



Le Attività Regionali per la Microzonazione Sismica in Toscana

# Analisi di liquefazione dei terreni in Mugello e studi di Microzonazione Sismica di Livello 3 in alcuni Comuni della Regione Toscana: il caso di Barberino di Mugello

C. Madiari\*, J. Facciorusso\*, E. Gargini\*, A. Puliti\*, G. Vannucchi\*,  
L. Bertocci\*, V. Sortino\*,  
M. Baglione\*\*, V. D'Intinosante\*\*, P. Fabbroni\*\*

\* DICeA - Dip. Ing. Civile e Ambientale - Università di Firenze

\*\* RT – Regione Toscana, Ufficio Prevenzione Sismica

Firenze, 12 giugno 2014

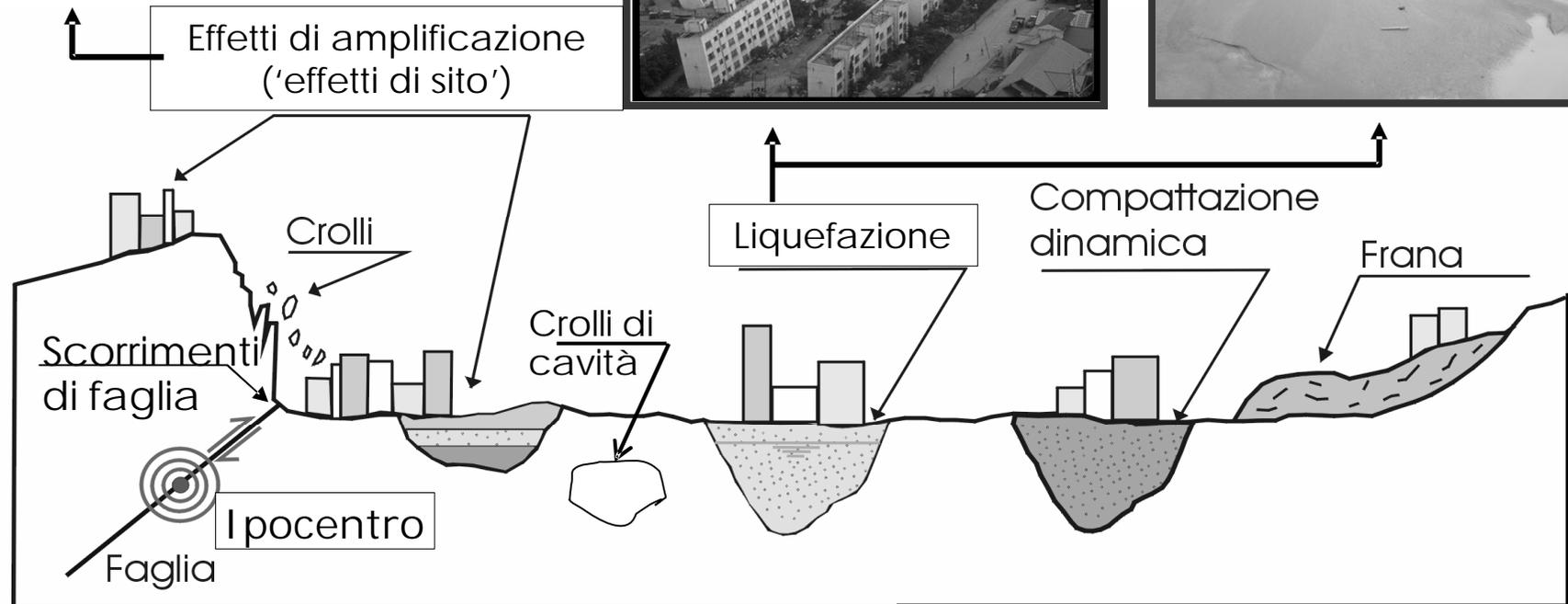


# EFFETTI INDOTTI DALL'AZIONE SISMICA

Terreni stabili



Terreni instabili

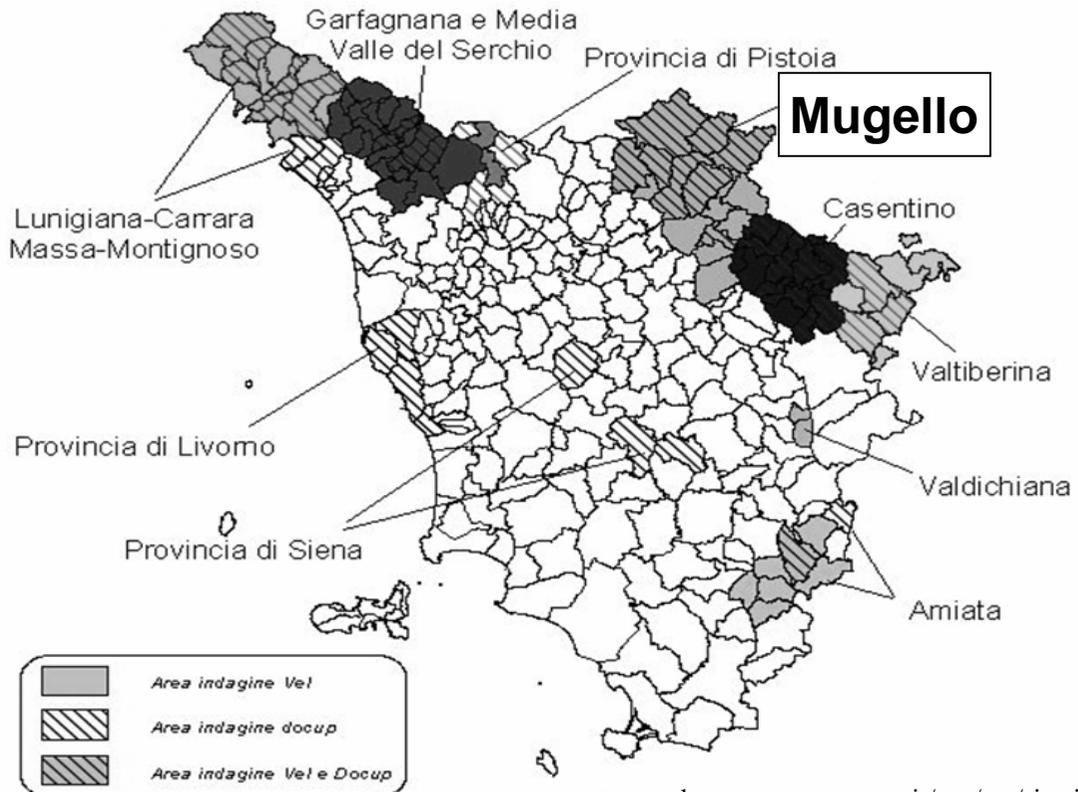




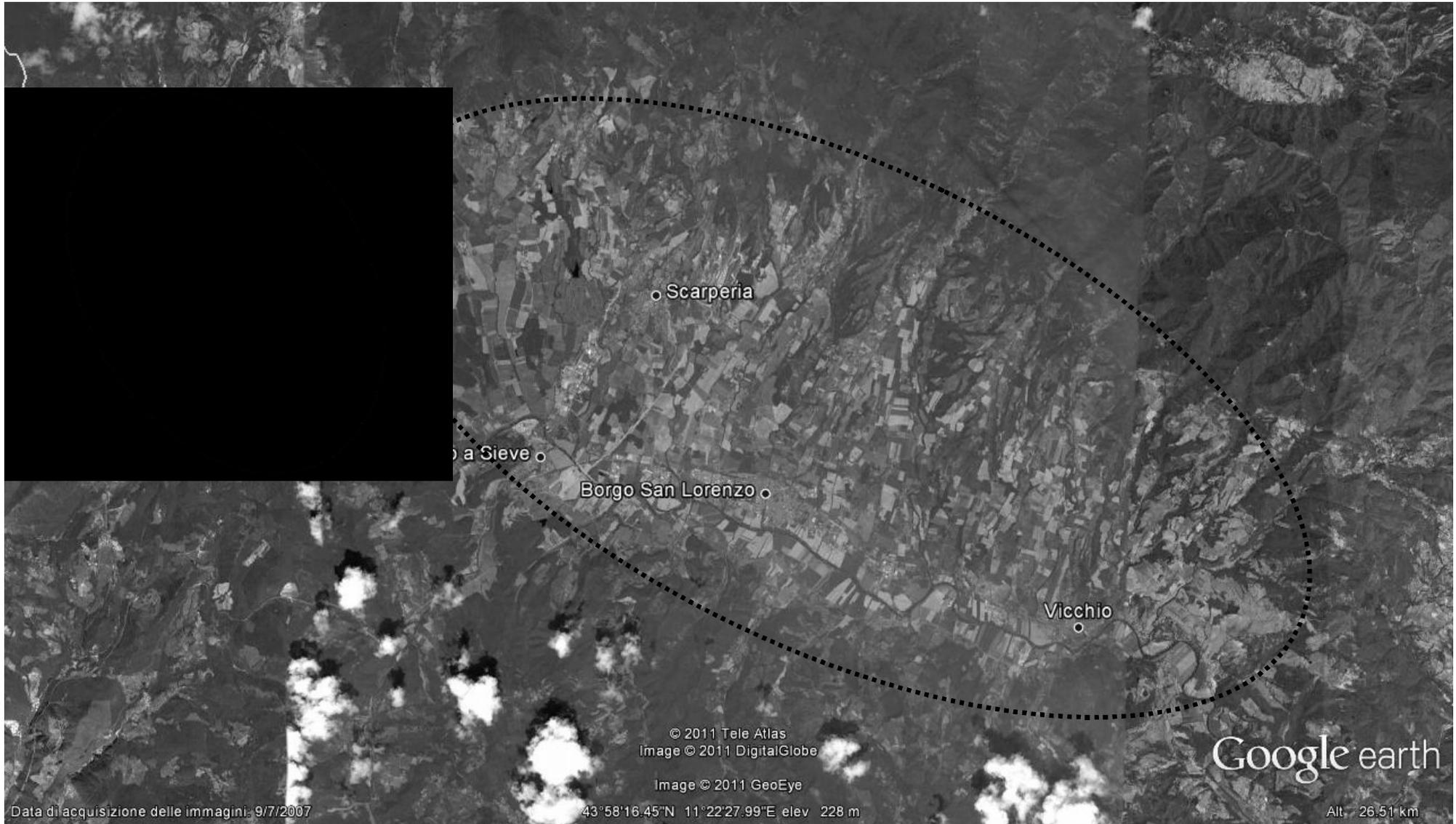
È presentata una sintesi degli studi condotti da DICeA-UniFi e RT per la riduzione del rischio sismico nell'area del **Mugello**.

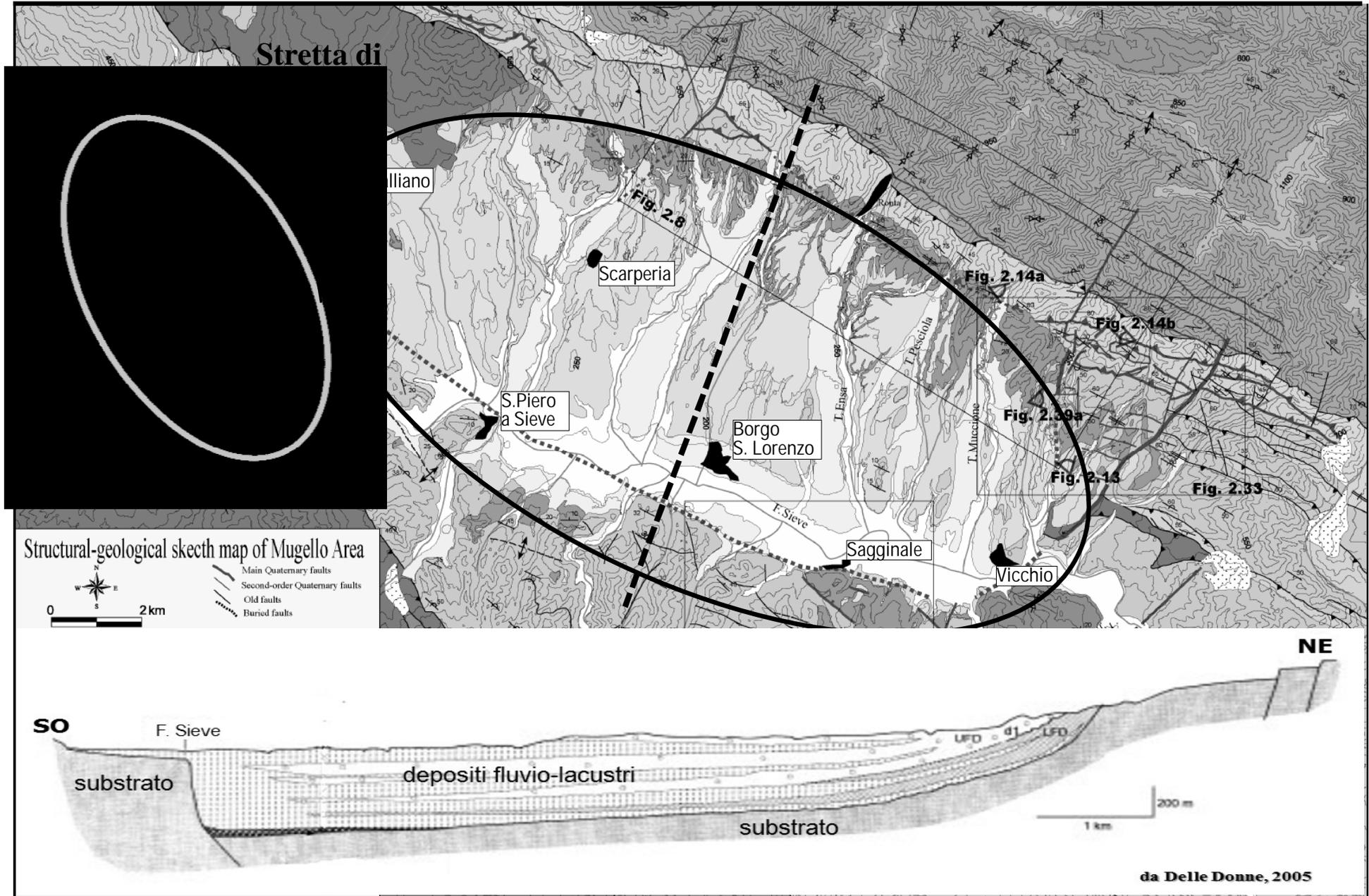
Lo studio è parte delle attività del **Programma VEL** (Valutazione degli Effetti Locali) della Regione Toscana

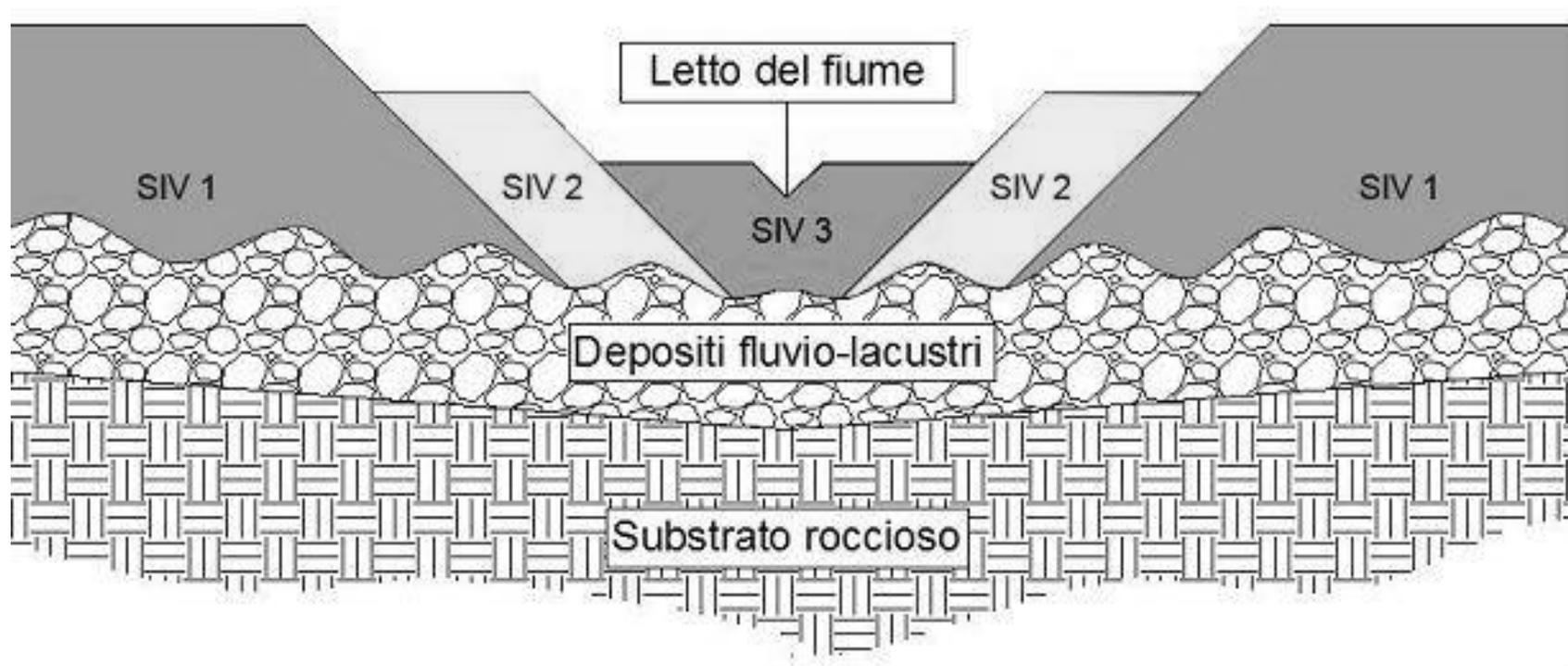
1. **Rischio di liquefazione** nei Comuni di Barberino di Mugello e Vicchio
2. **Risposta Sismica Locale e Microzonazione Sismica a Barberino di Mugello**



da [www.rete.toscana.it/sett/pta/sismica](http://www.rete.toscana.it/sett/pta/sismica)







### Modello geologico schematico del bacino del Mugello

- Substrato roccioso prevalentemente arenaceo (AQR1-2-3, FAL, SIL, BSTb)
- Depositi argillosi fluvio-lacustri (MGO1a1)
- Depositi fluviali terrazzati (SIV1-2-3)
- Depositi di pianura alluvionale attuali (b) – ciottoli e ghiaie prevalenti

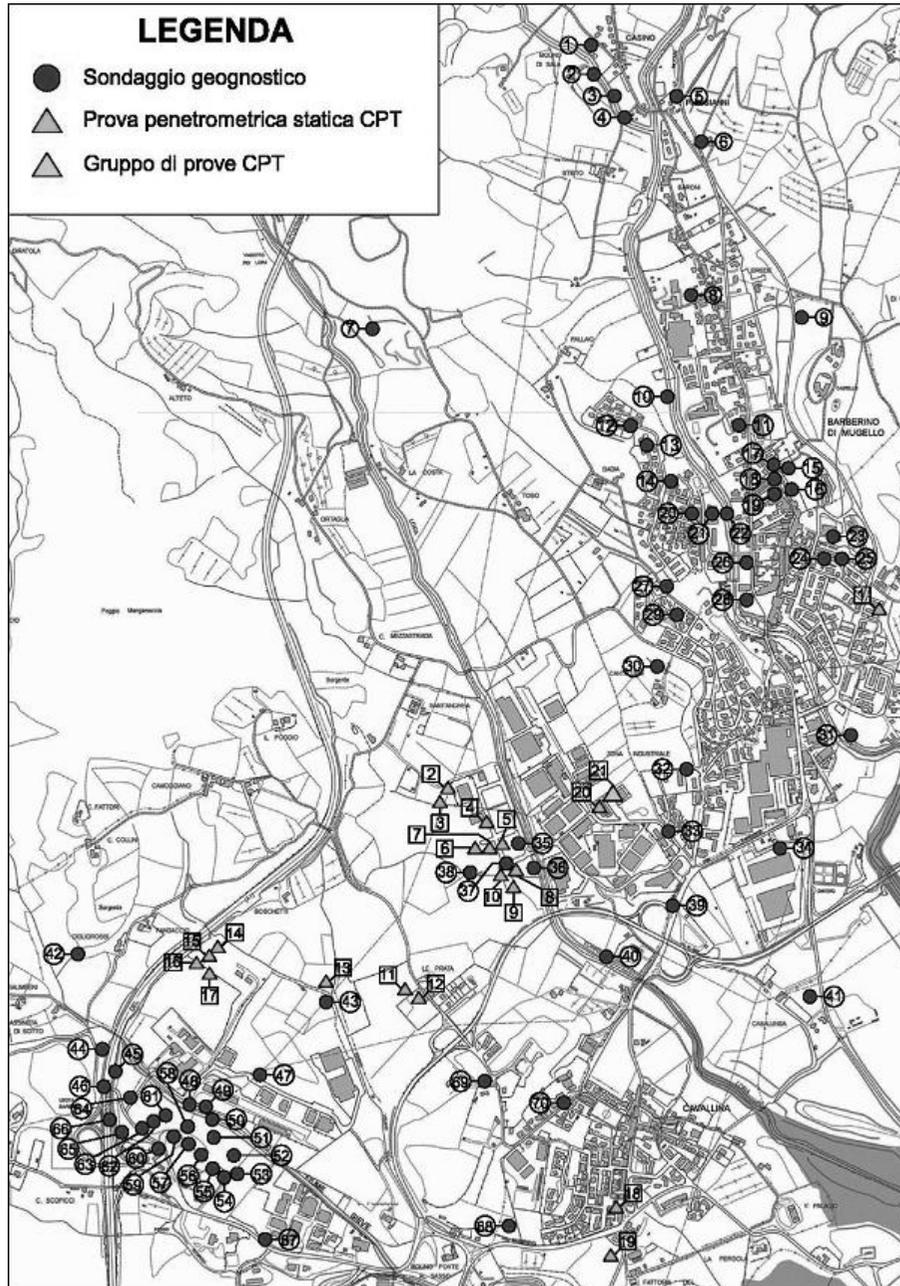


# 1. Rischio di liquefazione nei Comuni di Barberino di Mugello e Vicchio



**Analisi di Livello 1 (Studi preliminari) a Barberino e Vicchio: verifica delle condizioni predisponenti, presenza di livelli sabbiosi sotto falda nei primi 20 m di profondità da prove d'archivio.**

**Analisi di Livello 2/3 a Vicchio: stima dell'indice del potenziale di liquefazione da prove CPT d'archivio.**



ESEMPIO:

Analisi di Livello 1 (Studi preliminari) a Barberino

Carta con l'ubicazione e l'identificazione delle prove d'archivio nel Comune di Barberino di Mugello

Per ciascuna verticale di indagine è stata verificata la presenza, la profondità, lo spessore e lo spessore cumulato per fascia di profondità di tutti gli strati sabbiosi significativi per la liquefazione

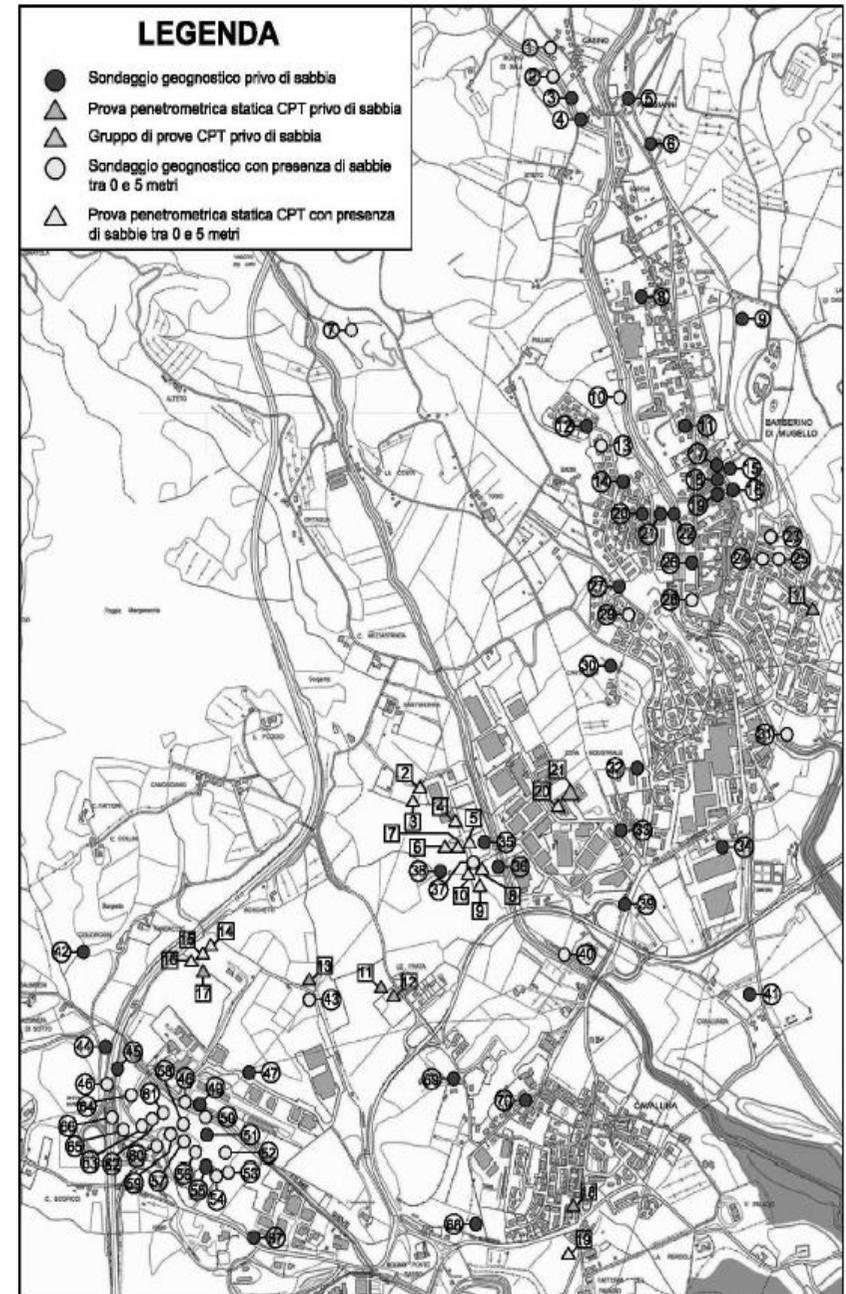


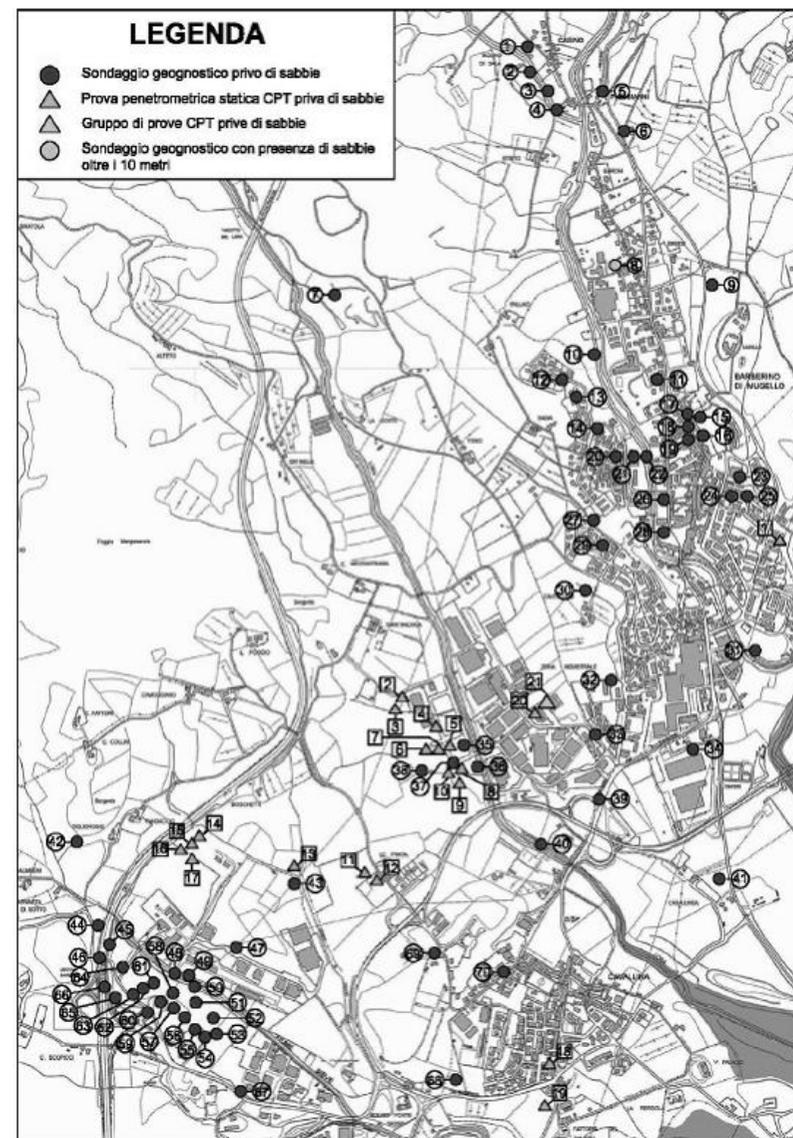
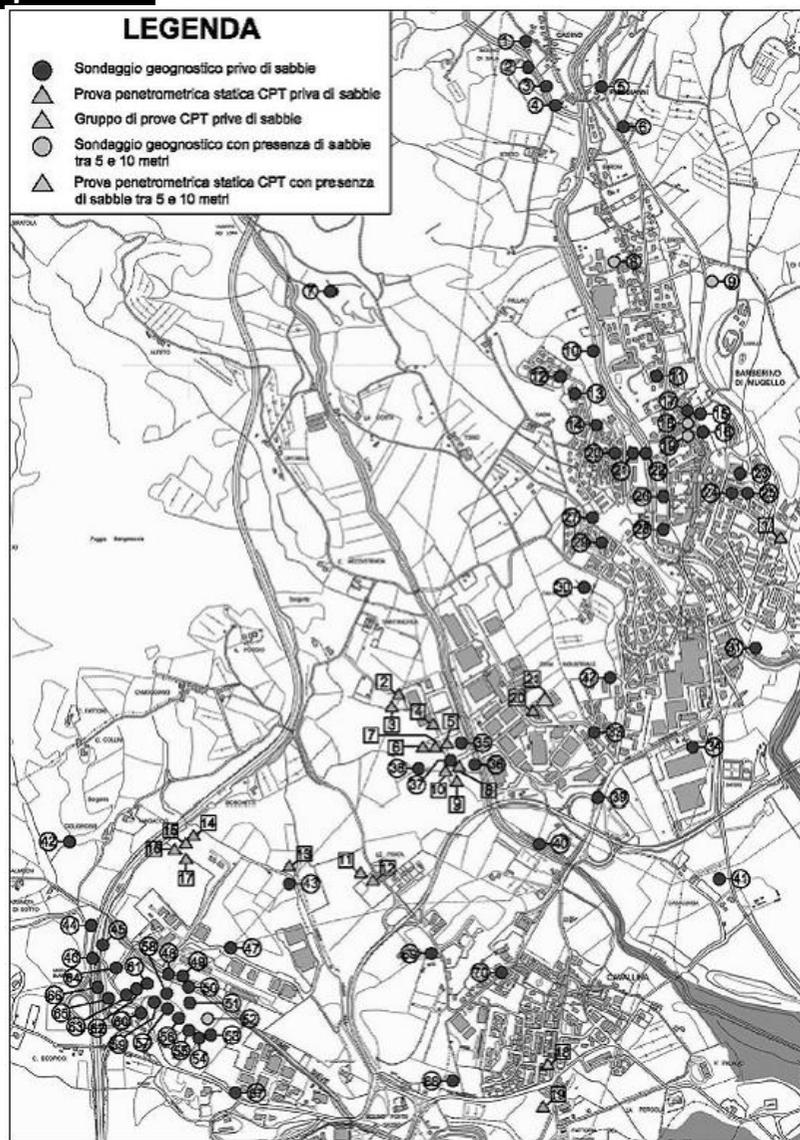
Fascia 1: strati sabbiosi di spessore minimo 0.4m a profondità minore di 5 m da p.c.,

Fascia 2: strati sabbiosi di spessore minimo 1.0m a profondità compresa tra 5 e 10 m da p.c.,

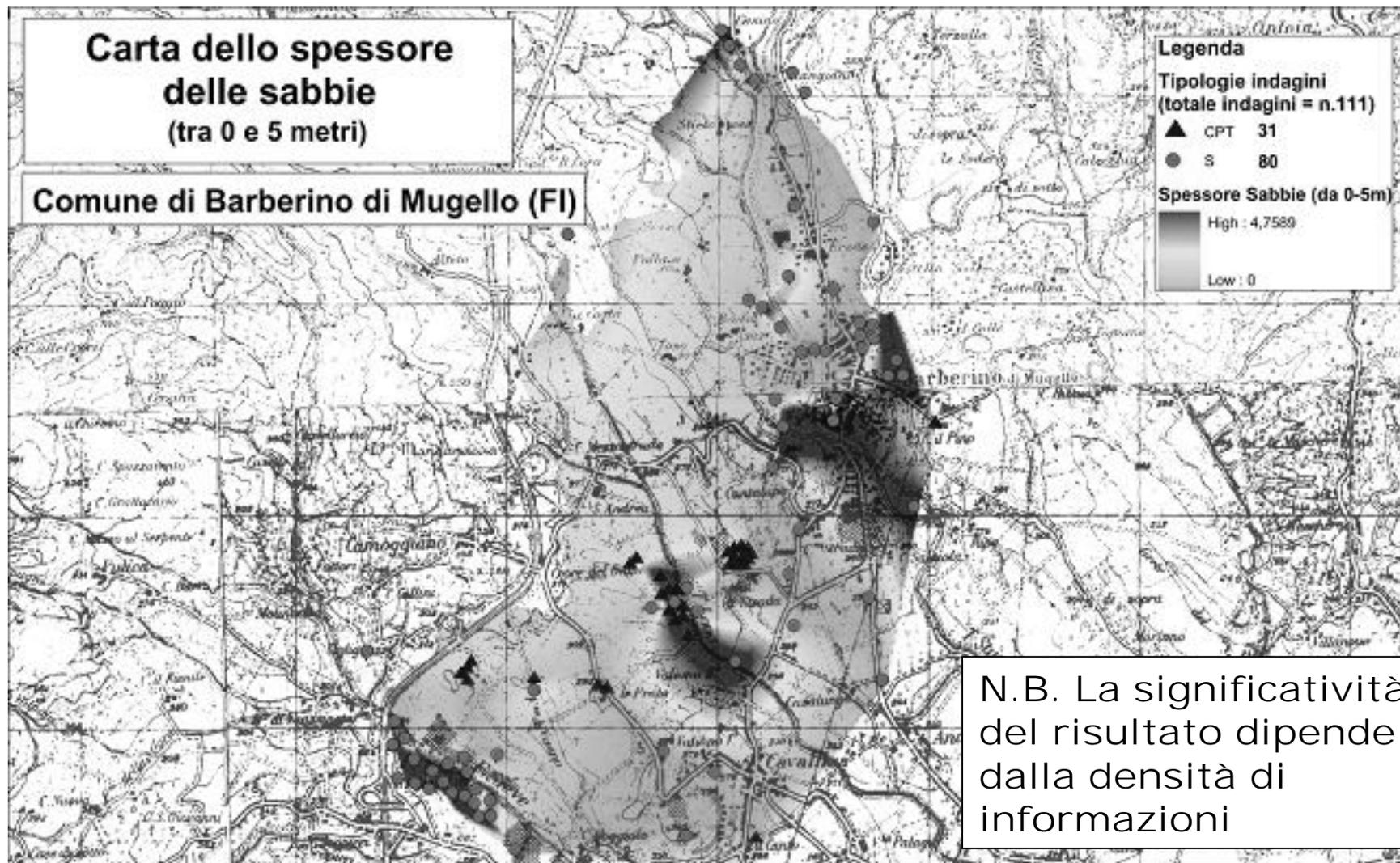
Fascia 3: strati sabbiosi di spessore minimo 2.0m a profondità compresa tra 10 e 20 m da p.c..

Carta dell'area in studio con l'ubicazione delle verticali d'indagine in cui sono presenti o assenti spessori significativi di sabbie per la Fascia 1, da 0 a 5 m di profondità da p.c.

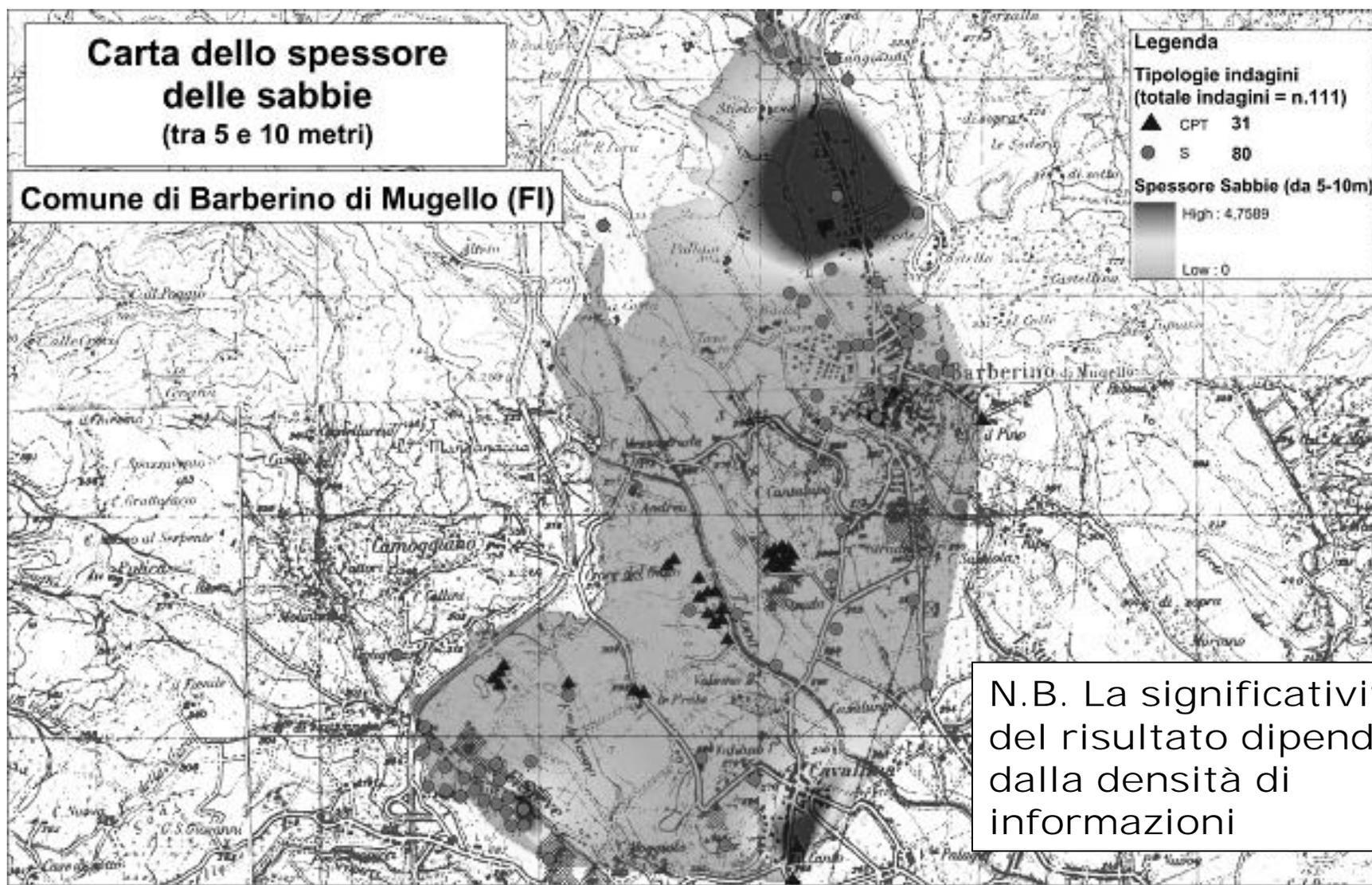




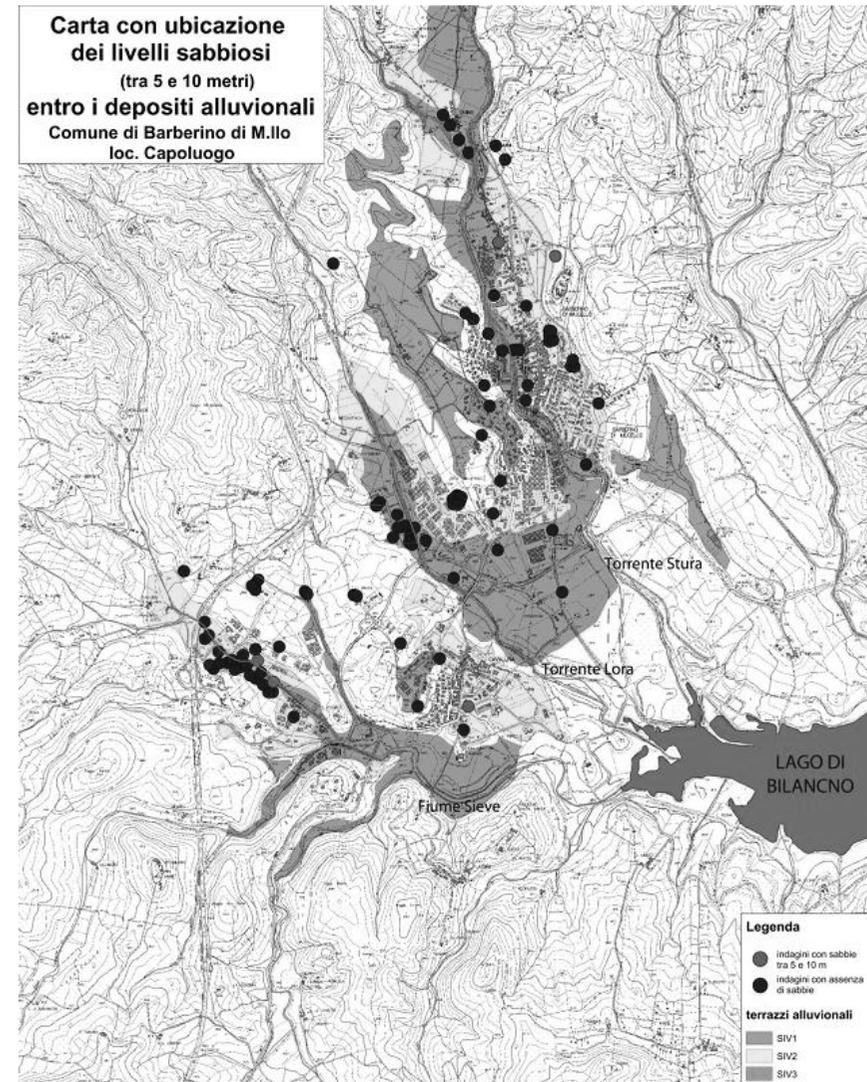
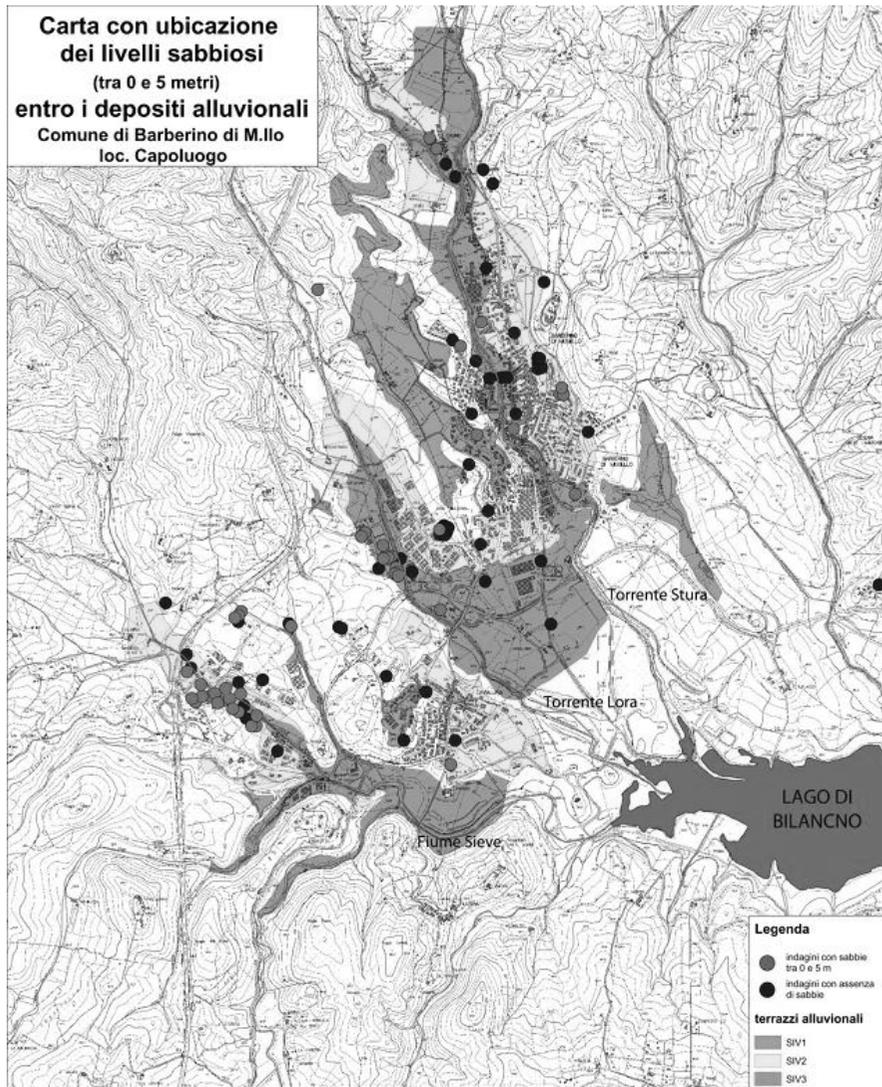
Carta dell'area in studio con l'ubicazione delle verticali d'indagine in cui sono presenti o assenti spessori significativi di sabbie per la fascia 2, da 5 a 10 m di profondità da p.c. e per la fascia 3, da 10 a 20 m di profondità da p.c



Carta dell'area in studio con la distribuzione delle sabbie tra 0 e 5 metri di profondità da p.c. ottenuta con interpolazione matematica



Carta dell'area in studio con la distribuzione delle sabbie tra 5 e 10 metri di profondità da p.c. ottenuta con interpolazione matematica

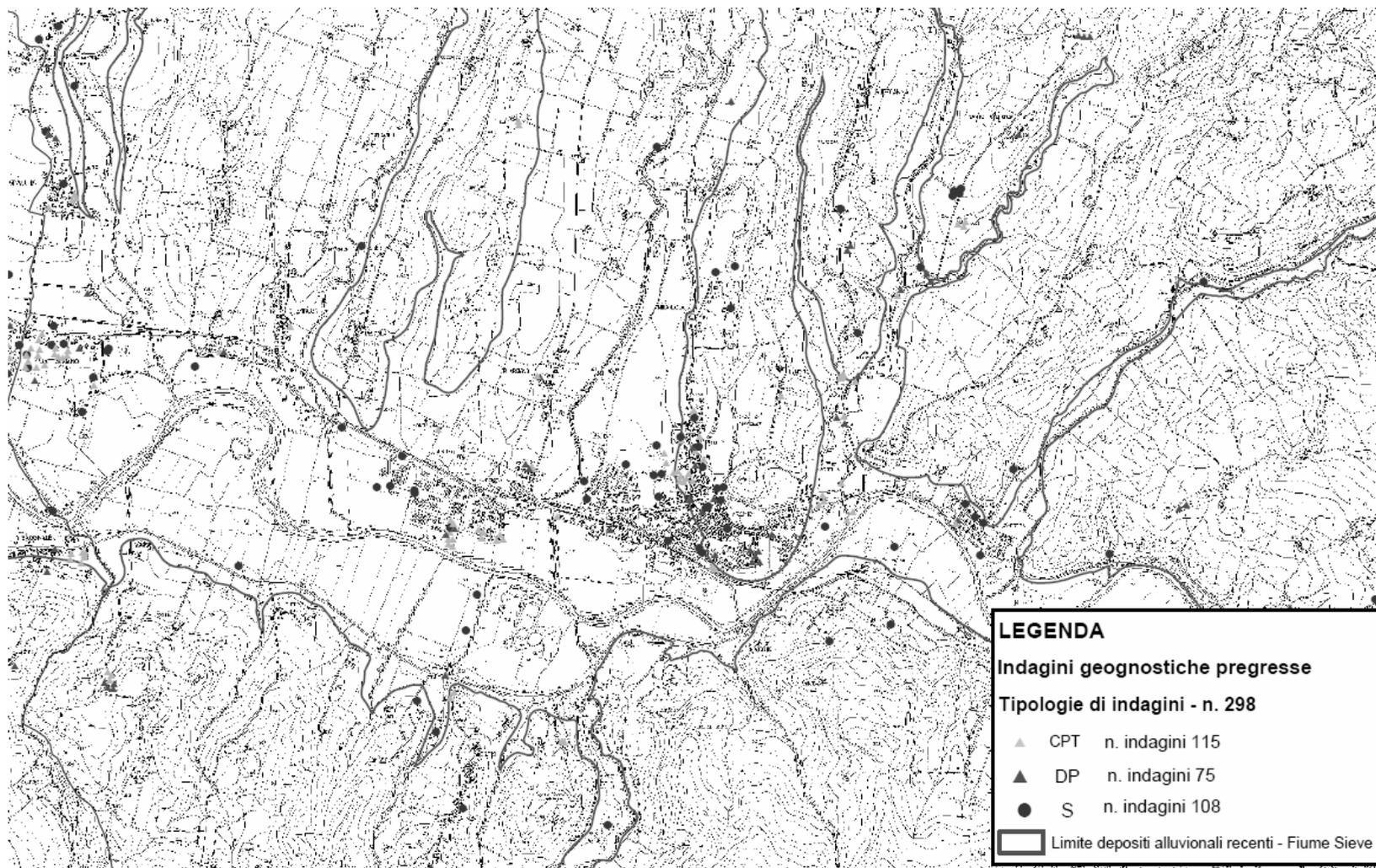


Carta dell'area in studio con l'indicazione dei tre livelli di terrazzi alluvionali e l'ubicazione delle verticali d'indagine con e senza strati significativi di sabbia nelle fasce di profondità 0-5 m e 5-10 m



ESEMPIO:

Analisi di Livello 2/3 a Vicchio: stima dell'indice del potenziale di liquefazione da prove CPT d'archivio





Metodi semplificati di stima della pericolosità di liquefazione

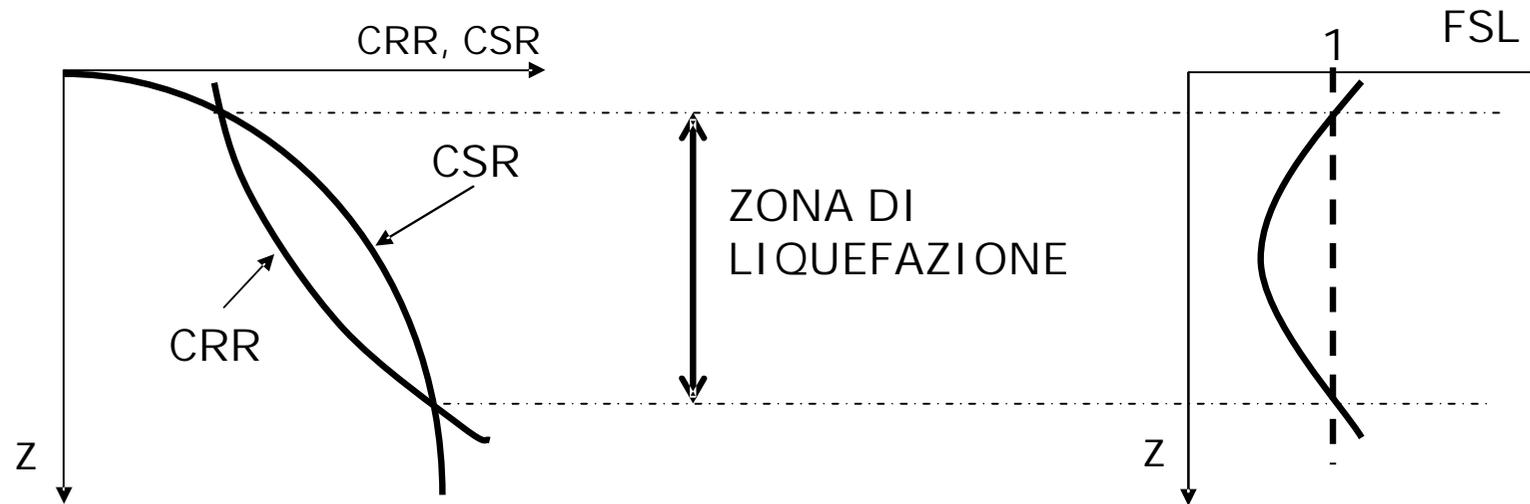
### **Analisi 1-D, condizioni free-field**

Stima del fattore di sicurezza nei confronti della liquefazione (FSL) al variare della profondità (z):

$$FSL(z) = \frac{CRR(z)}{CSR(z)}$$

CRR (z) = resistenza normalizzata del terreno alla liquefazione a profondità z  
(**C**yclic **R**esistance Ratio)

CSR (z) = tensione ciclica normalizzata indotta dal terremoto a profondità z  
(**C**yclic **S**tress **R**atio)



Nei metodi semplificati che utilizzano prove CPT

$$\text{CRR} = f(q_c, f_s, \sigma_{v0}, \sigma'_{v0})$$

$$\text{CSR} = f(M, a_{\max}/g, \sigma_{v0}, \sigma'_{v0}, r_d, \text{MSF}, K_\sigma)$$

Il calcolo di FSL è limitato agli strati potenzialmente liquefacibili

$$z < 20 \text{ m,}$$

$$z > z_w,$$

$$I_c < 2.6,$$

$$(q_{c1n})_{cs} < 160$$



L'indice del potenziale di liquefazione ( $0 \cdot LPI \cdot 100$ ) rappresenta la suscettibilità alla liquefazione per l'evento sismico atteso sulla verticale di indagine

$$LPI = \int_{20}^0 F(z) \cdot W(z) \cdot dz$$

con

$$F(z) = 0 \quad \text{per} \quad FSL \geq 1$$

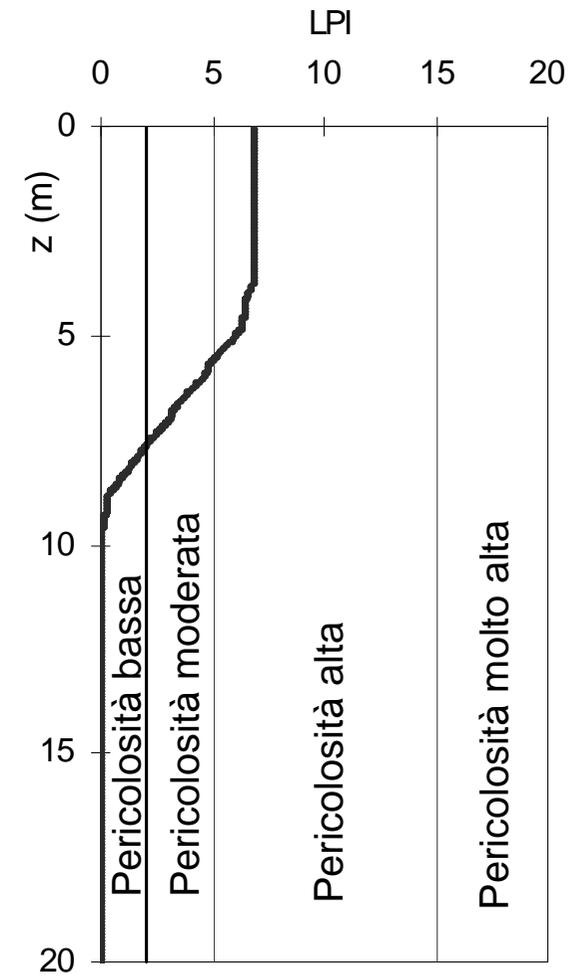
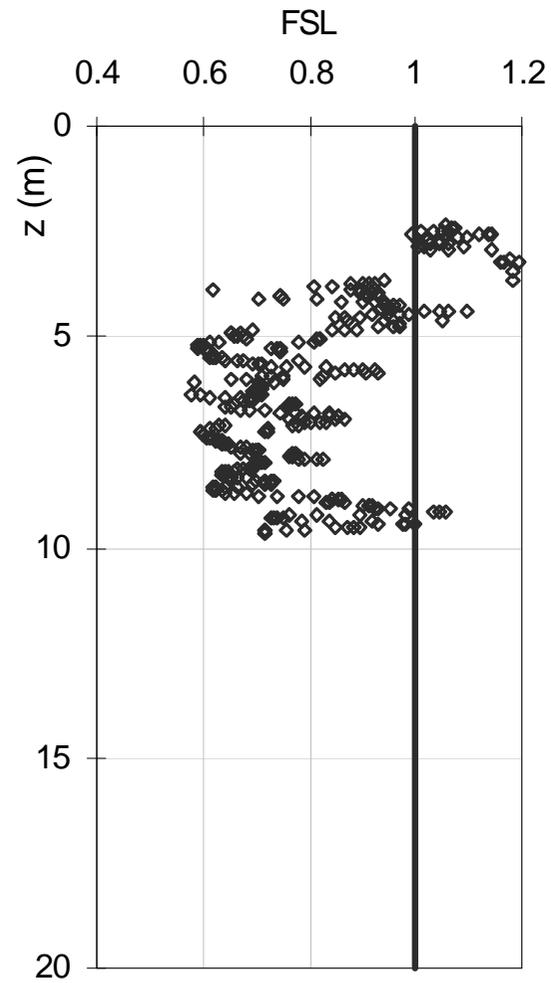
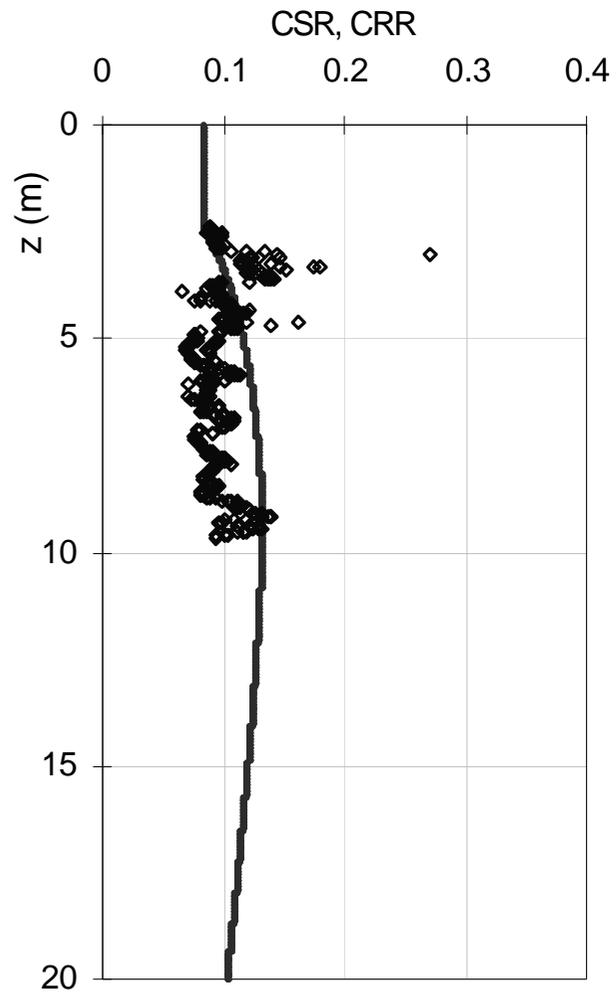
$$F(z) = 1 - FSL \quad \text{per} \quad FSL < 1$$

LPI	Suscettibilità
0	nulla
$0 < LPI \cdot 2$	bassa
$2 < LPI \cdot 5$	moderata
$5 < LPI \cdot 15$	alta
$LPI > 15$	molto alta

$$W(z) = 10 - 10 \cdot \left( \frac{z}{20} \right)$$



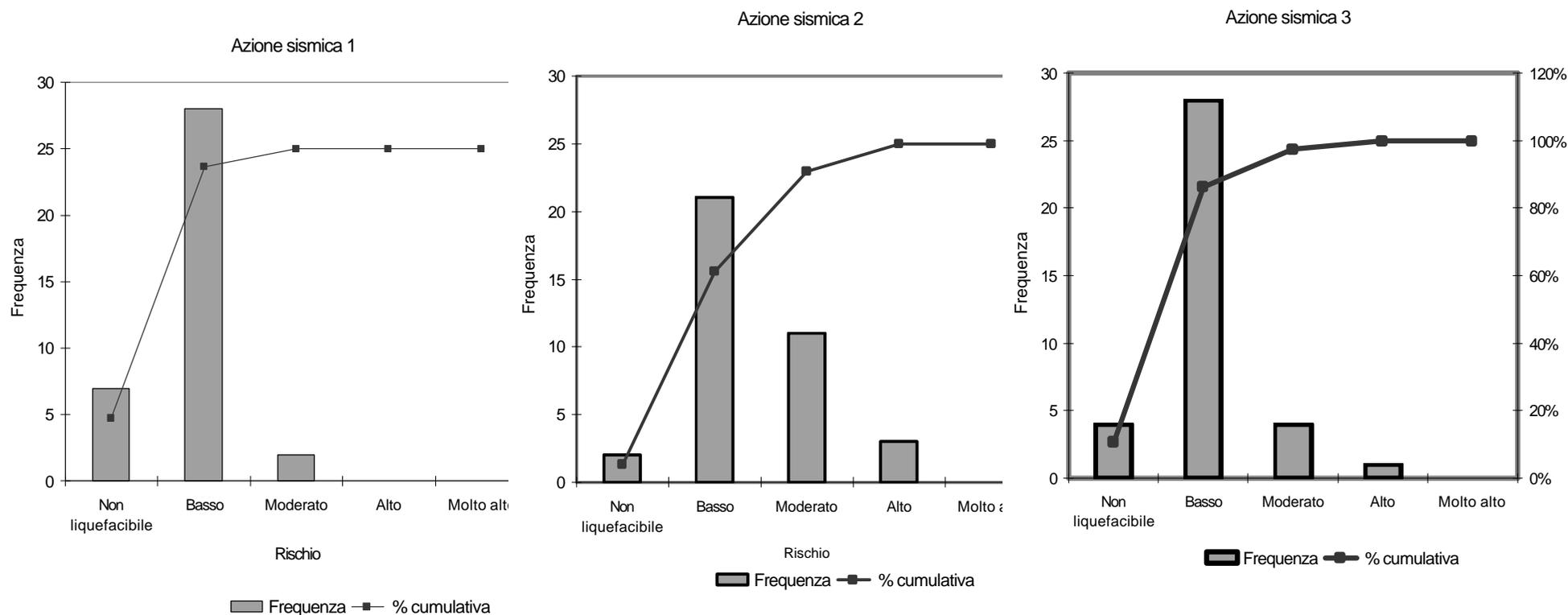
## esempio





La stima dell'Indice del potenziale di liquefazione a Vicchio è stata eseguita con riferimento a tre scenari di azione sismica:

1. con le indicazioni delle NTC-08 assumendo categoria di sottosuolo B,
2. utilizzando il valore massimo di PGA ricavato dalle analisi di RSL,
3. utilizzando il valore medio di PGA ricavato dalle analisi di RSL.





## 2. Risposta Sismica Locale e Microzonazione Sismica a Barberino di Mugello



## Sismicità del Comune di Barberino di Mugello

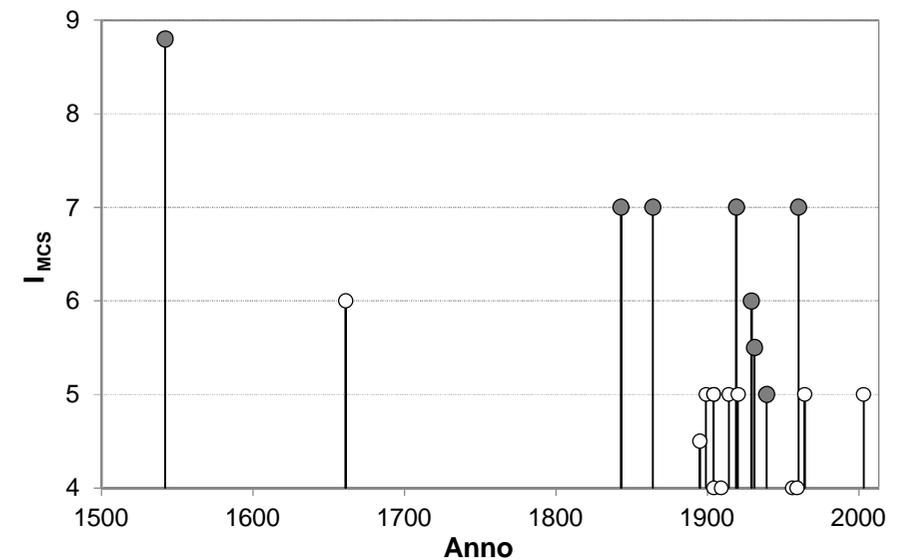
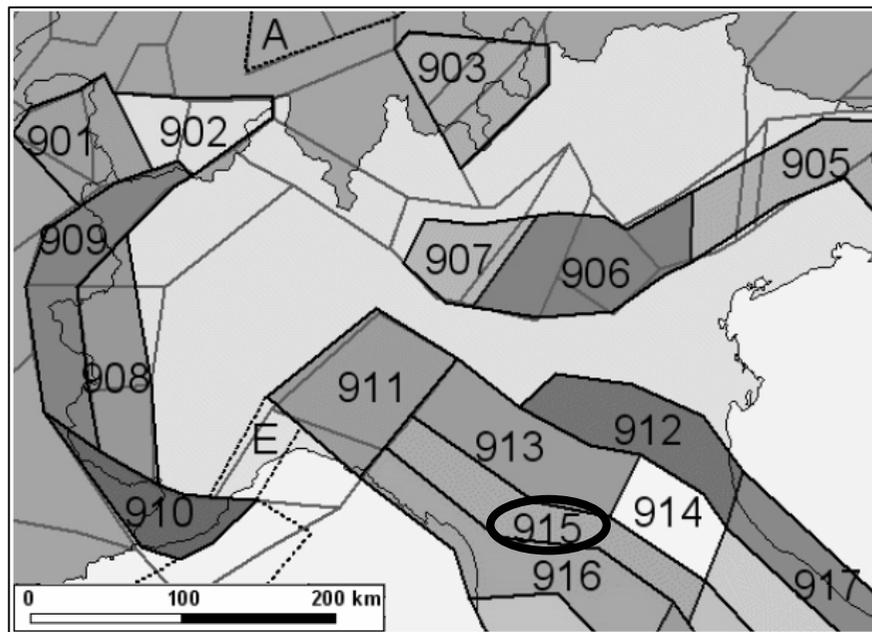
Zona a sismicità medio-alta, tra le più attive dell'Appennino settentrionale.

Zona Sismica 2 della classificazione sismica regionale (Del. G.R.T. No 878/2012)

$$a_g = 0.196g$$

Zona sismogenetica 915

$$\Rightarrow M_{w,max} = 6.6$$

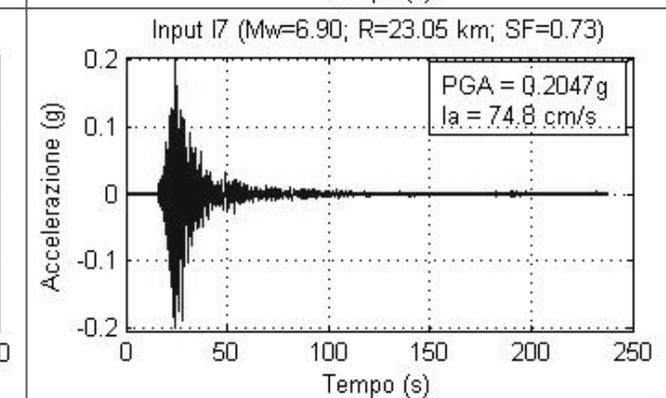
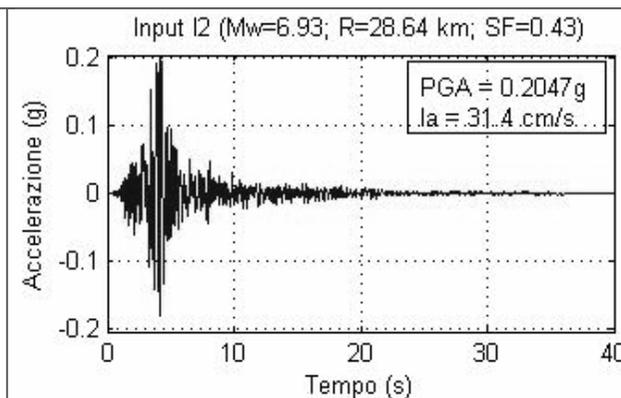
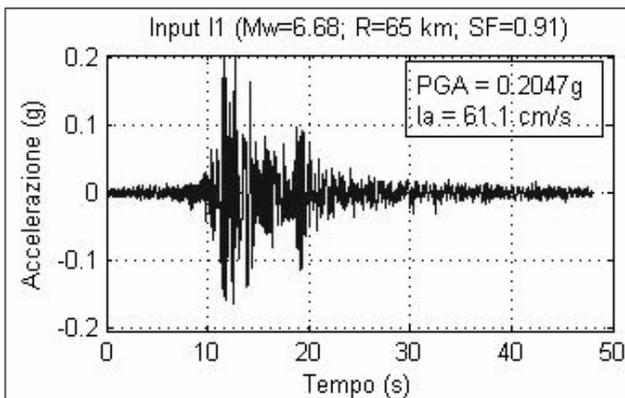
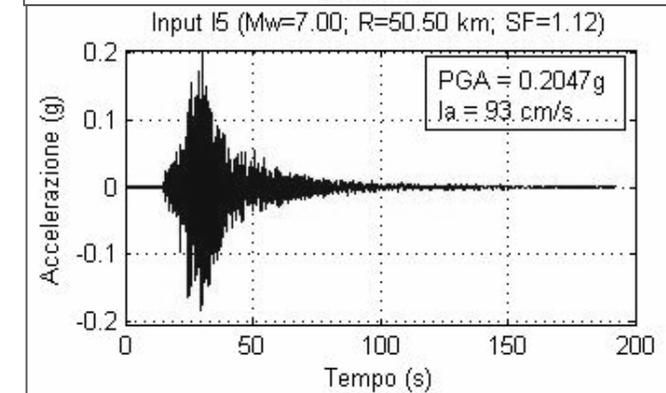
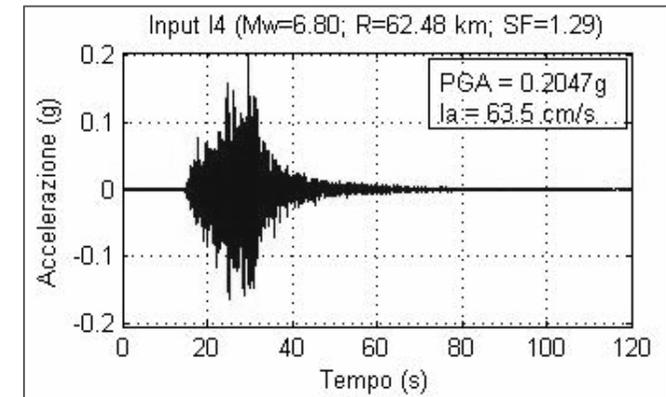
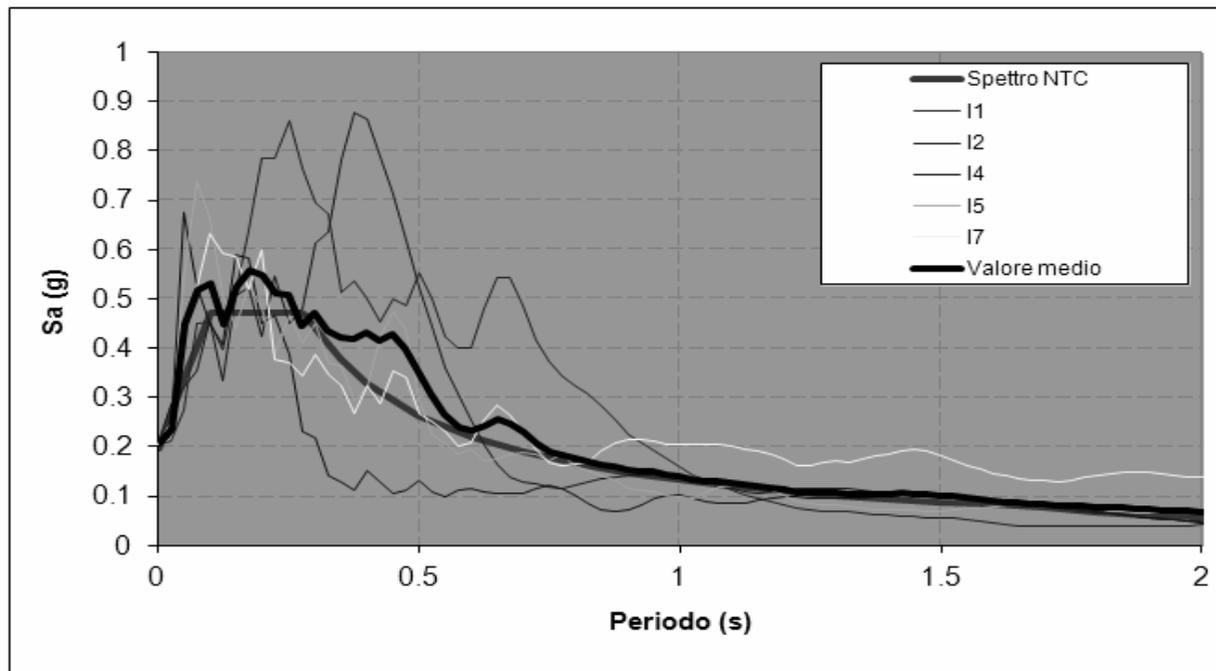


Storia sismica di Barberino di M.Ilo  
dal 1500 ad oggi per eventi di  
intensità  $I_{MCS} \bullet 4$



# MOTO SISMICO DI RIFERIMENTO

## 5 Segnali accelerometrici (da EUCENTRE)





## MODELLO DEL SOTTOSUOLO

### CARTA GEOLOGICA

(a cura dell'Ufficio Prevenzione Sismica della Regione Toscana)

### INDAGINI

- n. 13 linee di sismica a rifrazione con onde P e SH (di lunghezza variabile da 96 a 240m per ciascuna linea);
- n. 17 sondaggi a carotaggio continuo (di profondità variabile da 15m a 80m) con prove SPT in foro e prelievo di campioni indisturbati di terreno;
- n. 17 prove geofisiche in foro di tipo down-hole con onde P e SH all'interno dei fori di sondaggio realizzati;
- n. 17 prove dinamiche di laboratorio (colonna risonante, taglio torsionale ciclico e triassiale ciclica) su 21 campioni prelevati nel corso dei sondaggi.

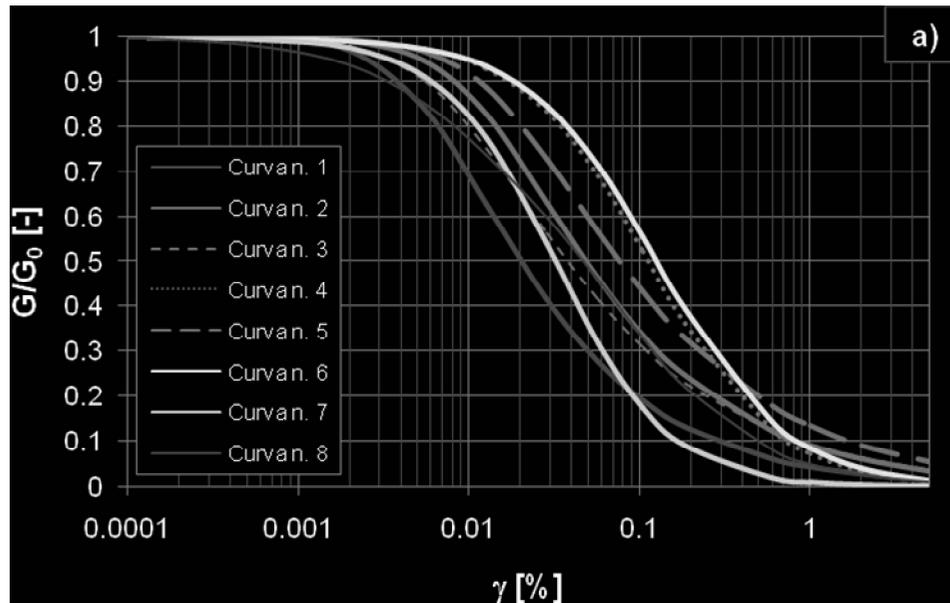
### 12 SEZIONI ANALIZZATE



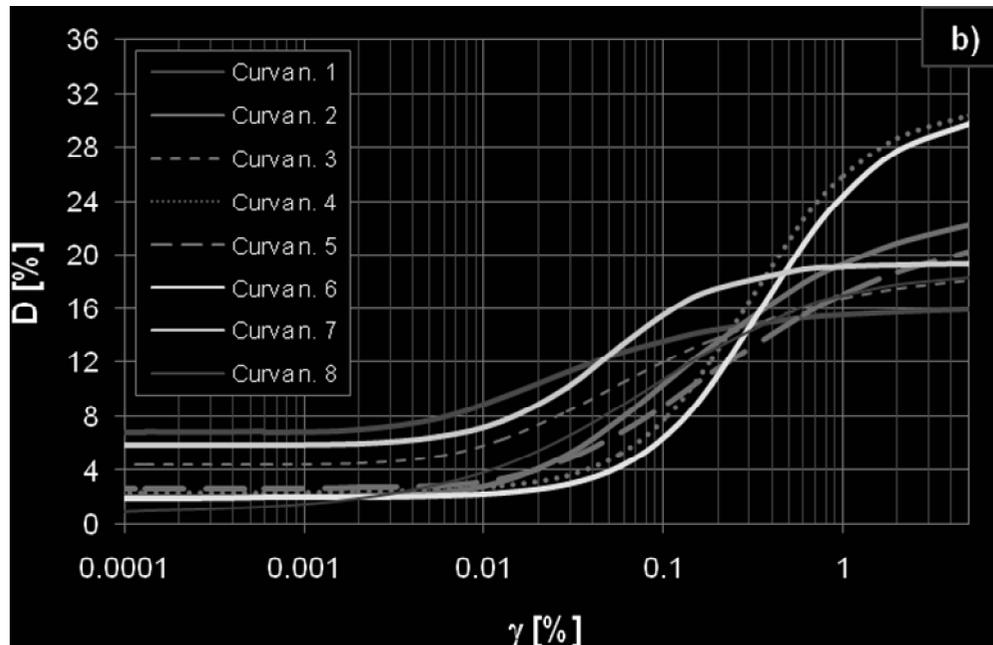
Carta geologica dell'area di Barberino di Mugello (Capoluogo) con ubicazione delle indagini (stese sismiche e sondaggi) e tracce delle sezioni



Tabella I. - Valori medi di $V_P$ e $V_S$ delle diverse Unità			
<b>Sigla</b>	<b>Descrizione</b>	<b><math>V_P</math> (m/s)</b>	<b><math>V_S</math> (m/s)</b>
AQR2	Marne, Arenarie, Argilliti	2600	1090
AQR3	Argilliti, Marne, Arenarie	2290	880
FAL3	Arenarie, Marne, Argilliti	2500	1120
SIL	Argilliti, Marne	2300	645
MGO1a1_v	Argille e limi fluvio-lacustri basali	1815	470
MGO1a1	Argille e limi fluvio-lacustri	1600	285
SIV1	Alluvioni (spessore medio 15m)	1370	280
SIV2	Alluvioni (spessore medio 5m)	1080	330
SIV3	Alluvioni (spessore medio 3÷10m)	765	310



Curve  $G/G_0$  e  $D$  (%) vs.  $\gamma$  (%)  
per i diversi materiali



Unità	Curva
FAL3/AQR3	-
FAL3/AQR2	-
SIL	1
MGO1a1	2
MGO1a1	3
MGO1a1 (altri)	4
MGO1a1	5
Terreni organici	6
MGO2s2	7
a, b <sub>g</sub> , SIV	8



## Scelta del fattore di amplificazione

Per fattore di amplificazione si intende in termini generali il rapporto tra un parametro relativo all'accelerogramma determinato in corrispondenza del piano di campagna e lo stesso parametro relativo all'accelerogramma di input.

Per il caso in studio si è scelto di utilizzare il parametro:

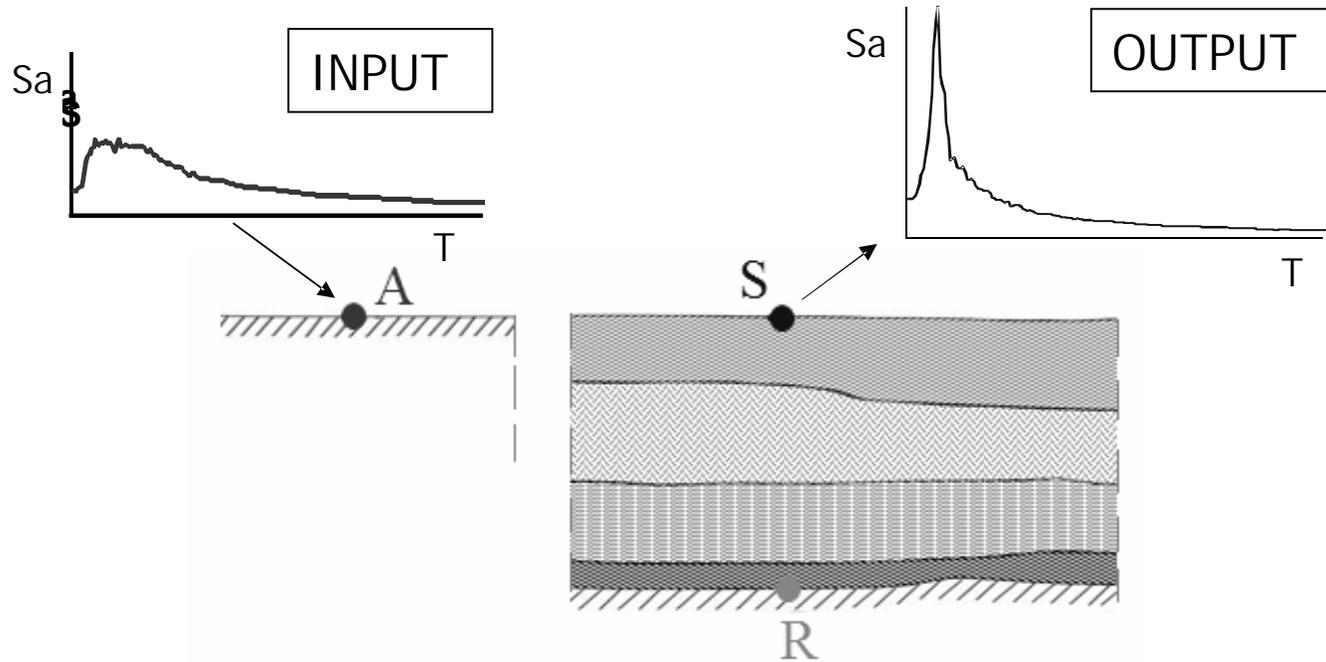
$$FHa_{(0.1 \div 0.5)} = \frac{\int_{0.1}^{0.5} S_{A,s}(\xi, T) dT}{\int_{0.1}^{0.5} S_{A,i}(\xi, T) dT}$$

rapporto fra gli integrali degli spettri di risposta in pseudo-accelerazione nell'intervallo di periodi  $T = 0.1-0.5s$

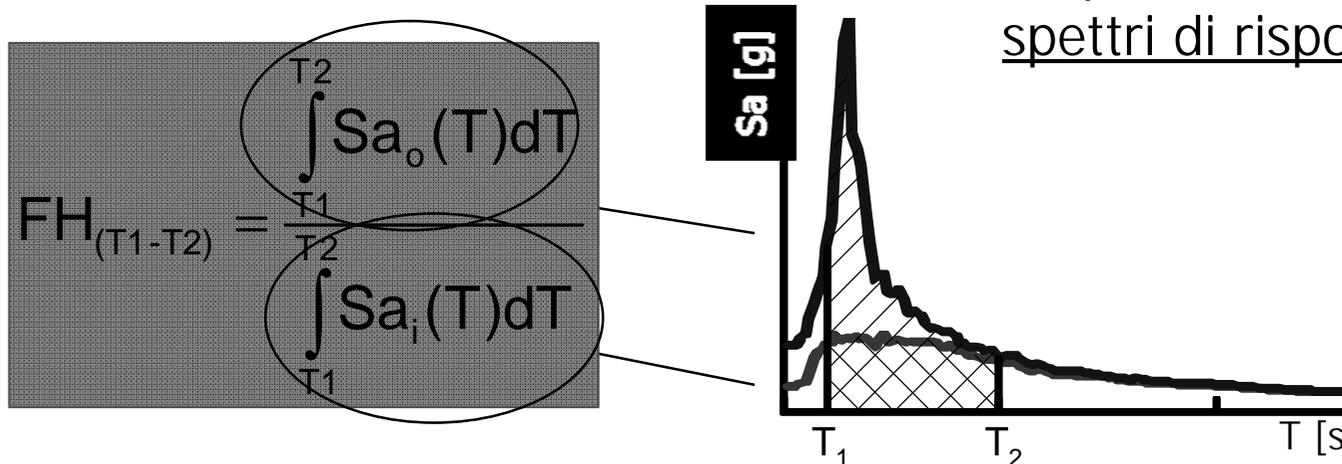
(con rapporto di smorzamento  $\xi = 0.05$ )



# fattore di amplificazione

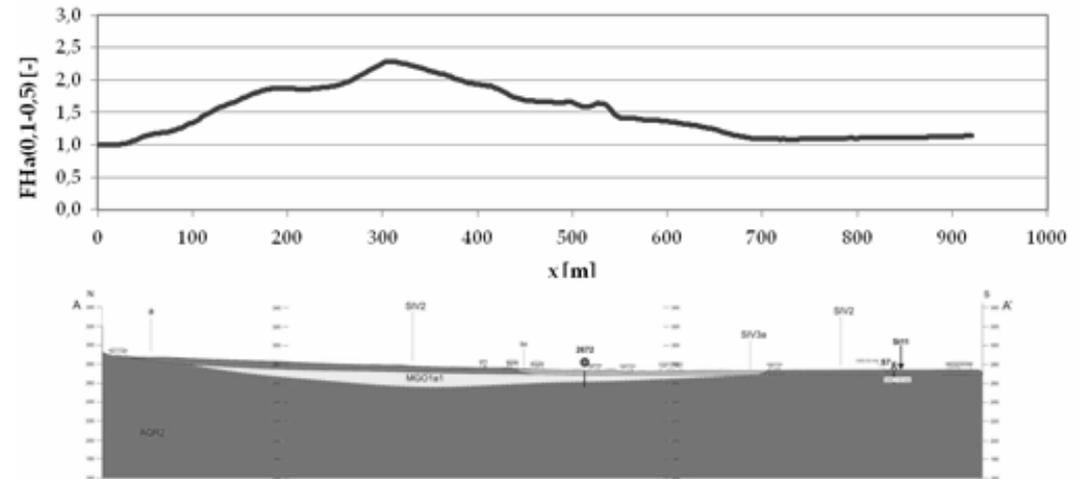


Amplificazione in termini di spettri di risposta elastici:

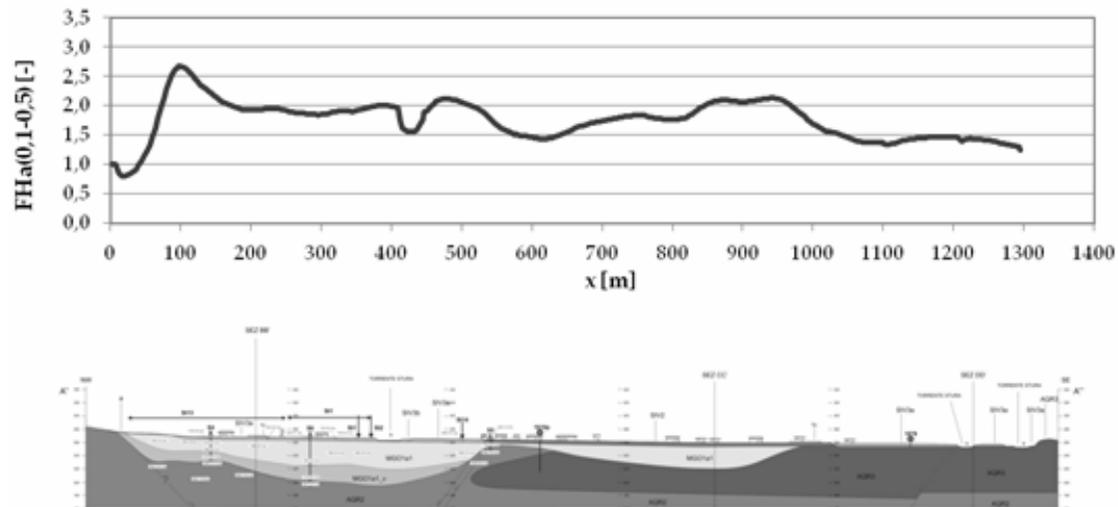




Barberino di Mugello, località Capoluogo - SEZIONE A-A'

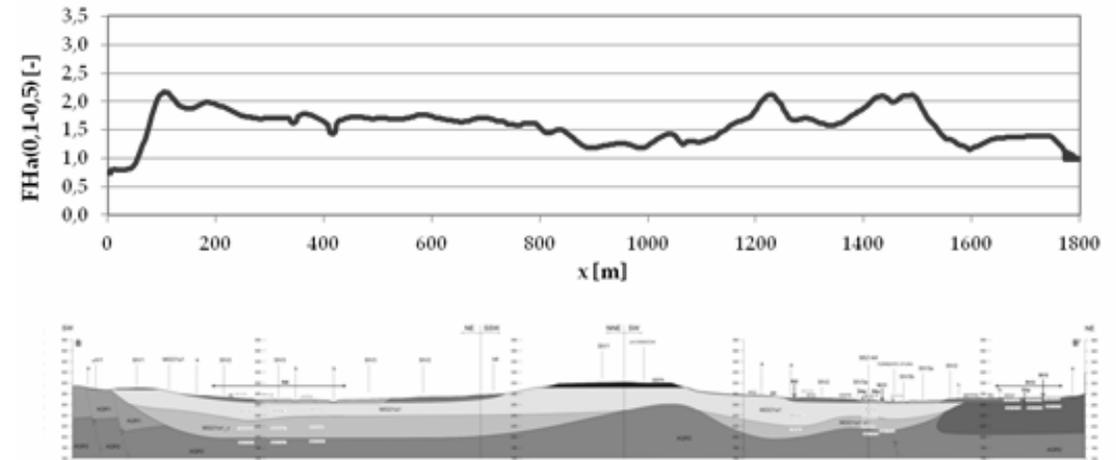


Barberino di Mugello, località Capoluogo - SEZIONE A''- A'''

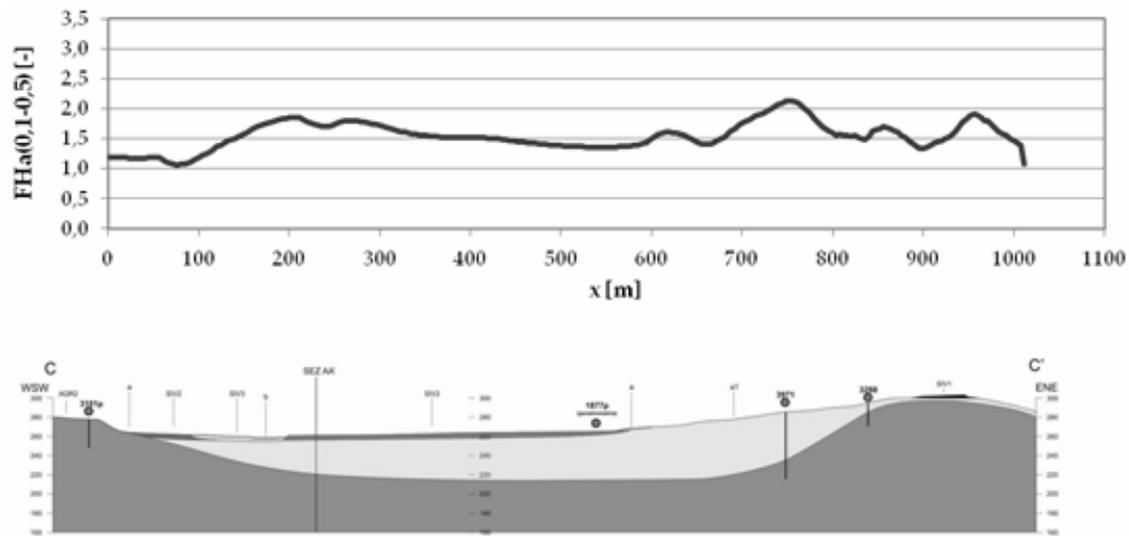




**Barberino di Mugello, località Capoluogo - SEZIONE B-B'**

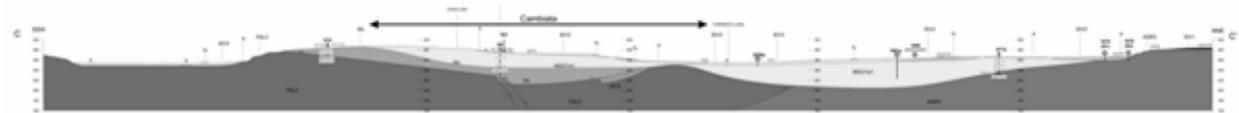
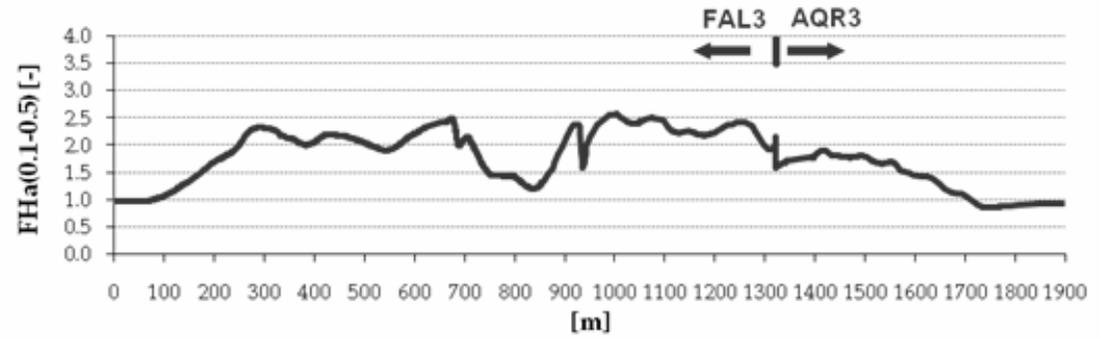


**Barberino di Mugello, località Capoluogo - SEZIONE C-C' nord**

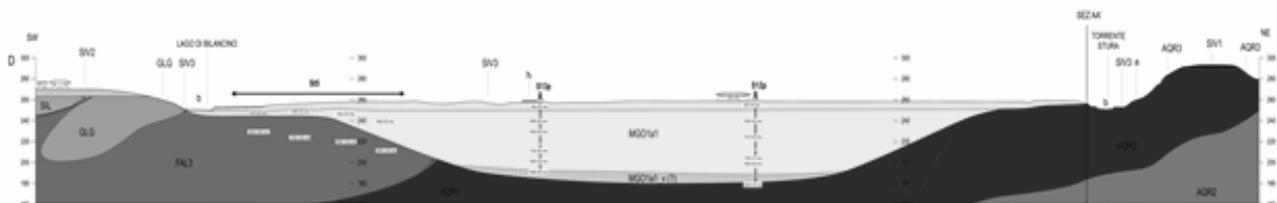
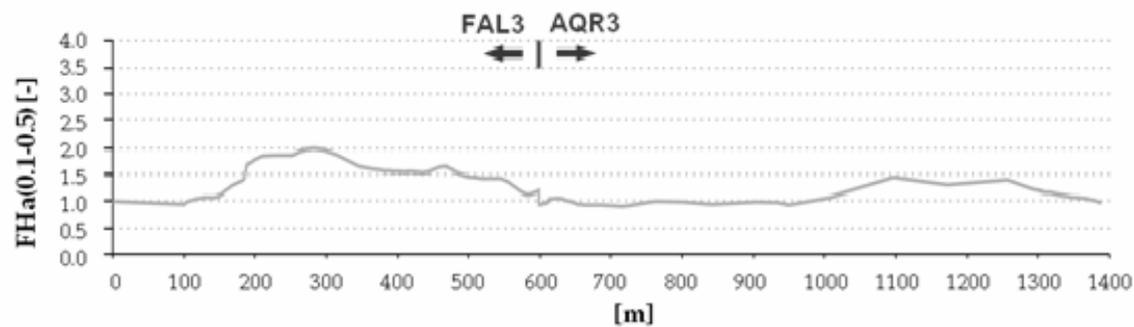




**Barberino di Mugello, località Capoluogo - SEZIONE C-C' sud**

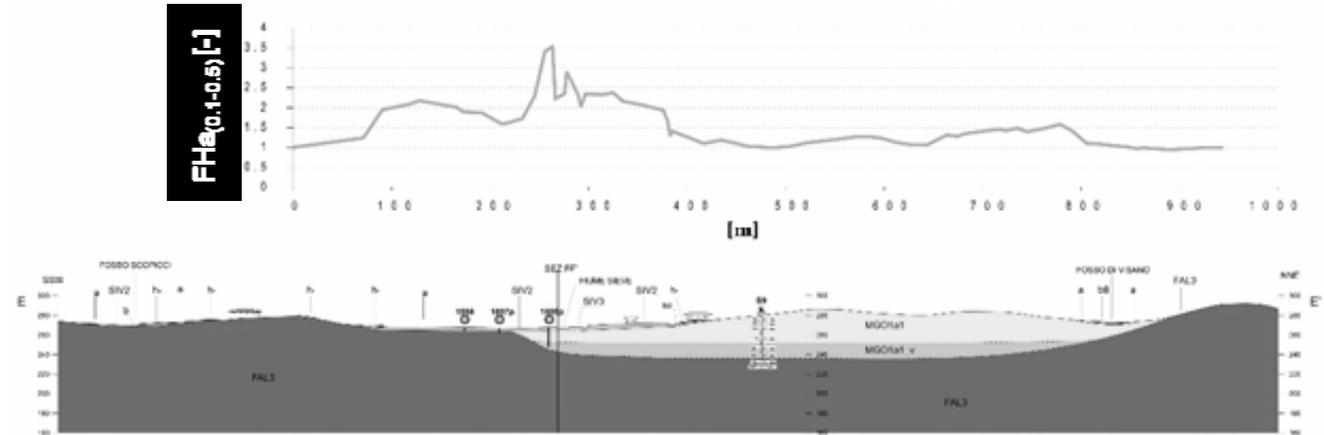


**Barberino di Mugello, località Capoluogo - SEZIONE D-D'**

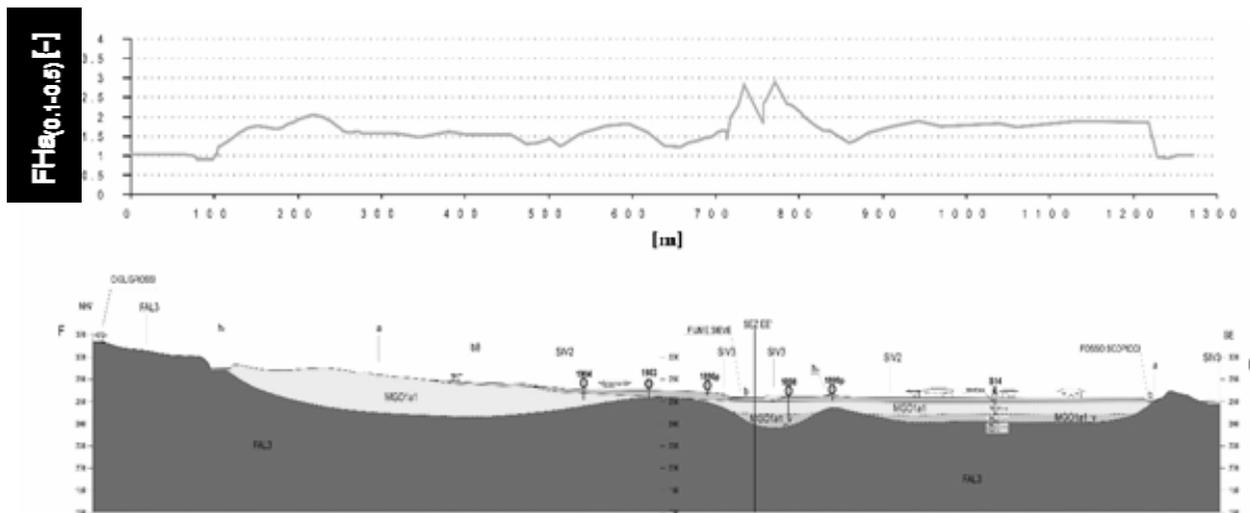




**Barberino di Mugello, località Capoluogo - SEZIONE E-E'**

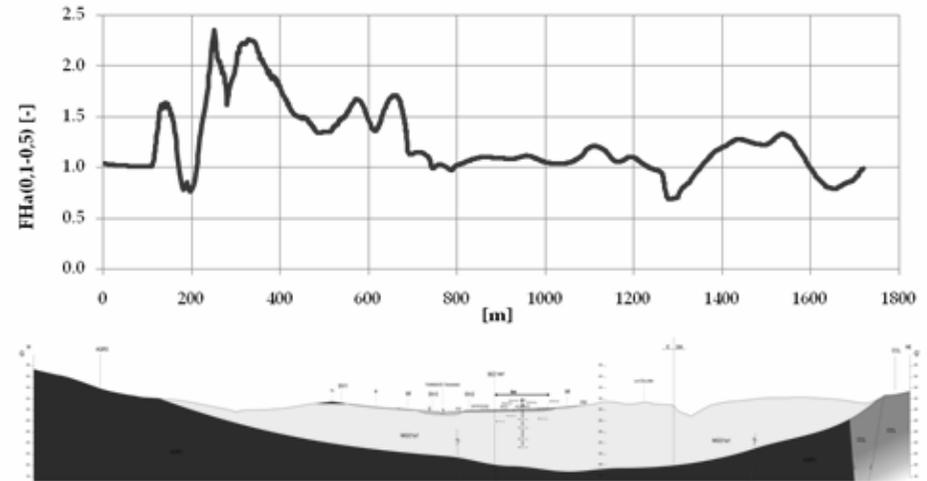


**Barberino di Mugello, località Capoluogo - SEZIONE F-F'**

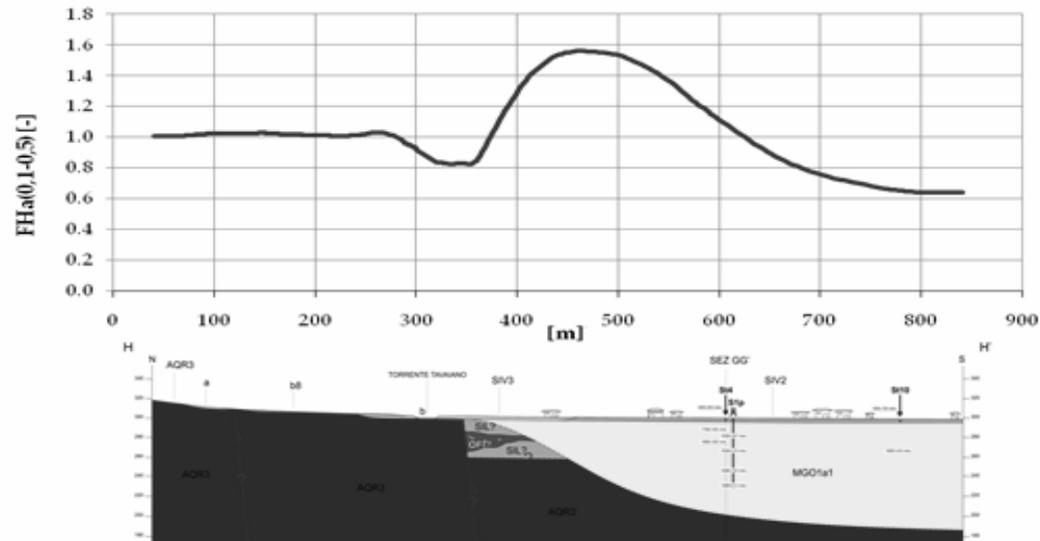




**Barberino di Mugello, località Galliano - SEZIONE G-G'**

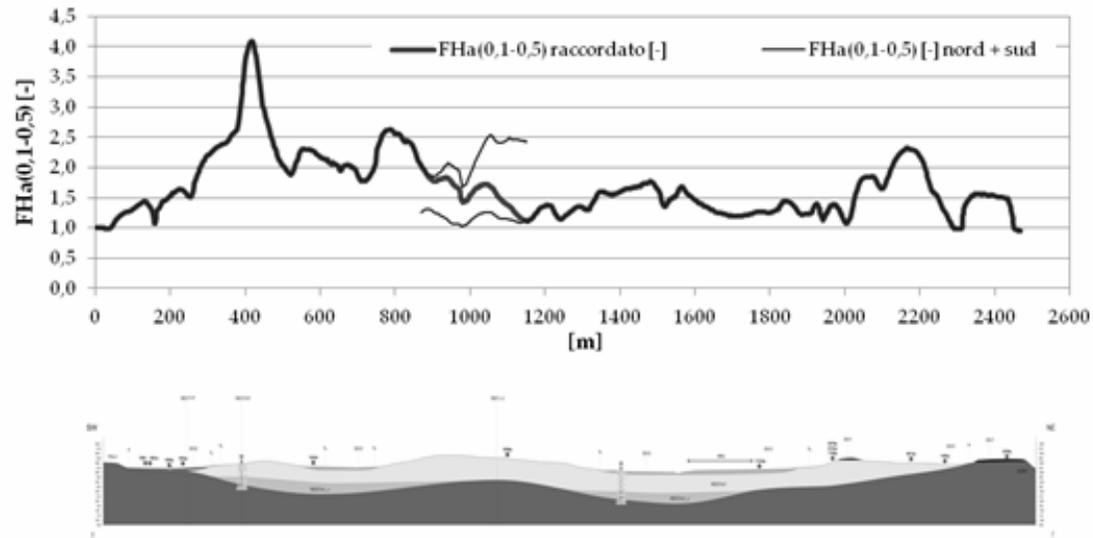


**Barberino di Mugello, località Galliano - SEZIONE H-H'**

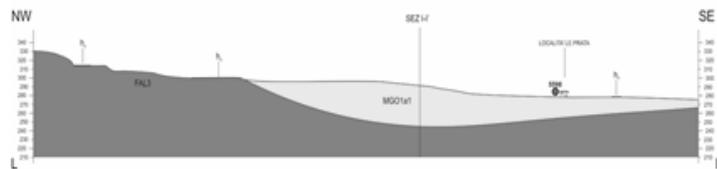
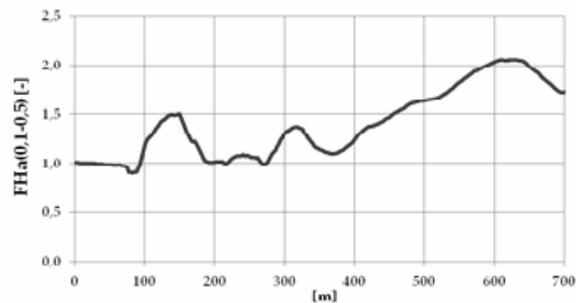




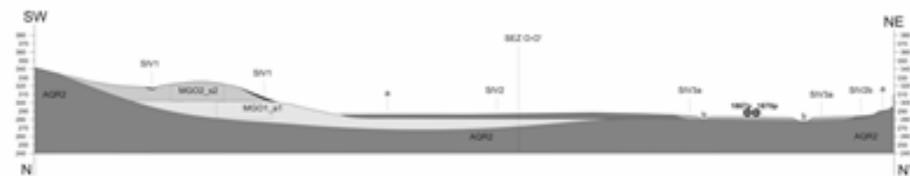
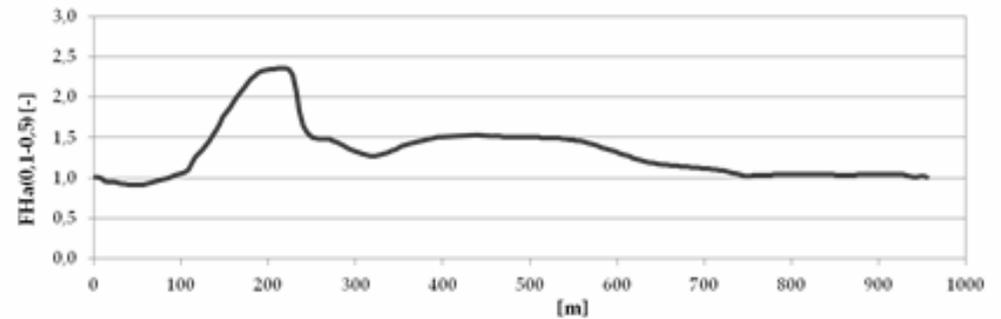
### Barberino di Mugello, località Capoluogo - SEZIONE I-I'



### Barberino di Mugello, località Capoluogo - SEZIONE L-L'

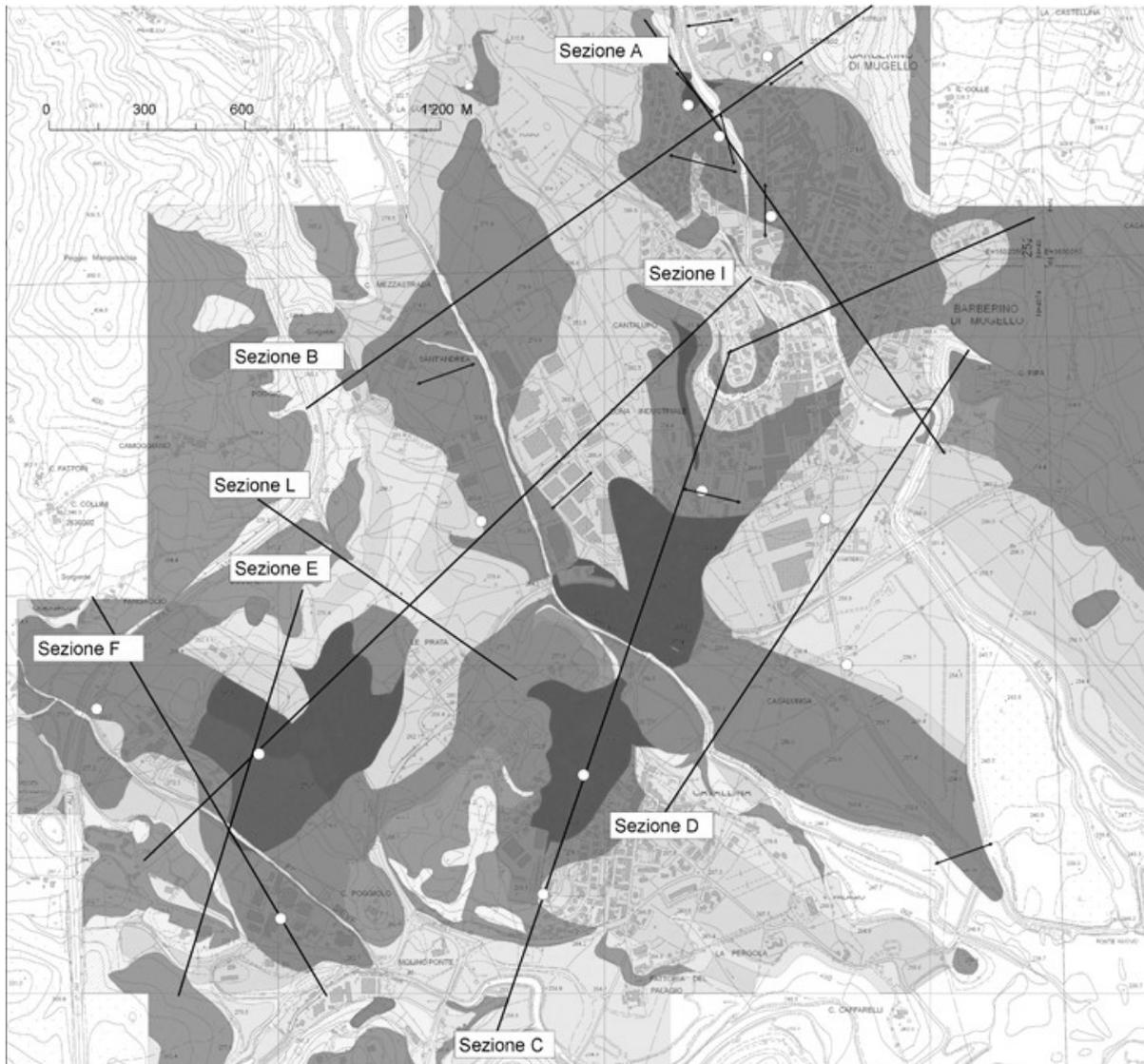


### Barberino di Mugello, località Capoluogo - SEZIONE N-N'





## Barberino Capoluogo - Carta di MS di Livello 3 (da estrapolazione areale delle analisi 2D)



-   $FHa_{(0.1-0.5)} \cdot 1 \quad Ft = 1.2$
-   $FHa_{(0.1-0.5)} \cdot 1$
-   $1 < FHa_{(0.1-0.5)} \cdot 1.1$
-   $1.1 < FHa_{(0.1-0.5)} \cdot 1.3$
-   $1.3 < FHa_{(0.1-0.5)} \cdot 1.5$
-   $1.5 < FHa_{(0.1-0.5)} \cdot 2$
-   $2 < FHa_{(0.1-0.5)} \cdot 2.5$
-   $2.5 < FHa_{(0.1-0.5)}$
-  Instabilità di versante



Grazie per l'attenzione