

Autorità di bacino del fiume Po
Bacino di rilievo nazionale

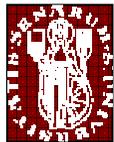
Regione Emilia-Romagna



Pericolosità sismica ed identificazione del terremoto di riferimento



A.Marcellini, D.Gerosa
CNR-IDPA



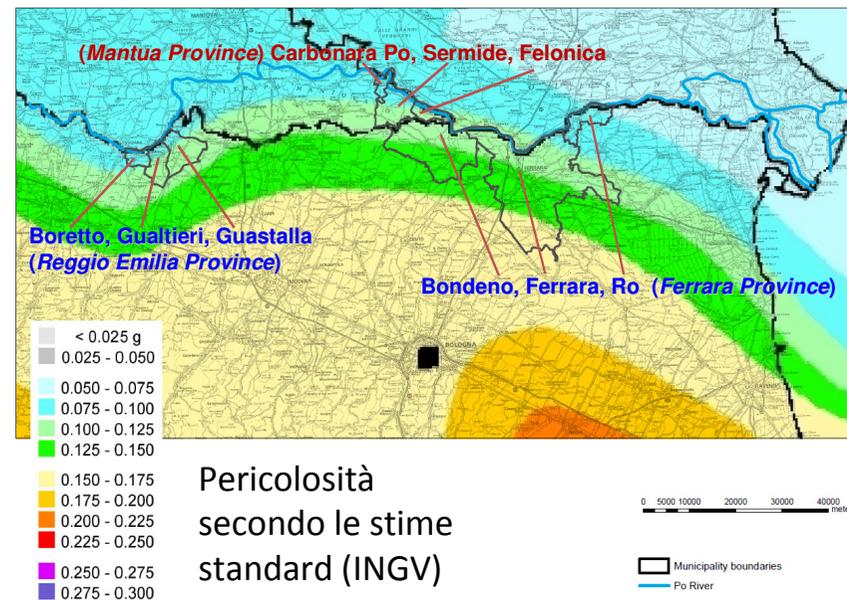
D.Albarello
Università di Siena



R.Camassi, E.Ercolani
INGV-BO



F.Pergalani, M.Compagnoni
POLIMI



Le **analisi di pericolosità sismica** hanno avuto lo scopo di identificare lo scuotimento sismico di riferimento (su suolo rigido) rappresentativo della pericolosità sismica nelle diverse parti dell'area di studio.

In particolare sono stati di livelli di scuotimento, caratterizzati rispettivamente da una probabilità di eccedenza pari al 10% e al 5% in 50 anni

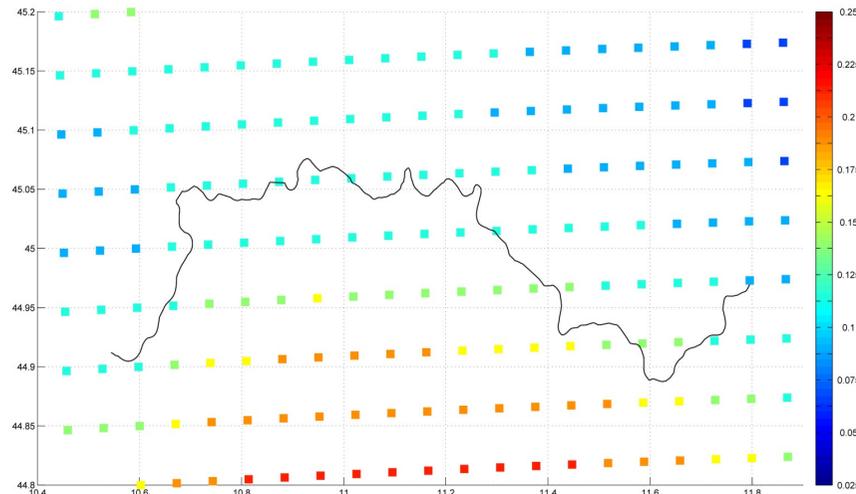
Sono stati quindi identificati degli accelerogrammi reali caratterizzati da uno spettro di risposta compatibile con questi due livelli di scuotimento; questi accelerogrammi sono stati quindi utilizzati per il calcolo dello scuotimento sismico atteso alla base degli argini

Le analisi di pericolosità e quindi l'identificazione degli spettri di scuotimento sono state effettuate seguendo **due possibili approcci** di tipo probabilistico

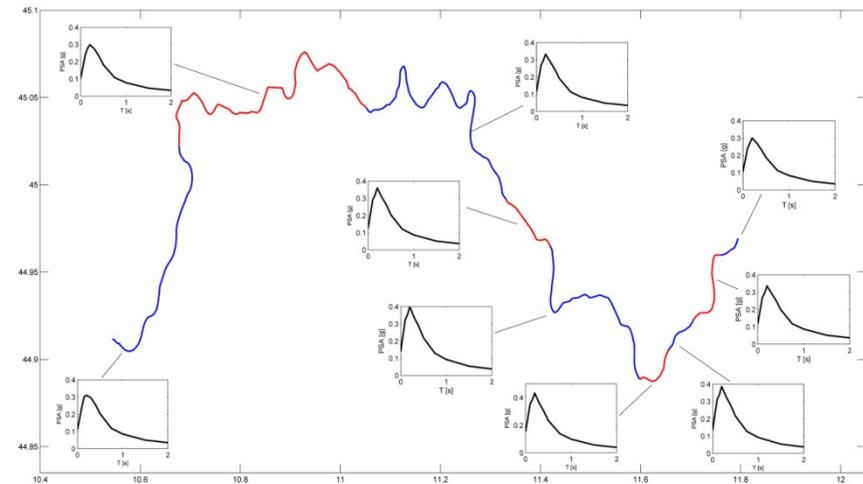


Approccio 1

A partire dalle stime di pericolosità sismica di riferimento nazionali (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>) sono stati definiti gli spettri a **probabilità uniforme** per i diversi segmenti dell'asta fluviale relativamente alle soglie di eccedenza del 10% e del 5% in 50 anni



Valori di **PGA** espressi in frazione di g (5% di probabilità di eccedenza nei prossimi 50 anni e smorzamento al 5%) del reticolo di riferimento per il calcolo della PS nazionale (fonte INGV 2006).



suddivisione dell'argine in tratti omogenei dal punto di vista dello spettro di risposta in accelerazione (**PSA** 5% di probabilità di eccedenza nei prossimi 50 anni – smorzamento pari al 5%).



Approccio 2

E' stata condotta una valutazione della pericolosità sismica a partire dall'analisi degli effetti di terremoti del passato nelle località capoluogo nelle quali ricadono le porzioni di argine di interesse

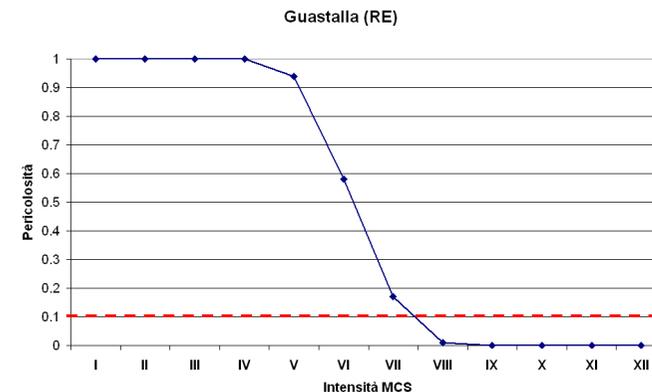
A questo scopo sono state condotte nuove indagini per una più completa valutazione dei dati documentari disponibili sulla sismicità dell'area

A partire da questa ricostruzione, per ciascuna località è stata definito il massimo scuotimento (in termini di Intensità macrosismica nella scala MCS) caratterizzato da probabilità di eccedenza del 10% e del 5% in 50 anni (I_{ref})

Sono stati quindi identificati i terremoti stati responsabili per la pericolosità sismica corrispondente al valore di I_{ref} relativo alle diverse località (disaggregazione)

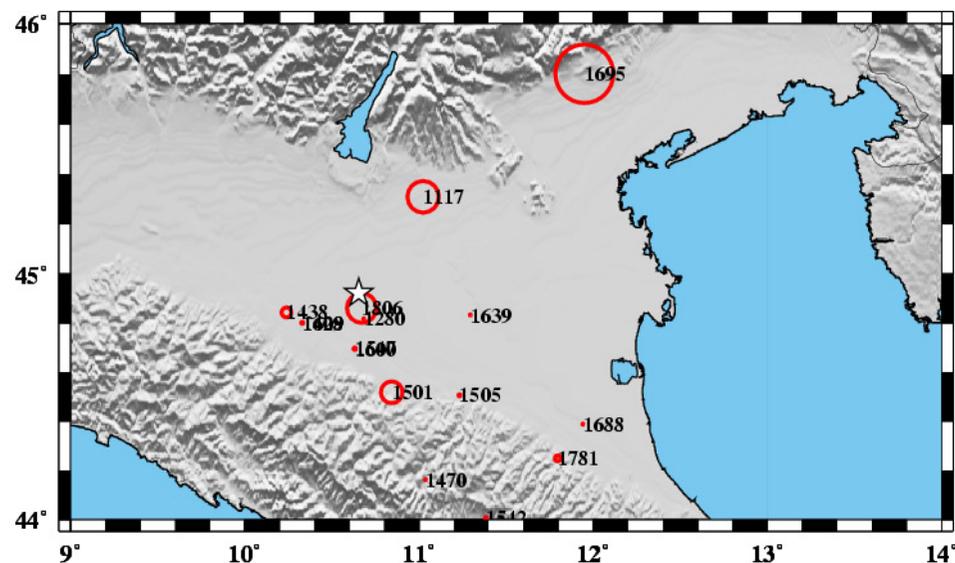
Infine sono state definite le coppie magnitudo distanza rappresentative di questi eventi maggiormente pericolosi





Curva di Hazard (probabilità che il valore in ascissa venga raggiunto o superato in 50 anni)

“Disaggregazione”



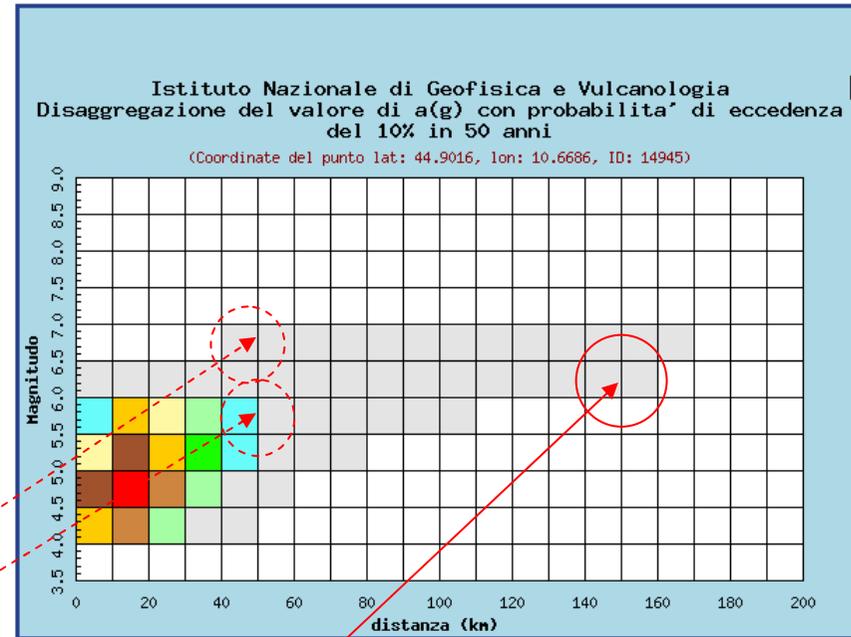
Anno	Mese	Giorno	Lat	Lon	Mw	Dist	Peso
1117	1	3	45.309	11.023	6.7	52	0.55
1280	1	25	44.817	10.682	4.5	12	0.01
1409	11	15	44.801	10.329	5.1	29	0.03
1438	6	11	44.844	10.239	5.6	34	0.17
1470	4	11	44.162	11.037	5.6	90	0.01
1501	6	5	44.519	10.844	6.0	47	0.38
1505	1	0	44.508	11.231	5.6	65	0.03
1547	2	10	44.697	10.631	5.1	25	0.04
1584	9	10	43.862	11.992	5.8	159	0.01
1628	11	4	44.801	10.329	4.9	29	0.01
1688	4	11	44.39	11.942	5.8	118	0.01
1695	2	25	45.801	11.949	6.5	141	1.00
1768	10	19	43.939	11.901	5.9	147	0.01
1781	4	4	44.251	11.798	5.9	117	0.10
1806	2	12	44.862	10.671	5.2	7	0.50
1918	11	10	43.917	11.933	5.9	151	0.01
1542	6	13	44.006	11.385	5.9	117	0.03
1600	10	28	44.697	10.631	5.2	25	0.04
1639	4	6	44.833	11.294	5.4	51	0.02

Distribuzione degli eventi che contribuiscono alla pericolosità sismica di Guastalla per l'intensità VII MCS (i cerchi sono proporzionali al “peso” dell'evento sulla pericolosità locale)

Confronto analisi di disaggregazione Guastalla (RE)

**Distanze epicentrali comprese
fra 10 e 20 Km**

**Magnitudo comprese fra 4.5 e
5.0**



7.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6.75	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6.25	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
5.75	0.00	0.00	0.00	0.17	0.38	0.00	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	0.14	0.00	0.00	0.01	0.02
5.25	0.00	0.00	0.11	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.75	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dis/Mw	5	15	25	35	45	55	65	75	85	95	105	115	125	135	145	155

**Distanze epicentrali comprese
fra i 140 e i 150 Km**

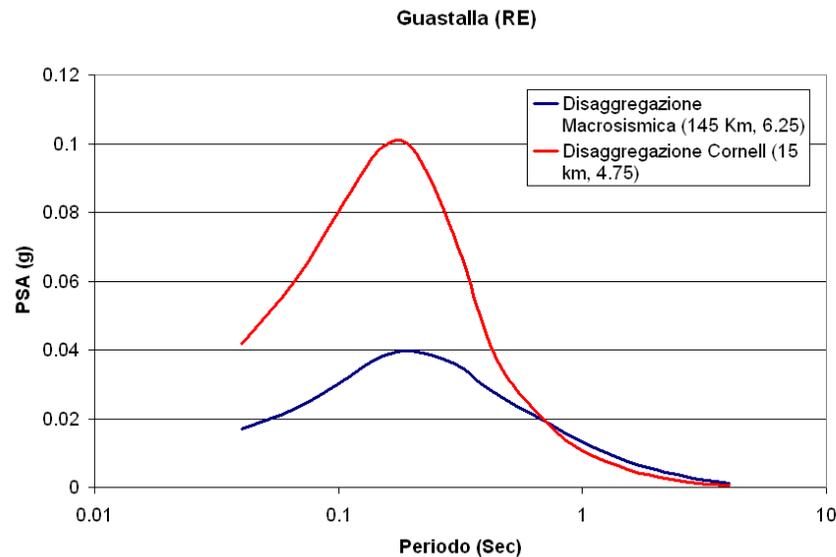
**Magnitudo comprese fra 6.0 e
6.5**



Coppie Magnitudo-Distanza

				10% in 50 anni			5% in 50 anni		
				Iref	Mw	R (Km)	Iref	Mw	R (Km)
Argine Sud									
1	44.96019	10.69008	LUZZARA	7	5.75	35	7	5.75	35
2	44.94634	11.76146	RO	7	5.25	15	7	5.25	15
3	44.88857	11.41666	BONDENO	7	5.25	15	7	5.25	15
4	44.92108	10.65424	GUASTALLA	7	6.25	145	7	6.25	145
5	44.83559	11.61842	FERRARA	7	5.25	5	8	5.25	5
6	44.90342	10.63131	GUALTIERI	7	6.75	55	7	6.75	55
7	44.90683	10.55342	BORETTO	7	5.75	15	7	5.75	15
8	45.04083	10.92965	SAN BENEDETTO PO	6	6.75	35	6	6.75	35
9	45.05164	11.13067	REVERE	6	6.75	25	7	6.75	25
10	45.00653	10.98292	QUISTELLO	6	5.75	55	7	6.75	35
11	45.0378	11.04589	QUINGENTOLE	6	5.75	55	7	6.75	35
12	45.03476	11.1068	PIEVE DI CORIANO	6	6.75	35	7	6.75	35
13	45.04959	11.20624	BORGOFRANCO SUL PO	7	5.25	45	7	5.25	45
14	45.03645	11.22971	CARBONARA DI PO	6	5.25	35	7	6.75	35
15	45.03613	10.76435	MOTTEGGIANA	6	6.75	35	6	6.75	35
16	44.99159	10.74442	SUZZARA	7	6.75	45	7	6.75	45
17	45.00318	11.29759	SERMIDE	7	5.25	35	7	5.25	35
18	44.97841	11.35133	FELONICA	7	6.75	45	7	6.75	45

Utilizzando le diverse coppie magnitudo distanza ed utilizzando le relazioni di Ambraseys et al. (2005), è stato stimato lo spettro di risposta in accelerazione (PSA) per le componenti orizzontali del moto relativo alle località più rappresentative

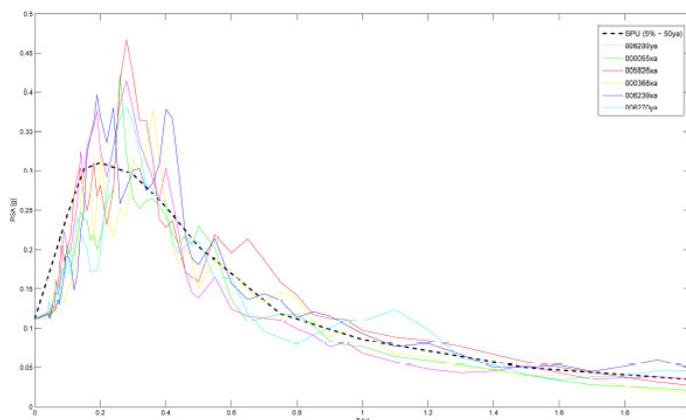


Utilizzando questi risultati sono stati dunque identificate per ciascuna delle località rappresentative **tre** serie di accelerogrammi di riferimento

- 1. accelerogrammi i cui spettri di risposta (smorzamento al 5%) meglio si adattano alla forma spettrale degli spettri a probabilità uniforme delle NTC-08 (TR 475 – TR 975) per le probabilità di eccedenza del 10% e del 5% in 50 anni*
- 2. accelerogrammi relativi alla coppia M-D calcolata con la procedura di disaggregazione macrosismica per le località di Guastalla, Sermide, Ferrara , Bondeno, compatibili con le accelerazioni spettrali (SA) ottenute applicando la legge di attenuazione di Ambraseys et al,2005*
- 3. accelerogrammi relativi alla coppia M-D calcolata con la procedura di disaggregazione macrosismica per le località di Guastalla, Sermide, Ferrara e Bondeno*



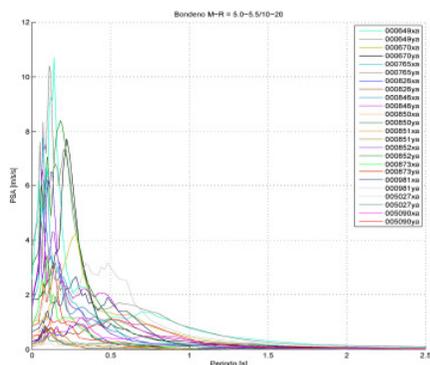
DATA SET 1



Confronto tra lo spettro a probabilità uniforme delle NTC08 (5% in 50 anni) e gli spettri degli accelerogrammi selezionati per la località Boretto.

DATA SET 3

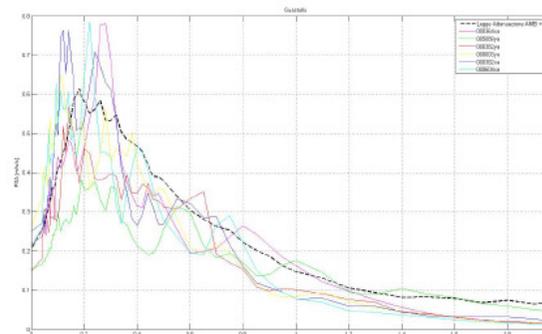
Località	Disaggregazione	
	Mw	R [km]
Guastalla	6.0-6.5	140-150
Sermide	5.0-5.5	30-40
Ferrara	5.0-5.5	0-10
Bondeno	5.0-5.5	10-20



Bondeno spettri di risposta degli accelerogrammi a magnitudo e distanza indicati in tabella.

DATA SET 2

Località	Disaggregazione	
	Mw	R [km]
1 -Guastalla	6.0-6.5	140-150
2 -Sermide	5.0-5.5	30-40
3 -Ferrara	5.0-5.5	0-10
4 -Bondeno	5.0-5.5	10-20



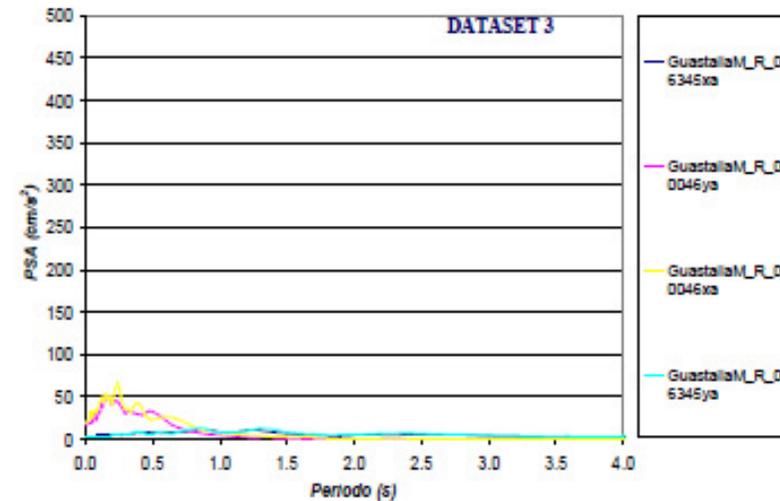
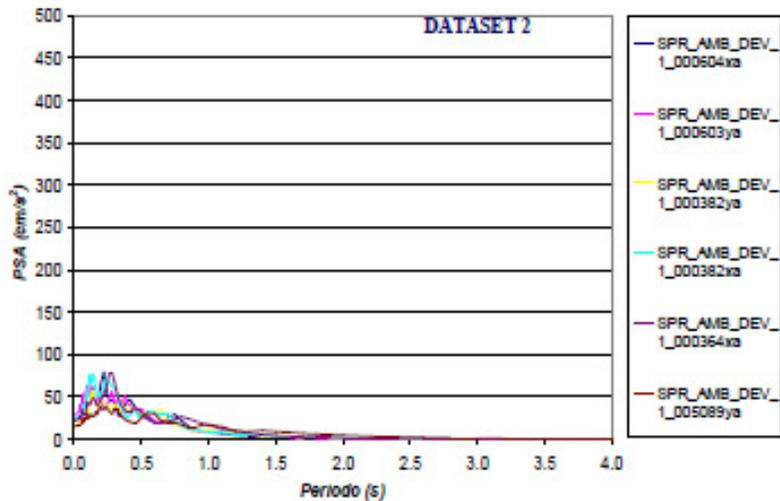
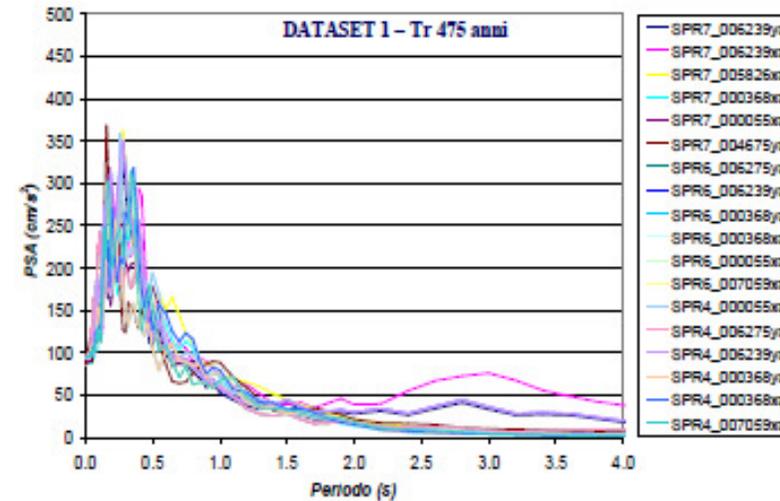
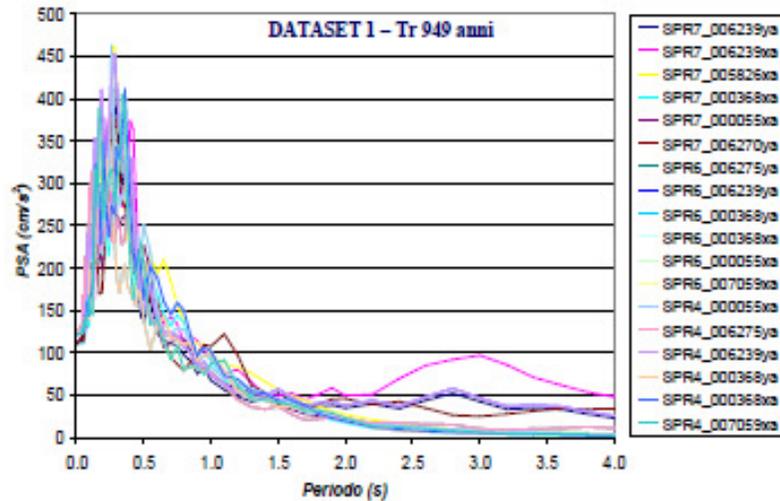
Guastalla: confronto tra spettro da legge attenuazione+1sd (M=6.3,D=145km) e spettri degli accelerogrammi selezionati.

Sono state considerate 4 macro-aree

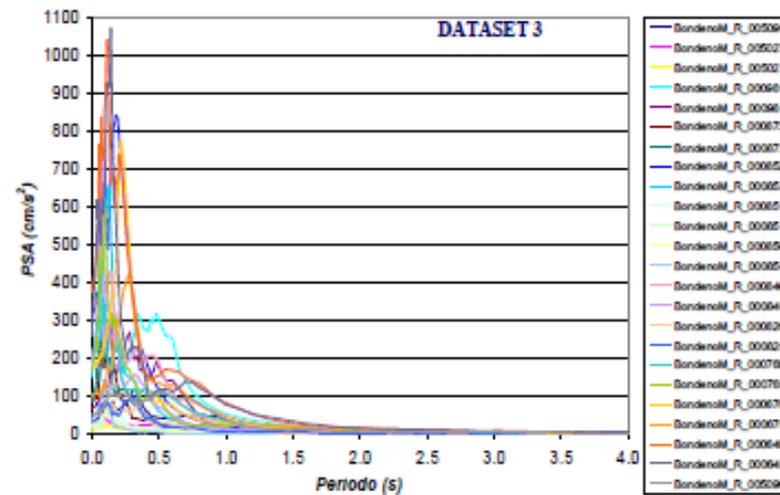
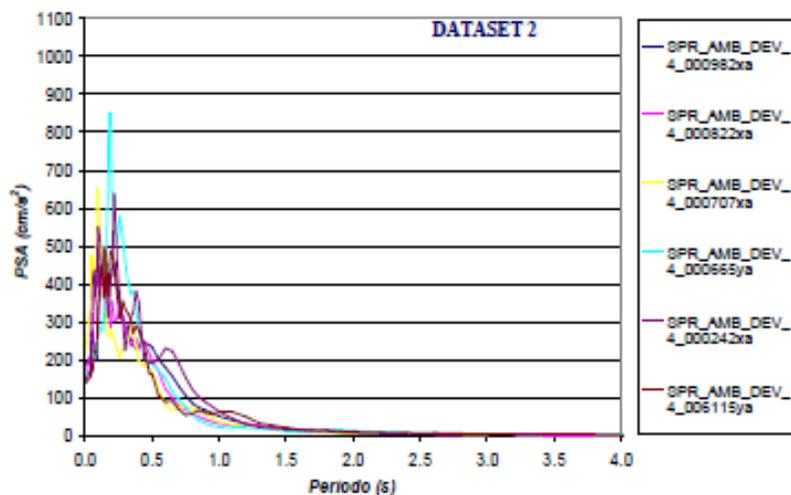
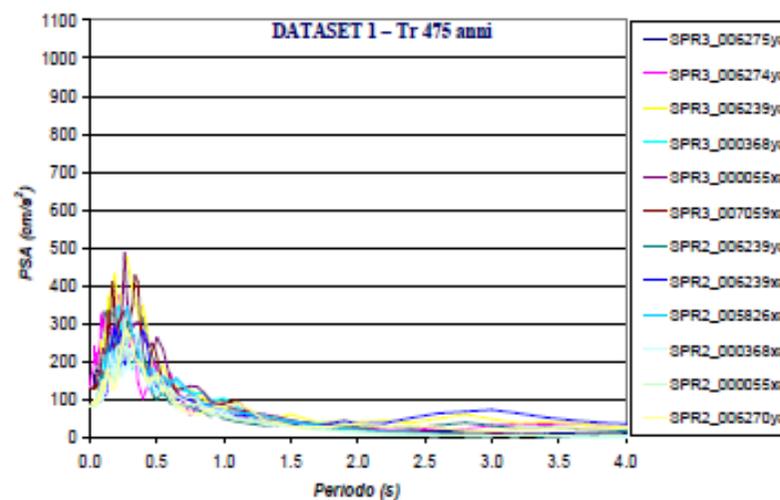
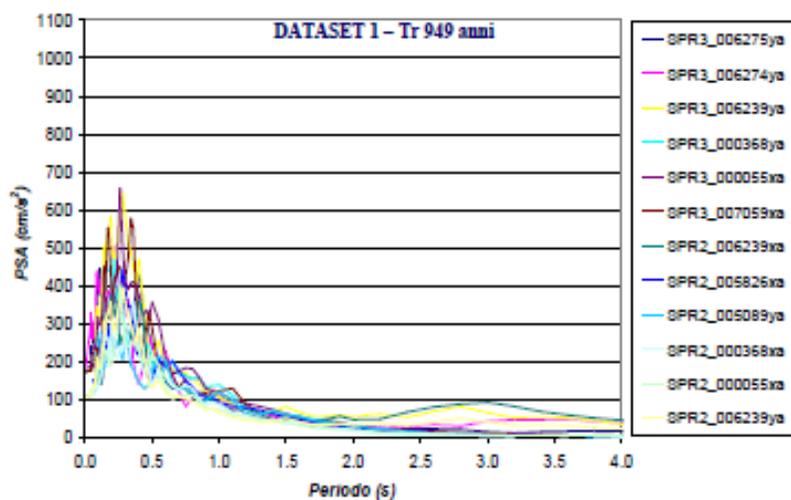
1. **Guastalla** (Boretto, Gualtieri e Guastalla)
2. **Sermide** (Felonica, Sermide, Carbonara Po)
3. **Ferrara**
4. **Bondeno** (Bondeno e Ro)



Confronto fra gli spettri di risposta relativi agli accelerogrammi dei tre dataset selezionati per l'area di Guastalla



Confronto fra gli spettri di risposta relativi agli accelerogrammi dei tre dataset selezionati per l'area di Bondeno



Conclusioni

E' stata condotta una analisi estensiva della pericolosità sismica dell'area oggetto di studio utilizzando due diversi approcci di tipo probabilistico

Un primo tipo di approccio (di tipo “**standard**”) è basato essenzialmente sull'analisi di dati epicentrali e ha permesso di identificare gruppi di accelerogrammi spettro-compatibili con lo spettro di risposta a probabilità costante relativo alle probabilità di eccedenza del 10% e del 5% in 50 anni

Un secondo tipo di approccio (“**di sito**”) è basato sull'analisi statistica di dati macrosismici relativi agli effetti al sito di terremoti passati. A partire da questa analisi è possibile identificare gli eventi più rappresentativi della pericolosità locale, risalire alle relative coppie magnitudo-distanza e da queste determinare gli spettri di risposta dei terremoti di riferimento

Utilizzando tutte queste informazioni sono stati scelti i gruppi di accelerogrammi reali spettro-compatibili **potenzialmente più gravosi** per le strutture oggetto di studio



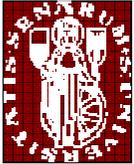


Misure di vibrazioni ambientali a stazione singola ed antenna

D. Albarello, D. Pileggi, F. Guerrini

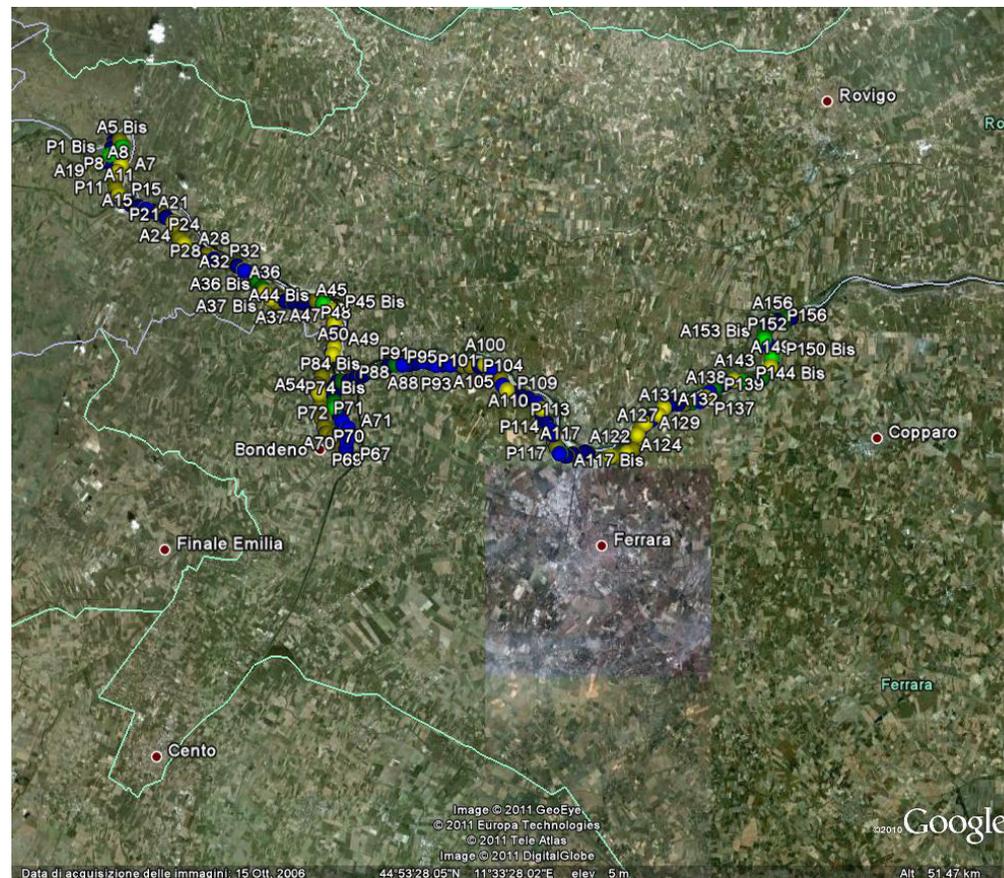
*Dipartimento di Scienze della Terra – Università degli Studi di Siena
Via Laterina, 8 – 53100 Siena*

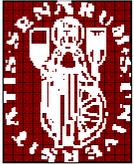
dario.albarello@unisi.it



In una prima fase sono stati considerati complessivamente 160 punti di misura HVSR su vibrazioni ambientali lungo gli 80 km compresi fra Carbonara Po (RE) e Ro (FE)

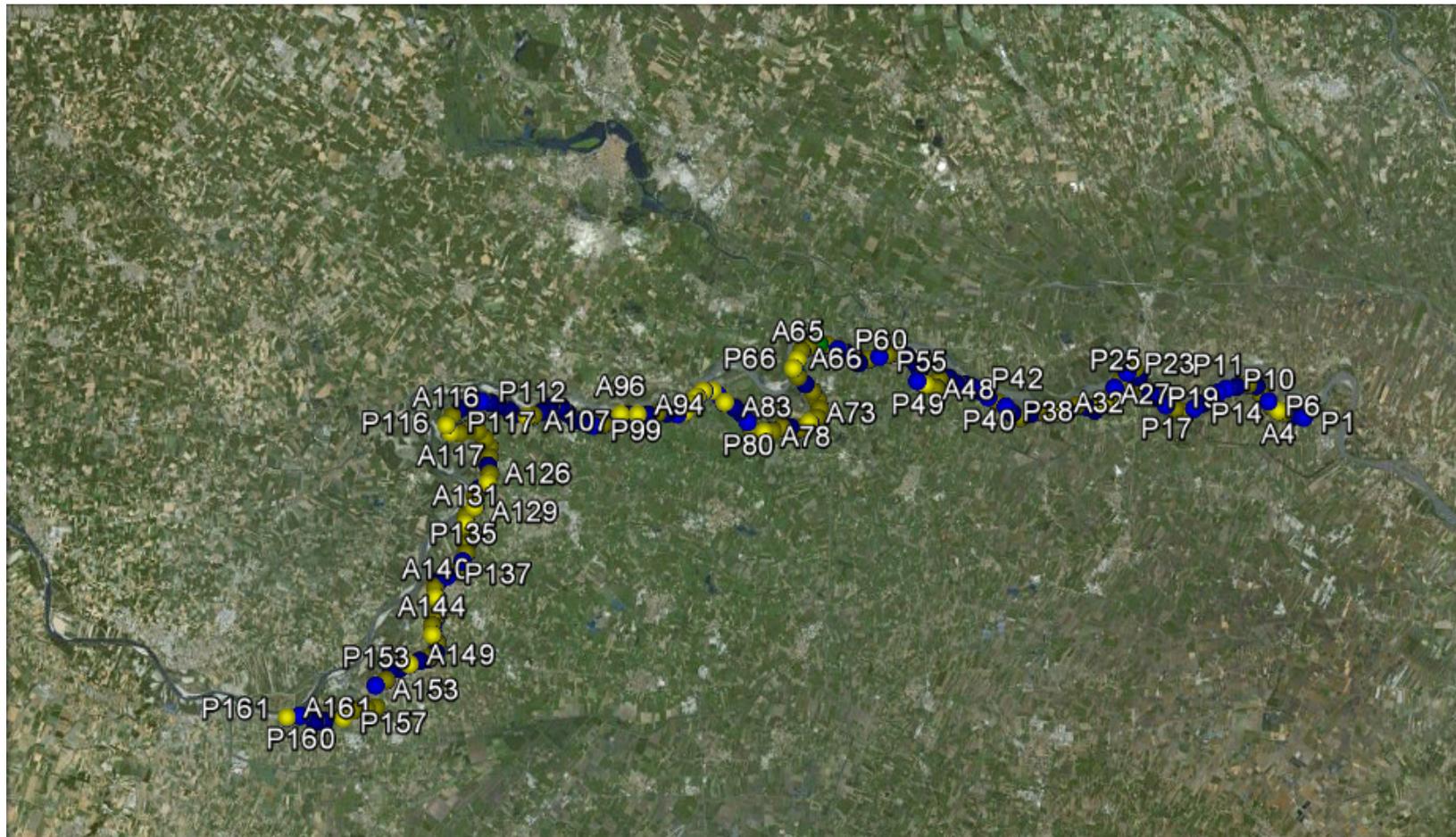
Per ogni posizione sono state eseguite almeno due misure da 20 minuti: una sull'argine ed una ai piedi di quest'ultimo

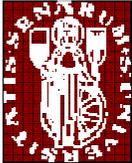




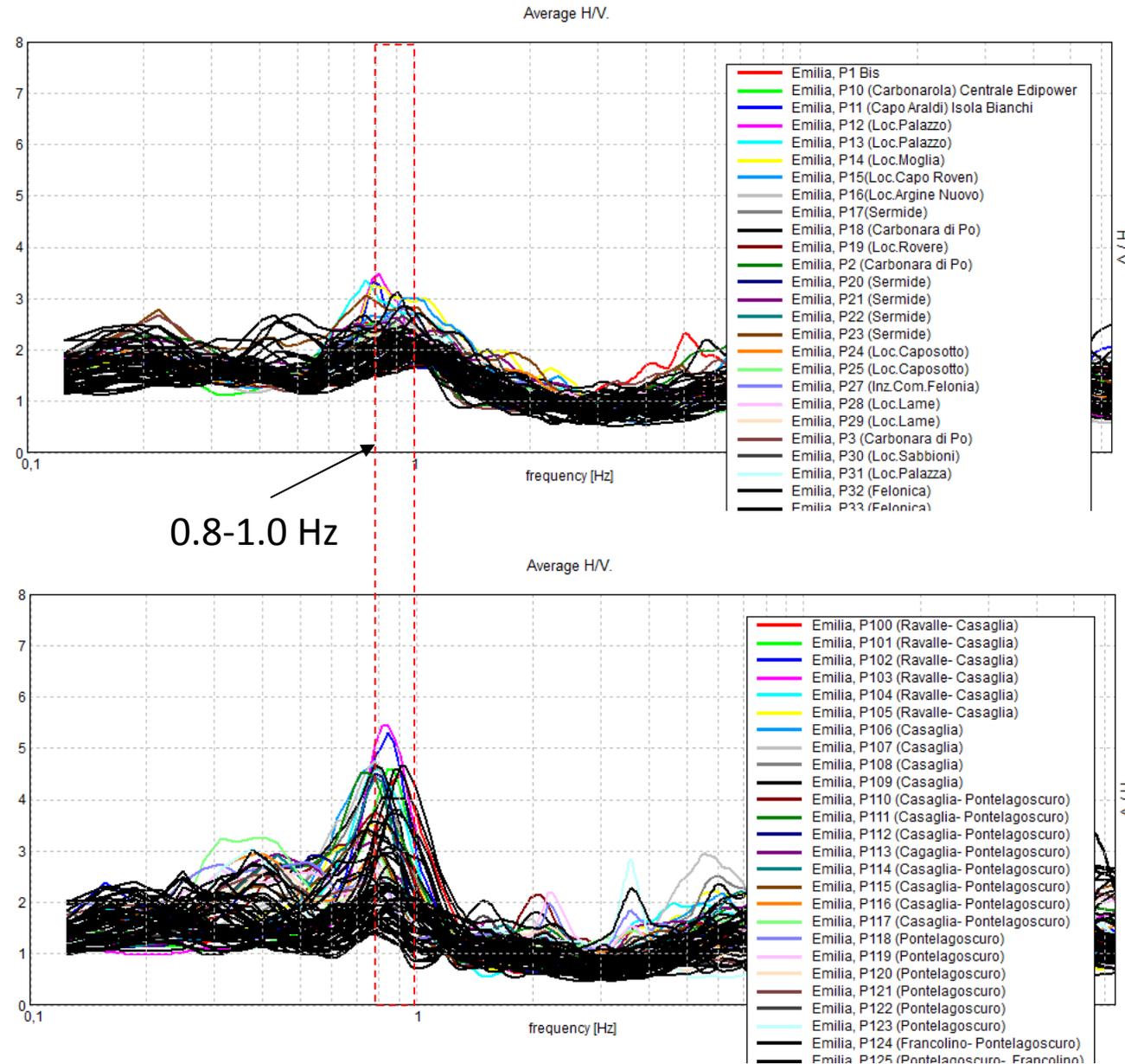
In una seconda fase sono stati considerati complessivamente altri 161 punti di misura HVSR su vibrazioni ambientali fra Carbonara Po (RE) e Boretto (RE)

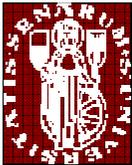
Per ogni posizione sono state eseguite almeno due misure da 20 minuti: una sull'argine ed una ai piedi di quest'ultimo



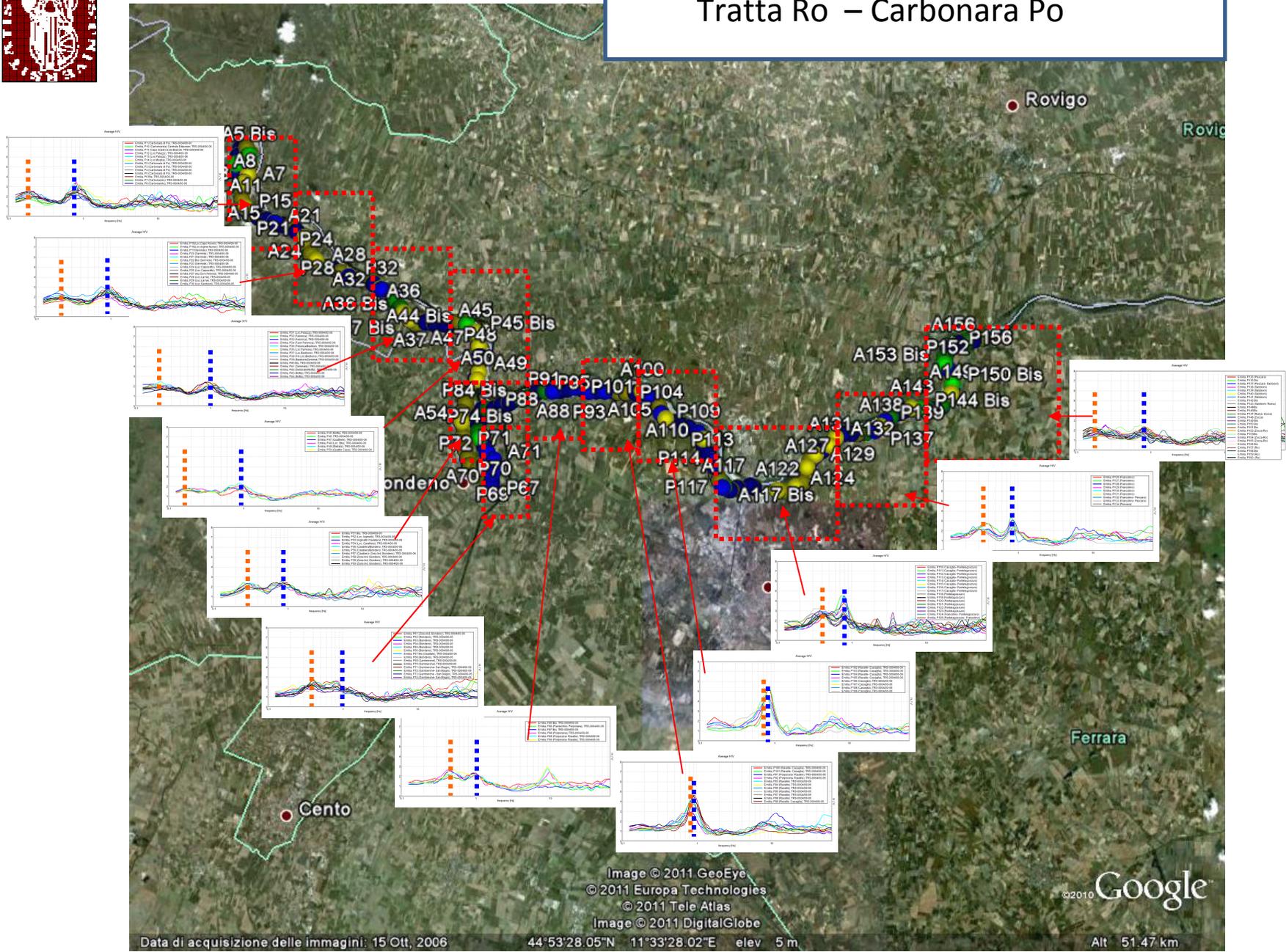


In tutte le misure è presente almeno un massimo della curva HVSR nell'intervallo 0.8-1.0 Hz

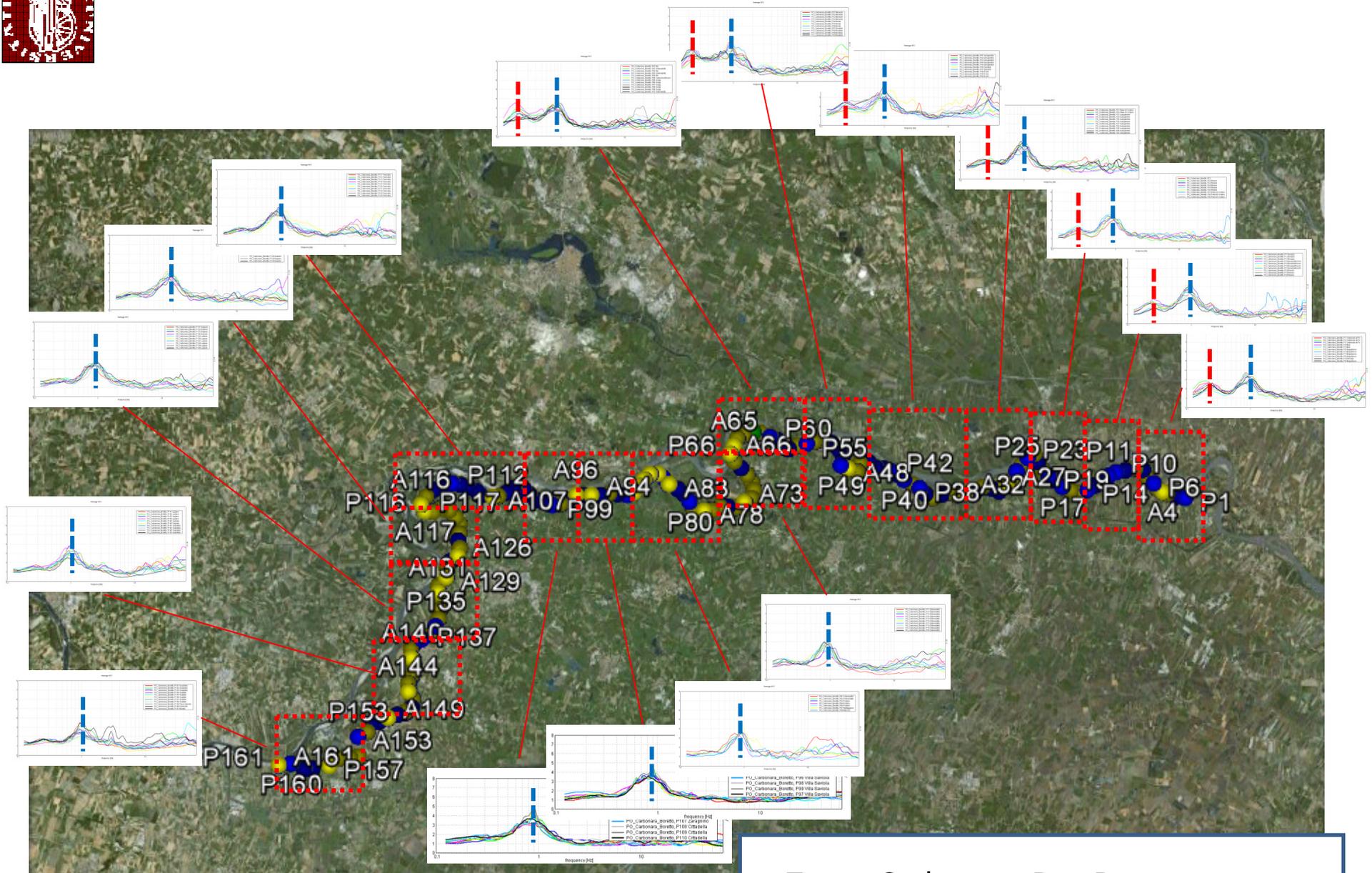
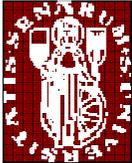




Tratta Ro – Carbonara Po

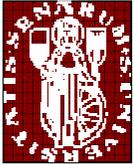


Misure di Vibrazioni ambientali lungo l'argine meridionale del Po nella tratta Ro (FE) e Boretto (RE)

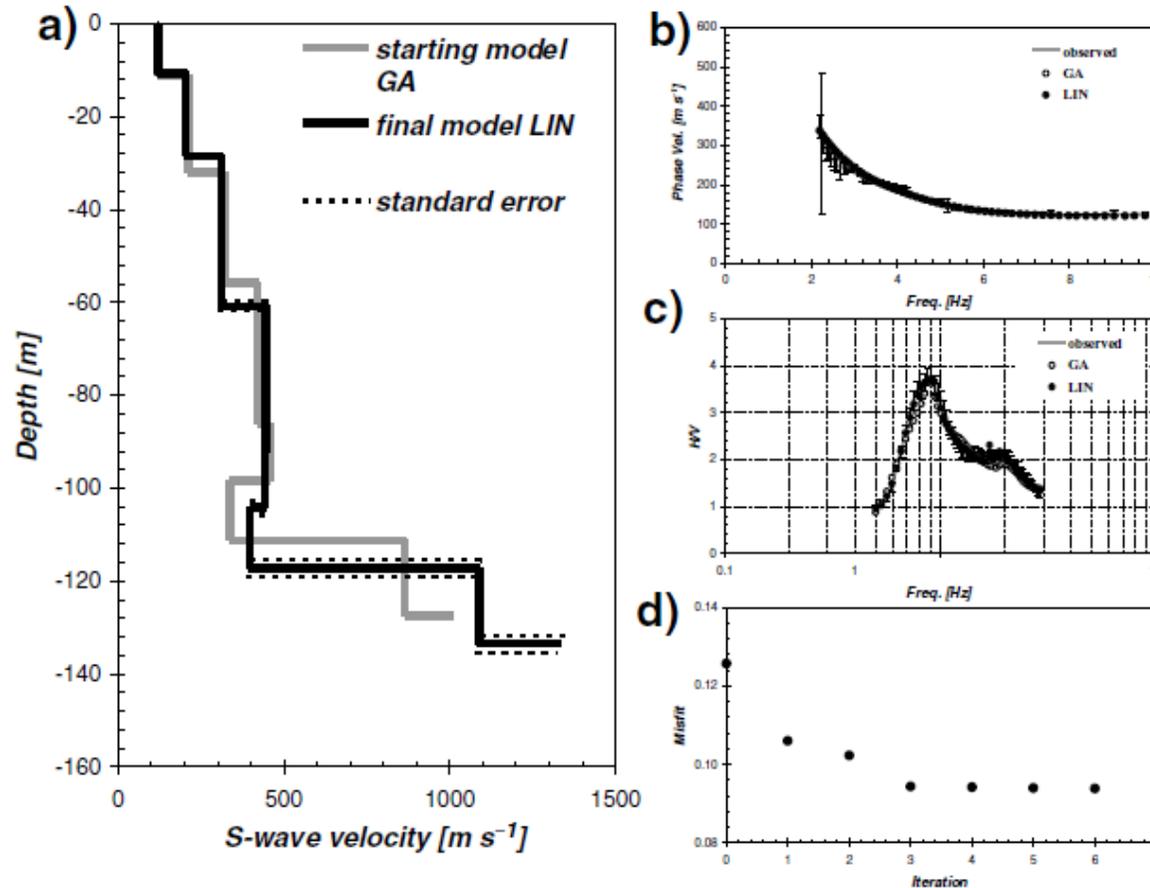


Tratta Carbonara Po - Boretto

Misure di Vibrazioni ambientali lungo l'argine meridionale del Po nella tratta Carbonara PO (RE) - Boretto (RE)



Sono stati anche eseguite 6 misure su antenna sismica in corrispondenza di alcune misure down-hole disponibili (Canaro, Occhiobello, Ficarolo, Casaglia, Carbonara Po) e della stazione accelerometrica di Boretto

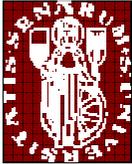


Casaglia

Soluzione vincolata ai

- curva di dispersione delle onde superficiali da misure di vibrazioni ambientali su antenna sismica
- curva HVSR da vibrazioni ambientali

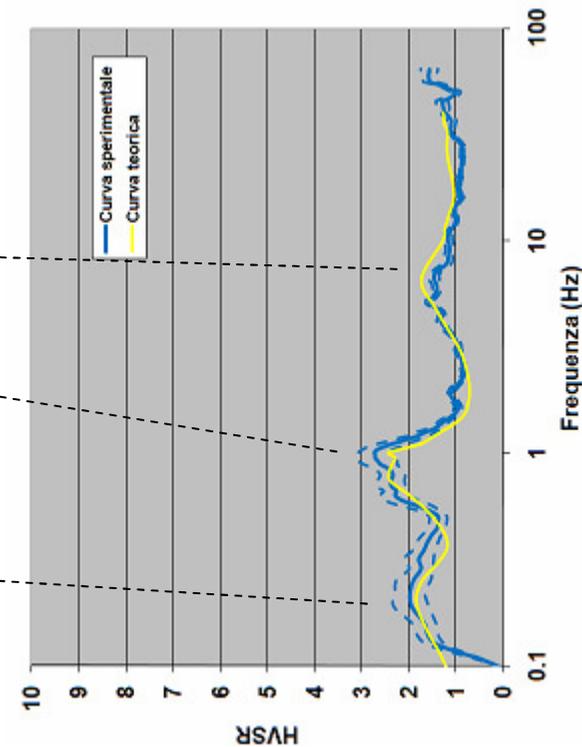
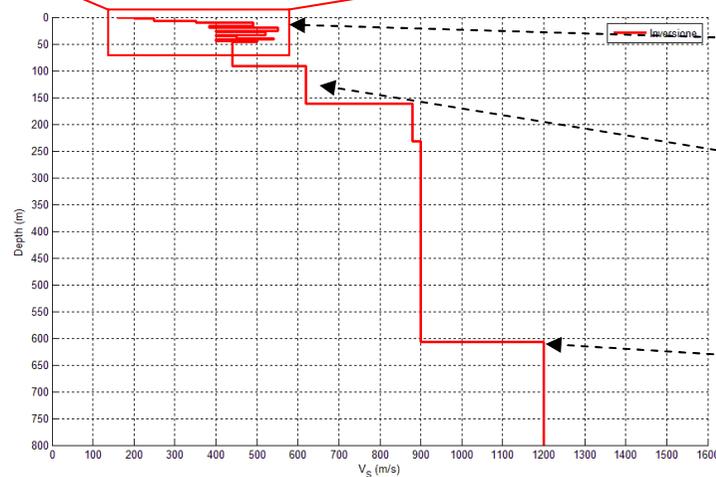
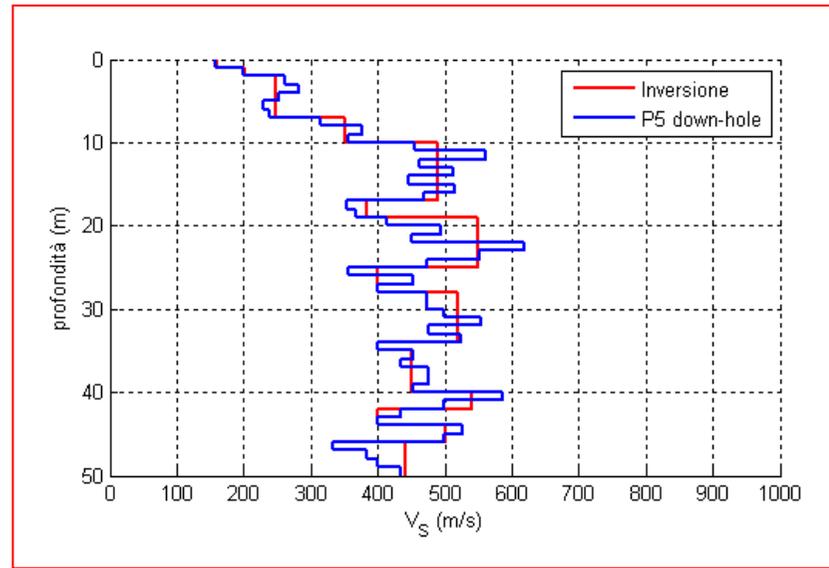
La soluzione è compatibile con le misure C-H fino a circa 50 m eventualmente disponibili al sito

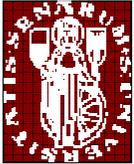


Carbonara Po

Soluzione vincolata ai

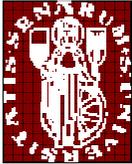
- valori di V_s ricavati fino a 50 m di profondità dalle misure C-H disponibili
- curva HVSR da vibrazioni ambientali



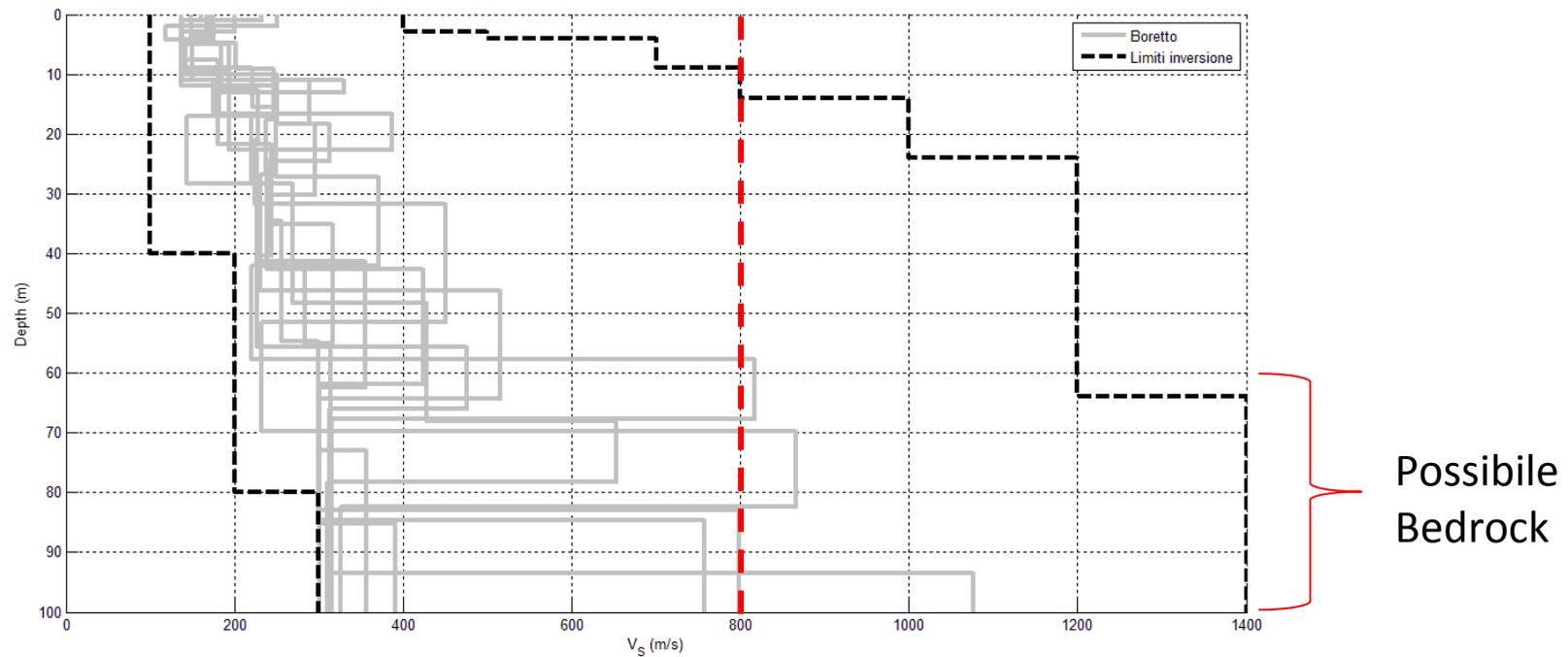
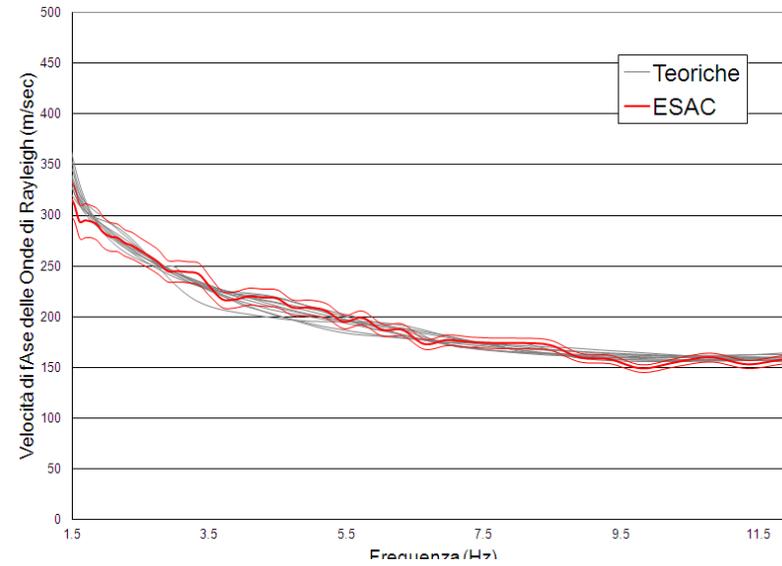
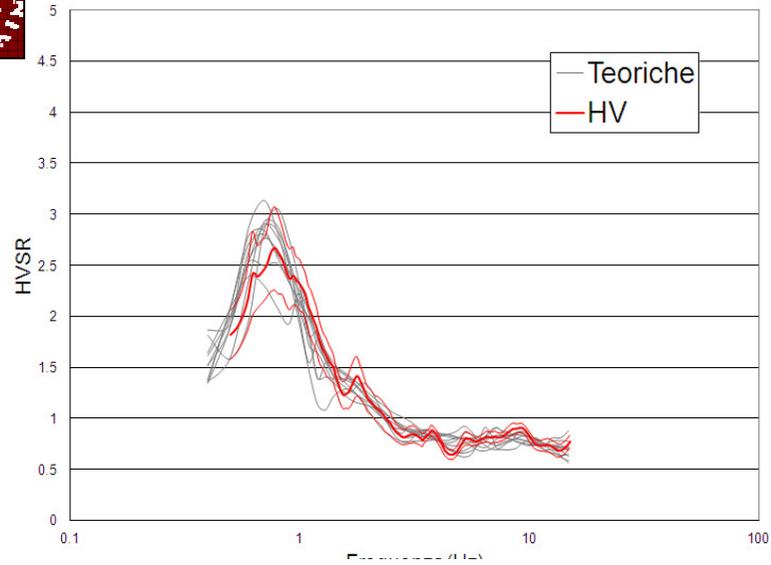


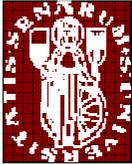
Boretto (RE)





Risultati Inversione Boretto



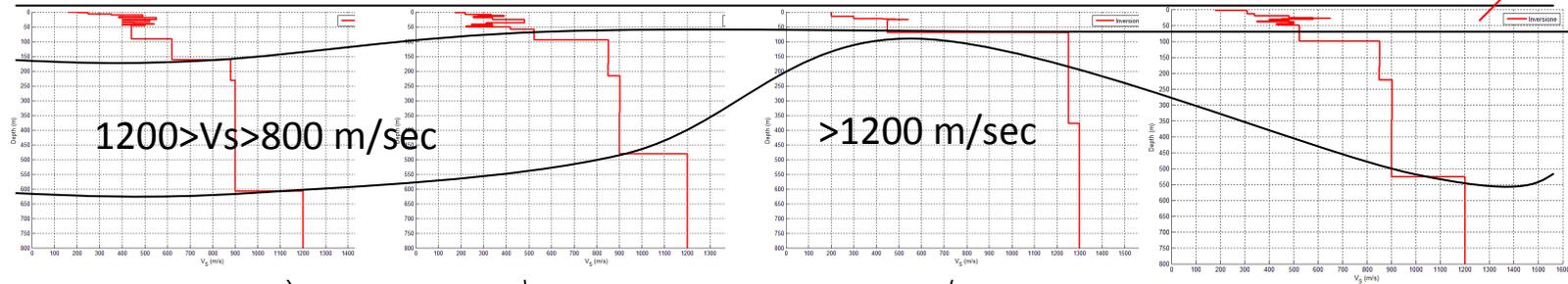


Carbonara Po

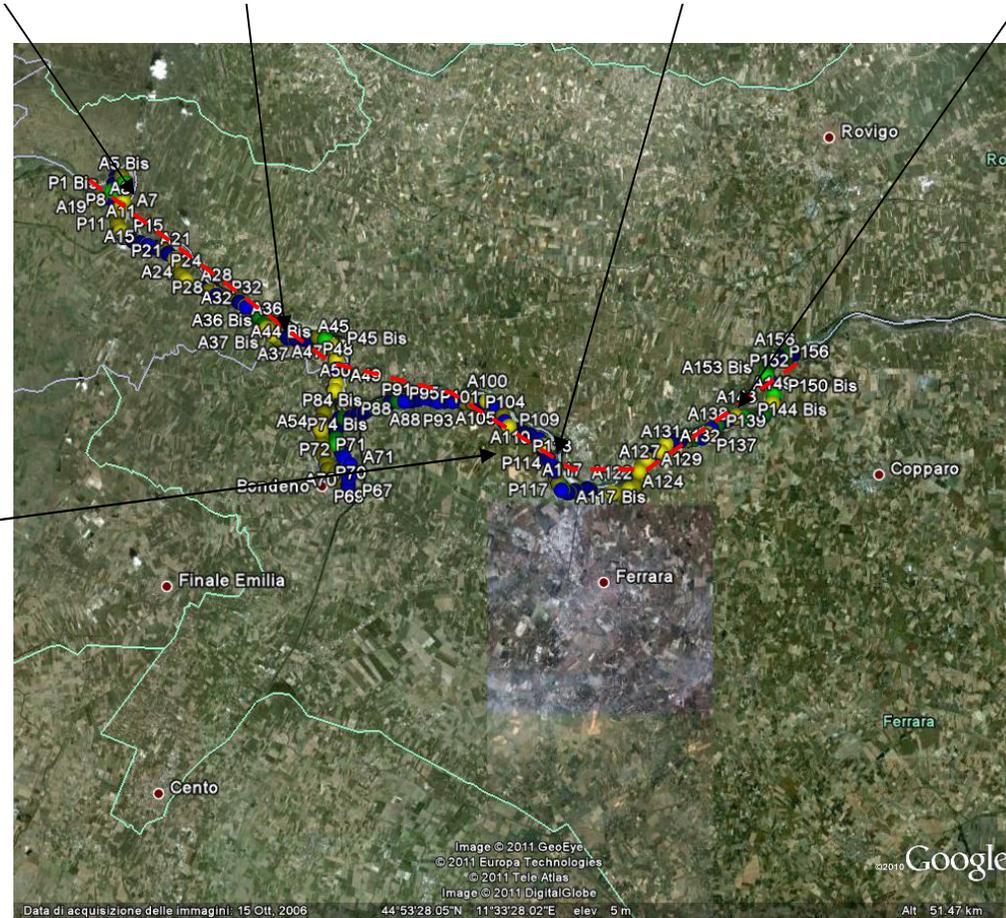
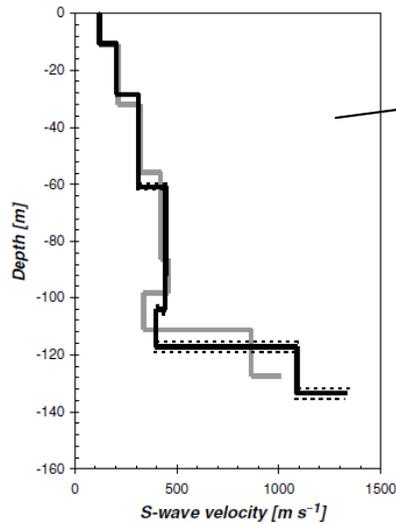
Ficarolo

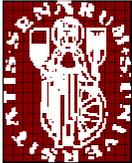
Occhiobello

Canaro



Casaglia

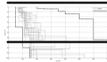




Boretto

Gorgo

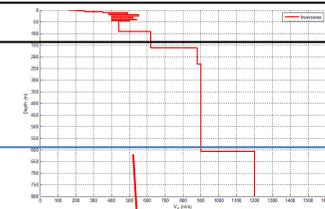
Carbonara Po



<600 m/sec

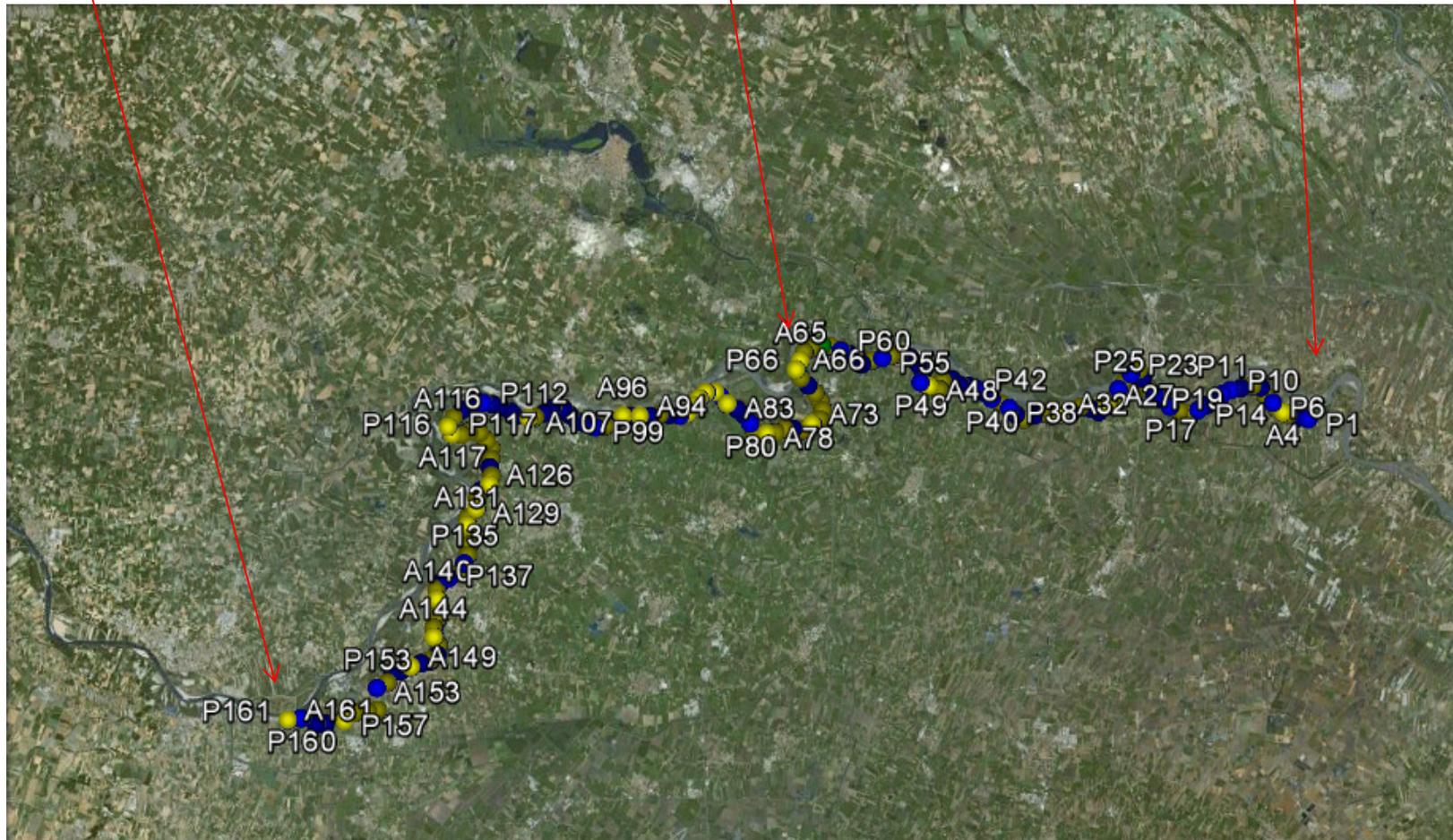
1200 > Vs > 800 m/sec

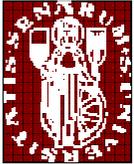
>1200 m/sec



80 m

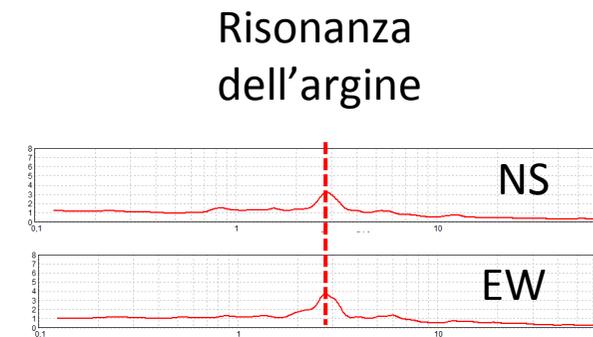
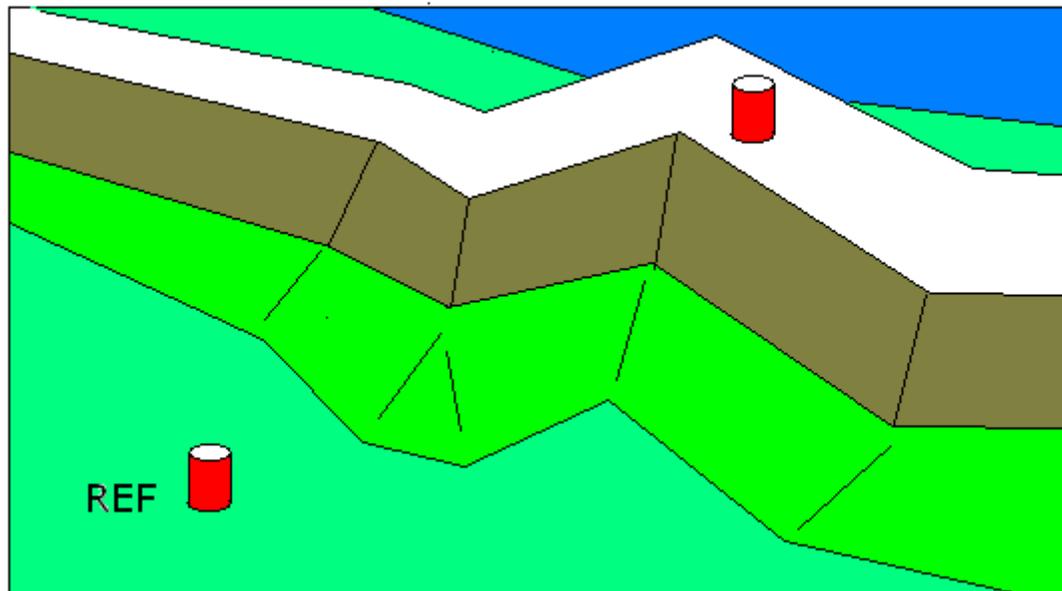
>500 m



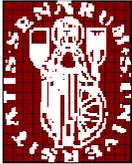


Allo scopo di caratterizzare gli argini, sono in corso di analisi le curve dei rapporti spettrali eseguiti usando la tecnica della stazione di riferimento (SSR o Standard Spectral Ratios)

In ogni punto di misura, vengono calcolati i rapporti spettrali HH (orizzontale su orizzontale) fra gli spettri medi misurati sull'argine e alla sua base

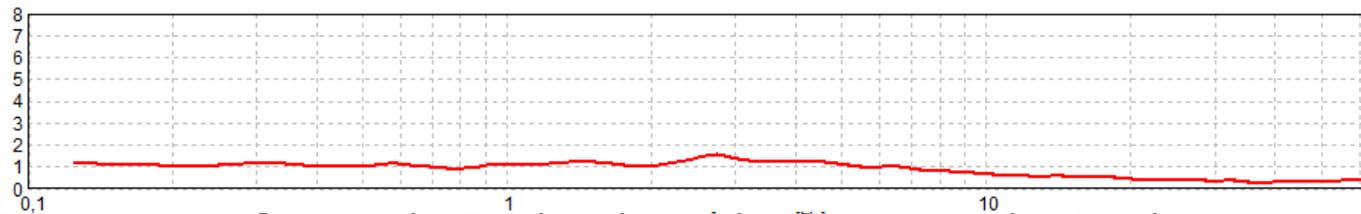


L'idea di base è che i rapporti spettrali possa mettere in evidenza differenze meccaniche nella struttura degli argini attraverso differenti risposte alla sollecitazioni sismiche (vibrazioni ambientali)

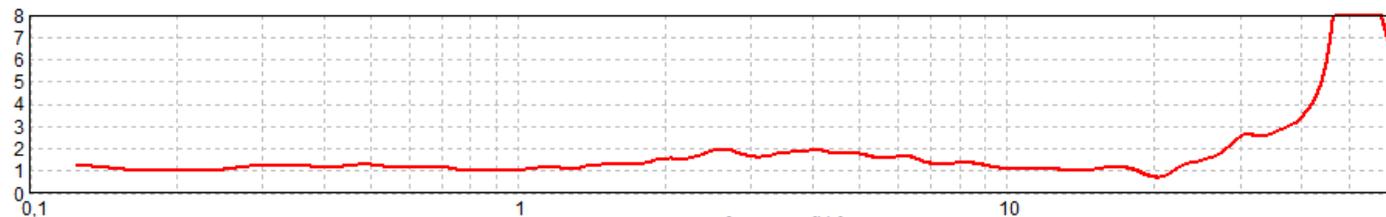


Per ora sono state analizzate qualitativamente sole le misure relative alla tratta Boretto – Carbonara Po (161 punti di misura) alla ricerca di “tipologie” di risposta sismica. In generale, la risposta è nella maggior parte dei casi bassa con alcune eccezioni. È possibile individuare tre tipologie

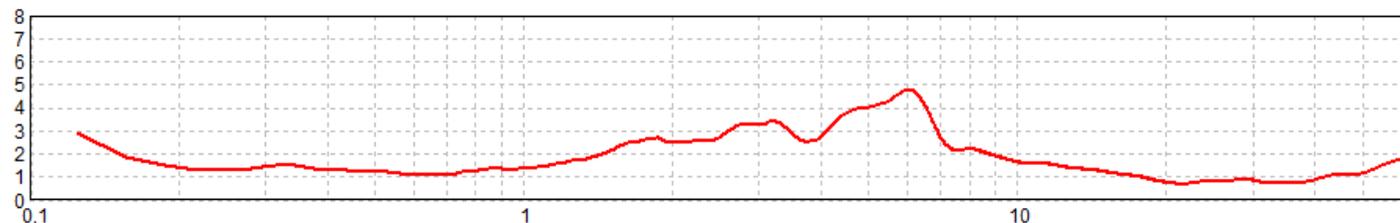
Tipo 1 – Risposta “piatta” ($SSR < 2$) sull’intero intervallo di frequenze (01.-60 Hz)

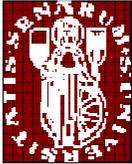


Tipo 2 – Risposta significativa ($SSR > 2$) solo in alta frequenza (>10 Hz)



Tipo 3 -





Obiettivi delle prossime indagini

- 1. Identificare meglio delle “tipologie” di SSR estendendo l’analisi all’intero insieme di misure*
- 2. Identificare “tipologie” costruttive dei diversi tipi di argine*
- 3. Tentare una associazione delle due tipologie a scopo predittivo*