

COMUNE DI LODI VECCHIO

(Provincia di Lodi)



studio della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio

in attuazione dell'art. 57, comma 1, della L.R. 11 marzo 2005, n.12 "Legge per il governo del territorio",
con le modalità indicate nella deliberazione di Giunta Regionale n° 8/7374 del 28 maggio 2008
aggiornata dalla delibera di giunta regionale 30 novembre 2011 - n. IX/2616

Relazione geologica

aprile 2012 aggiornata a seguito di osservazioni ARPA protocollo Ente 93157 del 05.08.2012



GEOLOGO	
dott. Angelo Scotti via Lungo Adda 24 Pizzighettone (Cr) n° 763 Ordine dei Geologi della Lombardia	

Sommario

1	PREMESSA E SINTESI DEI RISULTATI	2
2	METODI DI INDAGINE GEOTECNICA	4
2.1	Nota sulle caratteristiche delle prove penetrometriche CPT	4
3	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOLOGICO GENERALE	6
4	ELEMENTI DI PEDOLOGIA.....	12
4.1	Processi genetici.....	12
4.2	Sintesi delle caratteristiche	14
4.2.1	Aspetti applicativi delle caratteristiche pedologiche.....	18
5	IDROGEOLOGIA	20
5.1	Caratteristiche generali e stratigrafia dei pozzi	20
5.2	Caratteristiche dell'acquifero riferito nel PTUA.....	24
6	VULNERABILITÀ DELLA FALDA FREATICA ALL'INQUINAMENTO.....	28
6.1	Premessa	28
6.2	Generalità' sul metodo SINTACS.....	28
7	ASPETTI GEOTECNICI	30
7.1	Dati disponibili e descrizione generale	30
7.2	Stima del carico limite	58
7.2.1	Criteri di valutazione	58
7.2.2	Risultati delle elaborazioni e relativi commenti	59
8	ASPETTI SISMOLOGICI E RISPOSTA SISMICA LOCALE	63
8.1	Riferimenti normativi e definizioni	63
8.2	Cenni sulla sismologia del territorio.....	68
8.3	indagini sismiche - parametri geofisici e categoria di sottosuolo.....	71
8.3.1	Aspetti generali	71
8.3.2	Modalità esecutive delle indagini sismiche	73
8.3.3	Risultati delle indagini sismiche	74
8.4	Stima del rischio di liquefazione	79
9	NORME GEOLOGICHE DI PIANO E CLASSI DI FATTIBILITÀ	89

1 Premessa e sintesi dei risultati

La presente relazione illustra l'esito dei rilievi e delle elaborazioni condotte in esecuzione alla determinazione del Responsabile Settore Tecnico n° 22 del 25/02/2011, per la definizione degli aspetti geologici, idrogeologici e sismici del territorio comunale per il Piano di Governo del Territorio ai sensi della L.R. 11 marzo 2005 n.12 "Legge per il governo del territorio", con le modalità recentemente aggiornate dalla delibera di giunta regionale 30 novembre 2011 - n. IX/2616 pubblicata sul Burl Serie Ordinaria n. 3 - 19 gennaio 2012.

L'indagine sul terreno è stata svolta tra settembre 2011 e marzo 2012, tenendo conto dei dati e delle elaborazioni già sviluppate nello studio geologico per la variante generale del PRG eseguito nel 2004 da "Studio Ambientale sas" di Milano ai sensi della L.R. n. 41/1997 secondo quanto indicato dalla D.G.R. n. 7/6645 del 29.10.2001.

Rispetto a tale documento il presente **costituisce un complessivo aggiornamento sia di rilievi diretti che di elaborazioni bibliografiche, e un'integrazione ai sensi della nuova normativa, in particolare per quanto concerne gli aspetti di rischio sismico.**

A gennaio 2012 sono state estate eseguite 5 prove penetrometriche statiche con punta meccanica Begemann (**CPT**) nelle aree individuate come ambiti di trasformazione, tenendo conto dei dati già disponibili per precedenti indagini locali cortesemente fornite da colleghi e collocando un micropiezometro in ciascuno dei fori di prova.

In data 05 marzo 2012, periodo che generalmente coincide con il minimo livello freatico, è stato eseguito un rilievo della soggiacenza della prima falda nei micropiezometri installati in precedenza in fori penetrometrici e presso il pozzo posto al servizio degli orti in via Piave.

A causa degli scarsi quantità di punti di rilievo nell'area esterna all'abitato, i dati sono stati integrati dalla quota delle sorgenti presenti poco a ovest della C.na Gualdane, da misure eseguite da SPEA autostrade & Autostrade per l'Italia il 26 gennaio 2011 nei piezometri realizzati lungo l'autostrada per il progetto della quarta corsia dell'A1 [*documento MAM-QAMB-SOT-001_007, dello Studio di impatto ambientale, maggio 2011*] e da una misura in data 02.12.2009 presso l'impianto di Biogas posto 700 m a nord della C.na San Marco.

L'insieme dei dati, pur non coevi, descrive la falda freatica in condizioni tardo invernali, normalmente di massima soggiacenza.

Elaborando i dati con il software Surfer © vers. 9.11 per ottenere una griglia di 6200 nodi mediante interpolazione con metodo kriging e sottraendo da questa il risultato ottenuto elaborando in modo analogo i punti quotati del terreno presenti sul DB topografico provinciale, si è ottenuto una **carta della soggiacenza di tutto il territorio comunale**, che costituisce uno strumento di immediato utilizzo per la pianificazione (**Tav. 2**).

In particolare, considerata la relativa uniformità stratigrafica e geotecnica rilevata dalle misure penetrometriche effettuate per il PGT e di quelle cortesemente fornite da colleghi, si

è ritenuto di riferire a tale elaborato la principale cautela che si ritiene opportuno adottare per le trasformazioni urbanistiche, istituendo per gran parte del territorio un'unica sottoclasse di fattibilità (**tav. 6** Classi di fattibilità geologica) nella quale si richiede di **tenere espressamente conto**, per la progettazione, dei risultati di tale indagine.

La profondità della falda freatica, descritta dettagliatamente nella tavola 2, è compresa tra 2 e 4 metri ad est e nord est dell'abitato, incrementando in direzione del margine della scarpata fino a valori massimi di 8 metri circa 600 m ad ovest dell'autostrada.

La falda successivamente affiora lungo alcune scarpate artificiali 200 m ad ovest della C.na Gualdana per poi raccordarsi con il fiume Lambro che scorre a quote di 57-58 m s.l.m..

L'esito delle indagini in situ, la raccolta della documentazione e le elaborazioni hanno consentito di confermare il quadro emerso nello studio precedente, ed in particolare si è rilevata **l'assenza di importanti problematiche di carattere geotecnico per la realizzazione d'interventi ordinari nell'area urbana e periferica**, evidenziando una considerevole uniformità oltre la profondità di 2-3 m, dove sono nettamente prevalenti sabbie limose di media densità, a tratti dense, per oltre dieci metri.

Tale giudizio di complessiva adeguatezza ed uniformità dei terreni è espressa dai valori di carico limite calcolati per fondazioni superficiali da 0,6 m a 2,0 m di larghezza B posate a -0,8 m dalla superficie che sono contenute nel § 7.2.

Le prove penetrometriche statiche ottenute e le **5** espressamente eseguite per la presente indagine, per un totale di **14 prove CPT con punta meccanica Begemann**, consentono inoltre di ritenere improbabile la presenza in tutta l'area urbana e nella sua periferia di **strutture superficiali** in grado di determinare significative amplificazioni dello scuotimento sismico.

La presenza di sabbie sature a pochi metri dalla superficie ha richiesto di porre attenzione intorno alla valutazione del rischio di liquefazione dei terreni sotto le fondazioni in caso di eventi sismici.

L'elaborazione dei dati delle prove CPT (v. § 8.4) ha evidenziando, anche per quest'aspetto, il basso o nullo grado di pericolosità del territorio per i sismi previsti.

Il profilo di velocità delle onde di taglio fino a 30 -35 m è stato individuato mediante l'esecuzione di **indagini geofisiche con tecniche MASW e Re.Mi** (3 nuovi stendimenti nelle aree AT1, AT5 e AT8 e una prova eseguita nel 2008 per il progetto del Museo), la cui descrizione sommaria è contenuta nel § 8.3.

I risultati evidenziano la presenza di un **sottosuolo di categoria C** ai sensi delle Tabelle 3.2.II e 3.2.III delle NTC 2008, con $V_{s,30}$ considerate dalla superficie topografica comprese tra 243 e 265 m/s.

2 Metodi di indagine geotecnica

2.1 NOTA SULLE CARATTERISTICHE DELLE PROVE PENETROMETRICHE CPT

La prova denominata C.P.T. (Cone Penetration Test), o prova penetrometrica "statica", consiste nella misura della spinta necessaria (indicata come q_c) ad ottenere l'avanzamento nel terreno di una punta standard (3,57 cm di diametro, angolo al vertice di 60°) a velocità costante di 2 cm/s. Le letture vengono effettuate per tratti di 8 cm, intervallati da 12 cm di avanzamento senza misurazione. Il metodo consente anche di misurare indirettamente l'attrito tra un manicotto di 150 cm² di superficie laterale ed il terreno, ottenendo così valori indicativi delle caratteristiche tessiturali del tratto interessato. Con questa tecnica si possono quindi sommariamente distinguere i terreni che offrono resistenza prevalentemente per effetto della coesione tra i minerali (terreni argillosi s.l.) da quelli nei quali la resistenza alla deformazione è in prevalenza offerta dall'attrito tra i granuli (comportamento incoerente, terreni sabbiosi s.l.). Il valore R_f (friction ratio) definisce appunto tale misura, come rapporto tra la resistenza di punta q_c e la resistenza di attrito sul manicotto f_s (detta resistenza di attrito laterale locale).

La misura della resistenza alla punta è correlata dagli autori sia sperimentalmente che mediante modelli teorici, con i parametri di caratterizzazione meccanica dei terreni, in particolare con la coesione non drenata c_u e con l'angolo di resistenza al taglio in condizioni drenate φ' . Molto utile risulta infine la correlazione diretta dei dati penetrometrici con la capacità portante limite dei pali in sabbie.

Non è possibile sintetizzare le procedure di stima dei parametri geotecnici, i limiti e le caratteristiche di affidabilità delle procedure adottate, che talora sono accennate dove queste vengono utilizzate.

Per la comprensione esaustiva dei procedimenti qui adottati occorre rimandare alle seguenti pubblicazioni:

Kulhawy, F.H. and Mayne, P.W. 1990. *Manual on estimating soil properties for foundation design*. Report EL-6800, Electric Power Research Institute, Palo Alto, 306 p.

Mesri, G., D.O.K. Lo, and T.W. Feng. "Settlement of Embankments on Soft Clays." Keynote Lecture, Settlement '94, Texas A&M University, College Station, Texas, Geotechnical Special Publication 40, 1, June 1994, pp. 8-56.

Mesri, G. and M. Shahien. "Prediction of Settlement of Footings on Sand." Prediction Symposium, Geotechnical Special Publication 41, ASCE, (June 1994): pp. 188-191

T. Lunne, P.K. Robertson and J.J.M. Powell, *Cone Penetration testing in Geotechnical Practice*, Taylor & Francis Group Spon Press (London, Jan 1997);

Eurocode 7 - Designers' Guide to EN 1997-1: Geotechnical design - General rules, R Frank, C Bauduin, R Driscoll, M Kavvadas, N Krebs Ovesen, T Orr and B Schuppener;

NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM - NCHRP SYNTHESIS 368 *Cone Penetration Testing, a Synthesis of Highway Practice* - CONSULTANT PAUL W. MAYNE Georgia Institute of Technology Atlanta, Georgia, Washington D.C., 2007;

Can. Geotech. J. 46: 1337-1355 (2009) *Interpretation of cone penetration tests — a unified approach*. P.K. Robertson;

Gregg Drilling & Testing Inc. *Guide to Cone Penetration Testing for Geotechnical Engineering By P. K. Robertson and K.L. Cabal (Robertson)*, 4th Edition, July 2010.

Inoltre è consultabile in rete il manuale del programma impiegato per l'interpretazione all'indirizzo <http://www.geologismiki.gr/Documentation.html>.

Occorre tenere conto che il programma impiegato è predisposto per illustrare e interpretare prove fatte con punte elettriche e piezocono, che permettono di ottenere dettagli molto maggiori (ogni 1-2 cm), misure accurate, e di registrare le pressioni neutre (non rilevanti in terreni sabbiosi).

In genere inoltre si deve ipotizzare che le misure eseguite siano soggette a errori che arrivano a $\pm 15\%$ del valore, ai quali si aggiungono le incertezze dei procedimenti interpretativi.

Considerando la rilevante differenza qualitativa tra le prove CPT meccaniche e CPTu, in un recente lavoro eseguito dallo scrivente in area centro lodigiana, si è sfruttata la possibilità di verificare con verticali eseguite a brevi distanze su terreni complessivamente uniformi, le differenze ottenute con i due tipi di punta. L'esito di tali confronti ha consentito di rilevare che per quanto riguarda la resistenza alla punta i valori non si differenziano in modo apprezzabile, mentre sensibili discrepanze si manifestano nella misura dell'attrito laterale.

Tale circostanza è nota in letteratura, ma non è codificata in alcun documento, e ad esempio secondo quanto riferito da F. Cestari (Prove geotecniche in sìto, 1996 Ed. GeoGraph, pag. 101) "nelle sabbie il valore di f_s con punta meccanica può essere fino a 2 volte quello misurato con la punta elettrica. In argilla tale differenza è praticamente trascurabile".

Nella sperimentazione citata si sono quindi confrontate le misure ottenute dalle prove CPTu con quelle delle CPT in tratti sicuramente sabbiosi, verificando che i valori di f_s delle CPT meccaniche sono superiori di oltre tre volte quelli misurati con la punta elettrica. La medesima verifica è stata condotta nei depositi in prevalenza limo argillosi, ottenendo un rapporto tra f_s meccanica / f_s elettrica = 1,7 - 1,9.

Partendo quindi dall'assunto che la punta elettrica fornisca la "misura più attendibile", prima di

Presented below is a list of formulas used for the estimation of various soil properties. The formulas are presented in SI unit system and assume that all components are expressed in the same units.

Unit Weight, g (kN/m³) ::

$$g = g_w \cdot \left(0.27 \cdot \log(R_f) + 0.36 \cdot \log\left(\frac{q_t}{P_a}\right) + 1.236 \right)$$

where g_w = water unit weight

Permeability, k (m/s) ::

$$I_c < 3.27 \text{ and } I_c > 1.00 \text{ then } k = 10^{0.952-3.04I_c}$$

$$I_c \leq 4.00 \text{ and } I_c > 3.27 \text{ then } k = 10^{-4.52-1.37I_c}$$

N_{SPT} (blows per 30 cm) ::

$$N_{60} = \left(\frac{q_t}{P_a} \right) \cdot \frac{1}{10^{1.1268-0.2817I_c}}$$

$$N_{1(60)} = Q_{tn} \cdot \frac{1}{10^{1.1268-0.2817I_c}}$$

Young's Modulus, E_s (MPa) ::

$$(q_t - \sigma_v) \cdot 0.015 \cdot 10^{0.55I_c-1.68}$$

(applicable only to $I_c < I_{c_cutoff}$)

Relative Density, D_r (%) ::

$$100 \cdot \sqrt{\frac{Q_{tn}}{k_{DR}}} \quad \text{(applicable only to SBT_n: 5, 6, 7 and 8 or } I_c < I_{c_cutoff} \text{)}$$

State Parameter, ψ ::

$$\psi = 0.56 - 0.33 \cdot \log(Q_{tn,cs})$$

Peak drained friction angle, ϕ (°) ::

$$\phi = 17.60 + 11 \cdot \log(Q_{tn})$$

(applicable only to SBT_n: 5, 6, 7 and 8)

1-D constrained modulus, M (MPa) ::

$$\text{If } I_c > 2.20$$

$$\alpha = 14 \text{ for } Q_{tn} > 14$$

$$\alpha = Q_{tn} \text{ for } Q_{tn} \leq 14$$

$$M_{CPT} = \alpha \cdot (q_t - \sigma_v)$$

$$\text{If } I_c \leq 2.20$$

$$M_{CPT} = (q_t - \sigma_v) \cdot 0.0188 \cdot 10^{0.55I_c+1.68}$$

Small strain shear Modulus, G_0 (MPa) ::

$$G_0 = (q_t - \sigma_v) \cdot 0.0188 \cdot 10^{0.55I_c+1.68}$$

Shear Wave Velocity, V_s (m/s) ::

$$V_s = \left(\frac{G_0}{\rho} \right)^{0.50}$$

Undrained peak shear strength, S_u (kPa) ::

$$N_{kt} = 10.50 + 7 \cdot \log(F_r) \text{ or user defined}$$

$$S_u = \frac{(q_t - \sigma_v)}{N_{kt}}$$

(applicable only to SBT_n: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c_cutoff}$)

Remolded undrained shear strength, $S_{u(rem)}$ (kPa) ::

$$S_{u(rem)} = f_s \quad \text{(applicable only to SBT_n: 1, 2, 3, 4 and 9 or } I_c > I_{c_cutoff} \text{)}$$

Overconsolidation Ratio, OCR ::

$$K_{OCR} = \left[\frac{Q_{tn}^{0.20}}{0.25 \cdot (10.50 + 7 \cdot \log(F_r))} \right]^{1.25} \text{ or user defined}$$

$$OCR = K_{OCR} \cdot Q_m$$

(applicable only to SBT_n: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c_cutoff}$)

In situ Stress Ratio, K_o ::

$$K_o = 0.1 \cdot \left(\frac{q_t - \sigma_v}{\sigma_{vo}} \right)$$

(applicable only to SBT_n: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c_cutoff}$)

Soil Sensitivity, S_t ::

$$S_t = \frac{N_s}{F_r}$$

(applicable only to SBT_n: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c_cutoff}$)

Effective Stress Friction Angle, ϕ' (°) ::

$$\phi' = 29.5^\circ \cdot B_q^{0.121} \cdot (0.256 + 0.336 \cdot B_q + \log Q_t)$$

(applicable for $0.10 < B_q < 1.00$)

elaborare i dati per definire la litologia e i parametri geotecnici, nel caso citato si sono divisi per 2.0 o 2,5 i valori di f_s delle prove nei tratti sabbiosi e per 1,5 i valori di f_s di tutti i tratti limo argillosi individuati in un primo momento partendo dai dati originari.

Tale procedura è stata in parte applicata anche ai dati della presente indagine, dividendo per 1,5 tutti i valori di f_s , ottenendo in ogni caso valori cautelativi di tutti i parametri geotecnici derivati. A fianco si riportano le principali relazioni utilizzate nella presente elaborazione, come indicate in uno degli allegati al programma.

References

- Robertson, P.K., Cabal K.L., Guide to Cone Penetration Testing for Geotechnical Engineering, Gregg Drilling & Testing, Inc., 4th Edition, July 2010
- Robertson, P.K., Interpretation of Cone Penetration Tests - a unified approach., Can. Geotech. J. 46(11): 1337-1355 (2009)

3 Inquadramento geografico e geologico generale

Il territorio del Comune di Lodi Vecchio interessa una porzione centro occidentale della Provincia di Lodi posto in sponda sinistra del Fiume Lambro Settentrionale i cui terrazzamenti ne delimitano il confine occidentale. Il lato orientale è contrassegnato dalla presenza del canale Muzza, mentre a nord e a sud il territorio non manifesta alcun elemento di discontinuità con la pianura agricola.

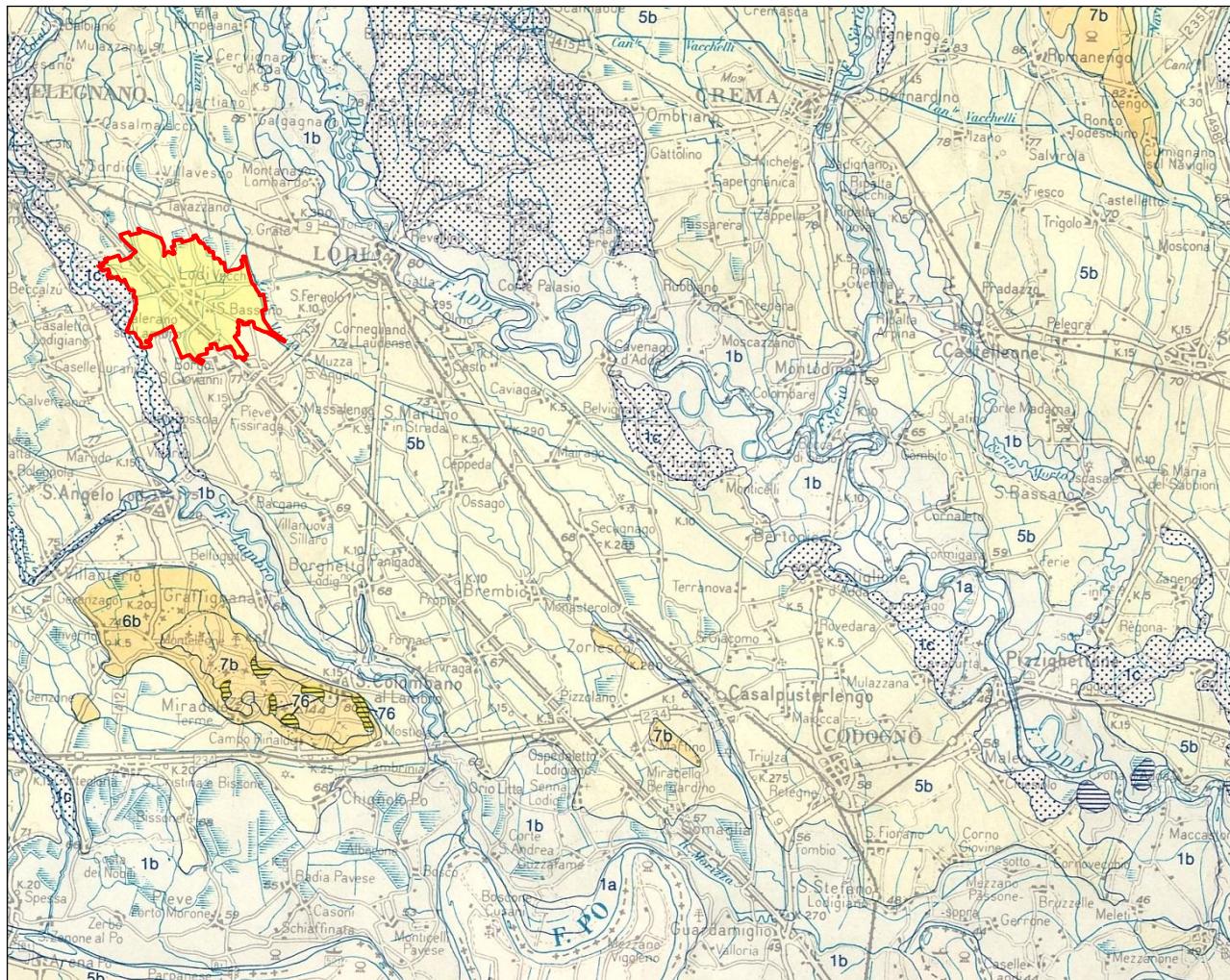


Figura 1: individuazione del territorio comunale nella “Carta Geologica della Lombardia” 1990, Servizio Geologico Nazionale – Univ. di Milano – Regione Lombardia – CNR , riprodotta in scala 1: 250.000 dall’originale in scala 1: 250.000. **1b**: alluvioni terrazzate medie ; **1c**: alluvioni terrazzate antiche; **5b** : fluviale Würm, sabbie limose con ghiaietto; **6b** : fluvioglaciale, fluviale e lacustre Riss: ghiaie, sabbie e argille ferrettizzate; **7b** : fluvioglaciale, fluviale e lacustre Mindel: ghiaie, limi e argille fortemente ferrettizzate; **76**: formazione di San Colombano : argille, calcari, conglomerati.

Il territorio si sviluppa su un’area di 16,03 km², di cui circa il 91% (14,1 km²) su terreni che costituiscono dell’unità morfologica e stratigrafica tardo pleistocenica comunemente indicata come *“livello principale della pianura”* (unità 5b nella Figura 1). Questa superficie presenta un’irregolare accivitá con valore medio del 1,3 % da nord e da NNW verso sud, da 83,5 m s.l.m. all’estremità nord presso la C.na Santo Stefano a 76,4 m s.l.m. all’estremità sud in prossimità dell’abitato di Borgo San Giovanni.

La forma della superficie topografica è stata individuata con discreto dettaglio impiegando 1137 punti quotati del terreno presenti sul DB topografico provinciale, in gran parte all'interno del territorio comunale, ed elaborando una griglia di 6200 nodi mediante interpolazione con metodo kriging impiegando il software Surfer © vers. 9.11.

Il risultato è riportato nella **tavola 1** allegata e mostra una conformazione caratterizzata da lievi depressioni ed elevazioni relative della superficie topografica di forma arrotondata o allungata.

Pur non potendo prescindere da probabili sommovimenti del terreno per opere e manufatti effettuati anche nell'antichità, la complessa micro-morfologia che si osserva ricorda da vicino quella delle aree fluviali di recente deposizione come le piane oloceniche dell'Adda a sud di Lodi, e pare quindi probabile che le forme siano ereditate dai processi erosivi e di accrescimento della pianura attivi per parte dell'olocene.

La testimonianza più evidente è data dalla chiara traccia del Paleoalveo del Sillaro, lieve depressione sinuosa approfondita 1,0 - 1,5 metri e larga da 220 a quasi 400 metri che si snoda per circa 6600 metri lungo l'asse mediano del territorio comunale lasciando in sponda destra l'abitato, dove sono presenti tratti con acclività fino al 12 % in direzione dell'attuale colatore.

A sud dell'abitato la morfologia tende a regolarizzarsi, assumendo acclività verso sud dell'1 - 2 % dove acquista maggiore evidenza la citata depressione del Paleoalveo del Sillaro.

Da ultimo si osserva che lungo l'allineamento tra la cascina Fornace e la Cappelletta votiva presso il confine comunale con Borgo San Giovanni s'individua un'apprezzabile elevazione della superficie topografica che pare attribuibile alla presenza di un dosso fluviale.

La restante porzione di territorio (1,9 km²) si estende all'interno della fascia dei depositi olocenici della "valle di pianura" del F. Lambro Settentrionale, che formano un'area altimetricamente ribassata rispetto al "livello fondamentale" ad ovest dell'abitato, con quote comprese tra 74 e 64 m s.l.m.

Le unità descritte (piana tardo pleistocenica e piana olocenica) sono tra loro connesse da una scarpata di erosione fluviale che ha subito notevoli modificazioni antropiche, tanto che attualmente le uniche forme osservabili sono i resti dell'escavazione, mentre solo poche forme scarsamente incise sono dubitativamente ascrivibili a processi naturali.

In una pubblicazione sulla struttura delle coltri alluvionali del bacino meridionale del Lambro ¹ viene fornita una complessa ricostruzione stratigrafica e interpretazione dei processi deposizionali dell'intera del Lambro tra Melegnano e Sant'Angelo Lodigiano, comprendente una sezione passante per la cascina Gualdane, riferita in Figura 2.

¹ Bersezio R. et al., *Aquifer architecture of the quaternary alluvial succession of the southern Lambro basin (Lombardy - Italy)*. (IT ISSN 0394-3356, 2004). Il Quaternario Italian Journal of Quaternary Sciences 17(2/1), 2004, 361-378

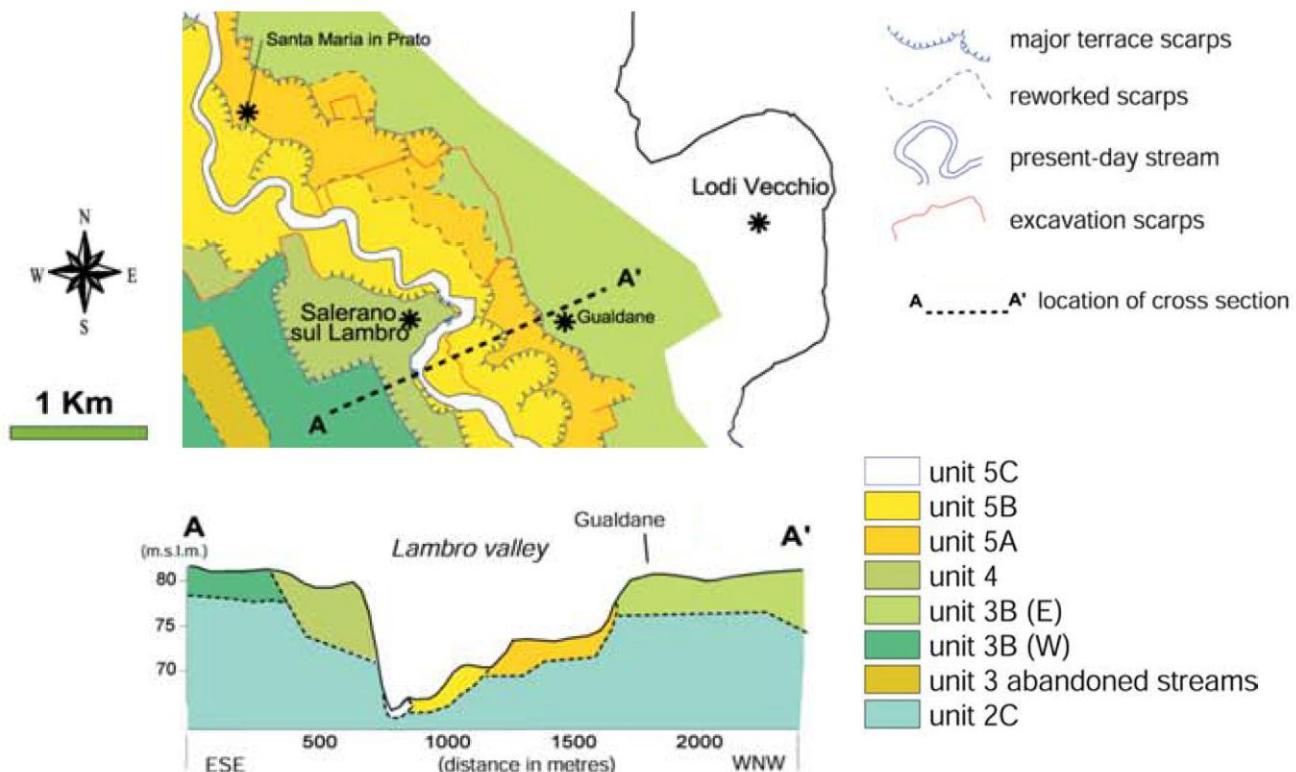


Figura 2: sezione geologica tratta dalla pubblicazione citata nella nota¹).

Gli autori individuano nell'area cinque unità deposizionali informali, che comprendono, dal basso:

Unità 1, sistemi deposizionali sabbioso-argillosi, con caratteri indicativi di ambiente fluviale meandriforme, con tetto individuato tra 50 e 70 m di profondità.

Unità 2, sistemi deposizionali ghiaioso – sabbiosi incontrate dalle perforazioni a profondità di 20-25 m, interpretabili come tipiche di un ambiente di conoide alluvionale distale a canali intrecciati che a tetto passano ad una **sub-unità (2C)**, sabbioso-limoso-argillosa interpretabile come il prodotto della transizione tra un sistema di deposizione a canali intrecciati (settentrionale) ed un sistema di deposizione meandriforme (meridionale). Le datazioni ¹⁴C relative **alla base dell'unità 2C** hanno fornito età (non calibrate) comprese tra **23.145± 340 a BP** e **24.145±160 a BP**; **il tetto** della stessa unità è stato datato a **22.035±300 a BP**. Le ghiae sono caratterizzate dall'abbondanza dei clasti metamorfici e magmatici, prevalenti sui clasti sedimentari di provenienza sudalpina.

Unità 3, sistemi deposizionali sabbiosi, è costituita da sedimenti localmente affioranti, organizzati in due sub-unità (3A e 3B) formate da **lenti sabbioso-ghiaiose e/o sabbiose, sviluppate tra il piano campagna e la profondità di 10-15 metri**. Questi corpi, talora delimitati da orli relitti di terrazzi di altezza metrica, comprendono i depositi dei corsi d'acqua meandriformi delle paleovalle del Sillaro (ad est del Lambro).. Il tetto dell'unità 3A è stato datato in un punto di misura compreso tra il dominio del Lambro e quello del Sillaro, a **18.785±230 a BP**, calibrabile ad età comprese tra **19.909 e 20.785 cal BC**.

Le unità 4 e 5, sistemi deposizionali antichi e **post-glaciali della valle del Lambro**, sono costituite da sedimenti di **ambiente fluviale meandriforme** contenute all'interno delle scarpate che delimitano questo sistema vallivo. Si tratta di depositi sabbiosi e ghiaioso-sabbiosi (barre di meandro e ventagli di rotta) associati a subordinati sedimenti fini, che si distribuiscono su tre ordini di terrazzo, sopraelevati più di 10 m rispetto alla quota dell'alveo di massima piena attuale del Lambro. Il terrazzo più recente rappresenta le fasi di deposizione avvenute con certezza in tempi storici, databili per il sistematico ritrovamento di frammenti di laterizi e manufatti, da romani a rinascimentali, embricati nelle forme di fondo ghiaiose (**sub-unità 5B**).

Nella sintesi sopra riferita è quindi descritta tutta la successione stratigrafica di interesse pratico dell'intero territorio comunale, precisando che l'attività di cava ad ovest della C.na Gualdane interessa depositi post glaciali delle sub unità 5A e B.

La descrizione del territorio fornita nella carta geologica ufficiale, foglio 59 Pavia è riferito nella figura seguente e nella relativa legenda.

La formazione del deposito d'interesse per gli aspetti geotecnici, quindi indicativamente dei primi 10 - 20 metri dal p.c., nel suo complesso è attribuita dai compilatori del foglio geologico ufficiale n° 59 "Pavia" al diluvium recente (Q1r), unità stratigrafica istituita all'epoca della redazione del foglio geologico e posta per convenzione coincidente con l'unità morfologica del "livello principale della pianura".

Tale unità è stata in seguito abbandonata ed è tuttora in corso la revisione stratigrafica dell'intera area di pianura con più recenti criteri come evidenziato in precedenza.

E' comunque utilizzabile la descrizione litologica di tale unità, che nel foglio Pavia è data da "*Ghiaietto, sabbie e limo argilloso alterato nella parte superficiale*".

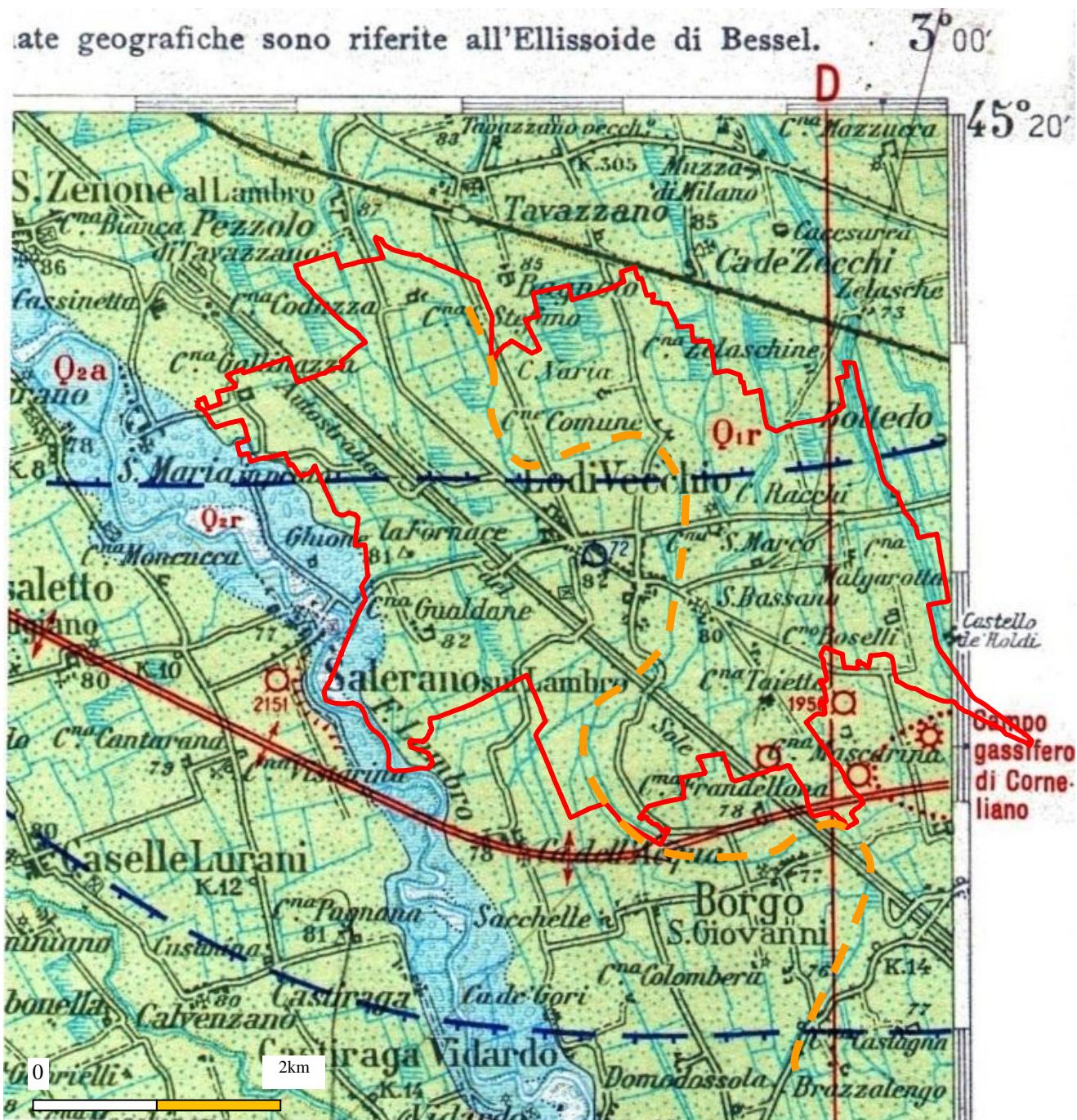


Figura 3: individuazione dell'area d'indagine nella "Carta Geologica d'Italia" – 1962, Servizio Geologico Nazionale, riprodotta in scala 1:50.000 dall'originale in scala 1: 100.000. **Q_{1r}** = diluvium recente, alluvioni fluvioglaciale tardo pleistoceniche sabbiose del "livello fondamentale della pianura"; **Q_{2a}** = alluvium antico, che costituiscono terrazzi compresi tra le alluvioni recenti ed attuali dei fiumi e il diluvium recente, si tratta di depositi formasti dopo una fase di erosione, ma che talora rappresentano semplici superfici di erosione. La tessitura è data da ghiaie e sabbie prevalenti.



Traccia del paleoalveo del Sillaro.

La giacitura e la genesi dei depositi che formano le prime decine di metri dalla superficie è stata descritta in un altro articolo su "Il Quaternario"², che fornisce una sezione geologica interpretativa lungo il tracciato della TAV (v. stralcio ridisegnato in Figura 4).

² **Baio M, Bersezio R, Bini A.** (2004) "Assetto della successione quaternaria nel sottosuolo tra Melegnano e Piacenza". Il quaternario 17(2/1) pag. 355-359.

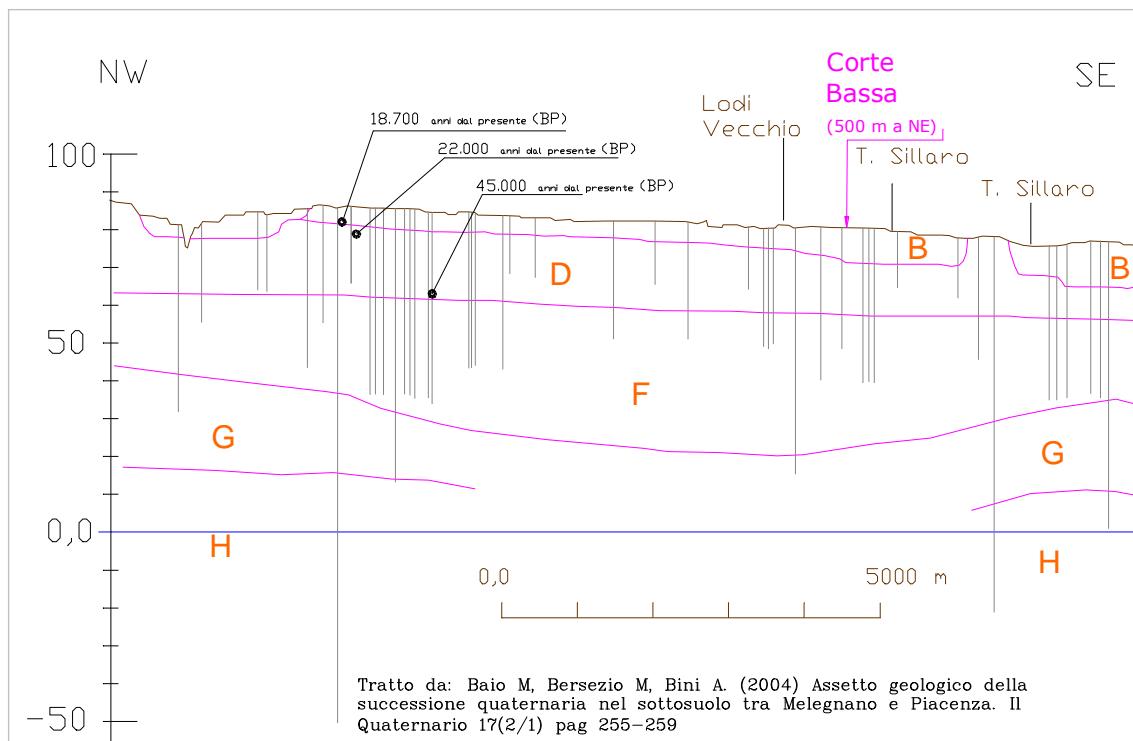


Figura 4 stralcio ridisegnato della sezione geologica NW-SE del territorio basso lodigiano riferita in Baio M., Bersezio M., Bini A. (2004). La sezione è stata costruita principalmente con i sondaggi effettuati per la realizzazione della T.A.V., che sono graficamente indicati con le linee grigie verticali.

Scala orizzontale 1: 100.000; scala verticale 1: 2.000. Il rapporto di scala (verticale /orizzontale) è 50 : 1.

Lo studio ha consentito la ricostruzione bidimensionale di un esteso tratto di pianura, convenzionalmente suddiviso in tre settori: "Lodigiano", "San Colombano" e "Po". In quello settentrionale, che è di diretto interesse, si sono distinte sei unità stratigrafiche fluvioglaciali e fluviali di provenienza alpina, di età compresa tra il pleistocene medio (?) e l'Olocene. Le Unità definite dagli Autori, in estrema sintesi, presentano le seguenti caratteristiche:

Unità B, sabbiosa: costituisce la porzione più superficiale dei depositi quaternari, ed è presente con continuità nella pianura lodigiana, da Melegnano alla scarpata principale che la delimita a sud, presso Somaglia. Si tratta in prevalenza di sabbie di colore da bruno a giallo oliva, organizzate in sequenze metriche **coronate da facies fini limoso argillose talora ricche in materia organica**. Localmente sono presenti depositi più grossolani in corrispondenza di paleoalvei.

Lo spessore massimo nella sezione è dell'ordine di 10 metri, come nel tratto indicato tra Lodi Vecchio ed il Sillaro. Con buona approssimazione si può ritenere che gran parte delle **prove penetrometriche abbiano attraversato esclusivamente** i depositi di tale unità. Nella composizione petrografia prevalgono elementi litici sedimentari su quelli metamorfici e magmatici. Un campione prelevato alla base dell'unità ha fornito un'età di 19.909-20785 anni B.C. (21.917-22.793 B.P.), mentre le parti sommitali non sono state datate. Per le stesse si ipotizza l'attribuzione alle **fasi di ritiro dell'ultima glaciazione, o ad una fase postglaciale**.

Unità D, sabbioso ghiaiosa: è presente nella pianura lodigiana fino alla scarpata principale che la interrompe. Si tratta di sequenze positive di ghiaie passanti a sabbie di colore grigio, **coronate da sedimenti limo argillosi**. La composizione petrografica delle ghiaie mostra una marcata differenza rispetto a quelle dell'Unità B, per la prevalenza di litici magmatici e metamorfici su quelli sedimentari.

Secondo gli Autori l'unità D è attribuibile fasi fluvioglaciali precedenti l'LGM (ultimo massimo di espansione glaciale). La sezione mostra che lo **spessore di quest'unità in corrispondenza dell'area in esame è di circa 13 metri**.

Unità F: ghiaioso sabbiosa. Si tratta nel complesso di due successioni ghiaiose sovrapposte dello spessore totale di circa 40 m con livelli limo argillosi sottili e poco frequenti. Prevalgono elementi metamorfici e magmatici su quelli sedimentari, di provenienza sud alpina.

Unità G e H: sabbie limose e argillose. L'unità è costituita da sequenze cicliche positive sabbiose limose argillose caratterizzate da continuità laterale, e dallo spessore almeno metrico degli intervalli fini, talora ricchi di sostanza organica.

4 Elementi di pedologia

4.1 PROCESSI GENETICI

La pianura padana è essenzialmente il prodotto di un processo di riempimento del bacino subsidente da parte di sedimenti di origine marina durante il pliocene (da 4,9 a 1,6 milioni di anni fa). Con il primo Pleistocene (da 1,6 a circa 0,75 m.a.), anche a seguito di processi di sollevamento in corrispondenza di "alti strutturali", ha preso inizio la deposizione di ambiente transizionale, caratterizzata da fasi spiccatamente marine e depositi di origine continentale.

I sedimenti formatisi, costituiti da limi intervallati da sabbie fini e strati torbosi, rappresentano la base sulla quale sono andate a deporsi grandi masse di sabbie e ghiaie di origine continentale, trasportate dalle Alpi e dagli Appennini verso valle dalle notevoli portate dei fiumi che caratterizzarono il pleistocene superiore durante le glaciazioni.

Le coltri di materiale sabbioso-ghiaioso sono convenzionalmente attribuite a tre diverse fasi glaciali del Pleistocene medio e superiore, denominate Mindel (intorno a 0,7 milioni di anni fa), Riss (da 0,3 a 0,13 m.a.) e Würm (da 70.000 a 12.000 anni fa), anche se le fasi ora riconosciute nell'alta pianura sono più di una decina; tale semplificazione è dovuta alla difficoltà, allo stato attuale delle conoscenze, di distinguere nelle stratigrafie dei pozzi della bassa pianura singole fasi che hanno determinato l'erosione e l'accumulo di materiali assai simili.

I depositi che costituiscono la copertura alluvionale della pianura padana, sono quindi il prodotto del susseguirsi di più cicli erosivi e deposizionali, che hanno portato ciascuna delle

coltri più giovani ad adagiarsi sulle altre, relativamente più antiche, tramite il parziale riempimento dei solchi vallivi profondamente incisi in queste, determinando frequenti giustapposizioni tra depositi di diversa età.

Al termine dell'ultima fase glaciale la pianura era percorsa da fiumi di portata molto maggiore dell'attuale, di cui si ha chiara testimonianza nelle tracce dei paleoalvei posti sulla superficie del *"Livello Fondamentale della Pianura"*.

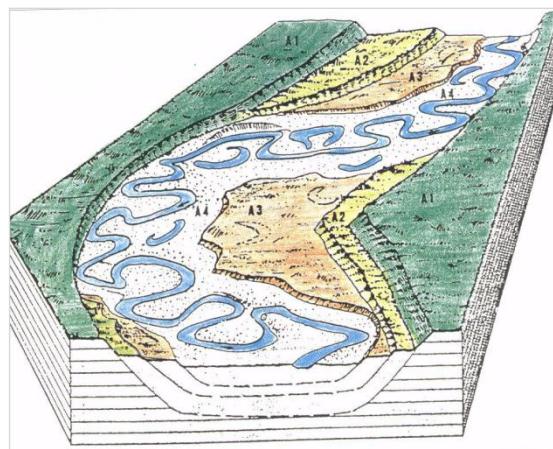
L'analisi dei parametri di tali forme, in particolare l'ampiezza dei meandri e i raggi di curvatura, ha condotto il Marchetti³ ad ipotizzare che le portate potessero essere superiori di 5 - 6 volte rispetto a quelle degli attuali fiumi.

Tracce continue di questa antica idrografia sono individuabili in corrispondenza del percorso dell'attuale torrente Sillaro, che attraversa buona parte della porzione occidentale del territorio lodigiano estendendosi da Dresano - Mulazzano a Borghetto Lodigiano, ed in altre analoghe strutture che ospitano corsi d'acqua aventi principalmente funzione di colli (roggia Venere, roggia Guardalobbia e colatore Brembiolo, solo per citarne i principali). Un aspetto rilevante di tali morfologie, che presentano un profilo con concavità rivolta verso l'alto, è la **frequente associazione con depositi fini talora fortemente organici**, che nel caso del paleoalveo del Sillaro sono stati effettivamente riscontrati dallo scrivente nell'area industriale di Borgo San Giovanni e che possono rivelarsi problematici per la realizzazione di fondazioni dirette.

L'abbondante deflusso è stato attribuito al clima freddo umido che avrebbero caratterizzato le fasi finali della glaciazione e la prima deglaciazione, che produsse grandi apporti di materiale alluvionale verso la pianura, reso disponibile anche dall'accumulo di materiale sciolto da parte dai ghiacciai allo sbocco delle vallate alpine (apparati morenici).

Tali processi, avvenuti in realtà mediante più cicli di avanzamento e ritiro dei ghiacciai, condussero alla formazione della porzione superiore del citato *"livello fondamentale della Pianura"*, mentre una successiva fase caratterizzata sia dalla diminuzione delle precipitazioni sia dall'intrappolamento dei sedimenti nei bacini lacustri formatisi a monte degli sbarramenti morenici, diede luogo alla migrazione del punto neutro dei fiumi⁴ verso valle.

Figura 5: schema di formazione dei depositi olocenici nelle valli fluviali : da *"Studi preliminari per il parco Lambro Settentrionale Sud"*. Geotecnica Progetti S.p.A., 1987.



³ Marchetti M. (1990) : *"Cambiamenti idrologici nella Pianura Padana Centrale a nord del fiume Po: i casi di "Underfit stream" dei fiumi Mincio, Oglio e Adda"* . Geografia fisica e dinamica del quaternario , n° 13.

⁴ Si intende con tale termine un tratto dell'asta fluviale caratterizzata sostanzialmente dal trasporto di materiale, interposta tra la prevalente erosione che avviene a monte e la deposizione che si manifesta a valle di detto punto. Con un aumento delle precipitazioni, che produce una maggiore frequenza degli episodi di piena, si assiste ad uno spostamento verso monte del punto neutro, mentre in caso inverso si ha la migrazione verso valle. Tale riferimento teorico è però fortemente variato nei singoli corsi d'acqua da aspetti caratteristici, in particolare dalla presenza di tributari e da fenomeni neotettonici.

Ebbe così inizio, in un periodo approssimativamente compreso tra i 7.500 ed i 10.000 anni fa, una decisa fase di erosione dei depositi fluvioglaciali dell'età würmiana, che unitamente a fenomeni locali di innalzamento della pianura per cause tettoniche, produsse le profonde incisioni che attualmente ospitano la fascia di divagazione dei meandri dei fiumi di origine alpina, dette piane oloceniche o valli fluviali di pianura, tra le quali quelle dell'Lambro Settentrionale e dell'Adda.

Con il succedersi di fasi climatiche a diversa intensità, i fiumi hanno apportato e successivamente nuovamente eroso i sedimenti all'interno delle valli, producendo un complesso di depositi posti a quote che si differenziano di alcuni metri, che formano una serie di terrazzi inscatolati nel solco definito dal terrazzamento principale.

E' da rilevare che le forme di erosione che caratterizzano il margine della pianura del Pleistocene superiore presentano raggi di curvatura del tutto paragonabili quelli dei meandri attuali, e ciò consente di concludere che l'incisione delle valli oloceniche si è verificata dopo la riduzione delle portate. Tali conclusioni sono quindi in contrasto con quanto ipotizzato da Viggiani, almeno per la parte che suggerisce la persistenza di un corso d'acqua con elevate portate ancora in epoca romana e sino all'alto medioevo, con definitivo abbandono del tracciato nel periodo tra il 1150 ed il 1220, in coincidenza con la distruzione di Laus Pompeia (Lodivecchio) e la rifondazione di Lodi nell'attuale posizione.

4.2 SINTESI DELLE CARATTERISTICHE

Ai fini del presente studio l'analisi delle caratteristiche pedologiche del territorio è rilevante principalmente per valutare la funzione protettiva esercitata dai suoli nei confronti delle acque sotterranee. Quanto riferito nel presente capitolo non è frutto di rilievi condotti nel corso della presente indagine, ma rappresenta una sintesi, riferita al territorio di Lodi Vecchio, dello studio pedologico pubblicato dell'ERSAL (SSR n°30, giugno 2000).

L'analisi formulata dagli autori è supportata da osservazioni del paesaggio condotte mediante la cartografia storica e le foto aeree, la realizzazione di numerose osservazioni puntuali (in media 1 profilo ogni 4 Km² e 4 trivellate al Km² (circa n° 64 nel solo territorio di Lodi Vecchio) ed analisi chimiche e tessiturali sui campioni.

Si premette che nei territori di pianura l'attività agricola si sovrappone in modo determinante ai fattori naturali di pedogenesi (tempo, clima, substrato e morfologia delle superfici), producendo il **rimescolamento dell'orizzonte superficiale** e di parte degli orizzonti diagnostici, ed in numerosi casi realizzando la decapitazione o la sepoltura del profilo originario con lavori di livellamento.

I **suoli sono stati classificati** adottando il sistema elaborato dal Dipartimento dell'Agricoltura degli Stati Uniti (USDA) chiamato Soil Taxonomy, per il quale è di primaria importanza l'individuazione del regime di umidità prevalente. Per ragioni connesse ad esigenze di continuità nella cartografia regionale, l'ERSAL ha classificato tutti i suoli dell'area ammettendo la prevalenza di un **regime di umidità ustico** (suolo è secco, cioè l'acqua è

trattenuta dal suolo con una tensione > 15 atm, totalmente o parzialmente per almeno 90 giorni cumulativi e per meno di 45 giorni consecutivi in estate, almeno 6 anni su 10), benché tale regime rappresenti solo una minoranza dei casi ottenuti nell'elaborazione dei dati climatici con suoli che presentano una AWC (quantità d'acqua in un suolo che può essere estratta dalle radici delle piante) pari a $=170$ mm, e sia invece prevalente nell'area il regime di umidità *udico* (vi è umidità, cioè l'acqua è trattenuta dal suolo con una tensione < 15 atm, in qualche parte della sezione di controllo, per 90 o più giorni cumulativi e per almeno 6 anni su 10).

I suoli presenti sulla piana pleistocenica hanno normalmente subito processi pedogenici per tempi significativamente più lunghi rispetto ai suoli delle superfici oloceniche, e ciò ha consentito la lisciviazione delle basi di scambio (soprattutto Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+) dagli orizzonti superficiali e la formazione di un accumulo di argille sotto l'orizzonte arato, tipico dei suoli appartenenti all'Ordine *Alfisols*.

Il ferro liberato dall'alterazione del sedimento di origine si trova per lo più legato al complesso argillo-umico e conferisce all'orizzonte argilllico caratteristiche colorazioni bruno rossastre, mentre i carbonati sono stati rimossi dall'orizzonte superficiale e talora si accumulano in profondità con formazione dell'orizzonte calcico.

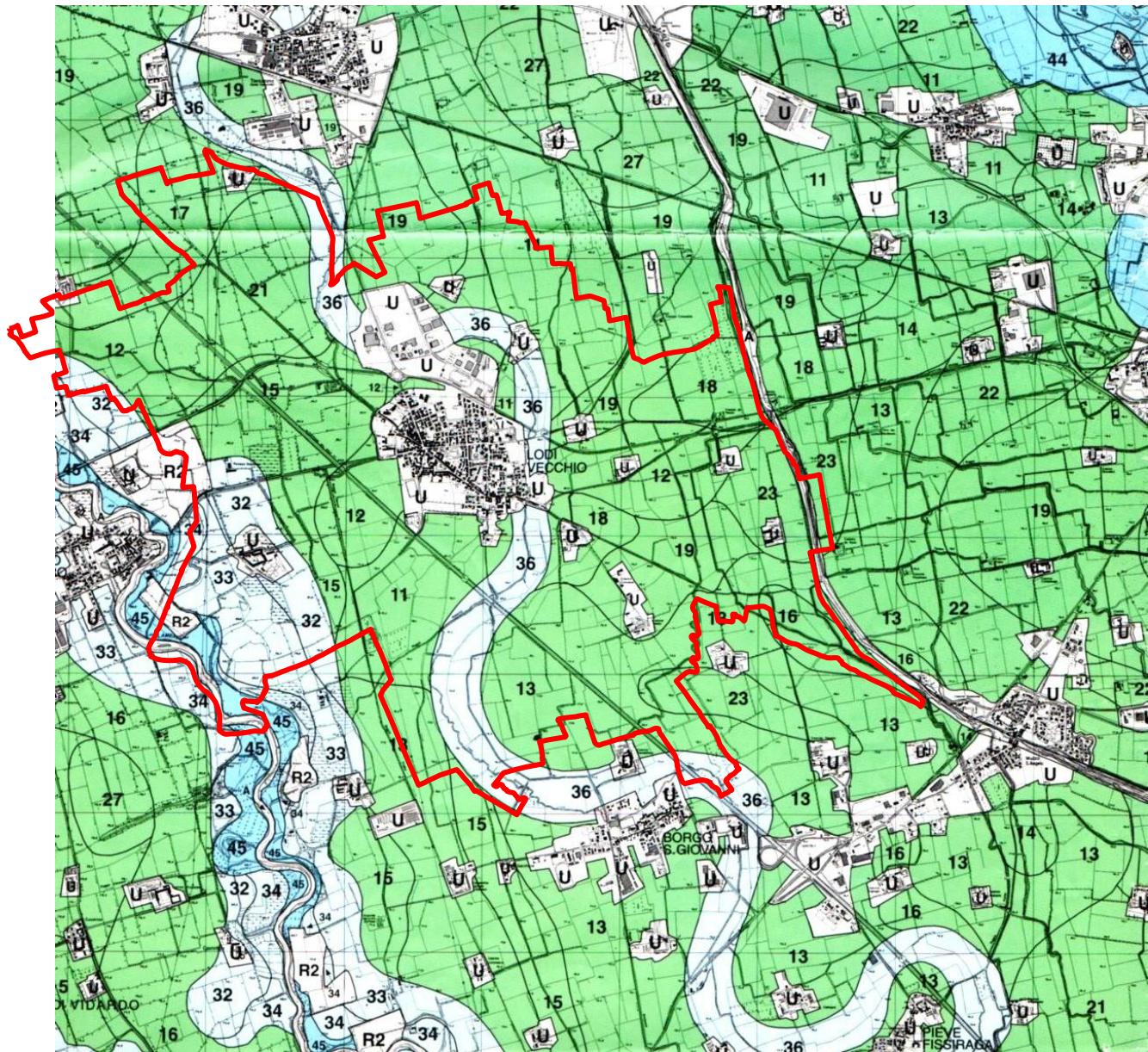


Figura 6 stralcio della carta pedologica dell'ERSAL – pubblicazione SSR 30

Da rilevare che **alla progressiva riduzione di granulometria** dei depositi fluviali originari che caratterizza il territorio lodigiano in direzione Nord- Sud, **pare associabile la maggiore frequenza di orizzonti calcici** che si riscontra in direzione sud. La presenza di depositi sabbioso-limosi rende spesso lenta la velocità di percolazione delle acque nel profilo del suolo, ed aumenta la possibilità che i carbonati presenti nei sedimenti originari vengano disciolti nelle parti superiori del profilo e si ridepositino in forma di concrezioni nelle parti inferiori.

COMUNE DI LODI VECCHIO (Lo) STUDIO DELLA COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO

SINTESI DELLE CARATTERISTICHE PEDOLOGICHE DEL TERRITORIO DI Sant'Angelo Lodigiano TRATTE DA: "I Suoli del Lodigiano" ERSAL SSR 30 - anno 2000																
Caratteristiche principali degli ordini dei suoli individuati in territorio di Lodi Vecchio																
Alluviali : suoli caratterizzati, principalmente, dalla presenza di un orizzonte profondo di accumulo di argilla illuviale (argillico). (U.C. 11, 12, 13, 15, 16, 18, 19, 21, 23, 32);														sup totale urbанизato netto	16.03 1.58 14.45	
Inceptisvoli: suoli con profilo scarsamente differenziato, con presenza di un orizzonte profondo di alterazione sufficientemente distinguibile dal materiale di partenza per sviluppo di struttura, colore o decarbonatazione. (U.C. 17, 33, 36)																
Entisvoli: suoli di origine diagnostico, su substrati di recente deposizione o erosione o con intenso disturbo antropico. (U.C. 34, 45)																
Regime idrico utstico : il suolo è secco, totalmente o parzialmente, per almeno 90 giorni cumulativi e per meno di 45 giorni consecutivi in estate, almeno 6 anni su 10.																
Classe mineralogica mixed: tutti i minerali diversi dal quarzo e dai feldspati sono presenti in misura minore del 40%.																
Note: le caratteristiche indicate con due termini separati da sbarretta (es. subacida/neutra), indicano rispettivamente il valore del parametro nella parte superficiale del suolo ed in quella profonda. Il preciso significato dei termini utilizzati, in particolare di espressioni quali buono, permanente, temporaneo ecc. è riportato nel GLOSSARIO PEDOLOGICO e, in parte, nella pubblicazione SSR 30 dell'ERSAL qui sintetizzata.														km ² a Lodi Vecchio		
SISTEMA E SOTTOSISTEMA DI PAESAGGIO	UNITA' DI PAESAGGIO (codice Ersal LF2) Superficie modali stabili, pianeggianti e leggermente ondulata, intermedia tra le aree più rilevate e (dossi) e depresse (conche e paleoalvei)														% per sistema di paesaggio	
	11 - LOD 1 Suoli molto profondi a substrato sabbioso, tessitura da media e moderatamente grossolana														1.983 13.73%	
	SOTTOUNITA' DI PAESAGGIO (cod. LF2.1) Superficie pianeggiante che rappresentano le aree modali del preesistente sistema fluviale a meandri. I depositi sono sabbiosi limosi e limosi talvolta con substrato sabbioso. La falda è molto profonda e il drenaggio buono. Prevalle seminativo irriguo.														1.729 11.97%	
	12 - UAL 1 Suoli molto profondi a substrato sabbioso, tessitura da media e moderatamente grossolana in profondità														1.681 11.64%	
	13 - AGO 1 Suoli da profondi a molto profondi, tessitura media														1.276 8.83%	
	15 - ELO 1 Suoli moderatamente profondi, limitati da substrato sabbioso														0.181 1.25%	
	SOTTOUNITA' DI PAESAGGIO (cod. LF2.2) Superficie pianeggiante o lievemente ondulata che rappresentano le aree più prossime al preesistente sistema fluviale a meandri. I depositi sono sabbiosi limosi, spesso su substrato sabbioso, il sottosuolo è caratterizzato da leggere idromorfie legate a una falda profonda, trasitoria, su sedimenti argilloso limosi presenti in profondità. Prevalle seminativo irriguo.														0.835 5.78%	
	16 - NEGE 1 Suoli molto profondi a tessitura moderatamente grossolana														0.729 5.05%	
	17 - LUN 1 Suoli poco, talora moderatamente profondi, limitati da substrato sabbioso														1.571 10.88%	
	18 - OME 1 Suoli profondi o molto profondi su substrato sabbioso franco, a tessitura media e drenaggio mediocre														81.3%	
	SOTTOUNITA' DI PAESAGGIO (cod. LF2.3) Superficie pianeggiante o lievemente ondulata che rappresentano le aree più prossime al preesistente sistema fluviale a meandri. I depositi sono sabbiosi limosi, spesso su substrato sabbioso, il sottosuolo è caratterizzato da leggere idromorfie legate a una falda profonda, trasitoria, su sedimenti argilloso limosi presenti in profondità. Prevalle seminativo irriguo.														0.661 4.58%	
SISTEMA E SOTTOSISTEMA DI PAESAGGIO	UNITA' DI PAESAGGIO (codice Ersal LF3) Depressione di forma sub a drenaggio mediocre o lento, con problemi di smaltimento esterno delle acque talora con evidenze di fossi scolanti e baulature dei campi															
	21 - ISI 1 Suoli profondi a tessitura media e substrato sabbioso persistente														0.106 7.59%	
	23 - RAN 1 Suoli profondi o molto profondi a tessitura da moderatamente fine a fine, non calcarea, a drenaggio lento talora mediocore														0.059 0.41%	
	SOTTOUNITA' DI PAESAGGIO (cod. LF 3.1) Superficie pianeggiante talora leggermente depresse che rappresentano le aree modali delle depressioni del preesistente sistema fluviale a meandri. I depositi sono sabbiosi limosi, spesso su substrato sabbioso e sono caratterizzati da leggere idromorfie legate a una falda profonda, trasitoria, su strati argilloso limosi non calcarei, non dolomiticati, talora lente. I suoli presenti sono sabbiosi con orizzonte profondo a concrezioni carbonatiche (casticrene). Prevalgono seminativi irrigui, le risaie il prato permanente irriguo.														16.5%	
	32 - AIR 1 / RGA 1 complesso di suoli profondi a tessitura media														0.414 2.87%	
SOTTOSISTEMA DI PAESAGGIO (cod. VT 2)	33 - OBE 1 / NAN 1 complesso di suoli moderatamente profondi a tessitura moderatamente grossolana e grossolana														0.542 3.75%	
	34 - STI 1 suoli molto profondi a substrato sabbioso														1.362 9.43%	
	SOTTOUNITA' DI PAESAGGIO (cod. VT 2.2) lieve depressione del terreno, a valente elevata sulla piana alluvionale (Olivene antico). (codice ERSAL LF 2.2) I terreni alluvionali corrispondenti ai piani di drenaggio dei corsi d'acqua affioranti o affioranti oltremare. Coincidono spesso con paleoalvei, conche e depressioni.														1.2%	
SISTEMA E SOTTOSISTEMA DI PAESAGGIO	UNITA' DI PAESAGGIO (codice Ersal VT 1) Terrazzi fluviali stabili, delimitati da scarpe erbose evidenti, a morfologia pianeggiante o ondulata con depressioni da baulature dei campi															
	36 - SIL 1 (al centro del paleoalveo) e LAR 1 (a esterna) associazione di suoli molto differenti, sottili o poco profondi limitati da idromorfia persistente, a tessitura moderatamente grossolana e grossolana, con poco a moderato drenaggio mediocre														Capacità protettiva dei suoli per le acque profonde	
SISTEMA E SOTTOSISTEMA DI PAESAGGIO (codice Ersal VT)	45 - STI 3 suoli molto profondi a substrato sabbioso														Capacità protettiva dei suoli per le acque profonde	
	Fondovalle del fiume Lambro con elevato rischio di inondazione. I depositi sono sabbiosi, la pietrosità varia da nulla a comune.														0.180 1.25%	

Figura 7: unità pedologiche tratte da ERSAL pubblicazione SS30 "i Suoli del Lodigiano", anno 2000, con modifiche.

Alla diminuzione della granulometria pare anche associabile il contestuale aumento del tasso di saturazione basica, che lungo un parallelo passante da Lodi, separa il territorio provinciale in aree con $TSB < 75\%$ (a nord) da quelle con $TSB > 75\%$. Il parametro, che esprime il rapporto percentuale tra dei cationi alcalini e alcalino-terrosi (Ca,Mg,Na,K) fissati sul complesso di adsorbimento, e la capacità di scambio cationico, ha influenza sulla collocazione dei suoli nel sistema di classificazione, e costituisce un importante fattore di fertilità.

4.2.1 Aspetti applicativi delle caratteristiche pedologiche

L'analisi condotta consente agli Autori di formulare alcune **valutazioni di utilità pratica mediante l'utilizzo di procedure codificate**, e in particolare la classe di qualità agronomica dei suoli (capacità d'uso), e il giudizio sulla capacità protettiva dei suoli nei confronti delle "acque profonde" (in realtà intese come acque sotterranee di prima falda).

La **capacità d'uso** è individuata in un sistema ripartito in 8 classi, numerate da I a VIII in funzione della gravità e del numero delle limitazioni difficilmente correggibili che restringono il campo delle possibili pratiche colturali. Solo le prime 4 classi individuano suoli adatti all'agricoltura, mentre le classi dalla V alla VII sono riferite a suoli adatti solo al pascolo ed alla forestazione. La classe VIII individua suoli non utilizzabili ai fini agro-silvo-pastorali.

CLASSE I : suoli con limitazioni assenti o molto lievi.

CLASSE II: suoli con alcune limitazioni facilmente controllabili, che riducono la scelta delle colture e richiedono moderati interventi di conservazione.

CLASSE III : suoli con severe limitazioni che riducono la scelta delle colture (oppure la scelta dei periodi di semina, raccolta lavorazione del suolo), e richiedono particolari pratiche di conservazione, costanti e di difficile attuazione.

CLASSE IV : suoli con limitazioni molto severe che riducono ulteriormente la scelta delle colture e/o richiedono importanti ed accurate pratiche di conduzione.

Il tipo di limitazione che interviene nel definire le classi è fornito dai seguenti simboli, che compaiono nella tabella di Figura 7:

s = limitazioni di tipo pedologico, quali scarsa profondità del suolo, bassa saturazione del complesso di scambio (TBS) o altro, specificato tra parentesi a fianco della classe;

w = eccesso idrico nel profilo, per drenaggio mediocre o presenza della falda nel profilo;

e = rischio di erosione;

c = limitazioni climatiche

La **capacità protettiva dei suoli nei confronti delle acque sotterranee** esprime l'attitudine dei suoli a funzionare da barriera naturale nei confronti della propagazione di inquinanti idrosolubili. Tale capacità protettiva costituisce un elemento fondamentale nella valutazione della vulnerabilità delle acque sotterranee all'inquinamento, la cui determinazione contempla però la valutazione di numerosi altri parametri, quali la topografia, la caratteristiche di dispersività dell'inquinante nell'insaturo (sotto il suolo) e nel saturo (falda), e le caratteristiche dinamiche della falda stessa.

Si riporta di seguito lo **schema di analisi applicato dall'ERSAL**, con alcune semplificazioni relative alla classe granulometriche, e con la traduzione dei termini originariamente in inglese. Lo scopo attuale, infatti, è di rendere comprensibile al lettore la

procedura seguita, mentre per una precisa individuazione della metodologia occorre riferirsi al *“manuale per la compilazione delle schede delle unità cartografiche”* disponibile presso l'ERSAL.

La **permeabilità** in particolare rappresenta un parametro di complessa definizione, che deve essere valutato in campagna osservando le principali caratteristiche del suolo che influenzano la velocità d'infiltrazione dell'acqua (tessitura, porosità, struttura etc.), e non pare necessario riportare per esteso le categorie occorrenti a tale determinazione.

Il valore indicato assieme al giudizio qualitativo rappresenta la stima della velocità di infiltrazione che gli Autori del metodo (USDA) ritengono di poter associare alla caratteristiche pedologiche individuate, e non il risultato di misure appositamente eseguite.

I valori di pH e C.S.C. che vengono utilizzati nella procedura sono i più alti tra quelli riscontrati entro i 100 cm.

Classi di capacità protettiva	PARAMETRI			
	PERMEABILITÀ (velocità in m/sec)	PROFONDITÀ DELLA FALDA	CLASSI GRANULOMETRICHE	ph e C.S.C. (in meq/100 gr)
ELEVATA	Bassa $10^{-6} \div 10^{-8}$	>100 cm	Argillosa, argillosa limosa, argilloso-franca, limoso grossolana, franca, argilloso scheletrica, più tutte le classi fortemente contrastanti in cui il primo termine sia argillosa o argilloso limosa	>5 >10
MODERATA	Moderata $10^{-5} \div 10^{-6}$	50-100 cm con permeabilità bassa > 100 cm con permeabilità moderata	Franca grossolana e franco scheletrica, più tutte le classi fortemente contrastanti in cui il primo termine non sia argillosa o argilloso limosa	4,5-5,5 5-10
BASSA	Elevata $10^{-4} \div 10^{-5}$	<50 cm con permeabilità bassa <100 cm con permeabilità moderata	Sabbiosa, sabbioso scheletrica, frammentale più tutte le classi fortemente contrastanti in cui il primo termine sia sabbiosa, sabbioso scheletrica o frammentale	< 4,5 <5

Nell'analisi realizzata dall'ERSAL i suoli del territorio di Lodi Vecchio presentano una **capacità protettiva da ELEVATA a BASSA** in funzione dell'abbondanza della frazione sabbiosa nel profilo, e dei correlati valori di permeabilità e di C.S.C.

5 Idrogeologia

5.1 CARATTERISTICHE GENERALI E STRATIGRAFIA DEI POZZI

La successione di terreni prevalentemente sabbiosi attribuiti alle fasi glaciali giacciono, come detto, su sedimenti più fini formatisi in ambienti di transizione (litoranei e deltizi). I primi presentano una porosità tra i granuli (detta primaria) mediamente di circa il 25%, che è saturata dall'acqua proveniente dalle piogge e dall'irrigazione, infiltratasi attraverso gli strati più superficiali.

L'acquifero della Pianura Padana è sostanzialmente costituito da un monostrato di sabbie e ghiaie, localmente compartimentato da livelli lentiformi semipermeabili detti "acquitards", e caratterizzato da un moto delle acque grossomodo parallelo al gradiente topografico, drenante verso il fiume Po. In corrispondenza degli acquitards possono avvenire scambi idrici verticali tra acquiferi sovrapposti dotati di differenti carichi idraulici (fenomeno della drenanza), che si manifestano con movimenti d'acqua ascendenti o discendenti.

Lo spessore di questo complesso di corpi permeabili saturi (acquiferi), dal quale si emunge l'acqua per usi potabili, zootecnici, civili ed industriali, è condizionata dalle strutture del substrato marino in precedenza descritte.

Secondo quanto esposto dall'IRSA⁵, " ...la coltre alluvionale assume potenze di poche decine di metri lungo gli assi degli alti strutturali (Villanterio, Chignolo Po), mentre raggiunge i 70 - 80 m in corrispondenza degli interposti bassi strutturali (Villanova Sillaro, Ossago) [l'asse della depressione passa in corrispondenza dell'abitato di castigliane d'Lambro Settentrionale, v. Figura 3]. Per quanto attenuate, le predette deformazioni del substrato si ripetono negli strati basali della sequenza continentale. In tutto il sottosuolo della Bassa Lodigiana la litologia dominante delle alluvioni è caratterizzata da ripetute ed irregolari alternanze di strati sabbiosi ed argillosi. A questa regola fanno però eccezione, anche in questo caso, le fasce sviluppatesi ai lati delle aste fluviali attuali e antiche (fiume Lambro Settentrionale, fiume Serio e subordinatamente fiume Lambro).

Gli acquiferi sotterranei racchiusi in seno ad orizzonti sabbioso-grossolani sono piuttosto modesti - sia come numero che come consistenza - in corrispondenza delle dorsali sepolte di Villanterio-Codogno e di Bascapè-Caviaga. Divengono invece relativamente più cospicui in prossimità dell'Lambro Settentrionale.".

Di seguito si fornisce l'elenco dei pozzi noti presenti sul territorio, fornito da ARPA di Lodi a settembre 2011 e riportati nelle tavole 2 e 5. Le coordinate riferite nella tabella sono Gauss Boaga, quelle nelle tavole sono nel sistema WGS 84.

Il codice per l'uso è il seguente : **p** = potabile; **p-z** = potabile e zootecnico; **z** = zootecnico; **i** = industriale ; **ir** = irriguo; **d** = domestico (non potabile) ; **pz** = piezometri; **dis** = dismesso (non chiuso) ; **cem** = cementato.

⁵ I.R.S.A. - C.N.R.: (1981) : *Indagine sulle falde acquifere profonde della Pianura padana*. Quaderni dell'Istituto di Ricerca sulle Acque, 28 (II), Roma.

COMUNE DI LODI VECCHIO (Lo) STUDIO DELLA COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO

COD_SIF	INDIRIZZO	UTILIZZATORE	X	Y	QUOTA	USO	PROF	CEMENTATO	DISUSO	STRATIGR	MISURABIL
0980320001	VIA MADRE CABRINI	CONSORZIO ACQUA POTABILE				cem		31-dic-88			
0980320002	VIA MADRE CABRINI	CONSORZIO ACQUA POT.	1532586	5016541		p	67			si	si
0980320003	VIA IV NOVEMBRE - VIA MADRE CABRINI	CONSORZIO ACQUA POT.	1532644	5016554		p	62			si	
0980320004	VIA MADRE CABRINI - SERBATOIO	CONSORZIO ACQUA POT.	1532590	5016520		p	64			si	
0980320005	VIALE EUROPA	CONSORZIO ACQUA POT.	1532765	5017340		p	102			si	
0980320001	CNA CANTORINO		1532330	5016852		p	23				
0980320002	CNA S. STEFANO		153170	5016590		p	18				
0980320013	CNA CORTE GRANDE		1532374	5016326		z	21				
0980320014	CNA CORTE GRANDE		1532376	5016800		dis	14			1-gen-94	
0980320015	CNA CORTE GRANDE		1532450	5016889		dis	10			1-gen-94	
0980320016	CNA SLUCIO		153191	5017050		p-z	20				
0980320017	CNA GALLINAZZA		152926	5017795		z	22				
0980320019	CNA GALLINAZZA					cem		1-gen-94			
0980320019	CNA GUALDANE		1531410	5015738		p-z	25				
0980320020	CNA GUALDANE		153137	5015845		dis	12			12-feb-98	
0980320022	CNA FORNACE		1531203	5016475		p-z	20				
0980320023	CNA CORTE BASSA		153096	5016142		dis	11			23-gen-92	
0980320024	CNA TAIETTA					cem		1-gen-79			
0980320025	CNA TAIETTA		1534058	5015305		dis	12			1-gen-94	
0980320027	CNA TAIETTA		1534081	5015373		z	22				
0980320028	CNA TAIETTA		1534070	5015323		dis	13			12-feb-98	
0980320029	CNA COMASINA					cem		1-gen-94			
0980320030	CNA LAYAGNA		1533967	5016448		p-z	22				
0980320031	CNA LAYAGNA		1534022	5016428		p-z	24				
0980320032	CNA MALGAROTTINA		153476	5016575		p-z	20				
0980320033	CNA MALGAROTTINA		1534764	5016514		p	22				
0980320034	CNA DOSSENA		1535065	5016002		dis	13			12-feb-98	
0980320035	CNA DOSSENA		1535066	5016060		dis	12			1-gen-94	
0980320036	CNA CA' DE RACCHI 5		1534884	5016846		p-z	18				
0980320037	LOC.CA' DE RACCHI 4		1534739	5016865		p	23				
0980320038	LOC. CA' DE RACCHI 4					cem		27-mar-98			
0980320039	LOC.CA' DE RACCHI		1534752	5016854		p	18				
0980320040	CNA MALGAROTTA		1534726	5016485		p-z	20				
0980320041	CNA S. MARCO MINORE					cem		1-gen-83			
0980320042	CNA S. MARCO MAGGIORE		1533744	5016785		p	20				
0980320043	CNA GABETTO 6					cem		1-gen-94			
0980320044	CNA GABETTO					cem		1-gen-94			
0980320045	CNA GABETTO					cem		1-gen-82			
0980320046	CNA COMUNE		1533232	5017452		p	30				
0980320047	CNA VARIA		1532712	5017775		z	24				
0980320048	CNA VARIA		1532800	5017814		p	20				
0980320049	CNA VARIA					cem		1-gen-80			
0980320050	STRADA PER TAVAZZANO		1532216	5017380		i	40				
0980320051	STRADA PER TAVAZZANO		1532176	5017382		i	53				
0980320052	CNA COMUNE		1532356	5017495		z	30				
0980320053	S.P. 115 SALERANO-LODI LOC. MUZZA		1534770	5016735		dis	18			1-gen-94	
0980320054	VIALE EUROPA, 3		1532710	5017163		ir	27			si	
0980320055	CNA S. LORENZO		1533044	5015970		dis	14			1-gen-94	
0980320056	CNA GABETTO		1533297	5017354		z	27				
0980320058	CNA S. LUCIO		1531874	5017080		z	22				
0980320059	CNA S. STEFANO		1531270	5016823		p	28				
0980320060	CNA GABETTO					cem		1-gen-83			
0980320061	CNA GUALDANE		1531249	5015846		p-z	21				
0980320062	CNA GUALDANE		1531280	5015896		p	18				
0980320063	CNA COMASINA		1534070	5015666		dis	14			12-feb-98	
0980320064	CNA MALGAROTTINA										
0980320065	VIA VEROI					cem		1-gen-78			
0980320067	CNA GABETTO		1533275	5017298		dis	13			1-gen-94	
0980320068	CNA COMASINA 5		1534001	5015635		d	12				
0980320072	CNA S. ZANO NUOVO					cem		1-gen-81			
0980320074	CNA S. BASSIANO					cem		1-gen-80			
0980320077	VIA R. MORANDI 21		1532910	5016793		d	8				
0980320078	CNA SAN MARCO MINORE		1533691	5016890		p	20				
0980320079	VIA LODI/VECCIO 10 - TAVAZZANO		1531333	5018745		pz	20			si	si
0980320080	VIA QUINTINII 12		1532620	5016920		d	30			si	
0980320081	VIA VITTORIO FREGONI 3		1530749	5016435						si	
0980320081	LOC. PEZZOLO					pz	10			si	si
0980320082	LOC. PEZZOLO		1530781	5018352		pz	11			si	si
0980320083	LOC. PEZZOLO		1530781	5018354		pz	4			si	si
0980320084	LOC. PEZZOLO		1530947	5018465		pz	10			si	si
0980320085	LOC. PEZZOLO		1530823	5018405		pz	10			si	si
0980320086	LOC. PEZZOLO		1530650	5018236		pz	10			si	si
0980320087	LOC. PEZZOLO		1530775	5016370		pz	12			si	si
0980320088	S.P. 115		1532128	5017904	80.16	pz	6			si	si
0980320089	S.P. 115		1532178	5017352	80.20	pz	6			si	si
0980320090	S.P. 115		1532101	5017340	80.12	pz	6			si	si
0980320091	S.P. 115		1532148	5017234	80.00	pz	6			si	si
0980320092	S.P. 115		1532226	5017242	80.40	pz	7			si	si
0980320093	S.P. 115		1532124	5017396	80.11	pz	16			si	si
0980320094	S.P. 115		1532126	5017280	79.97	pz	16			si	si
0980320095	S.P. 115		1532154	5017291	79.33	pz	16			si	si
0980320096	S.P. 115		1532203	5017296	79.38	pz	16			si	si
0980320097	S.P. 115		1532147	5017232	80.10	pz	16			si	si
0980320098	S.P. 115		1532192	5017236	79.96	pz	16			si	si
0980320099	S.P. 115		1532224	5017240	80.10	pz	16			si	si
0980320100	S.P. 115		1532265	5017244	79.99	pz	16			si	si
0980320101	LOC. PEZZOLO		1530784	5018331		pz	10			si	si
0980320102	LOC. PEZZOLO		1530774	5018483		pz	10			si	si
0980320103	LOC. PEZZOLO		1530747	5018403		pz	10			si	si
0980320104	LOC. PEZZOLO		1530767	5018371		pz	10			si	si
0980320105	S.P. 115		1532227	5017361	80.10	pz	17			si	
0980320106	LOC. PEZZOLO		1530878	5018371		pz	15			si	
0980320107	LOC. PEZZOLO		1530735	5018428		pz	15			si	
0980320108	LOC. PEZZOLO		1530708	5018278		pz	15			si	
0980320109	LOC. PEZZOLO					pz	15			si	
0980320110	LOC. PEZZOLO		1530746	5018493		pz	15			si	
0980320111	LOC. PEZZOLO		1530697	5018337		pz	15			si	
0980320112	LOC. PEZZOLO		1530788	5018450		pz	12			si	
0980320113	LOC. PEZZOLO		1530784	5018433		pz	12			si	
0980320114	LOC. PEZZOLO		1530784	5018418		pz	12			si	
0980320115	S.P. 115		1532223	5017181	80.02		16			si	

Quattro pozzi sono attualmente al servizio dell'acquedotto; i tre più vecchi sono collocati nel centro dell'abitato e presentano profondità di circa 65 metri con filtri tra 31 e 61 metri, mentre quello più recente (1991) e quello in progetto (richiesta di marzo 2012) hanno profondità quasi doppia e filtri oltre i 58 metri di profondità.

I pozzi complessivamente in uso nel territorio comunale risultano essere in totale 36, principalmente per uso potabile e zootecnico (n. 27), due per uso industriale, due per uso domestico e uno irriguo (annaffio del campo sportivo).

Per quanto concerne le profondità, secondo le autodenunce, quindi da fonti spesso non attendibili, i pozzi per uso potabile e zootecnico hanno una **profondità media di 22 metri** (con d.s. di 3 metri), mentre quelli per uso industriale, ragionevolmente maggiormente sottoposti a controlli, presentano profondità media di 47 metri.

Sono infine presenti n. **35 piezometri**, realizzati nell'area denominata Pezzolo, circa 500 m ad ovest della C.na Santo Stefano e nell'area industriale a ovest della SP 140, che presentano profondità comprese tra 4 e 20 metri con media di 12 metri.

Nella tavola 2 è descritto l'andamento delle isofreatiche della prima falda ottenuta dalle misure eseguite in data 05 marzo 2012 presso 5 micropiezometri collocati in altrettanti fori delle prove penetrometriche statiche CPT effettuate negli ambiti di trasformazione individuati dal PGT, nonché di una misura compiuta presso il pozzo posto al servizio degli orti in via Piave.

Per completare la tavola nelle aree esterne all'abitato principale, si sono impiegati alcuni dati esposti nello studio di impatto ambientale per l'ampliamento alla quarta corsia dell'autostrada A1 [SPEA autostrade & Autostrade per l'Italia, maggio 2011]. Nel documento MAM-QAMB-SOT-001_007 "assetto idrogeologico" sono infatti riferite alcune quote assolute della falda rilevate il 26 gennaio 2011 nei piezometri realizzati lungo l'autostrada (punti ML 12, 13 e 14), che assieme ad altri dati non contemporanei ha consentito agli autori del documento di configurare l'andamento delle isopiezometriche in parte del territorio comunale. Tale ricostruzione è stata impiegata assumendo come misure le isopiezometriche in prossimità della C.na Mascarina e della Cappella votiva presso il confine con Borgo San Giovanni.

Un ultimo dato impiegato riguarda la misura in data 02.12.2009 presso l'impianto di Biogas posto 700 m a nord della C.na San Marco.

L'insieme dei dati, pur non coevi, descrive la falda in condizioni invernali, normalmente di maggiore soggiacenza.

Il flusso definito dalle misure è da NNE verso SSW, perpendicolarmente al margine del terrazzo tardo pleistocenico, con gradiente di circa l'1‰ nei settori nord e SE, fino a un massimo di circa il 3 ‰ a nord della C.na Gualdana, drenante verso il fiume Lambro.

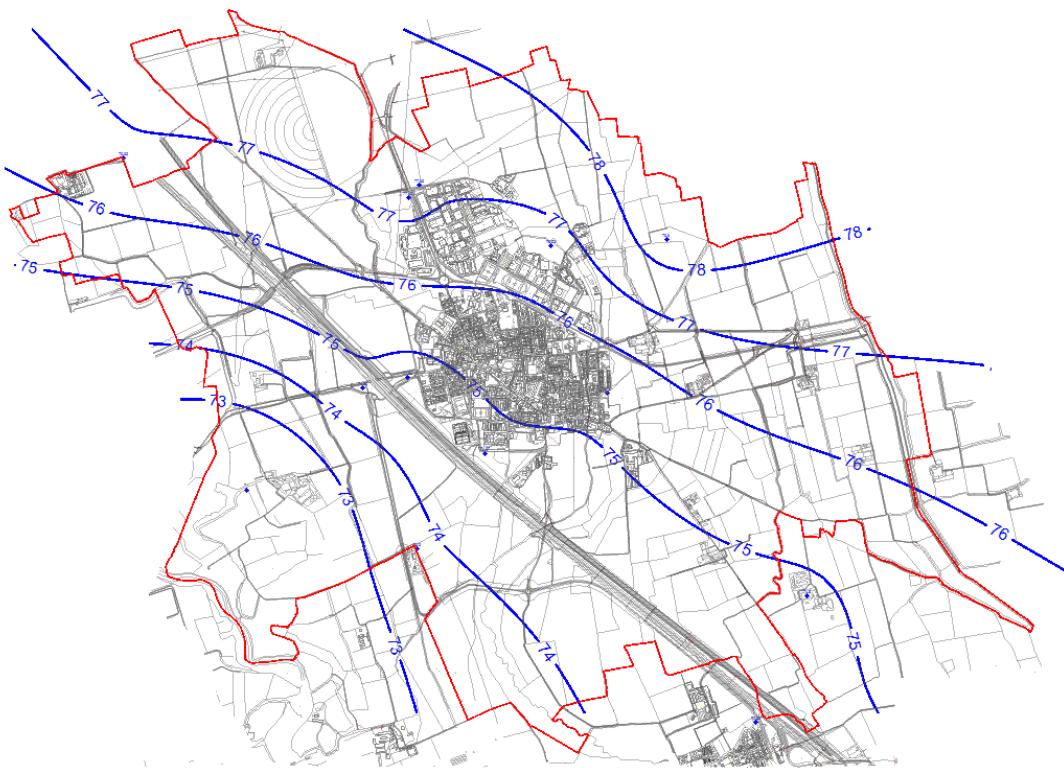


Figura 8: isopiezometriche in m s.l. m individuate con i rilievi a marzo 2012 e altri dati nei mesi invernali.

La profondità della falda freatica, descritta dettagliatamente nella tavola 2, è compresa tra 2 e 4 metri ad est e nord est dell'abitato, incrementando in direzione del margine della scarpata fino a valori massimi di 8 metri circa 600 m ad ovest dell'autostrada.

La falda successivamente affiora lungo alcune scarpate artificiali 200 m ad ovest della C.na Gualdana per poi raccordarsi con il fiume Lambro che scorre a quote di 57-58 m s.l.m..

Elaborando con il software Surfer vers. 9.11 i dati per ottenere una griglia di 6200 nodi mediante interpolazione con metodo kriging e sottraendo da questa il risultato ottenuto con i punti quotati del terreno presenti sul DB topografico provinciale, si è ottenuto una carta della soggiacenza di tutto il territorio comunale, che costituisce uno strumento di immediato utilizzo per la pianificazione.

L'escursione del livello freatico determina l'innalzamento del quale si dovrà tenere conto per valutare la soggiacenza minima, ed è suggerita dai rilievi eseguiti circa mensilmente dal Consorzio Acqua Potabile presso il pozzo n°2.

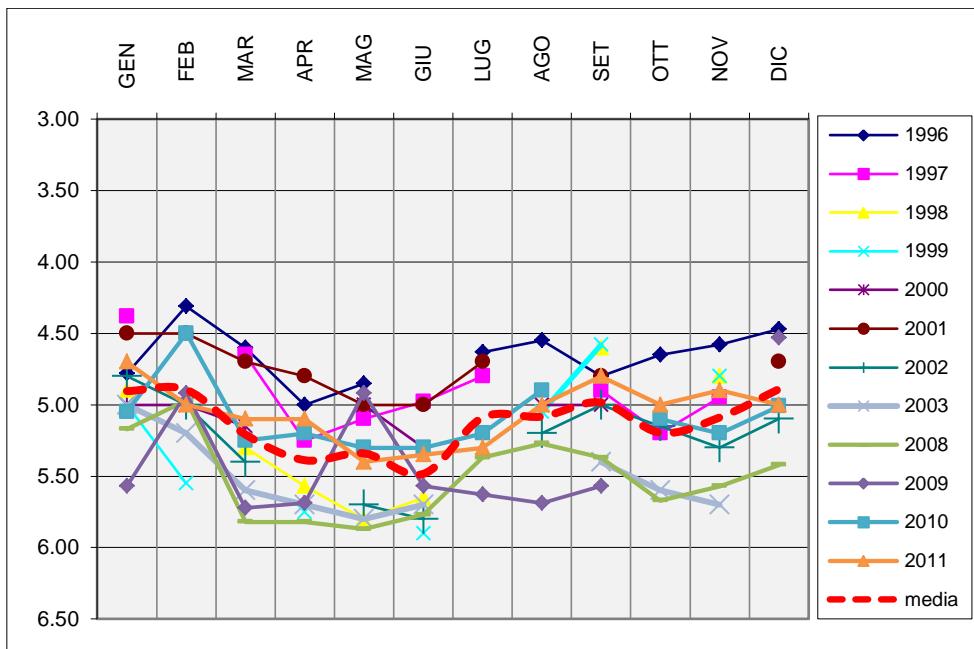


Figura 9: soggiacenza della falda nel pozzo CAP 002 di Lodi Vecchio.

I rilievi mostrano che nei 12 anni di osservazione l'oscillazione stagionale media annua (linea rossa più spessa) è stata di 0,72 m, mentre l'intervallo totale di escursione nel periodo considerato (minimo assoluto – massimo assoluto) è stata di 2,7 m.

5.2 CARATTERISTICHE DELL'ACQUIFERO RIFERITO NEL PTUA

Il recente piano di Tutela e Uso delle acque della Regione Lombardia (PTUA, marzo 2006) di cui alla L. R. 12 Dicembre 2003 n 26, delinea alcuni aspetti tecnici generali, quantitativi e qualitativi, sulle caratteristiche dei bacini idrografici di superficie e sulle acque sotterranee, e definisce numerose prescrizioni immediatamente vincolanti (art. 51 NTA) che in parte riguardano il territorio di Lodi Vecchio.

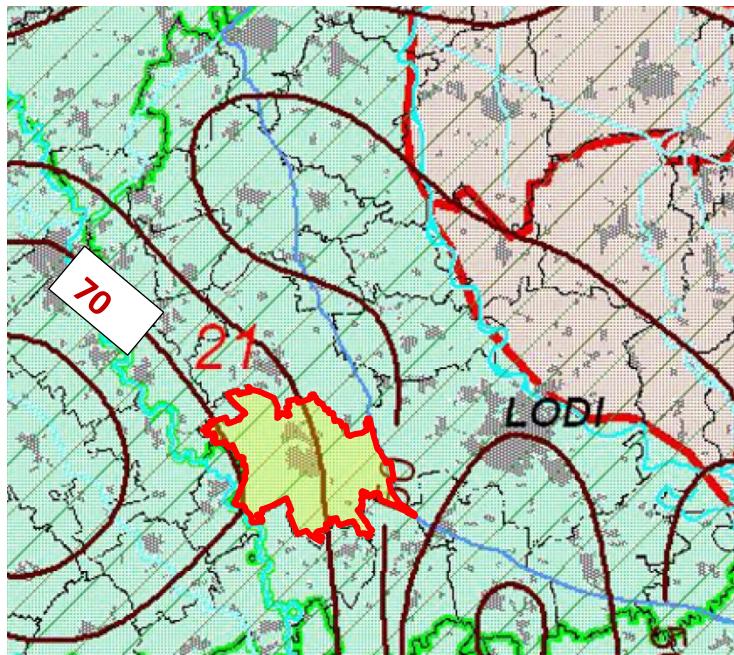
L'analisi riferita nello studio interpreta gli acquiferi della pianura lombarda come un monostrato compartmentato, comprendente una falda freatica chiamata "*Superficiale*" (primo acquifero) ed un acquifero semiconfinato sottostante (secondo acquifero). L'insieme di questi due acquiferi forma l'acquifero detto "*Tradizionale*" così definito in quanto storicamente sfruttato dalla maggior parte dei pozzi presenti nella pianura.

La suddivisione tra i due acquiferi non è continua: nella parte settentrionale della pianura la superficie di contatto fra i due acquiferi è molto ampia, in quanto i livelli argilloso-limosi che separano gli stessi non hanno grande continuità areale, tanto da poter considerare il sistema come un unico complesso acquifero.

A sud di Milano i livelli argilosi impermeabili s'ispessiscono ed estendono tanto che nella **media e bassa pianura** è possibile individuare con continuità falde in pressione (oltre i 70 m di profondità) sottostanti la falda freatica. Localmente e soprattutto in coincidenza dei maggiori corsi d'acqua, la separazione diviene meno netta o scompare dando luogo al mescolamento delle acque dei due acquiferi.

Nella parte dove compaiono i due acquiferi, si ha mediamente la seguente suddivisione:

- acquifero superficiale (freatico) = presente fino ad una profondità di 40-45 metri dal piano campagna;
- setto di separazione (aquitard) = con uno spessore di circa 5-20 metri;
- acquifero semiconfinato = con una profondità variabile tra 80 e 120 metri dal piano campagna.



L'andamento della base del primo acquifero consente di identificare le aree di massima trasmissività, corrispondenti generalmente con quelle prossime agli attuali corsi d'acqua.

Figura 10: isobate della base dell'acquifero superficiale in m. s.l.m.

Nel caso dell'area di Lodi Vecchio si osserva invece che le quote più elevate della base dell'acquifero coincidono con l'alveo del Lambro Settentrionale, mentre quelle più depresse con la zona di spartiacque fra due bacini idrografici (Lambro e Adda).

L'andamento del substrato delineato in Figura 10 individua una profondità dalla superficie topografica variabile da 13 m ad ovest a 33 m ad est, con spessori nulli nella piana olocenica del Lambro Settentrionale, e valori superiori a 20 metri nell'area tardo pleistocenica.

Tale superficie indica ai sensi dell'articolo 12 e dell'articolo 18 delle NTA la **profondità oltre la quale il prelievo di acqua mediante pozzi deve essere effettuato esclusivamente dietro verifica della indisponibilità delle fonti alternative, e che ai sensi dell'art. 96 del D. l.g.s 152/2006 e dell'art. 14 del Regolamento regionale n. 2 del 24 marzo 2006 comporta un onere di concessione triplicato.**

Gli autori per valutare le condizioni di bilancio idrogeologico degli acquiferi del bacino Ticino – Lambro Settentrionale hanno suddiviso la superficie in numerosi settori, tra i quali **il n. 21 "Lodi" comprendente il territorio di Lodi Vecchio.**

Le classi definite dal D.Lgs. 152/1999 implicano la determinazione dell'equilibrio idrogeologico, inteso come sfruttamento della risorsa non solo in termini di prelievi/ricariche, ma anche di tendenza piezometrica. Secondo tale classificazione, la sostenibilità idrica è strettamente correlata all'impatto antropico: a un impatto antropico nullo corrisponde sostenibilità su lungo periodo così come un impatto antropico significativo ha una notevole incidenza sulla disponibilità della risorsa idrica. Tale corrispondenza non è sempre verificata:

non è detto che a situazioni di squilibrio tra prelievi e ricariche (per esempio per eccesso di prelievi rispetto alle ricariche) corrisponda la non sostenibilità della risorsa idrica (diminuzione del livello di falda rispetto a quello di riferimento).

Allo scopo di verificare la sostenibilità della risorsa idrica e di pianificare gli interventi, sono stati considerati i risultati ottenuti dalla classificazione del livello piezometrico attuale rispetto a quello di riferimento e i parametri indicativi della tendenza piezometrica.

Come riferimento è stato considerato il livello del 1982, anno per il quale si dispone di una carta piezometrica a scala regionale, con isolinee ogni 10 metri.

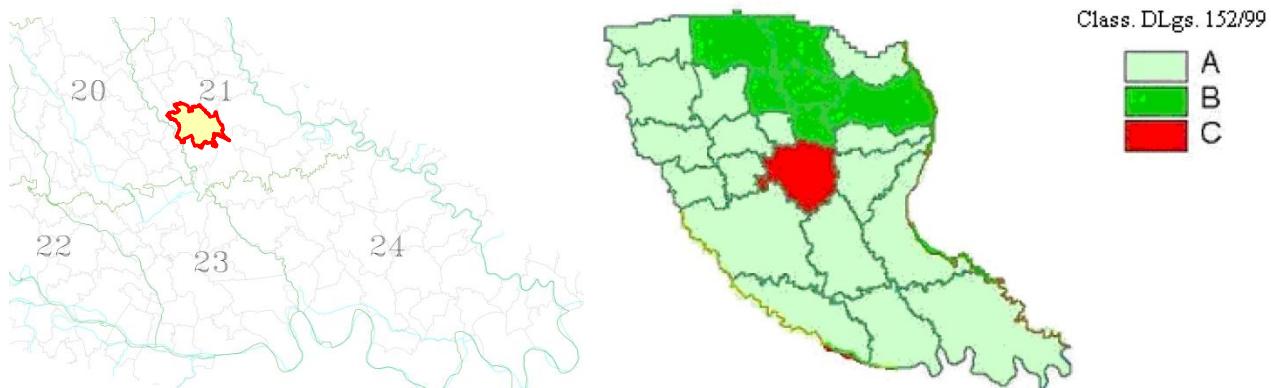


Tabella 2.5 – Classificazione dello stato quantitativo dei corpi idrici sotterranei ai sensi del D.Lgs. 152/1999: definizione e colori corrispondenti.

Classificazione ai sensi del D.Lgs. 152/1999	Definizione
Classe A ₁₅₂	L'impatto antropico è nullo o trascurabile con condizioni di equilibrio idrogeologico. Le estrazioni di acqua o Alterazioni della velocità naturale di rivenamento sono sostenibili sul lungo periodo.
Classe B ₁₅₂	L'impatto antropico è ridotto, vi sono moderate condizioni di disequilibrio del bilancio idrico, senza che tuttavia ciò produca una condizione di sovrasfruttamento, consentendo un uso della risorsa sostenibile sul lungo periodo.
Classe C ₁₅₂	Impatto antropico significativo con notevole incidenza dell'uso sulla disponibilità della risorsa evidenziata da rilevanti modificazioni agli indicatori generali sopraesposti. (I)
Classe D ₁₅₂	Impatto antropico nullo o trascurabile, ma con presenza di complessi idrogeologici con intrinseche caratteristiche di scarsa potenzialità idrica.

(I) Nella valutazione quantitativa bisogna tener conto anche degli eventuali surplus incompatibili con la presenza di importanti strutture sotterranee preesistenti

Figura 11: Ubicazione e classe del settore 21

La descrizione e i **principali risultati della modellazione matematica** del flusso idrico sotterraneo e del bilancio sono commentati dagli autori come segue:

Il settore n. 21 presenta una struttura idrogeologica caratterizzata da due acquiferi, l'acquifero tradizionale e quello superficiale, separati da un acquitardo compreso tra le quote di 90 e 30 m s.l.m. La trasmissività media oscilla tra $2 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ e $6 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ (nella zona dell' Adda).

Il settore si colloca nella **classe quantitativa A** con un rapporto prelievi/ricarica immutato rispetto a quello calcolato nel 1996 (rapporto prelievi/ricarica circa pari a 0,62).

In questo settore il drenaggio dei Fiumi Olona, Lambro e Lambro meridionale rappresenta il 50% delle uscite del bilancio di massa, mentre i prelievi rappresentano il 30% controbilanciati in modo adeguato dalla ricarica, pari a 45% delle entrate totali. L'afflusso da nord è il 37% delle entrate totali mentre il deflusso verso valle risulta pari al 18% circa

Se si osserva la carta delle differenze piezometriche si nota che la combinazione di questi fattori ha portato a un generale innalzamento della falda, del quale è necessario tener conto nella valutazione dello stato quantitativo della risorsa, che dimostra complessivamente di aver raggiunto un buon equilibrio.

Elementi del bilancio idrico:

Prelevi medio areale	3,22 1/s·km ²
Entrate:	
Afflusso della falda da monte Settore n. 18	2,36 (m ³ /s)
Infiltrazione (piogge efficaci + irrigazioni)	2,43 (m ³ /s)
TOTALE	4,79 (m³/s)
Uscite:	
Drenaggio verso settore 24	0,30 (m ³ /s)
Prelevi da pozzo	0,87 (m ³ /s)
Drenaggio verso F.Adda	2,74 (m ³ /s)
Drenaggio verso F.Lambro	0,88 (m ³ /s)
Fontanili	0,00 (m ³ /s)
TOTALE	4,79 (m³/s)

Classe Quantitativa:

(Prelevi/Ricarica = 0,36)

A

Situazione attuale di compatibilità tra disponibilità ed uso della risorsa. Uso sostenibile delle acque sotterranee senza prevedibili e sostanziali conseguenze negative nel breve-medio periodo.

Classificazione livello di falda

3

Classificazione stato quantitativo secondo D.Lgs. 152

A

Lo stato qualitativo delle acque sotterranee è riferito in estrema sintesi da quanto indicato nella Figura 12, dove l'area comprendente Lodi Vecchio appare collocata nella classe 0 a causa della presenza di sostanze indesiderate di origine naturale presenti nell'acquifero.

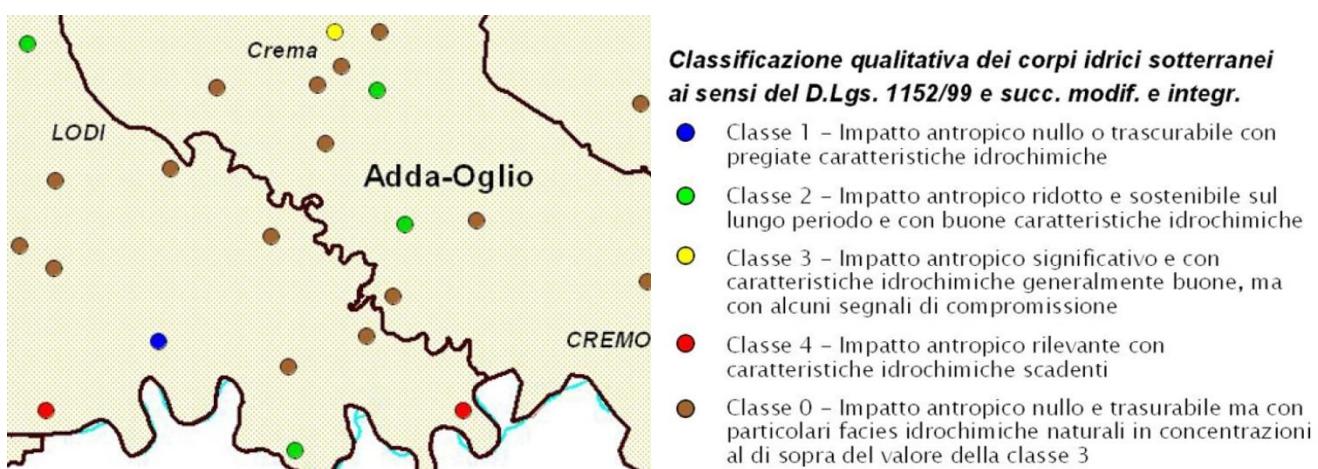


Figura 12: valutazione qualitativa ai sensi della normativa della qualità delle acque sotterranee.

6 Vulnerabilità della falda freatica all'inquinamento

6.1 PREMESSA

La **vulnerabilità** all'inquinamento di un acquifero, o meglio, dell'acqua di falda contenuta e fluente entro un acquifero è data dalla *"suscettibilità specifica dei sistemi acquiferi, nelle loro diverse parti componenti e nelle diverse situazioni geometriche ed idrodinamiche, ad ingerire e diffondere, anche mitigandone gli effetti, un inquinante fluido o idrogeologico tale da produrre impatto sulla qualità dell'acqua sotterranea, nello spazio e nel tempo (CIVITA 1994⁶)*. Tale definizione esprime la **vulnerabilità intrinseca** del sistema idrogeologico, cioè quella dipendente dalle sole caratteristiche naturali: climatologia, pedologia, geologia, idrogeologia.

La sovrapposizione della vulnerabilità intrinseca con la distribuzione delle infrastrutture, attività o usi del suolo che hanno rapporto con l'utilizzo dell'acqua sotterranea (centri di pericolo, punti di prelievo, preventori e riduttori di inquinamento) e con la mappatura delle aree di falda contaminate, permette di definire la **vulnerabilità integrata** di un'area, che costituisce uno strumento tecnico di supporto alla pianificazione territoriale ed alla gestione delle emergenze idrogeologiche, che si è cercato di definire in prima approssimazione con l'analisi che segue.

6.2 GENERALITÀ SUL METODO SINTACS

Fra i numerosi metodi parametrici esistenti per la determinazione della vulnerabilità intrinseca, in Italia⁷ si adotta spesso il sistema parametrico a punteggi e pesi S.I.N.T.A.C.S.⁸ perché è ampiamente conosciuto a livello internazionale e si adatta alle realtà idrogeologiche, climatiche e di impatto che si riscontrano sul territorio italiano.

Il metodo consiste essenzialmente nella valutazione quantitativa, trasformata in un punteggio crescente da 1 a 10 in funzione dell'influenza sulla vulnerabilità, di 7 parametri d'ingresso, e in una serie di pesi moltiplicatori, diversi per ogni fattore considerato, che consentono di amplificare l'importanza da dare ai parametri nei vari ambienti. La sommatoria dei prodotti dei punteggi per i pesi determina l'indice di vulnerabilità, variabile da assai elevato (Ee) fino a bassissimo (BB).

I sette fattori considerati da **SINTACS** sono:

- S**oggiacenza della falda (sia freatica che confinata)
- I**nfiltrazione efficace
- N**on saturo (effetto di autodepurazione del -)
- T**ipologia della copertura (presenza di suolo)
- A**cquifero (caratteristiche idrogeologiche del -)
- C**onducibilità idraulica dell'acquifero
- Superficie topografica (acclività della -)**

⁶ CIVITA M. (1994) - Le carte della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento: teoria e pratica. Pitagora Ed. Bologna.

⁷ D.L. 152/99, allegato 7, parte A: Zone vulnerabili da nitrati :

⁸ Realizzato in Italia nell'ambito del CNR-GNDCI (Consiglio Nazionale delle Ricerche - Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche, CIVITA, 1994).

Si osserva che nel metodo vi è ridondanza tra i parametri considerati, (es. fattori S ed N; I, N e T ; A, C) che sono tra loro fortemente interdipendenti. Tale aspetto è esplicitamente ammesso nel metodo DRASTIC⁹, da cui il SINTACS discende, ed è giustificato dalla natura stessa del metodo, che ha lo **scopo di costituire uno strumento di facile utilizzo**, nel quale i parametri introdotti non derivano da specifiche e rigorose indagini (costose), ma da quanto è facilmente disponibile (almeno negli Stati Uniti) e che consente una *“comprensione soggettiva del mondo reale in una specifica area”*.

In pratica si **suddivide il territorio con un immaginario reticolo** e per ogni cella si valuta il valore di ogni singolo parametro trasformandolo in punteggio mediante grafici forniti dal metodo¹⁰. Successivamente si moltiplica il punteggio per coefficienti (pesi - Wn) il cui valore varia in relazione all'ambiente in cui si opera (rocce fessurate, carsismo, pianura irrigua, aree esondabili, pianure a scarso impatto antropico).

L'elaborato **SINTACS prodotto dalla provincia di Lodi è stato impiegato nella tavola 5** di sintesi per rappresentare le condizioni di vulnerabilità della prima falda, aggiungendo i principali centri di pericolo per rappresentare una prima bozza della carta della vulnerabilità intrinseca che potrà essere completata con un più articolato esame delle condizioni complessive, in particolare con la posizione e tipologia degli scarichi sul suolo, degli scolmatori fognari e di altri centri di pericolo qui non rilevati.

⁹ DRASTIC - United States Environmental Protection Agency, ALLER et al., 1987:- costituisce il metodo principale sul quale è stato sviluppato SINTACS

¹⁰ Le operazioni di valutazione e calcolo sono state eseguite utilizzando le correlazioni ed il software disponibile nella seguente pubblicazione: *Valutazione e cartografia automatica della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento con il sistema parametrico SINTACS R5* : Quaderni di tecniche di protezione ambientale n° 72 . Massimo Civita & Marina De Maio (2000) – Pitagora Editrice Bologna.

7 Aspetti geotecnici

7.1 DATI DISPONIBILI E DESCRIZIONE GENERALE

L'esame delle caratteristiche geotecniche è fondato sui dati di n. 14 prove penetrometriche statiche standard CPT con punta meccanica Begemann .

La denominazione, l'ubicazione e la quota di piano campagna delle prove sono riassunte nella sottostante tabella:

denominazione area	CPT n.	X	Y	quota slm
AT8	1/5	533041	5017358	79.0
AT5	2/5	532185	5017753	80.7
AT7	3/5	532114	5017676	81.0
AT1	4/5	532612	5016009	79.0
AT3	5/5	533407	5016402	79.0
pozzo orti	1	532112	5016501	80.4
SP 115 (a)	2	532170	5016980	80.4
SP 115 (b)	3	532180	5016990	80.4
SP 115 (c)	4	532190	5017000	80.4
v. Togliatti	5	532798	5016858	79.8
cimitero	6	532417	5016150	79.6
v. Pandolfi	7	532244	5016305	80.0
Biogas S.M.	8	533795	5017400	80.8
C.na. Gallinazza	9	529972	5017881	83.0

Tabella 1 : denominazione, ubicazione quota delle prove penetrometriche disponibili.

Le n. 5 prove indicate come n/5 sono state eseguite espressamente per il PGT a gennaio 2012 negli ambiti di trasformazione individuati dal piano (AT), mentre altre 9 prove sono state eseguite in altri momenti per singoli interventi sia pubblici che privati.

In particolare le prove CPT n. 2,3,4 sono state gentilmente fornite dalla ditta GTA srl di Pavia e rappresentano una parte delle prove eseguite nell'ambito di un piano di lottizzazione a NW dell'abitato, la cui precisa ubicazione non è stata fornita (le coordinate riportate sono indicative). La prova CPT 5, sempre fornita da GTA srl, è relativa ad un intervento edilizio in via Togliatti, mentre le prove 8 e 9 sono state gentilmente fornite dal Dottor Massimo Mannini e si riferiscono a interventi presso due aziende agricole.

Le prove 6 e 7 sono state eseguite nell'ambito di lavori effettuati dallo scrivente per il Comune di Lodivecchio.

La distanza tra le singole verticali è compresa tra poche decine di metri ad alcune centinaia di metri (ad esclusione della n.09 che dista oltre 2 Km), e mediamente intorno a 500 metri. Tale misura è troppo grande perché i depositi interposti possano essere ritenuti uniformi, soprattutto nella porzione superficiale dove si registrano le più marcate variazioni, sia tessiturali che di resistenza meccanica. In profondità i caratteri appaiono più regolari, ma raramente è possibile individuare correlazioni attendibili.

Ritenendo quindi non possibile individuare "zone" omogenee sotto il profilo stratigrafico e geotecnico ci si limita a riportare i dati e i principali elaborati di ciascuna verticale.

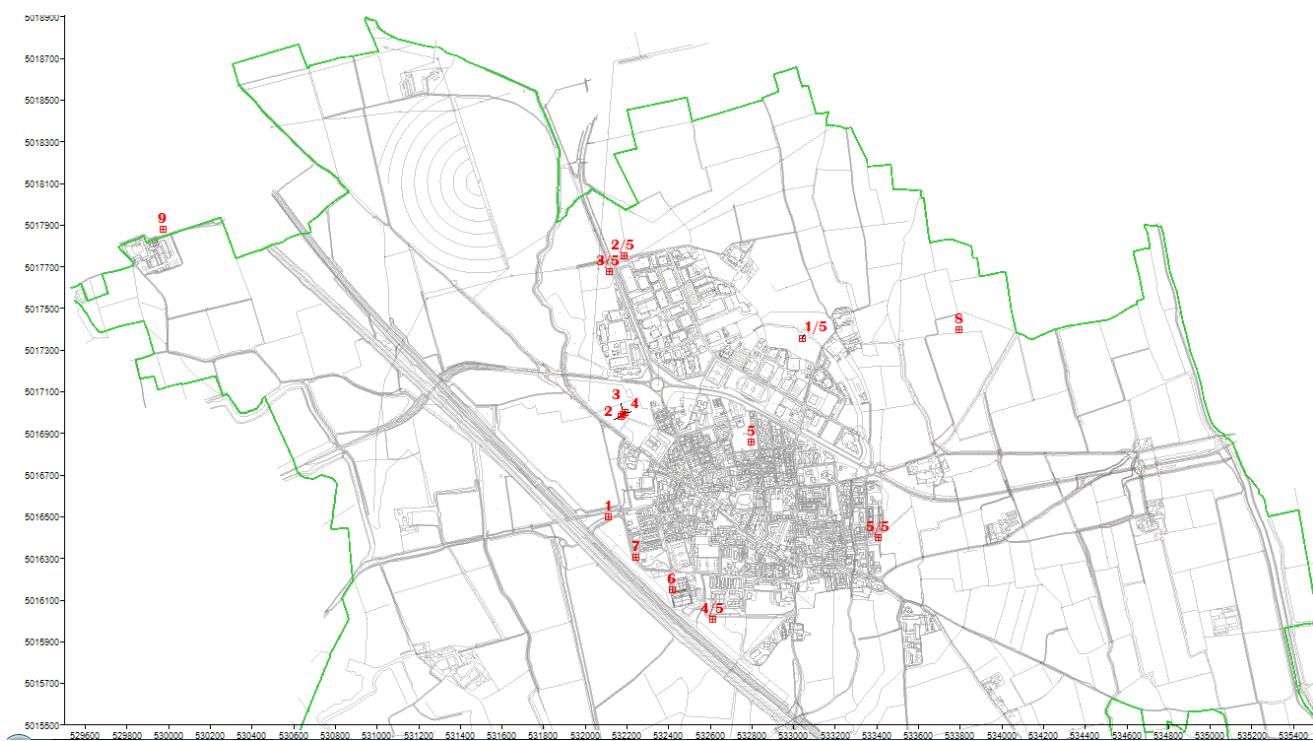


Figura 13: ubicazione prove penetrometriche- La numerazione è riferita nella Tabella 1.

Per favorire la comprensione dei valori rilevati (semplici e normalizzati) e dei parametri geotecnici derivati, determinati questi ultimi con relazioni fondamentalmente empiriche, riferite nell'ultima parte del § 2, si fornisce una legenda e brevi commenti sulle caratteristiche dei singoli parametri:

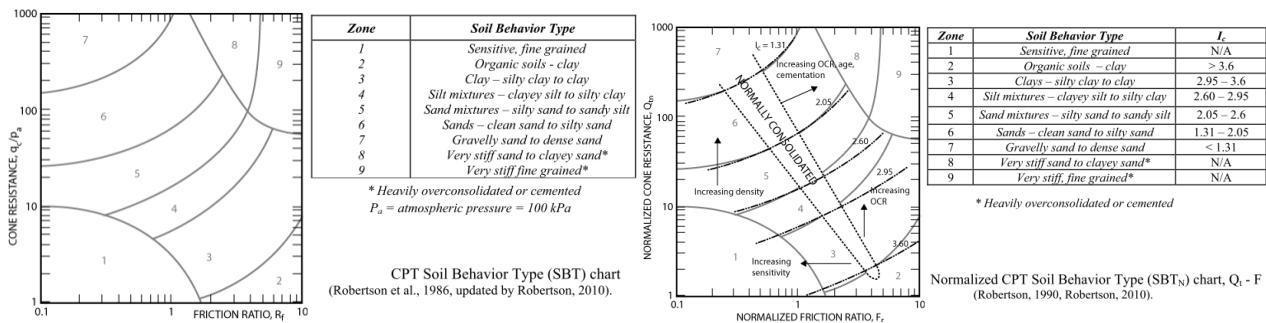
Tip resistance = q_c (MPa) = resistenza alla punta del cono = Q_c / A_c (resistenza misurata / area del cono proiettata [10 cm^2]).

q_t (MPa) = resistenza del cono corretta = $q_c + u_2 (1-a)$ dove "a" è un valore determinato in laboratorio sulla specifica punta impiegata (di norma da 0,7 a 0,85) ed u_2 la misura della pressione neutra ottenuta dalle prove CPTu. Poiché in terreni granulari non si sviluppano sovrappressioni durante l'inserimento del cono, in questi casi si può porre $q_t = q_c$. Le presenti prove sono state fatte con la punta meccanica Begemann, che non contiene strumenti per la misura della pressione neutra " u " e necessariamente nell'elaborazione si è posto $q_t = q_c$.

Friction ratio, R_f % = il rapporto espresso in termini percentuali tra la resistenza del manicotto di frizione f_s e la resistenza corretta del cono q_t . $R_f = (f_s / q_t) \times 100\%$.

Pore pressure u (kPa) = pressione dei pori (o pressione interstiziale) misurata durante l'infissione. Quando l'elemento poroso che permette la misura è posto dietro il cono la lettura è indicata come u_2 , mentre quando è collocata sulla punta è indicata come u_1 . Nel nostro caso non essendo possibile la misura della pressione neutra, questa è stata posta pari alla pressione idrostatica.

SBT - SBTn = *Soil Behavior Type* e *Soil Behavior Type Normalized*. Il tipo di terreno riconoscibile dai valori di prova è determinato mediante confronto dei valori di misura semplici o normalizzati, in funzione dello stato di sforzo totale verticale dei terreni alla quota della misura (σ_{vo}), con grafici predisposti che individuano vari ambiti di appartenenza dei valori letti, ovvero il tipo di comportamento prevalente del terreno (v. figure sottostanti).



Il valore I_c (detto Indice del SBT) deriva da tali grafici e rappresenta il raggio dei cerchi essenzialmente concentrici che formano i limiti degli ambiti omogenei dei terreni sul grafico. Operando con valori normalizzati : $I_c = ((3.47 - \log Q_{tn})^2 + (\log F + 1.22)^2)^{0.5}$ dove:

$$Q_{tn} = \text{resistenza penetrometrica normalizzata (adimensionale)} = \frac{(q_t - \sigma'_{vo})}{P_{a2}} * \left(\frac{P_a}{\sigma'_{vo}} \right)^n,$$

e n (esponente della tensione) = $0.381 (I_c) + 0.05 (\sigma'_{vo} / P_a) - 0.15$ con $n \leq 1$, P_{a2} e P_a pressioni di riferimento nelle medesime unità di σ_{vo} e σ'_{vo} che a loro volta rappresentano la tensione geostatica totale ed efficace. Il valore di I_c è ottenuto mediante procedura iterativa finché la variazione di n è minore di 0,01. L'esponente n varia tipicamente tra 0,5 in sabbie pulite a 1,0 in terreni argillosi.

$$F = \text{rapporto di frizione normalizzato, in \%} = (f_s / (q_c - \sigma_{vo})) \times 100.$$

Se l'esponente $n = 1$, il rapporto di frizione normalizzato è $Fr \% = (f_s / (q_t - \sigma_{vo})) \times 100$ e $Q_{tn} = Q_t = \frac{(q_t - \sigma_{vo})}{\sigma'_{vo}}$. Nei grafici prodotti dal software in uso tale parametro è indicato come Q_{t1} dove l'indice 1 è utilizzato per precisare che l'esponente impiegato è pari a 1.

$B_q = \text{rapporto normalizzato della pressione interstiziale} = \Delta_u / q_n$, dove Δ_u (sovrapressione interstiziale) = $u_2 - u_0$, con u_2 misura della pressione interstiziale letta durante l'inserimento del cono CPTU , u_0 misura della pressione idrostatica e $q_n = q_t - \sigma_{vo}$ è la resistenza netta del cono. La misura è utilizzata particolarmente nelle prove a mare, dove la perfetta saturazione del cono è quasi sempre garantita, per migliorare mediante grafici analoghi a quelli sopra riferiti l'individuazione del parametro SBTn. Inoltre B_q è correlato inversamente al coefficiente N_k , utilizzato per determinare il valore della resistenza al taglio in condizioni non drenate s_u [$s_u = (q_t - \sigma_{vo})/N_k$], e può fornire una stima dei parametri drenati c' e φ' in presenza di terreni fini normalmente consolidati o poco sovraconsolidati. Nel caso in esame il parametro B_q non può essere individuato, e in ogni modo non avrebbe utilità pratica in terreni sabbiosi.

La **permeabilità k** è una stima di larga massima da non impiegare in forma esclusiva per progettare drenaggi etc., ma che può essere utile per valutazioni a piccola scala.

$N_{SPT(60)}$ è una stima basata del valore corrispondente di numero di colpi della prova SPT in foro, che mostra discreta affidabilità in terreni sabbiosi.

Young's modulus è una stima del modulo elastico non confinato.

Relative density è la densità relativa, espressa solo dove i terreni sono grossolani (indicativamente con granuli più grossi di una sabbia fine, dove il comportamento in condizioni statiche è drenato).

Friction angle (φ') è l'angolo di resistenza al taglio ed è il principale parametro impiegato per valutare il carico limite /ammissibile in terreni sabbiosi. Il valore è ottenuto da una semplice relazione che lo pone in rapporto con q_c ed SBTn (Soil Behavior Type normalized) che è ampiamente utilizzata in letteratura, ma è molto meno cautelativa di quelle impiegate fino alla fine degli anni '90.

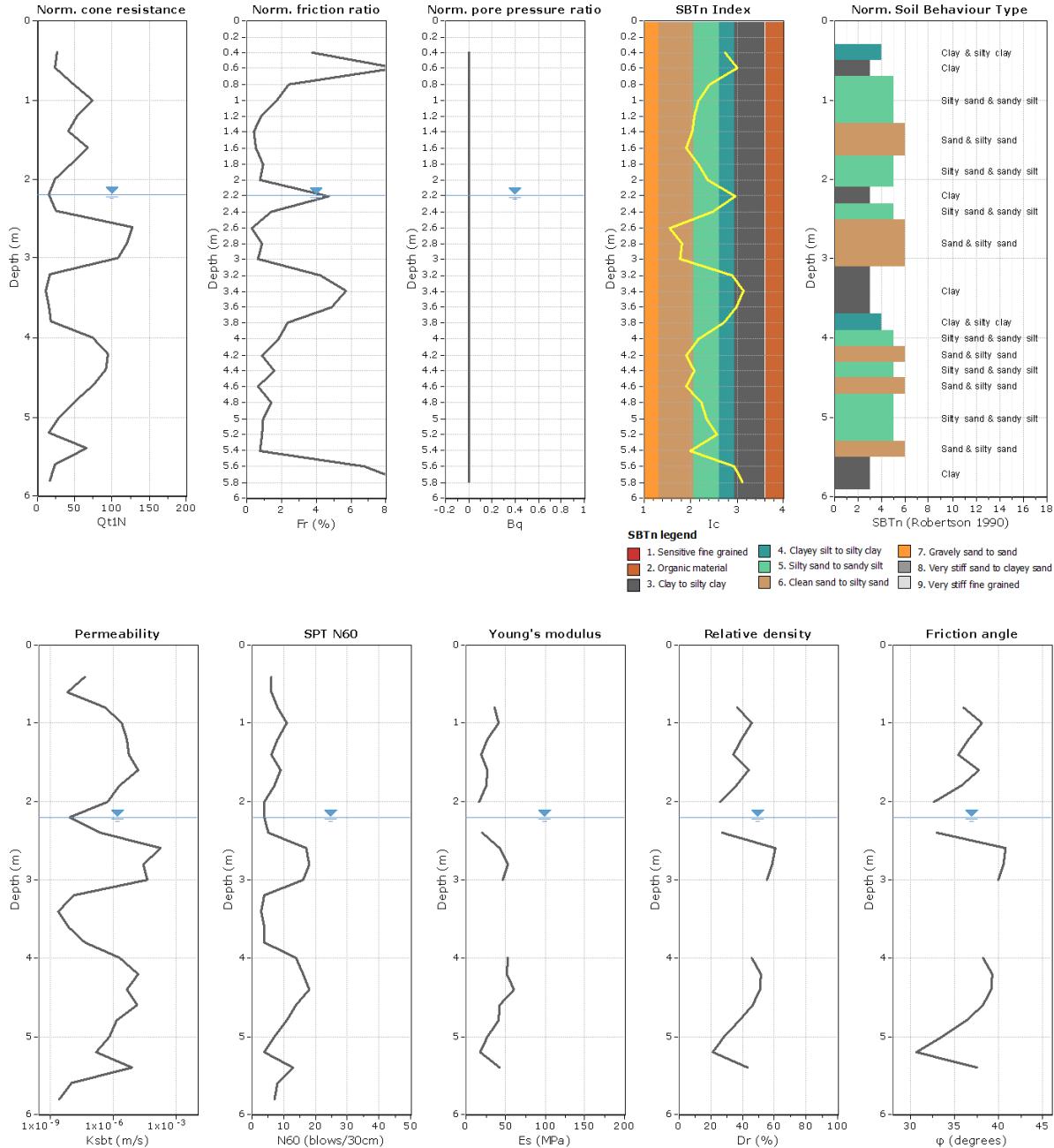
Constrained modulus (M) è il modulo elastico in condizioni confinate (detto anche modulo edometrico), è il principale parametro che governa i sedimenti in terreni sotto le fondazioni. Deriva da una relazione con q_c , SBTn e tensione litostatica alle varie profondità; la relazione è piuttosto recente e a parere dello scrivente non sufficientemente discussa in letteratura. Suggerisco quindi per il momento incrementare del 50 % il valore dei sedimenti che sono determinati con tale procedura, per un principio generale di prudenza.

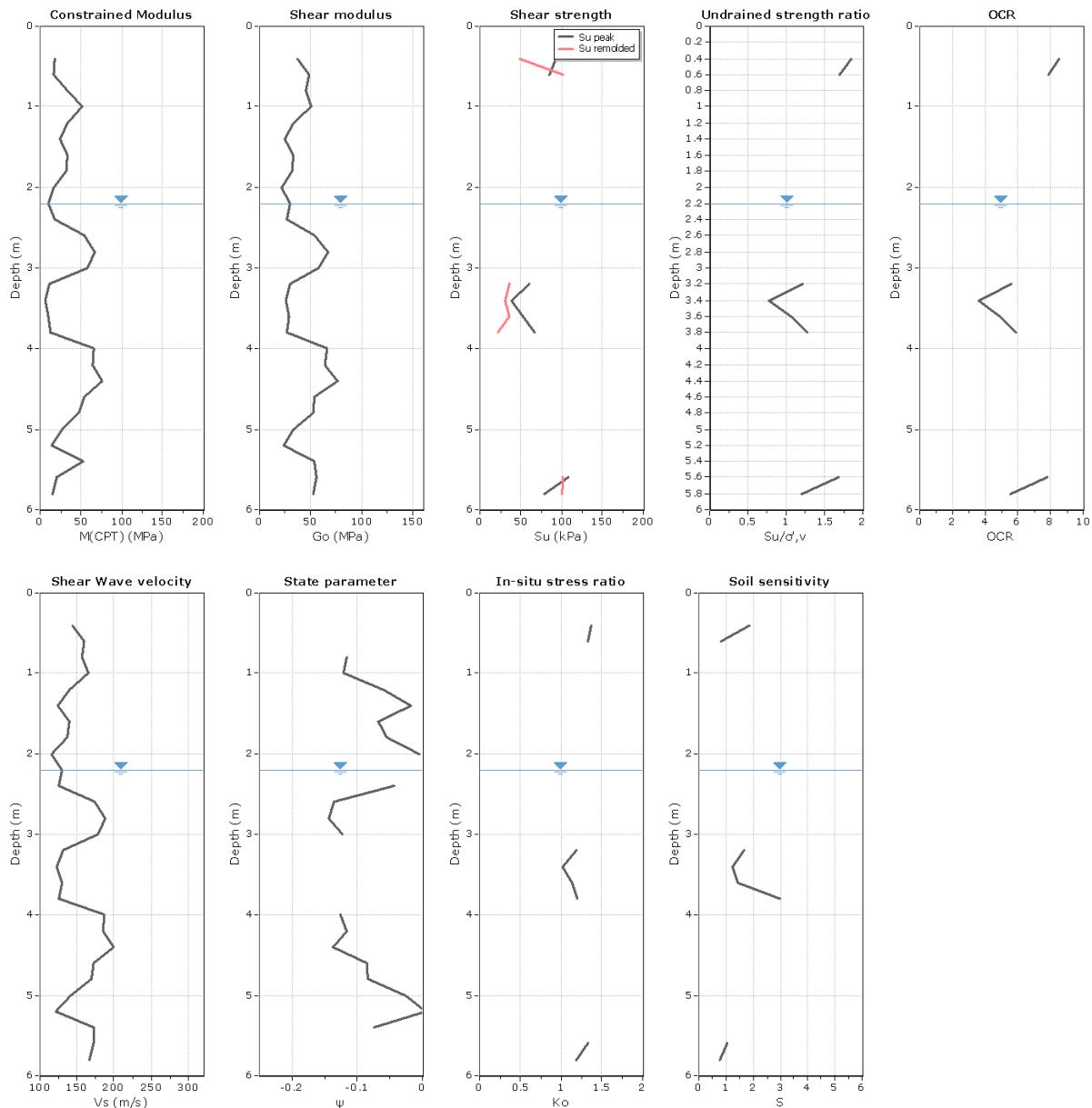
Shear modulus è il modulo di taglio, correlato al modulo di Young e al rapporto di Poisson. Spesso si stima mediante le indagini sismiche.

Shear strength (s_u) esprime la resistenza al taglio in condizioni non drenate (per terreni più fini di una sabbia fine) e deriva da relazioni ampiamente accettate in letteratura.

Il rapporto **s_u/s forzo efficace** e **OCR** (over consolidation ratio) esprimono il grado di sovraconsolidazione dei depositi fine. Sono relazioni ampiamente note anche se (molto) approssimate.

CPT 1/5



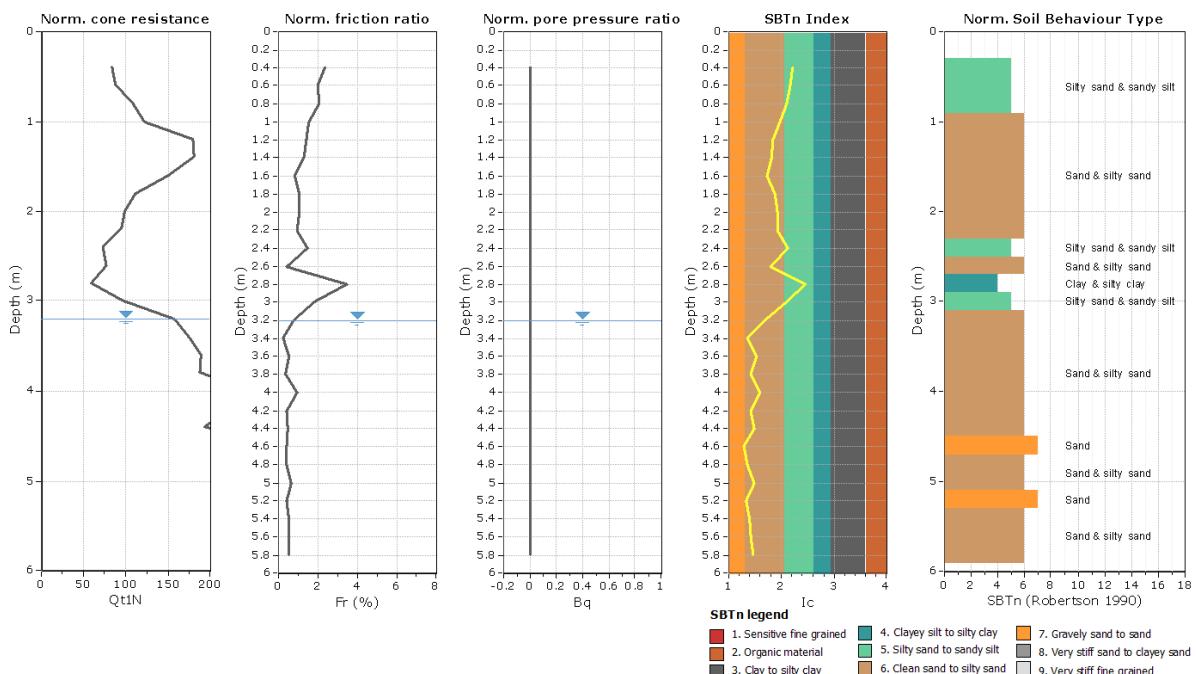


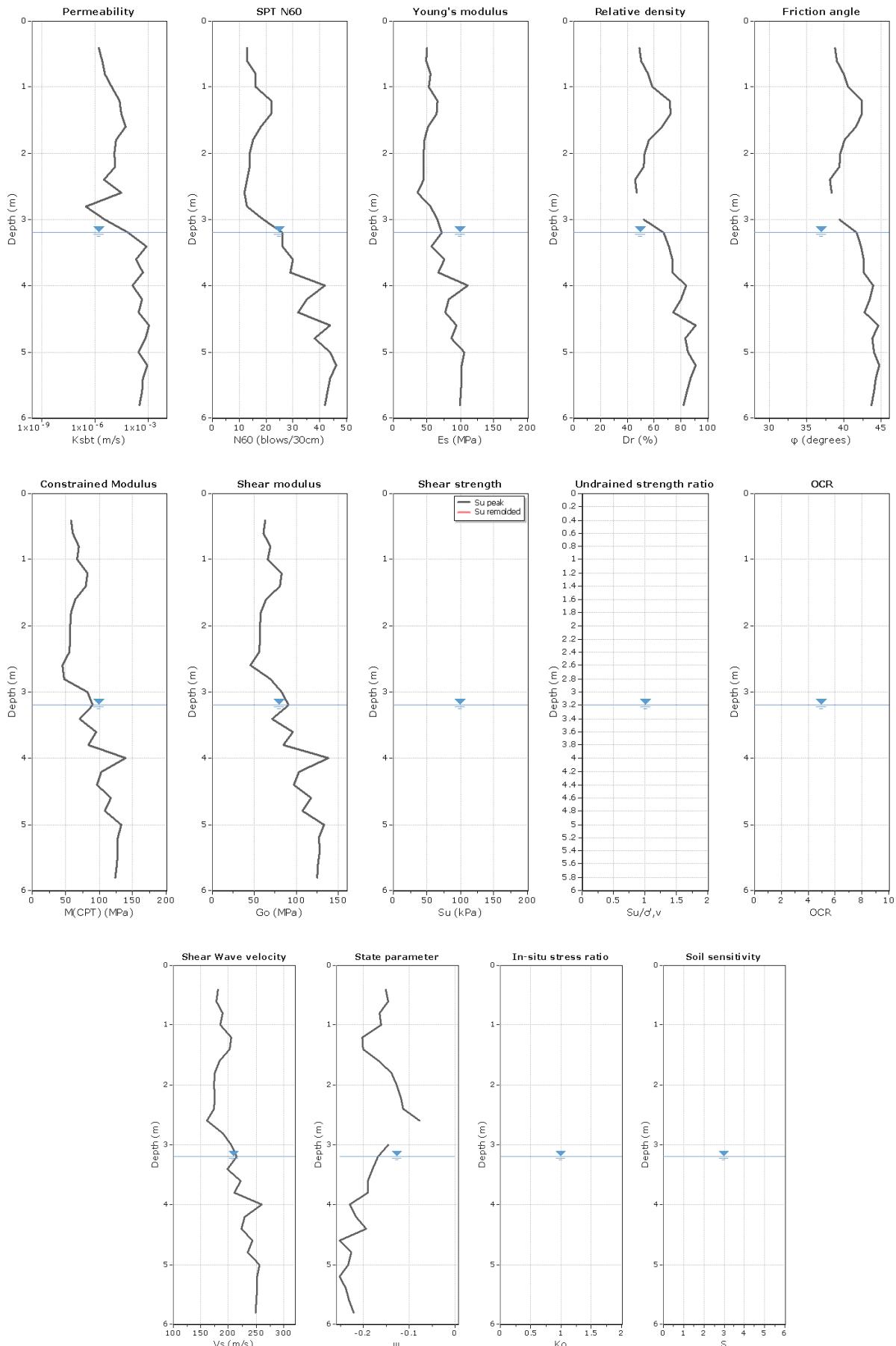
Depth (m)	In situ data										Basic output data									
	qc (MPa)	fs (kPa)	u (kPa)	Other	qt (MPa)	Rf (%)	SBT	Ic	SBT	γ (kN/m ³)	σ_v (kPa)	u0 (kPa)	σ'_v (kPa)	Qt1	Fr (%)	Bq	SBTn	n	Cn	Ic
0.4	1.3	49	0	0	1.3	3.8	3	3	17.6	7	0	7	184	3.8	0	4	0.89	2	2.7	25.9
0.6	1.2	102	0	0	1.2	8.5	3	3.2	18.4	10.7	0	10.7	111.1	8.6	0	3	1	2	3	23.8
0.8	2.4	58	0	0	2.4	2.4	4	2.6	18	14.3	0	14.3	166.8	2.4	0	5	0.77	2	2.4	47.7
1	3.7	62	0	0	3.7	1.7	5	2.4	18.2	17.9	0	17.9	205.2	1.7	0	5	0.68	2	2.2	73.6
1.2	2.7	22	0	0	2.7	0.8	5	2.3	16.9	21.3	0	21.3	125.6	0.8	0	5	0.65	2	2.1	53.6
1.4	2.1	9	0	0	2.1	0.4	5	2.3	15.8	24.5	0	24.5	84.7	0.4	0	6	0.64	2	2	41.5
1.6	3.4	18	0	0	3.4	0.5	5	2.2	16.8	27.8	0	27.8	121.1	0.5	0	6	0.59	2	1.9	67.4
1.8	2.3	22	0	0	2.3	1	5	2.4	16.9	31.2	0	31.2	72.7	1	0	5	0.7	2	2.2	45.4
2	1.2	9	0	0	1.2	0.8	4	2.6	15.6	34.3	0	34.3	33.9	0.8	0	5	0.77	2	2.4	23.3
2.2	0.8	36	0	0	0.8	4.5	3	3.2	17	37.7	0	37.7	20.2	4.7	0	3	1	2	3	15.2
2.4	1.3	18	2	0	1.3	1.4	4	2.7	16.4	41	2	39.1	32.2	1.4	0	5	0.82	2	2.5	25.2
2.6	8.5	27	3.9	0	8.5	0.3	6	1.7	17.6	44.5	3.9	40.6	208.2	0.3	0	6	0.46	1.5	1.5	127.7
2.8	7.5	67	5.9	0	7.5	0.9	6	2	18.6	48.3	5.9	42.4	175.9	0.9	0	6	0.56	1.6	1.8	120.9
3	7	44	7.8	0	7	0.6	6	1.9	51.9	7.8	44	157.8	0.6	0	6	0.54	1.6	1.8	108.5	
3.2	0.9	36	9.8	0	0.9	4	3	3.1	17.1	55.3	9.8	45.5	18.6	4.3	0	3	0.98	2	2.9	16.9
3.4	0.6	31	11.8	0	0.6	5.1	3	3.3	16.7	58.6	11.8	46.9	11.6	5.7	0	3	1	2	3.1	10.9
3.6	0.8	36	13.7	0	0.8	4.5	3	3.2	17	62.1	13.7	48.3	15.3	4.9	0	3	1	2	3	14.8
3.8	1	22	15.7	0	1	2.2	3	2.9	16.5	65.4	15.7	49.7	18.9	2.3	0	4	0.92	1.9	2.7	17.8
4	4.7	84	17.7	0	4.7	1.8	5	2.3	18.7	69.1	17.7	51.4	90.1	1.8	0	5	0.71	1.6	2.2	74.1
4.2	6.5	58	19.6	0	6.5	0.9	6	2	18.4	72.8	19.6	53.2	121	0.9	0	6	0.6	1.5	1.9	94
4.4	6.2	98	21.6	0	6.2	1.6	5	2.2	19	76.6	21.6	55	111.5	1.6	0	5	0.67	1.5	2.1	91.4
4.6	5.4	36	23.5	0	5.4	0.7	6	2	17.8	80.1	23.5	56.6	94.1	0.7	0	6	0.61	1.4	1.9	75.2
4.8	3.5	49	25.5	0	3.5	1.4	5	2.4	17.9	83.7	25.5	58.2	58.8	1.4	0	5	0.73	1.5	2.2	50.8
5	2	18	27.5	0	2	0.9	5	2.5	16.6	87	27.5	59.6	32.2	0.9	0	5	0.77	1.5	2.3	28.6
5.2	1.1	9	29.4	0	1.1	0.8	4	2.7	15.6	90.1	29.4	60.7	16.7	0.9	0	5	0.86	1.5	2.6	15.6
5.4	4.9	36	31.4	0	4.9	0.7	5	2.1	17.7	93.7	31.4	62.3	73.3	0.7	0	6	0.64	1.4	2	65.1
5.6	1.6	102	33.4	0	1.6	6.3	3	3	18.5	97.4	33.4	64	23.6	6.8	0	3	1	1.6	2.9	23.6
5.8	1.2	100	35.3	0	1.2	8.3	3	3.2	18.4	101	35.3	65.7	16.8	9	0	3	1	1.5	3.1	16.8

COMUNE DI LODI VECCHIO (LO) STUDIO DELLA COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO

Depth (m)	In situ data										Estimations											
	qc (MPa)	fs (kPa)	SBTn	K _{bt} (m/s)	SPT N ₆₀ (blows/30cm)	Constrained Mod. (MPa)	Dr (%)	Friction angle (°)	Es (MPa)	Go (MPa)	N _{kt}	S _u (kPa)	Suratio	K _{cr}	OCR	Vs (m/s)	State parameter	K _o	Sensitivity	Peak phi (°)		
0.4	1.3	49	4	4.40E-08	6	18	0	0	0	37	14	92	1.8	0.3	8.5	144	0	1.4	1.8	20		
0.6	1.2	102	3	6.60E-09	6	17	0	0	0	48	14	85	1.7	0.3	7.8	160	0	1.3	0.8	20		
0.8	2.4	58	5	4.40E-07	8	33	37	36	36	45	0	0	0	0.3	0	157	-0.1	0	0	20		
1	3.7	62	5	2.40E-06	11	51	46	38	41	51	0	0	0	0.3	0	166	-0.1	0	0	20		
1.2	2.7	22	5	4.30E-06	8	33	39	37	27	33	0	0	0	0.3	0	139	-0.1	0	0	20		
1.4	2.1	9	6	5.60E-06	6	25	34	35	20	25	0	0	0	0.3	0	124	0	0	0	20		
1.6	3.4	18	6	1.60E-05	9	33	44	38	27	33	0	0	0	0.3	0	140	-0.1	0	0	20		
1.8	2.3	22	5	2.10E-06	7	32	36	36	26	32	0	0	0	0.3	0	137	-0.1	0	0	20		
2	1.2	9	5	5.30E-07	4	16	26	33	17	21	0	0	0	0.3	0	116	0	0	0	20		
2.2	0.8	36	3	8.40E-09	4	11	0	0	0	29	14	54	1.1	0.3	5	130	0	1.1	1.5	20		
2.4	1.3	18	5	2.50E-07	5	18	27	33	21	26	0	0	0	0.3	0	125	0	0	0	20		
2.6	8.5	27	6	1.80E-04	17	54	60	41	43	54	0	0	0	0.3	0	173	0	0	0	20		
2.8	7.5	67	6	2.70E-05	18	67	59	41	53	67	0	0	0	0.3	0	188	-0.1	0	0	20		
3	7	44	6	4.00E-05	16	58	56	40	46	58	0	0	0	0.3	0	178	-0.1	0	0	20		
3.2	0.9	36	3	1.30E-08	4	12	0	0	0	30	14	60	1.2	0.3	5.6	132	0	1.2	1.6	20		
3.4	0.6	31	3	2.60E-09	3	6	0	0	0	26	14	39	0.8	0.3	3.6	123	0	1	1.2	20		
3.6	0.8	36	3	7.40E-09	4	10	0	0	0	29	14	53	1.1	0.3	4.9	130	0	1.1	1.4	20		
3.8	1	22	4	4.50E-08	4	13	0	0	0	27	14	67	1.3	0.3	5.9	126	0	1.2	3	20		
4	4.7	84	5	2.10E-06	14	66	46	38	53	66	0	0	0	0.3	0	186	-0.1	0	0	20		
4.2	6.5	58	6	1.50E-05	16	64	52	39	51	64	0	0	0	0.3	0	185	-0.1	0	0	20		
4.4	6.2	98	5	4.40E-06	18	76	51	39	61	76	0	0	0	0.3	0	199	-0.1	0	0	20		
4.6	5.4	36	6	1.40E-05	14	54	46	38	43	54	0	0	0	0.3	0	172	-0.1	0	0	20		
4.8	3.5	49	5	1.40E-06	11	48	38	36	42	52	0	0	0	0.3	0	169	-0.1	0	0	20		
5	2	18	5	6.90E-07	7	27	29	34	27	33	0	0	0	0.3	0	141	0	0	0	20		
5.2	1.1	9	5	1.50E-07	4	14	21	31	19	23	0	0	0	0.3	0	121	0	0	0	20		
5.4	4.9	36	6	8.30E-06	13	54	43	38	43	54	0	0	0	0.3	0	172	-0.1	0	0	20		
5.6	1.6	102	3	1.10E-08	8	21	0	0	0	56	14	108	1.7	0.3	7.8	172	0	1.3	1	20		
5.8	1.2	100	3	2.80E-09	7	15	0	0	0	52	14	79	1.2	0.3	5.6	167	0	1.2	0.8	20		

CPT 2/5

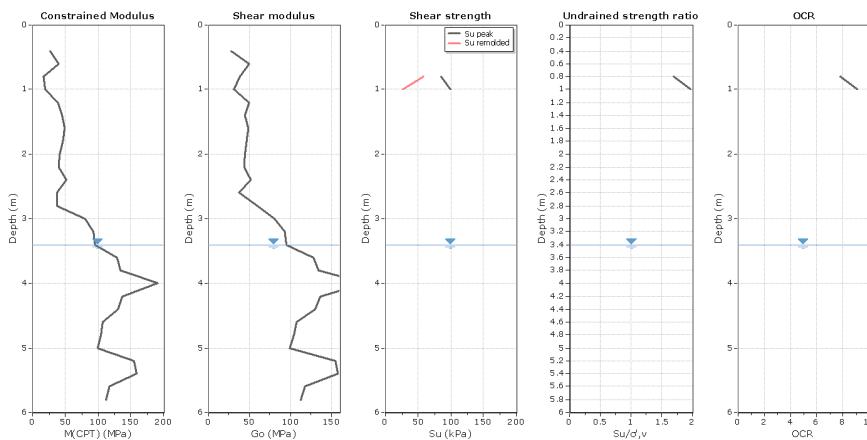
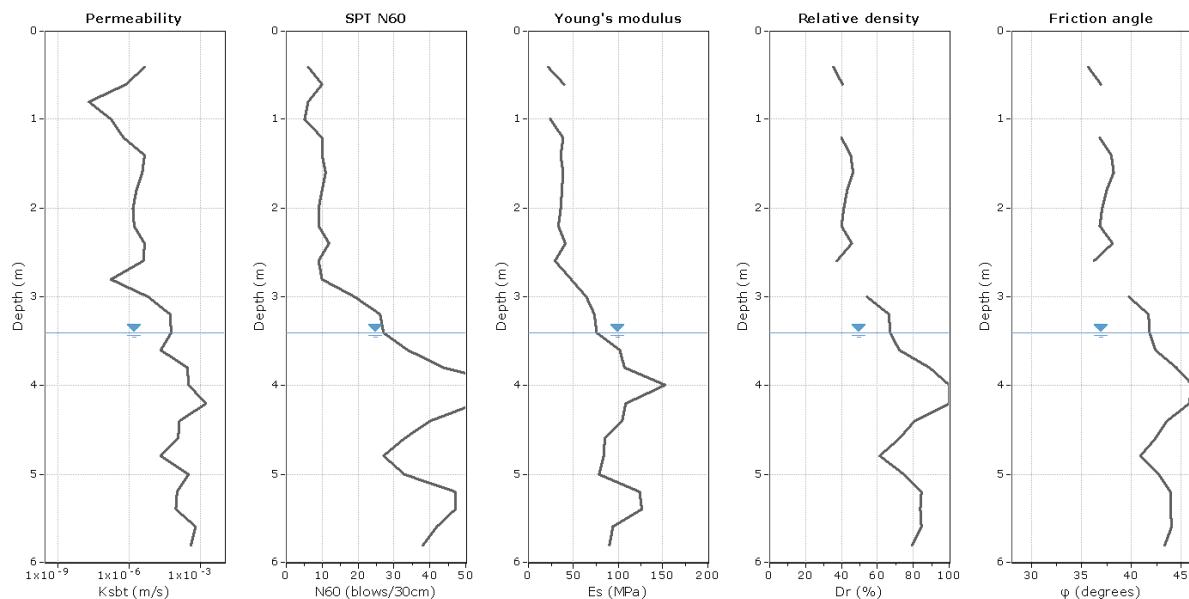
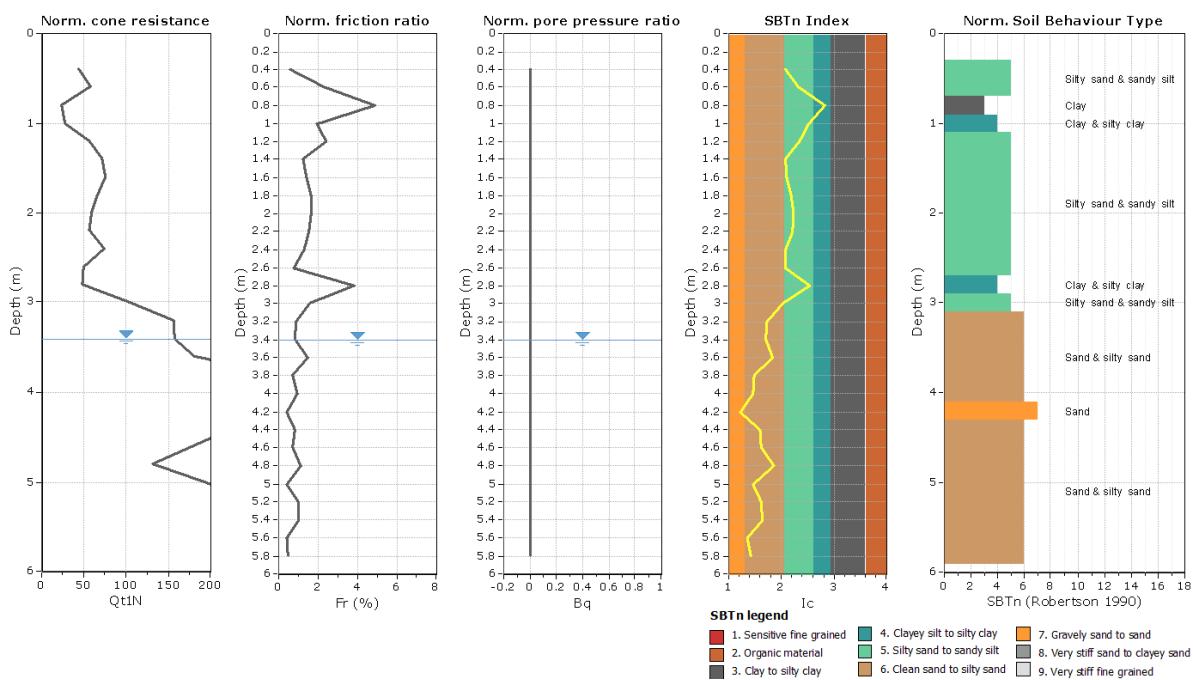


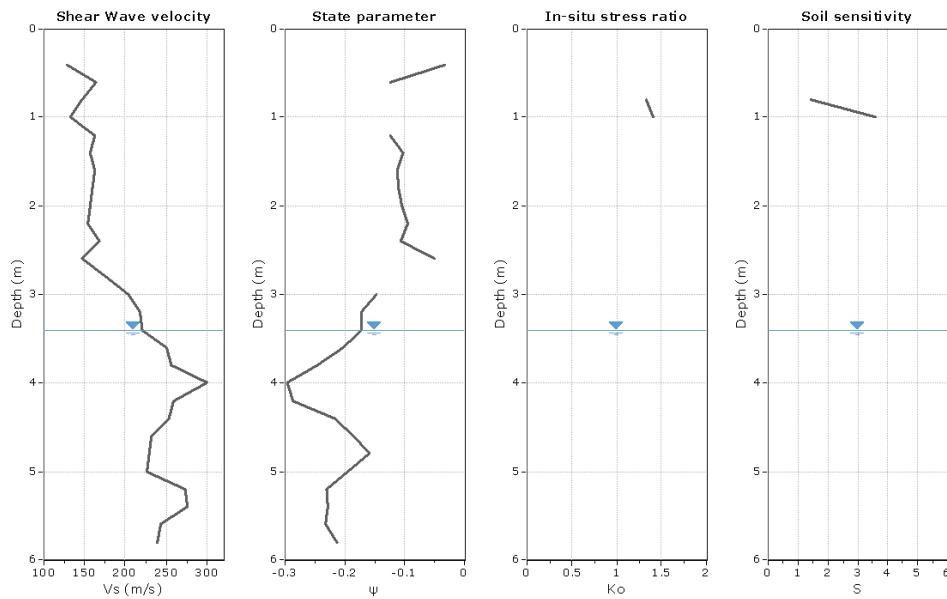


COMUNE DI LODI VECCHIO (LO) STUDIO DELLA COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO

Depth (m)	In situ data										Basic output data											
	qc (MPa)	fs (kPa)	u (kPa)	Other	qt (MPa)	Rf (%)	SBT	Ic SBT	γ (kN/m ²)	σ_v (kPa)	u0 (kPa)	σ'_v (kPa)	Qt1	Fr (%)	Bq	SBTn	n	Cn	Ic	Qtn		
0.4	4.2	98	0	0	4.2	2.3	5	2.4	18.8	7.5	0	7.5	557.1	2.3	0	5	0.7	2	2.2	83.8		
0.6	4.4	89	0	0	4.4	2	5	2.4	18.7	11.3	0	11.3	389.5	2	0	5	0.68	2	2.2	87.8		
0.8	5.4	111	0	0	5.4	2.1	5	2.3	19.1	15.1	0	15.1	357.1	2.1	0	5	0.66	2	2.1	107.7		
1	6.1	93	0	0	6.1	1.5	5	2.2	18.9	18.9	0	18.9	322.5	1.5	0	6	0.61	2	2	121.6		
1.2	9	129	0	0	9	1.4	5	2.1	19.4	22.7	0	22.7	394.7	1.4	0	6	0.56	2	1.8	179.5		
1.4	9.1	120	0	0	9.1	1.3	6	2	19.3	26.6	0	26.6	341	1.3	0	6	0.55	2	1.8	181.5		
1.6	8.1	67	0	0	8.1	0.8	6	1.9	18.6	30.3	0	30.3	266	0.8	0	6	0.52	1.9	1.7	150.3		
1.8	5.9	62	0	0	5.9	1.1	5	2.1	18.4	34	0	34	172.4	1.1	0	6	0.59	1.9	1.9	110.7		
2	5.5	58	0	0	5.5	1.1	5	2.1	18.3	37.7	0	37.7	145	1.1	0	6	0.6	1.8	1.9	98.6		
2.2	5.6	53	0	0	5.6	0.9	5	2.1	18.2	41.3	0	41.3	134.5	1	0	6	0.6	1.7	1.9	94.5		
2.4	4.3	62	0	0	4.3	1.4	5	2.3	18.3	45	0	45	94.6	1.5	0	5	0.68	1.7	2.1	73.2		
2.6	5.2	22	0	0	5.2	0.4	6	2	17.2	48.4	0	48.4	106.4	0.4	0	6	0.56	1.5	1.8	77.2		
2.8	3.5	120	0	0	3.5	3.4	4	2.6	19	52.2	0	52.2	66	3.5	0	4	0.81	1.7	2.5	58.4		
3	6.5	116	0	0	6.5	1.8	5	2.2	19.2	56	0	56	115	1.8	0	5	0.68	1.5	2.1	95.4		
3.2	12.1	89	0	0	12.1	0.7	6	1.8	19.1	59.9	0	59.9	201.1	0.7	0	6	0.52	1.3	1.7	157.1		
3.4	14.5	31	2	0	14.5	0.2	6	1.4	18	63.5	2	61.5	234.7	0.2	0	6	0.39	1.2	1.3	174.8		
3.6	15.3	84	3.9	0	15.3	0.5	6	1.6	19.1	67.3	3.9	63.4	240.4	0.6	0	6	0.47	1.2	1.5	188.4		
3.8	15.8	53	5.9	0	15.8	0.3	6	1.5	18.6	71	5.9	65.1	241.5	0.3	0	6	0.42	1.2	1.4	188.3		
4	20.4	187	7.8	0	20.4	0.9	6	1.7	20.2	75	7.8	67.2	302.5	0.9	0	6	0.49	1.2	1.6	247.3		
4.2	19.2	84	9.8	0	19.2	0.4	6	1.5	19.2	78.9	9.8	69.1	276.8	0.4	0	6	0.42	1.2	1.4	223.6		
4.4	16.6	76	11.8	0	16.6	0.5	6	1.5	19	82.7	11.8	70.9	232.9	0.5	0	6	0.45	1.2	1.5	192.7		
4.6	25.6	98	13.7	0	25.6	0.4	6	1.3	19.5	86.6	13.7	72.9	350.2	0.4	0	7	0.38	1.1	1.3	287.7		
4.8	21.6	84	15.7	0	21.6	0.4	6	1.4	19.3	90.5	15.7	74.8	287.8	0.4	0	6	0.4	1.1	1.4	242		
5	22.7	147	17.7	0	22.7	0.6	6	1.5	19.9	94.4	17.7	76.8	294.5	0.7	0	6	0.45	1.1	1.5	254.9		
5.2	26.4	116	19.6	0	26.4	0.4	6	1.4	19.7	98.4	19.6	78.8	334	0.4	0	7	0.4	1.1	1.3	289.1		
5.4	24.2	124	21.6	0	24.2	0.5	6	1.4	19.8	102.3	21.6	80.7	298.5	0.5	0	6	0.42	1.1	1.4	263.9		
5.6	23.3	120	23.5	0	23.3	0.5	6	1.4	19.7	106.3	23.5	82.7	280.4	0.5	0	6	0.43	1.1	1.4	251.8		
5.8	21.8	120	25.5	0	21.8	0.6	6	1.5	19.7	110.2	25.5	84.7	256.1	0.6	0	6	0.45	1.1	1.5	233.8		
In situ data																						
Depth (m)	qc (MPa)	fs (kPa)	SBTn	Kbkt (m/s)	SPT N60 (blows/30cm)	Constrained Mod. (MPa)	Dr (%)	Friction angle (°)	Es (MPa)	Go (MPa)	Nkt	Su (kPa)	Su ratio	Kocr	OCR	Vs (m/s)	State parameter	Ko	Sensitivity	Peak phi (°)		
0.4	4.2	98	5	1.60E-06	13	59	49	39	50	63	0	0	0	0.3	0	181	-0.2	0	0	0	20	
0.6	4.4	89	5	2.40E-06	13	61	50	39	49	61	0	0	0	0.3	0	179	-0.1	0	0	0	20	
0.8	5.4	111	5	3.60E-06	16	69	55	40	55	69	0	0	0	0.3	0	189	-0.2	0	0	0	20	
1	6.1	93	6	9.00E-06	16	67	59	41	53	67	0	0	0	0.3	0	186	-0.2	0	0	0	20	
1.2	9	129	6	2.30E-05	22	83	72	42	66	83	0	0	0	0.3	0	204	-0.2	0	0	0	20	
1.4	9.1	120	6	2.90E-05	22	81	72	42	64	81	0	0	0	0.3	0	202	-0.2	0	0	0	20	
1.6	8.1	67	6	5.20E-05	18	64	66	42	51	64	0	0	0	0.3	0	184	-0.2	0	0	0	20	
1.8	5.9	62	6	1.60E-05	15	58	56	40	46	58	0	0	0	0.3	0	176	-0.1	0	0	0	20	
2	5.5	58	6	1.20E-05	14	57	53	40	45	57	0	0	0	0.3	0	174	-0.1	0	0	0	20	
2.2	5.6	53	6	1.30E-05	14	57	52	39	45	57	0	0	0	0.3	0	175	-0.1	0	0	0	20	
2.4	4.3	62	5	3.20E-06	13	56	46	38	45	56	0	0	0	0.3	0	173	-0.1	0	0	0	20	
2.6	5.2	22	6	3.10E-05	12	45	47	38	36	45	0	0	0	0.3	0	160	-0.1	0	0	0	20	
2.8	3.5	120	4	3.20E-07	13	48	0	0	55	69	14	246	4.2	0.3	19.3	189	0	1.8	2	20		
3	6.5	116	5	3.80E-06	19	83	52	39	66	83	0	0	0	0.3	0	206	-0.1	0	0	0	20	
3.2	12.1	89	6	7.20E-05	26	90	67	42	72	90	0	0	0	0.3	0	216	-0.2	0	0	0	20	
3.4	14.5	31	6	7.20E-04	26	71	71	42	57	71	0	0	0	0.3	0	198	-0.2	0	0	0	20	
3.6	15.3	84	6	1.90E-04	30	96	73	43	76	96	0	0	0	0.3	0	221	-0.2	0	0	0	20	
3.8	15.8	53	6	4.60E-04	29	84	73	43	67	84	0	0	0	0.3	0	211	-0.2	0	0	0	20	
4	20.4	187	6	1.20E-04	42	139	84	44	111	139	0	0	0	0.3	0	260	-0.2	0	0	0	20	
4.2	19.2	84	6	4.50E-04	35	103	80	43	82	103	0	0	0	0.3	0	229	-0.2	0	0	0	20	
4.4	16.6	76	6	2.90E-04	32	97	74	43	77	97	0	0	0	0.3	0	223	-0.2	0	0	0	20	
4.6	25.6	98	7	1.10E-03	44	118	91	45	94	118	0	0	0	0.3	0	244	-0.3	0	0	0	20	
4.8	21.6	84	6	6.80E-04	38	108	83	44	86	108	0	0	0	0.3	0	234	-0.2	0	0	0	20	
5	22.7	147	6	2.80E-04	44	133	85	44	106	133	0	0	0	0.3	0	256	-0.2	0	0	0	20	
5.2	26.4	116	7	8.20E-04	46	127	91	45	102	127	0	0	0	0.3	0	252	-0.3	0	0	0	20	
5.4	24.2	124	6	4.90E-04	44	128	87	44	102	128	0	0	0	0.3	0	252	-0.2	0	0	0	20	
5.6	23.3	120	6	4.30E-04	43	126	85	44	101	126	0	0	0	0.3	0	250	-0.2	0	0	0	20	
5.8	21.8	120	6	3.20E-04	42	124	82	44	99	124	0	0	0	0.3	0	249	-0.2	0	0	0	20	

CPT 3/5

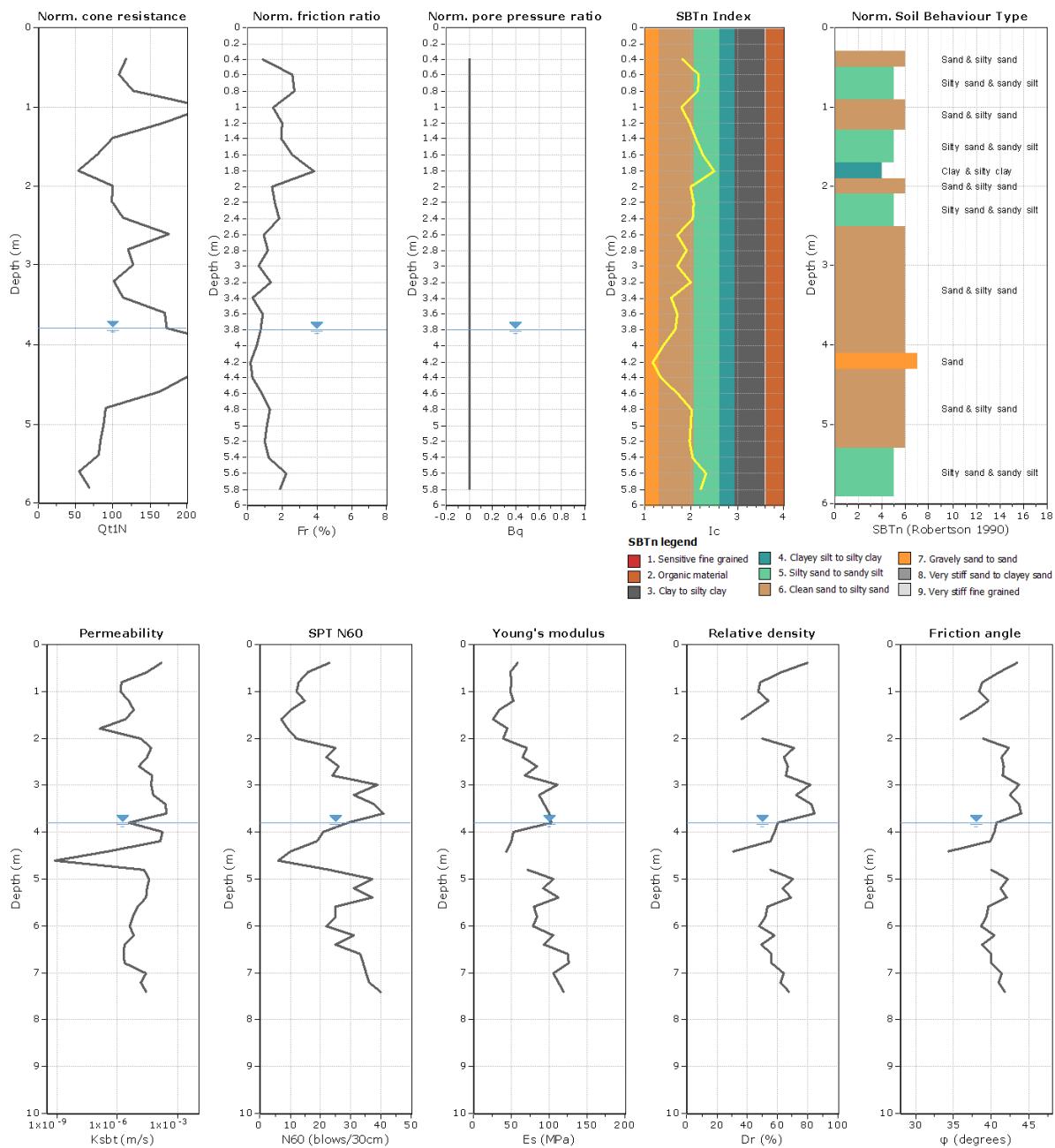




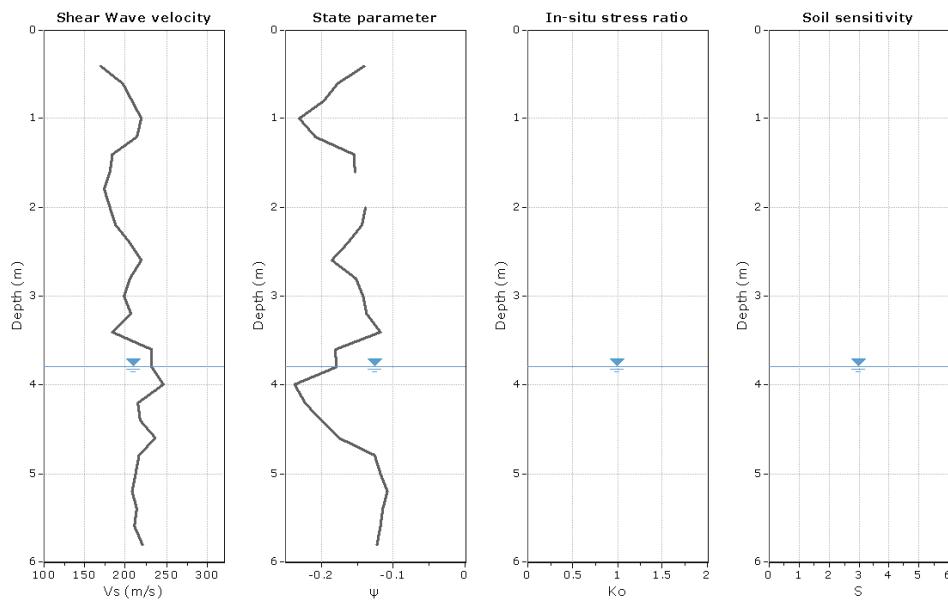
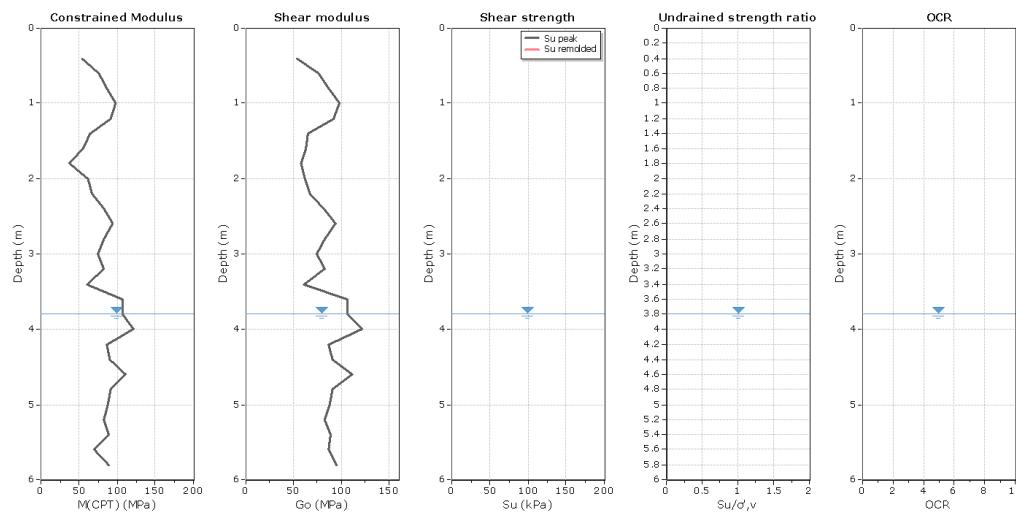
Depth (m)	In situ data												Basic output data											
	qc (MPa)	fs (kPa)	u (kPa)	Other	qt (MPa)	Rf (%)	SBT	Ic SBT	γ (kN/m³)	σ,ν (kPa)	u0 (kPa)	σ',ν0 (kPa)	Qt1	Fr (%)	Bq	SBTn	n	Cn	Ic	Qtn				
0.4	2.2	13	0	0	2.2	0.6	5	2.4	16.2	6.5	0	6.5	337.7	0.6	0	5	0.65	2	2.1	43.9				
0.6	2.9	67	0	0	2.9	2.3	4	2.6	18.2	10.1	0	10.1	284.9	2.3	0	5	0.74	2	2.3	57.8				
0.8	1.2	58	0	0	1.2	4.8	3	3.1	17.7	13.7	0	13.7	86.7	4.9	0	3	0.94	2	2.8	23.7				
1	1.4	27	0	0	1.4	1.9	4	2.8	16.9	17.1	0	17.1	81	2	0	4	0.82	2	2.5	27.7				
1.2	2.8	67	0	0	2.8	2.4	4	2.6	18.2	20.7	0	20.7	134.2	2.4	0	5	0.76	2	2.4	55.6				
1.4	3.6	44	0	0	3.6	1.2	5	2.3	17.8	24.3	0	24.3	147.3	1.2	0	5	0.65	2	2.1	71.5				
1.6	3.8	53	0	0	3.8	1.4	5	2.3	18.1	27.9	0	27.9	135.2	1.4	0	5	0.66	2	2.1	75.4				
1.8	3.3	53	0	0	3.3	1.6	5	2.4	18	31.5	0	31.5	103.8	1.6	0	5	0.7	2	2.2	65.4				
2	3	49	0	0	3	1.6	5	2.5	17.9	35.1	0	35.1	84.5	1.7	0	5	0.72	2	2.2	59.3				
2.2	2.9	44	0	0	2.9	1.5	5	2.5	17.7	38.6	0	38.6	74.1	1.5	0	5	0.72	2	2.2	56.5				
2.4	4.2	53	0	0	4.2	1.3	5	2.3	18.1	42.2	0	42.2	98.4	1.3	0	5	0.66	1.8	2.1	73.6				
2.6	3	22	0	0	3	0.7	5	2.3	17	45.6	0	45.6	64.7	0.7	0	5	0.67	1.7	2.1	49.8				
2.8	2.7	102	0	0	2.7	3.8	4	2.7	18.7	49.4	0	49.4	53.7	3.8	0	4	0.84	1.8	2.5	48				
3	6.9	107	0	0	6.9	1.6	5	2.2	19.1	53.2	0	53.2	128.7	1.6	0	5	0.65	1.5	2	103.2				
3.2	11.6	102	0	0	11.6	0.9	6	1.8	19.2	57	0	57	202.3	0.9	0	6	0.54	1.4	1.7	156.1				
3.4	12.2	102	0	0	12.2	0.8	6	1.8	19.3	60.9	0	60.9	199.3	0.8	0	6	0.53	1.3	1.7	158				
3.6	13.9	204	2	0	13.9	1.5	6	1.9	20.1	64.9	2	63	219.8	1.5	0	6	0.58	1.3	1.8	181.2				
3.8	23	160	3.9	0	23	0.7	6	1.5	20	68.9	3.9	65	352.8	0.7	0	6	0.45	1.2	1.5	277.8				
4	33	302	5.9	0	33	0.9	6	1.5	20.9	73.1	5.9	67.2	489.8	0.9	0	6	0.44	1.2	1.5	392.8				
4.2	32.4	129	7.8	0	32.4	0.4	7	1.3	19.9	77.1	7.8	69.2	466.8	0.4	0	7	0.35	1.1	1.2	367.6				
4.4	19.3	160	9.8	0	19.3	0.8	6	1.6	20	81.1	9.8	71.3	269.7	0.8	0	6	0.49	1.2	1.6	227.1				
4.6	15.6	107	11.8	0	15.6	0.7	6	1.7	19.4	85	11.8	73.2	212	0.7	0	6	0.5	1.2	1.6	181.4				
4.8	11.2	124	13.7	0	11.2	1.1	6	1.9	19.5	88.9	13.7	75.1	147.9	1.1	0	6	0.59	1.2	1.9	131.7				
5	17.4	76	15.7	0	17.4	0.4	6	1.5	19.1	92.7	15.7	77	224.9	0.4	0	6	0.45	1.1	1.5	194.5				
5.2	22.2	218	17.7	0	22.2	1	6	1.7	20.4	96.7	17.7	79.1	279.5	1	0	6	0.51	1.1	1.6	249				
5.4	22.2	227	19.6	0	22.2	1	6	1.7	20.4	100.8	19.6	81.2	272.2	1	0	6	0.51	1.1	1.6	246				
5.6	23.4	98	21.6	0	23.4	0.4	6	1.4	19.5	104.7	21.6	83.1	280.2	0.4	0	6	0.41	1.1	1.4	251.4				
5.8	20.6	93	23.5	0	20.6	0.5	6	1.5	19.4	108.6	23.5	85	241	0.5	0	6	0.44	1.1	1.4	220				

Depth (m)	In situ data												Estimations											
	qc (MPa)	fs (kPa)	SBTn	Ksbt (m/s)	SPT N60 (blows/30cm)	Constrained Mod. (MPa)	Dr (%)	Friction angle (°)	Es (MPa)	Go (MPa)	Mkt	Su (kPa)	Suratio	Kocr	OCR	Vs (m/s)	State parameter	Ko	Sensitivity	Peak phi (°)				
0.4	2.2	13	5	4.20E-06	6	27	35	36	22	27	0	0	0	0.3	0	129	0	0	0	0	20			
0.6	2.9	67	5	7.40E-07	10	40	41	37	40	50	0	0	0	0.3	0	164	-0.1	0	0	0	20			
0.8	1.2	58	3	2.20E-08	6	17	0	0	0	39	14	85	1.7	0.3	7.8	146	0	1.3	1.4	20				
1	1.4	27	4	1.80E-07	5	19	0	0	24	31	14	99	2	0.3	9.1	133	0	1.4	3.6	20				
1.2	2.8	67	6	5.20E-07	10	39	40	37	39	49	0	0	0	0.3	0	163	-0.1	0	0	0	20			
1.4	3.6	44	5	4.20E-06	10	45	45	38	36	45	0	0	0	0.3	0	157	-0.1	0	0	0	20			
1.6	3.8	53	5	3.70E-06	11	48	46	38	39	48	0	0	0	0.3	0	162	-0.1	0	0	0	20			
1.8	3.3	53	5	2.00E-06	10	47	43	38	37	47	0	0	0	0.3	0	160	-0.1	0	0	0	20			
2	3	49	5	1.50E-06	9	42	41	37	36	45	0	0	0	0.3	0	156	-0.1	0	0	0	20			
2.2	2.9	44	5	1.60E-06	9	40	40	37	34	43	0	0	0	0.3	0	154	-0.1	0	0	0	20			
2.4	4.2	53	5	4.30E-06	12	52	46	38	42	52	0	0	0	0.3	0	168	-0.1	0	0	0	20			
2.6	3	22	5	4.20E-06	9	37	38	36	30	37	0	0	0	0.3	0	147	-0.1	0	0	0	20			
2.8	2.7	102	4	1.70E-07	10	37	0	0	48	60	14	189	3.4	0.3	15.9	177	0	1.7	1.8	20				
3	6.9	107	5	6.00E-06	19	81	54	40	64	81	0	0	0	0.3	0	203	-0.1	0	0	0	20			
3.2	11.6	102	6	5.00E-05	26	93	67	42	74	93	0	0	0	0.3	0	217	-0.2	0	0	0	20			
3.4	12.2	102	6	5.60E-05	27	95	67	42	76	95	0	0	0	0.3	0	220	-0.2	0	0	0	20			
3.6	13.9	204	6	2.20E-05	34	128	72	42	103	128	0	0	0	0.3	0	250	-0.2	0	0	0	20			
3.8	23	160	6	2.90E-04	44	134	89	44	107	134	0	0	0	0.3	0	256	-0.2	0	0	0	20			
4	33	302	6	3.00E-04	63	191	100	46	152	191	0	0	0	0.3	0	299	-0.3	0	0	0	20			
4.2	32.4	129	7	1.70E-03	53	137	100	46	109	137	0	0	0	0.3	0	259	-0.3	0	0	0	20			
4.4	19.3	160	6	1.30E-04	40	130	81	44	104	130	0	0	0	0.3	0	253	-0.2	0	0	0	20			
4.6	15.6	107	6	1.20E-04	33	107	72	42	85	107	0	0	0	0.3	0	233	-0.2	0	0	0	20			
4.8	11.2	124	6	2.10E-05	27	104	61	41	83	104	0	0	0	0.3	0	229	-0.2	0	0	0	20			
5	17.4	76	6	3.20E-04	33	99	75	43	79	99	0	0	0</											

CPT 4/5



COMUNE DI LODI VECCHIO (LO) STUDIO DELLA COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO

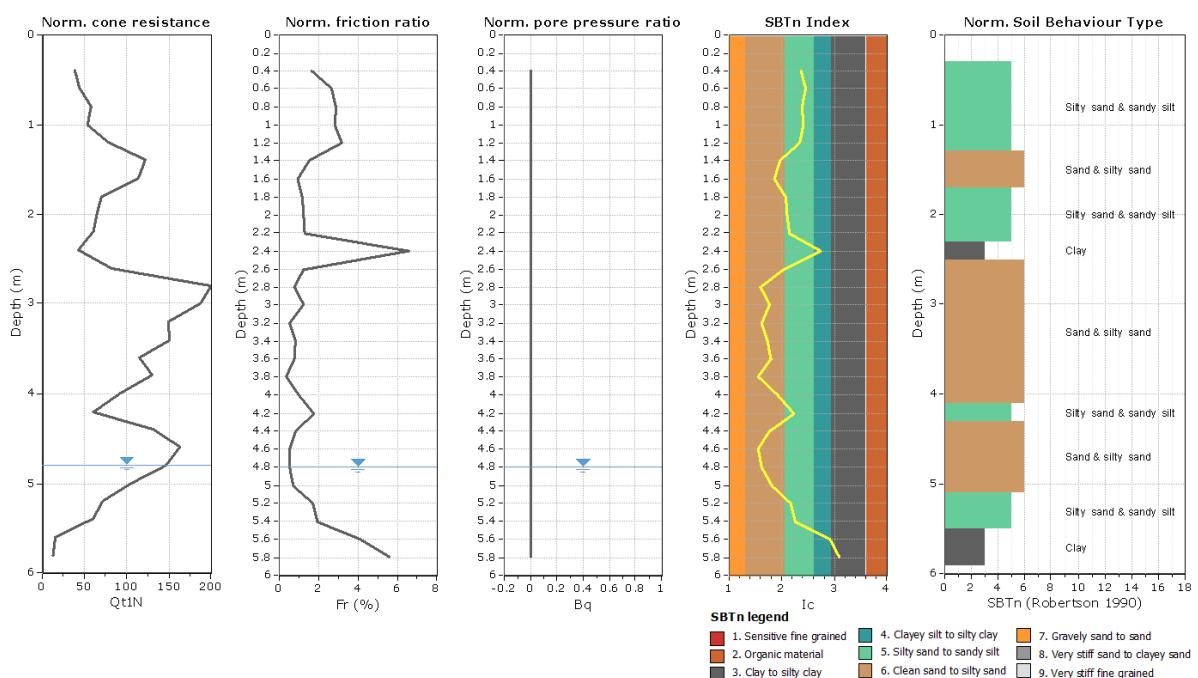


Depth (m)	In situ data										Basic output data									
	qc (MPa)	fs (kPa)	u (kPa)	Other	qt (MPa)	Rf (%)	SBT	Ic SBT	γ	σ_v (kPa)	u0 (kPa)	σ'_v (kPa)	Qt1	Fr (%)	Bq	SBTn	n	Cn	Ic	Qtn
0.4	5.9	53	0	0	5.9	0.9	5	2.1	18.2	7.3	0	7.3	807.9	0.9	0	6	0.55	2	1.8	117.9
0.6	5.4	138	0	0	5.4	2.6	5	2.4	19.3	11.2	0	11.2	483.1	2.6	0	5	0.68	2	2.2	107.8
0.8	6.4	173	0	0	6.4	2.7	5	2.3	19.6	15.1	0	15.1	423.4	2.7	0	5	0.67	2	2.1	127.7
1	11.3	169	0	0	11.3	1.5	6	2	19.8	19	0	19	592.4	1.5	0	6	0.54	2	1.8	225.6
1.2	8.5	169	0	0	8.5	2	5	2.2	19.7	23	0	23	368.8	2	0	6	0.61	2	2	169.5
1.4	5	98	0	0	5	2	5	2.3	18.9	26.8	0	26.8	185.8	2	0	5	0.67	2	2.1	99.5
1.6	4	102	0	0	4	2.5	4	2.5	18.8	30.5	0	30.5	130	2.6	0	5	0.73	2	2.3	79.4
1.8	2.7	102	0	0	2.7	3.8	4	2.7	18.7	34.3	0	34.3	77.8	3.8	0	4	0.82	2	2.5	53.3
2	5.5	76	0	0	5.5	1.4	5	2.2	18.6	38	0	38	143.8	1.4	0	6	0.63	1.8	2	100.7
2.2	5.6	89	0	0	5.6	1.6	5	2.2	18.8	41.8	0	41.8	133.1	1.6	0	5	0.65	1.8	2.1	98.3
2.4	6.9	124	0	0	6.9	1.8	5	2.2	19.3	45.6	0	45.6	150.3	1.8	0	5	0.65	1.7	2	114.3
2.6	12.2	111	0	0	12.2	0.9	6	1.8	19.4	49.5	0	49.5	245.6	0.9	0	6	0.52	1.4	1.7	175.5
2.8	8.3	98	0	0	8.3	1.2	6	2	19.1	53.3	0	53.3	154.7	1.2	0	6	0.6	1.5	1.9	120.3
3	9.5	62	0	0	9.5	0.7	6	1.8	18.6	57	0	57	165.6	0.7	0	6	0.53	1.3	1.7	127.3
3.2	7.4	98	0	0	7.4	1.3	5	2.1	19	60.8	0	60.8	120.7	1.3	0	6	0.64	1.4	2	100.8
3.4	9.2	27	0	0	9.2	0.3	6	1.7	17.6	64.3	0	64.3	142	0.3	0	6	0.48	1.2	1.6	113
3.6	13.9	120	0	0	13.9	0.9	6	1.8	19.5	68.2	0	68.2	202.7	0.9	0	6	0.53	1.2	1.7	169.4
3.8	14.7	111	0	0	14.7	0.8	6	1.7	19.4	72.1	0	72.1	202.8	0.8	0	6	0.52	1.2	1.7	173.1
4	22.9	116	2	0	22.9	0.5	6	1.4	19.7	76.1	2	74.1	308	0.5	0	6	0.42	1.1	1.4	259
4.2	21.5	36	3.9	0	21.5	0.2	7	1.2	18.3	79.7	3.9	75.8	282.6	0.2	0	7	0.34	1.1	1.2	235.3
4.4	18.3	53	5.9	0	18.3	0.3	6	1.4	18.7	83.5	5.9	77.6	234.8	0.3	0	6	0.4	1.1	1.4	201.8
4.6	14.5	120	7.8	0	14.5	0.8	6	1.7	19.5	87.4	7.8	79.5	181.3	0.8	0	6	0.54	1.1	1.7	163
4.8	8	102	9.8	0	8	1.3	5	2.1	19.1	91.2	9.8	81.4	97.2	1.3	0	6	0.66	1.1	2	90.6
5	7.9	89	11.8	0	7.9	1.1	6	2	18.9	95	11.8	83.2	93.8	1.1	0	6	0.65	1.1	2	88
5.2	7.6	76	13.7	0	7.6	1	6	2	18.7	98.7	13.7	85	88.3	1	0	6	0.65	1.1	2	83.3
5.4	7.5	93	15.7	0	7.5	1.2	5	2.1	19	102.5	15.7	86.8	85.2	1.3	0	5	0.67	1.1	2	81.4
5.6	5.1	111	17.7	0	5.1	2.2	5	2.4	19	106.3	17.7	88.7	56.4	2.2	0	5	0.78	1.1	2.3	54.9
5.8	6.5	120	19.6	0	6.5	1.8	5	2.2	19.2	110.2	19.6	90.5	70.6	1.9	0	5	0.74	1.1	2.2	68.8

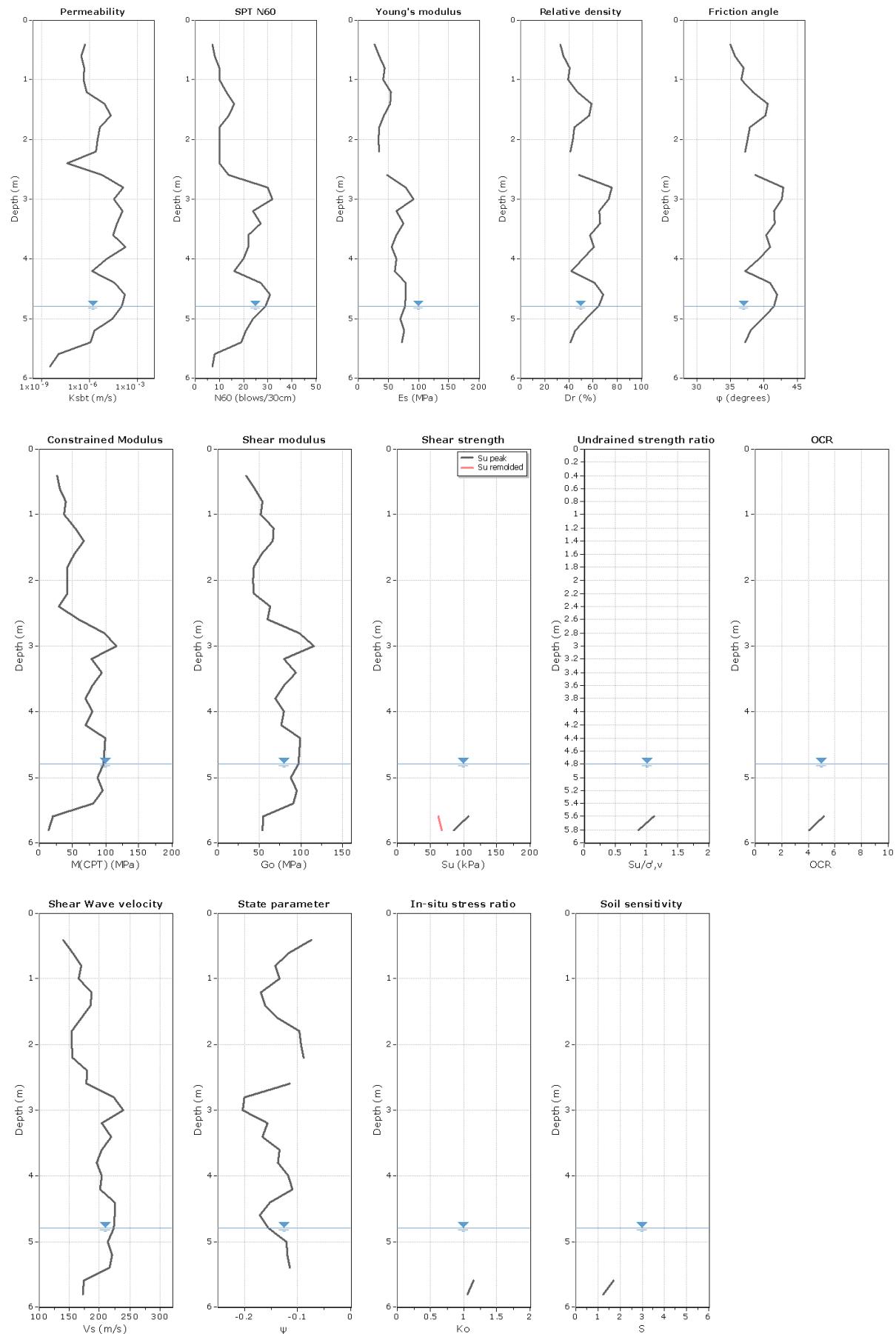
COMUNE DI LODI VECCHIO (LO) STUDIO DELLA COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO

Depth (m)	In situ data					Estimations														
	qc (MPa)	fs (kPa)	SBTn	Ksbt (m/s)	SPT N60 (blows/30cm)	Constrained Mod. (MPa)	Dr (%)	Friction angle (°)	Es (MPa)	Go (MPa)	Nkt	Su (kPa)	Su ratio	Kocr	OCR	Vs (m/s)	State parameter	Ko	Sensitivity	Peak phi (°)
0.4	5.9	53	6	2.50E-05	14	54	58	40	43	54	0	0	0	0.3	0	170	-0.1	0	0	20
0.6	5.4	138	5	2.20E-06	16	76	55	40	61	76	0	0	0	0.3	0	196	-0.2	0	0	20
0.8	6.4	173	5	2.70E-06	19	87	60	41	69	87	0	0	0	0.3	0	208	-0.2	0	0	20
1	11.3	169	6	3.30E-05	27	98	80	43	78	98	0	0	0	0.3	0	220	-0.2	0	0	20
1.2	8.5	169	6	9.70E-06	22	91	70	42	73	91	0	0	0	0.3	0	213	-0.2	0	0	20
1.4	5	98	5	3.40E-06	15	65	53	40	52	65	0	0	0	0.3	0	184	-0.2	0	0	20
1.6	4	102	5	1.20E-06	13	56	48	38	50	63	0	0	0	0.3	0	181	-0.2	0	0	20
1.8	2.7	102	4	2.10E-07	10	37	0	0	46	57	14	190	3.8	0.3	17.6	174	0	1.8	1.8	20
2	5.5	76	6	7.30E-06	15	62	54	40	50	62	0	0	0	0.3	0	181	-0.1	0	0	20
2.2	5.6	89	5	5.20E-06	16	67	53	40	54	67	0	0	0	0.3	0	187	-0.1	0	0	20
2.4	6.9	124	5	5.50E-06	19	82	57	40	65	82	0	0	0	0.3	0	204	-0.2	0	0	20
2.6	12.2	111	6	6.00E-05	27	94	71	42	75	94	0	0	0	0.3	0	219	-0.2	0	0	20
2.8	8.3	98	6	1.50E-05	21	82	59	40	66	82	0	0	0	0.3	0	206	-0.2	0	0	20
3	9.5	62	6	5.50E-05	21	75	60	41	59	75	0	0	0	0.3	0	198	-0.1	0	0	20
3.2	7.4	98	6	8.00E-06	20	82	54	40	66	82	0	0	0	0.3	0	206	-0.1	0	0	20
3.4	9.2	27	6	1.50E-04	19	61	57	40	48	61	0	0	0	0.3	0	183	-0.1	0	0	20
3.6	13.9	120	6	6.20E-05	31	107	70	42	85	107	0	0	0	0.3	0	232	-0.2	0	0	20
3.8	14.7	111	6	8.50E-05	32	107	70	42	85	107	0	0	0	0.3	0	232	-0.2	0	0	20
4	22.9	116	6	4.80E-04	42	122	86	44	97	122	0	0	0	0.3	0	246	-0.2	0	0	20
4.2	21.5	36	7	2.20E-03	34	86	82	44	69	86	0	0	0	0.3	0	215	-0.2	0	0	20
4.4	18.3	53	6	7.00E-04	32	91	76	43	72	91	0	0	0	0.3	0	218	-0.2	0	0	20
4.6	14.5	120	6	6.20E-05	32	111	68	42	89	111	0	0	0	0.3	0	237	-0.2	0	0	20
4.8	8	102	6	6.70E-06	22	91	51	39	73	91	0	0	0	0.3	0	216	-0.1	0	0	20
5	7.9	89	6	8.00E-06	21	87	50	39	70	87	0	0	0	0.3	0	213	-0.1	0	0	20
5.2	7.6	76	6	8.80E-06	20	82	49	39	66	82	0	0	0	0.3	0	208	-0.1	0	0	20
5.4	7.5	93	5	5.50E-06	21	88	48	39	71	88	0	0	0	0.3	0	214	-0.1	0	0	20
5.6	5.1	111	5	7.20E-07	17	70	40	37	69	86	0	0	0	0.3	0	211	-0.1	0	0	20
5.8	6.5	120	5	1.70E-06	20	90	44	38	76	95	0	0	0	0.3	0	220	-0.1	0	0	20

CPT 5/5



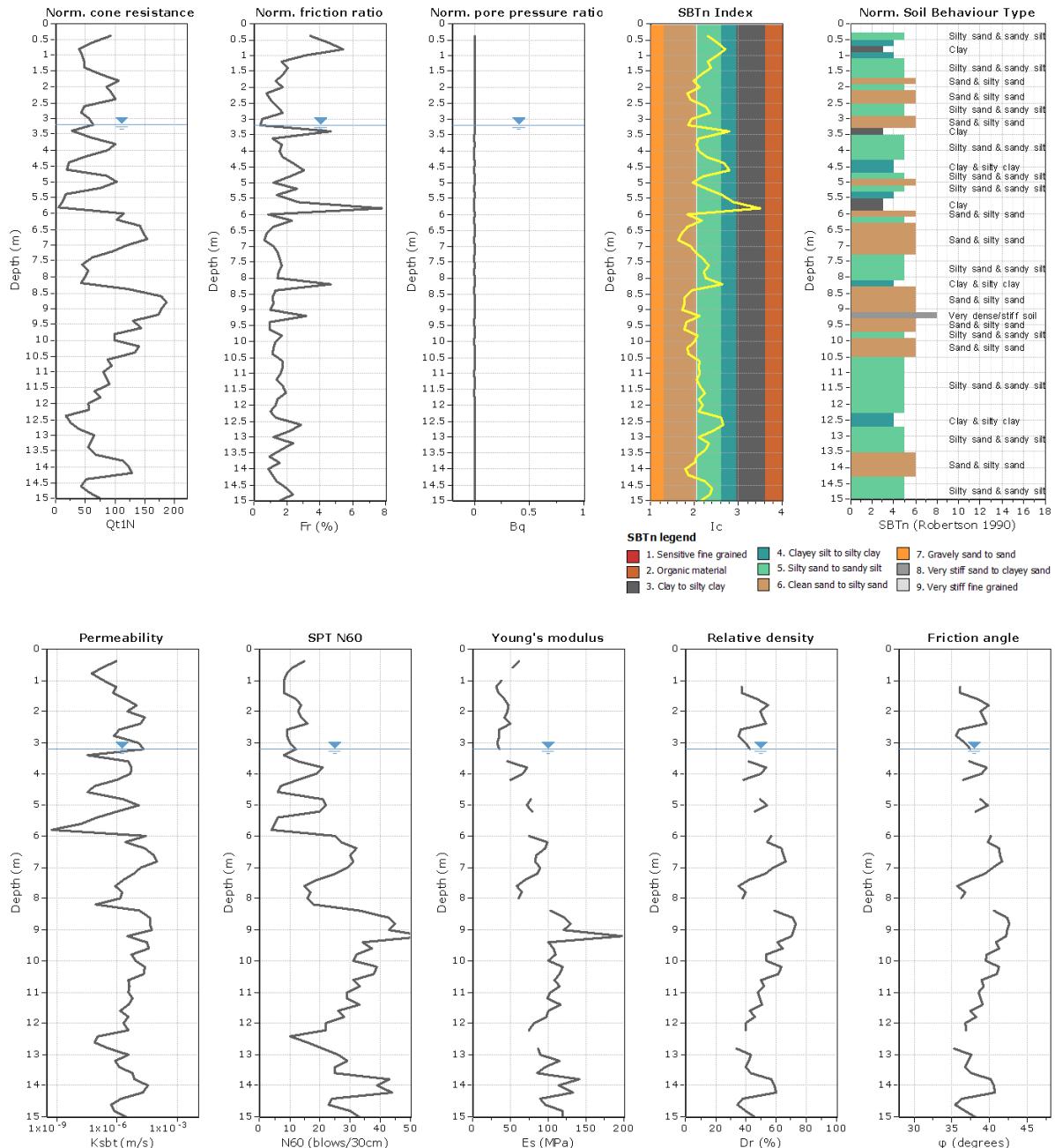
COMUNE DI LODI VECCHIO (LO) STUDIO DELLA COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO

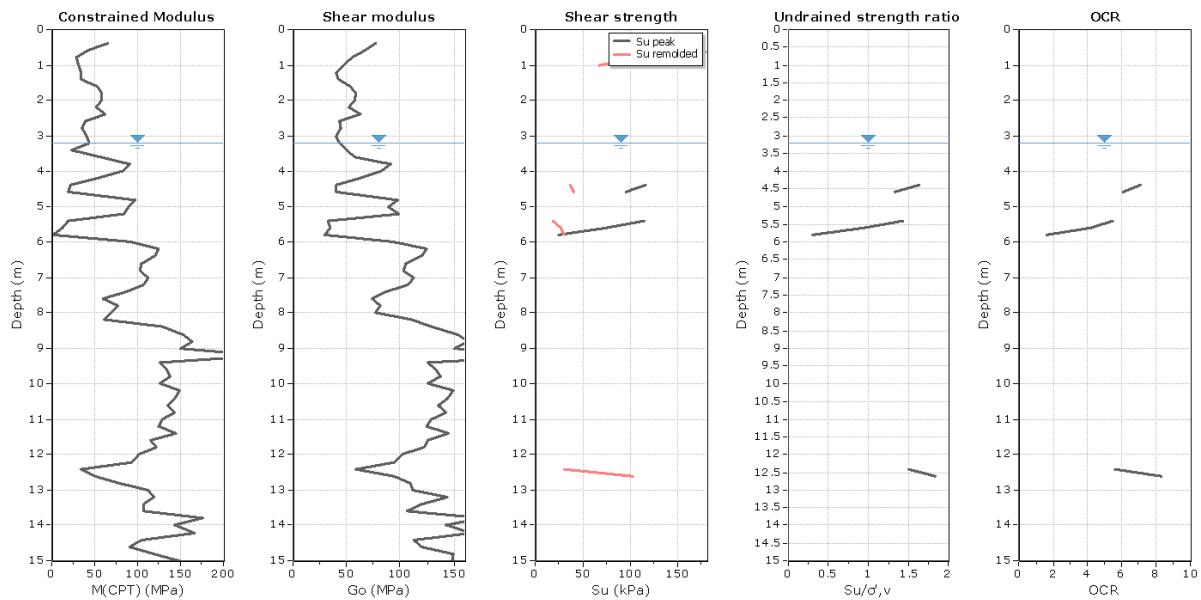


COMUNE DI LODI VECCHIO (LO) STUDIO DELLA COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO

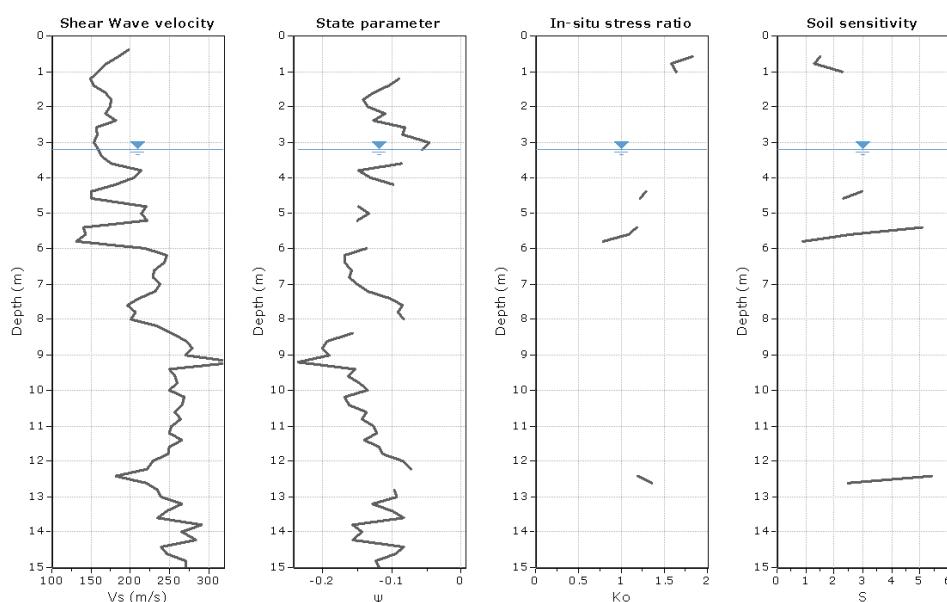
Depth (m)	In situ data										Basic output data											
	qc (MPa)	fs (kPa)	u (kPa)	Other	qt (MPa)	Rf (%)	SBT	Ic SBT	γ (kN/m ²)	σ_v (kPa)	u0 (kPa)	σ'_v, v_o (kPa)	Qt1	Fr (%)	Bq	SBTn	n	Cn	Ic	Qtn		
0.4	1.9	31	0	0	1.9	1.6	4	2.6	17.2	6.9	0	6.9	275.4	1.6	0	5	0.76	2	2.4	37.9		
0.6	2.2	58	0	0	2.2	2.6	4	2.7	18	10.5	0	10.5	209.2	2.6	0	5	0.79	2	2.5	43.8		
0.8	2.9	84	0	0	2.9	2.9	4	2.6	18.5	14.2	0	14.2	203.7	2.9	0	5	0.77	2	2.4	57.7		
1	2.7	76	0	0	2.7	2.8	4	2.6	18.4	17.8	0	17.8	150.4	2.8	0	5	0.78	2	2.4	53.6		
1.2	3.9	124	0	0	3.9	3.2	4	2.6	19.1	21.6	0	21.6	179.2	3.2	0	5	0.75	2	2.3	77.6		
1.4	6.1	93	0	0	6.1	1.5	5	2.2	18.9	25.4	0	25.4	238.9	1.5	0	6	0.61	2	2	121.5		
1.6	5.7	53	0	0	5.7	0.9	5	2.1	18.2	29.1	0	29.1	195.1	0.9	0	6	0.57	2	1.8	113.4		
1.8	3.5	40	0	0	3.5	1.1	5	2.3	17.7	32.6	0	32.6	106.3	1.2	0	5	0.66	2	2.1	69.3		
2	3.3	40	0	0	3.3	1.2	5	2.4	17.7	36.1	0	36.1	90.3	1.2	0	5	0.67	2	2.1	64.7		
2.2	3.2	40	0	0	3.2	1.3	5	2.4	17.7	39.7	0	39.7	79.6	1.3	0	5	0.69	1.9	2.1	59.8		
2.4	2.2	142	0	0	2.2	6.5	3	2.9	19	43.5	0	43.5	49.6	6.6	0	3	0.92	2	2.7	43.1		
2.6	5.1	62	0	0	5.1	1.2	5	2.2	18.4	47.2	0	47.2	107.2	1.2	0	6	0.65	1.6	2	82.2		
2.8	14.5	107	0	0	14.5	0.7	6	1.7	19.4	51	0	51	283.1	0.7	0	6	0.48	1.4	1.6	200.1		
3	13.5	169	0	0	13.5	1.3	6	1.9	19.9	55	0	55	244.4	1.3	0	6	0.56	1.4	1.8	187.5		
3.2	11.5	62	0	0	11.5	0.5	6	1.7	18.7	58.7	0	58.7	194.8	0.5	0	6	0.49	1.3	1.6	148.7		
3.4	11.8	98	0	0	11.8	0.8	6	1.8	19.2	62.6	0	62.6	187.5	0.8	0	6	0.54	1.3	1.7	151		
3.6	9.2	71	0	0	9.2	0.8	6	1.9	18.7	66.3	0	66.3	137.7	0.8	0	6	0.57	1.3	1.8	115.2		
3.8	11	36	0	0	11	0.3	6	1.6	18	69.9	0	69.9	156.3	0.3	0	6	0.47	1.2	1.5	129.5		
4	7.7	76	0	0	7.7	1	6	2	18.8	73.7	0	73.7	103.5	1	0	6	0.62	1.2	1.9	92.3		
4.2	5.1	89	0	0	5.1	1.7	5	2.3	18.8	77.4	0	77.4	64.9	1.8	0	5	0.74	1.2	2.2	60.7		
4.4	11.8	98	0	0	11.8	0.8	6	1.8	19.2	81.3	0	81.3	144.2	0.8	0	6	0.56	1.1	1.8	131.7		
4.6	15.2	76	0	0	15.2	0.5	6	1.6	19	85.1	0	85.1	177.6	0.5	0	6	0.49	1.1	1.6	163.5		
4.8	13.9	76	0	0	13.9	0.5	6	1.6	19	88.9	0	88.9	155.4	0.6	0	6	0.51	1.1	1.6	146.7		
5	9.9	71	2	0	9.9	0.7	6	1.8	18.8	92.6	2	90.7	108.2	0.7	0	6	0.59	1.1	1.8	103.9		
5.2	6.8	116	3.9	0	6.8	1.7	5	2.2	19.2	96.5	3.9	92.6	72.4	1.7	0	5	0.73	1.1	2.2	70.9		
5.4	5.9	111	5.9	0	5.9	1.9	5	2.3	19.1	100.3	5.9	94.4	61.4	1.9	0	5	0.76	1	2.3	60.6		
5.6	1.6	62	7.8	0	1.6	3.9	3	2.9	17.9	103.9	7.8	96	15.6	4.1	0	3	1	1	2.9	15.6		
5.8	1.3	67	9.8	0	1.3	5.1	3	3.1	17.9	107.5	9.8	97.7	12.2	5.6	0	3	1	1	3.1	12.2		
In situ data																						
Estimations																						
Depth (m)	qc (MPa)	fs (kPa)	SBTn	Kb _t (m/s)	SPT N60 (blows/30cm)	Constrained Mod. (MPa)	Dr (%)	Friction angle (°)	Es (MPa)	Go (MPa)	N _{kt}	S _u (kPa)	S _u ratio	K _{ocr}	OCR	V _s (m/s)	State parameter	K _o	Sensitivity	Peak phi (°)		
0.4	1.9	31	5	5.40E-07	7	27	33	35	27	34	0	0	0	0.3	0	140	-0.1	0	0	0	20	
0.6	2.2	58	5	3.00E-07	8	31	35	36	35	44	0	0	0	0.3	0	156	-0.1	0	0	0	20	
0.8	2.9	84	5	4.60E-07	10	40	41	37	43	54	0	0	0	0.3	0	170	-0.1	0	0	0	20	
1	2.7	76	5	4.10E-07	10	38	39	37	41	51	0	0	0	0.3	0	166	-0.1	0	0	0	20	
1.2	3.9	124	5	6.90E-07	13	54	47	38	54	68	0	0	0	0.3	0	186	-0.2	0	0	0	20	
1.4	6.1	93	6	9.00E-06	16	67	59	41	53	67	0	0	0	0.3	0	186	-0.2	0	0	0	20	
1.6	5.7	53	6	2.10E-05	14	53	57	40	42	53	0	0	0	0.3	0	169	-0.1	0	0	0	20	
1.8	3.5	40	5	4.50E-06	10	43	43	38	34	43	0	0	0	0.3	0	154	-0.1	0	0	0	20	
2	3.3	40	5	3.40E-06	10	43	43	38	34	43	0	0	0	0.3	0	154	-0.1	0	0	0	20	
2.2	3.2	40	5	2.60E-06	10	43	41	37	34	43	0	0	0	0.3	0	155	-0.1	0	0	0	20	
2.4	2.2	142	3	4.10E-08	10	30	0	0	63	14	154	3.1	0.3	14.2	180	0	1.6	1.1		20		
2.6	5.1	62	6	5.90E-06	14	60	48	39	48	60	0	0	0	0.3	0	179	-0.1	0	0	0	20	
2.8	14.5	107	6	1.20E-04	30	98	76	43	78	98	0	0	0	0.3	0	223	-0.2	0	0	0	20	
3	13.5	169	6	3.40E-05	32	115	73	43	92	115	0	0	0	0.3	0	239	-0.2	0	0	0	20	
3.2	11.5	62	6	1.10E-04	24	79	65	41	63	79	0	0	0	0.3	0	204	-0.2	0	0	0	20	
3.4	11.8	98	6	5.20E-05	27	94	66	42	75	94	0	0	0	0.3	0	219	-0.2	0	0	0	20	
3.6	9.2	71	6	3.20E-05	22	80	57	40	64	80	0	0	0	0.3	0	204	-0.1	0	0	0	20	
3.8	11	36	6	1.80E-04	22	70	61	41	56	70	0	0	0	0.3	0	195	-0.1	0	0	0	20	
4	7.7	76	6	1.20E-05	20	80	51	39	64	80	0	0	0	0.3	0	204	-0.1	0	0	0	20	
4.2	5.1	89	5	1.40E-06	16	70	42	37	61	77	0	0	0	0.3	0	200	-0.1	0	0	0	20	
4.4	11.8	98	6	3.80E-05	27	99	61	41	79	99	0	0	0	0.3	0	225	-0.2	0	0	0	20	
4.6	15.2	76	6	1.60E-04	31	98	68	42	78	98	0	0	0	0.3	0	225	-0.2	0	0	0	20	
4.8	13.9	76	6	1.10E-04	29	97	65	41	77	97	0	0	0	0.3	0	223	-0.2	0	0	0	20	
5	9.9	71	6	2.80E-05	24	87	54	40	70	87	0	0	0	0.3	0	214	-0.1	0	0	0	20	
5.2	6.8	116	5	2.10E-06	21	95	45	38	76	95	0	0	0	0.3	0	221	-0.1	0	0	0	20	
5.4	5.9	111	5	1.20E-06	19	81	42	37	73	91	0	0	0	0.3	0	217	-0.1	0	0	0	20	
5.6	1.6	62	3	1.10E-08	8	21	0	0	55	14	107	1.1	0.3	5.1	173	0	1.2	1.7		20		
5.8	1.3	67	3	3.60E-09	7	15	0	0	54	14	85	0.9	0.3	4	172	0	1.1	1.2		20		

CPT 01

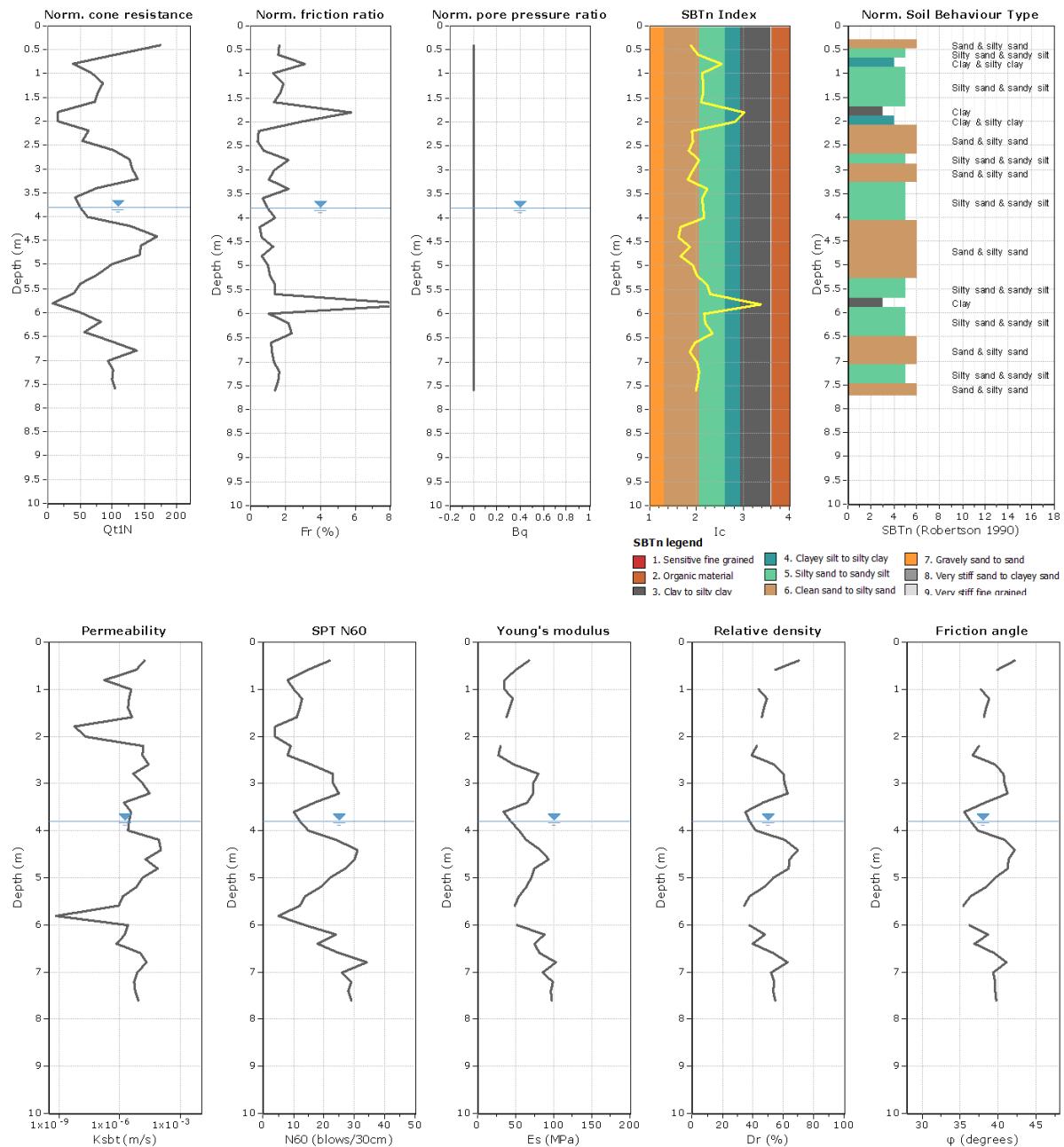


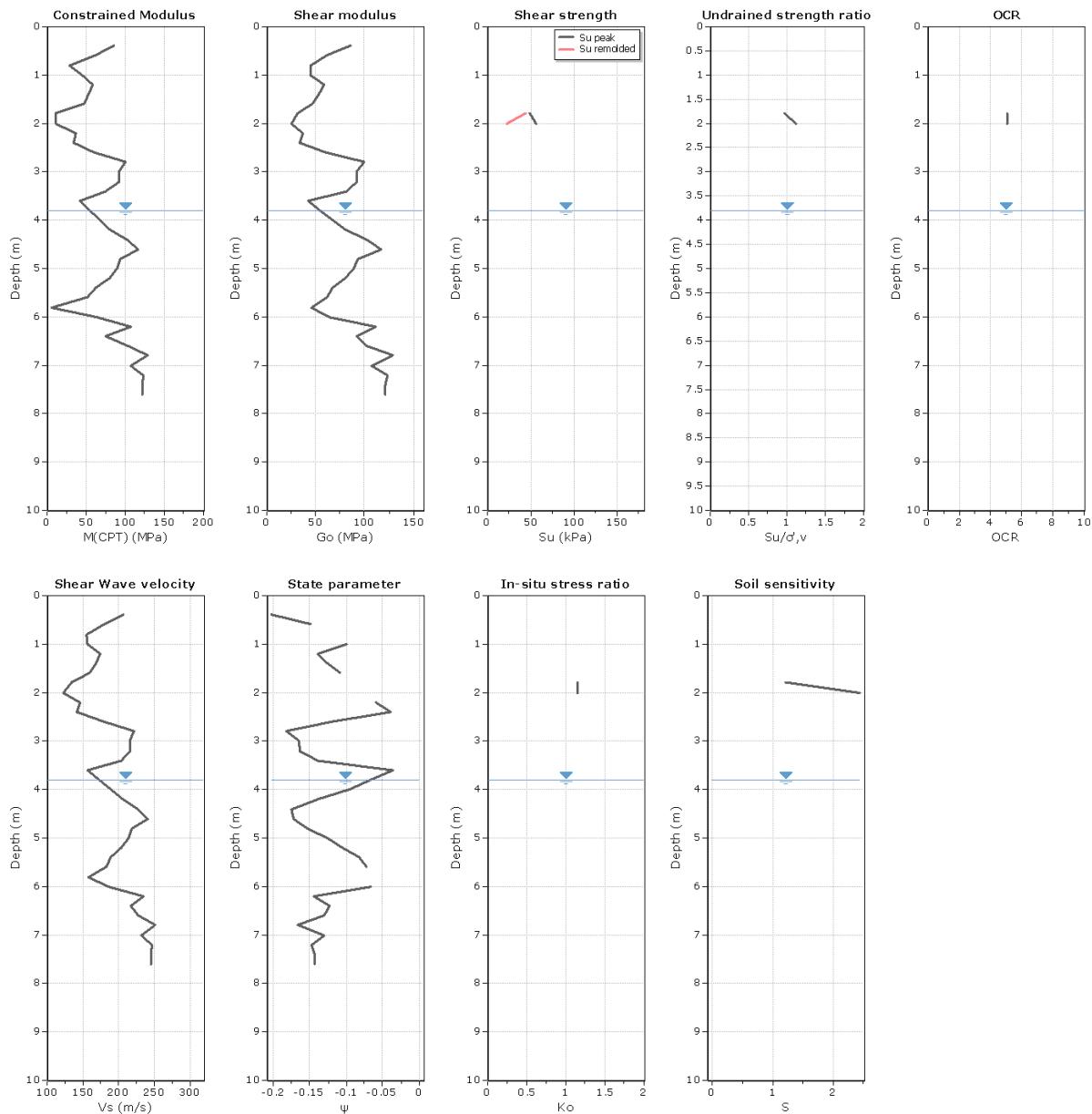
**Calculation parameters**Constrained modulus: Based on variable α_{CPT} using I_c and Q_{CPT} (Robertson, 2009)Go: Based on variable α_{Go} using I_c (Robertson, 2009)Undrained shear strength cone factor for clays, N_{c} : AutoOCR factor for clays, N_{c} : 0.33

User defined estimation data



CPT 02



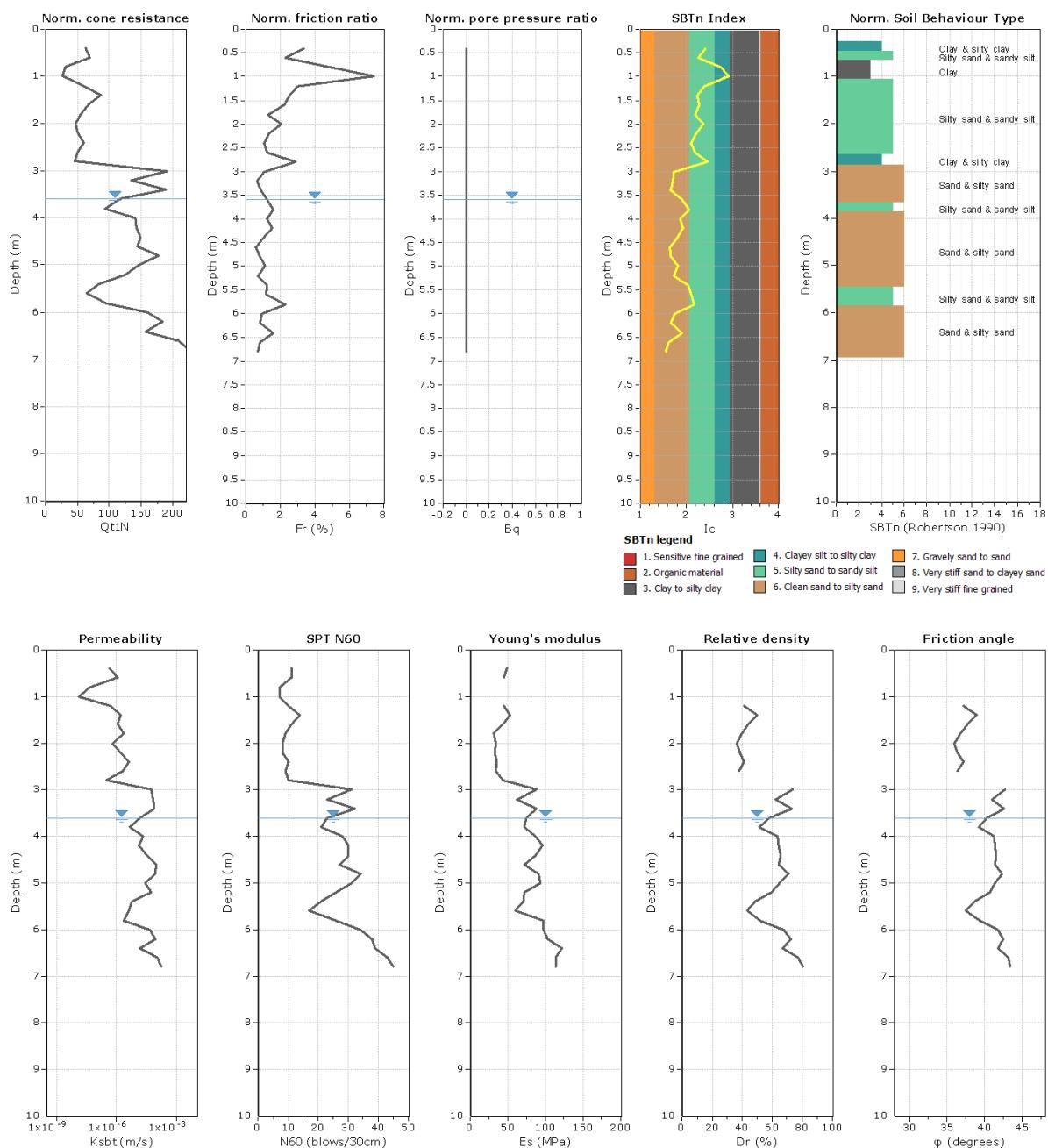
**CPT 03**

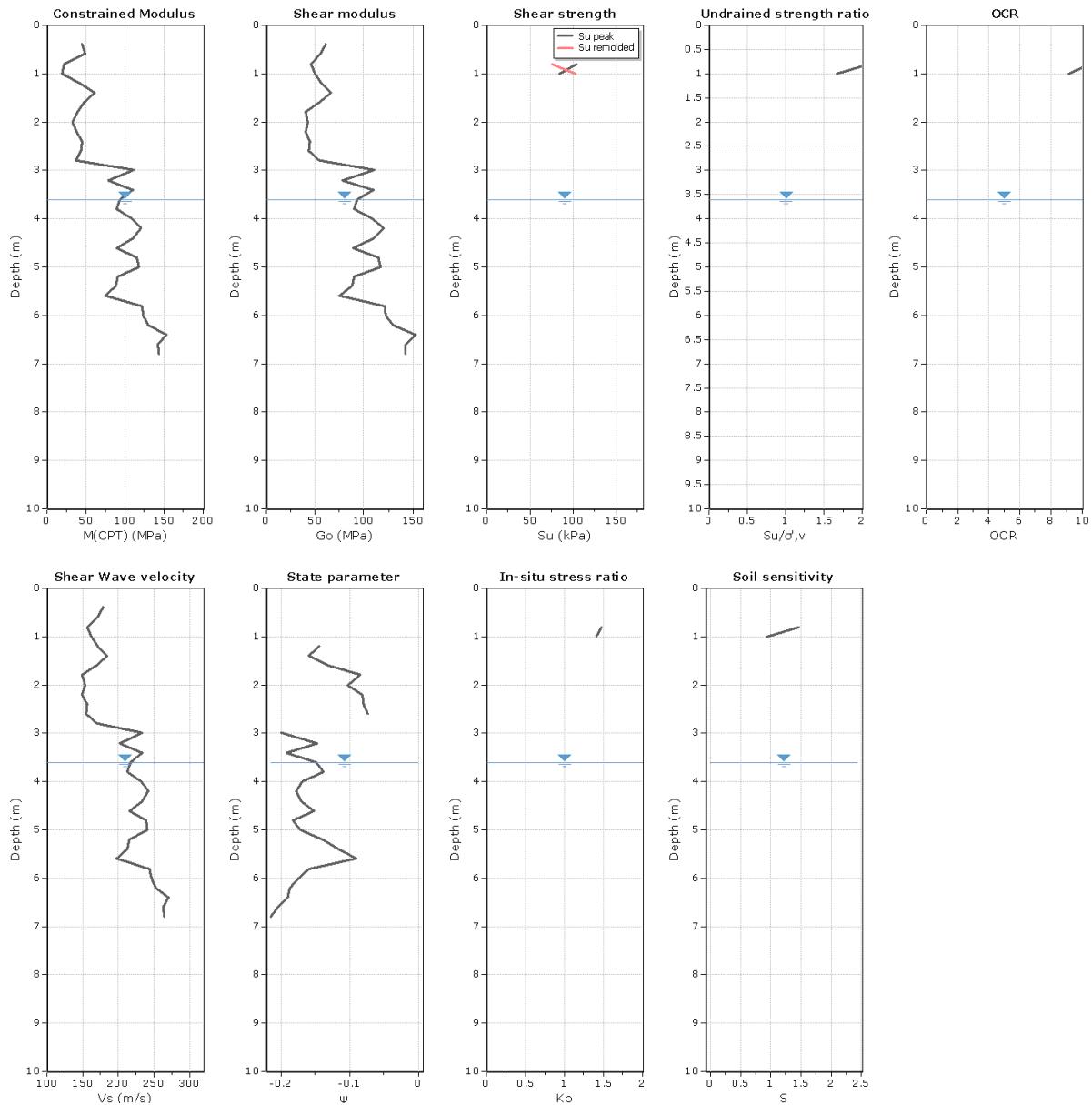
Omessa, simile alla 02

CPT 04

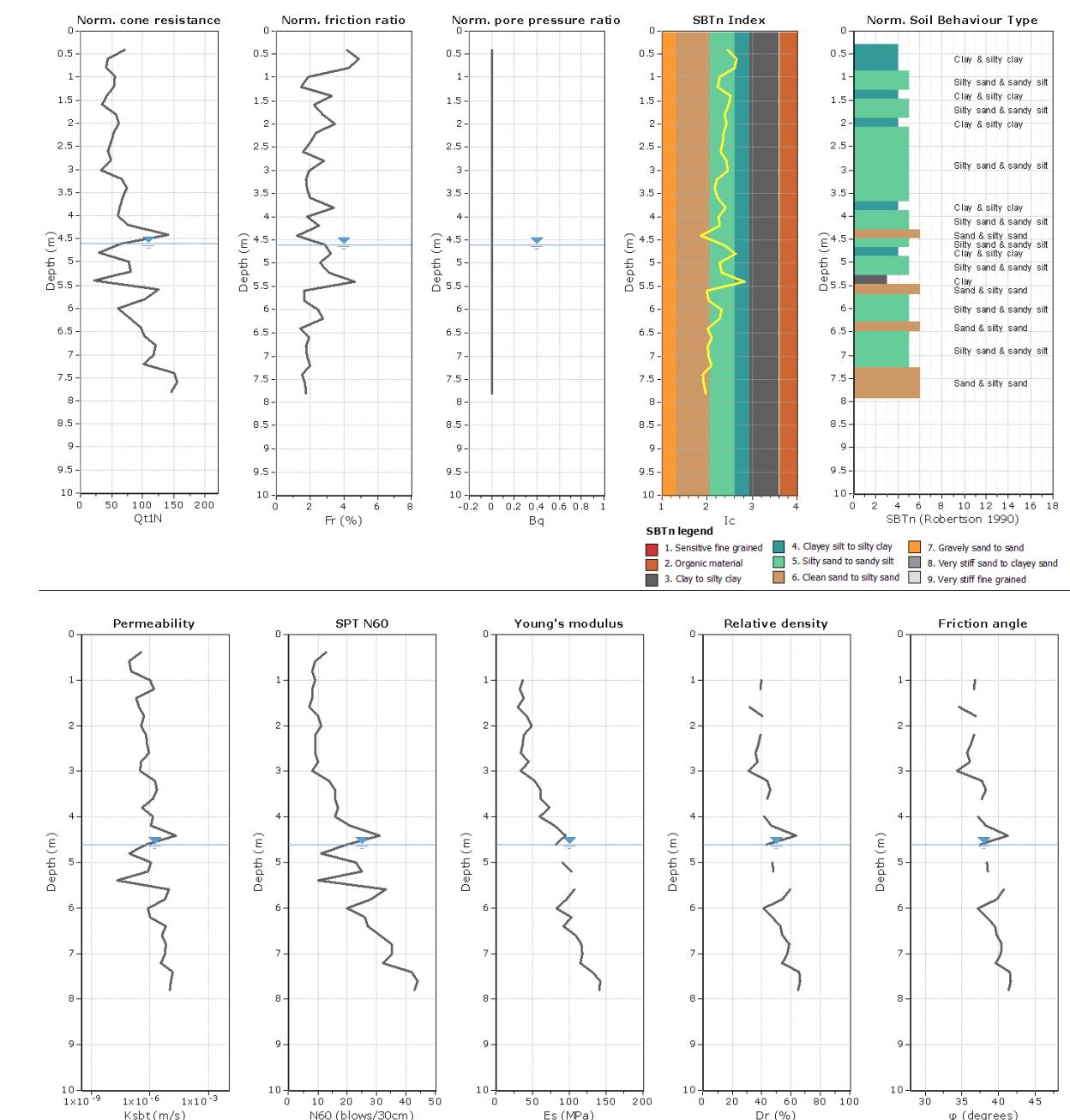
Omessa, simile alla 02

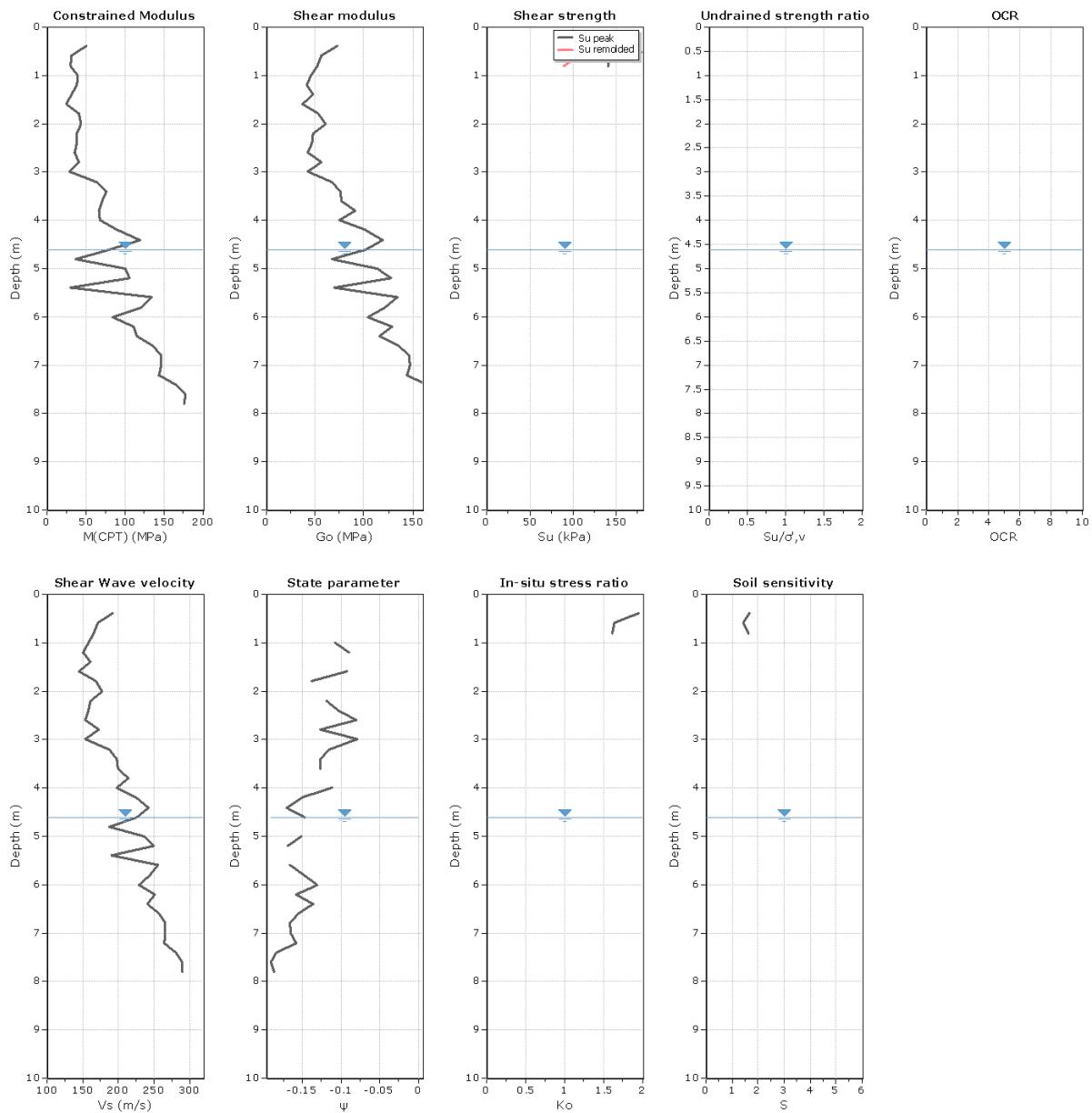
CPT 05



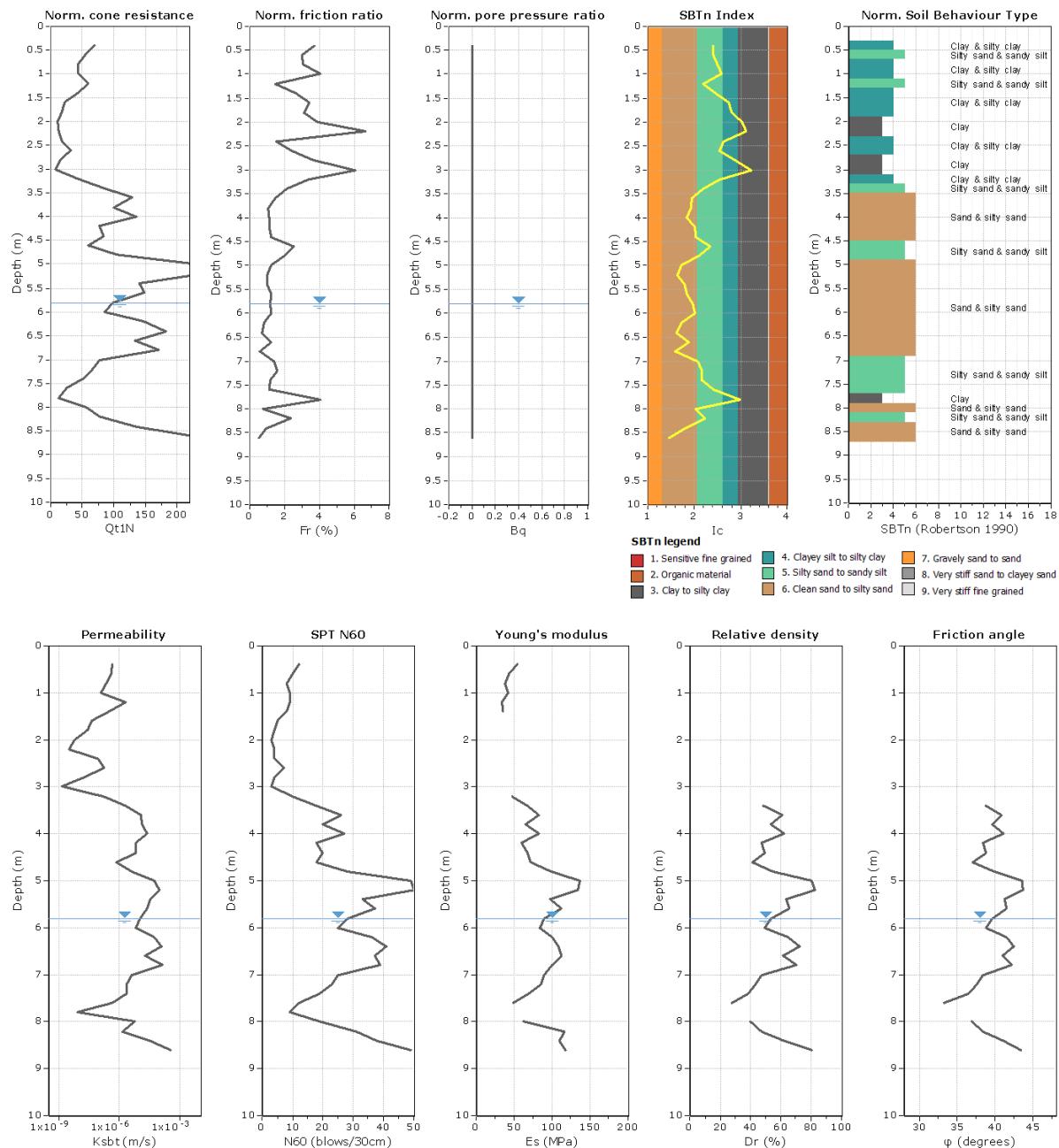


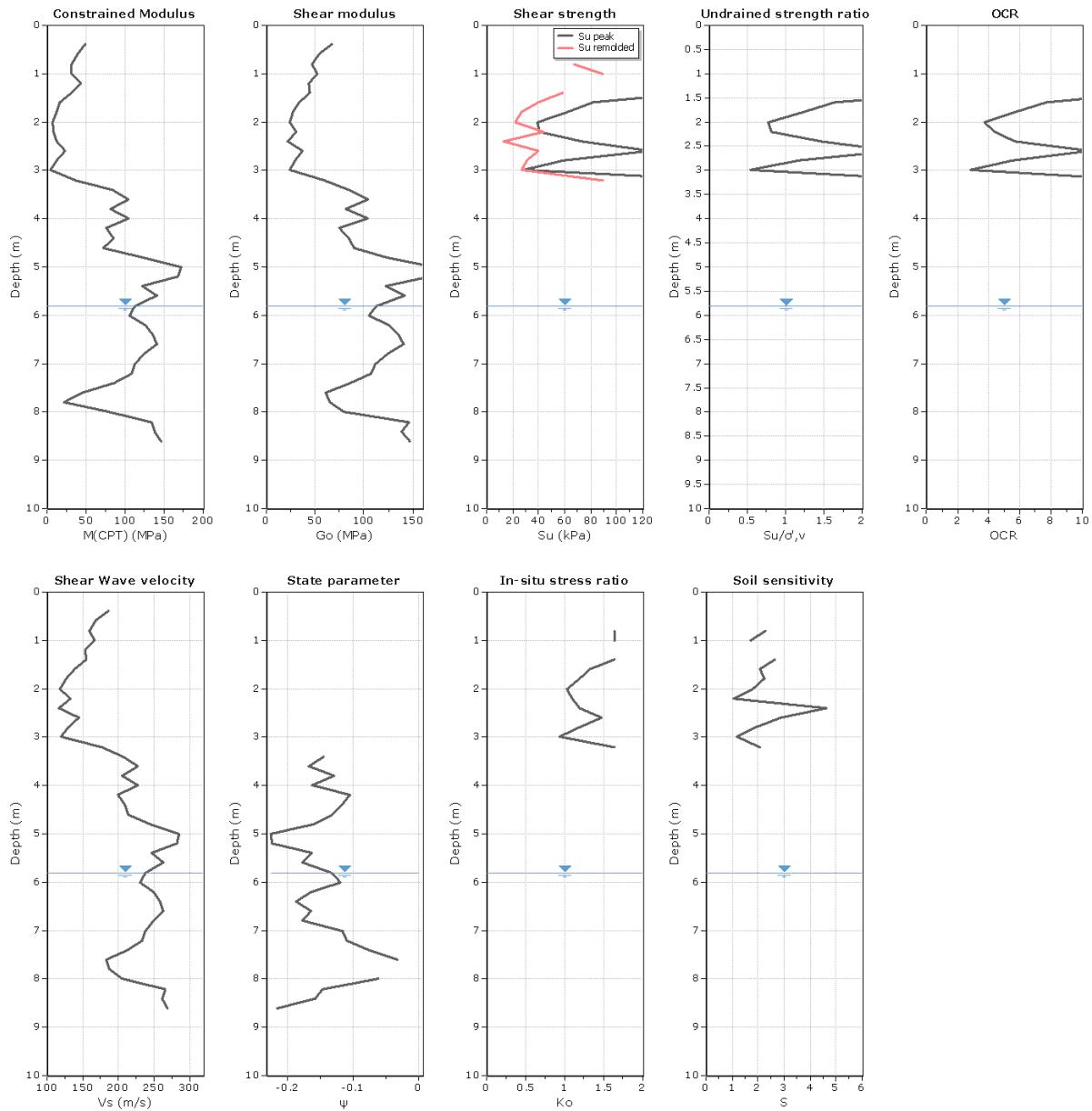
CPT 06



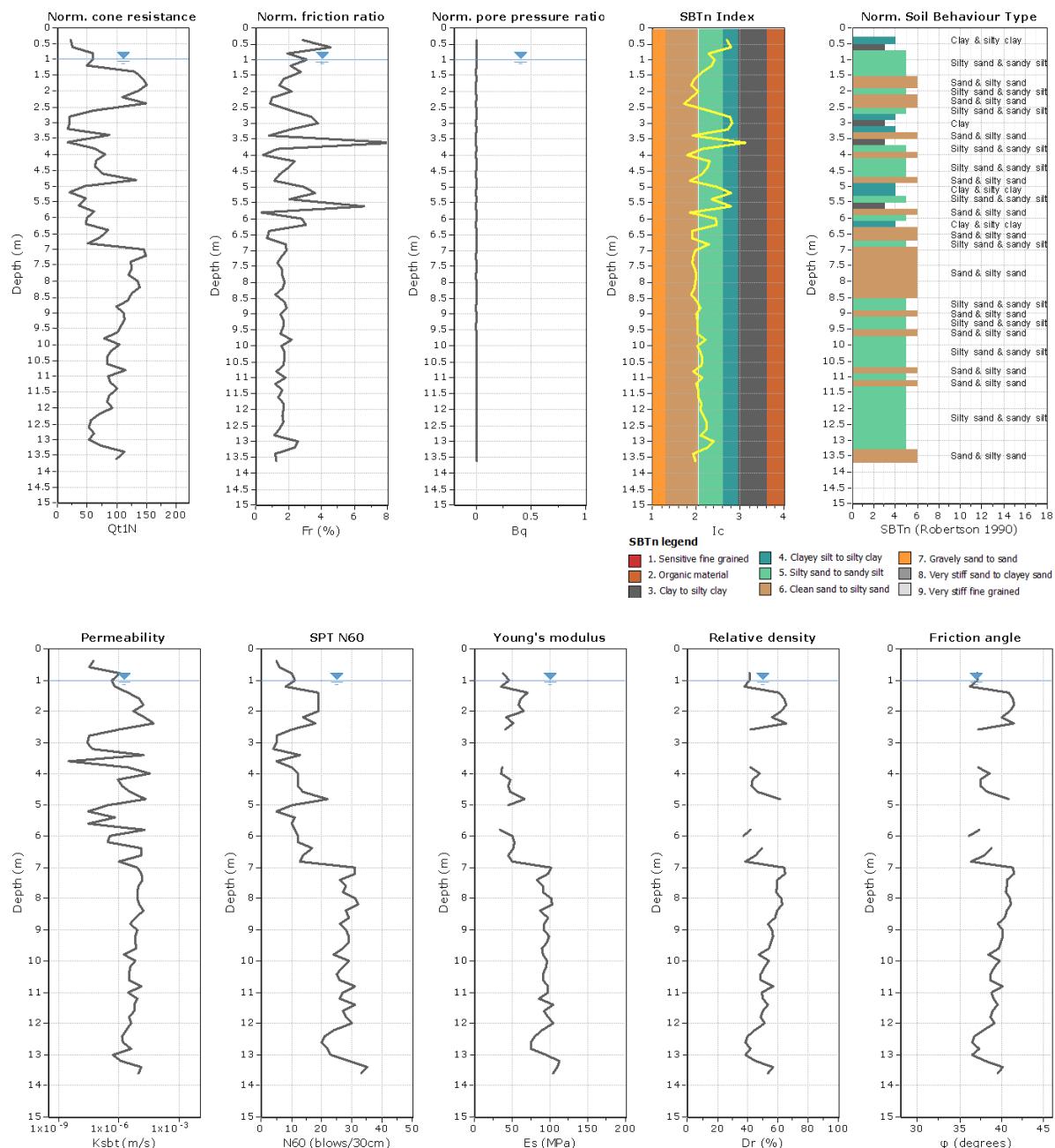


CPT 07

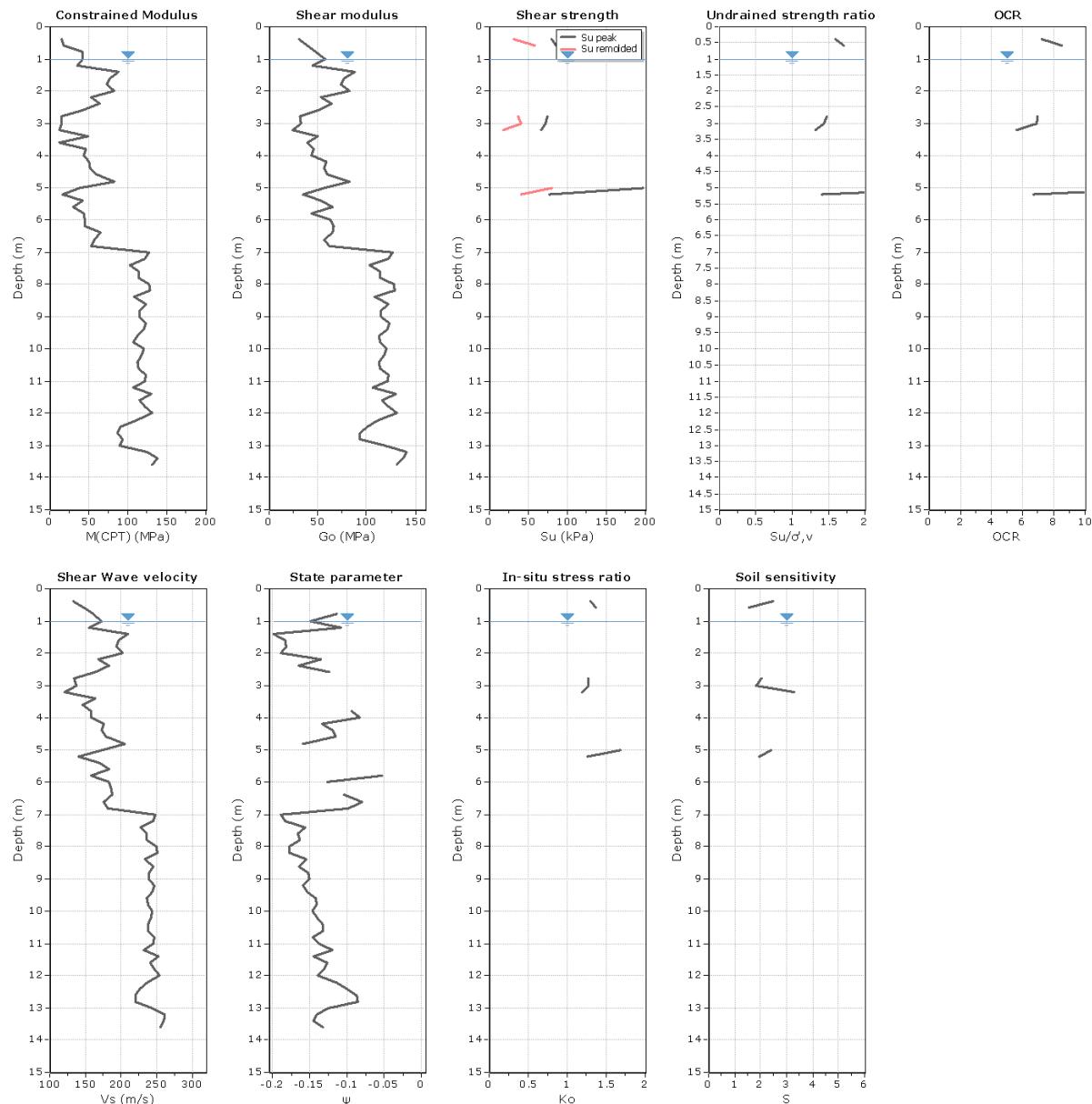




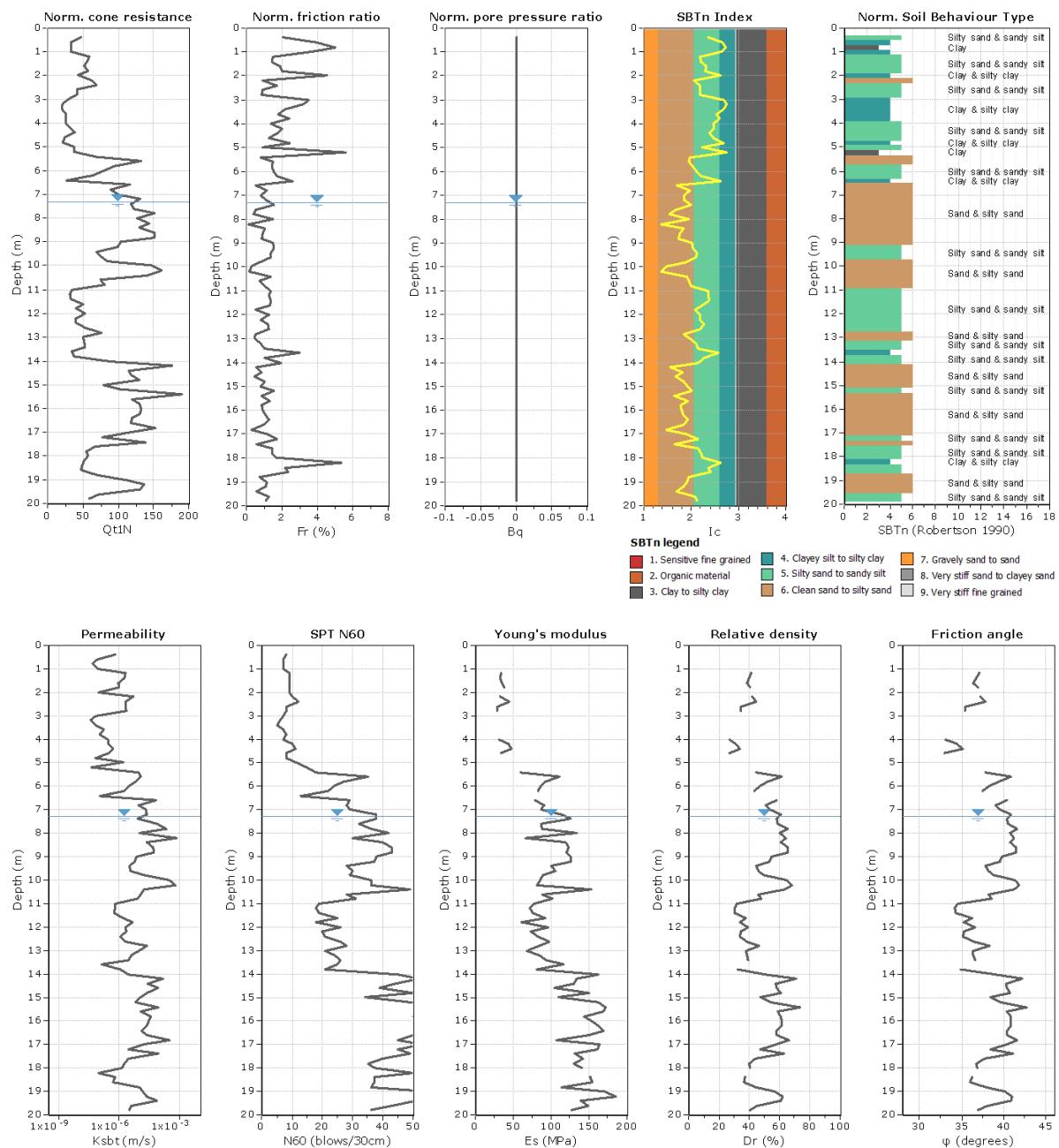
CPT 08

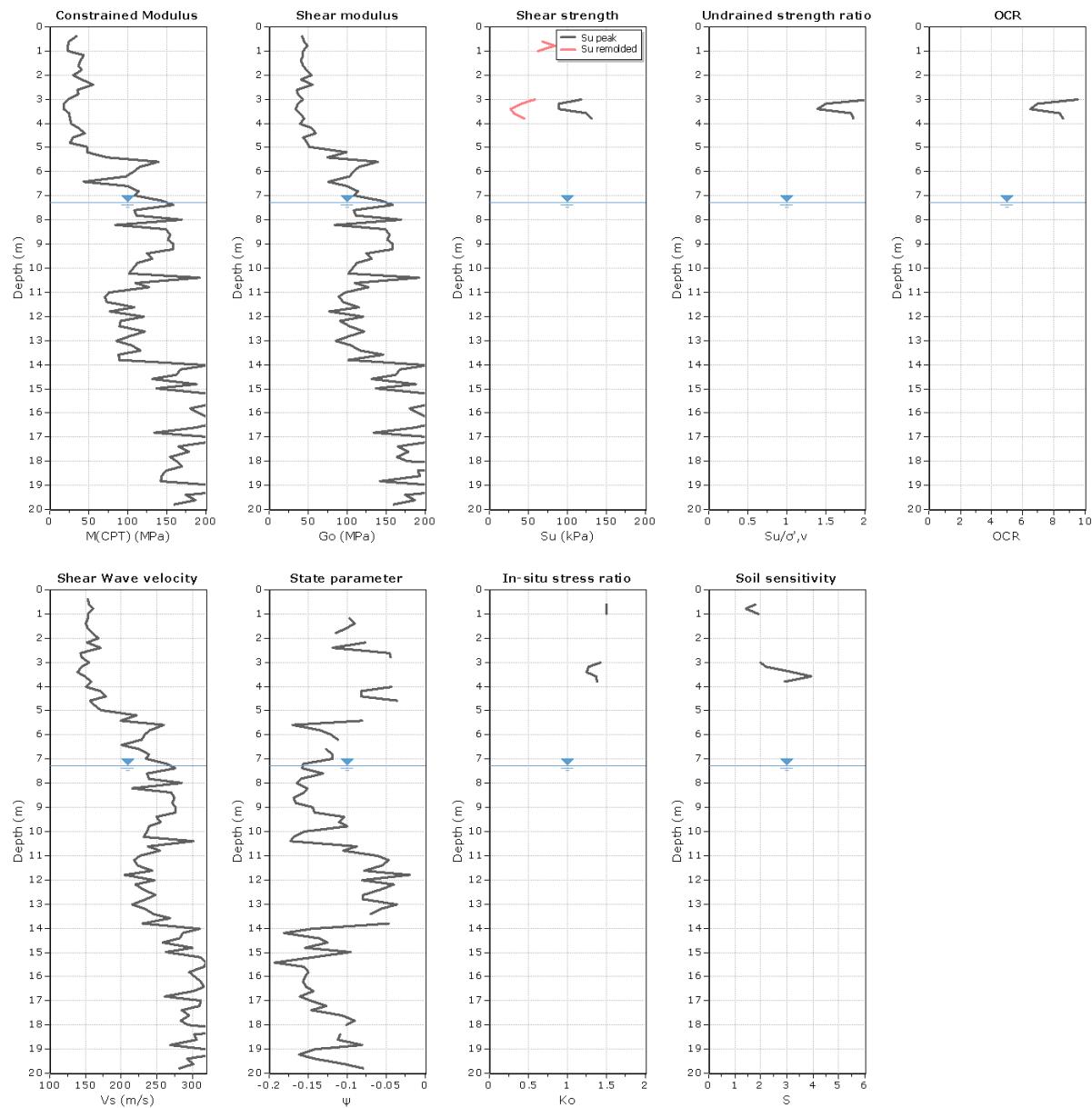


COMUNE DI LODI VECCHIO (LO) STUDIO DELLA COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO



CPT 09





7.2 STIMA DEL CARICO LIMITE

7.2.1 Criteri di valutazione

Per fornire un elemento di distinzione tra le aree basata su aspetti pratici, nonché una valutazione immediatamente utile per la progettazione nell'area urbana, si sono elaborate le prove penetrometriche in modo da ottenere l'andamento del carico limite al variare delle dimensioni delle fondazioni

L'ipotesi considerata riguarda fondazioni superficiali ordinarie aventi le seguenti caratteristiche geometriche : larghezza **B** da **0,6 m a 2,0 m** ; lunghezza **10 B** ; profondità posa dal piano campagna **D = 0,8 m**

Utilizzando l'esito delle prove penetrometriche statiche (CPT) si è quindi calcolato il **CARICO LIMITE** ($q_{ult} = \text{carico a rottura}$, quindi privo di coefficiente di sicurezza ai sensi del D.M. 11 marzo 1988)

La stima del carico limite per brevità, e per evitare l'uso di parametri derivati che sempre risentono di scelte soggettive, è stata eseguita impiegando la relazione riferita nella figura seguente, utilizzando i valori medi di q_c sotto la fondazione ipotizzata fino a profondità $-1,5 B$.

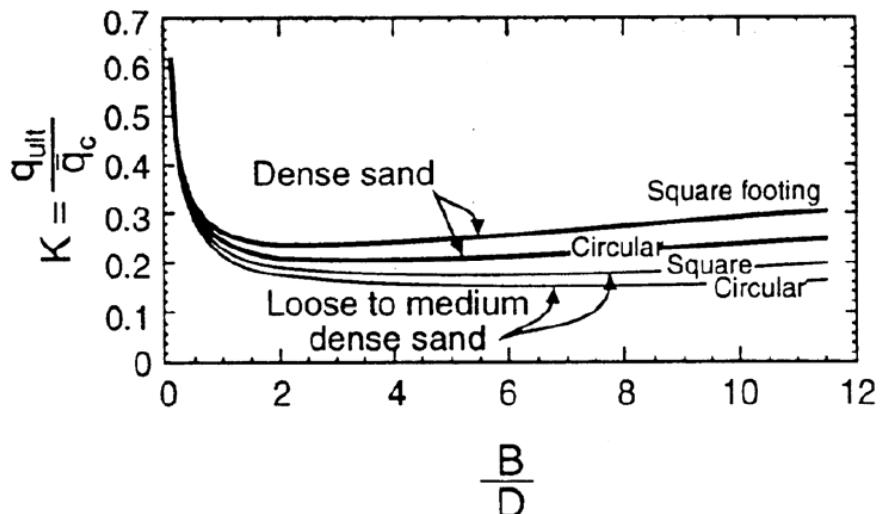


Figura 14 : Correlation between bearing capacity of footing on cohesionless soils and average cone. Eslamizaad, S., and Robertson, P. K. "Cone Penetration Test to Evaluate Bearing Capacity of Foundations in Sands." Submitted to 49th Canadian Geotechnical Conference, St. John's, Newfoundland. 122 - 22 - 1996.

Tratto da: Guide to Cone Penetration Testing For Geotechnical Engineering By P. K. Robertson and K.L. Cabal (Robertson). Gregg Drilling & Testing, Inc. 3rd Edition January 2009

In presenza di suoli coesivi, come suggerito da P. K. Robertson (2009), $q_{ult} = K_{su} q_c (\text{av}) + \gamma D$ con K_{su} = da 0,30 a 0,60 in funzione del rapporto B/D , della forma e del valore di sovraconsolidazione OCR. In generale si assume $K_{su} = 0,30$ in argille.

I valori di K_{su} usati in terreni in prevalenza coesivi sono stati compresi tra 0,2 e 0,3 in funzione della presenza più o meno abbondante della frazione sabbiosa nel profilo immediatamente sottostante la fondazione.

7.2.2 Risultati delle elaborazioni e relativi commenti

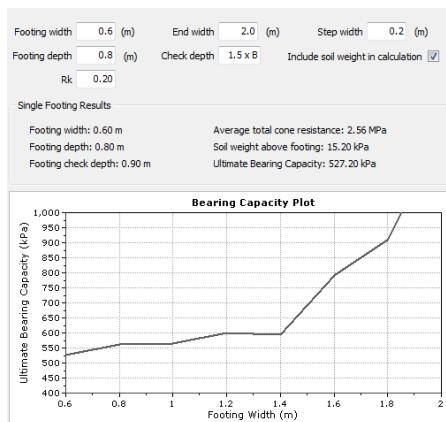
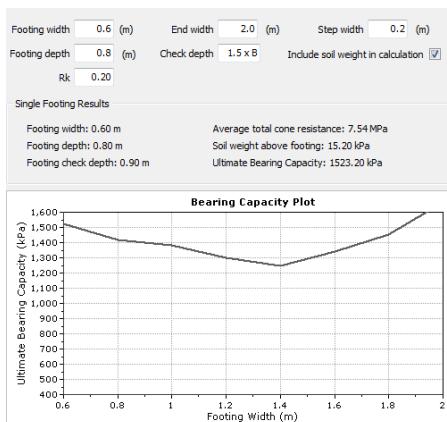
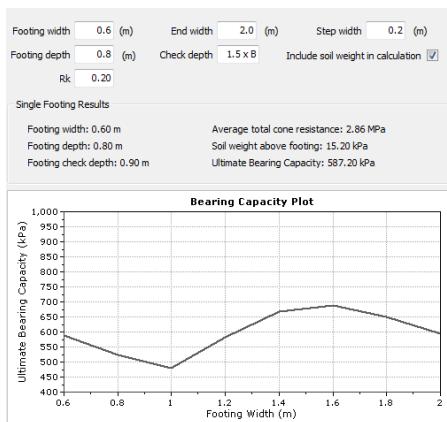
Il valori di carico limite in funzione del variare delle dimensioni delle fondazioni, determinato secondo le procedure riferite e nel paragrafo precedente, è illustrato nelle seguenti figure:

CPT 1/5

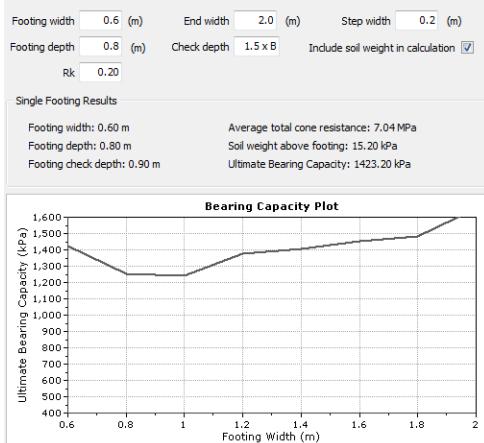
CPT 2/5

CPT 3/5

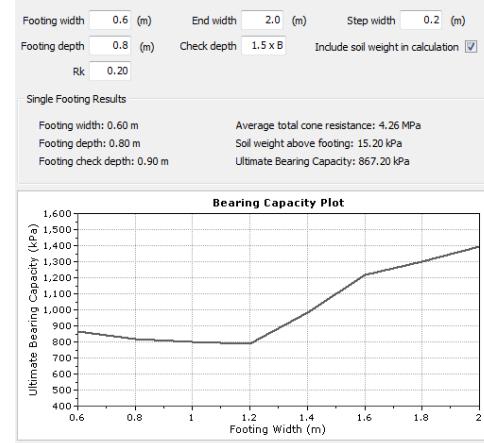
COMUNE DI LODI VECCHIO (LO) STUDIO DELLA COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO



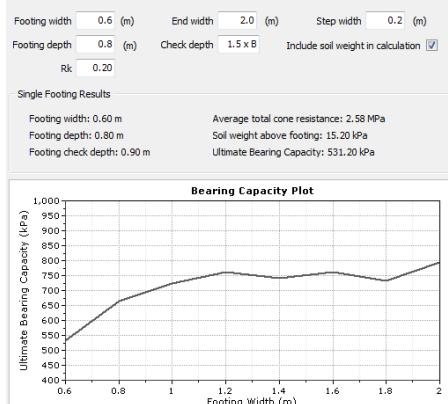
CPT 4/5



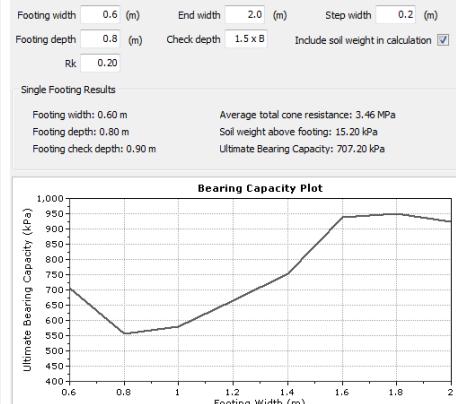
CPT 5/5



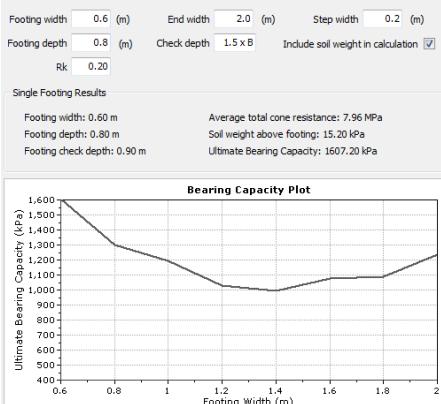
CPT 01



CPT 02



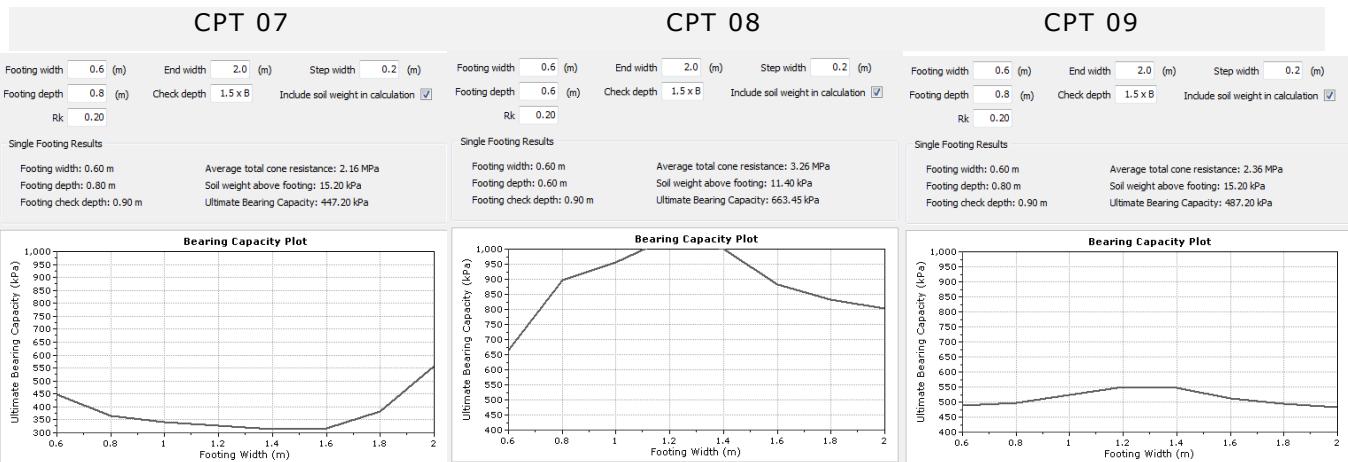
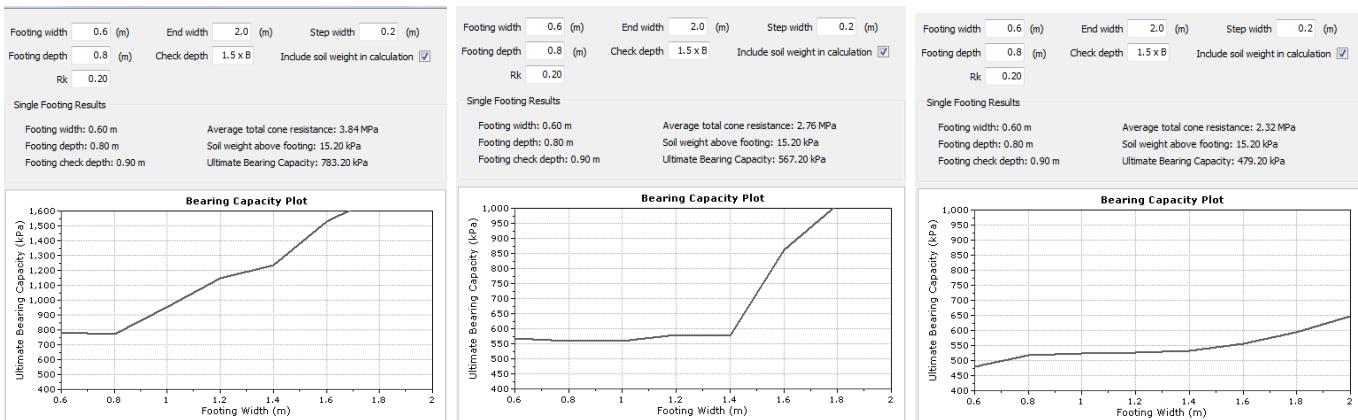
CPT 03



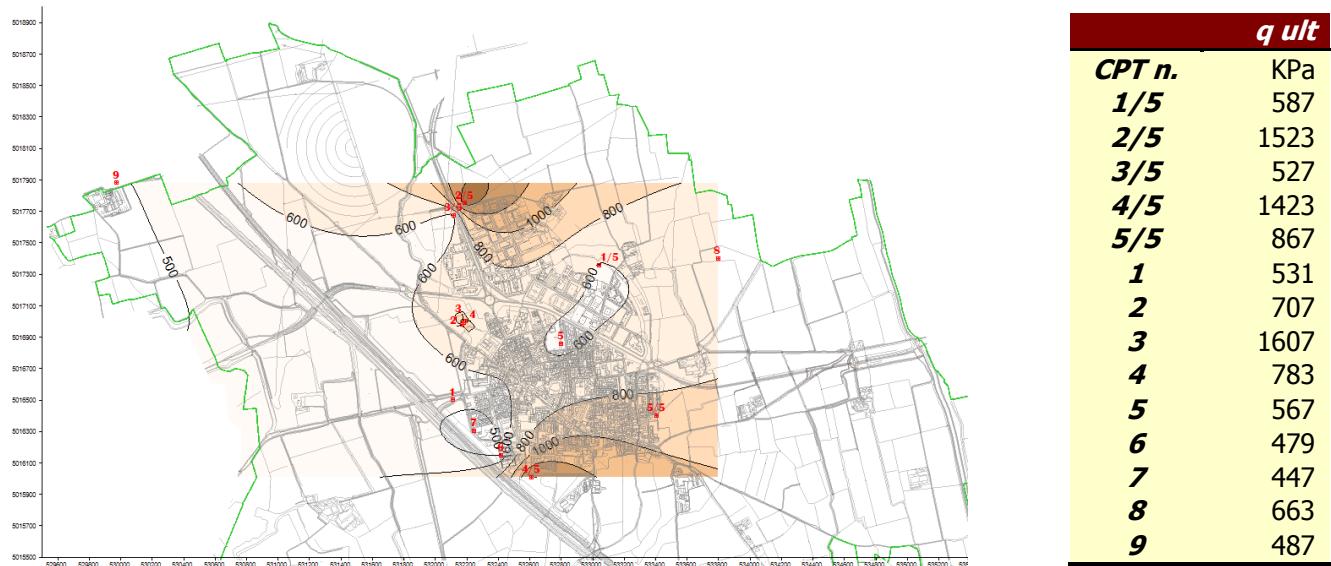
CPT 04

CPT 05

CPT 06



Con riferimento ai valori individuati per fondazioni di larghezza di 0,6 metri, si è elaborata una rappresentazione planimetrica riportata nella figura seguente:



I **carichi limite** (q_{ult} = carico a rottura, quindi privo di coefficiente di sicurezza ai sensi del D.M. 11 marzo 1988) presentano una distribuzione abbastanza uniforme con valori per lo

più compresi tra 600 e 800 kPa (la media armonica di tutte le verticali è di 668 kPa) e massimi in corrispondenza della verticali 2/5 4/5 e 3 . Valori moderatamente inferiori interessano la parte dell'area sud ovest dell'abitato (prove 1,7, 6) e la prova 9 eseguita presso la C.na Gallinazza.

In sintesi non si segnalano condizioni problematiche, ma si è ugualmente ritenuto necessario precisare con l'istituzione della sottoclasse 3b che l'ampia fascia caratterizzata dal paleoalveo del Sillaro può essere interessata da depositi poco sovraconsolidati, ed è quindi necessario valutare gli interventi tenendo conto di tale eventualità.

L'esito della prova CPT 1/5, dove si osservano varie intercalazioni limo argillose con OCR 4-8 e $S_u < 100$ kPa e dell'indagine sismica sull'area AT8, che mostra una lieve inversione del gradiente delle Vs con la profondità, da -3 a -6 metri (v. § 8.3.3), sono gli unici indizi di tale potenziale anomalia osservati nel territorio comunale, che però è apparsa in termini più evidenti nel territorio di Borgo San Giovanni, chiaramente associata alla citata struttura morfologica.

8 Aspetti sismologici e risposta sismica locale

8.1 RIFERIMENTI NORMATIVI E DEFINIZIONI

La normativa regionale richiede che tra gli elementi di pericolosità geologica siano valutati i possibili effetti che particolari condizioni geologiche e geomorfologiche (condizioni locali) possono determinare in occasione di eventi sismici.

La **pericolosità sismica di base** è definita da studi sismologici nazionali e regionali, mentre gli effetti locali sono distinti in funzione del comportamento dinamico dei materiali coinvolti, e principalmente dipendono dalla morfologia e dalle caratteristiche meccaniche del terreno presente nelle prime decine di metri.

In funzione di tali caratteristiche, si distinguono **due grandi gruppi di effetti locali**: quelli determinati dall'**amplificazione sismica locale** e quelli dovuti all'**instabilità**.

La prima interessa terreni stabili ma che per effetto della loro disposizione e caratteristiche meccaniche producono modificazioni in ampiezza, durata e contenuto in frequenza del moto sismico (terremoto di riferimento) proveniente da una sottostante formazione rocciosa (bedrock). Nell'ambito di tale fenomeno si distinguono:

1. **amplificazione topografica**, che si manifesta quando sono presenti morfologie superficiali più o meno articolate che favoriscono la focalizzazione delle onde sismiche in prossimità della cresta del rilievo a seguito di fenomeni di riflessione sulla superficie libera e di interazione fra il campo d'onda incidente e quello diffratto. Secondo quanto indicato nella **Tabella 3.2.IV** – Categorie topografiche – delle NTC 2008 si distinguono

- T1 Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
- T2 Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
- T3 Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
- T4 Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Le suesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

In territorio di Lodi Vecchio le aree della scarpata morfologica principale presentano acclività medie comprese tra i 15° ed i 30° , ma il dislivello massimo è di circa 6 metri e quindi non rientrano tra quelle soggette ad amplificazione topografica.

2. **amplificazione litologica** che si verifica quando le condizioni locali sono rappresentate da morfologie sepolte (bacini sedimentari, chiusure laterali, corpi lenticolari, eteropie ed interdigitazioni, gradini di faglia ecc.), e da particolari profili stratigrafici costituiti da litologie con determinate proprietà meccaniche; tali condizioni possono generare esaltazione locale delle azioni sismiche trasmesse dal terreno, fenomeni di risonanza fra onda sismica incidente e modi di vibrare del terreno e fenomeni di doppia risonanza fra periodo fondamentale del moto sismico incidente e modi di vibrare del terreno e della sovrastruttura. Tale condizione **può essere presente a Lodi Vecchio** soprattutto **nelle aree interessate dei depositi olocenici posti in prossimità del Lambro**, ma le indagini disponibili, sia sismiche che geotecniche non individuano **indizi di strutture sepolte nell'area urbana e periferica in grado di determinare variazioni significative delle onde sismiche**.

L'instabilità interessa i terreni che mostrano un comportamento instabile o potenzialmente instabile nei confronti delle sollecitazioni sismiche attese, e sono rappresentati in generale da collassi e movimenti di grandi masse. Questa condizione è **potenzialmente presente nel territorio di Lodi Vecchio solo per brevi tratti lontani da aree urbanizzate** (fronti di cava lunghi circa 1500 m ad ovest della località Fornace), dove le scarpate artificiali hanno altezze inferiori a 6 metri e possono produrre solo moderati dissesti. Le scarpate osservate sono apparse stabili e si segnalano solo modesti franamenti (circa 10 m³) lungo le sponde del fiume Lambro Settentrionale, generate probabilmente dallo scorrimento di acque superficiali durante l'attività irrigua.

Nei terreni granulari sopra falda sono possibili cedimenti a causa della **densificazione** del materiale, mentre sotto falda sono possibili fenomeni di **liquefazione**.

Nel territorio in esame fenomeni di densificazione, che producono cedimenti in terreni non saturi, non sono probabili perché l'evento sismico atteso è molto basso e il fenomeno interessa solo terreni naturali o artificiali (ad esempio i terreni di riporto) a grana sabbiosa-limosa e messa in posto recente¹¹.

Per quanto concerne il rischio di liquefazione, ovvero di perdita istantanea di capacità portante per incremento delle pressioni neutre generate dal sisma, le elaborazioni effettuate con i dati delle prove penetrometriche disponibili hanno condotto ad **escludere tale rischio nelle aree indagate, e quindi a ritenere tale fenomeno molto improbabile in tutto il territorio**.

Fenomeni analoghi a quelli della liquefazione possono interessare anche depositi/unità stratigrafiche contenenti argille tissotropiche, il cui rifluimento può innescare frane superficiali o espansioni laterali.

Con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica..." è in vigore la nuova classificazione sismica, che suddivide il territorio nazionale in 4 zone sismiche e colloca **Lodi Vecchio nella zona 4**, di bassa sismicità, caratterizzata da una accelerazione orizzontale massima su suolo di categoria A ($V_s > 800$ m/s) → **$a_g = 0,05$ g**, con g = accelerazione di gravità = 9,81 m/s².

La Regione Lombardia, con d.g.r. n. 14964 del 7 novembre 2003, ha preso atto della classificazione imponendo l'obbligo, in zona 4, della progettazione antisismica esclusivamente per gli **edifici strategici** (la cui funzionalità deve permanere dopo gli eventi sismici perché sono fondamentali per gli interventi di protezione civile) e **per gli edifici e le opere infrastrutturali** di competenza regionale **rilevanti** (oggetto di particolare attenzione perché possono ospitare numerose persone, oppure servono alle comunicazioni e alle esigenze di base della collettività (elettricità - gas - acqua) così come individuati dal d.d.u.o. n. 19904 del 21 novembre 2003.

¹¹ Definizioni tratte da: Linee guida per la realizzazione dello studio di compatibilità sismica per i Piani di Assetto del Territorio comunali e intercomunali (PAT e PATI) – D.G.R. n. 3308/2008 Regione Veneto

Per **Lodi Vecchio** gli **EDIFICI STRATEGICI** sono costituiti dalla **sede comunale, dal magazzino comunale** e dalla **caserma dei carabinieri** quali centri funzionali di protezione civile.

Gli **EDIFICI RILEVANTI** sono costituiti dalle **scuole**, dalle **strutture ricreative, sportive e culturali**, locali di spettacolo e d'intrattenimento in genere, e dagli edifici di culto. Per quanto concerne le **opere infrastrutturali** rilevati non di competenza statale si possono considerare le **S.P. 105 e 140** con i relativi ponte sull'A1 e sul canale Muzza, gli edifici che ospitano i **pozzi dell'acquedotto e strutture connesse e le industrie che detengono prodotti pericolosi**.

La **tavola 6b** riferisce l'ubicazione e la tipologia degli edifici soggetti a tale disciplina regionale.

In adempimento a quanto previsto dalla citata Ordinanza 3274/03 e dal successivo d.m. 14 settembre 2005 la regione Lombardia ha previsto l'analisi dell'amplificazione sismica del territorio e la redazione della carta della pericolosità sismica locale secondo una metodologia che prevede tre livelli di approfondimento:

Primo livello: riconoscimento delle **aree passibili di amplificazione sismica** sulla base sia di osservazioni geologiche (cartografia di inquadramento), sia di dati esistenti. Questo livello, obbligatorio per tutti i Comuni, prevede la redazione della Carta della pericolosità sismica locale, nella quale deve essere riportata la perimetrazione areale delle diverse situazioni tipo, riportate nella Tabella 1 dell'Allegato 5, in grado di determinare gli effetti sismici locali (aree a pericolosità sismica locale - PSL).

Il **secondo livello** consente una caratterizzazione semi-quantitativa degli effetti di amplificazione attesi, ed in zona sismica 4 deve essere applicato, nelle aree PSL **Z3 e Z4**, nel caso di **costruzioni strategiche e rilevanti** individuate ai sensi della d.g.r. n. 14964/2003 come sopra illustrato, ferma restando la facoltà dei Comuni di estenderlo anche alle altre categorie di edifici.

Per le aree **Z2** non è prevista l'applicazione degli studi di 2^o livello, ma il passaggio diretto a quelli di 3^o livello, il quale comporta la definizione degli effetti di amplificazioni tramite indagini e analisi approfondite.

Benché la normativa regionale preveda tale esame **solo per la progettazione di edifici strategici e rilevanti**, un'**analisi preliminare della pericolosità** relativa a questo fattore è espressa di seguito mediante l'elaborazione dei dati di alcune delle verticali penetrometriche disponibili.

Sigla	SCENARIO PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE	EFFETTI
Z1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	Instabilità
Z1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	
Z1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana	
Z2a	Zone con terreni di fondazione saturi particolarmente scadenti (riporti poco addensati, depositi altamente compressibili, ecc.)	Cedimenti
Z2b	Zone con depositi granulari fini saturi	
Z3a	Zona di ciglio H > 10 m (scarpata, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica, ecc.)	Amplificazioni topografiche
Z3b	Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite - arrotondate	
Z4a	Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	Amplificazioni litologiche e geometriche
Z4b	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre	
Z4c	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)	
Z4d	Zone con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale	
Z5	Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-mecaniche molto diverse	Comportamenti differenziali

TABELLA 1 – SCENARI DI PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE

Figura 15: scenari di pericolosità sismica locale (PSL) individuati dalla norma regionale (tabella 1 allegato 5 alla norma aggiornata alla pubblicazione del 19 gennaio 2012). Sono sottolineati la zona Z4a che può riguardare il territorio di Lodi Vecchio. Le zone Z2 sono potenzialmente presenti ma i dati disponibili non ne segnalano l'esistenza.

Il quadro sopra delineato è lievemente mutato con la pubblicazione il 4 febbraio 2008 delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni elaborate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (Decreto 14/01/2008 del Ministero delle Infrastrutture). L'allegato A di tali Norme prevede che **l'azione sismica di riferimento** per la progettazione non sia più rappresentata dalle "zone" precedentemente citate, ma sia definita sulla base dei nodi di una rete nazionale di valori di pericolosità sismica, proposti da valori tabellari riferiti nell'allegato stesso e disponibili al sito <http://esse1.mi.ingv.it/>. Come nel caso delle "zone" il valore è espresso in termini di accelerazioni previste su suolo rigido di categoria A ($V_s > 800$ m/s) in unità g.

L'accelerazione orizzontale massima del suolo a_g , come definita dall'OPCM 3519/2006, corrispondente a quella che in ambito internazionale è chiamata PGA (Peak Ground Acceleration), è una funzione probabilistica associata a soglie di eccedenza e valori di incertezza, e non è più rappresentata quindi da un unico numero ma da un insieme di valori.

Il valore di riferimento impiegato per le costruzioni ordinarie è quello delle probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni equivalente a un tempo di ritorno di 475 anni. Tale condizione riferita al territorio in esame mostra $0,05 < a_g < 0,075$ (v. Figura 16), e più specificamente $a_g = 0,0671$ g per il nodo posto al confine tra Tavazzano, Lodi e Lodi Vecchio.

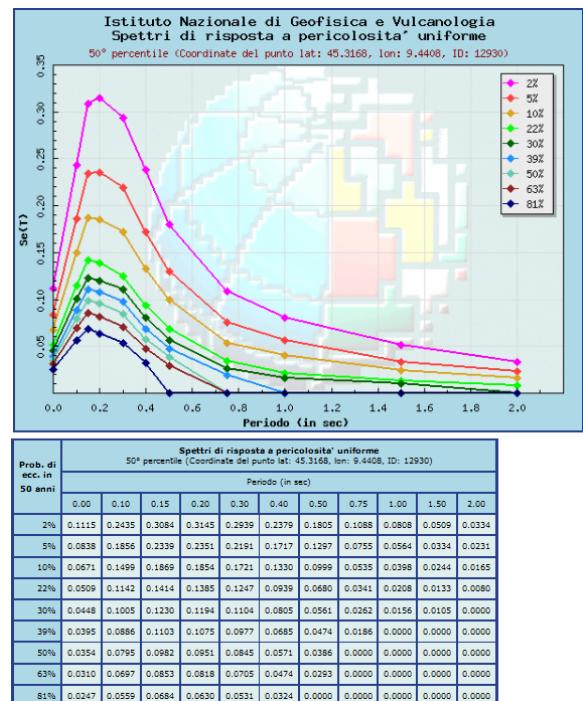
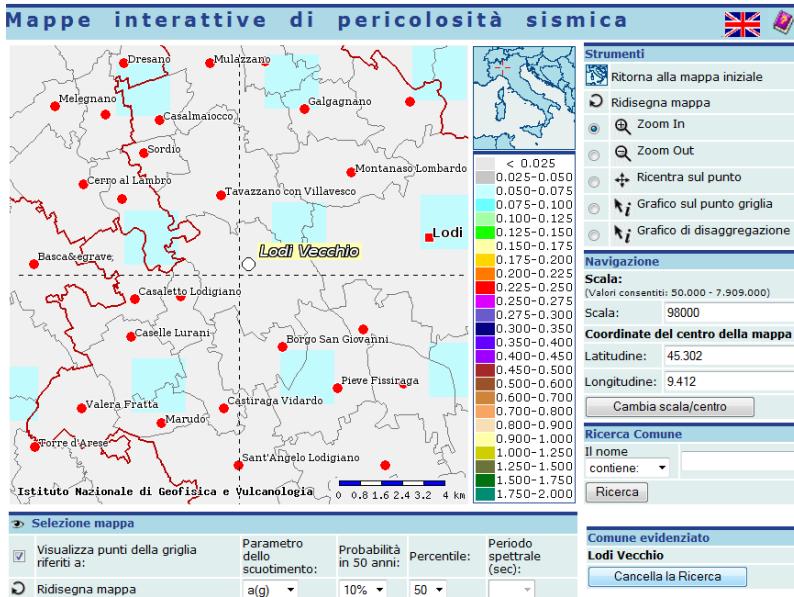


Figura 16 : valori di pericolosità sismica espressa in termini di accelerazione prevista su suolo rigido. Nella figura a sinistra è rappresentato il caso di probabilità di superamento del 10 % in 50 anni, corrispondente ad un tempo di ritorno di 475 anni. Nella parte destra della figura è rappresentato lo spettro di risposta elastica al variare della frequenza del segnale sismico e della probabilità di non superamento, calcolate con un fattore di smorzamento del 5%.relativamente al nodo posto a NE dell'abitato di Lodi Vecchio

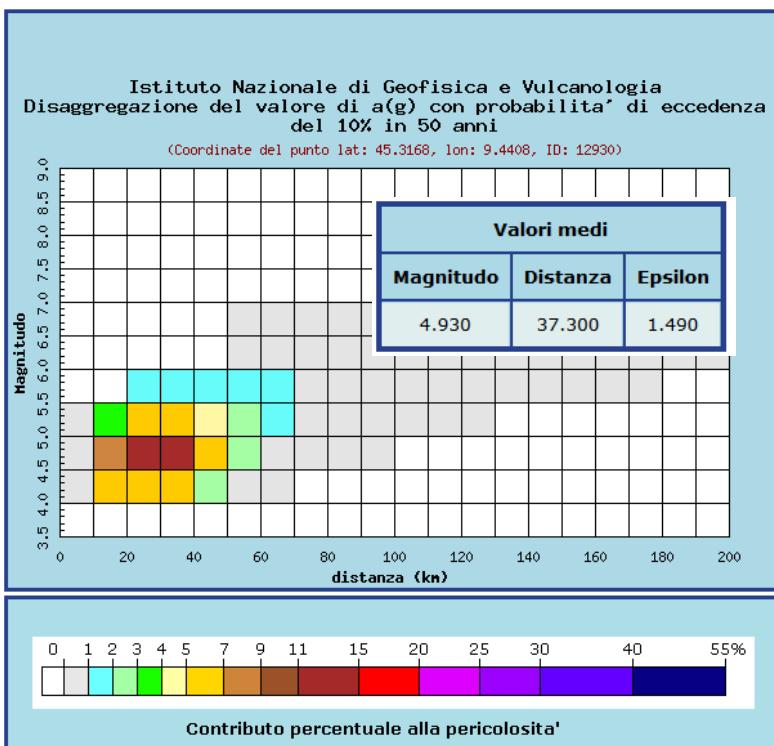


Figura 17: grafico di disaggregazione dei valori di pericolosità, che esprime il contributo percentuale alla stima di pericolosità fornito da tutte le possibili coppie di valori di magnitudo (M) e distanza (R). Il parametro è rappresenta il numero di deviazioni standard per cui lo scuotimento (logaritmico) devia dal valore mediano predetto da una data legge di attenuazione dati M ed R.

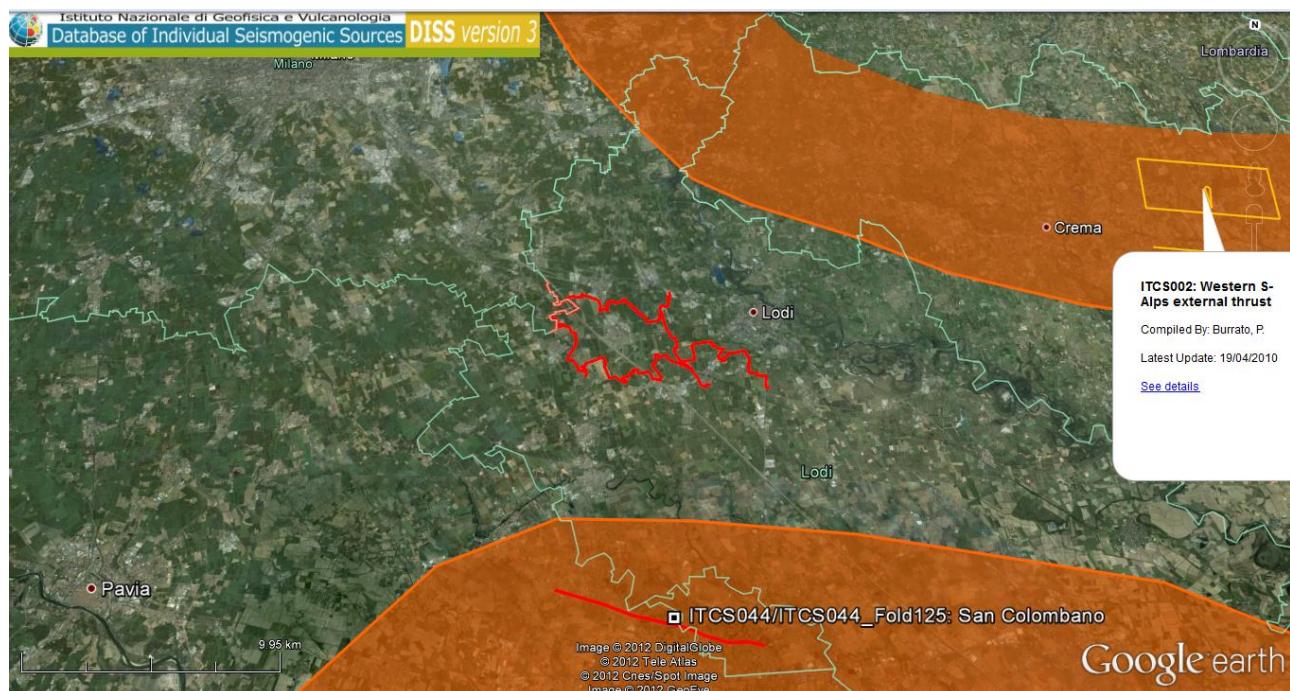
Il contributo massimo è dato da sismi posti tra 20 e 40 Km e di magnitudo da 4.5 a 5,0. La magnitudo media prevista con probabilità di superamento del 10 % in 50 anni è di M = 4,93

Si denota che la pericolosità sismica in questa più recente elaborazione è incrementata di circa il 34 % rispetto alle "zone sismiche" nominali, e conseguentemente sia i calcoli strutturali sia quelli relativi alle condizioni di stabilità dei terreni (in particolare riguardanti i rischi di addensamenti e di liquefazione) sono effettuati con criteri più cautelativi.

8.2 CENNI SULLA SISMOLOGIA DEL TERRITORIO

L'assetto strutturale della pianura centro lodigiana mostra piegamenti e le faglie inverse che coinvolgono le porzioni più esterne dell'Arco Emiliano, in particolare le sequenze mioceniche e plioceniche, che presentano tuttora un'apprezzabile attività.

Sull'attività di tali strutture l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) ha recentemente reso disponibile sul web il **Database of Individual Seismogenic Sources (DISS)**, "che contiene una gran quantità di materiale pubblicato e originale sulle principali sorgenti sismogenetiche italiane, oltre a dati geografici, sismologici, geologici e tettonici, ed è liberamente utilizzabile da chi sia interessato a queste informazioni." La versione 3 è disponibile all'indirizzo <http://legacy.ingv.it/DISS/>.



DISS 3.1.1: Seismogenic Source ITCS044 - Portalbera-Cremona				DISS 3.1.1: Seismogenic Source ITCS002 - Western S-Alps external thrust					
Source Info	Summary	Commentary	References	Pictures	Source Info	Summary	Commentary	References	Pictures
General information									
Code	ITCS044	Code	ITCS002						
Name	Portalbera-Cremona	Name	Western S-Alps external thrust						
Compiled By	Burrato, P., and S. Mariano	Compiled By	Burrato, P.						
Latest Update	06/09/2007	Latest Update	19/04/2010						
Parametric information									
Parameter	Qual. Evidence	Parameter	Qual. Evidence	Parameter	Qual. Evidence	Parameter	Qual. Evidence	Parameter	Qual. Evidence
Min Depth (km)	2	OD	Based on geological data from various authors.	Min Depth (km)	2	OD	Based on geological and geophysical data from various authors.	Min Depth (km)	2
Max Depth (km)	7	OD	Based on geological data from various authors.	Max Depth (km)	9	OD	Based on geological and geophysical data from various authors.	Max Depth (km)	9
Strike (deg)	30 - 115	OD	Based on geological data from various authors.	Strike (deg)	230 - 340	OD	Based on geological data from various authors.	Strike (deg)	230 - 340
Dip (deg)	20 - 40	OD	Based on geological data from various authors.	Dip (deg)	25 - 40	OD	Based on geological data from various authors.	Dip (deg)	25 - 40
Rake (deg)	80 - 100	EJ	Inferred from geological data.	Rake (deg)	80 - 100	EJ	Inferred from geological data.	Rake (deg)	80 - 100
Slip Rate (mm/y)	0.1 - 0.5	EJ	Derived from geological data concerning adjacent structures.	Slip Rate (mm/y)	0.1 - 0.5	EJ	Derived from geological data concerning adjacent structures.	Slip Rate (mm/y)	0.1 - 0.5
Max Magnitude (Mw)	5.5	EJ	Assumed from regional seismological data.	Max Magnitude (Mw)	6.1	OD	Based on the strongest earthquake occurred in the region.	Max Magnitude (Mw)	6.1
Q-keys:	LD = Literature Data; OD = Original Data; ER = Empirical Relationship; AR = Analytical Relationship; EJ = Expert Judgement								
Associated Active Faults or Folds									
#	Type	Name	Reference	Q-keys:	LD = Literature Data; OD = Original Data; ER = Empirical Relationship; AR = Analytical Relationship; EJ = Expert Judgement				
125	Fold	San Colombano	Toscani et al. [2006]						

Figura 18: sintesi delle informazioni sulle strutture sismogenetiche (aree arancioni) prossime a Lodi Vecchio. A sud ITCS044 Portalbera Cremona, a nord ITCS002 – western S.-Alps external thrust.

Gli autori individuano nell'area lodigiana-cremonese una struttura sismogenetica estesa da Portalbera, vicino a Stradella (Pv), a Cremona, che interessa una fascia di oltre 50 km di

lunghezza e circa 10 di larghezza, comprendente tutto il fronte avanzato delle strutture appenniniche sepolte che si manifestano in superficie con il colle di San Colombano e i piccoli rilievi di Casalpusterlengo. A tale struttura, denominata **ITSA044**, è attribuita una velocità di scorrimento (slip rate) di 0,1 – 0,5 mm all’anno e la possibilità di generare terremoti di magnitudo **Mw 5,5**. Recentemente, come indicato in figura, è stata ipotizzata l’attività di una faglia (125 Fold San Colombano) circa coincidente con la dorsale del colle.

La porzione più settentrionale della struttura è individuata in corrispondenza dei primi rialzi topografici del Colle di San Colombano, 9 Km a sud del centro di Lodi Vecchio, mentre circa 10 km a NE, in prossimità del confine con il Cremasco, gli autori collocano il confine meridionale di un’altra struttura, denominata **ITCS002**, che presenta una velocità di scorrimento analoga, ma con capacità di generare terremoti di magnitudo **Mw 6,1**. La struttura comprende una sorgente sismica localizzata appena a nord di Orzinuovi, ritenuta responsabile del terremoto del 1802 al quale è attribuita una magnitudine equivalente $Me = 5,6$.

La storia sismica di Lodi Vecchio non è nota direttamente perché i cataloghi macroismici non comprendono dati provenienti da questa località, ma è definibile dalle informazioni storiche provenienti dai comuni di Lodi, Codogno e Pavia riassunte nel catalogo DBMI04 dal quale sono tratte le informazioni seguenti:

Storia sismica di Lodi (LO) [45.314, 9.501] Osservazioni disponibili: 30										
In occasione del terremoto:										
Effetti	Is	Anno	Me	Gi	Or	Mi	Se	AE	Io	Mw
NC	1117	01	03	13				Veronese	9-10	6.49
NC	1197							Brescia	6-7	5.03
6	1222	12	25	11				Basso bresciano	8-9	6.05
F	1276	07	28	18	30			Italia settent.	6	5.11
NC	1346	02	22	11				Ferrara	7-8	5.81
4-5	1348	01	25					CARNIA	9-10	6.66
F	1383	07	24	20				PARMA	5-6	4.63
5	1511	03	26	14	40			Slovenia	9	6.51
5-6	1695	02	25	05	30			Asolano	9-10	6.61
4-5	1741	04	24	09	20			FABRIANEA	9	6.08
6	1802	05	12	09	30			Valle dell’Oglio	8	5.67
4	1873	03	12	20	04			Marche meridionali	8	5.88
4	1873	06	29	03	58			Bellunese	9-10	6.33
3	1884	09	12					PONTOGLIO	6	4.83
4-5	1887	02	23	05	21	50		Liguria occidentale	9	6.29
4-5	1891	06	07	01	06	14		Valle d’Illasi	8-9	5.71
6	1894	11	27					FRANCIA CORTA	6-7	4.95
5	1901	10	30	14	49	58		Salo’	8	5.67
NF	1907	04	25	04	52			BOVOLONE	6	4.94
3	1909	01	13	45				BASSA PADANA	6-7	5.53
NF	1913	11	25	20	55			VAL DI TARO	5	4.85
NF	1913	12	07	01	28			NOVI LIGURE	5	4.72
4	1914	10	27	09	22			GARFAGNANA	7	5.79
3	1918	04	24	14	21			LECCHESE	6	5.07
3-4	1920	09	07	05	55	40		Garfagnana	9-10	6.48
3	1936	10	18	03	10			BOSCO CANSIGLIO	9	5.90
2	1960	03	23	23	08	49		Vallese	6-7	5.36
4	1972	10	25	21	56			PASSO CISA	5	4.95
F	1976	05	06	20				FRIULI	9-10	6.43
4	1983	11	09	16	29	52		Parmense	6-7	5.10

Is = intensità macroismica in scala MCS:

D= danneggiamento, comunemente > 6 .

Io = intensità epicentrale in scala MCS

F= risentito (felt) $3 < Is < 5$

NF = non avvertito, in presenza di segnalazione
Is = 1.

NC = non classificato

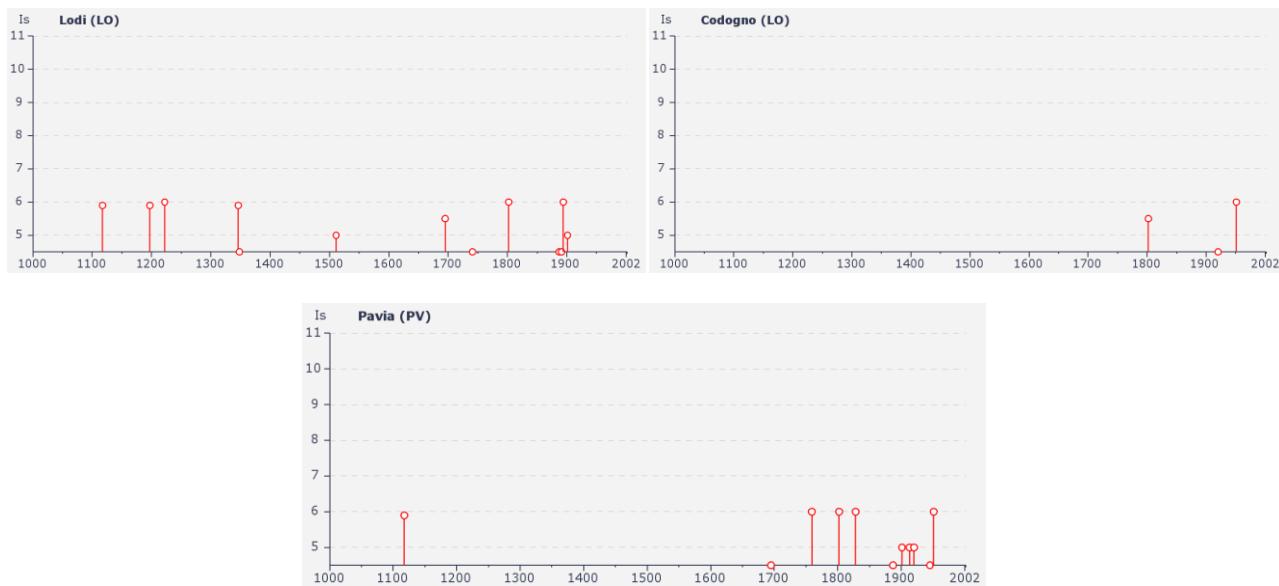
Mw = magnitudine momento nell’area epicentrale

Da : Stucchi et alii. (2007). DBMI04, il database delle osservazioni macroismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTI04.

<http://emidius.mi.ingv.it/DBMI04/>

Storia sismica di Codogno (LO) [45.161, 9.705] Osservazioni disponibili: 11										
In occasione del terremoto:										
Effetti	Is	Anno	Me	Gi	Or	Mi	Se	AE	Io	Mw
5-6	1802	05	12	09	30			Valle dell’Oglio	8	5.67
3	1891	06	07	01	06	14		Valle d’Illasi	8-9	5.71
NF	1909	01	13	45				BASSA PADANA	6-7	5.53
4-5	1920	09	07	05	55	40		Garfagnana	9-10	6.48
3	1929	04	20	01	09	46		Bolognese	7	5.55
3-4	1936	10	18	03	10			BOSCO CANSIGLIO	9	5.90
NF	1939	10	15	14	05			GARFAGNANA	6-7	5.20
6	1951	05	15	22	54			LODIGIANO	6-7	5.24
3	1971	07	15	01	33	23		Parmense	7-8	5.61
3-4	1972	10	25	21	56			PASSO CISA	5	4.95
4	1983	11	09	16	29	52		Parmense	6-7	5.10

COMUNE DI LODI VECCHIO (LO) STUDIO DELLA COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO



Il terremoto conosciuto di maggiore intensità con epicentro nel lodigiano, denominato LODIGIANO, è avvenuto il 15 maggio 1951 con epicentro circa 1,2 km a NE di Ossago (*Latitudine 45.254° Longitudine 9.550°* $Io = 6-7$ $Mw = 5.24$) e **11,0 Km ad SE** di Lodi Vecchio. Si evidenzia che questo terremoto non fa parte della storia sismica di Lodi, mentre sono segnalati risentimenti con intensità macrosismica $Is = 6$ nelle provincie confinanti, e con intensità 5 per un vasto intorno, nel quadrilatero compreso tra Salò, Varese, Alessandria e Modena¹².

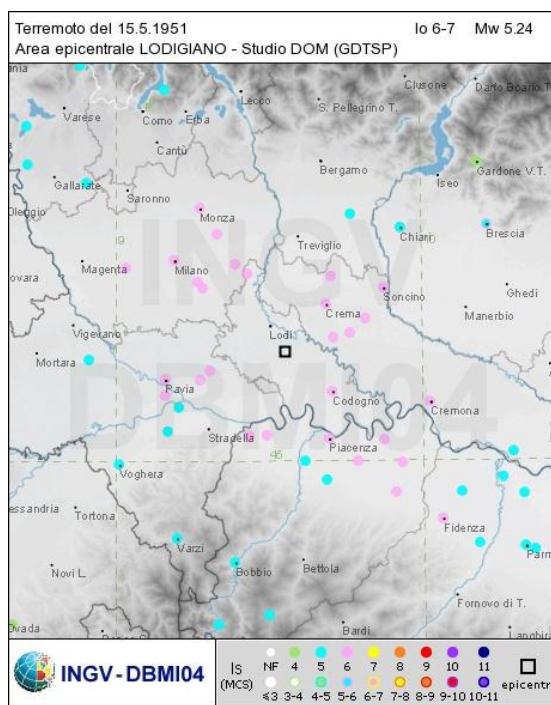


Figura 19: risentimenti sismici in occasione del terremoto “Lodigiano” del 1951.

¹² Nella scala MCS (Mercalli, Cancani, Sieberg): **5 grado** = Scossa forte, percepita praticamente da tutti. Di notte molte persone vengono svegliate. Oggetti instabili rovesciati. Rovesciamento di liquidi in recipienti. Oscillazioni di porte che si aprono e si chiudono... **6 grado** = Scossa molto forte, percepita da tutti con spavento e fuga all'esterno. Barcollare di persone. Rottura di vetrine, piatti, vetrerie. Caduta dagli scaffali di soprammobili e libri e di quadri dalle pareti...

La mancanza di riscontri per la città di Lodi e di buona parte del lodigiano è con ogni probabilità da attribuire all'assenza di un'adeguata organizzazione in grado di rilevare i dati, sia strumentali che macroscopici.

8.3 INDAGINI SIMICHE - PARAMETRI GEOFISICI E CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

8.3.1 Aspetti generali

Per definire il profilo delle onde di taglio V_s e la categoria di sottosuolo ai sensi delle Tabelle 3.2.II e 3.2.III delle NTC 2008 mediante il calcolo di V_{s30} , è stata eseguita un'**indagine sismica mediante i metodi MASW** (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) e **Re.Mi** (*Refraction Microtremor*) realizzando **tre stendimenti** rappresentati nella planimetria di Figura 20 (che prendono il nome dagli ambiti di trasformazione nei quali sono stati effettuati), dove è riportata anche la posizione di una prova analoga eseguita nel 2008 per il progetto del Museo.



AT 1	532648	5015974
AT5	532264	5017770
AT8	533027	5017301
Mu 01*	533114	5016162

*prova Masw eseguita nel 2008 per progetto del museo

Figura 20: ubicazione degli stendimenti sismici e coordinate dei centri delle stese nel sistema WGS84.

Le due metodologie impiegate in ogni stendimento possono essere considerate complementari.

La **metodologia Re.Mi** è una tecnica "passiva" che si basa sulla registrazione del rumore sismico indotto dalle attività antropiche (traffico, fabbriche ecc.), è adatta in ambienti fortemente antropizzati e consente elevate profondità di indagine.

I limiti di tale prova sono l'impossibile applicazione in ambienti poco "rumorosi" e il rischio di sovrastimare i valori di Vs in presenza di rumore fortemente direzionale, non ortogonale allo stendimento sismico.

La **metodologia MASW** è una tecnica "attiva" basata sulla registrazione del segnale sismico indotto da una massa battente. I pregi sono la buona capacità di definizione dei valori di Vs, soprattutto per gli orizzonti più superficiali (primi 20-30m), mentre i limiti sono dati dal non essere adatta in ambienti rumorosi e di avere limitate profondità di indagine in presenza di terreni con basse velocità.

Difficilmente prima di realizzare l'indagine è possibile valutare quale sia la tecnica che può fornire i risultati migliori, quindi in campagna si è proceduto con la realizzazione di entrambe le misure, e in fase di elaborazione si è valutata la qualità dei profili di velocità ottenuti.

Per la descrizione dei principi fisici e dei metodi di elaborazione si fa rimando alla letteratura specialistica ampiamente sviluppata in questi anni.

Per la **tecnica Re.Mi** si citano le procedure proposte da J.N.Louie del Seismological Laboratory and Dept. of Geological Sciences dell'Università del Nevada, basate su due aspetti fondamentali: la disponibilità di strumenti in grado di registrare onde di superficie con frequenze fino a 2 Hz per intervalli di tempo sufficientemente lunghi (30 sec) e la possibilità mediante una trasformata di Fourier bidimensionale (p-f) slo-wness-frequency di un rumore di fondo (microtremor) di separare le onde di Rayleigh (onde di superficie) da altri tipi di onde che compongono il sismogramma, rendendo possibile la distinzione delle vere velocità di fase dalle velocità apparenti.

Con il **metodo MASW** il profilo delle onde di taglio verticali Vs è ottenuto considerando che il contributo predominante alle onde superficiali, generate artificialmente, è dato da quelle di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidezza della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive e quindi le onde di alta frequenza si propagano negli strati più superficiali mentre quelle a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi.

Il metodo consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente, nel range di frequenze compreso tra 5Hz e 70Hz che dà informazioni sulla parte più superficiale del suolo. L'elaborazione prevede tre fasi di lavoro:

1. calcolo della velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale,
2. calcolo della velocità di fase apparente numerica,
3. individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio modificando opportunamente lo spessore h, le velocità delle onde di taglio Vs e di compressione Vp e la densità di massa degli strati che costituiscono il modello del suolo, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale e la velocità di fase (o curva di dispersione) numerica corrispondente al modello di suolo assegnato.

8.3.2 Modalità esecutive delle indagini sismiche

La strumentazione impiegata è il "Geode", un sismografo modulare a 24 bit ad elevata dinamica (144 dB di range dinamico totale - 105 dB istantanei a 2 msec di campionamento). Grazie all'ampia banda d'ingresso (1.75 Hz - 20 kHz, con velocità di campionamento da 0.02 msec a 16 msec), lo strumento è utilizzabile per un'ampia gamma di applicazioni: sismica a rifrazione, sismica a riflessione (anche ad altissima risoluzione), monitoraggio di vibrazioni, applicazioni sismologiche, downhole e VSP.

L'attrezzatura utilizzata è composta da:

- Sismografo modulare Geode 3-1000+ canali,
- Massa battente da 10 Kg,
- Piastra di battuta in alluminio 15x15x2,5cm,
- Batteria ricaricabile 12 V,
- Cavo per sismica a rifrazione stranded, 130 mt con 24 takeouts SPT-21 a 5 metri di intervallo e due code da 7.5 mt l'una terminate con connettore Bendix 61S,
- Geofoni GS20DX, 4.5 Hz verticali, 395 Ohm con puntale da 3" ed 1,5 mt di cavo terminato con mueller clip singola MC-20-SP,
- Computer portatile.

Per la **tecnica Re.Mi** l'acquisizione dei dati è stata svolta tramite la registrazione del *noise* ambientale impiegando geofoni da 4.5Hz con stendimento di 24 geofoni disposti ogni 5 metri (G1 --- G 24). Sono stati raccolti oltre 30 records di lunghezza di 30 sec. con campionamento ogni 2ms.

L'elaborazione per la classificazione dei profili del sottosuolo è stata effettuata impiegando il pacchetto **software SeisOpt Re.Mi. 2.0 prodotto dalla Optim Software LLC**. Nella prima fase è stata eseguita un'analisi spettrale del sismogramma che ha consentito di elaborare un'immagine della distribuzione del segnale di velocità sismica in funzione delle diverse frequenze che lo compongono. Da tale elaborazione è stata poi estrapolata la curva di attenuazione del segnale caratteristico e in funzione del suo andamento (curva di dispersione) si è risaliti alla stratigrafia sismica in termini di velocità delle onde di taglio (Vs). Il risultato finale consiste quindi nella rappresentazione grafica del profilo di velocità e nel calcolo della relativa Vs₃₀.

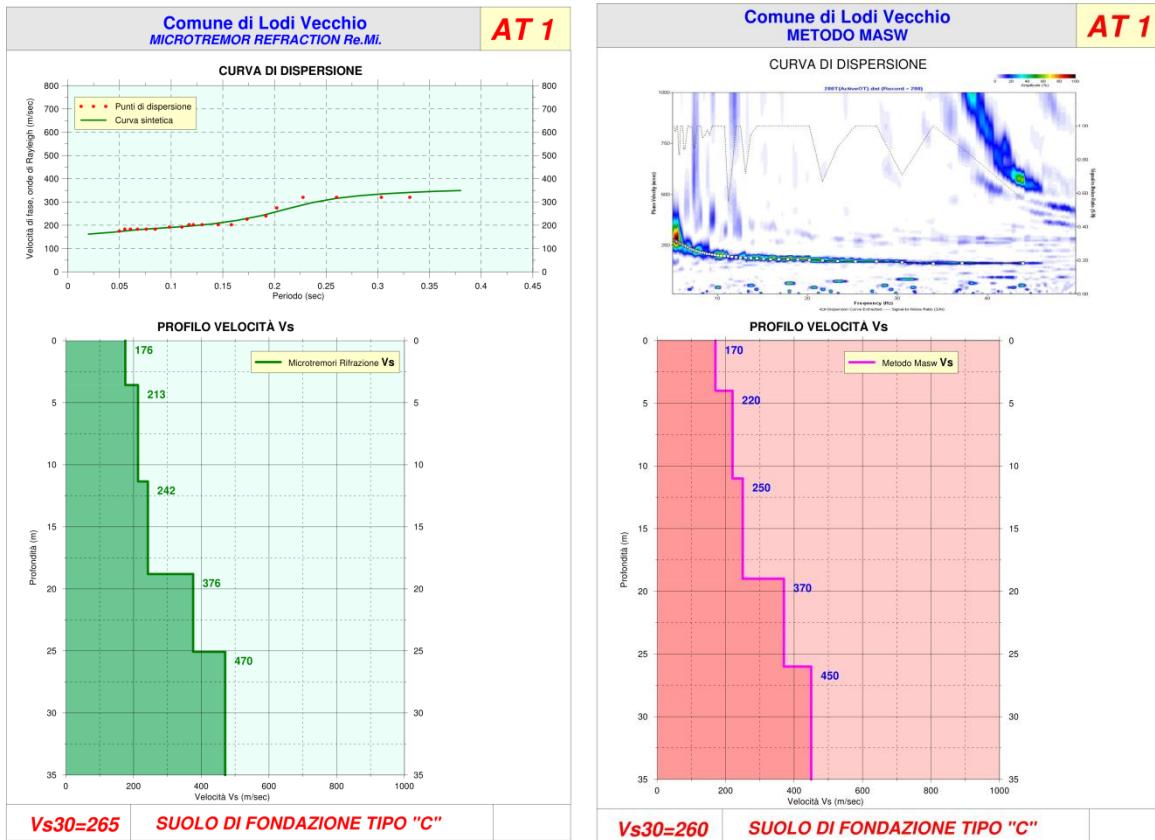
Per la tecnica **MASW** si è impiegato lo stesso stendimento della prova "Re.Mi.", costituito da un allineamento di 24 geofoni spaziati di 5 m. La lunghezza delle registrazioni è stata di 1 sec, con un passo di campionamento di 0.250 ms. L'energizzazione è stata realizzata percuotendo con una massa di 10 Kg una piastra metallica poggiata al terreno a distanze di 5 m e dal primo geofono e dall'ultimo.

Il software utilizzato per l'elaborazione dei dati è il "**SurfSeis**" della Kansas Geological sur-veys. In una prima fase è stata calcolata la velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale. In una seconda ed ultima fase si individuato il profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs, modificando opportunamente lo spessore h, le velocità delle onde di taglio Vs e di compressione Vp (o in maniera alternativa alle velocità Vp è possibile assegnare il coefficiente di Poisson), la densità di massa degli strati che costituiscono il modello del suolo, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale e la velocità di fase numerica corrispondente al modello di velocità assegnato.

8.3.3 Risultati delle indagini sismiche

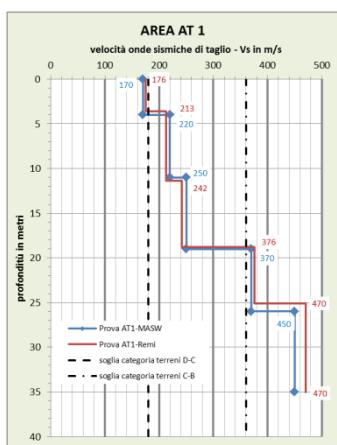


Prova AT1-Remi		Prova AT1-MASW	
prof.(m)	Vs	prof.(m)	Vs
0.0	176	0	170
3.6	176	4	170
3.6	213	4	220
11.3	213	11	220
11.3	242	11	250
18.8	242	19	250
18.8	376	19	370
25.1	376	26	370
25.1	470	26	450
35.0	470	35	450



I valori di Vs determinati dall'interpretazione sono quasi perfettamente sovrapponibili attestando la buona affidabilità del profilo sismico individuato.

Non si rilevano inversioni di velocità ma si osserva un contrasto d'impedenza piuttosto marcato a -19 metri, da porre in relazione con il passaggio tra le sabbie con intercalazioni limose e le sabbie e ghiaie prevalenti che si osserva nelle stratigrafie dei pozzi tra -18 e -26 metri circa (Vedi sezione Tav. 2b).



L'estrapolazione lineare di tutti i dati estesa in profondità porta a stimare il bedrock sismico ($v_s = 800$ m/s) alla profondità di **66 metri**. Imponendo il vincolo alla velocità minima rilevata nei primi metri il valore è di **74 metri**.

Le **Vs₃₀** calcolate come richiesto dalla normativa, ovvero applicando la relazione

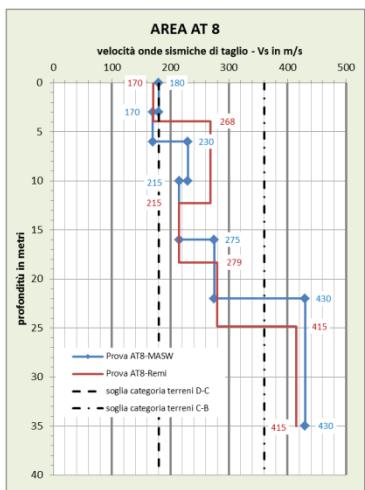
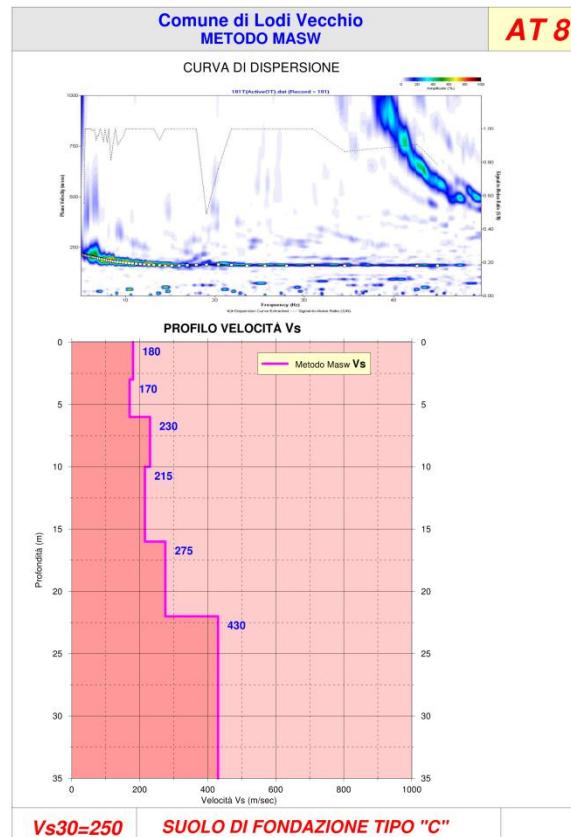
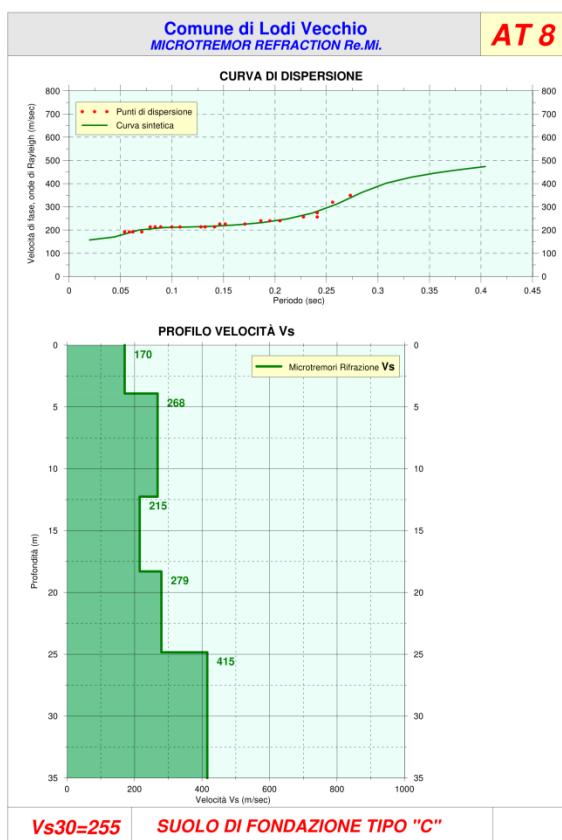
$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_i}}$$

sono rispettivamente di **265 m/s** per la prova Re.Mi. e di **260 m/s** per la MASW se valutate dalla superficie topografica. Se si considera l'ipotesi di fondazioni a -4 m metri, le Vs₃₀ divengono rispettivamente **297 m/s** e **298 m/s**.

In tutti i casi, i terreni sotto le quote di fondazione si collocano quindi nella **categoria C di sottosuolo**: "Depositi di terreni a grana grossa mediamente 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 Vs₃₀ compresi tra 180 m/s 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).



Prova AT8-Remi		Prova AT8-MASW	
prof.(m)	Vs	prof.(m)	Vs
0	170	0	180
3.9	170	3	180
3.9	268	3	170
12.3	268	6	170
12.3	215	6	230
18.3	215	10	230
18.3	279	10	215
24.8	279	16	215
24.8	415	16	275
35	415	22	275
		22	430
		35	430



I valori di Vs determinati dall'interpretazione sono tra loro ben comparabili, e rilevano una modesta inversione di velocità tra i -10 e i -18 metri, probabilmente associabile agli strati limo argillosi o limo sabbiosi individuati nella stratigrafia dei pozzi 05 e 54 (Vedi sezione Tav. 2b), e un contrasto d'impedenza piuttosto marcato tra i -22 e i -25 metri, da porre in relazione con il passaggio tra le sabbie con intercalazioni limose e le sabbie e ghiaie prevalenti che si osserva nelle stratigrafie dei pozzi sopra citati.

L'estrapolazione lineare dei dati Re.Mi estesa in profondità porta a stimare il bedrock sismico ($v_s = 800$ m/s) alla profondità di **72 metri**. Imponendo di vincolare la velocità minima a quella rilevata nei primi metri il valore è di **82 metri**.

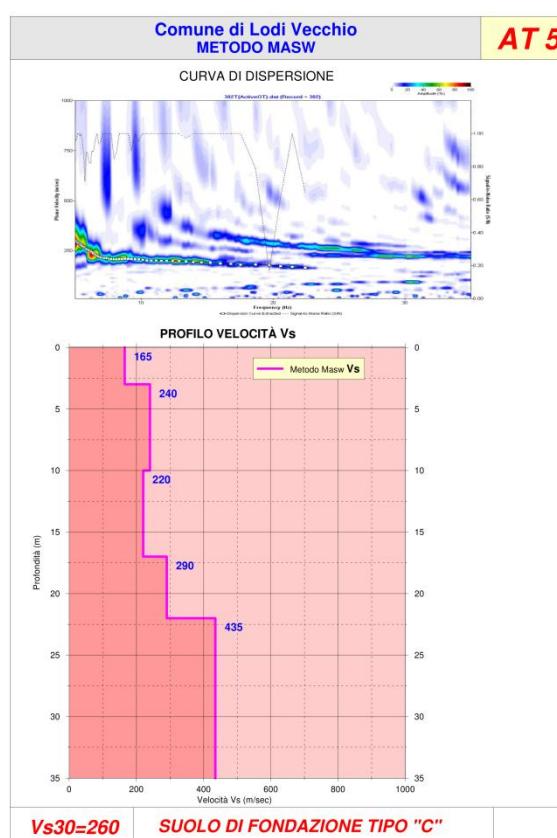
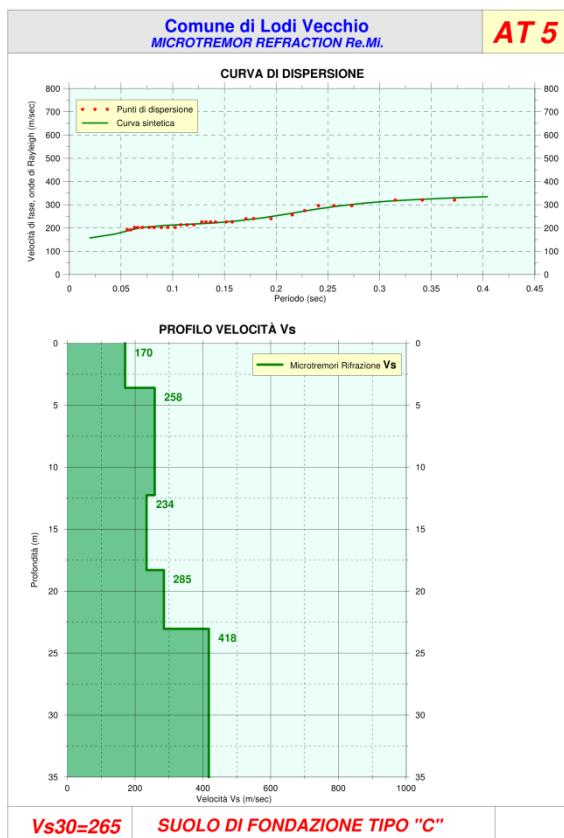
Le Vs_{30} sono rispettivamente di **255 m/s** per la prova Re.Mi. e di **250 m/s** per la MASW se valutate dalla superficie topografica. Se si considera l'ipotesi di fondazioni a -4 m metri, le Vs_{30} divengono rispettivamente **288 m/s** e **281 m/s**.

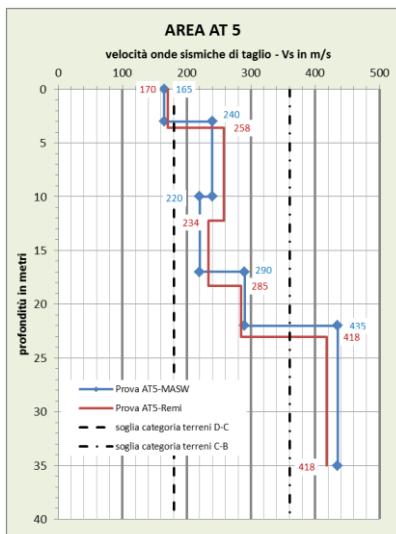
Come nel caso precedente, i terreni sotto le quote di fondazione per opere ordinarie si collocano nella **categoria C**.

AREA AT 5



Prova AT5-Remi		Prova AT5-MASW	
prof.(m)	Vs	prof.(m)	Vs
0	170	0	165
3.6	170	3	165
3.6	258	3	240
12.3	258	10	240
12.3	234	10	220
18.3	234	17	220
18.3	285	17	290
23.0	285	22	290
23.0	418	22	435
35	418	35	435





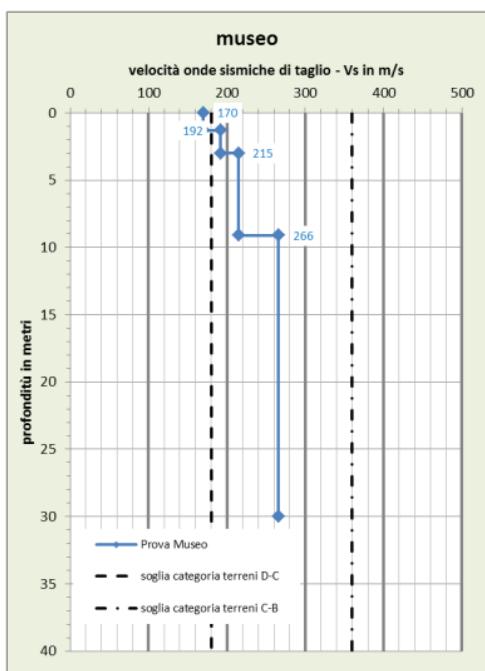
I valori di Vs determinati dall'interpretazione sono tra loro ben comparabili, e rilevano una modesta inversione di velocità tra i -10 e i -18 metri, probabilmente associabile agli strati limo argillosi o limo sabbiosi individuati nella stratigrafia dei pozzi 05 e 54 (Vedi sezione Tav. 2b), e un contrasto d'impedenza piuttosto marcato tra i -22 e i -23 metri, da porre in relazione con il passaggio tra le sabbie con intercalazioni limose e le sabbie e ghiaie prevalenti che si osserva nelle stratigrafie dei pozzi sopra citati.

L'estrapolazione lineare dei dati medi estesa in profondità porta a stimare il bedrock sismico ($v_s = 800$ m/s) alla profondità di **66 metri**. Imponendo di vincolare la velocità minima a quella rilevata nei primi metri, il valore è di **78 metri**.

Le V_{s30} sono rispettivamente di **265 m/s** per la prova Re.Mi. e di **260 m/s** per la MASW se valutate dalla superficie topografica. Se si considera l'ipotesi di fondazioni a -4 m metri, le V_{s30} divengono rispettivamente **296 m/s** e **290 m/s**.

Come nel caso precedente, i terreni sotto le quote di fondazione per opere ordinarie si collocano nella **categoria C**.

Prova eseguita nel 2008 per il **progetto del MUSEO**



Prova Museo-MASW

prof.(m)	Vs
0	170
1,3	170
1,3	192
3	192
3	215
9,1	215
9,1	266
30	266

La prova si differenzia dalle precedenti principalmente per l'assenza tra i 18 -25 metri del netto incremento di velocità probabilmente per la mancanza di una prova Re.Mi che consente maggiore discriminazione alle medie profondità.

La V_{s30} calcolata dalla superficie è di **243 m/s**, del tutto simile a quella determinata con le tre prove effettuate per il PGT e colloca il **sottosuolo dell'area museale nella categoria C**.

In questo caso l'estrapolazione lineare dei dati estesa in profondità porta a stimare il bedrock sismico ($v_s = 800$ m/s) a profondità comprese tra 85 e 125 m dalla superficie.

In sintesi tutte le prove disponibili riconoscono per l'area un sottosuolo di categoria C ai sensi delle Tabelle 3.2.II e 3.2.III delle NTC 2008, con $V_{s,30}$ comprese tra **243 e 265** m/s se considerate dalla superficie topografica. Se si esaminano fondazioni più profonde, l'incremento con la profondità dei valori di V_s porta a un lieve aumento delle $V_{s,30}$, che comunque restano nell'ambito della categoria C.

Le prove AT 5 e AT 8 segnalano una modesta inversione del gradiente delle velocità con la profondità nell'intervallo tra -10 e -18 m dalla superficie, che appare correlabile con la presenza di depositi fini segnalati dalle stratigrafie dei pozzi. Un altro tratto a velocità relativamente bassa è segnalata nella prova MASW AT8 tra -3,0 e -6,0 m dalla superficie ed è probabilmente correlabile con le intercalazioni di limi argillosi poco sovraconsolidati presenti nel profilo della prova CPT 1 di 5.

Il **substrato rigido**, definito da terreni caratterizzati da $V_s \geq 800$ m/s, si può ipotizzare a profondità comprese tra **70 e 120 m** circa semplicemente estrapolando in profondità i valori ottenuti nei primi 30-35 metri. Considerando che tale valutazione si ottiene da una grossolana stima, non è parso utile fornire una rappresentazione planimetrica dei valori.

8.4 STIMA DEL RISCHIO DI LIQUEFAZIONE

La stima del RISCHIO DI LIQUEFAZIONE è stata elaborata mediante il metodo di **Robertson e Wride**¹³ impiegando il software **Cliq** ver.1.5.1.26 della GeoLogismiki Geotechnical Engineers realizzato in collaborazione con l'autore del metodo.

¹³ Robertson, P.K., Wride (Fear), C.E. (1997). "Cyclic liquefaction and its evaluation based on SPT and CPT". Final contribution to the Proc. NCEER Workshop on Liquefaction, salt Lake City, USA.

Robertson, P.K. and Wride, C.E., (1998). *Cyclic Liquefaction and its Evaluation based on the CPT* Canadian Geotechnical Journal, 1998, Vol. 35, August.

Youd, T.L., Idriss, I.M., Andrus, R.D., Arango, I., Castro, G., Christian, J.T., Dobry, R., Finn, W.D.L., Harder, L.F., Hynes, M.E., Ishihara, K., Koester, J., Liao, S., Marcuson III, W.F., Martin, G.R., Mitchell, J.K., Moriwaki, Y., Power, M.S., Robertson, P.K., Seed, R., and Stokoe, K.H., *Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils*, ASCE, Journal of Geotechnical & Geoenvironmental Engineering, Vol. 127, October, pp 817-833.

Zhang, G., Robertson, P.K., Brachman, R., 2002, *Estimating Liquefaction Induced Ground Settlements from the CPT*, Canadian Geotechnical Journal, 39: pp 1168-1180

Zhang, G., Robertson, P.K., Brachman, R., 2004, *Estimating Liquefaction Induced Lateral Displacements using the SPT and CPT*, ASCE, Journal of Geotechnical & Geoenvironmental Engineering, Vol. 130, No. 8, 861-871.

Robertson, P.K., 2009, *Performance based earthquake design using the CPT*. Keynote lecture, IS-Tokyo.

Per la verifica sono stati impiegati i dati dei profili ritenuti più rappresentativi per tale aspetto (CPT 1,2,5,8,9, 1/5, 3/5 e 4/5), introducendo per la magnitudo il valore di **M = 5,2** in base alle considerazioni riferite nel § 8.2, e per l'accelerazione massima al suolo **a_{max}=0,12 g**, valore cautelativamente incrementato del 20% considerando che $a_g = 0,067$ g come indicato in Figura 16 e il fattore di amplificazione stratigrafica **Ss = 1,5** considerando che il sottosuolo è di categoria C (tabella 3.2.V NTC 2008).

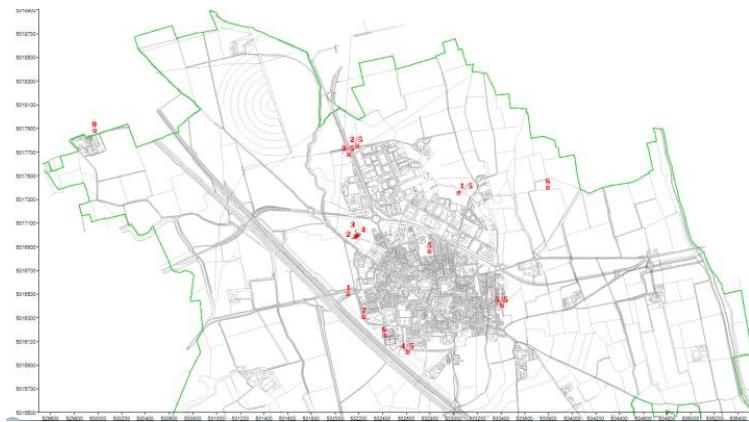
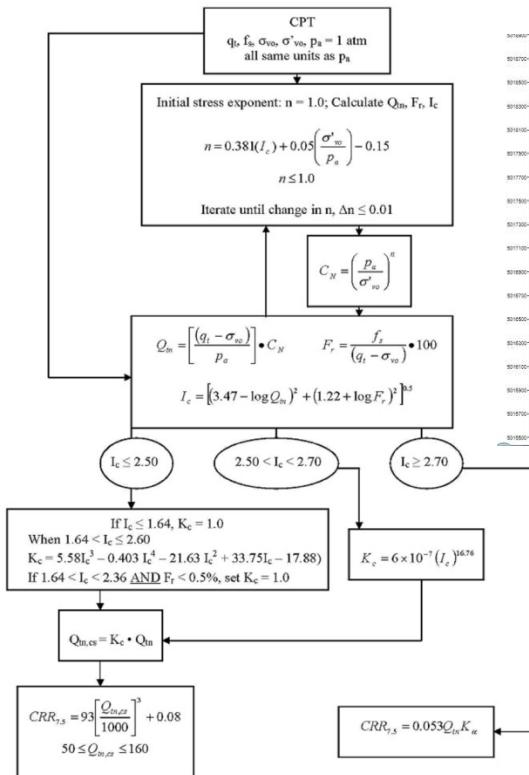
L'esito dell'elaborazione dimostra **l'assenza di rischio di liquefazione per le verticali indagate**, e in considerazione del criterio cautelativo impiegato, tale giudizio può essere esteso a tutto il territorio abitato e le aree di nuova espansione.

Non è possibile esprimere la medesima valutazione su tutto il territorio comunale, che comprende aree distanti alcuni chilometri dalle prove eseguite, ma si sottolinea che anche le prove CPT realizzate nei comuni limitrofi presentano valori simili, e l'elaborazione analogamente porta ad escludere il rischio di liquefazione con i parametri del terremoto sopra citato.

Di seguito si riferiscono le principali elaborazioni ottenute, dove l'assenza di rischio del fenomeno è espresso dalla posizione dei punti derivati dalle misure CPT nel diagramma CSR* / QtiN,cs ed in particolare dalla distanza dalla linea di separazione con l'area di liquefazione.

Procedure for the evaluation of soil liquefaction resistance (all soils) - Robertson (2010)

Calculation of soil resistance against liquefaction is performed according to the Robertson & Wride (1998) procedure. This procedure used in the software, slightly differs from the one originally published in NCEER-97-0022 (Proceedings of the NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils). The revised procedure is presented below in the form of a flowchart¹:



LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

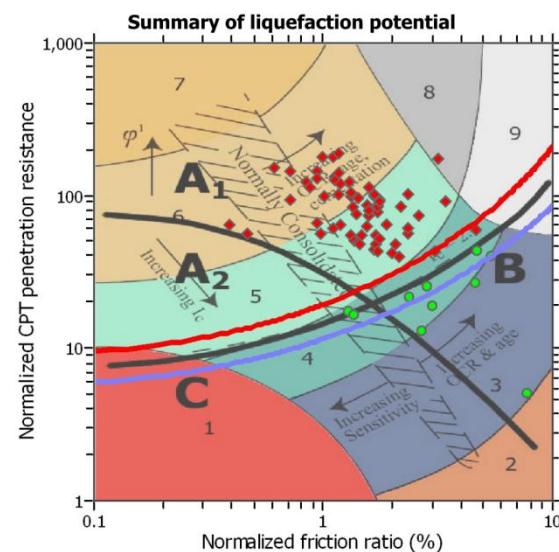
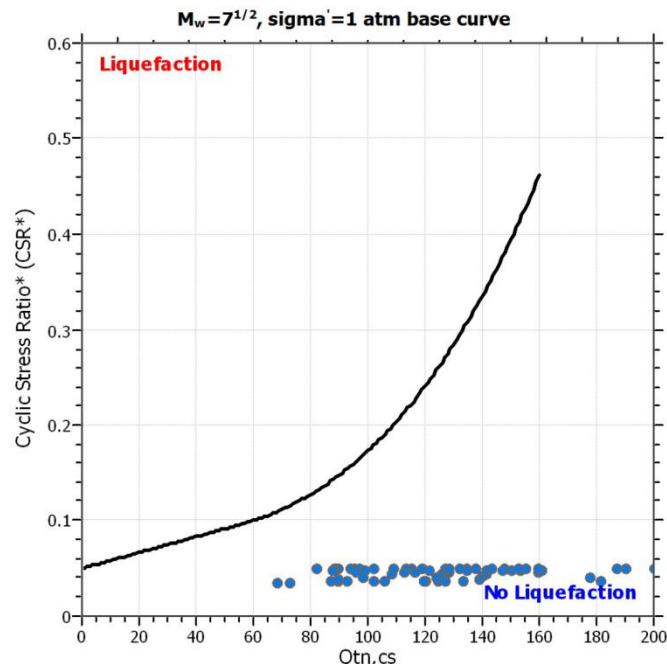
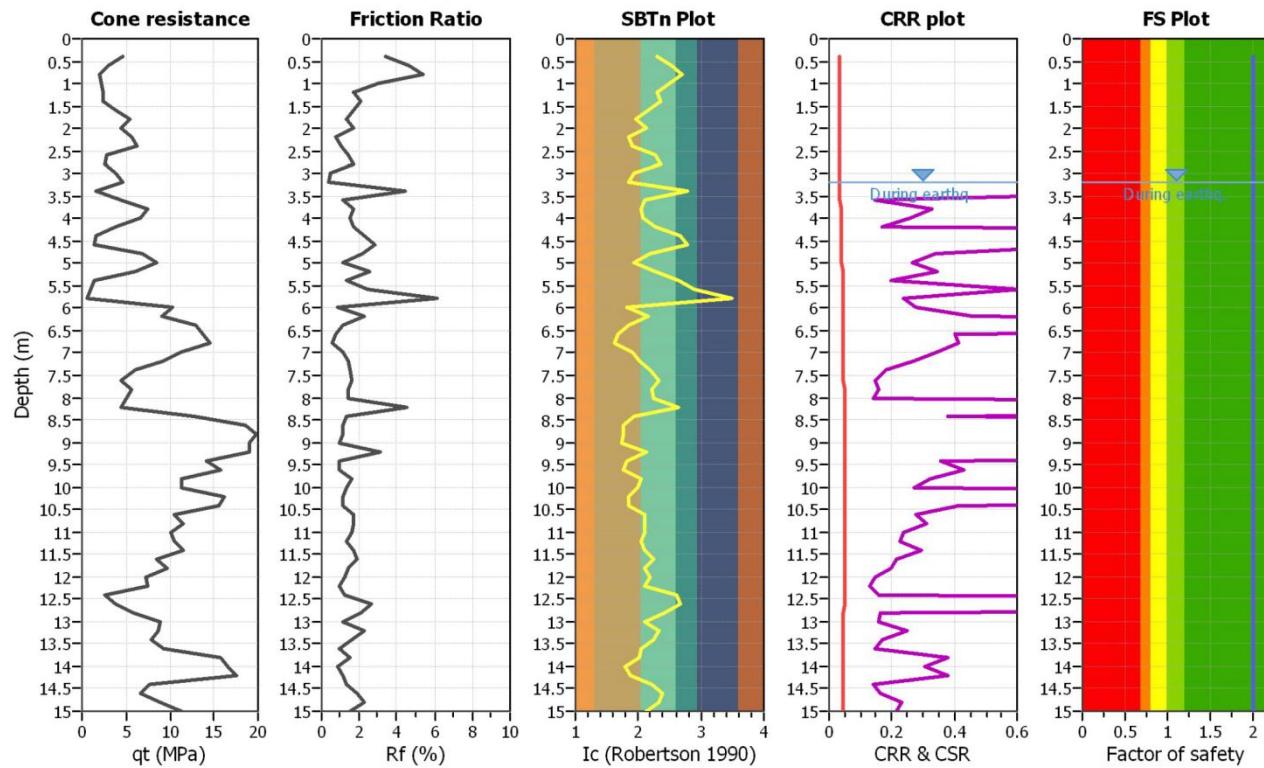
Project title : PGT Lodiveccchio 2012

Location : varie prove esistenti + 5 CPT per PGT

CPT file : CPT-01

Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	G.W.T. (in-situ):	3.20 m	Use fill:	No	Clay like behavior applied:	All soils
Fines correction method:	Robertson (2009)	G.W.T. (earthq.):	3.20 m	Fill height:	N/A	Limit depth applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	1	Fill weight:	N/A	Limit depth:	N/A
Earthquake magnitude M_w :	5.50	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No		
Peak ground acceleration:	0.12	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_g applied:	No		



Zone A₁: Cyclic liquefaction likely depending on size and duration of cyclic loading
 Zone A₂: Cyclic liquefaction and strength loss likely depending on loading and ground geometry
 Zone B: Liquefaction and post-earthquake strength loss unlikely, check cyclic softening
 Zone C: Cyclic liquefaction and strength loss possible depending on soil plasticity, brittleness/sensitivity, strain to peak undrained strength and ground geometry

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

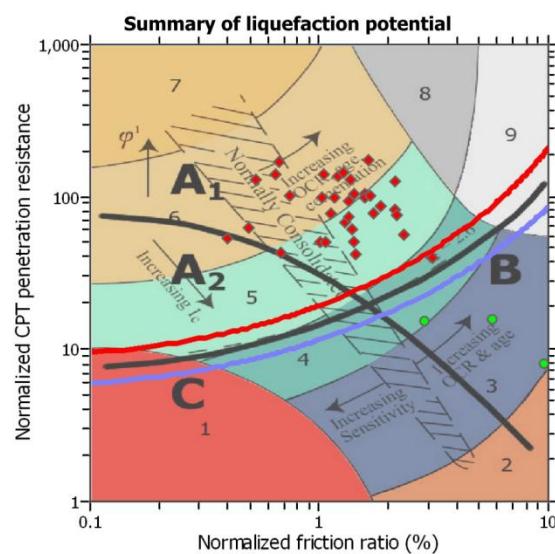
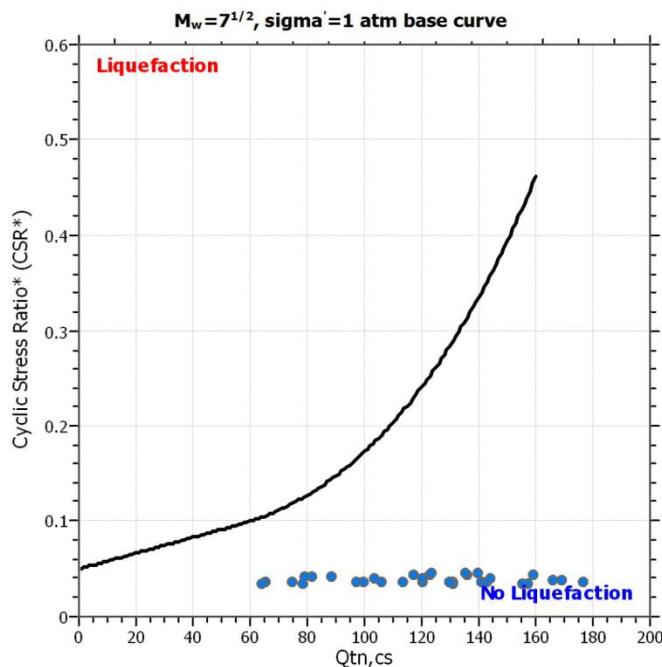
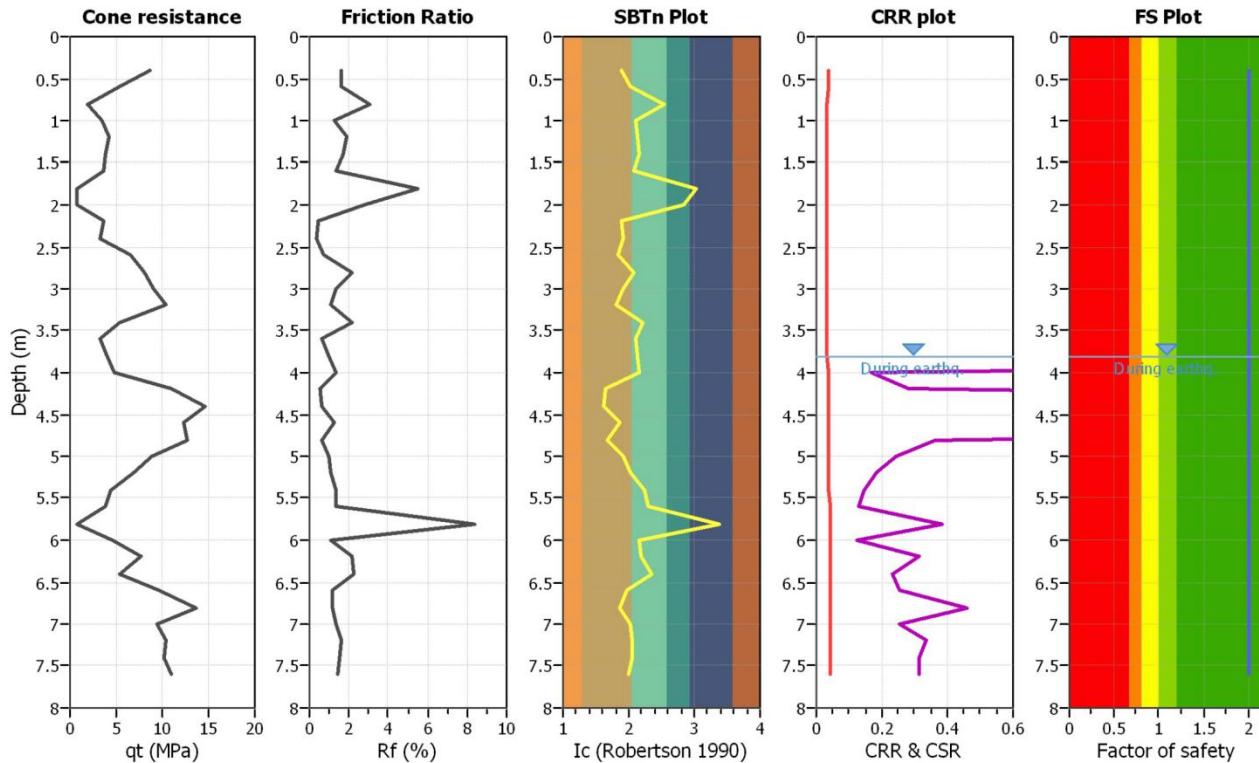
Project title : PGT Lodivecchio 2012

Location : varie prove esistenti + 5 CPT per PGT

CPT file : CPT-02

Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	G.W.T. (in-situ):	3.80 m	Use fill:	No	Clay like behavior applied:	All soils
Fines correction method:	Robertson (2009)	G.W.T. (earthq.):	3.80 m	Fill height:	N/A	Limit depth applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	1	Fill weight:	N/A	Limit depth:	N/A
Earthquake magnitude M_w :	5.50	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No		
Peak ground acceleration:	0.12	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_g applied:	No		



Zone A₁: Cyclic liquefaction likely depending on size and duration of cyclic loading
 Zone A₂: Cyclic liquefaction and strength loss likely depending on loading and ground geometry
 Zone B: Liquefaction and post-earthquake strength loss unlikely, check cyclic softening
 Zone C: Cyclic liquefaction and strength loss possible depending on soil plasticity, brittleness/sensitivity, strain to peak undrained strength and ground geometry

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

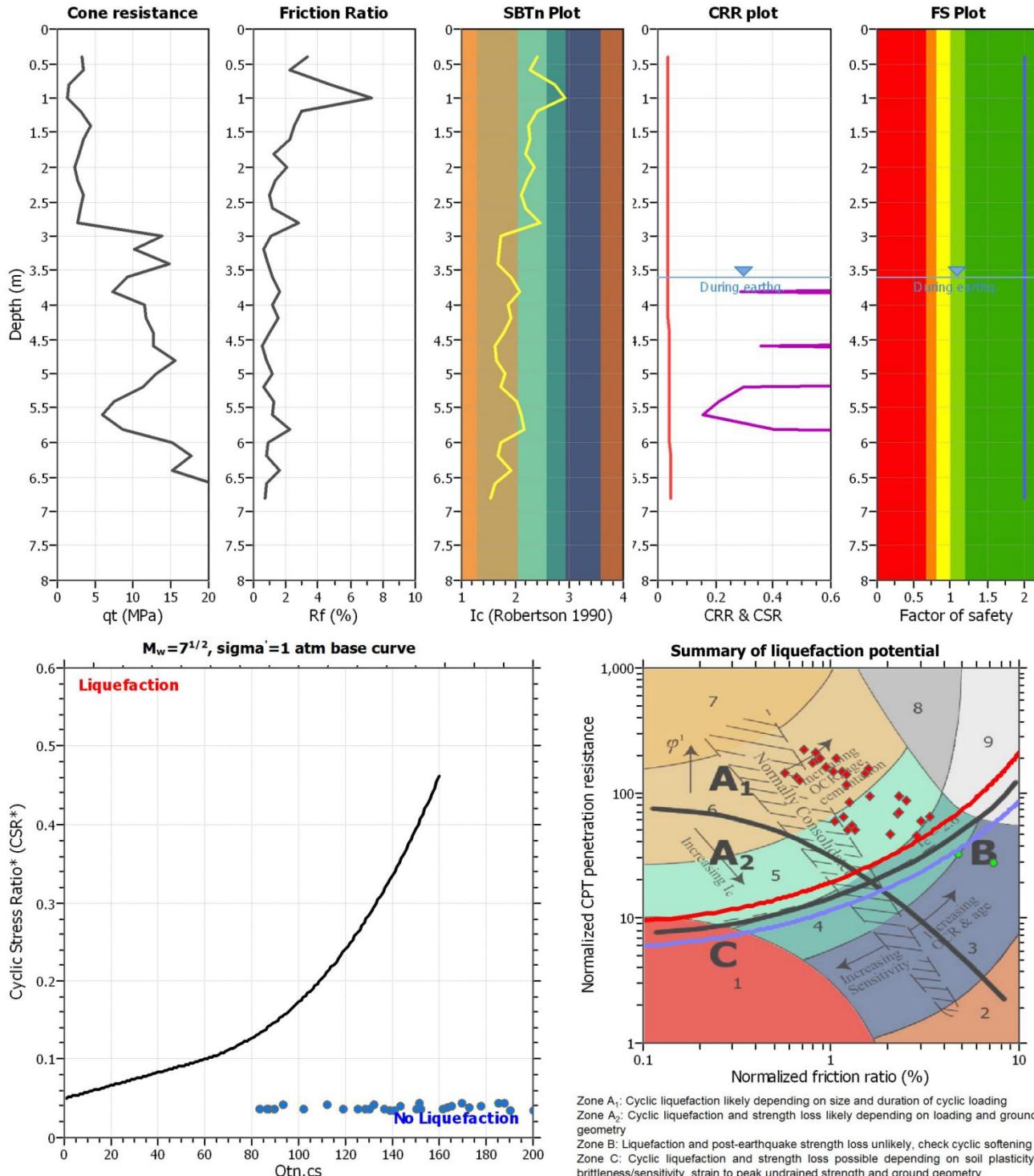
Project title : PGT Lodiveccchio 2012

Location : varie prove esistenti + 5 CPT per PGT

CPT file : CPT-05

Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	G.W.T. (in-situ):	3.60 m	Use fill:	No	Clay like behavior applied:	All soils
Fines correction method:	Robertson (2009)	G.W.T. (earthq.):	3.60 m	Fill height:	N/A	Limit depth applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	1	Fill weight:	N/A	Limit depth:	N/A
Earthquake magnitude M_w :	5.50	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No		
Peak ground acceleration:	0.12	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_o applied:	No		



Zone A₁: Cyclic liquefaction likely depending on size and duration of cyclic loading
Zone A₂: Cyclic liquefaction and strength loss likely depending on loading and ground geometry
Zone B: Liquefaction and post-earthquake strength loss unlikely, check cyclic softening
Zone C: Cyclic liquefaction and strength loss possible depending on soil plasticity, brittleness/sensitivity, strain to peak undrained strength and ground geometry

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

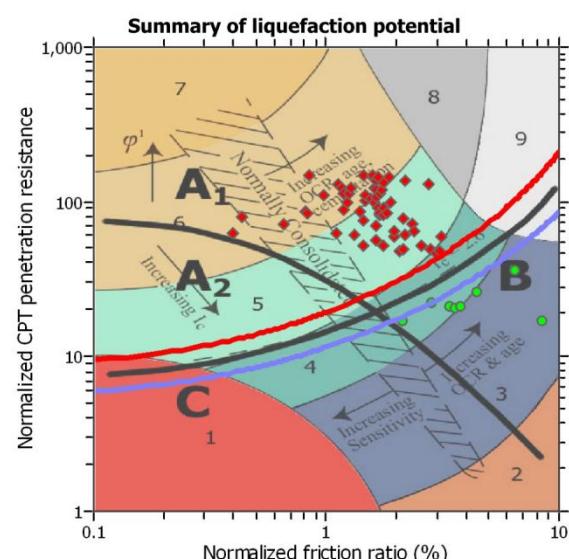
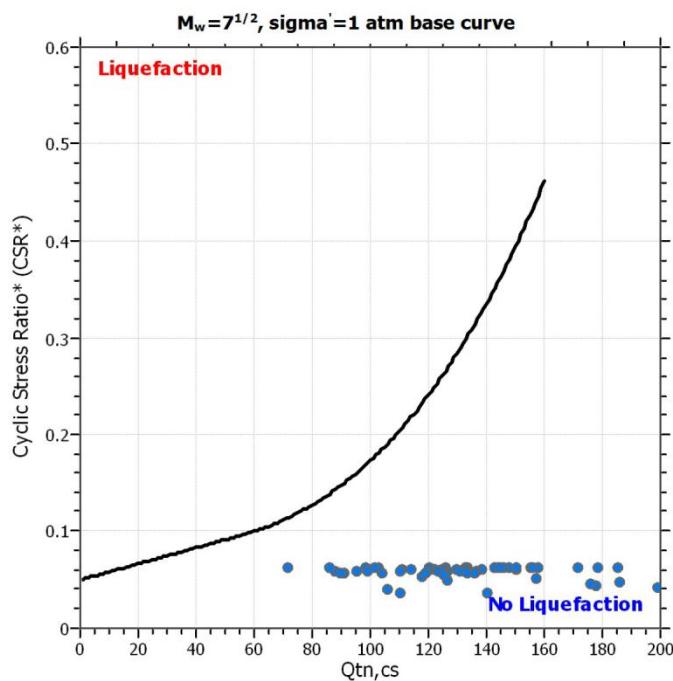
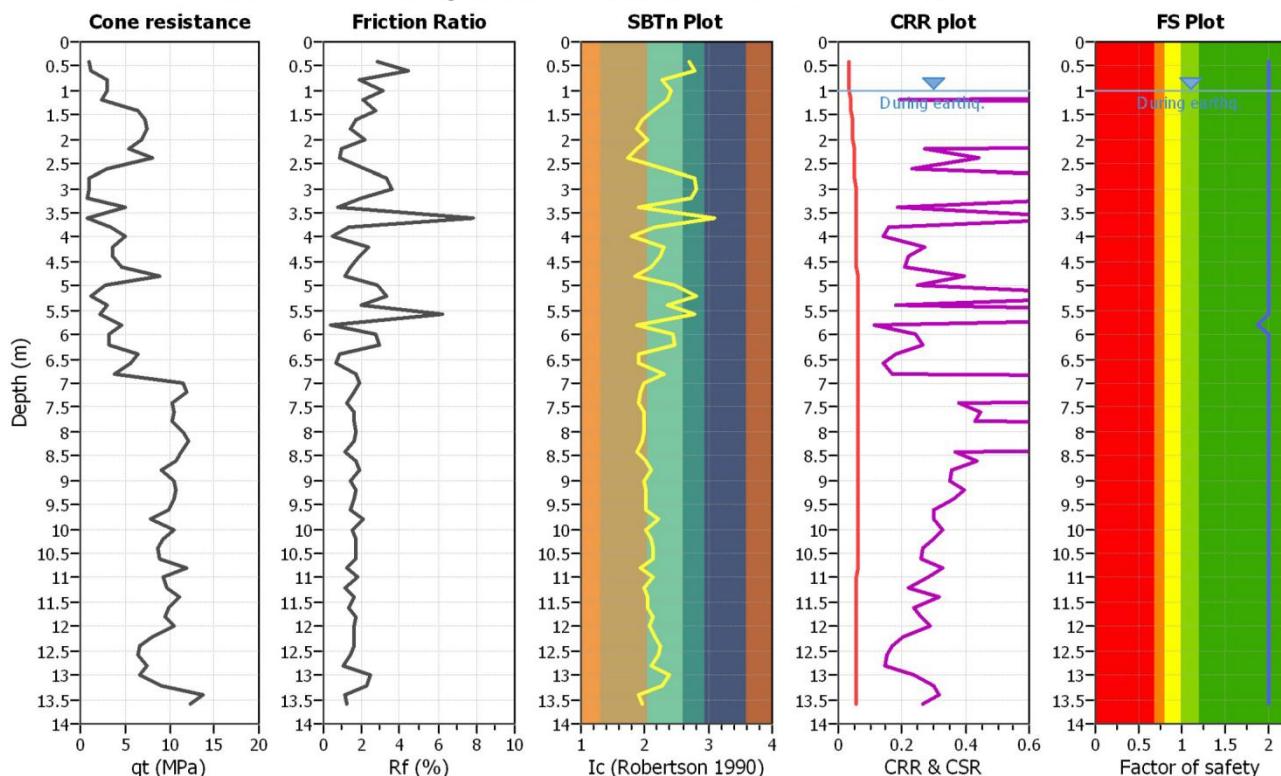
Project title : PGT Lodi vecchio 2012

Location : varie prove esistenti + 5 CPT per PGT

CPT file : CPT-08

Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	G.W.T. (in-situ):	1.00 m	Use fill:	No	Clay like behavior
Fines correction method:	Robertson (2009)	G.W.T. (earthq.):	1.00 m	Fill height:	N/A	applied: All soils
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	1	Fill weight:	N/A	Limit depth applied: No
Earthquake magnitude M_w :	5.50	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	Limit depth: N/A
Peak ground acceleration:	0.12	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_g applied:	No	



Zone A₁: Cyclic liquefaction likely depending on size and duration of cyclic loading
Zone A₂: Cyclic liquefaction and strength loss likely depending on loading and ground geometry
Zone B: Liquefaction and post-earthquake strength loss unlikely, check cyclic softening
Zone C: Cyclic liquefaction and strength loss possible depending on soil plasticity, brittleness/sensitivity, strain to peak undrained strength and ground geometry

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

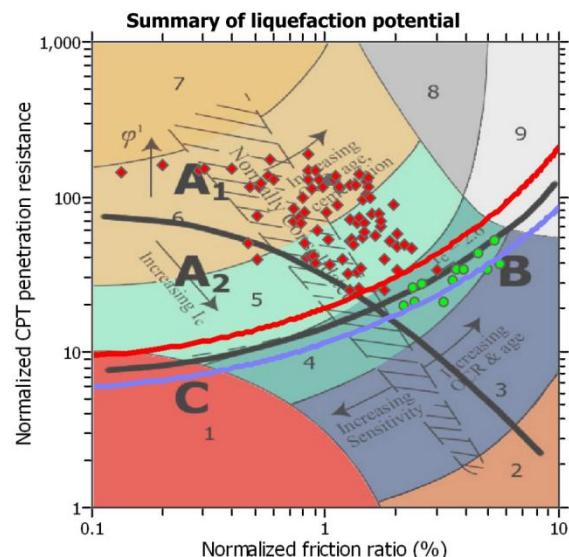
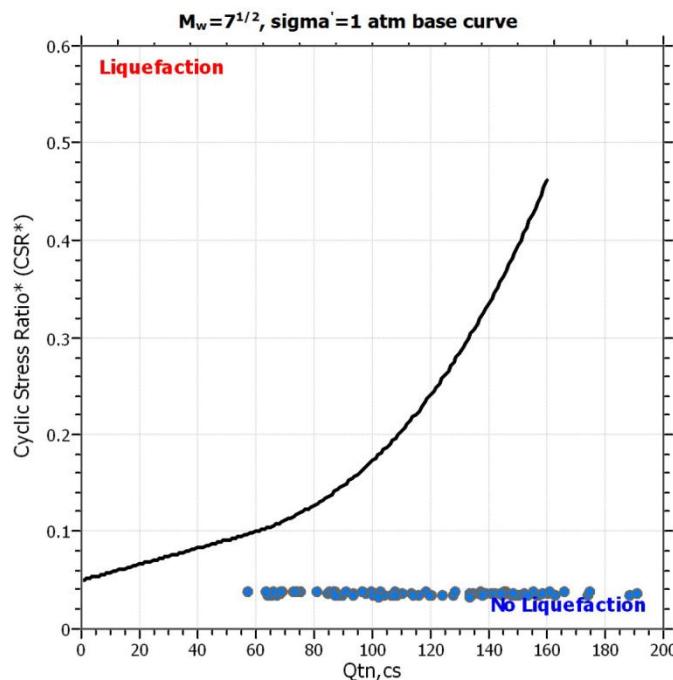
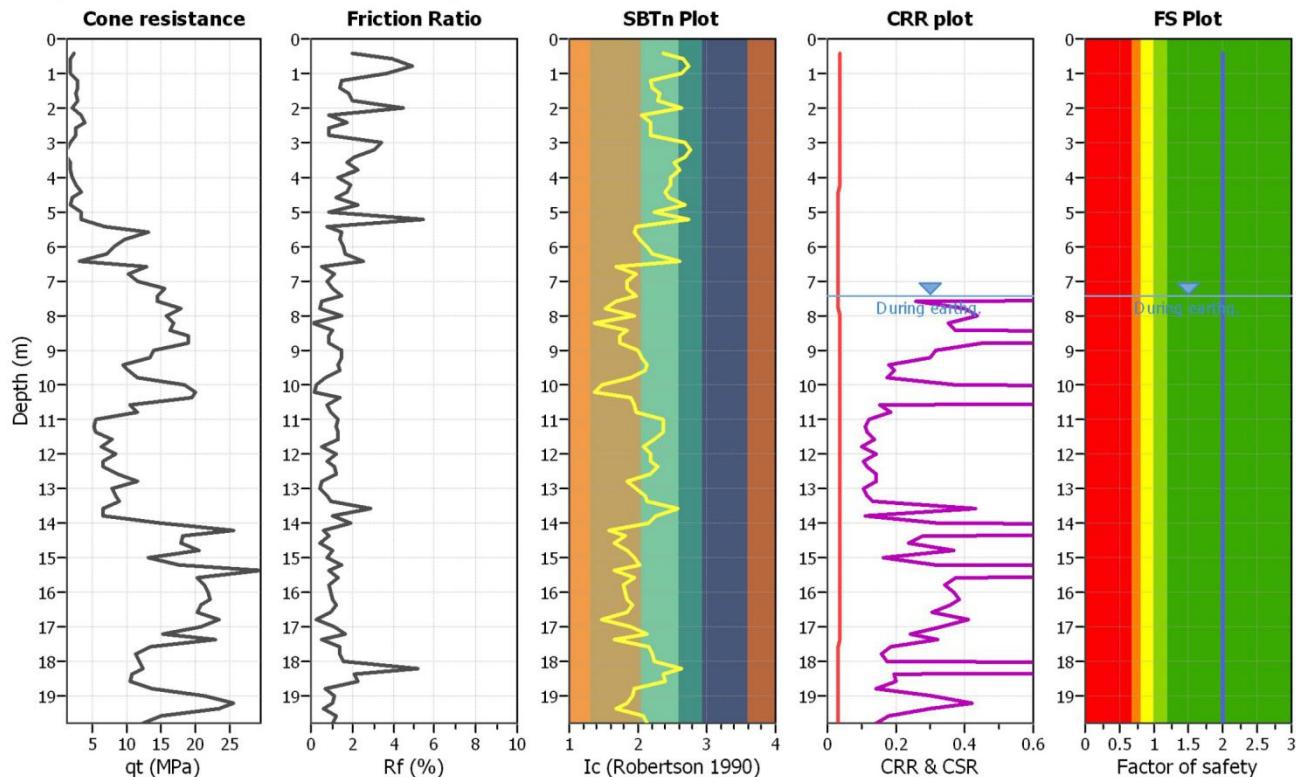
Project title : PGT Lodivecchio 2012

Location : varie prove esistenti + 5 CPT per PGT

CPT file : CPT-09

Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	G.W.T. (in-situ):	7.40 m	Use fill:	No	Clay like behavior
Fines correction method:	Robertson (2009)	G.W.T. (earthq.):	7.40 m	Fill height:	N/A	applied: All soils
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	1	Fill weight:	N/A	Limit depth applied: No
Earthquake magnitude M_w :	5.50	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	Limit depth: N/A
Peak ground acceleration:	0.12	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_g applied:	No	



Zone A₁: Cyclic liquefaction likely depending on size and duration of cyclic loading
 Zone A₂: Cyclic liquefaction and strength loss likely depending on loading and ground geometry
 Zone B: Liquefaction and post-earthquake strength loss unlikely, check cyclic softening
 Zone C: Cyclic liquefaction and strength loss possible depending on soil plasticity, brittleness/sensitivity, strain to peak undrained strength and ground geometry

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

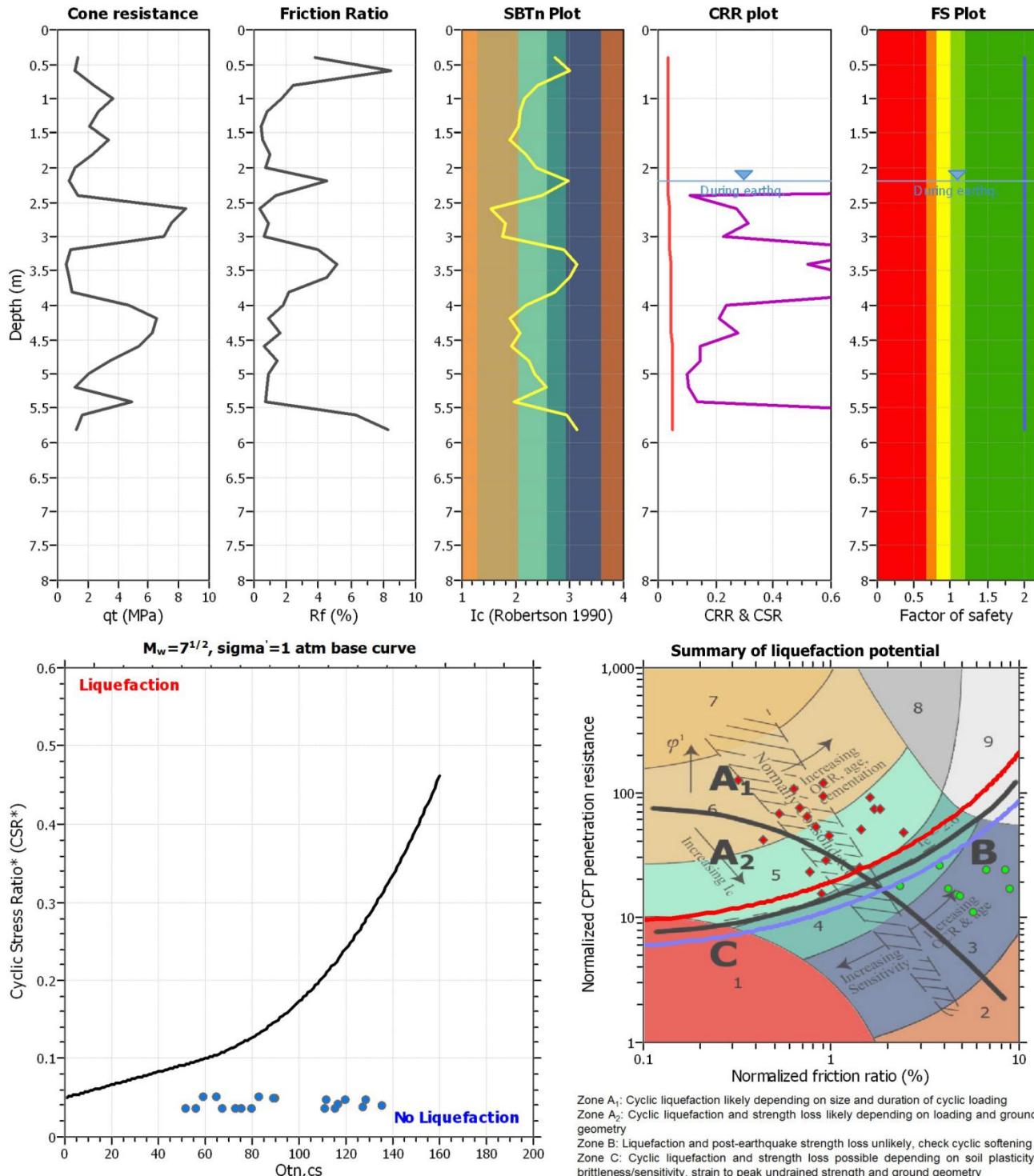
Project title : PGT Lodivecchio 2012

Location : varie prove esistenti + 5 CPT per PGT

CPT file : CPT-1/5

Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	G.W.T. (in-situ):	2.20 m	Use fill:	No	Clay like behavior applied:	All soils
Fines correction method:	Robertson (2009)	G.W.T. (earthq.):	2.20 m	Fill height:	N/A	Limit depth applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	1	Fill weight:	N/A	Limit depth:	N/A
Earthquake magnitude M_w :	5.50	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No		
Peak ground acceleration:	0.12	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_0 applied:	No		



LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

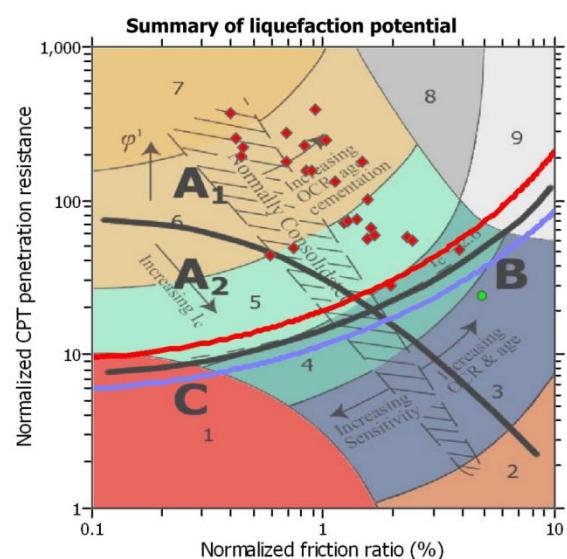
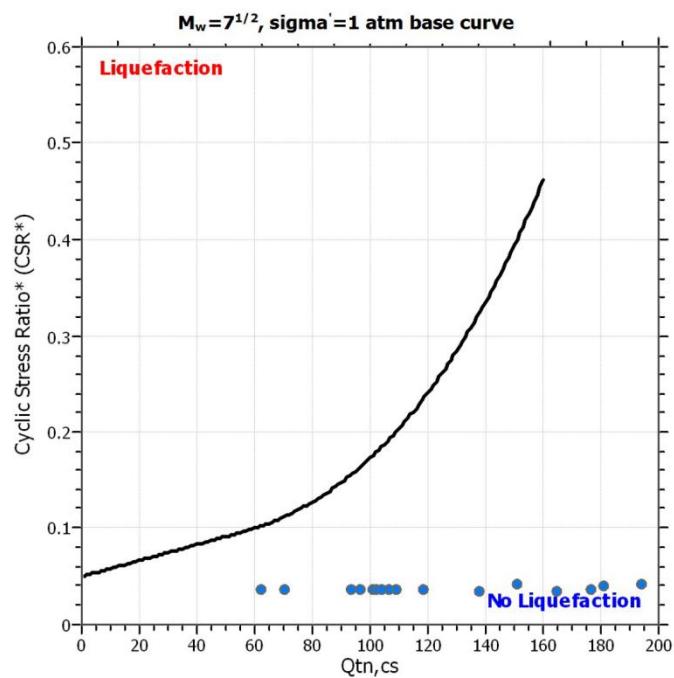
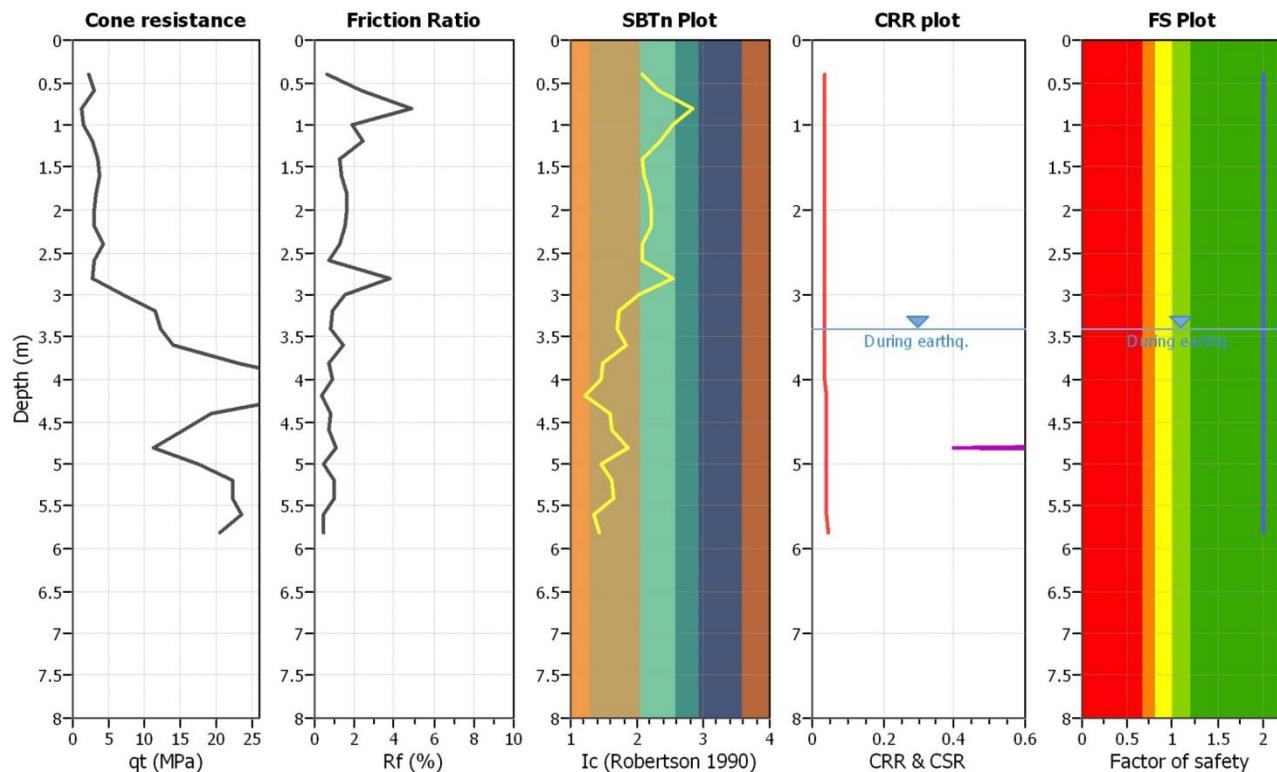
Project title : PGT Lodiveccchio 2012

Location : varie prove esistenti + 5 CPT per PGT

CPT file : CPT-3/5

Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	G.W.T. (in-situ):	3.40 m	Use fill:	No	Clay like behavior applied:	All soils
Fines correction method:	Robertson (2009)	G.W.T. (earthq.):	3.40 m	Fill height:	N/A	Limit depth applied:	No
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	1	Fill weight:	N/A	Limit depth:	N/A
Earthquake magnitude M_w :	5.50	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No		
Peak ground acceleration:	0.12	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_0 applied:	No		



Zone A: Cyclic liquefaction likely depending on size and duration of cyclic loading
Zone A₂: Cyclic liquefaction and strength loss likely depending on loading and ground geometry
Zone B: Liquefaction and post-earthquake strength loss unlikely, check cyclic softening
Zone C: Cyclic liquefaction and strength loss possible depending on soil plasticity, brittleness/sensitivity, strain to peak undrained strength and ground geometry

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

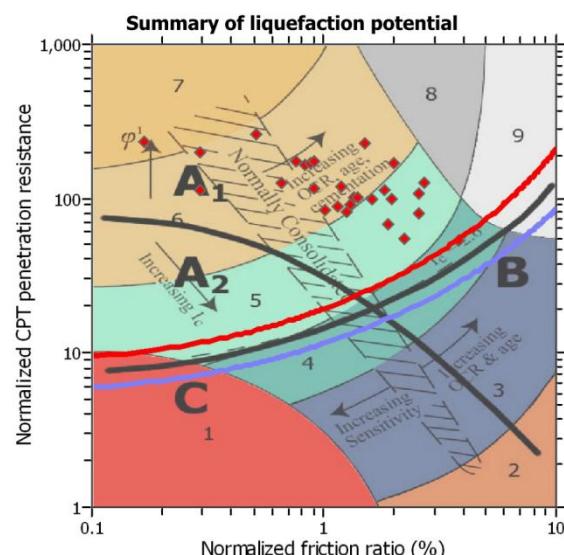
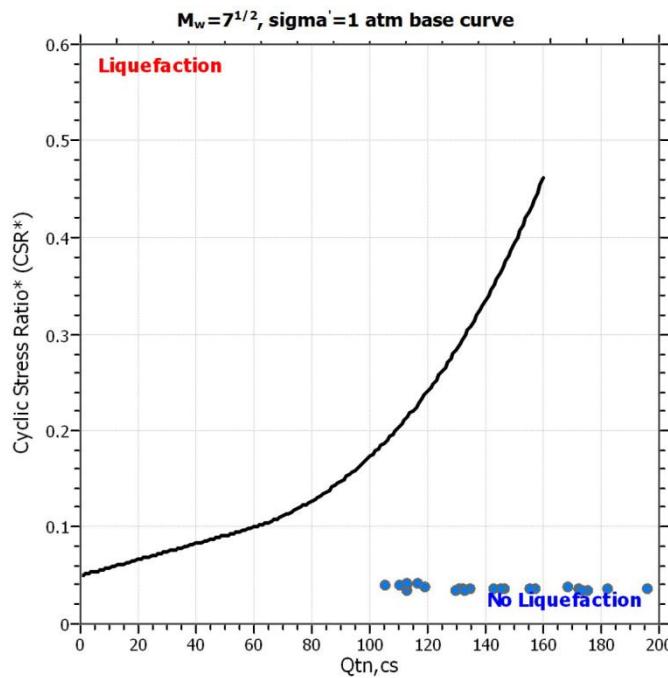
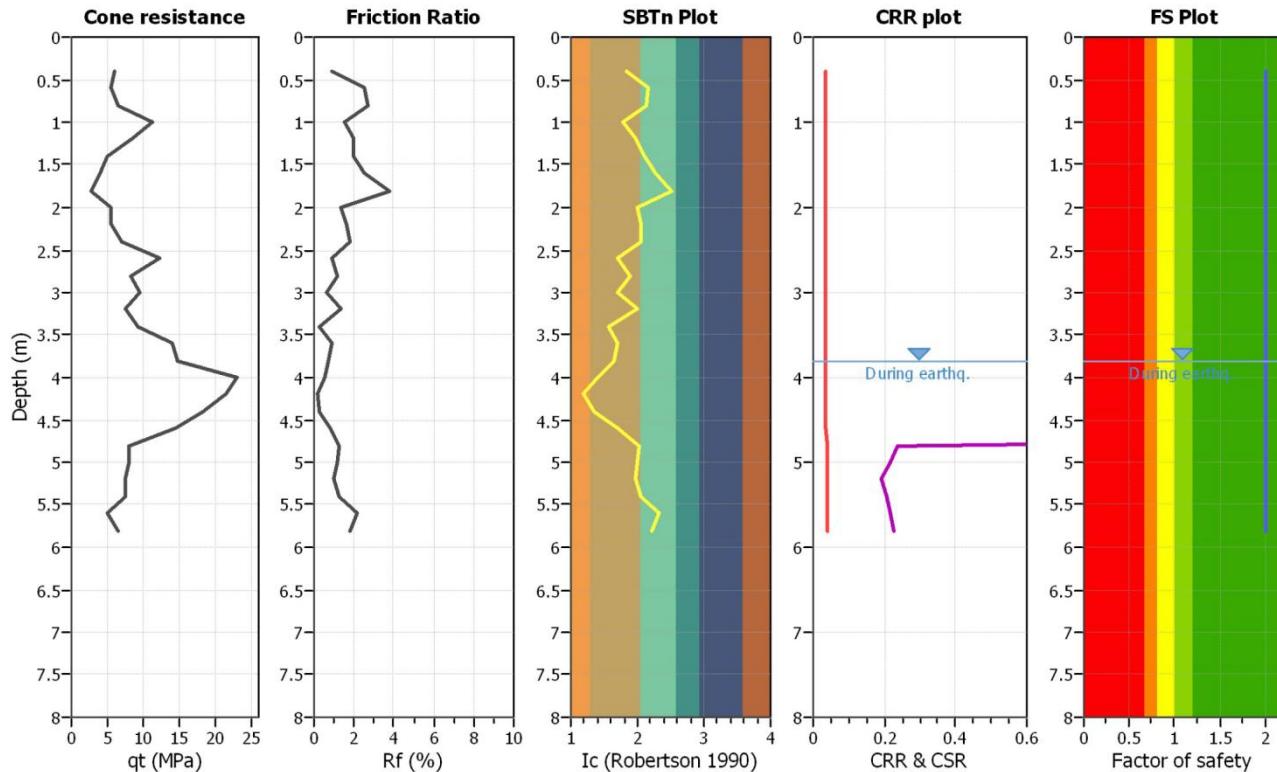
Project title : PGT Lodivecchio 2012

Location : varie prove esistenti + 5 CPT per PGT

CPT file : CPT-4/5

Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	G.W.T. (in-situ):	3.80 m	Use fill:	No	Clay like behavior
Fines correction method:	Robertson (2009)	G.W.T. (earthq.):	3.80 m	Fill height:	N/A	applied: All soils
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	1	Fill weight:	N/A	Limit depth applied: No
Earthquake magnitude M_w :	5.50	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	Limit depth: N/A
Peak ground acceleration:	0.12	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_g applied:	No	



- Zone A₁: Cyclic liquefaction likely depending on size and duration of cyclic loading
- Zone A₂: Cyclic liquefaction and strength loss likely depending on loading and ground geometry
- Zone B: Liquefaction and post-earthquake strength loss unlikely, check cyclic softening
- Zone C: Cyclic liquefaction and strength loss possible depending on soil plasticity, brittleness/sensitivity, strain to peak undrained strength and ground geometry

9 Norme Geologiche di Piano e classi di fattibilità

Aspetti generali

In quasi tutto il territorio comunale interessato da possibili interventi attuativi, ad esclusione delle sole aree prossime al fiume Lambro vincolate dal PAI, non sono state evidenziate condizioni di problematicità tali da rendere sconsigliabile l'edificazione.

Il giudizio di fattibilità espresso nella tavola 6 riflette l'esito della caratterizzazione geotecnica realizzata considerando 14 prove penetrometriche statiche, quattro stendimenti sismici e le letture nei numerosi piezometri che hanno consentito di ricostruire l'andamento della falda freatica riferito nella tavola 2.

L'elaborazione dei dati ha permesso di individuare le caratteristiche sinteticamente riferite negli allegati e di valutare il rischio di liquefazione per il terremoto atteso nell'area, risultato nullo pur esaminando i profili più sfavorevoli a disposizione.

L'aspetto più rilevante, comune a tutto il territorio di Lodi Vecchio e ad ampie porzioni dei comuni limitrofi, è dato dalla presenza di una falda freatica superficiale che in periodo estivo si colloca in ambito urbano a profondità comprese tra circa -1,5 m e -4,5 m dal piano campagna, abbassandosi di circa 1,5 m nei mesi invernali e primaverili.

Di tale aspetto dovranno tenere conto i progettisti, soprattutto per l'esecuzione delle fondazioni e in genere delle opere in sotterraneo, sia per gli aspetti statici sia per il rischio di contaminazione della falda mediante fognature, serbatoi interrati, scarichi e movimenti di terra.

Per tale ragione, nel rispetto della TABELLA 1 della delibera di giunta regionale 30 novembre 2011 - n. IX/2616, quasi tutto il territorio comunale è stato collocato nella classe 3° di fattibilità, che riguarda *"zone nelle quali sono state riscontrate consistenti limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso per le condizioni di pericolosità/vulnerabilità individuate, per il superamento delle quali potrebbero rendersi necessari interventi specifici o opere di difesa"*. Le condizioni effettivamente osservate sotto il profilo geotecnico potrebbero consentire la collocazione nella classe 2, ma a causa della impossibilità di valutare l'effettiva continuità laterale dei depositi fini presenti nei primi 2 m, che determinano la minore vulnerabilità delle acque sotterranee in talune aree del territorio, e del fatto che le opere di fondazione comportano comunque l'asportazione almeno parziale di tale copertura, pare opportuno adottare per tutto il territorio esaminato criteri omogenei di tutela. In pratica si è ritenuto opportuno mantenere la classe d'ingresso suggerita dalla normativa (tabella 1), che specificamente prevede la classe 3 in presenza di *"aree a bassa soggiacenza o con presenza di falde sospese"*.

Per gli interventi eseguiti in tutto il territorio comunale, copia delle indagini effettuate e della relazione geologica di supporto deve essere consegnata, congiuntamente alla restante documentazione, in sede di presentazione dei Piani attuativi (l.r. 12/05, art. 14) o in sede di richiesta del permesso di costruire (l.r. 12/05, art. 38). In caso di istanza di riutilizzo di aree industriali dismesse, è richiesta inoltre l'esecuzione gli studi preliminari con le procedure indicate dagli Allegati alla parte V - D. Lgs 152/2006"

Sottoclasse 3A (*bassa soggiacenza della falda – quasi intero territorio comunale*)

In tutto il territorio individuato graficamente nella tavola 5, la progettazione di interventi edilizi di qualunque natura dovrà avvenire assumendo esplicitamente l'ipotesi di falda presente, almeno alcuni mesi dell'anno, alla profondità indicata nella allegata tavola 2 dalla quota naturale del piano campagna (considerata in assenza di riporti o depressioni artificiali), incrementata di 1,5 metri. Tale aumento è richiesto per tenere del fatto che la tavola riproduce la condizione di massima soggiacenza media ottenuta con dati rilevati nei mesi invernali, e che i dati rilevati mensilmente presso il pozzo comunale di via Cabrini indicano un'escursione stagionale media di circa 1,0 metri.

In presenza di opere o interventi che comportino scavi dal piano campagna a profondità non superiori quelle risultanti dal criterio sopra indicato, l'accertamento delle caratteristiche geologico tecniche dei terreni potrà avvenire secondo le modalità definite nel D.M. 14 gennaio 2008 *"Norme tecniche per le costruzioni"*.

In caso di opere che comportino scavi o posa di manufatti a profondità superiori a quelle sopra indicate, e comunque in caso di scavo sotto il livello freatico, il rilascio della concessione edilizia dovrà essere subordinata effettuazione di indagini puntuale estese alla parte del sottosuolo influenzata, direttamente o indirettamente dalla costruzione del manufatto, e ad una valutazione di compatibilità che definisca il pericolo di contaminazione della falda freatica, determinando le modalità di attenuazione del rischio.

In relazione a quest'ultimo aspetto, nella documentazione di progetto dovranno essere preciseate:

- modalità e tempi di eventuale abbattimento del livello freatico ed una valutazione delle possibili interferenze con le strutture di fondazione degli edifici limitrofi;
- procedura previste per la mitigazione del rischio di dispersione di inquinanti durante le fasi di lavorazione;
- elenco dei materiali e prodotti utilizzati per l'esecuzione delle opere in sotterraneo.

In caso d'interventi che prevedono l'utilizzo di **miscele di bentonite, polimeri, resine acqueose e silicato di sodio** dovrà essere illustrata la modalità di utilizzo e la quantità di prodotti impiegati. In tale occorrenza l'Ufficio Tecnico comunale **potrà richiedere la realizzazione di un monitoraggio** sulla qualità delle acque di falda, che consenta di definirne le caratteristiche prima e successivamente l'intervento.

L'autorizzazione all'installazione **degli impianti stradali di distribuzione di carburante**, oltre al rispetto delle norme del decreto 20 ottobre 1998, è subordinata alla realizzazione di un monitoraggio dei gas interstiziali nel non saturo (Gas Soil Survey) per definire la situazione di "bianco" del sito prima dell'installazione dell'impianto, ed a successivi controlli da predisporre in funzione delle dimensioni e tipologie dei serbatoi interrati.

Per la realizzazione di **tubi interrati**, e segnatamente di **fognature**, si fa rimando alle prescrizioni contenute nel decreto del ministero LL.PP. del 12 dicembre 1985 *"norme tecniche relative alle tubazioni"*.

Per le opere di ristrutturazione che prevedono la modifica del funzionamento strutturale delle fondazioni, il progetto dovrà essere accompagnato da una relazione geotecnica che valuti gli effetti dei nuovi carichi se la variazione è superiore al 20% rispetto alle condizioni originarie.

Sottoclasse 3B (*paleoalveo del Sillaro*)

La superficie distinta in tale sottoclasse è individuata in corrispondenza della lieve depressione sinuosa del paleoalveo del Sillaro, che in taluni casi sia all'interno del territorio comunale sia all'esterno dello stesso, ha rivelato l'associazione della morfologia con depositi fini scarsamente sovraconsolidati e distintamente più compressibili dei depositi circostanti. I progetti ricadenti in tale superficie sono sottoposti alle medesime prescrizioni della sottoclasse 3A, ma in aggiunta il progettista dovrà esplicitamente attestare che le indagini eseguite hanno tenuto conto della possibile presenza di depositi compressibili e di variazioni laterali dei parametri geotecnici più marcate di quelle presenti nel territorio circostante.

Sottoclasse 3C (*scarpate naturali e artificiali*)

La superficie è indicativamente delineata in corrispondenza delle aree di ciglio delle scarpate presenti ad ovest e sud ovest della C.na Gualdane, intese come superfici con acclività superiori a 20° e di altezza (h) superiore ad 2,5 m, per una fascia estesa da 2*h sopra il ciglio fino a 2*h a valle del piede. L'individuazione di tale classe è connessa alla potenziale pericolosità delle scarpate in sabbia che in occasione di precipitazioni intense, di scorimenti superficiali di acque non canalizzate o di eventi sismici, possono dare luogo a fenomeni franosi intensi a rapida evoluzione. La definizione grafica della fascia inserita nella classe 3c è indicativa, e una precisa delimitazione delle aree interessate è possibile solo a seguito di adeguato rilievo planimetrico in scala non inferiore a 1:200. Per tali fasce, che non superano in genere i 20 m di ampiezza è prescritta l'esecuzione di una verifica di stabilità della scarpata per l'esecuzione di qualunque intervento di edificazione o di realizzazione di infrastrutture con movimenti di terra complessivamente superiori ad 1 m³. In ogni circostanza dovrà essere garantito l'allontanamento delle acque superficiali in modo da evitare infiltrazioni nel terreno o scorimenti liberi verso il ciglio della scarpata.

sottoclasse 3D (*fasce di rispetto dei corsi d'acqua pubblici*)

Con l'approvazione del reticolo idrografico minore e delle relative norme di polizia idraulica ai sensi della DGR 25 gennaio 2002 n°7/7868, come modificata dalla DGR 01 agosto 2003 n° 13950, sono individuate le fasce di rispetto dei corsi d'acqua pubblici in applicazione alle norme del R.D 523/1904 (T.U. sulle acque), collocandole nella classe 3d di fattibilità. Per ogni aspetto concernente l'individuazione e la gestione delle fasce di rispetto dei corsi d'acqua si fa rimando allo specifico regolamento approvato dal Comune di Lodi Vecchio.

Classe 3E (*zona di rispetto dei pozzi*)

Nella tavola sono riportate le aree di salvaguardia intorno ai pozzi, istituite "per mantenere e migliorare le caratteristiche qualitative delle acque superficiali e sotterranee destinate al consumo umano, erogate a terzi mediante impianto di acquedotto che riveste

carattere di pubblico interesse, nonché per la tutela dello stato delle risorse". A Lodi Vecchio sono presenti quattro pozzi pubblici le cui fasce rispetto sono definite su base geometrica, come previsto dall'art.94 del Decreto Legislativo 3 aprile 2006 n.152. La zona più ampia ed esterna è la zona di rispetto, collocata in classe 3 di fattibilità, mentre quella centrale è la zona di tutela assoluta, collocata in classe 4.

La zona di rispetto è definita dalla superficie circostante la zona di tutela assoluta entro il raggio di 200 m dall'opera di captazione, all'interno della quale secondo l'art.94:

"Comma 4 : ...in particolare nella zona di rispetto sono vietati l'insediamento dei seguenti centri di pericolo e lo svolgimento delle seguenti attività:

- a) dispersione di fanghi e acque reflue, anche se depurati;
- b) accumulo di concimi chimici, fertilizzanti o pesticidi;
- c) spandimelo di concimi chimici, fertilizzanti o pesticidi, salvo che l'impiego di tali sostanze sia effettuato sulla base delle indicazioni di uno specifico piano di utilizzazione che tenga conto della natura dei suoli, delle colture compatibili, delle tecniche agronomiche impiegate e della vulnerabilità delle risorse idriche;
- d) dispersione nel sottosuolo di acque meteoriche provenienti da piazzali e strade;
- e) aree cimiteriali;
- f) apertura di cave che possono essere in connessione con la falda;
- g) apertura di pozzi ad eccezione di quelli che estraggono acque destinate al consumo umano e di quelli finalizzati alla variazione dell'estrazione ed alla protezione delle caratteristiche quali-quantitative della risorsa idrica;
- h) gestione di rifiuti;
- i) stoccaggio di prodotti ovvero sostanze chimiche pericolose e sostanze radioattive;
- l) centri di raccolta, demolizione e rottamazione di autoveicoli;
- m) pozzi perdenti;
- n) pascolo e stabulazione di bestiame che ecceda i 170 chilogrammi per ettaro di azoto presente negli effluenti, al netto delle perdite di stoccaggio e distribuzione. È comunque vietata la stabulazione di bestiame nella zona di rispetto ristretta.

Comma 5: Per gli insediamenti o le attività di cui al comma 4, preesistenti, ove possibile e comunque ad eccezione delle aree cimiteriali, sono adottate le misure per il loro allontanamento: in ogni caso deve essere garantita la loro messa in sicurezza. Le regioni e le provincie autonome disciplinano, all'interno delle zone di rispetto, le seguenti strutture od attività:

- a) fognature;
- b) edilizia residenziale e relative opere di urbanizzazione;
- c) opere viarie, ferroviarie ed in genere infrastrutture di servizio;
- d) le pratiche agronomiche e i contenuti dei piani di utilizzazione di cui alla lettera c) del comma 4."

La disciplina regionale prevista dal sopracitato comma 5 è costituita dal d.g.r. 10 aprile 2003 n. 7/12693 "Direttive per la disciplina delle attività all'interno delle aree di rispetto", che in particolare prevede che le fognature abbiano tenuta bidirezionale, dall'interno verso l'esterno e viceversa, che recapitino esternamente all'area, e che siano evitati, ove possibile, discontinuità quali sifoni e opere di sollevamento. Nella zona di rispetto, inoltre, non è consentita la realizzazione di fosse settiche, pozzi perdenti, bacini di accumulo di liquami e depuratori, nonché la realizzazione di sondaggi e indagini nel sottosuolo che possano comportare la creazione di vie preferenziali di inquinamento. I volumi interrati delle nuove edificazioni dovranno avere una distanza non inferiore a 5 m dalla superficie freatica, e al servizio delle nuove abitazioni non potranno essere realizzati serbatoi o condotte di sostanze pericolose sul suolo e nel sottosuolo... omissis...

sottoclasse 4A (fascia A PAI, limiti fasce B e C coincidenti con A)

In questa categoria sono collocate le superfici ricadenti nella fascia A del PAI, che ha la funzione di "...garantire le condizioni di sicurezza assicurando il deflusso della piena di riferimento, il mantenimento e/o il recupero delle condizioni di equilibrio dinamico dell'alveo nonché quelle di mantenimento in quota dei livelli idrici di magra ", ed è normata dagli articoli

29, 32, 38, 38 bis, 39 e 41 delle NdA, qui integralmente richiamate. In particolare si evidenziano i seguenti punti:

art 29 comma 2: Nella Fascia A sono vietate:

- a) le attività di trasformazione dello stato dei luoghi, che modifichino l'assetto morfologico, idraulico, infrastrutturale, edilizio, fatte salve le prescrizioni dei successivi articoli;
- b) la realizzazione di nuovi impianti di smaltimento e di recupero dei rifiuti, l'ampliamento degli stessi impianti esistenti, nonché l'esercizio delle operazioni di smaltimento e recupero dei rifiuti, così come definiti dal D.Lgs. 5 febbraio 1997, n. 22, fatto salvo quanto previsto al successivo comma 3, lett. I);
- c) la realizzazione di nuovi impianti di trattamento delle acque reflue, nonché l'ampliamento degli impianti esistenti di trattamento delle acque reflue, fatto salvo quanto previsto al successivo comma 3, lett. m);
- d) le coltivazioni erbacee non permanenti e arboree, fatta eccezione per gli interventi di bioingegneria forestale e gli impianti di rinaturalazione con specie autoctone, per una ampiezza di almeno 10 m dal ciglio di sponda, al fine di assicurare il mantenimento o il ripristino di una fascia continua di vegetazione spontanea lungo le sponde dell'alveo inciso, avente funzione di stabilizzazione delle sponde e riduzione della velocità della corrente; le Regioni provvederanno a disciplinare tale divieto nell'ambito degli interventi di trasformazione e gestione del suolo e del soprassuolo, ai sensi dell'art. 41 del D.Lgs. 11 maggio 1999, n. 152 e successive modifiche e integrazioni, ferme restando le disposizioni di cui al Capo VII del R.D. 25 luglio 1904, n. 523;
- e) la realizzazione di complessi ricettivi all'aperto;
- f) il deposito a cielo aperto, ancorché provvisorio, di materiali di qualsiasi genere.

Art. 39 comma 3. Nei territori della Fascia A, sono esclusivamente consentite:

le opere relative a interventi di demolizione senza ricostruzione, manutenzione ordinaria e straordinaria, restauro, risanamento conservativo, come definiti all'art. 31, lett. a), b), c) della L. 5 agosto 1978, n. 457, senza aumento di superficie o volume, senza cambiamenti di destinazione d'uso che comportino aumento del carico insediativo e con interventi volti a mitigare la vulnerabilità dell'edificio.

sottoclasse 4B (fasce di tutela assoluta dei pozzi pubblici)

L'area corrisponde alla zona di tutela assoluta dei pozzi pubblici ad uso idropotabile (o meglio come sopra definiti "che erogano acqua potabile a terzi mediante impianto di acquedotto che riveste carattere di pubblico interesse"). La superficie interessata è quella compresa entro il raggio di 10 m dall'opera di captazione, all'interno della quale non è possibile lo svolgimento di alcuna attività e che "deve essere adeguatamente protetta e adibita esclusivamente ad opere di captazione o presa e ad infrastrutture di servizio.".

sottoclasse 4C (fasce di scorrimento delle piene del reticolo superficiale e sorgenti di terrazzo)

Le superfici inserite in tale sottoclasse sono costituite dagli alvei di piena del reticolo idrografico. All'interno di tali superfici sono consentiti soli interventi di manutenzione ordinata e straordinaria finalizzati al mantenimento delle corrette condizioni di deflusso delle acque.

Nella medesima sottoclasse sono inserite le sorgenti di terrazzo presenti ad ovest della C.na Gualdane e le superfici limitrofe individuate con apposito tratto grafico nella tavola, per i quali non sono consentite opere di urbanizzazione né azioni o interventi che possano compromettere qualitativamente o quantitativamente le risorse idriche e gli habitat naturali. La perimetrazione dell'area di scaturigine delle acque è sommaria e la sua precisa delimitazione è demandata a successivi rilievi.

sottoclasse 4D (siti con procedure di cui al D.M. 471/99 e D. Lgs 152/06)

Le aree poste in tale sottoclasse sono quelle oggetto degli interventi di cui alla parte IV del titolo V del D.Lgs 152/2006, nelle quali le eventuali azioni in progetto dovranno essere compatibili con l'intervento di bonifica ed essere validate dagli enti che stanno attuando la bonifica stessa.