

# FERRARA E I TERREMOTI VENT'ANNI DOPO

*Prevenzione e Riduzione del rischio sismico*

*Problematiche geologiche geotecniche rilevate  
nell'iniziativa benefica dei Geologi Ferraresi  
"Adotta un Monumento"*

Relatori : Dr. Geol. Antonio Mucchi  
Dr. Geol. Marilena Martinucci

ORGANIZZAZIONE DEL CONVEGNO A CURA DI:  
**Consulta Provinciale Geologi Ferraresi**  
con il patrocinio di



# ***“ADOTTA UN MONUMENTO”***

*Iniziativa dei geologi ferraresi con il patrocinio dell'Ordine dei Geologi dell'Emilia Romagna rivolta ai Comuni dell'Alto Ferrarese colpiti dal sisma del Maggio 2012 .*

*I Geologi Ferraresi hanno offerto gratuitamente la loro prestazione professionale per la redazione della relazione geologica - geotecnica, comprensiva di indagini in sito ed analisi geotecniche di laboratorio.*

# ADOTTA UN MONUMENTO INIZIATIVA DEI GEOLOGI FERRARESI

INIZIATIVA DEI GEOLOGI FERRARESI CON IL PATROCINIO  
DELL'ORDINE DEI GEOLOGI DELL'EMILIA ROMAGNA  
RIVOLTO AI COMUNI COLPITI DAL SISMA DEL MAGGIO 2012

I Geologi Ferraresi offrono gratuitamente la loro prestazione professionale  
per la redazione della relazione geologica-geotecnica,  
comprensiva di indagine in sito e prove di laboratorio per:



CHIESA SANTA BIANCA  
BONDENO



ROCCA DI STELLATA  
BONDENO



MUNICIPIO  
MIRABELLO



CIMITERO  
DI SANT'AGOSTINO



SCUOLA  
DI VIGARANO MAINARDA



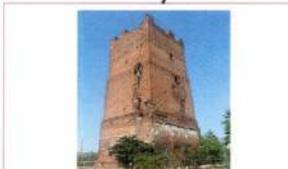
MUNICIPIO  
SANT'AGOSTINO



MODULI SCUOLA  
AQUILONE (FE)



MUNICIPIO  
CENTO



TORRE DELL'UCCELLINO  
POGGIO RENATICO



SCUOLA DEFINITIVA  
AQUILONE (FE)

LE INDAGINI SONO STATE ESEGUITE NEL RISPETTO DELLA NTC/2008 CHE PREVEDE L'OBBLIGATORietà DELLA RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

## ***Norma purtroppo non sempre rispettata***

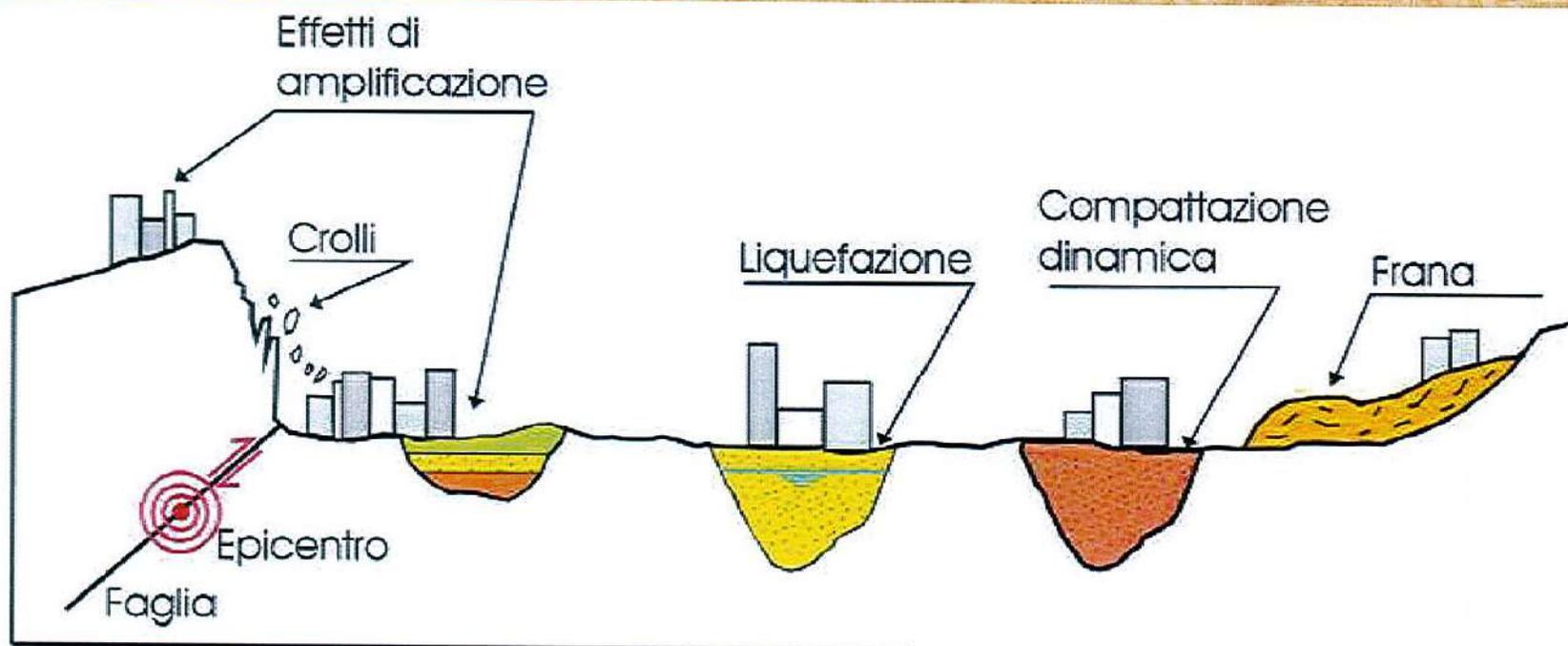
Le indagini hanno toccato i seguenti aspetti:

- Indagini Geognostiche (sondaggi, penetrometrie, sismica)
- Analisi Geotecniche di laboratorio
- Ricostruzione del modello Geologico e Geotecnico

Aspetti che permettono al progettista di prevedere il comportamento del sottosuolo sia sotto le normali sollecitazioni dovute alla presenza dell'edificio stesso (**condizioni statiche**), sia in condizioni di evento sismico (***pericolosità sismica locale***)

## LA MODELLAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA SERVE A INDIVIDUARE SCENARI DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE

- Scorrimenti di faglia
- Instabilità di pendii
- Liquefazione di sabbie sature
- Amplificazione sismica
- Addensamento di terreni a grana grossa
- Subsidenza dei terreni molli a grana fine



# ADOTTA UN MONUMENTO INIZIATIVA DEI GEOLOGI FERRARESI

## RISTRUTTURAZIONE DEL MUNICIPIO DI CENTO

**ADOTTA UN MONUMENTO**

INIZIATIVA DEI GEOLOGI FERRARESI CON IL PATROCINIO DELL'ORDINE DEI GEOLOGI DELL'EMILIA ROMAGNA INVOLTO AI COMUNI COLPITI DAL SISMA DEL MAGGIO 2012

I Geologi ferraresi offrono gratuitamente le loro prestazioni professionali per la redazione della relazione geologica - geotecnica, necessaria di indagine in sito e prova di laboratorio per:

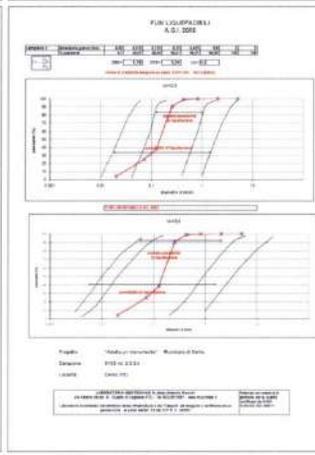
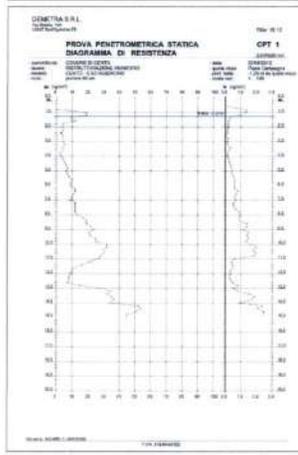
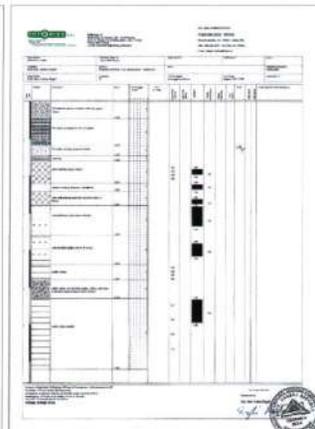
**per la ristrutturazione e adeguamento sismico del Municipio di Cento**

**Il Comitato:**

On. Gen. Carlo Agnelli	DENITRA S.R.L.
On. Gen. Andrea Dagnoli	EDISMAP S.R.L.
On. Gen. Enrico Fabbri	INDA.G.O. S.p.A.
Ing. Lorenzo Mazzoni	Remora Engineering S.r.l.
On. Gen. Antonio Mucchi	Laboratorio Geotecnico - Private
On. Gen. Enrico Sabbatini	DEMETRA S.R.L.
Ing. Barbara Tassinari	Remora Engineering S.r.l.
On. Gen. Walter Turchi	INDA.G.O. S.p.A.

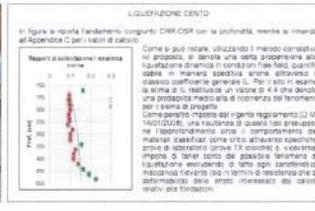
Per l'Organismo di Area Geologica Ferrarese  
Dr. Gen. Antonio Mucchi

Foto: A. 2007/2011



**Sabote liquefatti sotto il municipio (di Nuova Ferrara)**

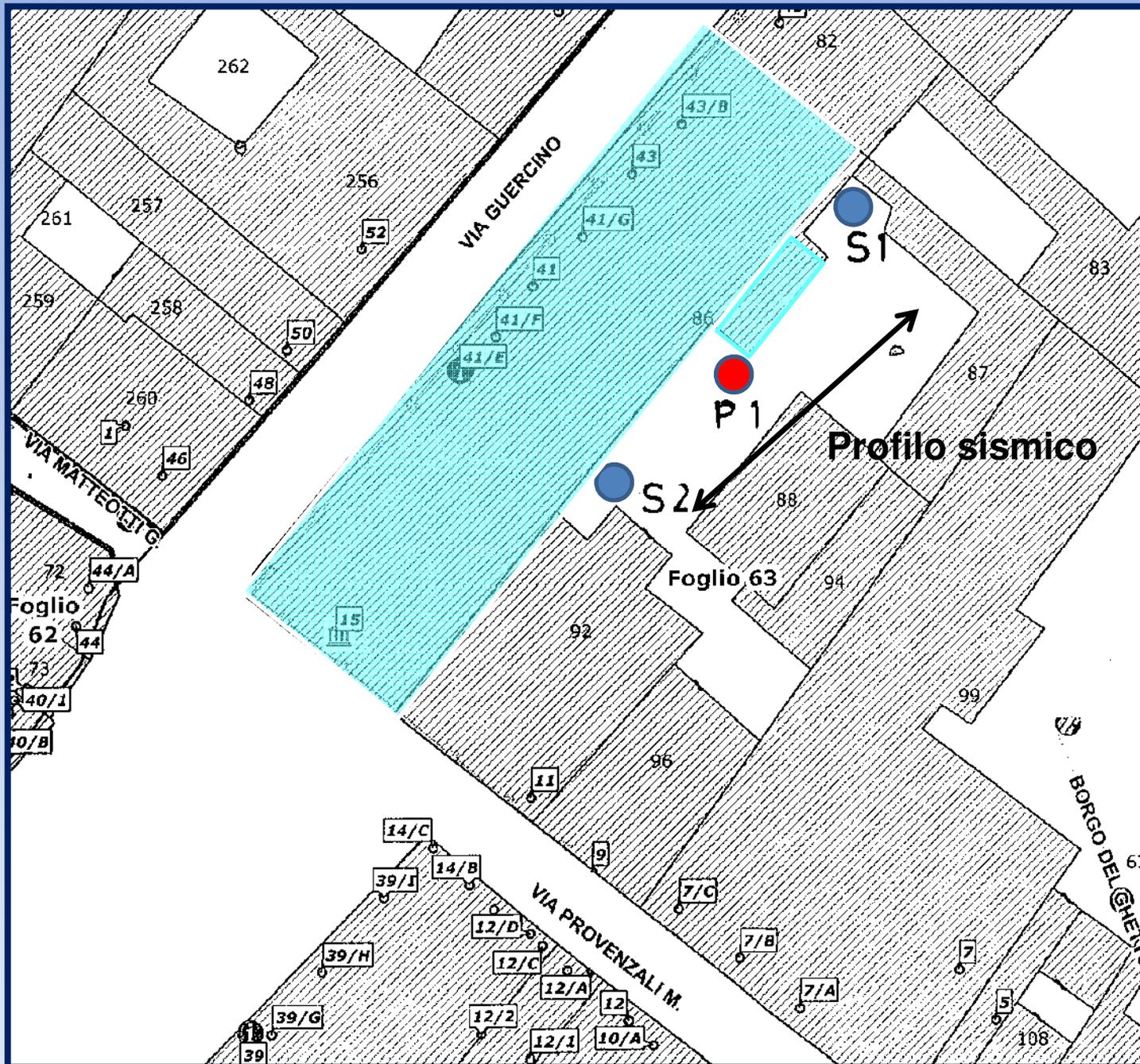
**Cento, 20 giugno** - L'indagine geologica per la ristrutturazione del municipio di Cento, in provincia di Ferrara, è stata affidata alla ditta genovese Remora Engineering. L'indagine è stata condotta in collaborazione con il Comune di Cento e l'Ordine dei Geologi Ferraresi. L'indagine ha evidenziato la presenza di terreni liquefatti sotto il municipio, in particolare nella zona del Palazzo Municipale. L'indagine ha anche evidenziato la presenza di terreni con alta suscettibilità alla liquefazione, in particolare nella zona del Palazzo Municipale. L'indagine ha anche evidenziato la presenza di terreni con alta suscettibilità alla liquefazione, in particolare nella zona del Palazzo Municipale.



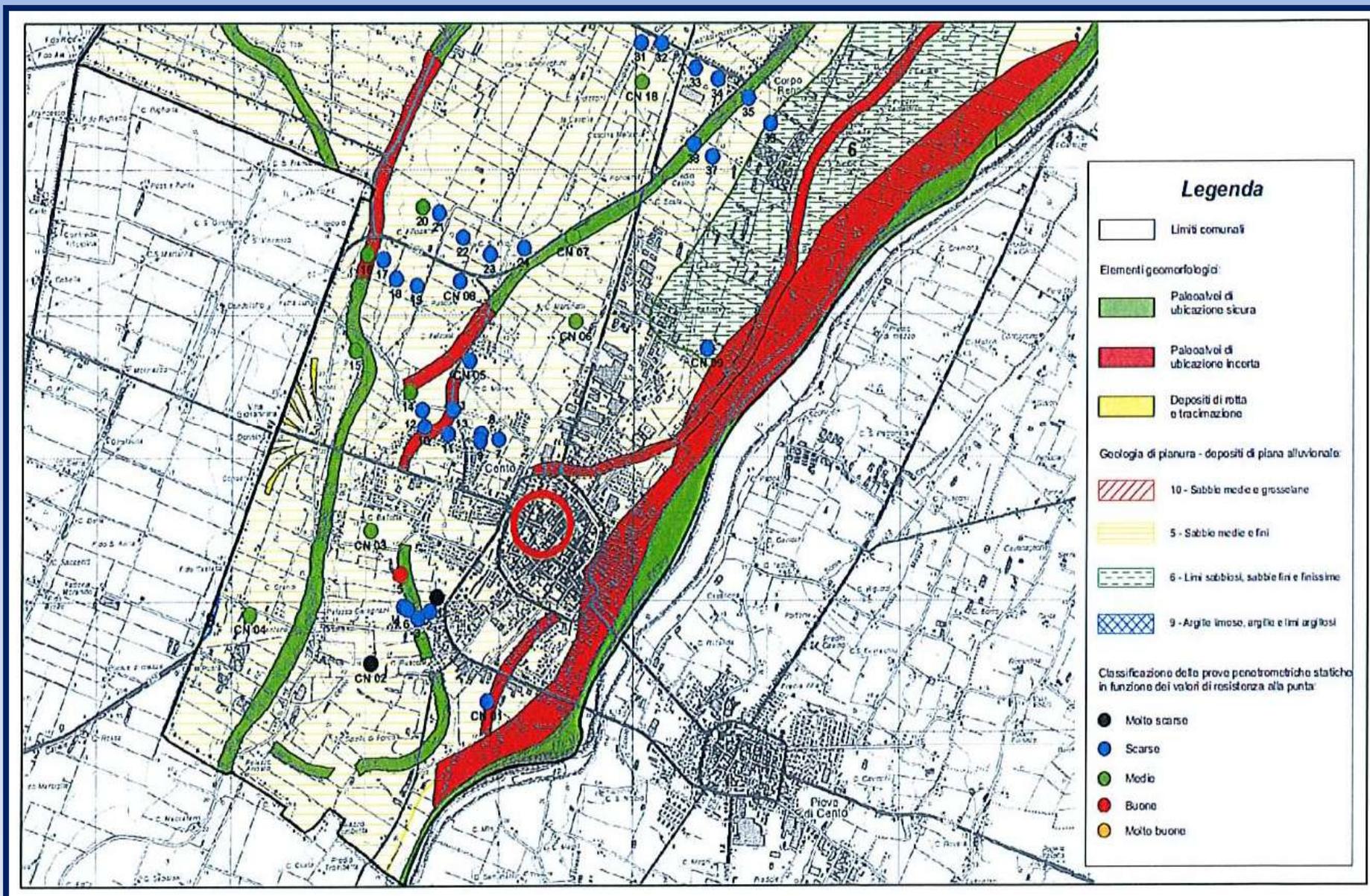
Dr. Geol. Antonio Mucchi



**Il Palazzo Comunale di Cento** venne costruito nel 1612, ma il timpano e il fastigio che ornano la facciata, caratterizzata dal tipico portico e da una balconata, furono realizzati nel 1756

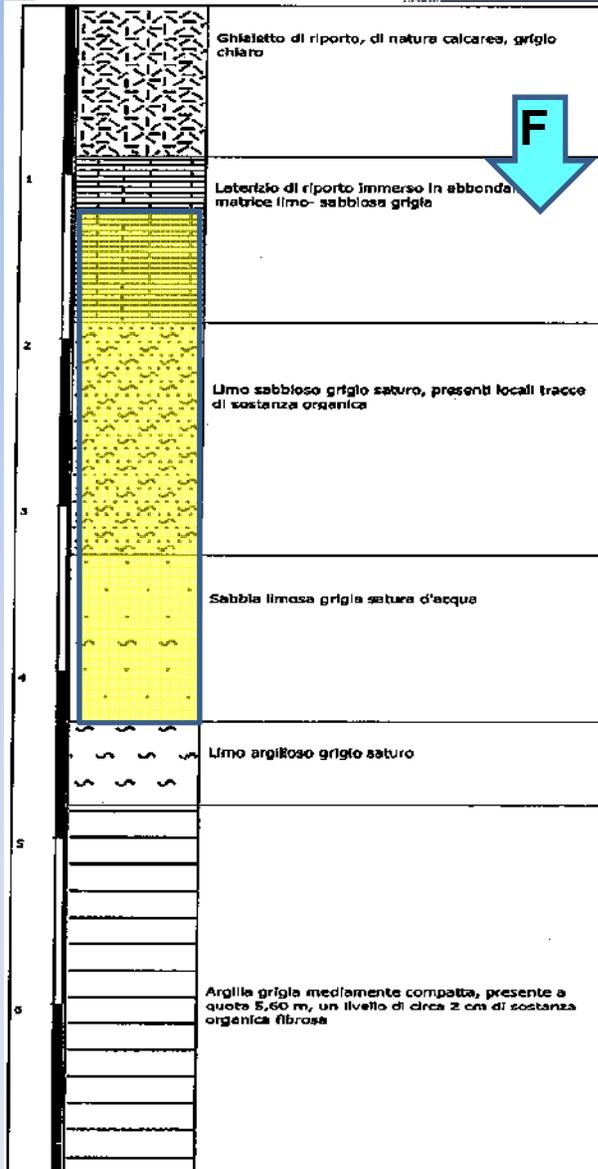


# CARTA GEOMORFOLOGICA – PSC Comuni Alto Ferrarese

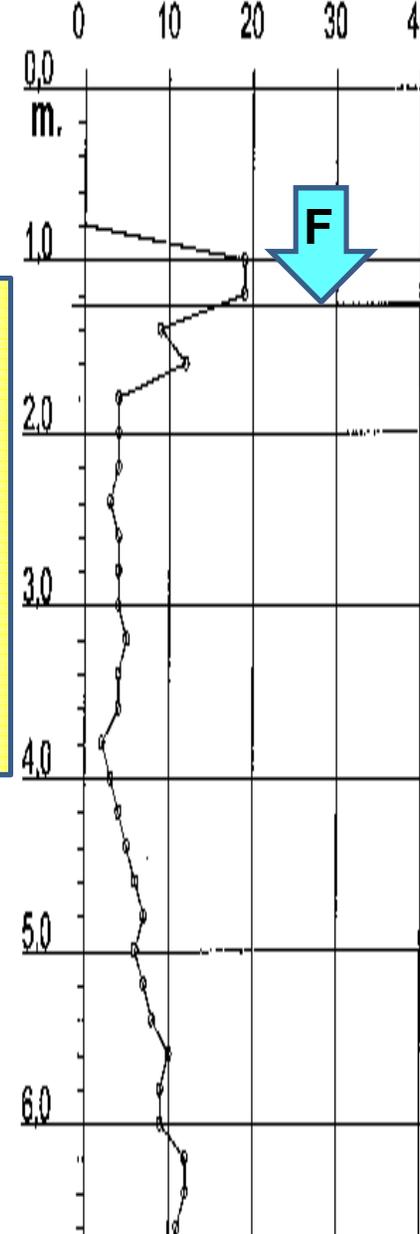


# MODELLO GEOLOGICO

## Sondaggio S2

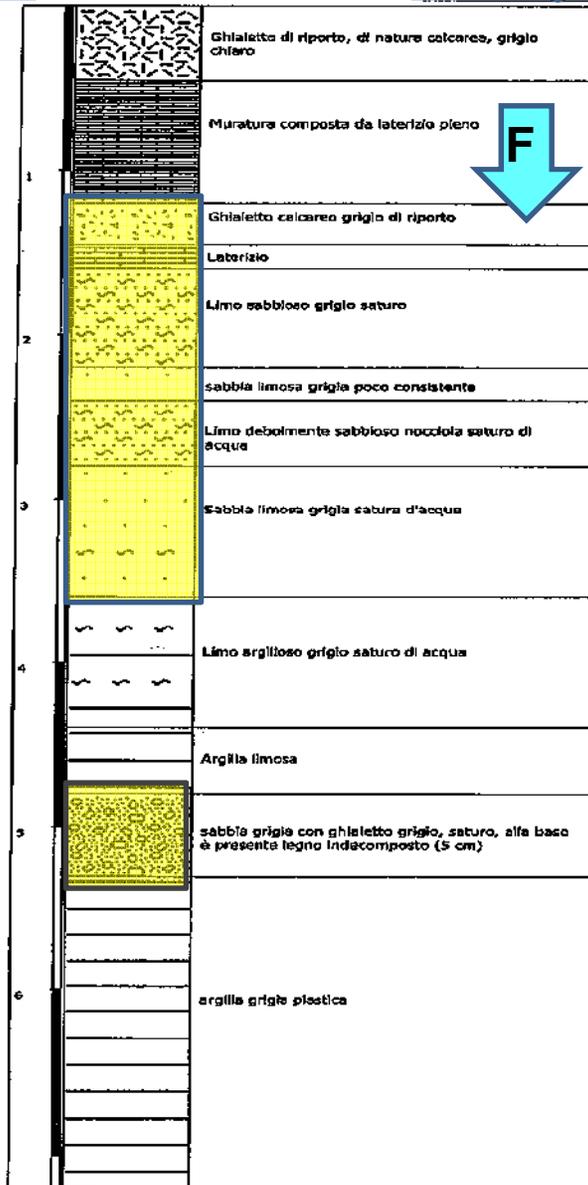


qc (kg/cm<sup>2</sup>) CPT



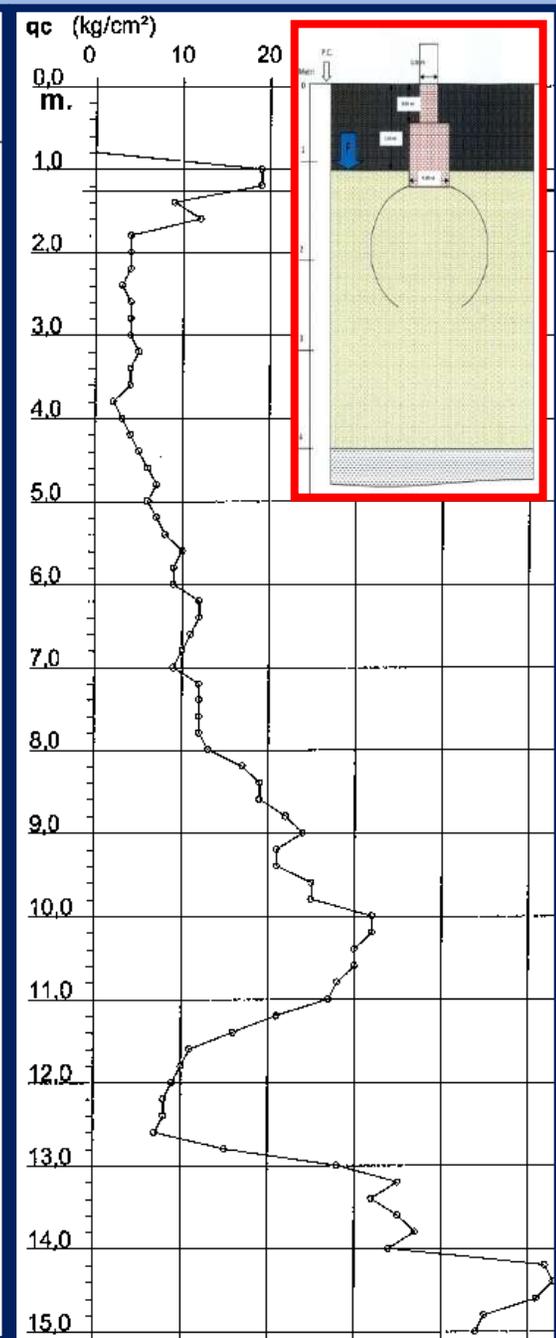
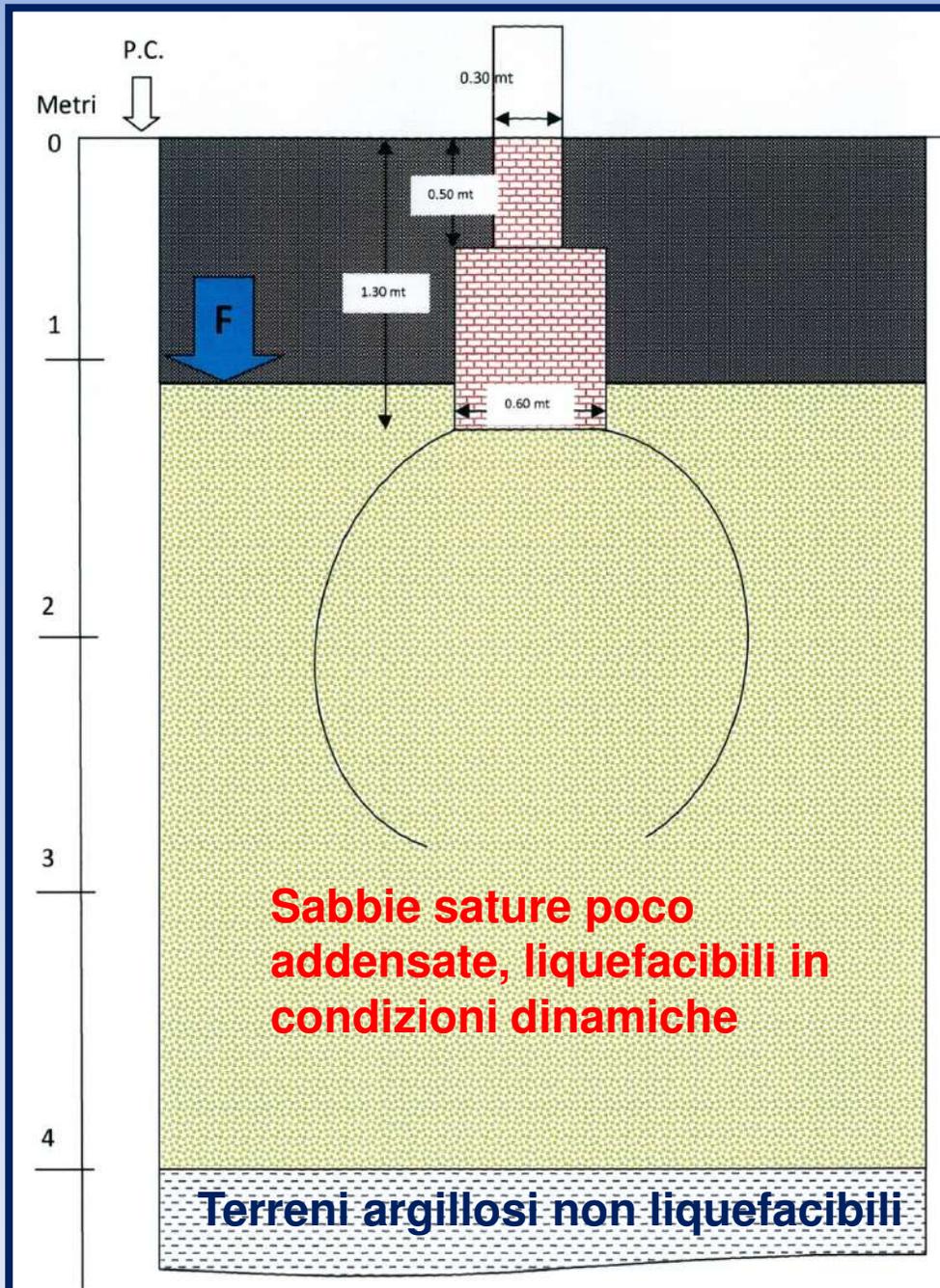
## Sondaggio S1

p.c



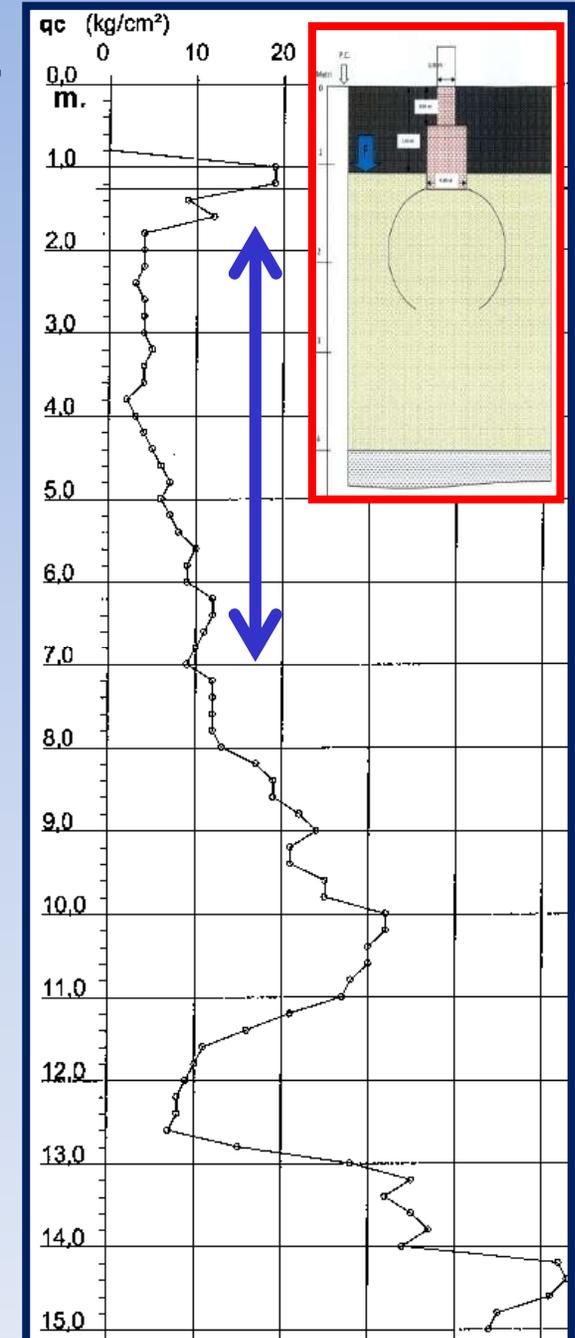
# **Il modello geologico/geotecnico ha messo in evidenza le seguenti problematiche :**

- 1) Terreni di sottofondazione a scarsi valori di portanza (condizioni statiche)
- 2) Fondazioni in muratura intestate su terreni sabbiosi saturi, falda alla profondità di mt. 1.25 dal p.c. (liquefacibili in condizioni dinamiche)



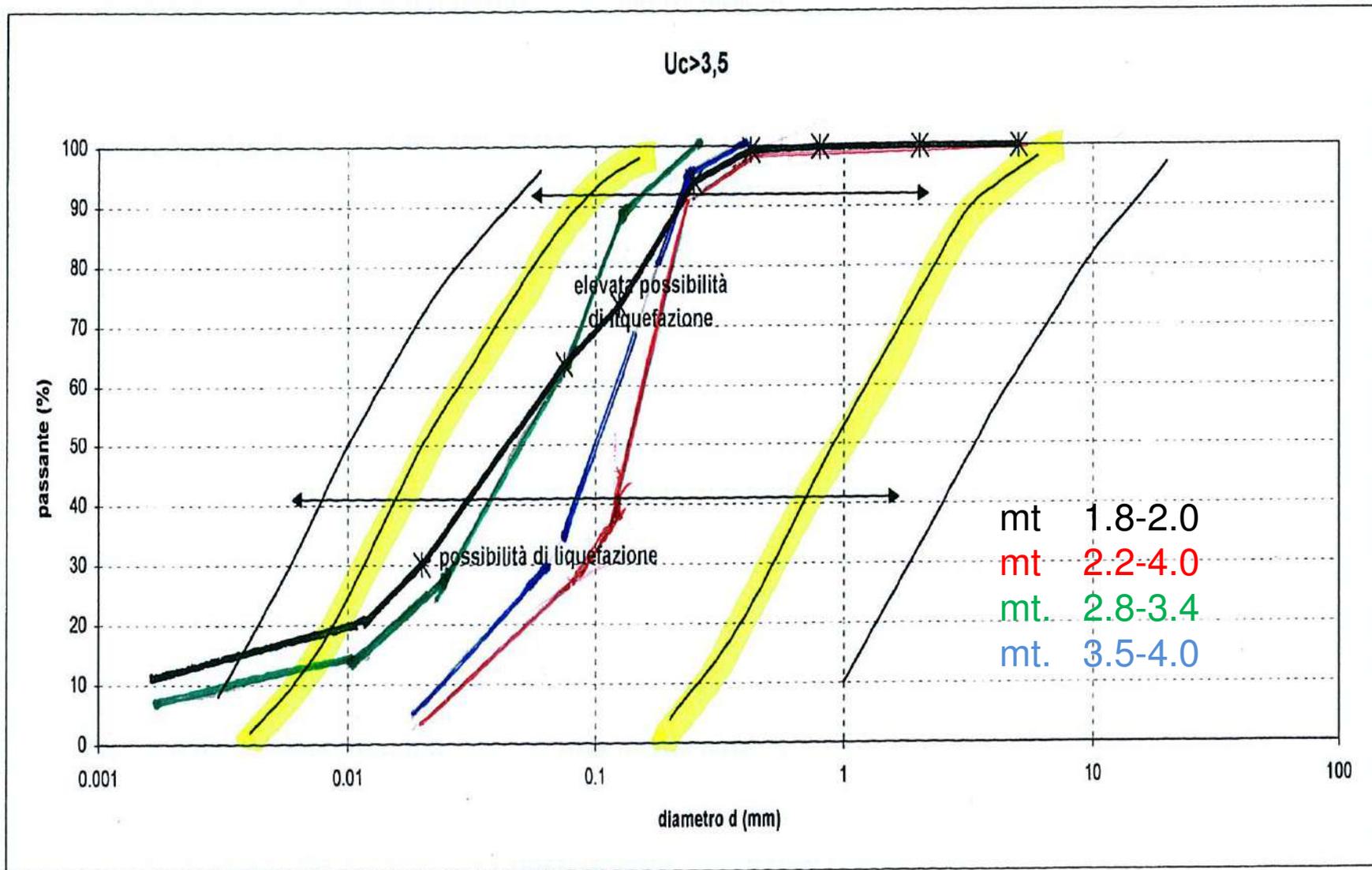
# TABELLA RIASSUNTIVA ANALISI GEOTECNICHE

Campione	S1C1	S1C2	S1C3	S1C4	S1C5	S1C6	S2C4
Prof. mt.	1.8-2.0	2.2-2.4	2.6-2.8	2.8-3.4	3.8-4.2	5.3-5.6	6.5-7.0
P.P. kPa	20	*	20	*	45	80	90
V.T. kPa	*	*	*	*	10	40	40
L.L. %	n.d.	n.d.	n.d.	n.p.	*	61	83
I.P. %	n.p.	n.p.	n.p.	n.d.	*	37	42
%pass 0.075 mm	65	25	68	50	*	*	*
Angolo $\phi'$	*	35°	*	34°	*	*	*
Cu kPa	*	*	*	*	20	35	45
$M_o$ kPa	*	*	*	*	3560	3324	*



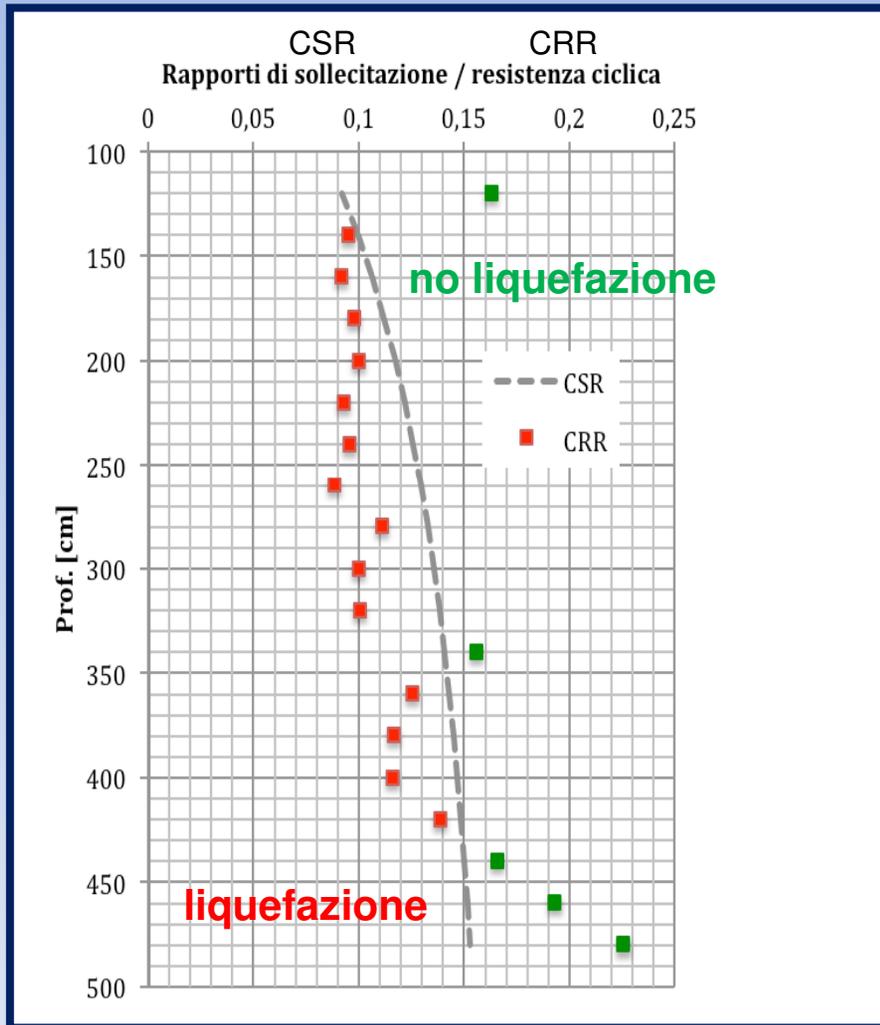
In passato i tempi di costruzione erano lunghi (**anni e non mesi come adesso**) ,la velocità di applicazione dei carichi era inferiore alla velocità di consolidamento delle argille. Questo permetteva di evolvere durante la fase di carico verso condizioni consolidate drenate ( $\phi \neq 0$ ), cioè, verso situazioni meno critiche. Si veniva a raggiungere un equilibrio precario, in cui bastava poco per romperlo (variazione falda, aumento carichi a seguito interventi di ristrutturazione, piccole scosse di terremoto, ecc) .





# VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE

PROCEDURA SEMPLIFICATA BASATA SUI RISULTATI DELLA PROVA CPT

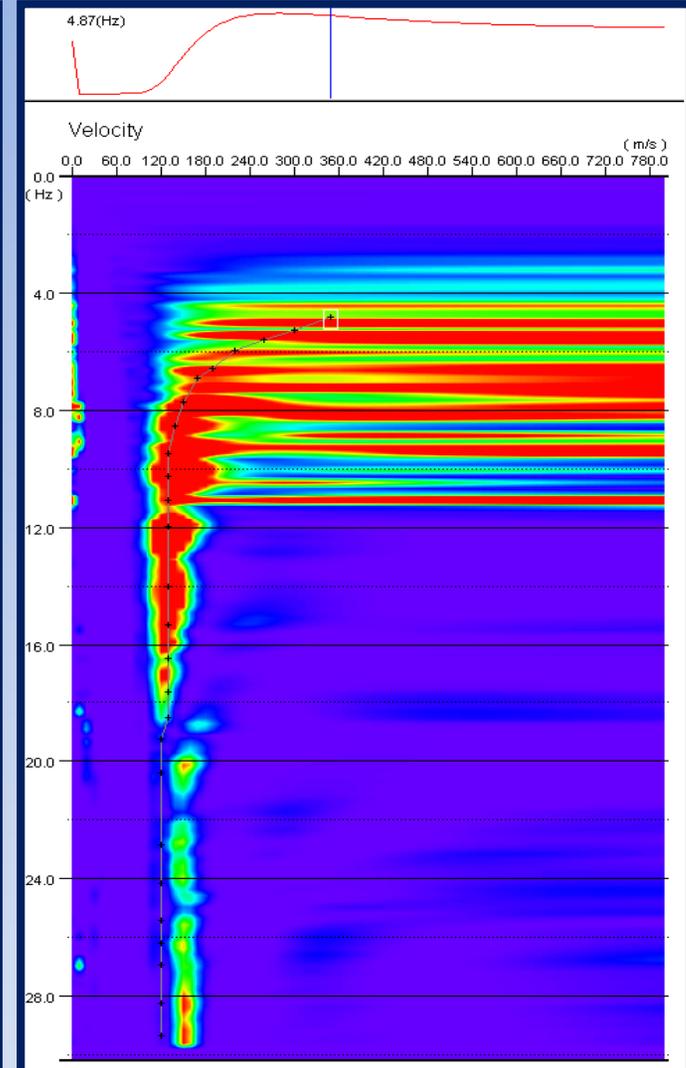
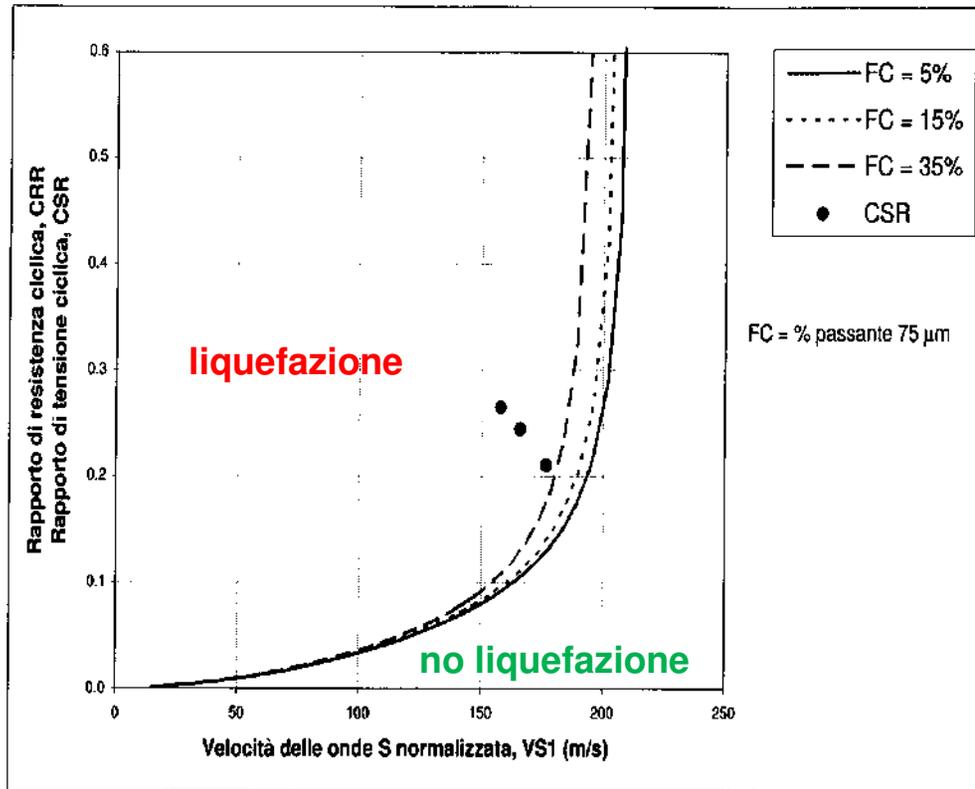


Come si può notare, utilizzando il metodo correlativo proposto, si denota una certa propensione alla liquefazione dinamica in condizioni free-field, quantificabile in maniera speditiva anche attraverso il classico coefficiente generale IL. Per il sito in esame la stima di IL restituisce un valore di 4,4 che denota una probabilità medio-alta di ricorrenza del fenomeno per il sisma di progetto

**abaco proposto da Robertson e Wride (1997)**

## VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE

Prof. mt.	Vs	Vs1	CSR	Fs
2.0	129	177	0.210	0.94
3.0	129	166	0.244	0.65
4.0	129	158	0.265	0.51



$$F_s = CRR/CSR$$

CRR = rapporto di resistenza ciclica

CSR = rapporto di tensione ciclica

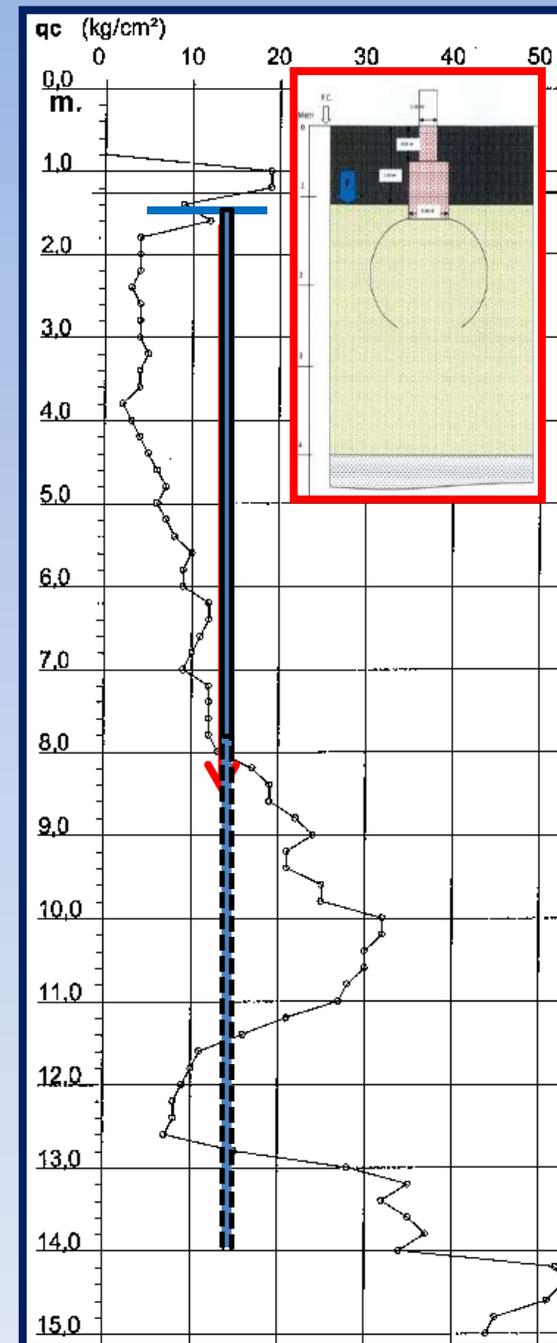
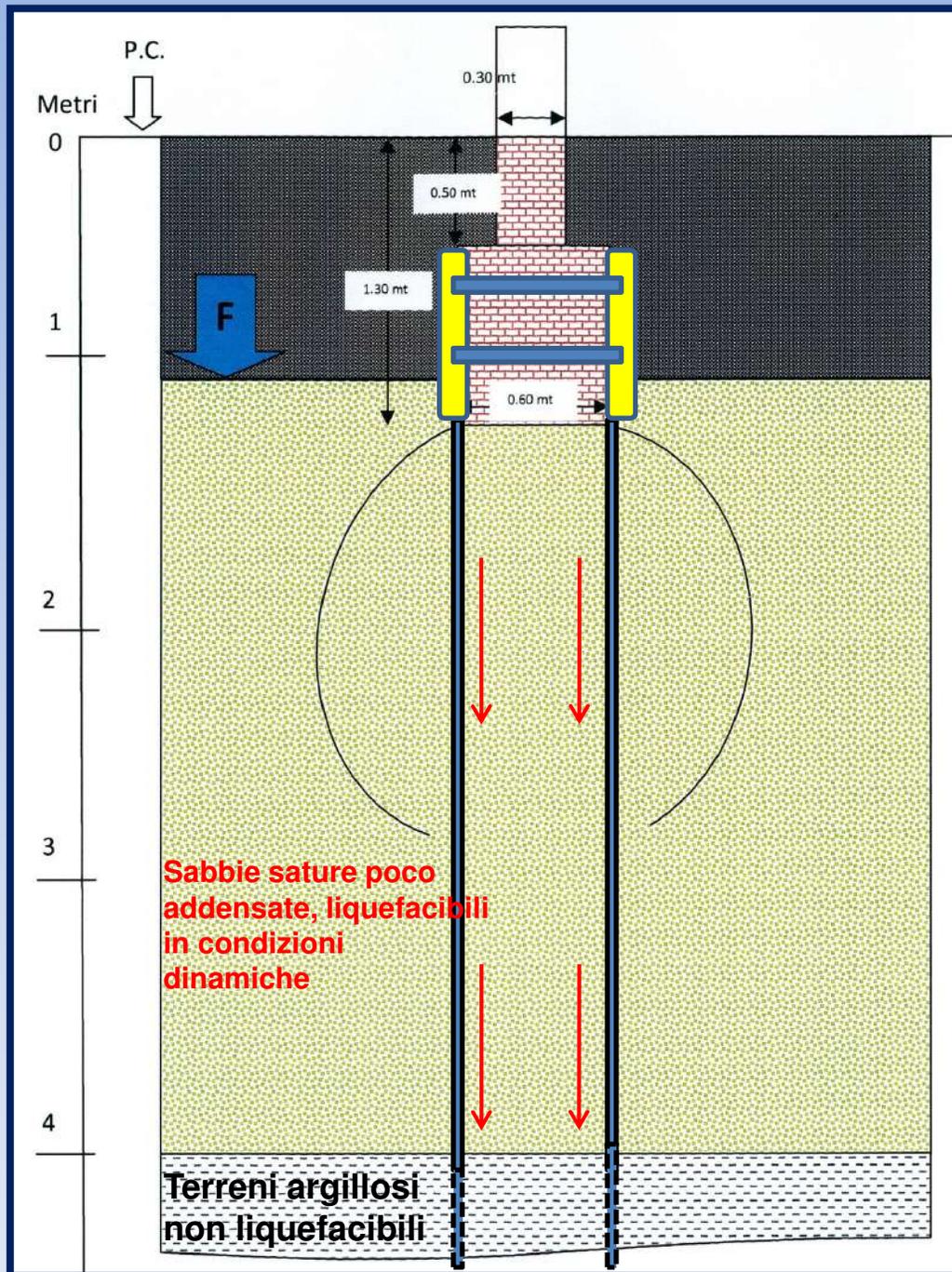
I risultati mostrano valori di  $F_s$  minori di 1, come si evince dal grafico, indicano che sussiste il rischio di liquefazione.

**La NTC/2008** stabilisce che nei casi in cui sia prevista liquefazione il terreno indagato debba essere considerato come appartenente alla **“Categoria di suolo di fondazione S2”** per i quali si prescrive un approfondimento di indagini con metodi non semplificati.

Nel caso in esame non si è ritenuto opportuno approfondire l'indagine perché i terreni in realtà a seguito del sisma del maggio 2012 hanno purtroppo subito il processo di liquefazione, e quindi andare a stabilire se i terreni erano o no liquefacibili sarebbe stato superfluo

# INTERVENTO DI MESSA IN SICUREZZA

- Rinforzo fondazioni
- Trasferire i carichi sui terreni più profondi non liquefacibili

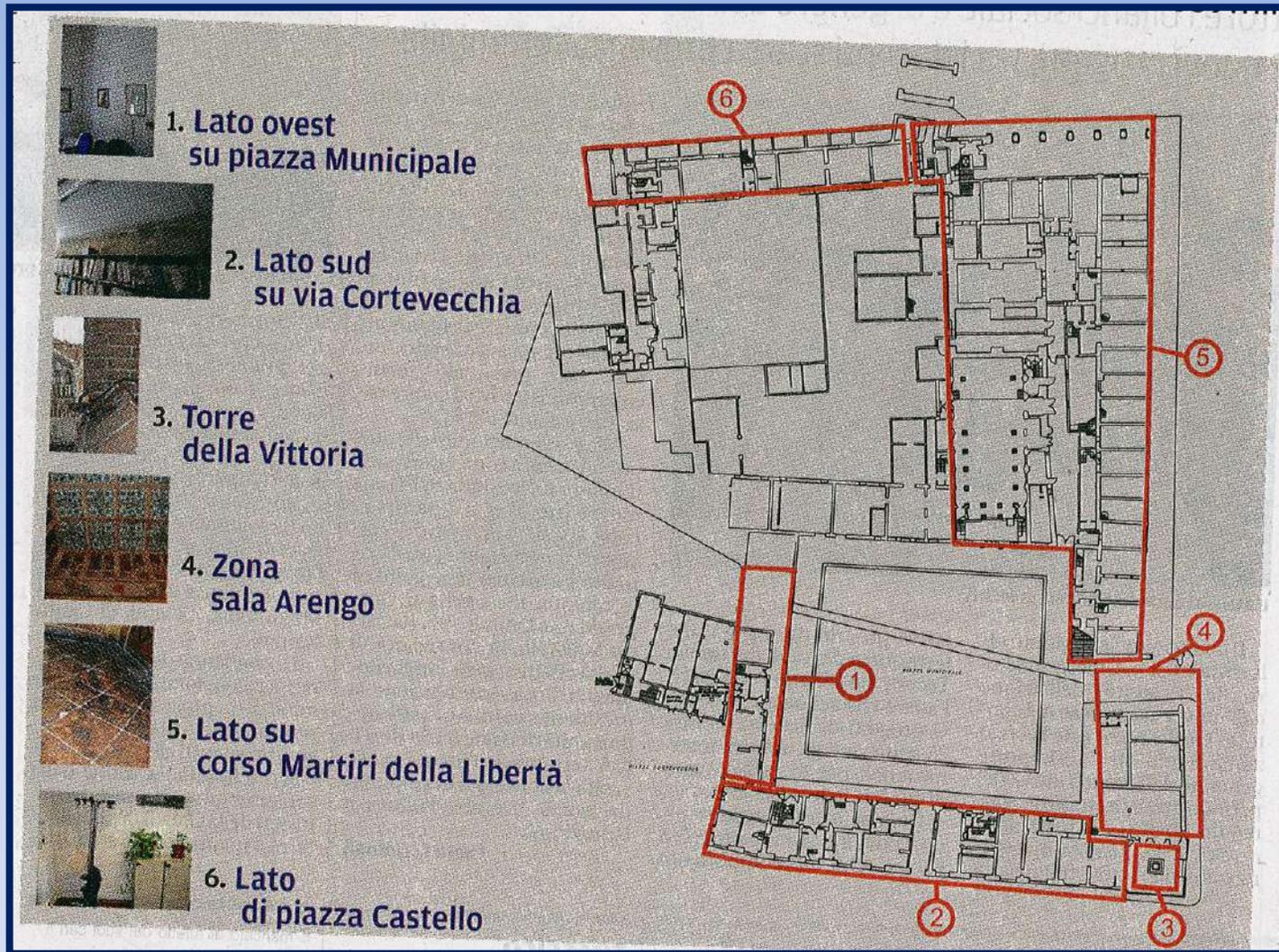


“La situazione rilevata dalle indagini geologiche - **prosegue il sindaco** - richiede di rivedere il primo progetto di recupero, pensato sulla parte che va dalle fondazioni in su. Il piano dovrà essere integrato con l'intervento sotterraneo, con aumento dei costi e tempi che si allungano”



*Bravo  
Sindaco!*

“ Ora le priorità si sono modificate - **chiude il sindaco Lodi** - prima si dovrà **garantire la stabilità della struttura** attraverso la palificazione, poi sarà possibile intervenire, senza contare il recupero della parte storica e artistica, compreso gli affreschi”



**E' di questi giorni la notizia che lunedì prossimo inizia il restauro a Ferrara di PALAZZO MUNICIPALE, ci auguriamo sia stata fatta l'indagine geologica/geotecnica nel rispetto della legislazione vigente**

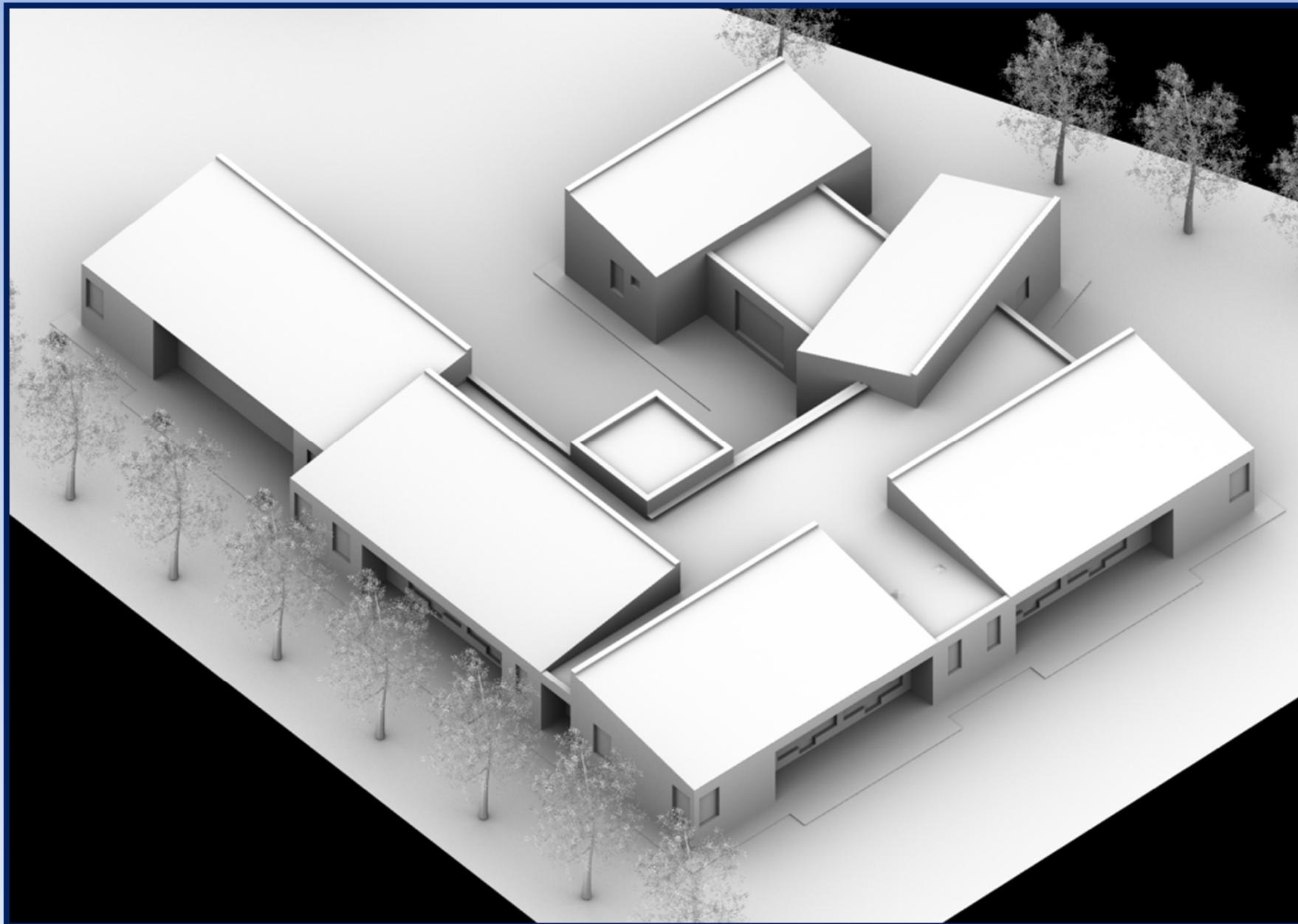


**Scuola Aquilone dissestata  
dal terremoto maggio 2012**

**Nuova scuola Aquilone**



# PLASTICO DEL PROGETTO



Dr. Geol. Antonio Mucchi

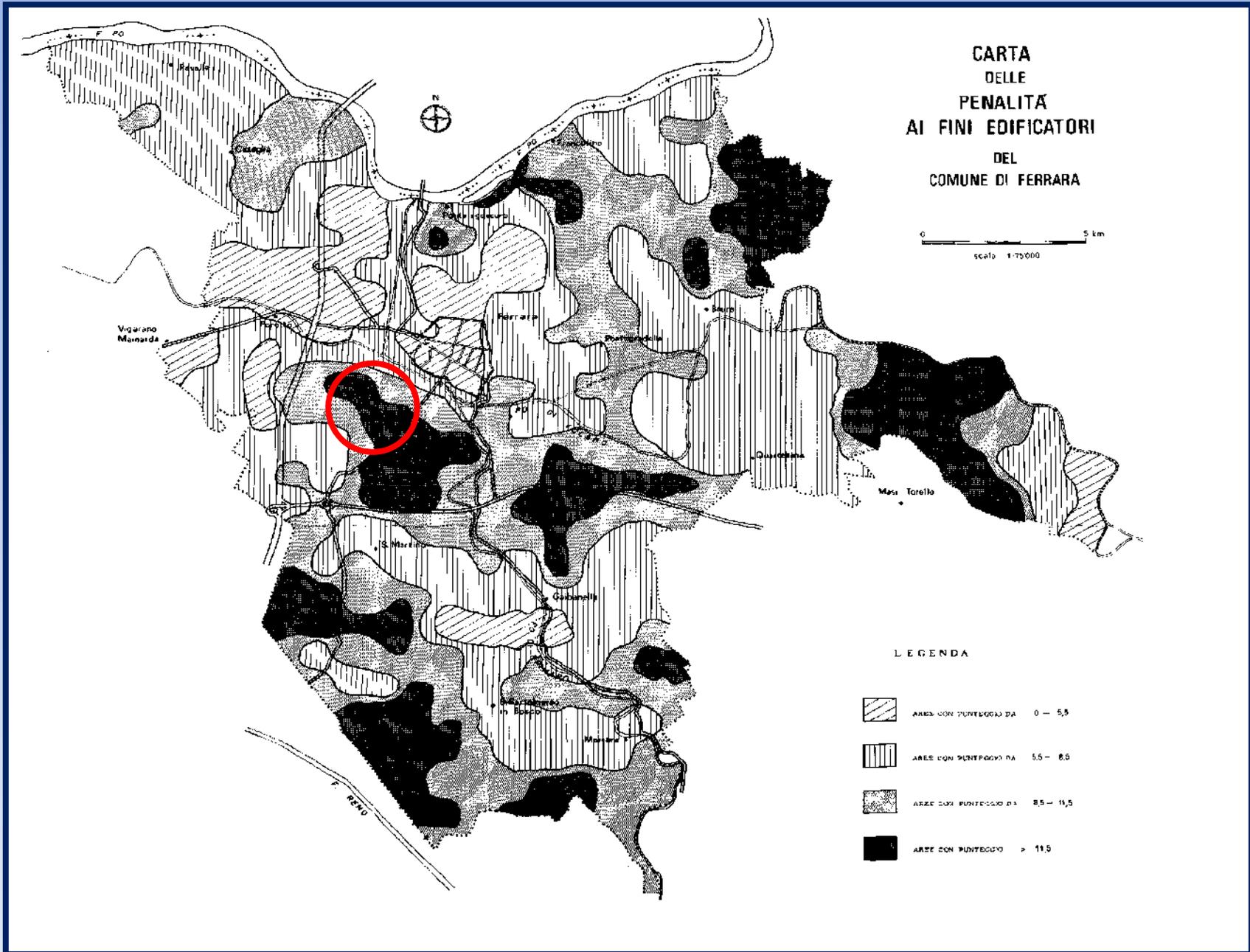
LE INDAGINI SONO STATE ESEGUITE NEL RISPETTO DELLA NTC/2008 CHE PREVEDE L'OBBLIGATORietà DELLA RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

## ***Norma purtroppo non sempre rispettata***

Le indagini hanno toccato i seguenti aspetti:

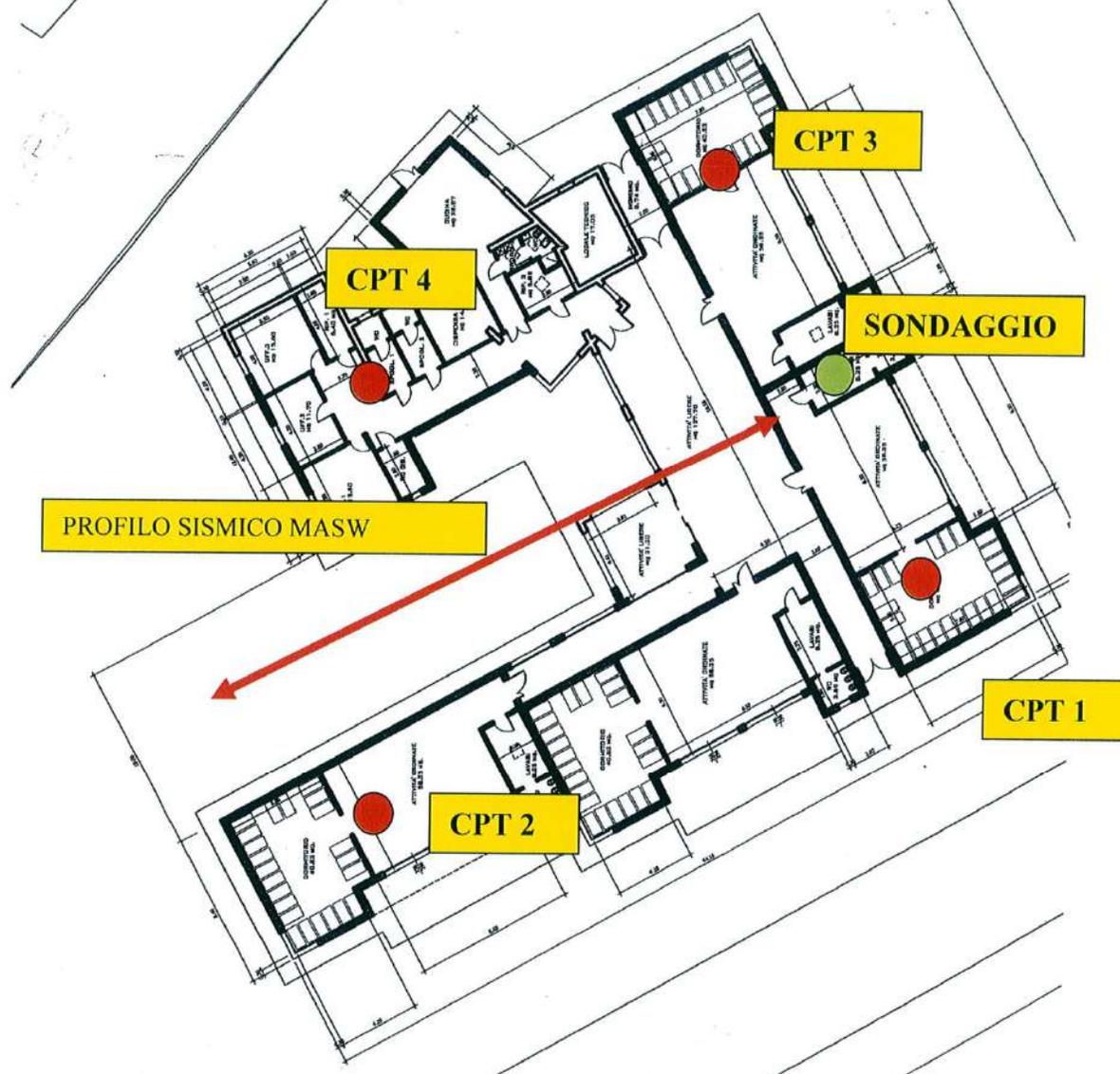
- Indagini Geognostiche (sondaggi, penetrometrie, sismica)
- Analisi Geotecniche di laboratorio
- Ricostruzione del modello Geologico e Geotecnico

Aspetti che permettono al progettista di prevedere il comportamento del sottosuolo sia sotto le normali sollecitazioni dovute alla presenza dell'edificio stesso **(condizioni statiche)**, sia in condizioni di evento sismico **(pericolosità sismica locale)**

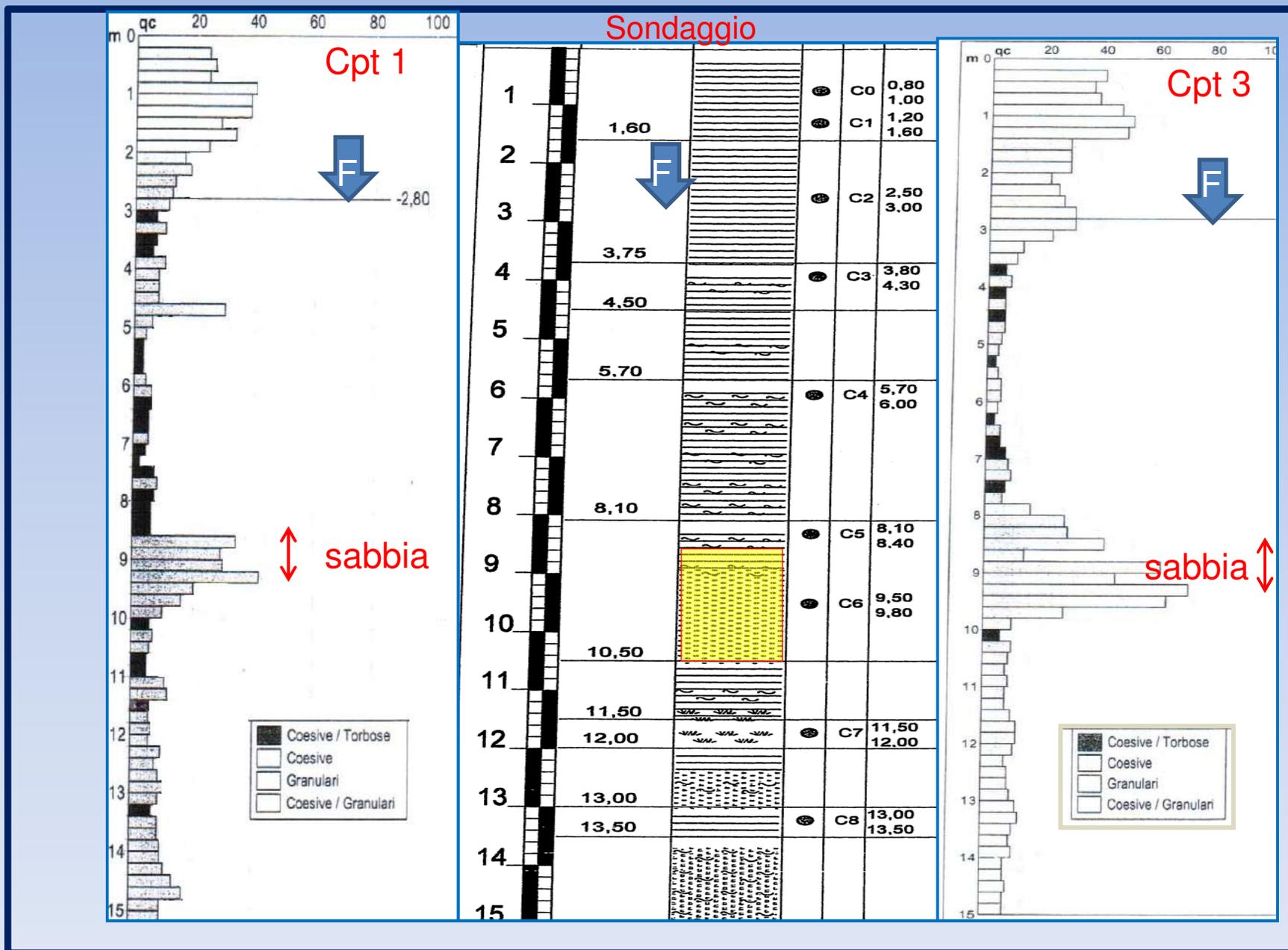


Dr. Geol. Antonio Mucchi

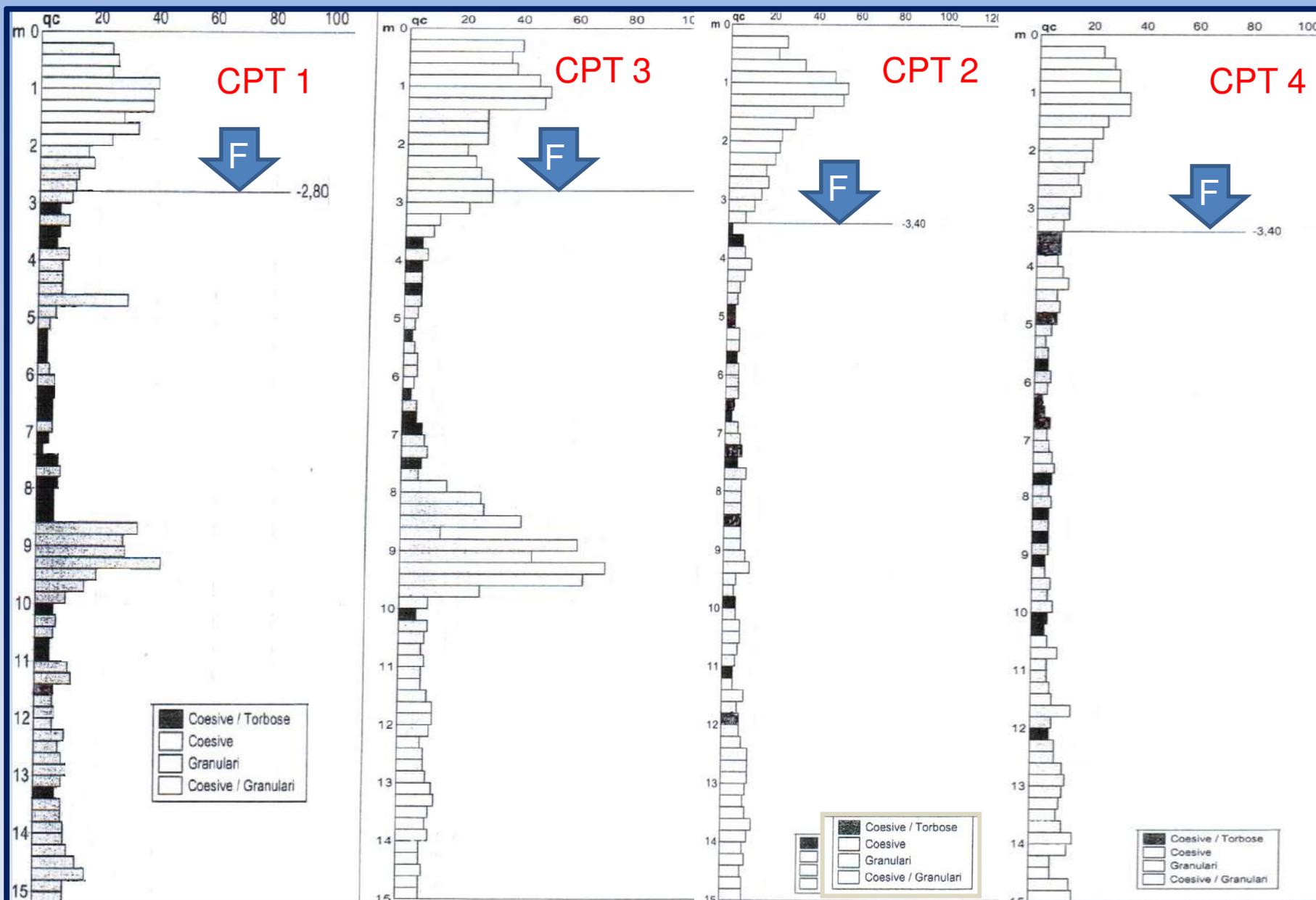
# UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE



# PROFILO STRATIGRAFICO

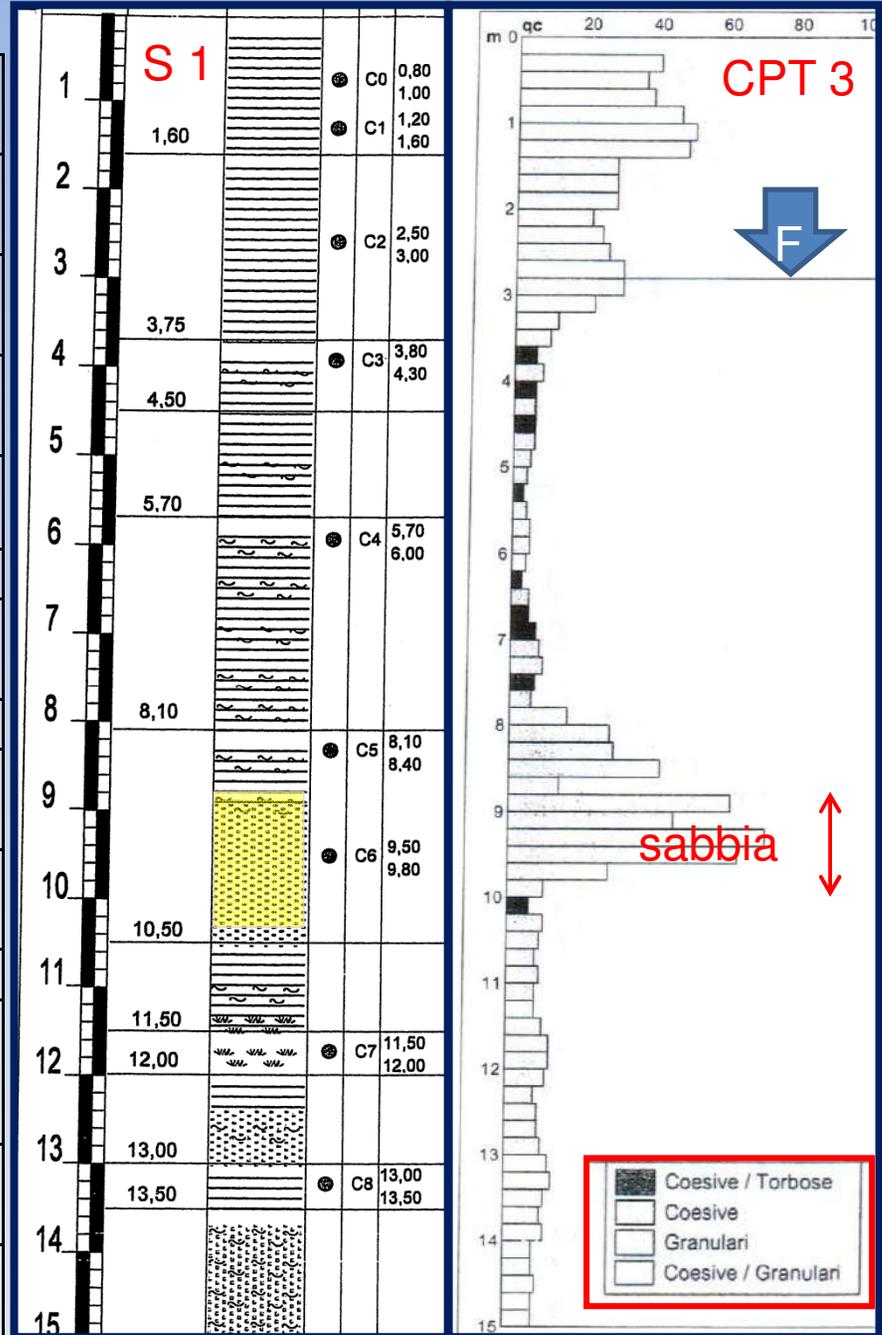


# PROFILI STRATIGRAFICI



## TABELLA RIASSUNTIVA ANALISI GEOTECNICHE

Cmp	S1C0	S1C1	S1aC 2	S1C3	S1C4	S1C5	S1C6	S1C7	S1C8
Prof. mt.	0.8- 1.0	1.2- 1.6	2.5- 3.0	3.8- 4.3	5.7- 6.0	8.1- 8.4	9.5- 9.8	11.5- 12.	13.- 13.5
P.P. kPa	420	460	430	110	80	60	60	75	110
V.T. kPa	180	210	200	45	30	25	*	30	60
t/mc	19.6	19.3	19.1	18.0	15.3	18.0	18.1	11.57	18.13
W %	16.5	20	23.3	50.5	65.8	34.8	36.6	179	36.7
L.L. %	59	70	76	72	89	69	n.p.	*	73
I.P. %	34	46	49	42	37	45	n.p.	*	44
L.R. %	12.7	12	15.5	*	10.9	*	*	*	*
L.R.L. %	12.5	9.5	9.6	*	13.1	*	*	*	*
Ic	1.25	1.1	1.08	0.5	0.62	0.76	*	*	0.82
%pas 0.075 mm	99	99	99	*	*	*	59	*	*
Cu kPa	*	*	198	33	26.5	*	*	*	*
M0 kPa	*	*	4264	2581	1290	1816	*	1154	3846



**Prendendo il valore di  $V_{s30} = 214$  m/s ottenuto dall'indagine sismica il sito risulta rispondere alla "Categoria di suolo di fondazione di tipo C"**

A	Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi con valori $V_{s30} > 800$ m/s con strati di alterazione superficiale h max = 5m
B	Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s
C	Depositi di sabbie o ghiaie mediamente addensate o argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di $V_{s30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s ( $15 < N_{spt} < 50$ - $70 < Cu < 250$ kPa)
D	Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti, caratterizzati da valori di $V_{s30} < 180$ m/s ( $N_{spt} < 15$ - $Cu < 70$ kPa)
E	Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali, con valori di $V_{s30}$ simili a quelli dei tipi C o D e spessore compreso tra 5 e , giacenti su di un substrato di materiale più rigido con $V_{s30} > 800$ m/s
S1	Depositi costituiti da, o che includono, uno strato spesso almeno 10m di argille/limi di bassa consistenza, con elevato indice di plasticità ( $PI > 40$ ) e contenuto di acqua, caratterizzati da valori di $V_{s30} < 100$ m/s ( $10 < Cu < 20$ kPa)
S2	Deposito di terreni soggetti a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti

Sito "Ferrara - viale Krasnodar"

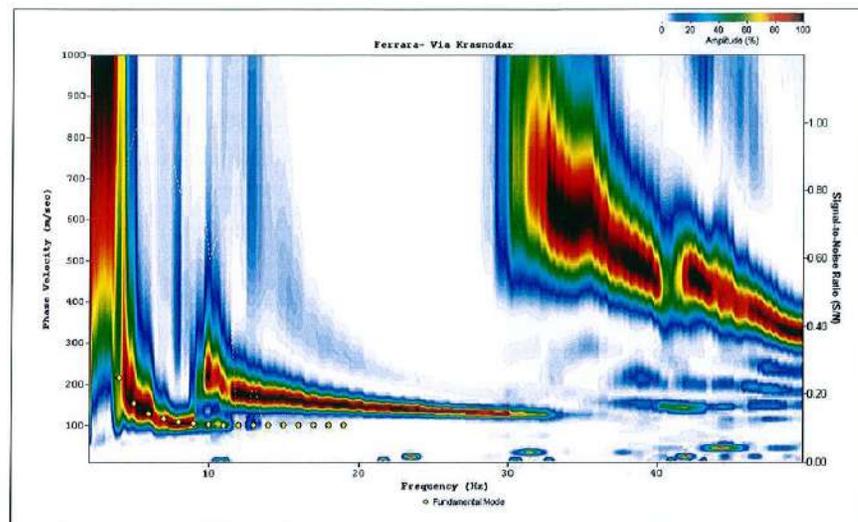


Figura 3. MASW -picking del modo fondamentale

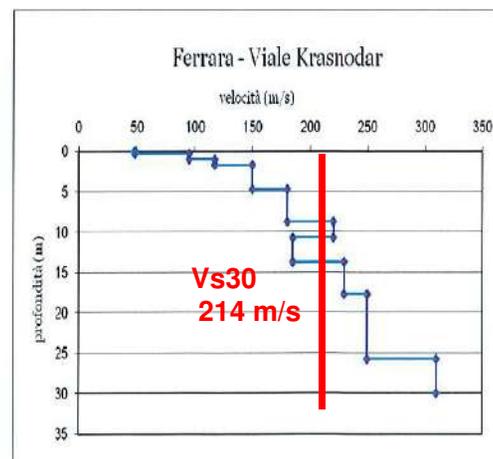
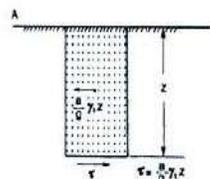


Figura 4 Profilo di velocità delle onde S stimato nel sito in esame

# VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE

## METODO DI SEED & IDRIS (1982)



Cantiere: **Scuola Aquilone (FE)**  
 Data: **23/10/2012**  
 Committente:  
**Comune di Ferrara**  
 Strato da **8,6** a **9,8**

Profondità falda da p.c.  
**1** m da p.c.  
 Profondità metà strato  
**9,2** m da p.c.

La verifica di stabilità dei depositi deve basarsi sul confronto fra gli stati tensionali indotti dalle onde sismiche nella loro propagazione e quelli che producono liquefazione o livelli di deformazione critici. Il metodo di Seed & Idriss valuta la resistenza del deposito alla liquefazione in termini di fattore di resistenza alla liquefazione, espresso dal rapporto fra la resistenza del terreno agli sforzi di taglio ciclico e la sollecitazione di taglio massima indotta dal sisma, cioè:

$$F = \frac{\tau_{lim}}{\tau_{max}} = \frac{\left(\frac{\tau}{\sigma'_0}\right)_{lim}}{\tau / \sigma'_0} = \frac{R}{L}$$

Sforzi di taglio indotti dal terremoto ad una generica quota z.

**Numeratore: resistenza R alla liquefazione del deposito.**

- 9** Numero di colpi N
- 2.21** Pressione verticale effettiva (kips/sf)
- 1.08** pressione verticale effettiva (kg/cm<sup>2</sup>) a metà dello strato considerato
- 0.92** C<sub>N</sub> per Dr compresa tra 40%-60%
- 1.01** C<sub>N</sub> per Dr compresa tra 60%-80%
- 8.29** Numero di colpi corretto (N1)

**0.2** D<sub>50</sub> (mm)

Se D<sub>50</sub> < 0,25mm (limi e sabbie limose)

$$N_1 = (N_1) + 7,5$$

15.79 N<sub>1</sub>, numero di colpi corretto

$$\left(\frac{\tau}{\sigma'_v}\right)_{lim} =$$

M=5,74 M=6 In funzione della magnitudo del sisma e del numero di colpi standard corretto si ricava il valore del rapporto di sforzo ciclico

**Denominatore: L sollecitazione di taglio massima indotta dal sisma.**

- 1.08** pressione verticale effettiva a metà strato (kg/cm<sup>2</sup>)
- 1.9** pressione totale a metà strato (kg/cm<sup>2</sup>)

**0.166** A<sub>max/g</sub> **1.445** S<sub>S</sub> **1** S<sub>T</sub> **0.23987** Valore di a<sub>v/g</sub> D.M. 14/01/2008

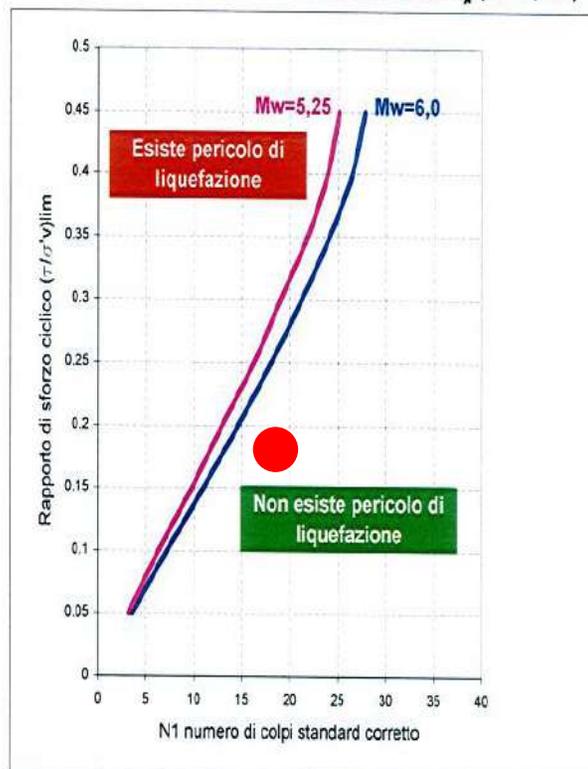
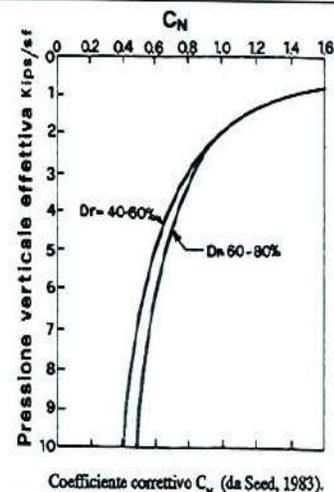
$$\left(\frac{\tau}{\sigma'_0}\right) =$$

**0.164**

**Calcolo del fattore di resistenza alla liquefazione F:**

- per Sisma di magnitudo 5,74 F= **1.519** NON LIQUEFACIBILE
- per Sisma di magnitudo 6 F= **1.412** NON LIQUEFACIBILE

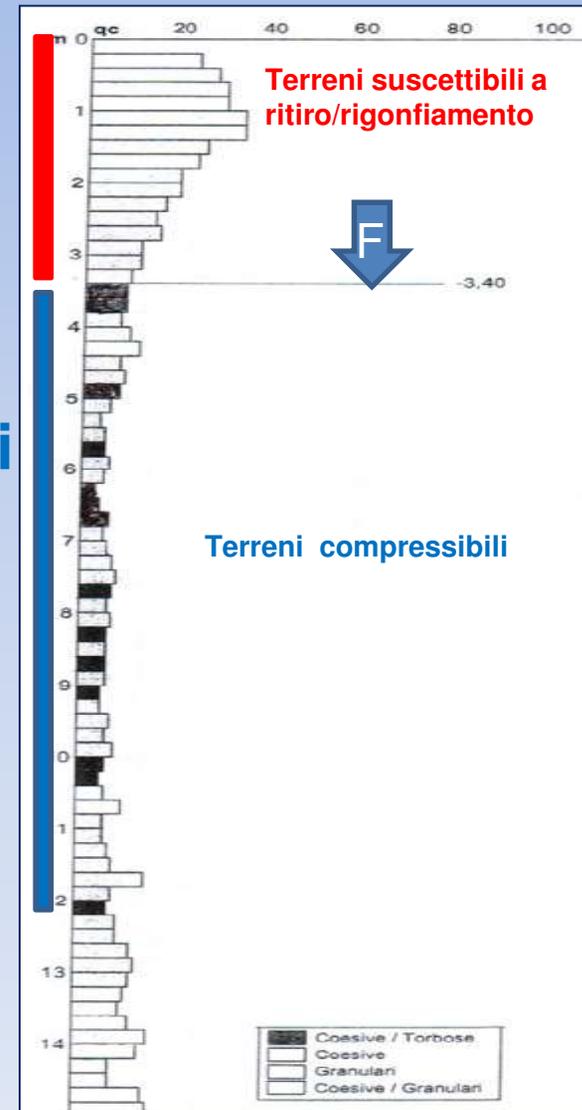
N.B. se F > 1,3 il deposito viene considerato non liquefacibile.

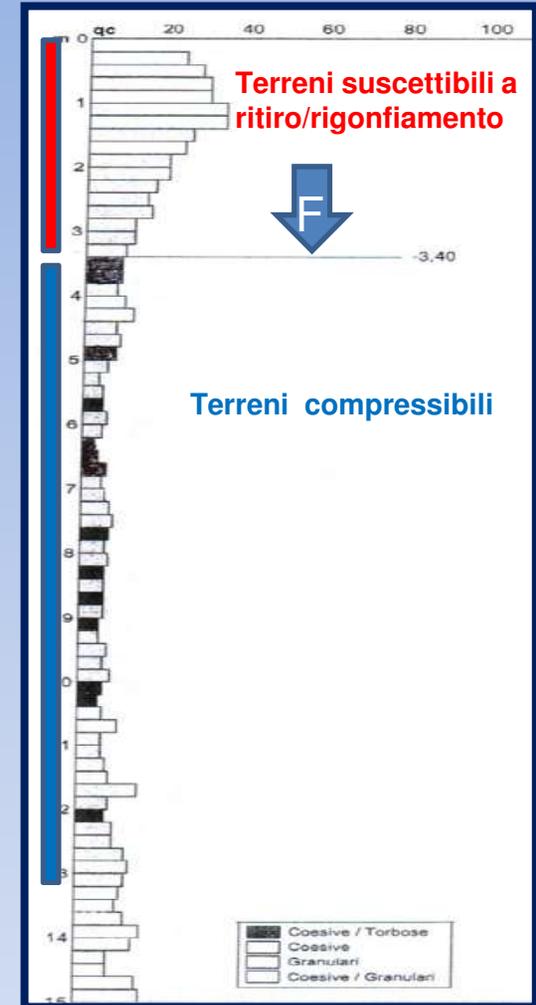
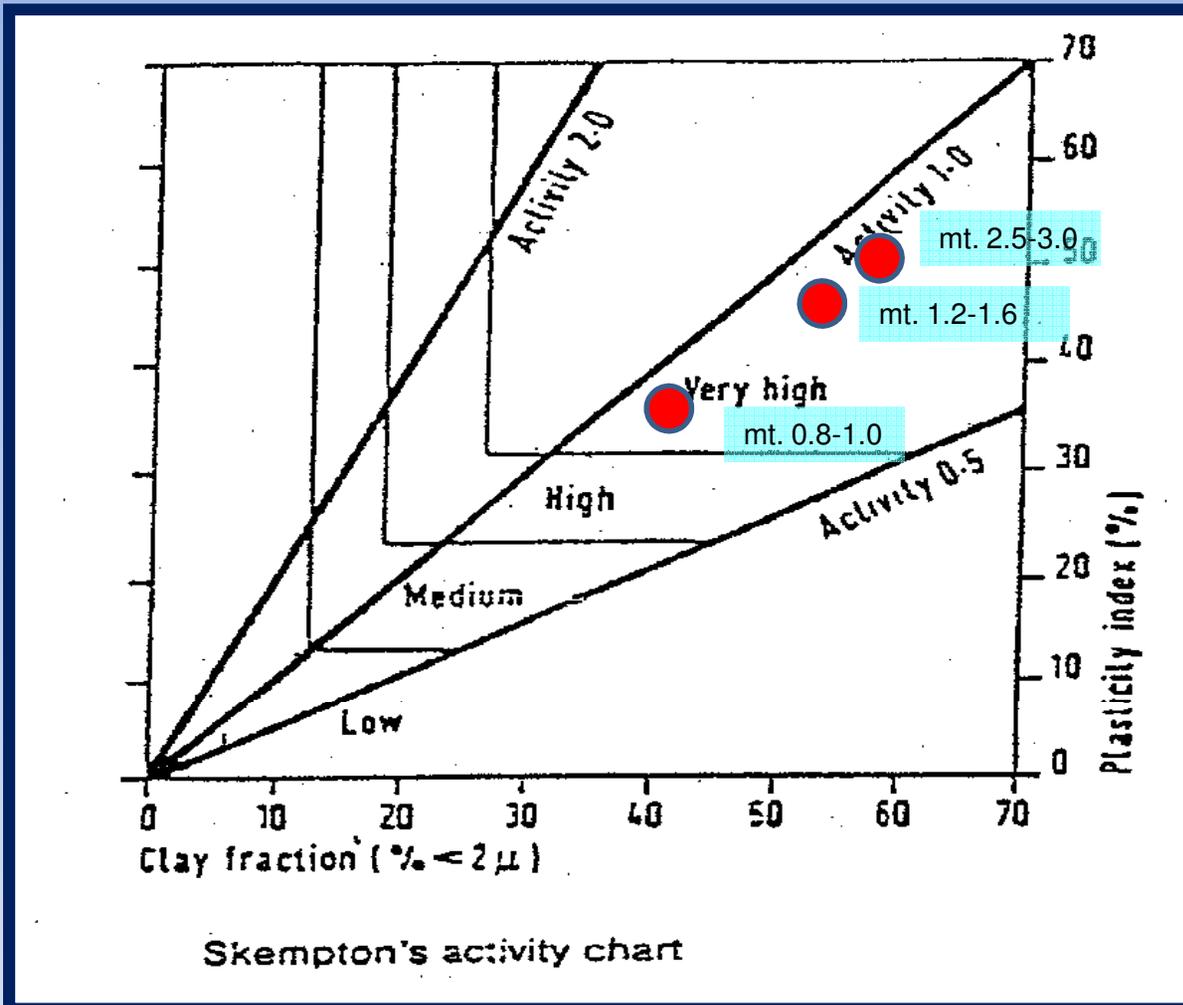


# PROBLEMATICHE RILEVATE

-Terreni superficiali suscettibili all'acqua (rigonfiamento e ritiri)

-Terreni compressibili a bassi valori di capacità portante





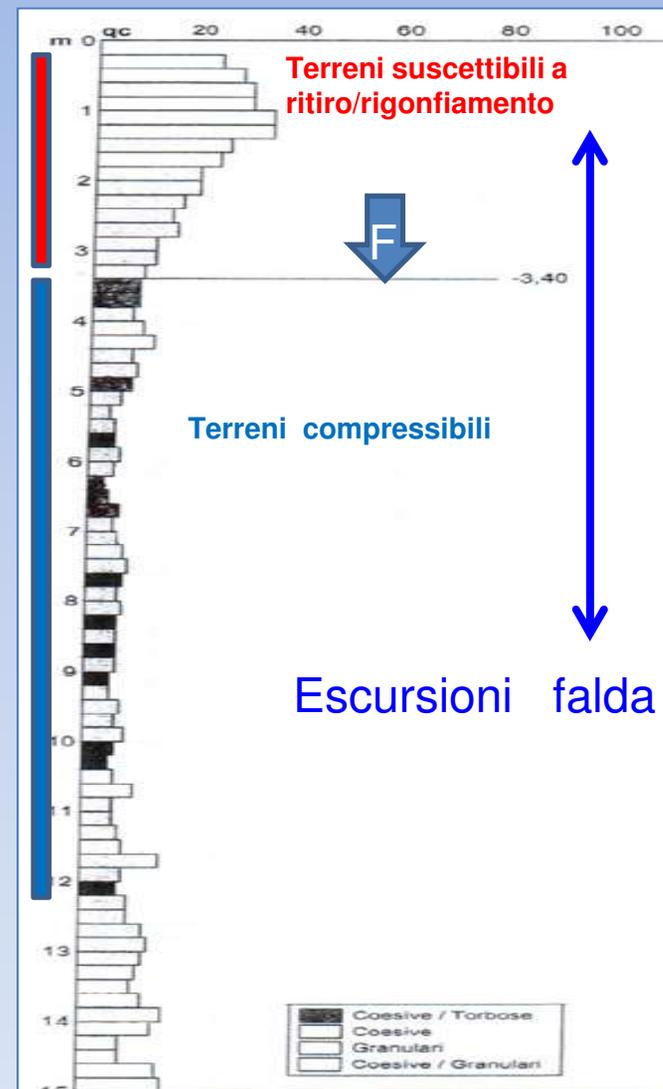
Questi terreni superficiali sensibili all'acqua, a causa delle variazioni freatiche dovute ad alternanza di periodi siccitosi/piovosi, innescano fenomeni di ritiro e rigonfiamento con conseguenti movimenti e deformazioni che si ripercuotono anche sulle strutture soprastanti leggere

## ESEMPI DI DISSESTI SU STRUTTURE LEGGERE



Dr. Geol. Antonio Mucchi

La diffusa presenza di terreni organici compressibili nei primi 10-12 metri di profondità ha dato origine a elevati cedimenti e dissesti in numerosi palazzi presenti nell'intorno dell'area indagata. I livelli organici a seguito di periodi molto siccitosi, in cui la falda freatica si abbassa notevolmente, si comprimono.

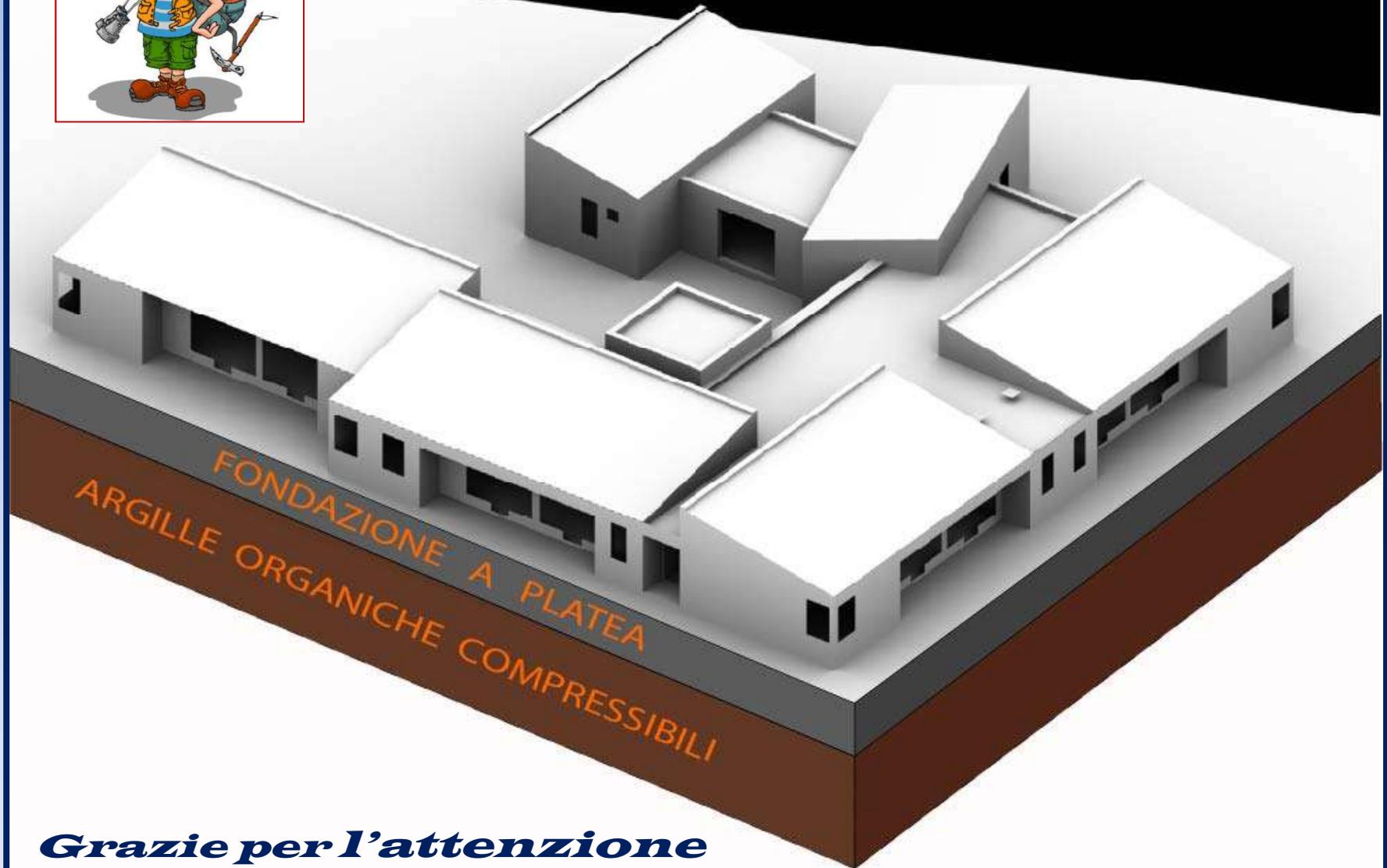


## ESEMPI CEDIMENTI FABBRICATI





*Finalmente  
una scuola  
fatta bene*



***Grazie per l'attenzione***

Dr. Geol. Antonio Mucchi

*“Strategie di prevenzioni più efficaci farebbero non solo risparmiare decine di miliardi di dollari ma salverebbero decine di migliaia di vite. Costruire una cultura di prevenzione non è facile. Mentre i costi della prevenzione debbono essere pagati nel presente, i suoi benefici si avvertono in un futuro distante. Per di più i benefici non sono tangibili: **ESSI SONO I DISASTRI CHE NON SONO ACCADUTI**”*

*(Kofi Annan, WSSD 2002)*

***Grazie per l'attenzione***