



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI GENOVA FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Corso di Laurea in Ingegneria Civile e Ambientale
TESI DI LAUREA TRIENNALE

Anno Accademico 2013 – 2014

“ Studio sull'evoluzione del profilo trasversale di spiagge in ghiaia e ciottoli ”

Relatore : Chiar.mo Prof. Ing. Giovanni Besio

Candidata: Clizia Corsi



SINTESI DELLO STUDIO



- Analisi dei principali modelli per l'analisi dell'evoluzione dei profili trasversali di spiagge in ghiaia e ciottoli
- Evoluzione geomorfologica dei litorali italiani: azione antropica
- Applicazione dei modelli a un caso reale: spiaggia di Vernazzola



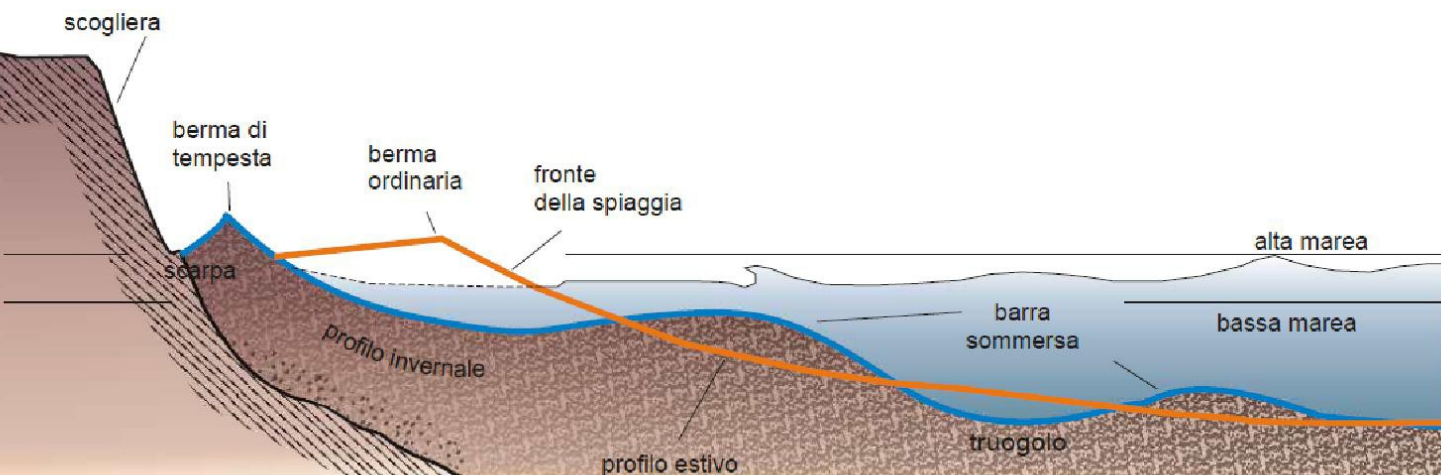
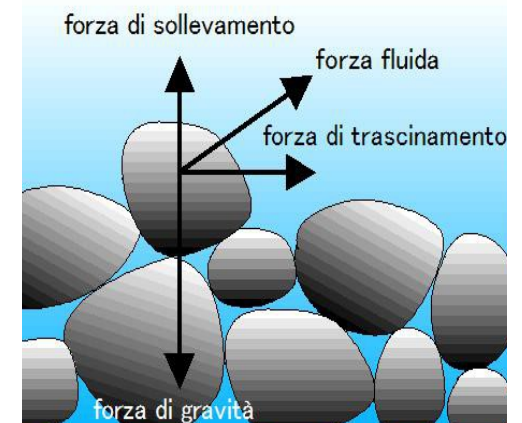
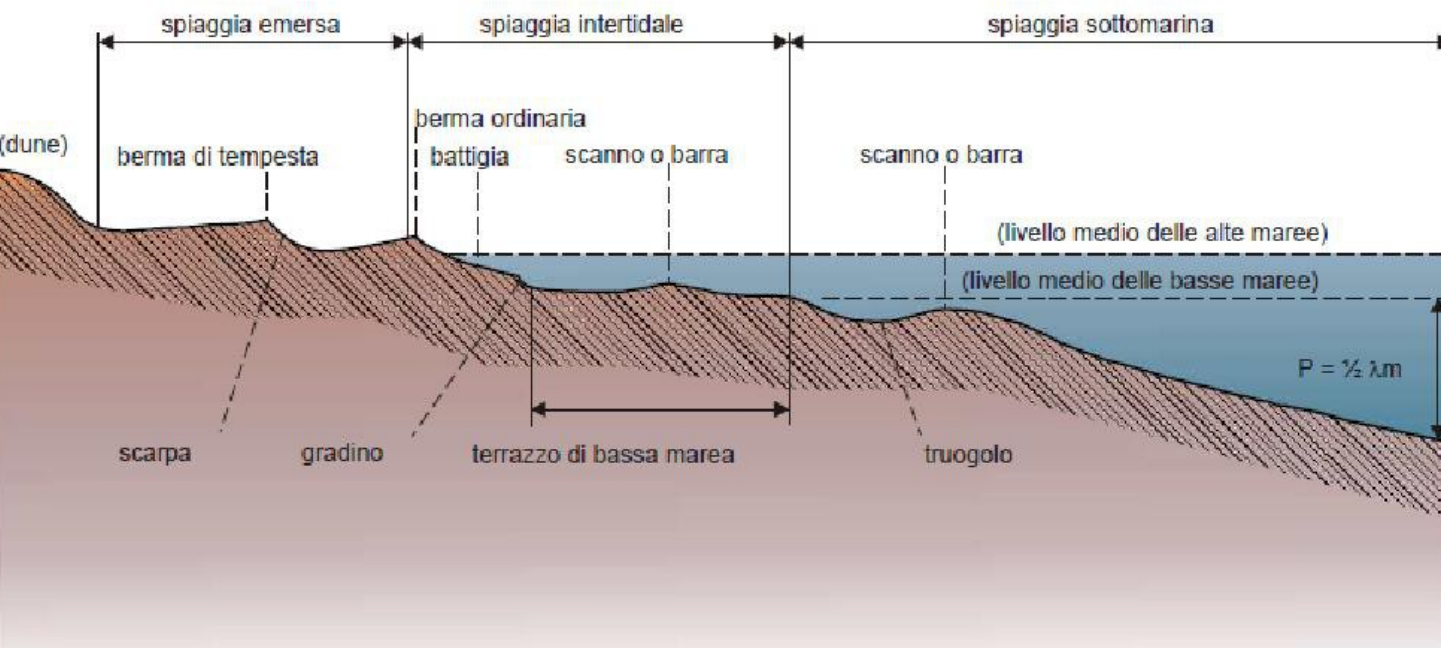
DINAMICA COSTIERA

Il mare, mediante l'azione delle onde e delle correnti, contribuisce, in modo determinante, a modellare la conformazione della costa svolgendo una triplice azione di erosione, trasporto e accumulo dei sedimenti costieri.



INTERVALLO DIMENSIONALE (metrico)	CLASSI GRANULOMETRICHE (Wentworth)
> 256 mm	Massi (Boulder)
256 - 64 mm	Ciottoli (Cobble)
64 - 4 mm	Ghiaia (Pebble)
4 - 2 mm	Ghiaia molto fine (Granule)
2 - 1 mm	Sabbia molto grossolana (Very coarse sand)
1 - 1/2 mm	Sabbia grossolana (Coarse sand)
1/2 - 1/4 mm	Sabbia media (Medium sand)
1/4 - 1/8 mm	Sabbia fine (Fine sand grain)
1/8 - 1/16 mm	Sabbia molto fine (Very fine sand grain)
1/16 - 1/256 mm	Silt (Silt)
< 1/256 mm	Argilla (Clay particle)



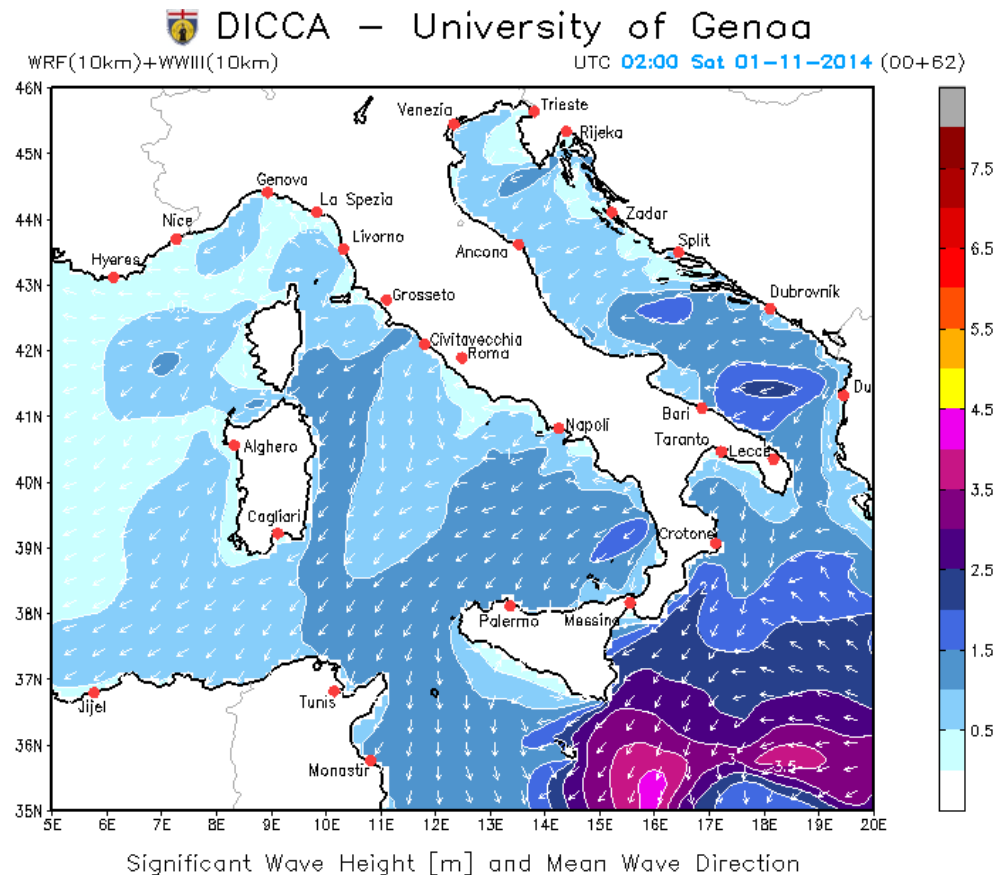


La conformazione del profilo trasversale di una spiaggia dipende dalle caratteristiche del moto ondoso e ha una variabilità stagionale.



I **fattori meteo-marini** sono quelli che influenzano maggiormente l'evoluzione dei litorali, regolando la capacità erosiva del mare e il trasporto dei sedimenti. I fattori principali sono:

- **Venti;**
- **Moto ondoso;**
- **Correnti litoranee;**
- **Maree e variazioni del livello marino.**



GESTIONE DELLE COSTE IN ITALIA: come intervenire

- Degrado costante delle zone costiere
- Necessità di attuare una gestione integrata delle coste, sostenibile e responsabile
- Due approcci per limitare l'erosione costiera:
 - opere di tipo rigido
 - opere di tipo morbido

OPERE DI TIPO RIGIDO



OPERE DI TIPO MORBIDO

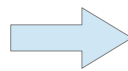
- Stabilizzare una spiaggia in erosione
- Ampliare una spiaggia esistente
- Realizzazione di una nuova spiaggia

Minimo impatto sull'ambiente

LIMITE: disponibilità economica di materiali adatti al ripascimento



REALTA' DEL TERRITORIO LIGURE



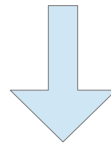
Investimento dell'amministrazione regionale sugli interventi di ripascimento del litorale, sia a livello normativo che economico.

- Risorsa economica del turismo balneare
- Importanza strategica della manutenzione e potenziamento delle spiagge



DESCRIZIONE MODELLI per lo sviluppo del profilo di spiagge dopo interventi di ripascimento

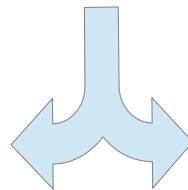
Evoluzione della costa correlata al movimento dei sedimenti della spiaggia



Esigenza di sviluppare modelli i quali, dati un profilo iniziale e un clima ondoso, forniscono una soluzione numerica nel breve periodo

OGGETTO DELLO STUDIO: spiagge di materiale grossolano

Modello di Van der Meer
per lo studio di spiagge in ghiaia



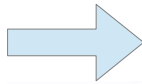
Modello di Powell
per lo studio di spiagge in ciottoli



MODELLO DI VAN DER MEER

Il modello, data la configurazione iniziale del ripascimento, determina la conformazione del profilo soggetto ad una certa mareggiata per un certo periodo.

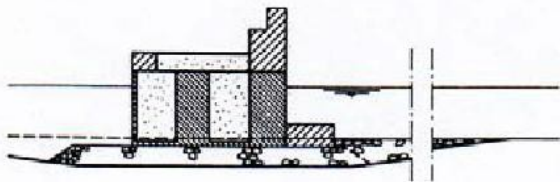
Campo di validità del modello



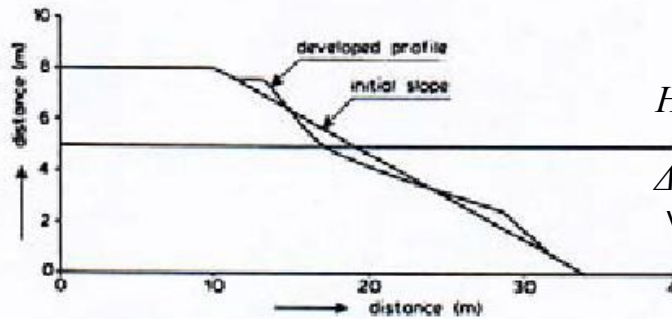
$$6 \leq \frac{H}{(\Delta D)} \leq 500$$

< 6 → scogliere

> 500 → spiagge sabbiose



caisson
 $H/\Delta D < 1$



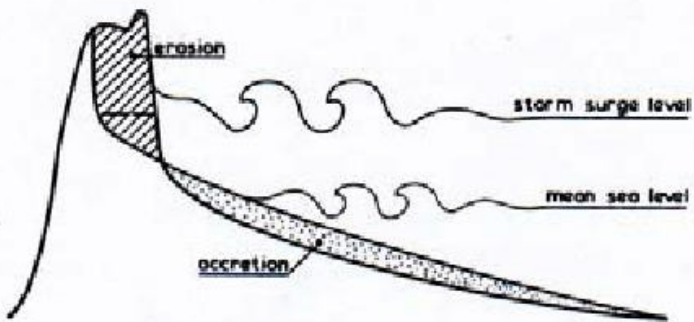
rock beach

H = altezza d'onda spettrale [m]

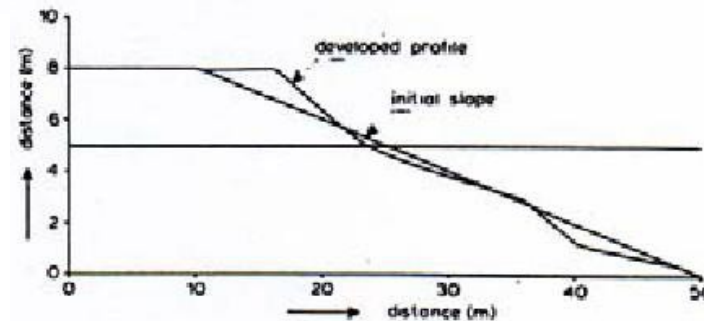
Δ = densità relativa del materiale [-], valutata come rapporto tra densità:

$$\Delta = \frac{\rho_s - \rho}{\rho}$$

D = diametro caratteristico del materiale [m].



dune erosion (sand beach)
 $H/\Delta D > 500$



gravel beach
 $H/\Delta D = 20 - 500$



PROCEDURA DI APPLICAZIONE

H_s
 T_m
 N
 D_{50}
 Δ
 α

Variabili di progetto

$$HoTo = H_s / \Delta D_{50} \sqrt{(g / D_{50}) T_m}$$

$$sm = \frac{2\pi H_s}{g T^2}$$

$$HoTo = 21 (lc / D_{50} N^{0.12})^{1.2}$$

$$HoTo = 2.9 (lr / D_{50} N^{0.05})^{1.3}$$

$$HoTo = 3.8 (ls / D_{50} N^{0.07})$$

Parametri adimensionali

Lunghezze (lc, lr, ls)

$$hc / H_s N^{0.15} = 0.089 sm^{-0.5}$$

$$hs / H_s N^{0.07} = 0.22 sm^{-0.3}$$

$$ht / H_s N^{0.04} = 0.73 sm^{-0.2}$$

$$\tan \beta = 1.1 \tan \alpha^4$$

$$\tan \gamma = 0.5 \tan \alpha$$

Altezze (hc, hs, ht)

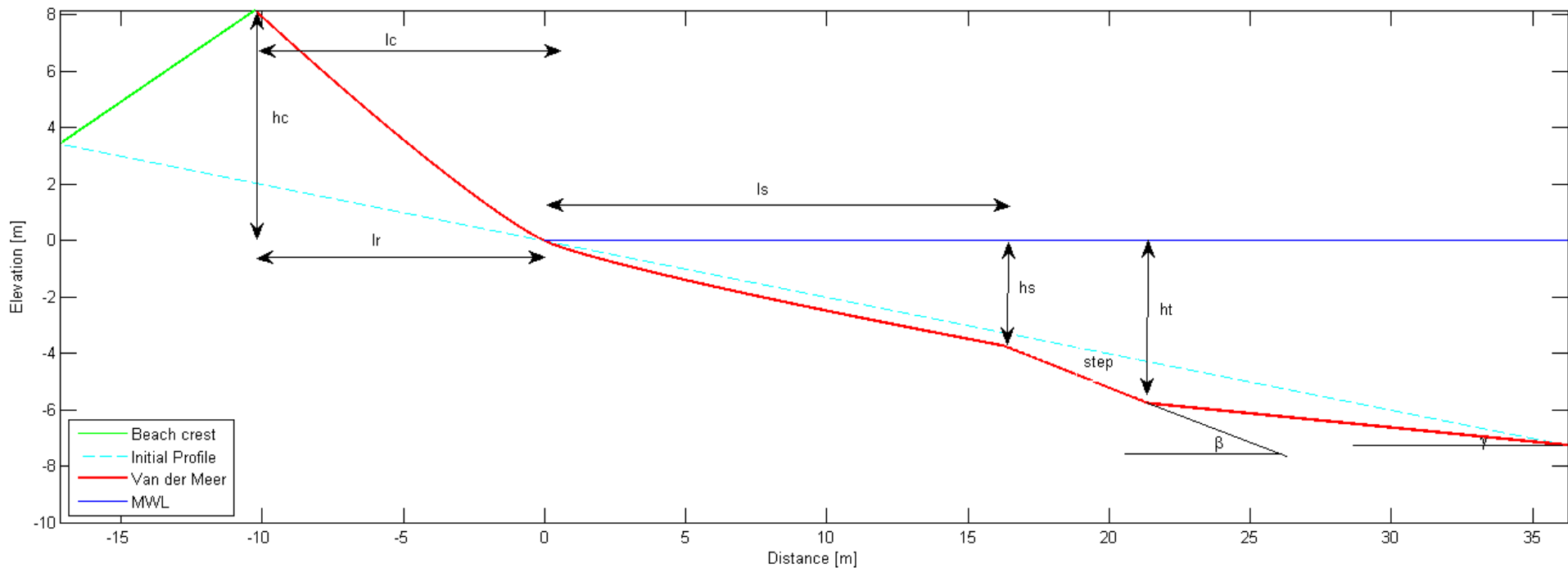
Angoli

Conformazione del profilo:

$$y = c(-x)^{1.15}$$

$$y = a x^{0.83}$$

sopra il MWL
sotto il MWL



MODELLO DI POWELL: procedura di applicazione

Il modello di Powell viene descritto attraverso tre curve:

- Cresta della spiaggia e il livello medio mare
- Livello medio mare e bordo più alto dello step
- Bordo più alto e limite più basso della deformazione

$$\frac{y}{hc} = -A1 \left(\frac{x}{pc} \right)^{n1}$$

$$\frac{y}{ht} = -A2 \left(\frac{x}{pt} \right)^{n2}$$

$$\frac{(y - ht)}{(hb - ht)} = -A3 \left(\frac{(x - pt)}{(pb - pt)} \right)^{n3}$$

Hs

Tm

N

D₅₀

Δ

α

Variabili di progetto

Hs / D50

Hs / Lm = sm

Hs Tm g^(1/2) / D50

(equivalente al parametro di Van der Meer HoTo)

Parametri adimensionali



Lunghezze (pr, pc, pt, pb)

$$pr / Hs = 6.38 + 3.25 \ln(Hs / Lm)$$

$$pc / D50 / Hs Lm = -0.23 (Hs Tm g^{(1/2)} / D50^{(3/2)})^{-0.588}$$

per $Hs / Lm < 0.03$:

$$pt / D50 / Hs Lm = 1.73 (Hs Tm g^{(1/2)} / D50^{(3/2)})^{-0.81}$$

per $Hs / Lm \geq 0.03$

$$pb / D50 = 55.26 + 41.24 (Hs^2 / Lm D50) + 4.90 (Hs^2 / Lm D50)^2$$

$$pb / D50 = 28.77 (Hs / D50)^{0.92}$$

Altezze (pr, pc, pt, pb)

$$hc / Hs = 2.86 - 62.69 (Hs / Lm) + 443.29 (Hs / Lm)^2$$

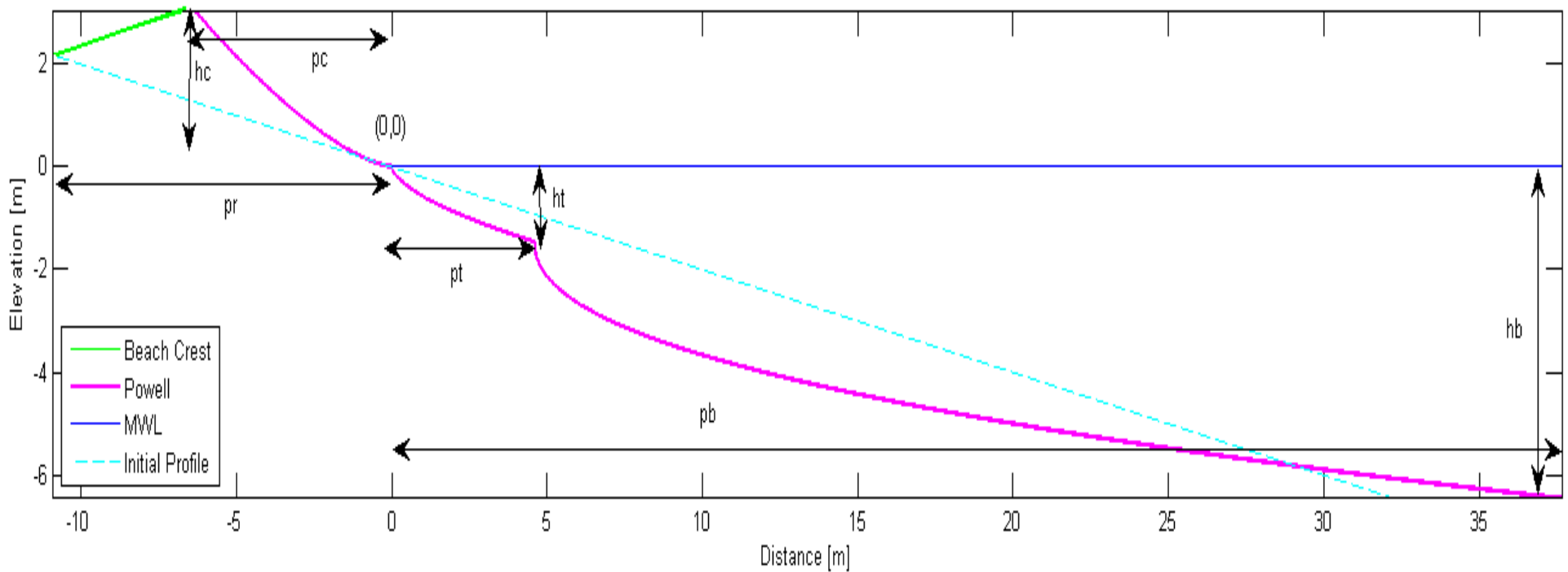
per $Hs / Lm < 0.03$:

$$ht / Hs = -1.12 + 0.65 (Hs^2 / Lm D50) - 0.11 (Hs^2 / Lm D50)^2$$

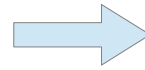
per $Hs / Lm \geq 0.03$

$$ht / D50 = -10.41 - 0.025 (Hs^2 / D50^{(3/2)} Lm^{(1/2)}) - 7.5 \times 10^{-5} (Hs^2 / D50^{(3/2)} Lm^{(1/2)})^2$$

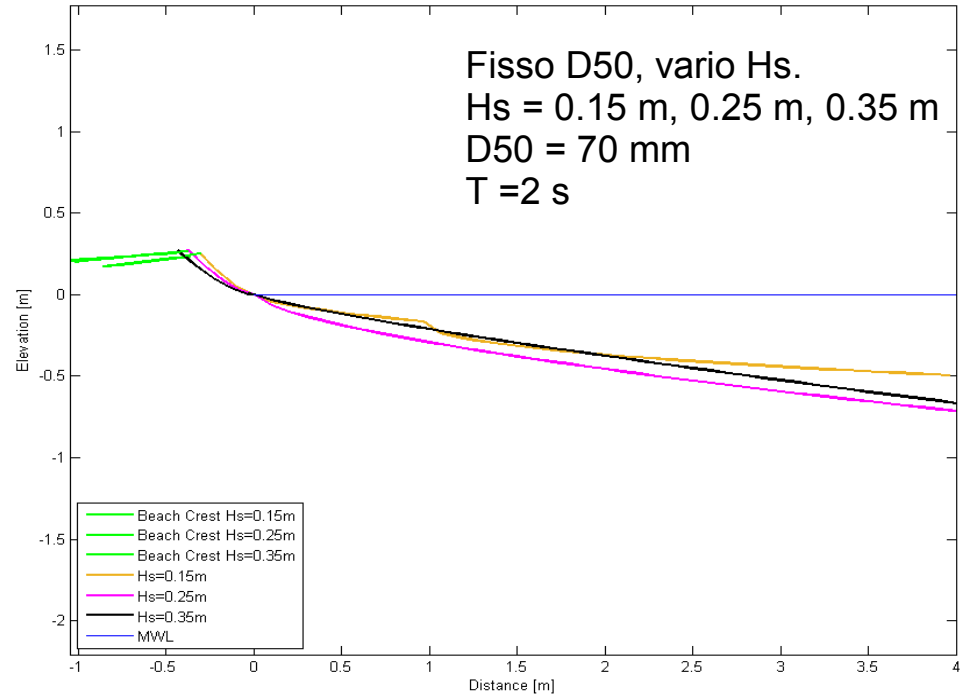
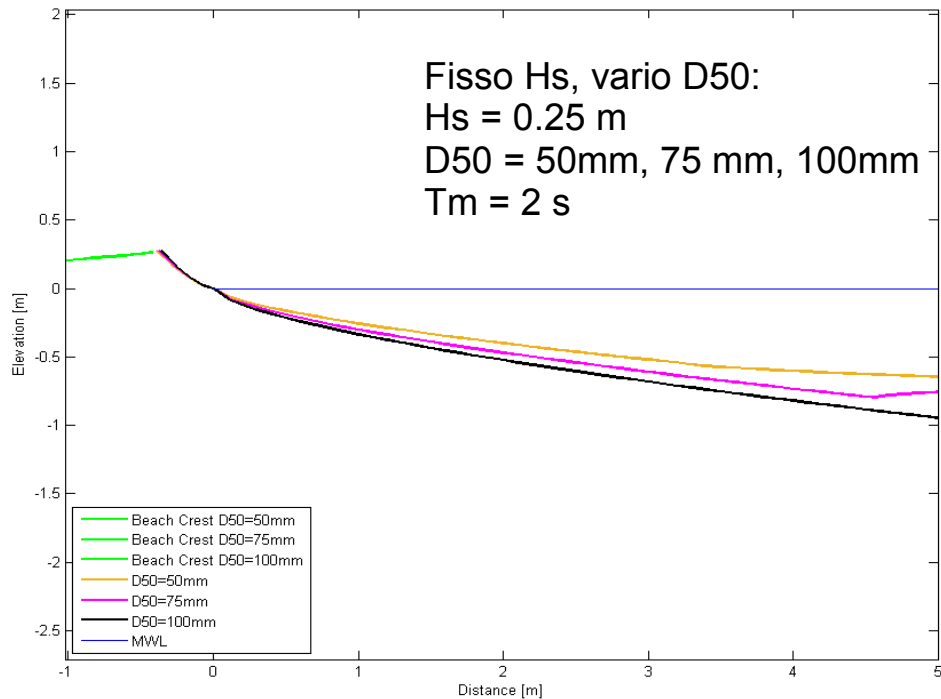
$$hb / Lm = -0.87 (Hs / Lm)^{0.64}$$



MODELLI A CONFRONTO



MODELLI DI POWELL



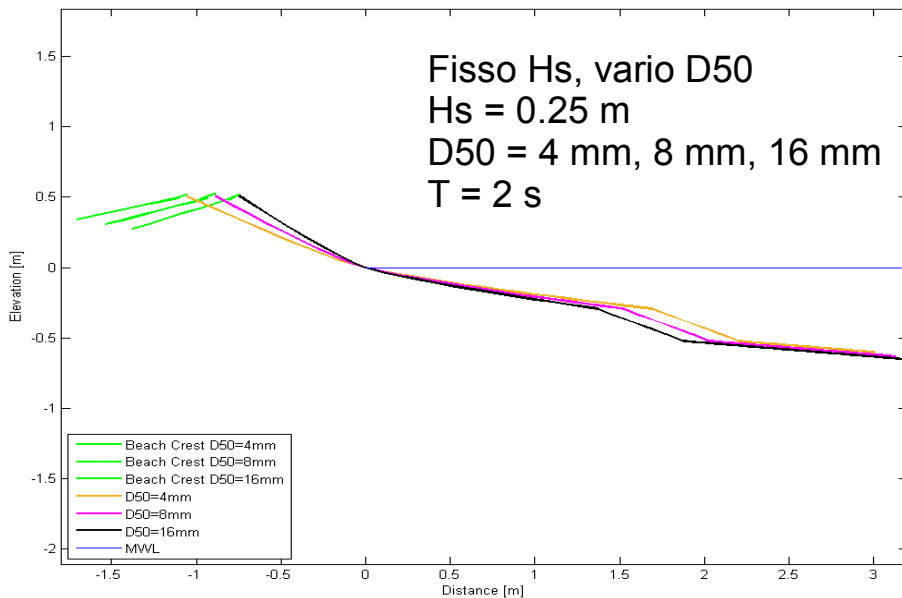
Al variare del diametro del materiale (ciottoli) e a parità di onda le berme emerse sono pressoché identiche per altezza e forma. I profili della parte sommersa hanno andamenti analoghi con pendenza inferiore per il materiale più leggero.

Al variare dell'altezza d'onda e a parità di diametro dei sedimenti (ciottoli) le berme emerse hanno altezze simili ma più arretrate per altezze d'onda maggiori. L'onda di minore altezza provoca una minore erosione.



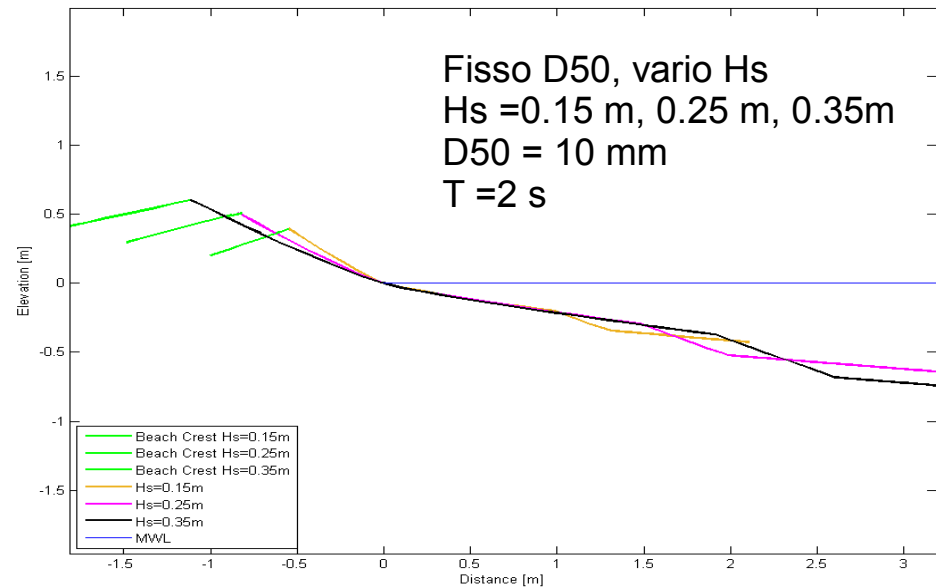
MODELLI A CONFRONTO

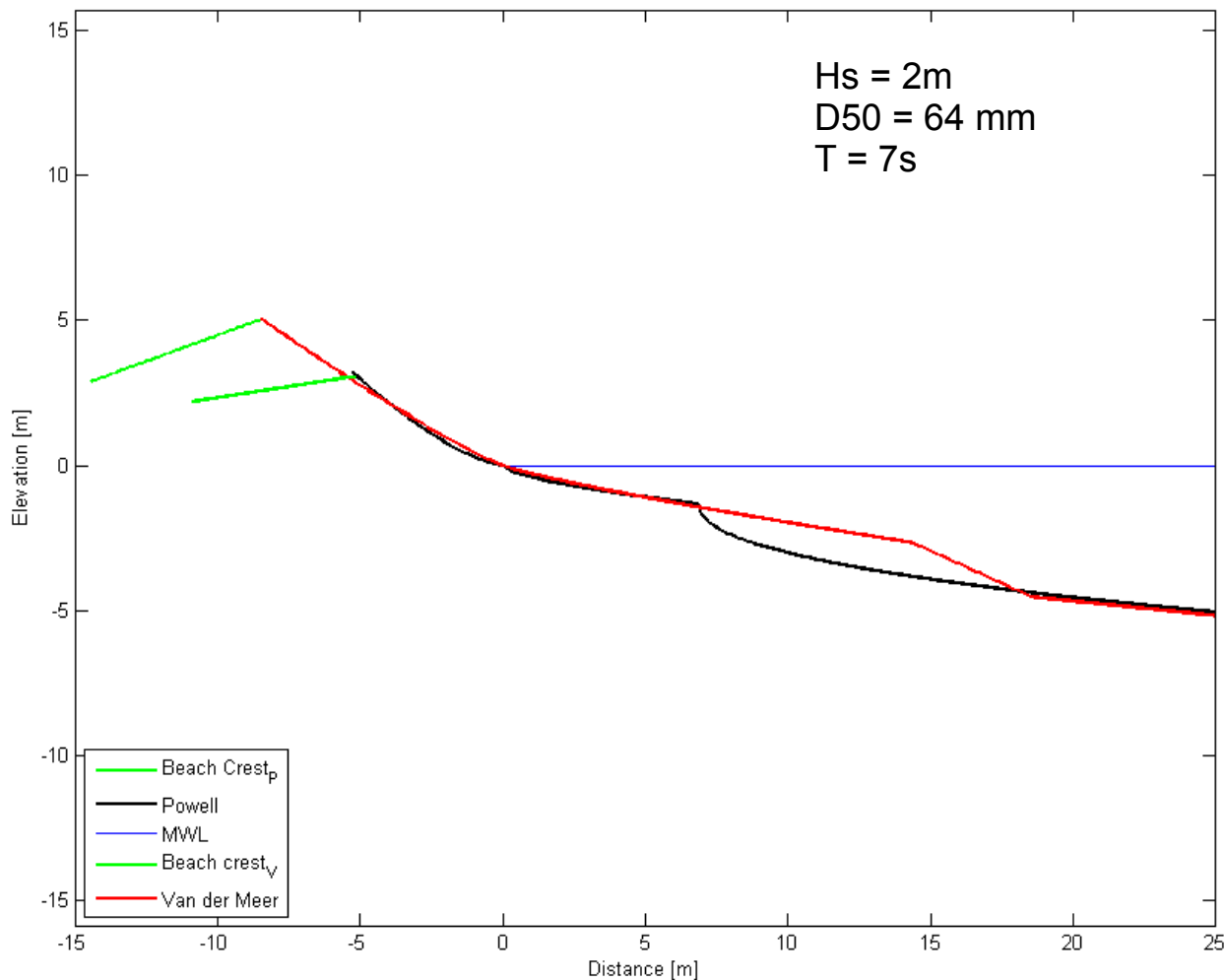
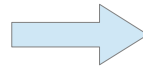
Al variare del diametro della ghiaia e a parità di altezza d'onda le berme emerse hanno altezze uguali con arretramenti diversi (minore arretramento conseguente a una pendenza maggiore per diametro maggiore). Nella parte sommersa i profili sono analoghi con leggera maggiore erosione del primo gradino sommerso per il materiale via via più pesante.



MODELLI DI VAN DER MEER

A parità di diametro (ghiaia) l'altezza d'onda ha larga influenza sul profilo, generando beach crest maggiori e più arretrate per le onde maggiori. Ad un maggiore accumulo di sedimenti corrisponde una maggiore erosione.





A parità di materiale (valore limite ghiaia/ciottoli della classificazione Wentworth) si evidenziano comportamenti parzialmente contrastanti: con **Van der Meer** si ha una berma maggiore in altezza e profondità e una minore erosione nella parte centrale (10/15 m); con **Powell**, ad una berma di minore altezza, corrisponde una maggiore ma limitata erosione nel primo gradino sommerso. In seguito i due modelli confermano identici risultati dei profili.



PERCHE' VERNAZZOLA?



- Studio di un caso reale per valutare la validità dell'applicazione dei modelli parametrici di Van der Meer e Powell

- Esempio di come, nel corso di pochi anni, l'uomo è intervenuto apportando variazioni sostanziali alla configurazione originale tramite la costruzione di opere a mare



Studio sull'evoluzione del profilo trasversale di spiagge in ghiaia e ciottoli.

L'INTERVENTO DELL'UOMO



Intervento di manutenzione straordinaria per la difesa del tratto di litorale

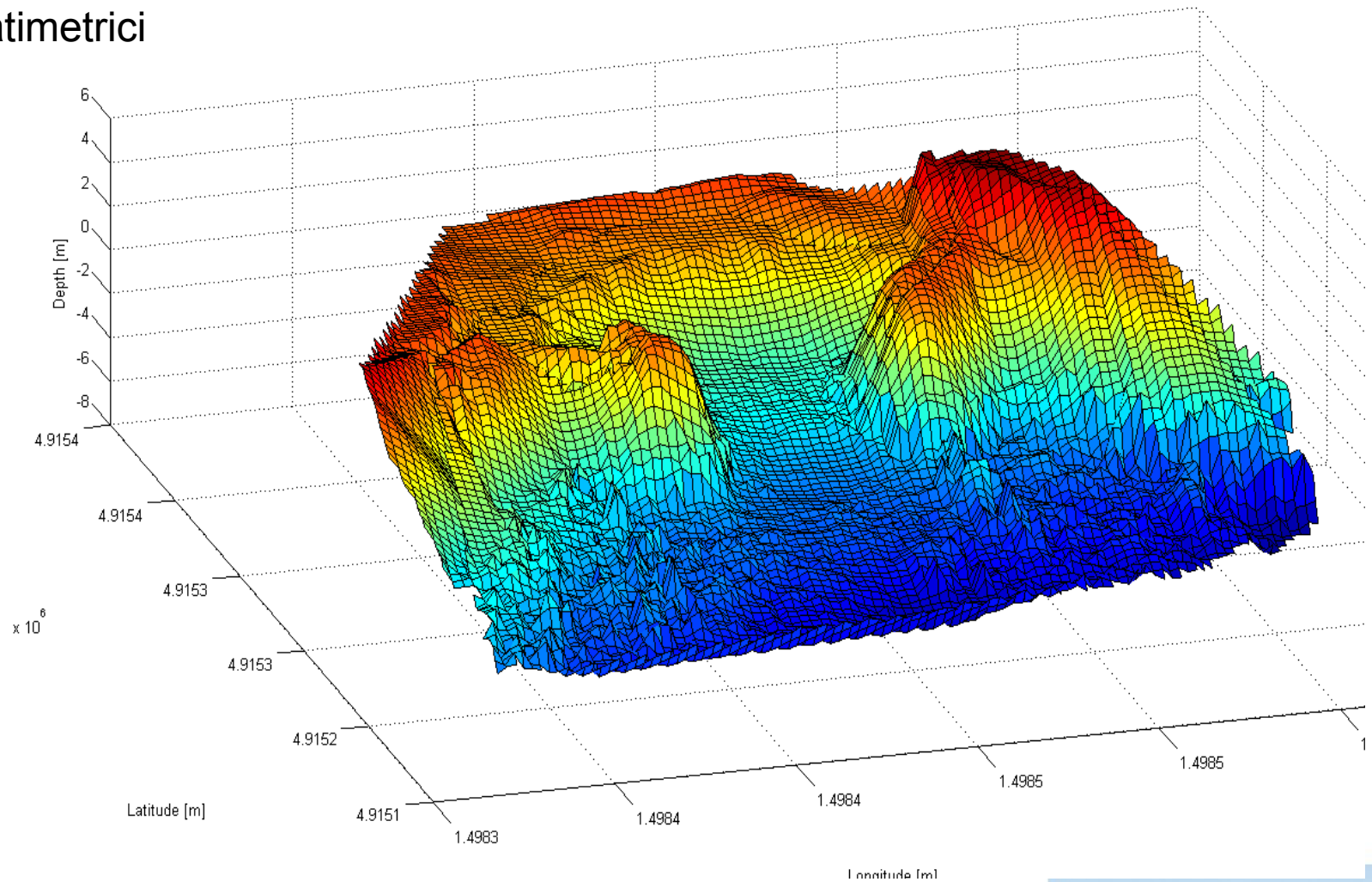
<p>PRIMA DELL'INTERVENTO DEL 2009</p>		<p>Piccole spiagge (quasi inesistenti). In occasioni di forti mareggiate danni soprattutto alle imbarcazioni ivi localizzate ((na di Levante); strutture retrostanti la zona centrale non interessate dall'azione ondosa</p>
<p>INTERVENTO DEL 2009</p>		<p>Progetto di riequilibrio della spiaggia. Risultato atteso: estensione dell'arenile nella zona di Levante e protezione dello scalo di alaggio/varo ivi localizzato.</p>
<p>MAREGGIATA DICEMBRE 2009 – GENNAIO 2010</p>		<p>Danni ai muri retrostanti la zona centrale.</p>
<p>DAL 2010 A OGGI</p>		<p>Le mareggiate hanno portato un graduale ma continuo accumulo di materiale del ripascimento con formazione di una berma su tutto l'arco dell'insenatura.</p>



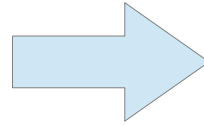
STUDIO DEL PROFILO TRASVERSALE DELLA SPIAGGIA DI VERNAZZOLA

Dati da inserire nel modello:

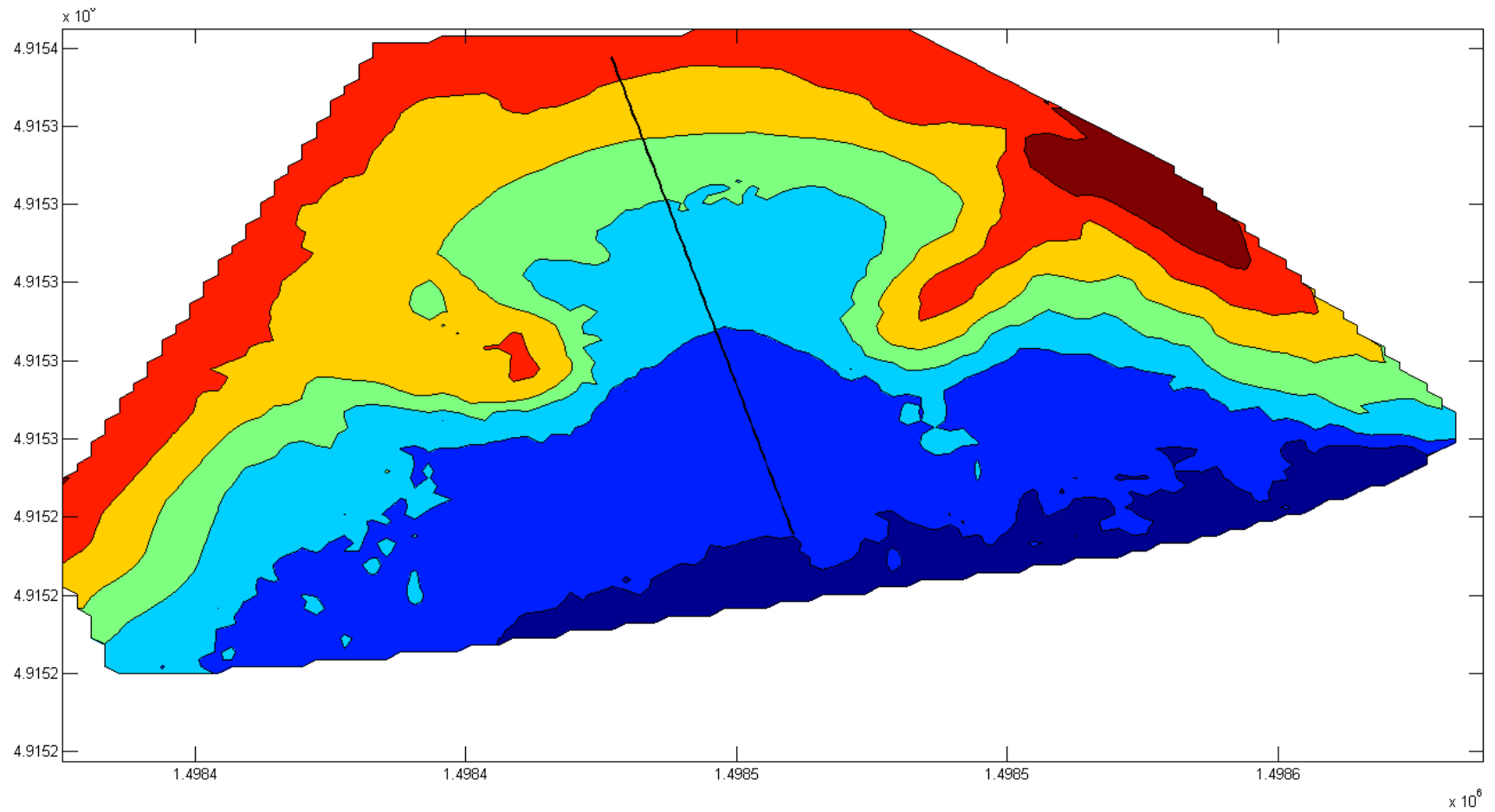
- Dati ondosi
- Dati topo-batimetrici



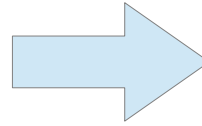
DATI TOPO-BATIMETRICI



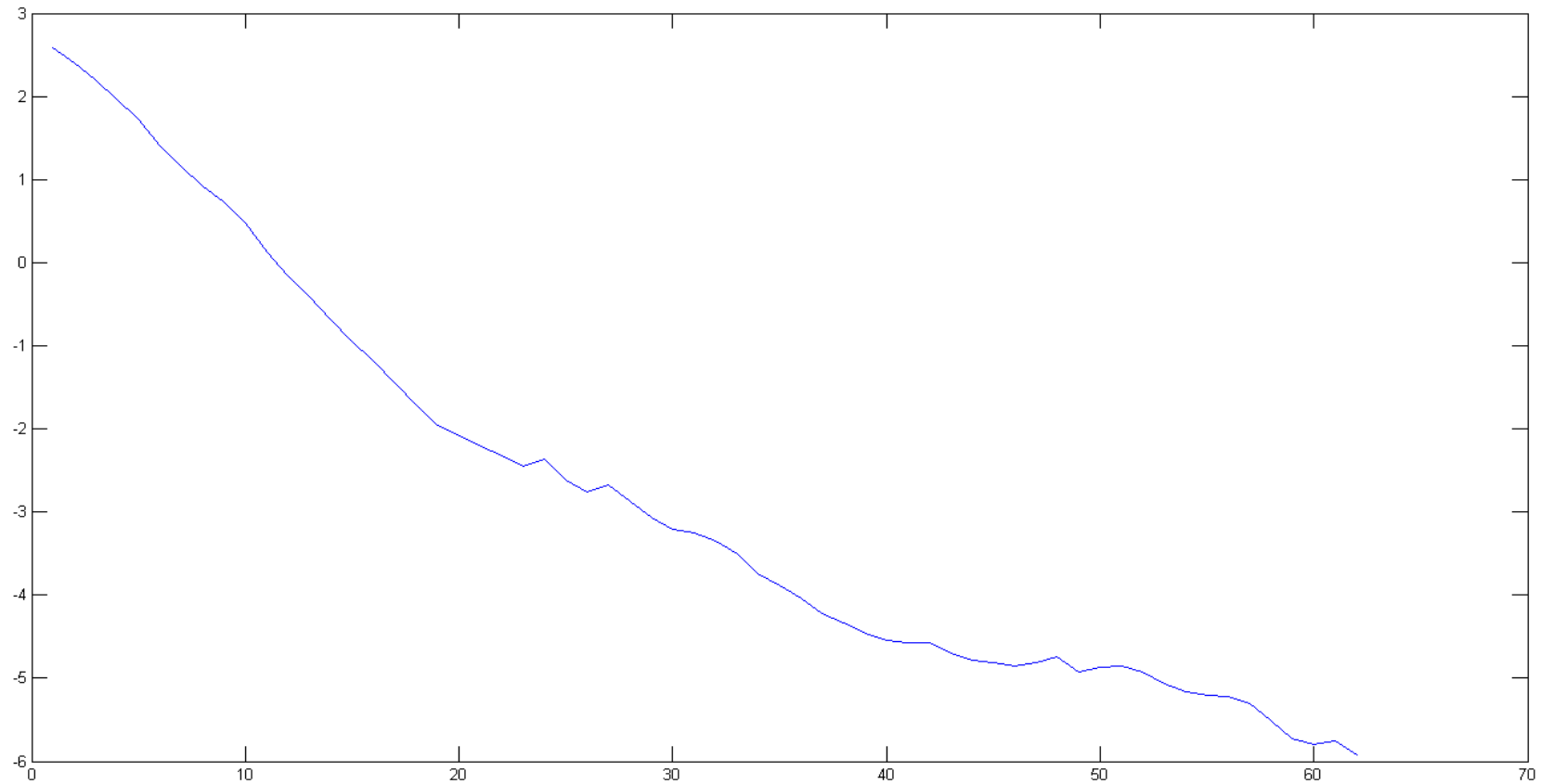
interpolazione tramite transetto



DATI TOPO-BATIMETRICI

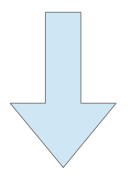


Profilo medio delle profondità (da interpolazione)



DATI ONDOSI

Dati ondosi reali, relativi alla mareggiata dic 2009 – gen 2010



Altezza

Ho = 3.5 m
Hs = Ho Ks Kr

Periodo

Tm = 12 s

Durata mareggiata = 12 ore

Numero di onde:

$$N = \frac{\text{durata della mareggiata}}{T_m} = 3600$$

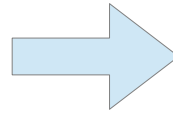
T [s]	αo [°]	g [m/s^2]	Π [-]	Lt=Lo [m]	Ho [m]
12	30	9.81	3.14	224.9427	3.5

Depth [m]	L [m]	K [-]	C [m/s]	Cg [m/s]	Ks [-]	α [°]	Kr [-]	H [m]
300	224.94265127	0.027918227	18.745220939	9.3726271454	0.9999991635	-1.415925856	0.9999978211	3.50
-0.1513549	0.1513548999	0.9505031141	6.607027275	0.0792085928	0.0614435947	0.9199629331	-0.004174974	0.392750295
-0.415455963	0.4154559627	2.6089464513	2.4071019154	0.2174122043	0.1686482291	0.9199599018	-0.011459711	0.3927614785
-0.686753577	0.6867535773	4.3122840777	1.4563047997	0.3593570065	0.2787475737	0.919953849	-0.018942283	0.3927838178
-0.939152861	0.9391528607	5.8965288157	1.0650333775	0.4913774013	0.381138195	0.9199445477	-0.025902637	0.3928144748
-1.186093659	1.1860936588	7.4459468518	0.8434118756	0.620495571	0.4812639865	0.9199349408	-0.032711192	0.3928536788
-1.451873134	1.4518731345	9.1127731223	0.6891425821	0.7593977602	0.5889572595	0.9199207868	-0.040037374	0.3929060503
-1.718771394	1.7187713944	10.785607441	0.5822574235	0.8988006201	0.6970137891	0.9199037275	-0.047392125	0.3929692578
-1.956462768	1.9564627684	12.274381945	0.5116347225	1.0228651621	0.7931562648	0.9198861454	-0.053939789	0.3930345018
-2.084288397	2.0842883967	13.074577477	0.4803214491	1.0895481231	0.8448206842	0.9198757632	-0.057460005	0.3930730759
-2.210210169	2.2102101695	13.862530354	0.4530197475	1.1552108628	0.8956866302	0.919864904	-0.06092706	0.3931134598
-2.317334843	2.3173348433	14.532592811	0.4321321103	1.2110494009	0.9389355787	0.9198551738	-0.063875964	0.3931496781
-2.455979799	2.4559797989	15.399427855	0.4078073588	1.2832856546	0.9948755841	0.9198419111	-0.06769168	0.3931909563
-2.368376021	2.3683760206	14.851763907	0.4228453966	1.2376469923	0.959534129	0.9198503789	-0.06528081	0.3931675372
-2.617240467	2.6172404666	16.407081187	0.3827615606	1.3672567656	1.0598887473	0.9198255384	-0.072128509	0.3932601808
-2.754810397	2.7548103972	17.266179228	0.3637168314	1.438848269	1.1153042945	0.9198107697	-0.075912349	0.393315358
-2.673261636	2.6732616361	16.756982254	0.3747691502	1.3964151878	1.0824603587	0.9198196132	-0.073669497	0.3932823094
-2.867914526	2.867914526	17.972114791	0.3494302186	1.4976762326	1.1608308203	0.9197980772	-0.079022409	0.3933628363
-3.074644395	3.0746443948	19.261482106	0.3260392926	1.6051235088	1.2439604009	0.9197736011	-0.084704826	0.393454545
-3.208647461	3.2086474612	20.096579593	0.3124909874	1.674714966	1.2977850146	0.9197568583	-0.088386666	0.3935173938
-3.250825625	3.2508256252	20.359316492	0.3084582924	1.6966097076	1.3147163789	0.9197514463	-0.089545286	0.3935377294
-3.342833396	3.3428333964	20.932261013	0.3000153684	1.7443550844	1.3516333773	0.9197394051	-0.092072283	0.3935830098
-3.501706025	3.5017060247	21.920923388	0.2864842821	1.8267436156	1.4153205378	0.9197178563	-0.096434219	0.393664165
-3.736708413	3.7367084132	23.381768005	0.2685853353	1.9484806671	1.5093852828	0.9196842352	-0.102882798	0.3937911016
-3.883934463	3.8839344629	24.295962097	0.2584791652	2.0246635081	1.568225793	0.9196621184	-0.106920475	0.3938748148
-4.032271418	4.0322714178	25.216223679	0.2490459154	2.1013528066	1.6274370352	0.9196390202	-0.110986764	0.393962422
-4.217782939	4.217782939	26.365928047	0.238186192	2.1971606706	1.7013795425	0.9196089914	-0.116069372	0.3940765915
-4.333506782	4.3335067819	27.082415495	0.2318847815	2.2568679579	1.7474428531	0.9195896212	-0.119238359	0.3941504038
-4.462143533	4.462143533	27.878196818	0.2252656454	2.3231830682	1.7985876687	0.9195675184	-0.122759472	0.3942347892
-4.547804991	4.5478049907	28.407729947	0.2210665904	2.3673108289	1.8326109517	0.9195524682	-0.125103355	0.3942923472
-4.5734445	4.5734449996	28.566166781	0.2198404864	2.3805138984	1.8427892043	0.9195479121	-0.125804781	0.3943097874
-4.571156119	4.5711561194	28.552024314	0.2199493784	2.3793353595	1.8418806973	0.9195483197	-0.125742168	0.3943082265
-4.704938233	4.7049382326	29.378244529	0.2137636234	2.4481870441	1.8949470683	0.9195241762	-0.129400968	0.3944007634
-4.784162549	4.7841625488	29.867144759	0.2102644913	2.4889287299	1.9263386304	0.9195095778	-0.131566811	0.3944568162
-4.807325954	4.8073259544	30.010034139	0.2092633408	2.5008361783	1.9355119946	0.9195052675	-0.132199932	0.3944733809
-4.856118082	4.856118082	30.310940037	0.2071859201	2.5259116697	1.9548278499	0.919496126	-0.133533375	0.394508534
-4.809662269	4.809662269	30.024444925	0.209162901	2.5020370771	1.9364371193	0.9195048317	-0.132263787	0.3944750561
-4.737809195	4.7378091949	29.581128685	0.2122975113	2.4650940571	1.9079748251	0.9195181463	-0.130299676	0.3944239071
-4.929161528	4.9291615283	30.76119947	0.2041532875	2.5634332891	1.9837258809	0.9194822838	-0.135529115	0.3945618201
-4.861923535	4.8619235347	30.346735509	0.2069415341	2.5288946257	1.9571254605	0.9194950327	-0.133692016	0.3945127402
-4.847976186	4.8479761857	30.260735802	0.207529653	2.5217279835	1.9516053129	0.9194976573	-0.133310882	0.3945026435
-4.924745473	4.9247454731	30.733984813	0.2043340634	2.5611654011	1.9819793989	0.919483126	-0.135408472	0.394558576
-5.063693215	5.063693215	31.589829328	0.1987981617	2.6324857773	2.0368915311	0.9194562989	-0.139203377	0.3946620356
-5.162074607	5.162074607	32.195244483	0.1950598637	2.6829370402	2.075216961	0.9194368968	-0.141889068	0.3947370224
-5.201892105	5.2018921053	32.44013691	0.1935873457	2.7033447425	2.0914252468	0.9194289489	-0.14297573	0.3947677797
-5.224509329	5.2245093286	32.579206321	0.192760988	2.7149338601	2.1003420966	0.9194244098	-0.143592899	0.3947853553
-5.310485708	5.3104857076	33.107627276	0.1896843875	2.7589868936	2.1342175361	0.9194069944	-0.145938456	0.3948528592
-5.521767841	5.5217678405	34.04594855	0.1825337583	2.8670495712	2.2173220499	0.9193631226	-0.151698896	0.3950234031
-5.730212954	5.7302129537	35.681856401	0.1759998115	2.9734880334	2.2991063447	0.9193183602	-0.157376775	0.3951981412
-5.796917004	5.796917004	36.090096226	0.1740089569	3.0075080189	2.3252339174	0.919303729	-0.159192615	0.3952554184
-5.760495977	5.7604959769	35.867223574	0.1750902182	2.9889352978	2.3109707022	0.9193117361	-0.158201218	0.3952240628
-5.9242459	5.9242459001	36.868690865	0.1703342281	3.0723909054	2.3750473007	0.9192753911	-0.162657258	0.3953665821



ELABORAZIONE GRAFICI

A parità degli altri parametri

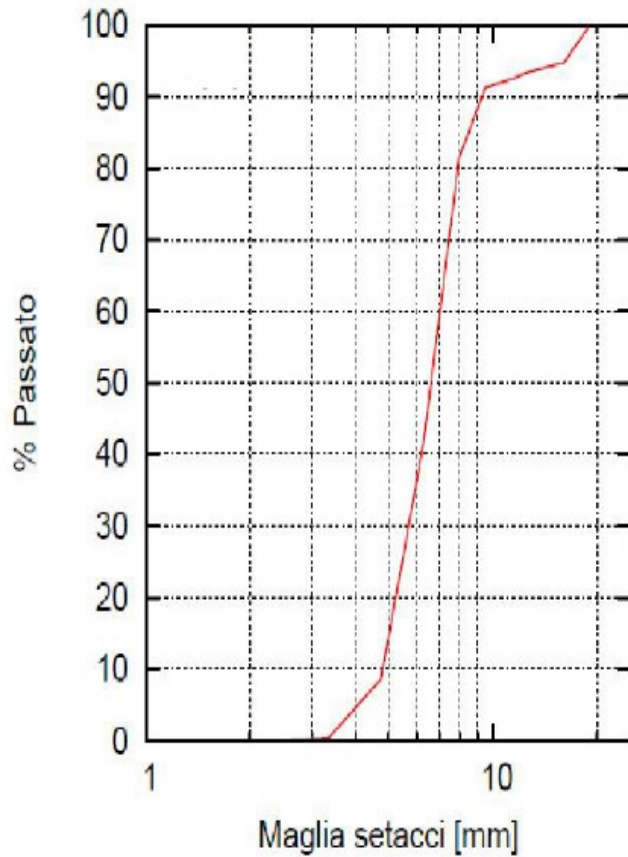


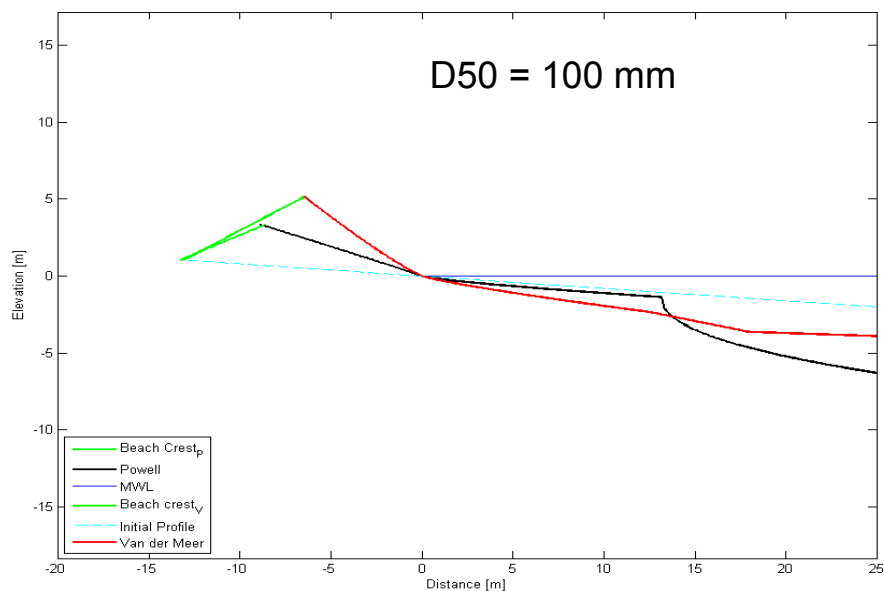
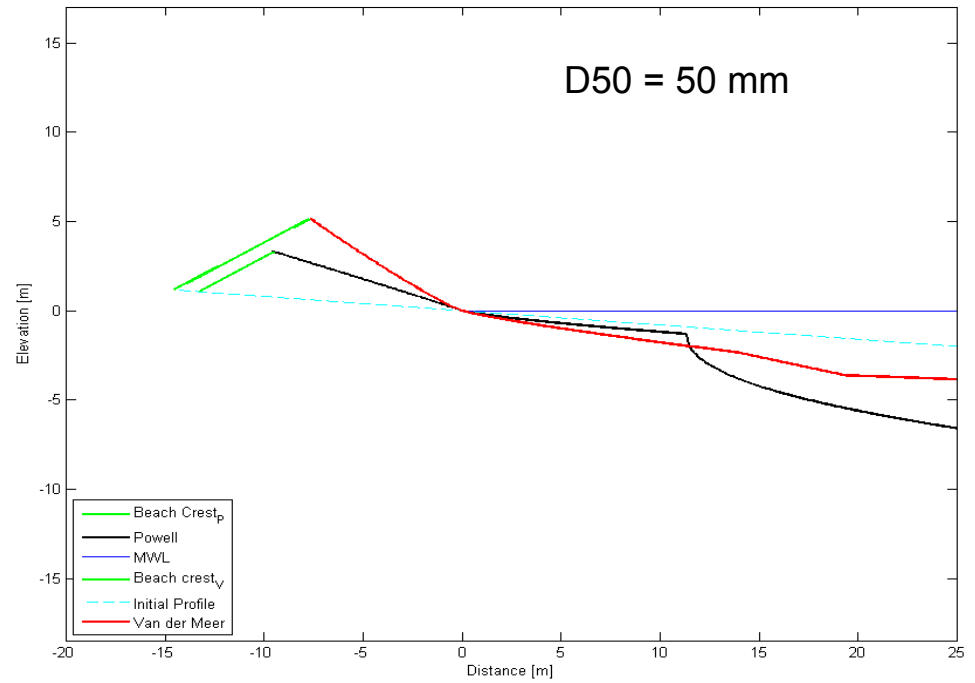
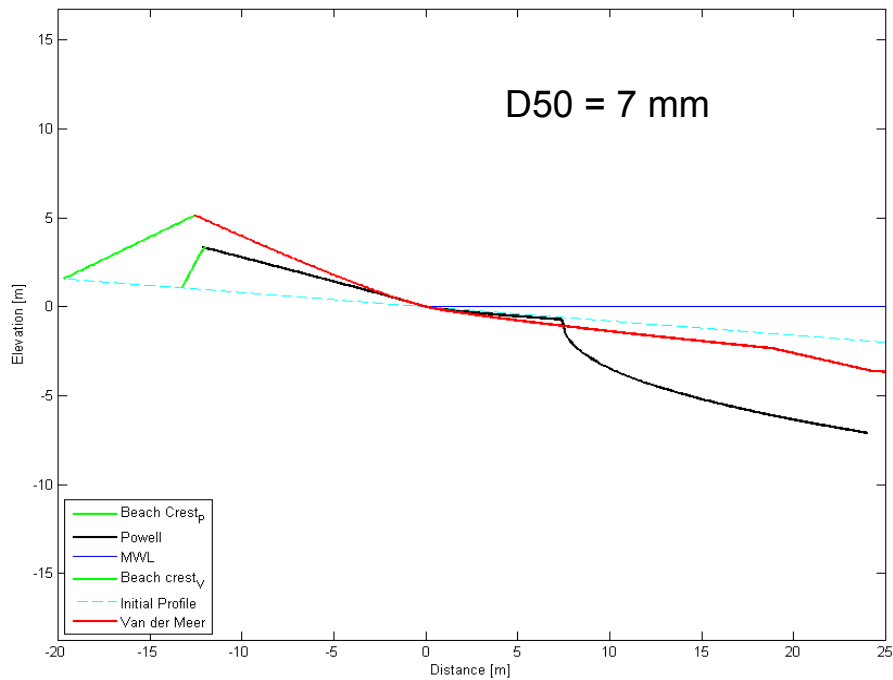
elaborazione grafici
variando il solo
diametro D50

D50 = 7 mm

D50 = 50 mm

D50 = 100 mm





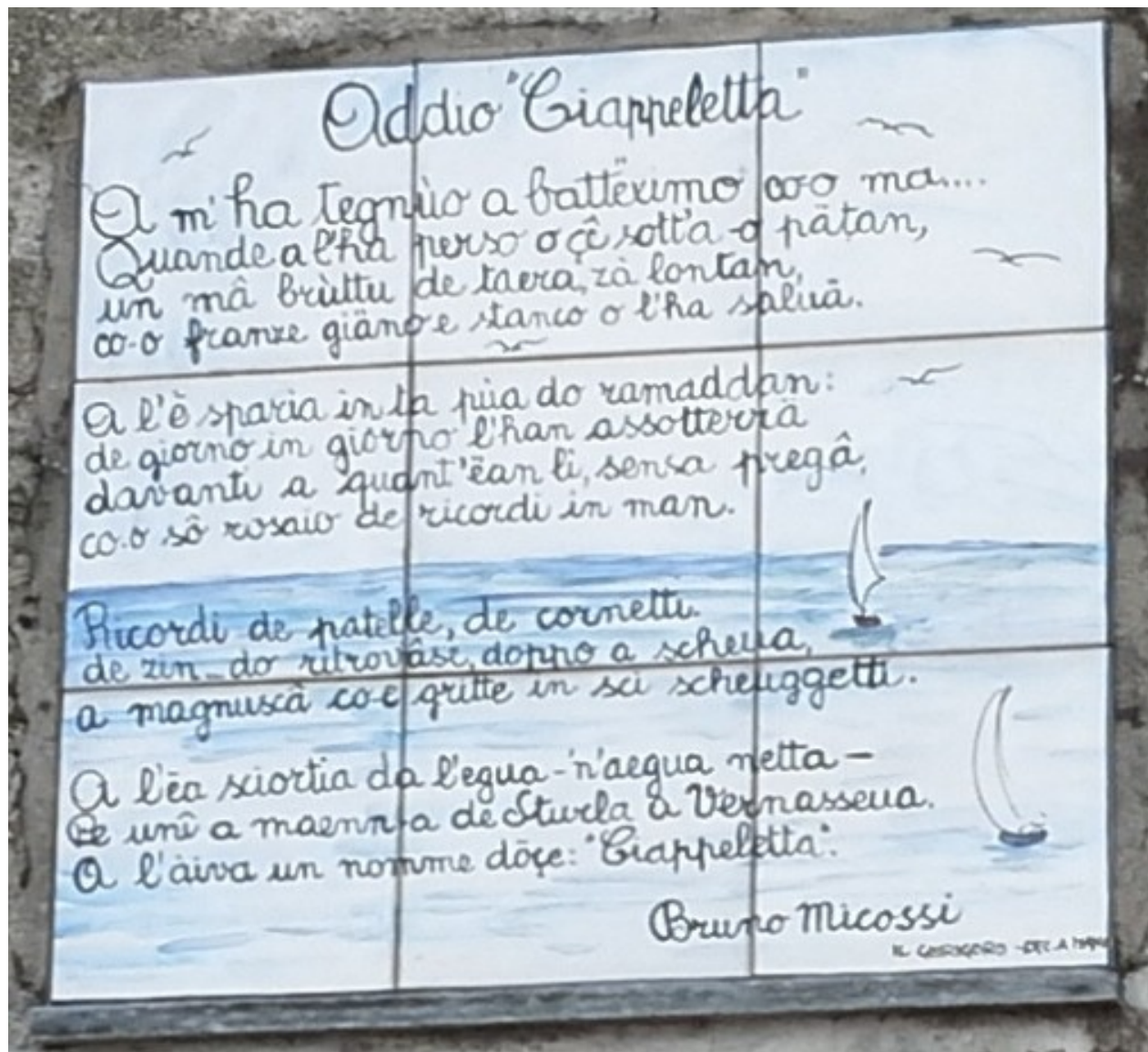
- Dai profili trasversali di Powell a fronte di un positivo seppur piccolo arretramento della beach crest corrisponde una minore erosione;
- nell'ambito della ghiaia (7 mm, 50 mm) l'applicazione del modello di Van der Meer evidenzia una maggiore erosione e riporto di materiale sulla spiaggia;
- nell'ambito dei ciottoli (100 mm) l'applicazione del modello di Powell mostra che all'aumentare del diametro si ha una minore erosione e un modesto arretramento della beach crest.



CONCLUSIONI

- Necessaria realizzazione di opere di difesa del territorio e previsione dell'ottimizzazione tramite modelli parametrici
- Applicazione dei modelli parametrici valida ed efficace per la pratica ingegneristica progettuale
- Previsione delle conseguenze di un intervento di ripascimento sempre meno costosa di eventuali opere di ripristino.





Targa scritta dagli abitanti di Vernazzola in ricordo del vecchio borgo

Grazie per l'attenzione.

