

Definizione dell'input sismico sulla base degli spostamenti attesi

**Task 1: Perfezionamento ed integrazioni del modello iniziale di riferimento
per lo Spettro di Risposta di Spostamento**



Unità di Ricerca 6 - Dipartimento di Ingegneria Strutturale - Politecnico di Milano

Contributi da: Roberto Paolucci, Daniela Finazzi, Raffaele Figini

UR6: *principali attività nel primo semestre*

- reperimento su scala mondiale di registrazioni *strong motion* ottenute da accelerografi digitali, successive al 2001, e loro inclusione nella base dati di calibrazione del modello di riferimento;
- valutazione dell'effetto della procedura di correzione degli accelerogrammi sullo SRS al fine di individuare i dati più affidabili sui quali eseguire le analisi successive;
- analisi preliminare dei dati ai fini della validazione dello spettro di riferimento FPR04;
- analisi preliminare sulla dipendenza dalle condizioni di sito;
- selezione di una “mini” base di dati di accelerogrammi di ottima qualità da utilizzarsi per analisi strutturali;

Aggiornamento della base accelerometrica digitale

Registrazioni digitali disponibili in funzione di distanza, magnitudo, e condizioni di sito

A ($V_{s,30} > 800$ m/s), B (360 m/s $< V_{s,30} < 800$ m/s), C (180 m/s $< V_{s,30} < 360$ m/s), e D ($V_{s,30} < 180$ m/s)

Nuovi dati europei

Regione	Totale	0 - 10 km				10 - 30 km				30 - 50 km			
Italia ($5.4 \leq M_w \leq 6.0$)	20	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
		3	0	0	0	10	0	0	0	3	0	4	0
Grecia ($M_w = 6.0$)	6	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
		0				0	5	1	0	0			
Slovenia ($M_w = 5.6$)	6	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
		0				1	0	0	0	1	4	0	0
Islanda ($5.7 \leq M_w \leq 6.5$)	39	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
		4	2	0	0	14	7	0	0	12	0	0	0
Turchia ($7.2 \leq M_w \leq 7.6$)	12	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
		0				1	2	2	0	1	3	2	0
Iran ($6.1 \leq M_w \leq 6.8$)	33	2				15				16			
Stati Uniti ($5.7 \leq M_w \leq 6.8$)	31	2				23				6			
Giappone ($5.5 \leq M_w \leq 6.0$)	300	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
		0	3							100	23		
Giappone ($6.0 \leq M_w \leq 6.5$)	230	A	B									C	D
		0	1							80	13		
Giappone ($6.5 \leq M_w \leq 7.2$)	49	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
		0	0	2	0	1	4	9	0	1	6	20	6
Taiwan ($M_w = 7.6$)	92	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
		2	4	26	1	3	11	15	14	1	1	6	8
Messico ($5.9 \leq M_w \leq 7.2$)	35	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
		4	0	0	0	18	0	0	0	13	0	0	0

Notevole aggiornamento della base di dati K-NET (da 138 a 579 records)

Nuove aree geografiche

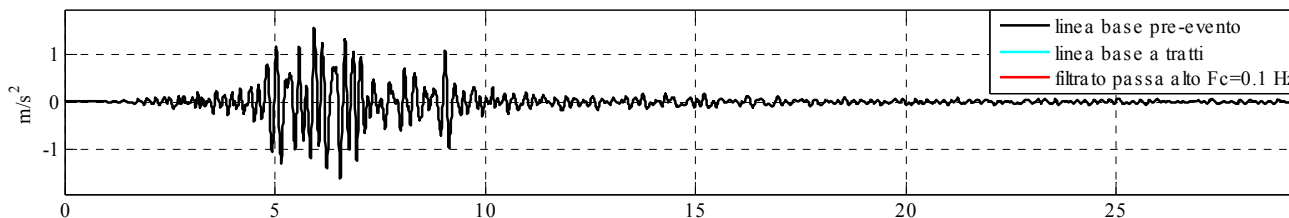
FPR04: 253 registrazioni

Nuova base di dati: 853 registrazioni digitali

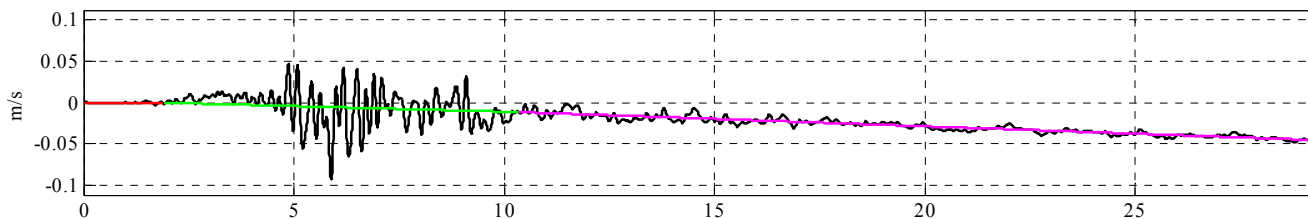
Effetto della correzione della linea base sulle ordinate degli spettri di spostamento

Evento Umbria-Marche del 26/09/1997 (09:40) M6.0: Assisi Stallone (ew)

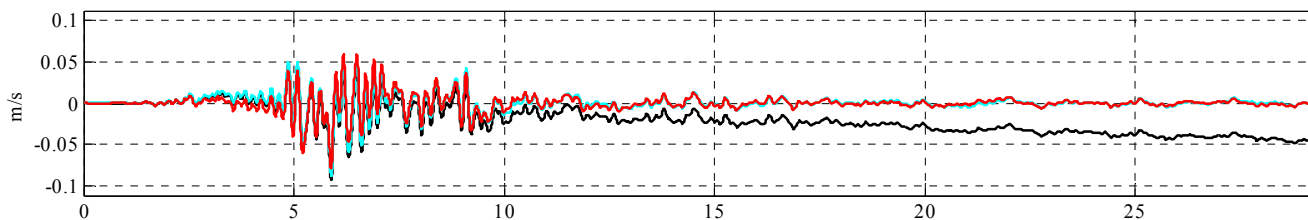
accelerazione



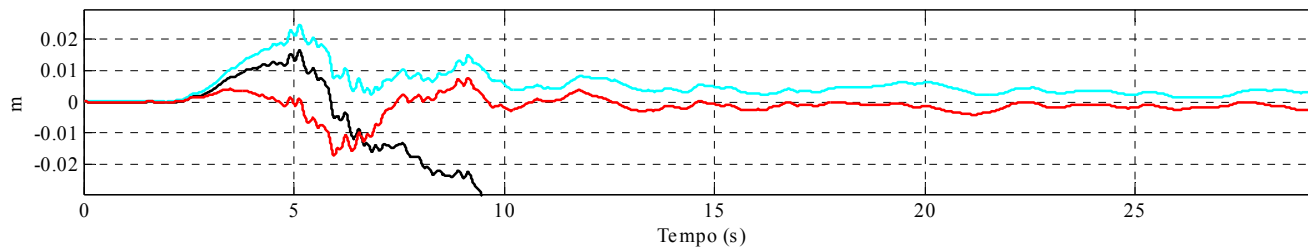
*correzione a tratti
della velocità*



*velocità
corretta*

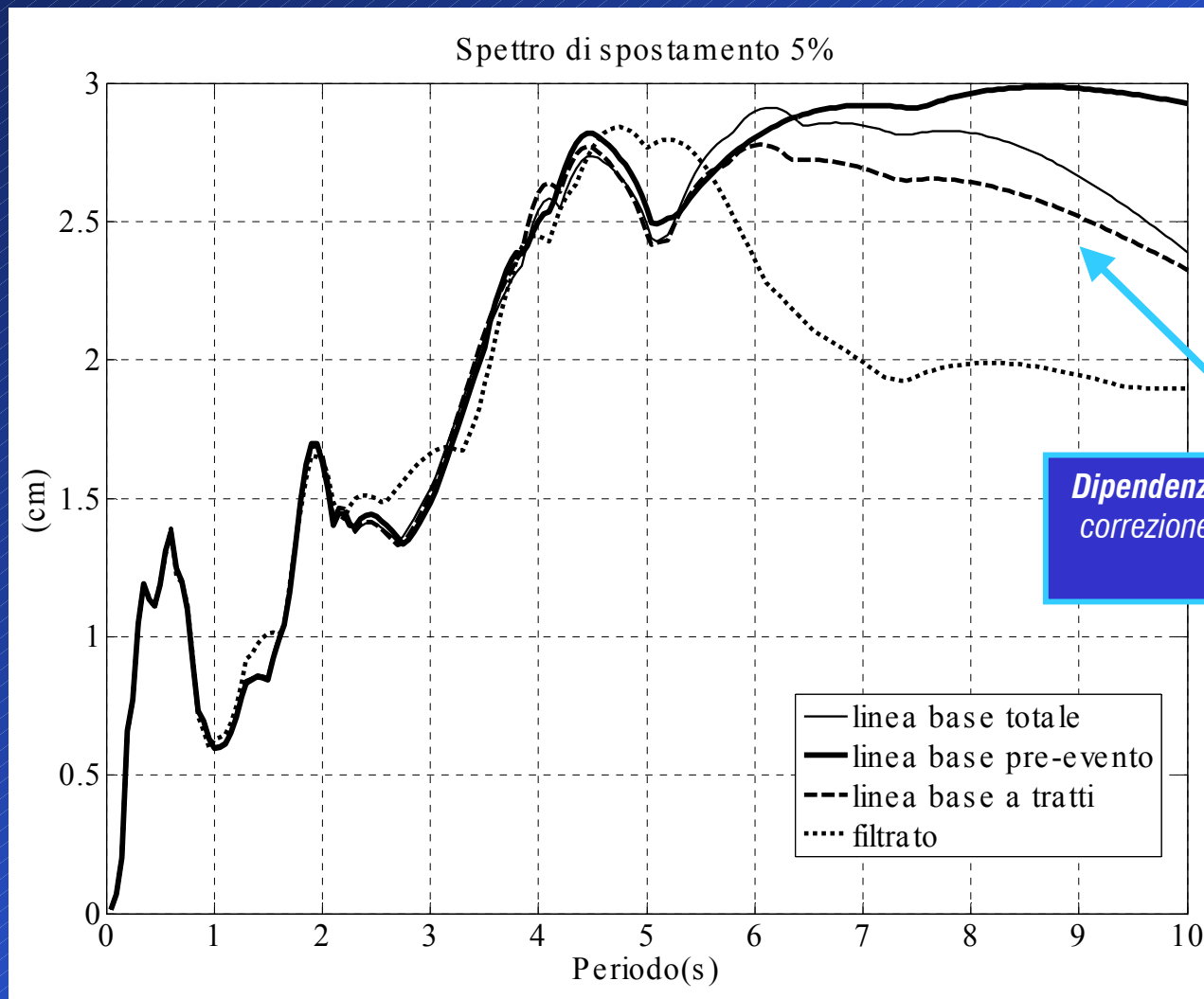


spostamento



Effetto della correzione della linea base sulle ordinate degli spettri di spostamento

Evento Umbria-Marche del 26/09/1997 (09:40) M6.0: Assisi Stallone (ew)

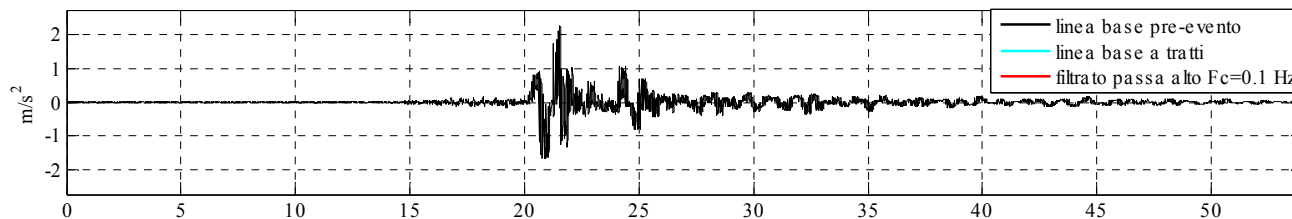


Dipendenza significativa dal tipo di correzione applicata a partire da $T > 5$ sec

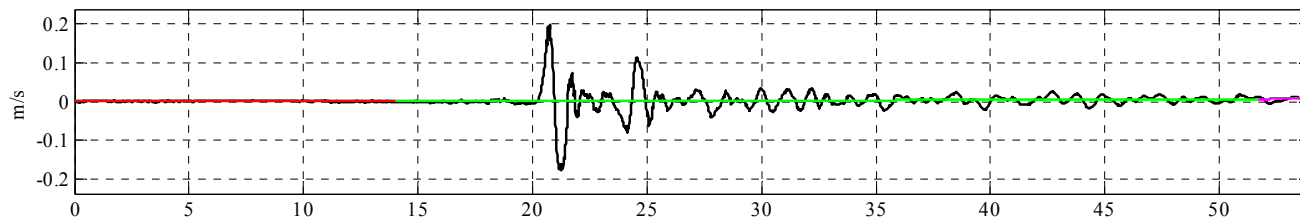
Effetto della correzione della linea base sulle ordinate degli spettri di spostamento

Evento K-NET del 11/04/2005 (07:22) M6.1: CHB010 (ew)

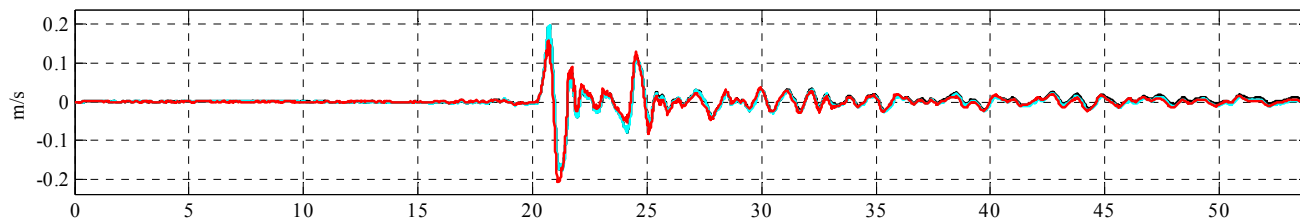
accelerazione



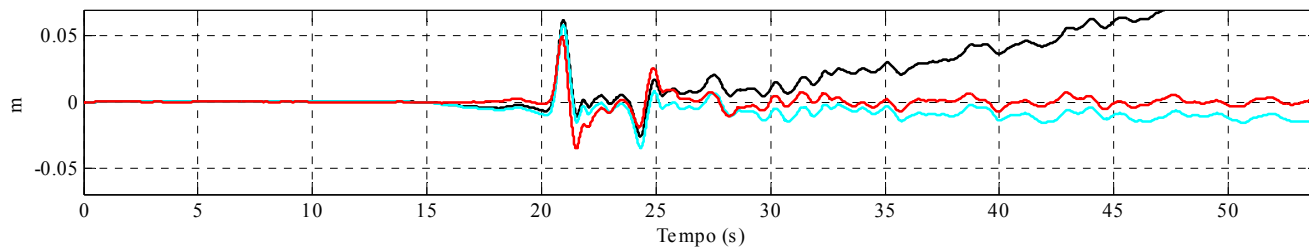
correzione a tratti
della velocità



velocità corretta

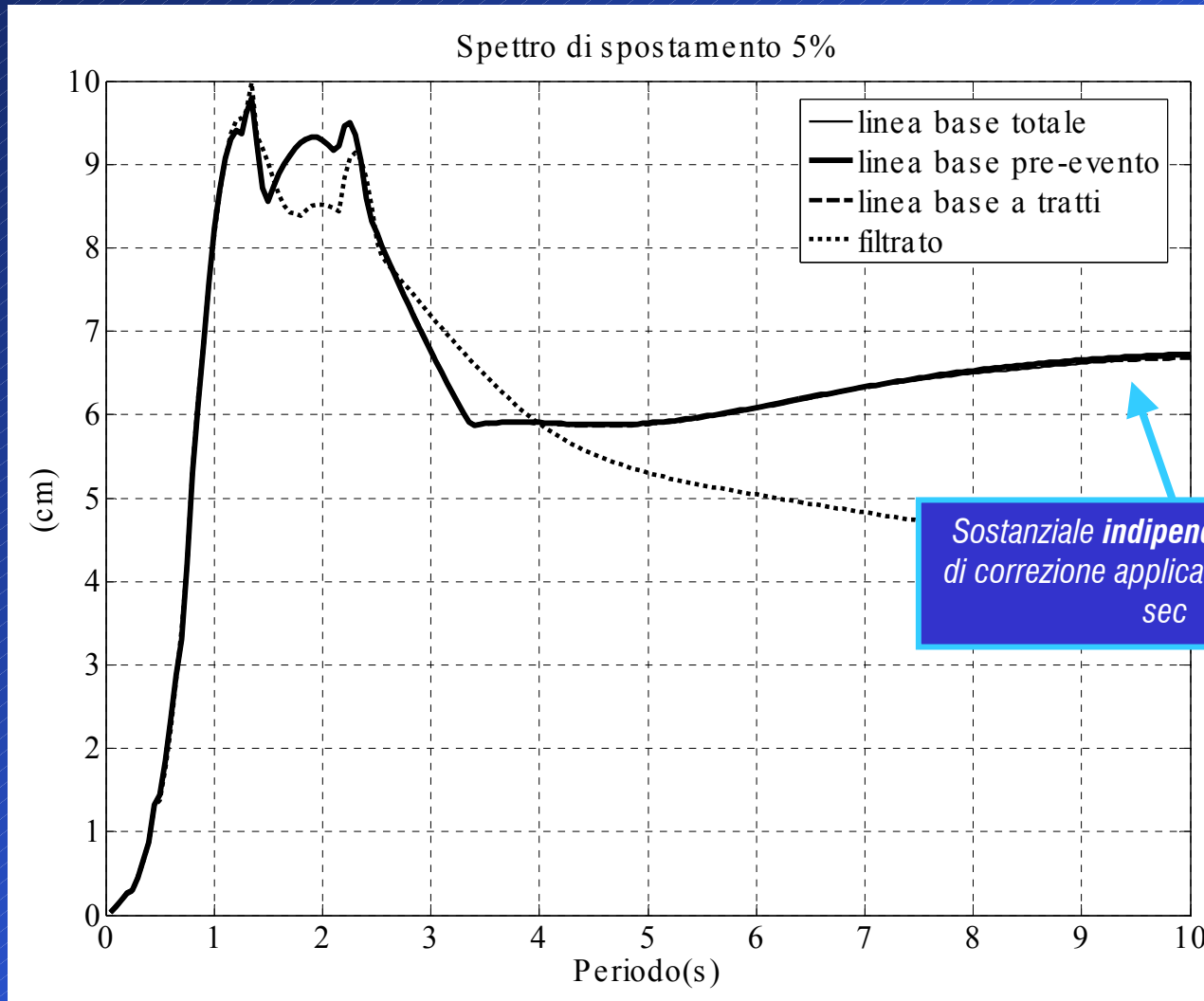


spostamento



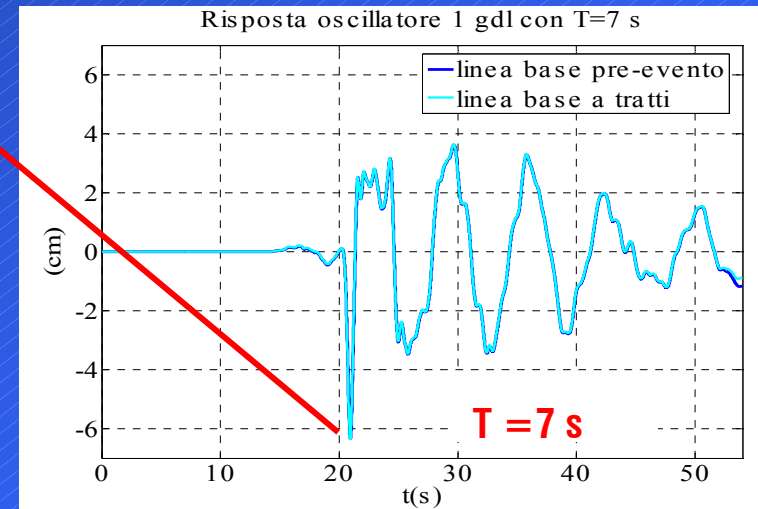
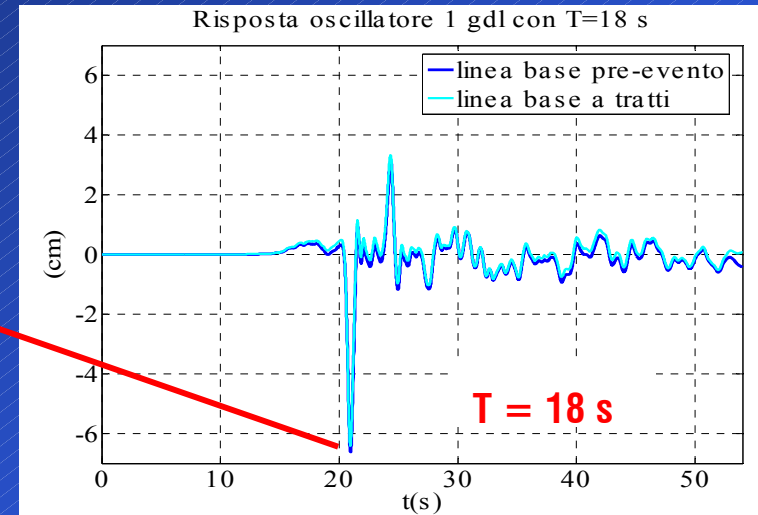
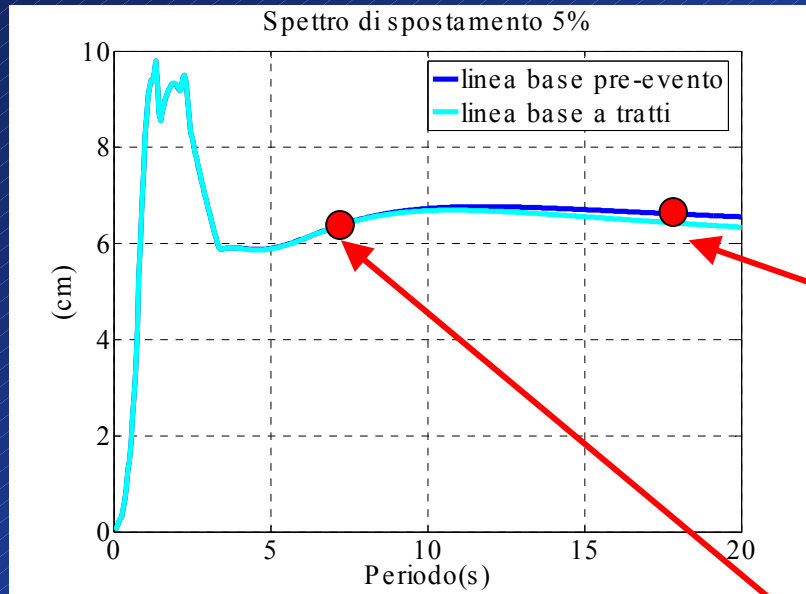
Effetto della correzione della linea base sulle ordinate degli spettri di spostamento

Evento K-NET del 11/04/2005 (07:22) M6.1: CHB010 (ew)



Risposta in spostamento dell'oscillatore a 1gdl sui lunghi periodi

Evento K-NET del 11/04/2005 (07:22) M6.1: CHB010 (ew)



Nonostante lo spostamento del suolo ottenuto per doppia integrazione dall'accelerogramma corretto sia ancora affetto da deriva, la risposta in spostamento dell'oscillatore a 1gdl non ne risulta influenzata, se non per periodi molto più lunghi di quelli di interesse in questo lavoro.

Analisi degli effetti della correzione della linea base

Procedura per lo studio dell'effetto della correzione:

1. Selezione di **53 registrazioni digitali** strong motion provenienti da diverse aree geografiche;
2. Correzione dei segnali accelerometrici secondo le **4 tipologie di correzione** identificate;
3. Confronto delle 4 procedure di correzione in termini di velocità e spostamento;
4. Confronto delle 4 procedure di correzione in termini di SRS: stima dell'effetto della correzione sulle ordinate spettrali per lunghi periodi;
5. Valutazione dello scostamento dalla procedura "ottimale" (correzione a tratti della linea base in velocità);
6. Scelta di una procedura operativa da applicare a tutto il database;

Registrazioni Selezionate:

Area	N° reg.
Europa	16
Medio Oriente	6
Stati Uniti	5
Giappone $5,5 < M < 6,0$	4
Giappone $6,0 < M < 6,5$	5
Taiwan	7
Messico	10
Totale	53

Metodi di correzione esaminati:

1. Correzione della linea base, calcolata su tutto l'accelerogramma;
2. Correzione della linea base, calcolata solo sul pre-evento;
3. Correzione della linea base a tratti sulla velocità;
4. Filtraggio passa-alto dell'accelerogramma;

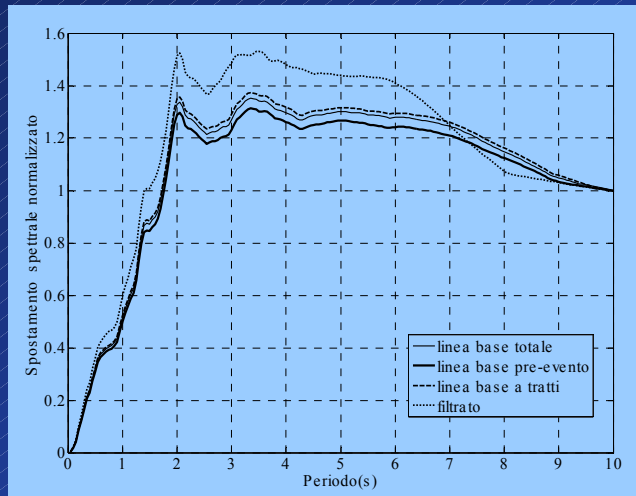
Per ciascuna registrazione sono state considerate sia le componenti orizzontali che la verticale per un totale di :

159 accelerogrammi analizzati

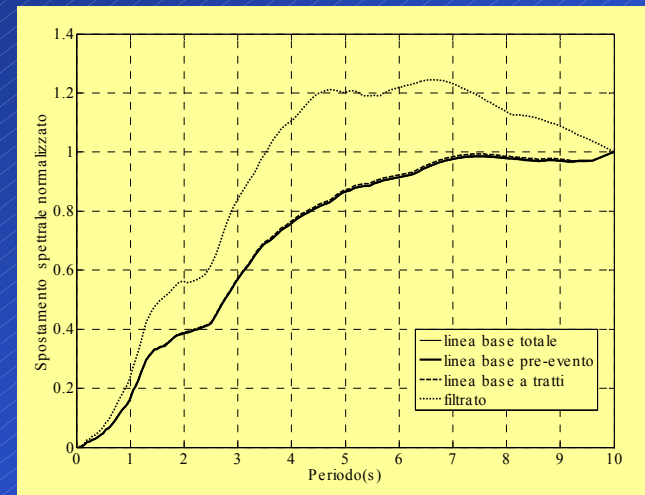
Analisi degli effetti della correzione della linea base

SPETTRI MEDI NORMALIZZATI rispetto all'ordinata spettrale a 10 s (comp. orizzontale, 5%)

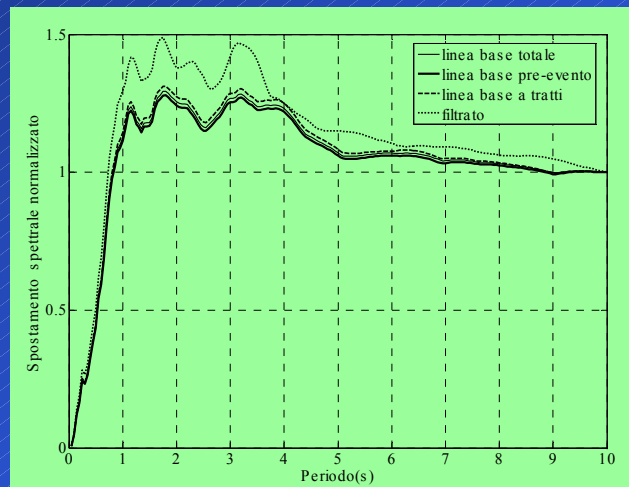
Europa $5.5 < M_w < 6.5$



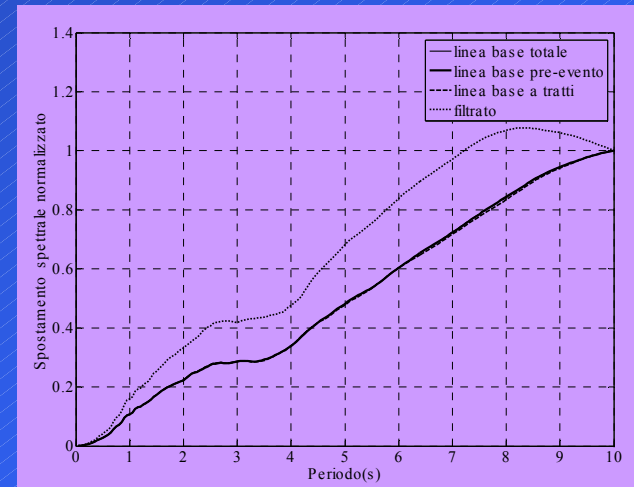
Medio Oriente $6.2 < M_w < 7.6$



Stati Uniti $M_w = 6.0$



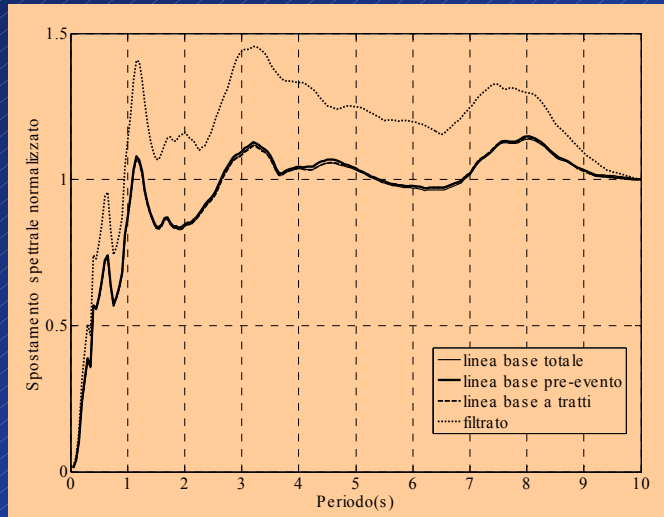
Taiwan $M_w = 7.6$



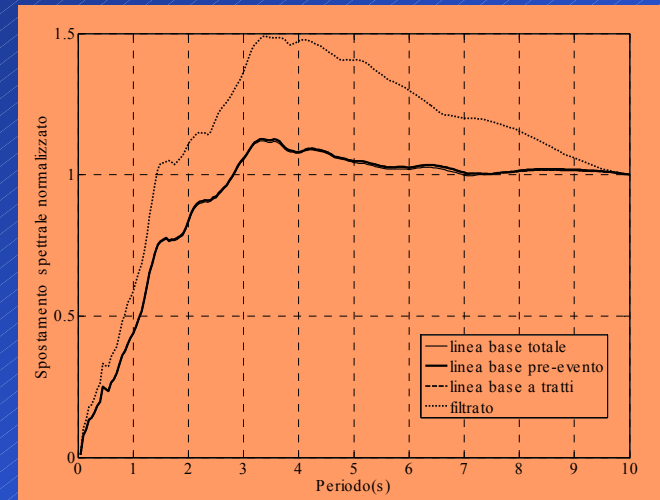
Analisi degli effetti della correzione della linea base

SPETTRI MEDI NORMALIZZATI rispetto all'ordinata spettrale a 10 s (comp. orizzontale, 5%)

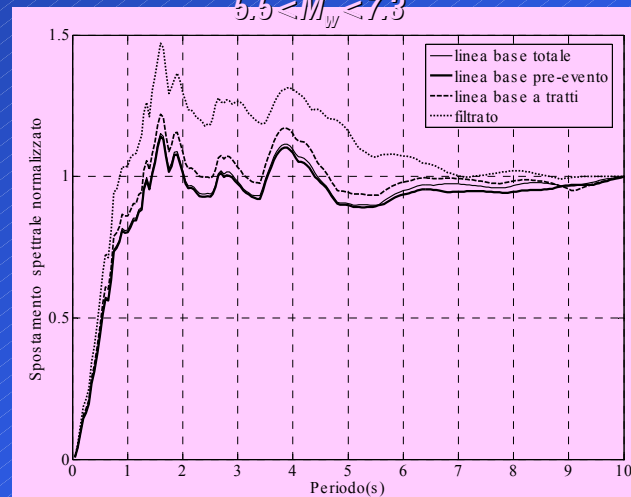
Giappone $5.5 < M_w < 6.0$



Giappone $6.0 < M_w < 6.5$



*Messico
 $5.5 < M_w < 7.3$*



Alcune indicazioni relative alla correzione della linea base

- il filtraggio passa-alto del segnale, anche con frequenze di soglia basse, non consente in generale di definire correttamente le ordinate degli spettri di risposta per periodi superiori a 4-5 s;
- l'applicazione di un metodo “avanzato” di correzione a tratti della linea base porta in generale a miglioramenti negli spostamenti del suolo ottenuti per doppia integrazione, ma non tali da eliminare derive irrealistiche;
- l'esame dell'effetto delle diverse procedure di correzione della linea base porta però alla conclusione favorevole che, se l'accelerogramma è di “buona qualità”, le ordinate dello spettro di spostamento sono insensibili a tali procedure almeno per il campo di periodi di interesse per questo studio;
- lo studio dei diversi insiemi di dati a disposizione ha messo in evidenza questi risultati:
 - registrazioni **europee e messicane**: **dipendenza significativa** dal tipo di correzione per una buona parte degli accelerogrammi disponibili;
 - registrazioni **K-net e Taiwan**: spettri di risposta **insensibili** alla procedura di correzione, almeno fino a 10 s;
 - registrazioni **mediorientali e statunitensi**: salvo pochi casi, **dipendenza trascurabile** dalla procedura di correzione.
- nel seguito del lavoro si opererà soltanto sugli insiemi di dati che non presentano dipendenza significativa dalla procedura di correzione, adottando la correzione basata sul calcolo della linea base sul pre-evento, più facilmente automatizzabile.

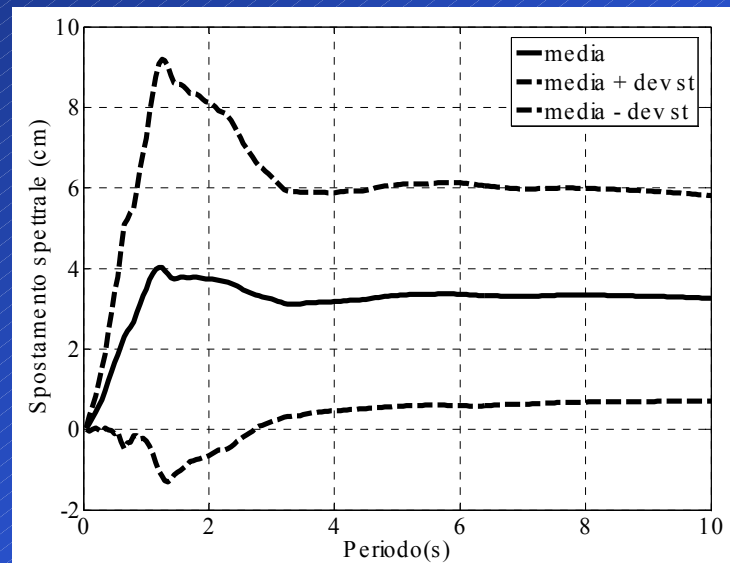
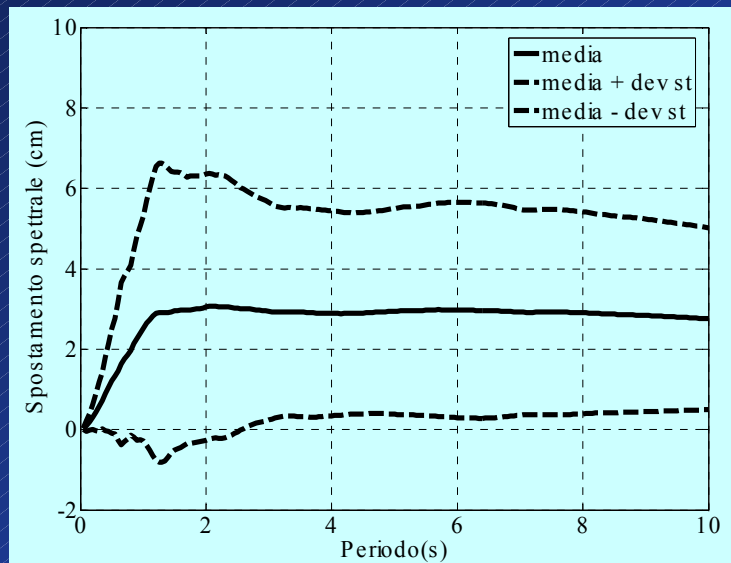
Validazione spettro di riferimento FPR04
(per il momento solo per $6.0 < M < 6.5$)

Risultati preliminari per $6.0 < M < 6.5$: registrazioni K-NET con $10 < d_e < 30$ km

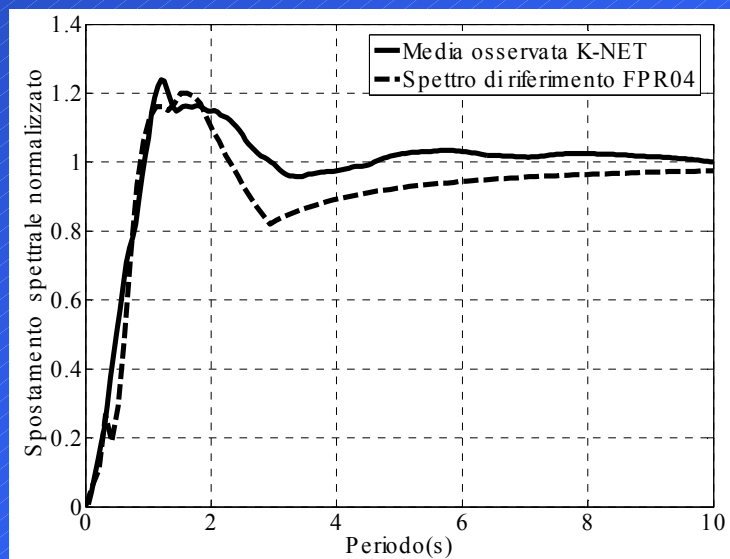
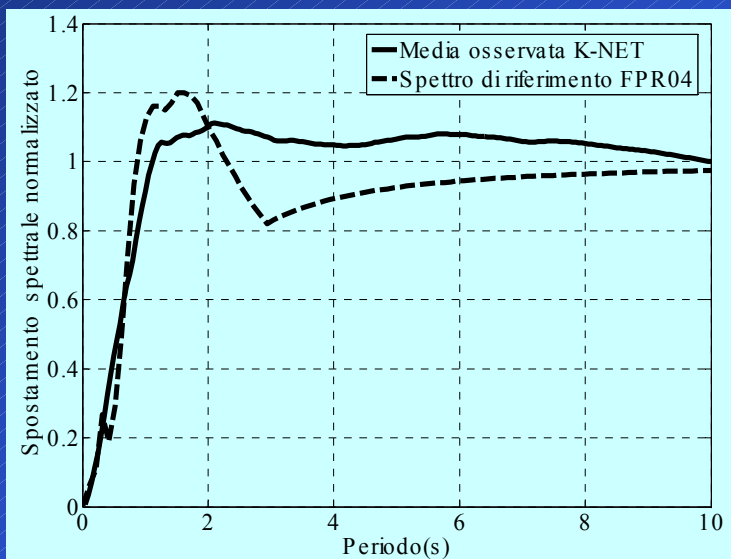
Nuova base di dati : 164 spettri

Vecchia base di dati : 68 spettri

Spettri non normalizzati



Spettri normalizzati

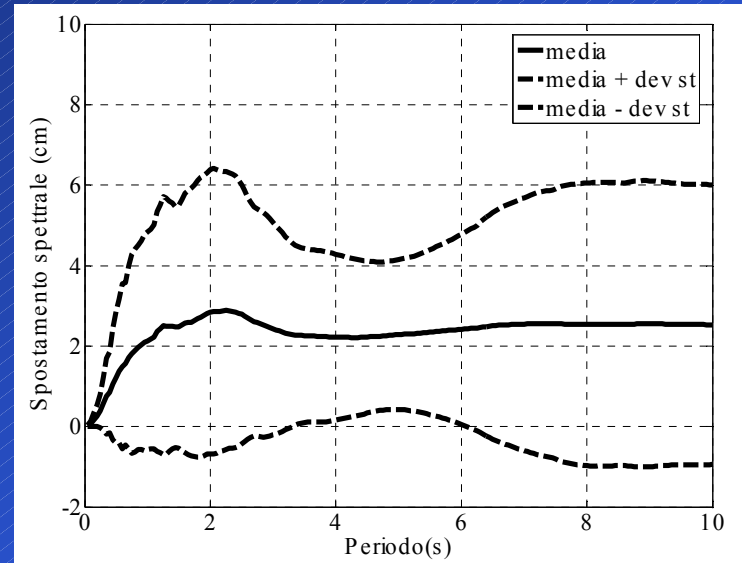
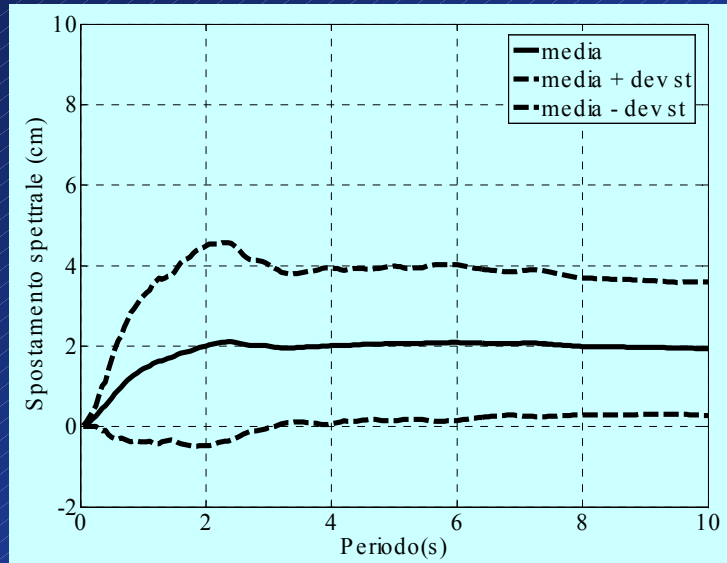


Risultati preliminari per $6.0 < M < 6.5$: registrazioni K-NET con $30 < d_e < 50$ km

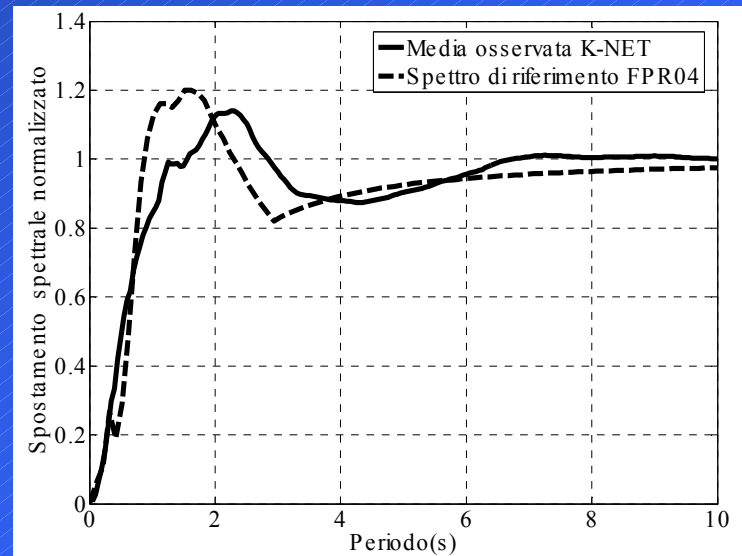
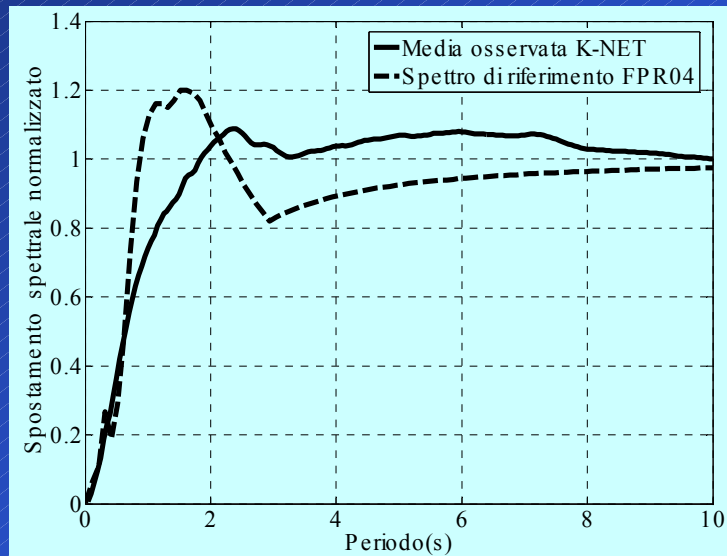
Nuova base di dati : 270 spettri

Vecchia base di dati : 88 spettri

Spettri non normalizzati



Spettri normalizzati



Valutazione preliminare effetti di sito

Classificazione delle stazioni della rete K-Net

Suddivisione in classi di sito per le 285 stazioni di k-Net secondo l'EC8 :

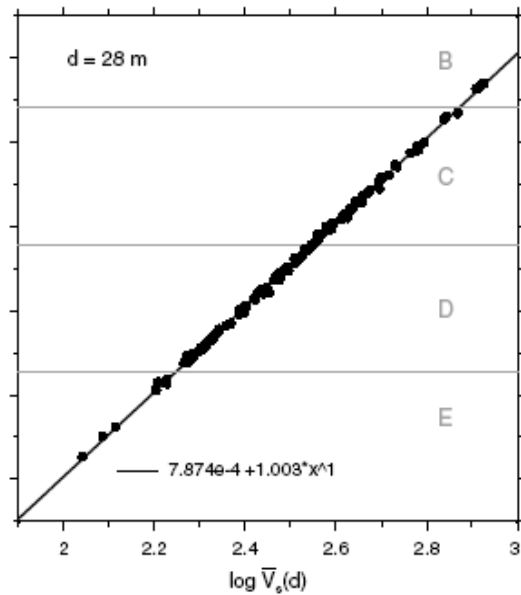
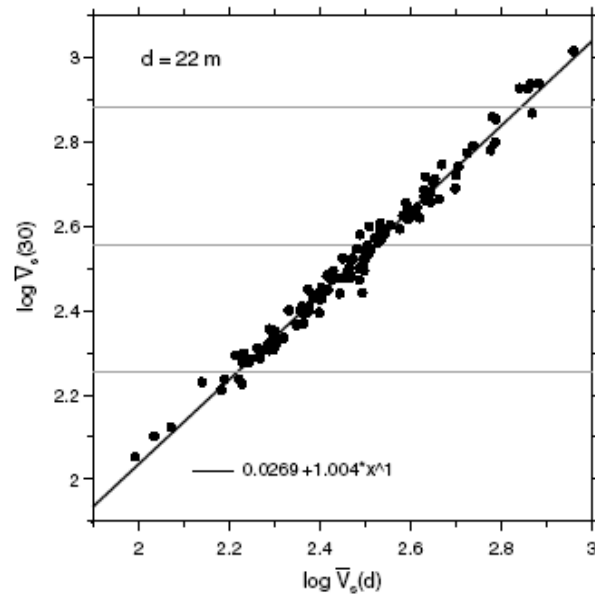
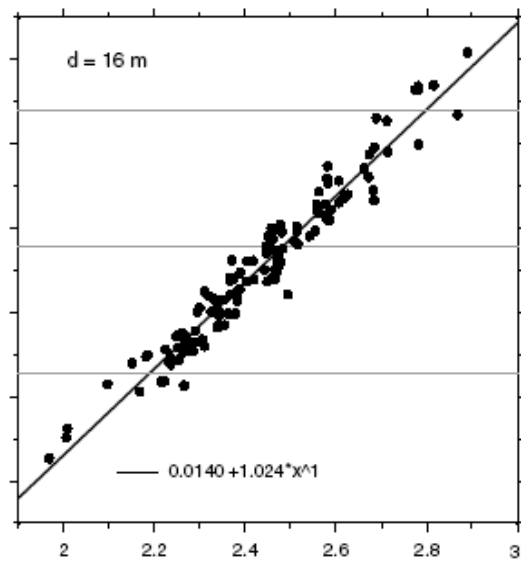
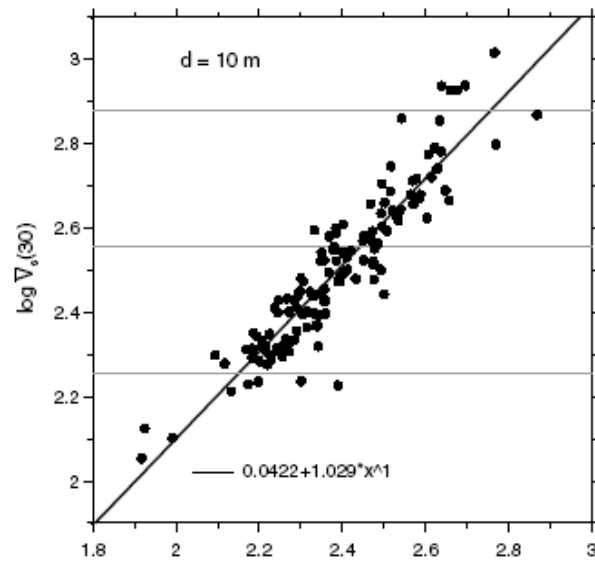
- A : $V_{s,30} > 800$ m/s
- B : $360 \text{ m/s} < V_{s,30} < 800$ m/s
- C : $180 \text{ m/s} < V_{s,30} < 360$ m/s
- D : $V_{s,30} < 180$ m/s

Problema: stima di $V_{s,30}$ sulla base di valori di V_s relativi a sondaggi che raggiungono profondità comprese tra 10 e 20 m

Metodi di stima di $V_{s,30}$:

1. Estrapolazione attribuendo lo stesso valore di V_s dalla max profondità d del sondaggio fino a 30 m
2. Estrapolazione con maggiorazione di V_s del 20% ogni 10 m di profondità
3. Estrapolazione con correlazione tra $V_{s,30}$ e $V_{s,d}$ (da Boore, 2004)
 $\log V_{s,30} = a + b \cdot \log V_{s,d}$
con $V_{s,d} = d / \sum(h_i/V_i)$,dove d è la profondità (compresa tra 10 e 29 m)
4. Estrapolazione basata su criteri probabilistici (da Boore, 2004)

Esempi di regressione tra $V_{s,d}$ e $V_{s,30}$



Criteri di classificazione e risultati

Ogni stazione di K-Net (delle 285 di interesse) è stata classificata con le 4 modalità descritte; si è quindi deciso di assegnare la classe di sito definitiva adottando un criterio di maggioranza:

- stazioni classificate all'unanimità (4-0): **210** pari al **73.7%**
- stazioni classificate a maggioranza (3-1): **59** pari al **20.7%**
- stazioni incerte (2-2): **16** pari al **5.6%**

Alle stazioni incerte è stata assegnata caso per caso la classe di sito secondo il parere “esperto”, in relazione ai valori di $V_{s,30}$ stimati con le relazioni precedenti.

Classificazione stazioni

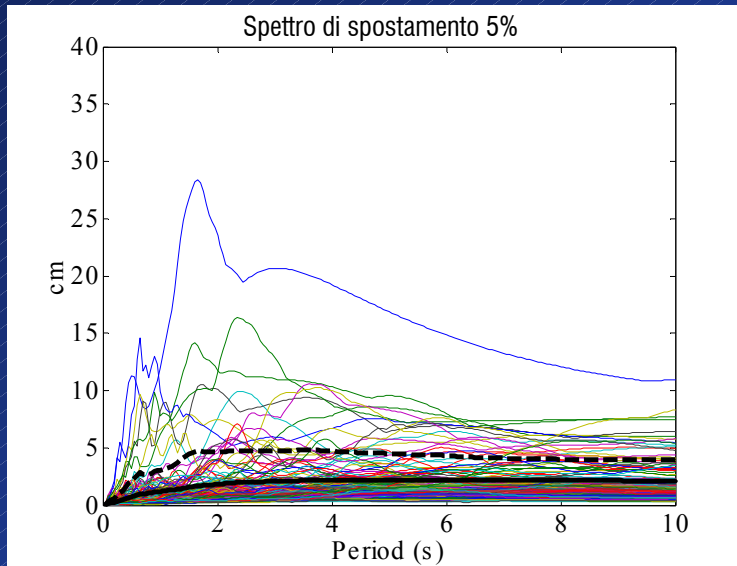
Classe	n.stazioni	%
A	6	2.1
B	91	31.9
C	151	53
D	37	13
Tot	285	100

Classificazione registrazioni

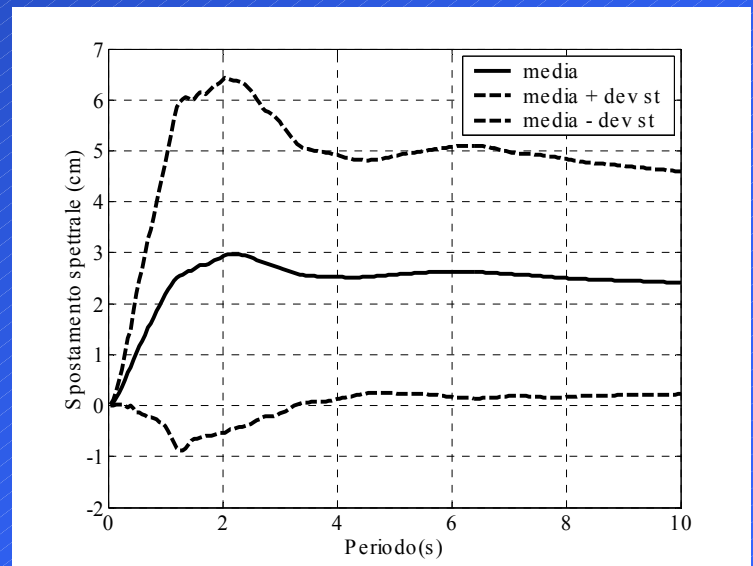
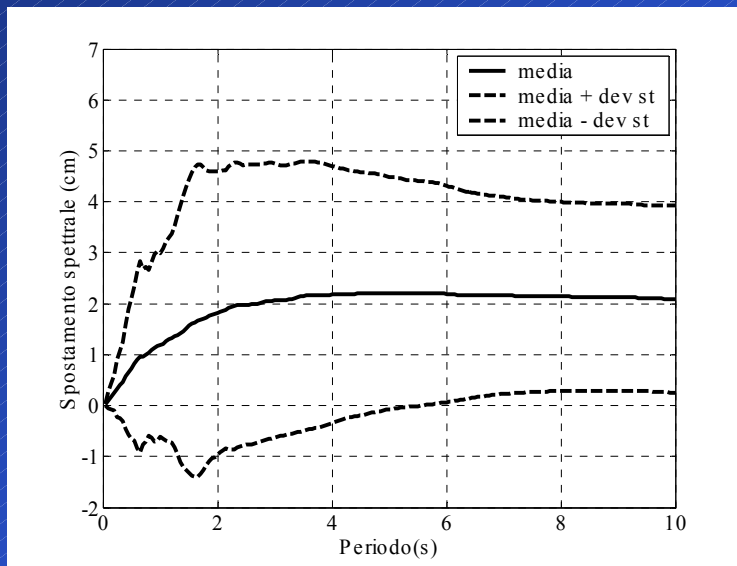
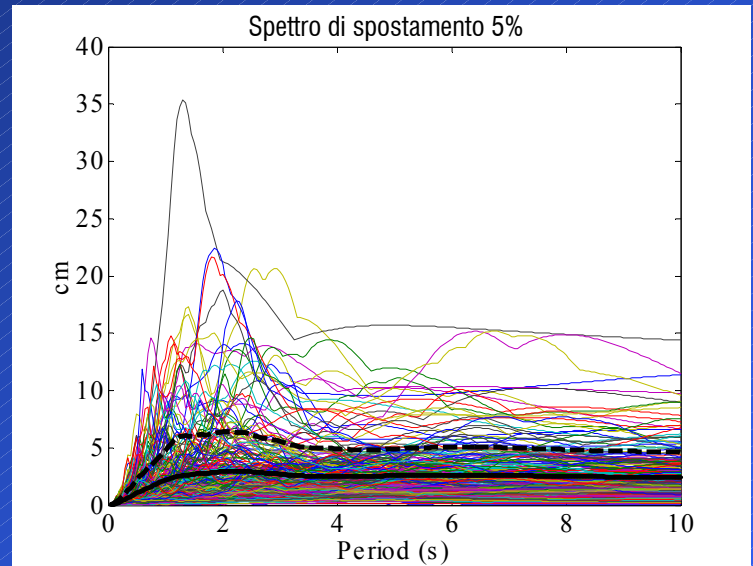
Classe	M_w 5.5-6	M_w 6-6.5	M_w 6.5-7.2	Tot	%
A	6	1	2	9	2
B	93	66	10	169	29
C	169	137	31	337	58
D	32	26	6	64	11
Tot	300	230	49	579	100
%	52	40	8	100	

Risultati preliminari per $6.0 < M < 6.5$: distinzione per classi di sito

Classe B: 130 spettri

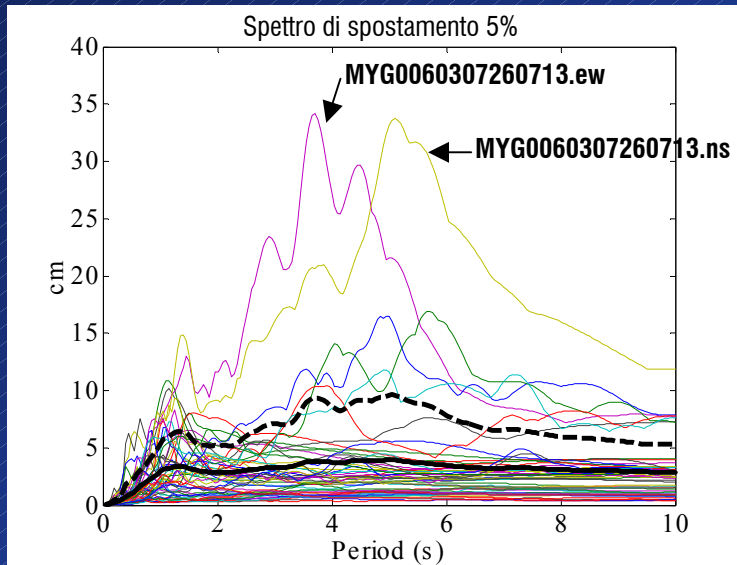


Classe C: 270 spettri

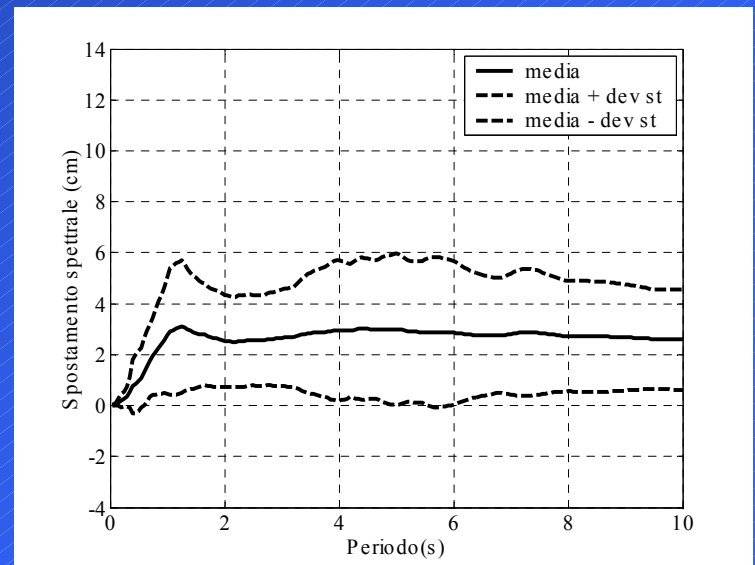
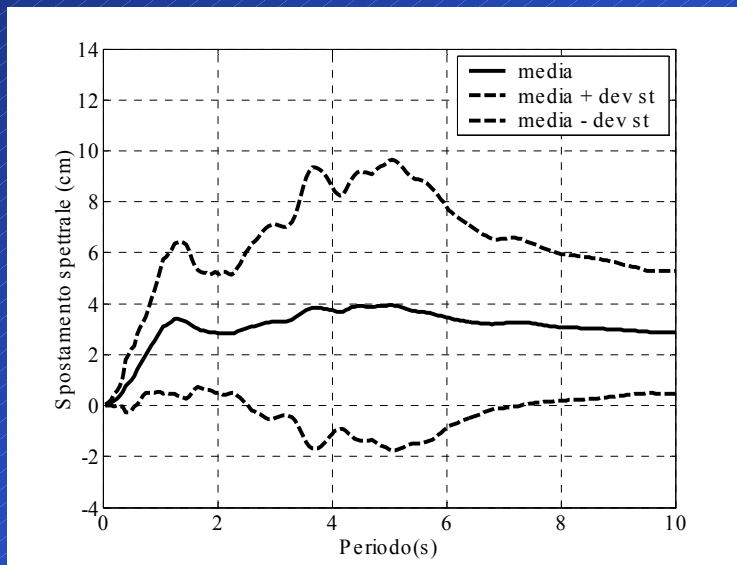
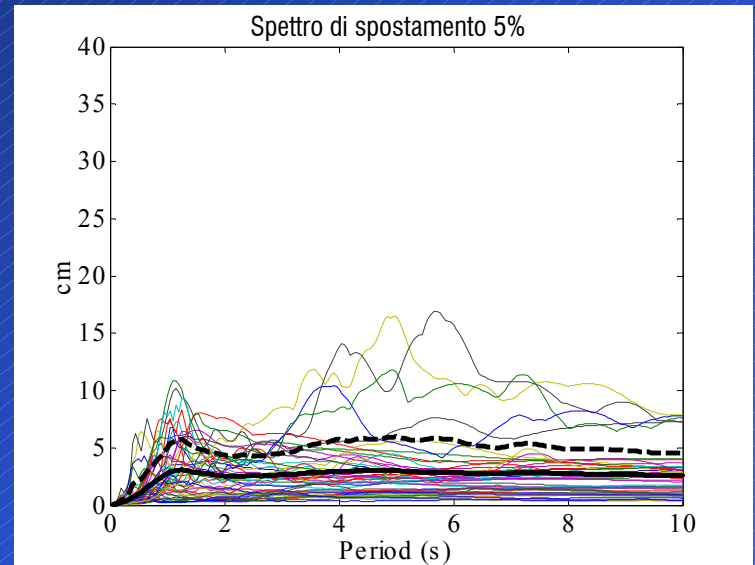


Risultati preliminari per $6.0 < M < 6.5$: distinzione per classi di sito

Classe D: 52 spettri

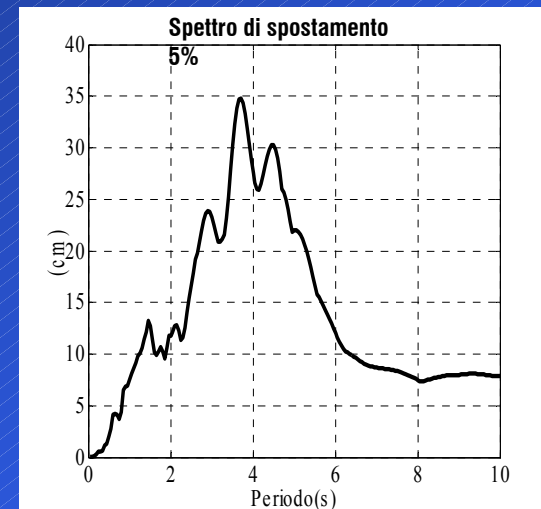
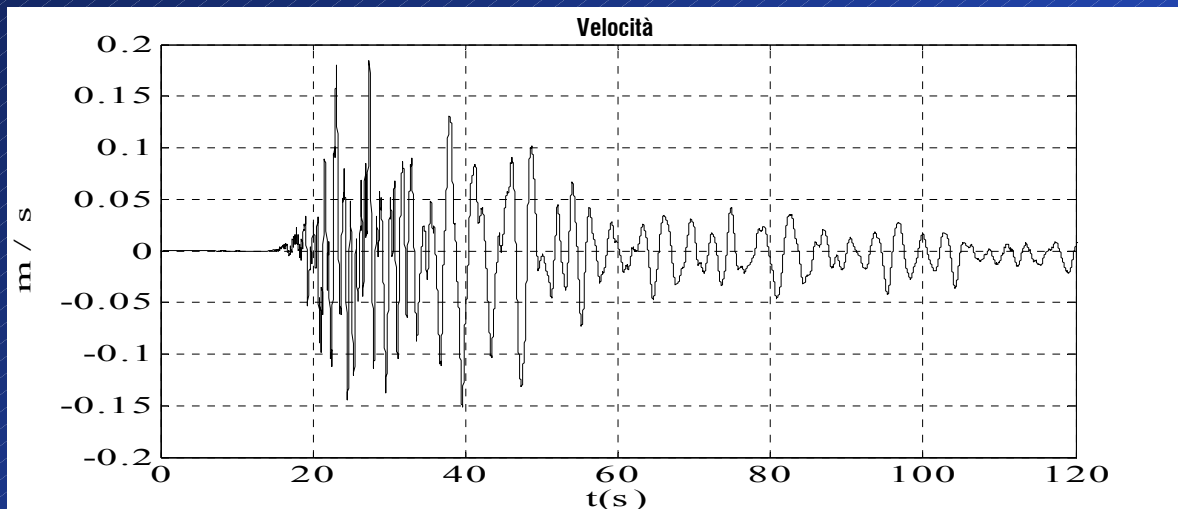


Classe D: 50 spettri

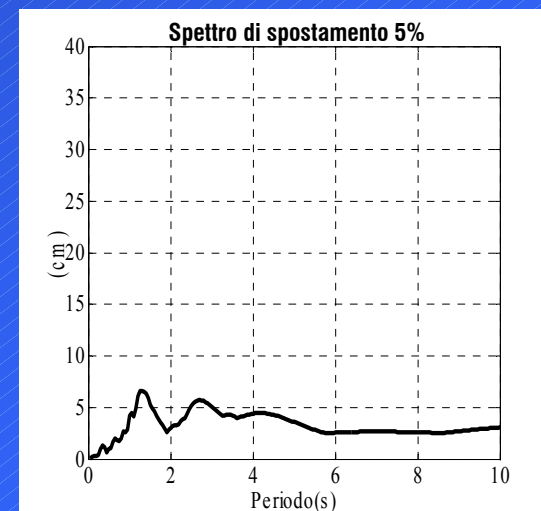
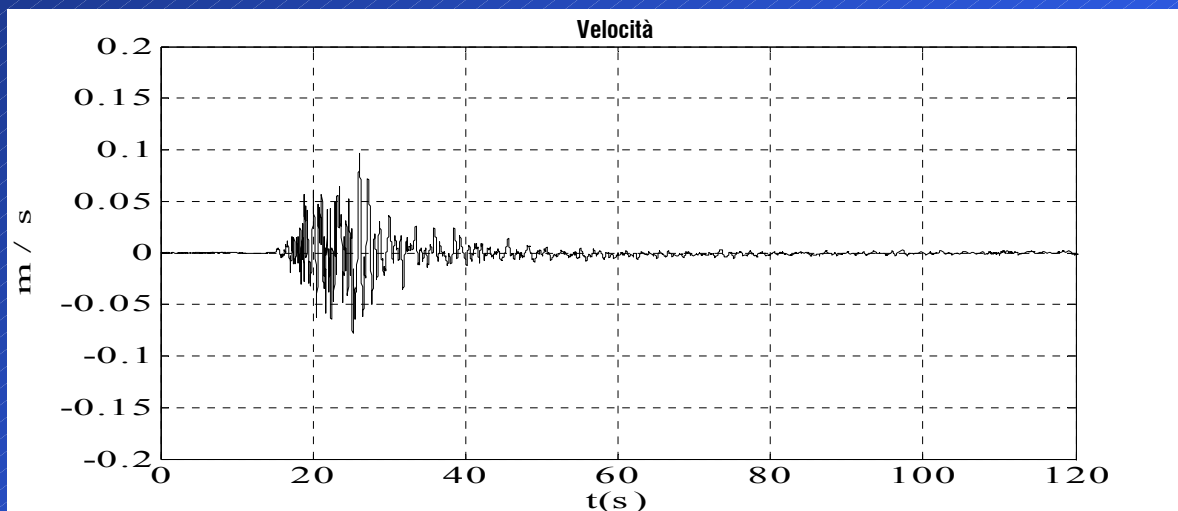


Effetti di lungo periodo dovuti alle onde di superficie: evento del 26/07/2003 $M_w 6.2$

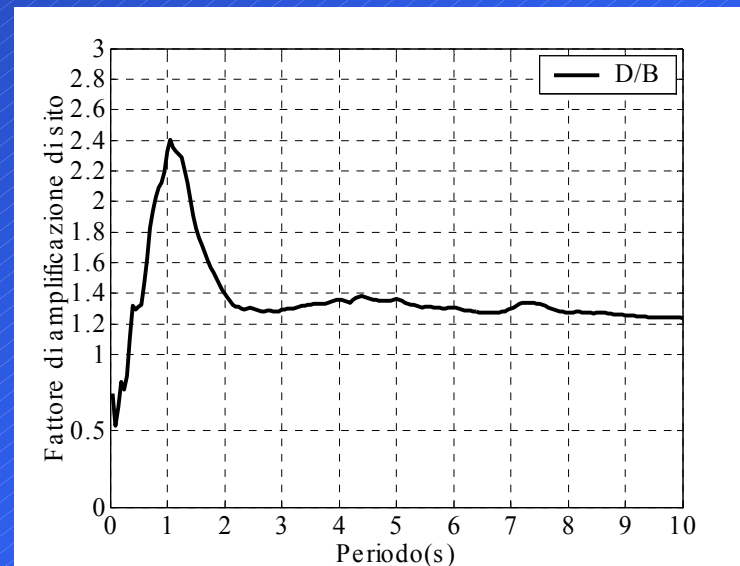
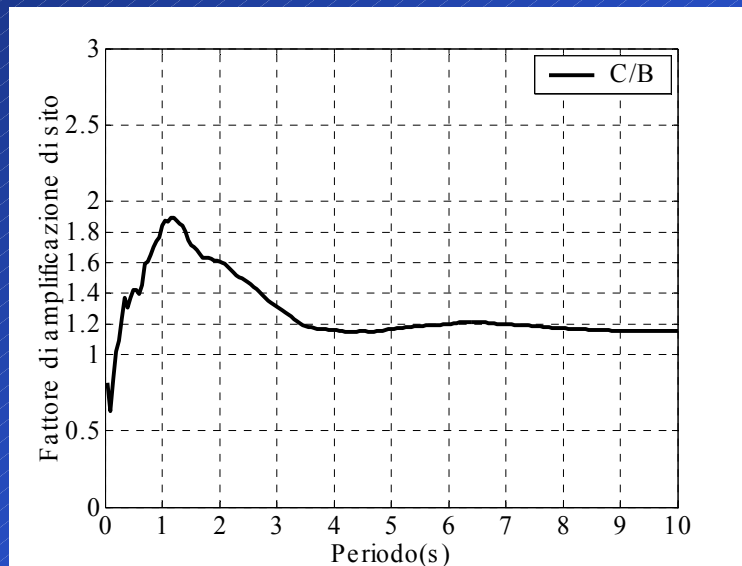
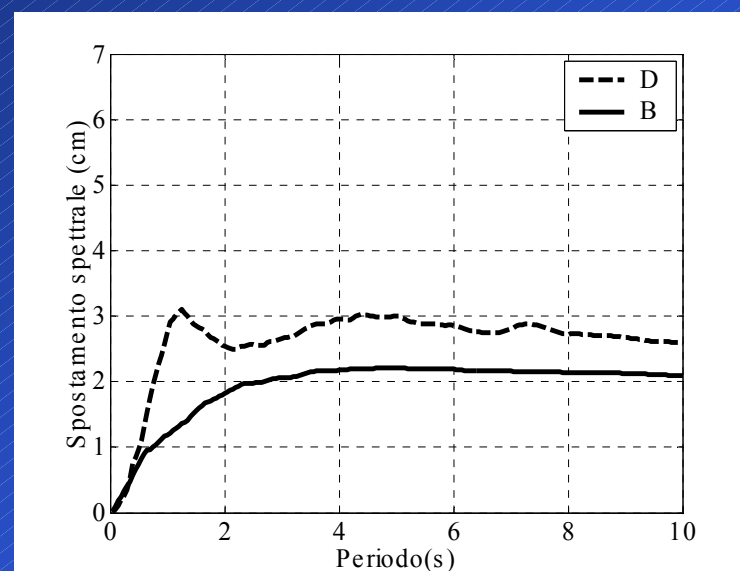
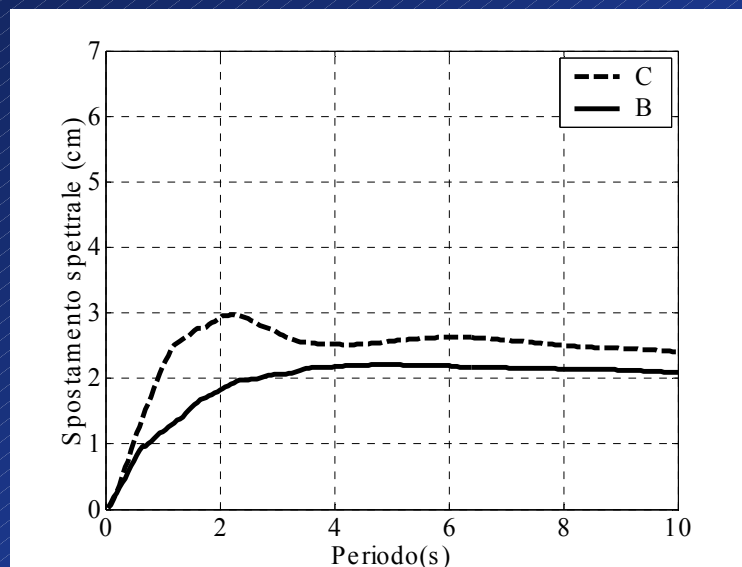
Registrazione MYG006 (EW): classe D, $d_e = 26$ Km



Registrazione MYG012 (EW): classe D, $d_e = 15$ Km

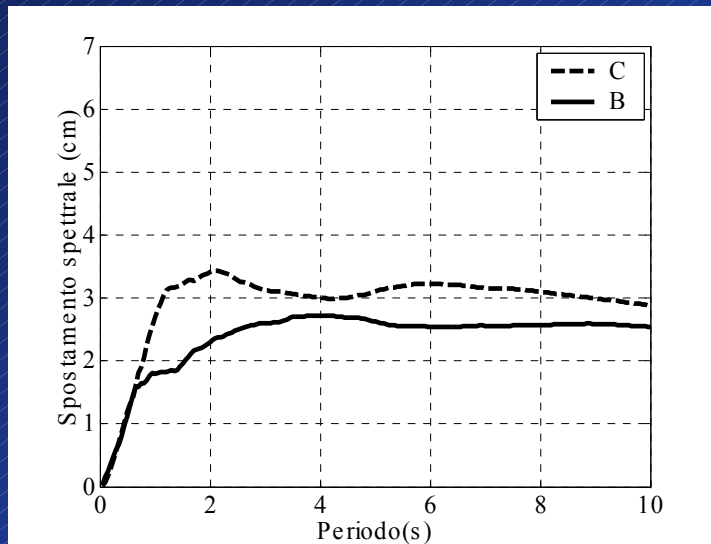


Risultati preliminari per $6.0 < M < 6.5$: rapporti spettrali in funzione della classe di sito

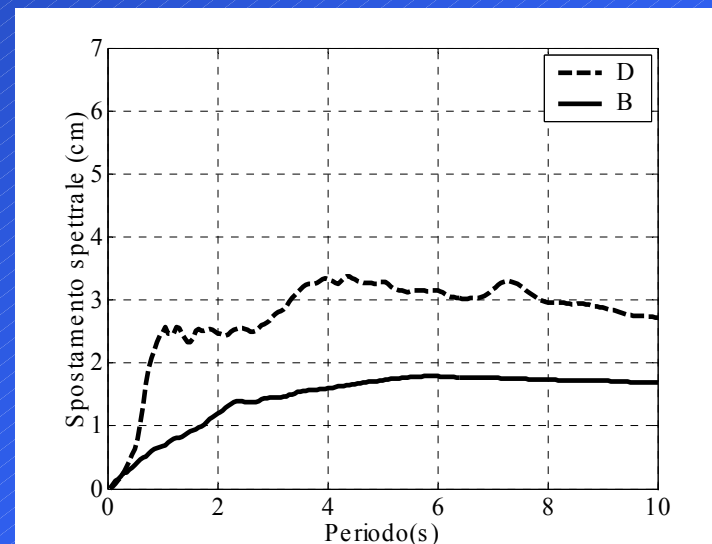
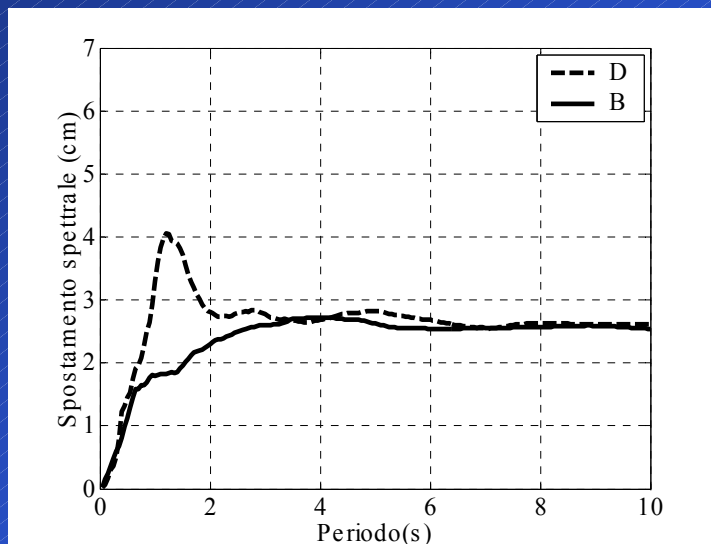
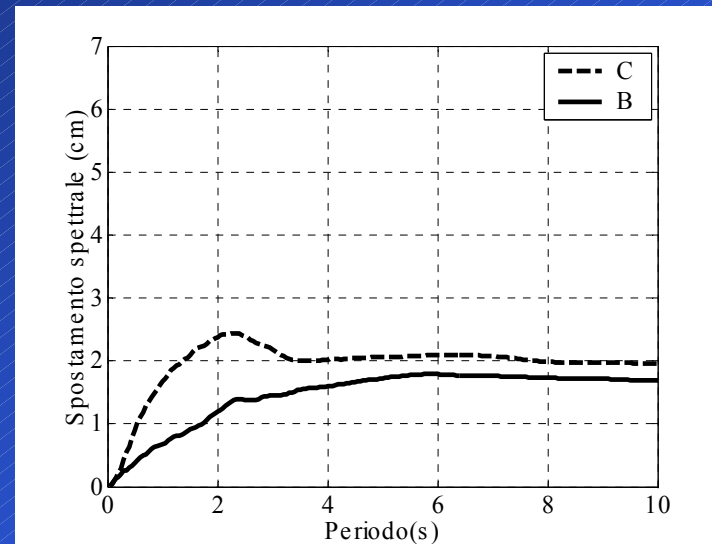


Risultati preliminari per $6.0 < M < 6.5$: distinzione per classi di sito e distanza epicentrale

$10 < d_e < 30$ Km



$30 < d_e < 50$ Km

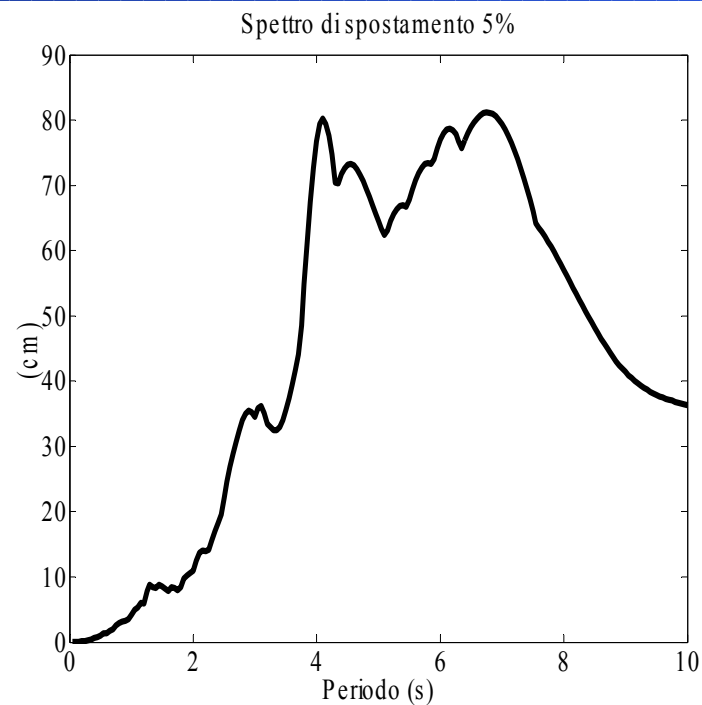
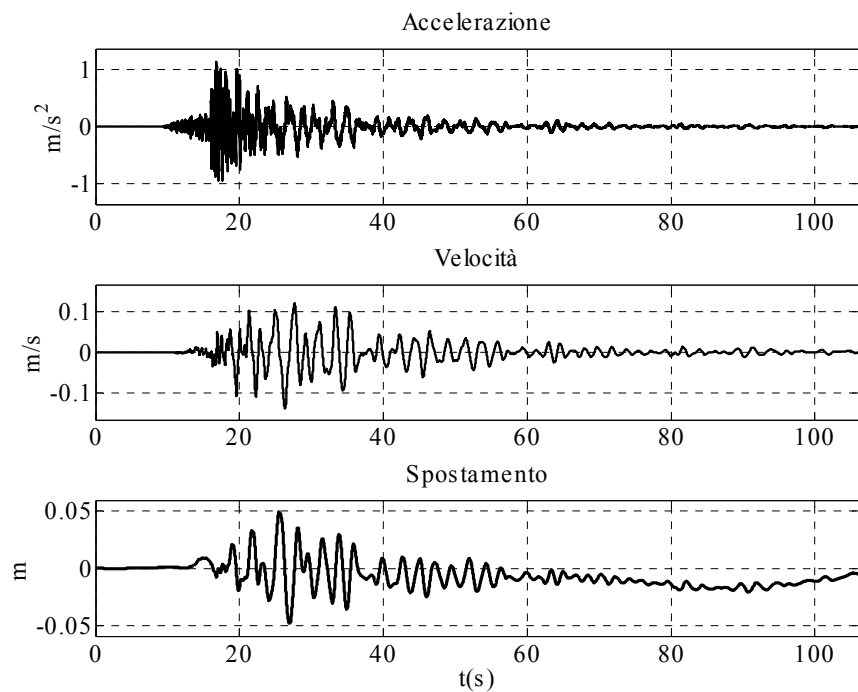


Costruzione di una “mini” base dati accelerometrici
idonei per analisi strutturali sui lunghi periodi

#

Terremoto Umbria - Marche 26/09/1997, $M_w 6.0$

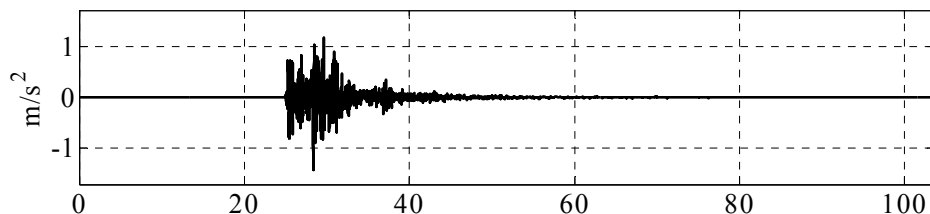
Registrazione di Gubbio - Piana (NS)



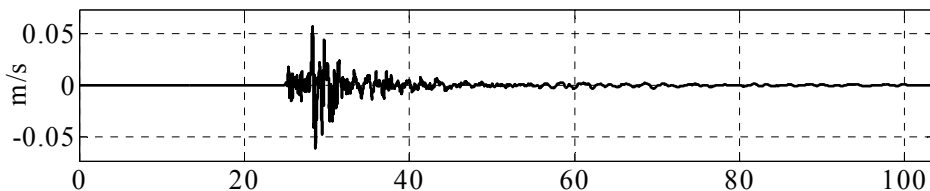
Terremoto di Parkfield 28/09/2004, M_w 6.0

Registrazione di Jack Canyon (EW)

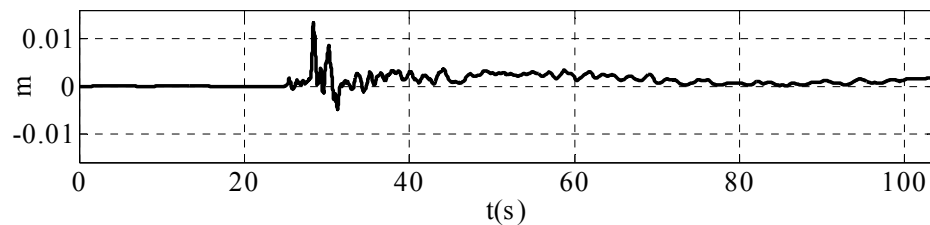
Accelerazione



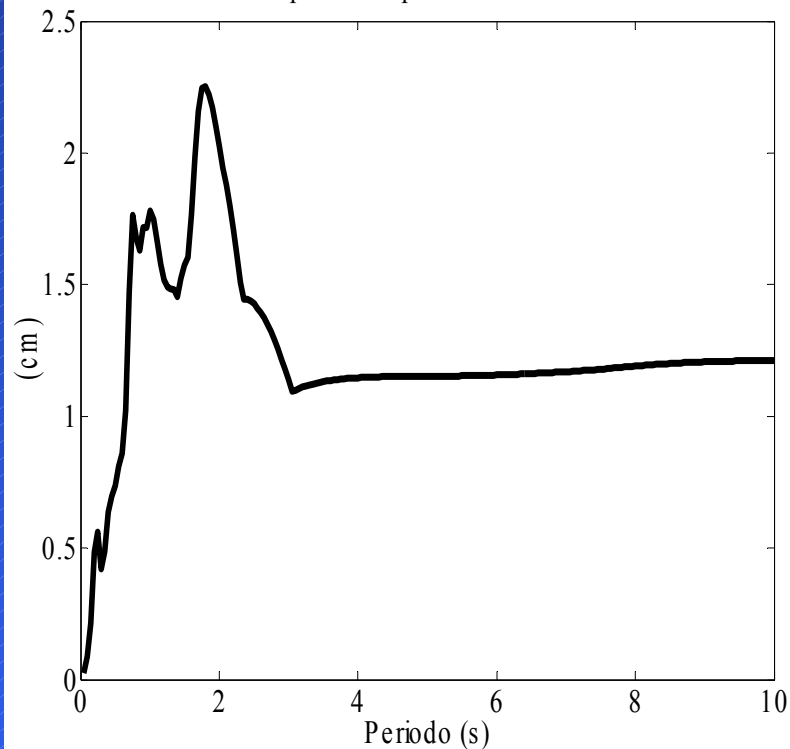
Velocità



Spostamento



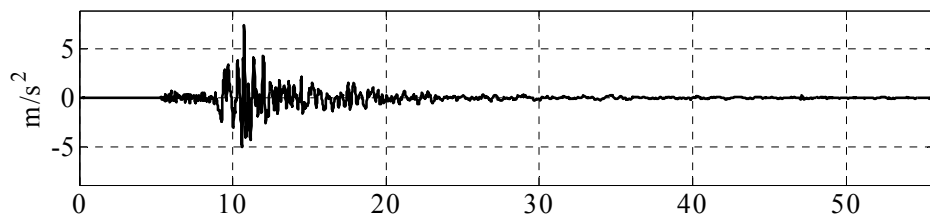
Spettro di spostamento 5%



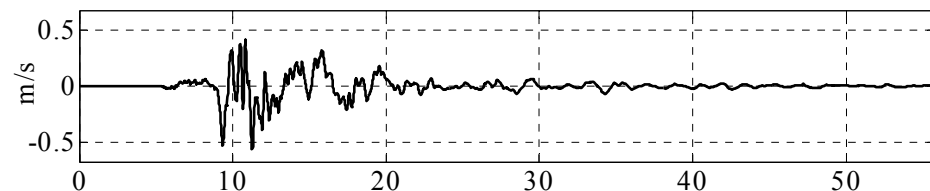
Terremoto di Duzce 12/11/1999, $M_w 7.2$

Registrazione di Bolu-Bayindirlik (NS)

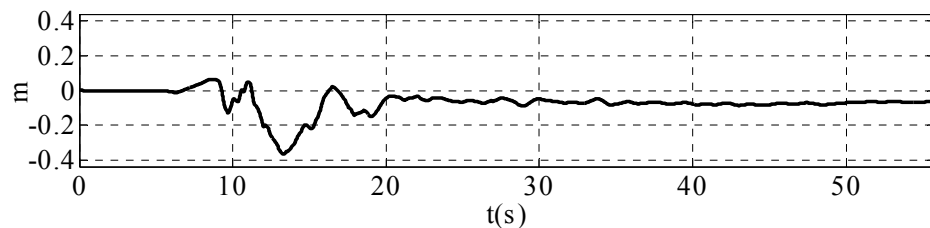
Accelerazione



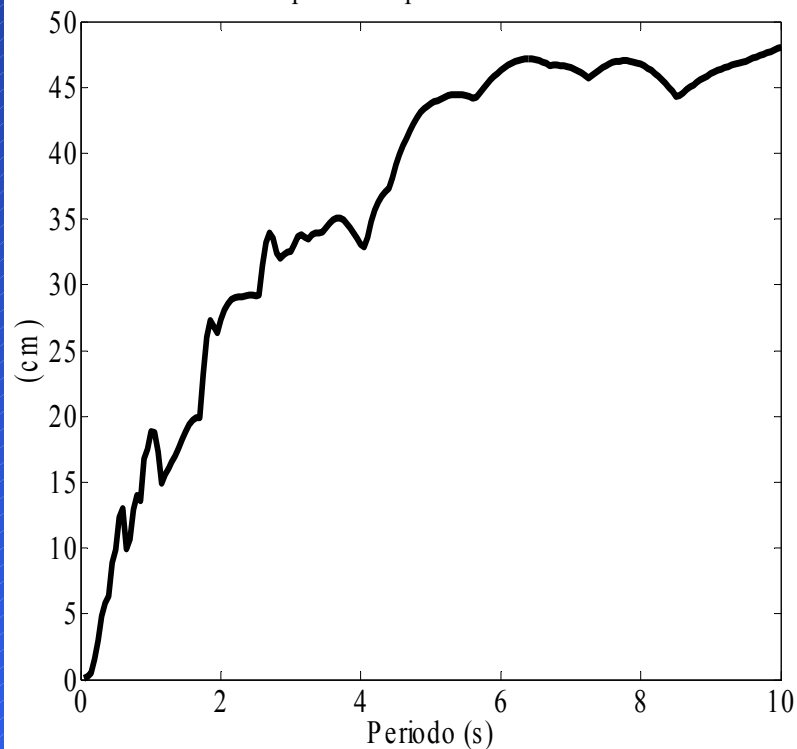
Velocità



Spostamento



Spettro di spostamento 5%



UR6: *attività di ricerca*

Obiettivi raggiunti:

1. Sviluppo di una procedura “avanzata” di correzione della linea base degli accelerogrammi: elaborazione del programma matlab **basco.m**;
2. Valutazione dell'effetto della procedura di correzione sulle ordinate degli spettri di spostamento per un set di dati costituito da **53 registrazioni strong motion** appartenenti a 6 distinte aree geografiche: Europa, Medio-Oriente, Stati Uniti, Giappone, Taiwan e Messico;
3. Individuazione della procedura di correzione più adatta per il processamento degli spostamenti spettrali: **correzione della linea base calcolata solo sul pre-evento**;
4. Verifica preliminare del modello di riferimento FPR04, nel campo di magnitudo 6.0-6.5;
5. Classificazione delle stazioni della rete K-Net, ed analisi preliminare effetti di sito;
6. Predisposizione di una mini base di dati accelerometrici per analisi strutturali;

Attività di ricerca prevista

1. Completamento del processamento della nuova base di dati mondiale;

- Semplificazione del modello di riferimento con un semplice plateau oltre un prefissato periodo di soglia T_0
- Aggiornamento della stima di T_0 in funzione della magnitudo
- Verifica del modello di riferimento in termini di $d_{\max}(M,R)$

2. Completamento dello studio degli effetti di sito sui lunghi periodi;

- problema della Classe A (da affrontare numericamente?)

3. Studio della componente verticale

- definizione di un coefficiente correttivo rispetto allo spettro medio della componente orizzontale;