014

Classe ϕ	Apertura Maglia mm	Percentuale trattenuta	Percentuale Cumulativa trattenuta	Percentuale Cumulativa passante
-7.00	128.000	0.00	0.00	100.000
-6.00	64.000	0.00	0.00	100.000
-5.00	32.000	0.00	0.00	100.000
-4.00	16.000	0.00	0.00	100.000
-3.00	8.000	0.00	0.00	100.000
-2.00	4.000	0.00	0.00	100.000
-1.00	2.000	0.61	0.61	99.390
0.00	1.000	0.36	0.97	99.030
0.32	0.800	0.30	1.27	98.730
0.67	0.630	0.75	2.02	97.980
1.00	0.500	1.75	3.77	96.230
1.32	0.400	3.92	7.69	92.310
1.74	0.300	6.91	14.60	85.400
2.00	0.250	8.27	22.87	77.130
3.00	0.125	70.83	93.70	6.300
3.99	0.063	6.10	99.80	0.200
FONDO		0.20	100.00	0.000
TOTALE		***100.00***		

ϕ_5	ϕ_{16}	ϕ_{25}	ϕ_{50}	ϕ_{75}	ϕ_{84}	ϕ_{95}
5.00	*16.00*	*25.00*	*50.00*	*75.00*	*84.00*	*95.00*
1.094	1.778	2.022	2.307	2.662	2.815	3.161

D_{50}	D_M	M	σ	$\alpha_\Phi (S_k)$	$\beta_\Phi (K)$
μm	μm	*phi*	*phi*		
202.12	203	2.300	.604	-.097	1.324



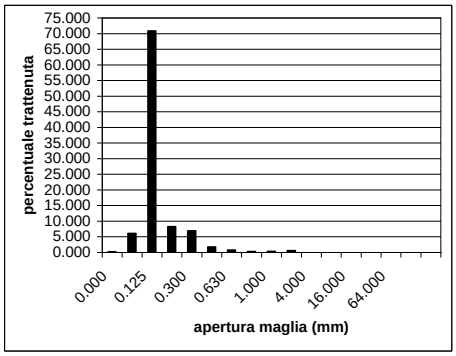


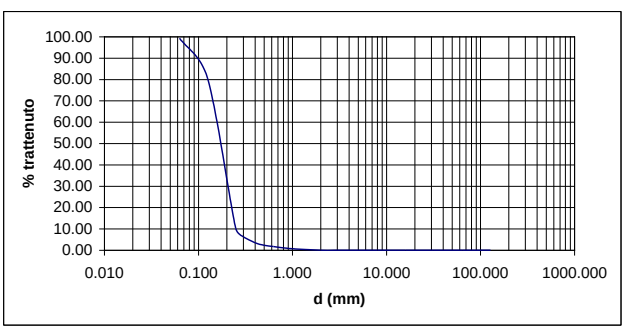
Tabella 23. Analisi granulometrica transetto F campione F3

SONDAGGIO F CAMPIONE F6
locaità: Voltri -6,0
data analisi granulometrica : settembre 2014

Classe ϕ	Apertura Maglia mm	Percentuale trattenuta	Percentuale Cumulativa trattenuta	Percentuale Cumulativa passante
-7.00	128.000	0.00	0.00	100.000
-6.00	64.000	0.00	0.00	100.000
-5.00	32.000	0.00	0.00	100.000
-4.00	16.000	0.00	0.00	100.000
-3.00	8.000	0.00	0.00	100.000
-2.00	4.000	0.00	0.00	100.000
-1.00	2.000	0.00	0.00	100.000
0.00	1.000	0.65	0.65	99.350
0.32	0.800	0.47	1.12	98.880
0.67	0.630	0.55	1.67	98.330
1.00	0.500	0.63	2.30	97.700
1.32	0.400	1.17	3.47	96.530
1.74	0.300	2.89	6.36	93.640
2.00	0.250	3.73	10.09	89.910
3.00	0.125	70.52	80.61	19.390
3.99	0.063	18.69	99.30	0.700
FONDO		0.70	100.00	0.000
TOTALE		***100.00***		

ϕ_5	ϕ_{16}	ϕ_{25}	ϕ_{50}	ϕ_{75}	ϕ_{84}	ϕ_{95}
5.00	*16.00*	*25.00*	*50.00*	*75.00*	*84.00*	*95.00*
1.527	2.062	2.161	2.480	2.890	3.136	3.694

D_{50}	D_M	M	σ	$\alpha_\Phi (S_k)$	$\beta_\Phi (K)$
μm	μm	*phi*	*phi*		
179.26	170	2.559	.630	.171	1.219



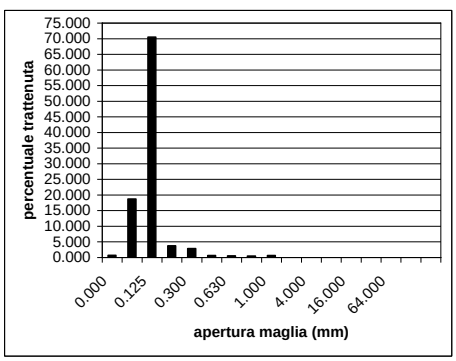


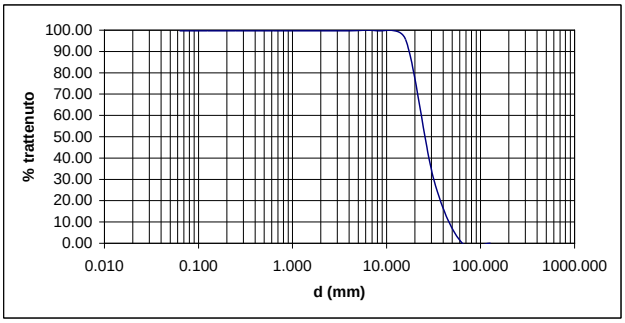
Tabella 24. Analisi granulometrica transetto F campione F6

Classe ϕ	Apertura Maglia mm	Percentuale trattenuta	Percentuale Cumulativa trattenuta	Percentuale Cumulativa passante
-7.00	128.000	0.00	0.00	100.000
-6.00	64.000	0.00	0.00	100.000
-5.00	32.000	29.73	29.73	70.270
-4.00	16.000	65.85	95.58	4.420
-3.00	8.000	4.07	99.65	0.350
-2.00	4.000	0.00	99.65	0.350
-1.00	2.000	0.00	99.65	0.350
0.00	1.000	0.00	99.65	0.350
0.32	0.800	0.00	99.65	0.350
0.67	0.630	0.00	99.65	0.350
1.00	0.500	0.00	99.65	0.350
1.32	0.400	0.00	99.65	0.350
1.74	0.300	0.00	99.65	0.350
2.00	0.250	0.00	99.65	0.350
3.00	0.125	0.00	99.65	0.350
3.99	0.063	0.00	99.65	0.350
FONDO		0.35	100.00	0.000
TOTALE		***100.00***		

SONDAGGIO G CAMPIONE G+1
locaità: Voltri +1,0
data analisi granulometrica : settembre 2014

ϕ_5	ϕ_{16}	ϕ_{25}	ϕ_{50}	ϕ_{75}	ϕ_{84}	ϕ_{95}
5.00	*16.00*	*25.00*	*50.00*	*75.00*	*84.00*	*95.00*
-5.873	-5.548	-5.213	-4.759	-4.392	-4.234	-4.013

D_{50} μm	D_M μm	M phi	σ phi	α_Φ (S_k)	β_Φ (K)
27074.87	28776	-4.847	.639	-.199	.929



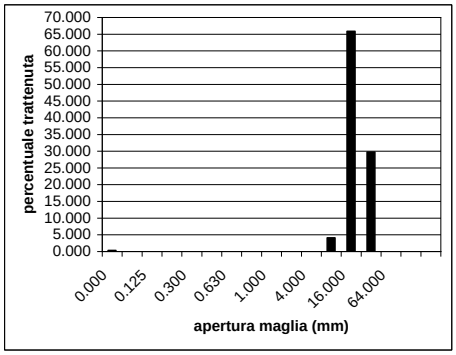


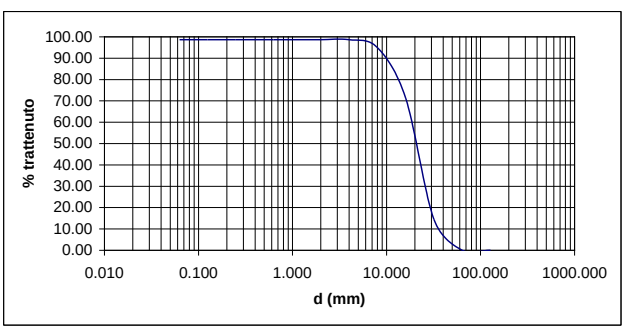
Tabella 25. Analisi granulometrica transetto G campione G+1

Classe ϕ	Apertura Maglia mm	Percentuale trattenuta	Percentuale Cumulativa trattenuta	Percentuale Cumulativa passante
-7.00	128.000	0.00	0.00	100.000
-6.00	64.000	0.00	0.00	100.000
-5.00	32.000	14.43	14.43	85.570
-4.00	16.000	56.85	71.28	28.720
-3.00	8.000	23.69	94.97	5.030
-2.00	4.000	3.63	98.60	1.400
-1.00	2.000	0.00	98.60	1.400
0.00	1.000	0.00	98.60	1.400
0.32	0.800	0.00	98.60	1.400
0.67	0.630	0.00	98.60	1.400
1.00	0.500	0.00	98.60	1.400
1.32	0.400	0.00	98.60	1.400
1.74	0.300	0.00	98.60	1.400
2.00	0.250	0.00	98.60	1.400
3.00	0.125	0.00	98.60	1.400
3.99	0.063	0.00	98.60	1.400
FONDO		1.40	100.00	0.000
TOTALE		***100.00***		

SONDAGGIO G CAMPIONE G1
locaità: Voltri -1,0
data analisi granulometrica : settembre 2014

ϕ_5	ϕ_{16}	ϕ_{25}	ϕ_{50}	ϕ_{75}	ϕ_{84}	ϕ_{95}
5.00	*16.00*	*25.00*	*50.00*	*75.00*	*84.00*	*95.00*
-5.726	-4.980	-4.859	-4.459	-3.882	-3.549	-2.994

D_{50} μm	D_M μm	M phi	σ phi	α_Φ (S_k)	β_Φ (K)
21989.09	20101	-4.329	.813	.172	1.146



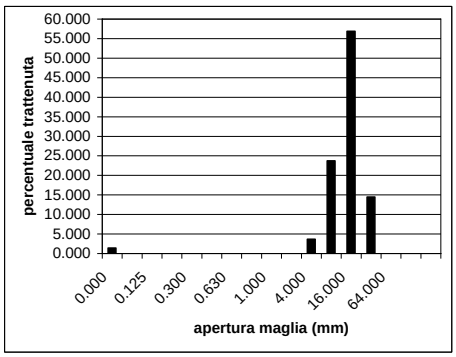


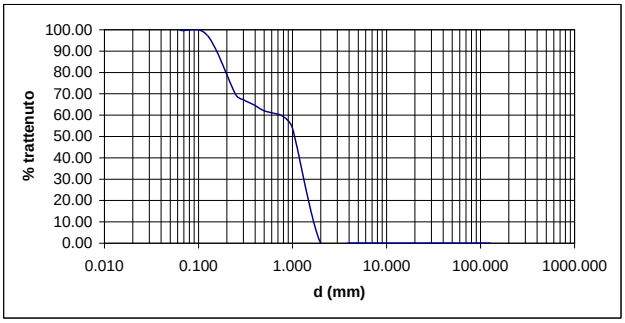
Tabella 26. Analisi granulometrica transetto G campione G1.

Classe ϕ	Apertura Maglia mm	Percentuale trattenuta	Percentuale Cumulativa trattenuta	Percentuale Cumulativa passante
-7.00	128.000	0.00	0.00	100.000
-6.00	64.000	0.00	0.00	100.000
-5.00	32.000	0.00	0.00	100.000
-4.00	16.000	0.00	0.00	100.000
-3.00	8.000	0.00	0.00	100.000
-2.00	4.000	0.00	0.00	100.000
-1.00	2.000	0.00	0.00	100.000
0.00	1.000	54.06	54.06	45.940
0.32	0.800	5.20	59.26	40.740
0.67	0.630	1.61	60.87	39.130
1.00	0.500	1.11	61.98	38.020
1.32	0.400	2.45	64.43	35.570
1.74	0.300	2.82	67.25	32.750
2.00	0.250	2.31	69.56	30.440
3.00	0.125	27.74	97.30	2.700
3.99	0.063	2.42	99.72	0.280
FONDO		0.28	100.00	0.000
TOTALE		***100.00***		

SONDAGGIO G CAMPIONE G3
locaità: Voltri -3,0
data analisi granulometrica : settembre 2014

ϕ_5	ϕ_{16}	ϕ_{25}	ϕ_{50}	ϕ_{75}	ϕ_{84}	ϕ_{95}
5.00	*16.00*	*25.00*	*50.00*	*75.00*	*84.00*	*95.00*
-0.932	-0.769	-0.621	-0.104	2.149	2.435	2.885

D_{50}	D_M	M	σ	$\alpha_\phi (S_k)$	$\beta_\phi (K)$
μm	μm	*phi*	*phi*		
1075.10	697	.521	1.437	.576	.565



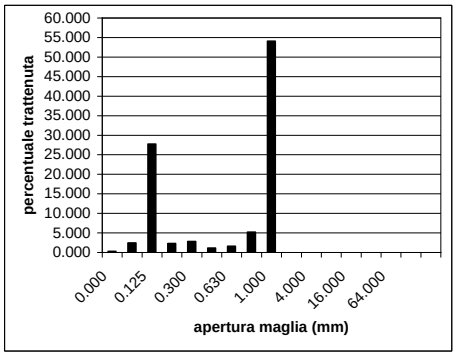


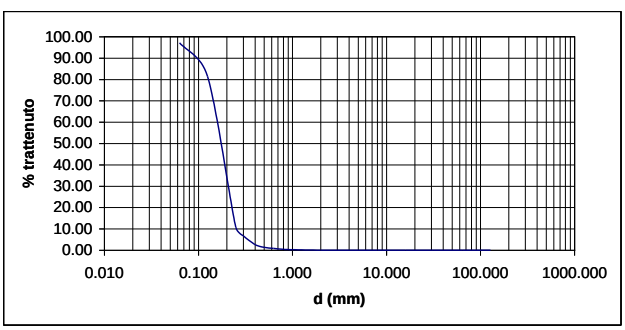
Tabella 27. Analisi granulometrica transetto G campione G3

Classe ϕ	Apertura Maglia mm	Percentuale trattenuta	Percentuale Cumulativa trattenuta	Percentuale Cumulativa passante
-7.00	128.000	0.00	0.00	100.000
-6.00	64.000	0.00	0.00	100.000
-5.00	32.000	0.00	0.00	100.000
-4.00	16.000	0.00	0.00	100.000
-3.00	8.000	0.00	0.00	100.000
-2.00	4.000	0.00	0.00	100.000
-1.00	2.000	0.00	0.00	100.000
0.00	1.000	0.25	0.25	99.750
0.32	0.800	0.20	0.45	99.550
0.67	0.630	0.39	0.84	99.160
1.00	0.500	0.57	1.41	98.590
1.32	0.400	1.21	2.62	97.380
1.74	0.300	4.15	6.77	93.230
2.00	0.250	4.03	10.80	89.200
3.00	0.125	70.70	81.50	18.500
3.99	0.063	15.70	97.20	2.800
FONDO		2.80	100.00	0.000
TOTALE		***100.00***		

SONDAGGIO G CAMPIONE G6
locaità: Voltri -6,0
data analisi granulometrica : settembre 2014

ϕ_5	ϕ_{16}	ϕ_{25}	ϕ_{50}	ϕ_{75}	ϕ_{84}	ϕ_{95}
5.00	*16.00*	*25.00*	*50.00*	*75.00*	*84.00*	*95.00*
1.545	2.054	2.153	2.468	2.873	3.119	3.802

D_{50}	D_M	M	σ	$\alpha_\phi (S_k)$	$\beta_\phi (K)$
μm	μm	*phi*	*phi*		
180.69	171	2.547	.642	.202	1.284



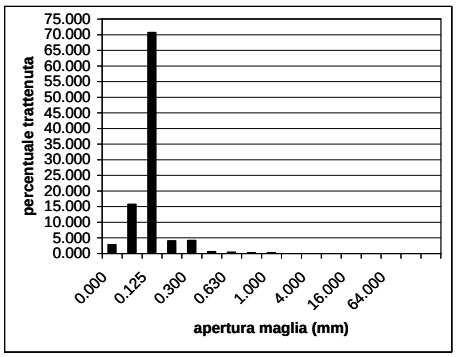


Tabella 28. Analisi granulometrica transetto G campione G6

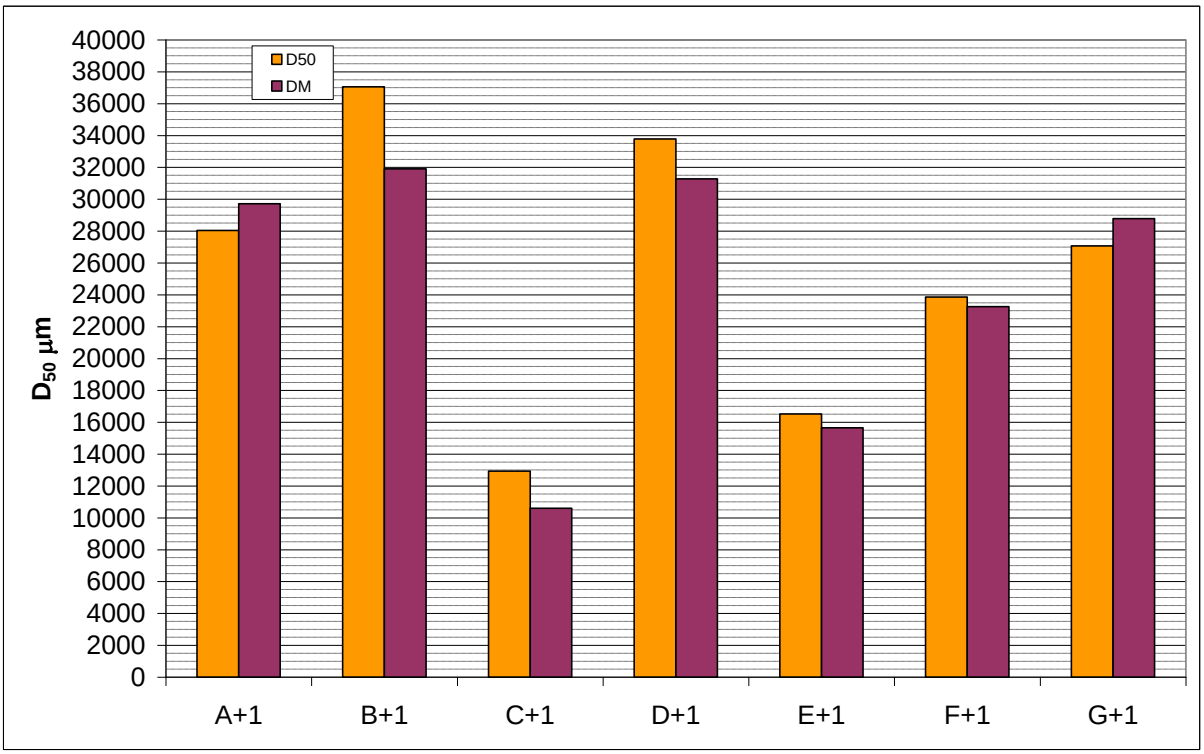


Figura 5. Diametro medio e D_{50} lungo la spiaggia di Voltri a +1,0 m sul l.m.m.

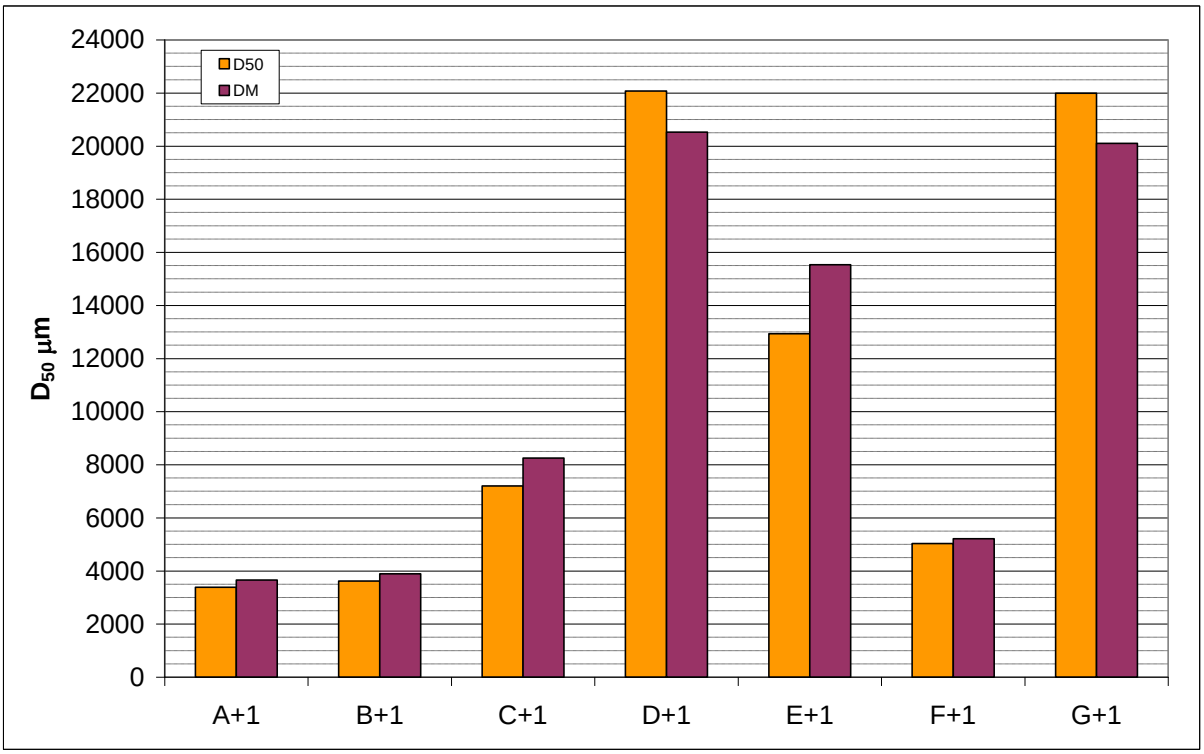


Figura 6. Diametro medio e D_{50} lungo la spiaggia di Voltri a -1,0 m sul l.m.m.

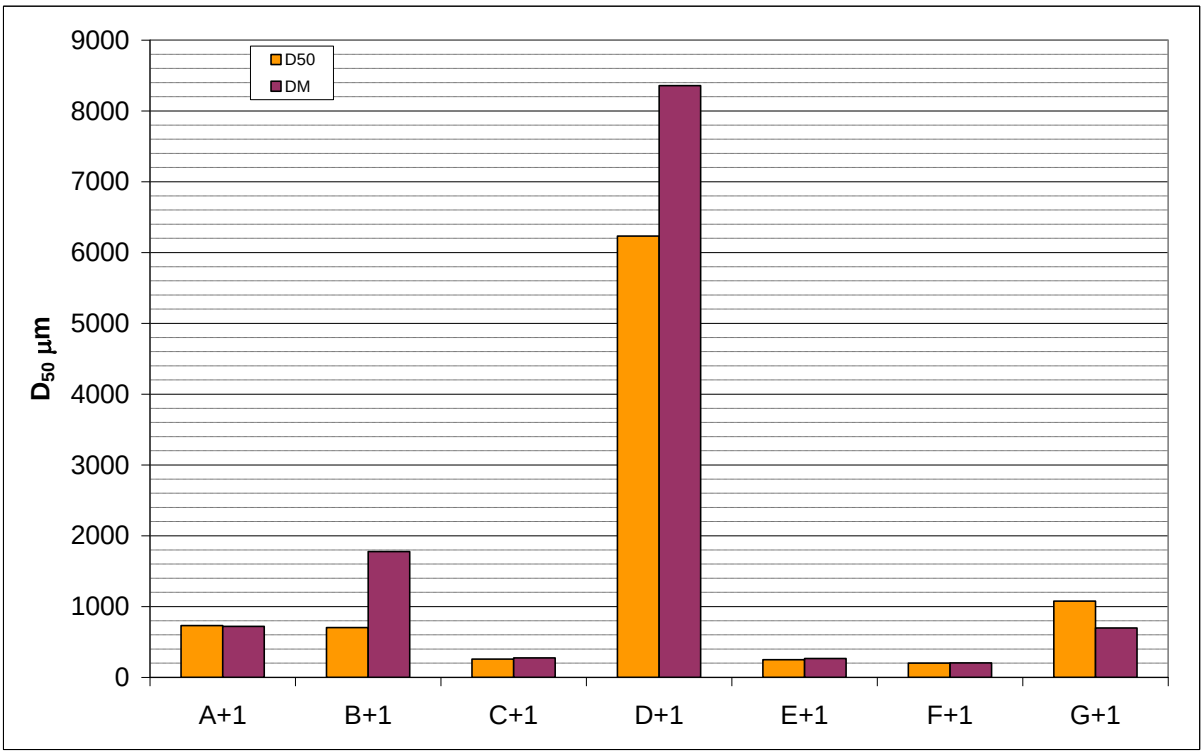


Figura 7. Diametro medio e D_{50} lungo la spiaggia di Voltri a -3,0 m sul l.m.m

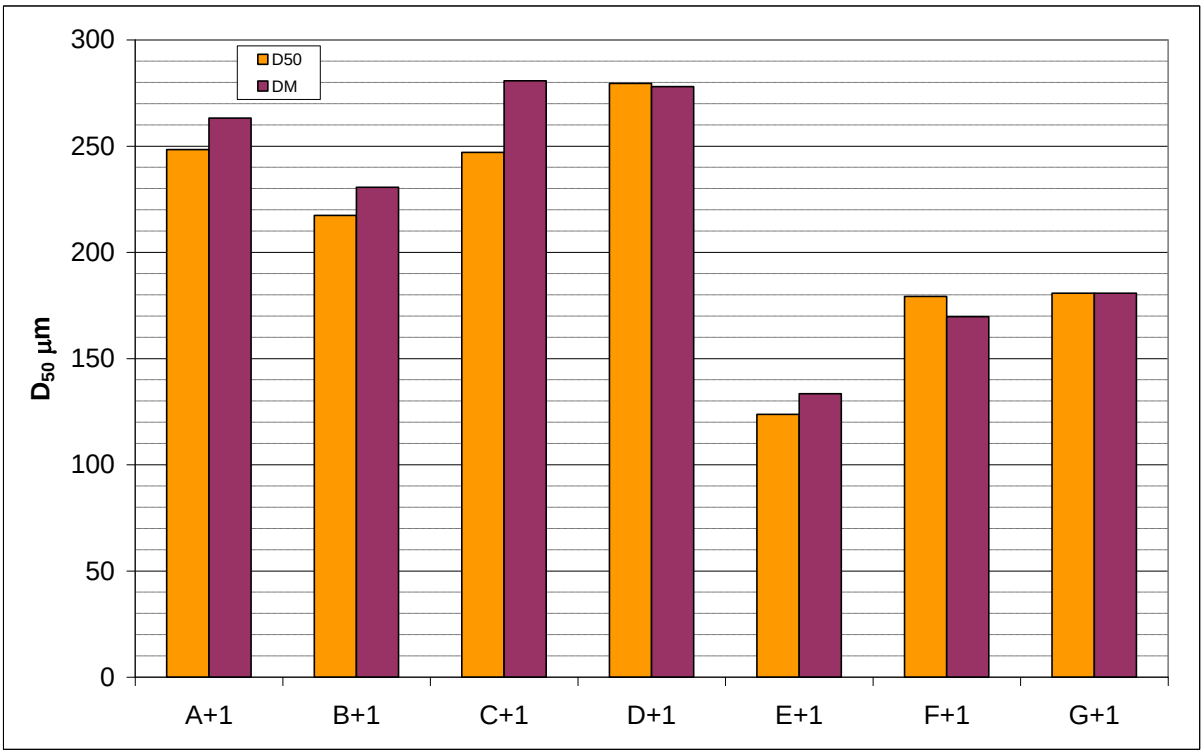


Figura 8. Diametro medio e D_{50} lungo la spiaggia di Voltri a -6,0 m sul l.m.m.

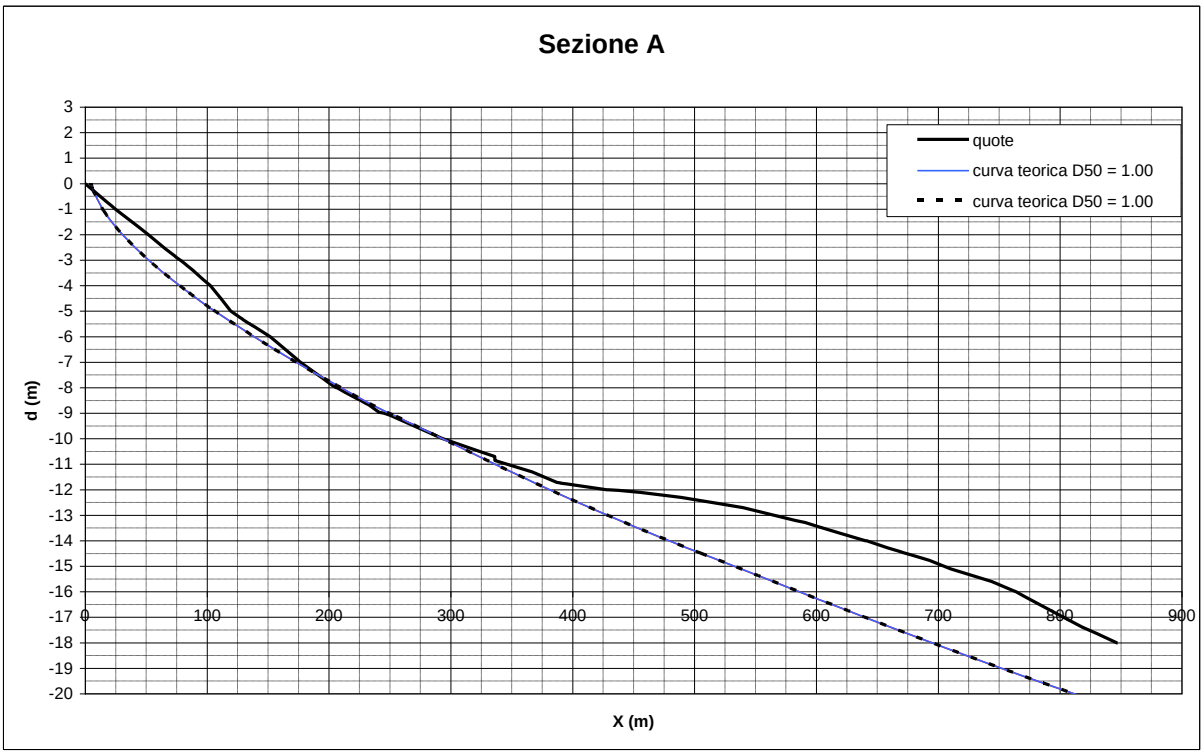


Figura 9. Profilo trasversale Sezione A

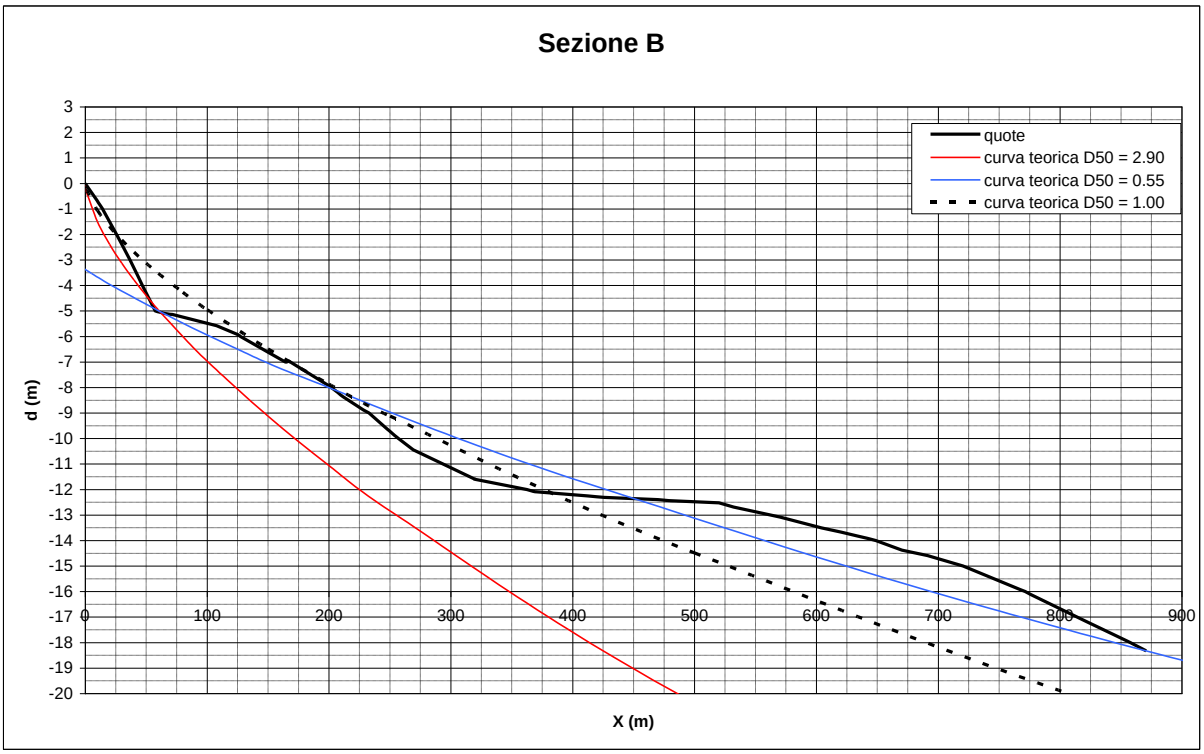


Figura 10. Profilo trasversale Sezione B

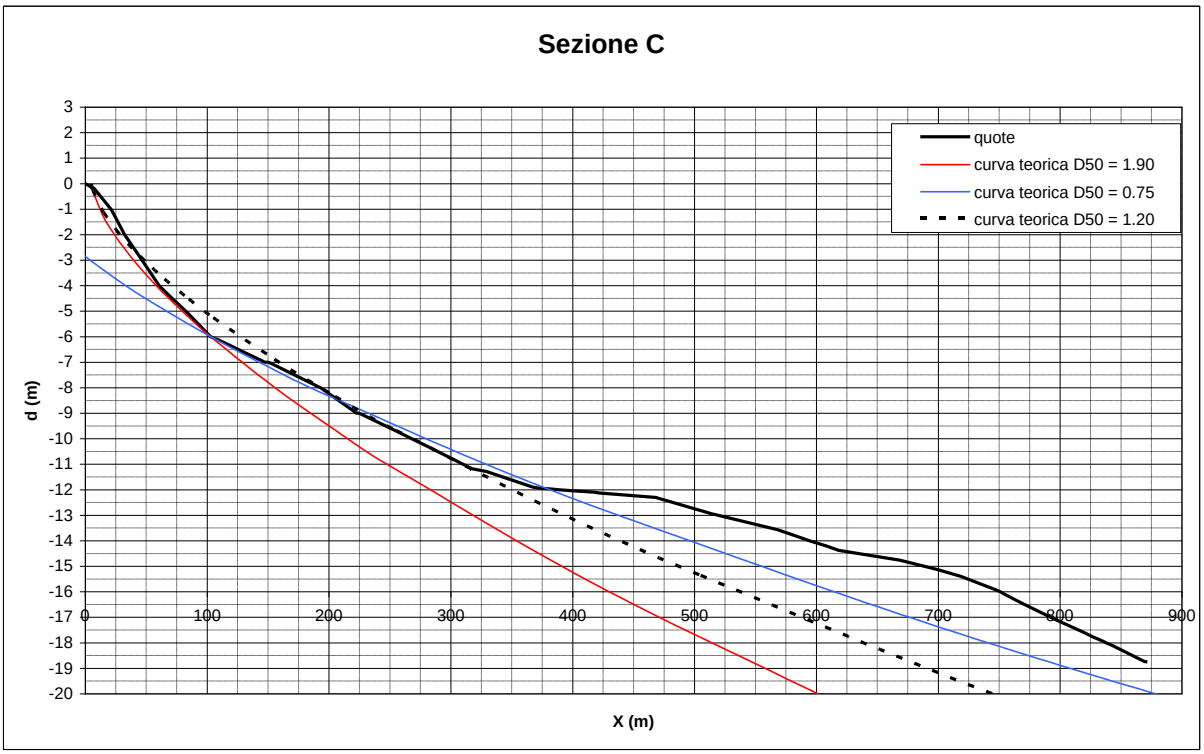


Figura 11. Profilo trasversale Sezione C

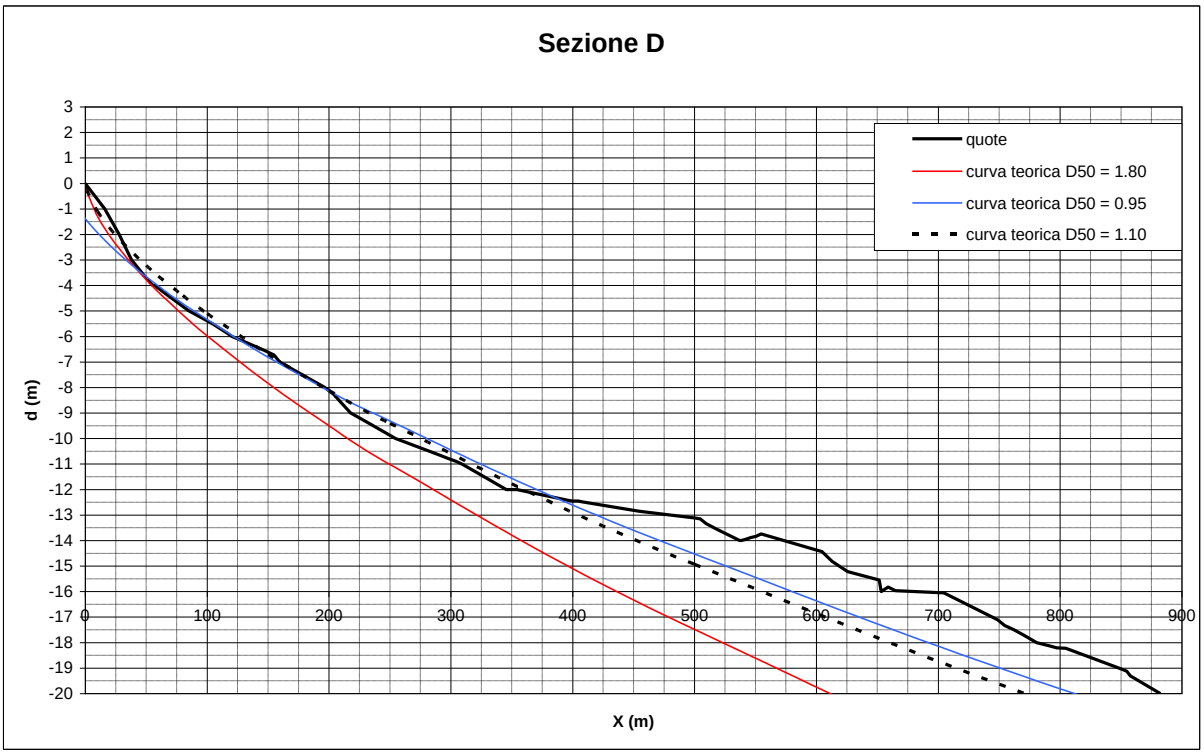


Figura 12. Profilo trasversale Sezione D

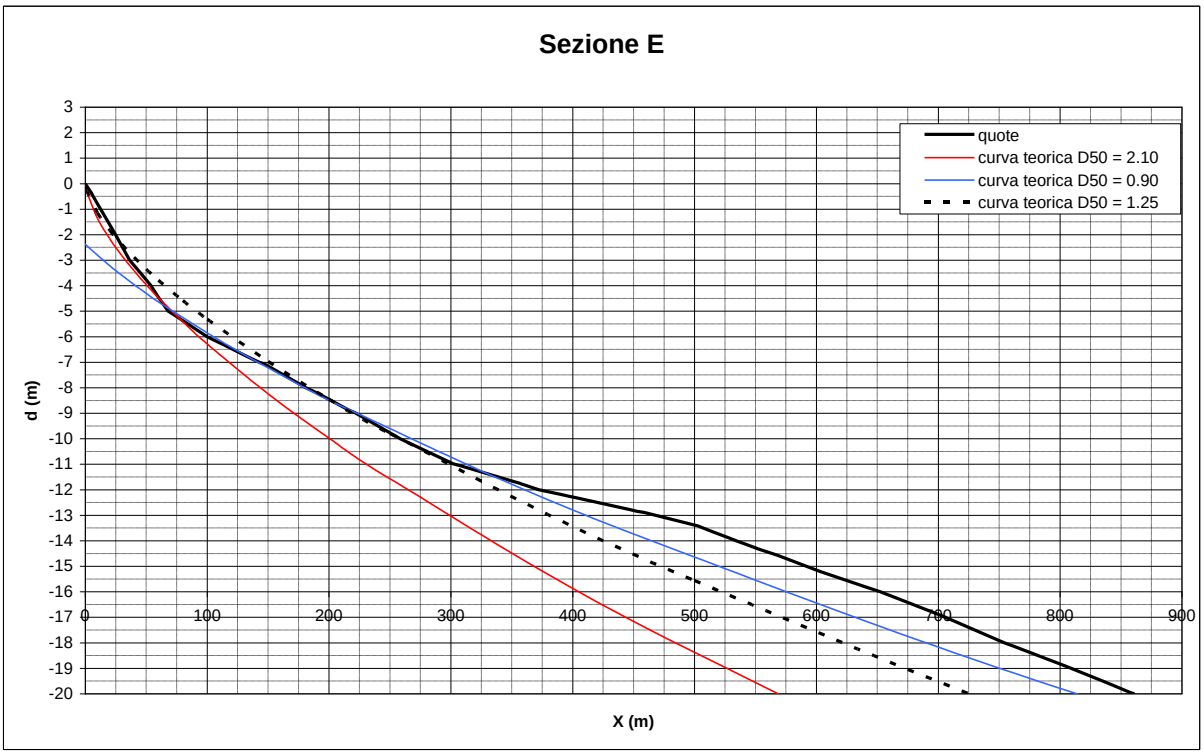


Figura 13. Profilo trasversale Sezione E

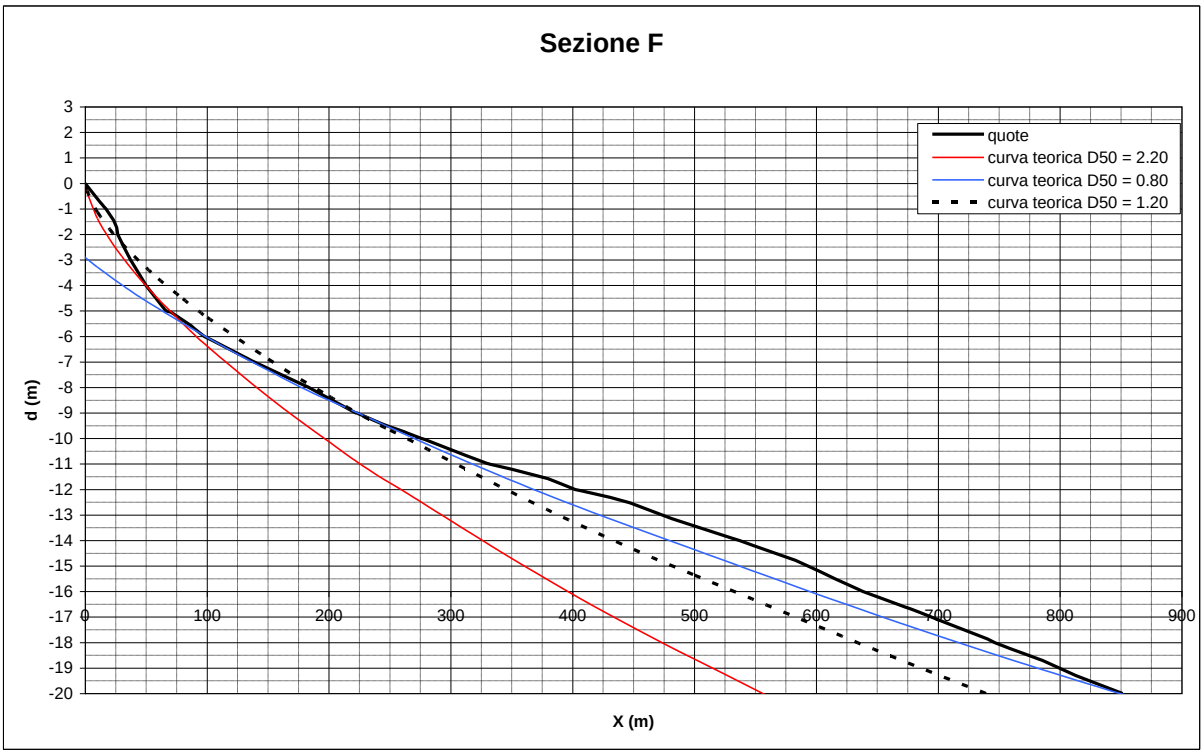


Figura 14. Profilo trasversale Sezione F

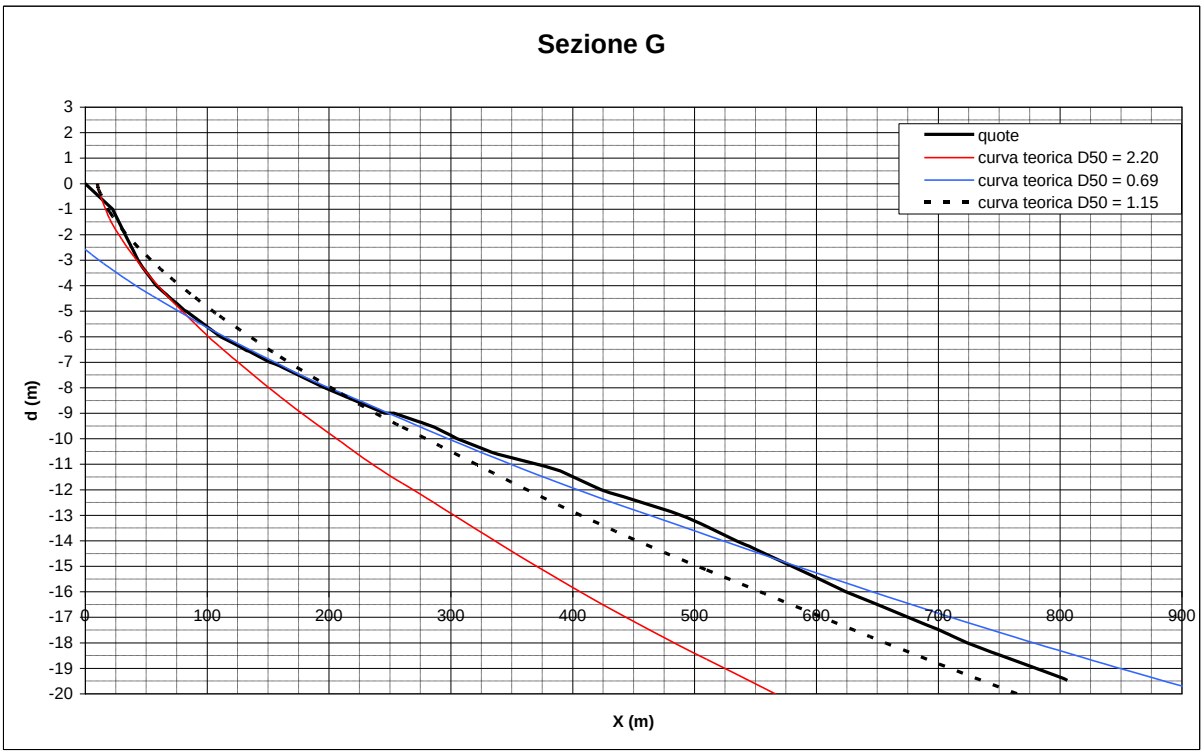


Figura 15. Profilo trasversale Sezione G

3.2. Analisi degli apporti solidi fluviali

Lungo la unità fisiografica dalla spiaggia di Voltri sfociano il torrente Cerusa (all'estremità occidentale) il torrente Lejra (al centro dell'unità) ed il Rio san Giuliano (all'estremità orientale), vedi Figura 16. Solamente la foce del torrente Lejra è attualmente munita di pennelli di armatura di foce.

La conoscenza della quantità degli apporti terrigeni dei corsi d'acqua sulle spiagge dell'unità fisiografica riguarda essenzialmente le frazioni sabbiose e quelle più grossolane. Le frazioni limose e argillose infatti sedimentano al largo su fondali profondi.

Per quanto riguarda le portate solide dei corsi d'acqua, si dovrà distinguere la portata solida di *fondo,* definita come quella che avviene per salti e rotolamento delle particelle solide sul fondo con velocità inferiore a quella del fluido, e quella in *sospensione,* definita come quella che avviene alla stessa velocità del fluido lungo la verticale della corrente per effetto della concentrazione del sedimento nel vettore fluido e della turbolenza della corrente.

Non si dispone per il presente studio di valutazioni dirette del trasporto solido di fondo dei corsi d'acqua sopra citati.

Nel presente lavoro, una stima di massima delle portate solide apportate dai corsi d'acqua all'unità fisiografica in esame è stata effettuata con un metodo indiretto, in base alla capacità potenziale di erosione dei bacini idrografici ad opera delle acque superficiali.

A tale fine l'erodibilità dei bacini idrografici è stata determinabile in base alla carta geologica (vedi Figura17) e a quella di uso del suolo (vedi Figura 18) pubblicate dalla Regione Liguria sul Portale cartografico. Definite cinque le classi di erodibilità (molto bassa, bassa, media, alta e molto alta) in base ai parametri caratterizzanti la degradazione dei versanti, quali la litologia, l'uso del suolo e l'assetto fisico del bacino.

I bacini sono statti suddivisi in aree omogenee di diverso grado di erodibilità. Successivamente, ad ogni classe di erodibilità sono stati assegnati due coefficienti di ablazione specifica, corrispondenti ad una ipotesi di minimo ed una di massimo, i quali esprimono, per ciascuna classe, l'erosione media annua per chilometro quadrato (vedi Tabella 29). In questo modo per ogni singolo bacino è stato possibile stimare l'ablazione totale potenziale minima e massima, che rappresenta il volume medio annuo di materiale solido eroso dalla superficie del bacino idrografico. Da questo quantitativo complessivo, in mancanza di dati sperimentali circa il rapporto fra trasporto solido in sospensione e di fondo che alimenta le spiagge, la frazione percentuale del trasporto solido di fondo potenziale è stata valutata caso per caso sulla base di dati generali riportati in letteratura per situazioni simili.

Per passare infine dai valori potenziali alla stima dell'apporto solido a mare effettivo, vengono valutati, caso per caso, gli effetti dei fattori limitanti del trasporto solido, quali gli interventi di

sistemazione e stabilizzazione dei bacini e dei corsi d'acqua, il prelievo di inerti in alveo e la costruzione di traverse e sbarramenti lungo le aste fluviali. In particolare sia il torrente Cerusa che il torrente Lejra presentano nel tratto terminale dell'alveo delle opere di derivazione (come riportato nel Portale Cartografico della Regione Liguria) (vedi Figura 16). Tutti questi elementi, difficilmente quantificabili singolarmente, sono stimati complessivamente come una percentuale riduttiva da applicare al trasporto potenziale. Il risultato è la stima del valore minimo e massimo del trasporto solido di fondo a mare.

In Tabella 30 è riportata la stima dell'ablazione totale potenziale e del trasporto solido potenziale dei bacini idrografici che sfociano lungo l'unità fisiografica in esame.

In tabella si riporta la stima dell'apporto solido a mare effettivo ottenuta considerando una riduzione del 70% del trasporto solido potenziale, per effetto dei fattori limitanti del trasporto solido.

Classe	*Descrizione*	*Erosine media annua per Km² (mm)*	
		min	*max*
I	erodibilità molto bassa	0,055	0,1
II	erodibilità bassa	0,1	0,3
III	erodibilità media	0,2	0,5
IV	erodibilità elevata	0,5	0,9
V	erodibilità molto elevata	1,0	1,5

Tabella 29. Classi di erodibilità adottate per la stima dell'ablazione totale potenziale dei bacini idrografici

Corso d'acqua	*Superficie*	*Ablazione totale potenziale*		*Trasporto solido di fondo potenziale*	
		min	*max*	*min*	*max*
	km²	*m³/anno*	*m³/anno*	*m³/anno*	*m³/anno*
Torrente Cerusa	52.9	10 571	26 428	2 114	5 286
Torrente Lejra	63.6	12 715	31 788	2 543	6 358
Rio San Giuliano	2.2	441	1 103	88	221

Tabella 30. Stima dell'ablazione totale potenziale e del trasporto solido potenziale dei bacini idrografici del litorale di Voltri

Corso d'acqua	*Superficie*	*Trasporto solido di fondo effettivo*	
		min	*max*
	km²	*m³/anno*	*m³/anno*
Torrente Cerusa	53	634	1 586
Torrente Lejra	64	763	1 907
Rio San Giuliano	2	26	66

Tabella 31. Stima del trasporto solido effettivo dei bacini idrografici del litorale di Voltri

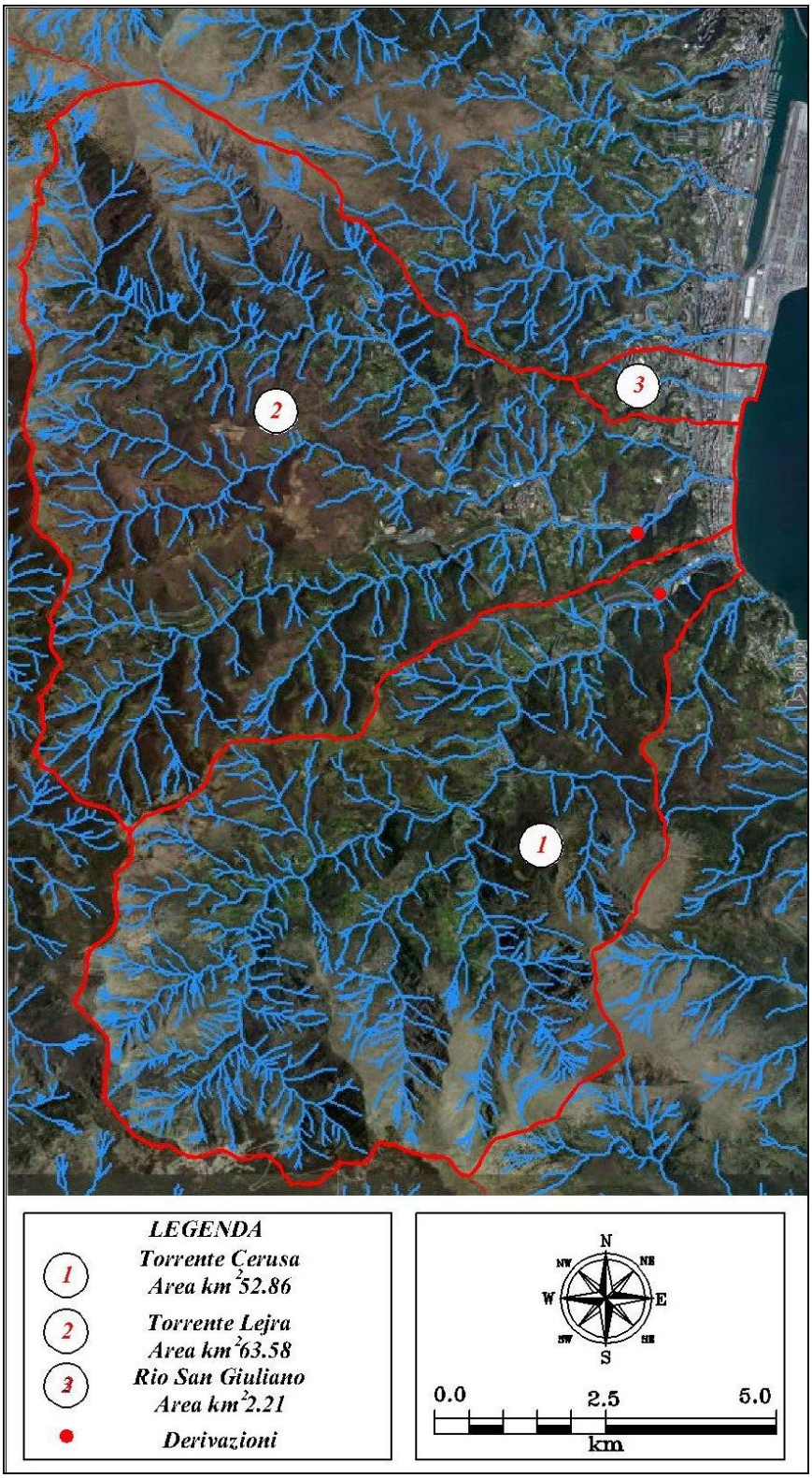


Figura 16. Bacini idrografici del litorale di Voltri

Fonte: Portale Cartografico Regione Liguria

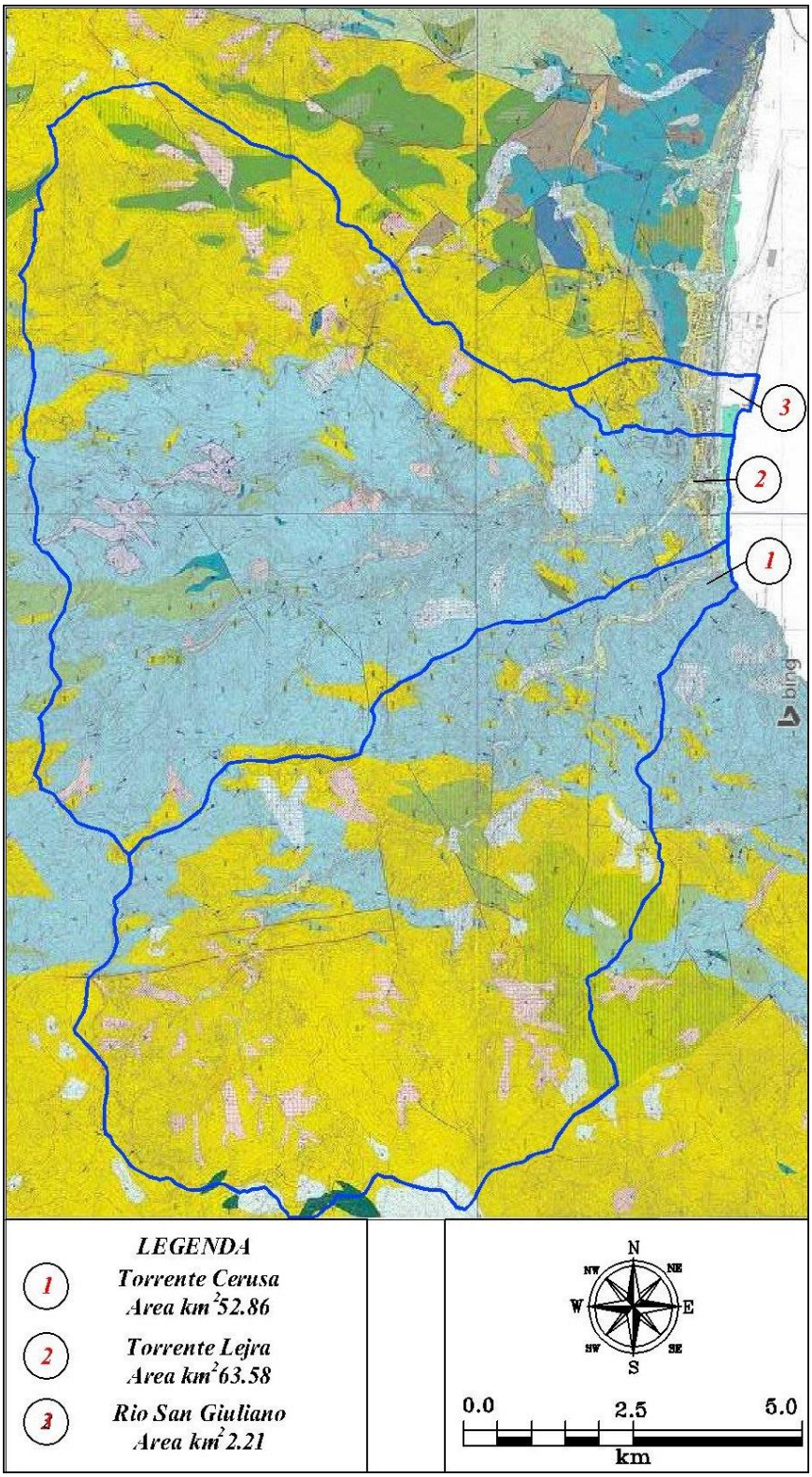


Figura 17. Carta geologica dei bacini imbriferi che sfocino sul litorale di Voltri

Fonte: Portale Cartografico Regione Liguria



Legenda Carta geologica

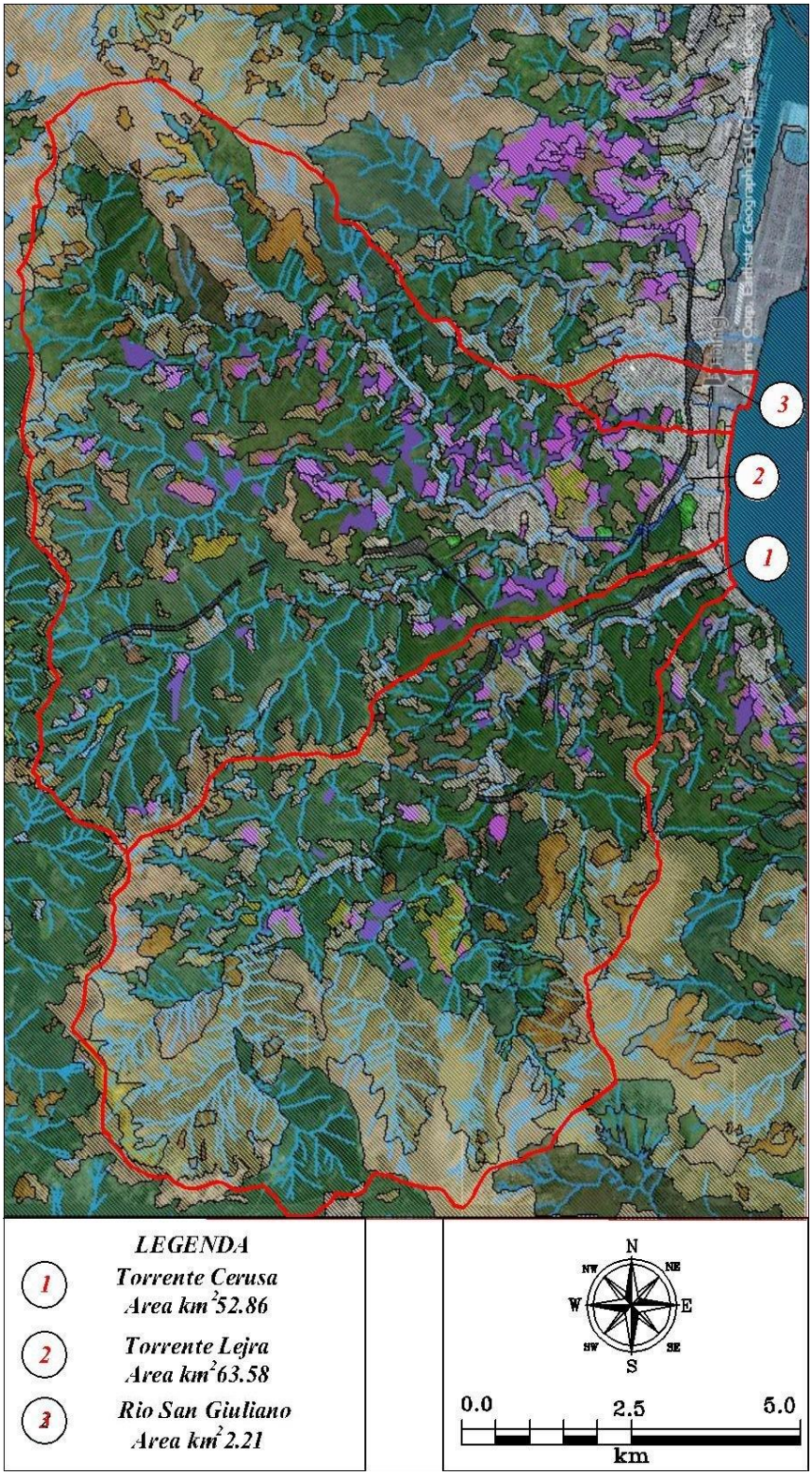


Figura 18. Carta uso del suolo dei bacini imbriferi che sfocino sul litorale di Voltri

Fonte: Portale cartografico Regione Liguria

4. STUDIO DEL TRASPORTO SOLIDO POTENZIALE LONGITUDINALE

L'obiettivo del lavoro descritto in questa sezione è quello di determinare lungo l'unità fisiografica, ove ricade il sito oggetto dell'intervento, compresa tra la foce del torrente Cerusa e il porto di Sestri Ponente, la direzione del trasporto solido potenziale longitudinale.

Come è noto, la componente longitudinale (parallela alla linea di riva) del trasporto solido costiero indotto dal moto ondoso frangente è per le coste a carattere microtidale la principale responsabile dell'evoluzione morfologica a lungo termine (anni) del litorale. La sua conoscenza in senso statistico risulta pertanto propedeutica a qualsiasi azione di pianificazione/programmazione di interventi rivolti alla gestione della fascia costiera.

Prendendo in esame una generica sezione trasversale, il trasporto solido longitudinale medio annuo (valore di riferimento per lo studio dell'evoluzione a lungo termine) è essenzialmente caratterizzato dai due parametri:

- verso
- quantità, normalmente espressa in m^3/ anno per metro di spiaggia.

Qualora il litorale sia soggetto ad un trasporto solido di tipo bimodale, cioè il trasporto longitudinale possa avvenire in ambedue i versi paralleli alla costa in funzione della direzione di attacco del singolo stato di mare, è buona norma determinare:

- l'entità ed il verso del trasporto medio annuo netto (somma algebrica delle componenti);
- l'entità del trasporto medio annuo relativo a ciascun verso.

Come è noto, la componente longitudinale del trasporto solido può essere correlata alla componente longitudinale del flusso di energia del moto ondoso al frangimento. Poiché il coefficiente di correlazione tra le due quantità è funzione di alcuni parametri che possono essere individuati solo sulla base della conoscenza storica dell'evoluzione morfologica del litorale e delle caratteristiche dei sedimenti effettivamente presenti, quando ci si riferisce al solo flusso di energia del moto ondoso frangente, cioè in assenza degli elementi che consentono di calibrare la dipendenza funzionale tra le due quantità, si è soliti fare riferimento al trasporto solido potenziale.

In pratica la conoscenza della componente longitudinale del flusso di energia del moto ondoso frangente implica la conoscenza del "motore" dei sedimenti (trasporto potenziale); l'effettivo trasporto solido ovviamente dipende sia dalla disponibilità dei sedimenti sia dalle relative caratteristiche che ne determinano la mobilità.

Pertanto la conoscenza di una adeguata serie storica relativa alla componente longitudinale del flusso di energia delle onde al frangimento (trasporto potenziale) consente di determinare in modo accurato il verso del trasporto solido medio annuo, mentre fornisce solo una stima della sua effettiva quantità.

Tuttavia tale stima risulta di fondamentale importanza in quanto consente di eseguire numerose considerazioni di interesse applicativo e gestionale.

In conclusione quindi nella presente sezione ci si è posti l'obiettivo di valutare lungo il litorale in questione la direzione del trasporto solido potenziale medio annuo, e una stima del suo valore netto.

Per conseguire tale obiettivo ci si è avvalsi del calcolo del lavoro medio annuo compiuto dal moto ondoso per unità di fronte d'onda per ogni classe di direzione di provenienza del moto ondoso, eseguito in punti significativi posti appena fuori la zona di frangimento lungo l'isobata -10 m s.l.m..

In particolare il calcolo è stato effettuato in 7 punti distinti: P1, P2E, P3E, P4E, P2W, P3W e P4W. Dove P1 è posto al centro del litorale in corrispondenza della foce del torrente Lejra, mentre i punti P2E, P3E e P4E sono posti ad est del punto P1 ad interasse di circa 260 m ed i punti P2W, P3W e P4W sono posti ad ovest del punto P1 ad interasse di circa 260 m.

Per ognuno dei sette punti sotto costa, è stato effettuato:

- il calcolo del valore medio annuo della componente motrice del trasporto solido per ciascuno dei due settori di ampiezza pari a 90° divisi dalla normale alla linea di costa;
- il calcolo del valore medio annuo della componente motrice del trasporto solido netto.

4.1. Stima della componente motrice del trasporto solido longitudinale

Si ricorda che per quantificare il trasporto solido netto è necessario conoscere oltre alle caratteristiche del moto ondoso anche le caratteristiche del sedimento trasportato dal vettore fluido. Infatti il trasporto solido longitudinale Q_L può essere espresso come il prodotto di un termine "sedimentario" funzione delle caratteristiche del sedimento che costituisce la spiaggia e di un termine "motore" funzione della componente longitudinale a metro di spiaggia del lavoro compiuto dal moto ondoso.

Prescindendo dal termine "sedimentario" e facendo riferimento alla onde provenienti dal generico settore j il trasporto solido longitudinale Q_{Lj} è proporzionale al termine "motore" L_{mjL} espresso dalla:

$$L_{mjL}=1/2\ L_{mj}\ \text{sen}\ (2\alpha_j)\ \text{ in kWh/m} \qquad (1)$$

Infatti il flusso di energia per unità di lunghezza di spiaggia F_s è pari a:

$$F_s=E\ n\ C\ \cos\ (\alpha_j) \qquad \text{in W/m} \qquad (2)$$

mentre la componente longitudinale del vettore flusso di energia per unità di lunghezza di spiaggia F_{Ls} risulta pari a:

$$F_{Ls}= 1/2\ E\ n\ C\ \text{sen}\ (2\alpha_j) = 1/2\ F\ \text{sen}\ (2\alpha_j)\ \text{in W/m} \qquad (3)$$

essendo α_j l'angolo formato dalla normale alla linea di costa e la direzione di provenienza j. E' evidente che la normale alla linea di costa divide le direzioni di provenienza in due settori in cui uno determina il trasporto solido longitudinale in un verso e l'altro nel verso opposto.

Il diagramma polare della componente motrice del trasporto solido potenziale medio annuo L_{mjL} per i punti di calcolo P4W, P3W, P2W, P1, P2E, P3E e P4E è riportato rispettivamente in Figura 19, Figura 20, Figura 21, Figura22, Figura 23, Figura 24 e Figura 25. In tali figure sono indicati in rosso le componenti che determinano un flusso solido verso sud ed in blu quello verso nord.

Il valore del trasporto solido netto potenziale longitudinale medio annuo Q_L risulta essere proporzionale a:

$$L_{mL} = \Sigma L_{mjL} = 1/2 \, \Sigma L_{mj} \text{ sen } (2\alpha_j) \quad \text{n kWh/m} \qquad (3)$$

In Tabella 32 per i 7 punti di calcolo è riportato il valore della componente motrice del trasporto solido netto longitudinale medio annuo e di quello dei due settori divisi dalla normale alla linea di costa. Convenzionalmente nella Tabella **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**32 è iportato con il segno + la componente motrice del trasporto solido diretta verso Ovest e con il segno – quella diretta verso Est

Dalle figure e dalla tabella emerge che la direzione del trasporto solido netto:

- è diretta <u>verso est</u> ad est della foce del torrente Cerusa fino ad ovest della foce del Torrente Lejra (dove il trasporto solido netto diventa pressoché nullo),

- è diretto <u>verso est</u> in corrispondenza della foce del torrente Lejra,

- è diretto <u>verso est</u> ad est della foce del torrente Lejra fino al pennello radente alla spiaggia posto ad ovest del Porto di Sestri Ponente (dove il trasporto solido netto diventa pressoché nullo)

- è diretto <u>verso ovest</u> ad ovest del porto di Sestri Ponente.

Dall'esame della direzione e dell'intensità della componente motrice del trasporto solido di Tabella 32 si può sintetizzare che nella configurazione attuale della spiaggia e con il clima medio annuale il Torrente Cerusa alimenta, con il materiale detritico da esso trasportato, la spiaggia posta ad est della sua foce fino alla foce del torrente Lejra. Il Torrente Lejra invece nelle stesse condizioni alimenta la spiaggia posta ad est della sua foce fino al pennello radente posto ad ovest del Porto di Sestri Ponente.

Il calcolo del flusso di energia, del lavoro compiuto dal moto e della componente motrice del trasporto solido longitudinale nei quattro punti di rifrazione a riva è stato condotto con il programma TRITON in ambiente Windows.

	Pm			L_{mL+}		L_{mL-}		L_{mL}	
	α °N	P kW/m	durata mesi	intensità kWh/m	durata mesi	intensità kWh/m	durata mesi	intensità kWh/m	durata mesi
P4W	183.13	0.23	3.76	492.31	1.22	-2 567.50	2.54	-2 075.18	3.76
P3W	186.49	0.25	3.89	944.86	1.21	-2 231.28	2.37	-1 286.41	3.58
P2W	188.36	0.24	3.86	1 257.68	1.46	-1 221.22	2.39	36.46	3.86
P1	187.82	0.24	3.78	832.19	1.44	-1 754.16	2.33	-921.97	3.78
P2E	190.08	0.24	3.79	1 002.41	1.38	-1 266.65	2.41	-264.24	3.79
P3E	193.60	0.23	3.72	1 026.10	1.60	-861.72	2.12	164.39	3.72
P4E	195.22	0.23	3.67	1 242.69	2.63	-339.07	1.03	903.62	3.67

Tabella 32. Flusso d'energia del moto ondoso risultante e componente motrice del trasporto solido netto longitudinale

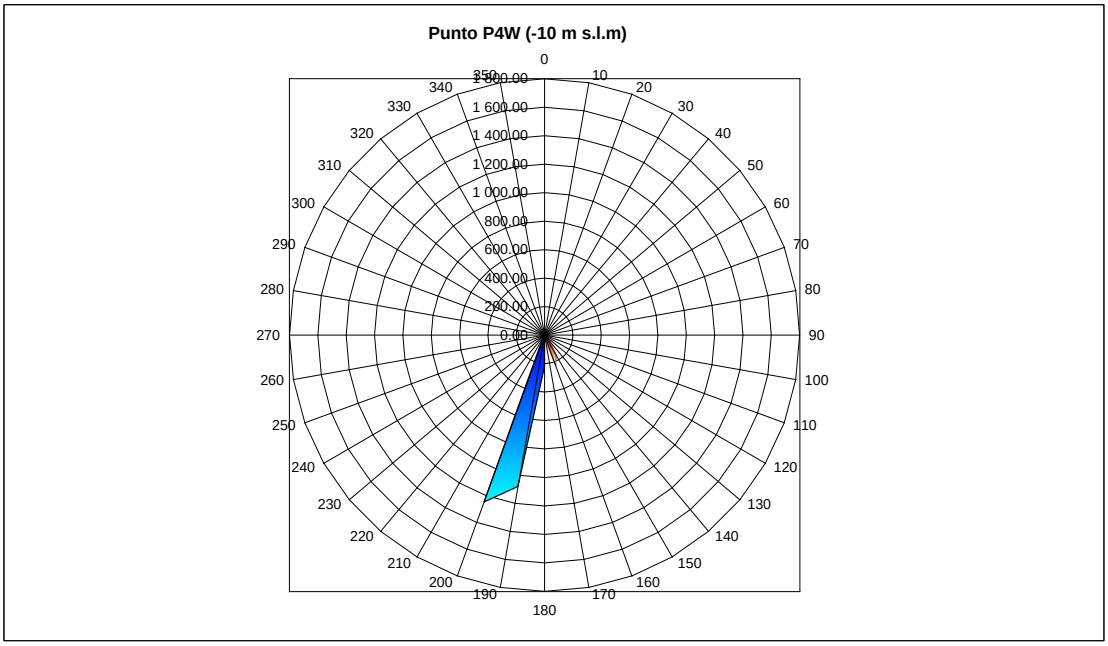


Figura 19. Distribuzione (%) Polare della componente motrice del trasporto solido (kWh/m) a Voltri – Punto P4W (-10 m s.l.m.)

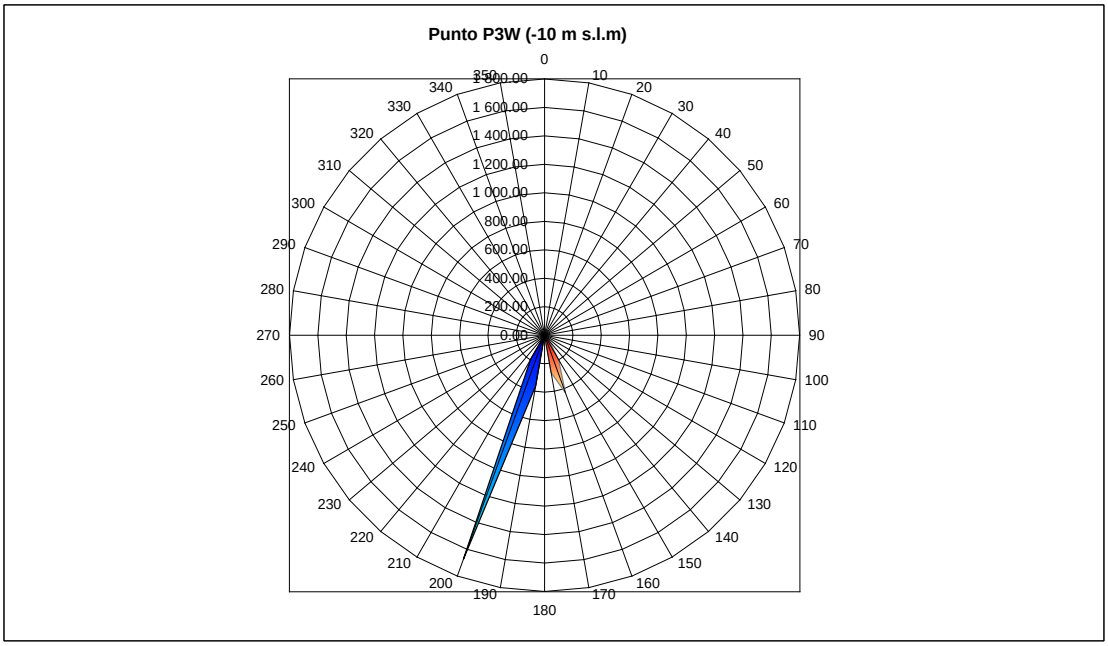


Figura 20. Distribuzione (%) Polare della componente motrice del trasporto solido (kWh/m) a Voltri – Punto P3W (-10 m s.l.m.)

Ricostruzione secondo il metodo di rifrazione diretto spettrale a partire dai dati di La Spezia trasposti a Voltri (periodo 1/7/1989-30/6/2004) (numero osservazioni utili 38.636)

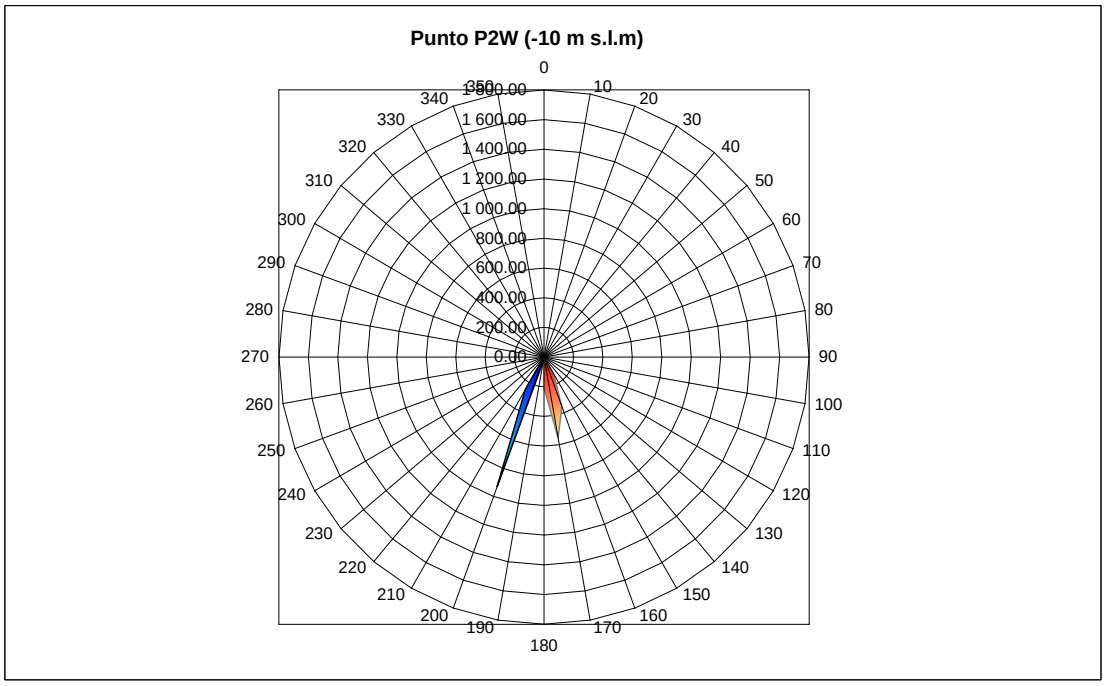


Figura 21. Distribuzione (%) Polare della componente motrice del trasporto solido (kWh/m) a Voltri – Punto P2W (-10 m s.l.m.)

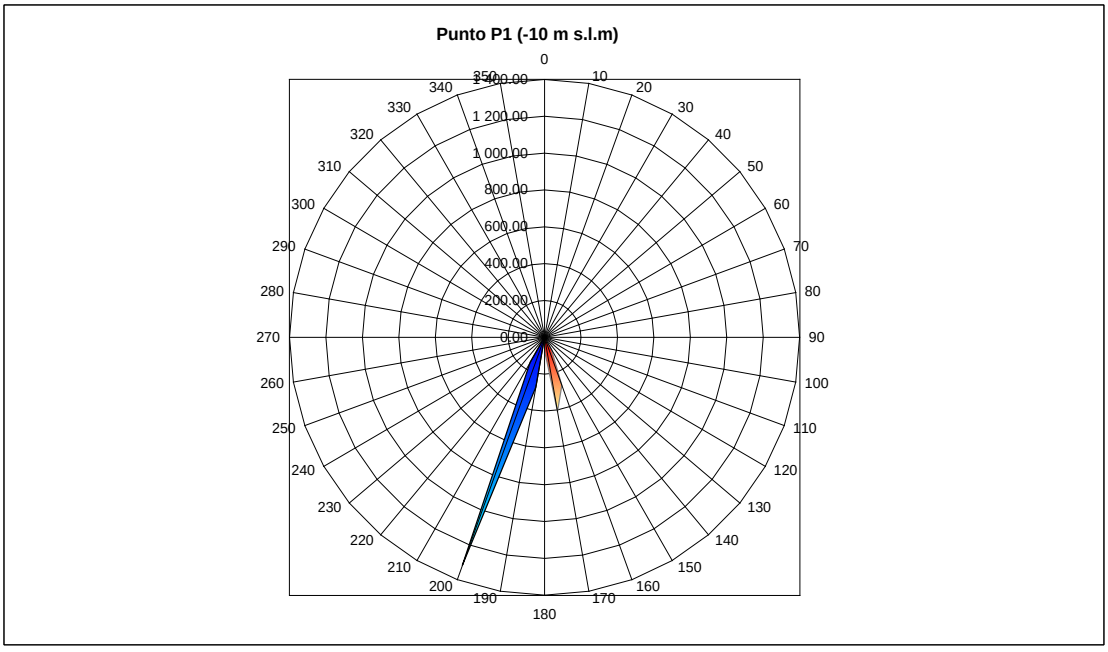


Figura 22. Distribuzione (%) Polare della componente motrice del trasporto solido (kWh/m) a Voltri – Punto P1 (-10 m s.l.m.)

Ricostruzione secondo il metodo di rifrazione diretto spettrale a partire dai dati di La Spezia trasposti a Voltri (periodo 1/7/1989-30/6/2004) (numero osservazioni utili 38.636)

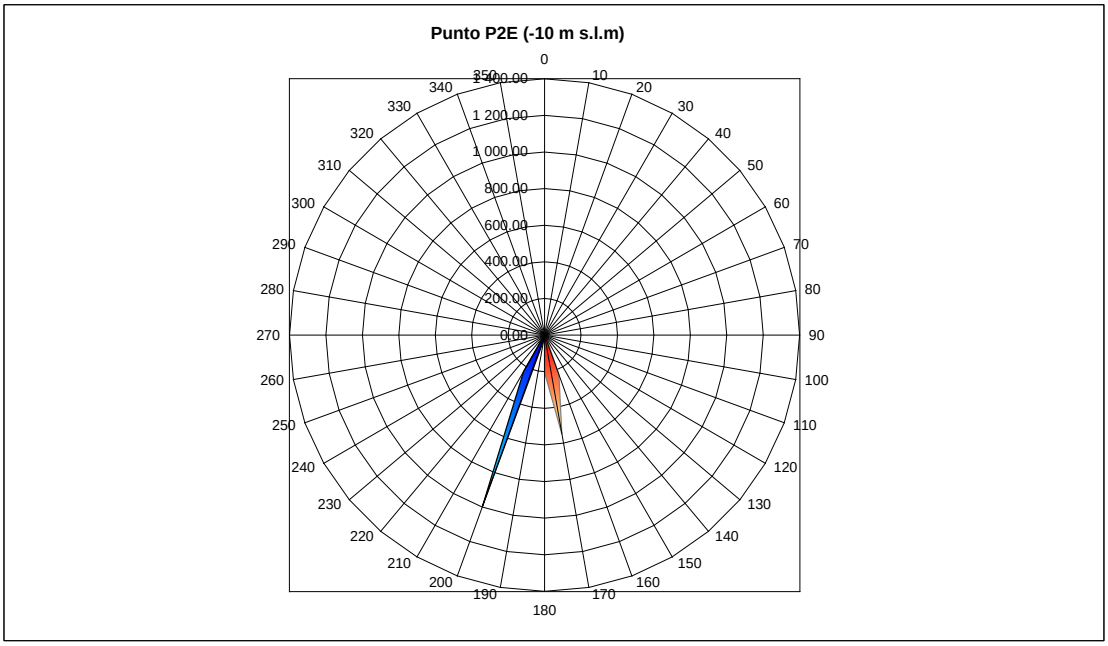


Figura 23. Distribuzione (%) Polare della componente motrice del trasporto solido (kWh/m) a Voltri – Punto P2E (-10 m s.l.m.)

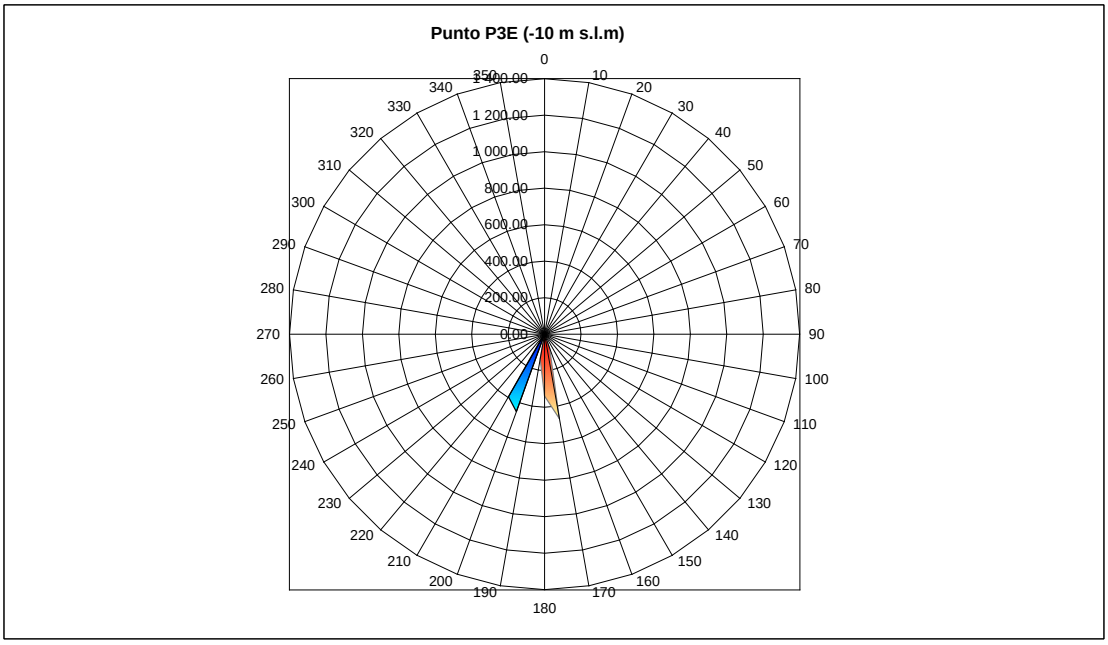


Figura 24. Distribuzione (%) Polare della componente motrice del trasporto solido (kWh/m) a Voltri – Punto P3E (-10 m s.l.m.)

Ricostruzione secondo il metodo di rifrazione diretto spettrale a partire dai dati di La Spezia trasposti a Voltri (periodo 1/7/1989-30/6/2004) (numero osservazioni utili 38.636)

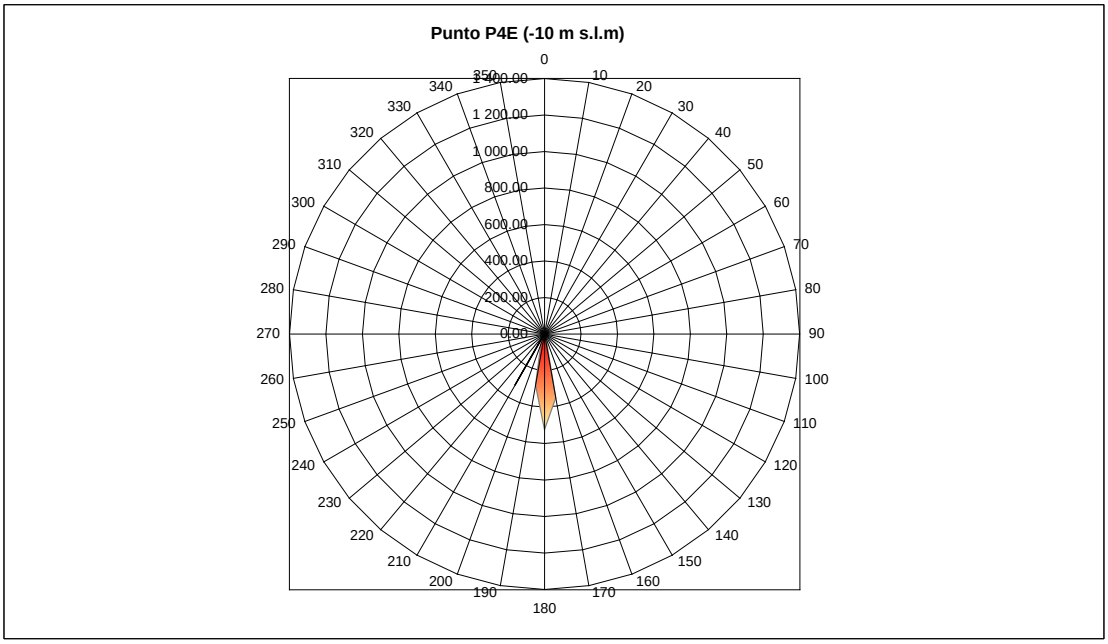


Figura 25. Distribuzione (%) Polare della componente motrice del trasporto solido (kWh/m) a Voltri – Punto P4E (-10 m s.l.m.)

Ricostruzione secondo il metodo di rifrazione diretto spettrale a partire dai dati di La Spezia trasposti a Voltri (periodo 1/7/1989-30/6/2004) (numero osservazioni utili 38.636)

5. STUDIO DELL'EVOLUZIONE DELLA SPIAGGIA

L'obiettivo principale della ricostruzione storica dell'evoluzione della linea di riva risiede nella acquisizione dei dati oggettivi di base necessari per la comprensione delle tendenze evolutive in atto e quindi per effettuare le valutazioni circa l'evoluzione futura del litorale in esame.

5.1. Dati cartografici di riferimento: selezione ed analisi qualitativa

Lo studio dell'evoluzione del litorale è stato condotto lungo l'unità fisiografica di circa 1,7 km, facendo riferimento alle seguenti fonti di dati per l'intera unità fisiografica:

- linea di riva del 2012 derivata da aerofoto in scala 1:10.000 dall'Atlante Cartografico Italiano a cura del "Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare" (vedi Figura 26);
- linea di riva del 2006 derivata da aerofoto in scala 1:10.000 dall'Atlante Cartografico Italiano a cura del "Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare" (vedi Figura 28);
- linea di riva del 2000 derivata da aerofoto in scala 1:10.000 dall'Atlante Cartografico Italiano a cura del "Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare" (vedi Figura 30);
- linea di riva del 1994 derivata da aerofoto in scala 1:10.000 dall'Atlante Cartografico Italiano a cura del "Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare" (vedi Figura 32);
- linea di riva del 1988 derivata da aerofoto in scala 1:10.000 dall'Atlante Cartografico Italiano a cura del "Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare" (vedi Figura 34).
- linea di riva del 1983 derivata dal Portale Cartografico della Regione Liguria (vedi Figura 36).
- linea di riva del 1973 derivata dal Portale Cartografico della Regione Liguria (vedi Figura 36).
- linea di riva del 1944 derivata dal Portale Cartografico della Regione Liguria (vedi Figura 36).

I dati più recenti, derivati dall'Atlante Cartografico Italiano, risultano avere un intervallo temporale costante di 6 anni.

L'analisi delle variazioni della posizione della linea di riva ha richiesto una preliminare georeferenziazione e sovrapposizione dei dati disponibili. Per ottenere una buona georeferenziazione sono stati individuati dei capisaldi comuni ai distinti gruppi di dati limitando così l'errore dovuto alle inevitabili distorsioni presenti nella cartografia in formato digitale. Il risultato della sovrapposizione delle linee di riva stoiche più antiche è riportato in Figura 36. In Figura 38 è riportato il risultato della sovrapposizione delle linee di riva storiche più recenti.

5.2. Censimento delle opere di difesa costiera

Il litorale di Voltri si estende per circa 1,7 km dalla foce del torrente Cerusa a ovest fino al porto di Sestri Ponente a est. Gia nel 1944 la foce del torrente Lejra presentava un'armatura di foce in sponda destra. La spiaggia ad ovest della foce risultava essere in una posizione molto arretrata rispetto all'attuale (vedi Figura 36). La spiaggia ad est della foce del torrente Lejra era sostenuta da un pennello. Tale pennello era posto poco più a ovest dell'attuale campo sportivo in posizione più arretrata rispetto all'armatura di foce del torrente Lejra. Ad est il pennello era collegato con una lunga scogliera radente a protezione della linea ferroviaria. Prima della realizzazione del porto di Sestri Ponente la spiaggia ad est del pennello sopra citato era inesistente.

Nel 1973 la spiaggia a ovest della foce del torrente Lejra risultava in una posizione più avanzata rispetto a quella del 1944, di circa 30 m, e prossima all'attuale,. Anche la spiaggia ad est della foce fino al pennello ad ovest dell'attuale campo sportivo risultava avanzata, ma di circa 20 m. Il pennello e la scogliera ad esso collegato erano invece stati spostati verso il mare di circa 50 m.

Nel 1983 la spiaggia a ovest dell'armatura della foce del torrente Lejra risultava prossima all'attuale. La foce del torrente Lejra risultava armata con pennelli ambo i lati. Nel 1983 era stato realizzato il porto di Sestri Ponente e tra questo ed il pennello ad ovest del campo sportivo fu realizzato un secondo pennello posto circa 170 m più ad est del primo. I due pennelli risultavano collegati con una scogliera radente posta in una posizione più avanzata di quella presente nel 1973. In questa nuova configurazione nel 1983 anche ad est della foce del torrente Lejra fino alla scogliera del porto di Sestri Ponente risultava presente una spiaggia, la posizione della linea di riva di tale spiaggia risultava prossima all'attuale ed avanzata rispetto alla linea di costa del 1973 di circa 30m. In definitiva nel periodo che va dal 1944 al 1983 il litorale di Voltri ha subito un progressivo avanzamento per effetto degli interventi antropici, prima a ovest e poi a est, raggiungendo una posizione prossima a quella attuale, sebbene leggermente avanzata. Tra il 2000 ed il 2006 ad est della foce del torrente Cerusa è stata realizzata nel retrospiaggia una scogliera di circa 140 m di lunghezza a protezione del tessuto antropico (vedi Figura 38). Allo stesso periodo risale la realizzazione nel retrospiaggia del muro in corrispondenza dell'attuale Bar della passeggiata. Nello stesso periodo dovrebbe essere stata sistemata la scogliera del retrospiaggia in corrispondenza della foce del Rio San Giuliano.

5.3. Analisi temporale delle linee di riva più recenti

La disponibilità dei dati cartografici ha consentito l'analisi dell'evoluzione storica secondo una procedura diacronica per la valutazione oggettiva dei valori di avanzamento o arretramento nel periodo più recente che va dal 1988 al 2012.

Per poter operare un confronto numerico tra le linee di riva è necessario tracciare un asse pressoché parallelo allo sviluppo longitudinale medio della spiaggia e tracciare delle sezioni trasversali ortogonali alla spiaggia e quindi all'asse. Nel caso in esame, data la curvatura della spiaggia, è stato adottato un asse curvilineo riportato in Figura 38. Il tratto di costa è stato discretizzato con sezioni tracciate ortogonalmente all'asse di riferimento ad un interasse di circa 5,0 m lungo la riva. Il metodo ha richiesto l'utilizzo del programma di calcolo Polyphemus. Le linee di riva lungo l'asse curvilinea in scala deformata sono riportate nella Figura 40.

Per ogni sezione è stata misurata la distanza della linea di riva dall'asse di riferimento al fine di determinare l'entità dell'avanzamento o dell'arretramento della linea di riva nel tempo. Nella Figura 41 sono riportate la variazioni in metri delle linee di riva rispetto all'asse di riferimento. In Figura 42 è riportata la velocità di avanzamento o arretramento della linea di riva (metri/anno) per il periodo 1988÷2012 per il litorale di Voltri. La linea di riva del 1988 appare più avanzata di quelle dei periodi successivi soprattutto nel tratto più occidentale in prossimità della foce del torrente Cerusa.

L'analisi delle Figura 38 – Figura 42 evidenzia come:

- tra il 1988 ed il 1993 la spiaggia tra la foce del torrente Lejra e la foce del torrente Cerusa ha subito una rotazione in senso orario, intorno ad un punto prossimo alla foce del torrente Lejra, con arretramenti massimi in prossimità della foce del torrente Cerusa di oltre 20 m; anche la spiaggia compresa tra la foce del Rio San Giuliano e la foce del torrente Lejra ha subito una rotazione in senso orario, intorno alla testa del pennello posto ad est del campo sportivo, con arretramento massimi di circa 15 m ad est della foce del torrente Lejra ed avanzamenti non maggiori di 5 m in corrispondenza della foce del Rio San Giuliano;
- tra il 1993 ed il 2000 la spiaggia tra la foce del torrente Lejra e la foce del torrente Cerusa ha subito una piccola rotazione in senso antiorario, intorno ad un punto prossimo al centro della spiaggia, con arretramenti massimi in prossimità della foce del torrente Lejra di circa 5 m ed avanzamenti massimi in prossimità della foce del torrente Cerusa di circa 5m; la spiaggia compresa tra la foce del Rio San Giuliano e la foce del torrente Lejra è risultata sostanzialmente stabile;

- tra il 2000 ed il 2006 sia la spiaggia compresa tra la foce del torrente Lejra e la foce del torrente Cerusa che quella compresa tra la foce del Rio San Giuliano e la foce del torrente Lejra sono risultate sostanzialmente stabili con variazioni dell'ordine di qualche metro;
- tra il 2006 ed il 2012 sia la spiaggia compresa tra la foce del torrente Lejra e la foce del torrente Cerusa che quella compresa tra la foce del Rio San Giuliano e la foce del torrente Lejra sono risultate sostanzialmente stabili con variazioni dell'ordine di qualche metro, fa eccezione il tratto di circa 250 m a ovest della foce del torrente Lejra, in corrispondenza della passeggiata, che ha subito arretramenti compresi tra i 2,0m e 5,0m.

Gli arretramenti avvenuti in prossimità della foce del torrente Cerusa tra il 1988 ed il 1993 hanno comportato la realizzazione tra il 2000 ed il 2006 della scogliera radente di circa 170 m a protezione degli insediamenti antropici.

Gli arretramenti verificatisi tra il 2006 ed il 2012 nel tratto di 250 ad ovest della foce del torrente Lejra in corrispondenza della passeggiata hanno comportato la necessità della realizzazione di un progetto di intervento oggetto del presente studio.

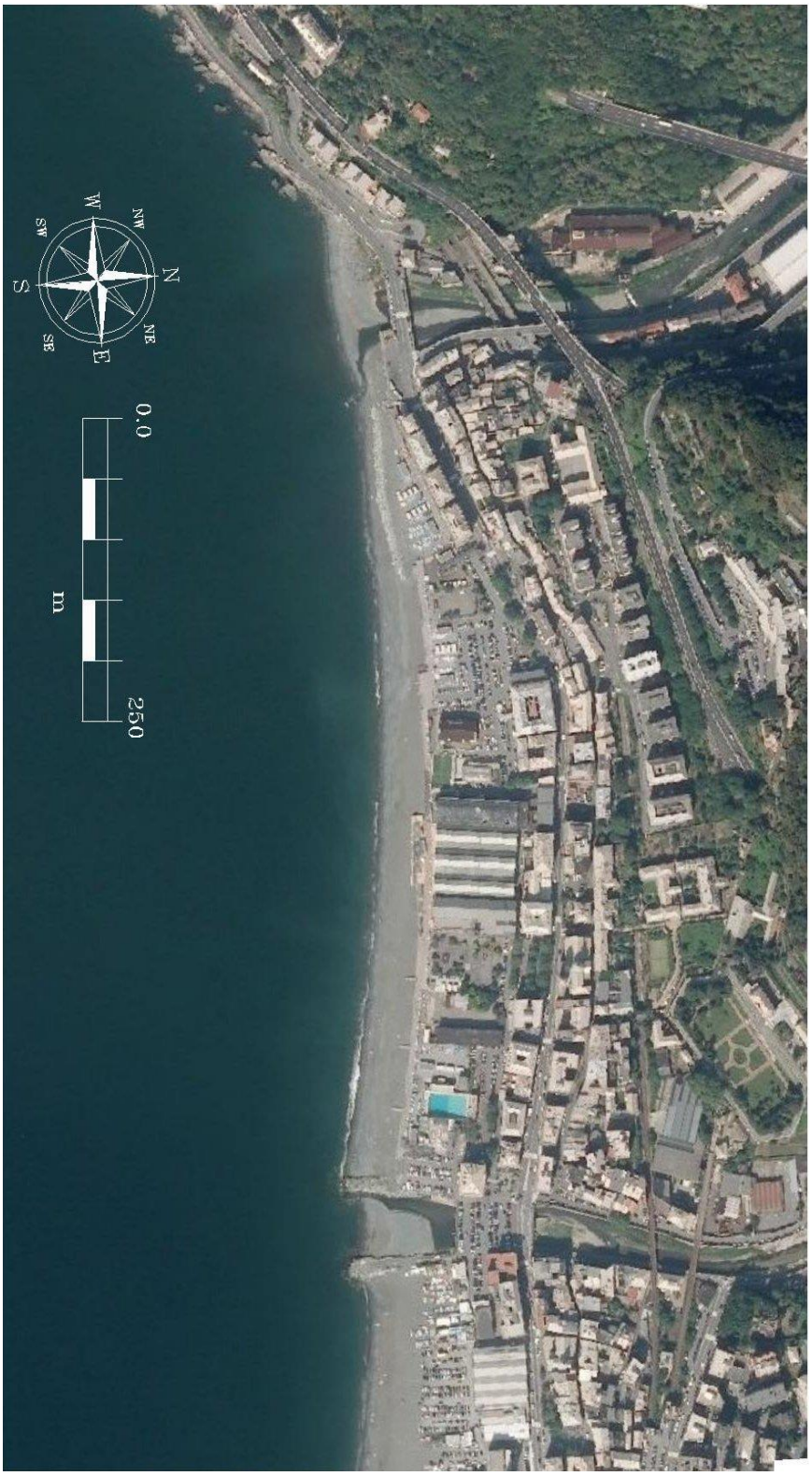


Figura 26. Aerofoto 2012 - Tratto spiaggia a ovest della foce del torrente Lejra

Atlante Cartografico Italiano - Ministero dell'Ambiente e Tutela del territorio e del Mare



Figura 27. Aerofoto 2012 - Tratto spiaggia a est della foce del torrente Lejra

Fonte: Atlante Cartografico Italiano - Ministero dell'Ambiente e Tutela del territorio e del Mare



Figura 28. Aerofoto 2006 - Tratto spiaggia a ovest della foce del torrente Lejra

Fonte: Atlante Cartografico Italiano - Ministero dell'Ambiente e Tutela del territorio e del Mare



Figura 29. Aerofoto 2006 - Tratto spiaggia a est della foce del torrente Lejra

Fonte: Atlante Cartografico Italiano - Ministero dell'Ambiente e Tutela del territorio e del Mare



Figura 30. Aerofoto 2000 - Tratto spiaggia a ovest della foce del torrente Lejra

Fonte: Atlante Cartografico Italiano - Ministero dell'Ambiente e Tutela del territorio e del Mare



Figura 31. Aerofoto 2000 - Tratto spiaggia a est della foce del torrente Lejra

Fonte: Atlante Cartografico Italiano - Ministero dell'Ambiente e Tutela del territorio e del Mare

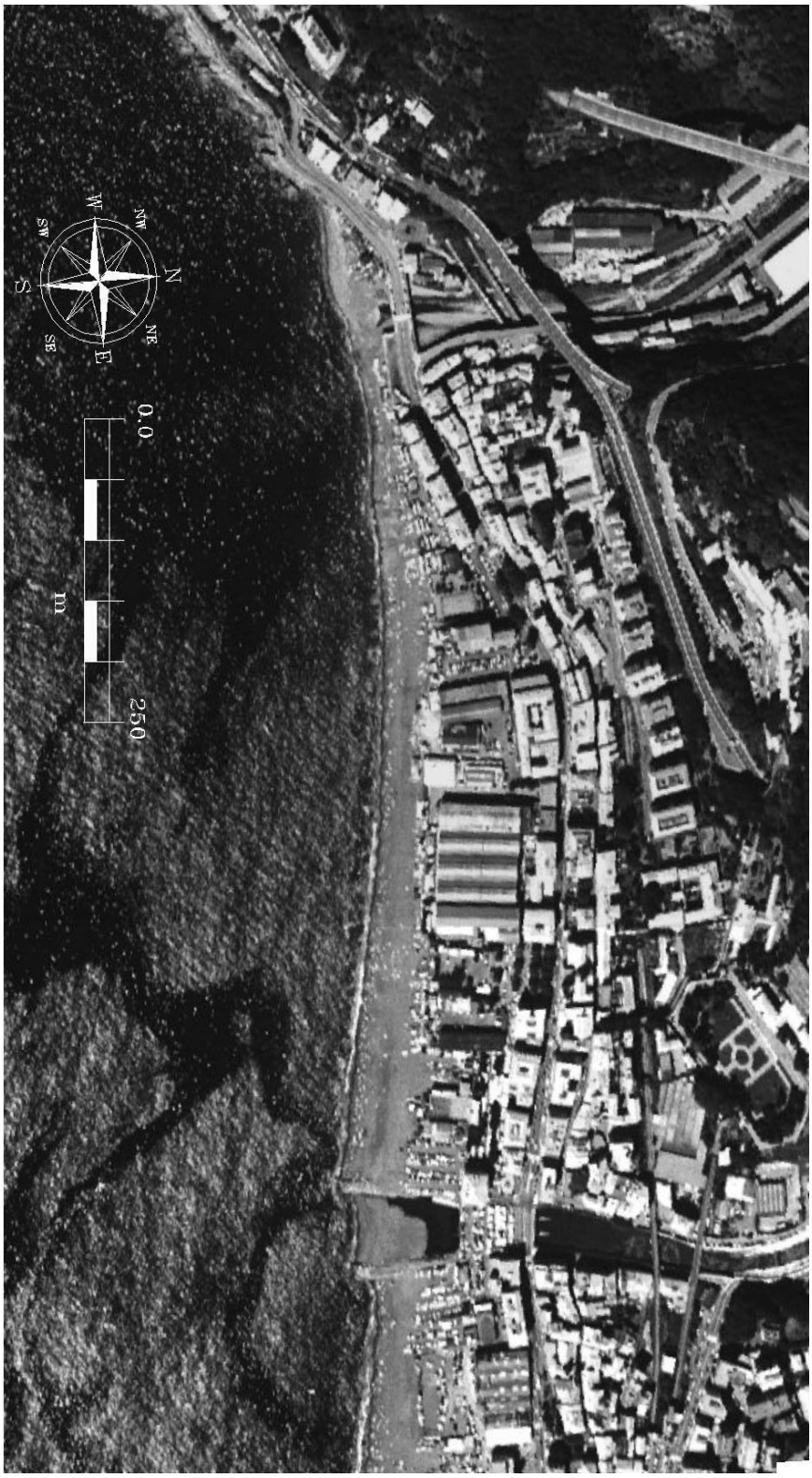


Figura 32. Aerofoto 1994 - Tratto spiaggia a ovest della foce del torrente Lejra

Fonte: Atlante Cartografico Italiano - Ministero dell'Ambiente e Tutela del territorio e del Mare

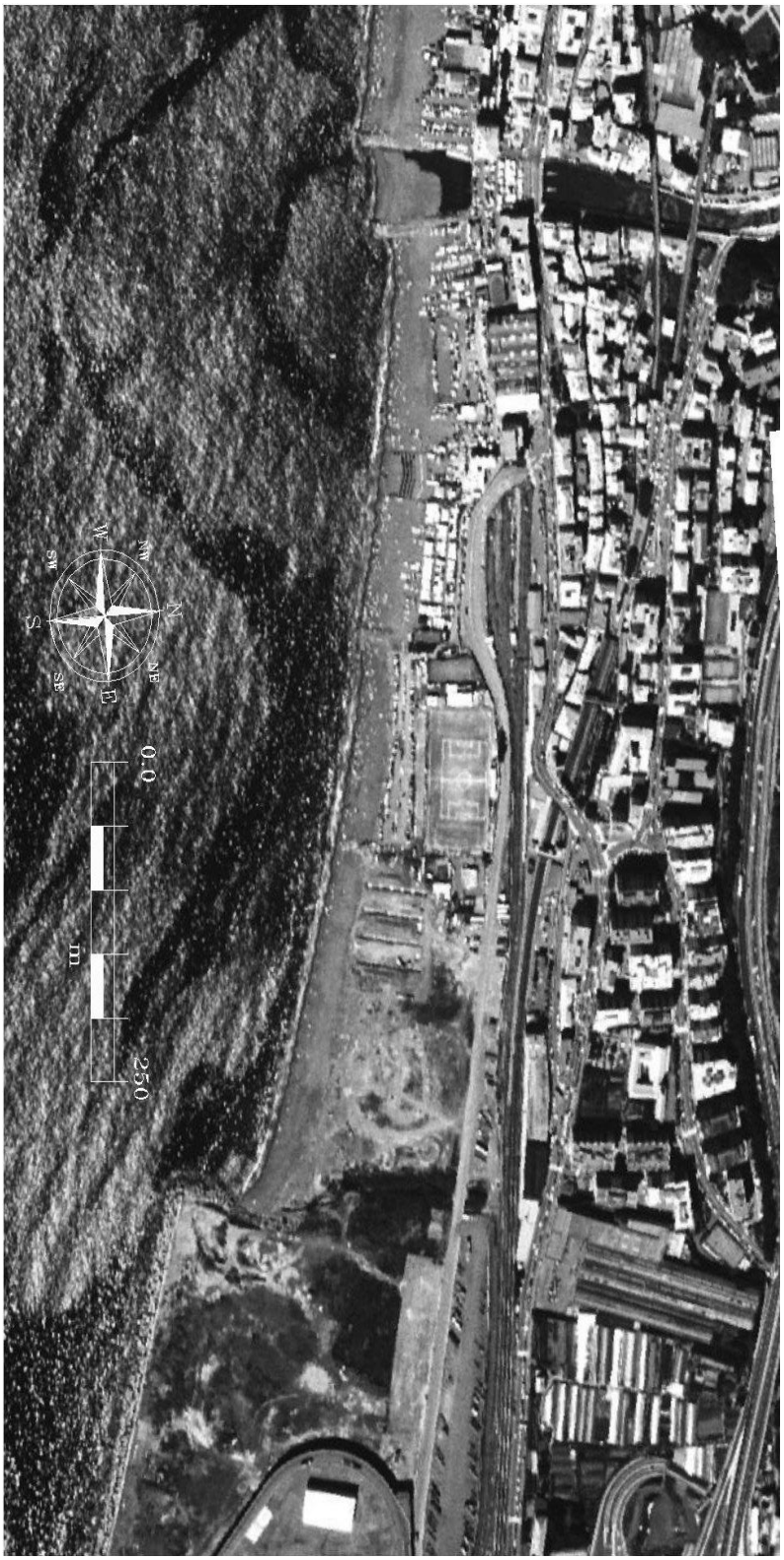


Figura 33. Aerofoto 1994 - Tratto spiaggia a est della foce del torrente Lejra

Fonte: Atlante Cartografico Italiano - Ministero dell'Ambiente e Tutela del territorio e del Mare



Figura 34. Aerofoto 1988 - Tratto spiaggia a ovest della foce del torrente Lejra

Fonte: Atlante Cartografico Italiano - Ministero dell'Ambiente e Tutela del territorio e del Mare

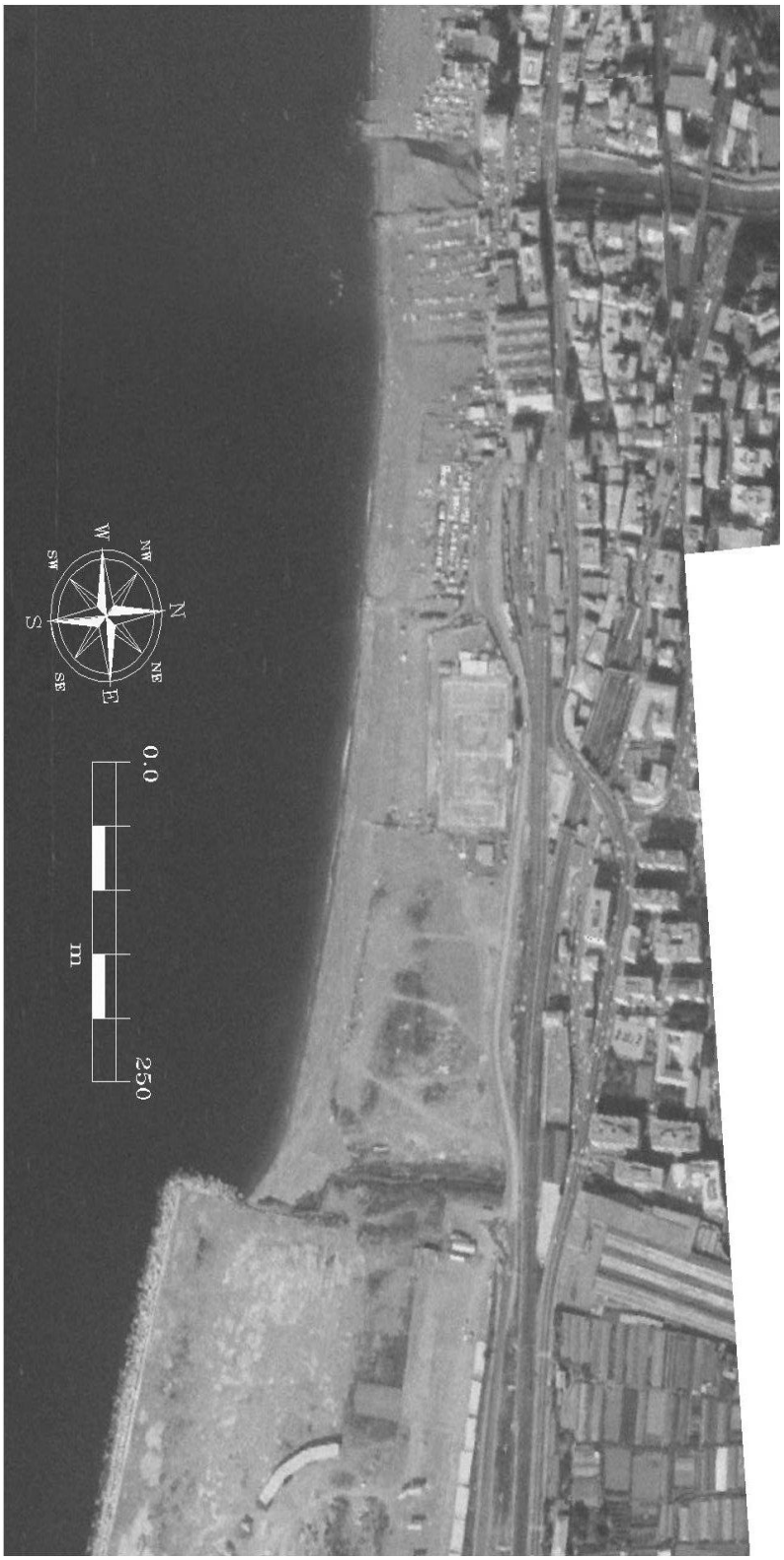


Figura 35. Aerofoto 1988 - Tratto spiaggia a est della foce del torrente Lejra

Fonte: Atlante Cartografico Italiano - Ministero dell'Ambiente e Tutela del territorio e del Mare



Figura 36. Linee di riva 1944, 1973, 1983 – Litorale di Voltri

Fonte: Portale Cartografico – Regione Liguria

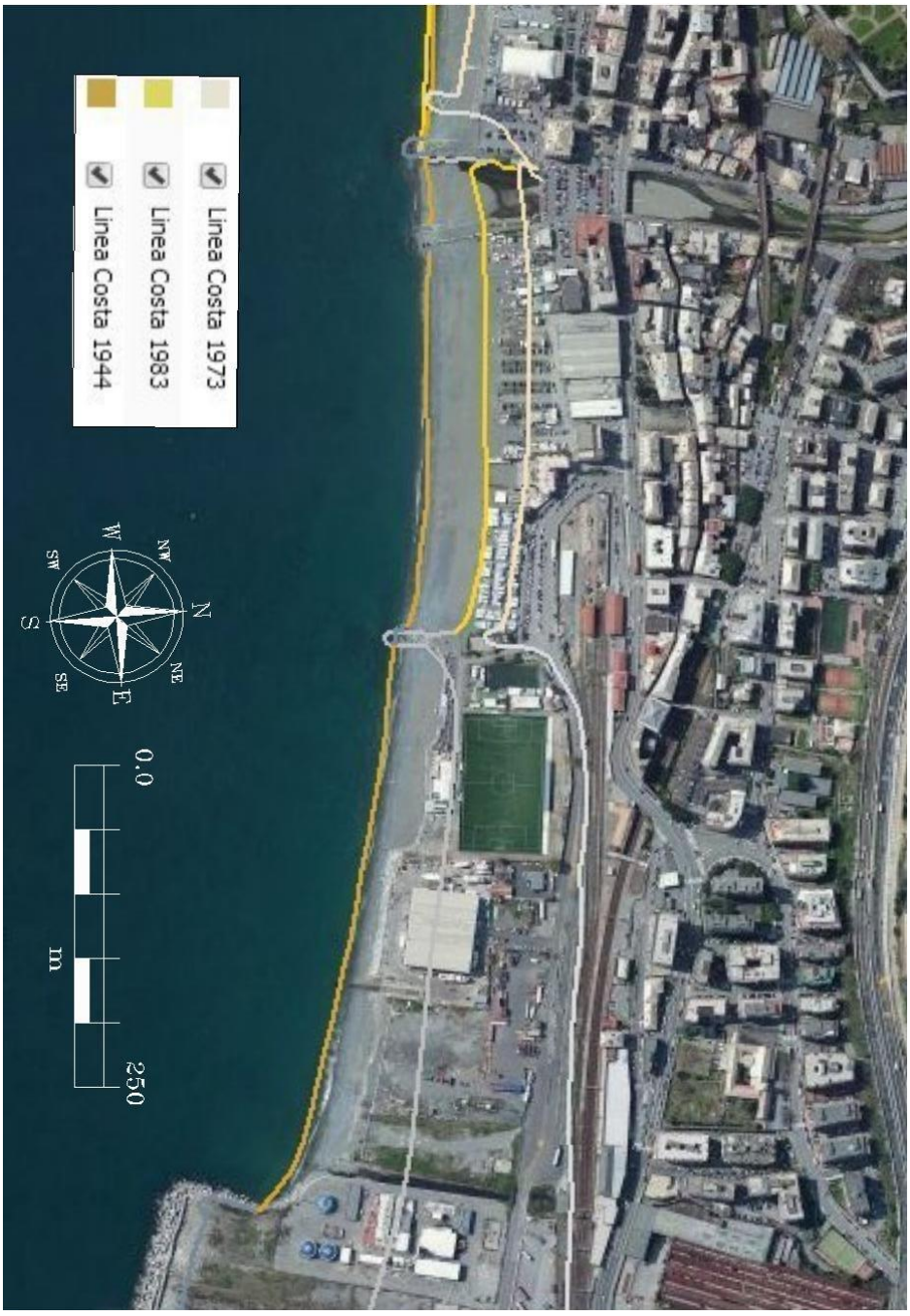


Figura 37. Linee di riva 1944, 1973, 1983 – Litorale di Voltri

Fonte: Portale Cartografico – Regione Liguria

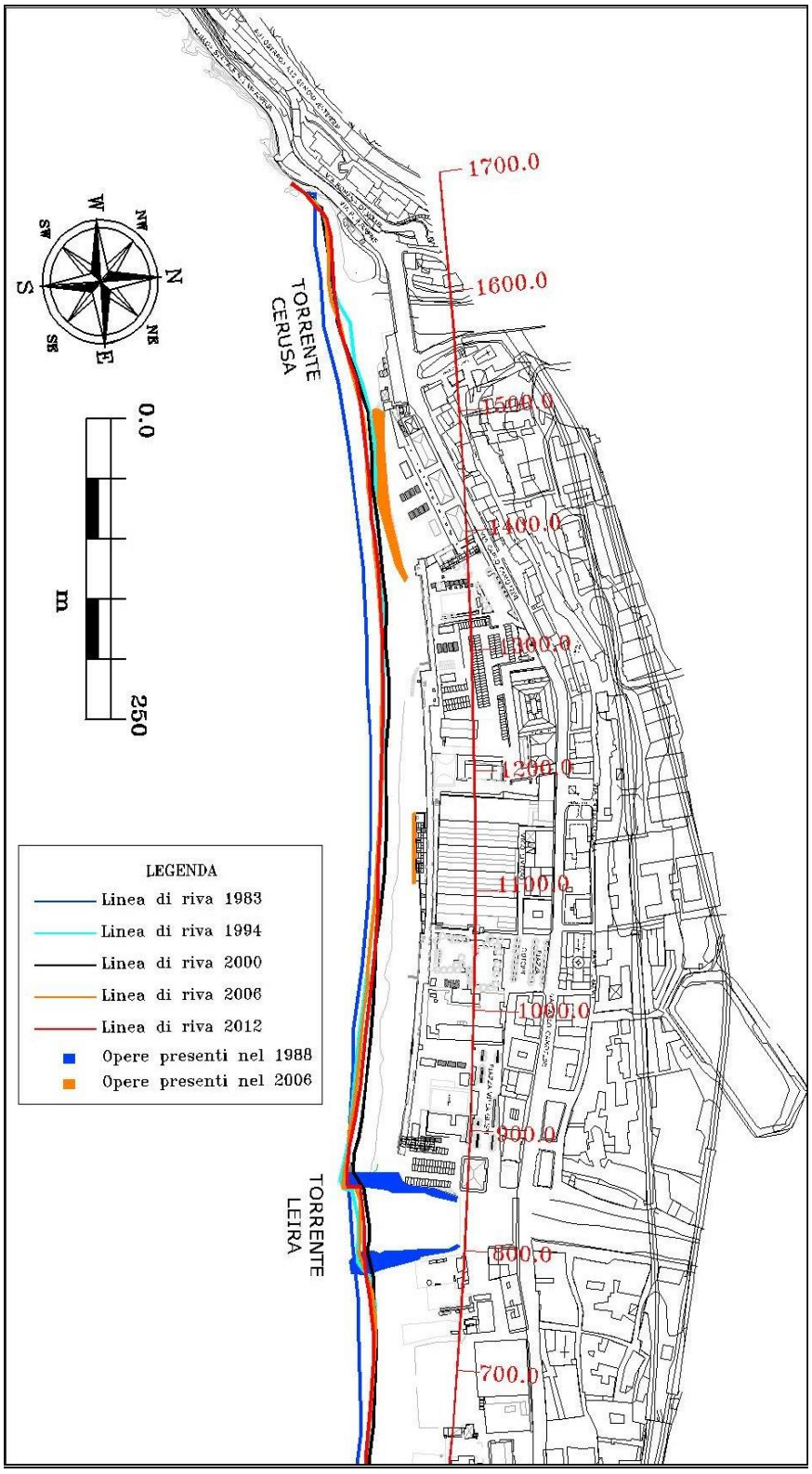


Figura 38. Linee di riva 1988, 1996, 2000, 2006, 2012 - Tratto spiaggia a ovest della foce del torrente Lejra

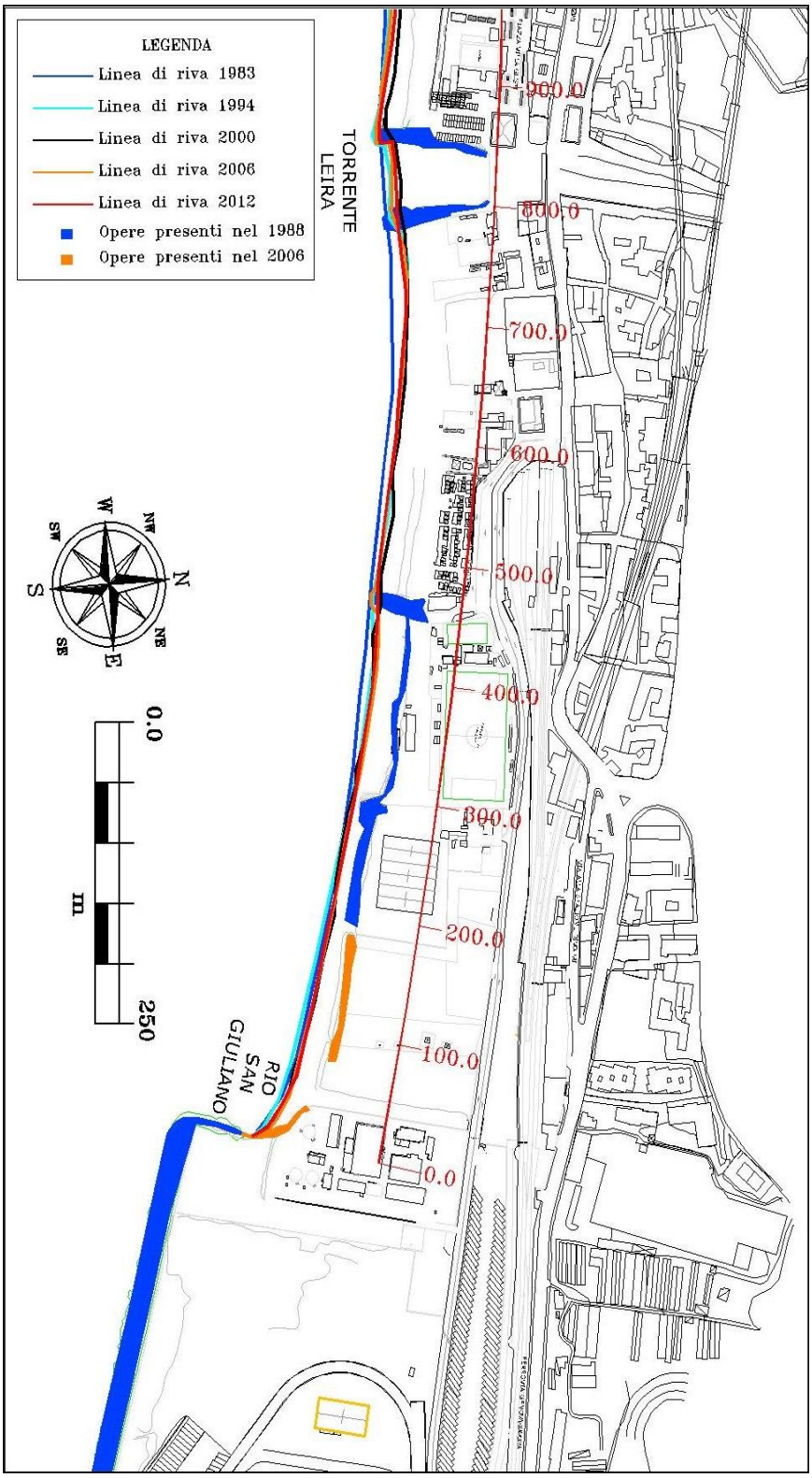


Figura 39. Linee di riva 1988, 1996, 2000, 2006, 2013 - Tratto spiaggia a est della foce del torrente Lejra

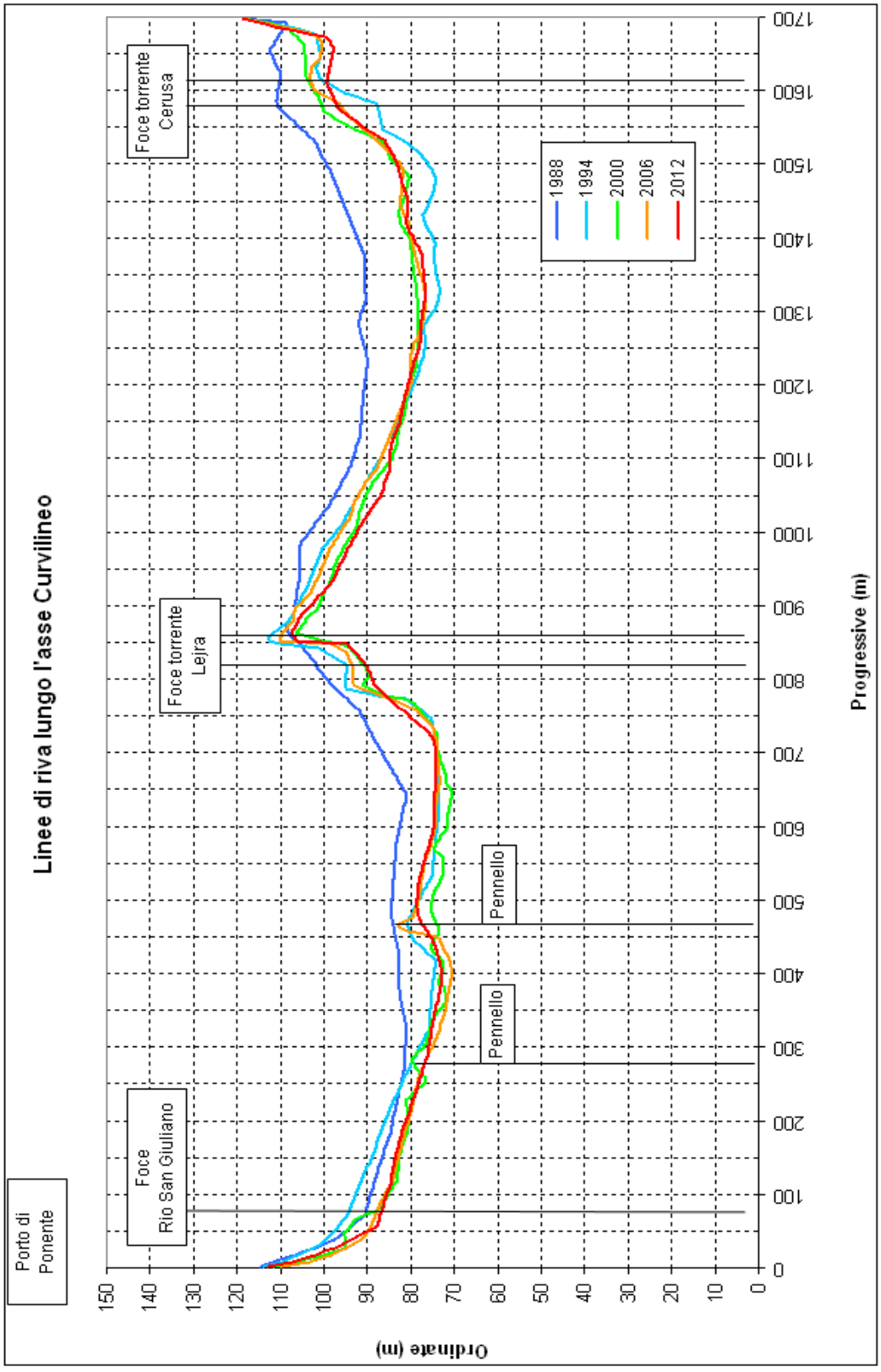


Figura 40. Linee di riva tra il 1988 ed il 2012 lungo l'asse curvilineo di riferimento

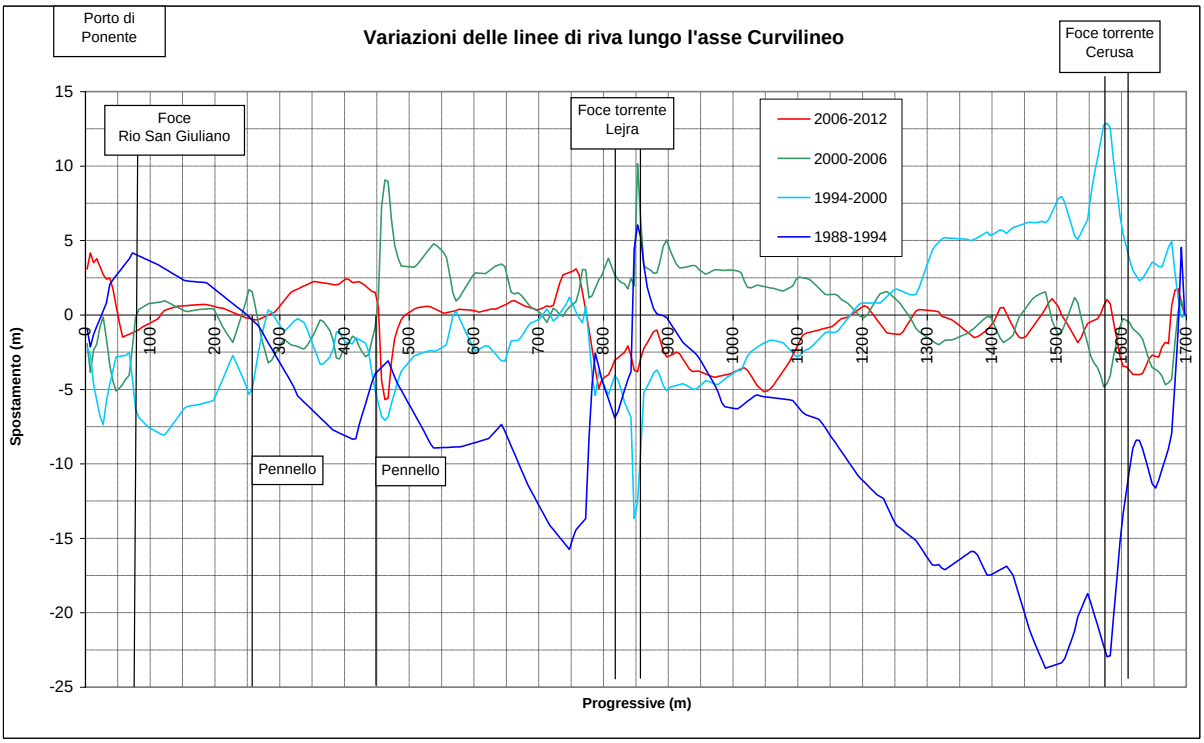


Figura 41. Variazione delle linee di riva tra il 1988 ed il 2012 lungo l'asse curvilineo di riferimento

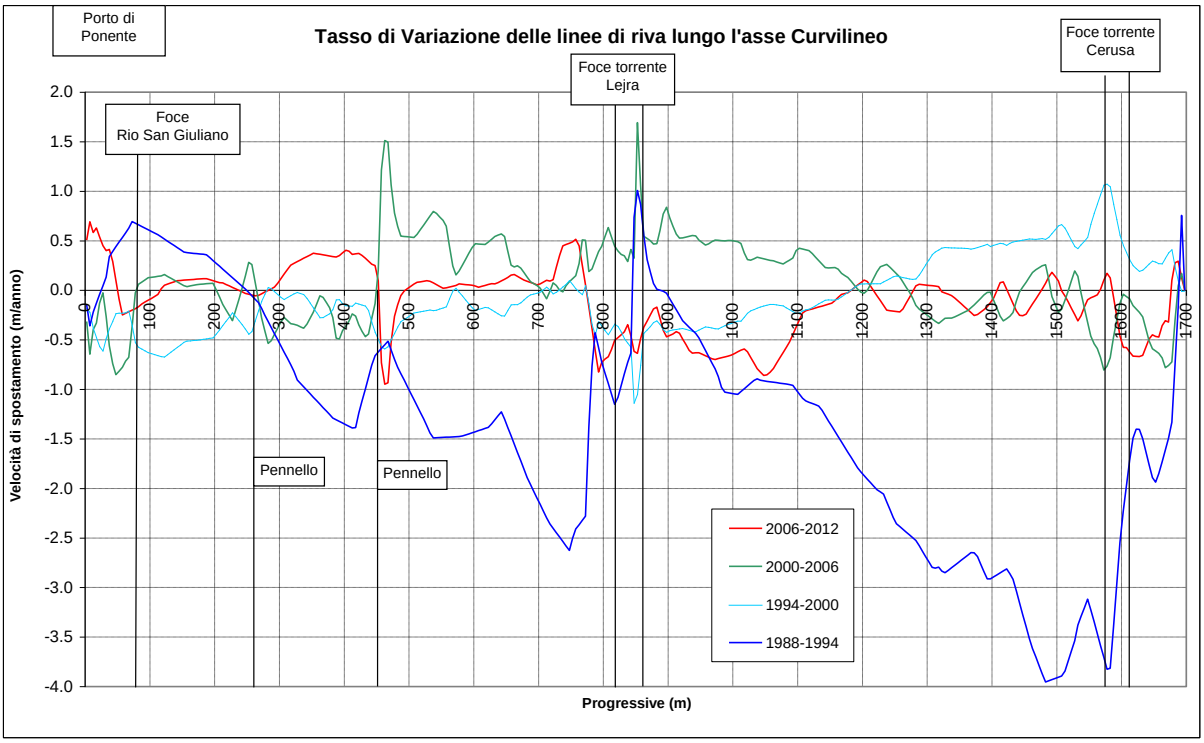


Figura 42. Velocità di variazione delle linee di riva - lungo l'asse curvilineo di riferimento

6. CALCOLO DELLE PORTATE SOLIDE NETTE LONGITUDINALI

L'analisi volumetrica relativa ai cambiamenti morfologici del fondale consente di valutare quantitativamente il volume degli apporti solidi o delle erosioni avvenute lungo la spiaggia in oggetto e di determinare l'andamento delle portate solide nette lungo la stessa spiaggia. Nel caso in cui risulti nota anche la portata solida netta in un punto, l'analisi volumetrica consente di definire le portate solide nette medie nell'intervallo di tempo intercorso tra i rilievi. Nel caso in esame avendo considerato l'intera unità fisiografica possono essere considerati nulli gli scambi solidi con l'esterno. In realtà per una corretta applicazione del metodo è necessario conoscere anche le portate solide di apporto dei corsi d'acqua che insistono sull'unità fisiografica. A tal riguardo si ottengono valori soddisfacenti delle portate solide longitudinali assumendo nel periodo successivo al 1988 i valori degli apporti solidi medi dei corsi d'acqua calcolati nella sezione precedente :

- per il torrente Cerusa un valore di circa 1.100 m^3/anno;
- per il torrente Lejra un valore di 1.300 m^3/anno;
- per il fosso che passa sotto la ferrovia un valore trascurabile

L'analisi volumetrica richiede la disponibilità di rilievi storici, batimetrici e topografici, della fascia litoranea, molto spesso difficilmente reperibili per l'intero tratto di costa da investigare. Anche in questo caso i dati a disposizione non sono completi. E' diventata ormai consuetudine negli studi morfodinamici effettuare l'analisi volumetrica facendo riferimento ai soli dati delle linee di riva disponibili. Tale consuetudine si basa sull'osservazione che le spiagge, pur modificandosi, tendono a conservare la forma del profilo trasversale, la quale è funzione della risultante energetica del moto ondoso incidente nel paraggio e della granulometria del sedimento. La risultante energetica del moto ondoso è funzione dell'esposizione del paraggio e del clima meteomarino che, per intervalli di tempo di alcuni decenni come quelli considerati negli studi morfodinamici, possono considerarsi costanti.
La granulometria del fondale, a meno di eventi particolari che ne modificano repentinamente la composizione, può essere anch'essa considerata costante.
Inoltre numerosi autori hanno osservato (es. Dean) che il profilo trasversale della spiaggia fino alla profondità entro la quale si muove il materiale sotto l'azione del moto ondoso, "profondità di chiusura", può essere espresso, per la parte sommersa, a meno del sistema di barre, attraverso leggi del tipo:

$$d_s = -A\, y^{\gamma} \qquad (5)$$

essendo :

- y la distanza dalla linea di riva;
- d_s la profondità del fondale alla distanza y dalla linea di riva;
- A un coefficiente funzione del diametro del sedimento;
- γ un coefficiente esponenziale compreso tra 0 ed 1 , pari secondo Dean a 2/3;

considerando positive le ascisse verticali dirette verso l'alto

Per rendere pienamente esaustiva l'analisi volumetrica è necessario anche caratterizzare il profilo medio della porzione di spiaggia emersa. In genere la parte emersa che partecipa attivamente ai fenomeni di dinamica costiera risulta confinata in una fascia y ristretta. Per la sola parte relativa alla battigia soggetta ai fenomeni di set-up e run-up si può far riferimento ad una legge simile alla 4.1a del tipo:

$$d_e = B\, y^{\beta} \qquad (6)$$

essendo :

- d_e l'altezza della spiaggia emersa alla distanza y dalla linea di riva;
- B un coefficiente funzione del diametro del sedimento;
- β un coefficiente esponenziale >0 in genere assunto pari ad 1.

Considerato il volume di spiaggia compreso tra due sezioni trasversali poste ad interasse "ds" lungo la linea di riva, la variazione di volume ΔV nell'intervallo di tempo dt è pari, per il principio di conservazione della massa, alla variazione della portata lungo la linea di riva ovvero:

$$\Delta V/dt = -\partial Q/\partial s \; ds \qquad (7)$$

considerando positivi i flussi solidi diretti nel verso positivo del sistema di riferimento assunto lungo la linea di riva e positivi gli aumenti di volume.

Sotto le ipotesi di invariabilità della forma del profilo trasversale, per spiagge ad andamento rettilineo, detto x l'asse parallelo alla linea di riva, risulta per qualsiasi forma del profilo trasversale (vedi figura 24):

$$\Delta V = (D_c + D_b)\, dy\, dx \qquad (8)$$

essendo:

- dx la distanza tra le due sezioni;
- dy lo spostamento della linea di riva;

- D_c la profondità di chiusura oltre la quale non avviene sostanziale movimento del materiale;
- D_b la altezza della spiaggia emersa che partecipa ai fenomeni di dinamica costiera per effetto dei fenomeni di wave set-up e run-up.

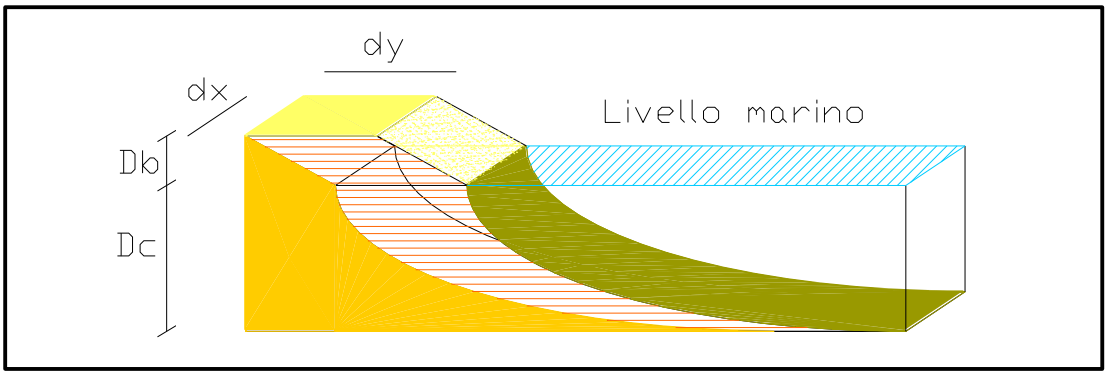


Figura 43. Variazioni di volume per spiagge rettilinee

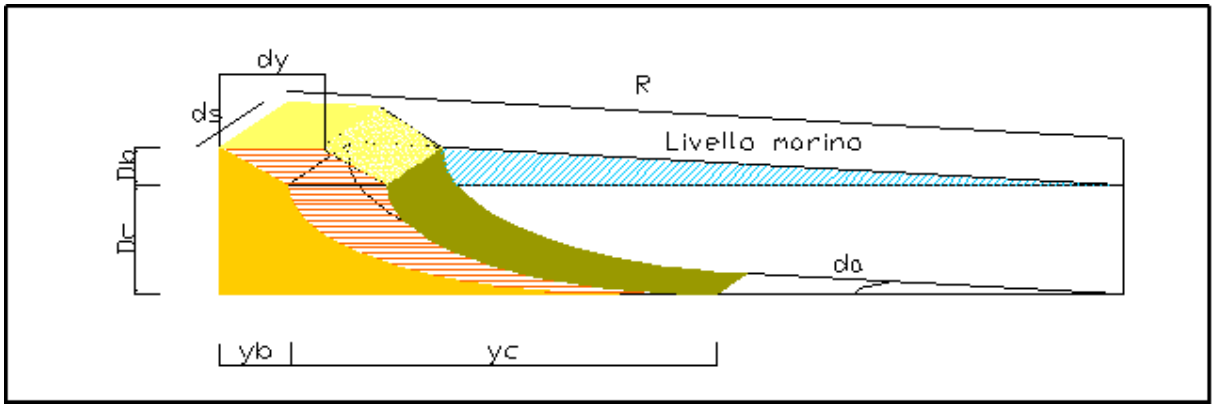


Figura 44. Variazioni di volume per spiagge ad arco di cerchio

Per spiagge curvilinee la variazione di volume ΔV può essere determinata con l'espressione:

$$\Delta V = (D_c+D_b)\, dy\, d\alpha\, (R-dy/2) + dy\; d\alpha\, \{[D_b\, y_b/(\beta+1)] - [D_c\, y_c/(\gamma+1)]\} \quad (9)$$

essendo:

- $d\alpha$ l'angolo formato tra le due sezioni;
- R la distanza della linea di riva originaria con il centro di curvatura;
- y_c la distanza dalla linea di riva della profondità di chiusura;
- y_b la distanza dalla linea di riva della massima altezza della spiaggia emersa che partecipa ai fenomeni di dinamica costiera;
- γ l'esponente dell'equazione 5;
- β l'esponente dell'equazione 6.

Utilizzando i valori di D_c=7,9m e D_b=1,6m attraverso il programma Polyphemus che sfrutta la relazione 9, si ottengono le variazioni di volume tra le sezioni ad interasse di 5 metri lungo la spiaggia riportate in Figura 43. Nella figura si intendono positivi i volumi di sabbia accumulati e negativi quelli persi.

Le variazioni volumetriche determinate in base alle linee di riva degli anni 1954, 1968, 1973, 1994, 2000, 2006 e 2012 dei tratti di spiaggia compresi tra il Porto si Sestri Ponente (prog. 0.0) e la foce del torrente Lejra (progr. 795), tra la foce del torrente Lejra e la foce del torrente Cerusa (progr. 1.700), nonché quelle dell'intera spiaggia esaminata, sono riportati in Tabella 33. In Tabella 34 sono riportate le variazioni volumetriche medie annue per gli stessi tratti di costa e per gli stessi periodi.

Dall'analisi della Tabella **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**33 e Tabella 34 si evince he:

- tra il 1988 ed il 1993 la spiaggia compresa tra la foce del Rio San Giuliano e la foce del torrente Lejra ha subito una perdita di circa 35.000 metri cubi, mentre la spiaggia tra la foce del torrente Lejra e la foce del torrente Cerusa ha subito una perdita di oltre 90.000 metri cubi;
- tra il 1933 ed il 2000 la spiaggia compresa tra la foce del Rio San Giuliano e la foce del torrente Lejra ha subito una perdita di circa 11.500 metri cubi, mentre la spiaggia tra la foce del torrente Lejra e la foce del torrente Cerusa ha subito un incremento di circa 4.500 metri cubi di sedimento;
- tra il 2000 ed il 2006 sia la spiaggia compresa tra la foce del Rio San Giuliano e la foce del torrente Lejra che la spiaggia tra la foce del torrente Lejra e la foce del torrente Cerusa hanno subito un incremento materiale valutato in circa 3.000 metri cubi per la prima e in circa 5.000 metri cubi per la seconda.
- Tra il 2006 ed il 2012 la spiaggia compresa tra la foce del Rio San Giuliano e la foce del torrente Lejra ha subito ancora un incremento di circa 4.000 metri cubi, mentre la spiaggia tra la foce del torrente Lejra e la foce del torrente Cerusa ha subito una perdita di circa 14.000 metri cubi di materiale.

Il valore della portata solida netta media lungo la sub-unità fisiografica in esame, nell'intervallo di tempo compreso tra il 1988 ed il 2012, ottenuta dal programma di calcolo Polyphemus sfruttando la relazione 9 con le assunzioni fatte nel presente paragrafo, è rappresentata in Figura 46 . Dall'analisi della Figura 46 si evince che, se si esclude il periodo tra il 1988 ed il 1993 in cui si è verificata una variazione morfologica del litorale, il valore del trasporto solido longitudinale netto lungo tutto il litorale di Voltri risulta essere basso dell'ordine dei 2.000 m^3/anno. Inoltre non vi è una direzione prevalentemente del trasporto solido longitudinale netto. Nel periodo tra il 1994 ed il 2000 il trasporto

solido netto è risultato diretto verso ovest, mentre nel periodo successivo al 2000 esso è risultato diretto verso est. Pertanto a seconda del prevalere del moto ondoso proveniente da libeccio rispetto a quello proveniente da scirocco il torrente Lejra alimenta con i sui detriti la spiaggia posta ad est della foce o quella posta ad ovest. Il torrente Cerusa invece alimenta essenzialmente la spiaggia compresa tra le foci dei due torrenti.

Nel periodo compreso tra il 1988 ed il 1993 in cui si è registrata la rotazione delle due spiagge in senso orario vi è stata una migrazione di sedimento da ovest verso est con valori massimi di circa 7.000 m^3/anno per la spiaggia ad ovest della foce del torrente Lejra e di circa 6.000 m^3/anno per la spiaggia ad est della stessa foce.

L'andamento delle portate solide nette nel periodo più recente 2000÷2012 è in ottimo accordo con il trasporto solido netto longitudinale potenziale determinato in precedenza utilizzando i dati meteomarini. L'andamento del trasporto solido netto potenziale rispecchia particolarmente l'andamento del trasporto solido netto del periodo 2000÷2006 determinato in base agli spostamenti della linea di riva, pertanto tale andamento può essere preso come riferimento per le modellazioni morfodinamiche.

	Periodo			
	1988-1994	1994-2000	2000-2006	2006-2013
Progressive (m)	Volume (m^3)			
0-795	-35 069	-11 548	3 394	4 134
795-1700	-93 459	4 560	5 093	-14 381
0-1700	**-128 529**	**-6 989**	**8 488**	**-10 248**

Tabella 33. Variazioni volumetriche lungo il litorale di Voltri (in m^3)

	Periodo			
	1988-1994	1994-2000	2000-2006	2006-2013
Progressive (m)	Volume (m^3/anno)			
0-795	-5 845	-1 925	566	689
795-1700	-15 577	760	849	-2 397
0-1700	**-21 421**	**-1 165**	**1 415**	**-1 708**

Tabella 34. Variazioni volumetriche medi annue lungo il litorale di Voltri (in m^3/anno)

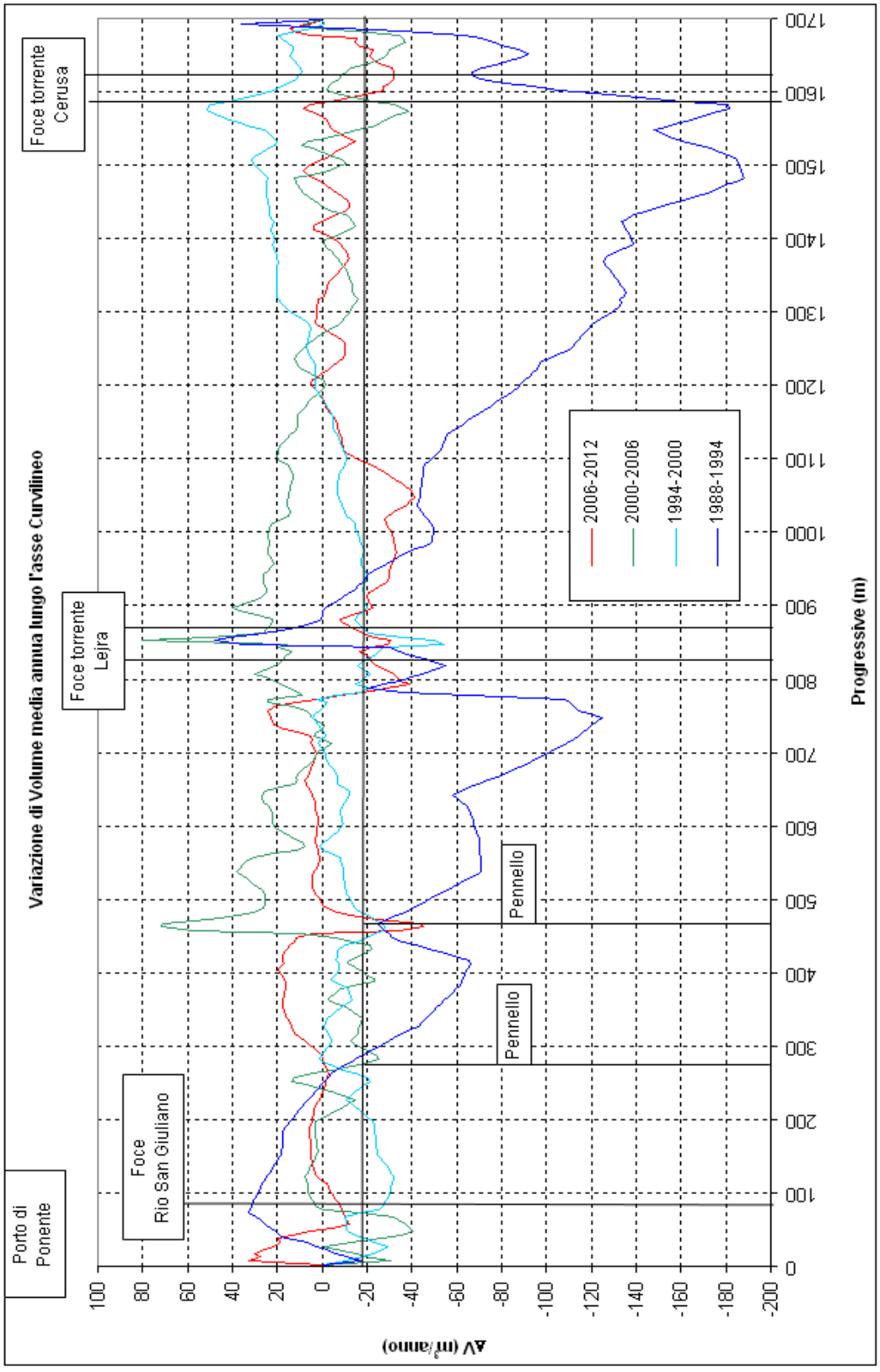

Variazione di Volume media annua lungo l'asse Curvilineo
Foce torrente Cerusa
Foce torrente Leira
Foce Rio San Giuliano
Porto di Ponente
Pennello
Pennello
2006-2012
2000-2006
1994-2000
1988-1994
ΔV (m³/anno)
Progressive (m)
100
80
60
40
20
0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
-180
-200
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
1100
1200
1300
1400
1500
1600
1700

Figura 45. Andamento della variazione di volume lungo l'asse di riferimento

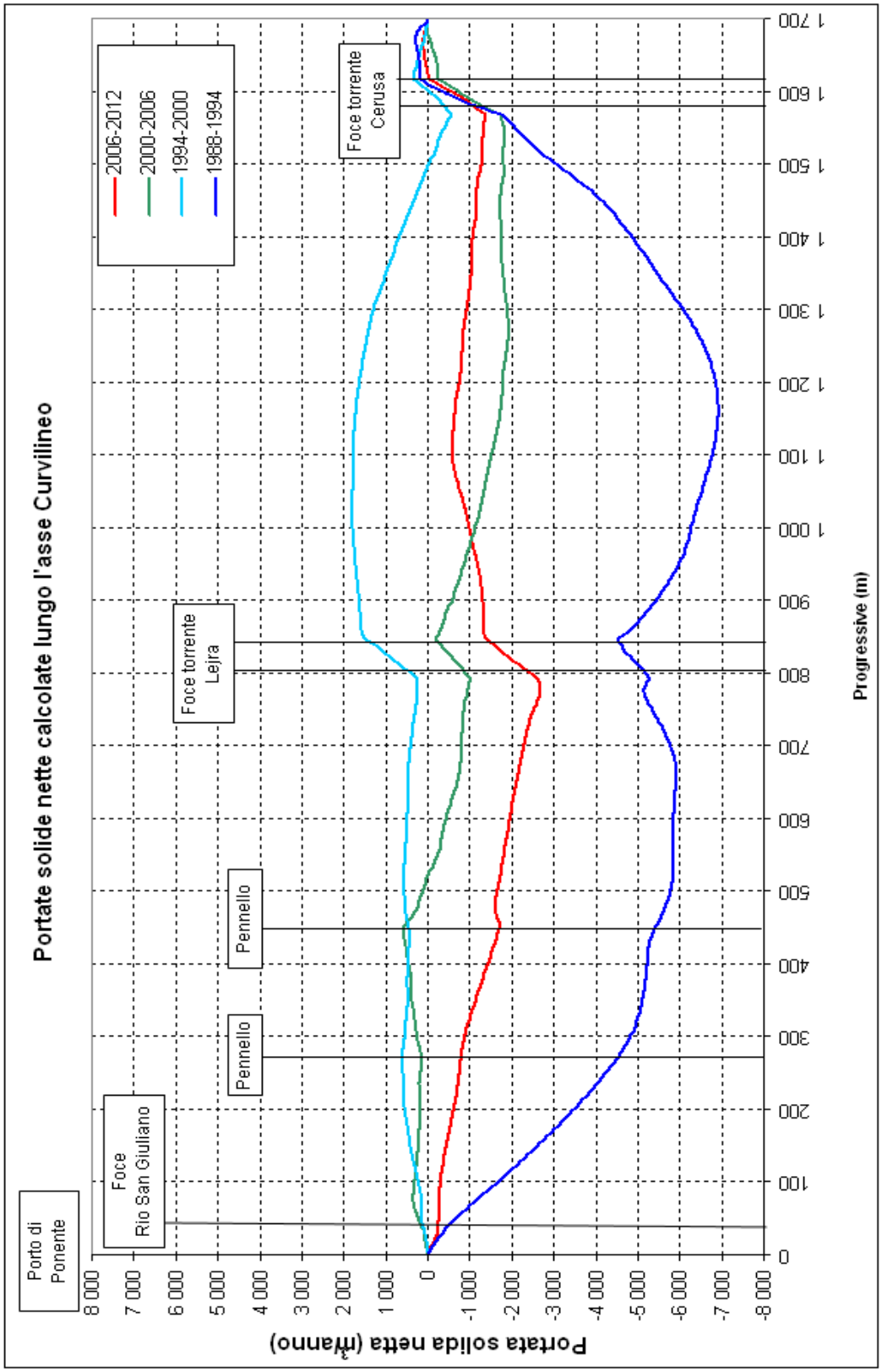


Figura 46. Andamento del trasporto solido netto lungo l'asse di riferimento

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1. Unità fisiografica del litorale oggetto di studio 4

Figura 2. Litorale di Voltri 5

Figura 3. Aerofoto del litorale di Voltri 7

Figura 4. Rilievo batimetrico, Sezioni trasversali di riferimento e Punti di campionamento 11

Figura 5. Diametro medio e D_{50} lungo la spiaggia di Voltri a +1,0 m sul l.m.m. 26

Figura 6. Diametro medio e D_{50} lungo la spiaggia di Voltri a -1,0 m sul l.m.m. 26

Figura 7. Diametro medio e D_{50} lungo la spiaggia di Voltri a -3,0 m sul l.m.m 27

Figura 8. Diametro medio e D_{50} lungo la spiaggia di Voltri a -6,0 m sul l.m.m. 27

Figura 9. Profilo trasversale Sezione A 28

Figura 10. Profilo trasversale Sezione B 28

Figura 11. Profilo trasversale Sezione C 29

Figura 12. Profilo trasversale Sezione D 29

Figura 13. Profilo trasversale Sezione E 30

Figura 14. Profilo trasversale Sezione F 30

Figura 15. Profilo trasversale Sezione G 31

Figura 16. Bacini idrografici del litorale di Voltri 35

Figura 17. Carta geologica dei bacini imbriferi che sfocino sul litorale di Voltri 36

Figura 18. Carta uso del suolo dei bacini imbriferi che sfocino sul litorale di Voltri 38

Figura 19. Distribuzione (%) Polare della componente motrice del trasporto solido (kWh/m) a Voltri – Punto P4W (-10 m s.l.m.) 43

Figura 20. Distribuzione (%) Polare della componente motrice del trasporto solido (kWh/m) a Voltri – Punto P3W (-10 m s.l.m.) 43

Figura 21. Distribuzione (%) Polare della componente motrice del trasporto solido (kWh/m) a Voltri – Punto P2W (-10 m s.l.m.) 44

Figura 22. Distribuzione (%) Polare della componente motrice del trasporto solido (kWh/m) a Voltri – Punto P1 (-10 m s.l.m.) 44

Figura 23. Distribuzione (%) Polare della componente motrice del trasporto solido (kWh/m) a Voltri – Punto P2E (-10 m s.l.m.) 45

Figura 24. Distribuzione (%) Polare della componente motrice del trasporto solido (kWh/m) a Voltri – Punto P3E (-10 m s.l.m.) 45

Figura 25. Distribuzione (%) Polare della componente motrice del trasporto solido (kWh/m) a Voltri – Punto P4E (-10 m s.l.m.) 46

Figura 26. Aerofoto 2012 - Tratto spiaggia a ovest della foce del torrente Lejra 51

Figura 27. Aerofoto 2012 - Tratto spiaggia a est della foce del torrente Lejra 52

Figura 28. Aerofoto 2006 - Tratto spiaggia a ovest della foce del torrente Lejra 53

Figura 29. Aerofoto 2006 - Tratto spiaggia a est della foce del torrente Lejra 54

Figura 30. Aerofoto 2000 - Tratto spiaggia a ovest della foce del torrente Lejra 55

Figura 31. Aerofoto 2000 - Tratto spiaggia a est della foce del torrente Lejra 56

Figura 32. Aerofoto 1994 - Tratto spiaggia a ovest della foce del torrente Lejra 57

Figura 33. Aerofoto 1994 - Tratto spiaggia a est della foce del torrente Lejra 58

Figura 34. Aerofoto 1988 - Tratto spiaggia a ovest della foce del torrente Lejra 59

Figura 35. Aerofoto 1988 - Tratto spiaggia a est della foce del torrente Lejra 60

Figura 36. Linee di riva 1944, 1973, 1983 – Litorale di Voltri 61

Figura 37. Linee di riva 1944, 1973, 1983 – Litorale di Voltri 62

Figura 38. Linee di riva 1988, 1996, 2000, 2006, 2012 - Tratto spiaggia a ovest della foce del torrente Lejra 63

Figura 39. Linee di riva 1988, 1996, 2000, 2006, 2013 - Tratto spiaggia a est della foce del torrente Lejra 64

Figura 40. Linee di riva tra il 1988 ed il 2012 lungo l'asse curvilineo di riferimento 65

Figura 41. Variazione delle linee di riva tra il 1988 ed il 2012 lungo l'asse curvilineo di riferimento 66

Figura 42. Velocità di variazione delle linee di riva - lungo l'asse curvilineo di riferimento 66

Figura 43. Variazioni di volume per spiagge rettilinee 69

Figura 44. Variazioni di volume per spiagge ad arco di cerchio 69

Figura 45. Andamento della variazione di volume lungo l'asse di riferimento 73

Figura 46. Andamento del trasporto solido netto lungo l'asse di riferimento..... 74

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1. Analisi granulometrica transetto A campione A+1 12

Tabella 2. Analisi granulometrica transetto A campione A1 12

Tabella 3. Analisi granulometrica transetto A campione A3 13

Tabella 4. Analisi granulometrica transetto A campione A6 13

Tabella 5. Analisi granulometrica transetto B campione B+1 14

Tabella 6. Analisi granulometrica transetto B campione B1. 14

Tabella 7. Analisi granulometrica transetto B campione B3 15

Tabella 8. Analisi granulometrica transetto B campione B6 15

Tabella 9. Analisi granulometrica transetto C campione C+1 16

Tabella 10. Analisi granulometrica transetto C campione C1. 16

Tabella 11. Analisi granulometrica transetto C campione C3 17

Tabella 12. Analisi granulometrica transetto C campione C6 17

Tabella 13. Analisi granulometrica transetto D campione D+1 18

Tabella 14. Analisi granulometrica transetto D campione D1. 18

Tabella 15. Analisi granulometrica transetto D campione D3 19

Tabella 16. Analisi granulometrica transetto D campione D6 19

Tabella 17. Analisi granulometrica transetto E campione E+1 20

Tabella 18. Analisi granulometrica transetto E campione E1. 20

Tabella 19. Analisi granulometrica transetto E campione E3 21

Tabella 20. Analisi granulometrica transetto E campione E6 21

Tabella 21. Analisi granulometrica transetto F campione F+1 22

Tabella 22. Analisi granulometrica transetto F campione F1. 22

Tabella 23. Analisi granulometrica transetto F campione F3 23

Tabella 24. Analisi granulometrica transetto F campione F6 23

Tabella 25. Analisi granulometrica transetto G campione G+1 24

Tabella 26. Analisi granulometrica transetto G campione G1. 24

Tabella 27. Analisi granulometrica transetto G campione G3 25

Tabella 28. Analisi granulometrica transetto G campione G6 25

Tabella 29. Classi di erodibilità adottate per la stima dell'ablazione totale potenziale dei bacini idrografici 34

Tabella 30. Stima dell'ablazione totale potenziale e del trasporto solido potenziale dei bacini idrografici del litorale di Voltri 34

Tabella 31. Stima del trasporto solido effettivo dei bacini idrografici del litorale di Voltri 34

Tabella 32. Flusso d'energia del moto ondoso risultante e componente motrice del trasporto solido netto longitudinale 42

Tabella 33. Variazioni volumetriche lungo il litorale di Voltri (in m^3) 71

Tabella 34. Variazioni volumetriche medi annue lungo il litorale di Voltri (in m^3/anno) 71

ALLEGATO