

# Risultati dei monitoraggi delle mareggiate recenti tra Savio e Fiumi Uniti

*Clara Armaroli\** &

*Università di Ferrara: P. Ciavola, M. Masina, M. Sedrati*

*Servizio Geologico Sismico e dei Suoli: L. Perini, P. Luciani*

(\*) **Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Ferrara,  
Via Saragat 1, 44100, Ferrara  
clara.armaroli@unife.it**



università di ferrara  
DA SEICENTO ANNI GUARDIAMO AVANTI.

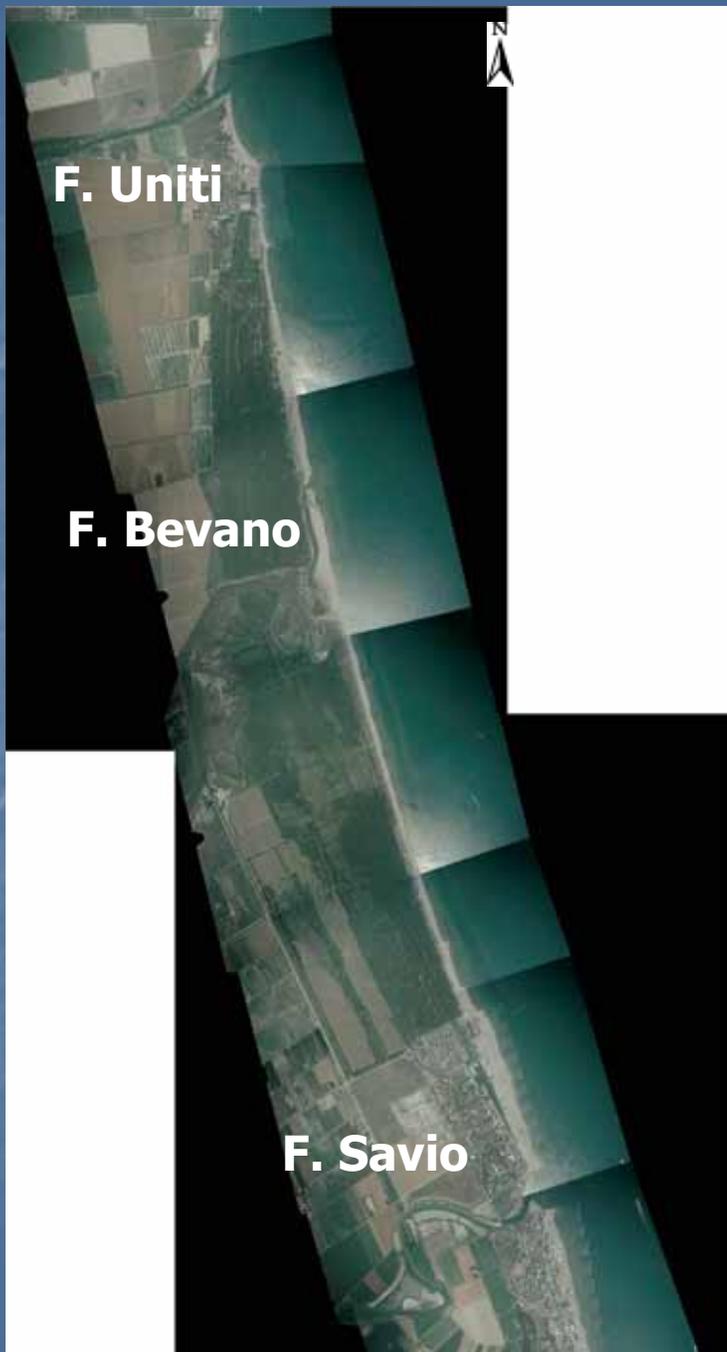


micore  
FP7-202798

## La presentazione si svilupperà secondo i seguenti punti:

1. Area di studio;
2. Monitoraggio effettuato;
3. Inverno 2008-2009: onde e maree;
4. Effetto delle mareggiate sulle dune;
5. Mappatura del rischio e confronto con scenari statistici;
6. Valori soglia di altezza dell'onda e livello del mare che generano rischio e allerta.

## AREA di STUDIO



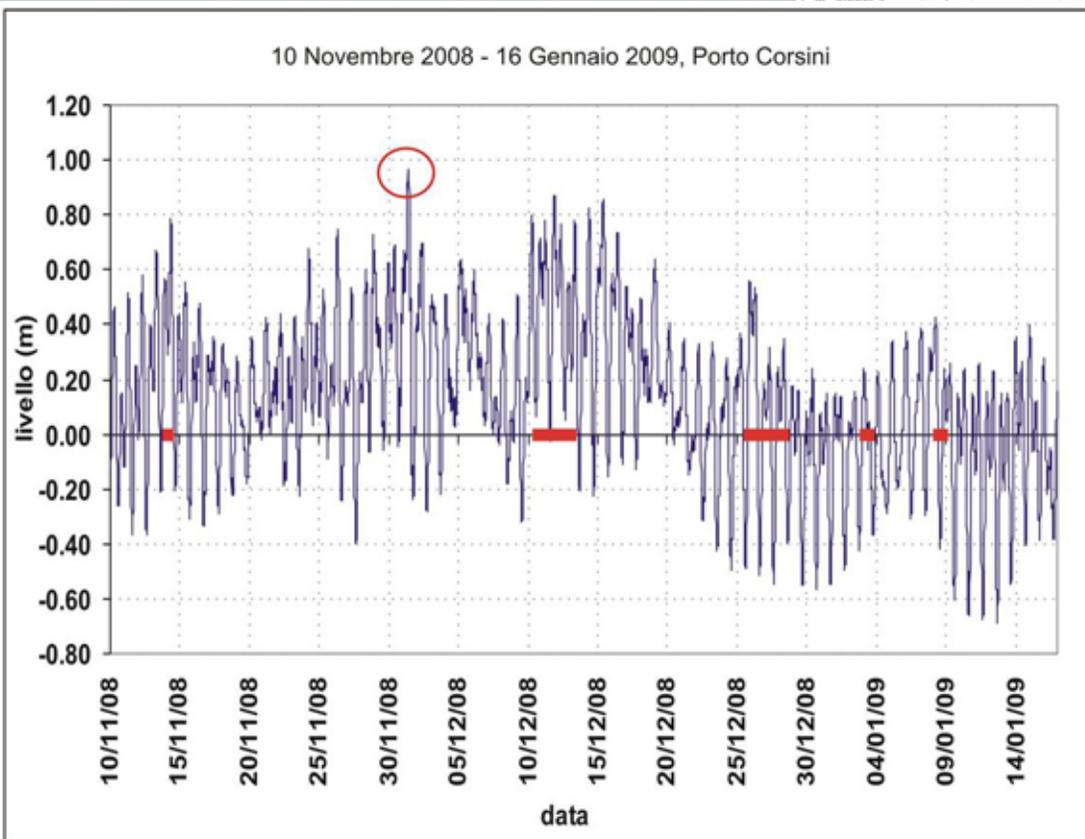
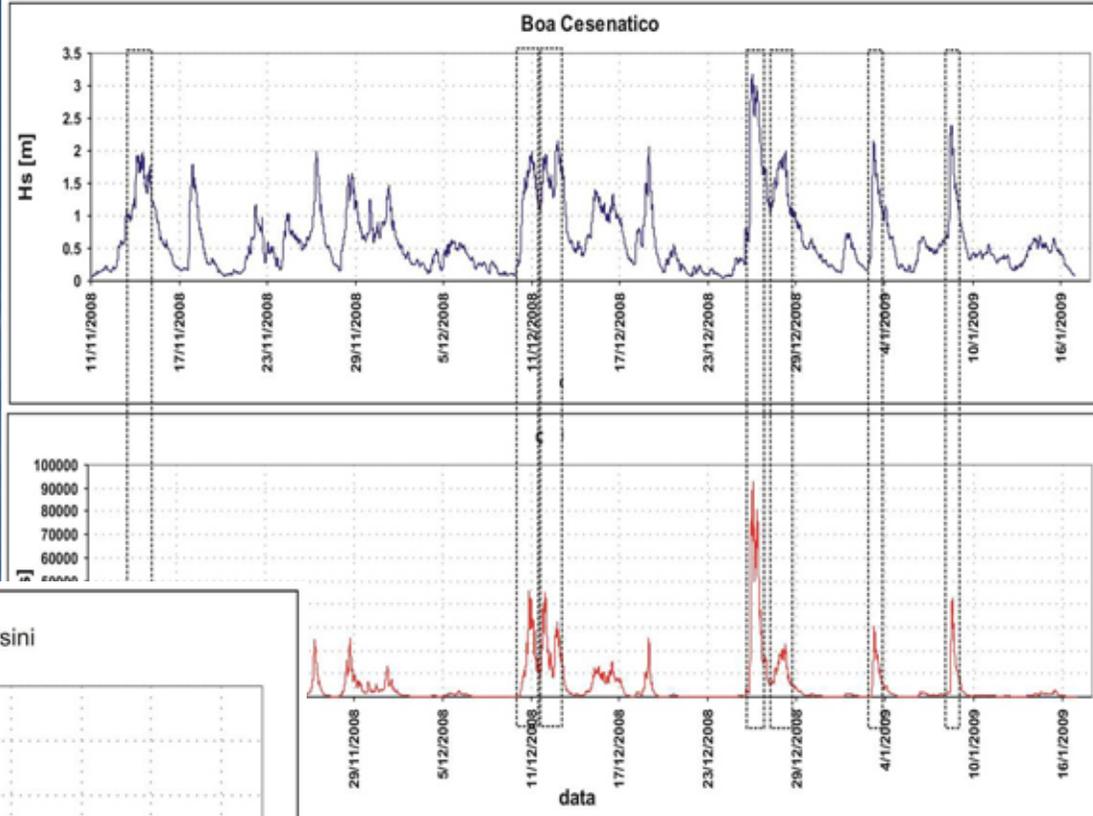
- ❖ 8 Km di costa delimitati dai F. Uniti e dal F. Savio;
- ❖ Variabilità: aree naturali e antropizzate.



## MONITORAGGIO

- Rilievi topografici lungo sezioni spaziate 100 m: dal retroduna fino al limite di bassa marea: Settembre 2008, Febbraio 2009, Settembre 2009;
- Rilievi batimetrici lungo sezioni perpendicolari alla linea di riva, ogni 100 m: Settembre 2008 e Settembre 2009;
- Rilievo Lidar (topografico): Marzo 2009;
- Misure del livello del mare (mareografo);
- Misure di onde e correnti (in diversi punti dell'area);
- Monitoraggio del Bevano: Set08, Dic08, Apr09, Luglio09, Sett09.

Onde e maree misurate  
tra il 10 Novembre 08  
e il 16 Gennaio 09

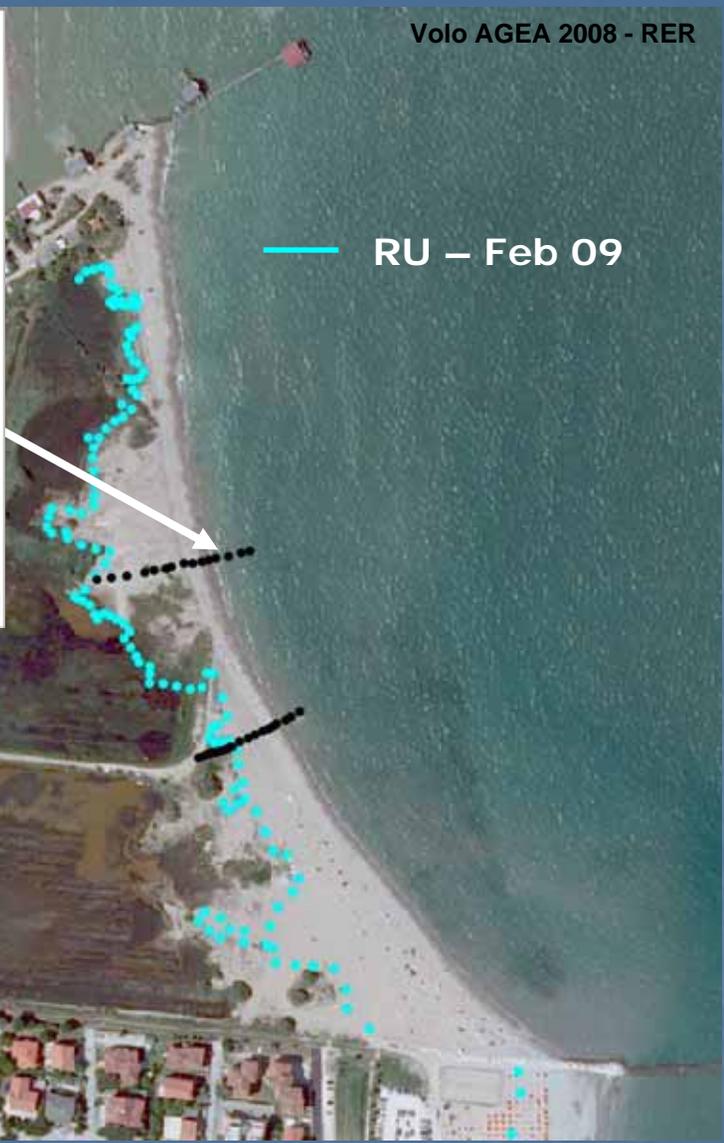
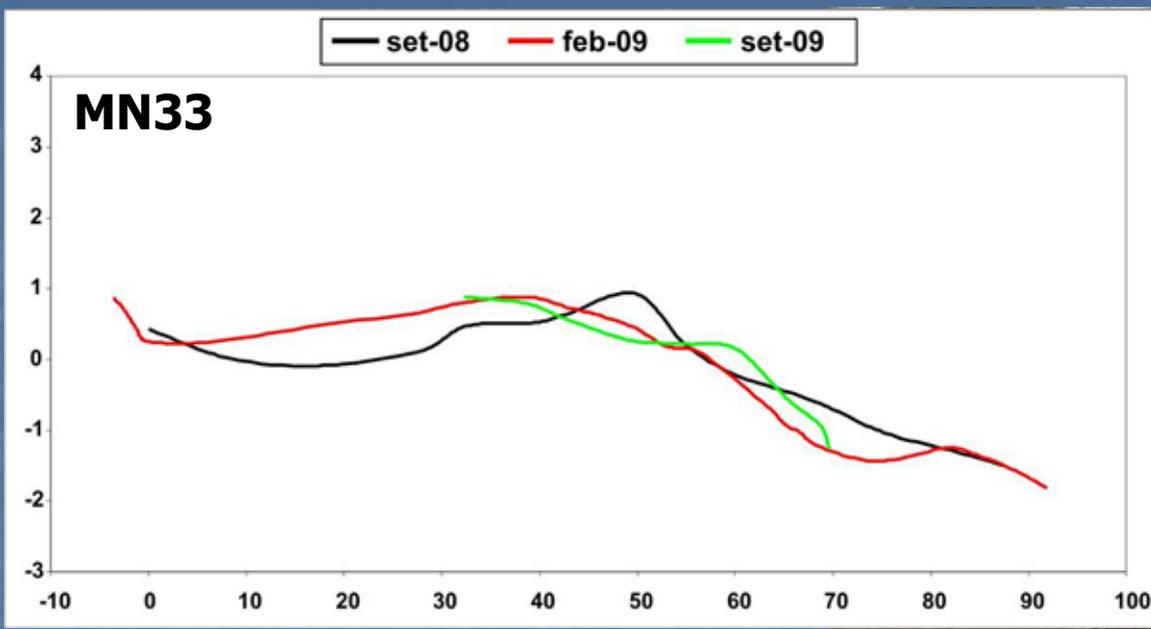


Mareggiate  
significative,  
inverno 08-09

Data	Periodo di ritorno	Criterio identificazione mareggiata (Hs, Liv acqua, ecc..)
01/12/2008	< 1 anno (T1)	Hsmax ~ 1.50 m. Livello del mare "estremo" (max = 0.97 sul lmm), uno dei più alti registrati
11/12/2008	< 1 anno (T1)	Hsmax ~ 2.17 m. livello del mare "estremo" (max = 0.87 m sul lmm)
25/12/2008	~ 1 anno (T1)	Hsmax ~ 3.18 m
18/02/2009	< 1 anno (T1)	Hsmax ~ 2.48
20/03/2009	< 1 anno (T1)	Hsmax ~ 2.40 m
27/04/2009	< 1 anno (T1)	Hsmax ~ 2.02 m

Nessun evento estremo!

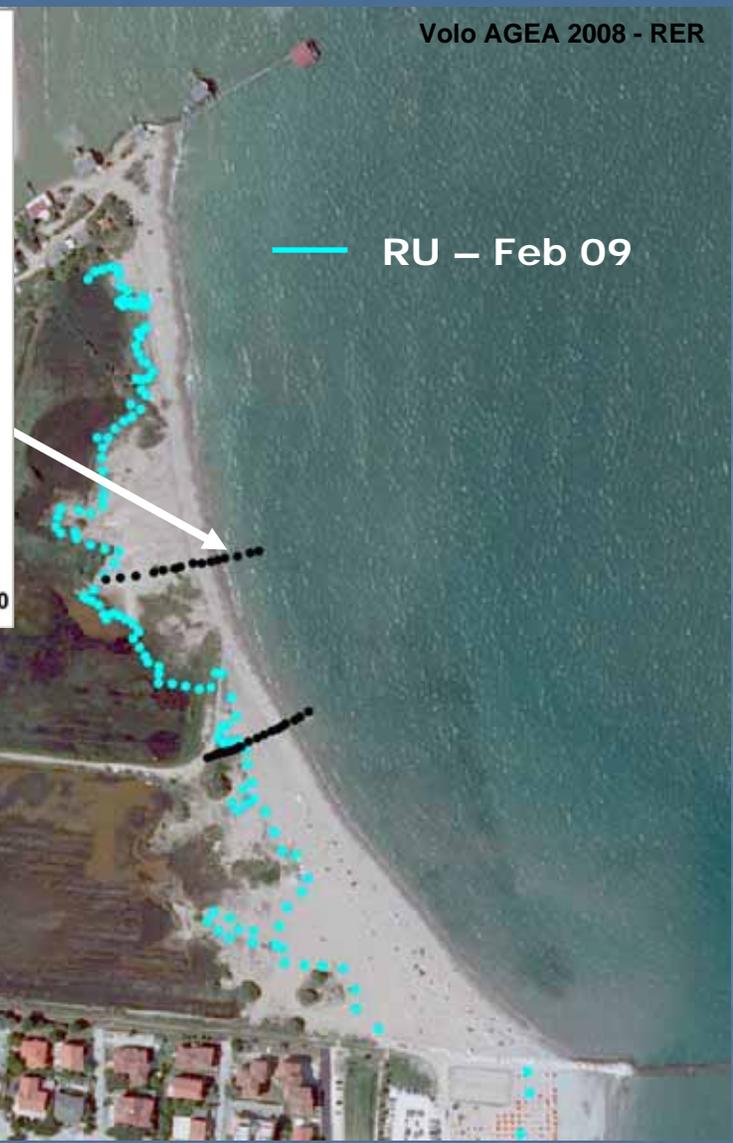
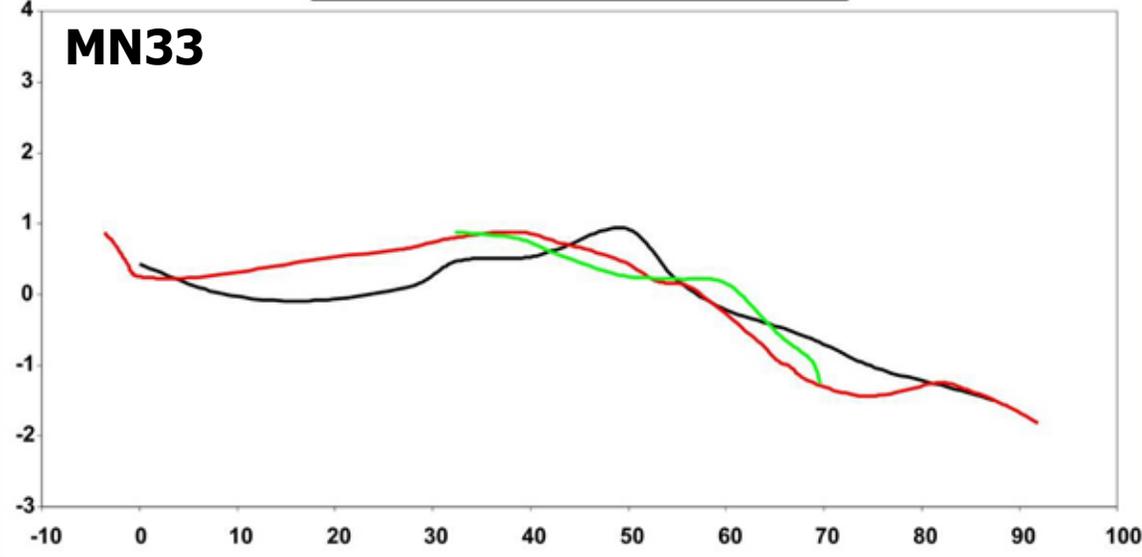
Date time	Dur	C	E tot	P Mean	Hs Mean	Hs max	Tp max	Dir Mean
14/11/08 1.30	15.3	1	50.22	593220	1.79	1.97	7.69	87
10/12/08 16.30	13	1	40.91	808407	1.77	1.99	10.53	88.6
11/12/08 17.30	35	2	101.3	669555	1.79	2.17	11.76	98
25/12/08 20.30	27.3	3	159.65	2460525	2.35	3.18	9.09	75
27/12/08 17.00	16	1	50.78	539038.3	1.78	2.00	6.67	62
03/01/09 4.30	8.30	1	27.21	334018.2	1.78	2.16	7.69	68
08/01/09 11.00	8.30	1	34.33	470268.2	1.99	2.38	8.33	73

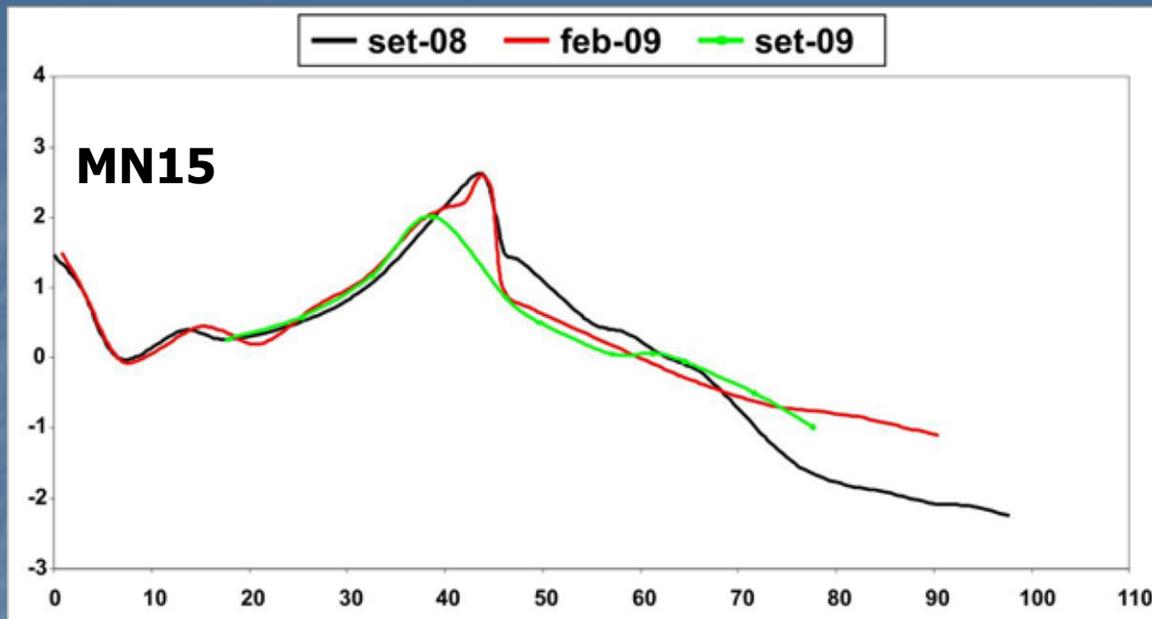


**Profilo a sud della  
Foce dei Fiumi Uniti**  
**RU=punto di  
massima ingressione**

— set-08 — feb-09 — set-09

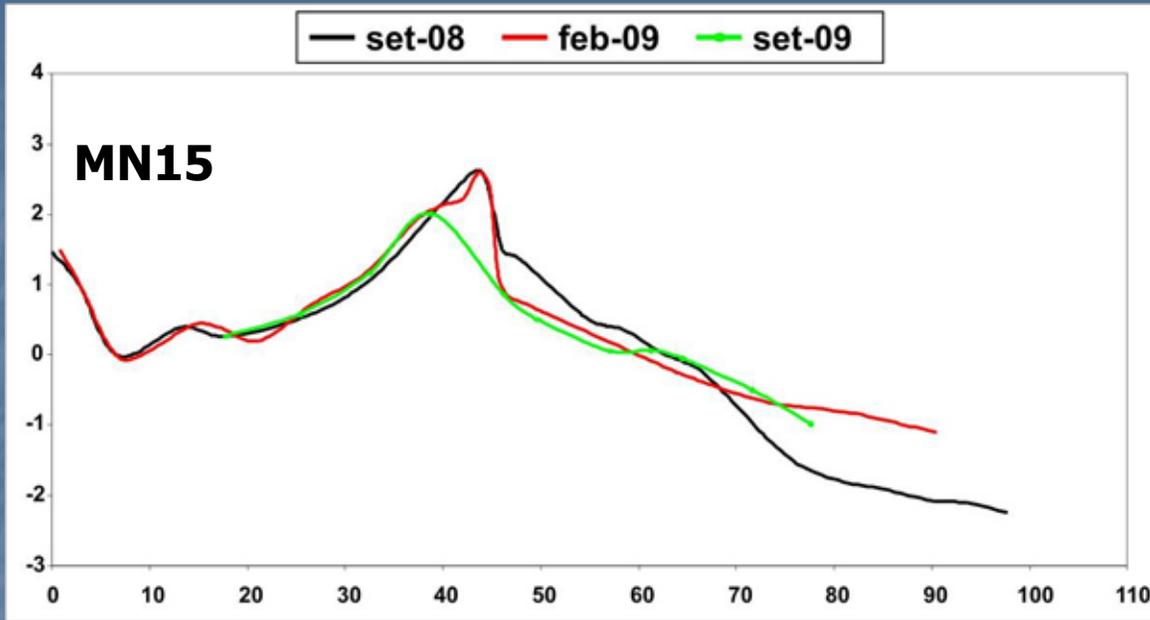
# MN33

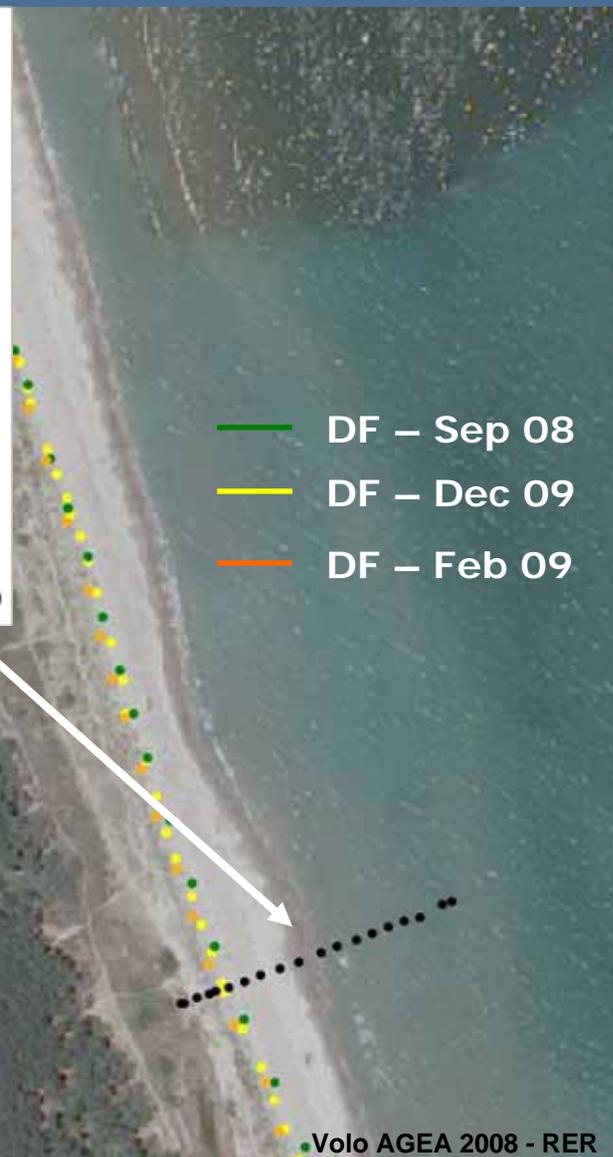
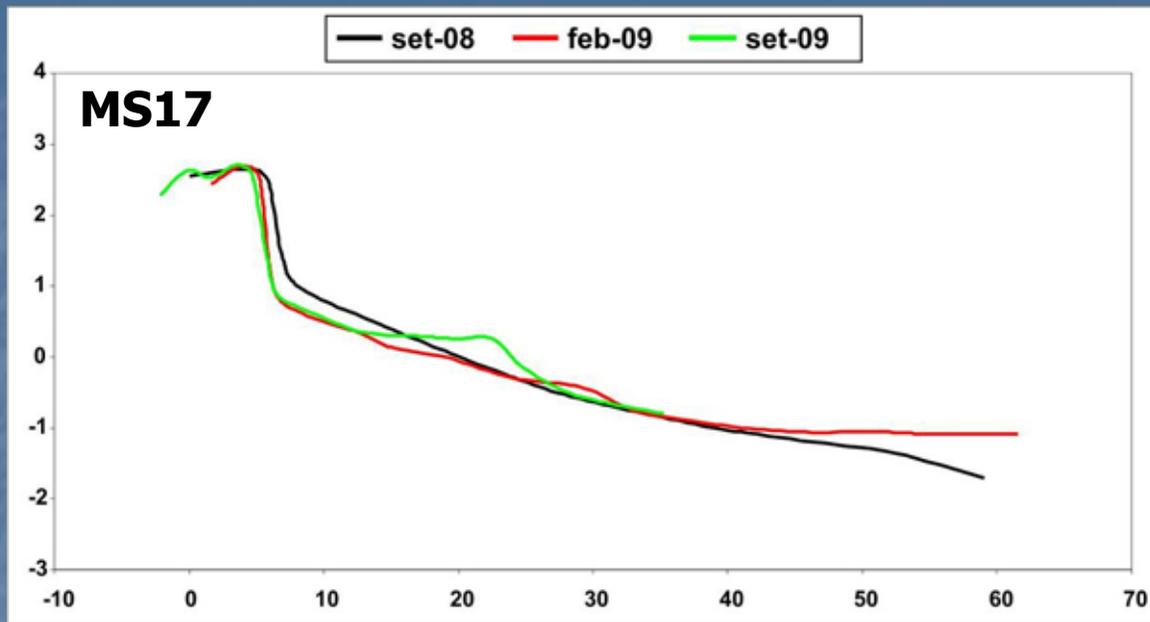




**Profilo a sud delle  
opere di Lido di  
Dante**

**RU=punto di  
massima ingressione**

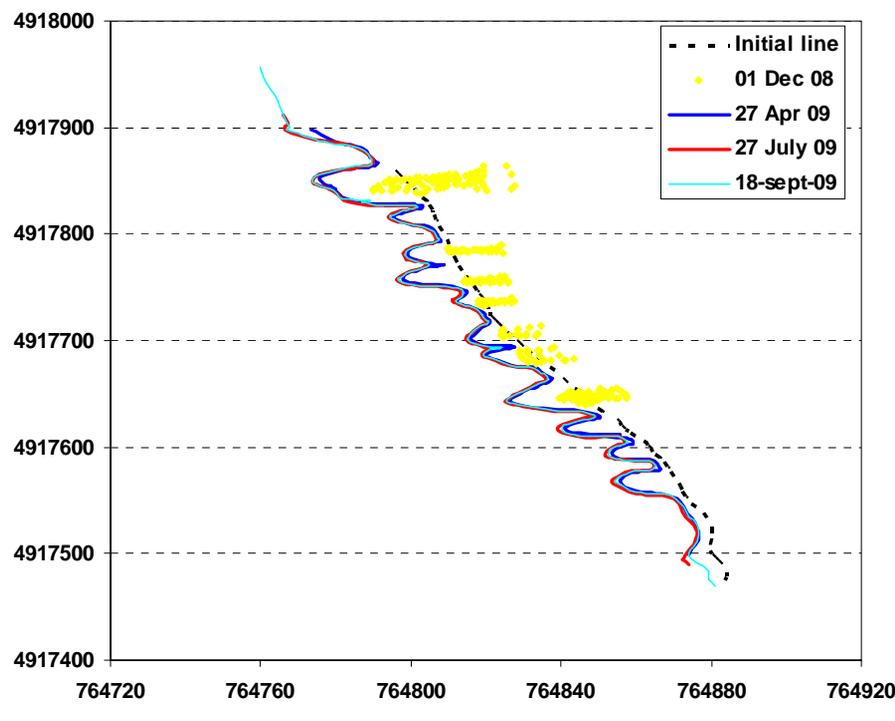
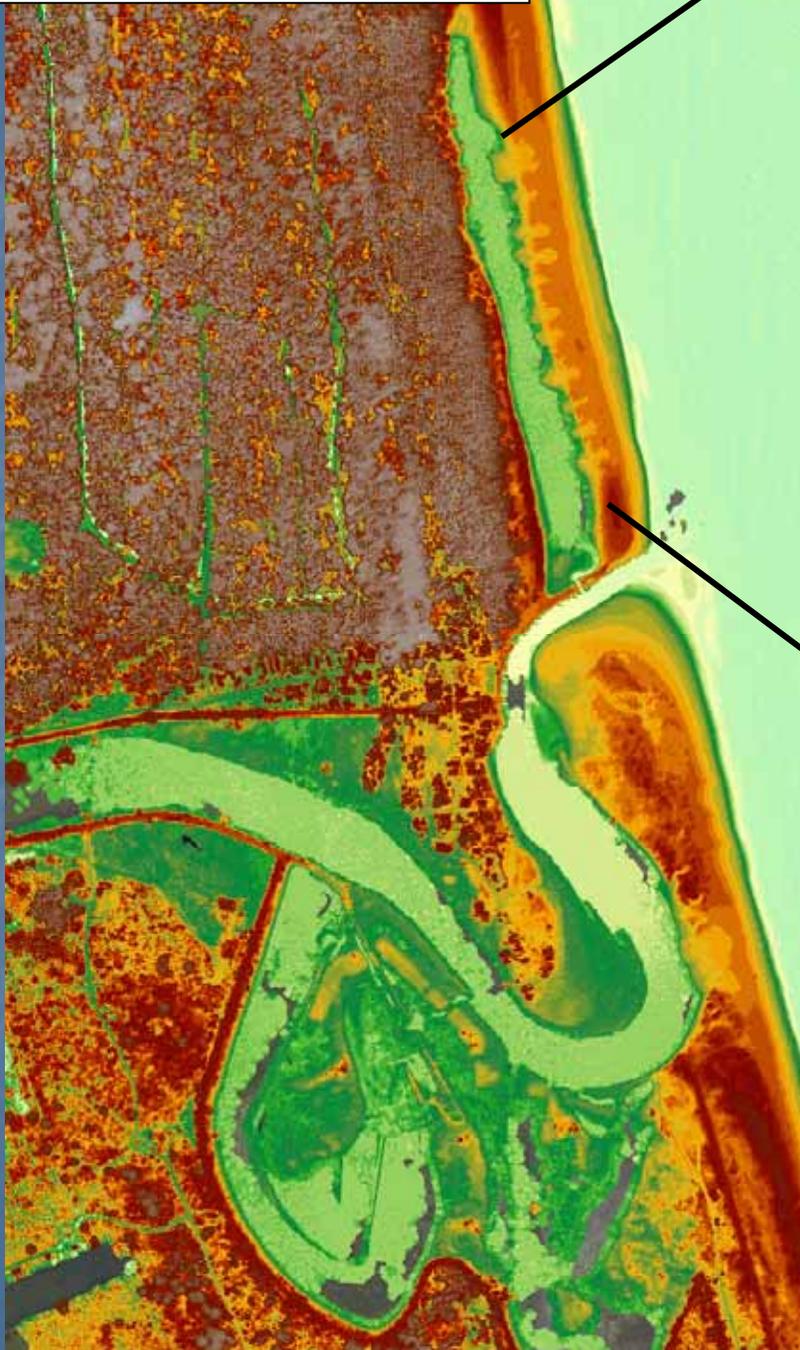




Profilo a sud della  
Foce del Bevano

**DF=piede duna**

# Lidar – Marzo 2009





**Scavalciamento delle  
dune in diretta...**

**Evento del 01/12/2008**



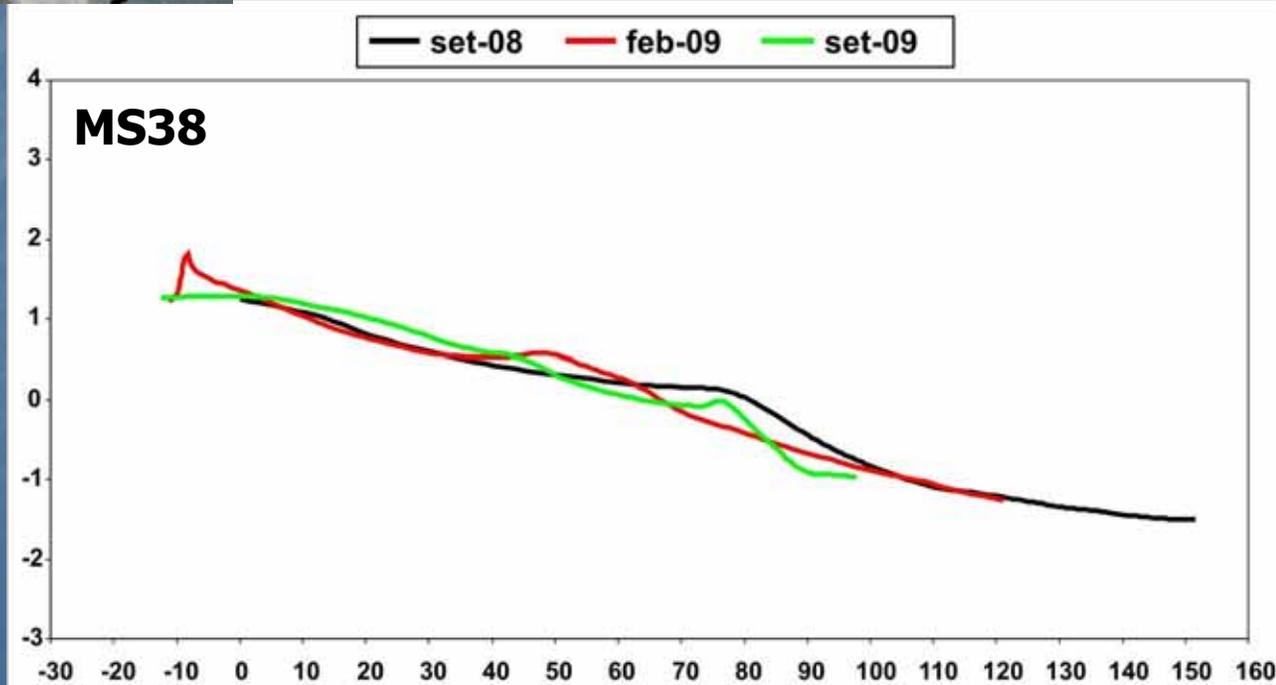
# Lido di Classe, Profili "antropici"





# Lido di Classe

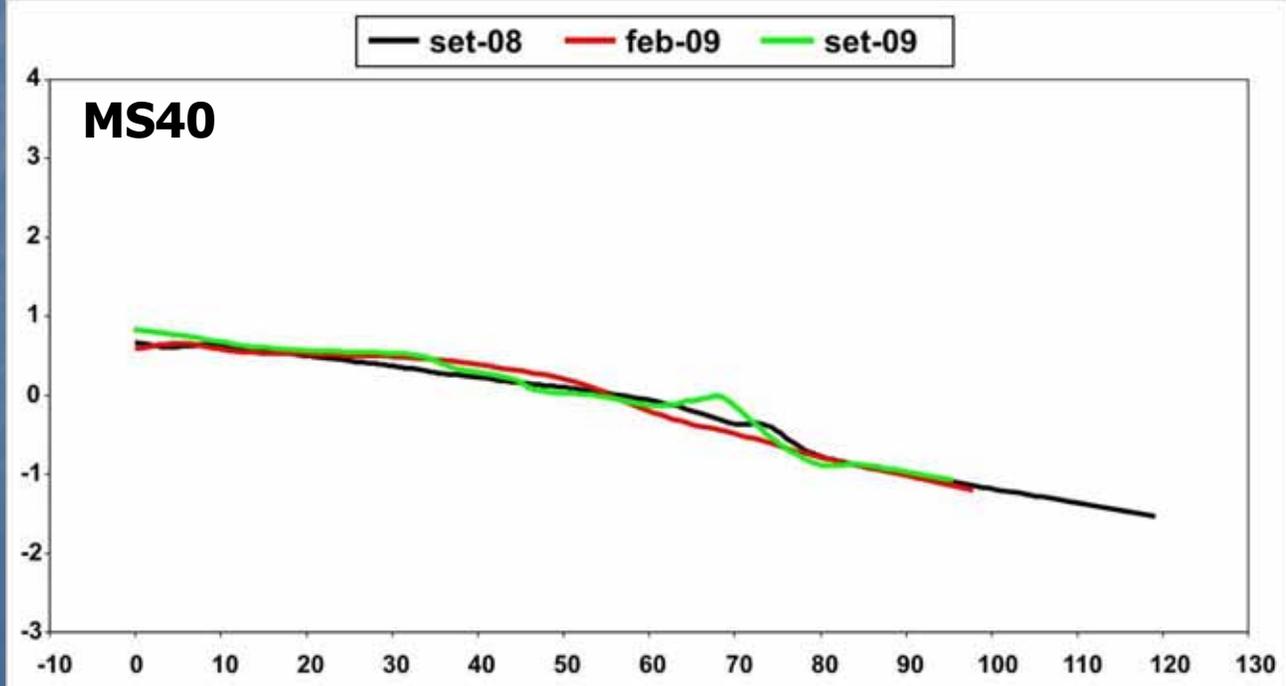
## Profili "antropici"





## Lido di Classe

### Profili "antropici"



# Scenario Statistico – T1

Acqua alta + risalita dell'onda + alta marea =  $h_{max}$

	$H_2O$ alta (m)	$H_s$ (m)	$T$ (s)
<b>Input</b>	<b>0.85</b>	<b>3.3</b>	<b>7.7</b>

45 cm

Yu et al., 1998; CENAS IDROSER, 1996

$$R_{2\%}^T = 0.36 \cdot g^{1/2} \cdot S \cdot H_{\infty}^{1/2} \cdot T$$

*Holman, 1986, modificata in Komar, 1998 per includere il set-up*

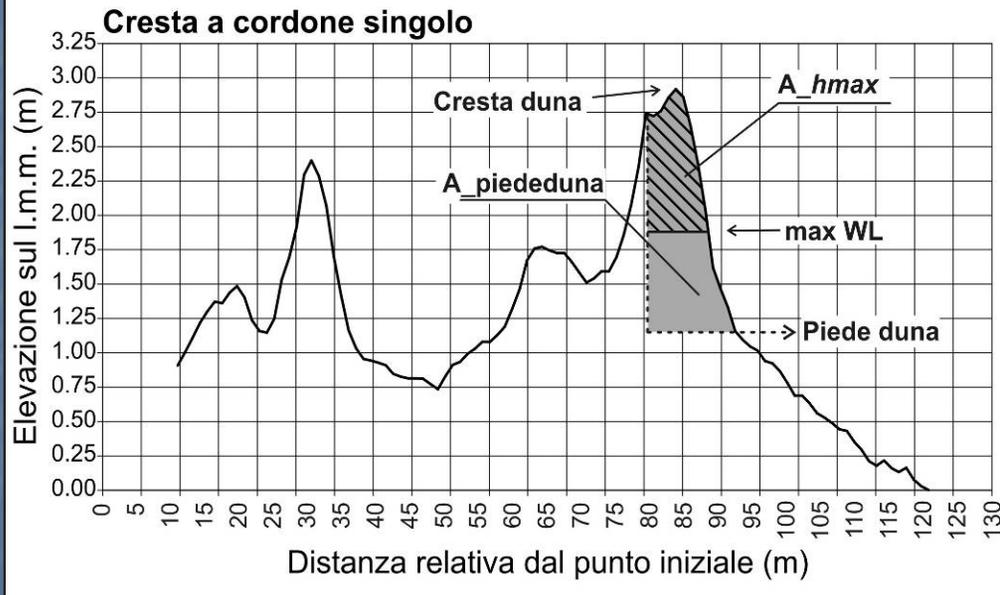
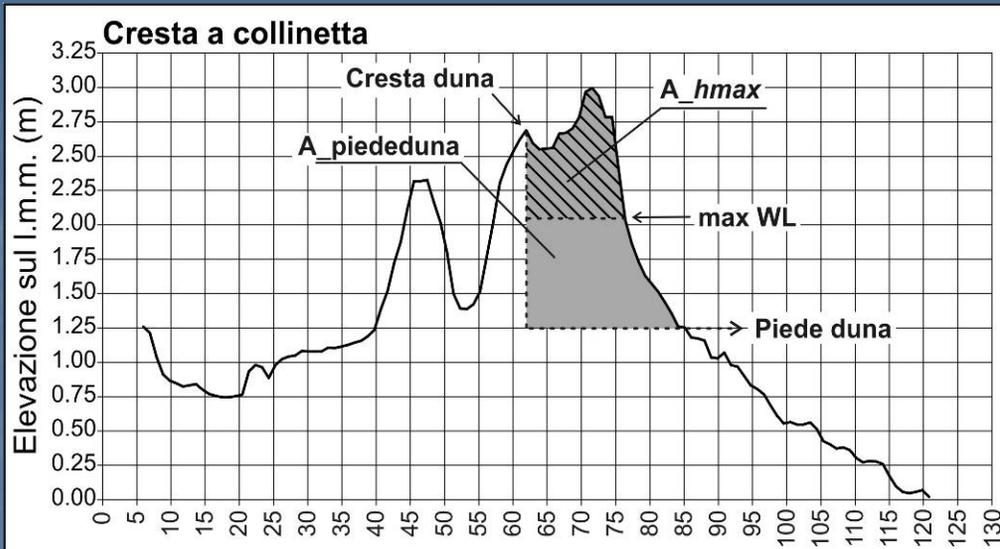
Con:

$H_{\infty}$ : altezza d'onda in mare profondo, T: periodo dell'onda, S: pendenza della spiaggia, g: accelerazione di gravità

# Indice di erosione / rimozione della duna

Dune Stability Factor (DSF<sub>%</sub>)

$$DSF_{\%} = \frac{A_{hmax}}{A_{piededuna}} * 100$$

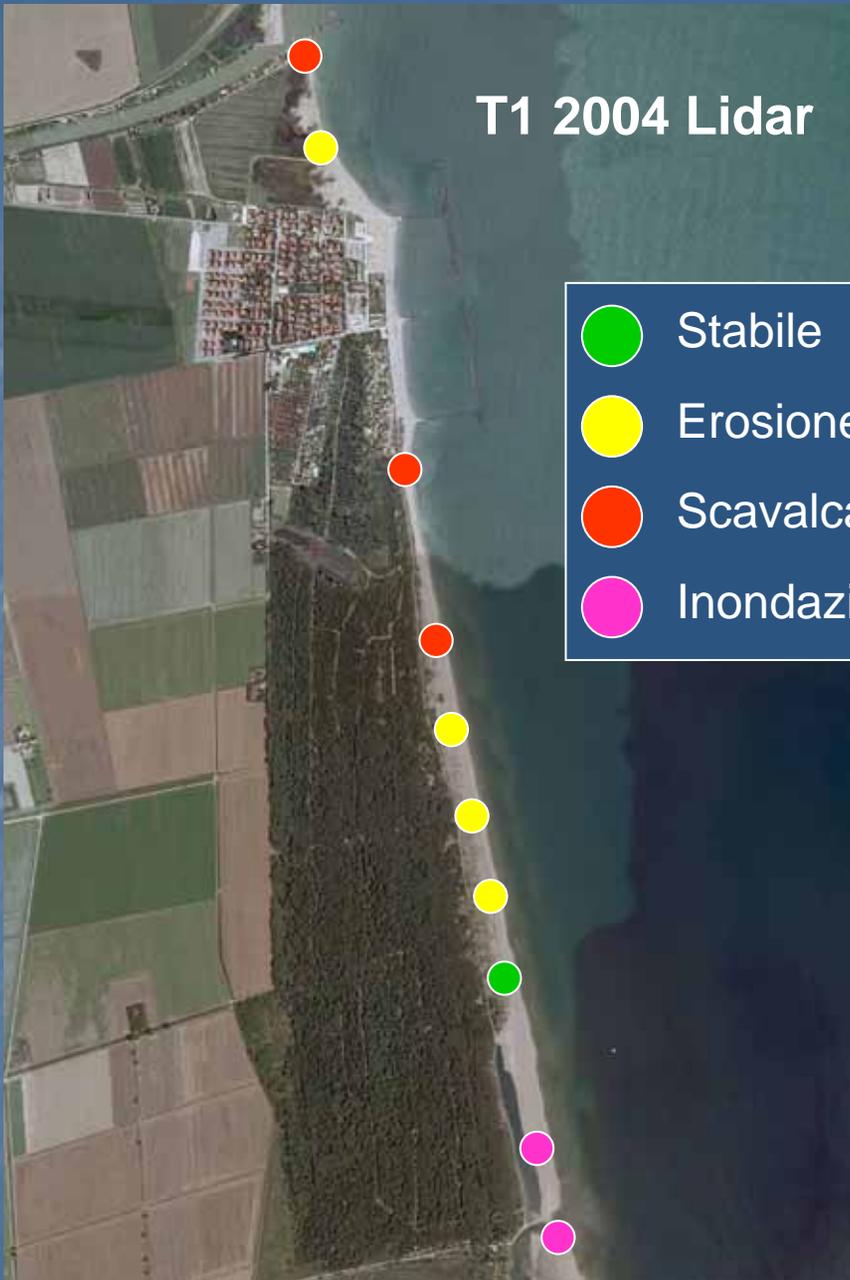


DSF > 75%: Sicurezza (intersezione tra il livello max raggiunto dal mare e la duna);  
20% < DSF < 75%: erosione frontale;  
DSF < 20%: rimozione della duna ed inondazione del retro duna.

T1 2004 Lidar

Osservato

- Stabile
- Erosione frontale
- Scavalcamento
- Inondazione



T1 2004 Lidar

Osservato

- Stabile
- Erosione frontale
- Scavalcamento
- Inondazione

# Creazione di valori soglia di altezza d'onda e livello del mare

Informazioni utilizzate:

## Zone naturali:

- 1) Analisi degli scenari ottenuti da calcoli utilizzando le "forzanti" derivanti dalla letteratura (CENAS e IDROSER);
- 2) Rilievo Lidar del 2003 (ENI) confrontato con rilievo Lidar del 2004 (RER);
- 3) Monitoraggio dei profili topografici, inverno 08-09;
- 4) Indice DSF.

## Zone antropizzate:

- 1) Analisi delle mareggiate con dati ondametrici derivanti da diverse fonti;
- 2) Analisi del livello del mare (acque alte);
- 3) Analisi di sezioni topografiche da Lidar 2004 (RER);
- 4) Monitoraggio dei profili topografici, inverno 08-09;
- 5) Catalogo delle mareggiate che hanno generato danni documentati.

# Valori di soglia per le zone naturali

	<i>H<sub>2</sub>O alta (m)</i>	<i>H<sub>s</sub> (m)</i>	<i>T (s)</i>
<b>Input</b>	<b>0.85</b>	<b>3.3</b>	<b>7.7</b>

*Yu et al., 1998; CENAS*

*IDROSER, 1996*



**Il 60%** dei profili naturali analizzati vengono danneggiati (erosione frontale o rimozione della duna) da queste condizioni di altezza dell'onda e di acqua alta

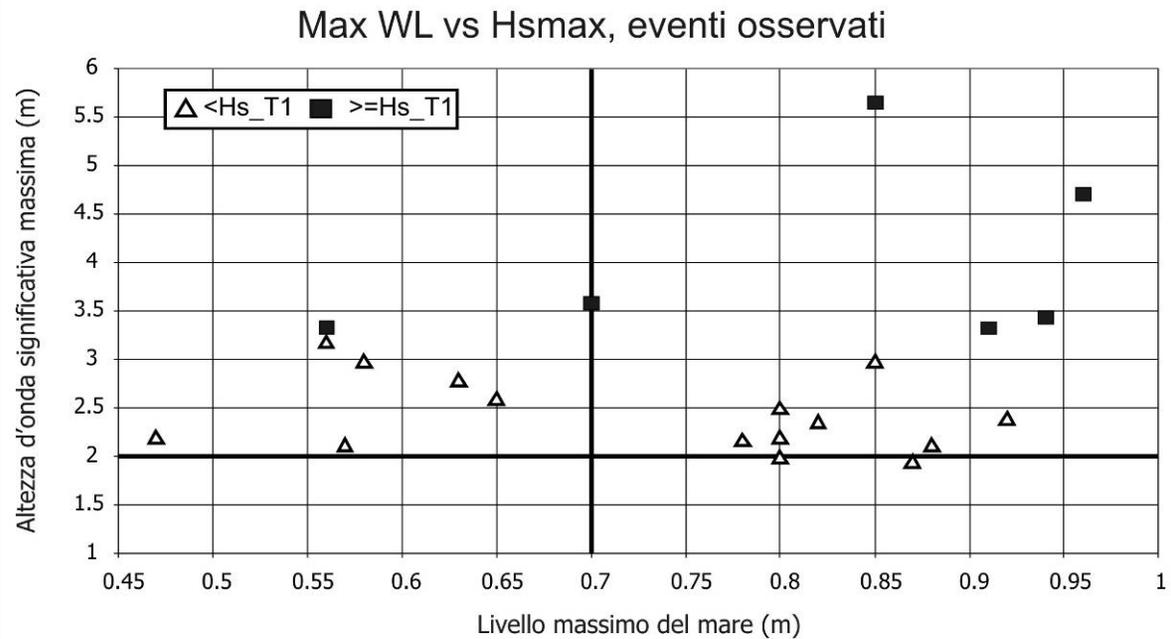
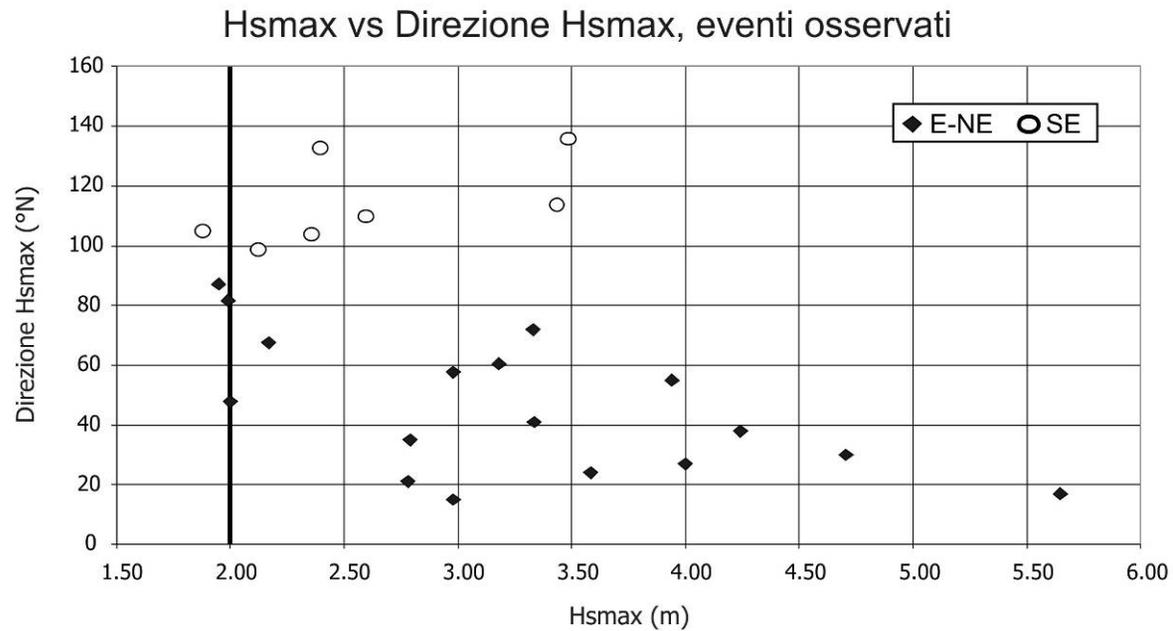
# Mareggiate che hanno generato danni documentati (92-08)

GIORNO	MESE	ANNO	ORA	MIN	MAX Hs [m]	DIR MAX Hs [°N]	MAX Liv [m]	Tp MAX Hs [sec]	ondametro
8	12	1992	6	30	3.94	55	...	...	ENI_PCW
28	12	1992	0	30	4.00	27	...	...	ENI_PCW
25	12	1996	19	0	4.24	38	...	...	ENI_PCW
6	11	1999	19	30	3.48	136	...	...	AN_Tr
14	11	2002	17	0	4.70	30	0.96	9.51	AN_Tr
18	11	2002	1	0	2.98	15	0.85	8.47	AN_Tr
24	11	2002	12	30	3.58	24	0.7	8.60	AN_Tr
3	12	2002	20	30	3.33	72	0.91	7.14	AN_Tr
7	12	2003	0	30	3.33	41	0.56	7.73	AN_Tr
3	5	2004	23	0	2.59	110	0.65	7.23	AN_Tr
24	9	2004	16	30	5.65	17	0.85	9.32	AN_Tr
31	10	2004	3	0	2.35	104	0.82	7.89	AN_Tr
9	11	2004	22	0	2.39	133	0.92	6.38	AN_Tr
14	11	2004	0	0	2.12	...	0.88	...	AA_CNR
26	12	2004	2	30	3.43	114	0.94	8.49	AN_Tr
10	4	2005	18	0	2.50	...	0.8	...	AA_CNR
3	10	2005	12	30	1.88	105	0.57	6.55	AN_Tr
8	10	2005	3	0	2.12	99	0.63	6.61	AN_Tr
22	11	2005	3	0	2.79	35	0.47	7.74	AN_Tr
3	12	2005	3	0	2.20	...	0.8	...	AA_CNR
30	7	2007	17	30	2.98	57.7	0.58	8.33	CES
4	9	2007	7	30	2.78	21.1	...	6.67	CES
10	12	2008	16	30	1.99	81.6	0.8	10	CES
11	12	2008	17	30	1.95	87.2	0.87	11.11	CES
12	12	2008	14	30	2.17	67.5	0.87	7.14	CES
25	12	2008	20	30	3.18	60.5	0.55	8.33	CES
27	12	2008	12	0	2.00	47.8	...	6.67	CES

# Valori soglia per le aree antropizzate

**Hsmax  $\geq$  2.0 m**

**Liv max  $\geq$  0.7 m**



# **"Verifica" dei valori soglia per le aree antropizzate: Liv $\geq$ 0.7 m e Hs $\geq$ 2.0 m**

**1) H max** raggiunta dal mare = **Liv max + run-up** [Stockdon et al. (2006) per spiagge con  $\xi_0 < 0.3$ ] + **set-up** = **1.23 m** ( $\pm 0.21$  m)

Oppure:

**2) H max** raggiunta dal mare = **Liv max + run-up** [Komar (1998)] + **set-up** = **1.04 m**

Sapendo che (Lidar 2004, RER):

Quota media di **63 profili** che attraversano zone antropizzate = **1.45 m** sul l.m.m.

Allora:

**I valori di soglia scelti generano inondazione per il 18% al 68% dei profili**

# Conclusioni

Tipo di spiaggia	Impatto mareggiata	Parametro	Soglie	Criterio
Naturali con dune	Variazione morfologica (Erosione frontale o rimozione duna)	Altezza d'onda ( $H_s$ )	T1 $H_s = 3.3$ m	DSF (Dune Stability Factor)
		Livello del mare (acqua alta + marea)	T1 Liv = 0.85 m sul Imm	
Antropiche	Inondazione e danno alle infrastrutture	Altezza d'onda ( $H_s$ )	$H_s = 2.00$ m	Confronto tra eventi che hanno generato danni documentati (run-up + $H_2O$ alta + marea) con l'elevazione topografica max
		Livello del mare (acqua alta + marea)	WL = 0.7 m sul Imm	

I **valori soglia** sono **IMPORTANTISSIMI** perché danno una indicazione, basata su informazioni ottenute **SUL CAMPO** e dati **REALI**, dell'effetto delle mareggiate sul territorio sia **NATURALE** sia **ANTROPICO**;

Partendo da queste indicazioni, **MICORE** definirà **FINALMENTE** un grado di vulnerabilità **DINAMICO** attraverso l'accoppiamento dei **modelli METEO-MARINI** con **modelli MORFOLOGICI (allerta in tempo reale!)**

# Grazie!

