



Consiglio Nazionale delle Ricerche

**Un approccio allo studio dei fenomeni di liquefazione
causati dal terremoto del 29 maggio 2012 nel comune
Cavezzo (MO)**

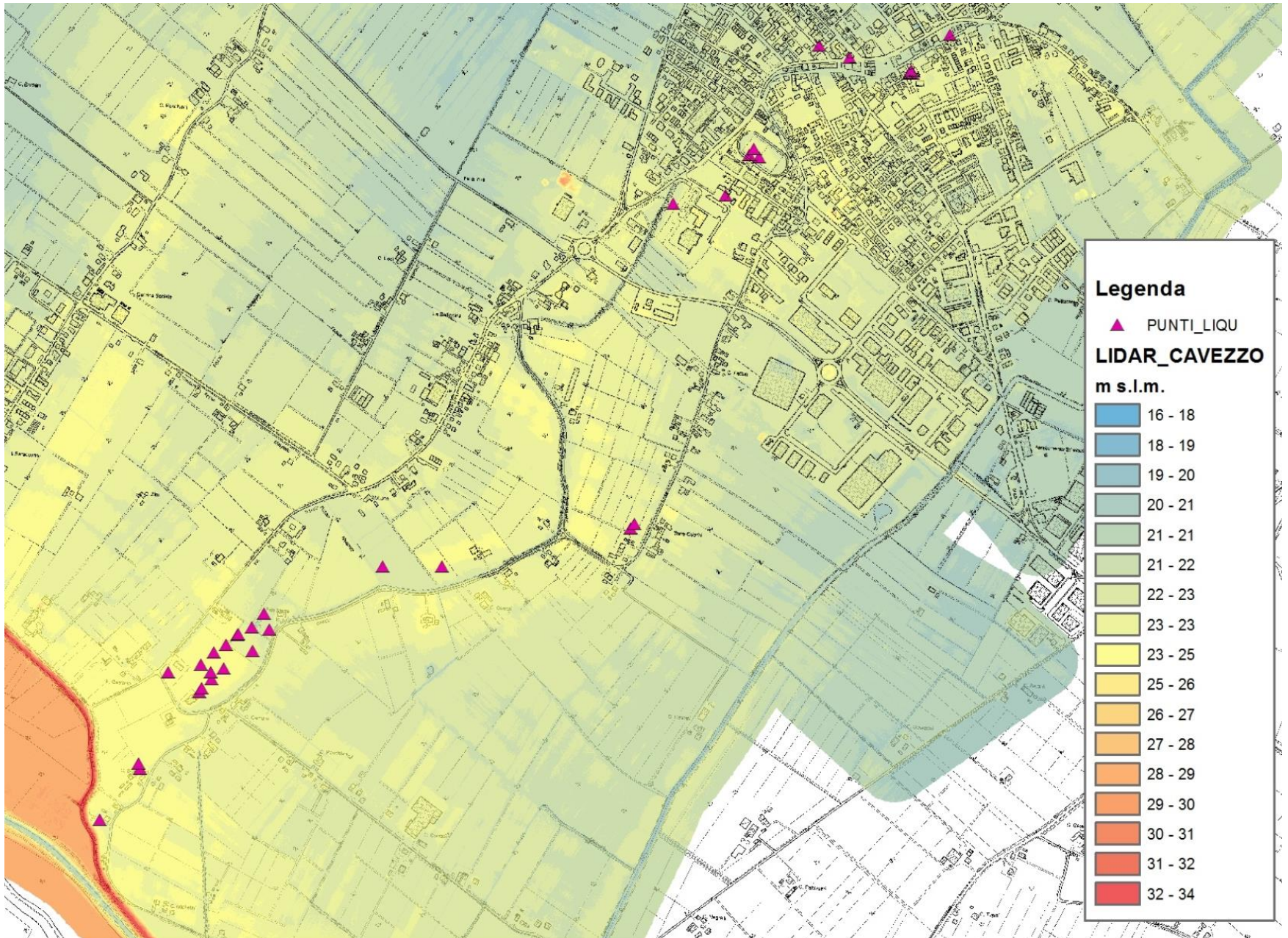
**Roberto Razzano
Maria Paola Campolunghi**

Scossa del 29 Maggio 2012



La scossa del 29 Maggio della sequenza sismica Emiliana del 2012 (con epicentro tra Mirandola, Medolla e San Felice sul Panaro, Mw 6.0)
ha indotto fenomeni di liquefazione nel territorio comunale di Cavezzo (MO)

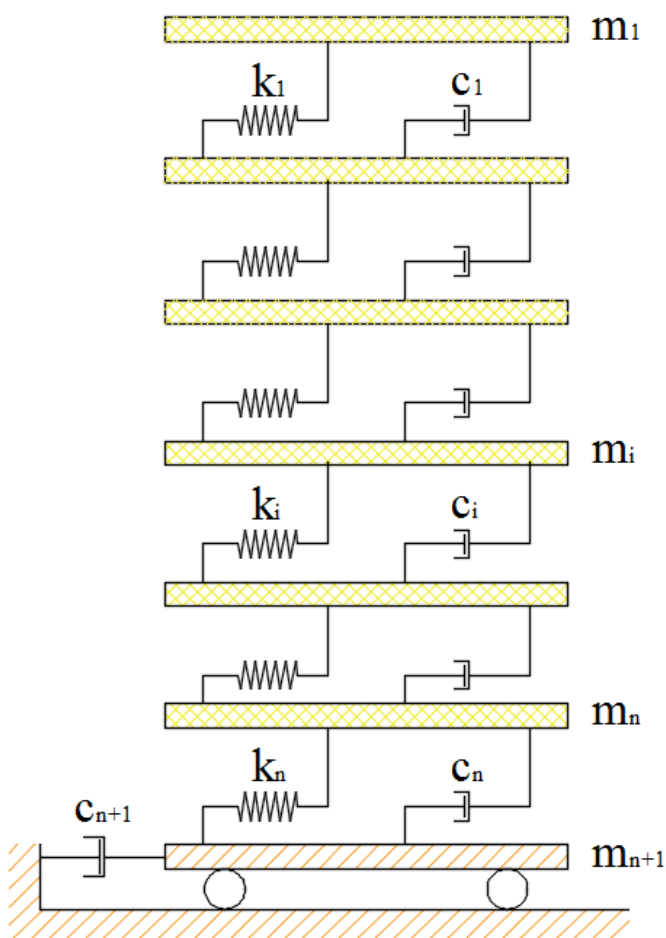
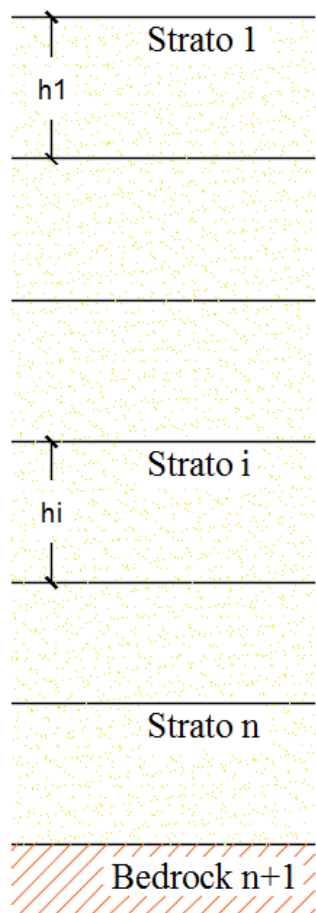
Effetti di liquefazione a Cavezzo



I fenomeni di liquefazione si sono concentrati in corrispondenza dei paleo-alvei

Analisi non lineare in tensioni efficaci – Deepsoil 6.0

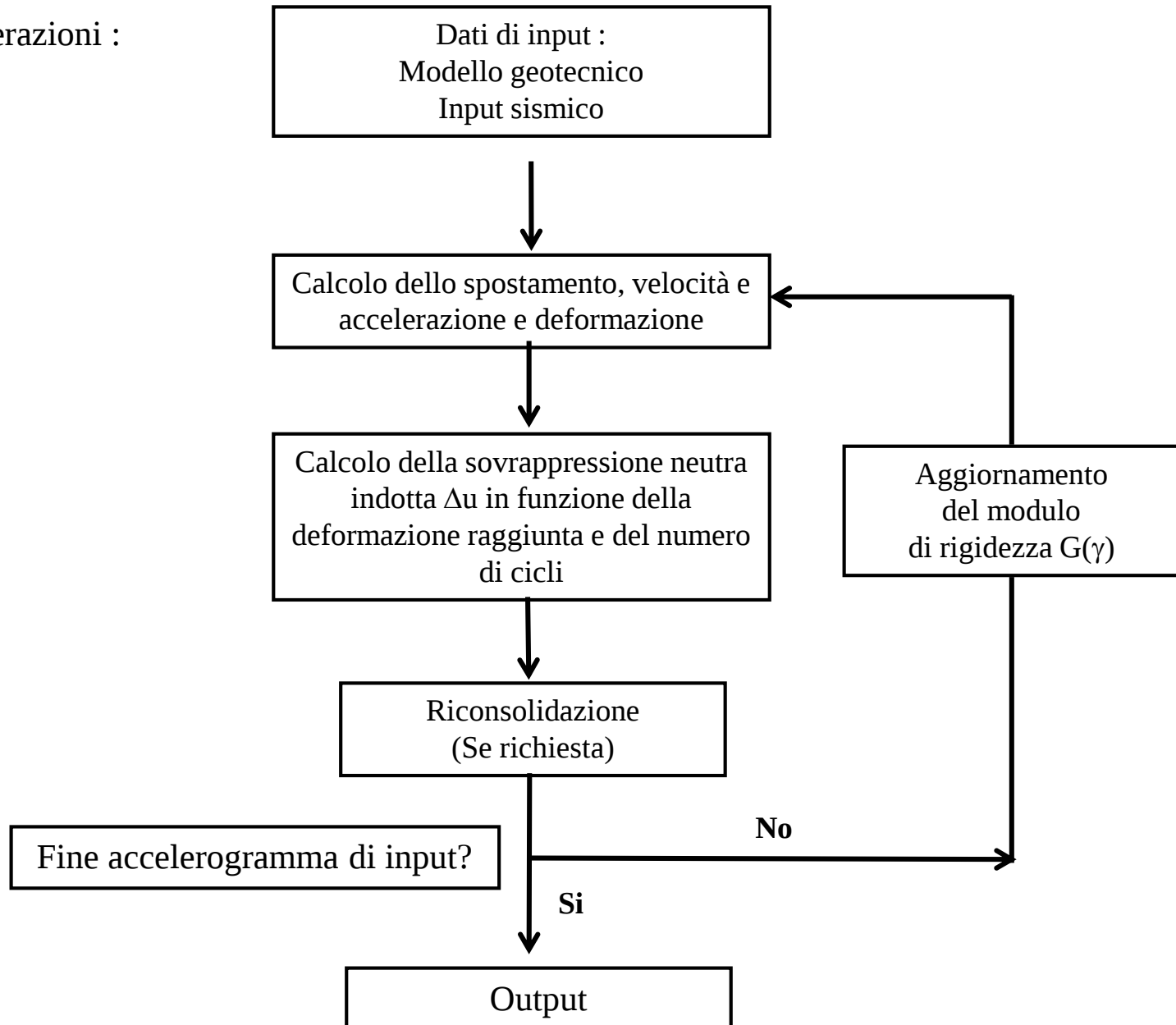
Il deposito è schematizzato in masse concentrate in corrispondenza della sommità degli strati collegate tra loro da molle e smorzatori, la non linearità è tenuta in conto aggiornando ad ogni passo temporale la matrice delle rigidezza [K], il software inoltre implementa routine di natura semi-empirica per il calcolo della sovrappressione neutra indotta



$$\mathbf{M} \cdot \ddot{\mathbf{u}} + \mathbf{C} \cdot \dot{\mathbf{u}} + \mathbf{K} \cdot \mathbf{u} = \mathbf{1} \cdot c_{n+1} \dot{u}_r$$

Analisi non lineare in tensioni efficaci

Flusso di operazioni :



Effetti di liquefazione a Cavezzo

- 1) Definizione del modello geotecnico
- 2) Definizione del moto sismico di input
- 3) Sintesi dei risultati

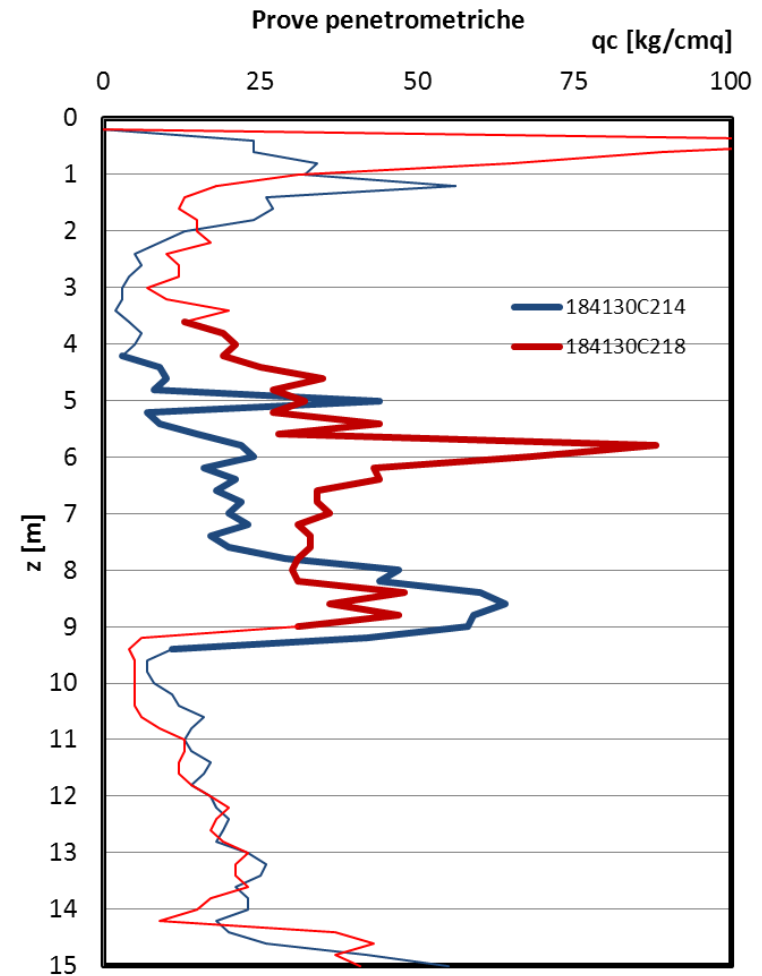
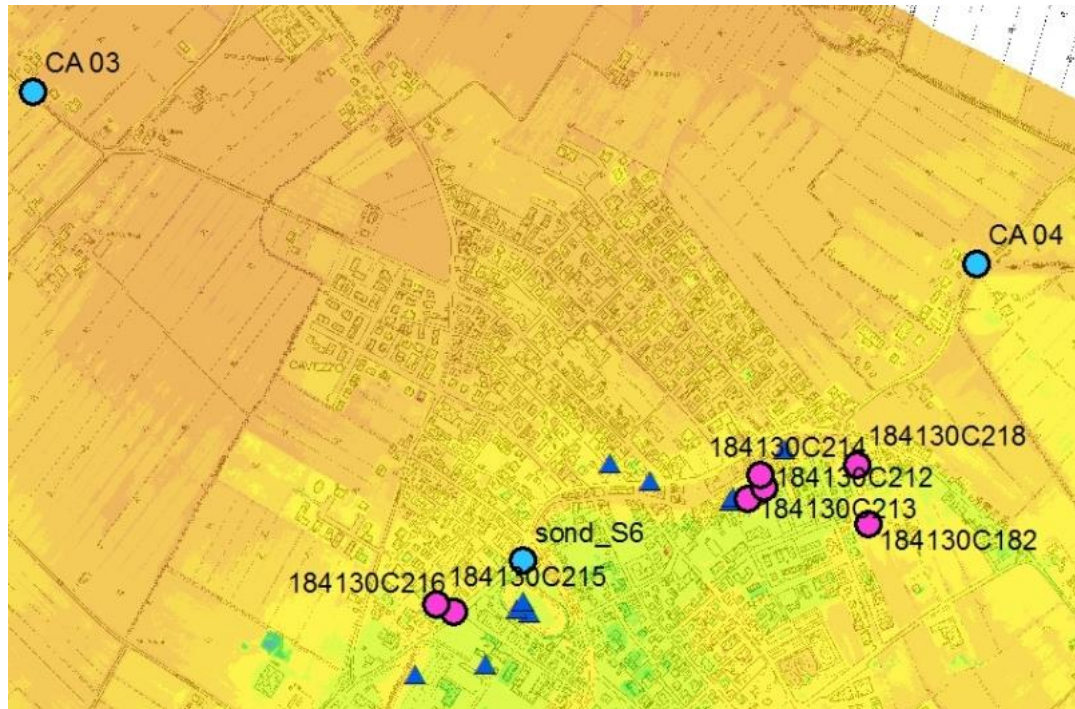
Effetti di liquefazione a Cavezzo

1) Definizione del modello geotecnico

- Profilo stratigrafico, stati tensionali etc..
- Profilo di velocità delle onde di taglio
- Curve di rigidezza e smorzamento
- Incremento della sovrappressione neutra indotta

Modello geotecnico di Cavezzo 1/3

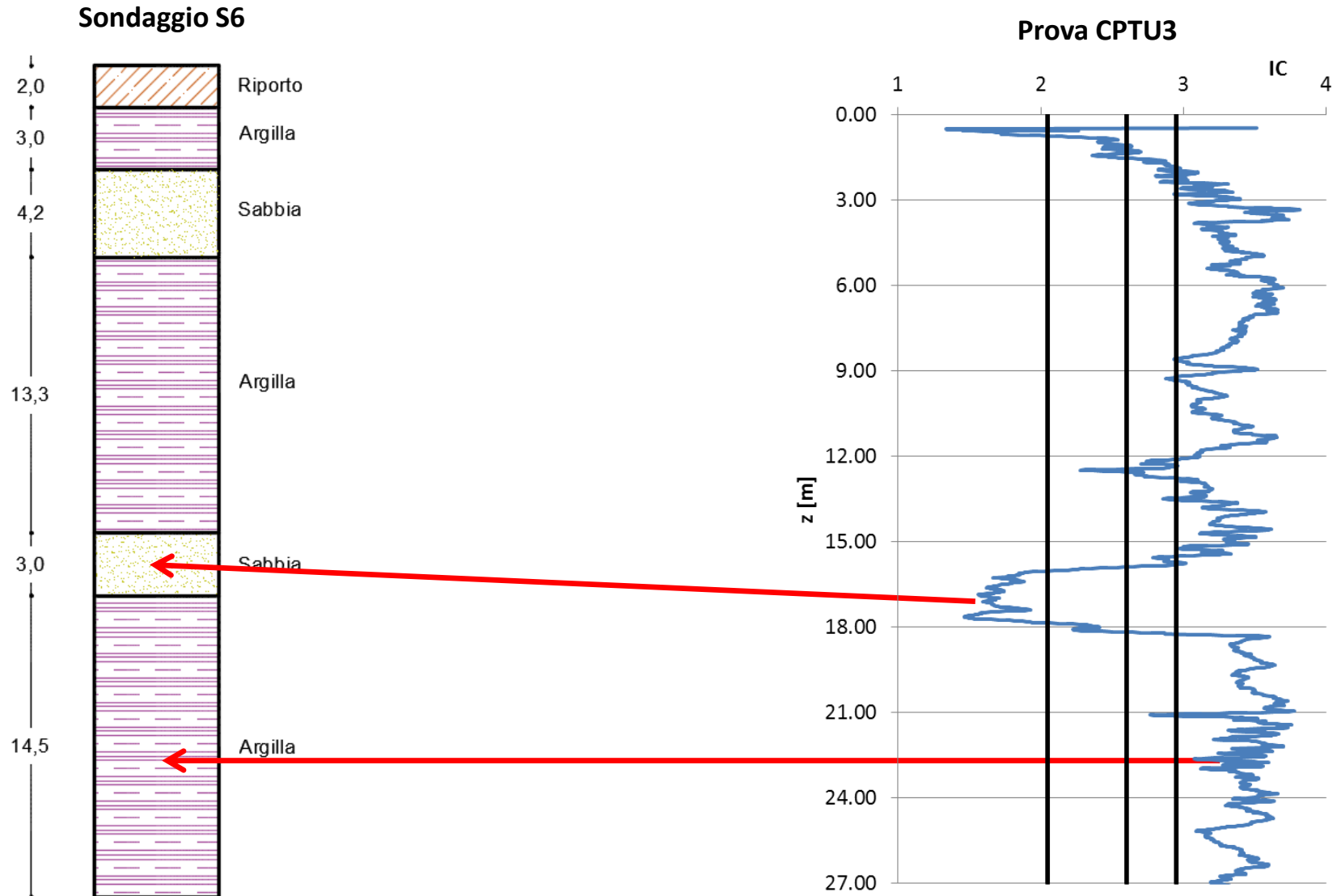
Valori della resistenza alla punta di prove penetrometriche meccaniche eseguite in corrispondenza del paleo-alveo



Le prove penetrometriche eseguite nel paleo-alveo possiedono una resistenza alla punta minore rispetto alle stesse eseguite sul paleo-argine, in linea più spesso lo strato sabbioso potenzialmente liquefacibile

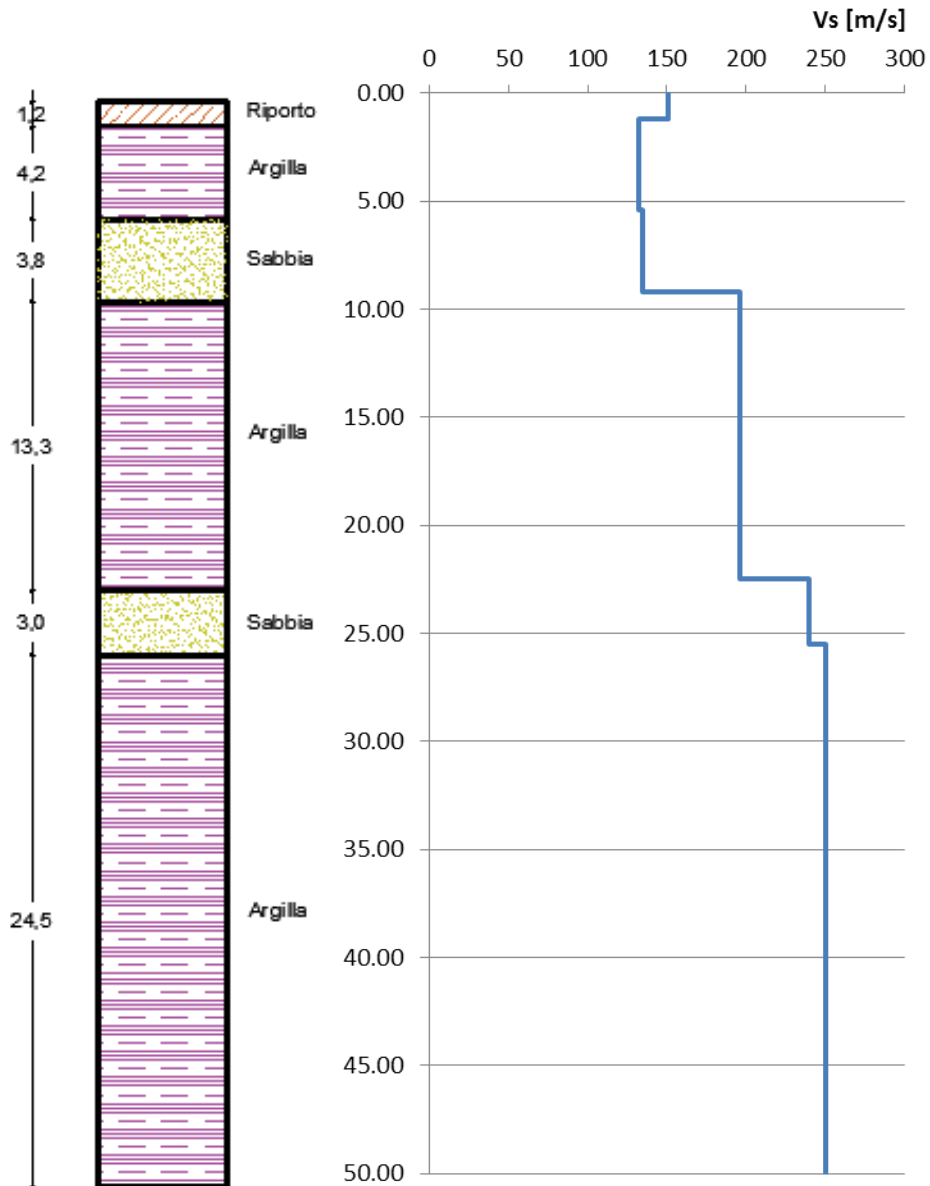
Modello geotecnico di Cavezzo 1/3

Caratterizzazione dei terreni al di sotto dei 15m da sondaggio S6 e da prova penetrometrica elettrica CPTU 3, presenza di un ulteriore strato sabbioso profondo (22m dal p.c.) e argille sottostanti

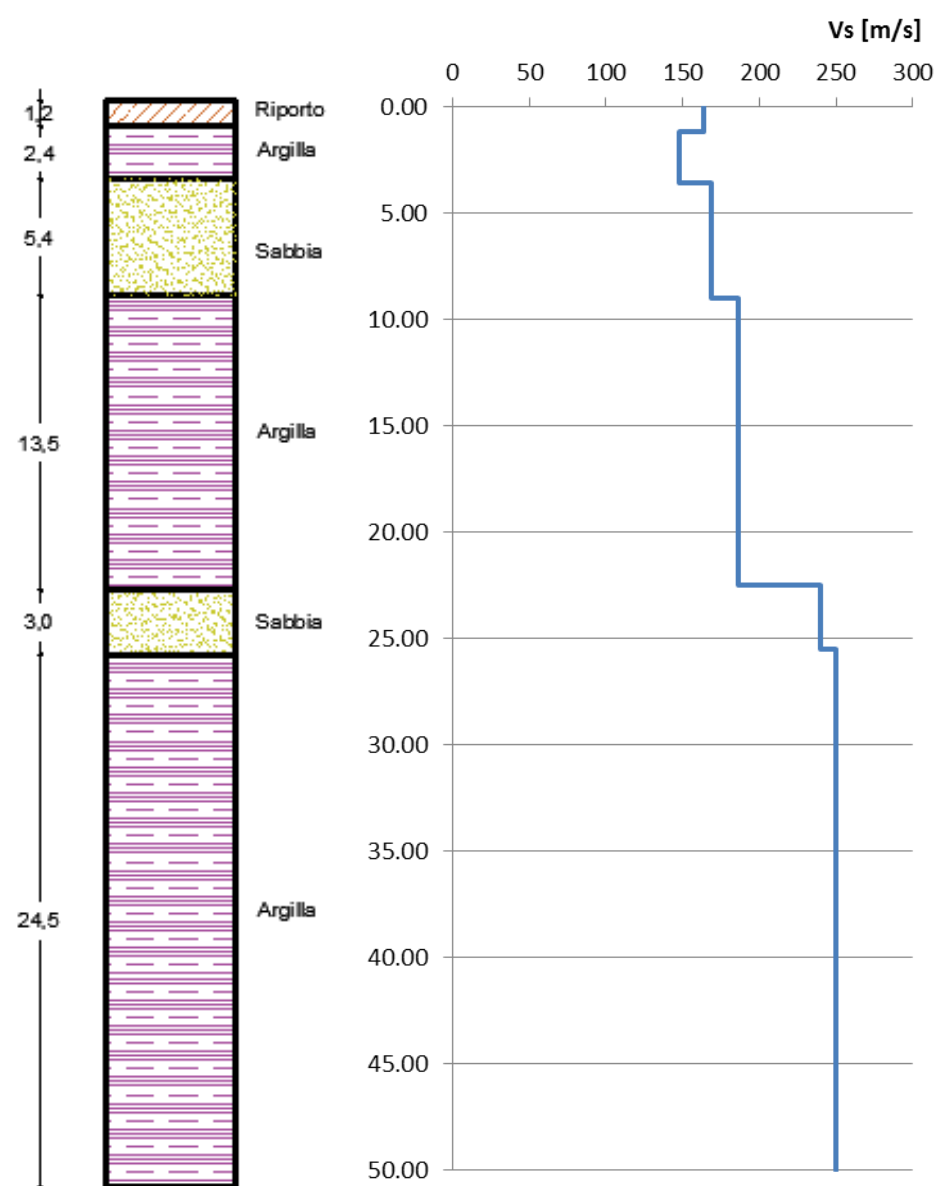


Modello geotecnico di Cavezzo 2/3 – Profili di velocità

Verticale nel paleo-alveo



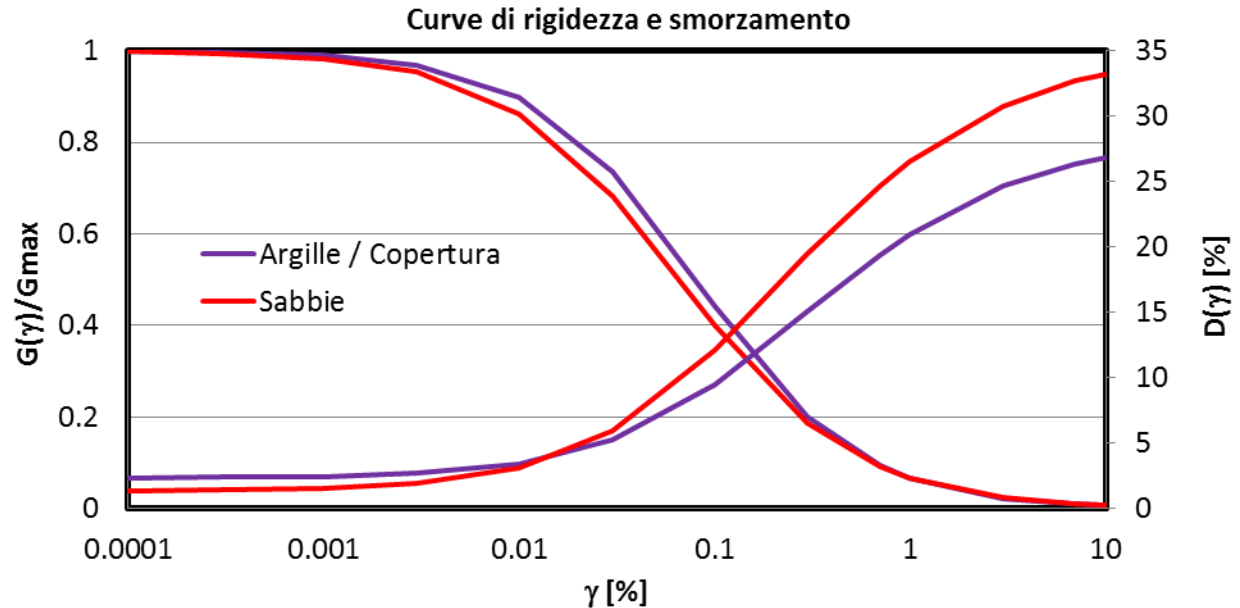
Verticale nel paleo-argine



Modello geotecnico di Cavezzo 3/3 – Curve di rigidezza e smorzamento

Prove di colonna risonante
eseguite nei comuni limitrofi :

- Mirandola
- Crevalcore
- Poggio Renatico
- Novi di Modena
- Scortichino



Modello iperbolico modificato MKZ (Matasovic, 1993) per la definizione delle curve di decadimento della rigidezza

$$\frac{G(\gamma)}{G_{\max}} = \frac{1}{1 + \beta \cdot \left(\frac{\gamma}{\gamma_{\text{ref}}} \right)^s}$$

Fattore di riduzione dello smorzamento isteretico (Phillips & Hashash, 2009)

$$F(\gamma_m) = \frac{D_{\text{Measured}}}{D_{\text{Masing}}} = P1 - P2 \cdot \left(1 - \frac{G(\gamma)}{G_{\max}} \right)^{P3}$$

	D₀	β	s	γ_r	P1	P2	P3
Argille/Copertura	2.33	1.8	1.05	0.14	0.5	0.13	0.6
Sabbie	1.32	1.485	0.975	0.099	0.596	0.04	3.15

Modello geotecnico di Cavezzo 3/3 – Sovrappressioni neutre

Sovrappressione neutra indotta in
funzione del numero di cicli

Terreni sabbiosi Matasovic (1992)

$$r_u = \frac{\Delta u}{\sigma'_v} = \frac{f \cdot F \cdot p \cdot N_c \cdot (\gamma_c - \gamma_{tpv})^s}{1 + f \cdot F \cdot p \cdot N_c \cdot (\gamma_c - \gamma_{tpv})^s}$$

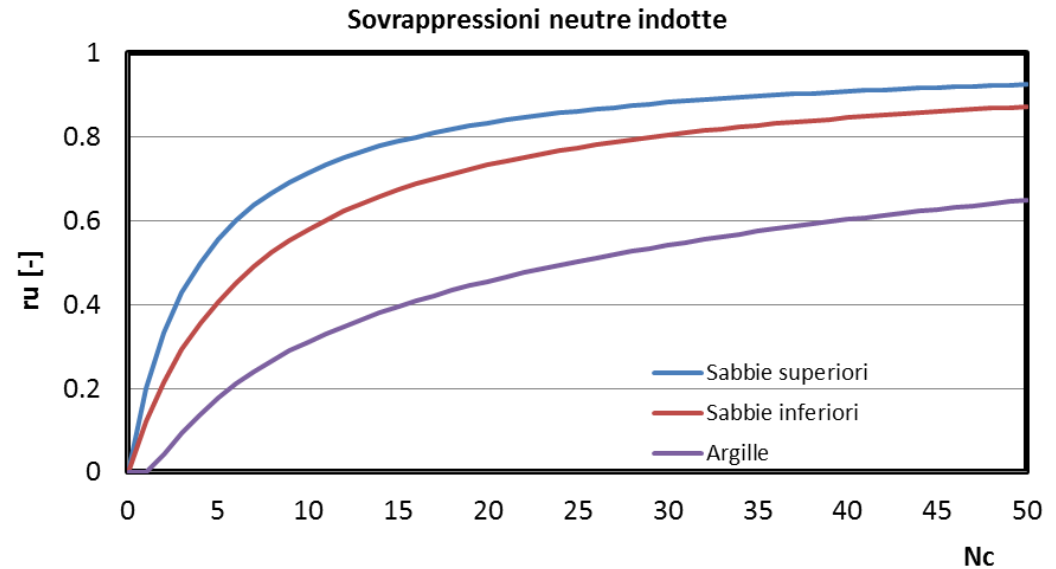
Terreni argillosi Matasovic (1995)

$$r_u = \frac{\Delta u}{\sigma'_v} = A \cdot N_c^{-3s(\gamma_c - \gamma_{tpv})^s} + B \cdot N_c^{-2s(\gamma_c - \gamma_{tpv})^s} + C \cdot N_c^{-s(\gamma_c - \gamma_{tpv})^s} + D$$

I parametri sono deducibili da prove cicliche condotte in condizioni di deformazione controllata, non disponibili per il sito in esame, correlazioni di Carlton (2014)

	f	F	s	p	γ_{tpv}
Sabbie superiori	2.00	1.800	1.050	1.00	0.02
Sabbie profonde	2.00	0.779	1.415	1.00	0.02

	A	B	C	D	γ_{tpv}	r	s
Argille	7.6451	-14.7174	6.38	0.692	0.10	0.538	0.107



$$F = 3810 \cdot V_s^{-1.55}$$

$$s = (FC + 1)^{0.1252}$$

$$A, B, C, D, r, s = f(OCR, IP)$$

1) Definizione del modello geotecnico

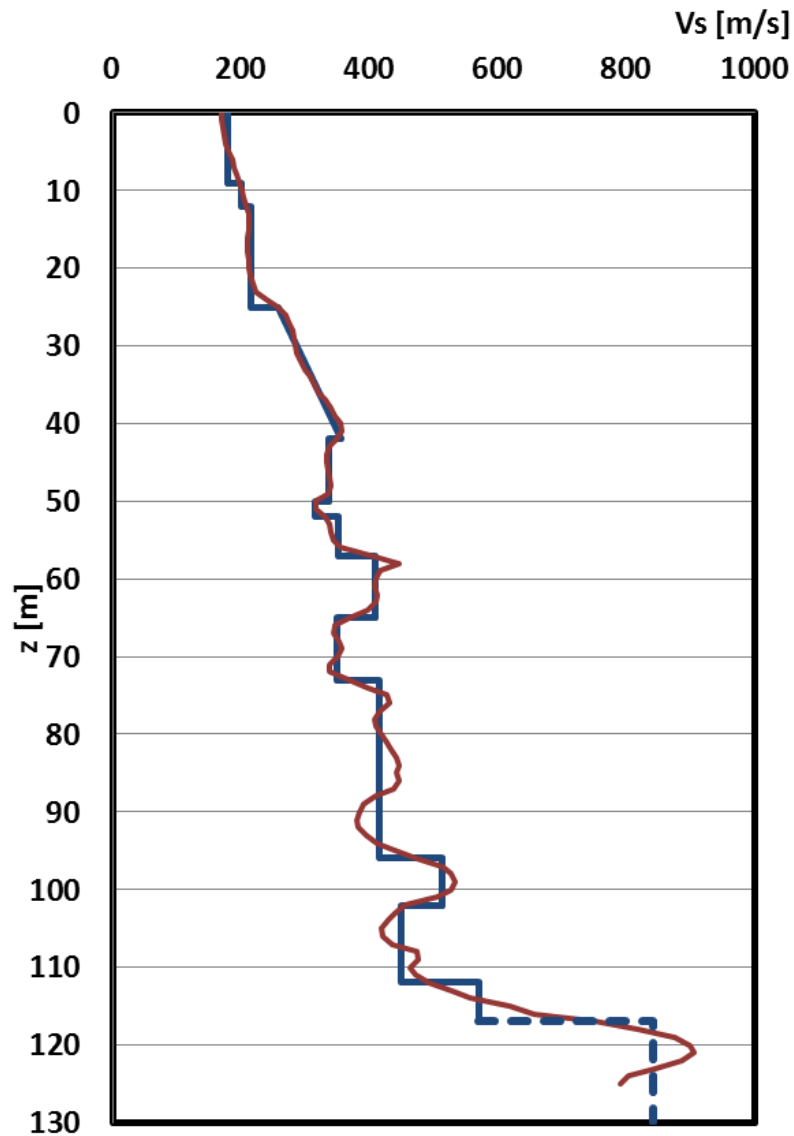
- Profilo stratigrafico
- Velocità delle onde di taglio
- Curve di rigidezza e smorzamento
- Incremento della sovrappressione neutra indotta

2) Definizione del moto sismico di input

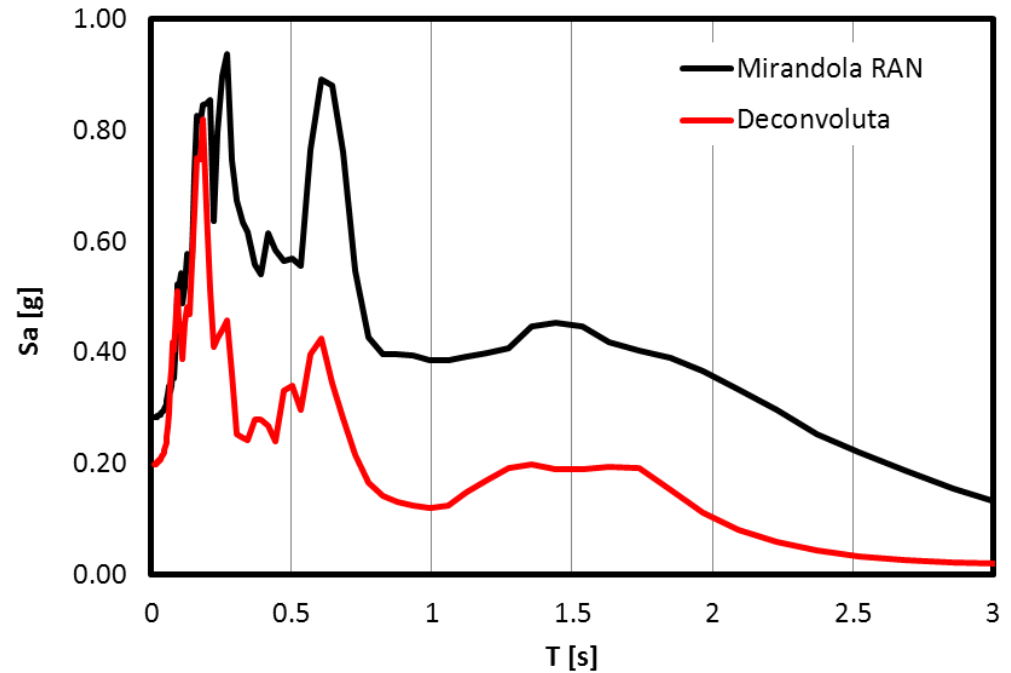
- Deconvoluzione della scossa del 29 Maggio 2012 alla stazione RAN di Mirandola

Deconvoluzione del moto sismico 29/05/2012

Profilo di velocità stazione RAN - Mirandola



Moto sismico registrato alla stazione accelerometrica di Mirandola su suolo di categoria C, assumendo la corrispondenza dei profili a -50 m dal P.C. (base delle sabbie grossolane a Mirandola)



Effetti di liquefazione a Cavezzo

1) Definizione del modello geotecnico

- Profilo stratigrafico
- Velocità delle onde di taglio
- Curve di rigidezza e smorzamento
- Incremento della sovrappressione neutra indotta

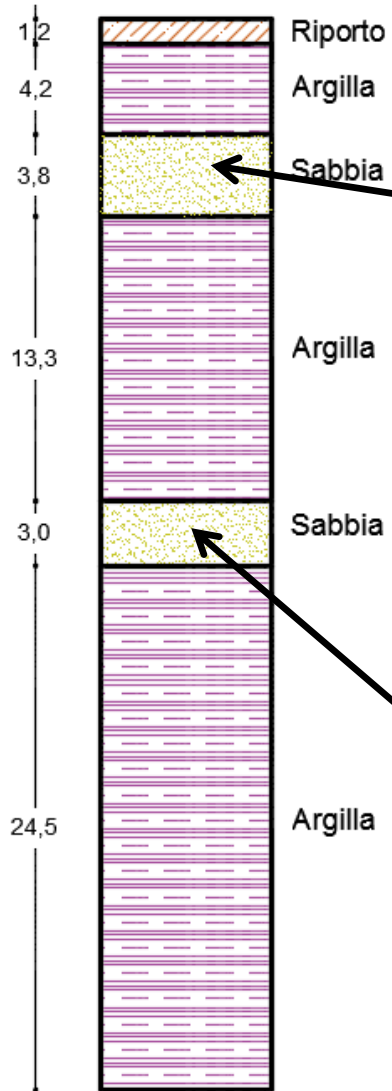
2) Definizione del moto sismico di input

- Deconvoluzione della scossa del 29 Maggio 2012 alla stazione RAN di Mirandola

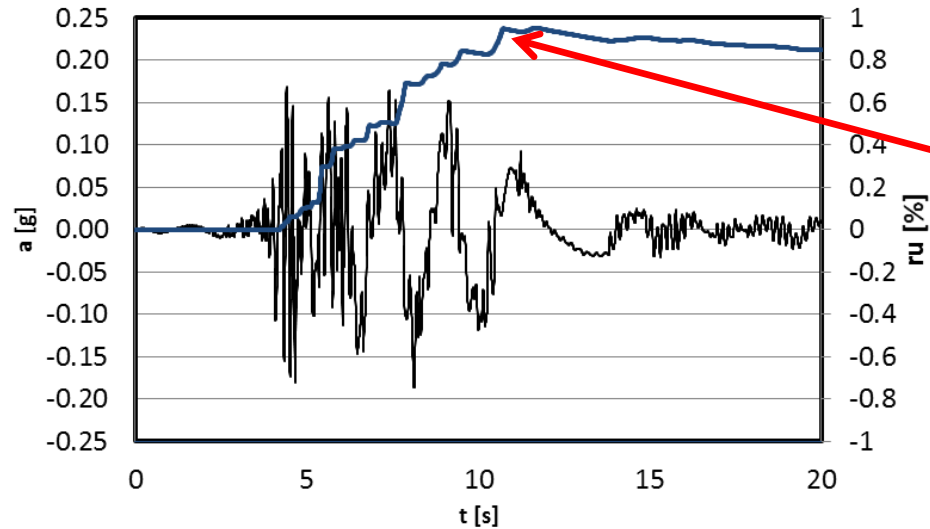
3) Sintesi dei risultati

- Andamento della sovrappressione neutra indotta negli strati sabbiosi

Risultati analisi verticale nel paleo-alveo

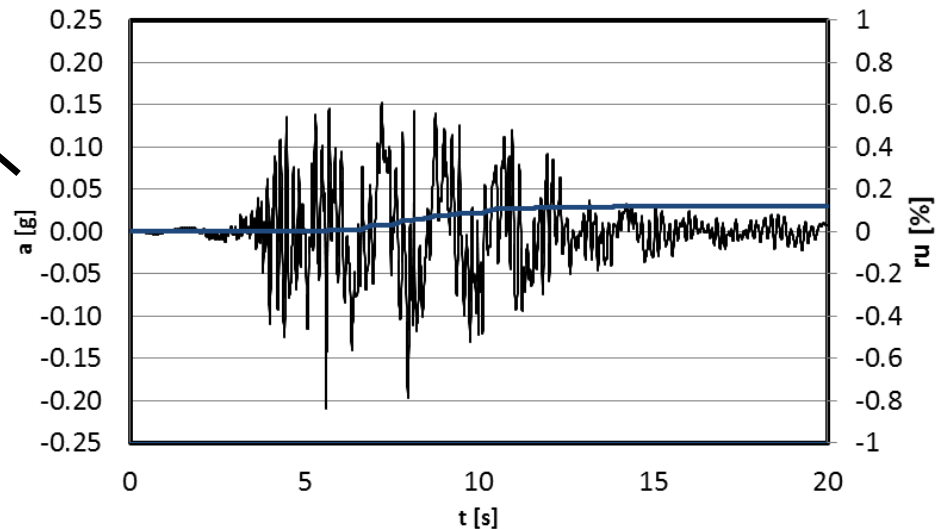


Sabbie superiori



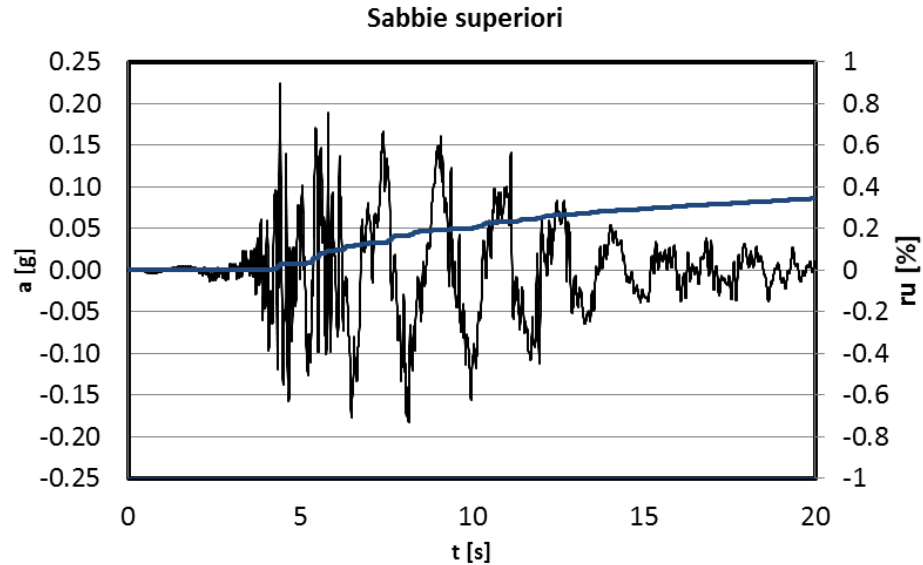
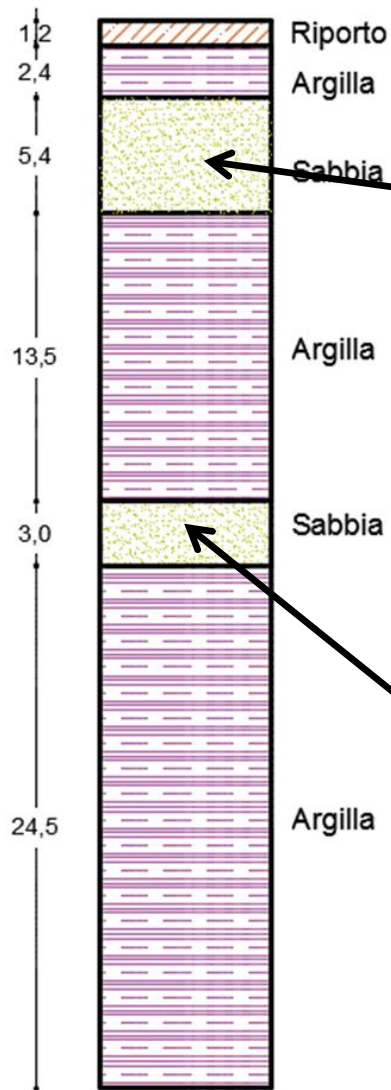
**$ru = 1$: Innesco della
liquefazione nelle
sabbie superiori**

Sabbie inferiori

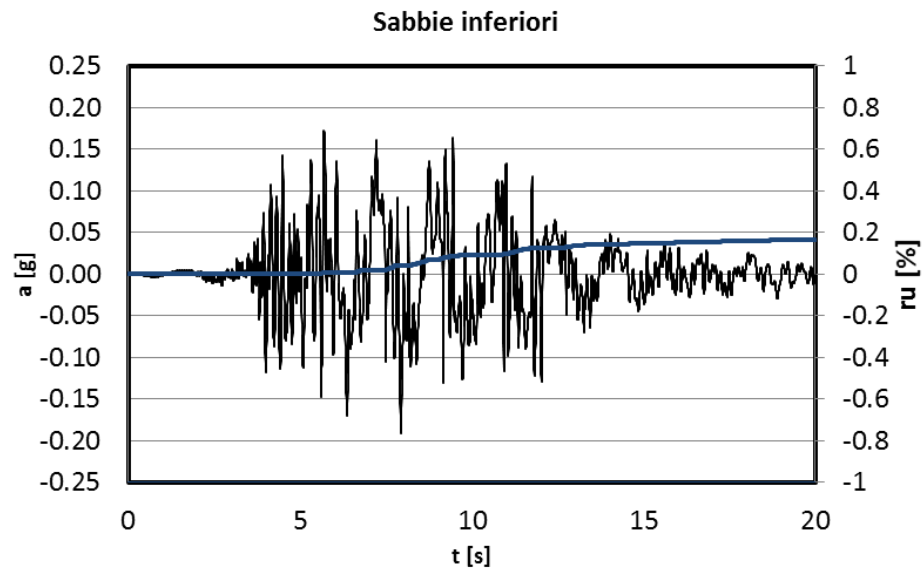


**$ru < 1$: No liquefazione
nelle sabbie inferiori**

Risultati analisi verticale nel paleo-argine



**ru < 1 : No liquefazione
nei 2 strati sabbiosi**



Conclusioni

- 1) Il modello adottato riproduce i fenomeni di liquefazione effettivamente accaduti nel territorio comunale di Cavezzo
- 2) Il fattore predisponente che determina la liquefacibilità della verticale più vicina al paleo-alveo è presumibilmente la minore *densità relativa* come testimoniano le prove penetrometriche
- 3) Sebbene il modello riproduce i fenomeni di liquefazione, data la scarsità delle indagini in sito a disposizione (soprattutto per la caratterizzazione degli strati più profondi) esso rappresenta, allo stato attuale, un primo approccio atto a riprodurre i fenomeni di liquefazione effettivamente osservati nel territorio di Cavezzo.

Grazie per l'attenzione