

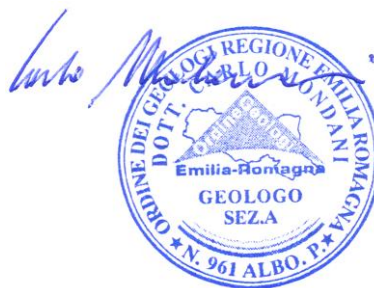
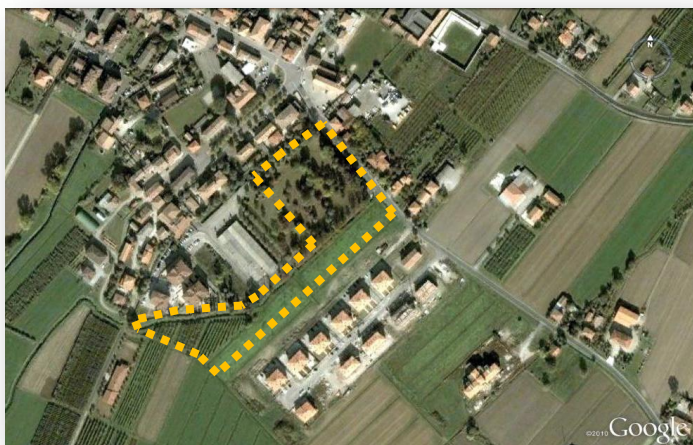
## NUOVO RESIDENZIALE CENTRO VIA MANZOLINO EST - AMBITO 89 AN

Committente: MF SRL

Progetto: Tiziano Mazzi & Andrea Zanetti  
Architetti Associati



## RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA



Marzo 2011



**Dott. Geol. Carlo Mondani – studio geologico –**

via Piave 44 – 41030 Bomporto (MO) tel./fax 059.909919 e-mail: carmondani@alice.it  
Albo Geologi Emilia Romagna n. 961 Sez. A Cod. Fisc. MND CRL 61A02 A959Y P.IVA 02573930365

REGIONE EMILIA ROMAGNA  
 PROVINCIA DI MODENA  
 COMUNE DI CASTELFRANCO EMILIA

## NUOVO RESIDENZIALE CENTRO VIA MANZOLINO EST - AMBITO 89 AN

Committente: MF SRL  
 Progetto: Tiziano Mazzi & Andrea Zanetti  
 Architetti Associati

# RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA

## Indice

Premessa .....	2
<b>1. Modellazione geologica del sito</b> .....	<b>3</b>
1.1. Inquadramento geografico e territoriale .....	3
1.2. Inquadramento geologico .....	5
1.3. Geomorfologia dell'area e stato di fatto del sito .....	6
1.4. Inquadramento idrogeologico .....	7
1.5. Condizioni idrogeologiche locali .....	9
1.6. Analisi dei rischi geologici l.s. incidenti sul sito .....	9
1.7. Indagine geognostica .....	10
1.8. Interpretazione stratigrafica e parametri geotecnici dei terreni .....	11
<b>2. Sismica</b> .....	<b>16</b>
2.1. Introduzione .....	16
2.2. Risposta sismica locale e microzonazione sismica .....	17
2.2.1. Metodologia .....	17
2.2.2. Effetti locali attesi in occasione di eventi sismici secondo le previsioni del PTCP .....	18
2.2.3. Indagine geofisica con metodo sismico MASW .....	19
2.2.4. Stima della profondità del bedrock sismico .....	22
2.2.5. Valutazione dei fattori di amplificazione sismica (approfondimenti di II livello) .....	23
2.2.6. Valutazione della suscettibilità alla liquefazione .....	25
2.2.7. Stima dei cedimenti postsismici (approfondimenti di III livello) .....	26
<b>3. Osservazioni conclusive</b> .....	<b>28</b>

## Allegati:

- Certificati ed elaborati delle prove penetrometriche
- Certificati delle indagini geofisiche con metodo sismico MASW

## Premessa

Per incarico ricevuto dalla Committenza - MF SRL di Pavullo (MO) - e d'intesa con i Progettisti - Tiziano Mazzi & Andrea Zanetti Architetti Associati - è stata redatta la presente relazione geologica avente per oggetto la caratterizzazione litotecnica, idrogeologica e sismica dei terreni appartenenti all'Ambito AN 89 "Manzolino - Nuovo Residenziale Centro" del PSC del comune di Castelfranco Emilia.

Lo studio si è articolato nella raccolta dei dati bibliografici e nell'esecuzione di una specifica campagna geognostica, finalizzata sia alla ricostruzione della stratigrafia locale sia all'acquisizione dei parametri geomeccanici e delle caratteristiche idrogeologiche e sismiche dei terreni presenti nell'area.

Normativa di riferimento:

- D.M. 14-1-2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni"
- Circolare applicativa del 2-2-2009, n. 617, C.S.LL.PP, "Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14-1-2008"
- Ordinanza PCM n. 3519 del 28-4-2006 "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone"
- Ordinanza PCM n. 3274 del 20-3-2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zone sismiche"
- Ordinanza PCM n. 3316 del 2-10-2003 "Modifiche ed integrazioni all'Ordinanza PCM n.3274 del 20-3-2003"
- D.M. LL.PP. 11-31988 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le sostegno delle terre e delle opere di fondazione"
- Circ. LL.PP. 24-9-1988 n.30483 "Istruzione applicativa - Norme Tecniche per terreni e fondazioni"
- Delibera della Giunta della Regione Emilia-Romagna n. 1677/2005 "Prime indicazioni applicative in merito al D.M. 14-9-2005"
- Delibera dell'Assemblea Legislativa della Regione Emilia-Romagna progr. n. 112, oggetto n. 3121 del 2-5-2007 "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica"
- Legge Regionale n. 19 del 30-10-2008 "Norme per la riduzione del rischio sismico"

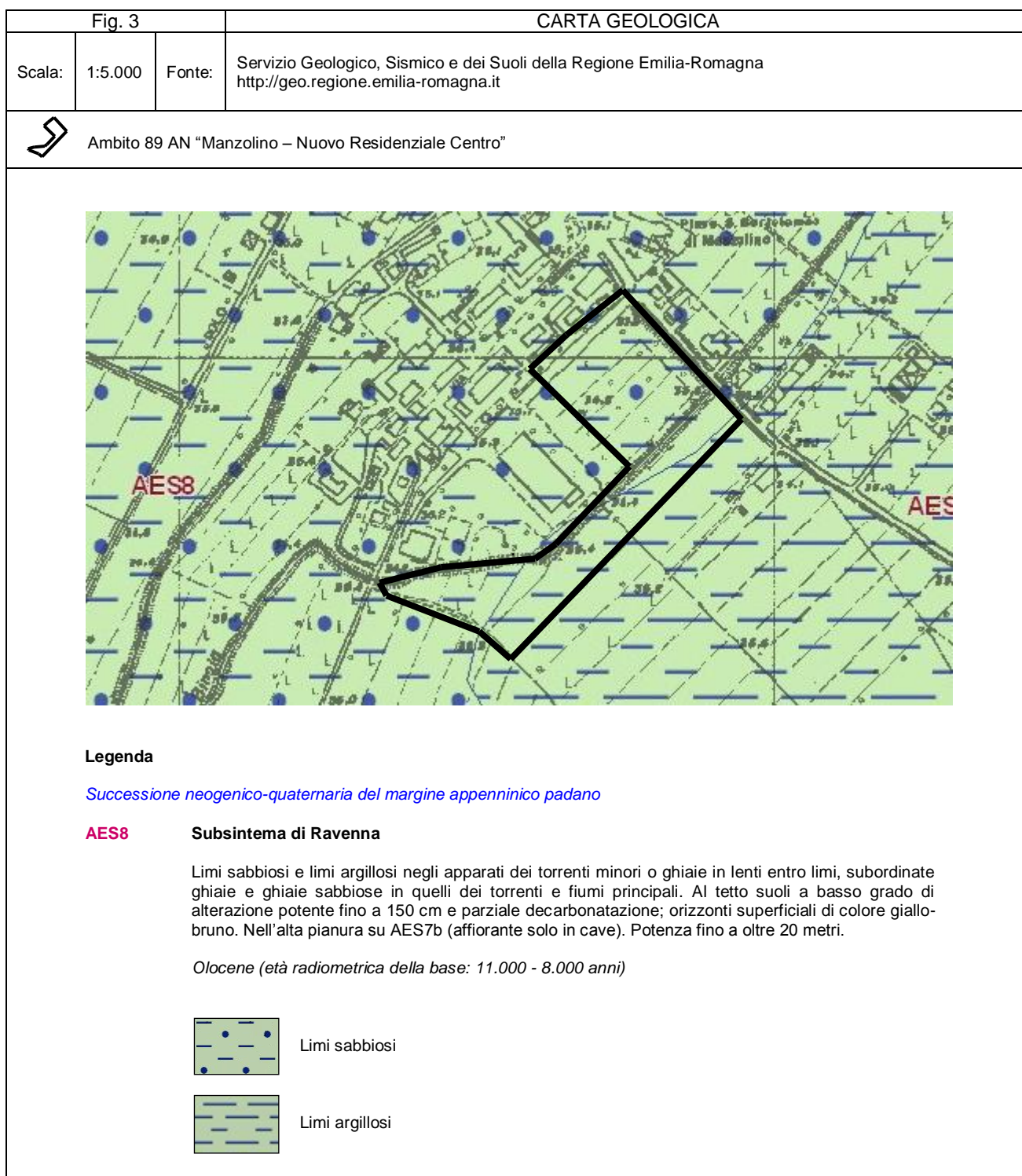






## 1.2. Inquadramento geologico

Sulla recente cartografia geologica del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna, che per il territorio di pianura utilizza la banca dati dei Fogli CARG (scala 1:25.000), il sito ricade nell'ambito dei terreni limoso-argillosi e limoso-sabbiosi del Subsistema di Ravenna. Si tratta di depositi continentali quaternari attribuibili sia alla parte distale della conoide del fiume Panaro sia all'area interfluviale (fig. 3).



La pianura alluvionale, detta anche piana a copertura alluvionale, è caratterizzata da una crescita di tipo verticale dovuta prevalentemente a processi di tracimazione e rotta fluviale che hanno portato alla deposizione di strati suborizzontali a geometria lenticolare probabilmente riferibili a singoli eventi alluvionali. Nei tempi che hanno preceduto i massicci interventi di regimazione idraulica che hanno portato alla costruzione degli argini artificiali, la dinamica di questa pianura era caratterizzata da canali fluviali che, non in grado di contenere la maggior parte delle piene stagionali, andavano soggetti a frequenti e ripetute tracimazioni della corrente alluvionale. Le acque fuoriuscite dagli argini depositavano i materiali in carico con una gradazione dei sedimenti decrescente a mano a mano che la capacità di trasporto del flusso diminuiva.

In questo modo il fiume costruiva i propri argini naturali all'interno dei quali scorreva pensile sulla piana. In conseguenza di eventi climatici eccezionali il fiume rompeva gli argini naturali e il flusso alluvionale defluiva verso le aree più depresse della pianura inondabile, costruendo un apparato distributore (delta) che, progredendo nella valle, la colmava e dava origine a un nuovo percorso e a nuovi argini naturali.

All'interno della pianura alluvionale sono state distinte, sulla base di sequenze litostratigrafiche tipiche riconosciute nelle stratigrafie dei pozzi, due macro-ambienti deposizionali: la Piana Pedemontana, contraddistinta da depositi a sequenze prevalentemente grossolane (ghiaie) e la Piana a Copertura Alluvionale, che è quella su cui insiste l'intorno significativo dell'area studiata, caratterizzata da sequenze generalmente fini (sabbie, limi, argille).

I principali elementi morfologici caratterizzanti la pianura alluvionale sono le conoidi di deposizione fluviale e i dossi che da esse si dipartono. I primi sono presenti con continuità a ridosso della fascia pedecollinare, allo sbocco delle valli. Il loro gradiente è di circa il 4‰, per le parti apicali e meno dell'1‰ per quelle distali. In tali situazioni le unghie delle conoidi tendono a confondersi con la morfologia della restante pianura. I dossi sono unità morfologiche topograficamente rialzate rispetto alla pianura adiacente e di forme allungate con direzioni prevalenti SSW-NNE e N-S. Traggono origine dai sedimenti abbandonati dai corsi d'acqua.

Il substrato profondo del bacino sedimentario non è regolare ma caratterizzato da numerose pieghe che ricalcano la struttura geologica della catena appenninica e che rappresentano la sua continuazione sepolta. L'area padana infatti è stretta in una grande morsa tettonica: le spinte provocate dall'innalzamento della catena alpina ed appenninica hanno determinato un ripiegamento dei sedimenti depositati nel Golfo Padano. Dove si ha un inarcamento degli strati verso il basso (sinclinale di Bologna-Bomporto-Reggio Emilia) si deposita un maggior spessore di sedimenti; dove si ha un inarcamento degli strati verso l'alto (anticlinale) si deposita un minor spessore di sedimenti. In particolare una di queste pieghe sepolte costituisce la Dorsale ferrarese, che in realtà non è costituita da un unico piegamento ma da una serie di pieghe associate a faglie il cui movimento è la causa dei terremoti che si registrano nella zona.

### 1.3. Geomorfologia dell'area e stato di fatto del sito

Il lotto di terreno studiato e il suo intorno significativo ricadono in una zona pianeggiante della media pianura modenese. Le quote altimetriche sono comprese tra 33 e 35,5 m s.l.m., con impercettibili pendenze verso NNE. Nelle aree con quote inferiori a 50 m s.l.m. l'osservazione diretta delle forme è alquanto difficoltosa, mentre variazioni altimetriche anche lievi, ad esempio dovute a subsidenza differenziata, possono determinare marcate variazioni, ad esempio alla rete idrografica.

Il paesaggio della piana alluvionale presenta aree più elevate che corrispondono sia ad alvei fluviali attuali (alvei pensili) sia estinti (dossi fluviali), caratterizzati da terreni prevalentemente sabbiosi, ed aree altimetricamente più basse in corrispondenza di antichi bacini interfluviali ormai prosciugati (valli) caratterizzati da terreni prevalentemente limoso-argillosi.

Attualmente l'evoluzione geomorfologica dell'area è legata principalmente all'attività antropica e in particolar modo agli interventi edilizi ed infrastrutturali. Lo stato di fatto dell'Ambito AN 89, attraversato da SW a NE dallo scolo Binola, è dato da un parco con alberi e cetoico erboso a nord e da un terreno incolto a est e a sud.

## 1.4. Inquadramento idrogeologico

Negli ultimi anni le conoscenze disponibili sull'intero territorio della pianura emiliano-romagnola, sia per la superficie sia per il sottosuolo, sono notevolmente aumentate grazie alla realizzazione di studi e cartografie specifiche. Per quel che riguarda le nuove conoscenze geologiche, il pedeappennino e la pianura emiliano-romagnola sono stati oggetto di studi approfonditi che hanno portato all'individuazione di *"tre gruppi acquiferi denominati A, B e C"* come tre unità geologiche ben individuabili in affioramento e separati tra loro nel sottosuolo da barriere di permeabilità lateralmente molto continue.

Per quel che riguarda le nuove conoscenze geologiche, il pedeappennino e la pianura emiliano-romagnola sono stati oggetto di studi approfonditi che hanno portato all'individuazione di *"tre gruppi acquiferi denominati A, B e C"* come tre unità geologiche ben individuabili in affioramento e separati tra loro nel sottosuolo da barriere di permeabilità lateralmente molto continue.

In generale si osserva che ogni complesso acquifero è costituito da una porzione inferiore prevalentemente fine seguita da una superiore prevalentemente grossolana; lo spessore di ogni complesso acquifero è dell'ordine di alcune decine di metri. All'interno di ogni complesso acquifero la porzione grossolana viene denominata sistema acquifero, la porzione fine sistema acquitardo. Questi livelli a bassa permeabilità (acquitardi o acquiclude) causano una ulteriore compartimentazione all'interno dei tre gruppi acquiferi e fanno sì che i diversi complessi acquiferi siano tra loro isolati idraulicamente, ad esclusione delle zone in cui avviene la ricarica diretta di queste unità.

Dal punto di vista genetico, la ciclicità espressa dai complessi acquiferi viene messa in relazione ad eventi climatici che causano l'alternarsi di attivazioni e disattivazioni dei sistemi fluviali e deltizi.

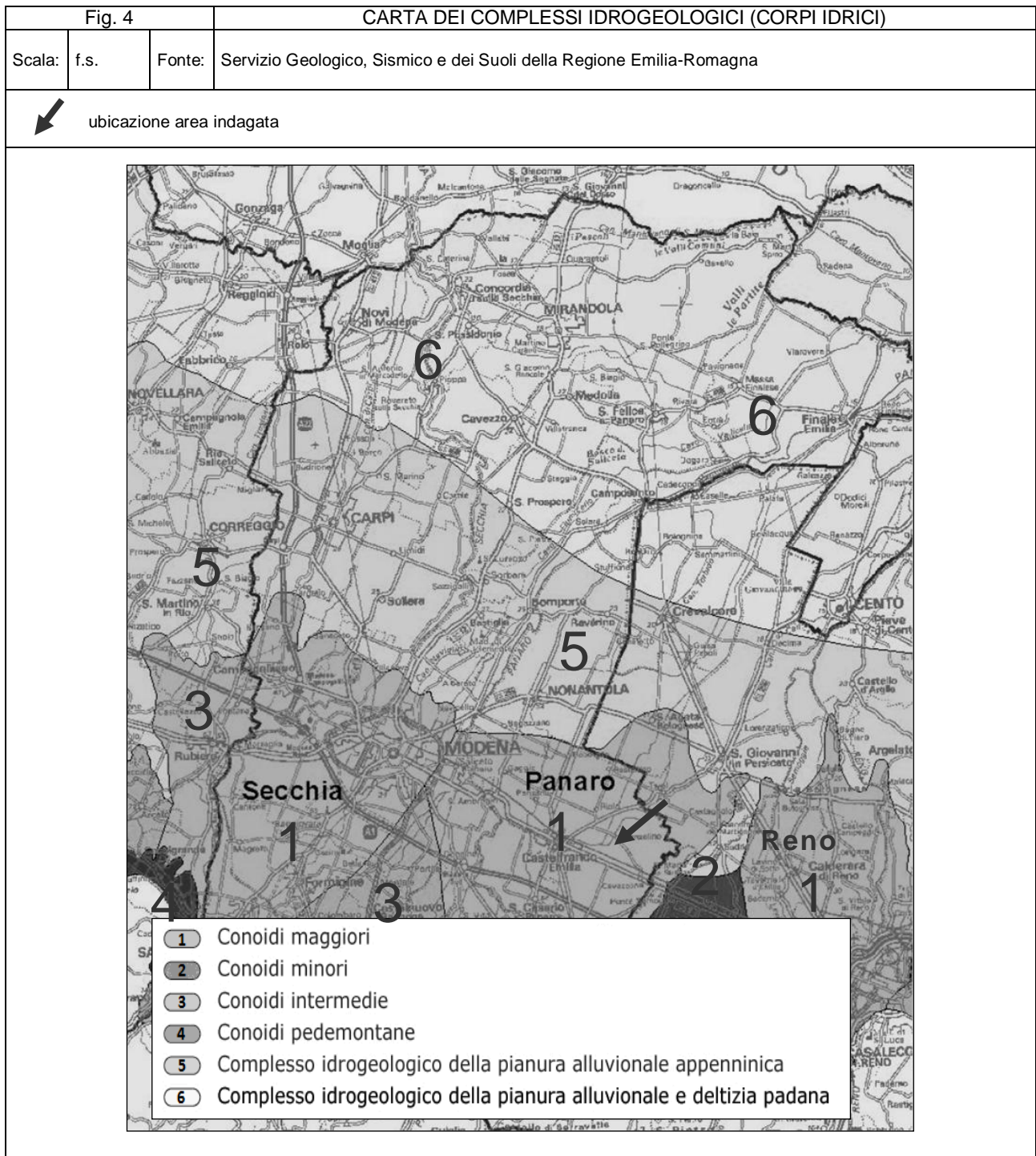
Alla luce di quanto sopra, l'intero acquifero regionale è pertanto costituito da un complesso sistema multifalda, caratterizzato dalla gerarchizzazione degli acquiferi e degli acquitardi più sopra descritta. Questa suddivisione del bacino idrogeologico regionale in tre unità idrogeologiche, sostituisce la concezione di acquifero monostrato (1977) che fungeva da modello di riferimento in tutti gli studi precedenti sull'argomento.

Tutte le falde presenti sono in condizioni confinate, ad esclusione delle zone in cui avviene la ricarica diretta degli acquiferi. Generalmente, le zone di ricarica sono ubicate sul margine appenninico e proseguono per alcuni chilometri verso la pianura in modo variamente articolato a seconda della distribuzione dei depositi grossolani presenti nel sottosuolo.

La circolazione idrica si muove dall'alta alla medio-bassa pianura: le acque che si infiltrano nelle zone di conoide con chimismo di tipo bicarbonato-calcico, ricche in solfati ed in diversi casi in nitrati, subiscono un processo di "riduzione



chimica” tanto più evidente quanto più si confinano dalla superficie per la presenza di coperture argillose che le mantengono in pressione.



Il complesso idrogeologico cui appartiene l'area studiata, intendendo con ciò un'area con ben definite caratteristiche idrogeologiche distinguibili da quelle adiacenti, è quello delle conoidi maggiori (F. Panaro). Esso è caratterizzato in superficie da terreni costituiti dalle alluvioni più fini depositate dai fiumi appenninici.

In questa fascia della pianura i valori di soggiacenza della falda sono prossimi al piano di campagna; in superficie è frequente riscontrare livelli acquiferi sospesi, di natura freatica, completamente separati dall'acquifero principale e dotati di acque scadenti che traggono alimentazione principalmente dalle infiltrazioni delle precipitazioni meteoriche.

### 1.5. Condizioni idrogeologiche locali

I dati geognostici e quelli di letteratura concordano nell'individuare un acquifero freatico formato da una successione di orizzonti litologici con struttura lentiforme. Tali alternanze di strati e/o banchi a diversa granulometria caratterizzano un acquifero a falda libera e cioè delimitato solo inferiormente da un substrato impermeabile. Detto livello idrogeologico può anche presentarsi localmente confinato, in modo più o meno parziale, ma risulta comunque in diretta comunicazione con l'infiltrazione superficiale.

Nei fori delle prove penetrometriche CPT, eseguite in data 25-3-2011, il freatimetro ha rilevato la presenza di acqua il cui livello statico si è stabilizzato tra -1,30 m e -1,50 m dal piano di campagna attuale. La falda freatica è caratterizzata da bassi valori di trasmissività e da variabilità nel livello piezometrico che è in stretta relazione con gli apporti meteorici. Il suo livello potrebbe raggiungere e superare il piano di fondazione, tuttavia, dato il modesto carico idraulico, essa non eserciterà spinte idrostatiche significative alla base dello stesso.

Sulla scorta dei dati bibliografici e di campagna la fluttuazione stagionale della falda superficiale in questa zona è compresa tra -1,00 m dal p.c. in inverno (periodo di ricarica) e -4,50 m dal p.c. in estate (periodo di magra).

### 1.6. Analisi dei rischi geologici I.s. incidenti sul sito

L'unico rischio geologico incidente sull'area in esame, e che interessa gran parte della pianura, è rappresentato dalla subsidenza.

La subsidenza, intesa come abbassamento del suolo, è un fenomeno geologico diffuso nelle pianure alluvionali che si manifesta con il progressivo costipamento dei terreni limo-argillosi con espulsione di acqua dai pori e diminuzione della porosità. In pratica: un abbassamento della superficie piezometrica (livello della falda) si traduce in una diminuzione della pressione idrostatica negli interstizi degli ammassi granulari. Ne consegue un aumento della pressione effettiva sui grani da cui dipende il processo di consolidamento. Può essere accelerato dal prelievo di acqua e fluidi dal sottosuolo.

Questo processo, che può avere cause sia naturali sia artificiali, diviene un vero e proprio fattore di rischio quando l'abbassamento del terreno è particolarmente marcato o quando la topografia è già depressa e vicina, o al di sotto, del livello del mare. Per una pianura alluvionale come quella dell'Emilia-Romagna i valori di subsidenza naturali attesi sono dell'ordine di 0,1-0,3 cm/anno mentre i valori effettivamente misurati nelle ultime decine d'anni sono quasi ovunque maggiori di 0,4 cm/anno e con punte di 5 cm/anno. Nel periodo 1970/1993-1999, il territorio del Comune di Castelfranco Emilia ha subito un abbassamento di 0,8÷1,2 cm/anno.

Nel 2005 è stato realizzato da ARPA, per conto della Regione Emilia-Romagna, il rilievo di un sottoinsieme (circa il 50% dell'intera consistenza) della rete regionale di controllo della subsidenza, tramite livellazioni geometriche di alta precisione.

I lavori di campagna sono iniziati il 30 maggio 2005 e sono terminati il 21 settembre. La successiva fase di compensazione della rete e calcolo delle quote ha permesso di procedere al confronto con le quote della campagna 1999 e, quindi, di pervenire all'analisi dei movimenti intervenuti nel periodo.

I recenti studi con l'utilizzo dell'interferometria satellitare supportata dalla livellazione hanno evidenziato, per il periodo 1999-2005, un sostanziale miglioramento degli abbassamenti rispetto al periodo precedente.

Per quanto sopra, il rischio subsidenza analizzato è accettabile e non pregiudica la fattibilità dell'intervento in progetto.

## 1.7. Indagine geognostica

Per determinare le caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni del primo sottosuolo ed effettuare una valutazione litologica di massima degli stessi, in data 25-3-2011 sono state eseguite n. 5 prove penetrometriche meccaniche ad infissione statica CPT spinte alla profondità di 15 m dal piano di campagna.

La prova CPT (Cone Penetration Test) viene normalmente eseguita in tutti i tipi di terreno compresi tra le argille e le sabbie a grana grossa, per la misura diretta di alcune grandezze fisiche (pressioni) e la ricostruzione indiretta del profilo stratigrafico dei terreni attraversati. Essa consiste essenzialmente nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta conica di dimensioni e caratteristiche standardizzate, infissa a velocità costante nel terreno (2 cm/sec) indipendentemente dalla resistenza opposta da quest'ultimo. Lo sforzo per la penetrazione viene applicato per mezzo di un dispositivo di spinta, che agisce alternativamente sulla batteria di aste interne e su quella di aste cave esterne, della lunghezza di un metro, alla cui estremità è collegata la punta. La prova è pertanto discontinua e le misure di resistenza vengono di norma lette sui manometri della cella di misura ogni 20 cm di avanzamento nel terreno.

L'indagine geognostica è stata condotta per mezzo di un penetrometro olandese Gouda in assetto statico con dispositivo idraulico di spinta da 10 tonnellate, automontato, attrezzato con punta meccanica conica Begemann, avente un'area di 10 cm<sup>2</sup> e un angolo di 60°, con manicotto mobile, che ogni 20 cm rileva:

$q_c$  (1<sup>a</sup> lettura) = resistenza all'avanzamento della sola punta in kg/cm<sup>2</sup>

$q_c + f_s$  (2<sup>a</sup> lettura) = resistenza alla punta + resistenza per attrito laterale locale sul manicotto in kg/cm<sup>2</sup>  
con:

$q_c$  (kg/cm<sup>2</sup>) = 1<sup>a</sup> lettura eseguita in campagna

$f_s$  (kg/cm<sup>2</sup>) = (2<sup>a</sup> lettura eseguita in campagna - 1<sup>a</sup> lettura eseguita in campagna) / 15

Per un riconoscimento di massima dei terreni attraversati si utilizza il seguente rapporto (Begemann, 1965; Raccomandazioni A.G.I., 1977) come parametro indicativo delle variazioni litologiche:

$$F = q_c / f_s$$

che, come ha dimostrato l'esperienza, dipende dalla composizione granulometrica dei terreni stessi.

F	TERRENO	PROPRIETA'
$F \leq 15$	Torbe e argille organiche	Coesive
$15 < F \leq 30$	Limi e argille	Coesive
$30 < F \leq 60$	Limi sabbiosi e sabbie limose	Granulari
$F > 60$	Sabbie e sabbie con ghiaia	Granulari

L'interpretazione dei risultati viene eseguita distinguendo fra terreni granulari con prevalenza di sabbia, per i quali possono essere ricavati tramite questa prova, con correlazioni empiriche di vari autori, l'angolo d'attrito, la compressibilità drenata e la densità relativa, ed i terreni coesivi con prevalenza di argilla, per i quali è possibile valutare la resistenza al taglio non drenata, la compressibilità, la sensitività ed il grado di sovraconsolidazione.

Nei tabulati di calcolo in allegato sono stati riportati, oltre ai valori misurati in sito ogni 20 cm d'avanzamento della punta, i valori, calcolati mediante elaborazione automatica, della *resistenza penetrometrica alla punta*  $q_c$ , espressi in  $\text{kg/cm}^2$ , i valori della *resistenza laterale locale*  $f_s$ , sempre espressi in  $\text{kg/cm}^2$ , nonché i valori del *rapporto fra la resistenza alla punta e la resistenza laterale locale*  $q_c / f_s$ .

Nel diagramma penetrometrico, invece, per semplicità di lettura, sono state riportate solamente due curve e precisamente:

- ❖ *a sinistra*, la curva della *resistenza penetrometrica alla punta* ( $q_c$ : pressione di rottura del terreno), espressa in  $\text{kg/cm}^2$ ;
- ❖ *a destra*, la curva del rapporto fra la resistenza alla punta e la resistenza laterale locale ( $q_c / f_s$ : *rapporto di Begemann*).

Accanto alle due curve è stata riportata l'interpretazione stratigrafica (Schmertmann, 1978).

Il numero, l'ubicazione (fig. 5) e la profondità della prova è stato ritenuto adeguato - in relazione alla tipologia del progetto e al D.M. 14-1-2008 - a descrivere in maniera sufficientemente esaustiva l'intera area oggetto dell'intervento. Resta inteso, tuttavia, che l'indagine ha carattere puntuale.

Il terreno indagato dalla verticale di prova è stato discretizzato in livelli caratterizzati da valori di  $q_c$  e  $f_s$  relativamente costanti per tutto lo spessore dello strato. Successivamente si è stimata la litologia attraverso i metodi sopra riportati.

Infine, sono stati calcolati i principali parametri geotecnici medi associati agli strati utilizzando le correlazioni empiriche proposte da vari autori.

## 1.8. Interpretazione stratigrafica e parametri geotecnici dei terreni

L'interpretazione litologica dei terreni di fondazione e i loro parametri geotecnici medi sono stati ottenuti con il programma di calcolo automatico GeoStru – Static Probing secondo l'approccio di Schmertmann (1978). Nelle tabelle sottostanti, che compendiano sia i caratteri litologici sia i principali parametri geotecnici della stratigrafia del sito, l'interpretazione stratigrafica è stata affinata integrando l'approccio dell'Autore con l'esperienza dello scrivente sui terreni della pianura

modenese e bolognese. Questi parametri rappresentano i “parametri geotecnici appropriati ai fini progettuali” di cui al paragrafo C6.2.2 della Circolare Ministeriale 617/2009.



#### Legenda:

- $Y'$  ( $t/m^3$ )    Peso dell'unità di volume efficace del terreno. Sono state adottate le correlazioni standard, opportunamente adattate in base alla natura litologica, di Terzaghi-Peck (1967) e di Bowles (1982). Definito  $Y_{sat}$  il peso specifico naturale per il terreno sotto falda e  $Y_w$  il peso specifico dell'acqua, è stata applicata la seguente relazione:  $Y' = Y_{sat} - Y_w$  che tiene conto della spinta di Archimede dovuta all'elemento liquido.  
Per il terreno sopra falda è stato adottato il valore di  $Y' = 1,85 t/m^3$  indipendentemente dalla natura litologica.
- $C_u$  ( $kg/cm^2$ )    Coesione non drenata nei terreni coesivi. Per la valutazione approssimata della resistenza al taglio in condizioni non drenate si è utilizzata la relazione:  
 $C_u = q_c / \beta$  (AGI, 1977) con  $15 \leq \beta \leq 25$ . È stata considerata la correlazione di De Beer con  $\beta = 20$
- $\Phi^\circ$     Angolo di attrito interno efficace per terreni granulari. È stata considerata la correlazione (Schmertmann, 1978) fra la densità relativa  $D_r$ , la resistenza alla punta  $q_c$  e la tensione efficace  $\sigma'_{vo}$ .
- $M_o$  ( $kg/cm^2$ )    Modulo di deformazione edometrico per terreni coesivi/granulari. Si fa riferimento alla relazione  $M_o = \alpha q_c$  (Sanglerat, 1965 e AA.VV.).  
Il modulo di compressibilità volumetrica risulta l'inverso di  $M_o$  ( $M_v = 1/M_o$ ).

**CPT n. 1**

Prof. superf. inf. strato (m)	q <sub>c</sub> medio (kg/cm <sup>2</sup> )	f <sub>s</sub> medio (kg/cm <sup>2</sup> )	q <sub>c</sub> / f <sub>s</sub>	Litologia (Schmertmann, 1978, con mod.)	Y medio (t/m <sup>3</sup> )	Cu medio (kg/cm <sup>2</sup> )	Φ° medio	Mo medio (kg/cm <sup>2</sup> )
0,40	--	--	--	Terreno vegetale	1,85	--	--	--
1.80	13.6	0.65	20.92	Argilla inorganica compatta	1.90	0.68	--	48.18
3.60	8.7	0.30	29.0	Argille sabbiose e limose	1.82	0.44	--	40.43
6.80	13.0	0.53	24.52	Argilla inorganica compatta	1.89	0.65	--	47.81
10.00	9.3	0.29	32.06	Argille sabbiose e limose	1.83	0.47	--	41.96
11.80	11.6	0.50	23.20	Argilla inorganica di media consistenza	1.86	0.58	--	46.32
12.20	16.8	0.87	19.31	Argilla inorganica compatta	1.93	0.84	--	47.39
14.00	27.0	1.39	19.42	Argilla inorganica molto compatta	2.01	1.35	--	54.00
15.00	42.1	1.49	28.25	Argille sabbiose e limose	2.05	2.11	--	84.20

Falda: -1,40 m dal piano di campagna attuale

**CPT n. 2**

Prof. superf. inf. strato (m)	q <sub>c</sub> medio (kg/cm <sup>2</sup> )	f <sub>s</sub> medio (kg/cm <sup>2</sup> )	q <sub>c</sub> / f <sub>s</sub>	Litologia (Schmertmann, 1978, con mod.)	Y medio (t/m <sup>3</sup> )	Cu medio (kg/cm <sup>2</sup> )	Φ° medio	Mo medio (kg/cm <sup>2</sup> )
0,40	--	--	--	Terreno vegetale	1,85	--	--	--
1.80	16.8	0.99	16.96	Argilla inorganica molto compatta	1.94	0.84	--	47.39
5.00	11.8	0.52	22.69	Argilla inorganica compatta	1.88	0.59	--	46.59
6.80	15.1	0.77	19.61	Argilla inorganica compatta	1.92	0.76	--	48.38
11.00	10.2	0.38	26.84	Argilla inorganica di media consistenza	1.84	0.51	--	43.95
12.40	14.0	0.80	17.50	Argilla inorganica compatta	1.90	0.70	--	48.33
15.00	27.6	1.47	18.77	Argilla inorganica molto compatta	2.00	1.38	--	55.20

Falda: -1,30 m dal piano di campagna attuale

**CPT n. 3**

Prof. superf. inf. strato (m)	q <sub>c</sub> medio (kg/cm <sup>2</sup> )	f <sub>s</sub> medio (kg/cm <sup>2</sup> )	q <sub>c</sub> / f <sub>s</sub>	Litologia (Schmertmann, 1978, con mod.)	Y medio (t/m <sup>3</sup> )	Cu medio (kg/cm <sup>2</sup> )	Φ° medio	Mo medio (kg/cm <sup>2</sup> )
0,40	--	--	--	Terreno vegetale	1,85	--	--	--
1.80	13.4	0.70	19.14	Argilla inorganica compatta	1.90	0.67	--	48.07
2.40	8.4	0.27	31.11	Argille sabbiose e limose	1.82	0.42	--	39.61
7.00	13.8	0.57	24.21	Argilla inorganica compatta	1.90	0.69	--	48.26
10.00	9.9	0.32	30.99	Argille sabbiose e limose	1.83	0.50	--	43.33
12.00	12.4	0.65	19.07	Argilla inorganica compatta	1.88	0.62	--	47.28
15.00	26.5	1.46	18.15	Argilla inorganica molto compatta	1.99	1.33	--	53.00

Falda: -1,40 m dal piano di campagna attuale



**CPT n. 4**

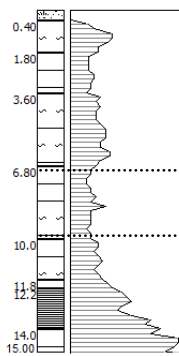
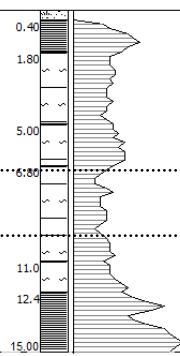
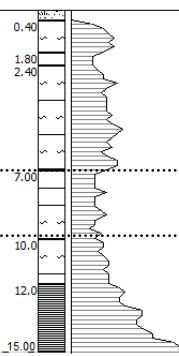
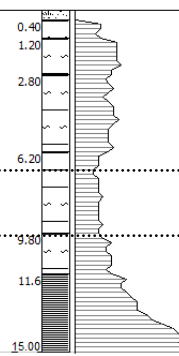
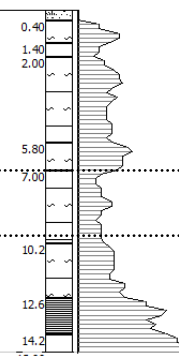
Prof. superf. inf. strato (m)	q <sub>c</sub> medio (kg/cm <sup>2</sup> )	f <sub>s</sub> medio (kg/cm <sup>2</sup> )	q <sub>c</sub> / f <sub>s</sub>	Litologia (Schmertmann, 1978, con mod.)	Y medio (t/m <sup>3</sup> )	Cu medio (kg/cm <sup>2</sup> )	Φ° medio	Mo medio (kg/cm <sup>2</sup> )
0.40	--	--	--	Terreno vegetale	1.85	--	--	--
1.40	12.2	0.56	21.78	Argilla inorganica compatta	1.88	0.61	--	47.07
2.00	7.6	0.31	24.51	Argilla inorganica di media consistenza	1.80	0.38	--	37.21
5.80	12.6	0.55	22.90	Argilla inorganica compatta	1.89	0.63	--	47.48
7.00	17.6	0.78	22.56	Argilla inorganica compatta	1.94	0.88	--	46.47
10.20	9.4	0.34	27.64	Argilla inorganica di media consistenza	1.83	0.47	--	42.20
12.60	14.3	0.71	20.14	Argilla inorganica compatta	1.90	0.72	--	48.40
14.20	29.4	1.52	19.34	Argilla inorganica molto compatta	2.03	1.47	--	58.80
15.00	39.6	1.44	27.50	Argille sabbiose e limose	2.04	1.98	--	79.20

Falda: -1,50 m dal piano di campagna attuale

**CPT n. 5**

Prof. superf. inf. strato (m)	q <sub>c</sub> medio (kg/cm <sup>2</sup> )	f <sub>s</sub> medio (kg/cm <sup>2</sup> )	q <sub>c</sub> / f <sub>s</sub>	Litologia (Schmertmann, 1978, con mod.)	Y medio (t/m <sup>3</sup> )	Cu medio (kg/cm <sup>2</sup> )	Φ° medio	Mo medio (kg/cm <sup>2</sup> )
0.40	--	--	--	Terreno vegetale	1.85	--	--	--
1.20	9.7	0.50	19.40	Argilla inorganica compatta	1.85	0.49	--	42.89
2.80	16.1	0.85	18.94	Argilla inorganica compatta	1.93	0.81	--	47.95
6.20	13.5	0.63	21.42	Argilla inorganica compatta	1.90	0.68	--	48.13
9.80	9.2	0.30	30.66	Argille sabbiose e limose	1.83	0.46	--	41.72
11.60	12.7	0.53	23.96	Argilla inorganica compatta	1.88	0.64	--	47.57
15.00	29.7	1.49	19.93	Argilla inorganica molto compatta	2.01	1.49	--	59.40

Falda: -1,40 m dal piano di campagna attuale

**CPT 1****CPT 2****CPT 3****CPT 5****CPT 4**Comparazione stratigrafie e grafici della resistenza alla punta q<sub>c</sub>

La caratterizzazione stratigrafico-geotecnica dei terreni di fondazione, desunta dalle prove penetrometriche ad infissione statica CPT, ha sostanzialmente confermato i dati bibliografici. Nello spessore indagato sono risultati prevalenti i terreni a comportamento geotecnico coesivo su quelli a comportamento granulare.

Comparando i profili litostratigrafici e i parametri geotecnici, si può notare che i terreni di fondazione dell'area indagata sono caratterizzati da una buona continuità laterale e presentano una discreta omogeneità d'insieme, sia nel carico di rottura del terreno ( $q_c$ ), e quindi nella portanza, sia nel rapporto di Begemann ( $q_c / f_s$ ), e quindi nella litologia.

Escludendo i primi 40÷50 cm circa di terreno vegetale, la successione stratigrafica presente nell'Ambito AN 89 è rappresentata da intercalazioni di argille limose, argille sabbioso-limose e limi con le seguenti caratteristiche geomeccaniche:

- da scadenti a molto buone da -0.40 m a -7.00 m dal piano di campagna attuale, con valori di resistenza medi alla punta  $q_c$  compresi tra 8 e 17 kg/cm<sup>2</sup>; la stratigrafia è costituita da livelli argillosi e argilloso-limosi compatti e di media consistenza e da argille sabbioso-limose
- modeste da -7.00 m a -10.00 m dal piano di campagna attuale, con valori di resistenza medi alla punta  $q_c$  compresi tra 9 e 10 kg/cm<sup>2</sup>; la stratigrafia è costituita da argille limose di media consistenza e da argille sabbioso-limose
- da molto buone a ottime da -10.00 m a -15.00 m dal piano di campagna attuale, con valori di resistenza  $q_c$  compresi tra 12 e 42 kg/cm<sup>2</sup>; alternanze di argille limose da compatte a molto compatte e argille sabbioso-limose

I livelli argilloso-limosi prossimi al piano campagna presenti nel terreno incolto (prove CPT 1, 2 e 3), sono interessati da una modesta sovraconsolidazione – associabile al valore della resistenza alla punta penetrometrica – che si esaurisce a circa -1,80 m di profondità. Essa deriva principalmente da processi di essiccazione e subordinatamente da oscillazioni di falda accompagnate dall'azione dell'evaporazione e della capillarità. Questi strati possiedono parametri geomeccanici elevati che tenderanno a ridimensionarsi all'aumentare del livello di falda. La sovraconsolidazione superficiale è invece più blanda in corrispondenza delle verticali di prova 4 e 5.

Nei fori delle prove penetrometriche, il freatimetro ha rilevato la presenza di acqua il cui livello statico si è stabilizzato tra -1.30 e -1.50 m dal piano di campagna attuale. La falda freatica è caratterizzata da bassi valori di trasmissività e da variabilità nel livello piezometrico che è in stretta relazione con gli apporti meteorici. Sulla scorta dei dati bibliografici e di campagna la fluttuazione stagionale della falda superficiale in questa zona è compresa tra -1.00 m dal p.c. in inverno (periodo di ricarica) e -4.50 m dal p.c. in estate (periodo di magra).

A titolo puramente esemplificativo, considerata la stratigrafia e la caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione, la portanza del terreno per fondazioni superficiali continue può essere stimata in questa sede in **0,75 ÷ 0,90 kg/cm<sup>2</sup>**.

## 2. SISMICA

### 2.1. Introduzione

L'evoluzione del quadro normativo in materia di sismica ha visto frequenti aggiornamenti, a partire dalla promulgazione dell'Ordinanza n. 3274 del 20-3-2003 *"Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"* e s.m.i., fino al decreto Ministeriale del 14-1-2008 (Norme Tecniche per le Costruzioni, NTC08) e alla Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti n. 617 del 2-2-2009. Si è passati da una definizione dell'azione sismica di progetto (e di verifica) che era basata sulla classificazione sismica dei comuni del territorio nazionale in quattro zone sismiche (zona 1, 2, 3 e 4 in ordine decrescente di severità: per esempio, il comune di Castelfranco Emilia è classificato nella zona sismica 3), ad una determinazione dell'input indipendente dalla classificazione (a cui si continua a fare riferimento solo per dirimere questioni amministrative di competenza delle regioni), che deriva dal recepimento dei risultati di uno studio di macrozonazione sismica del territorio nazionale condotto e costantemente aggiornato dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). Nel calcolo delle azioni sismiche di progetto le nuove norme tengono in ampia considerazione i fenomeni amplificativi dovuti alle caratteristiche stratigrafiche, geotecniche e topografiche del sito.

Contemporaneamente, alcune amministrazioni regionali hanno promosso studi di microzonazione sismica (MS), cioè studi per la valutazione degli effetti locali a scala territoriale finalizzati alla pianificazione del territorio e/o alla ricostruzione post-sismica di alcuni centri abitati. In Emilia-Romagna è stata anche avvertita la necessità di stabilire degli indirizzi e criteri generali per l'uniformazione delle procedure di valutazione e dei prodotti tecnico-scientifici (Delibera dell'Assemblea Legislativa della Regione Emilia-Romagna n. 112 del 2-5-2007 *"Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica"*).

Gli studi di MS (di cui alla DAL RER n. 112/2007) consistono nella identificazione e perimetrazione in un dato territorio di zone omogenee in relazione alla pericolosità sismica locale, e nella stima della risposta dei terreni delle diverse zone alle onde sismiche in arrivo al sito, in modo da stabilire gerarchie di pericolosità fra di esse e fornire elementi conoscitivi per la programmazione territoriale, la pianificazione urbanistica, la pianificazione dell'emergenza e del post-terremoto, la progettazione di opere a scala vasta. Gli studi di MS sono direttamente utilizzabili per la programmazione territoriale e urbanistica e per la programmazione dell'emergenza; per quanto riguarda la progettazione strutturale, gli studi di MS più approfonditi sono un importante riferimento che offre elementi di conoscenza per orientare il progettista sulla natura dei rischi del sito in cui il manufatto ricade, sugli approfondimenti da effettuare, sulle indagini sui terreni fondazione e nel sito, ecc., ma, salvo eccezioni, non sono direttamente utilizzabili per la progettazione.

Le NTC08 consistono invece nella valutazione delle azioni sismiche per il calcolo strutturale (costruzioni e opere geotecniche) tenendo conto della risposta dei terreni di fondazione e del sito (inteso come area vasta intorno alla costruzione); comprendono inoltre la valutazione della pericolosità locale legata a fenomeni di liquefazione, instabilità dei pendii, cedimenti.

Il confine tra gli studi di MS e le NTC va ricercato nella differente scala alla quale i due strumenti di prevenzione sismica operano. Infatti, la MS agisce in ambiti territoriali e subterritoriali mentre le NTC riguardano la progettazione di opere a

scala di manufatto; perciò per la progettazione si richiedono informazioni molto più puntuali di quelle richieste da uno studio di MS.

## 2.2. Risposta sismica locale e microzonazione sismica

### 2.2.1. Metodologia

Nella presente relazione, considerata la finalità dello studio e l'estensione dell'area di indagine, per accertare la variabilità spaziale delle caratteristiche stratigrafiche e geotecniche dei terreni e valutare la risposta sismica locale e la microzonazione sismica, è stato ritenuto adeguato e sufficiente il ricorso a n. 5 prove penetrometriche meccaniche ad infissione statica CPT e n. 2 prove sismiche con metodo MASW.

Si è proceduto poi a definire gli scenari di pericolosità sismica locale, cioè ad identificare le parti di territorio suscettibili di effetti locali in accordo con l'atto di indirizzo e coordinamento di cui alla DAL RER n. 112/2007, al PTCP della Provincia di Modena e al PSC del Comune di Castelfranco Emilia.

Gli studi di risposta sismica locale e microzonazione sismica vanno condotti (v. DAL RER n. 112/2007), a diversi livelli di approfondimento a seconda delle finalità e delle applicazioni nonché degli scenari di pericolosità locale. Si identificano due fasi di analisi con diversi livelli di approfondimento.

La prima fase è diretta a definire gli scenari di pericolosità sismica locale, cioè ad identificare le parti di territorio suscettibili di effetti locali (amplificazione del segnale sismico, cedimenti, instabilità dei versanti, fenomeni di liquefazione, rotture del terreno, ecc.). Tale analisi viene svolta - soprattutto mediante elaborazione dei dati disponibili - in sede di elaborazione del PTCP e del PSC e concorre alla definizione delle scelte di piano, fornendo prime indicazioni sui limiti e le condizioni per la pianificazione nelle suddette aree.

La seconda fase ha come obiettivo la microzonazione sismica del territorio indagato. Sulla base degli scenari individuati dalle analisi svolte nel corso della prima fase, nella seconda fase si attuano due diversi livelli di approfondimento:

a) nelle aree pianeggianti e sub-pianeggianti, incluse le zone di fondovalle appenniniche, con stratificazione orizzontale e sub-orizzontale, e sui versanti stabili con acclività  $\leq 15^\circ$  in cui il deposito ha spessore costante si ritiene sufficiente un'**analisi semplificata** (secondo livello di approfondimento), cioè l'analisi della pericolosità locale può essere basata, oltre che sull'acquisizione di dati geologici e geomorfologici più dettagliati di quelli rilevati nel primo livello, su prove geofisiche in sito e su prove geotecniche di tipo standard. Il numero delle verticali indagate deve essere tale da consentire un'adeguata caratterizzazione geotecnica spaziale dei terreni e delle formazioni presenti nell'area di studio;

b) un'**analisi più approfondita** (terzo livello di approfondimento) è invece richiesta nei seguenti casi:

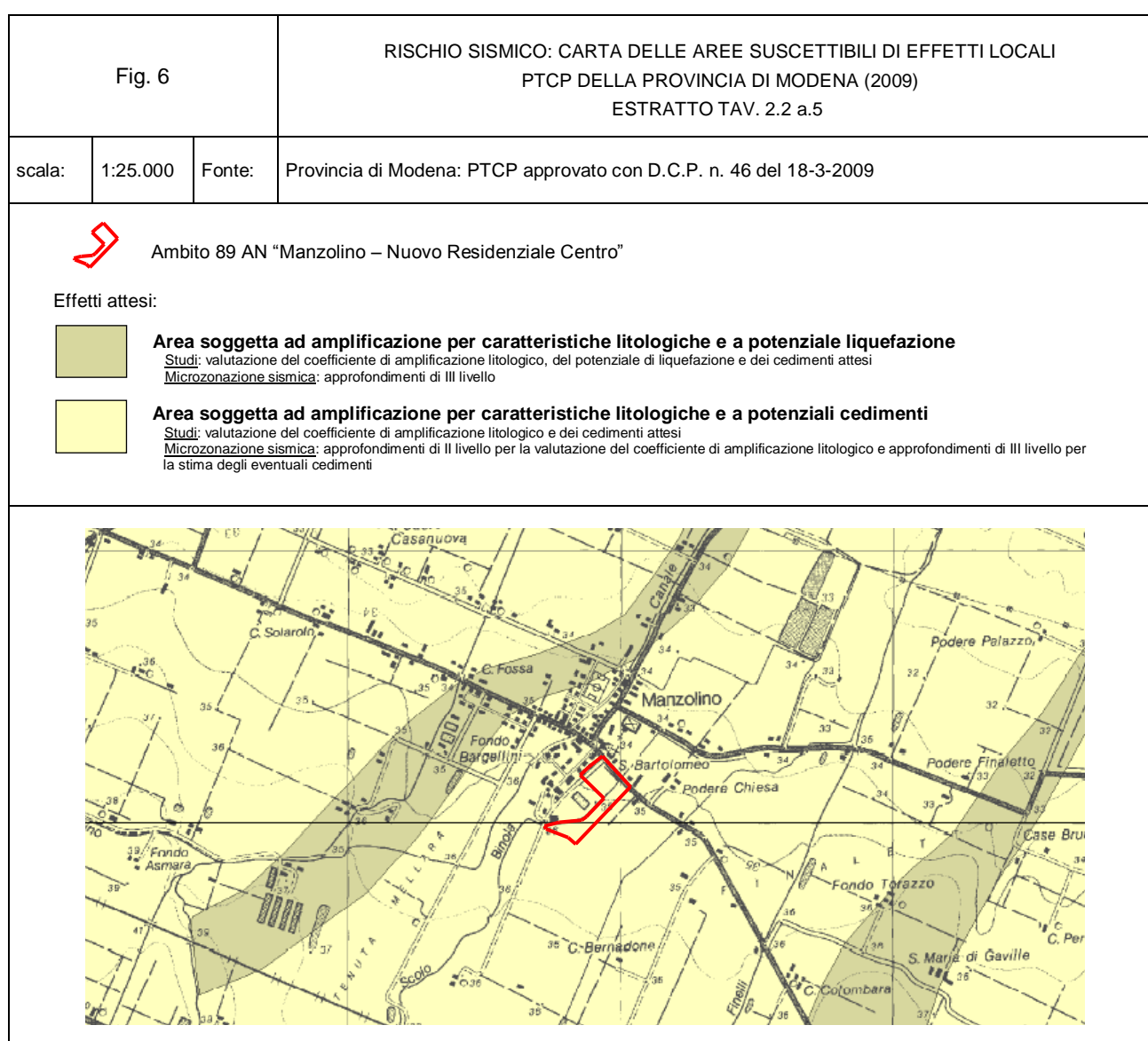
- aree soggette a liquefazione e densificazione;
- aree instabili e potenzialmente instabili;
- aree in cui le coperture hanno spessore fortemente variabile, come ad esempio nelle aree pedemontane e di fondovalle a ridosso dei versanti;
- aree in cui è prevista la realizzazione di opere di rilevante interesse pubblico.

In queste parti del territorio la pericolosità potrebbe essere molto elevata e perciò deve essere attentamente valutata la possibilità di renderle suscettibili di trasformazione urbanistica.

Le indagini realizzate nella seconda fase possono fornire anche indicazioni per la scelta localizzativa degli edifici e per la progettazione preliminare degli interventi. Non si è tuttavia esentati dalle indagini e dagli studi integrativi richiesti per la progettazione e la realizzazione dell'opera.

### 2.2.2. Effetti locali attesi in occasione di eventi sismici secondo le previsioni del PTCP

Nella fig. 6 è riportato un estratto della Tav. 2.2 a.5 "Carta delle aree suscettibili di effetti locali" del PTCP vigente della Provincia di Modena, dalla quale si rileva che i terreni dell'Ambito 89 AN ricadono nel dominio delle aree soggette ad amplificazione sismica per caratteristiche litologiche e a potenziali cedimenti.



Per questi ambiti viene richiesta un'analisi quantitativa degli effetti di sito ( § 4.1 della D.A.L. RER n. 112/2007 "Secondo livello di approfondimento – analisi semplificata). Pertanto, lo studio della risposta sismica locale si articolerà nei seguenti punti:

- Valutazione del coefficiente di amplificazione litologico (approfondimenti di II livello)
- Stima del potenziale di liquefazione
- Stima dei cedimenti postsismici dei terreni coesivi (approfondimenti di III livello)

### 2.2.3. Indagine geofisica con metodo sismico MASW

Il giorno 23 marzo 2011, sono state eseguite n. 2 prove sismiche con metodo MASW in due aree all'interno dell'Ambito 89 AN di Manzolino. Il metodo MASW (*Multichannel Acquisition Surf Wave*) ha come obiettivo quello di ricostruire il profilo sismostratigrafico di un sito, valutando in particolare la distribuzione della velocità delle onde "S" sia per la ricostruzione del profilo del sottosuolo sia per la definizione *in situ* della  $V_{s30}$ .

Al fine di migliorare il rapporto segnale disturbo per ogni punto di offset vengo eseguiti, in modalità iterativa, tre shots. Il metodo MASW prevede la costruzione di una curva di dispersione per le onde di superficie, attraverso l'elaborazione di un'immagine di dispersione derivata dall'analisi della propagazione delle onde di Rayleigh.

La tecnica di prospezione MASW utilizza quindi un'immagine rappresentativa delle frequenze delle onde superficiali, espressa in funzione della velocità di fase delle stesse. Nell'immagine di dispersione (*Over Tone Image*) viene inoltre enfatizzata cromaticamente l'ampiezza delle vibrazioni evidenziando così le aree corrispondenti al miglior rapporto segnale/disturbo.

Una volta individuata la sequenza di frequenze e velocità di fase corrispondenti alla più probabile distribuzione della dispersione nel sottosuolo esaminato (analisi della curva di dispersione) si procede alla ricostruzione delle stratigrafia rappresentativa della distribuzione delle velocità delle onde S tramite l'utilizzo di un algoritmo di inversione.

La tecnica di prospezione MASW può essere così schematizzata:

1. acquisizione delle onde superficiali;
2. costruzione delle curve di dispersione (grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza);
3. inversione delle curve di dispersione per ottenere il profilo verticale delle V.

### MODALITÀ ESECUTIVE

Le indagini MASW vengono eseguite disponendo sul terreno almeno 24 sensori (geofoni), posti ad intervallo costante, collegati ad un sismografo mediante un cavo multipolare. Dopo l'allestimento del dispositivo di ricezione si provvede a generare artificialmente vibrazioni impulsive ad alta frequenza in corrispondenza di un punto prestabilito lungo il profilo (*punto di scoppio*): nello stesso istante di partenza della vibrazione viene trasmesso al sismografo il comando di avvio della registrazione (*trigger*). Da questo istante inizia l'acquisizione digitale, con intervallo di campionamento pari a 0.25 ms e tempo di registrazione pari ad almeno 1 secondo.



Lo scoppio e la registrazione se necessario vengono ripetuti tre volte. Lo strumento utilizzato è il sismografo digitale A6000-S di produzione M.A.E. s.r.l. caratterizzato da 24 canali di acquisizione digitale con dinamica a 24 bit. Gli impulsi sismici sono stati generati con l'utilizzo di una massa battente da 6.0 Kg. Nel caso specifico la geometria dell'array di entrambe le prove MASW è riassunta nella seguente tabella:

Sezione	N° geofoni	Spacing (m)	Offset (m)	Lunghezza Array (m)
L1	24	1.00	7.00	30.00

*Array dello stendimento MASW*

### ANALISI DELLE IMMAGINI DI DISPERSIONE

Le immagini di dispersione rappresentano, in forma grafica, lo spettro di dispersione delle onde di Rayleigh che si propagano nel sottosuolo dell'area indagata. Le immagini illustrano la dispersione vera e propria intesa come variazione della velocità di fase in funzione delle frequenze dello spettro. Evidenziano inoltre l'ampiezza delle vibrazioni (energia associata) utilizzando variazioni di toni di colori. L'obiettivo dell'analisi dell'immagine di dispersione è l'individuazione del "tono fondamentale" della vibrazione (fundamental mode), distinguendolo da tutti gli ipertoni associati (higher tone) e dai rumori di fondo (noise).

L'individuazione del "tono fondamentale" permette di giungere alla principale chiave di lettura della prospezione cioè all'individuazione della "curva di dispersione" e quindi, tramite inversione, alla ricostruzione della sequenza sismostratigrafica del sito indagato.

### INTERPRETAZIONE

Il profilo delle Vs è determinato sulla base di un algoritmo iterativo di inversione che utilizza i dati ottenuti dallo studio della curva di dispersione. L'algoritmo si basa sulle seguenti considerazioni:

- 1) la frequenza è direttamente legata alla profondità di indagine (basse frequenze alte profondità);
- 2) la velocità di fase dipende essenzialmente dalle proprietà elastiche dei materiali interessati dal propagarsi della perturbazione.

L'algoritmo di inversione tiene inoltre conto della necessità di soddisfare la seguente relazione:

$$zf = a \lambda f$$

dove:

$zf$  = profondità di propagazione della frequenza  $f$ ;

$a$  = coefficiente adimensionale;

$\lambda f$  = lunghezza d'onda corrispondente alla frequenza  $f$ .

Le iterazioni necessarie per l'elaborazione in precedenza descritta avvengono tramite l'utilizzo di un programma di calcolo specifico (*Surfseis 2.0* del *Kansas Geological Survey*).

Negli allegati sono riportate sia l'immagine di dispersione (*Over Tone Image*) che la relativa curva di dispersione. Per quanto concerne il calcolo dei parametri elastici sono state utilizzate le seguenti formule:

Densità Dinamica:

$$\gamma = 0.51V_p^{0.19}$$

dove:

$\gamma$  = densità del mezzo attraversato  
 $V_p$  = velocità onde di compressione

Modulo di taglio:

$$G = \gamma V_s^2$$

dove:

$\gamma$  = densità del mezzo attraversato  
 $V_s$  = velocità onde di taglio

Modulo di Young:

$$E = 2\gamma V_s^2 (1 + \nu)$$

dove:

$\nu$  = coefficiente di Poisson

Coefficiente di Poisson:

Il coefficiente di Poisson è un valore di input per il calcolo dei parametri elastici, in assenza di prove Down Hole o Cross Hole di taratura esso viene definito utilizzando la seguente tabella:

Litologia	Vs	Poisson
Limi	80/100	0,50
Limi argillosi	100/150	0,45
Limi sabbiosi	80/150	0,50
Argilla	200/500	0,45
Sabbia	100/200	0,40
Ghiaia	250/500	0,35
Roccia fratturata	300/800	0,30
Roccia compatta	500/1500	0,20

*Valori caratteristici del coefficiente di Poisson*

### DETERMINAZIONE DELLA VELOCITÀ DELLE ONDE SISMICHE NEI PRIMI 30 m ( $V_{s30}$ )

Utilizzando le metodologie e le formule di cui al paragrafo relativo alla metodologia MASW, è possibile individuare la seguente sezione sismica di sintesi:

MASW 1		
Strato	Spessore medio (m)	Vs (m/s)
1	1.138	104.236
2	1.422	154.540
3	1.778	175.352
4	2.222	115.514
5	2.778	218.719
6	3.472	188.101
7	4.340	265.598
8	5.426	333.951
9	6.782	388.781
10	7.340	618.835

MASW 2		
Strato	Spessore medio (m)	Vs (m/s)
1	1.025	104.346
2	1.282	156.300
3	1.602	115.595
4	2.003	172.000
5	2.504	169.283
6	3.129	148.638
7	3.912	260.424
8	4.890	317.852
9	6.112	356.272
10	6.615	554.190

Seguendo le prescrizioni dell'OPCM 3274/2003 e del D.M. 14-1-2008 la determinazione della  $V_{s30}$  è stata ottenuta utilizzando la formula:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{V_{si}}}$$

dove:

$h_i$  = spessore dello strato i-esimo

$V_{si}$  = Velocità orizzontale dello strato i-esimo

La  $V_{s30}$ , senza specifiche indicazioni dei progettisti, è calcolata a partire dal piano di campagna.

<b>MASW 1: <math>V_{s30} = 227.75</math> m/s</b>	} <b>Categoria C</b> Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ compresi tra 180 e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
<b>MASW 2: <math>V_{s30} = 225.02</math> m/s</b>	

#### 2.2.4. Stima della profondità del bedrock sismico

Non essendo stato raggiunto il bedrock con l'indagine geofisica MASW, il profilo di Vs è stato estrapolato in profondità fino a valori di Vs = 800 m/s mantenendo lo stesso gradiente dell'ultimo tratto della curva sperimentale. Il bedrock è stato pertanto collocato tra -50 e -70 m circa dal piano di campagna, in accordo con le informazioni stratigrafiche generali, desunte sia dagli studi geologici ed idrogeologici sviluppati dalla Regione Emilia-Romagna sia dai dati stratigrafici ENI.

La stratigrafie dei pozzi seguenti possono essere assunte come rappresentative della stratigrafia dell'area.

#### POZZO 220020P680 - MANZOLINO - VIA CIMITERO

da m	0.00	a m	9.00	terreno vegetale, argilla
"	9.00	"	14.00	ghiaia
"	14.00	"	22.00	argilla
"	22.00	"	40.00	ghiaia
"	40.00	"	44.00	argilla
"	44.00	"	70.00	ghiaia

POZZO 202140P628 - MANZOLINO - FONDO GALASSO

da m	0.00	a m	33.30	terreno vegetale, argilla e ghiaia
"	33.30	"	44.80	sabbia fine, argilla plastica, ghiaia
"	44.80	"	81.50	argilla plastica, ghiaia
"	81.50	"	90.00	argilla, ghiaia sabbiosa
"	90.00	"	99.00	ghiaia limosa, ghiaia con argilla, argilla plastica, ghiaia sabbiosa
"	99.00	"	120.50	ghiaia con argilla, argilla plastica
"	120.50	"	135.00	sabbia, ghiaia con argilla
"	135.00	"	142.00	ghiaia

POZZO 202140P629 - MANZOLINO - FONDO GALASSO

da m	0.00	a m	19.00	terreno vegetale, argilla
"	19.00	"	34.00	ghiaia e ciottoli
"	34.00	"	62.00	argilla sabbiosa, argilla compatta, ghiaia
"	62.00	"	72.00	ghiaia sabbiosa, argilla, sabbia
"	72.00	"	78.00	ghiaia sabbiosa, argilla, sabbia
"	78.00	"	82.00	ghiaia e ciottoli, argilla
"	82.00	"	89.00	sabbia, sabbia
"	89.00	"	94.50	ghiaia sabbiosa, argilla

POZZO 202140P630 - MANZOLINO - FONDO GALASSO

da m	0.00	a m	34.00	terreno vegetale, argilla, ghiaia
"	34.00	"	46.50	ghiaia sabbiosa, argilla plastica, ghiaia
"	46.50	"	81.00	argilla plastica, sabbia fine, argilla
"	81.00	"	100.00	ghiaia, argilla plastica
"	100.00	"	119.50	argilla, argilla compatta, ghiaia sabbiosa
"	119.50	"	124.00	ghiaia
"	124.00	"	135.00	argilla plastica
"	135.00	"	140.00	ghiaia

**2.2.5. Valutazione dei fattori di amplificazione sismica (approfondimenti di II livello)**

Il calcolo ha fornito un valore delle  $V_{s30}$  pari a 227 m/s (MASW 1) e 225 m/s (MASW 2), compatibile con l'intervallo caratteristico di velocità della categoria di sottosuolo C, rappresentata da "Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 180 e 360 m/s (ovvero  $15 < N_{SPT,30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < c_{u,30} < 250$  kPa nei terreni a grana fina).

Partendo dal valore di  $V_{s30}$ , la DAL RER n. 112/2007 definisce le amplificazioni locali sulla base dei valori tabellati in appendice al documento (allegato A2) e riferite a grandi situazioni morfologico-stratigrafiche ("secondo livello" di analisi).

Le variabili, ricavabili dalle tabelle, utilizzate per la stima dell'amplificazione locale sono:

F.A. P.G.A. → rapporto tra la massima ampiezza dell'accelerazione su affioramento rigido ( $a_{max,r}$ ) e la massima ampiezza dell'accelerazione alla superficie del deposito ( $a_{max,s}$ ) alla frequenza  $f$ . Il fattore di amplificazione dipende dalla frequenza di eccitazione armonica, dal fattore di smorzamento  $D$  e dal rapporto tra l'impedenza sismica, prodotto tra densità-velocità, della roccia base e quella del deposito.

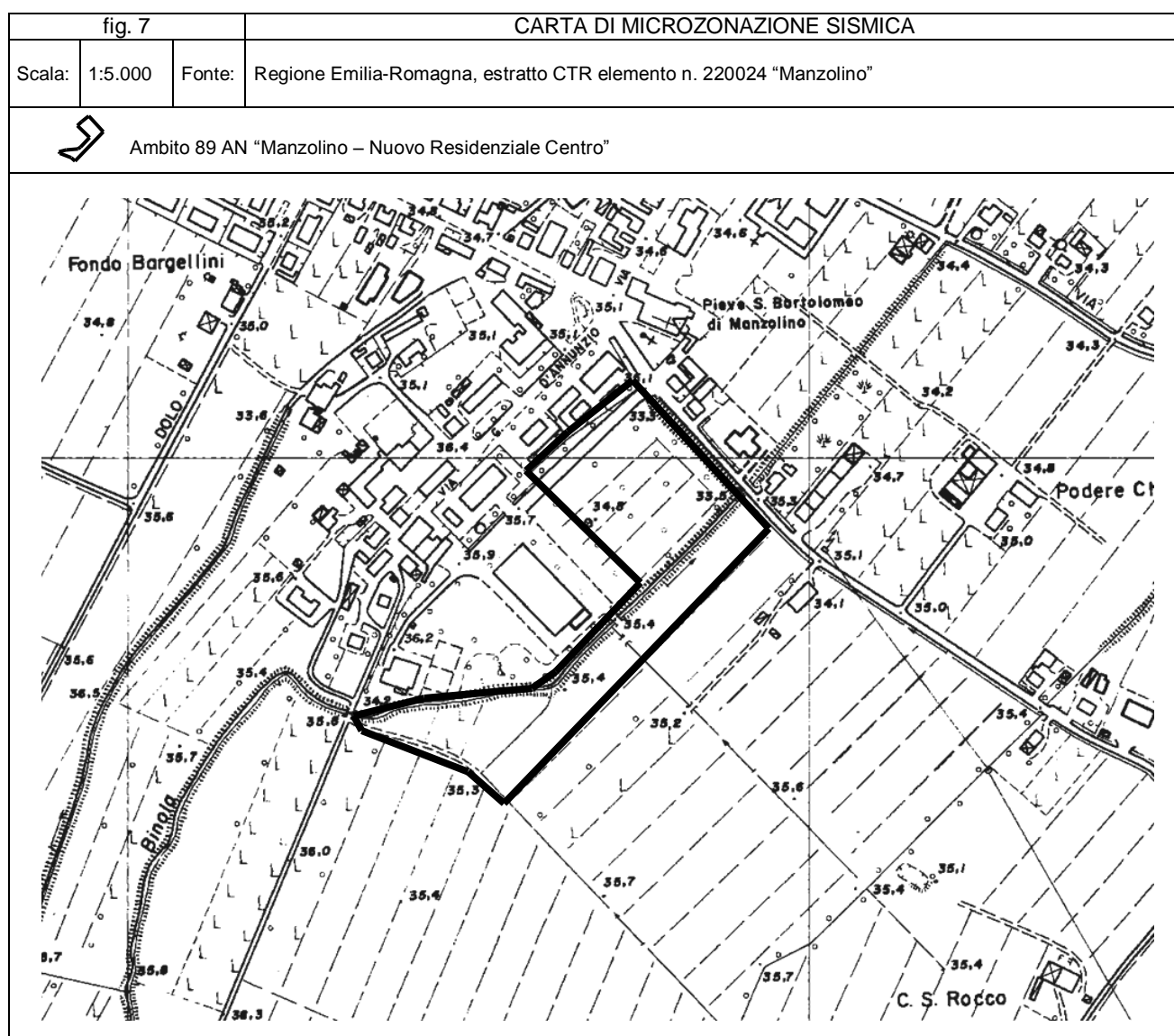
F.A. S.I. - Intensità spettrale di Housner → indicatore della pericolosità sismica, è definito come l'area sottesa dello spettro di risposta di pseudovelocità, nel nostro caso per i due intervalli di frequenze, rispettivamente:

da  $0.1 \text{ s} < T_0 < 0.5 \text{ s}$  e da  $0.5 \text{ s} < T_0 < 1 \text{ s}$

Per l'Ambito AN 89 di Manzolino, lo scenario di pericolosità risulta definito dall'ambito di pianura caratterizzato dal profilo stratigrafico < PIANURA 1 >, costituito dalla presenza di potenti orizzonti di ghiaie (anche decine di metri) e da alternanze di sabbie e peliti, con substrato poco profondo (<100 m dal p.c.).

AMBITO AN 89 MANZOLINO – NUOVO RESIDENZIALE CENTRO				
FATTORI DI AMPLIFICAZIONE				
$V_{s30}$ (m/s)	PROFILO STRATIGRAFICO	F.A. P.G.A.	INTENSITÀ SPETTRALE S.I.	F.A. S.I.
225	PIANURA 1	1.7	$0.1 \text{ s} < T_0 < 0.5 \text{ s}$	1.9
			$0.5 \text{ s} < T_0 < 1 \text{ s}$	2.6

I fattori di amplificazione valori sopra riportati sono riferiti all'intero territorio racchiuso entro l'Ambito 89 AN "Manzolino – Nuovo Residenziale Centro" (fig. 7).



### 2.2.6. Valutazione della suscettibilità alla liquefazione

Per liquefazione si intende un processo di accumulazione della pressione del fluido interstiziale che causa in un terreno non coesivo (sabbia, sabbie limose non plastiche) saturato diminuzione della resistenza e/o rigidità al taglio a seguito dello scuotimento sismico, potendo dar luogo a deformazioni permanenti significative. La liquefazione consiste quindi in una diminuzione della resistenza del terreno, a seguito del raggiungimento della condizione di fluidità. La perdita totale della resistenza viene raggiunta quando la pressione dell'acqua che riempie gli interstizi arriva a uguagliare la pressione di confinamento, rendendo nulle le tensioni efficaci trasmesse attraverso le particelle solide. Una volta che il terremoto ha innescato il processo di liquefazione, la massa del suolo resta in movimento fino a che non raggiunge una nuova condizione di stabilità.

Il meccanismo della liquefazione dipende sia dalle caratteristiche relative al sisma (magnitudo, durata, distanza dall'epicentro, accelerazione massima al sito) che da quelle del terreno (distribuzione granulometrica, uniformità, saturazione, densità relativa, pressioni efficaci di confinamento, stato tensionale in situ iniziale, etc.). La previsione della pericolosità di liquefazione si basa, oltre che sui parametri del sisma atteso, sulla stima di un "potenziale di liquefazione" del terreno, il quale dipende da una serie di parametri geotecnici quali ad esempio:

- a) distribuzione granulometrica: sono suscettibili di liquefazione i terreni con diametro mediano dei grani  $D_{50}$  compreso fra 0.075mm e 2mm e coefficiente di uniformità compreso fra 2 e 5 (sabbie e sabbie limose);
- b) indice di plasticità: il fenomeno è possibile in terreni caratterizzati da un indice di plasticità inferiore al 10%;
- c) densità relativa: sono suscettibili di liquefazione i terreni sciolti con densità relativa  $D_r < 50\%$  o nei quali  $N < 2z$ , dove  $N$  è il numero di colpi della prova penetrometrica standard (SPT) e  $z$  la profondità in metri;
- d) saturazione: sono suscettibili di liquefazione i terreni in cui la falda è prossima al piano di campagna (profondità  $< 7\text{m}$ );
- e) profondità: in genere il fenomeno di liquefazione si può verificare entro i primi 15 m di terreno o comunque per pressioni verticali di confinamento inferiori a 200kPa.

Il metodo di verifica di seguito riportato permette di esprimere la suscettibilità alla liquefazione del deposito attraverso un coefficiente di sicurezza  $F_s$ , dato dal rapporto fra la resistenza al taglio mobilizabile ( $R$ ) nello strato e lo sforzo tagliante ( $T$ ) indotto dal sisma. È bene chiarire che si tratta di stime basate spesso su correlazioni empiriche.

$$F_s = R / T$$

dove  $T$  è così determinato:



$$T = 0,65 \cdot \frac{a_{\max}}{g} \cdot \frac{\sigma_{VO}}{\sigma'_{VO}} \cdot rd \cdot \frac{1}{MSF}$$

dove

$a_{\max}$  rappresenta l' accelerazione sismica massima

$g$  accelerazione di gravità

$\sigma_{VO}$  pressione verticale totale alla profondità  $z$  dal p.c.

$\sigma'_{VO}$  pressione verticale efficace alla profondità  $z$  dal p.c.

$rd$  coefficiente in funzione della profondità

$MSF$  coefficiente correttivo funzione della magnitudo del sisma

$$\text{per } z \leq 9,15 \text{ m} \quad \rightarrow \quad rd = 1 - 0.00765 \cdot z$$

$$\text{per } 9,15 < z \leq 23 \text{ m} \quad \rightarrow \quad rd = 1.174 - 0.0267 \cdot z$$

$$\text{per } 23 < z \leq 30 \text{ m} \quad \rightarrow \quad rd = 0.774 - 0.008 \cdot z$$

$$\text{per } z > 30 \text{ m} \quad \rightarrow \quad rd = 0.5$$

$$\text{se } M \text{ (magnitudo)} \leq 7.5 \quad \rightarrow \quad MSF = \left( \frac{M}{7.5} \right)^{-3.3}$$

$$\text{se } M \text{ (magnitudo)} > 7.5 \quad \rightarrow \quad MSF = \frac{10^{2.24}}{M^{2.56}}$$

Per una valutazione di massima da prove CPT della suscettività alla liquefazione dei terreni sabbiosi in falda, è stato utilizzato un programma di calcolo automatico (GeoStru) che applica la correlazione di Robertson e Wride (1997).

Verifica alla liquefazione (Robertson e Wride, 1997)	
$F_s \geq 1,25$	Liquefazione assente
$F_s = 1,0 \div 1,25$	Liquefazione possibile
$F_s < 1$	Liquefazione molto probabile

Non essendo presenti strati sabbiosi in falda, di spessore significativo nei primi 15 m di terreno, non sussistono le condizioni litologiche per l'innescio di fenomeni di liquefazione in occasione di sollecitazioni sismiche.

### 2.2.7. Stima dei cedimenti postsismici dei terreni coesivi (approfondimenti di III livello)

Attraverso le indagini geognostiche, sono stati riscontrati terreni coesivi molto soffici ( $c_u \leq 70$  kPa) fino a circa 10 m dal piano di campagna.

I cedimenti postsismici nei terreni alluvionali della Pianura Padana non sono molto significativi in quanto trattasi di terreni già sovraconsolidati fino a profondità di 10-20 metri e inoltre già sottoposti, nei secoli, a diversi eventi sismici.

Nei depositi coesivi molto soffici ( $c_u \leq 70$  kPa) e plastici ( $I_p \geq 30\%$ ) in cui si prevede un incremento delle pressioni interstiziali  $\Delta u/\sigma'_0 \geq 0.3$  durante il terremoto di riferimento, l'entità dei cedimenti di riconsolidazione post-ciclica può essere valutata con la seguente espressione, dove  $H$  rappresenta lo spessore di un generico strato:

$\Delta H = \varepsilon_{vr} H$  dove  $H$  è l'altezza dello strato ed  $\varepsilon_{vr}$  (%) è la deformazione volumetrica post-ciclica

$$\varepsilon_{vr} = \frac{\alpha C_r}{1 + e_0} \log \left( \frac{1}{1 - \frac{\Delta u}{\sigma'_0}} \right)$$

in cui  $\alpha$  è una costante sperimentale compresa tra 1 e 1.5,  $e_0$  è l'indice dei vuoti iniziale,  $C_r$  è l'indice di riconsolidazione postciclica che in prima approssimazione può essere posto pari a  $C_r = 0.225 \cdot C_c$  dove:

$C_c$  è l'indice di compressione

$\frac{\Delta u}{\sigma'_0}$  è il rapporto di pressione interstiziale.

In prima approssimazione  $C_c$  può essere stimato con la relazione empirica:

$$C_c = 0.0348 + 0.0162 \cdot I_p$$

Attraverso le tabelle della D.A.L. RER n. 112/2007, di cui alle pagg. 42 e 43, e i dati di letteratura, è stato possibile stimare i seguenti valori del cedimento postsismico nei depositi dell'Ambito 89 AN:

PROVE PENETROMETRICHE	STIMA CEDIMENTI POSTSISMICI (cm)
CPT 1	0.86
CPT 2	0.78
CPT 3	0.93
CPT 4	0.96
CPT 5	0.76

### 3. OSSERVAZIONI CONCLUSIVE

Lo scopo della presente relazione è stato quello di caratterizzare - dal punto di vista geolitologico, litotecnico, idrogeologico e sismico - un terreno sito in frazione Manzolino del Comune di Castelfranco Emilia, corrispondente all'Ambito AN 89 "Manzolino – Nuovo Residenziale Centro" del PSC.

Lo studio si è articolato nella raccolta dei dati bibliografici e nell'esecuzione di una specifica campagna geognostica, finalizzata sia alla ricostruzione della stratigrafia locale sia all'acquisizione dei parametri geomeccanici e delle caratteristiche idrogeologiche e sismiche dei terreni presenti nell'area. Si è proceduto infine a definire gli scenari di pericolosità sismica locale, identificando le parti di territorio suscettibili di effetti locali in accordo con l'atto di indirizzo e coordinamento di cui alla Delibera dell'Assemblea Legislativa della Regione Emilia-Romagna n. 112 del 2-5-2007.

#### **MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO**

Dalla letteratura e dalla cartografia geologica disponibile risulta che il primo sottosuolo del sito indagato ricade nell'ambito dei terreni limoso-argillosi del Subsistema di Ravenna. Si tratta di depositi continentali quaternari attribuibili sia alla parte distale della conoide del fiume Panaro sia all'area interfluviale. Attualmente l'evoluzione geomorfologica dell'area è relativamente conservativa, essendo legata principalmente all'attività antropica e in particolar modo agli interventi edilizi ed infrastrutturali.

Il complesso idrogeologico cui appartiene l'area studiata, intendendo con ciò un'area con ben definite caratteristiche idrogeologiche distinguibili da quelle adiacenti, è quello delle conoidi maggiori (F. Panaro). Esso è caratterizzato in superficie da terreni costituiti dalle alluvioni più fini depositate dai fiumi appenninici.

In questa fascia della pianura i valori di soggiacenza della falda sono prossimi al piano di campagna; in superficie è frequente riscontrare livelli acquiferi sospesi, di natura freatica, completamente separati dall'acquifero principale e dotati di acque scadenti che traggono alimentazione principalmente dalle infiltrazioni delle precipitazioni meteoriche.

Nei fori delle prove penetrometriche CPT, eseguite in data 25-3-2011, il freatimetro ha rilevato la presenza di acqua il cui livello statico si è stabilizzato tra -1,30 m e -1,50 m dal piano di campagna attuale. La falda freatica è caratterizzata da bassi valori di trasmissività e da variabilità nel livello piezometrico che è in stretta relazione con gli apporti meteorici. Il suo livello potrebbe raggiungere e superare il piano di fondazione, tuttavia, dato il modesto carico idraulico, essa non eserciterà spinte idrostatiche significative alla base dello stesso.

Sulla scorta dei dati bibliografici e di campagna la fluttuazione stagionale della falda superficiale in questa zona è compresa tra -1,00 m dal p.c. in inverno (periodo di ricarica) e -4,50 m dal p.c. in estate (periodo di magra).

La caratterizzazione stratigrafico-geotecnica dei terreni di fondazione, desunta dalle prove penetrometriche ad infissione statica CPT, ha sostanzialmente confermato i dati bibliografici. Nello spessore indagato sono risultati prevalenti i terreni a comportamento geotecnico coesivo su quelli a comportamento granulare.

Comparando i profili litostratigrafici e i parametri geotecnici, si può notare che i terreni di fondazione dell'area indagata sono caratterizzati da una buona continuità laterale e presentano una discreta omogeneità d'insieme, sia nel carico di rottura del terreno ( $q_c$ ), e quindi nella portanza, sia nel rapporto di Begemann ( $q_c / f_s$ ), e quindi nella litologia.

Escludendo i primi 40÷50 cm circa di terreno vegetale, la successione stratigrafica presente nell'Ambito AN 89 è rappresentata da intercalazioni di argille limose, argille sabbioso-limose e limi con le seguenti caratteristiche geomeccaniche:

- da scadenti a molto buone da -0.40 m a -7.00 m dal piano di campagna attuale, con valori di resistenza medi alla punta  $q_c$  compresi tra 8 e 17 kg/cm<sup>2</sup>; la stratigrafia è costituita da livelli argillosi e argilloso-limosi compatti e di media consistenza e da argille sabbioso-limose

- modeste da -7.00 m a -10.00 m dal piano di campagna attuale, con valori di resistenza medi alla punta  $q_c$  compresi tra 9 e 10 kg/cm<sup>2</sup>; la stratigrafia è costituita da argille limose di media consistenza e da argille sabbioso-limose
- da molto buone a ottime da -10.00 m a -15.00 m dal piano di campagna attuale, con valori di resistenza  $q_c$  compresi tra 12 e 42 kg/cm<sup>2</sup>; alternanze di argille limose da compatte a molto compatte e argille sabbioso-limose

I livelli argilloso-limosi prossimi al piano campagna sono interessati da una modesta sovraconsolidazione – associabile al valore della resistenza alla punta penetrometrica – che si esaurisce a circa -1,80 m di profondità. Essa deriva principalmente da processi di essiccazione e subordinatamente da oscillazioni di falda accompagnate dall'azione dell'evaporazione e della capillarità. Questi strati possiedono parametri geomeccanici elevati che tenderanno a ridimensionarsi all'aumentare del livello di falda.

### **SISMICA**

Considerata la finalità dello studio e l'estensione dell'area di indagine, per accertare la variabilità spaziale delle caratteristiche stratigrafiche e geotecniche dei terreni e valutare la risposta sismica locale e la microzonazione sismica, sono state eseguite n. 5 prove penetrometriche meccaniche ad infissione statica CPT e n. 2 prove sismiche con metodo MASW. Sono poi stati definiti gli scenari di pericolosità sismica locale, identificando le parti di territorio suscettibili di effetti locali in accordo con l'atto di indirizzo e coordinamento di cui alla Delibera Regionale n. 112/2007.

La risposta sismica locale dei terreni dell'Ambito AN 89 di Manzolino, effettuata con un'analisi semplificata (approfondimenti di II livello), ha permesso di estendere all'intero ambito i seguenti fattori di amplificazione:

<b>AMBITO AN 89 MANZOLINO – NUOVO RESIDENZIALE CENTRO</b>				
<b>FATTORI DI AMPLIFICAZIONE</b>				
$V_{s30}$ (m/s)	PROFILO STRATIGRAFICO	F.A. P.G.A	INTENSITÀ SPETTRALE S.I.	F.A. S.I.
225	PIANURA 1	1.7	0.1 s < $T_0$ < 0.5 s	1.9
			0.5 s < $T_0$ < 1 s	2.6

Non sono state rilevate le condizioni geolitologiche predisponenti all'innesco di fenomeni di liquefazione in occasione di sollecitazioni sismiche. Inoltre, la stima dei cedimenti di consolidazione postsismica (approfondimenti di III livello) per gli strati argillosi soffici fino a -10 m dal p.c. ha dato valori trascurabili, inferiori ad 1 cm.

Sulla scorta dei dati emersi dalla ricerca bibliografica, dal rilevamento diretto e dall'indagine geognostica in sito, si conferma l'idoneità geologica, idrogeologica, geotecnica e sismica dei terreni studiati all'edificabilità alle condizioni precedentemente specificate.

Bomporto, 31 marzo 2011

dott. geol. Carlo Mondani



Opere consultate:

### Geologia e Geomorfologia

- AA. VV., *Le pianure. Conoscenza e salvaguardia*, Atti del Convegno, Università di Ferrara, 1999.
- Arpa Emilia-Romagna, Sezione provinciale di Modena, *Bilancio ambientale dell'unione dei comuni modenesi area nord*, 2004.
- Pellegrini M., *Caratteri morfologici della pianura interna*, in: AA.VV., *Il mondo della natura in Emilia Romagna. La pianura e la costa*, Federazione delle Casse di Risparmio e delle Banche del Monte dell'Emilia Romagna, Milano, 1990.
- Provincia di Modena, *2ª Relazione sullo stato dell'ambiente nella provincia di Modena*, 1997.
- Regione Emilia-Romagna, *Carta geologica di pianura dell'Emilia-Romagna a scala 1:250.000*, 1999.
- Regione Emilia-Romagna, *Carta sismotettonica della Regione Emilia-Romagna a scala 1:250.000*, 2004.

### Geotecnica e Idrogeologia

- A.G.I., *Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche*, 1977.
- Arpa Emilia-Romagna, *Rapporto sulla qualità delle acque superficiali e sotterranee della provincia di Modena*, anni 2001-2002.
- Bowles J. E., *Fondazioni. Progetto e analisi*, McGraw-Hill, Milano, 1991.
- Caputo V., *Interazione fondazione terreno. Modelli matematici e metodi numerici*, Hevelius, Benevento, 1995.
- Castany G., *Idrogeologia*, Dario Flaccovio Editore, Palermo, 1985.
- Cestari F., *Prove geotecniche in sito*, Ed. Geo-Graph s.n.c., Segrate, 1990.
- Colombo P. & Colleselli F., *Elementi di geotecnica*, Seconda Edizione, Zanichelli, Bologna, 1996.
- Lancellotta R., *Geotecnica*, Zanichelli, Bologna, 1987.
- Provincia di Modena, *Conoscere l'acqua. L'acqua in provincia di Modena*, 1984.
- Regione Emilia-Romagna, ENI-AGIP, *Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna*, 1998.
- Tanzini M., *L'indagine geotecnica*, Dario Flaccovio Editore, Palermo, 2002.

## PROVA PENETROMETRICA STATICA

Committente: MF SRL

Cantiere: NUOVO RESIDENZIALE CENTRO VIA MANZOLINO EST - AMBITO 89AN

Località: MANZOLINO, VIA MANZOLINO EST

### Caratteristiche Strumentali GOUDA 100 kN

Rif. Norme	ASTM D3441-86
Diametro Punta conica meccanica	35.7
Angolo di apertura punta	60
Area punta	10
Superficie manicotto	150
Passo letture (cm)	20
Costante di trasformazione Ct	10





**PROVA CPT 1**

Strumento utilizzato  
Prova eseguita in data  
Profondità prova  
Falda

GOUDA 100 kN  
25/03/2011  
15.00 m  
-1.40 m dal p.c.

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lettura laterale (Kg/cm <sup>2</sup> )	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0.20	0.0	0.0	0.1	0.00		0.00
0.40	0.0	0.0	0.1	0.53	0.19	530.00
0.60	8.0	16.0	8.1	0.53	15.28	6.54
0.80	10.0	18.0	10.1	0.93	10.86	9.21
1.00	18.0	32.0	18.1	0.80	22.63	4.42
1.20	18.0	30.0	18.3	0.80	22.88	4.37
1.40	16.0	28.0	16.3	0.53	30.75	3.25
1.60	12.0	20.0	12.3	0.53	23.21	4.31
1.80	12.0	20.0	12.3	0.40	30.75	3.25
2.00	8.0	14.0	8.3	0.27	30.74	3.25
2.20	8.0	12.0	8.4	0.27	31.11	3.21
2.40	8.0	12.0	8.4	0.27	31.11	3.21
2.60	8.0	12.0	8.4	0.27	31.11	3.21
2.80	10.0	14.0	10.4	0.53	19.62	5.10
3.00	10.0	18.0	10.4	0.27	38.52	2.60
3.20	8.0	12.0	8.6	0.27	31.85	3.14
3.40	8.0	12.0	8.6	0.27	31.85	3.14
3.60	6.0	10.0	6.6	0.27	24.44	4.09
3.80	12.0	16.0	12.6	0.67	18.81	5.32
4.00	10.0	20.0	10.6	0.40	26.50	3.77
4.20	12.0	18.0	12.7	0.67	18.96	5.28
4.40	10.0	20.0	10.7	0.40	26.75	3.74
4.60	10.0	16.0	10.7	0.53	20.19	4.95
4.80	10.0	18.0	10.7	0.40	26.75	3.74
5.00	12.0	18.0	12.7	0.53	23.96	4.17
5.20	14.0	22.0	14.8	0.67	22.09	4.53
5.40	14.0	24.0	14.8	0.67	22.09	4.53
5.60	14.0	24.0	14.8	0.53	27.92	3.58
5.80	12.0	20.0	12.8	0.53	24.15	4.14
6.00	12.0	20.0	12.8	0.53	24.15	4.14
6.20	16.0	24.0	17.0	0.53	32.08	3.12
6.40	16.0	24.0	17.0	0.67	25.37	3.94
6.60	12.0	22.0	13.0	0.53	24.53	4.08
6.80	10.0	18.0	11.0	0.27	40.74	2.45
7.00	8.0	12.0	9.0	0.27	33.33	3.00
7.20	8.0	12.0	9.1	0.27	33.70	2.97
7.40	6.0	10.0	7.1	0.27	26.30	3.80
7.60	6.0	10.0	7.1	0.27	26.30	3.80
7.80	8.0	12.0	9.1	0.27	33.70	2.97
8.00	8.0	12.0	9.1	0.40	22.75	4.40
8.20	10.0	16.0	11.2	0.27	41.48	2.41
8.40	8.0	12.0	9.2	0.27	34.07	2.93
8.60	14.0	18.0	15.2	0.53	28.68	3.49
8.80	8.0	16.0	9.2	0.27	34.07	2.93
9.00	8.0	12.0	9.2	0.27	34.07	2.93
9.20	8.0	12.0	9.4	0.27	34.81	2.87
9.40	8.0	12.0	9.4	0.27	34.81	2.87
9.60	6.0	10.0	7.4	0.27	27.41	3.65
9.80	8.0	12.0	9.4	0.27	34.81	2.87
10.00	8.0	12.0	9.4	0.27	34.81	2.87
10.20	10.0	14.0	11.5	0.40	28.75	3.48
10.40	10.0	16.0	11.5	0.53	21.70	4.61
10.60	8.0	16.0	9.5	0.53	17.92	5.58
10.80	10.0	18.0	11.5	0.53	21.70	4.61
11.00	12.0	20.0	13.5	0.40	33.75	2.96
11.20	10.0	16.0	11.7	0.53	22.08	4.53
11.40	8.0	16.0	9.7	0.40	24.25	4.12
11.60	10.0	16.0	11.7	0.53	22.08	4.53
11.80	12.0	20.0	13.7	0.67	20.45	4.89
12.00	14.0	24.0	15.7	0.80	19.63	5.10
12.20	16.0	28.0	17.8	0.93	19.14	5.22
12.40	20.0	34.0	21.8	1.20	18.17	5.50
12.60	22.0	40.0	23.8	1.33	17.89	5.59
12.80	24.0	44.0	25.8	1.33	19.40	5.16
13.00	20.0	40.0	21.8	1.20	18.17	5.50
13.20	18.0	36.0	19.9	1.20	16.58	6.03
13.40	24.0	42.0	25.9	1.07	24.21	4.13
13.60	32.0	48.0	33.9	1.47	23.06	4.34
13.80	30.0	52.0	31.9	1.73	18.44	5.42
14.00	36.0	62.0	37.9	2.00	18.95	5.28
14.20	32.0	62.0	34.1	1.60	21.31	4.69
14.40	44.0	68.0	46.1	1.87	24.65	4.06
14.60	44.0	72.0	46.1	2.00	23.05	4.34
14.80	42.0	72.0	44.1	2.00	22.05	4.54
15.00	38.0	68.0	40.1	0.00		0.00

Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs Media (Kg/cm <sup>2</sup> )	Gamma Medio (t/m <sup>3</sup> )	Comp. Geotecnico	Descrizione
0.40	0.0	0.00	1.85	Coesivo	Terreno vegetale
1.80	13.6	0.65	1.90	Coesivo	Argilla inorganica compatta
3.60	8.7	0.30	1.82	Incoerente-Coesivo	Argille sabbiose e limose
6.80	13.0	0.53	1.89	Coesivo	Argilla inorganica compatta
10.00	9.3	0.29	1.83	Incoerente-Coesivo	Argille sabbiose e limose
11.80	11.6	0.50	1.86	Coesivo	Argilla inorganica di media consistenza
12.20	16.8	0.87	1.93	Coesivo	Argilla inorganica compatta
14.00	27.0	1.39	2.01	Coesivo	Argilla inorganica molto compatta
15.00	42.1	1.49	2.05	Incoerente-Coesivo	Argille sabbiose e limose

### STIMA PARAMETRI GEOTECNICI CPT 1

Nr: Numero progressivo strato  
 Prof: Profondità strato (m)  
 Tipo: C: Coesivo. I: Incoerente. CI: Coesivo-Incoerente  
 Cu: Coesione non drenata (Kg/cm<sup>2</sup>)  
 Eu: Modulo di deformazione non drenato (Kg/cm<sup>2</sup>)  
 Mo: Modulo Edometrico (Kg/cm<sup>2</sup>)  
 G: Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm<sup>2</sup>)  
 OCR: Grado di sovraconsolidazione  
 Puv: Peso unità di volume (t/m<sup>3</sup>)  
 PuvS: Peso unità di volume saturo (t/m<sup>3</sup>)  
 Dr: Densità relativa (%)  
 Fi: Angolo di resistenza al taglio (°)  
 Ey: Modulo di Young (Kg/cm<sup>2</sup>)  
 K: Permeabilità (cm/s)

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey	K
1	0.40												
2	1.80	C	0.68	502.48	48.18	137.96	1.58	1.91	1.99	--	--	--	3.93E-09
3	3.60	CI	0.44	312.47	40.43	105.00	0.55	1.83	1.91	10.72	20.91	17.40	1.60E-06
4	6.80	C	0.65	465.61	47.81	134.21	0.52	1.89	1.97	--	--	--	9.74E-08
5	10.00	CI	0.47	316.55	41.96	109.37	<0.5	1.83	1.91	5	21.18	18.60	5.96E-06
6	11.80	C	0.58	394.91	46.32	125.18	<0.5	1.87	1.95	--	--	--	3.80E-08
7	12.20	C	0.84	586.31	47.39	156.97	<0.5	1.93	2.01	--	--	--	4.04E-10
8	14.00	C	1.35	964.71	54.00	209.76	<0.5	2.02	2.10	--	--	--	1.47E-10
9	15.00	CI	2.11	1525.58	84.20	275.17	0.69	2.09	2.17	36.34	35.90	84.20	3.97E-07

**PROVA CPT 2**

Strumento utilizzato  
Prova eseguita in data  
Profondità prova  
Falda

GOUDA 100 kN  
25/03/2011  
15.00 m  
-1.30 m dal p.c.

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lettura laterale (Kg/cm <sup>2</sup> )	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0.20	0.0	0.0	0.1	0.00		0.00
0.40	0.0	0.0	0.1	0.53	0.19	530.00
0.60	10.0	18.0	10.1	0.80	12.63	7.92
0.80	12.0	24.0	12.1	0.93	13.01	7.69
1.00	18.0	32.0	18.1	1.07	16.92	5.91
1.20	20.0	36.0	20.3	1.20	16.92	5.91
1.40	22.0	40.0	22.3	1.20	18.58	5.38
1.60	18.0	36.0	18.3	1.07	17.10	5.85
1.80	16.0	32.0	16.3	0.67	24.33	4.11
2.00	12.0	22.0	12.3	0.53	23.21	4.31
2.20	12.0	20.0	12.4	0.53	23.40	4.27
2.40	12.0	20.0	12.4	0.67	18.51	5.40
2.60	14.0	24.0	14.4	0.53	27.17	3.68
2.80	14.0	22.0	14.4	0.53	27.17	3.68
3.00	12.0	20.0	12.4	0.53	23.40	4.27
3.20	12.0	20.0	12.6	0.40	31.50	3.17
3.40	10.0	16.0	10.6	0.40	26.50	3.77
3.60	10.0	16.0	10.6	0.40	26.50	3.77
3.80	10.0	16.0	10.6	0.40	26.50	3.77
4.00	12.0	18.0	12.6	0.67	18.81	5.32
4.20	10.0	20.0	10.7	0.40	26.75	3.74
4.40	10.0	16.0	10.7	0.53	20.19	4.95
4.60	8.0	16.0	8.7	0.40	21.75	4.60
4.80	10.0	16.0	10.7	0.67	15.97	6.26
5.00	12.0	22.0	12.7	0.80	15.88	6.30
5.20	12.0	24.0	12.8	0.67	19.10	5.23
5.40	14.0	24.0	14.8	0.80	18.50	5.41
5.60	12.0	24.0	12.8	0.80	16.00	6.25
5.80	16.0	28.0	16.8	0.93	18.06	5.54
6.00	14.0	28.0	14.8	0.80	18.50	5.41
6.20	16.0	28.0	17.0	0.80	21.25	4.71
6.40	16.0	28.0	17.0	0.80	21.25	4.71
6.60	16.0	28.0	17.0	0.80	21.25	4.71
6.80	12.0	24.0	13.0	0.53	24.53	4.08
7.00	10.0	18.0	11.0	0.27	40.74	2.45
7.20	8.0	12.0	9.1	0.27	33.70	2.97
7.40	6.0	10.0	7.1	0.27	26.30	3.80
7.60	6.0	10.0	7.1	0.40	17.75	5.63
7.80	10.0	16.0	11.1	0.53	20.94	4.77
8.00	12.0	20.0	13.1	0.53	24.72	4.05
8.20	8.0	16.0	9.2	0.40	23.00	4.35
8.40	8.0	14.0	9.2	0.27	34.07	2.93
8.60	8.0	12.0	9.2	0.40	23.00	4.35
8.80	10.0	16.0	11.2	0.40	28.00	3.57
9.00	10.0	16.0	11.2	0.40	28.00	3.57
9.20	10.0	16.0	11.4	0.27	42.22	2.37
9.40	8.0	12.0	9.4	0.27	34.81	2.87
9.60	6.0	10.0	7.4	0.27	27.41	3.65
9.80	8.0	12.0	9.4	0.27	34.81	2.87
10.00	10.0	14.0	11.4	0.40	28.50	3.51
10.20	10.0	16.0	11.5	0.40	28.75	3.48
10.40	10.0	16.0	11.5	0.40	28.75	3.48
10.60	10.0	16.0	11.5	0.40	28.75	3.48
10.80	12.0	18.0	13.5	0.53	25.47	3.93
11.00	8.0	16.0	9.5	0.53	17.92	5.58
11.20	10.0	18.0	11.7	0.67	17.46	5.73
11.40	10.0	20.0	11.7	0.67	17.46	5.73
11.60	10.0	20.0	11.7	0.80	14.63	6.84
11.80	12.0	24.0	13.7	0.80	17.13	5.84
12.00	14.0	26.0	15.7	0.80	19.63	5.10
12.20	16.0	28.0	17.8	0.93	19.14	5.22
12.40	14.0	28.0	15.8	0.93	16.99	5.89
12.60	18.0	32.0	19.8	1.20	16.50	6.06
12.80	22.0	40.0	23.8	1.60	14.88	6.72
13.00	28.0	52.0	29.8	1.60	18.63	5.37
13.20	24.0	48.0	25.9	1.33	19.47	5.14
13.40	16.0	36.0	17.9	1.20	14.92	6.70
13.60	18.0	36.0	19.9	1.20	16.58	6.03
13.80	22.0	40.0	23.9	1.47	16.26	6.15
14.00	28.0	50.0	29.9	1.73	17.28	5.79
14.20	30.0	56.0	32.1	2.00	16.05	6.23
14.40	32.0	62.0	34.1	1.87	18.24	5.48
14.60	34.0	62.0	36.1	1.87	19.30	5.18
14.80	32.0	60.0	34.1	2.00	17.05	5.87
15.00	30.0	60.0	32.1	0.00		0.00

Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs Media (Kg/cm <sup>2</sup> )	Gamma Medio (t/m <sup>3</sup> )	Comp. Geotecnico	Descrizione
0.40	0.0	0.00	1.85	Coesivo	Terreno vegetale
1.80	16.8	0.99	1.94	Coesivo	Argilla inorganica molto compatta
5.00	11.8	0.52	1.88	Coesivo	Argilla inorganica compatta
6.80	15.1	0.77	1.92	Coesivo	Argilla inorganica compatta
11.00	10.2	0.38	1.84	Coesivo	Argilla inorganica di media consistenza
12.40	14.0	0.80	1.90	Coesivo	Argilla inorganica compatta
15.00	27.6	1.47	2.00	Coesivo	Argilla inorganica molto compatta

### STIMA PARAMETRI GEOTECNICI CPT 2

Nr: Numero progressivo strato  
 Prof: Profondità strato (m)  
 Tipo: C: Coesivo. I: Incoerente. CI: Coesivo-Incoerente  
 Cu: Coesione non drenata (Kg/cm<sup>2</sup>)  
 Eu: Modulo di deformazione non drenato (Kg/cm<sup>2</sup>)  
 Mo: Modulo Edometrico (Kg/cm<sup>2</sup>)  
 G: Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm<sup>2</sup>)  
 OCR: Grado di sovraconsolidazione  
 Puv: Peso unità di volume (t/m<sup>3</sup>)  
 PuvS: Peso unità di volume saturo (t/m<sup>3</sup>)  
 Dr: Densità relativa (%)  
 Fi: Angolo di resistenza al taglio (°)  
 Ey: Modulo di Young (Kg/cm<sup>2</sup>)  
 K: Permeabilità (cm/s)

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey	K
1	0.40												
2	1.80	C	0.84	622.37	47.39	156.97	1.92	1.94	2.02	--	--	--	1.00E-11
3	5.00	C	0.59	426.37	46.59	126.50	0.64	1.88	1.96	--	--	--	2.45E-08
4	6.80	C	0.76	541.74	48.38	147.07	0.54	1.92	2.00	--	--	--	7.29E-10
5	11.00	C	0.51	348.27	43.95	115.72	<0.5	1.84	1.92	--	--	--	4.90E-07
6	12.40	C	0.70	481.79	48.33	140.42	<0.5	1.90	1.98	--	--	--	3.74E-11
7	15.00	C	1.38	984.56	55.20	212.60	<0.5	2.02	2.10	--	--	--	4.70E-11

**PROVA CPT 3**

Strumento utilizzato  
Prova eseguita in data  
Profondità prova  
Falda

GOUDA 100 kN  
25/03/2011  
15.00 m  
-1.40 m dal p.c.

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lettura laterale (Kg/cm <sup>2</sup> )	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0.20	0.0	0.0	0.1	0.00		0.00
0.40	0.0	0.0	0.1	0.53	0.19	530.00
0.60	8.0	16.0	8.1	0.80	10.13	9.88
0.80	12.0	24.0	12.1	0.93	13.01	7.69
1.00	14.0	28.0	14.1	0.93	15.16	6.60
1.20	16.0	30.0	16.3	0.93	17.53	5.71
1.40	14.0	28.0	14.3	0.53	26.98	3.71
1.60	16.0	24.0	16.3	0.53	30.75	3.25
1.80	12.0	20.0	12.3	0.27	45.56	2.20
2.00	8.0	12.0	8.3	0.27	30.74	3.25
2.20	8.0	12.0	8.4	0.27	31.11	3.21
2.40	8.0	12.0	8.4	0.27	31.11	3.21
2.60	10.0	14.0	10.4	0.53	19.62	5.10
2.80	12.0	20.0	12.4	0.53	23.40	4.27
3.00	12.0	20.0	12.4	0.67	18.51	5.40
3.20	16.0	26.0	16.6	0.67	24.78	4.04
3.40	12.0	22.0	12.6	0.40	31.50	3.17
3.60	10.0	16.0	10.6	0.53	20.00	5.00
3.80	12.0	20.0	12.6	0.53	23.77	4.21
4.00	12.0	20.0	12.6	0.53	23.77	4.21
4.20	12.0	20.0	12.7	0.53	23.96	4.17
4.40	12.0	20.0	12.7	0.53	23.96	4.17
4.60	14.0	22.0	14.7	0.53	27.74	3.61
4.80	12.0	20.0	12.7	0.67	18.96	5.28
5.00	14.0	24.0	14.7	0.40	36.75	2.72
5.20	18.0	24.0	18.8	0.53	35.47	2.82
5.40	16.0	24.0	16.8	0.67	25.07	3.99
5.60	14.0	24.0	14.8	0.67	22.09	4.53
5.80	12.0	22.0	12.8	0.67	19.10	5.23
6.00	14.0	24.0	14.8	0.53	27.92	3.58
6.20	10.0	18.0	11.0	0.53	20.75	4.82
6.40	12.0	20.0	13.0	0.67	19.40	5.15
6.60	16.0	26.0	17.0	0.67	25.37	3.94
6.80	16.0	26.0	17.0	0.80	21.25	4.71
7.00	12.0	24.0	13.0	0.27	48.15	2.08
7.20	8.0	12.0	9.1	0.27	33.70	2.97
7.40	8.0	12.0	9.1	0.27	33.70	2.97
7.60	8.0	12.0	9.1	0.27	33.70	2.97
7.80	8.0	12.0	9.1	0.27	33.70	2.97
8.00	12.0	16.0	13.1	0.27	48.52	2.06
8.20	8.0	12.0	9.2	0.40	23.00	4.35
8.40	8.0	14.0	9.2	0.27	34.07	2.93
8.60	8.0	12.0	9.2	0.40	23.00	4.35
8.80	10.0	16.0	11.2	0.53	21.13	4.73
9.00	12.0	20.0	13.2	0.53	24.91	4.02
9.20	8.0	16.0	9.4	0.27	34.81	2.87
9.40	8.0	12.0	9.4	0.27	34.81	2.87
9.60	6.0	10.0	7.4	0.13	56.92	1.76
9.80	10.0	12.0	11.4	0.27	42.22	2.37
10.00	8.0	12.0	9.4	0.40	23.50	4.26
10.20	10.0	16.0	11.5	0.53	21.70	4.61
10.40	10.0	18.0	11.5	0.53	21.70	4.61
10.60	8.0	16.0	9.5	0.53	17.92	5.58
10.80	10.0	18.0	11.5	0.67	17.16	5.83
11.00	12.0	22.0	13.5	0.80	16.88	5.93
11.20	12.0	24.0	13.7	0.67	20.45	4.89
11.40	10.0	20.0	11.7	0.53	22.08	4.53
11.60	12.0	20.0	13.7	0.67	20.45	4.89
11.80	12.0	22.0	13.7	0.80	17.13	5.84
12.00	12.0	24.0	13.7	0.80	17.13	5.84
12.20	16.0	28.0	17.8	1.20	14.83	6.74
12.40	18.0	36.0	19.8	1.07	18.50	5.40
12.60	16.0	32.0	17.8	1.07	16.64	6.01
12.80	16.0	32.0	17.8	1.20	14.83	6.74
13.00	18.0	36.0	19.8	1.33	14.89	6.72
13.20	24.0	44.0	25.9	1.60	16.19	6.18
13.40	24.0	48.0	25.9	1.47	17.62	5.68
13.60	22.0	44.0	23.9	1.47	16.26	6.15
13.80	22.0	44.0	23.9	1.33	17.97	5.56
14.00	24.0	44.0	25.9	1.60	16.19	6.18
14.20	28.0	52.0	30.1	1.87	16.10	6.21
14.40	28.0	56.0	30.1	2.13	14.13	7.08
14.60	36.0	68.0	38.1	2.27	16.78	5.96
14.80	38.0	72.0	40.1	2.27	17.67	5.66
15.00	38.0	72.0	40.1	0.00		0.00

Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs Media (Kg/cm <sup>2</sup> )	Gamma Medio (t/m <sup>3</sup> )	Comp. Geotecnico	Descrizione
0.40	0.0	0.00	1.85	Coesivo	Terreno vegetale
1.80	13.4	0.70	1.90	Coesivo	Argilla inorganica compatta
2.40	8.4	0.27	1.82	Incoerente-Coesivo	Argille sabbiose e limose
7.00	13.8	0.57	1.90	Coesivo	Argilla inorganica compatta
10.00	9.9	0.32	1.83	Incoerente-Coesivo	Argille sabbiose e limose
12.00	12.4	0.65	1.88	Coesivo	Argilla inorganica compatta
15.00	26.5	1.46	1.99	Coesivo	Argilla inorganica molto compatta

### STIMA PARAMETRI GEOTECNICI CPT 3

Nr: Numero progressivo strato  
 Prof: Profondità strato (m)  
 Tipo: C: Coesivo. I: Incoerente. CI: Coesivo-Incoerente  
 Cu: Coesione non drenata (Kg/cm<sup>2</sup>)  
 Eu: Modulo di deformazione non drenato (Kg/cm<sup>2</sup>)  
 Mo: Modulo Edometrico (Kg/cm<sup>2</sup>)  
 G: Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm<sup>2</sup>)  
 OCR: Grado di sovraconsolidazione  
 Puv: Peso unità di volume (t/m<sup>3</sup>)  
 PuvS: Peso unità di volume saturo (t/m<sup>3</sup>)  
 Dr: Densità relativa (%)  
 Fi: Angolo di resistenza al taglio (°)  
 Ey: Modulo di Young (Kg/cm<sup>2</sup>)  
 K: Permeabilità (cm/s)

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey	K
1	0.40												
2	1.80	C	0.67	494.98	48.07	136.72	1.55	1.90	1.98	--	--	--	4.81E-10
3	2.40	CI	0.42	303.07	39.61	102.78	0.61	1.82	1.90	11.76	20.77	16.80	4.13E-06
4	7.00	C	0.69	496.88	48.26	139.20	0.58	1.90	1.98	--	--	--	7.39E-08
5	10.00	CI	0.50	338.20	43.33	113.63	<0.5	1.84	1.92	5	21.45	19.80	3.72E-06
6	12.00	C	0.62	423.98	47.28	130.39	<0.5	1.88	1.96	--	--	--	4.97E-10
7	15.00	C	1.33	943.86	53.00	207.38	<0.5	2.01	2.09	--	--	--	1.76E-11

**PROVA CPT 4**

Strumento utilizzato  
Prova eseguita in data  
Profondità prova  
Falda

GOUDA 100 kN  
25/03/2011  
15.00 m  
-1.50 m dal p.c.

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lettura laterale (Kg/cm <sup>2</sup> )	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0.20	0.0	0.0	0.1	0.00		0.00
0.40	0.0	0.0	0.1	0.53	0.19	530.00
0.60	8.0	16.0	8.1	0.40	20.25	4.94
0.80	8.0	14.0	8.1	0.53	15.28	6.54
1.00	16.0	24.0	16.1	0.67	24.03	4.16
1.20	16.0	26.0	16.3	0.67	24.33	4.11
1.40	12.0	22.0	12.3	0.53	23.21	4.31
1.60	8.0	16.0	8.3	0.27	30.74	3.25
1.80	8.0	12.0	8.3	0.27	30.74	3.25
2.00	6.0	10.0	6.3	0.40	15.75	6.35
2.20	10.0	16.0	10.4	0.27	38.52	2.60
2.40	10.0	14.0	10.4	0.53	19.62	5.10
2.60	14.0	22.0	14.4	0.53	27.17	3.68
2.80	16.0	24.0	16.4	0.53	30.94	3.23
3.00	16.0	24.0	16.4	0.67	24.48	4.09
3.20	16.0	26.0	16.6	0.53	31.32	3.19
3.40	12.0	20.0	12.6	0.53	23.77	4.21
3.60	10.0	18.0	10.6	0.40	26.50	3.77
3.80	14.0	20.0	14.6	0.53	27.55	3.63
4.00	12.0	20.0	12.6	0.40	31.50	3.17
4.20	10.0	16.0	10.7	0.40	26.75	3.74
4.40	10.0	16.0	10.7	0.40	26.75	3.74
4.60	10.0	16.0	10.7	0.53	20.19	4.95
4.80	10.0	18.0	10.7	0.53	20.19	4.95
5.00	12.0	20.0	12.7	0.67	18.96	5.28
5.20	12.0	22.0	12.8	0.67	19.10	5.23
5.40	12.0	22.0	12.8	0.67	19.10	5.23
5.60	10.0	20.0	10.8	0.80	13.50	7.41
5.80	12.0	24.0	12.8	0.80	16.00	6.25
6.00	18.0	30.0	18.8	0.80	23.50	4.26
6.20	20.0	32.0	21.0	1.07	19.63	5.10
6.40	16.0	32.0	17.0	0.80	21.25	4.71
6.60	16.0	28.0	17.0	0.80	21.25	4.71
6.80	16.0	28.0	17.0	0.67	25.37	3.94
7.00	14.0	24.0	15.0	0.53	28.30	3.53
7.20	8.0	16.0	9.1	0.40	22.75	4.40
7.40	6.0	12.0	7.1	0.27	26.30	3.80
7.60	6.0	10.0	7.1	0.27	26.30	3.80
7.80	8.0	12.0	9.1	0.27	33.70	2.97
8.00	8.0	12.0	9.1	0.27	33.70	2.97
8.20	8.0	12.0	9.2	0.40	23.00	4.35
8.40	12.0	18.0	13.2	0.40	33.00	3.03
8.60	12.0	18.0	13.2	0.53	24.91	4.02
8.80	8.0	16.0	9.2	0.40	23.00	4.35
9.00	8.0	14.0	9.2	0.40	23.00	4.35
9.20	6.0	12.0	7.4	0.27	27.41	3.65
9.40	8.0	12.0	9.4	0.27	34.81	2.87
9.60	8.0	12.0	9.4	0.27	34.81	2.87
9.80	8.0	12.0	9.4	0.27	34.81	2.87
10.00	8.0	12.0	9.4	0.27	34.81	2.87
10.20	8.0	12.0	9.5	0.40	23.75	4.21
10.40	10.0	16.0	11.5	0.53	21.70	4.61
10.60	12.0	20.0	13.5	0.67	20.15	4.96
10.80	12.0	22.0	13.5	0.67	20.15	4.96
11.00	12.0	22.0	13.5	0.53	25.47	3.93
11.20	12.0	20.0	13.7	0.67	20.45	4.89
11.40	12.0	22.0	13.7	0.53	25.85	3.87
11.60	10.0	18.0	11.7	0.67	17.46	5.73
11.80	10.0	20.0	11.7	0.93	12.58	7.95
12.00	16.0	30.0	17.7	0.80	22.13	4.52
12.20	16.0	28.0	17.8	0.93	19.14	5.22
12.40	14.0	28.0	15.8	0.80	19.75	5.06
12.60	16.0	28.0	17.8	0.80	22.25	4.49
12.80	24.0	36.0	25.8	1.33	19.40	5.16
13.00	24.0	44.0	25.8	1.33	19.40	5.16
13.20	32.0	52.0	33.9	1.47	23.06	4.34
13.40	30.0	52.0	31.9	1.60	19.94	5.02
13.60	24.0	48.0	25.9	1.60	16.19	6.18
13.80	28.0	52.0	29.9	1.47	20.34	4.92
14.00	26.0	48.0	27.9	1.60	17.44	5.73
14.20	32.0	56.0	34.1	1.73	19.71	5.07
14.40	36.0	62.0	38.1	1.87	20.37	4.91
14.60	36.0	64.0	38.1	1.87	20.37	4.91
14.80	40.0	68.0	42.1	2.00	21.05	4.75
15.00	38.0	68.0	40.1	0.00		0.00

Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs Media (Kg/cm <sup>2</sup> )	Gamma Medio (t/m <sup>3</sup> )	Comp. Geotecnico	Descrizione
0.40	0.0	0.00	1.85	Coesivo	Terreno vegetale
1.40	12.2	0.56	1.88	Coesivo	Argilla inorganica compatta
2.00	7.6	0.31	1.80	Coesivo	Argilla inorganica di media consistenza
5.80	12.6	0.55	1.89	Coesivo	Argilla inorganica compatta
7.00	17.6	0.78	1.94	Coesivo	Argilla inorganica compatta
10.20	9.4	0.34	1.83	Coesivo	Argilla inorganica di media consistenza
12.60	14.3	0.71	1.90	Coesivo	Argilla inorganica compatta
14.20	29.4	1.52	2.03	Coesivo	Argilla inorganica molto compatta
15.00	39.6	1.44	2.04	Incoerente-Coesivo	Argille sabbiose e limose

#### STIMA PARAMETRI GEOTECNICI CPT 4

Nr: Numero progressivo strato  
 Prof: Profondità strato (m)  
 Tipo: C: Coesivo. I: Incoerente. CI: Coesivo-Incoerente  
 Cu: Coesione non drenata (Kg/cm<sup>2</sup>)  
 Eu: Modulo di deformazione non drenato (Kg/cm<sup>2</sup>)  
 Mo: Modulo Edometrico (Kg/cm<sup>2</sup>)  
 G: Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm<sup>2</sup>)  
 OCR: Grado di sovraconsolidazione  
 Puv: Peso unità di volume (t/m<sup>3</sup>)  
 PuvS: Peso unità di volume saturo (t/m<sup>3</sup>)  
 Dr: Densità relativa (%)  
 Fi: Angolo di resistenza al taglio (°)  
 Ey: Modulo di Young (Kg/cm<sup>2</sup>)  
 K: Permeabilità (cm/s)

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey	K
1	0.40												
2	1.40	C	0.61	451.44	47.07	129.10	1.76	1.89	1.97	--	--	--	1.05E-08
3	2.00	C	0.38	274.14	37.21	96.68	0.61	1.80	1.88	--	--	--	1.27E-07
4	5.80	C	0.63	454.40	47.48	131.67	0.61	1.89	1.97	--	--	--	2.80E-08
5	7.00	C	0.88	633.44	46.47	161.50	0.58	1.94	2.02	--	--	--	1.48E-08
6	10.20	C	0.47	318.85	42.20	110.09	<0.5	1.83	1.91	--	--	--	7.88E-07
7	12.60	C	0.72	493.57	48.40	142.26	<0.5	1.90	1.98	--	--	--	1.53E-09
8	14.20	C	1.47	1052.68	58.80	220.96	0.51	2.03	2.11	--	--	--	9.80E-11
9	15.00	CI	1.98	1430.53	79.20	265.06	0.63	2.08	2.16	34.26	34.78	79.20	2.62E-07



# PROVA CPT 5

Strumento utilizzato  
Prova eseguita in data  
Profondità prova  
Falda

GOUDA 100 kN  
25/03/2011  
15.00 m  
-1.40 m dal p.c.

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lettura laterale (Kg/cm <sup>2</sup> )	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0.20	0.0	0.0	0.1	0.00		0.00
0.40	0.0	0.0	0.1	0.27	0.37	270.00
0.60	10.0	14.0	10.1	0.53	19.06	5.25
0.80	10.0	18.0	10.1	0.53	19.06	5.25
1.00	8.0	16.0	8.1	0.40	20.25	4.94
1.20	10.0	16.0	10.3	0.53	19.43	5.15
1.40	16.0	24.0	16.3	0.80	20.38	4.91
1.60	16.0	28.0	16.3	0.80	20.38	4.91
1.80	16.0	28.0	16.3	0.93	17.53	5.71
2.00	16.0	30.0	16.3	0.80	20.38	4.91
2.20	16.0	28.0	16.4	0.93	17.63	5.67
2.40	18.0	32.0	18.4	0.80	23.00	4.35
2.60	14.0	26.0	14.4	0.93	15.48	6.46
2.80	14.0	28.0	14.4	0.80	18.00	5.56
3.00	12.0	24.0	12.4	0.53	23.40	4.27
3.20	12.0	20.0	12.6	0.67	18.81	5.32
3.40	14.0	24.0	14.6	0.53	27.55	3.63
3.60	12.0	20.0	12.6	0.53	23.77	4.21
3.80	10.0	18.0	10.6	0.53	20.00	5.00
4.00	12.0	20.0	12.6	0.40	31.50	3.17
4.20	14.0	20.0	14.7	0.67	21.94	4.56
4.40	14.0	24.0	14.7	0.67	21.94	4.56
4.60	14.0	24.0	14.7	0.80	18.38	5.44
4.80	16.0	28.0	16.7	0.80	20.88	4.79
5.00	14.0	26.0	14.7	0.80	18.38	5.44
5.20	12.0	24.0	12.8	0.67	19.10	5.23
5.40	12.0	22.0	12.8	0.53	24.15	4.14
5.60	12.0	20.0	12.8	0.67	19.10	5.23
5.80	12.0	22.0	12.8	0.67	19.10	5.23
6.00	14.0	24.0	14.8	0.67	22.09	4.53
6.20	12.0	22.0	13.0	0.53	24.53	4.08
6.40	8.0	16.0	9.0	0.40	22.50	4.44
6.60	8.0	14.0	9.0	0.27	33.33	3.00
6.80	8.0	12.0	9.0	0.27	33.33	3.00
7.00	6.0	10.0	7.0	0.13	53.85	1.86
7.20	6.0	8.0	7.1	0.13	54.62	1.83
7.40	8.0	10.0	9.1	0.27	33.70	2.97
7.60	8.0	12.0	9.1	0.27	33.70	2.97
7.80	8.0	12.0	9.1	0.40	22.75	4.40
8.00	8.0	14.0	9.1	0.40	22.75	4.40
8.20	10.0	16.0	11.2	0.40	28.00	3.57
8.40	8.0	14.0	9.2	0.27	34.07	2.93
8.60	8.0	12.0	9.2	0.27	34.07	2.93
8.80	8.0	12.0	9.2	0.40	23.00	4.35
9.00	8.0	14.0	9.2	0.40	23.00	4.35
9.20	8.0	14.0	9.4	0.27	34.81	2.87
9.40	10.0	14.0	11.4	0.27	42.22	2.37
9.60	8.0	12.0	9.4	0.27	34.81	2.87
9.80	8.0	12.0	9.4	0.27	34.81	2.87
10.00	10.0	14.0	11.4	0.53	21.51	4.65
10.20	12.0	20.0	13.5	0.40	33.75	2.96
10.40	10.0	16.0	11.5	0.40	28.75	3.48
10.60	10.0	16.0	11.5	0.53	21.70	4.61
10.80	12.0	20.0	13.5	0.53	25.47	3.93
11.00	12.0	20.0	13.5	0.53	25.47	3.93
11.20	12.0	20.0	13.7	0.53	25.85	3.87
11.40	10.0	18.0	11.7	0.67	17.46	5.73
11.60	12.0	22.0	13.7	0.67	20.45	4.89
11.80	18.0	28.0	19.7	1.07	18.41	5.43
12.00	16.0	32.0	17.7	1.07	16.54	6.05
12.20	16.0	32.0	17.8	0.93	19.14	5.22
12.40	18.0	32.0	19.8	1.20	16.50	6.06
12.60	20.0	38.0	21.8	1.33	16.39	6.10
12.80	22.0	42.0	23.8	1.47	16.19	6.18
13.00	22.0	44.0	23.8	1.33	17.89	5.59
13.20	22.0	42.0	23.9	1.20	19.92	5.02
13.40	26.0	44.0	27.9	1.33	20.98	4.77
13.60	28.0	48.0	29.9	1.87	15.99	6.25
13.80	32.0	60.0	33.9	1.87	18.13	5.52
14.00	36.0	64.0	37.9	2.00	18.95	5.28
14.20	38.0	68.0	40.1	2.13	18.83	5.31
14.40	40.0	72.0	42.1	2.00	21.05	4.75
14.60	38.0	68.0	40.1	2.27	17.67	5.66
14.80	40.0	74.0	42.1	2.27	18.55	5.39
15.00	40.0	74.0	42.1	0.00		0.00

Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs Media (Kg/cm <sup>2</sup> )	Gamma Medio (t/m <sup>3</sup> )	Comp. Geotecnico	Descrizione
0.40	0.0	0.00	1.85	Coesivo	Terreno vegetale
1.20	9.7	0.50	1.85	Coesivo	Argilla inorganica compatta
2.80	16.1	0.85	1.93	Coesivo	Argilla inorganica compatta
6.20	13.5	0.63	1.90	Coesivo	Argilla inorganica compatta
9.80	9.2	0.30	1.83	Incoerente-Coesivo	Argille sabbiose e limose
11.60	12.7	0.53	1.88	Coesivo	Argilla inorganica compatta
15.00	29.7	1.49	2.01	Coesivo	Argilla inorganica molto compatta

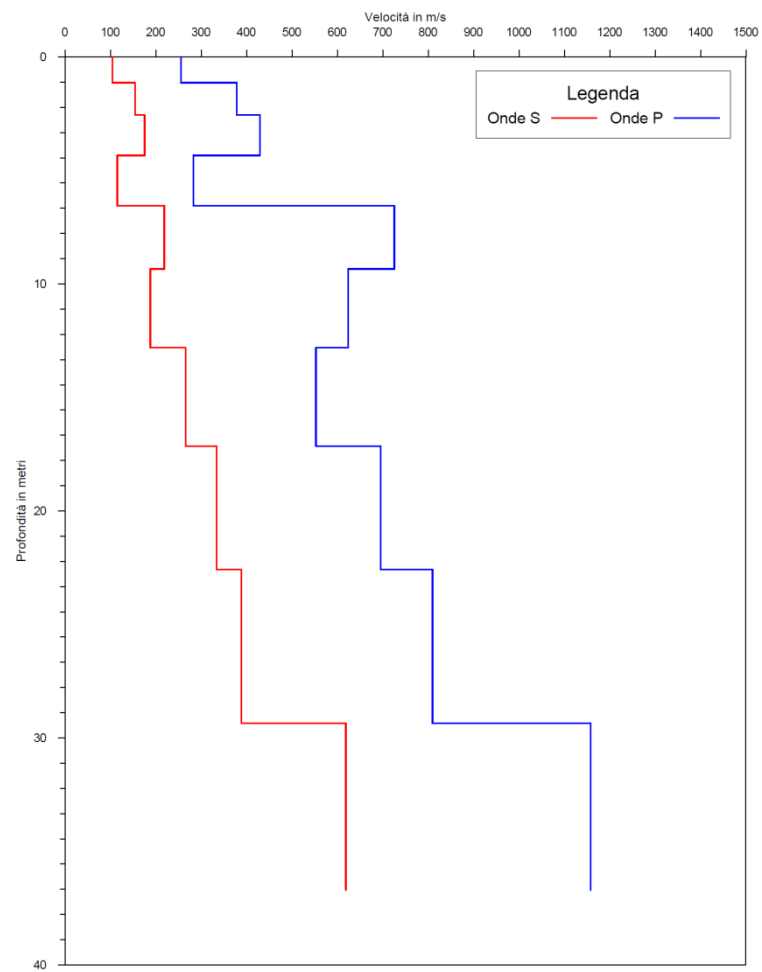
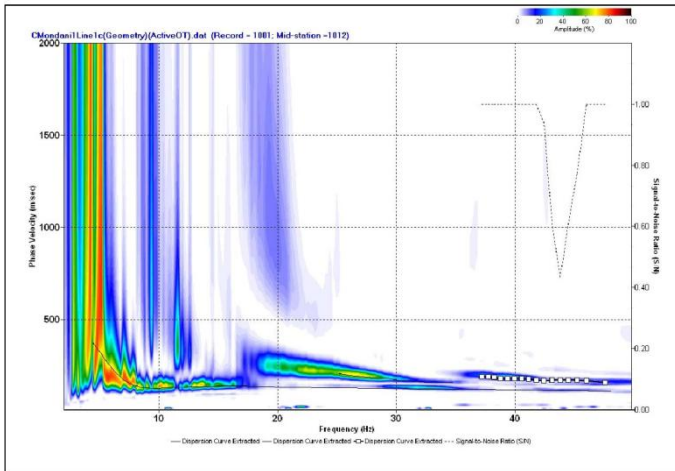
### STIMA PARAMETRI GEOTECNICI CPT 5

Nr: Numero progressivo strato  
 Prof: Profondità strato (m)  
 Tipo: C: Coesivo. I: Incoerente. CI: Coesivo-Incoerente  
 Cu: Coesione non drenata (Kg/cm<sup>2</sup>)  
 Eu: Modulo di deformazione non drenato (Kg/cm<sup>2</sup>)  
 Mo: Modulo Edometrico (Kg/cm<sup>2</sup>)  
 G: Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm<sup>2</sup>)  
 OCR: Grado di sovraconsolidazione  
 Puv: Peso unità di volume (t/m<sup>3</sup>)  
 PuvS: Peso unità di volume saturo (t/m<sup>3</sup>)  
 Dr: Densità relativa (%)  
 Fi: Angolo di resistenza al taglio (°)  
 Ey: Modulo di Young (Kg/cm<sup>2</sup>)  
 K: Permeabilità (cm/s)

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey	K
1	0.40												
2	1.20	C	0.49	358.44	42.89	112.22	1.59	1.85	1.93	--	--	--	1.03E-09
3	2.80	C	0.81	592.12	47.95	152.94	1.21	1.93	2.01	--	--	--	2.62E-10
4	6.20	C	0.68	486.10	48.13	137.34	0.58	1.90	1.98	--	--	--	6.70E-09
5	9.80	CI	0.46	313.51	41.72	108.65	<0.5	1.83	1.91	5	21.13	18.40	3.37E-06
6	11.60	C	0.64	436.18	47.57	132.31	<0.5	1.88	1.96	--	--	--	6.49E-08
7	15.00	C	1.49	1064.28	59.40	222.34	0.52	2.03	2.11	--	--	--	2.39E-10

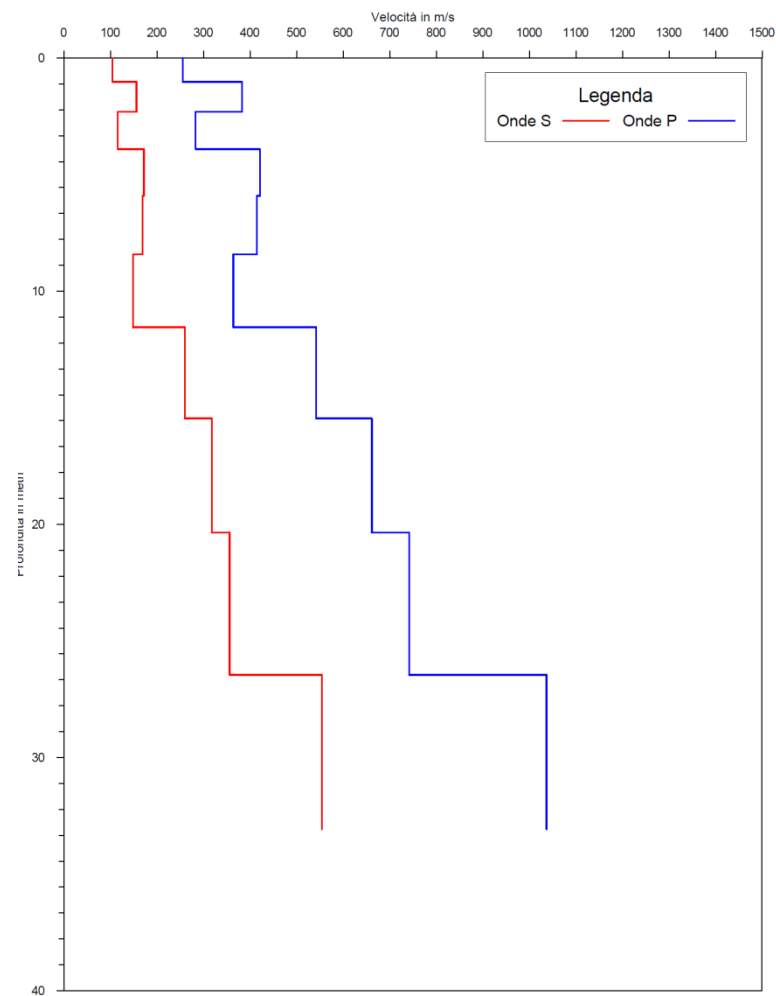
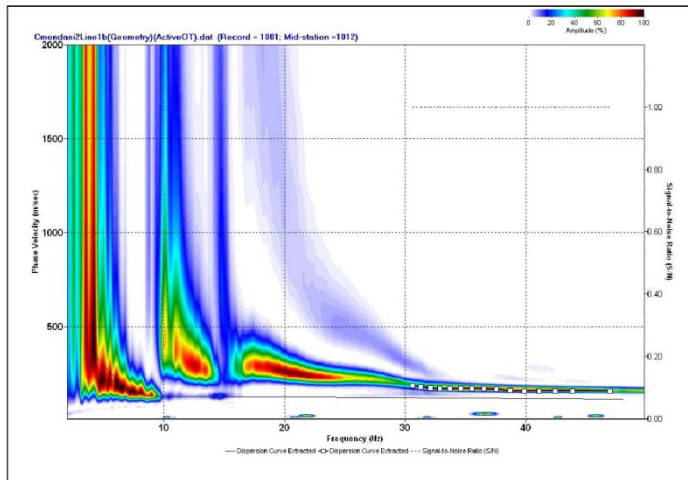
## PROVA SISMICA MASW 1

Immagine di dispersione



## PROVA SISMICA MASW 2

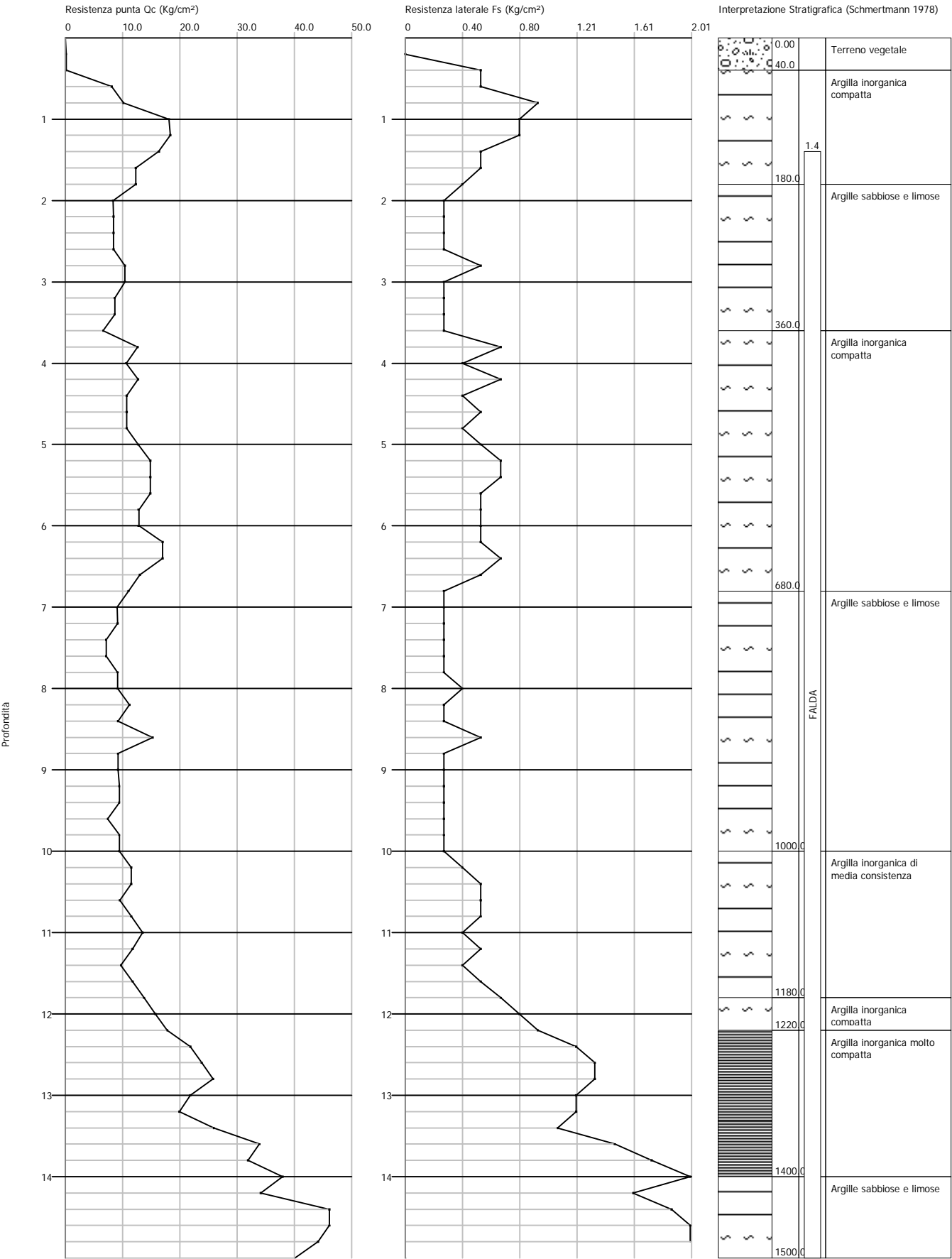
Immagine di dispersione



Probe CPT - Cone Penetration CPT 1  
Strumento utilizzato... GOUDA 100 kN  
Diagramma Resistenze qc fs

Committente : MF SRL  
Cantiere : NUOVO RESIDENZIALE CENTRO VIA MANZOLINO EST - AMBITO 89AN  
Località : MANZOLINO, VIA MANZOLINO EST

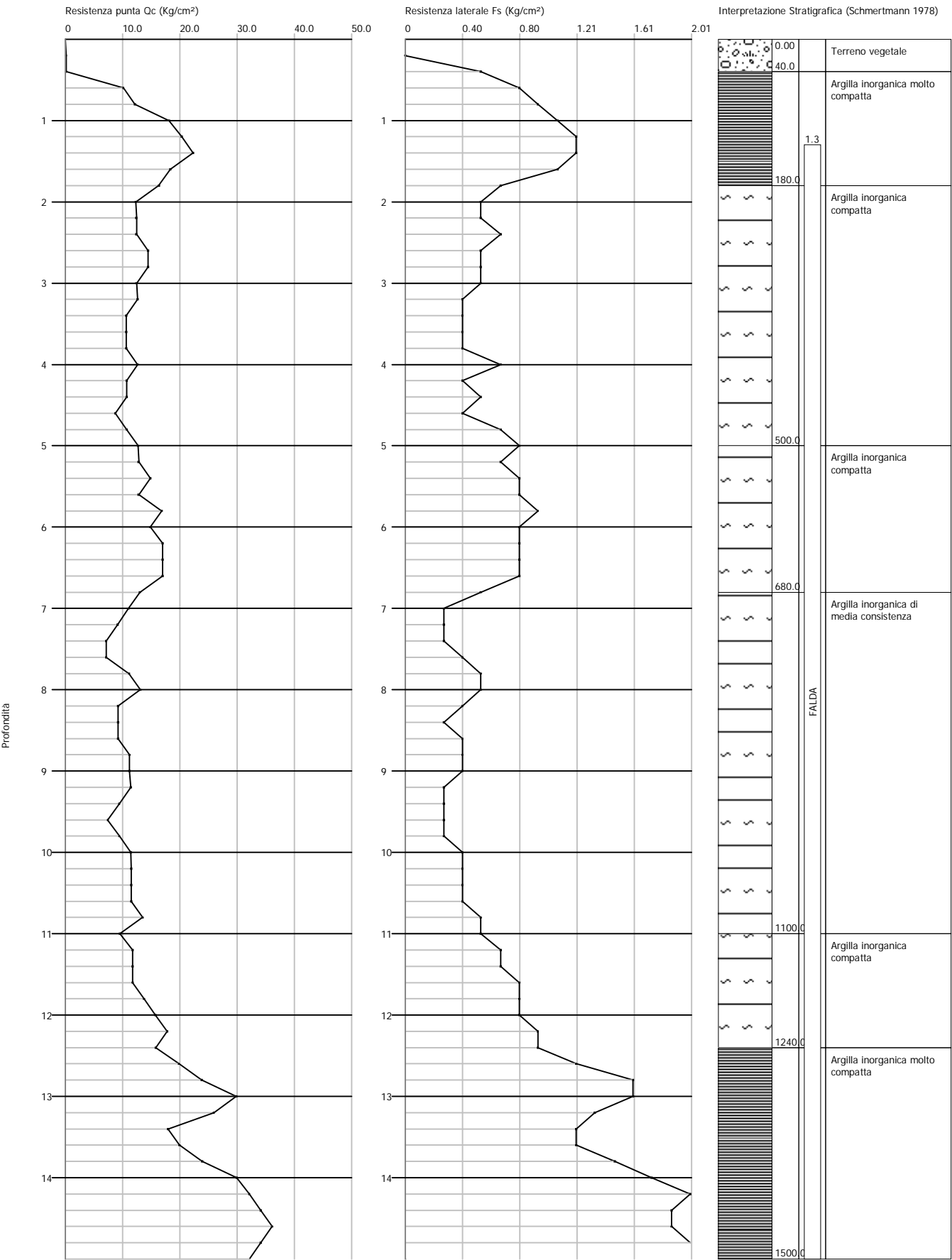
Data :25/03/2011



Probe CPT - Cone Penetration CPT 2  
Strumento utilizzato... GOUDA 100 kN  
Diagramma Resistenze qc fs

Committente : MF SRL  
Cantiere : NUOVO RESIDENZIALE CENTRO VIA MANZOLINO EST - AMBITO 89AN  
Località : MANZOLINO, VIA MANZOLINO EST

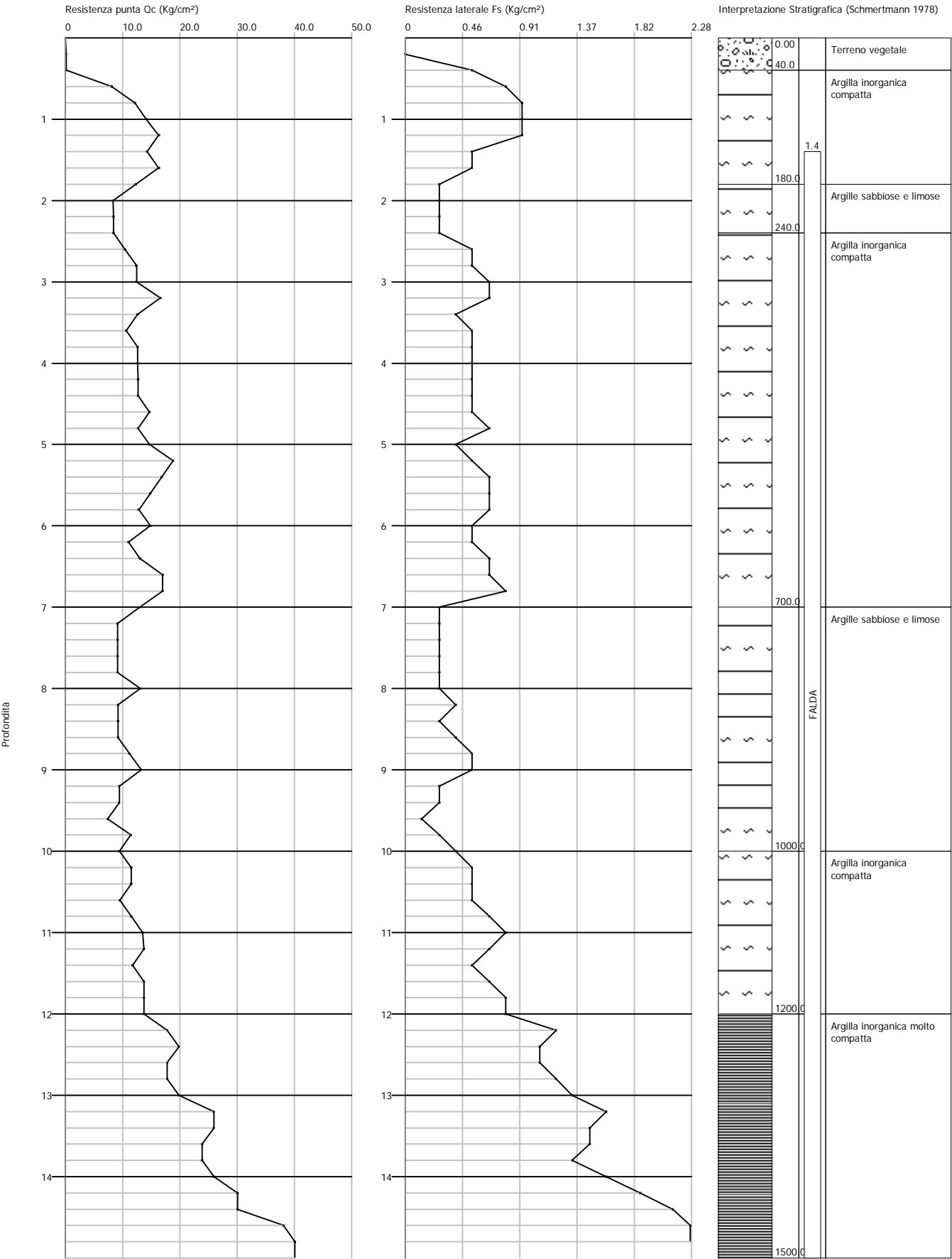
Data :25/03/2011



Probe CPT - Cone Penetration CPT 3  
Strumento utilizzato... GOUDA 100 kN  
Diagramma Resistenze qc fs

Committente : MF SRL  
Cantiere : NUOVO RESIDENZIALE CENTRO VIA MANZOLINO EST - AMBITO 89AN  
Località : MANZOLINO, VIA MANZOLINO EST

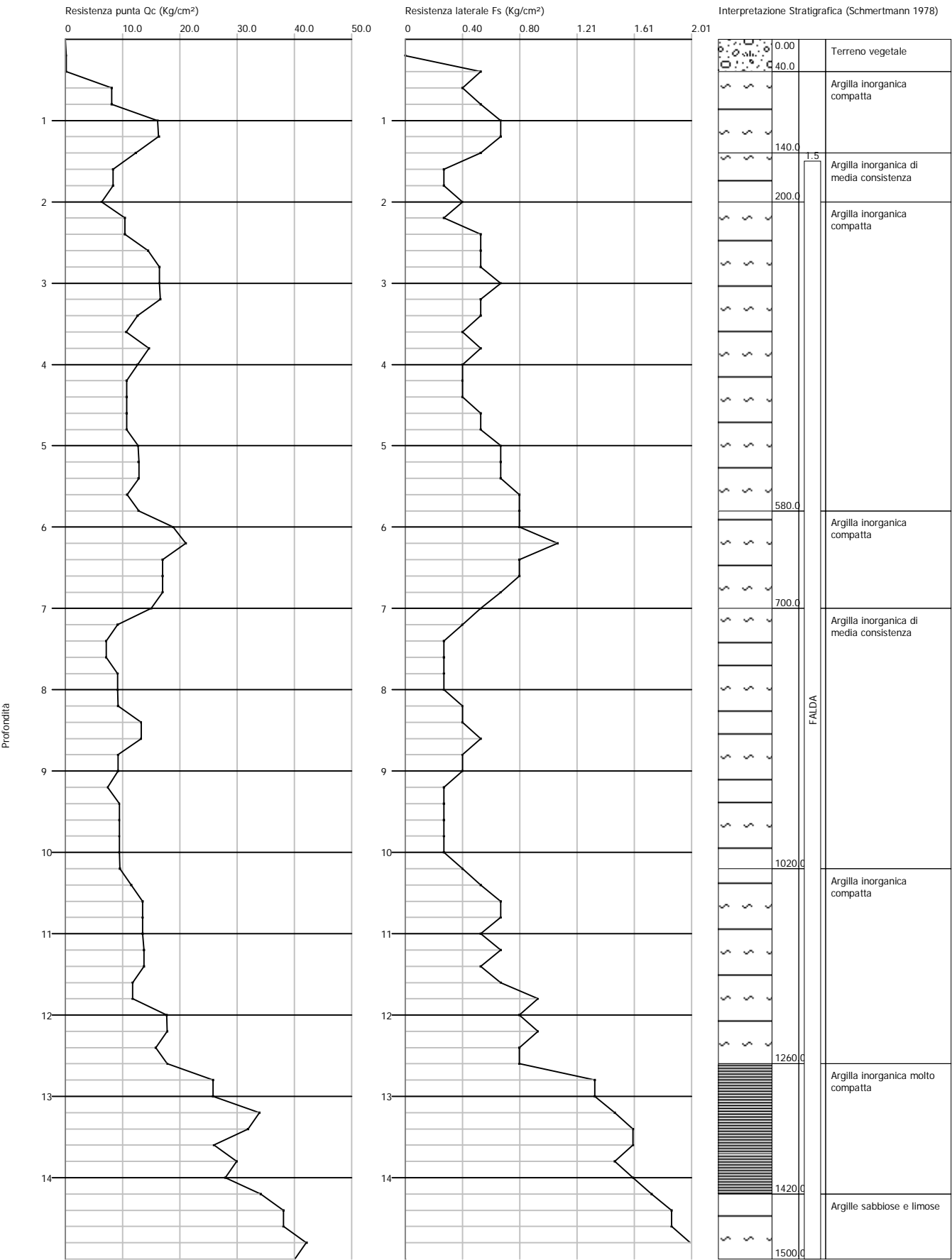
Data :25/03/2011



Probe CPT - Cone Penetration CPT 4  
Strumento utilizzato... GOUDA 100 kN  
Diagramma Resistenze qc fs

Committente : MF SRL  
Cantiere : NUOVO RESIDENZIALE CENTRO VIA MANZOLINO EST - AMBITO 89AN  
Località : MANZOLINO, VIA MANZOLINO EST

Data :25/03/2011





Probe CPT - Cone Penetration CPT 5  
Strumento utilizzato... GOUDA 100 kN  
Diagramma Resistenze qc fs

Committente : MF SRL  
Cantiere : NUOVO RESIDENZIALE CENTRO VIA MANZOLINO EST - AMBITO 89AN  
Località : MANZOLINO, VIA MANZOLINO EST

Data :25/03/2011

