



# Risultati dello studio sull'impatto della mareggiata del 9 - 10 Marzo 2010 lungo le coste dell'Emilia-Romagna

Perini L.  
Luciani P.  
Calabrese L.




**ARPA**  
Servizio  
Idro  
Meteo  
Clima  
CENTRO FUNZIONALE REGIONE EMILIA-ROMAGNA  
Tel: 051-649706 - Fax: 051-6274432  
Web: <http://www.arpa.org.it/regione/emilia>

## AVVISO DI CRITICITÀ IDROGEOLOGICA



AGENZIA REGIONALE DI PROTEZIONE CIVILE  
Tel: 051-6274404 - Fax: 051-6274829  
Web: <http://www.protezionecivile.emilia-romagna.it>

AVVISO N°	DATA EMISSIONE	INIZIO VALIDITÀ	FINE VALIDITÀ	PROTOCOLLO
483CF	09/03/2010 ore 11:00 locali	10/03/2010 ore 06:00 locali	11/03/2010 ore 06:00 locali	PC12/01/0002243



LEGENDA ZONE DI ALLERTAMENTO	LEGENDA PIOGGIA
<ul style="list-style-type: none"> <li>A Bacini montani dei Piani Romagnoli</li> <li>B Pianura di Forlì e Ravenna</li> <li>C Bacino montano dei Rieti</li> <li>D Pianura di Bologna e Ferrara</li> <li>E Bacini montani di Parma, Scandola ed Enza</li> <li>F Pianura di Modena e Reggio Emilia</li> <li>G Bacini montani di Parma, Taro e Trebbia</li> <li>H Pianura di Parma e Piacenza</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Assente</b> &lt;5mm(24h)</li> <li><b>Debole</b> 5-20mm(24h)</li> <li><b>Moderata</b> 20-45mm(24h)</li> <li><b>Elevata</b> 45-75mm(24h)</li> <li><b>Molto elevata</b> &gt;75mm(24h)</li> </ul>

S E G	LIVELLO DI CRITICITÀ	PIOGGIA PREVISTA	PERICOLOSITÀ IDROGEOLOGICA	PERICOLOSITÀ IDRAULICA	POSSIBILI EFFETTI SUL SISTEMA ANTROPICO
A	MODERATA	Elevata diffusa a carattere nevoso	Possibilità di attivazioni di frane o accelerazioni di movimenti già in atto	Possibili rapidi innalzamenti dei livelli idrometrici nei piccoli bacini pedocollinari	Limitate interruzioni e/o danni alla viabilità
B	ELEVATA	Moderata/elevata diffusa a carattere nevoso. Sulla costa acqua mista neve	Possibilità di attivazioni di frane o accelerazioni di movimenti già in atto	Allagamenti nei territori costieri e innalzamenti dei livelli idrometrici nei piccoli bacini pedocollinari	Allagamenti diffusi di sottopassi, zone depresse e scantari
C	MODERATA	Elevata diffusa a carattere nevoso	Possibilità di attivazioni di frane o accelerazioni di movimenti già in atto	Non significativa	Limitate interruzioni e/o danni alla viabilità
D	ELEVATA	Moderata/elevata diffusa a carattere nevoso. Sulla costa acqua mista neve	Assente	Allagamenti nei territori costieri	Allagamenti diffusi di sottopassi, zone depresse e scantari
E	MODERATA	Elevata diffusa a carattere nevoso	Possibilità di attivazioni di frane o accelerazioni di movimenti già in atto	Non significativa	Limitate interruzioni e/o danni alla viabilità
F	MODERATA	Moderata/elevata diffusa a carattere nevoso	Possibilità di attivazioni di frane o accelerazioni di movimenti già in atto	Non significativa	Limitate interruzioni e/o danni alla viabilità
G	MODERATA	Elevata diffusa a carattere nevoso	Possibilità di attivazioni di frane o accelerazioni di movimenti già in atto	Non significativa	Limitate interruzioni e/o danni alla viabilità
H	MODERATA	Moderata/elevata diffusa a carattere nevoso	Possibilità di attivazioni di frane o accelerazioni di movimenti già in atto	Non significativa	Limitate interruzioni e/o danni alla viabilità

**NOTE:** La criticità elevata nelle zone d'allertamento B e D fa riferimento alla fascia costiera per la concomitanza dei fenomeni di alta marea e del moto ondosio sotto costa che limiteranno la capacità di deflusso del reticolo idrografico minore.

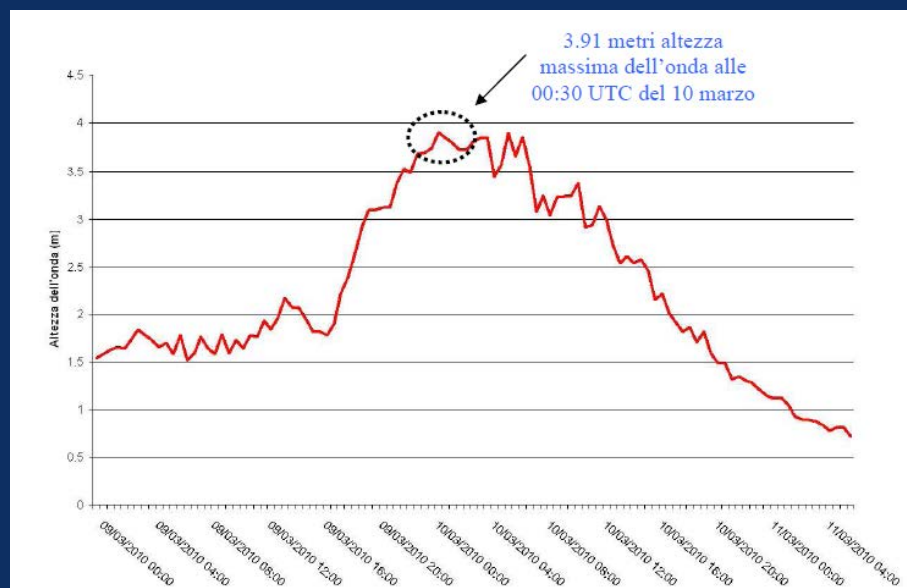
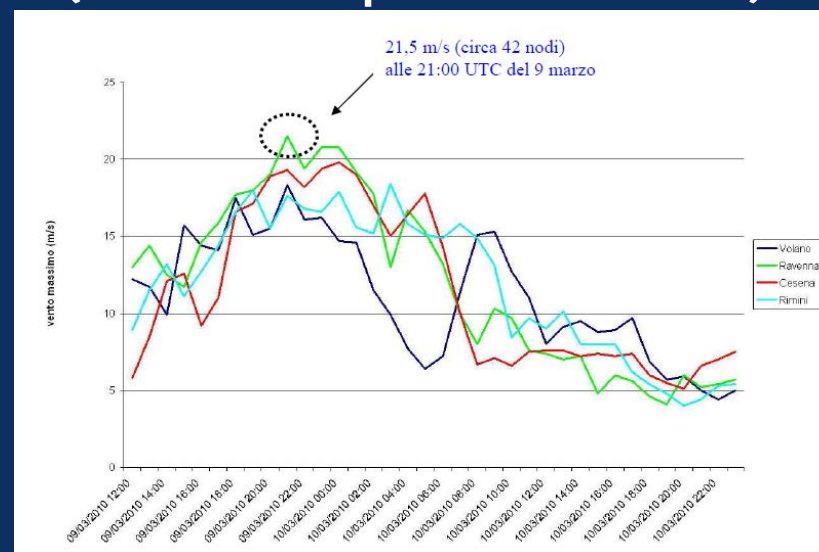
**Il Dirigente Referente Centro Funzionale**  
Dott. Sandro Nanni

**Il Direttore Agenzia Regionale di Protezione Civile**  
Ing. Demetrio Giallè

# Registrazione dell'evento (info Arpa – SIMC)

pomeriggio del 9 marzo: forti venti da est/nord-est con velocità massime fino a 42 nodi.

Velocità massima oraria del vento rilevata tra il pomeriggio del 9 e la mattina del 10 marzo a Ravenna



9 ore consecutive di moto ondoso con altezza d'onda superiore ai 3.5 metri (max 3.91 m) e concomitanza di un picco di marea nella nottata tra il 9 e 10 marzo, stimabile attorno a 0.9 metri

Altezza dell'onda misurata dalla Boa ondometrica di Cesenatico tra il 9 e 10 marzo 2010

# Classificazione dell'evento

Onde con periodo  
di ritorno di 1, 10 e 100 anni  
per ciascuna direzione  
di provenienza  
(clima ricostruito dal 1971 – 1983;  
*IDROSER, 1996*)

	T1		T10		T100	
Direzione	$H_s$ (m)	$T$ (sec)	$H_s$ (m)	$T$ (sec)	$H_s$ (m)	$T$ (sec)
30°	3.3	7.2	4.7	8.2	5.8	9.0
60°	3.6	7.4	4.9	8.3	6.2	9.2
90°	3.5	8.4	4.9	9.6	6.2	10.7
120°	2.8	7.8	4.2	9.4	5.5	10.8

Valori medi	3.3	7.7	4.7	8.9	5.9	9.9
----------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Per i valori corrisponde ad un evento

T1-T10 (onda) e  $>T1$  (surge)

Aggravato dalla concomitanza di  
mareggiata e surge

	T1	T10	T100
Surge (m)	0.85	1.039	1.28



Protezione Civile



Ministero dell'Interno  
Dipartimento della Protezione Civile



micore



## Gli impatti



Come riportato dai quotidiani del 10 Marzo, numerose località della costa sono state colpite da allagamenti che hanno interessato le spiagge ed i centri abitati



# La stima dei danni

Da: REPORT DEI DANNI CONSEGUENTI ALLE MAREGGIATE DEL 9-10 MARZO 2010 SUL LITORALE REGIONALE (STB Po di Volano e della Costa)

LITORALE	LOCALITA'/TRATTO	Lunghezza tratto interessato (m)	Volumi erosi (mc)
FERRARESE		3.200	105.000
RAVENNATE			300.000
FORLIVESE-CESENATE			150.000
RIMINESE		18.250	250.000
TOTALE VOLUMI DI SABBIA EROSA DALLE SPIAGGEE DEL LITORALE REGIONALE			mc 805.000
STIMA DEL FABBISOGNO PREVISTO PER IL RIPRISTINO DEI PROFILI DI SPIAGGIA DANNEGGIATI (€ 20/mc)			€ 16.100.000,00
STIMA DEL DANNO ALLE DIFESE RIGIDE			€ 2.800.000,00
TOTALE			€ 18.900.000,00

*Tabella di sintesi*



## Scopo dell'indagine e potenzialità dei dati

- Sperimentare un sistema di telerilevamento per il monitoraggio degli impatti delle mareggiate
- Analizzare i diversi tipi di impatto nelle singole zone
- Effettuare l'analisi quantitativa delle perdite di spiaggia e duna
- Analizzare l'efficacia degli interventi di ripascimento nei settori critici



# Il rilievo del 3 Aprile 2010 - Lidar e aerofotogrammetrico

Il rilievo è stato condotto dall'Istituto di Oceanografia e Geofisica (OGS) di Trieste



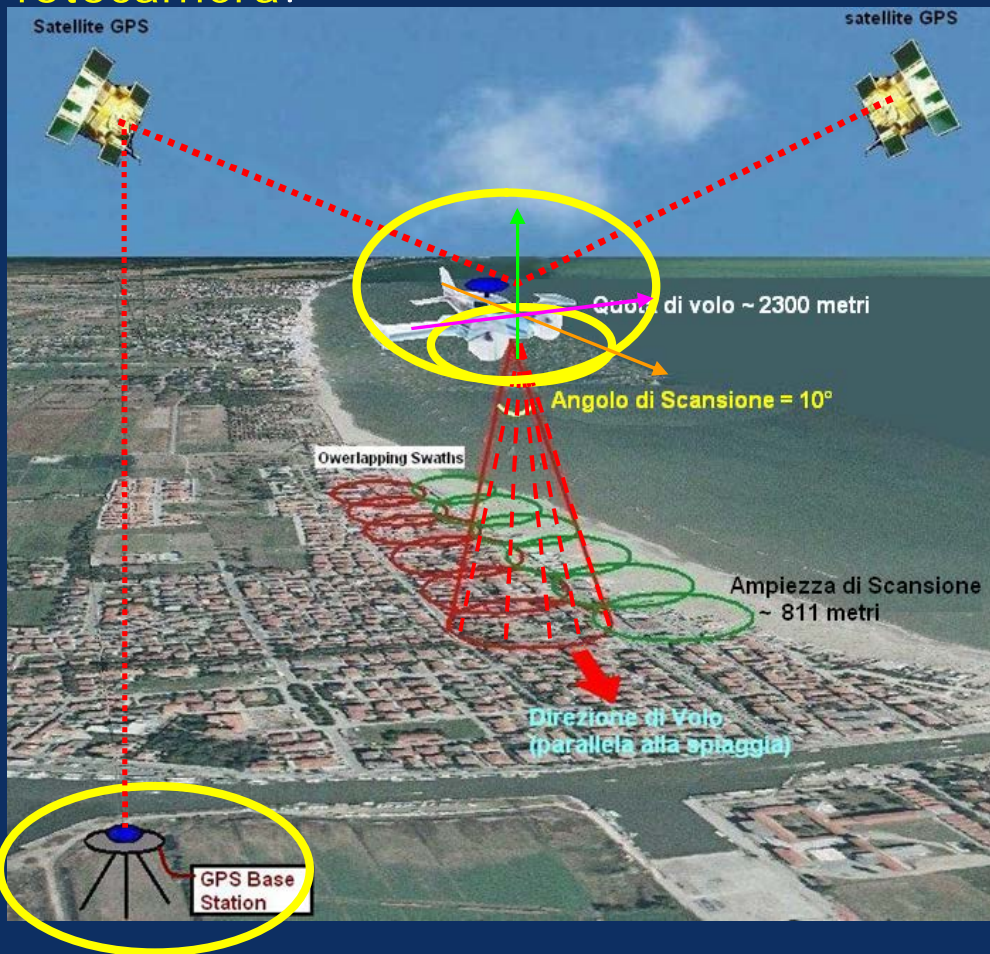
1 rotta di volo parallela alla linea di riva (130 km)

9 rotte trasversali (di calibrazione) lunghe 1.5 - 2.5 km



# Lidar (Light Mapper 5600) + videocamera

sistema integrato di **laser scanner**, **GPS** e **sistema inerziale IMU** più **fotocamera**:



**Il LiDAR**; sorgente laser (Riegl LMS-Q560): che emette uno impulso laser ad altissima frequenza (fino a 240 kHz)

(angolo di apertura del fascio fino a  $60^\circ$  e una divergenza del raggio di 0.5 mrad)

La corretta georeferenziazione dei dati raccolti è assicurata dall'AEROcontrol-lid/DGPS/IMU collegato ad un'antenna L1/L2 di coordinate note

La camera utilizzata è la DigiCAM H39 con lenti Hasselblad HC3.5/50, che produce immagini da 39 Mpixel (7216 x 5412), a 16 bit nelle bande del visibile



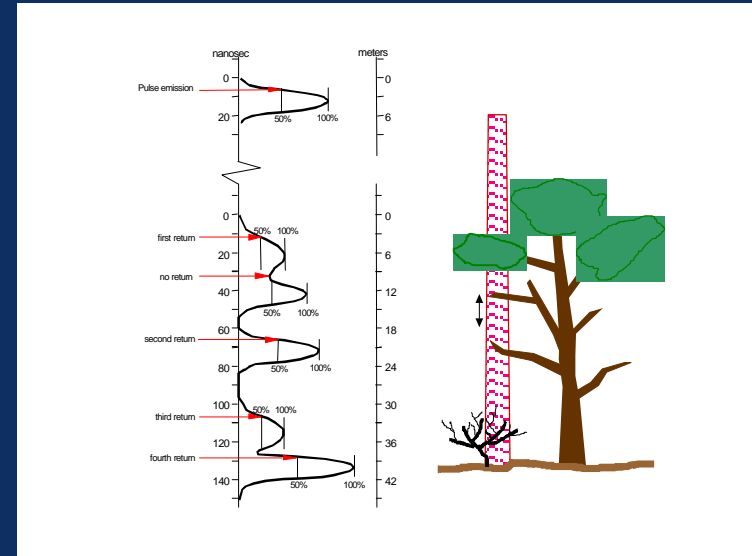


# Il sistema laser scan (Lidar): gli impulsi

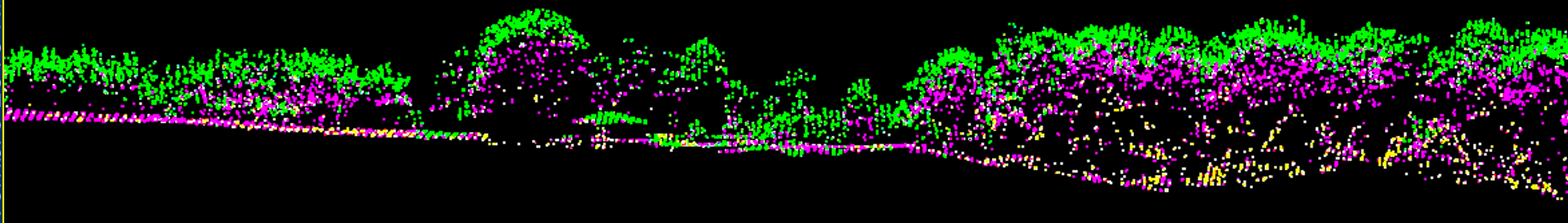
Per ogni impulso del laser è possibile ottenere due ritorni, denominati "Primo Impulso" ed "Ultimo Impulso" e due intermedi.

permette di penetrare la chioma degli alberi misurando:

- L'ALTEZZA DELLA CHIOMA (primo impulso)
- L'ALTEZZA DEL TERRENO (ultimo impulso)



"la sezione vegetale"





# L'elaborazione dei dati -OGS

Calcolo della traiettoria

Georeferenziazione dati lidar

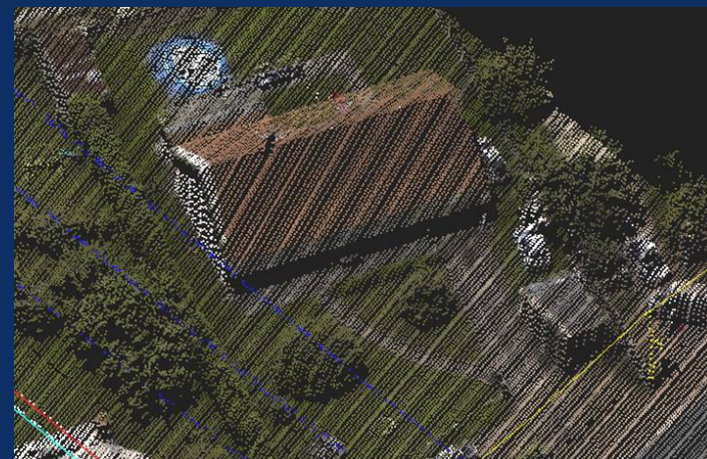
Classificazione delle risposte laser (ground & default)

Interpolazione dei punti e creazione di DTM e DSM (maglia 1x1 m)

Suddivisione dei dati per quadranti sul taglio delle CTR 1:5000

Georeferenziazione e ortorettifica foto aeree

Mosaicatura



# Elaborazioni ed analisi condotte da SGSS

1. Mosaicatura dei quadranti per l'uso in GIS
2. Collaudo dei dati (DTM e DSM) sulla base dei rilievi precedenti
3. Confronto con i dati lidar precedenti - identificazione delle aree di perdita e di guadagno
4. Estrazione dei profili e classificazione del grado di criticità
5. Analisi delle variazioni della spiaggia a partire dal 2004
6. Fotointerpretazione delle morfologie da impatto
7. Delimitazione delle aree a maggior impatto
8. Calcolo delle perdite di sedimento
9. Rilievi GPS di controllo - settembre 2010

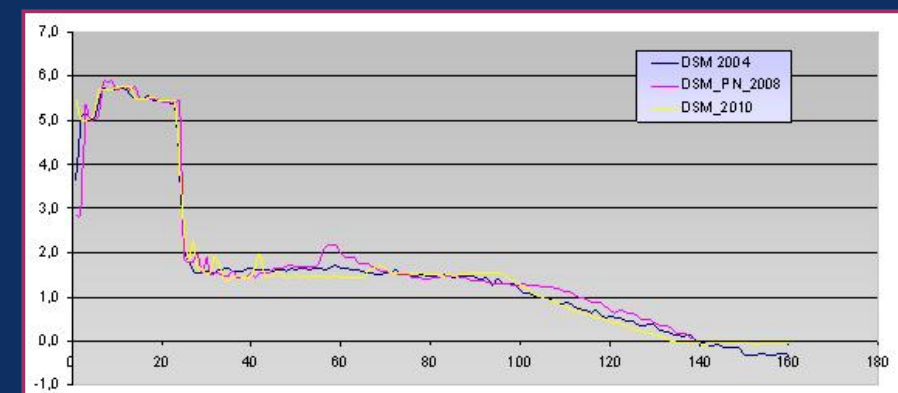
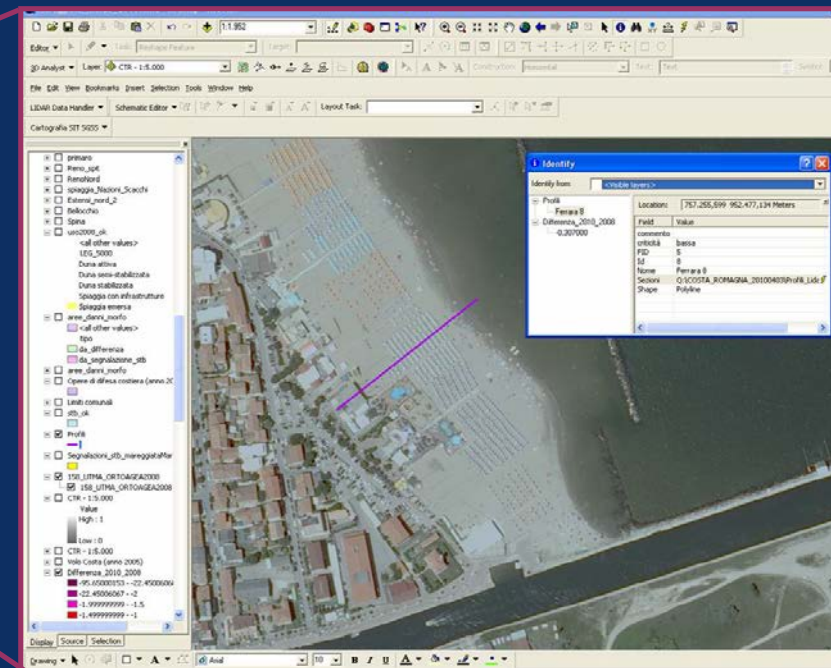
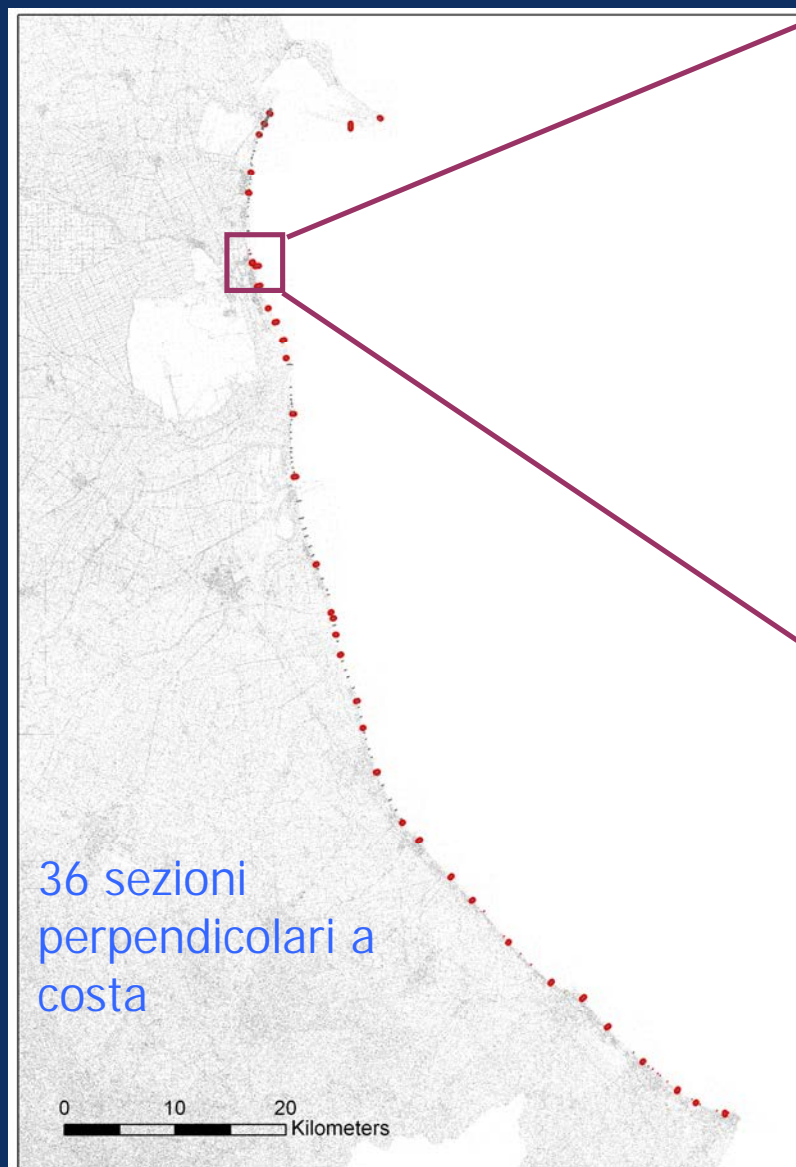


## 2. Il collaudo dei dati

Per verificare:

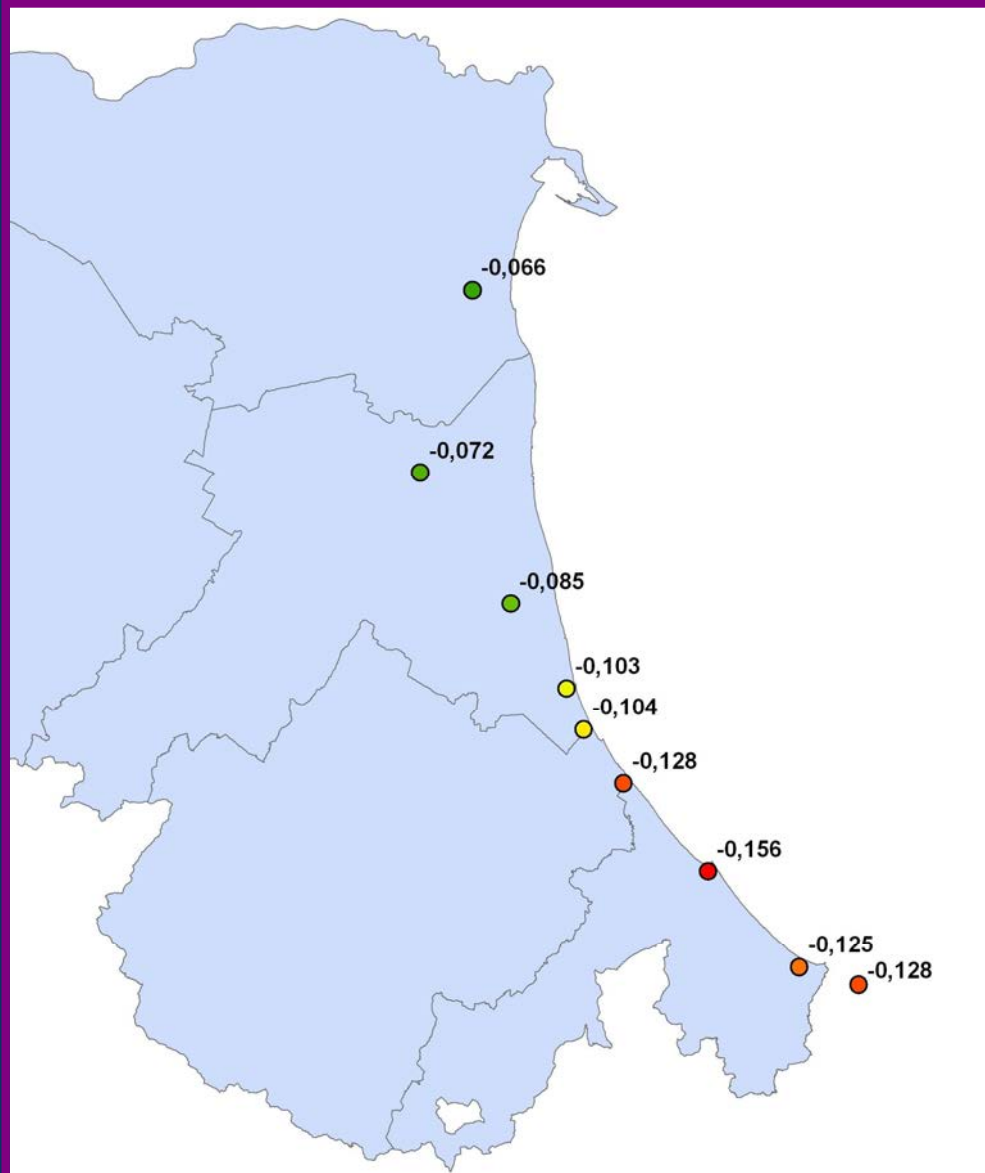
- la copertura del rilievo (secondo specifica)
- la correttezza dell'elaborazione di DSM e DTM
- la correttezza della conversione nel sistema di riferimento regionale
- la confrontabilità dei risultati con i rilievi precedenti (analisi di punti fissi)

## 2. Il collaudo dei dati





## 2. Il collaudo dei dati

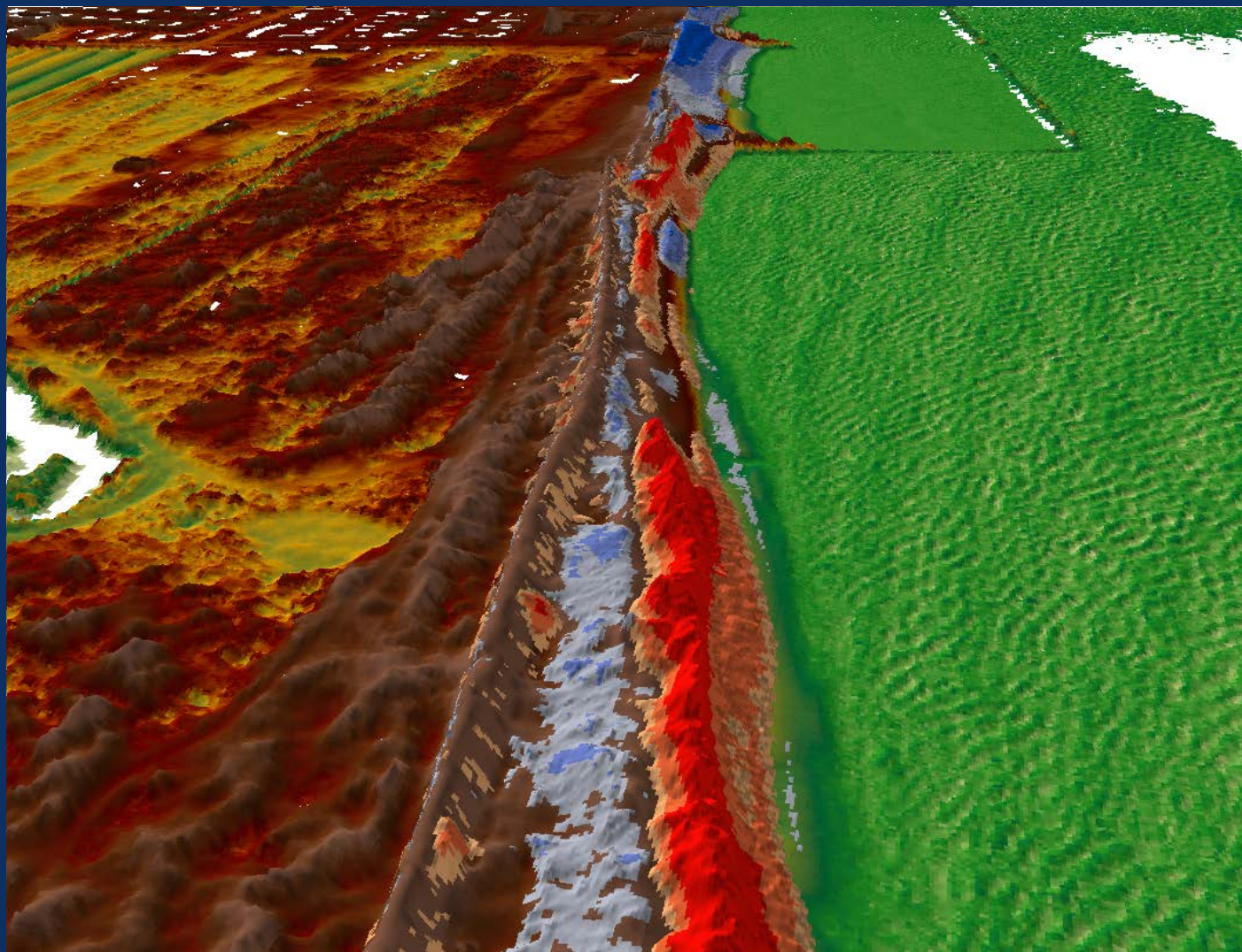


Le differenze riscontrate sono da attribuire al diverso geoide impiegato nei 3 rilievi:

2004 – 2010 ITALGEO 1999

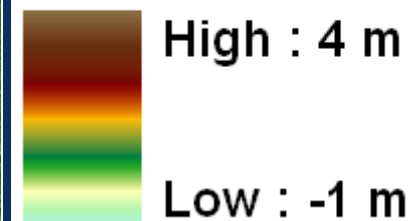
2008 ITALGEO 2005

### 3. Confronto con i rilievi precedenti e calcolo della aree di perdita e di guadagno

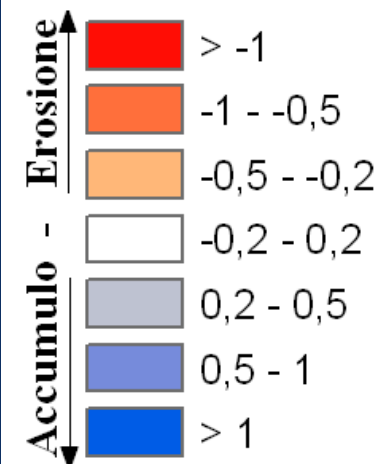


DTM LIDAR 2010

valore in metri



valore in metri

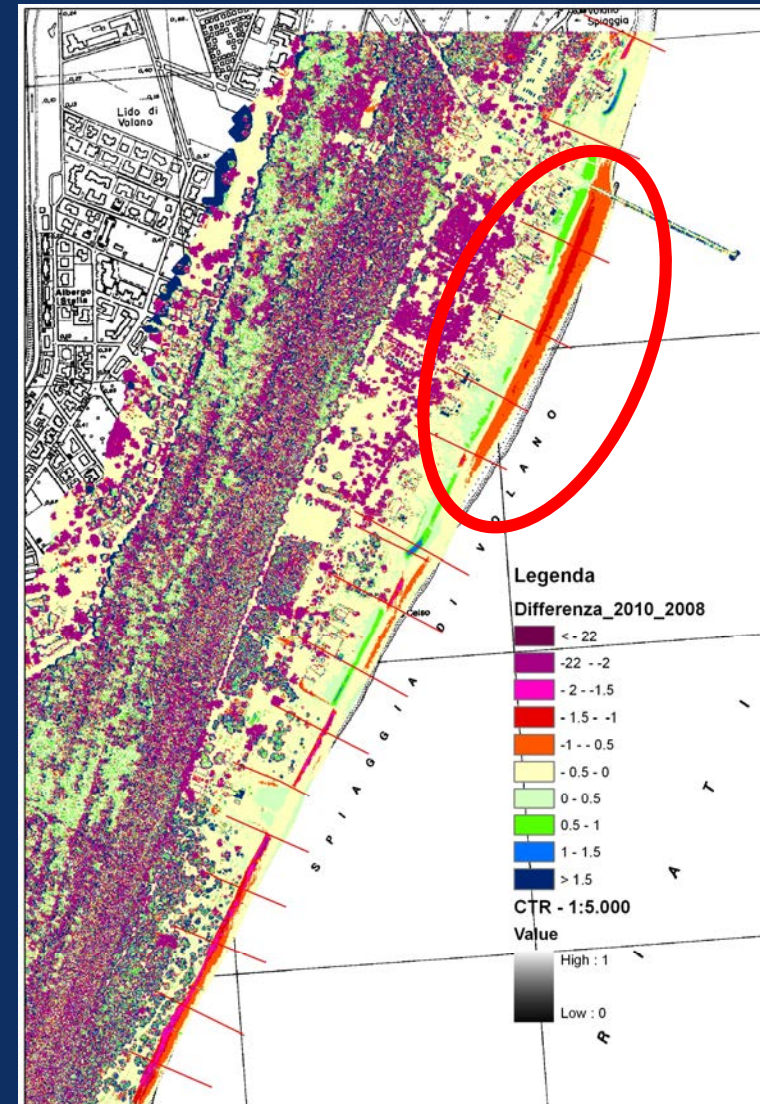




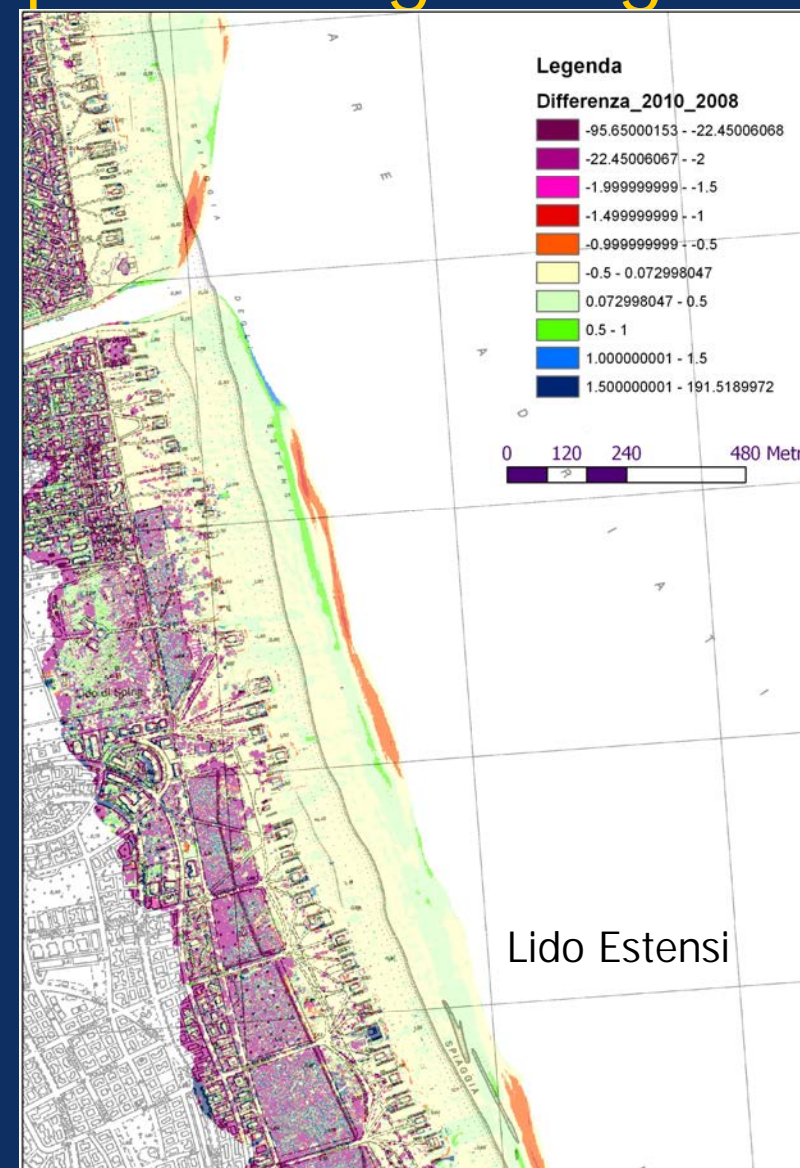
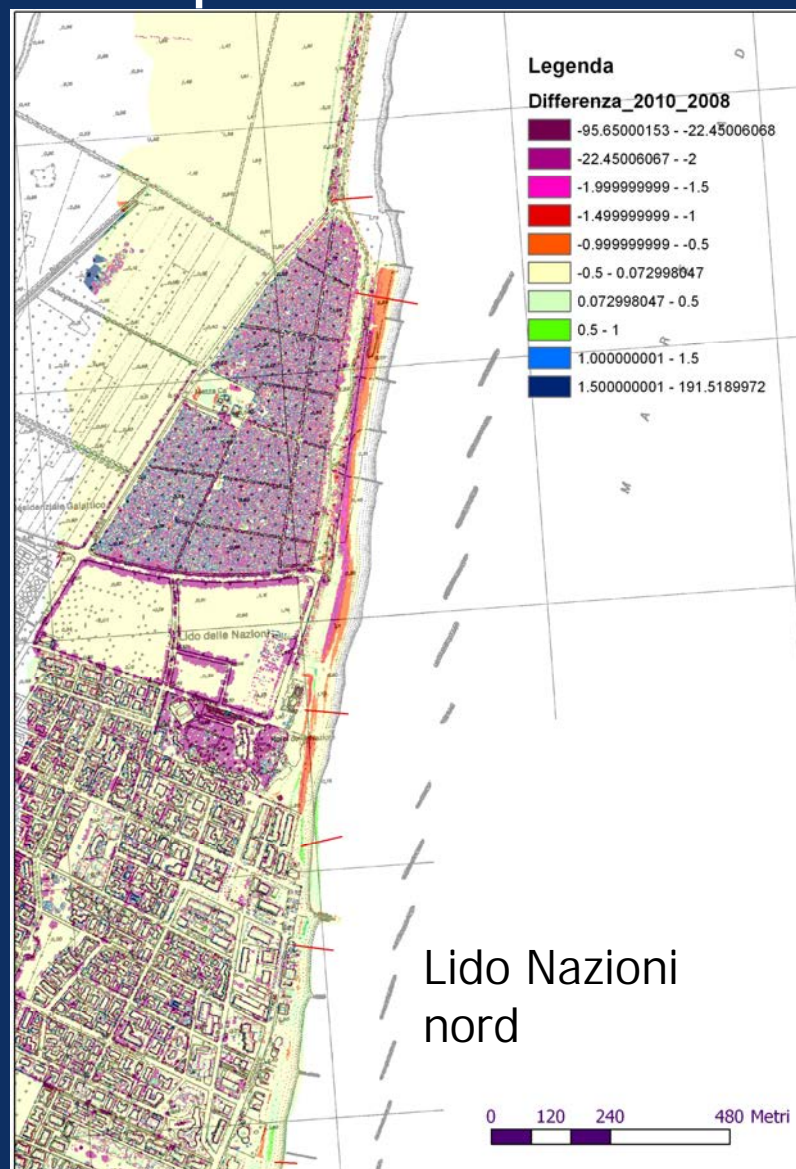
# 1° step di analisi: aree in perdita e guadagno

Ottenuto dalla sottrazione, in GIS, tra i 2 DTM Lidar del 2008 (PNT) e 2010 (PC)

Identificazione delle zone maggiormente colpite e sulle quali approfondire le indagini

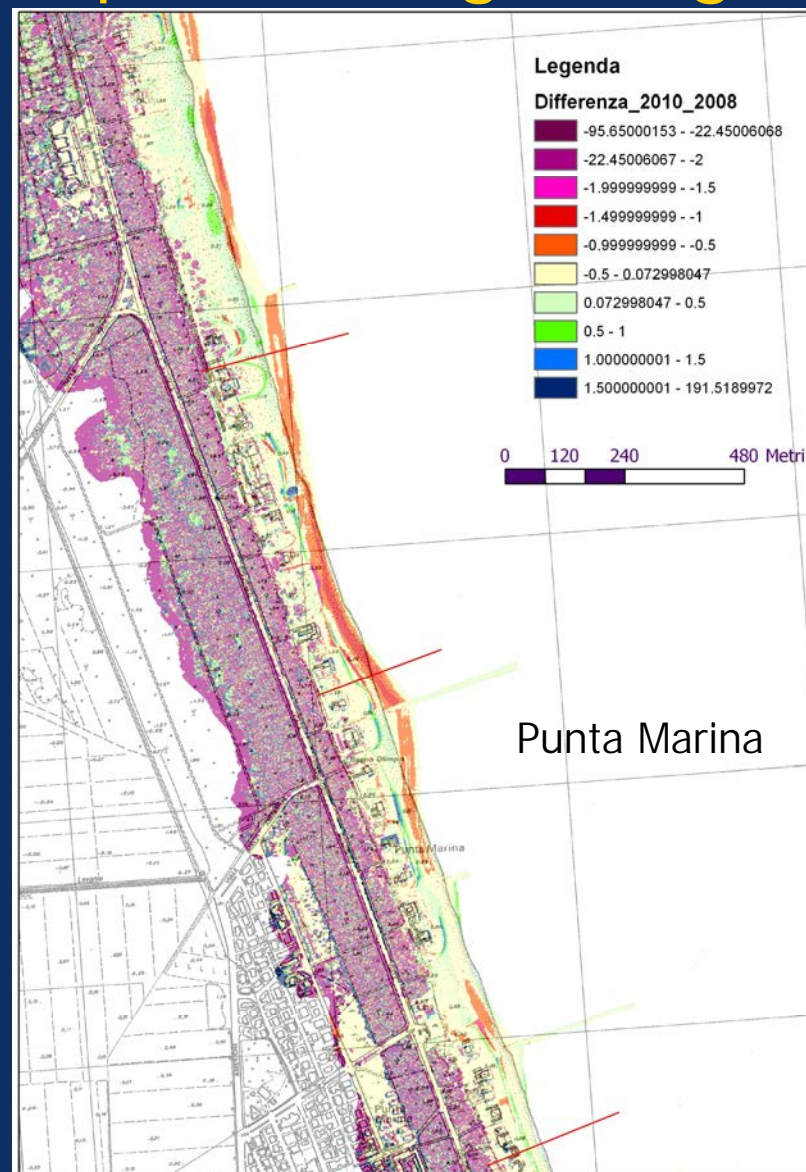
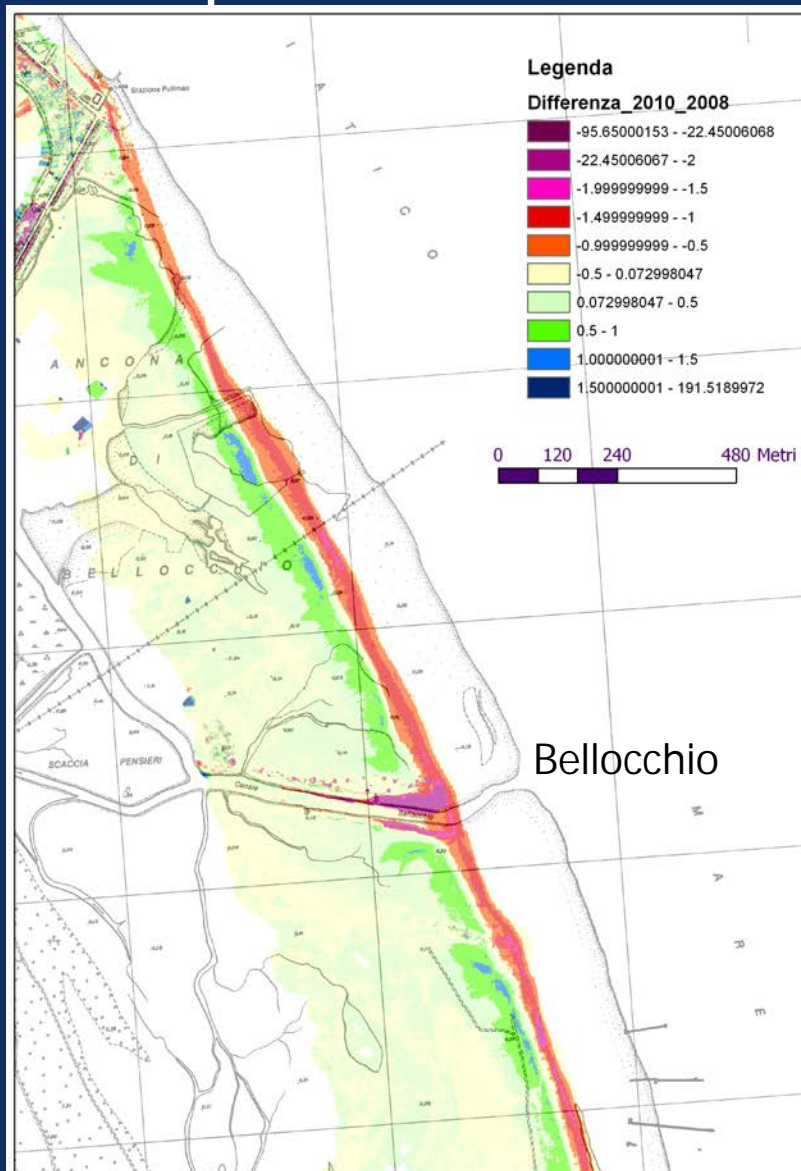


# 1° step di analisi: aree in perdita e guadagno



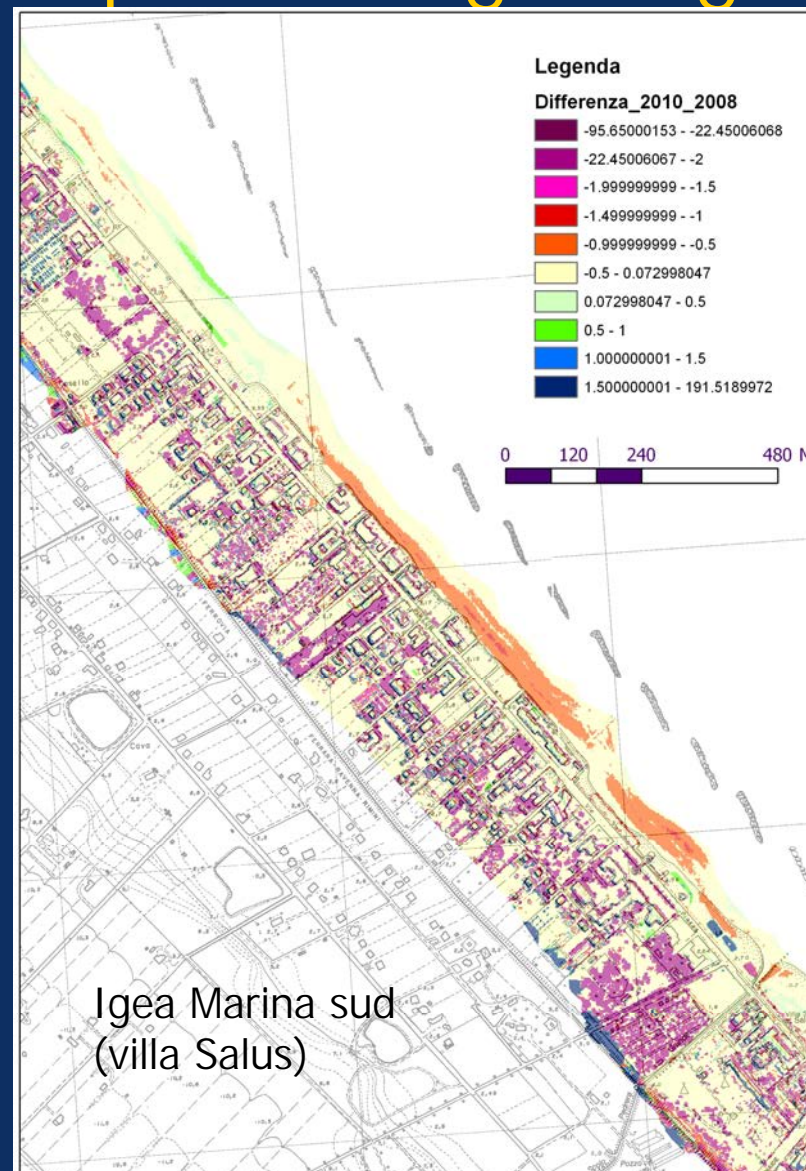
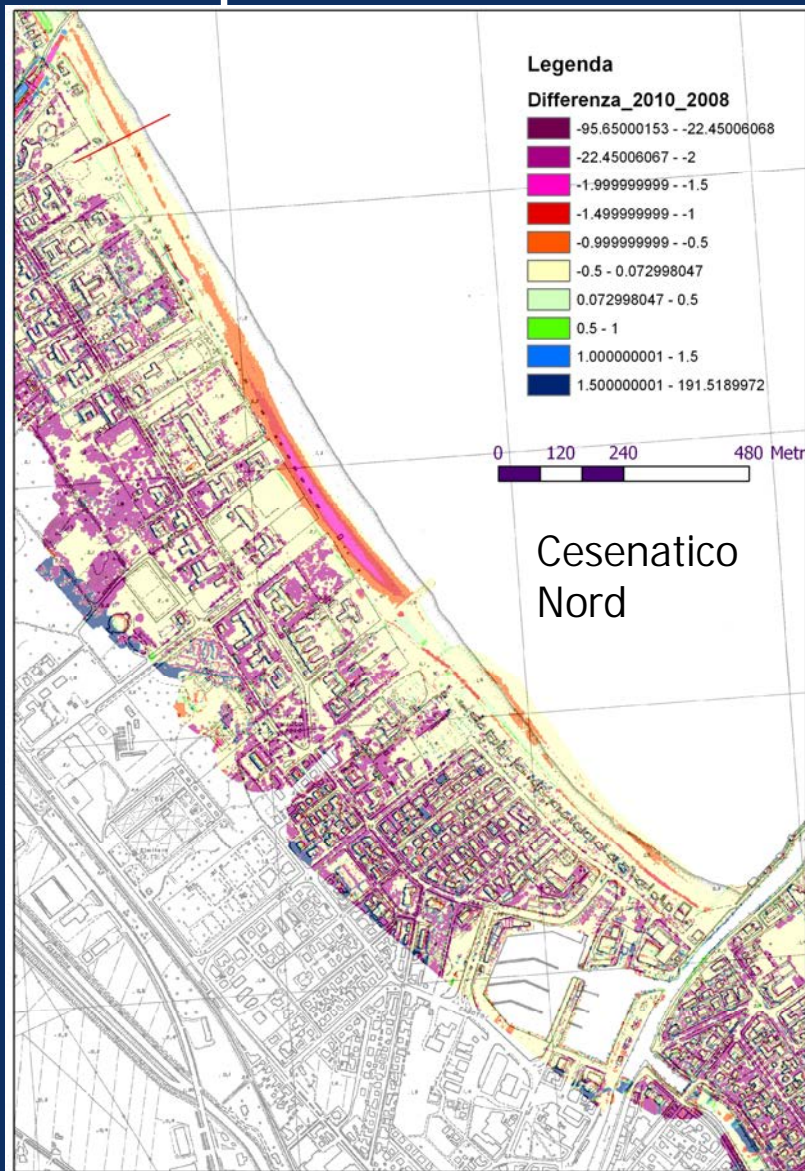


# 1° step di analisi: aree in perdita e guadagno



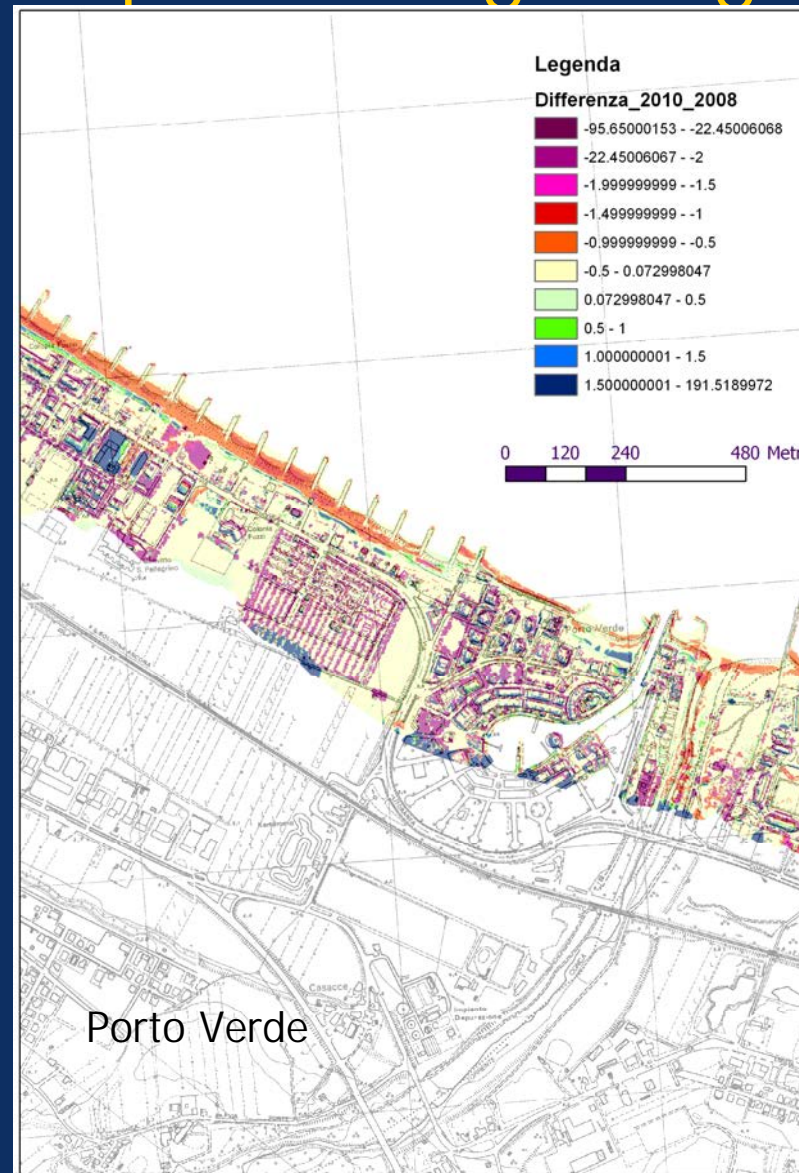
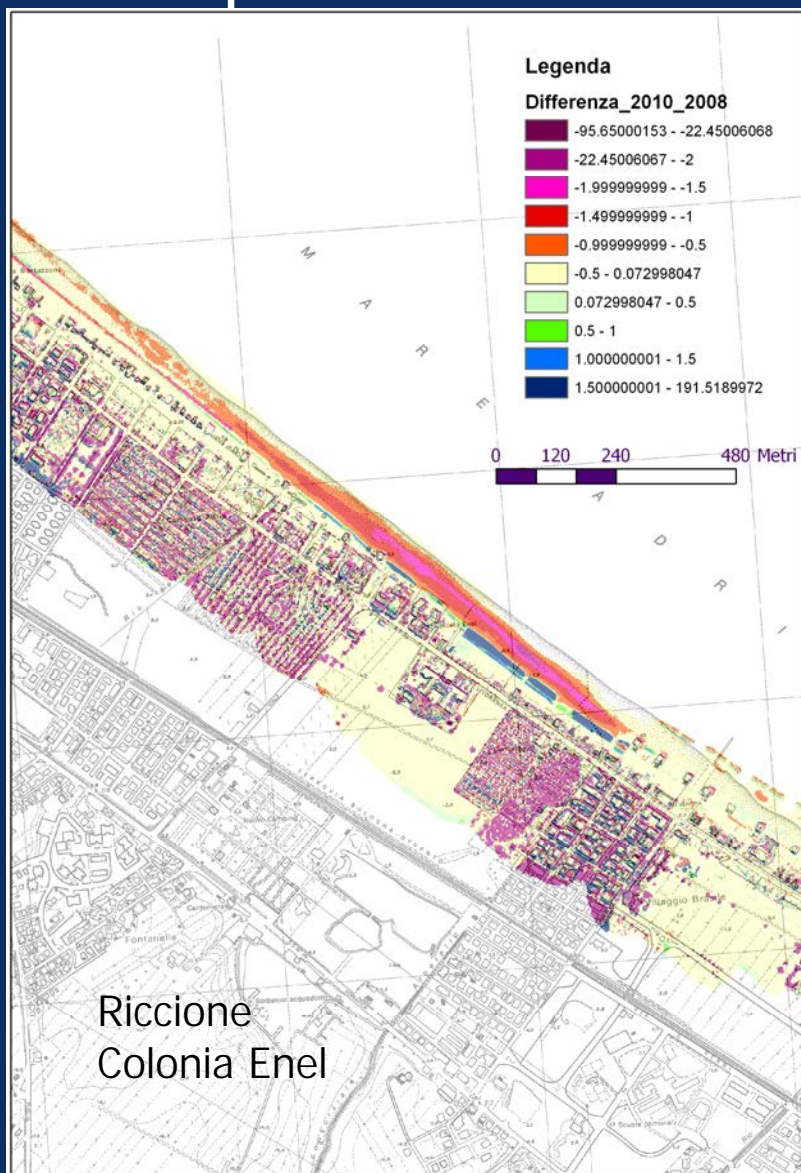


# 1° step di analisi: aree in perdita e guadagno

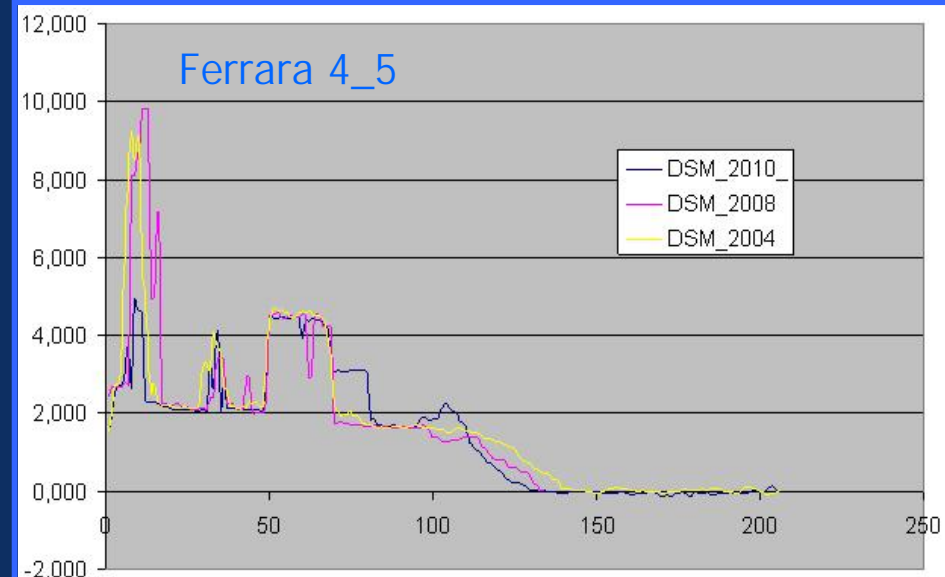
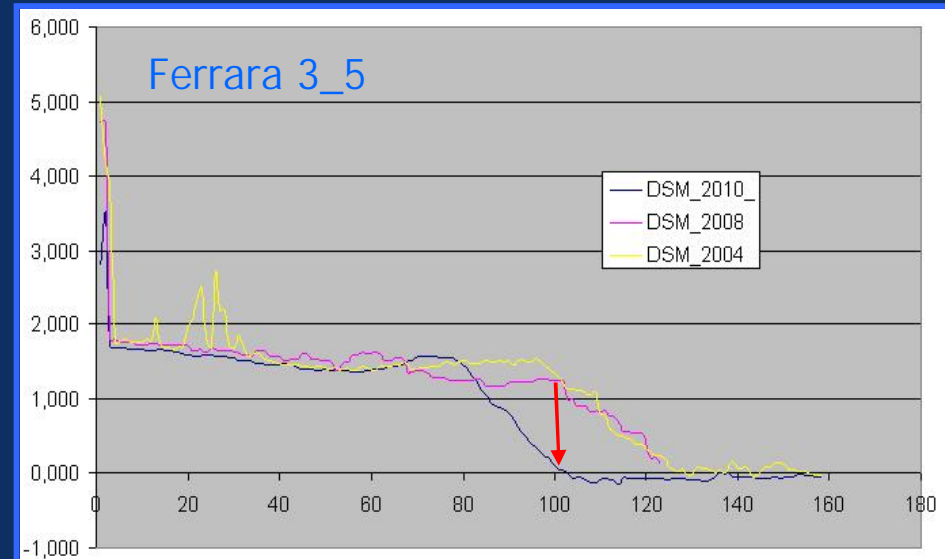
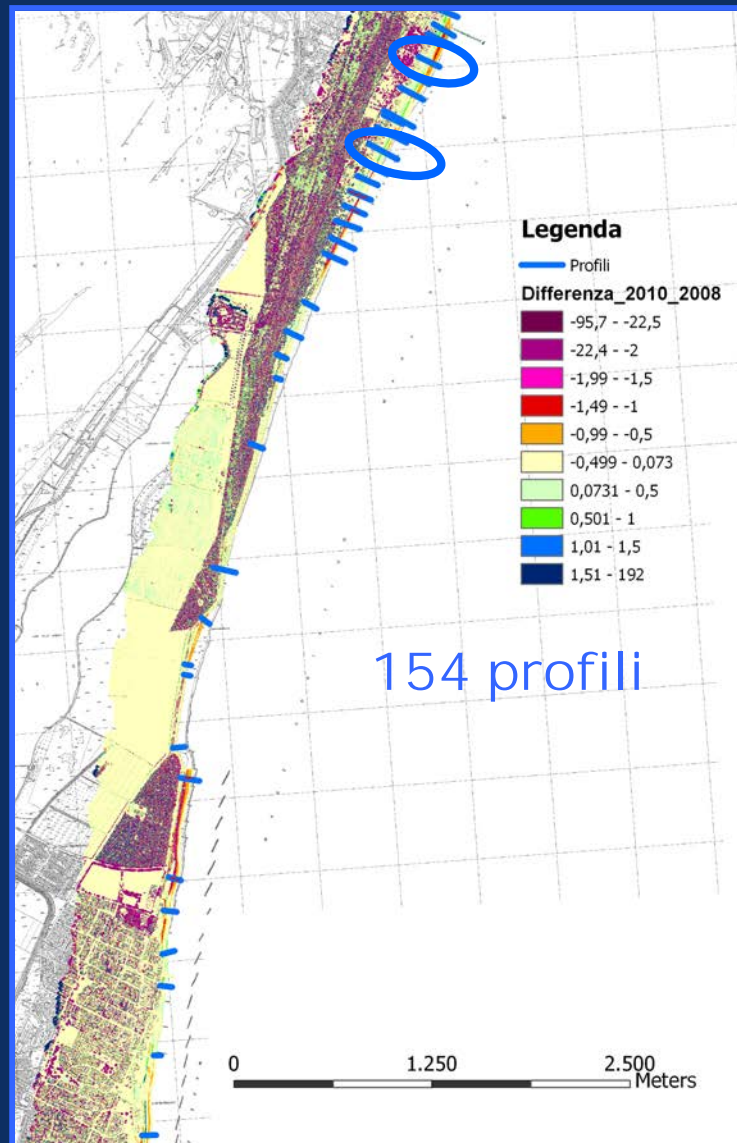




# 1° step di analisi: aree in perdita e guadagno

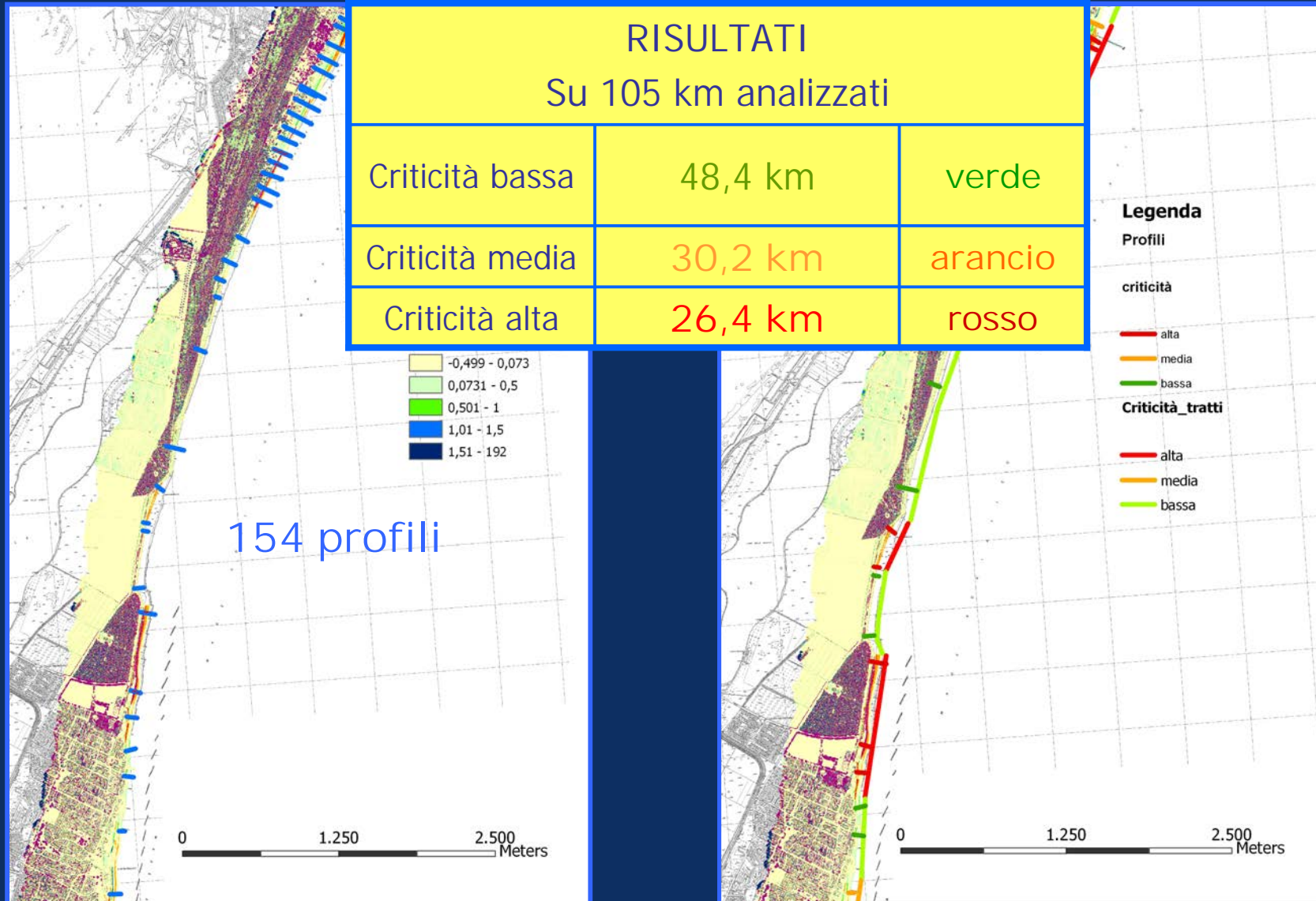


## 4 Estrazione dei profili e classificazione del grado di criticità

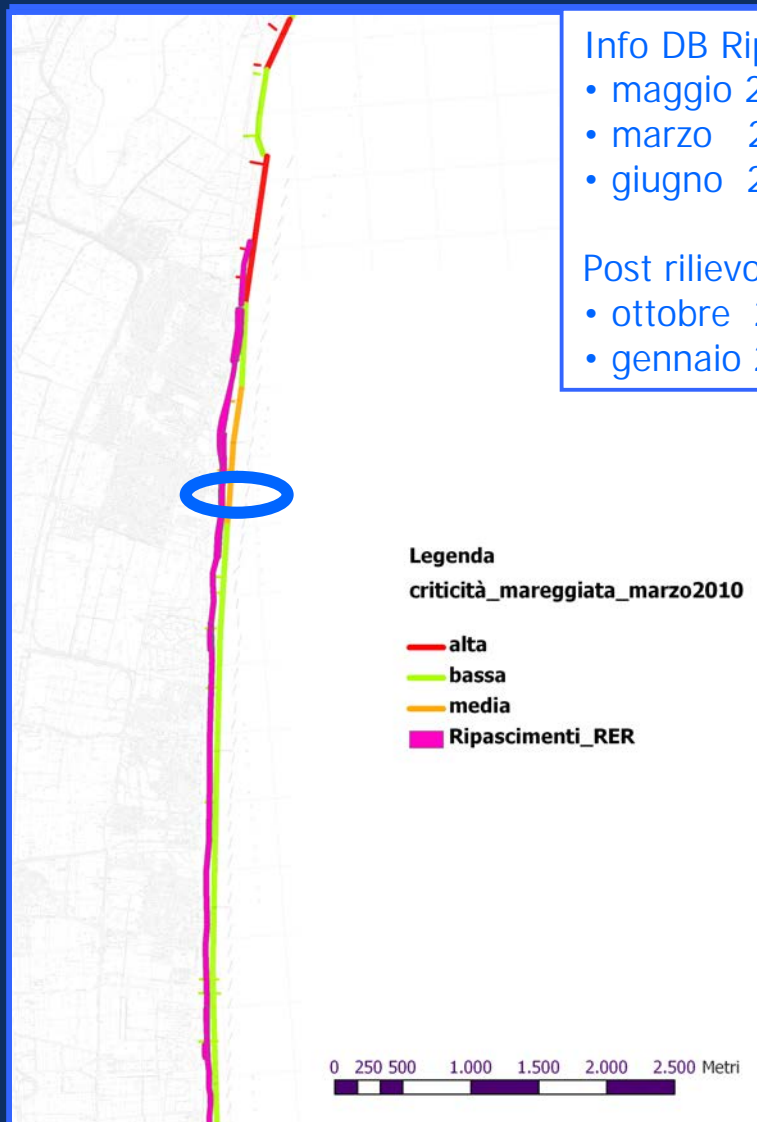




## 4 Estrazione dei profili e classificazione del grado di criticità



## 5. Analisi delle variazioni della spiaggia a partire dal 2004

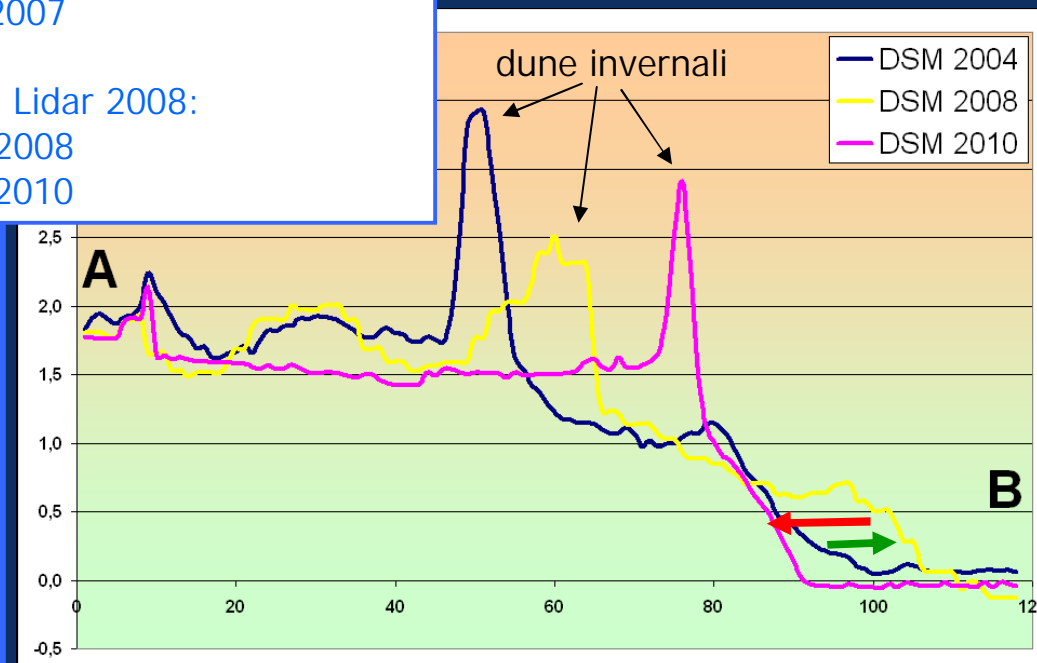


Info DB Ripascimenti: cella 69-70

- maggio 2006
- marzo 2007
- giugno 2007

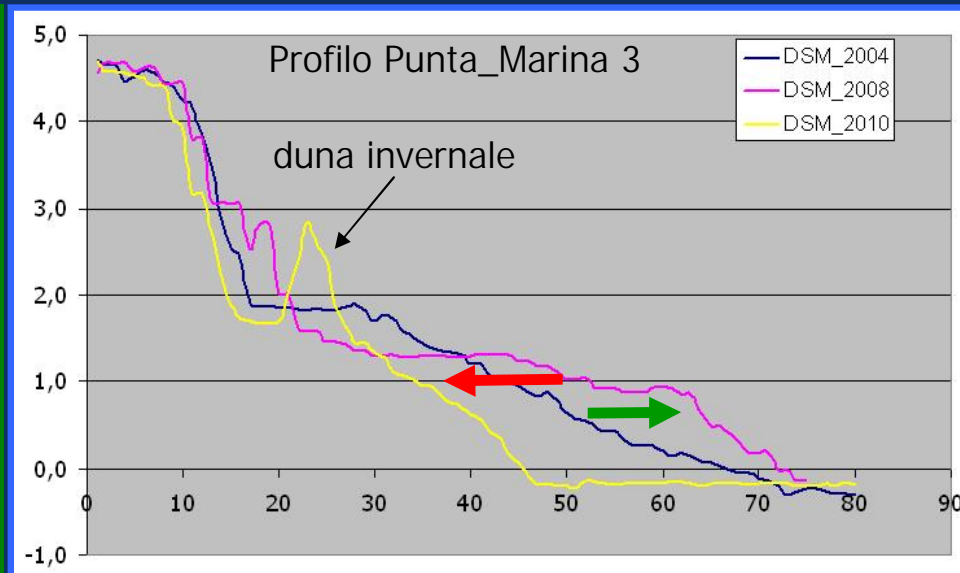
Post rilievo Lidar 2008:

- ottobre 2008
- gennaio 2010





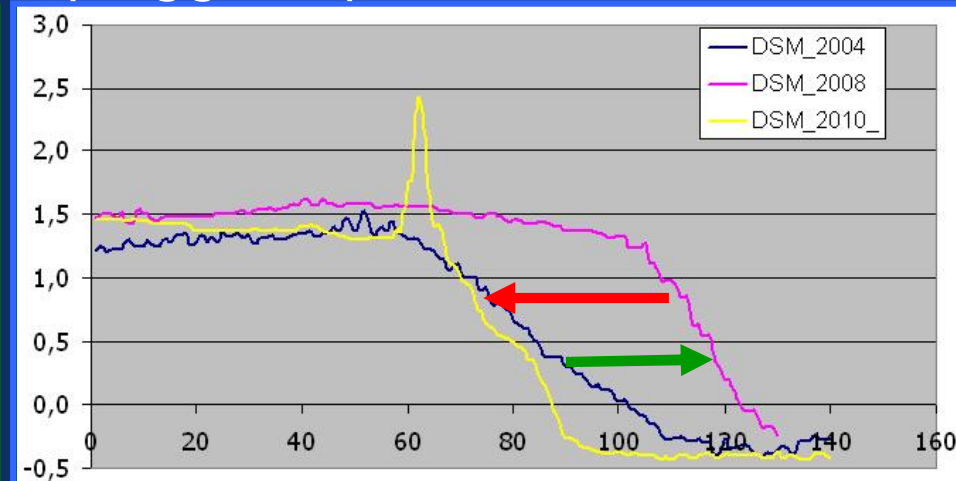
## 5. Analisi delle variazioni della spiaggia a partire dal 2004



Info DB Ripascimenti: cella 44

- 2005
- 2006
- 2007

## 5. Analisi delle variazioni della spiaggia a partire dal 2004



Info DB Ripascimenti: cella 28

- ottobre 2004
- maggio 2005
- novembre 2006

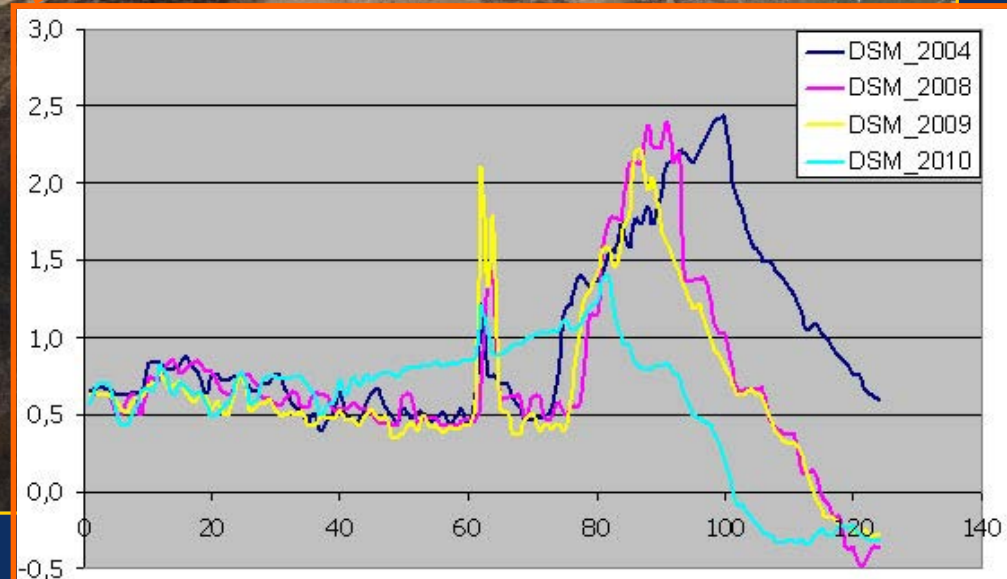
Post-rilievo 2008

- maggio 2009

## 6. Fotointerpretazione delle morfologie da impatto

Morfologie da impatto
Ventaglio di Washover
Terrazzo di tempesta
Beach ridge
Spiaggia allagata
Canale di deflusso

Washover fan: deposito da mareggiata con elevato run-up – tipicamente nel back-shore



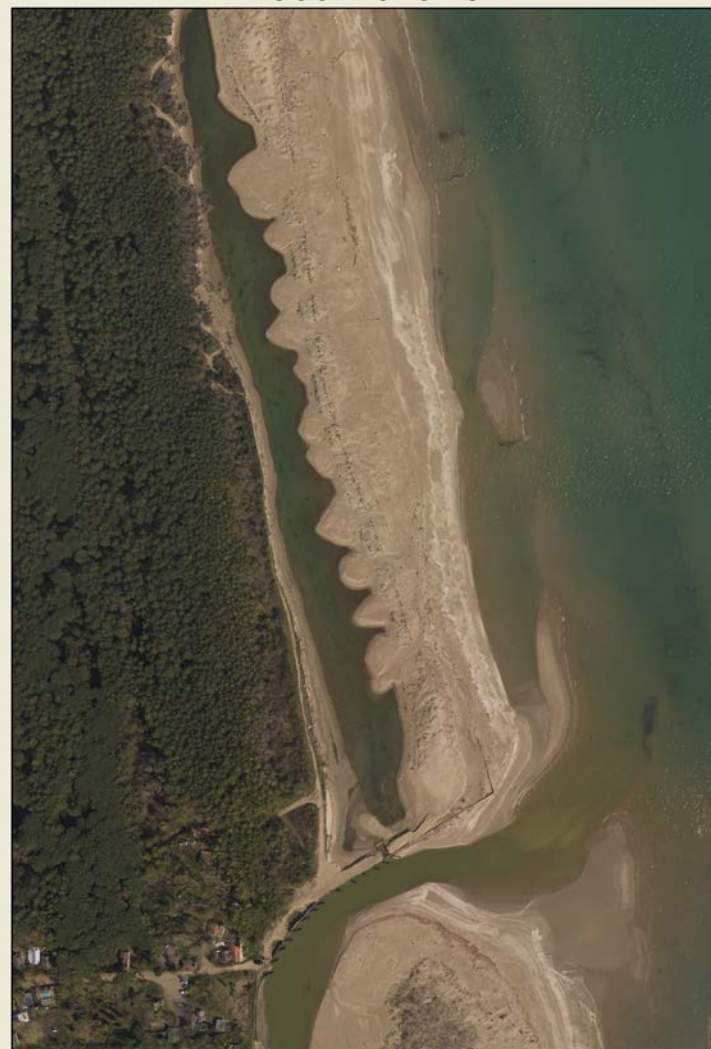


## 6. Fotointerpretazione delle morfologie da impatto

Morfologie da impatto
Ventaglio di Washover
Terrazzo di tempesta
Beach ridge
Spiaggia allagata
Canale di deflusso

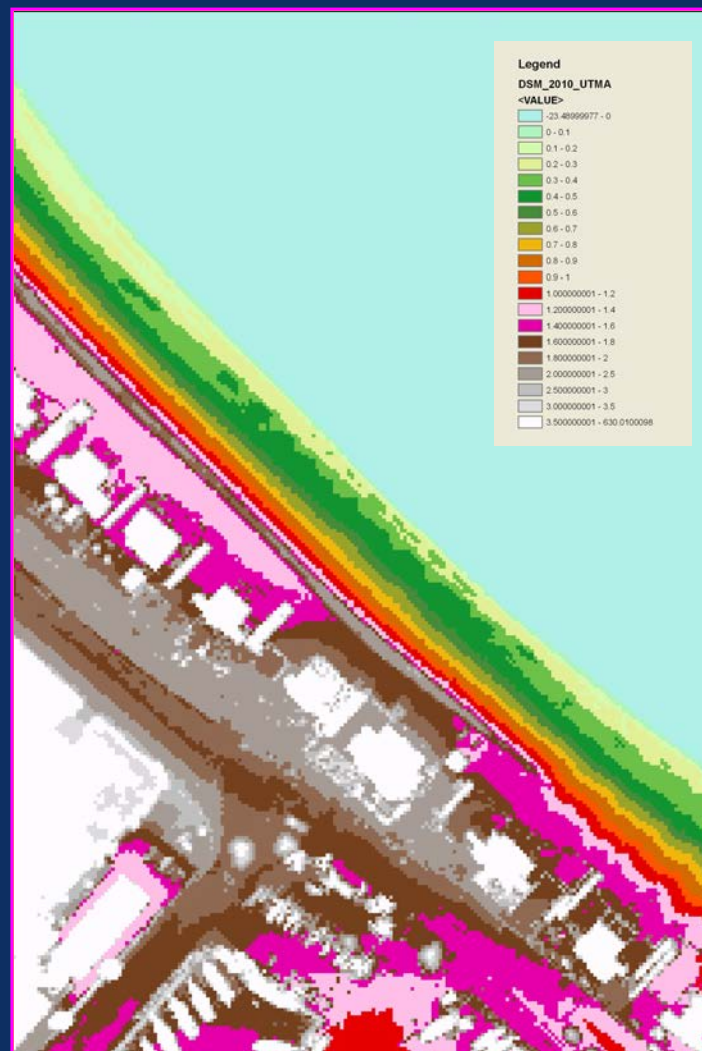
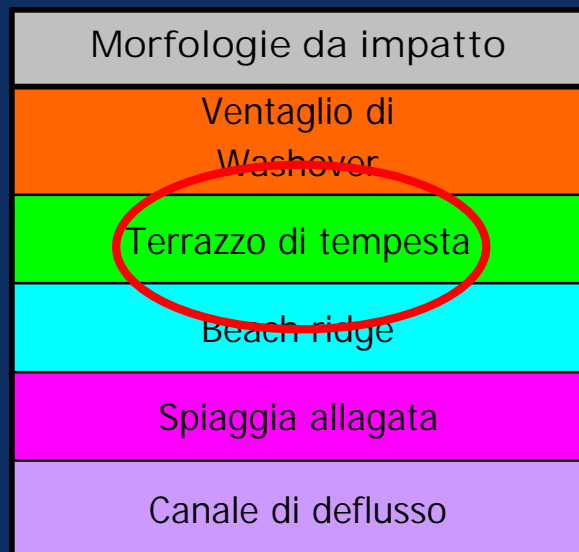
Washover fan: deposito da mareggiata con elevato run-up – tipicamente nel back-shore

Foce Bevano





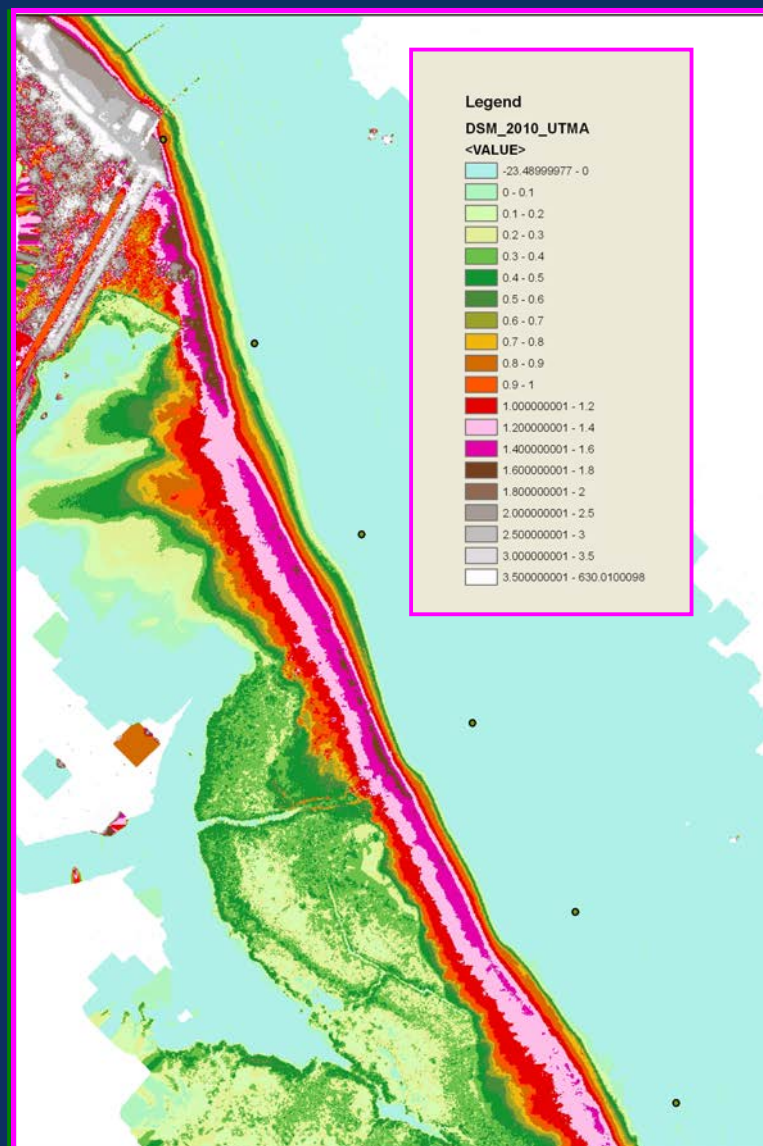
## 6. Fotointerpretazione delle morfologie da impatto



## 6. Fotointerpretazione delle morfologie da impatto



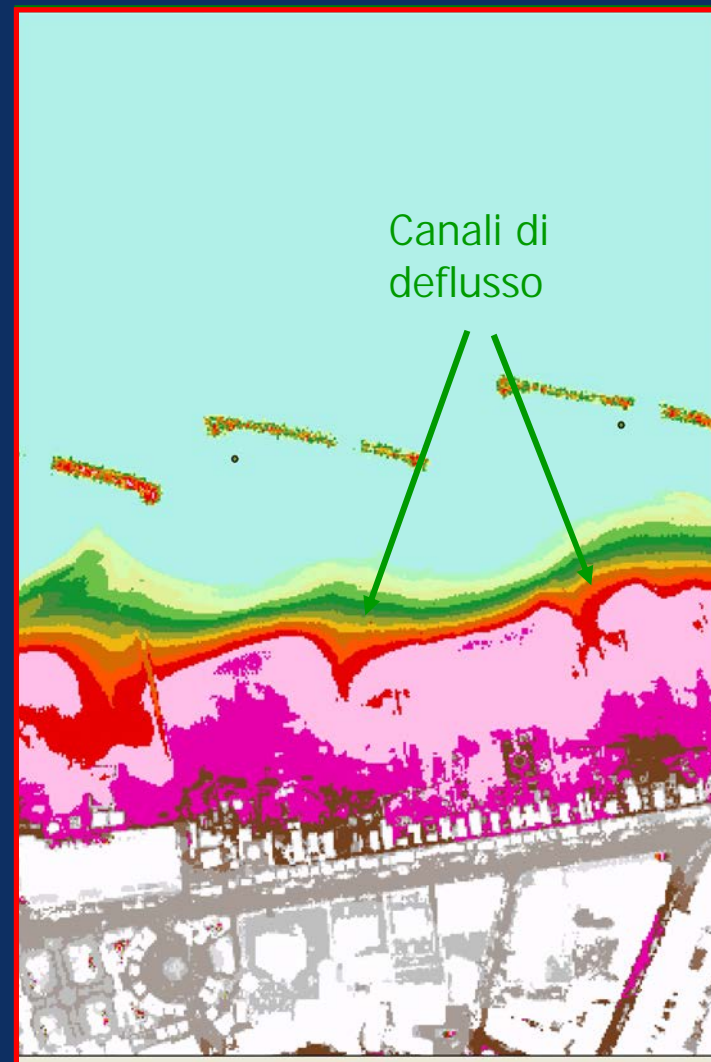
Beach ridge: deposito allungato parallelo alla linea di riva prodotta dalla mareggiata



## 6. Fotointerpretazione delle morfologie da impatto

Morfologie da impatto
Ventaglio di Washover
Terrazzo di tempesta
Beach ridge
Spiaggia allagata
Canale di deflusso

Canali di deflusso:  
depressioni legate a un  
rapido deflusso  
dell'acqua







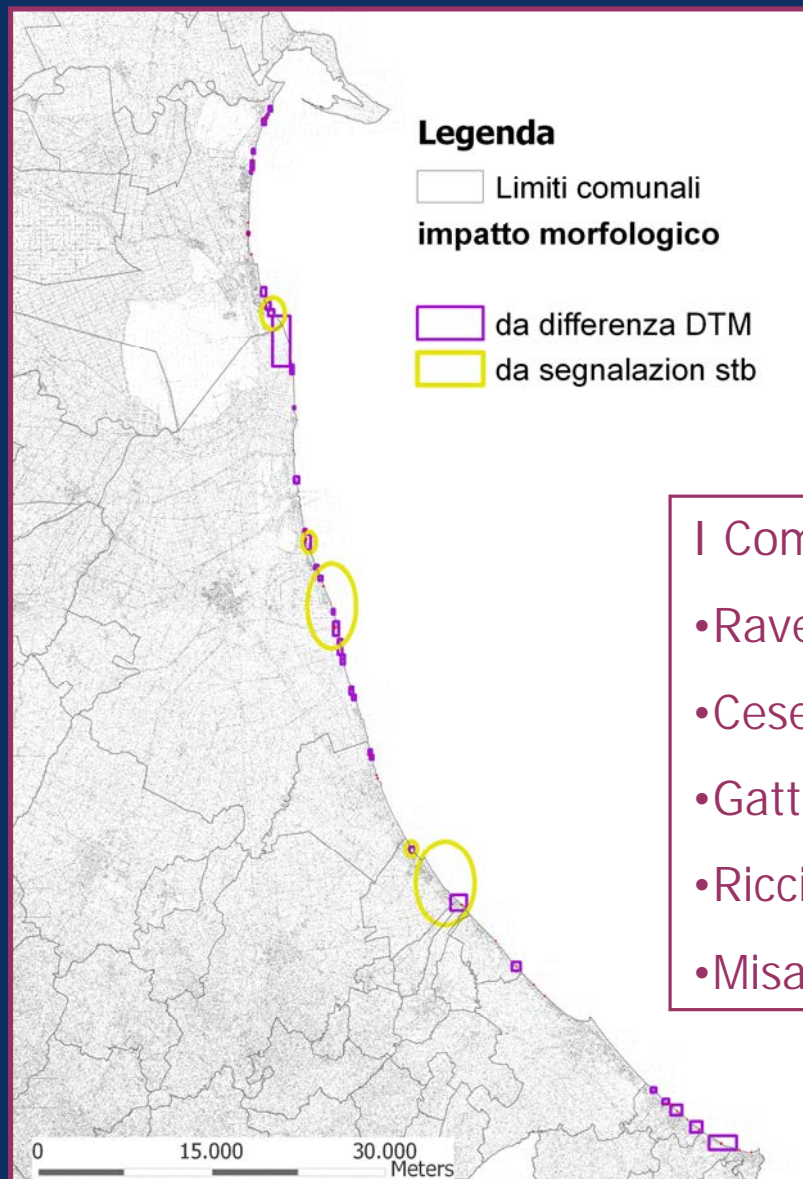
REGIONE EMILIA-ROMAGNA  
DIREZIONE REGIONALE DELL'AMBIENTE  
E DEL TERRITORIO



micore

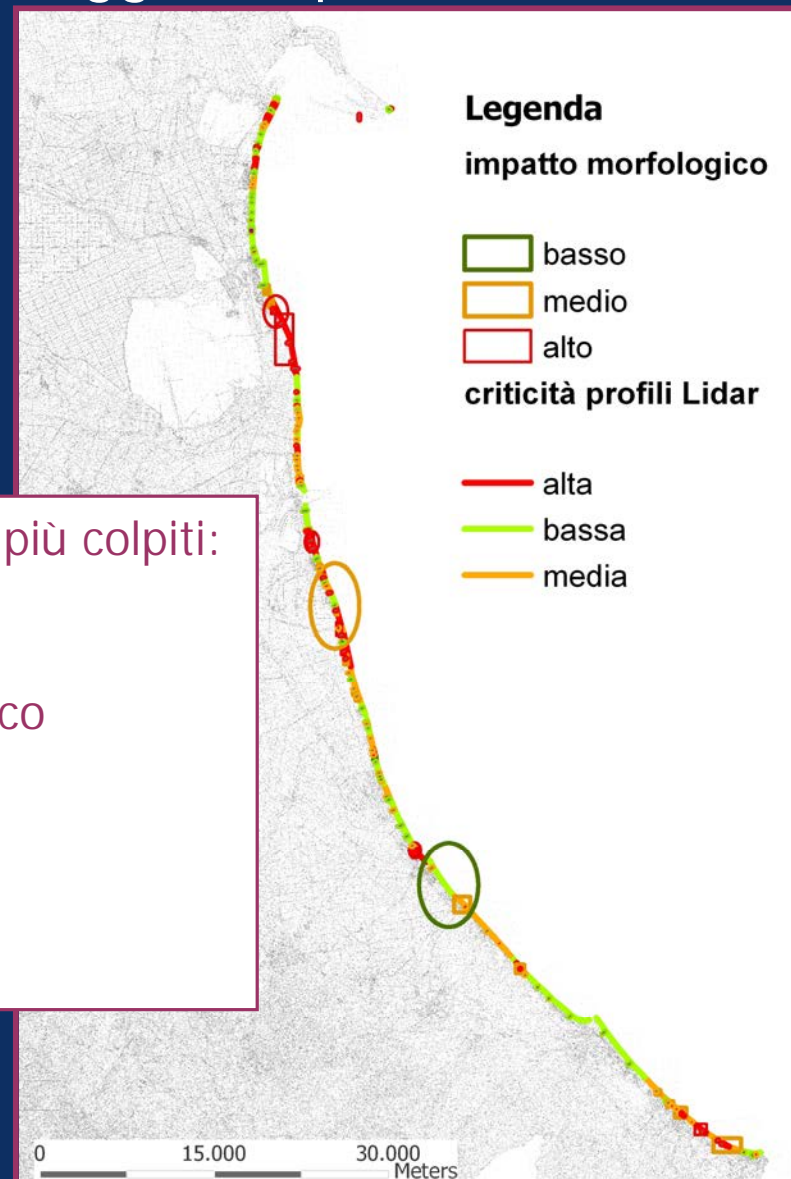


## 7. Delimitazione delle aree a maggior impatto



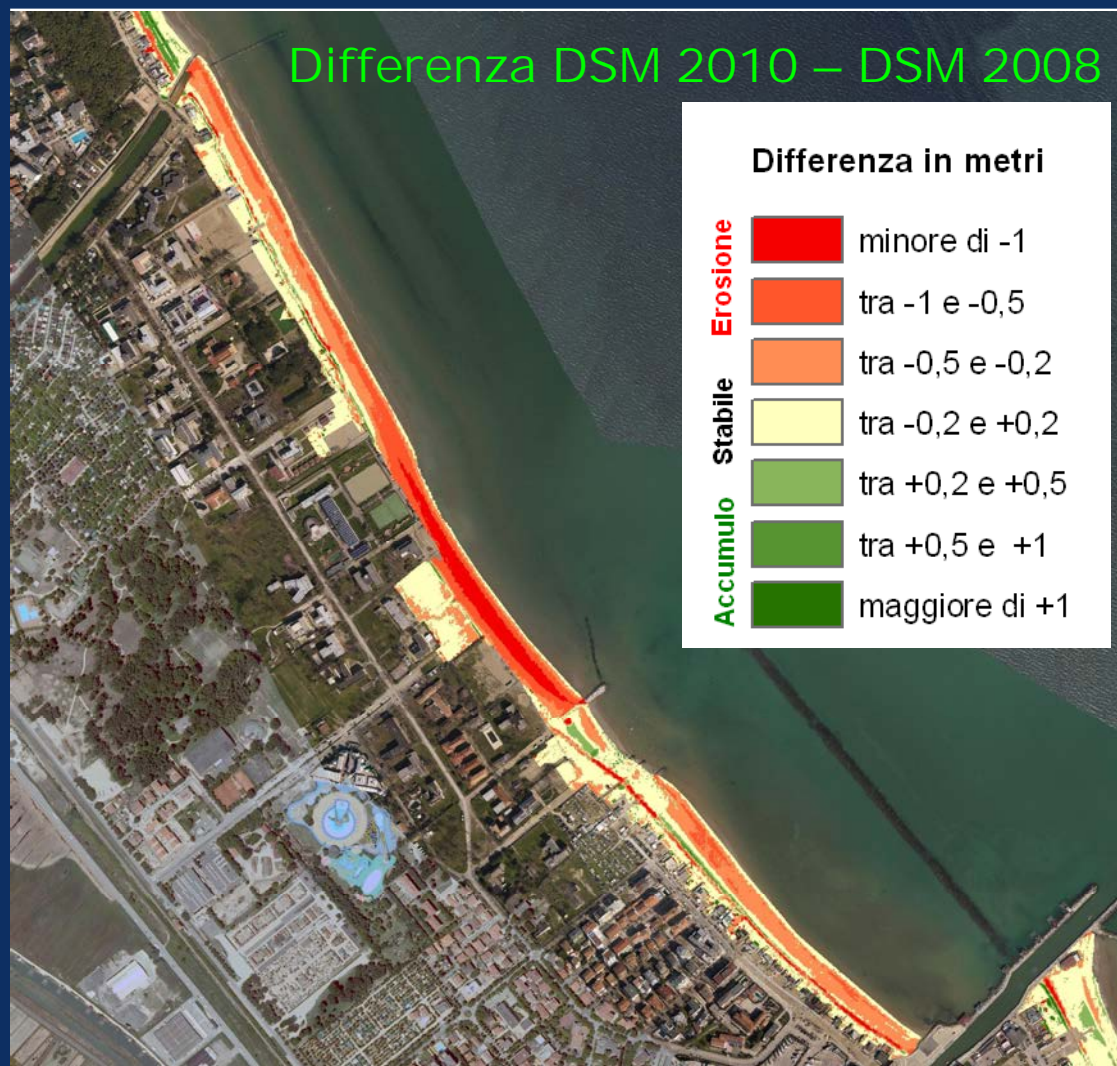
I Comuni più colpiti:

- Ravenna
- Cesenatico
- Gatteo
- Riccione
- Misano





## 8. Calcolo delle perdite di sedimento



1- Estrazione DSM 2008  
della spiaggia emersa

2- Estrazione DSM 2010  
della spiaggia emersa

3- Differenza (sottrazione)  
DSM 2010 - DSM 2008

## 8.1 Calcolo dei volumi persi e/o guadagnati dal 2008 al 2010

	superficie totale	superficie erosione	Superficie accumulò	Volume erosione	Volume accumulò	Perdita superfici	Superfici (ha)	Pedita Volumi m3	PROVINCE
1-Cattolica	184892	139354	45538	-26852,984	6742,203	-9,4		-20111	RIMINI
2-Porto Verde	26360	23358	3002	-8819,176	1029,447	-2,0		-7790	
3-Misano	136464	112405	24059	-64865,211	12670,720	-8,8		-52194	
4-Riccione	380443	322101	58342	-134391,170	31083,750	-26,4		-103307	
5-Riccione Alba	188227	164045	24182	-55906,127	10078,338	-14,0		-45828	
6-Rimini Sud	1143377	908311	235066	-211787,138	46099,777	-67,3		-165687	
7-Rimini Nord	33571	18047	15524	-4501,636	4497,062	-0,3		-5	
8-Igea	268647	216795	51852	-71535,830	16662,210	-16,5		-54874	
9-Torre Pedrera	562671	330597	232074	-75549,485	52168,343	-9,9		-23381	
10-Bellaria	231645	176867	54778	-60496,590	17893,377	-12,2		-42603	
11-Cesenatico Sud	398986	276292	122694	-89294,511	41781,494	-15,4		-47513	CESENATICO
12-Cesenatico Nord	156197	135241	20956	-55172,999	5303,081	-11,4		-49870	
13-Cervia	585341	416142	169199	-111012,553	46831,857	-24,7		-64181	RAVENNA
14-Milano Marittima Sud	129403	84477	44926	-25487,565	9106,751	-4,0		-16381	
15-Milano Marittima Nord	153711	112679	41032	-41125,993	14212,888	-7,2		-26913	
16-Savio	122094	78490	43604	-19196,177	10681,865	-3,5		-8514	
17-Lido di Classe	197117	147887	49230	-38753,961	9607,742	-9,9		-29146	
18-Bevano Sud	254907	201071	53836	-58896,273	12869,576	-14,7		-46027	
19-Bevano Nord	163825	121266	42559	-56237,899	11953,917	-7,9		-44284	
20-Lido di Dante	38999	30042	8957	-12703,153	3707,036	-2,1		-8996	
21-Lido di Dante Nord	43115	22543	20572	-12544,662	7301,822	-0,2		-5243	
22-Fiumi Uniti	17485	11524	5961	-4384,717	1448,194	-0,6		-2937	
23-Lido Adriano	265961	147105	118856	-45255,782	32773,840	-2,8		-12482	FERRARA
24-Punta Marina	695025	354367	340658	-114634,671	86329,451	-1,4		-28305	
25-Porto Corsini	378226	224783	153443	-66882,006	40918,640	-7,1		-25963	
26-Casal Borsetti	165276	112451	52825	-34019,921	9730,763	-6,0		-24289	
27-Foce Reno	41318	34023	7295	-27363,079	2229,950	-2,7		-25133	
28-Bellocchio	431913	228836	203077	-184126,754	108937,311	-2,6		-75189	
29-Spina Sud	515805	261608	254197	-61678,903	50379,030	-0,7		-11300	
30-Spina Nord	423538	160063	263475	-22945,328	49090,376	10,3		26145	
31-Porto Garibaldi	680379	347745	332634	-105372,544	87256,051	-1,5		-18116	
32-Lido di Volano	382481	223784	158697	-76504,045	38338,821	-6,5		-20455	
TOTALE	9397399	6144299	3253100	-1978299	879716	-289,1		- 1 098 583	

PROVINCIA

VOLUME PERSO

RIMINI

- 504 966 m<sup>3</sup>

CESENATICO

- 106 605 m<sup>3</sup>

RAVENNA

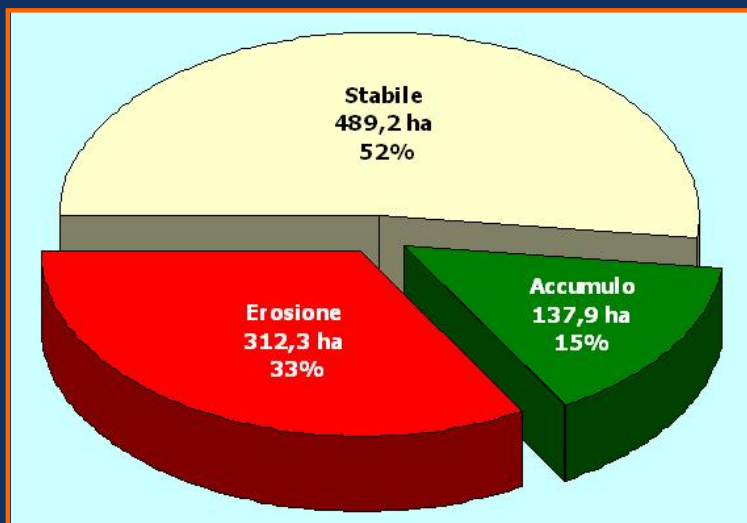
- 345 253 m<sup>3</sup>

FERRARA

- 141 759 m<sup>3</sup>

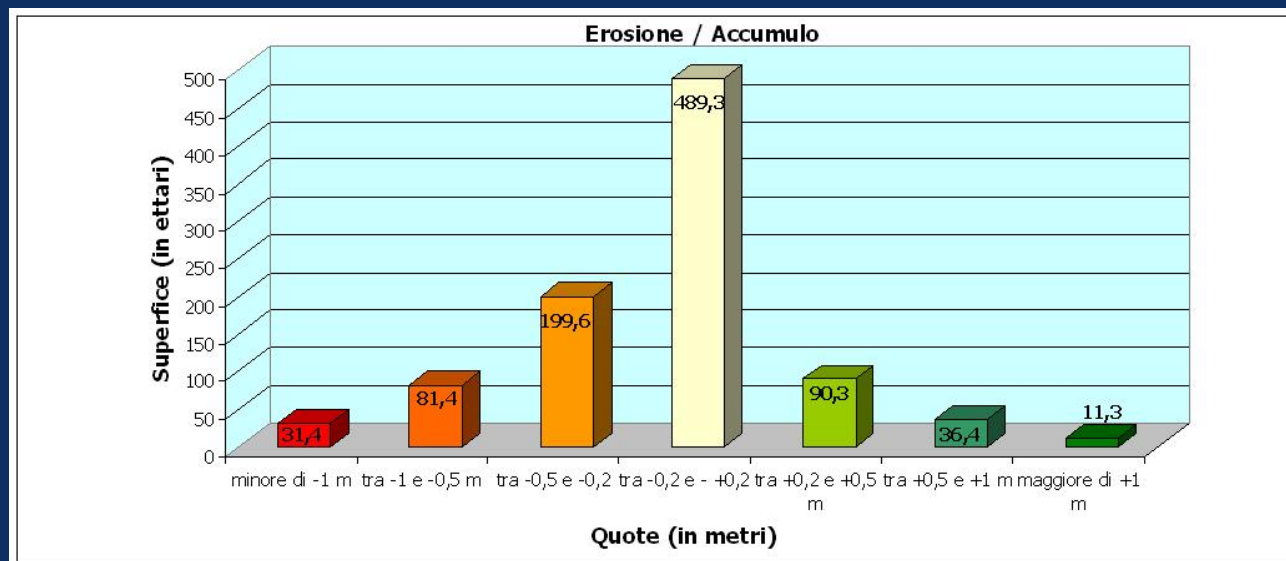


## 8.2 Calcolo delle superfici perse e/o guadagnate dal 2008 al 2010



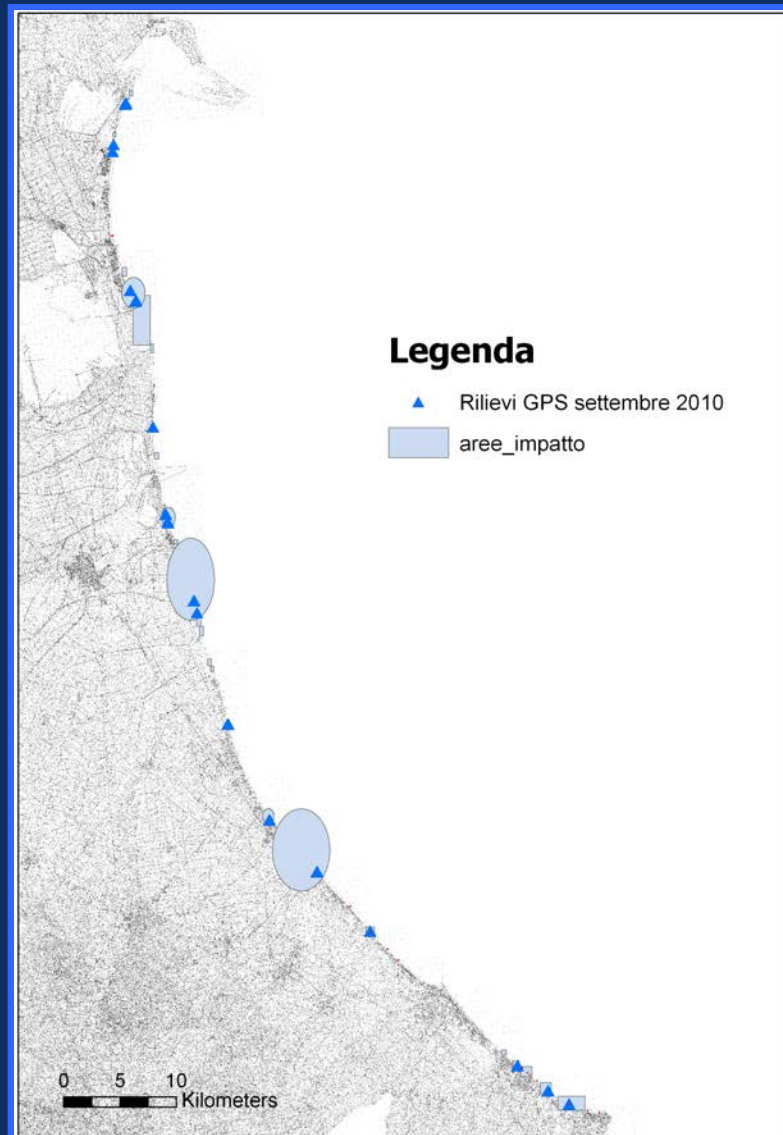
Erosione m <sup>2</sup>	Stabile m <sup>2</sup>	Accumulo m <sup>2</sup>
3 123 510	4 892 539	1 379 782

Quote (in metri)	Superficie (mq)	Superficie (ha)
minore di -1 m	313672	31,4
tra -1 e -0,5 m	814135	81,4
tra -0,5 e -0,2	1995703	199,6
tra -0,2 e +0,2	4892539	489,3
tra +0,2 e +0,5 m	902912	90,3
tra +0,5 e +1 m	364330	36,4
maggiore di +1 m	112541	11,3





## 8. Rilievi GPS di controllo – settembre 2010



### 21 Profili con tecnica DGPS

#### Principali risultati del confronto:

- alcuni tratti in ulteriore arretramento del fronte duna e abbassamento della spiaggia – soprattutto della porzione intertidale
- alcuni tratti hanno recuperato la perdita di sedimento grazie ad interventi di ripascimento o alla ri-distribuzione della sabbia di duna invernale
- non sono molto evidenti recuperi naturali



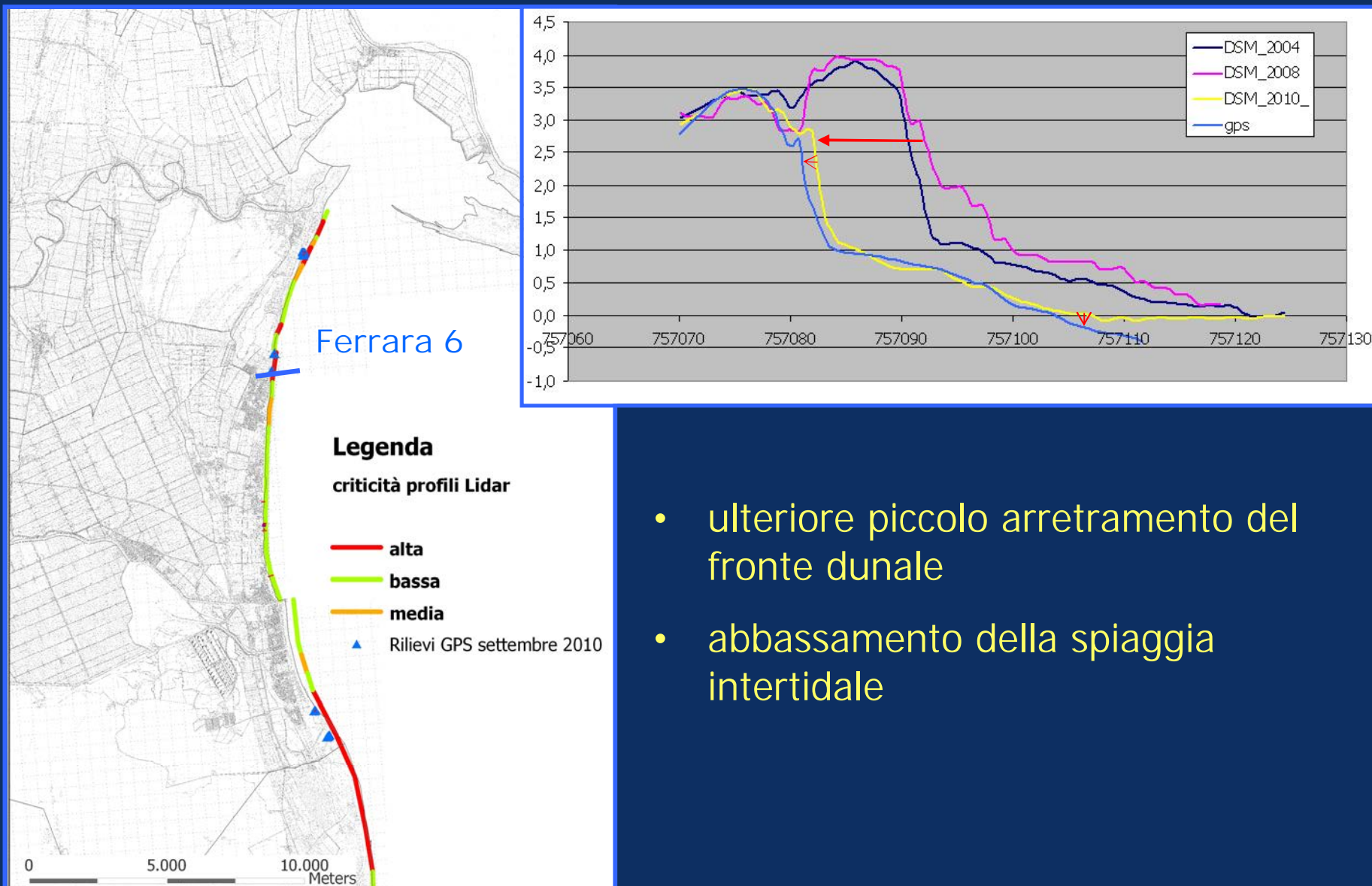
Ministero dell'Ambiente, del Territorio e delle Politiche Regionali  
Dipartimento delle Politiche Regionali



micore

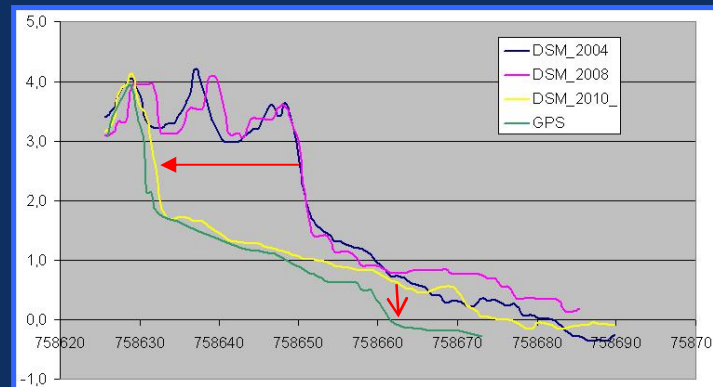
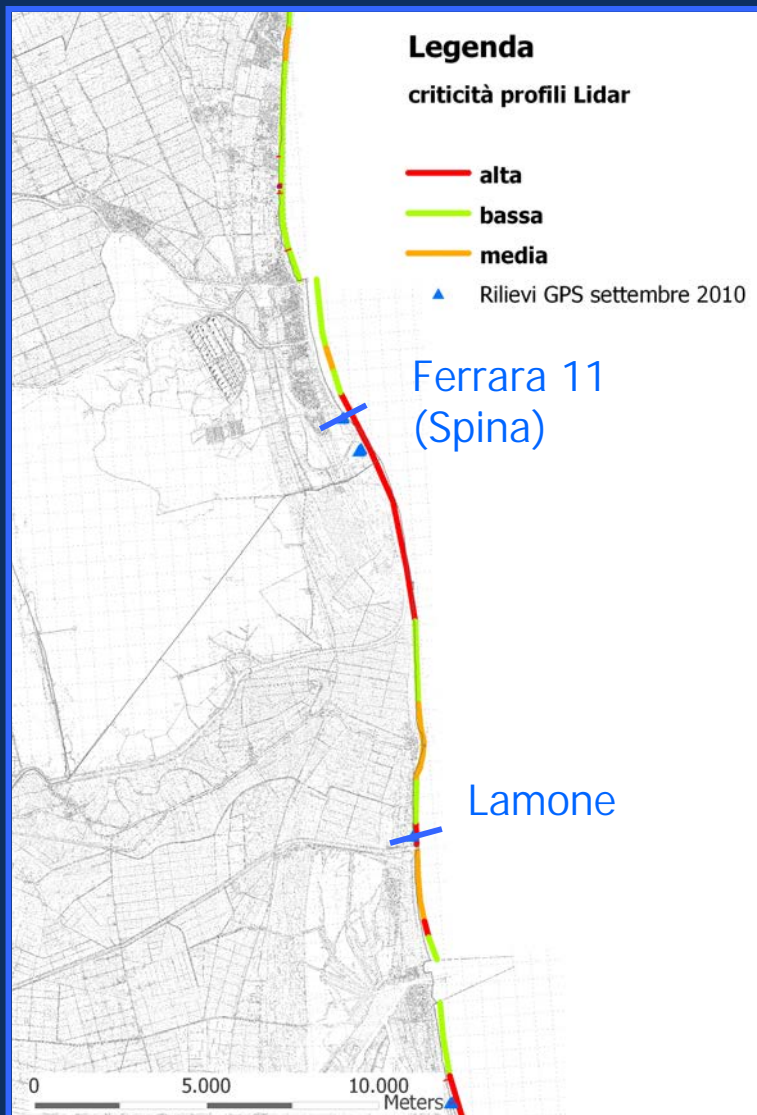


## 8. Rilievi GPS di controllo – settembre 2010



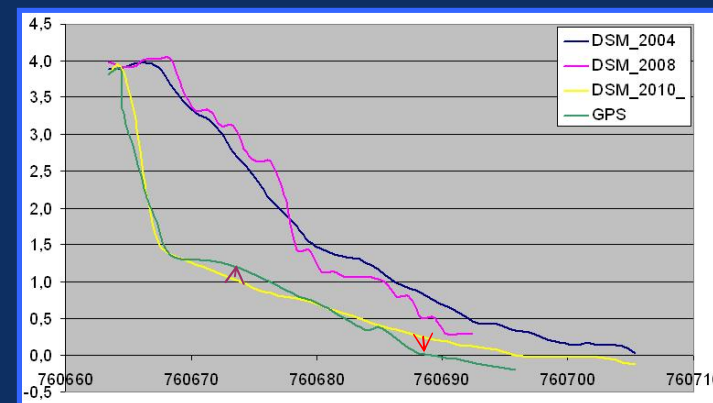
- ulteriore piccolo arretramento del fronte dunale
- abbassamento della spiaggia intertidale

## 8. Rilievi GPS di controllo – settembre 2010



Ferrara 11  
(Spina)

- piccolo arretramento del fronte dunale
- abbassamento della spiaggia – forte abbassamento nella porzione intertidale



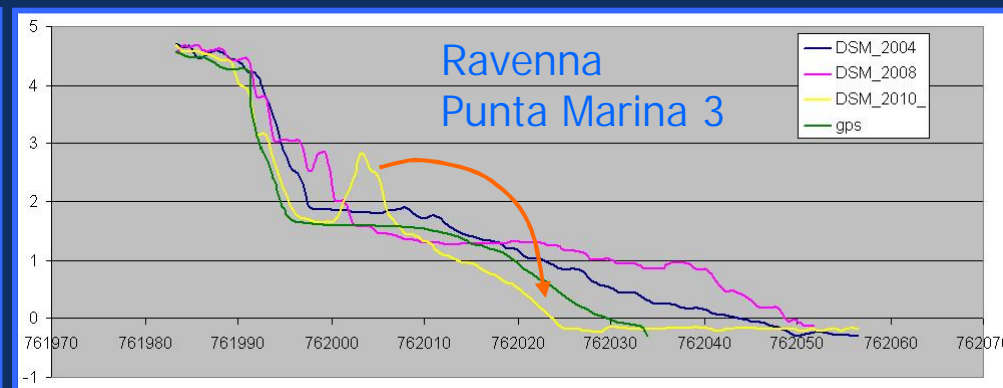
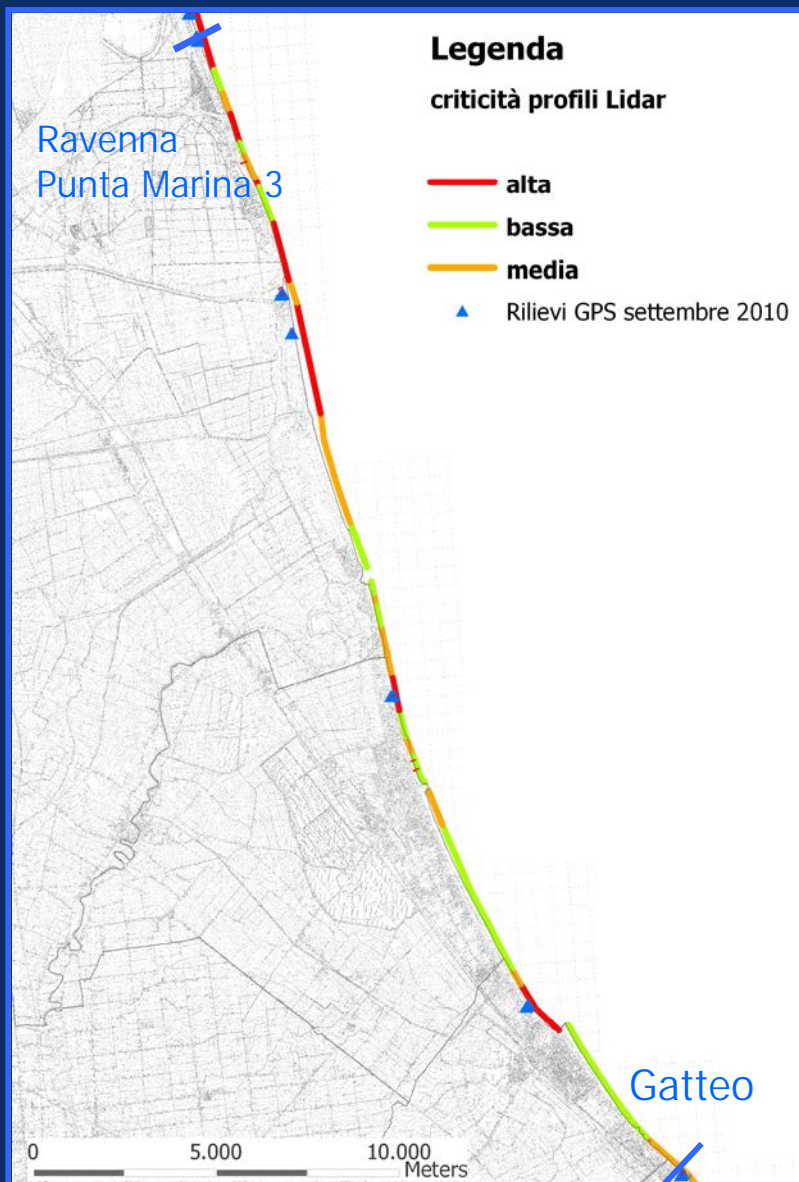
Lamone

- recupero spiaggia alta (ripascimento??) – abbassamento nella porzione intertidale

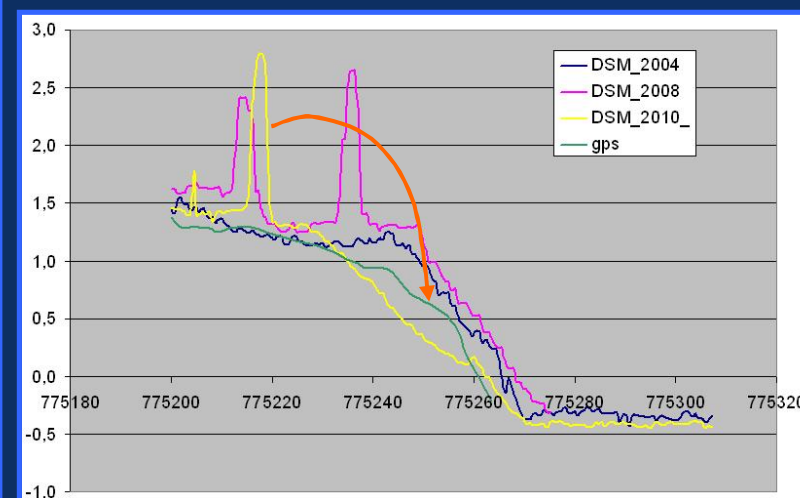




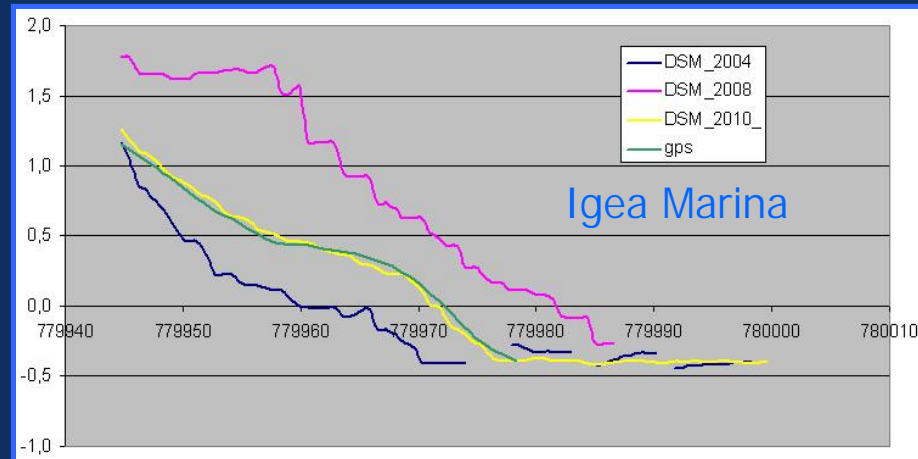
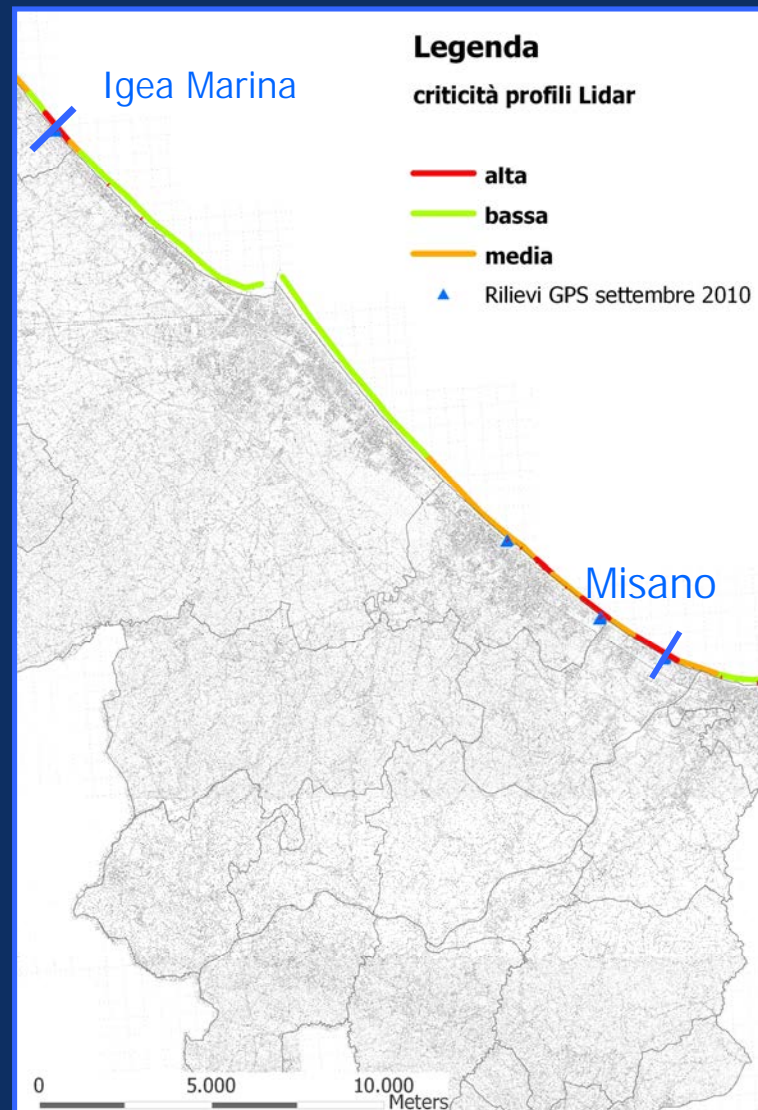
## 8. Rilievi GPS di controllo – settembre 2010



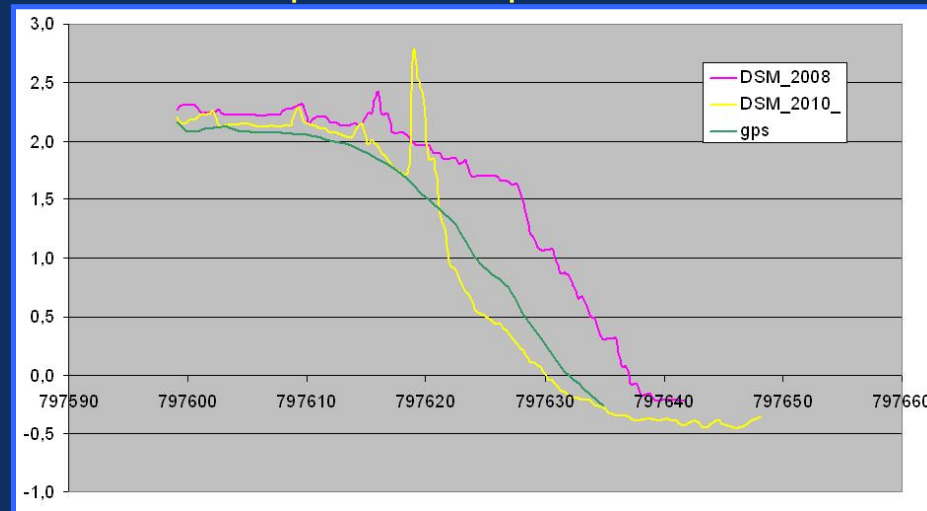
- Ridistribuzione duna invernale + ripascimento?



## 8. Rilievi GPS di controllo – settembre 2010

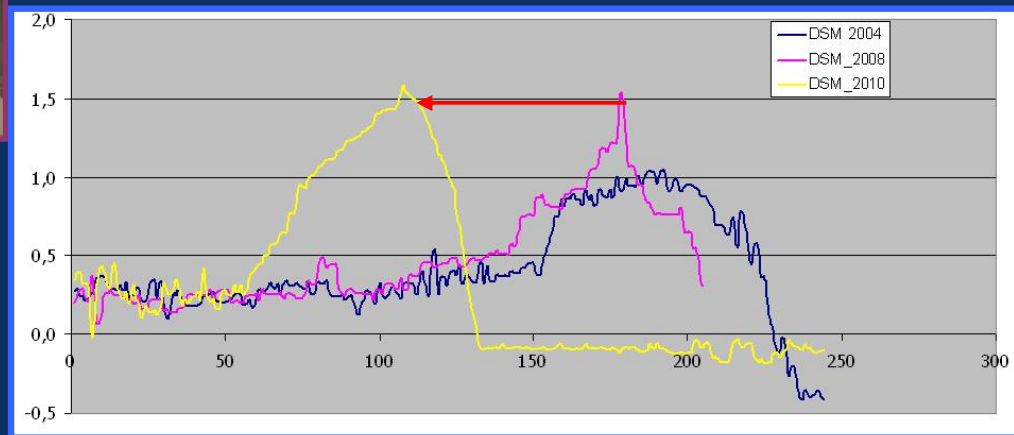
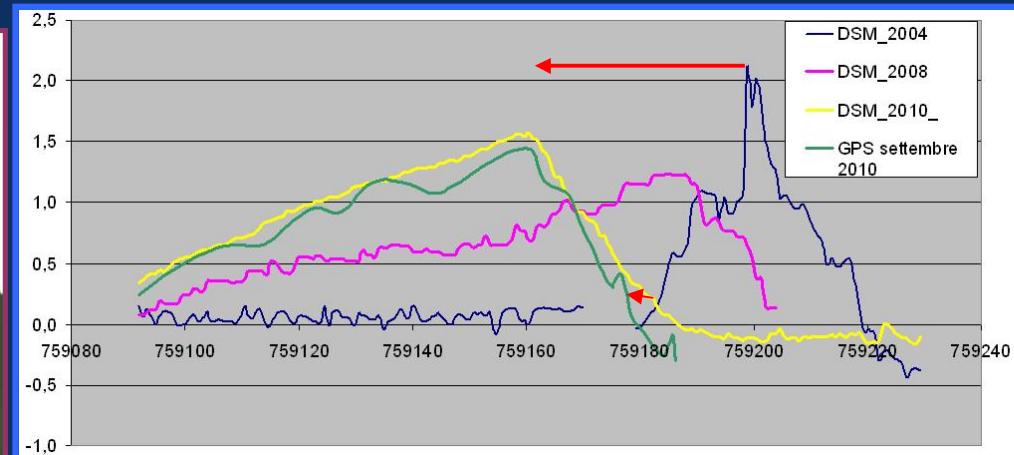


- Stabilità rispetto ad aprile 2010



- Ridistribuzione duna invernale + ripascimento?

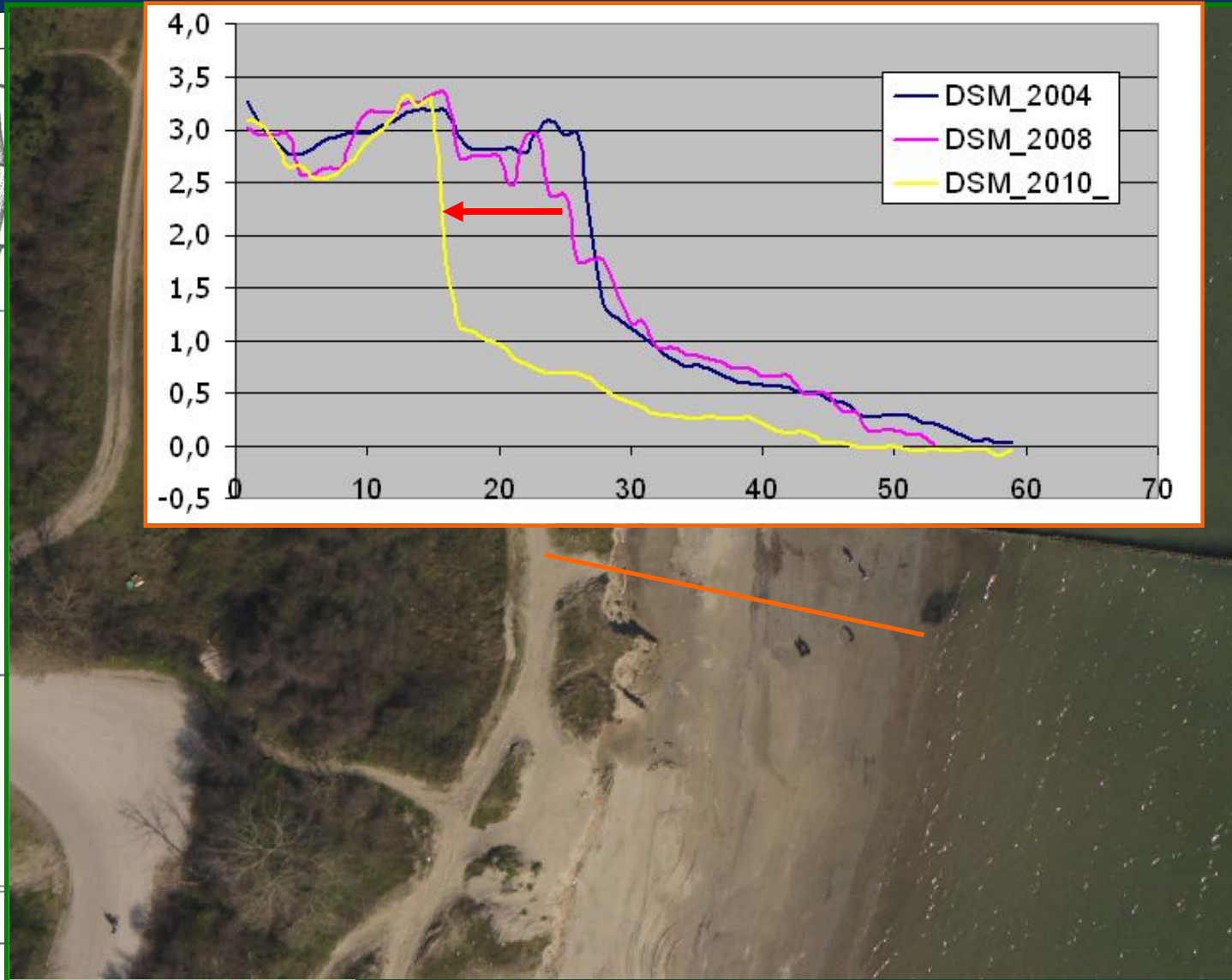
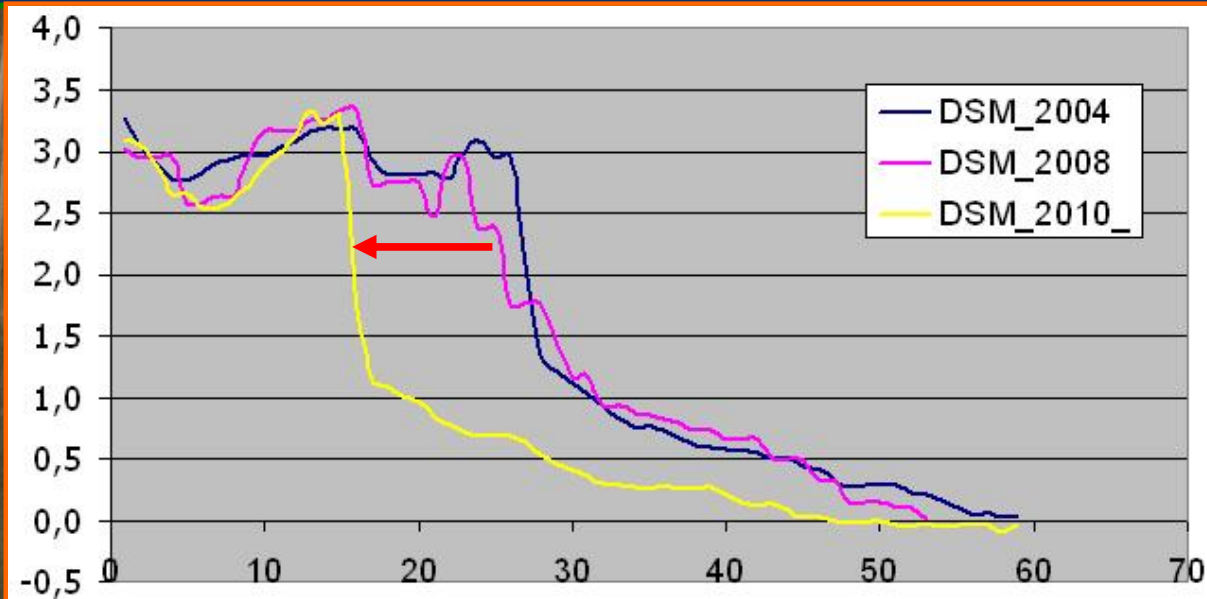
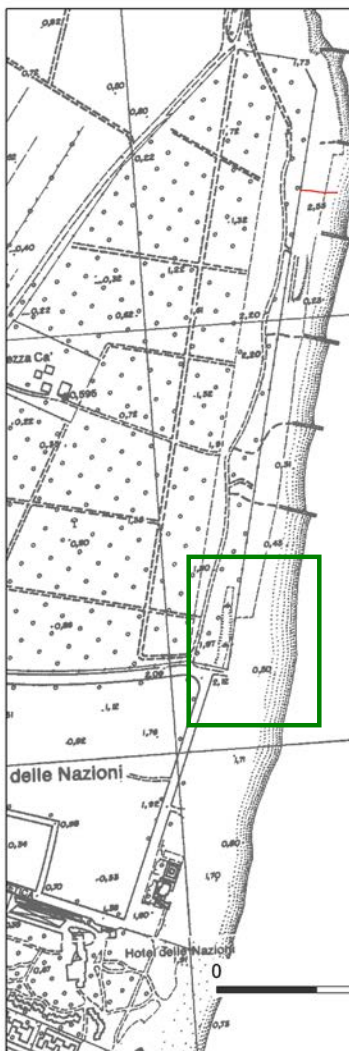
## 9. il caso Vene di Bellocchio



- Circa 75 m di arretramento del sistema duna-spiaggia in 2 anni



## 10. Lido Nazioni



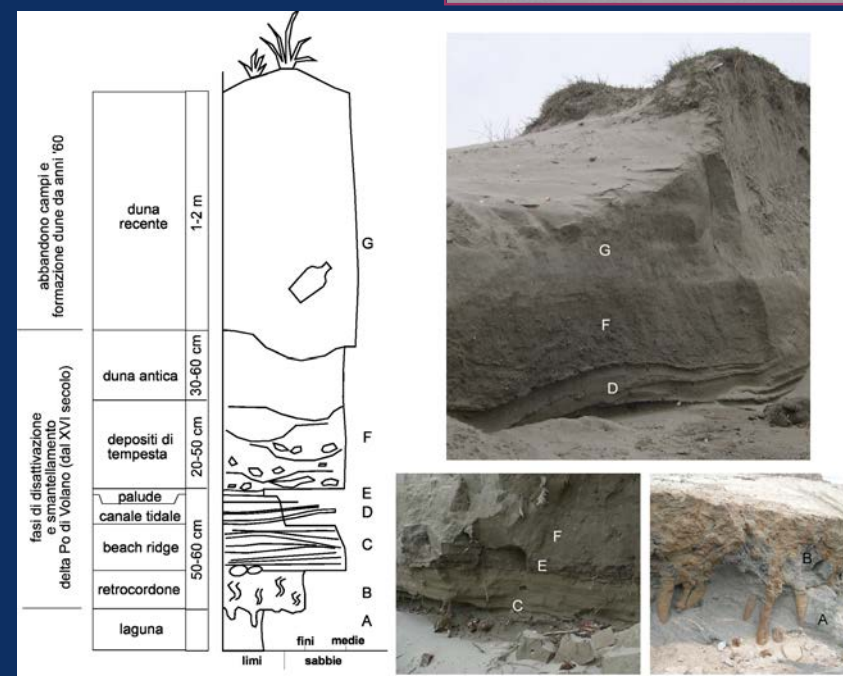
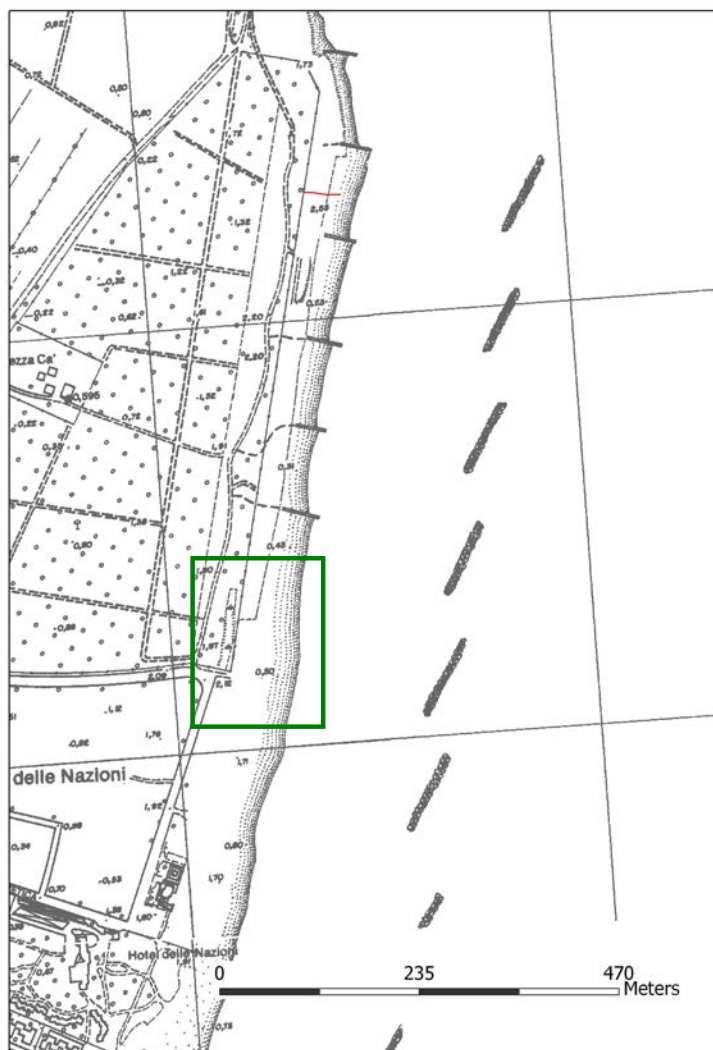
Ministero dell'Ambiente, del Territorio e delle Politiche Regionali



micore



## 10. Lido Nazioni







*grazie per l'attenzione*

