

Comune di Cornegliano Laudense

(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 deliberazione di Giunta Regionale 30 novembre 2011 - n. IX/2616

Relazione geologica

maggio 2012

aggiornata a seguito osservazioni ARPA protocollo dell'Ente n. 111019 del 08.08.2012 (class. 6.3 Rep 156/11)



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
1.1	Metodi di indagine geotecnica	4
1.1.1	Nota sulle caratteristiche delle prove penetrometriche CPT	4
2	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOLOGICO GENERALE	6
3	LINEAMENTI STRUTTURALI	11
4	GEOMORFOLOGIA ED ELEMENTI DI PEDOLOGIA.....	14
4.1	Processi genetici	14
4.2	Commento della tavola 1 – Caratteri Morfologici	16
4.3	Elementi di pedologia	17
4.3.1	Sintesi delle caratteristiche	17
4.3.2	Aspetti applicativi delle caratteristiche pedologiche.....	21
5	IDROGRAFIA E IDROLOGIA.....	23
6	ASPETTI IDROGEOLOGICI	29
6.1	Caratteristiche generali e stratigrafia dei pozzi	29
6.2	Morfologia della falda superficiale	37
6.3	Caratteristiche dell'acquifero riferito nel PTUA	39
7	VULNERABILITÀ DELLA FALDA FREATICA ALL'INQUINAMENTO	42
7.1	Premessa	42
7.2	Generalità' sul metodo SINTACS	43
7.3	I fattori della vulnerabilità	44
7.4	Valori dell'indice di vulnerabilità e relativa rappresentazione	48
8	ASPETTI GEOTECNICI	51
8.1	Dati disponibili e descrizione generale.....	51
8.2	Stima del carico limite	88
8.2.1	Criteri di valutazione	88
8.2.2	Risultati delle elaborazioni e relativi commenti	89
8.3	Rappresentazione planimetrica di altri parametri derivati	93
9	ASPETTI SISMOLOGICI E RISPOSTA SISMICA LOCALE	96
9.1	Riferimenti normativi e definizioni	96
9.2	Cenni sulla sismologia del territorio	102
9.3	Indagini simiche - parametri geofisici e categoria di sottosuolo	106
9.3.1	Aspetti generali	106
9.3.2	Modalità esecutive delle indagini sismiche	108
9.3.3	Risultati delle indagini sismiche.....	109
9.4	Stima Vs ₃₀ con metodi alternativi.....	121
9.5	Stima del rischio di liquefazione	122
10	RISCHIO GAS METANO NEGLI STRATI SUPERFICIALI DEL SOTTOSUOLO	127
11	NORME GEOLOGICHE DI PIANO E CLASSI DI FATTIBILITÀ	132

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° del /12/2011, 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 dicembre 2011 e aprile 2012, tenendo conto dei dati e delle elaborazioni già sviluppate nello studio geologico per la variante generale del PRG eseguito nel 2003 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.**

Il 23 dicembre 2011 e il 18 gennaio 2012 sono state eseguite 5 prove penetrometriche statiche con punta meccanica Begemann (**CPT**) nelle aree individuate come ambiti di trasformazione e presso edifici scolastici, 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 .

A causa degli scarsa quantità di punti di rilievo nell'area esterna all'abitato, i dati sono stati integrati con dati provenienti da misure eseguite con lavori effettuati nel 2008 e 2009 in territorio comunale o a breve distanza dal suo confine e infine mediante 5 misure di quota lungo il canale Muzza, considerato come quota costante di ricarica della falda.

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

I dati sono stati elaborati con il software Surfer © vers. 9.11 mediante interpolazione con metodo kriging per ottenere una maglia regolare di 8000 nodi sovrapponibile a quella ottenuta dai dati topografici. Sottraendo il risultato dei dati piezometrici da quello elaborato in modo analogo 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 (**Tav. 2**).

In particolare, considerata la relativa uniformità stratigrafica e geotecnica rilevata dalle misure penetrometriche effettuate per il PGT e di quelle 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 1,0 e 1,5 metri intorno al canale Muzza (i valori inferiori a 1 metro sono poco probabili e sostanzialmente l'effetto della carenza di dati e delle approssimazioni di scala), e nella porzione settentrionale del territorio, a nord delle cascine Fabia e Campolungo.

Altre aree caratterizzate da soggiacenza inferiore a 2 metri si osservano presso le C.ne Melesa, Cesarina e Ospitala principalmente a causa di locali depressioni della topografiche.

I valori incrementano in direzione nord est fino a valori di 2,5 -3,0 metri lungo la provinciale 235 e lungo la provinciale 186, mentre un incremento più marcato e costante si rileva nel quadrante NE del territorio a causa dell'approfondimento della falda generata dal deflusso verso la valle dell'Adda, con valori di quasi 4 metri in prossimità del confine con il territorio di Lodi.

L'esito delle indagini in sito, 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 e 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 § 8.2.

Le 8 prove penetrometriche statiche eseguite per il PRG del 2003, le **5** espressamente effettuate per la presente indagine ed altre 7 rese disponibili da colleghi, per un totale di **20 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. § 9.5) 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 **indagini geofisiche con tecniche MASW e Re.Mi** (2 nuovi stendimenti nelle aree ATP 3 e PL 1, una prova eseguita dal Dott. Viganò nel 2009 per il progetto dell'edificio postale, una prova eseguita dal Dott. Emani nell'area ATR 2), la cui descrizione è contenuta nel § 9.3.

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 259 e 282 m/s.

1.1 METODI DI INDAGINE GEOTECNICA

1.1.1 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 Kavvasas, 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 ± 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 sito, 1996 Ed. GeoGraph, pag. 101) *"nelle sabbie il valore di fs 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 fs 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 fs meccanica / fs elettrica = 1,7 - 1,9.

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, γ (kN/m³) ::

$$\gamma = \gamma_w \cdot \left(0.27 \cdot \log(R_f) + 0.36 \cdot \log\left(\frac{q_t}{p_a}\right) + 1.236 \right)$$

where γ_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_{5PT} (blows per 30 cm) ::

$$N_{50} = \left(\frac{q_c}{p_a} \right) \cdot \frac{1}{10^{1.1268-0.2817I_c}}$$

$$N_{t(50)} = Q_{tn} \cdot \frac{1}{10^{1.1268-0.2817I_c}}$$

:: 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 (%) ::

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

:: 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) ::

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

:: Overconsolidation Ratio, OCR ::

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

$$OCR = k_{OCR} \cdot Q_{tn}$$

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

:: In situ Stress Ratio, K_0 ::

$$K_0 = 0.1 \cdot \left(\frac{q_t - \sigma_v}{\sigma_{vo}} \right)$$

(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' (°) ::

$$\phi' = 29.5^\circ \cdot B_q^{0.121} \cdot (0.256 + 0.336 \cdot B_q + \log Q_{t1})$$

(applicable for $0.10 < B_q < 1.00$)

Partendo quindi dall'assunto che la punta elettrica fornisca la "misura più attendibile", prima di 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 fs delle prove nei tratti sabbiosi e per 1,5 i valori di fs di tutti i tratti limo argillosi individuati in un primo momento partendo dai dati originali.

Tale procedura è stata in parte applicata anche ai dati della presente indagine, dividendo per 1,5 tutti i valori di fs, 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)

2 Inquadramento geografico e geologico generale

Il territorio del Comune di Cornegliano Laudense interessa una porzione centrale della Provincia di Lodi, contrassegnato dalla presenza del canale Muzza che ne delimita in buona parte il confine sud Occidentale, mentre a nord e a est il territorio non manifesta elementi di discontinuità con la pianura agricola.

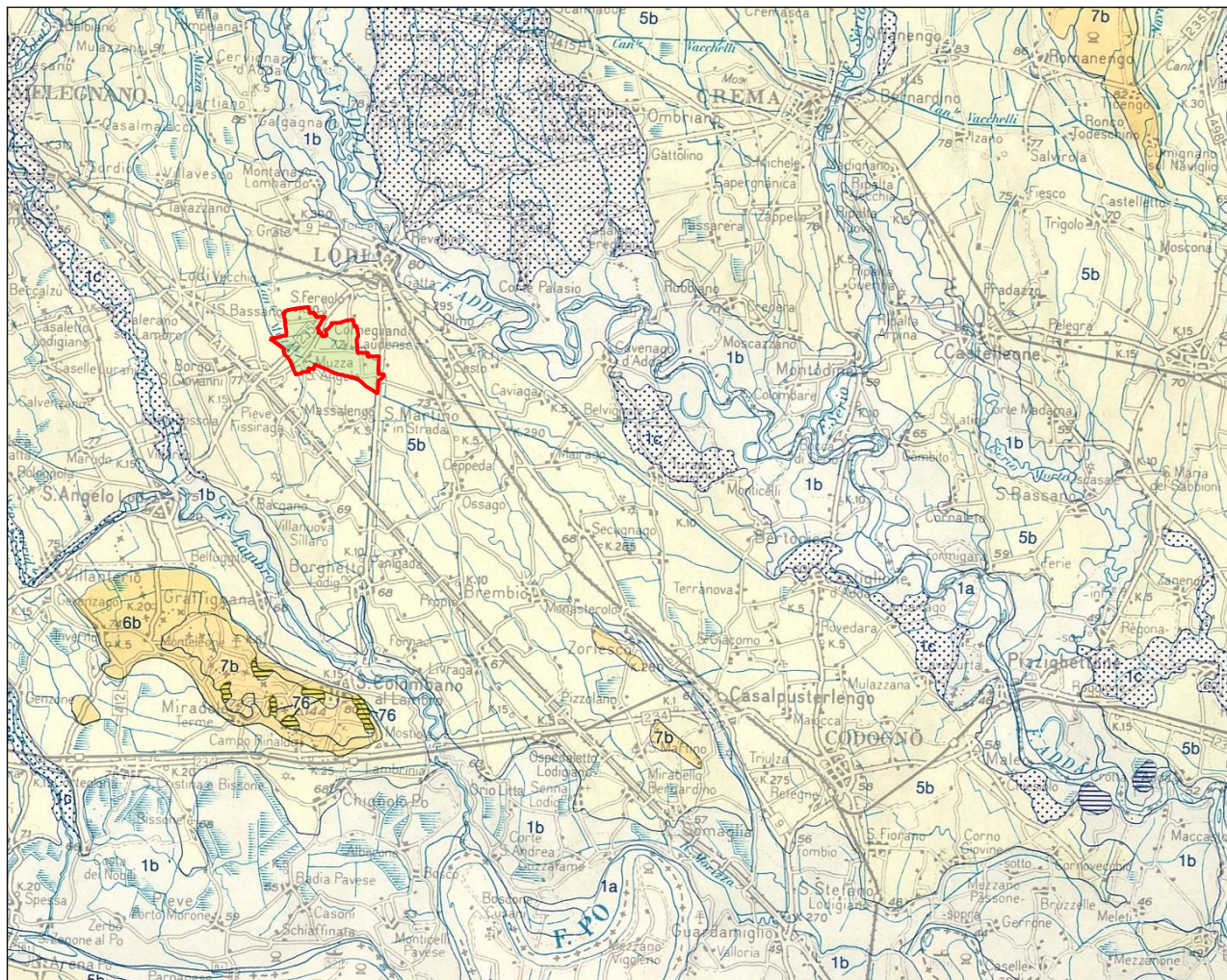


Figura 1: individuazione del territorio comunale nella "Carta Geologica della Lombardia" 1990, Servizio Geologico Nazionale – Univ. di Milano – Regione Lombardia – CNR, riprodotta in scala 1: 250.000 dall'originale in scala 1: 250.000. **1b**: alluvioni terrazzate medie; **1c**: alluvioni terrazzate 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 5,63 km², interamente su terreni che costituiscono dell'unità morfologica e stratigrafica tardo pleistocenica comunemente indicata come "*livello principale della pianura*" (unità 5b nella Figura 1), in posizione intermedia tra le depressioni oloceniche dell'Adda a est e del Lambro Settentrionale ad occidente.

La sede comunale, posta circa al centro dell'abitato di maggiore estensione (Muzza), dista 3,0 Km dal margine delle scarpate di erosione principale della valle olocenica dell'Adda (a NE, località via Lodi Vecchio a Lodi), e 5,4 Km da quelle del Lambro Settentrionale (a SE, località La Galeotta di S. Angelo Lodigiano).

La presenza del Canale Muzza e del reticolo di rogge da esso derivate sia a monte sia all'interno del territorio comunale, costituisce l'elemento fisiograficamente più importante, storicamente formatosi in periodo medioevale e consolidatosi con importanti opere nel XVII° secolo¹, che si è mantenuto relativamente inalterato nelle epoche seguenti.



Figura 2: territorio comunale rappresentato su una carta delle province di Lodi e Crema del 1818.

Nella carta storica sopra riportata si osservi l'importante fascio di rogge derivate dal canale a valle della località Muzza, conservatesi fino agli anni '80, ed il percorso, rimasto immutato, delle principali rogge (Codogno, Quaresima, Cavallona e dell'attuale derivatore Cà de Bolli). Fonte: Archivio Storico Lodigiano – Lodi.

Il Canale Muzza attraversa il centro dell'abitato omonimo e delimita a sud ovest il territorio comunale, mentre all'estremo opposto la Roggia Codogno percorre il territorio in prossimità del confine nord orientale.

Nell'attuale gestione la distribuzione idrica non viene mai sospesa, salvo in caso di necessità straordinarie per l'esecuzione di opere o manutenzioni, determinando condizioni costanti di limitata soggiacenza della falda illustrate in precedenza. Le acque del canale Muzza defluiscono infatti tutto l'anno a quote prossime o superiori a quelle del piano campagna, mentre le principali rogge presentano rilevanti portate anche in periodo invernale.

Altimetricamente e morfologicamente il territorio si presenta totalmente pianeggiante, ma operando con l'analisi riportata nella tavola 1 può essere suddiviso in due zone: la prima estesa in tutta l'area a NW della congiungente dei due centri abitati si caratterizza per una acclività prossima a zero e per irregolari elevazioni e depressioni della superficie topografica che si mantengono nell'ordine di $\pm 0,3$ m, la seconda manifesta invece chiari gradienti variabili verso ESE o SSW dell'1,5÷2‰ (quest'ultima direzione interessa solo parte dell'abitato di Muzza Sant'Angelo, dove i dati possono essere però meno significativi),

¹ *Deflusso minimo vitale – implicazioni di carattere comprensoriale*. Consorzio Bonifica Muzza Bassa Lodigiana – Lodi, 1999.

riprendendo l'assetto più frequentemente presente nella porzione centrale del territorio provinciale.

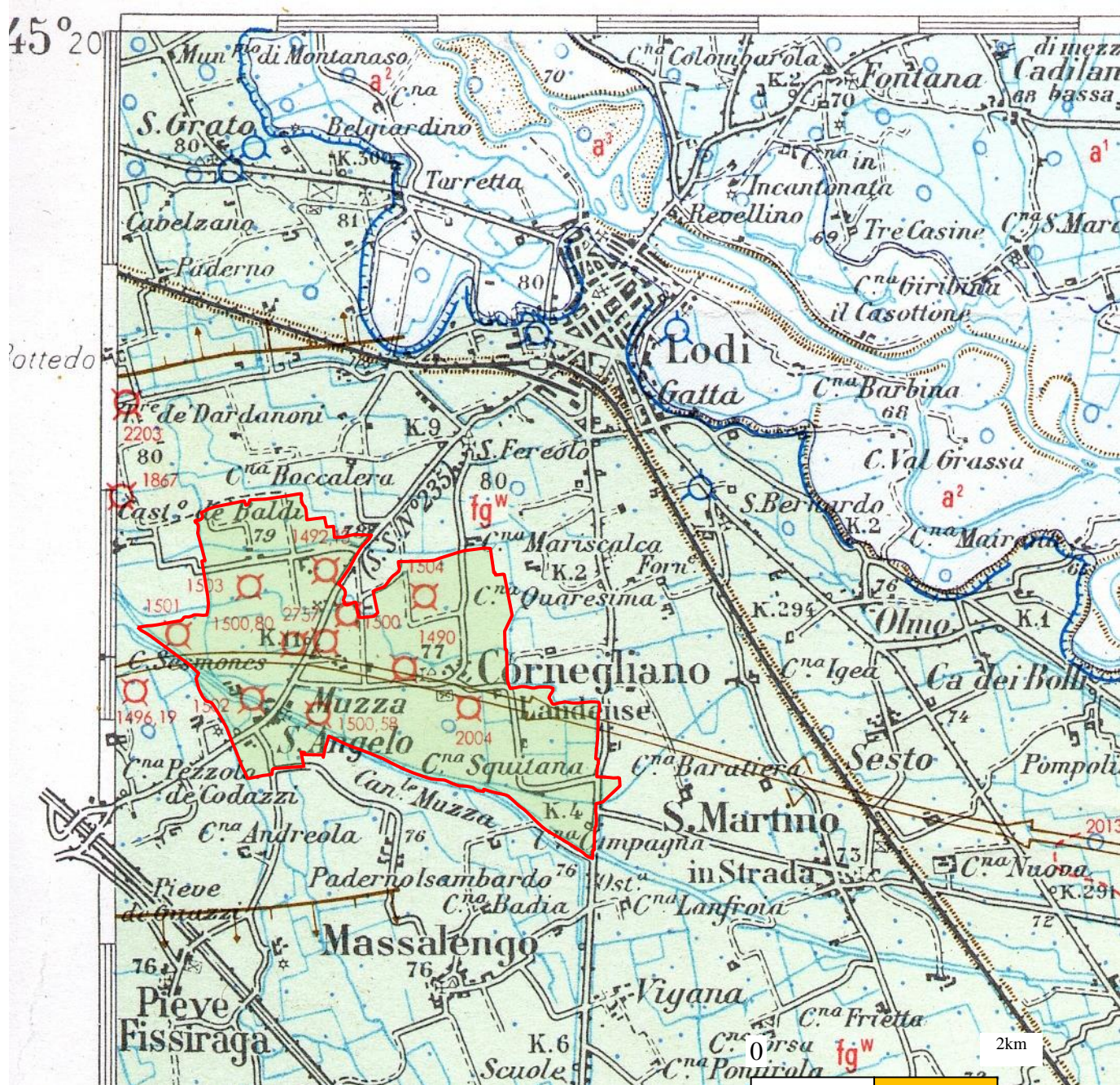


Figura 3: individuazione dell'area d'indagine nella "Carta Geologica d'Italia" – 1962, Servizio Geologico Nazionale, riprodotta in scala 1:50.000 dall'originale in scala 1: 100.000

fg^w = alluvioni fluvio-glaciali tardo pleistoceniche sabbiose del "livello fondamentale della pianura";

a¹ = alluvioni sabbioso ghiaiose e argilloso limose postglaciali antiche; **a²** = alluvioni oloceniche recenti, ancora esondabili durante le piene più accentuate, formate da sedimenti da limo argilloso a sabbioso limosi con ghiaia fine, in parte depositatisi dopo una fase di erosione, ma che talora rappresentano semplici superfici di erosione; **a³** = alluvioni attuali: ghiaie e sabbie fresche delle fasce golenali e delle lanche che bordano i corsi d'acqua.

<||> anticlinale ; >||< sinclinale ;



faglia inversa

Si richiama l'attenzione sulla singolarità della morfologia sopra descritta che, per quanto noto allo scrivente, non trova riscontro in altre aree della provincia, e che verifica

almeno una parziale corrispondenza con l'asse di anticlinale riconosciuta nel territorio comunale, sede del noto giacimento di gas metano. L'analisi di tale aspetto, a parere dello scrivente, riveste un interesse scientifico, che comunque esula dagli scopi della presente relazione.

Un ulteriore elemento da rilevare è dato dalla lieve depressione che accompagna il percorso della roggia Codogna, che delinea una possibile zona di testa di paleoalvei riconosciuti con maggiore continuità in territorio di Massalengo².

Geologicamente tutto il territorio si colloca nella pianura largamente uniforme detta "Livello fondamentale della Pianura" o "Piano Generale Terrazzato", come illustrato nella figura sopra riportata.

L'unità presente in territorio comunale è esclusivamente il fluvioglaciale würmiano fg^w del "livello fondamentale della pianura", formato da "alluvioni prevalentemente sabbiose, con lenti limose e sottili livelli ghiaiosi...". In alto sulla destra della Figura 3, compare la scarpata principale e le alluvioni oloceniche dell'Adda (a^2), in territorio di Lodi e San Martino in Strada.

La giacitura e la genesi dei depositi che formano le prime decine di metri dalla superficie è stata descritta in un articolo su "Il Quaternario"³, che fornisce una sezione geologica interpretativa lungo il tracciato della TAV (v. stralcio ridisegnato in Figura 4), passante quindi a circa 1,6 Km a SW della sede comunale e circa parallelo al percorso del canale Muzza.

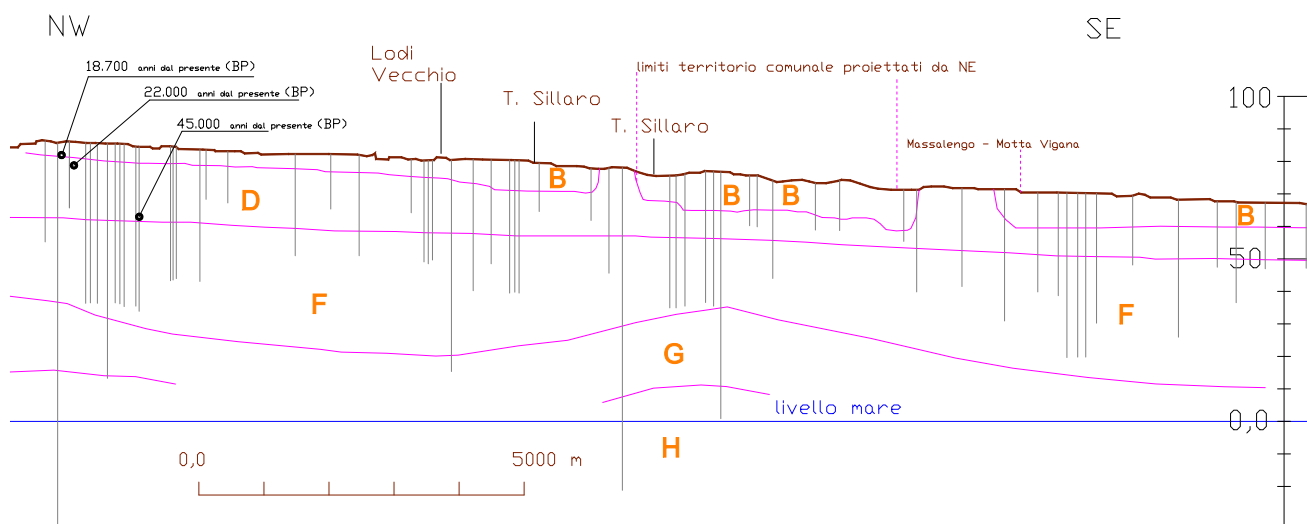


Figura 4 stralcio ridisegnato della sezione geologica NW-SE del territorio basso lodigiano riferita in Baio M, Bersezio M, Bini A. (2004). La sezione è stata costruita principalmente con i sondaggi effettuati per la realizzazione della T.A.V., che sono graficamente indicati con le linee grigie verticali. Scala orizzontale 1: 100.000; scala verticale 1: 2.000. Il rapporto di scala (verticale /orizzontale) è 50 : 1.

² Riccardo Bersezio: (1986) – Prima ricostruzione dei paleoalvei nella pianura tra Adda e Ticino.

³ 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.

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. 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 s'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 petrografia 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, circa 21000 anni fa). La sezione mostra che lo **spessore di quest'unità in corrispondenza dell'area in esame è di circa 8 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.

3 Lineamenti strutturali

Le indagini di carattere geofisico legate innanzitutto alle esplorazioni per idrocarburi ed i numerosi pozzi perforati nella pianura padana, hanno consentito di definire con buona precisione la forma e lo spessore dei depositi profondi.

Il carattere fondamentale dell'asse padano è rappresentato da un sistema di pieghe a vergenza appenninica (provocate da spinte a principale componente Sud-Nord) che interessano le successioni marine del Miocene medio - superiore e del Pliocene, all'interno di un bacino di avanfossa fortemente subsidente.

Le successioni in questione costituiscono il margine NW dell'ampia struttura a festone che, all'incirca da Volpedo (11 Km a sud di Voghera) si protende verso il centro della Pianura padana, fino al Colle di San Colombano, per flettersi, dapprima a ESE verso Cremona, e poi a SE in direzione della zona di Parma - Reggio Emilia.

La struttura, generatasi a seguito di movimenti rotazionali antiorari (Vanfossi et alii, 1994), evidenzia la presenza, al suo margine occidentale di un'area con anomalia magnetica residua, che è stata interpretata come un ostacolo all'avanzamento delle coltri appenniniche, rappresentato dal basamento pre - mesozoico e delle sue coperture triassiche [*rocce di origine marine di età superiore a 200 milioni di anni*] presenti a "ridotta" profondità, nonché da corpi vulcanici, come evidenziato da numerosi autori (Pieri-Groppi, 1981; Castellarin et alii, 1985 e 1992; Cassano et alii, 1986; Castellarin e Vai, 1986; C.N.R., 1991)".

Il fronte delle strutture profonde è interessato da fratture che scompongono le rocce secondo un piano parallelo a quello dello scorrimento (ramp) e da sistemi di faglie trascorrenti, che traslano lateralmente i blocchi.

E' da rilevare che (Pieri e Groppi, 1981), la zona frontale degli Appennini in tale area viene a giustapporsi a quella dell'arco del Sudalpino-Orobico giungendo, in pratica ad un contatto-scontro nella zona tra Cornegliano e Bordolano (18 Km a Nord di Cremona).

Inoltre, sempre secondo gli stessi autori i terreni marini più recenti che vengono coinvolti sono quelli pliocenici, ma le deformazioni interessano anche la parte basale del quaternario (Pleistocene).

Il quadro strutturale descritto è sinteticamente illustrato dalle due figure seguenti, dove si osserva che la parte settentrionale del territorio comunale lambisce l'alto strutturale di Cornegliano, forse intersecando l'area del giacimento, mentre la parte centrale e meridionale si colloca lungo i fianchi della depressione indicata dalla isobate della base del Pliocene.

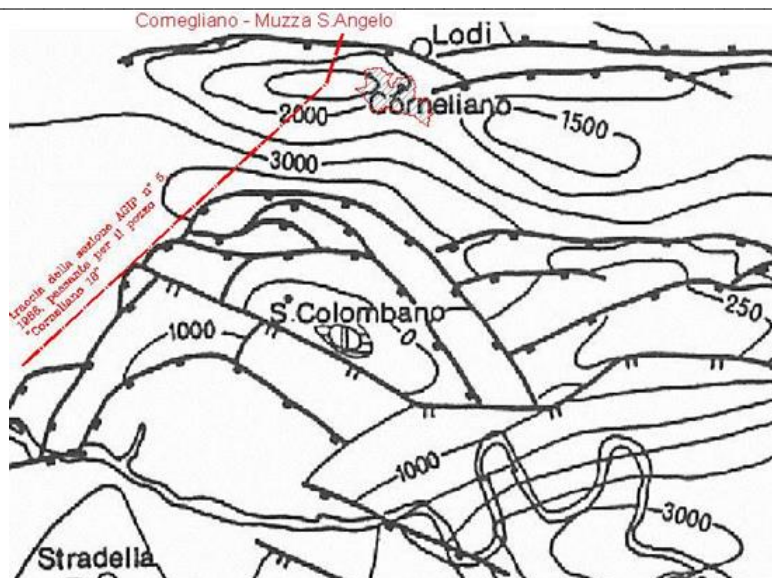


Figura 5: Carta di inquadramento geologico strutturale (da C.N.R., Structural Model of Italy, 1991), con modifiche.

- linee sottili con numeri : isobate dalla base del Pliocene;
- le spesse con trattini doppi perpendicolari : faglie dirette;
- linee spesse con rettangolini distanziati: sovrascorrimenti post Tortoniani

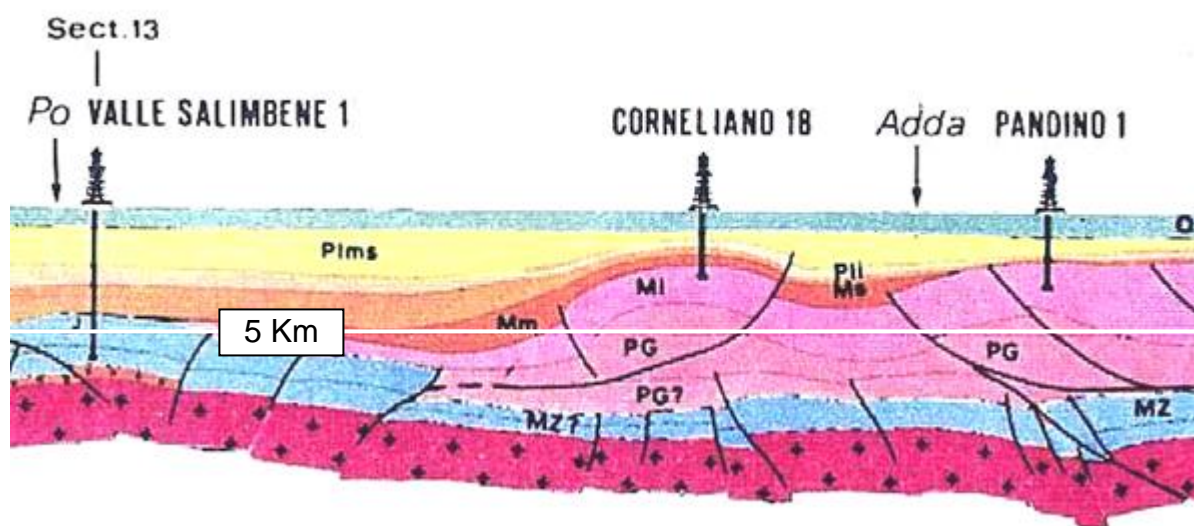


Figura 6: sezione strutturale della pianura orientata circa SSW – NNE; sezione n° 5, AGIP 1996

Legenda: Q = quaternario; Plms = Pliocene medio e superiore; Pli = Pliocene inferiore; Ms = Miocene superiore; Mm = miocene medio; Mi = Miocene inferiore; PG = Palogene; Mz = mesozoico. In rosso con croci nere è indicato il basamento cristallino, talora sovrastato da vulcaniti permiane.

La sezione sopra riportata illustra lo schema strutturale in corrispondenza dell'asse padano, e passa nella porzione NW del territorio comunale (da AGIP 1986: *Pianura padana - interpretazione integrata di dati geofisici e geologici*, 73° congresso Società Geologica Italiana, Roma).

Risultano ben evidenziati l'elevazione del substrato che forma l'anticlinale di Cornigliano – Caviaga, lateralmente delimitata da faglie ad andamento sub verticale, nella quale si riconosce la serie completa del miocene (Mi, Mm, Ms) e del pliocene (Pli, Plms), sensibilmente ridotta in corrispondenza dell'asse della piega. La sezione non indica riduzioni di spessore nei depositi quaternario (pleistocene), che si sviluppa per circa 1000 m comprendendo una estesa porzione basale di depositi marini e di transizione, ma in generale

occorre osservare che tali strutture, disposte in direzione prevalentemente W-E attraverso il territorio lodigiano e cremonese, condizionando lo sviluppo della rete idrografica superficiale, la circolazione sotterranea e la morfologia per effetto di una attività neotettonica (movimenti della crosta terrestre in corso negli ultimi 2 milioni di anni) ancora in atto.

In corrispondenza delle dorsali si osserva spesso la presenza in superficie di terreni più antichi del quaternario continentale, mantenuti in posizione più elevate durante le più recenti fasi alluvionali seguite alle glaciazioni. Le più evidenti di tali strutture positive sono il colle di San Colombano ed i rilievi intorno a Casalpusterlengo, in corrispondenza dei quali affiorano terreni attribuiti alle fasi interglaciali del Mindel, collocabile intorno a 700.000 anni fa.

Il processo generale di subduzione, responsabile della formazione dei sovrastanti depositi quaternari (marini e continentali), è tuttora attivo ed è stimato in talune località possa avvenire con velocità che raggiungono i 5 mm/anno⁴.

Vi sono varie considerazioni che inducono a ritenere tuttora attive le strutture in questione, con prevalente sollevamento alternato a fasi di stasi. Senza entrare in un dettaglio che esula dai compiti dalla presente relazione, si citano ad esempio le seguenti osservazioni:

- l'anomala deviazione del percorso del Lambro Meridionale a Villanterio;
- l'entità delle vallecicole dei versanti meridionali del Colle di San Colombano, sproporzionati alle dimensioni del loro bacino imbrifero, e la superficie bombata delle superfici sommitali e laterali del rilievo;
- la presenza di un "leggero sollevamento anticlinale" della Formazione di San Colombano, e l'andamento leggermente bombato delle superficie dei terrazzi (prewurmiani) di copertura del Colle di San Colombano;
- la misura diretta del sollevamento valutato mediante il confronto della rete altimetrica rilevata nel 1897 con quella del 1957, pari nell'area a circa 25 mm, corrispondente ad un velocità di 0.5 mm/anno, come mostrato dalla successiva figura dove l'area in sollevamento si individua circa 4 Km a sud ovest di Cornegliano Laudense.



Figura 7: movimenti verticali del suolo dal 1897 al 1957 in mm. (Arca, Beretta – 1985)

⁴ AA.VV. (1980): carta neotettonica d'Italia - Note illustrative ai fogli 61 (Cremona), 62 (Mantova), 72 Fiorenzuola d'Arda, 73 (Parma). In "Contributi alla realizzazione della carta neotettonica d'Italia"- Parte II^a Pubblicazione 356 CNR.

4 Geomorfologia ed elementi di pedologia

4.1 PROCESSI GENETICI

La pianura attualmente osservabile è essenzialmente prodotta da 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), mentre 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 (al limite tra il marino ed il terrestre, ossia di spiaggia, laguna, delta, piane di marea etc.), caratterizzata da fasi spiccatamente marine e depositi di origine continentale.

I sedimenti formati, 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 durante le glaciazioni, che caratterizzarono il pleistocene superiore.

Le coltri di materiale sabbioso-ghiaioso sono convenzionalmente attribuite a tre diverse glaciazioni 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 Wurm (da 70.00 a 12.000 anni fa), anche se le fasi glaciali 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 colti 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 risultava percorsa da fiumi di portata molto maggiore dell'attuale, di cui si ha chiara testimonianza nelle tracce dei paleoalvei posti all'interno di quell'ampia fascia di pianura compresa tra i margini superiori delle scarpate principali (localmente chiamate "coste"), che è denominata "*Livello Fondamentale della Pianura*" o "Piano Generale Terrazzato".

Tracce continue di questa antica idrografia sono individuabili nell'alveo dell'attuale colo Sillaro, che percorre buona parte della porzione occidentale del territorio lodigiano estendendosi da Mulazzano a Borghetto Lodigiano, transitando a distanze minime di 1,5 Km dal confine occidentale del territorio comunale, nell'area compresa tra la rampa ovest di accesso all'autostrada, l'autostrada stessa in direzione Milano e l'abitato di Borgo San Giovanni, la cui porzione settentrionale è costruita a ridosso del paleoalveo. Un aspetto rilevante di tali morfologie è la frequente associazione con depositi fini talora fortemente organici, che sono stati effettivamente riscontrati dallo scrivente nell'area industriale di Borgo San Giovanni, e che possono rivelarsi problematici per la realizzazioni di fondazioni

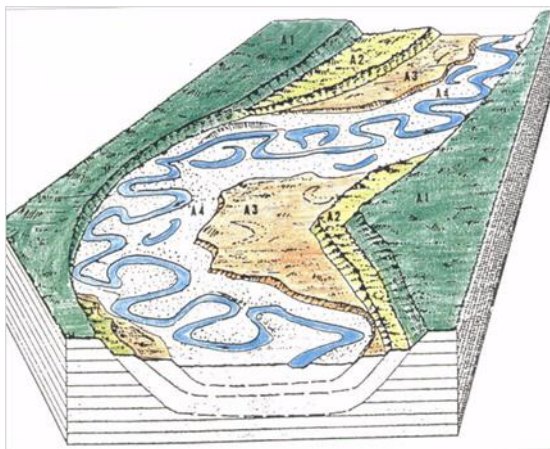
dirette. L'analisi morfologica e le indagini geognostiche eseguite a Cornegliano Laudense non hanno evidenziato tracce di strutture analoghe nel territorio comunale, salvo voler attribuire ad una fase iniziale di formazione di un reticolo idrografico, la lieve depressione allungata che si rileva lungo il percorso della roggia Codogna a valle della C.na Cesarina, che prosegue a sud della cascina Armagna entrando in territorio di Massalengo

L'analisi dei parametri di tali forme, in particolare l'ampiezza dei meandro ed i raggi di curvatura, ha condotto il Marchetti⁵ ad ipotizzare che le portate potessero essere normalmente superiori di 5 - 6 volte rispetto a quelle degli attuali fiumi, raggiungendo il valore di 25, rispetto alle portate dell'Oglio, per un analogo paleoalveo presente in territorio cremonese.

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, portarono 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 formati a monte degli sbarramenti morenici (¹⁴), diede luogo alla migrazione del punto neutro dei fiumi⁶ verso valle.

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 wurmiana, 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 pianure oloceniche, tra le quali in ambito locale quella dell'Adda.



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

Figura 8: schema di formazione dei depositi olocenici nelle valli fluviali : da "Studi preliminari per il parco Lambro Settentrionale Sud" . Geotecnica Progetti S.p.A., 1987.

⁵ 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.

⁶ 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.

La figura 1, tratta dalla carta geologica ufficiale, mostra che tutto il territorio comunale si colloca esclusivamente all'interno del "livello fondamentale della pianura" formato dalle alluvioni fluvioglaciali wurmiane (Pleistocene superiore), mentre le scarpate principali del terrazzo dell'Adda, ed i sottostanti depositi olocenici antichi, **a²** nel caso specifico, si individuano a distanze minime di circa 2,8 Km dal limite orientale del territorio amministrato.

4.2 COMMENTO DELLA TAVOLA 1 – CARATTERI MORFOLOGICI

Per individuare i dettagli morfologici di un territorio interamente pianeggiante sono stati selezionati sulla restituzione fotogrammetrica del DB provinciale 3368 punti quotati collocati al suolo.

In seguito è stata effettuata un'elaborazione mediante **Surfer[®] 9**, impiegando l'algoritmo di interpolazione di base denominato *Point Kriging* e *variogramma lineare*.

L'elevatissimo numero di punti utilizzati, oltre 10 volte quelli impiegati nell'analoga ricostruzione del 2003, non ha condotto ad un apprezzabile miglioramento dell'elaborato, ma al contrario la distribuzione dei dati molto concentrata nelle aree urbane e irregolarmente distribuita nelle aree agricole, ha portato alla generazione di una superficie ricca di dettagli poco significativi in alcune parti ed alla parziale perdita di una visione complessiva della morfologia nelle aree agricole.

Nondimeno è parso opportuno utilizzare la nuova base di dati per uniformare la base cartografica a quella di tutti gli altri elaborati prodotti in sede di PGT, tenendo conto del fatto che nei valori assoluti vi sono differenze di quote del nuovo DB rispetto all'aerofotogrammetrico del 2003 variabili da pochi centimetri a ± 1 metro e che quindi non era possibile ignorare i nuovi dati che si deve preliminarmente presumere siano più affidabili dei precedenti.

L'osservazione della tavola deve essere condotta tenendo conto che nella maggior parte dei casi l'utilizzo di metodi di interpolazione produce una lieve attenuazione delle forme nette, e quindi non sempre quanto evidenziato corrisponde nei dettagli con quanto osservabile sul terreno. Nondimeno l'elaborazione consente di cogliere aspetti reali legati a fenomeni morfogenetici che diversamente non risulterebbero apprezzabili, per la materiale impossibilità di percepirle da terra gradienti topografici inferiori a circa l'1%.

La tavola evidenzia un gradiente generale da NW verso SE prossimo all'1 ‰, nel quale si distinguono lievi depressioni di forma ovale o allungata tra le cascate Sesmones e Campolungo e lungo il percorso della roggia Codogna Bassa.

Si evidenzia altresì la posizione altimetricamente rialzata dei centri abitati e degli assi formati dalle SP 235 e 186 e la abbastanza regolare acclività verso sud della superficie a sud della SP 186, dove l'acclività media è di circa l'1,4 ‰ e si raggiungono le quote minime del territorio comunale in prossimità dello sbarramento di Tripoli sul canale Muzza (74,0 m s.l.m.).

Nei sopralluoghi non sono risultati presenti significative erosioni o instabilità delle sponde dei canali, o di scalzamenti dei manufatti, ed in genere i corsi d'acqua osservati sono parsi in buono stato di manutenzione.

4.3 ELEMENTI DI PEDOLOGIA

4.3.1 Sintesi delle caratteristiche

L'analisi delle caratteristiche pedologiche del territorio è rilevante sia per l'individuazione delle potenziali capacità agronomiche dei terreni, sia per valutare la funzione protettiva esercitata dai suoli nei confronti delle acque sotterranee.

Quanto riferito nel presente capitolo non è frutto di rilievi appositamente condotti nel corso della presente indagine, ma rappresenta una sintesi, riferita al territorio di Cornegliano Laudense, dello studio pedologico pubblicato dell'ERSAL (SSR n°30, giugno 2000) per l'area del medio e alto lodigiano.

La collaudata metodologia di indagine si inserisce nel contesto di un complesso di studi avviati dall'Ente nel 1985, che hanno prodotto con 38 pubblicazioni l'analisi pedologica in scala 1:50.000 di tutto il territorio lombardo di pianura.

Il contenuto specialistico di tali indagini è supportata da analisi del paesaggio condotte mediante la cartografia storica e le foto aeree, la realizzazione di **numeroso osservazioni puntuali** (in media 1 profilo ogni 4 Km² e 4 trivellate al Km², pari a circa n° 20 nel solo territorio di Cornegliano) ed **analisi chimiche e tessiturali sui campioni**. Il risultato ottenuto è da ritenersi qualitativamente superiore rispetto ad una eventuale indagine sulle caratteristiche tessiturali dei terreni superficiali quale si sarebbe potuto realizzare nell'ambito del presente studio. Per le considerazioni sopra espresse la scala 1:37.500 delle carte elaborate dall'ERSAL costituisce un'informazione di sufficiente dettaglio per le finalità di pianificazione.

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 presenti 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 sul terrazzo pleistocenico (Livello fondamentale della Pianura) hanno normalmente subito processi pedogenici per tempi significativamente più lunghi rispetto ai suoli delle pianure 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 *Alfisol*s. Il ferro liberato dall'alterazione del sedimento di origine si trova per lo più legato al complesso argillo-umico e conferisce all'orizzonte argilloso caratteristiche colorazioni bruno rossastre, mentre i carbonati sono stati rimossi dall'orizzonte superficiale e talora si accumulano in profondità con formazione dell'orizzonte calcico.

Da rilevare che **alla progressiva riduzione di granulometria** dei depositi fluviali originari che caratterizza il territorio lodigiano in direzione Nord- Sud, ovviamente determinata dalla diminuzione di competenza della paleo idrografia alimentata dagli affluenti alpini a nord, **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.

Alla diminuzione della granulometria pare anche associabile il contestuale aumento del tasso di saturazione basica, che lungo un parallelo passante pressappoco per Cornegliano Laudense, separa il territorio provinciale in aree con $\text{TSB} < 75\%$ (a nord) da quelle con $\text{TSB} > 75\%$. 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.

Le differenze individuate negli alfisuoli presenti nel territorio di Cornegliano Laudense riguardano il vario grado di saturazione del complesso di scambio (bassa per le Unità Cartografiche e tassonomiche 11 LOD 1 e 13 AGO 1), di condizioni di saturazione idrica (presenza orizzonti calcici con idromorfia persistente osservati nei suoli delle U.C. 21 e 22) e di tessitura, quest'ultima compresa tra media - moderatamente grossolana nelle U.C. e tassonomiche 11 LOD 1, 14 ISS 1, 16 NGE 1 e 19 (cioè terreni da limosi a franco sabbiosi) e media nelle U.C. 13 AGO 1, 21 ISI 1 e 22 ISI 2 (cioè terreni da limosi a franchi).

I suoli di quest'area sono totalmente privi di calcare in tutto il profilo per effetto dei prolungati processi di lisciviazione delle basi, con l'eccezione rappresentata dalla presenza di concrezioni di carbonato di calcio nelle U.C. 21 e 22 a partire da profondità di $60 \div 80$ cm.

I substrati sono prevalentemente sabbiosi ed il drenaggio è buono, con eccezione per le U.C. 21 e 22 dove il substrato è costituito dal citato orizzonte calcico ed il drenaggio è mediocre.

Lo stralcio della cartografia dei suoli e le relative caratteristiche principali per il territorio di Cornegliano Laudense sono riportata nelle Figura 9 e Figura 10.

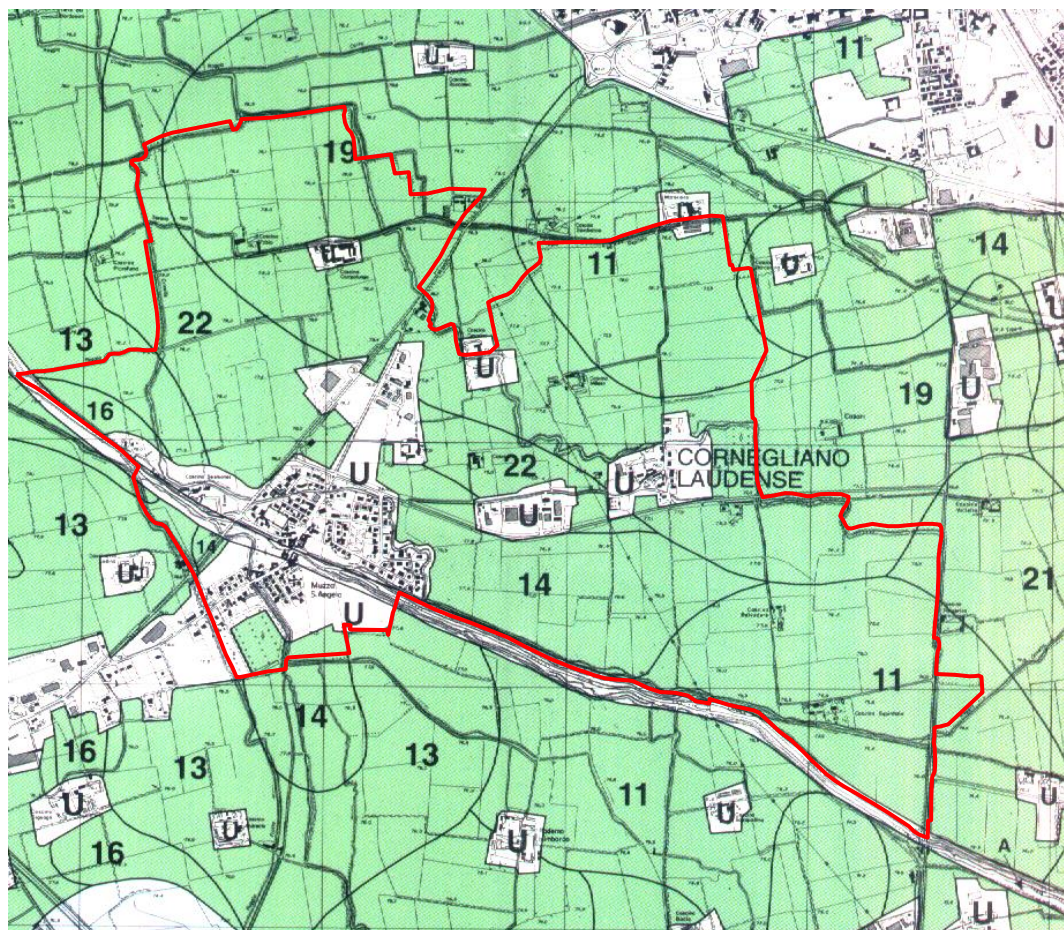


Figura 9: stralcio della carta tratta da *"I suoli del Lodigiano"*, ERSAL, SSR n. 30, giugno 2000

In merito al raffronto tra le unità e le sottounità di paesaggio con i dati morfologici e geotecnici rilevati nel corso della presente indagine, **si osserva la quasi totale assenza di significative corrispondenze tra i paesaggi definiti dall'ERSAL con le forme del terreno riportate nella tavola 1**, mentre la distribuzione dei substrati pedologici trovano discreta conferma nei primi metri dei profili penetrometrici.

Si denota in particolare la presenza di un relativamente esteso intervallo limo argilloso superficiale nelle CPT 7/8 e 8/8, realizzate nell'area dell'U.C 22 che mostra la tessitura più fine dei suoli nell'area, e la presenza di depositi esclusivamente sabbiosi nel profilo della CPT 5/8, la cui area è attribuita alla U.C. 14 che rappresenta l'ambito di sedimentazione a maggiore energia riconosciuto. Paiono invece abbastanza discordanti le litologie riconosciute con le prove penetrometriche CPT 3/8 e 4/8, ubicate sempre nell'area dell'U.C. 14, ma che mostrano un predominante presenza di depositi limo argillosi nei primi 1,5 ÷ 2,0 m.

Nelle prove più recenti si può individuare un'apprezzabile corrispondenza tra le prove GTA 1 e 2 e la vicina presenza dell'U.C.16 che essendo rappresentativa delle aree prossime al preesistente sistema fluviale a meandri presenta tessiture più grossolane.

SINTESI DELLE CARATTERISTICHE PEDOLOGICHE DEL TERRITORIO DI CORNEGLIANO LAUDENSE TRATTE DA: "I Suoli del Lodigiano" ERSAL SSR 30 - anno 2000

Caratteristiche comuni dei suoli individuati in territorio di Cornegliano Laudense:

Alfisuoli: suoli caratterizzati, principalmente, dalla presenza di un orizzonte profondo di accumulo di argilla illuviale (argillico).

Assenza di orizzonti o proprietà diagnostiche legate ad antiche fasi pedogeniche (es fragipan).

Regime idrico ustico: 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%.

Saturazione di basi nel complesso di scambio (TSB) è > del 75%

Note: le caratteristiche indicate con due termini separate da sbarretta (es. subacida/neutrali), 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.

SISTEMA DI PAESAGGIO (codice ERSAL: LF) Porzione meridionale della pianura costituita esclusivamente da sedimenti fluviali fini, privi di pietrosità superficiale e di scheletro nel suolo "Bassa pianura sabbiosa". Nel Lodigiano l'area è servita da una fitta rete di canali per l'irrigazione a sommersione derivata dal canale Muzza. In funzione di questa tecnica si pratica generalmente il livellamento dei campi agricoli.	SOTTOSISTEMA DI PAESAGGIO		UNITA' DI PAESAGGIO (codice ERSAL: LF2) Superfici pianeggianti o leggermente ondulate, intermedia tra le aree più rilevate (dossi) e depresse (conche e paleovalle)	Unità Cartografica	UNITA' TASSONOMICA	FAMIGLIA GRANULOMETRICA	TESSITURA	PROFONDITÀ SUOLO in cm	SUBSTRATO	REAZIONE	TSB	CSC	DRENAGGIO	CARBONATI TOTALI	classificazione Soil Taxonomy USDA	NOTE: aspetti particolari ed applicativi - CLASSE di capacità d'uso	Capacità protettiva dei suoli per le acque profonde
SISTEMA DI PAESAGGIO (codice ERSAL: LF) Porzione meridionale della pianura costituita esclusivamente da sedimenti fluviali fini, privi di pietrosità superficiale e di scheletro nel suolo "Bassa pianura sabbiosa". Nel Lodigiano l'area è servita da una fitta rete di canali per l'irrigazione a sommersione derivata dal canale Muzza. In funzione di questa tecnica si pratica generalmente il livellamento dei campi agricoli.			SOTTOUNITA' DI PAESAGGIO (cod. LF2.1) Superfici pianeggianti che rappresentano le aree modali del preesistente sistema fluviale a meandri. I depositi sono sabbioso-limosi e limosi talvolta con substrato sabbioso. Falda molto profonda e drenaggio buono	11	LOD1	franca-fine	da media a moderatamente grossolana	>150	sabbioso	subacida / neutra	basso / medio	media / bassa	buono	assenti	Ultic Haplustalfs	in estate non è possibile fare conto sull'alimentazione da frangia capillare per profondità della falda > 150 cm; - II ^a CLASSE per TSB basso in superficie	MODERATA (per permeabilità moderata e granulometria franca grossolana)
				13	AGO1	limosa-fine	media	da 100 a >150	sabbioso	neutra	medio / alto	alta / media	buono	assenti	Typic Haplustalfs	in estate non è possibile fare conto sull'alimentazione da frangia capillare per profondità della falda > 150 cm; talora rischio di incrostazione superficiale. - I ^a CLASSE	ELEVATA
			SOTTOUNITA' DI PAESAGGIO (cod. LF2.2) Superfici pianeggianti o lievemente ondulate che rappresentano i relitti delle aree più prossime al preesistente sistema fluviale a meandri . I depositi sono sabbioso-limosi spesso con substrato sabbioso. Falda molto profonda e drenaggio in prevalenza buono. I lievi dossi originariamente presenti sono attualmente per la maggior parte livellati.	14	ISS1	franco-grossolana	media / moderatamente grossolana	100-150	sabbioso	subacida / neutra	medio / basso	media / bassa	buono	assenti	Ultic Haplustalfs	Possibili lievi problemi di stress idrico della colture nel periodo asciutto per tessitura franca grossolana. Non è possibile fare conto sull'alimentazione da frangia capillare. - II ^a CLASSE per TSB basso in superficie	MODERATA (permeabilità moderata; granulometria franca-grossolana)
				16	NGE1	franco-grossolana	moderatamente grossolana / media	>150	sabbioso ? (non precisato)	subacida / neutra	medio / alto	da bassa a media	buono	assenti	Typic Haplustalfs	Possibili lievi problemi di stress idrico della colture nel periodo asciutto per tessitura franca grossolana. Non è possibile fare conto sull'alimentazione da frangia capillare. - I ^a CLASSE	MODERATA (permeabilità moderata; granulometria franca-grossolana; CSC tra 5 e 10 meq/100g)
			SOTTOUNITA' DI PAESAGGIO (cod. LF2.4) Superfici pianeggianti, che rappresentano spesso le zone di transizione verso le depressioni del preesistente sistema fluviale a meandri. I depositi sono sabbioso-limosi e limosi, talvolta su substrato sabbioso. I suoli sono caratterizzati da leggere evidenze di idromorfia legate ad una falda profonda, transitoria, su sedimenti argillo-limosi presenti in profondità.	19	COD1	franca-fine	media / moderatamente grossolana	>150	limo sabbioso ? (non precisato nel testo)	neutra / subalcalina	medio / basso	media / bassa	mediocre	assenti	Aquic Haplustalfs	caratteristiche favorevoli all'uso agricolo con elevata riserva di acqua. La falda freatica interessa stagionalmente l'orizzonte ad accumulo di argilla illuviale, entro le profondità di radicazione delle principali colture. - II ^a CLASSE per drenaggio mediocre.	MODERATA (permeabilità moderata)
			UNITA' DI PAESAGGIO (codice ERSAL: LF3) Depressioni a forma subcircolare a drenaggio mediocre o lento, con problemi di smaltimento esterno delle acque, talora con evidenze di fossi scolanti e baulature nei campi.														
			SOTTOUNITA' DI PAESAGGIO (cod. LF3.1) Superfici pianeggianti, talvolta lievemente depresse, che rappresentano le aree modali delle depressioni del preesistente sistema fluviale a meandri. I depositi sono limosi e limo-argillosi. I suoli sono caratterizzati da leggere evidenze di idromorfia legate ad una falda profonda, transitoria, su strati argillo-limosi presenti nel suolo, e presentano spesso un orizzonte profondo a concrezioni carbonatiche (castracan).	21	ISI1	limosa-fine	media	80 - 100, funzione dell' orizzonte calcico con idromorfia persistente	falda a 100-150 cm	neutra	medio / alto	alta	mediocre	assenti fino a 80 - 100 cm dove è presente l'orizzonte calcico	Aquic Haplustalfs	presenza di orizzonte calcico (castracan) a partire da 80-100 cm, falda entro la profondità di radicazione; rischio di incrostazione superficiale. Moderati problemi di lavorabilità. - II ^a CLASSE per drenaggio mediocre.	MODERATA (permeabilità moderata)
				22	ISI2	limosa-fine	media	60-80, funzione dell' orizzonte calcico con idromorfia persistente	falda a 100-150 cm	subacida / alcalina	media	media	mediocre	assenti fino a 60 - 80 cm dove è presente l'orizzonte calcico	Aquic Haplustalfs	presenza di orizzonte calcico (castracan) a partire da 80-100 cm, falda entro la profondità di radicazione; rischio di incrostazione superficiale. Moderati problemi di lavorabilità. - II ^a CLASSE per drenaggio mediocre.	ELEVATA

Figura 10: sintesi delle caratteristiche pedologiche e degli aspetti applicativi dei suoli

Nelle restanti prove, le correlazioni appaiono inesistenti perché praticamente tutte mostrano una copertura costituita da sottili intercalazioni limo argilloso e limo sabbiose di 2 - 4 metri di spessore, passanti a sabbie di discreta o elevata resistenza ($q_c \geq 5$ MPa). Le prove EE 1 e 2, eseguite nell'area ATR 2 a Cornegliano si differenziano dalle precedenti per l'assenza di un definitivo passaggio a depositi sabbiosi, ma non necessariamente tale circostanza è connessa alla sua collocazione tra le "zone di transizione verso le depressioni" che definisce l'U.C. 19 alla quale appartengono.

4.3.2 Aspetti applicativi delle caratteristiche pedologiche

L'analisi condotta con le modalità sopra accennate consente agli Autori di formulare alcune **valutazioni di utilità pratica mediante l'utilizzo di procedure codificate**. In particolare costituiscono strumenti utili ai fini della pianificazione comunale sia l'identificazione della classe di qualità agronomica dei suoli (capacità d'uso), sia il giudizio sulla capacità protettiva dei suoli nei confronti delle acque profonde (acque sotterranee di prima falda).

La **capacità d'uso** viene 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.

Nel territorio di **Cornegliano Laudense appartengono alla classe I i suoli delle U.C. 13 e 16, mentre i suoli le restanti Unità cartografiche sono collocati nella classe II**. Di seguito si forniscono le definizioni delle classi citate:

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.

I suffissi 's' e 'w', riportati nella tabella di sintesi accanto alla classe, si riferiscono rispettivamente alla sussistenza di 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, o alla presenza di eccesso idrico nel profilo.

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, le 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 definizione della 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 di 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 particolarità 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 Cornegliano Laudense presentano una **capacità protettiva da ELEVATA a MODERATA** in funzione dell'abbondanza della frazione sabbiosa nel profilo e dei correlati valori di permeabilità e di C.S.C.

Il giudizi sulle classi d'uso e sulla capacità protettive della prima falda espresse dall'ERSAL (ora ERSAF) sono riportate nelle colonne di destra della tabella in Figura 10 e nelle planimetrie seguenti.

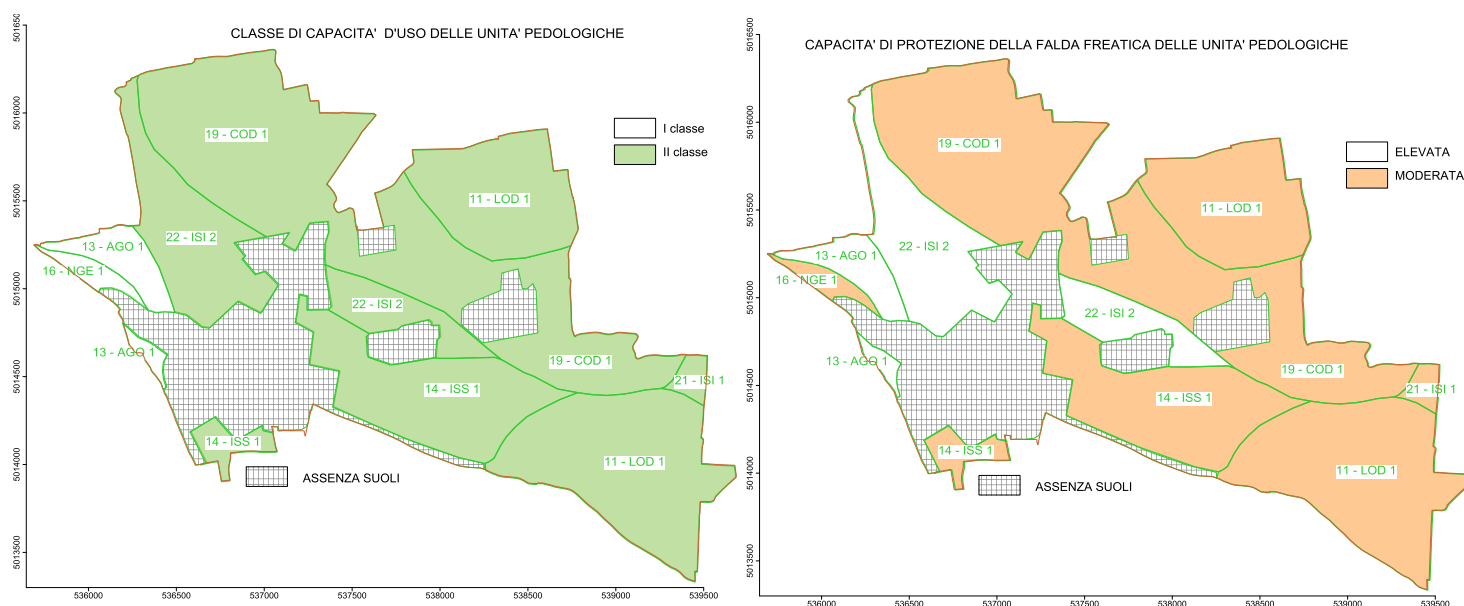


Figura 11: rappresentazione della classe d'uso e della capacità di protezione della falda dei suoli in territorio comunale.

5 Idrografia e idrologia

Il reticolo idrografico presente nel territorio comunale è totalmente artificiale anche se i percorsi sinuosi di alcune rogge e talora la coincidenza con lineamenti morfologici (es. Codogna Bassa – PR 017, Frata Villanova Villanova -SE094, colo Frata Ospedaletta SC016) fanno presumere che i cavi abbiano ripreso antiche linee di drenaggio.

Per la descrizione del reticolo idrografico e delle norme di polizia idraulica vigenti si fa rimando al documento intitolato *"Individuazione dei corsi d'acqua riguardanti il territorio comunale per la ricerca del reticolo idrico minore"* predisposto a novembre 2008 dal Consorzio Bonifica Muzza Bassa Lodigiana su incarico del Comune di Cornegliano Laudense ed approvato da quest'ultimo dopo aver acquisito il parere del competente Servizio Territoriale Regionale, come richiesto dalla normativa regionale vigente.

Quest'ultima era rappresentata al tempo dalla Legge Regionale 16 giugno 2003 n° 7 *"Norme in materia di bonifica ed irrigazione"*, dalla D.G.R. 8 agosto 2003 n. 13950: *"Modifica della D.G.R. 25 gennaio 2002"*, come parzialmente annullata dalla Sentenza del Tribunale Superiore delle Acque Pubbliche del 23 giugno 2004 e dalla D.G.R. 11 febbraio 2005 n. 7/20552 *"Approvazione del reticolo idrico di competenza dei consorzi di bonifica ai sensi dell'art.10 comma 5 della Legge Regionale 7/2003"*.

Attualmente la disciplina, che nell'intero decennio scorso ha subito frequenti modifiche e posto notevoli problemi interpretativi, quali quelle precisate a pag. 7 e 8 del citato documento del Consorzio Bonifica Muzza che riferiscono espressamente di *"incertezza giuridica ed amministrativa"*, è governata principalmente dai seguenti atti normativi:

Regolamento regionale 8 febbraio 2010 - n. 3 *Regolamento di polizia idraulica ai sensi dell'articolo 85, comma 5, della legge regionale 5 dicembre 2008, n. 31 «Testo unico delle leggi regionali in materia di agricoltura, foreste, pesca e sviluppo rurale»*, che disciplina: a) *esecuzione e conservazione delle opere di bonifica e di irrigazione affidate in gestione ai consorzi di bonifica*; b) *tutela del reticolo idrico di competenza dei consorzi*; c) *difesa delle relative fasce di rispetto, anche al fine di perseguire la salvaguardia degli equilibri idrogeologici ed ambientali e la protezione dai rischi naturali*.

D.G.R. n. 2762 *"Semplificazione dei Canoni di Polizia Idraulica e riordino dei reticoli idrici"* pubblicata sul B.U.R.L. – Serie Ordinaria n. 52 del 29 dicembre 2011 che *"sostituisce integralmente le d.g.r. 7868/2002, d.g.r. 8743/02 d.g.r. 13950/2003, d.g.r. 20552/2005, d.g.r. 5324/2007, dgr 5774/2007, d.g.r. 8127/2008, d.g.r. 10402/2009, d.g.r. 713/2010 e d.g.r. 2362/2011"*.

Senza entrare nel merito delle modifiche apportate e delle ricadute sul regolamento comunale, in particolare per quanto riguarda le procedure per l'individuazione del reticolo minore che a parere dello scrivente non sembravano coerenti con il testo normativo già vigente a novembre 2008, si segnala ad esempio che il canale Muzza non fa più parte del reticolo principale ma espressamente del "reticolo idrico di competenza dei Consorzi Di Bonifica" (allegato D della citata DGR 2762/2011).

Per i fini della presente relazione si prende però atto dello studio comunale che individua per tutti i cavi di maggiore importanza l'appartenenza al "reticolo idrico di competenza dei Consorzi Di Bonifica" ed esclude la presenza in territorio comunale di un reticolo minore. Per facilitare la comprensione dell'argomento, si riportano in Figura 13 in scala 1:25.000 le tavole allegate al documento comunale, che segnalano il percorso del canale Muzza, dei derivatori secondari e terziari e le denominazioni dei corsi d'acqua con il rispettivo codice regionale SIBITER.

La descrizione del reticolo individua la sua collocazione "per la quasi totalità all'interno del sottobacino idrografico "ADDA1". Questo significa che la maggior parte delle acque che transitano nel comune di Cornegliano Laudense hanno come destinazione, diretta od indiretta, il fiume Adda. Solo una modesta superficie comunale in frazione Muzza, posta in sponda destra del canale stesso, è afferente al sottobacino idrografico "LAMBRO2", le cui acque hanno come recapito il fiume Lambro."

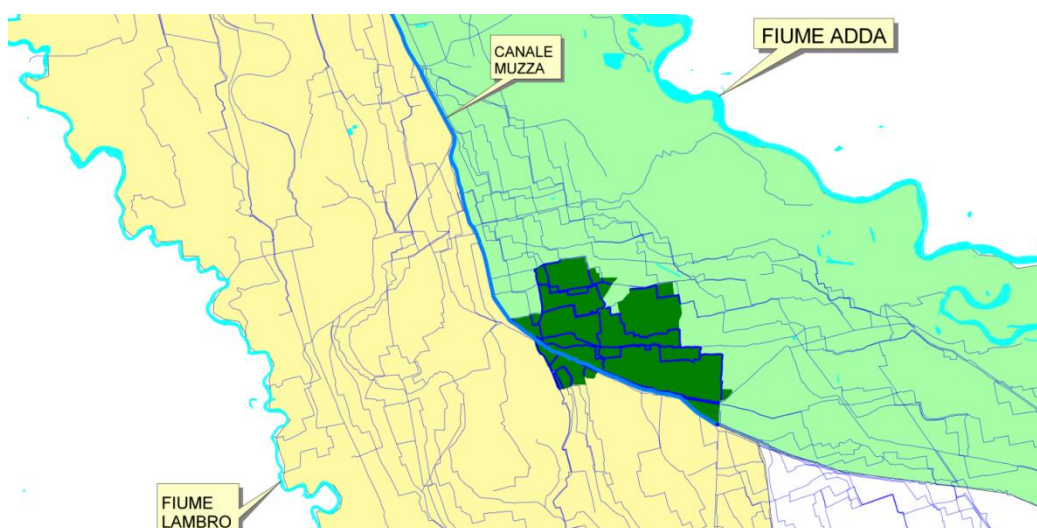
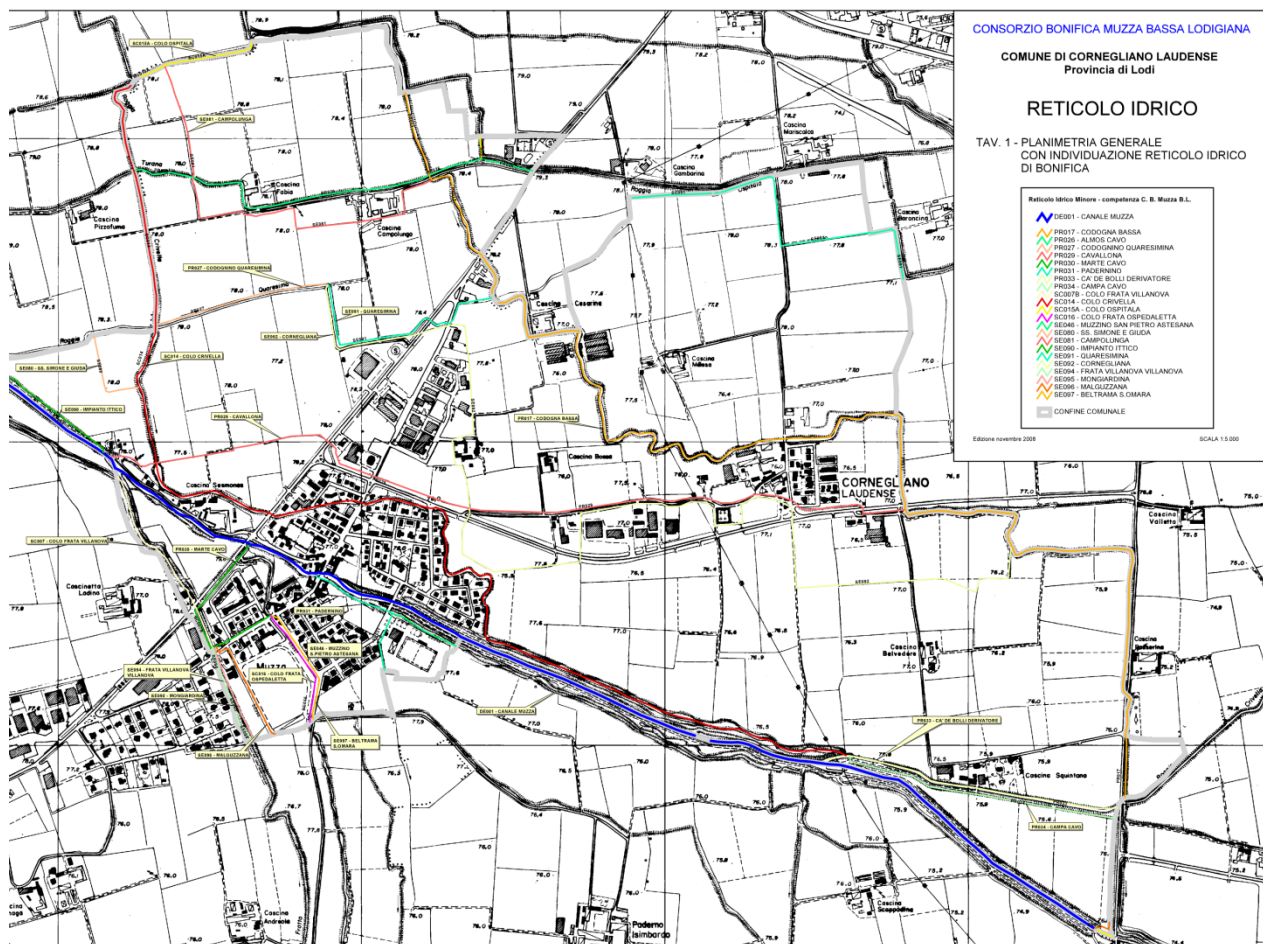


Figura 12: individuazione dei bacini di competenza del reticolo idrografico

In documento di seguito individua la seguente suddivisione del reticolo idrografico:

- 1 - Il **reticolo primario** : fa parte di questo reticolo il solo canale Muzza.
- 2- Il **reticolo di bonifica**, si compone di ventidue canali, tutti gestiti dal Consorzio di bonifica Muzza Bassa Lodigiana.
- 3- Il **reticolo privato**, formato da una numerosa serie di corsi d'acqua costituenti la parte terminale della rete irriguo-idraulica che si ramifica tra le aziende agricole ed all'interno delle stesse; sono le propaggini delle canalizzazioni citate nel punto precedente, le cui acque sono oggetto di concessione.
- 4- Il **reticolo minore** di competenza comunale a cui non appartiene alcun corso d'acqua.

Si precisa che il citato canale Muzza appartiene sia al reticolo principale che a quello di bonifica. La prima appartenenza è dovuta alla circostanza che, già a partire dal XV secolo è un bene demaniale; oggi, dopo numerosi trasferimenti, di competenza regionale. La seconda appartenenza invece è dovuta al fatto che è in consegna al Consorzio Bonifica Muzza Bassa Lodigiana. [...]"



Dott. Angelo Scotti – GEOLOGO – Via Lungo Adda 24 , 26026 Pizzighettone (Cr)

Il documento riporta inoltre un'estesa descrizione della storia e delle funzioni del Canale Muzza alla quale si fa rimando per gli aspetti di maggior dettaglio, mentre di seguito ci si limita a riferire quanto sinteticamente riportato nello studio geologico di PRG del 2003.

Il Canale è per portate, lunghezza ed estensione del territorio servito la più importante derivazione irrigua dell'Adda e tra le più importanti d'Italia; si sviluppa a partire dal Comune di Cassano d'Adda dove una briglia sommergibile di circa 400 m di lunghezza e con portata stimabile in circa 450 m³/s, intercetta le acque dell'Adda e le dirige nella Muzza. Da qui con una serie di stramazzi si ottiene una portata massima utile di 112 m³/sec. per i periodi da Giugno ad Agosto ed una minima di 65 m³/s nel periodo da Ottobre a Marzo.

Il tracciato del canale Muzza si snoda su un percorso di 38,51 Km fino alla frazione Tripoli nel Comune di Massalengo, attraversando il territorio di 15 comuni e sottendendo un comprensorio diretto di 60,000 ha ed uno indiretto di 25,000 ha; alla frazione Tripoli un manufatto terminale composto da sifoni auto adescanti e paratoie di fondo, separa il canale a monte dal colatore, che percorre la pianura lodigiana in un alveo inizialmente debolmente inciso che si approfondisce oltre Turano Lodigiano, fino alla confluenza in Adda a Castiglione d'Adda (18,2 km).

In questo tratto il corso d'acqua presenta numerosi meandri e assume un'importante valenza naturalistica per i territori che attraversa, in netto contrasto con il tratto a monte di Tripoli, dove negli anni dal 1984 al 1989 sono stati eseguiti lavori di regolazione e rettifica dell'alveo che hanno ridotto le irregolarità delle sponde con conseguente perdita della varietà di habitat.

In particolare in territorio di Cornegliano Laudense è stato dismesso il fascio di rogge parallele che sulla cartografia IGM del 1921 occupavano una larghezza di circa 70 m su entrambi i lati del canale. I cavi sono stati progressivamente eliminati dai proprietari, ed attualmente sono ridotti ad una fascia di circa 20 metri di larghezza per una lunghezza di poco più di 1000 metri nella parte centrale del tratto.

Il dislivello complessivo superato è di 40,80 m (dai 115,50 m s.l.m. di Cassano d'Adda ai 74,70 m s.l.m. di Tripoli), con una pendenza pari all'1‰ assorbita per il 50% con i salti delle levate. L'ampiezza dell'alveo al ciglio varia considerevolmente passando dai 50 m di Cassano ai 20 m in prossimità del manufatto terminale di Tripoli.

Nel tratto di Cornegliano Laudense il Canale Muzza percorre 4.302 m e presenta una larghezza variabile tra 22 e 20 metri, salvo un breve restringimento a 8 metri in corrispondenza del ponte di via Roma presso l'abitato, dove è presente una soglia di fondo che determina un salto di alcune decine di centimetri.

La profondità dell'alveo è di circa 2 metri e la sezione di circa 40 m². In tale tratto alimenta 3 derivatori secondari in sponda sinistra per una portata totale estiva concessa di 19,4 m³/s (18,15 m³/s nel solo Derivatore Cà del Bolli), e due in sponda destra, il cavo Marte che preleva 3,9 m³/s e da luogo dopo un breve tratto urbano a 5 derivatori terziari, ed il Padernino che preleva 0,4 m³/s ed irriga la parte settentrionale del confinante territorio di Massalengo.

Delle restanti rogge si segnala in particolare la roggia Crivella, che deriva le proprie acque dalla Codogna Bassa 3,1 Km a NNW dall'ingresso in territorio comunale e percorre il suo tratto terminale parzialmente intubata attraversando l'abitato di Muzza Sant'Angelo per poi riversare le proprie acque nel Derivatore Cà del Bolli e la roggia Codogna Bassa che forma il canale di maggiore lunghezza ed estensione complessiva in territorio di Cornegliano Laudense, derivando le proprie acque dallo scaricatore Belgiardino, 4,6 Km a NNW dall'ingresso in territorio comunale.

Di seguito si riportano le portate concesse per le acque estive ed invernali e la lunghezza complessiva dei cavi con dati forniti dal Consorzio di Bonifica Muzza Bassa Lodigiana nel 2003, aggiornati con i dati esposti nel documento relativo al reticolo minore del 2008. I valori di lunghezza dei corsi d'acqua nel solo territorio comunale sono quelli misurati sulla cartografia disponibile, che sono molto differenti da quelli riportati nel citato documento del 2008, pur essendo relativi al medesimo percorso. In media nel documento del 2008 la lunghezza nell'area comunale è superiore del 70% rispetto a quella misurata, e giudicando quest'ultima sostanzialmente corretta, si è ritenuto non utilizzare i dati forniti dal Consorzio Muzza per le valutazioni riportate nella seguente tabella.

Reticolo dei corsi d'acqua gestiti dal Consorzio di Bonifica

denominazione del CONSORZIO BONIFICA MUZZA BASSA LODIGIANA	denominazione CTR	codice SIBITER	categoria derivatore	funzione	lunghezza totale (m) fornita dal Consorzio Muzza	lunghezza (m) in Cornegliano da cartografia comunale	stima superficie bagnata (m ²)	PORTATA ESTIVA (m ³ /s)	PORTATA INVERNALE (m ³ /s)	NOTE provenienza - scarico
Muzza		DE001	1		37,892	4,302	77,000			
CODOGNA BASSA	Roggia Codogna	PR017	2	4	33,524	5,221	47000	8.25	6.00	scaricatore Belgiardino 4,6 Km a NNW dall'ingresso in territorio comunale
COLO CRIVELLA	Roggia Crivella	SC014	3	3	9,217	3,800	23000	----	----	Codogna Bassa 3,1 Km a NNW dall'ingresso in territorio comunale
COLO OSPITALA	Roggia Ospitala	SC015A	3	3	7,538	540	5940	1.00	0.80	
ALMOS CAVO	Roggia Turana	PR026	2	4	4,732	1,412	5600	2.00	1.40	Canale Muzza alla progressiva 33,800 circa, 0,8 Km ad W dell'ingresso in territorio comunale
CAMPOLUNGA	--	SE081	3	4	3,712	1,450	2900	0.45	0.30	Cavo Bardo Pan - irrigazione - rami privati
CODOGNINO QUARESIMINA	Roggia Quaresima	PR027	2	4	1,708	596	1800	----	----	Derivatore Codognino; si divide in SE091 e SE092 poco a sud di C.na Campolungo
QUARESIMINA	--	SE091	3	4	4,266	796	2000	0.70	0.20	CODOGNINO QUARESIMINA poco a sud di C.na Campolungo
CORNEGLIANA	--	SE092	3	4	4,015	3,826	8000	0.60	0.00	CODOGNINO QUARESIMINA poco a sud di C.na Campolungo
CAVALLONA	--	PR029	2	4	8,073	2,829	7000	0.70	0.20	Canale Muzza alla progressiva 34,840 poco a nord di C.na Sesmones
IMPIANTO ITTICO	--	SE090	3	4	503	503	4500	8.00	8.00	PR027: acque totalmente restituite
CA' DE BOLLI DERIVATORE	Roggia Crivella	PR033	2	4	10,357	1,277	14000	18,150	13,950	Canale Muzza alla progressiva 37,449 poco a ovest di C.na Squintana
CAVO CAMPA	--	PR034	2	4	943	924	2100	1,150	0.35	PR033 poco a ovest di C.na Squintana
CAVO CARPANO TRIULZA	--	PR036	2	4	5,609	104	200	0.55	0.10	Canale Muzza alla progressiva 38,848 pochi metri prima dello sbarramento di Tripoli
Muzzino S.Pietro Astesana	--	SE046	3	4	7,660	210	3720	----	----	Padernino (PR031); irrigazione - rami privati
COLO FRATA VILLANOVA	--	SC007B	3	4	3,796	477	1600	0.45	0.15	deriva dal Cavo Niso
CAVO MARTE	--	PR030	2	4	620	490	1200	3.90	2.00	canale Muzza alla progressiva 34,430 pochi metri a valle del ponte SP 235
PADERNINO	--	PR031	2	4	2,272	601	1700	0.40	0.00	canale Muzza alla progressiva 35,685 pochi metri a valle del ponte di Via Roma
COLO FRATA OSPEDALETTA	--	SC016	3	3	6,912	432	1100	----	----	da PR030 all'incrocio via Roma via Montegrappa
BELTRAMA S.OMARA	--	SE097	3	4	3,654	544	1000	0.80	0.40	da PR030 all'incrocio via Roma via Montegrappa
MALGUZZANA	--	SE096	3	4	3,233	418	1400	0.40	0.20	da PR030 all'incrocio via Sant'Angelo
MONGIARDINA	--	SE095	3	4	4,063	333	700	0.70	0.00	da PR030 all'incrocio via Sant'Angelo
FRATA VILLANOVA VILLANOVA	--	SE094	3	4	3,233	22	50	0.65	0.50	da PR030 all'incrocio via Sant'Angelo

categoria	1 primari 2 secondari 3 terziari	funzione	1 esclusivamente bonifica 2 esclusivamente irrigazione 3 principalmente bonifica 4 principalmente irrigazione
-----------	--	----------	--

Figura 14: quadro sinottico delle conoscenze sul reticolo gestito dal Consorzio Muzza bassa Lodigiana.

Utilizzando tali informazioni sono state calcolate le lunghezze dei canali entro il territorio comunale, che assommano a circa 30,7 Km, ed è stata elaborata una stima della superficie bagnata occupata dal percorso delle acque irrigue, che risulta essere di circa 205.000 m².

Per ottenere una prima valutazione della ricarica della falda prodotta dalla presenza di acqua nei canali, si può fare riferimento alla una relazione proposta da Cosby et al, 1994 riferita nella pubblicazione SSR 31 dell'ERSAL (Cremonese centrale):

Il valore della permeabilità dei terreni in condizioni di saturazione è valutata sulla base dei soli dati relativi alla percentuale di sabbia (S) e di argilla (C) come segue:

$$K_{\text{sat}} \text{ in cm/giorno} = 60.96 * 10^{(-0,6+0.0126*S-0.0064*C)}$$

Il valore di C desumibile dai dati analitici esposti nella pubblicazione ERSAL SS30 per i suoli delle U.C. varia dal 3 al 40 %, con valore medio del 13%. Tenuto conto però che i canali scorrono a profondità superiori a quelle di accumulo dell'orizzonte argilloso, pare adeguato stimare mediamente una percentuale di argilla del 10%. La percentuale di sabbia analogamente ottenuta dai dati ERSAL oscilla tra il 28 ed il 73 % con media del 46%. In questo caso sembra presumibile che negli strati inferiori del suolo siano presenti le maggiori quantità di sabbia e pare quindi opportuno stimare il parametro S = 50%.

Utilizzando i dati sopra riferiti si giunge al valore di $K_{\text{sat}} = 56,4$ cm/giorno.

Considerando un gradiente idraulico unitario si ottiene una stima della ricarica di $205.000 * 0,564 = 115.000 \text{ m}^3/\text{giorno}$, pari a $1,34 \text{ m}^3/\text{sec}$.

Valori dello stesso ordine di grandezza si ottengono utilizzando una stima riferita nella pubblicazione "*Catasto delle acque irrigue della provincia di Cremona*" dell'ing. Bruno Loffi, che suggerisce di valutare le perdite per canali medi e grandi in $10 \div 15$ litri/s per Km. Con riferimento alla rete esaminata nel territorio di Cornegliano Laudense, si ottiene il valore di $0,3 \div 0,45 \text{ m}^3/\text{sec}$.

In conclusione la ricarica della falda per effetto della sola presenza delle rogge pare considerevole, e se come elemento di paragone si considerano i probabili consumi di acque sotterranee per uso domestico ed industriale (ipotizzando 500 litro al giorno per abitante si ottiene un consumo di circa 11 litri/sec), se ne ricava che localmente il bilancio idrogeologico è assolutamente positivo, e ciò giustifica l'elevato livello della falda freatica riscontrato in tutta l'area di Cornegliano Laudense, ed in genere nelle aree prossime al Canale Muzza.

Per quanto concerne le norme vigenti si precisa che l'attuale regolamento comunale fa riferimento a fasce di rispetto di 4 e 10 metri, con riduzione a 4 metri in ambito urbano, mentre il citato Regolamento regionale 8 febbraio 2010 - n. 3 dispone una distanza minima di 5 metri: (art. 3 lettera a) "...[sono vietati] la realizzazione di fabbricati e di tutte le costruzioni una distanza minima compresa dai 5 ai 10 metri dal ciglio dei canali a seconda dell'importanza del canale".

6 Aspetti idrogeologici

6.1 CARATTERISTICHE GENERALI E STRATIGRAFIA DEI POZZI

Gli elementi descritti nel capitolo dedicato agli aspetti strutturali, delineano la cornice nella quale si individua la presenza ed il moto delle acque sotterranee.

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

L'acquifero che caratterizza la Pianura Padana, è sostanzialmente costituito da un monostrato di sabbie e ghiaie, localmente compartimentato da livelli lentiformi semipermeabili detti anche "acquitards". In corrispondenza di tali livelli 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 acquiferi, dal quale si emunge l'acqua per i vari usi, è condizionata dalle strutture del substrato marino in precedenza descritte.

Secondo quanto esposto dall'IRSA ⁷, " *...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). 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 Adda, 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'Adda."

Gli aspetti idrogeologici generali del territorio sono inoltre descritti in un importante studio di ricerca applicata di carattere regionale⁸, che " *...ha permesso di aggiornare in modo significativo le conoscenze sulla struttura e sull'evoluzione sedimentaria del bacino alluvionale Padano."*

Gli Autori hanno elaborato un modello tridimensionale della struttura interna e dei limiti fisici degli acquiferi Padani lombardi, con l'intento di delimitare gli acquiferi più profondi e

⁷ 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.

⁸ Regione Lombardia, ENI Divisione Agip, 2002. *Geologia degli acquiferi padani della Regione Lombardia* a cura di Cipriano Carcano e Andrea Piccin. S.EL.CA.(Firenze). Scala originale 1:250.000.

maggiormente protetti, di mappare le aree di ricarica diretta degli acquiferi, e di fornire uno strumento utilizzabile per il calcolo dei bilanci delle risorse idriche sotterranee.

Gli Autori hanno ritenuto di individuare nella successione sedimentaria lombarda plio-pleistocenica alcune **unità idrostratigrafiche di rango superiore** denominandole GRUPPI acquiferi **A, B, C, D**, costituite da complessi di strati con geometrie e caratteri petrofisici variabili, ma deposti in ambienti sedimentari contigui ed in continuità di sedimentazione, **definiti a tetto e a letto da barriere impermeabili o semipermeabili di estensione regionale**. Conseguentemente i flussi idrici sono prevalentemente paralleli ai limiti dell'unità (ad eccezione delle aree di ricarica diretta), e il livello piezometrico misurabile negli acquiferi presenti in ogni Gruppo è distinto e indipendente da quello degli acquiferi contenuti in altri gruppi in corrispondenza di una medesima verticale. All'interno dei gruppi è possibile distinguere localmente "complessi acquiferi" formati da Sistemi Acquiferi (corpi geologici formati da prevalenti depositi poroso-permeabili), separati da barriere di permeabilità locali e da Sistemi Acquitardi (corpi geologici formati da prevalenti depositi fini scarsamente permeabili).

In estrema sintesi, dal punto di vista stratigrafico i gruppi rappresentano uno o più cicli sedimentari compresi tra due fasi trasgressive principali (avanzamento del mare sul continente) che apportano argille marine e sedimenti continentali fini di chiusura del ciclo, mentre per effetto di oscillazioni climatico-eustatiche si producono Sequenze Deposizionali Elementari che costituiscono cicliche alternanze di corpi sedimentari a granulometria prevalentemente grossolana con corpi sedimentari a granulometria prevalentemente fine.

Le relazioni stratigrafiche dei Gruppi sono riassunte nel seguente schema:

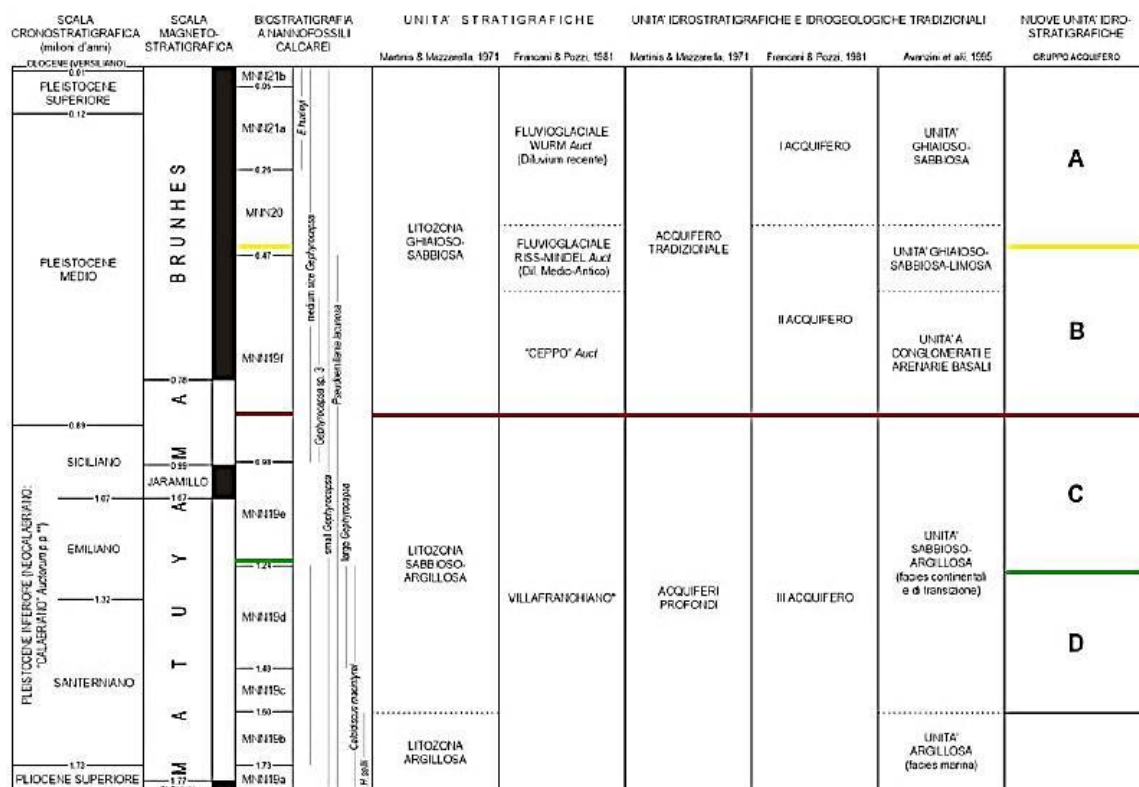
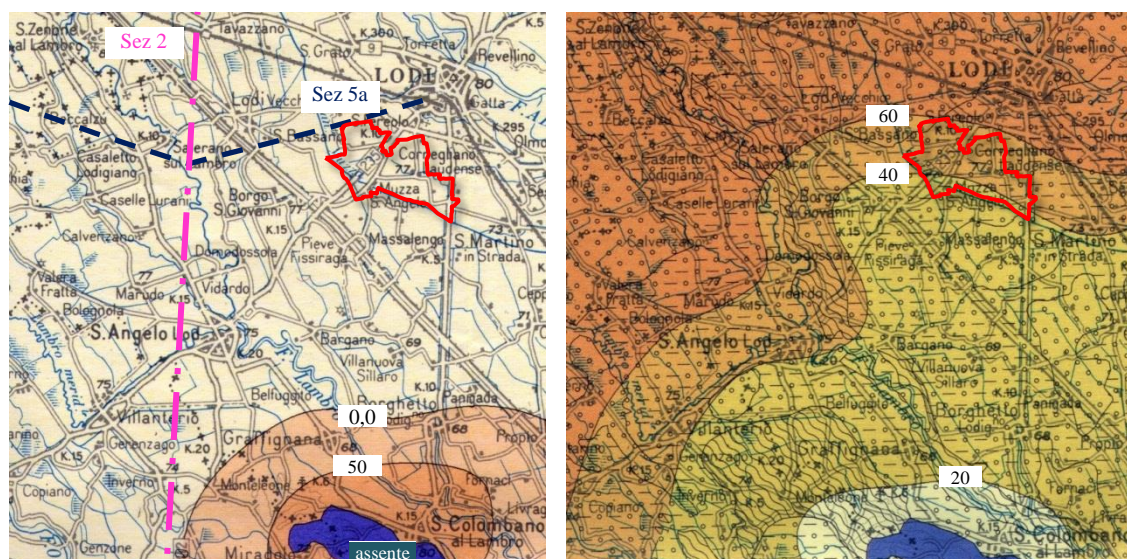


Figura 15: schema dei rapporti stratigrafici aggiornato al 2005 a seguito di nuove analisi su sondaggi eseguiti nel 2004 e 2005

A tali notazioni si aggiunge, nella immagini a sinistra, con le **linee rosse** continue, la misura delle **isopache** dei singoli gruppi, cioè del loro spessore complessivo. Le tavole quindi descrivono la profondità di esplorazione necessaria per la ricerca d'acqua in acquiferi distinti.

La **profondità del limite basale** di tale gruppo a Cornegliano Laudense è collocato dagli Autori intorno a **0,0 m s.l.m.**, corrispondente a una profondità di circa 75-78 m dalla superficie. Con riferimento a tale schema si deve osservare che **tutti i pozzi privati e quelli pubblici presenti a Pieve Fissiraga sono strati interamente perforati nel solo gruppo A, mentre i pozzi dell'acquedotto** presenti in territorio di San Martino in Strada (n. 92 e 93, v. tavola 2B), hanno filtri in prevalenza a quote inferiori e conseguentemente il grado di separazione della porzione di acquifero captato con i filtri di tali pozzi pubblici può definirsi di carattere regionale.



Capacità protettiva dei suoli bassa ; moderata; elevata

Figura 16 : profondità del limite basale dal livello mare e spessore cumulativo dei depositi poroso-permeabili del gruppo A.

— · — · — · — — — — — Tracce delle sezioni idrostratigrafiche N-S e W-E di Figura 20.

Lo spessore dei depositi poroso-permeabili è compresa tra 40 m in corrispondenza del confine meridionale, e incrementa in direzione nord fino a 60 m.

A sud la macchia blu identifica l'area di erosione o di mancata deposizione dell'unità, coincidente con l'asse dell'anticlinale sepolta responsabile dell'elevazione del Colle di San Colombano.

Gruppo acquifero B: il gruppo presenta forti analogie con il sovrastante gruppo A. L'ambiente di sedimentazione è esclusivamente continentale, con sistemi di deposizione di piana alluvionale dominata da sistemi fluviali a canali intrecciati (braided) ad alta energia. Si ritiene che l'instaurarsi di tale ambiente vada posto in relazione al rapido deterioramento del clima connesso alle fasi glaciali pleistoceniche. La successione sedimentaria mostra un generale aumento verso l'alto della granulometria dei sedimenti ed è suddivisibile in due cicli di circa 20 m di spessore a gradazione normale (diminuzione della granulometria verso l'alto). Il ciclo inferiore è rappresentato in prevalenza da sabbie da fini a grossolane grigie e grigio giallastre, in strati da sottili a molto spessi (da 3-10 a > 100 cm), con intercalazioni subordinate di argilla siltosa verde e presenza di frustoli e tronchi. Il ciclo superiore è caratterizzato da granulometrie più grossolane, con chiara prevalenza delle ghiaie nelle aree più prossime a quelle alpine di alimentazione, e di sabbie in quelle più meridionali.

Nel territorio di Cornegliano Laudense la base del Gruppo B è collocata a una profondità di circa -100 m s.l.m. (circa -175 m dalla superficie). Le linee rosse continue nella figura indicano lo spessore totale dei depositi del gruppo B saturo di acqua dolce.

Lo spessore totale dei depositi poroso permeabili è di circa 40 m al confine meridionale, mentre mostra valori circa costanti in direzione nord.

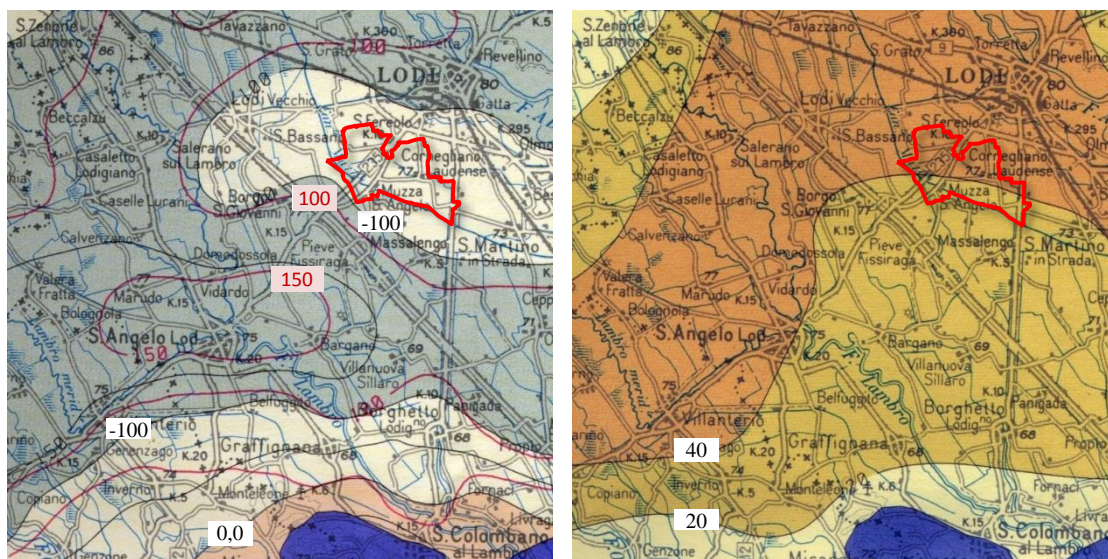


Figura 17 : profondità del limite basale dal livello mare del gruppo B. Le linee rosse continue indicano lo spessore totale dei depositi. A destra è indicato lo spessore cumulativo dei depositi poroso-permeabili del gruppo B.

Gruppo acquifero C: l'unità presenta notevole varietà sedimentaria, rappresentata da alternanze di depositi marini di piattaforma silicoclastica, depositi di transizione deltizi e litorali, depositi continentali di pianura alluvionale con sistemi fluviali a meandri. Gli

intervalli sabbiosi dei sistemi deltizi e litorali formano serbatoi caratterizzati da significativo spessore (10-30 m), buona continuità laterale e buone caratteristiche di permeabilità e porosità (sabbie fini e medie, classate, prive di intercalazioni argillose). I depositi di piana alluvionale sono rappresentati da alternanze di sabbie grigie di buone caratteristiche idrogeologiche e argille verdi che localmente determinano condizioni di confinamento. Un'importante fase trasgressiva, con deposizione di argille marine, suddivide il gruppo in due distinti acquiferi su ampio settore della pianura lombarda.

Nel territorio di Cornegliano Laudense la base del Gruppo C si colloca a -250 m s.l.m. e lo spessore dei depositi poroso permeabili incrementa da sud verso nord, passando da 40 metri a oltre 60 m nel settore nord.

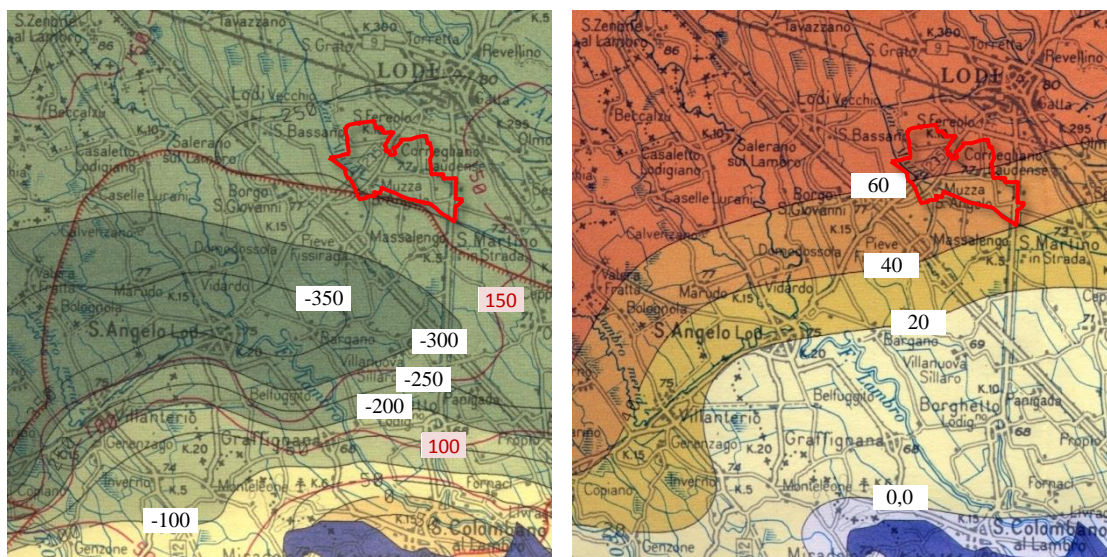


Figura 18 : profondità del limite basale dal livello mare, spessore totale (linee rosse continue), a destra spessore cumulativo dei depositi poroso-permeabili del gruppo C.

Gruppo acquifero D: è formato da argilla siltosa e silt con intercalazioni di sabbia fine alla base, sabbia fine e media bioturbata nella parte intermedia e ghiaia alternata a sabbia nella parte alta; sistema deposizionale di delta-conoide progradante da nord verso sud.

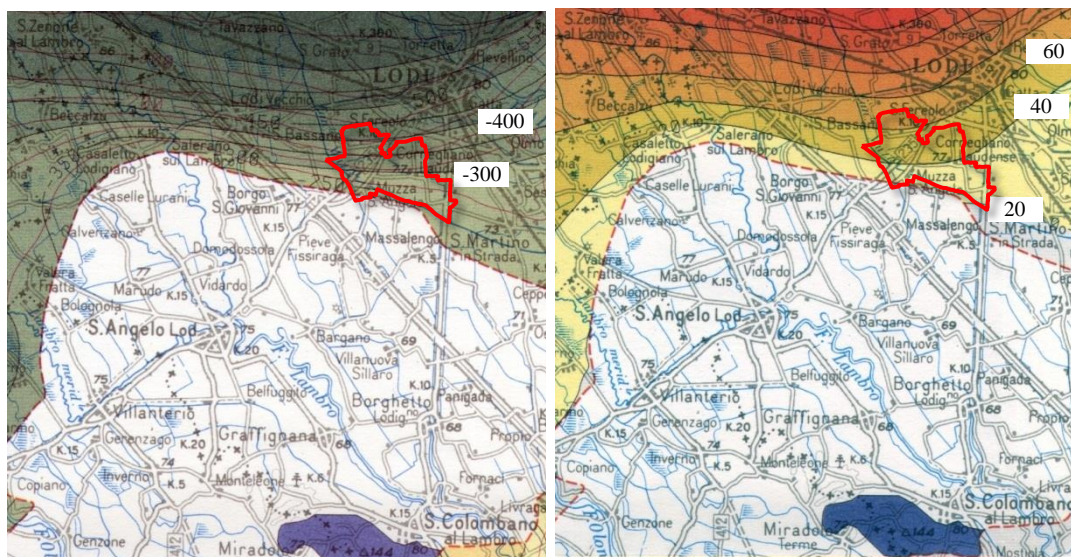


Figura 19 : profondità del limite basale dal livello mare. A destra, spessore cumulativo dei depositi poroso-permeabili del gruppo D contenuti acqua dolce.

La base del Gruppo D si colloca a -250 m s.l.m. lungo il confine meridionale scendendo fino a -450 m in quello settentrionale ; lo spessore dei depositi poroso permeabili incrementa da sud verso nord, passando da 0/20 metri a oltre 60 m a nord.

La struttura sopra descritta è sinteticamente illustrata dalle due sezioni della figura successiva (indicate come n.2 e n. 5a nella documentazione originaria), passanti 6 km ad ovest del territorio comunale lungo il confine a nord, le cui tracce planimetriche sono indicate nella Figura 16.

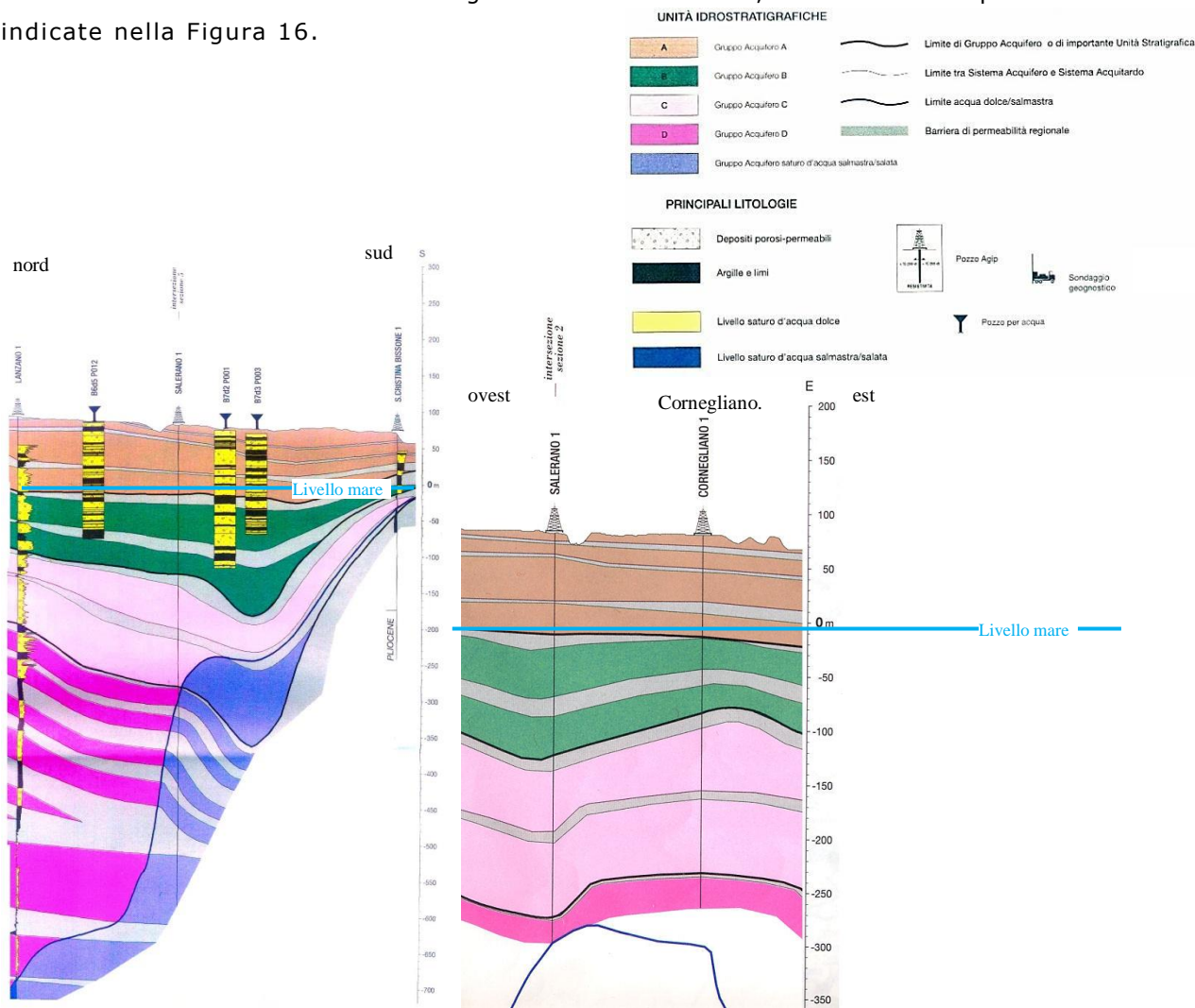


Figura 20 sezione N-S ed W-E, le cui tracce planimetriche sono riferite in Figura 16.

Sono distinti i gruppi sopra illustrati, ed indicata la posizione dell'abitato di Cornegliano laudense. Il rapporto di scala (verticale /orizzontale) è 50 : 1.

In pratica presso l'abitato di Cornegliano Laudense **la ricerca d'acqua** può essere estesa con buone probabilità di successo **fino a profondità di circa -300 m dalla superficie**, in particolare nella parte settentrionale del territorio, dove sussistono condizioni di elevata protezione degli acquiferi dai rischi di contaminazioni superficiali. A profondità maggiori la ricerca deve essere esclusa sia per la presenza di acque salmastre, sia perché i terreni mostrano una minore frequenza di depositi permeabili. La documentazione non entra nel merito delle caratteristiche di qualità delle acque né della velocità di ricarica degli acquiferi, fattori che possono rendere assai problematiche la gestione di tali falde.

In ambito strettamente **locale la successione stratigrafica** di interesse idrogeologico può essere definita solo disponendo di adeguate informazioni provenienti dalla perforazione di pozzi per acqua o di indagine geognostiche non superficiali. A tale proposito si precisa che l'unica stratigrafia disponibile presso gli enti locali di pozzi perforati in territorio comunale ha riguardato il pozzo n. 0032, mentre altre informazioni stratigrafiche relativi a due pozzi prossimi ai confini comunali (Codice: 154103 a Massalengo e Codice: 179365 a Lodi) sono state acquisite dalla consultazione del sito ISPRA nel gis all'indirizzo <http://www.mais.sinanet.isprambiente.it/ost/>.

Le stratigrafie, l'ubicazione e i rispettivi dati di collaudo sono riportati nell'allegata tavola 2B.

In territorio comunale le informazioni relative ai pozzi privati fornite dal Sistema Informativo Falda della Provincia di Milano, Settore Suolo e Sottosuolo e Industrie a Rischio, con documento dell'04/09/02 confermato senza modifiche a gennaio 2012 sono contenute nella seguente tabella, dove Cod. Pozzo è il numero univoco attribuito al singolo pozzo dal SIF.

L'uso e la profondità provengono dalle informazioni fornite dai proprietari dei pozzi e non sono in alcun modo verificate. Nella tabella si utilizza il seguente codice: P= potabile; C = civile domestico; I = industriale; A = agricolo - zootecnico. Tutti i pozzi segnalati come attivi nel documento SIF sono riportati nelle tavole 2 e 4.

Tabella 1

COD_POZZO	PU_PR	TIPO	Gauss Boaga		WGS 84		USO	PROF'	stratig	INDIRIZZO
			X	Y	X	Y				
980210008	PR	Pozzo	1537033	5015787	537004.7	5015767.4	A	20	NO	C.NA CAMPOLUNGO
980210009	PR	Pozzo	1536640	5015808	536611.7	5015788.4	ACP	56	NO	C.NA FABIA
980210012	PR	Pozzo	1537333	5014968	537304.7	5014948.5	A	--	NO	C.NA PAPINETTA
980210016	PR	Pozzo	1538347	5014977	538318.6	5014957.5	A	--	NO	C.NA CORNEGLIANO VIA 25 APRILE
980210017	PR	Pozzo	1538018	5015277	537989.7	5015257.4	ACP	15	NO	C.NA MELESA
980210019	PR	Pozzo	1538674	5014710	538645.6	5014690.5	A	20	NO	C.NA ARMAGNA - POZZO 1
980210020	PR	Pozzo	1538893	5014292	538864.6	5014272.5	A	20	NO	C.NA BELVEDERE
980210021	PR	Pozzo	1538992	5013934	538963.6	5013914.5	A	28	NO	C.NA SQUINTANA
980210023	PR	Pozzo	1536543	5014714	536514.7	5014694.5	A	20	NO	C.NA SÈSMONES
980210026	PR	Pozzo	1537624	5015290	537595.7	5015270.4	A	--	NO	C.NA CESARINA
980210027	PR	Pozzo	1539120	5013952	539091.6	5013932.5	CP	20	NO	VILLA SQUINTANA
980210028	PR	Pozzo	1539095	5013902	539066.6	5013882.5	CP	30	NO	VILLA SQUINTANA
980210031	PR	Pozzo	1538675	5014724	538646.6	5014704.5	A	20	NO	C.NA ARMAGNA-POZZO 2
980210032	PR	Pozzo	1535795	5015265	535766.7	5015245.4	I	30	SI	LOC. SESMONES

I pozzi privati attivi in territorio comunale sono in totale 14: la profondità media stimata è di 25 m, compresa tra un minimo di 15 ed un massimo di 56 m. Solo 1 pozzo presenta profondità > 30 m, e da ciò si può dedurre che la porzione superficiale dell'acquifero freatico presenta condizioni di produttività e di qualità sufficienti per il soddisfacimento della maggior parte delle esigenze espresse dal territorio.

In assenza di dati stratigrafici dei pozzi privati, le uniche informazioni utilizzabili per l'individuazione delle caratteristiche degli acquiferi locali provengono dai due pozzi pubblici al servizio dell'acquedotto di Cornegliano Laudense posti in località C.na S. Antonio in territorio di Pieve Fissiraga, circa 1000 m a SW del confine comunale occidentale, e dei pozzi 92 e 93 di San Martino in Strada (pozzi cluster) posti 400 m ad est della C.na Squintana, 60 m oltre il confine sud orientale del comune. Le stratigrafie e i dati di collaudo dei pozzi sono riportate nell'allegato 4.

Le stratigrafie dei pozzi di C.na S. Antonio individuano terreni esclusivamente sabbiosi e ghiaiosi fino alla profondità di -44 m (pari 34 m sul livello mare), che presentano una frazione più grossolana (ghiaia con sabbia) a partire da -19 m.

Il tratto inferiore, attraversato con il solo pozzo 1 fino alla profondità di 76,5 m, risulta costituita per il 47,5 % da sabbie grigie e per il 52,5% da argilla azzurra e cenere, denotando una sensibile variazione dell'ambiente di sedimentazione.

Il pozzo 1, analogamente al pozzo 2, risulta finestrato esclusivamente nella successione più superficiale (tra 36 e 43 m), e presenta valori di portata specifica di 5,8 l/s * m, contro gli 11,6 ÷ 12,8 l/s*m del pozzo 2, allineandosi con quelli medi della zona (5 - 7 l/s m, IRSA, 1981,cit.). I livelli piezometrici statici rilevati in fase di collaudo (-2,8 m nel pozzo 1 e - 2,6 m nel pozzo 2), sono entrambi compatibili con i livelli locali dalla prima falda, e confermano l'assenza di isolamento idraulico percepibile dall'osservazione delle stratigrafie.

Il pozzo 92 di San Martino in Strada risulta finestrato in tre tratti tra i -80 ed i -110 m. al disotto di una estesa bancata di argilla posta tra -53 e -77.5 m, probabilmente correlabile con l'intervallo argilloso posto all'analoga profondità nel pozzo 1 di C.na S. Antonio. Il pozzo 93 filtra un acquifero ancora più profondo, formato da tre alternanze di sabbie da fini a grossolane con argille grigie e grigio verde nell'intervallo nel tratto da -128,5 a - 172 m. Entrambi i pozzi filtrano acquifero profondo, e presentano un livello statico di collaudo rispettivamente di 6,53 e 6,62 m, sensibilmente differente da quello della falda freatica che si stima localmente intorno ad 1 m di profondità.

Una prima stima della trasmissività (T) è ottenibile mediante il metodo di Cassan⁹ (1980) impostando la risoluzione dell'equazione

$$\ln s_0/J_0 r_p = s_0 2\pi T/Q + \ln s_0 2\pi T/Q$$

con metodo numerico, analogamente a quanto indicato in una pubblicazione della Provincia di Milano¹⁰.

dove: - J_0 rappresenta il gradiente piezometrico;

- r_p è il raggio del pozzo in corrispondenza delle finestre;

- s_p è l'abbassamento in m di livello misurato nel pozzo durante il collaudo per varie portate Q in m³/s.

⁹ Cassan M.(1980) : Les essais d'eau dans la reconnaissance del sols – Ed Eyrolles, Paris.

¹⁰ SIF- Provincia di Milano (2000) : le risorse idriche sotterranee nella Provincia di Milano. , volume II° - Stato qualitativo della acque.

Il risultato del calcolo conduce a $T = 8,0 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ per il pozzo 1, mentre nel pozzo 2 $T = 1,5 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$.

I valori individuati sono nel primo caso uguali e nel secondo circa il doppio di quello medio ($8 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$) riferito nella citata pubblicazione della Provincia di Milano (2000) per l'acquifero tradizionale nella porzione meridionale della stessa. In particolare la trasmissività del pozzo 2 designa la buona produttività della porzione superiore dell'acquifero, peraltro sfruttata in modo esclusivo dai pozzi per uso agricolo e domestico presenti nel territorio comunale.

6.2 MORFOLOGIA DELLA FALDA SUPERFICIALE

Nei rilevamenti effettuati a ottobre 2002 per il PRG, è stata effettuata un sopralluogo presso tutti i 14 pozzi privati segnalati sul territorio comunale dal documento del SIF, verificando l'impossibilità materiale di utilizzare i pozzi privati per il controllo del livello freatico, in buona parte perché si tratta di pozzi battuti completamente chiusi in testa, mentre in altri casi non è stato possibile effettuare verifiche per la presenza di pesanti lastre praticamente inamovibili.

Di conseguenza per definire le quote di prima falda e conseguentemente la soggiacenza si è ricorsi alla misura diretta presso i piezometri collocati a dicembre 2011 e gennaio 2012 nei fori delle 5 prove penetrometriche, che però interessano solo e non tutto l'abitato di Muzza e della zona industriale.

Per la restante superficie del territorio comunale si è provveduto ad una distinta ricostruzione delle isopiezometriche, definita sulla base di dati rilevati in epoche differenti, in primo luogo delle prove denominate GTA, EE, Poste messe a disposizione da colleghi, e successivamente da misure eseguite nei territori limitrofi (località S. Alberto a Lodi, cascina Favalla a San Martino in Strada, intorno all'abitato di Massalengo) e delle ricostruzioni dell'andamento della falda fornite dai PGT dei comuni confinanti.

Tra queste si segnala quelle eseguite circa 900 m a NE della C.na Marescalca dell'Ufficio Idrografico del Po fino all'anno 1963, che dal 1961 al 1963 evidenziano una soggiacenza media annua di 8,79 m ed un intervallo di oscillazione 1,76 m, definito tra una soggiacenza minima di 8,13 m a settembre 1961 ed una soggiacenza massima di 9,89 m ad agosto 1963.

Sono state infine eseguite 5 misure del livello dell'acqua lungo il canale Muzza, considerato come quota costante di ricarica della falda.

In sintesi sono state quindi individuate 18 misure riferibili in parte ai primi giorni di marzo 2012, e in parte a condizioni di media soggiacenza freatica.

La ricostruzione delle isopiezometriche (v. Tavola 2) delinea un flusso da W verso E con gradiente di circa l'1,5‰, che nella porzione di territorio a est della località Muzza e a sud della SP 186 appare influenzata dal contributo di ricarica del canale stesso, con formazione di un gradiente verso NE di circa il 2,3 ‰. Dalla ricostruzione della superficie morfologica e dell'andamento delle isopiezometriche, trasformando i dati con kriging lineare in una maglia regolare di 8000 nodi sovrapponibile a quella ottenuta dai dati topografici, è stato possibile costruire le curve isobate della prima falda.

La profondità della falda freatica è compresa tra 1,0 e 1,5 metri intorno al canale Muzza (i valori inferiori a 1 metro sono poco probabili e sostanzialmente l'effetto della carenza di dati e delle approssimazioni di scala), e nella porzione settentrionale del territorio, a nord delle cascine Fabia e Campolungo. Altre aree caratterizzate da soggiacenza inferiore a 2 metri si osservano presso le C.ne Melesa, Cesarina e Ospitala principalmente a causa di locali depressioni della topografiche.

I valori incrementano in direzione nord est fino a valori di 2,5 -3,0 metri lungo la provinciale 235 e lungo la provinciale 186, mentre un incremento più marcato e costante si rileva nel quadrante NE del territorio a causa dell'approfondimento della falda generata dal deflusso verso la valle dell'Adda, con valori di quasi 4 metri in prossimità del confine con il territorio di Lodi.

Le **oscillazioni freatiche** possono essere descritte dai dati di soggiacenza rilevati presso il citato pozzo n° 1 di C.na S. Antonio, resi disponibili dall'Ufficio Geologico del CAP di Milano ed illustrati nella tabella e nel grafico seguenti.

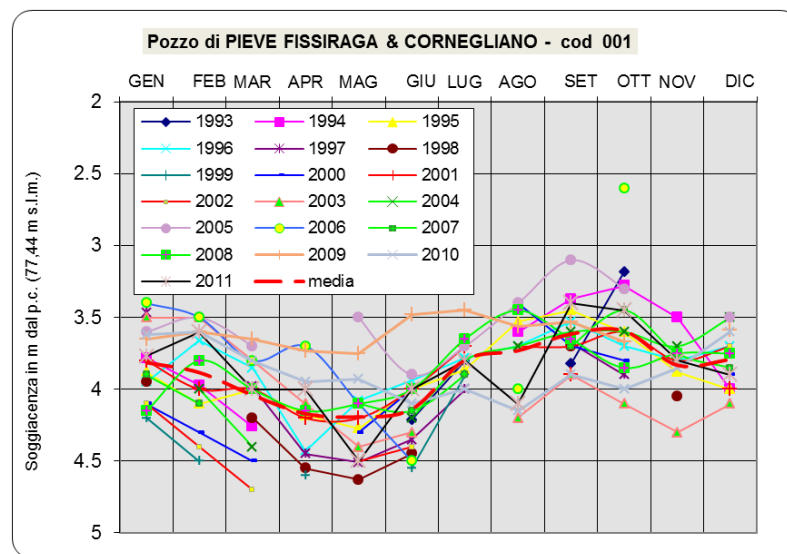


Figura 21 : oscillazioni freatiche nel pozzo SAL n° 1 di Pieve Fissiraga - Cornegliano Laudense

Si osserva innanzitutto un andamento estremamente regolare negli anni e lo stretto legame delle fluttuazioni con la stagione irrigua. L'escursione media annua è di 0,91 m, compresa tra un minimo di 0,3 m nel 2009 ed un massimo di 1,1 m osservato negli anni 2000 e 2002 (un massimo nel 2006 pare attribuibile ad una errata lettura). I singoli valori mensili risultano relativamente dispersi nei mesi da gennaio a marzo, con differenze di soggiacenza comprese tra 0,7 ed 1 m, mentre risultano più strettamente distribuite intorno alla media nei mesi di luglio e agosto, con differenze di livello pari a 0,6 m. Questa circostanza pare ragionevolmente attribuibile alla predominanza dei fattori climatici nei mesi invernali, mentre nei mesi estivi il fattore irrigazione determina un apporto relativamente costante in tutte le annate.

6.3 CARATTERISTICHE DELL'ACQUIFERO RIFERITO NEL PTUA

Il 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 Cornegliano Laudense.

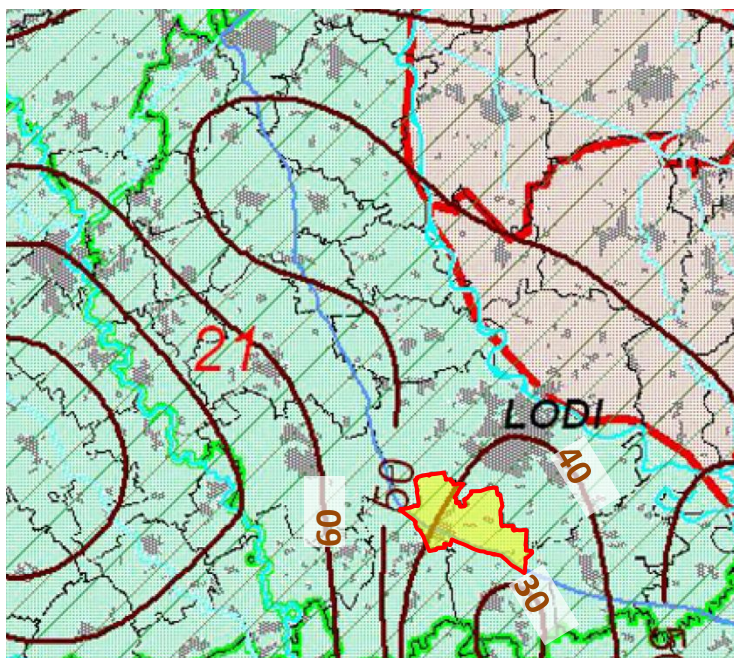
L'analisi riferita nello studio interpreta gli acquiferi della pianura lombarda come un monostrato compartimentato, comprendente una falda freatica chiamata "Superficiale" (primo acquifero) ed un acquifero semiconfinato sottostante (secondo acquifero). L'insieme di questi due acquiferi forma l'acquifero 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 argillosi 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 22: isobate della base dell'acquifero superficiale in m. s.l.m.

Nel caso dell'area di Cornegliano Laudense 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 22 individua una profondità dalla superficie topografica variabile da 32 m all'estremità occidentale (C.na Fabia - Allevamento ittico) che incrementa verso SE fino a circa 45 m a sud est (località Tripoli).

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 - Adda hanno suddiviso la superficie in numerosi settori, tra i quali **il n. 21 "Lodi" comprendente il territorio di Cornegliano Laudense.**

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.

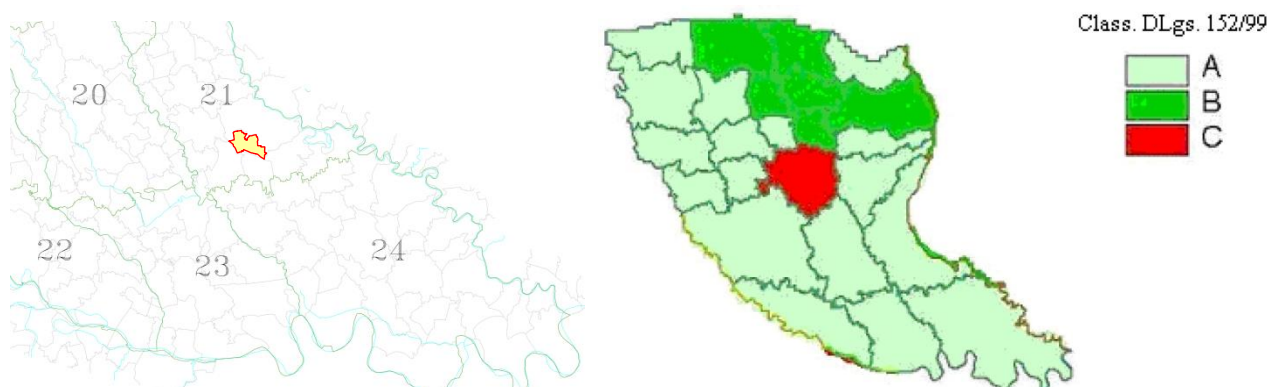






Tabella 2.5 – Classificazione dello stato quantitativo dei corpi idrici sotterranei ai sensi del D.Lgs. 152/1999: definizione e colori corrispondenti.

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 ravvenamento 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. (1)
	Classe D ₁₅₂ Impatto antropico nullo o trascurabile, ma con presenza di complessi idrogeologici con intrinseche caratteristiche di scarsa potenzialità idrica.

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

Figura 23: 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:

Prelievo medio areale 3,22 l/s·km²

Entrate:

Afflusso della falda da monte Settore n. 18 2,36 (m³/s)

Infiltrazione (piogge efficaci + irrigazioni) 2,43 (m³/s)

TOTALE 4,79 (m³/s)

Uscite:

Drenaggio verso settore 24 0,30 (m³/s)

Prelievi da pozzo 0,87 (m³/s)

Drenaggio verso F.Adda 2,74 (m³/s)

Drenaggio verso F.Lambro 0,88 (m³/s)

Fontanili 0,00 (m³/s)

TOTALE 4,79 (m³/s)

Classe Quantitativa:	A
(Prelievi/Ricarica = 0,36)	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 24, dove l'area comprendente Cornegliano Laudense appare collocata nella classe 0 a causa della presenza di sostanze indesiderate di origine naturale presenti nell'acquifero.

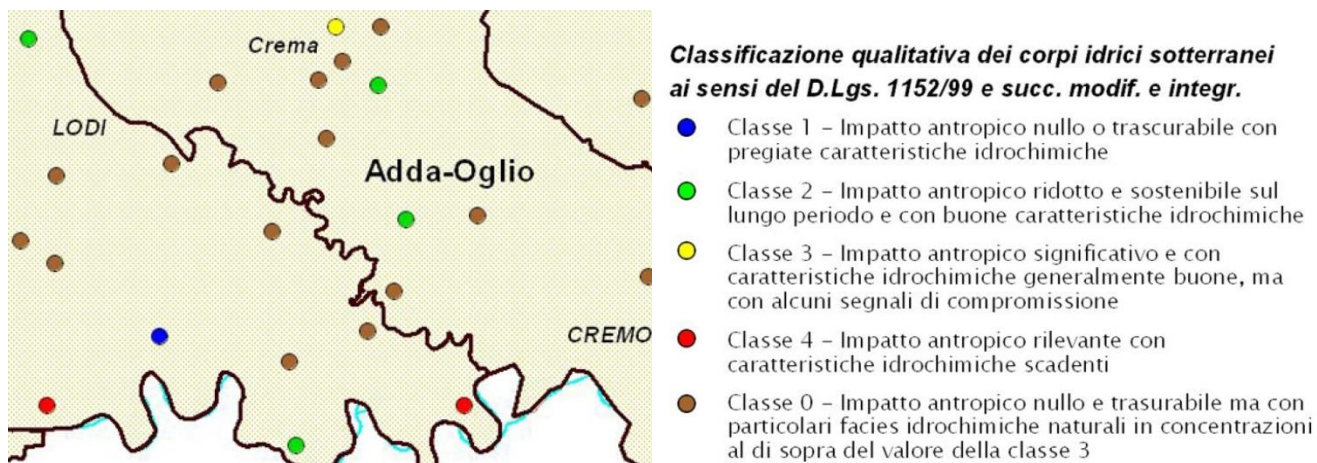


Figura 24: valutazione qualitativa ai sensi della normativa della qualità delle acque sotterranee.

7 Vulnerabilità della falda freatica all'inquinamento

N.B. IL PRESENTE CAPITOLO NON È STATO MODIFICATO RISPETTO ALLA SUA STESURA PER IL PRG 2003.

7.1 PREMESSA

Il bene pubblico rappresentato dalle acque sotterranee, non essendo direttamente osservabile, è spesso misconosciuto e quindi scarsamente o per nulla tutelato, pur costituendo una componente quotidiana dell'alimentazione.

In sede di revisione di P.R.G. la predisposizione di una carta che fornisca indicazioni sulla vulnerabilità del primo acquifero ha il duplice scopo di introdurre tale parametro tra gli argomenti da esaminare ai fine di valutare l'opportunità degli interventi sul territorio, e di costituire una suddivisione di massima sulla quale incentrare più mirate indagini per progetti specifici.

Una fra le più esaurienti **definizioni** che vengono date **di vulnerabilità** all'inquinamento di un acquifero, o meglio, dell'acqua di falda contenuta e fluente entro un acquifero è la seguente: *la 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 idroveicolato tale da produrre impatto sulla qualità dell'acqua sotterranea, nello spazio e nel tempo* (CIVITA

1994¹¹). 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 e con la redazione della tavola 4 di sintesi.

La redazione di una carta della **vulnerabilità intrinseca** costituisce comunque il **primo e fondamentale passo** per la definizione della vulnerabilità integrata, che potrà essere di volta in volta aggiornata con le più puntuali conoscenze sulle caratteristiche idrogeologiche del territorio comunale, apparse fortemente carenti, e con una sistematica individuazione dei centri di pericolo.

7.2 GENERALITÀ' SUL METODO SINTACS

Fra i numerosi metodi parametrici esistenti per la determinazione della vulnerabilità intrinseca, in Italia¹² si è adottato il sistema parametrico a punteggi e pesi S.I.N.T.A.C.S.¹³ perché è un metodo ampiamente conosciuto a livello internazionale ed è quello che più si adatta alle realtà idrogeologiche, climatiche e di impatto che si riscontrano sul territorio italiano; grazie alla strutturazione a parametri e pesi è possibile distinguere diverse situazioni idrologiche e di impatto, e fornire una valutazione indicativa del grado di vulnerabilità di un sito, consentendo comparazioni tra situazioni anche molto diverse fra loro, in modo da offrire indicazioni facilmente interpretabili alle Pubbliche Amministrazioni.

Il metodo adottato 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)

¹¹ CIVITA M. (1994) - Le carte della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento: teoria e pratica. Pitagora Ed. Bologna.

¹² D.L. 152/99, allegato 7, parte A: Zone vulnerabili da nitrati :

¹³ Realizzato in Italia nell'ambito del CNR-GNDICI (Consiglio Nazionale delle Ricerche - Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche, CIVITA, 1994).

Acquifero (caratteristiche idrogeologiche del -)
Conducibilità idraulica dell'acquifero
Superficie topografica (acclività della -)

Si osserva che nel metodo può essere riconosciuta una consistente ridondanza dei 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 DRASTIC¹⁴, 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 (negli Stati Uniti) e che forma 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 metodo¹⁵. 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). Nel nostro caso è stata usata esclusivamente la serie di pesi per la pianura irrigua *"Impatto Normale - IR"*, *"*.

Le dimensioni delle celle del reticolo sono in funzione della scala alla quale si vuole produrre il risultato finale, ed alla disponibilità di dati significativi: nel nostro caso si è scelta una **maglia di 250 m di lato** che consente di ipotizzare un prodotto in scala 1:25.000.

La valutazione della vulnerabilità all'inquinamento per l'area indagata è relativa al **primo acquifero**, inteso come primo livello incontrato dal piano-campagna (non considerati riporti, suoli o livelli eluviali) di almeno 0,5 m di spessore con conducibilità idraulica alla mesoscala superiore a 1×10^{-6} m/s. Il meccanismo di contaminazione ipotizzato per la valutazione della vulnerabilità è un'infiltrazione verticale e puntuale dell'inquinante dal piano-campagna al tetto del primo acquifero.

Peraltro, in molte aree della pianura alluvionale la vulnerabilità del primo acquifero può essere estesa a tutto il sistema acquifero, date le interconnessioni idrauliche fra il primo ed i livelli sottostanti.

7.3 I FATTORI DELLA VULNERABILITÀ

Per ciascuno vengono forniti un breve commento su come influenzano la vulnerabilità, le modalità di acquisizione ed il criterio di scelta della scala di punteggi.

Soggiacenza (S)

¹⁴ DRASTIC - United States Environmental Protection Agency, ALLER et al., 1987-: costituisce il metodo principale sul quale è stato sviluppato SINTACS

¹⁵ 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.

Rappresenta la profondità della superficie piezometrica della falda libera rispetto al piano campagna. A parità di condizioni idrogeologiche dell'insaturo, da essa dipende il tempo di transito e quindi la durata delle azioni di autodepurazione e attenuazione fra le quali in particolare l'azione ossidante dell'atmosfera.

Per la determinazione della soggiacenza media di ogni singola cella si è utilizzato l'andamento delle isoipse raffigurate nella tavola 1 e delle isopiezometriche della tavola 3. Per quanto riferito nel capitolo precedente, l'assunzione nel calcolo dei valori rilevati ad ottobre 2002 corrisponde bene alle esigenze di rappresentatività richieste dal metodo. Il limite di tale ricostruzione, come più volte detto, è dovuto alla scarsa estensione dell'area supportata da misure, conseguente all'assenza di dati dai pozzi privati.

Poiché che nel territorio la soggiacenza è costantemente di pochi metri, la porzione di grafico che nel metodo SINTACS esprime il legame soggiacenza/parametro S nell'intervallo da 0 a -8 m è stata trasformata in una funzione logaritmica $(-2,3952\ln(x) + 11,106)$ imponendo che per valori di soggiacenza $\leq 1,5$ m, $S = 10$. In tal modo si è automatizzato il calcolo diminuendo fortemente le possibilità di errore per la lettura diretta del grafico.

I valori di S ottenuti variano assai poco in tutto il territorio, da 10 a 9,4 e non discriminano quindi in modo significativo le celle nel calcolo dell'Indice finale.

Infiltrazione efficace (I)

Riguarda il trascinamento in profondità dei contaminanti e la loro diluizione, nell'insaturo e nella zona di saturazione. Il parametro dipende da fattori meteorologici (piovosità e temperatura), antropici (pratiche irrigue) e da fattori geomorfologici e idrogeologici che vengono conglobati nel cosiddetto indice di infiltrazione (χ). Quest'ultimo viene determinato in base alle caratteristiche del suolo oppure, in assenza di un suolo significativo, in base alla litologia superficiale.

Per determinare χ si è utilizzato un apposito diagramma fornito con il Metodo, che lo pone in relazione con le tessiture dei suoli, individuate nella citata pubblicazione dell'ERSAL SSR 30 per le varie Unità Cartografiche. Dal valore di χ si è poi stimato il valore dell'infiltrazione efficace ipotizzando una precipitazione media annua di 850 mm, trasformando i valori ottenuti (compresi tra 118 mm nelle U.C. 13, 21, 22 e 138 mm nelle U.C. 11, 14, 16, 19) in punteggi SINTACS mediante l'apposito grafico, a sua volta linearizzato nella funzione $=\text{infiltrazione efficace} \cdot 0,0388 + 0,5$ che lo assimila nel tratto 50-200 mm.

Non saturo, effetto di autodepurazione (N)

La zona insatura è quella compresa tra la base del suolo e la zona satura dell'acquifero ed in essa avvengono gli spostamenti prevalentemente verticali dell'acqua. Nel caso di acquiferi artesiani, si prende in considerazione l'intervallo tra la base del suolo e la base del livello confinante superiore. All'interno dello spessore insaturo fattori fisici (filtrazione e dispersione in particolare) e chimici (reattività chimica dei minerali componenti e processi di

bio-degradazione e volatilizzazione in particolare) operano in sinergia favorendo processi di attenuazione.

Tale parametro è di incerta determinazione per la carenza di dati stratigrafici che consentano di discriminare all'interno della gamma di punteggi, da 3 a 6, attribuiti dal Metodo alla tipologia "alluvioni medio fini", che adeguatamente descrive l'insaturo in territorio di Cornegliano Laudense. In base ai dati delle prove penetrometriche si è ritenuto di attribuire il punteggio di 6 alle aree che presentano una prevalente componente sabbiosa nella porzione superficiale del profilo sotto il suolo (Cpt 1, 2, 5, 6), ed il punteggio di 4 alle aree con più frequenti intervalli limo argillosi (Cpt 4, 7, 8). Tale suddivisione trova buona corrispondenza con la locale distribuzione dei substrati pedologici delle U.C. individuate nella pubblicazione ERSAL n° 30, che conseguentemente è utilizzata per valutare il parametro (N) nelle aree lontane dalle prove penetrometriche.

Uniformando i dati delle prove Cpt con le informazioni sui substrati pedologici, si è stabilito di attribuire il punteggio SINTACS di 6 alle celle che ricadono nella U.C. 11, 13, 14 e 16, di 5 nell'area dell'U.C. 19 ed infine di 4 nell'area dell'U.C. 22.

Nell'area urbanizzata di Muzza Sant'Angelo, dove le delineazioni pedologiche non sono state espresse, le superfici sono attribuite rispettivamente all'U.C. 21 a nord del canale Muzza e all'U.C. 14 a sud.

Tipologia della copertura, suolo (T)

Il suolo riveste un ruolo importante nella mitigazione dell'impatto, particolarmente nei confronti di un inquinamento di tipo diffuso (agricolo, zootecnico ecc.): al suo interno si esplicano processi di filtrazione, di biodegradazione, assorbimento/adsorbimento e di volatilizzazione. Il fattore prende in esame la porzione superiore della zona vadosa (zona insatura), caratterizzata da significativa attività biologica, in genere estesa entro i primi 100 cm. Molto dipende dal grado di plasticità delle argille, poiché in presenza di argille poco plastiche e di terreni fini si ha il minore potenziale di inquinamento, mentre in presenza di argille plastiche secondo gli Autori del DRASTIC *"sebbene le fessure formate con la siccità si rigonfino appena l'argilla viene idratata, è documentata la capacità degli inquinanti di muoversi rapidamente prima (che si esaurisca) l'iniziale bagnatura."*

Per la valutazione del parametro è stato possibile utilizzare un grafico indicato dal Metodo nella versione 5, che fornisce direttamente il punteggio SINTACS sulla base dei soli parametri Argilla+Limo in % e Sostanza Organica in %.

Tali valori sono stati individuati utilizzando le descrizioni di dettaglio della Unità Tassonomiche (pedon di riferimento) dei suoli presenti nella citata pubblicazione dell'ERSAL SSR 30. Dalla somma dei valori percentuali di limo grossolano + limo fine + argilla di ogni singolo orizzonte A e B per lo spessore degli orizzonti stessi, si è ottenuto un valore che diviso per lo spessore totale del suolo fornisce la media pesata della frazione fine. Analogamente si è effettuato il calcolo per la S.O. , ottenendo in conclusione il seguente prospetto:

U.C.	% pesata ARGILLA + LIMO	% pesata S.O.	VALORE SINTACS
11	28,1	0,87	8,3
13	71,7	1,23	6,2
14	50,2	1,04	7,3
16	46,1	1,40	7,5
19	53,2	0,98	7,2
22	73,4	0,85	6,3

caratteristiche dell'Acquifero (A)

Si considera acquifero la zona di saturazione all'interno di un determinato complesso idrogeologico, e si prendono in considerazione i processi (dispersione, diluizione, assorbimento, reattività chimica) che avvengono al di sotto della superficie piezometrica. Il parametro descrive quindi il comportamento di un contaminante liquido o idroveicolato quando, dopo aver superato le due «linee di difesa» costituite dalla copertura e dall'insaturo, ha raggiunto la zona satura e viene a mescolarsi con l'acqua sotterranea per defluire verso i punti di recapito.

Le caratteristiche che descrivono l'acquifero al fine della valutazione della vulnerabilità sono analoghe a quelle considerate per il parametro N, ed è determinante la lunghezza del percorso che le particelle contaminanti devono seguire, funzione delle porosità, del grado di cementazione e di addensamento dei clasti.

Per le alluvioni medio-fini gli Autori indicano un intervallo di punteggio variabile da 6 ad 8, ed in un esempio di applicazione del Metodo riferito allo studio di un tratto di pianura presso Torino, specificano il punteggio di 6 per alluvioni sabbioso – argillose, di 7 per alluvioni sabbiose, e di 8 per alluvioni prevalentemente ghiaiose.

Le stratigrafie dei **pozzi per acqua potabile** presenti nel territorio limitrofo a quello di Cornegliano Laudense mostrano la predominanza, nei primi 40 m dal p.c., di litotipi sabbiosi con presenza subordinata di ghiaia di piccole dimensioni, e sulla base di tali informazioni pare opportuno assegnare all'aerea un punteggio **SINTACS = 7**. La carenza di dati stratigrafici non consente di operare alcuna discriminazione tra varie porzioni del territorio, ma osservando i caratteri sedimentologici e strutturali generali precedentemente delineati, pare altresì probabile che le variazioni presenti risultino realmente contenute, e comunque tali da non determinare variazioni di punteggio.

Conducibilità idraulica (C)

La conducibilità idraulica è la capacità di spostamento attraverso il mezzo saturo dell'acqua di falda e quindi anche di un contaminante che non ne alteri troppo le caratteristiche di densità.

L'unica informazione locale è data dalla stima della trasmissività condotta sulle prove di collaudo del pozzo 2 di località C.na S. Antonio (Pieve Fissiraga): $T = 1,556 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$. (v. § 6.1), che presenta le finestre nella sola porzione superficiale dell'acquifero.

Il valore del coefficiente di permeabilità è stato ricavato mediando due procedimenti differenti. Nel primo si è calcolato K (m/s) dividendo il valore di T per lo spessore dell'intervallo acquifero, posto pari a 41 m, ed ottenendo $K = 3,78 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$

Nel secondo caso si è applicata una relazione riportata in Celico (1986)¹⁶, ripresa da Castany (1967), per pozzi incompleti e valida per falde freatiche e confinate.

$$K = Q \log_{10}(\alpha \ell / r_p) / (2,73 \ell s_o);$$

con α = coefficiente che vale 0,66 se il filtro non raggiunge il substrato, e varia tra 1,32 ed 1,60 se il filtro è attestato sul substrato impermeabile: nel nostro caso si è ritenuto che i filtri fossero collocati in prossimità del substrato e si è scelto un valore intermedio di $\alpha = 1,46$; ℓ = lunghezza (m) del tubo-filtro che impegna parzialmente l'acquifero.

Il valore ottenuto è di $K = 7,09 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$.

Il valore medio è quindi di $K = 5,44 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$, che mediante il grafico indicato dal Metodo consente di individuare un punteggio **SINTACS = 8**.

acclività della Superficie topografica (S)

L'acclività incide sulla vulnerabilità intrinseca perché da essa dipende la velocità di spostamento e la quantità d'acqua piovana che, a parità di precipitazione, è soggetta a ruscellamento. SINTACS attribuisce punteggi elevati alle celle con debole pendenza media, bassi alle aree a forte pendenza. Tutto il territorio di Cornegliano Laudense appartiene alla classe con acclività da 0 a 2% e quindi il punteggio è costantemente = 10.

7.4 VALORI DELL'INDICE DI VULNERABILITÀ E RELATIVA RAPPRESENTAZIONE

La **vulnerabilità intrinseca** si ottiene determinando per ogni cella la sommatoria dei 7 parametri ciascuno moltiplicato per il proprio peso. $I_{\text{SINTACS}} = S W_s + I W_i + N W_n + T W_t + A W_a + C W_c + S W_s$.

L'indice ottenuto viene normalizzato (I_{NO}), così da ottenere una scala di valori da 0 a 100 così definita :

BB	molto basso	0-24
B	basso	25-35
M	medio	36-49
A	alto	50-69
E	elevato	70-79
Ee	molto elevato	80-100

I colori utilizzati sono quelli indicati dal metodo

¹⁶ Celico P. (1986) : Prospezioni idrogeologiche, vol 1°, Ed. Liguori, Napoli.

Il risultato ottenuto è espresso dalla figura seguente e dalla successiva tabella che contiene tutti i dati di ingresso e calcolati.

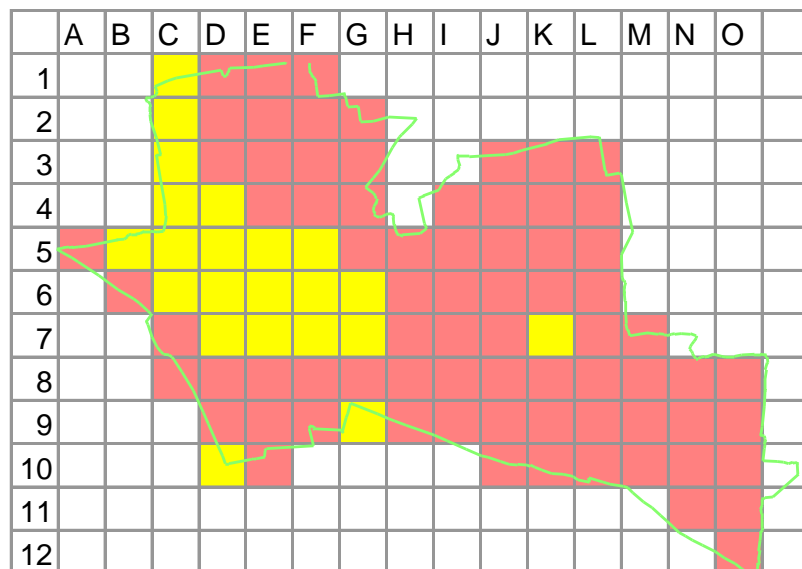


Figura 25 : esito dell'elaborazione con SINTACS in scala 1:40.000 circa

In sintesi buona parte del il territorio comunale presenta un **grado elevato** di vulnerabilità, che si attenua ad **"alto"** in corrispondenza delle superficie interessata da suoli più fini accompagnati da substrati limo argillosi maggiormente espressi.

Grado di vulnerabilità della falda (freatica)

BB	molto basso
B	basso
M	medio
A	alto
E	elevato
Ee	molto elevato

La tabella seguente contiene tutti i dati introdotti e calcolati con i criteri precedentemente esposti

	DATI DI INPUT								VALORI CALCOLATI								
COORD	S	I	N	T	A	C	X	PESI	S1	I1	N1	T1	A1	C1	X1	Ino	CLAS SE
A5	10	5	6	6,7	7	8	10	ir	50	26	24	33,5	21	16	20	70	E
B5	10	5	6	6,5	7	8	10	ir	50	26	24	32,5	21	16	20	69	A
B6	10	6	6	7,5	7	8	10	ir	50	29	24	37,5	21	16	20	73	E
C1	10	6	4,5	7	7	8	10	ir	50	28	18	35	21	16	20	69	A
C2	10	6	4,5	7	7	8	10	ir	50	28	18	35	21	16	20	69	A
C3	10	5	4	6,5	7	8	10	ir	50	26	16	32,5	21	16	20	66	A
C4	10	5	4	6,3	7	8	10	ir	50	26	16	31,5	21	16	20	65	A
C5	10	5	5	7	7	8	10	ir	50	26	20	35	21	16	20	69	A
C6	10	5	6	6,5	7	8	10	ir	50	26	24	32,5	21	16	20	69	A
C7	10	5	6	7,5	7	8	10	ir	50	26	24	37,5	21	16	20	71	E
C8	10	5	6	7,3	7	8	10	ir	50	26	24	36,5	21	16	20	71	E
D1	10	6	5	7,2	7	8	10	ir	50	29	20	36	21	16	20	70	E
D2	10	6	5	7,2	7	8	10	ir	50	29	20	36	21	16	20	70	E
D3	10	6	5	7,2	7	8	10	ir	50	29	20	36	21	16	20	70	E
D4	10	5	4	6,3	7	8	10	ir	50	26	16	31,5	21	16	20	65	A
D5	10	5	4	6,3	7	8	10	ir	50	26	16	31,5	21	16	20	65	A
D6	10	5	4	6,3	7	8	10	ir	50	26	16	31,5	21	16	20	65	A
D7	10	5	6	6,5	7	8	10	ir	50	26	24	32,5	21	16	20	69	A
D8	10	6	6	7,3	7	8	10	ir	50	29	24	36,5	21	16	20	72	E
D9	10	6	6	7,3	7	8	10	ir	50	29	24	36,5	21	16	20	72	E
D10	10	5	6	6,5	7	8	10	ir	50	26	24	32,5	21	16	20	69	A
E1	10	6	5	7,2	7	8	10	ir	50	29	20	36	21	16	20	70	E
E2	10	6	5	7,2	7	8	10	ir	50	29	20	36	21	16	20	70	E
E3	10	6	5	7,2	7	8	10	ir	50	29	20	36	21	16	20	70	E
E4	10	6	5	7,2	7	8	10	ir	50	29	20	36	21	16	20	70	E
E5	10	5	4	6,3	7	8	10	ir	50	26	16	31,5	21	16	20	65	A
F6	9,8	5	4	6,3	7	8	10	ir	49	26	16	31,5	21	16	20	65	A

COMUNE DI CORNEGLIANO LAUDENSE (LO) STUDIO DELLA COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO
aggiornata a seguito di osservazioni ARPA protocollo dell'Ente n. III019 del 08.08.2012 (class. 6.3 Rep 156/11)

E7	9,8	6	4	6,3	7	8	10	ir	49	29	16	31,5	21	16	20	66	A
E8	10	6	6	7	7	8	10	ir	50	29	24	35	21	16	20	72	E
E9	10	6	6	7,3	7	8	10	ir	50	29	24	36,5	21	16	20	72	E
E10	10	6	6	7,3	7	8	10	ir	50	29	24	36,5	21	16	20	72	E
F1	10	6	5	7,2	7	8	10	ir	50	29	20	36	21	16	20	70	E
F2	10	6	5	7,2	7	8	10	ir	50	29	20	36	21	16	20	70	E
F3	10	6	5	7,2	7	8	10	ir	50	29	20	36	21	16	20	70	E
F4	10	6	5	7,2	7	8	10	ir	50	29	20	36	21	16	20	70	E
F5	10	5	4	6,8	7	8	10	ir	50	26	16	34	21	16	20	66	A
F6	9,4	6	4	6,3	7	8	10	ir	47	29	16	31,5	21	16	20	66	A
F7	9,4	6	4	6,3	7	8	10	ir	47	29	16	31,5	21	16	20	66	A
F8	9,8	6	6	7	7	8	10	ir	49	29	24	35	21	16	20	71	E
F9	10	6	6	7	7	8	10	ir	50	29	24	35	21	16	20	72	E
G2	10	6	5	7,2	7	8	10	ir	50	29	20	36	21	16	20	70	E
G3	10	6	5	7,2	7	8	10	ir	50	29	20	36	21	16	20	70	E
G4	10	6	5	7,2	7	8	10	ir	50	29	20	36	21	16	20	70	E
G5	10	6	5	7,2	7	8	10	ir	50	29	20	36	21	16	20	70	E
G6	9,8	6	4	7,3	7	8	10	ir	49	29	16	36,5	21	16	20	69	A
G7	9,4	6	4	7,3	7	8	10	ir	47	29	16	36,5	21	16	20	68	A
G8	9,4	6	6	7,3	7	8	10	ir	47	29	24	36,5	21	16	20	71	E
G9	10	5	6	6,2	7	8	10	ir	50	26	24	31	21	16	20	69	A
H5	10	6	5	7,2	7	8	10	ir	50	29	20	36	21	16	20	70	E
H6	10	6	6	7,3	7	8	10	ir	50	29	24	36,5	21	16	20	72	E
H7	9,8	6	6	7,3	7	8	10	ir	49	29	24	36,5	21	16	20	72	E
H8	9,4	6	6	7,3	7	8	10	ir	47	29	24	36,5	21	16	20	71	E
H9	10	6	6	7,3	7	8	10	ir	50	29	24	36,5	21	16	20	72	E
I4	10	6	5	7,2	7	8	10	ir	50	29	20	36	21	16	20	70	E
I5	10	6	5	7,2	7	8	10	ir	50	29	20	36	21	16	20	70	E
I6	9,6	6	5	7,2	7	8	10	ir	48	29	20	36	21	16	20	70	E
I7	9,8	6	6	7,3	7	8	10	ir	49	29	24	36,5	21	16	20	72	E
I8	10	6	6	7,3	7	8	10	ir	50	29	24	36,5	21	16	20	72	E
I9	10	6	6	7,3	7	8	10	ir	50	29	24	36,5	21	16	20	72	E
J3	10	6	6	8,3	7	8	10	ir	50	29	24	41,5	21	16	20	75	E
J4	10	6	6	8,3	7	8	10	ir	50	29	24	41,5	21	16	20	75	E
J5	9,6	6	5	8	7	8	10	ir	48	29	20	40	21	16	20	71	E
J6	9,8	6	5	7,3	7	8	10	ir	49	29	20	36,5	21	16	20	70	E
J7	9,6	6	6	7,3	7	8	10	ir	48	29	24	36,5	21	16	20	72	E
J8	9,8	6	6	7,3	7	8	10	ir	49	29	24	36,5	21	16	20	72	E
J9	9,8	6	6	7,3	7	8	10	ir	49	29	24	36,5	21	16	20	72	E
J10	10	6	6	7,5	7	8	10	ir	50	29	24	37,5	21	16	20	73	E
K3	9,8	6	6	8,3	7	8	10	ir	49	29	24	41,5	21	16	20	74	E
K4	9,4	6	6	8,3	7	8	10	ir	47	29	24	41,5	21	16	20	73	E
K5	9,4	6	6	8	7	8	10	ir	47	29	24	40	21	16	20	73	E
K6	9,7	6	5	7,2	7	8	10	ir	48,5	29	20	36	21	16	20	70	E
K7	9,4	6	5	7,2	7	8	10	ir	47	29	20	36	21	16	20	69	A
K8	9,7	6	6	7,3	7	8	10	ir	48,5	29	24	36,5	21	16	20	72	E
K9	10	6	6	7,3	7	8	10	ir	50	29	24	36,5	21	16	20	72	E
K10	10	6	6	8	7	8	10	ir	50	29	24	40	21	16	20	74	E
L3	9,7	6	6	8,3	7	8	10	ir	48,5	29	24	41,5	21	16	20	74	E
L4	9,4	6	6	8,3	7	8	10	ir	47,2	29	24	41,5	21	16	20	73	E
L5	9,6	6	6	8,3	7	8	10	ir	47,8	29	24	41,5	21	16	20	74	E
L6	10	6	5	7,2	7	8	10	ir	49,9	29	20	36	21	16	20	70	E
L7	9,6	6	5	7,2	7	8	10	ir	47,8	29	20	36	21	16	20	70	E
L8	9,8	6	5	7,3	7	8	10	ir	49,2	29	20	36,5	21	16	20	70	E
L9	10	6	6	8	7	8	10	ir	50	29	24	40	21	16	20	74	E
L10	10	6	6	8,3	7	8	10	ir	50	29	24	41,5	21	16	20	75	E
M7	10	6	5	7,2	7	8	10	ir	50	29	20	36	21	16	20	70	E
M8	10	6	5	7,2	7	8	10	ir	50	29	20	36	21	16	20	70	E
M9	10	6	6	8,3	7	8	10	ir	50	29	24	41,5	21	16	20	75	E
M10	10	6	6	8,3	7	8	10	ir	50	29	24	41,5	21	16	20	75	E
N8	10	6	5	7,2	7	8	10	ir	50	29	20	36	21	16	20	70	E
N9	10	6	6	8,3	7	8	10	ir	50	29	24	41,5	21	16	20	75	E
N10	10	6	6	8,3	7	8	10	ir	50	29	24	41,5	21	16	20	75	E
N11	10	6	6	8,3	7	8	10	ir	50	29	24	41,5	21	16	20	75	E
O8	10	6	5	7,5	7	8	10	ir	50	29	20	37,5	21	16	20	71	E
O9	10	6	6	8,3	7	8	10	ir	50	29	24	41,5	21	16	20	75	E
O10	10	6	6	8,3	7	8	10	ir	50	29	24	41,5	21	16	20	75	E
O11	10	6	6	8,3	7	8	10	ir	50	29	24	41,5	21	16	20	75	E
O12	10	6	6	8,3	7	8	10	ir	50	29	24	41,5	21	16	20	75	E

Nel complesso il risultato pare qualitativamente accettabile, benché sconti una **insufficiente caratterizzazione dei parametri N, A e C**, e costituisce un'importante primo tentativo di analisi completa del fattore vulnerabilità, che potrà essere adeguatamente perfezionata acquisendo dati significativi sull'acquifero superficie mediante prove di emungimento in pozzi.

8 Aspetti geotecnici

8.1 DATI DISPONIBILI E DESCRIZIONE GENERALE

L'esame delle caratteristiche geotecniche è fondato sui dati di n. 20 prove penetrometriche statiche standard CPT con punta meccanica Begemann .

La denominazione, l'ubicazione in coordinate WGS 84 e la quota di piano campagna desunto dal DB topografico provinciale delle prove sono riassunte nella sottostante tabella:

identificazione area	CPT n.	X	Y	quota s.l.m.	Prof. m
<i>scuola elementare</i>	1/5 + pz1	536975	5014678	77.4	5.8
<i>ATR 1</i>	2/5 + pz 2	536953	5014506	76.9	5.8
<i>ATP 4</i>	3/5 + pz3	537431	5015408	77.5	5.8
<i>ATP3</i>	4/5 + pz4	537468	5015050	77.2	5.8
<i>Nido comunale</i>	5/5 + pz5	537519	5014534	76.8	5.8
<i>C.na Bossina</i>	1/8	537583	5014467	77.2	7.8
<i>100 m S ingresso logistica</i>	2/8 + p1	537727	5014568	77.4	7.2
<i>200 m S CPT 2/8</i>	3/8	537698	5014378	76.4	7.8
<i>100 M SW C.na Papinetta</i>	4/8 + p2	537218	5014887	77.4	7.8
<i>depuratore comunale</i>	5/8 + p3	537008	5014229	76.9	7.8
<i>100 m SW C.na Campolungo</i>	6/8	536961	5015604	77.6	7.2
<i>150 m NW ingresso autosalone</i>	7/8 + p4	536878	5015259	77.6	7.8
<i>200 m NNE C.na Sesmones</i>	8/8	536547	5014932	76.4	7.8
<i>Via Codognino n 20.</i>	Tecnopali	537007	5015025	77.5	10
<i>Allevamento ittico</i>	GTA 1/2	536046	5015238	77.0	5.8
<i>Allevamento ittico</i>	GTA 2/2	536083	5015207	77.0	6.0
<i>Cornegliano ATR 2</i>	EE 1/2	538575	5014964	76.0	11.8
<i>Cornegliano ATR 2</i>	EE 2/2	538586	5014799	76.2	11.8
<i>Via Pascoli</i>	Poste 1/2	537127	5014619	77.3	10.0
<i>Via Pascoli</i>	Poste 2/2	537110	5014606	77.3	10.0

Tabella 2 : denominazione, ubicazione quota delle prove penetrometriche disponibili. **Pz(n)** nelle CPT del 2011-12 e **p(n)** in quelle eseguite nel 2002 indicano la posa di micropiezometri aperti per la lettura del livello della falda freatica.

Le n. 5 prove indicate come n/5 sono state eseguite espressamente per il PGT il 23 dicembre 2011 e il 18 gennaio 2012 in alcuni degli ambiti di trasformazione individuati dal piano (AT) e presso due scuole, le prove n/ 8 sono state eseguite a ottobre 2002 per il PRG approvato nel 2004, mentre le altre prove derivano da indagini effettuate in vari anni da colleghi per singoli interventi sia pubblici che privati (Tecnopali srl di Lodi, maggio 1998; GTA srl di

S. Martino Siccomario (Pv), giugno 2011 ; Dott. Emanuele Emani (EE), novembre 2009; Dott. Giovanni Viganò - Ufficio Postale, maggio 2009).

La distanza tra le singole verticali è compresa tra poche decine di metri ad alcune centinaia di metri, e mediamente intorno a 400 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 26: ubicazione prove penetrometriche- La numerazione è riferita nella Tabella 2.

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 § 1.1, si fornisce una legenda e brevi commenti sulle caratteristiche dei singoli parametri:

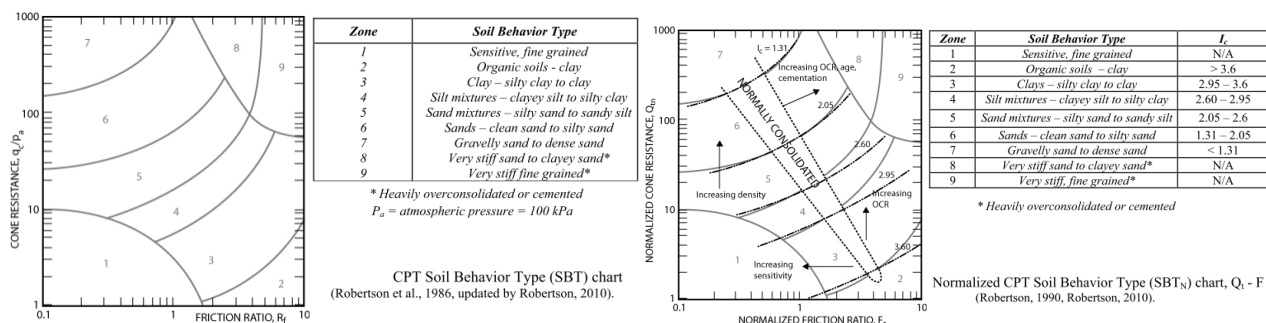
Tip resistance = q_c (MPa) = resistenza alla punta del cono = Q_c / A_c (resistenza misurata / area del cono proiettata [10 cm²]).

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 alle varie quote di misura ($\gamma_w \cdot z$).

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:

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

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 (es 100 kPa) nelle medesime unità rispettivamente 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 = rapporto di frizione normalizzato, in % = $(f_s / (q_t - \sigma_{vo})) \times 100$.

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 = rapporto normalizzato della pressione interstiziale = Δ_u / q_n , dove Δ_u (sovrappressione 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 finemente 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 massima da non impiegare in forma esclusiva per progettare drenaggi etc., ma che può essere utile per valutazioni a piccola scala per descrivere le variazioni relative del parametro su ampie superfici.

$N_{SPT(60)}$ 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 applicabile in sabbie silicee di recente deposizione non cementate, definito a circa lo 0,1% di deformazione.

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). Il valore della costante nella relazione $Dr = (Q_{tn}/K_{DR})^{0.5}$ impiegata nella presente stima (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*) varia tra 300 per sabbie fini a 400 per sabbie grossolane e incrementa con depositi superiori di età superiore ai 1000 anni (circa il nostro caso), ed in particolare oltre i 10000 anni (forse presenti oltre i -10 metri circa).

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 relazione che lo pone in rapporto con q_c ed SBTn (Soil Behavior Type normalized) : $\varphi' = 17.6 + 11 \log (Q_{tn})$, ampiamente utilizzata in letteratura, ma molto meno cautelativa di quelle impiegate fino alla fine degli anni '90.

Constrained modulus (M) è il modulo elastico in condizioni confinate (modulo edometrico): è il principale parametro che governa i cedimenti 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 cedimenti che sono determinati con tale procedura, per un principio generale di prudenza. Inoltre gli autori specificano che la stima in presenza di terreni che presentano condizioni non drenate può essere molto approssimativa ed occorre quindi acquisire informazioni sulla plasticità, umidità e contenuto in sostanza organica.

Small strain shear modulus (G_0) è il modulo di resistenza al taglio con piccole deformazioni, inferiori a $\gamma = 10^{-4}$ %. Secondo la teoria elastica è correlato al modulo di Young e al rapporto di Poisson (ν) dalla relazione $E_0 = 2(1 + \nu)G_0$ dove ν assume valori compresi tra 0.1 e 0.3 in gran parte dei terreni. 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 tra q_c e s_u ampiamente accettate in letteratura.

Shear wave Vs (m/s) La correlazione tra la velocità delle onde di taglio Vs e la resistenza alla punta conica CPT in funzione del tipo di terreno e dell'indice I_c del SBT. Le Vs sono sensibili all'età dei depositi e alla cementazione, così che lo stesso tipo di deposito presenta velocità maggiori in terreni più antichi e minori in quelli più recenti, come quelli in esame probabilmente olocenici nei primi metri. La relazione proposta è espressa dal grafico sotto riportato, che mostra i rapporti tra i valori normalizzati delle CPT e (Q_{tn} e F_r) e valori normalizzati delle velocità delle onde di taglio V_{s1} , dove $V_{s1} = Vs (p_a / \sigma'_{vo})^{0.25}$.

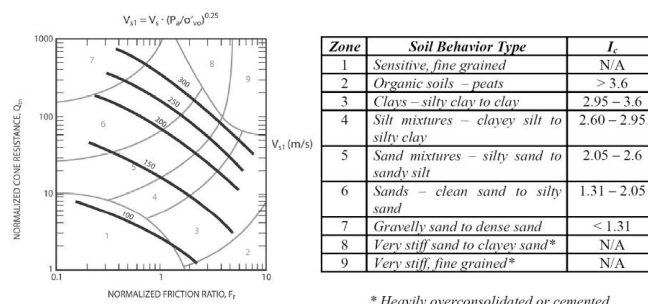


Figure 23 Evaluation of normalized shear wave velocity, V_{s1} , from CPT for uncemented Holocene and Pleistocene age soils ($1 \text{ m/s} = 3.28 \text{ ft/sec}$)

$$V_{s1} = [a_{sc} (q_c - \sigma_c) p_a]^{0.5} \text{ (m/s)}, \text{ where } a_{sc} = 10^{(0.55 I_c - 1.48)}$$

Il rapporto **Undrained Shear Strength Ratio (s_u/σ'_{vo})**, resistenza al taglio non drenata/sforzo efficace e **OCR** (over consolidation ratio) esprimono il grado di sovraconsolidazione dei depositi fini. Sono relazioni ampiamente note anche se (molto) approssimate.

State parameter. Il parametro di stato ψ rappresenta la differenza tra l'indice dei vuoti e_0 del terreno in condizioni naturali e l'indice dei vuoti allo stato critico e_{cs} , che rappresenta lo stato ultimo oltre il quale il terreno continua a deformarsi senza variazioni di volume e resistenza. Il parametro è individuato da relazioni validate sperimentalmente in camera di calibrazione, principalmente in sabbie

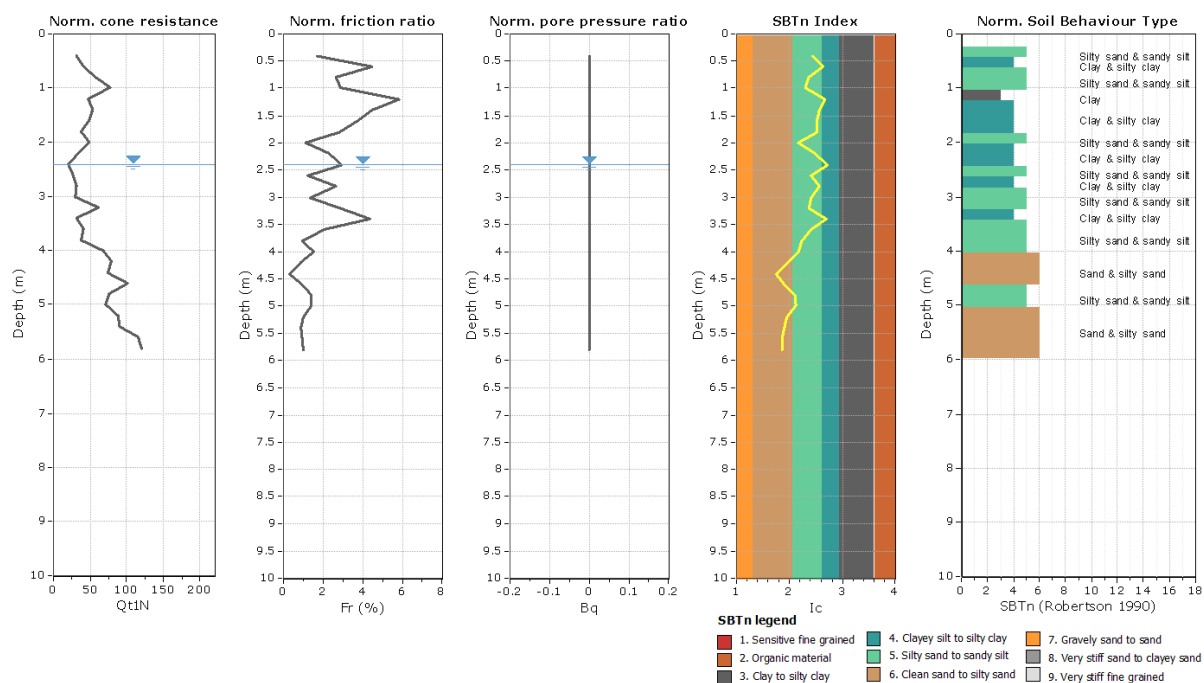
oloceniche non cementate, con la resistenza penetrometrica normalizzata equivalente in sabbia pulita $Q_{tn,cs}$.

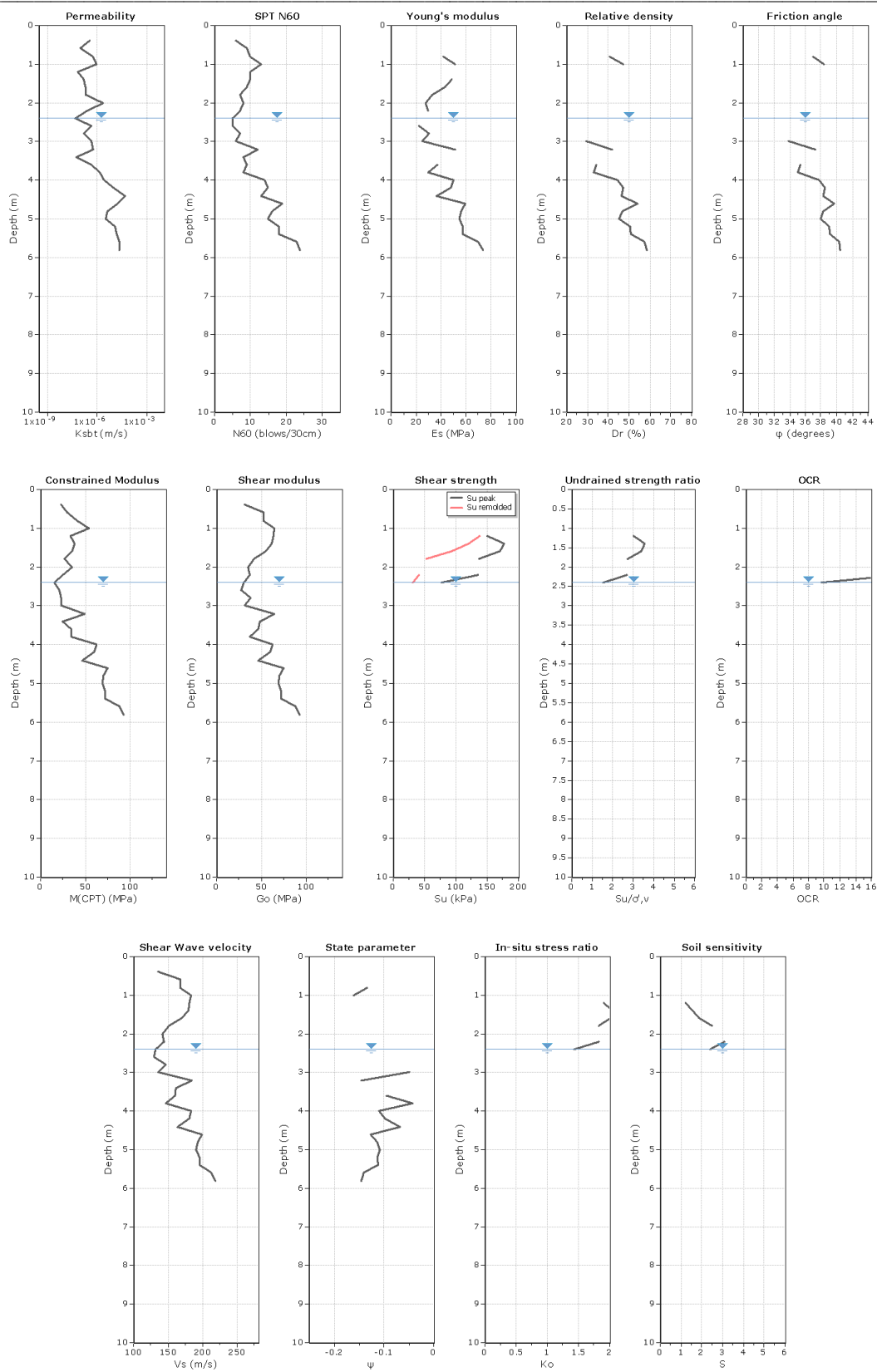
In-Situ Stress Ratio (K_0), coefficiente di spinta dei terreni a riposo. Non esiste una relazione affidabile per individuare questo parametro con prove CPT e quella proposta fornisce risultati di considerare di larga massima. L'approccio inoltre è generalmente limitato a depositi coesivi sovraconsolidati meccanicamente.

Soil Sensitivity: la sensitività (S_t) di un deposito argilloso è definita dal rapporto tra la resistenza al taglio di picco in condizioni non drenate (S_u) e la resistenza al taglio in condizioni non drenate dello stesso terreno totalmente rimaneggiato ($S_{u,rem}$), il cui valore può essere assunto pari alla resistenza del manicotto di frizione f_s . Comunemente si assume la relazione $S_t = 7/f_r$ e per valori relativamente elevati di S_t (> 10) la resistenza di attrito laterale f_s diviene così bassa da rendere difficile la sua misura in sito anche con la punta elettrica.

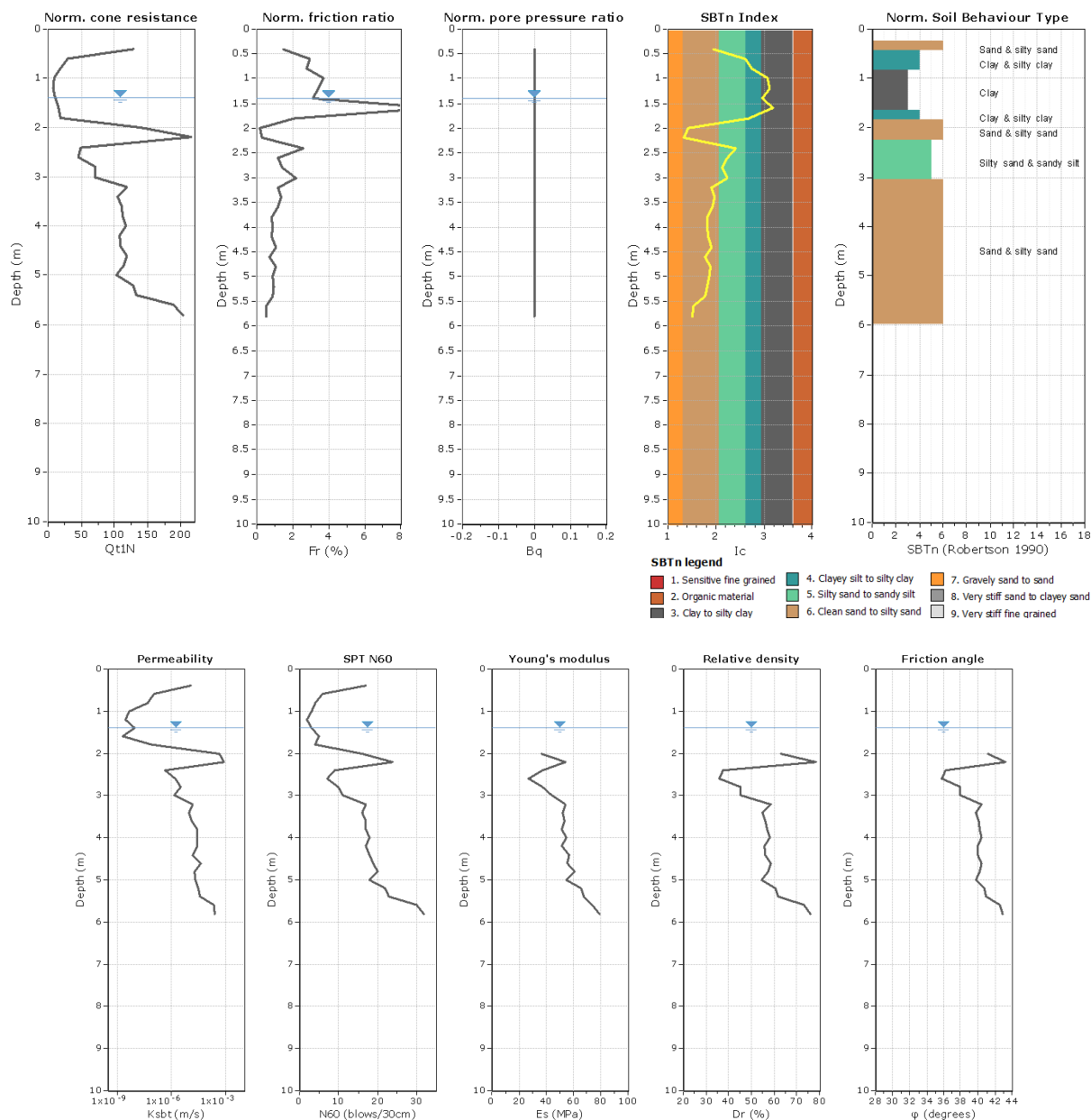
Di seguito si riportano le elaborazioni e i grafici delle singole prove. I dati relativi formano l'allegato 1 alla relazione generale.

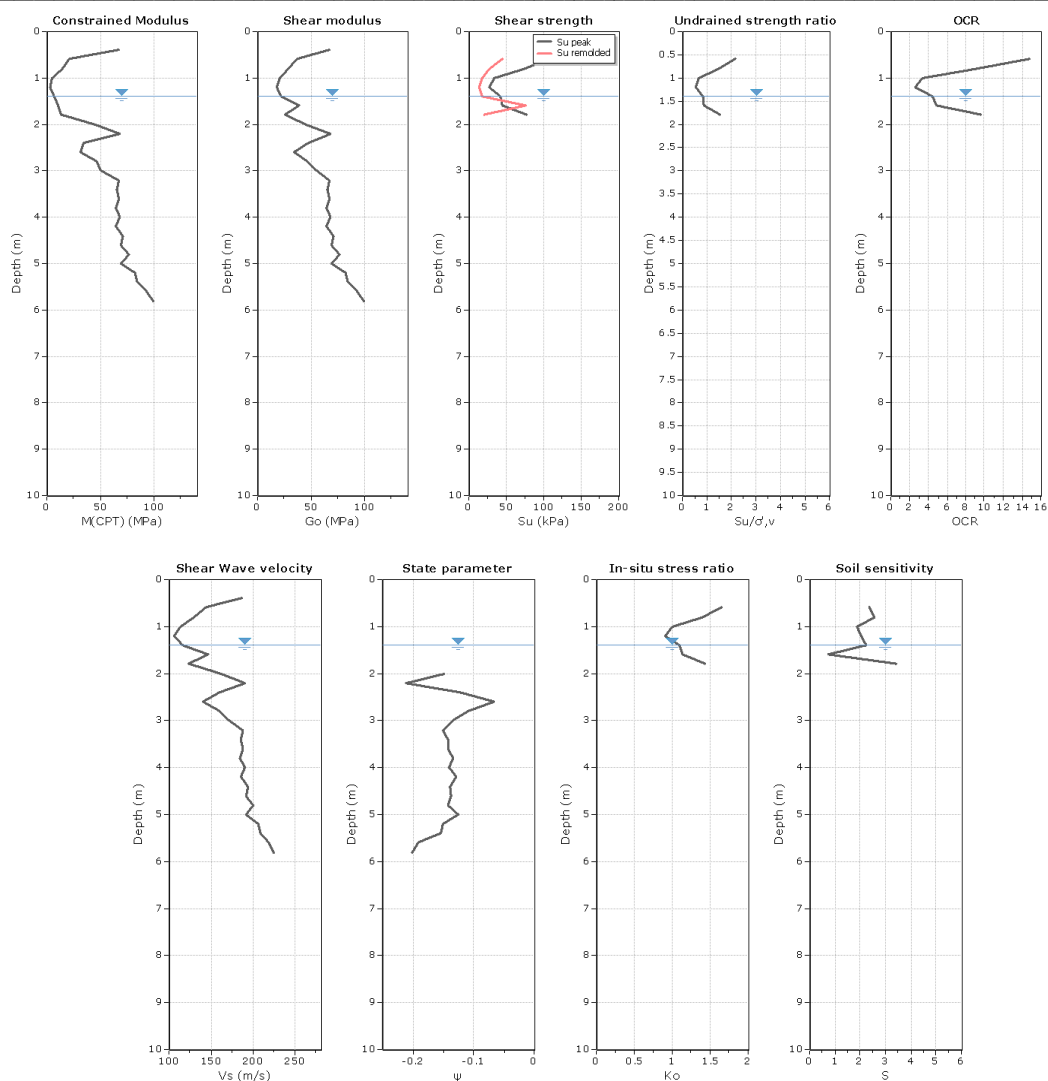
CPT 1/5



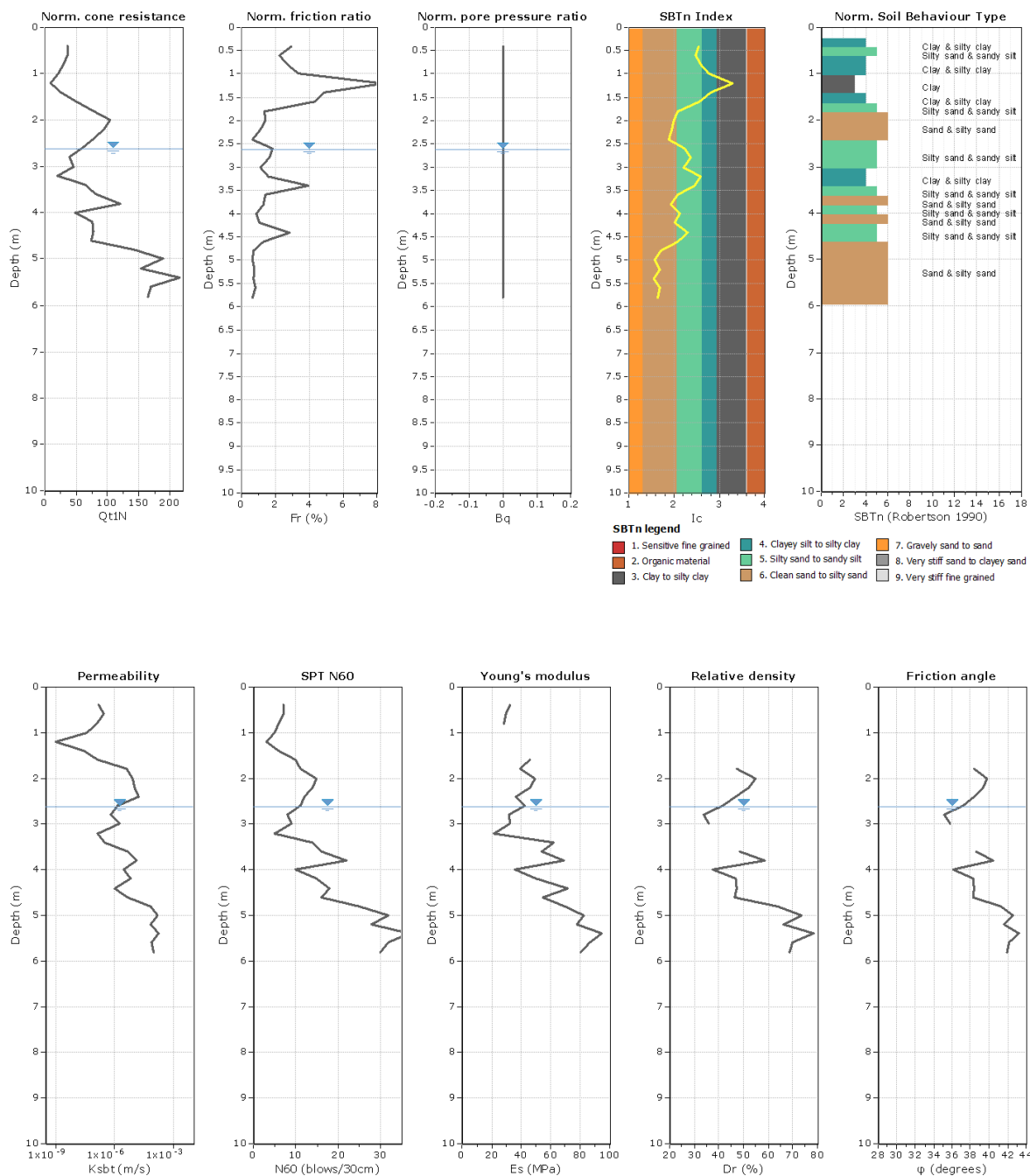


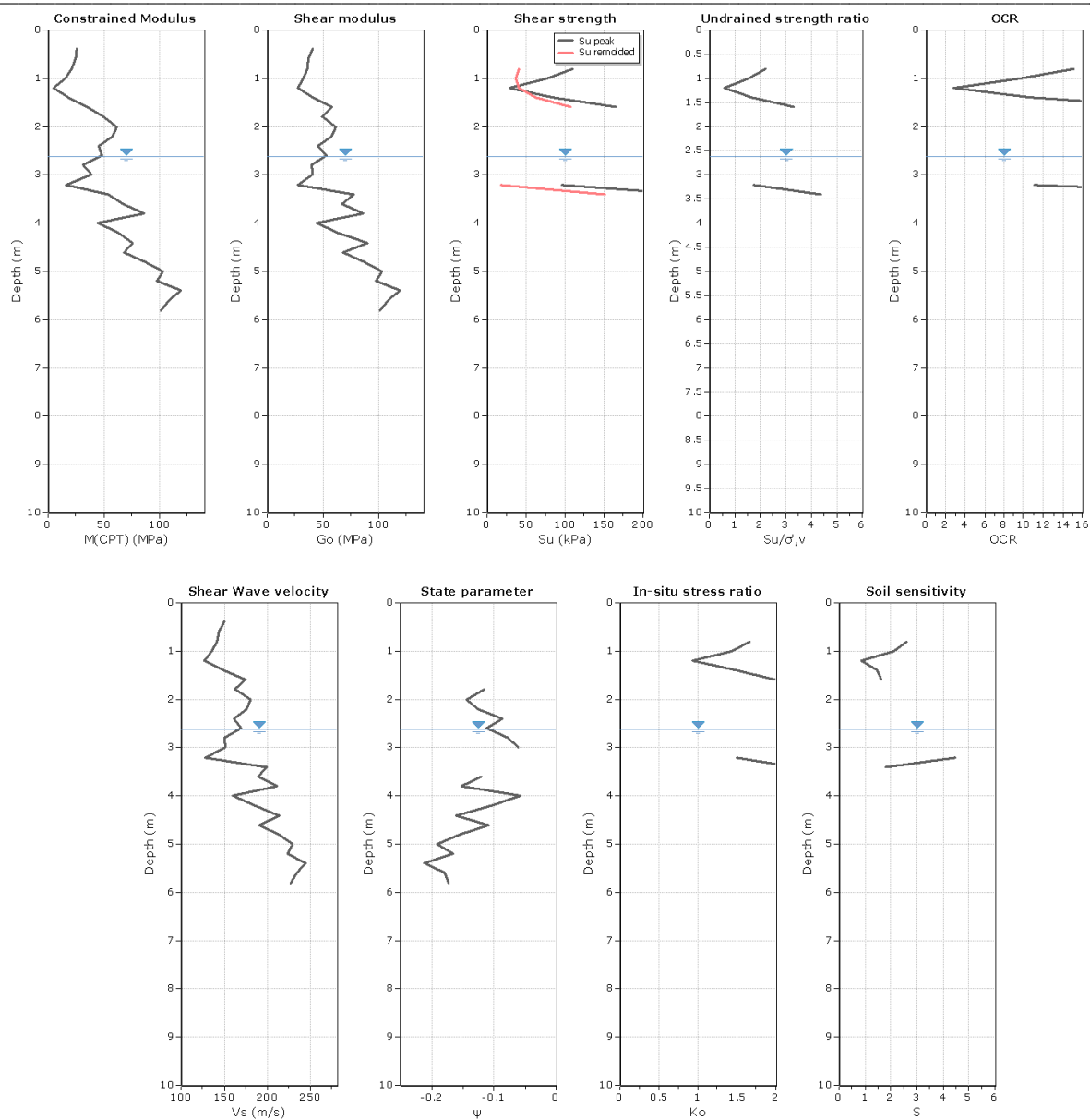
CPT 2/5

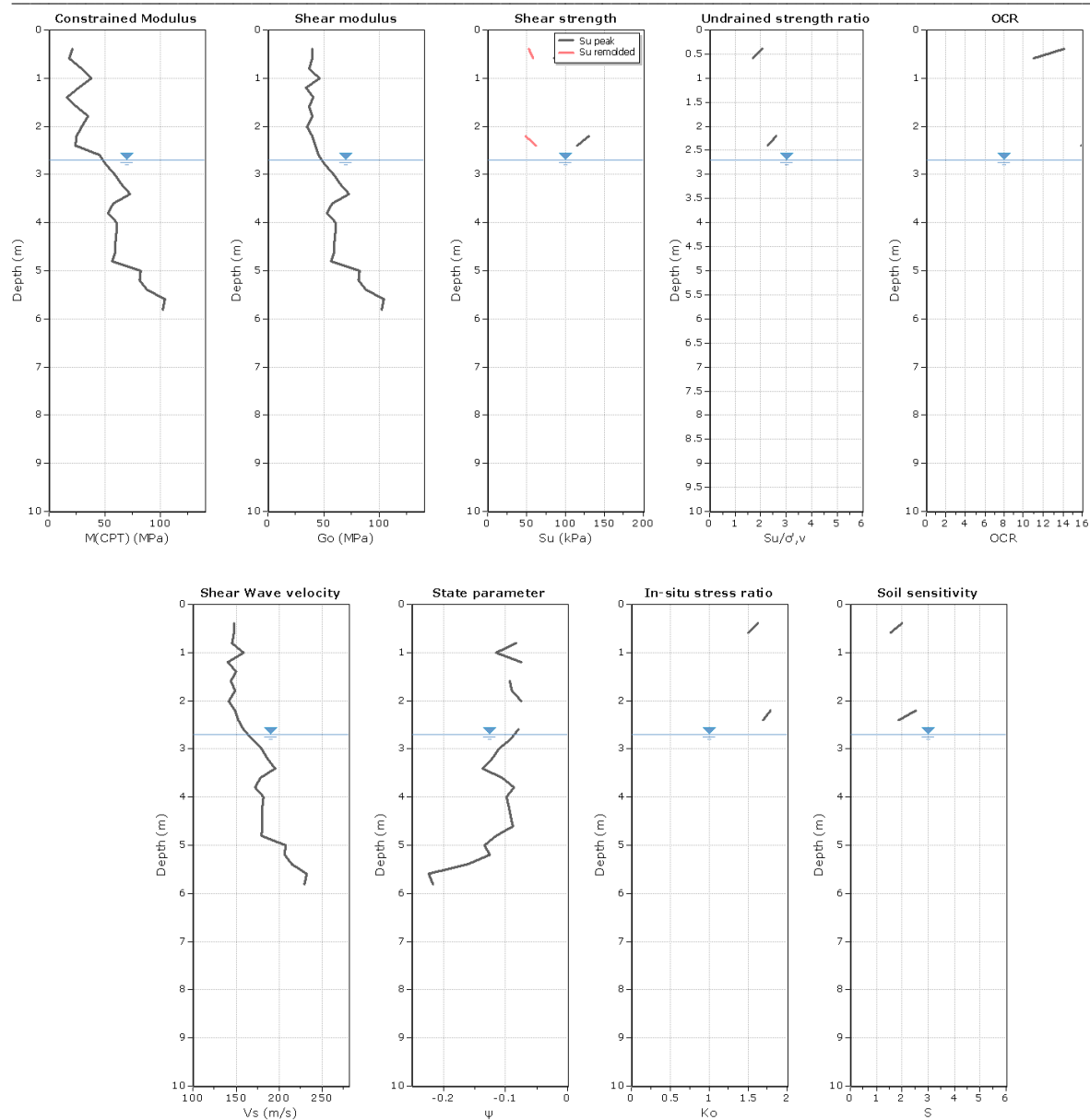




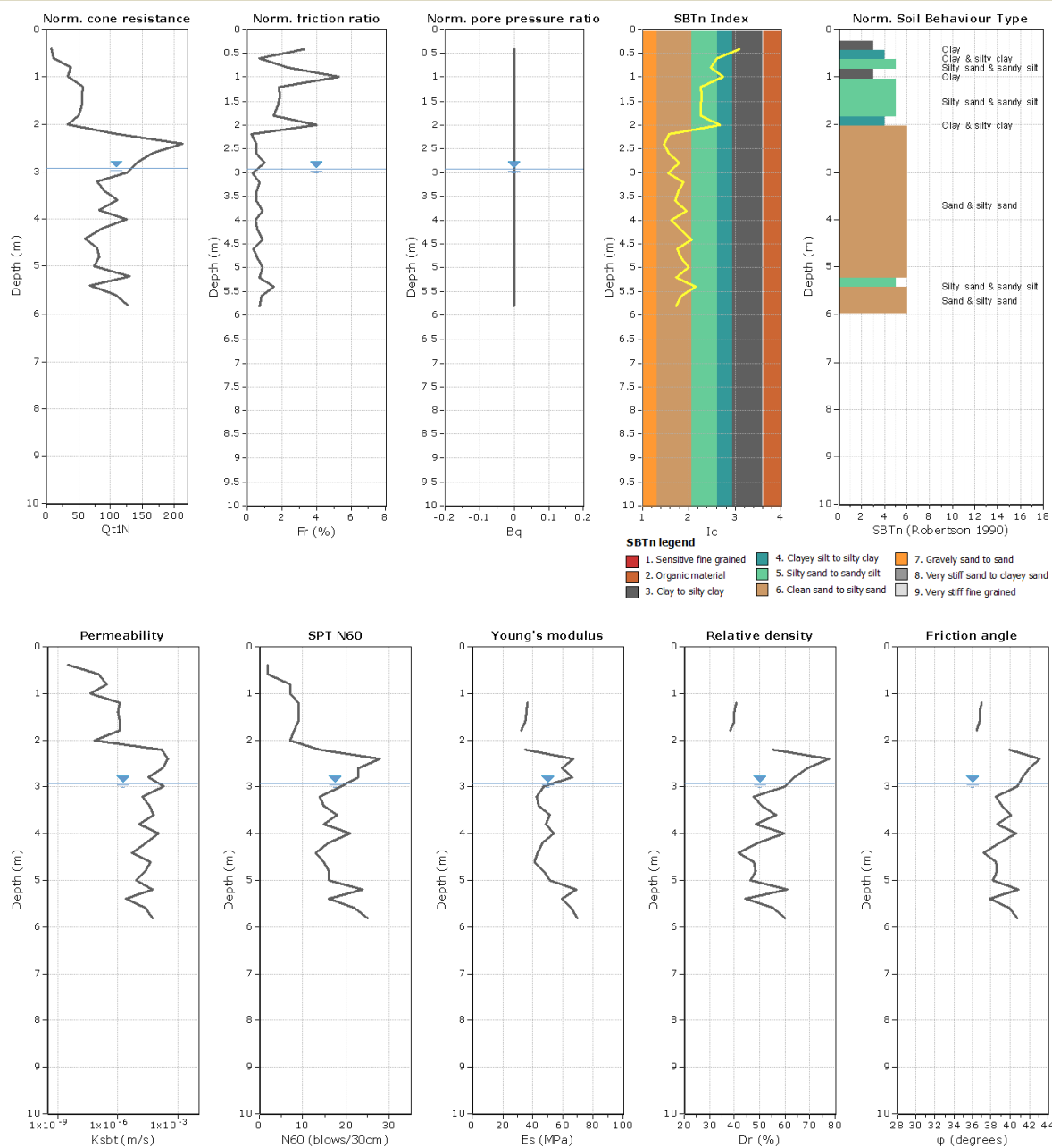
CPT 3/5

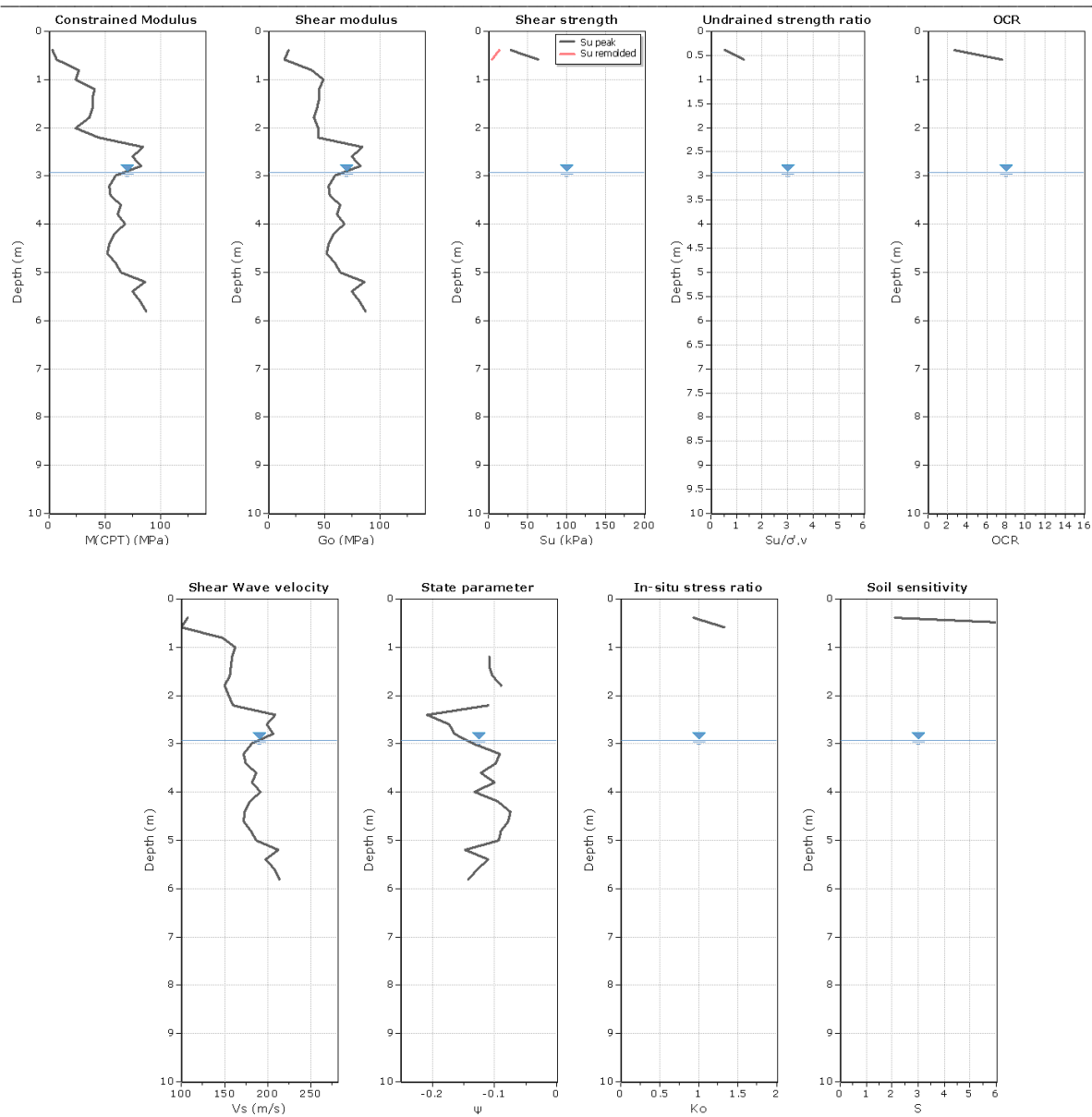




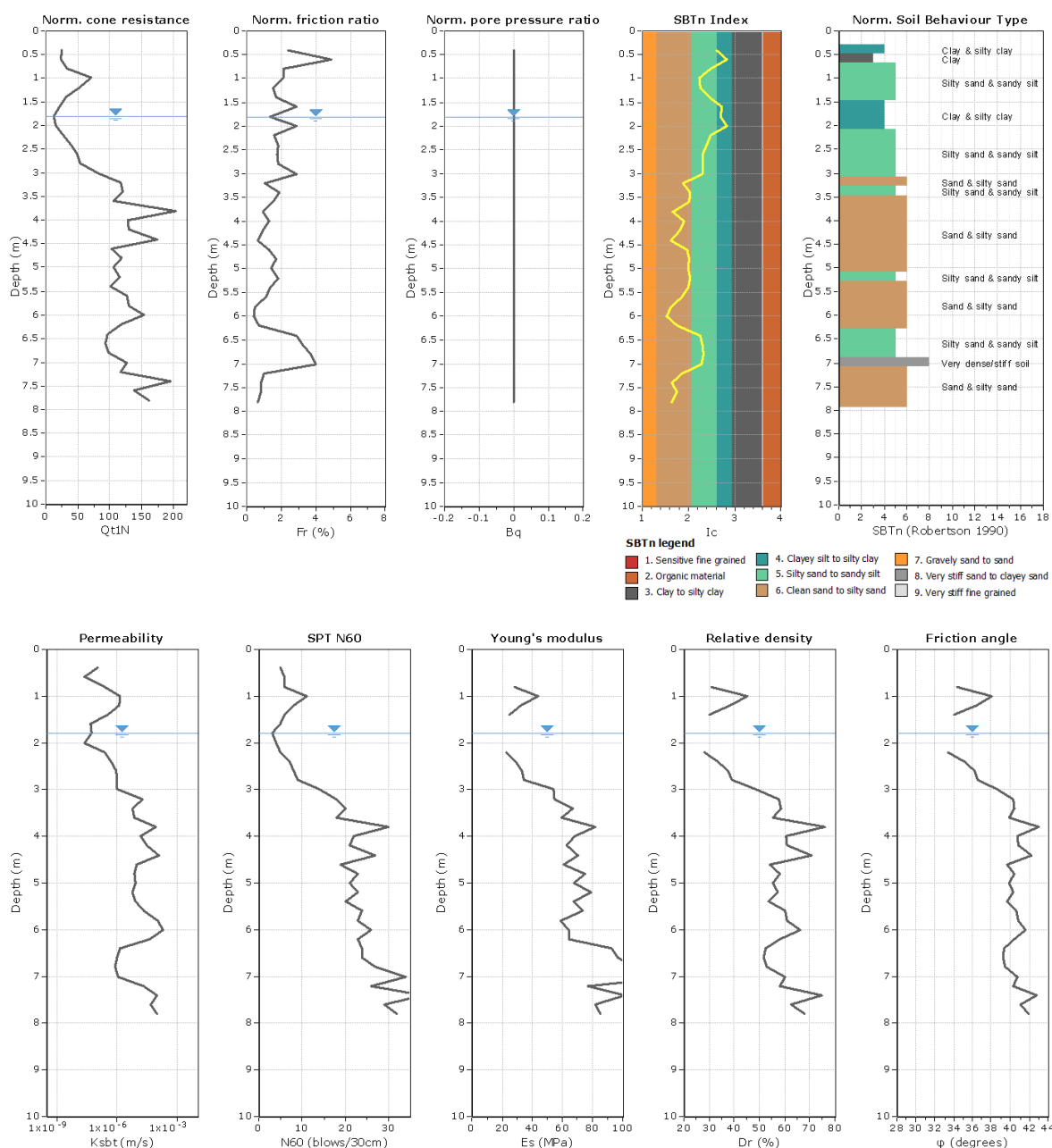


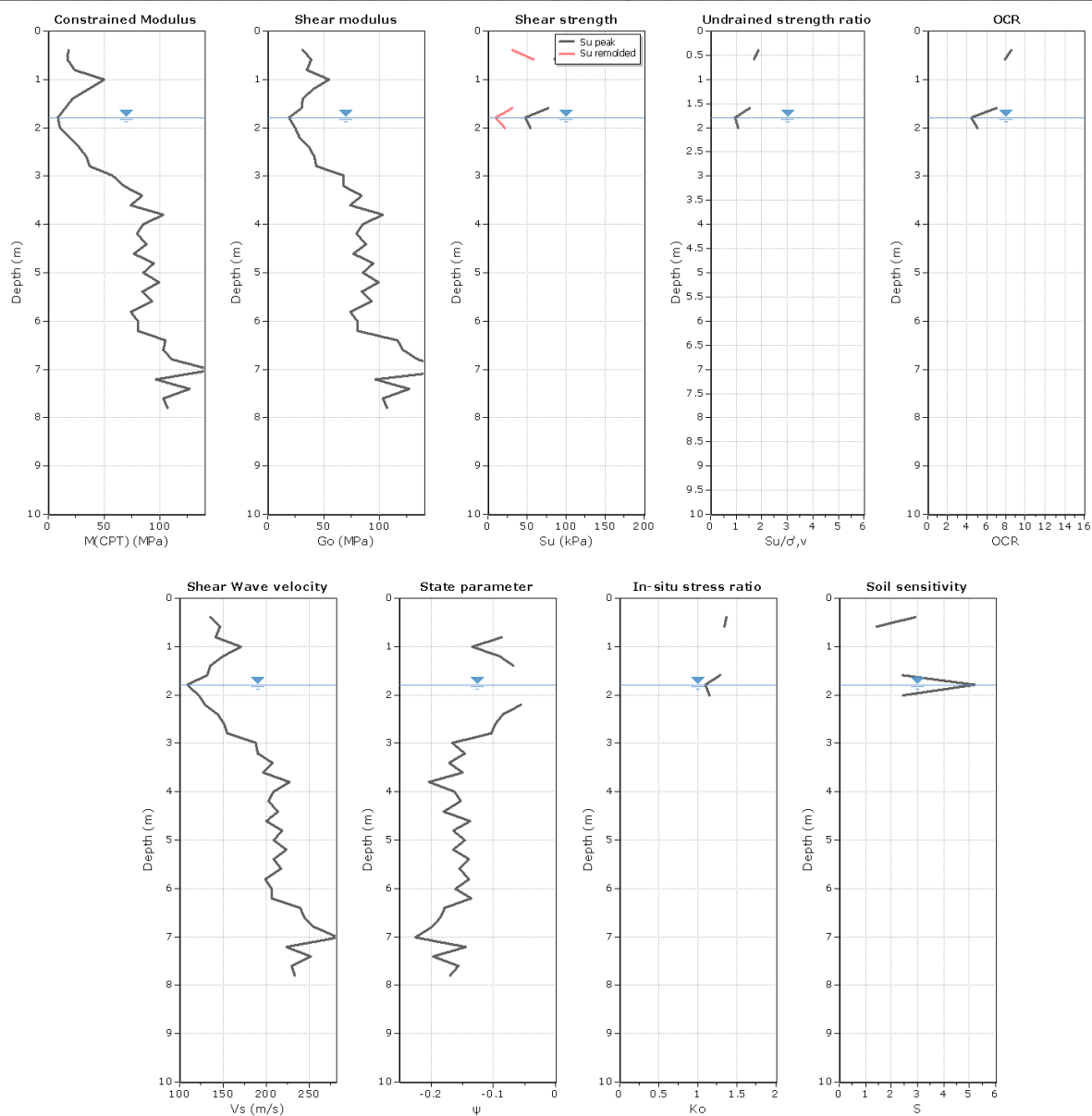
CPT 5/5



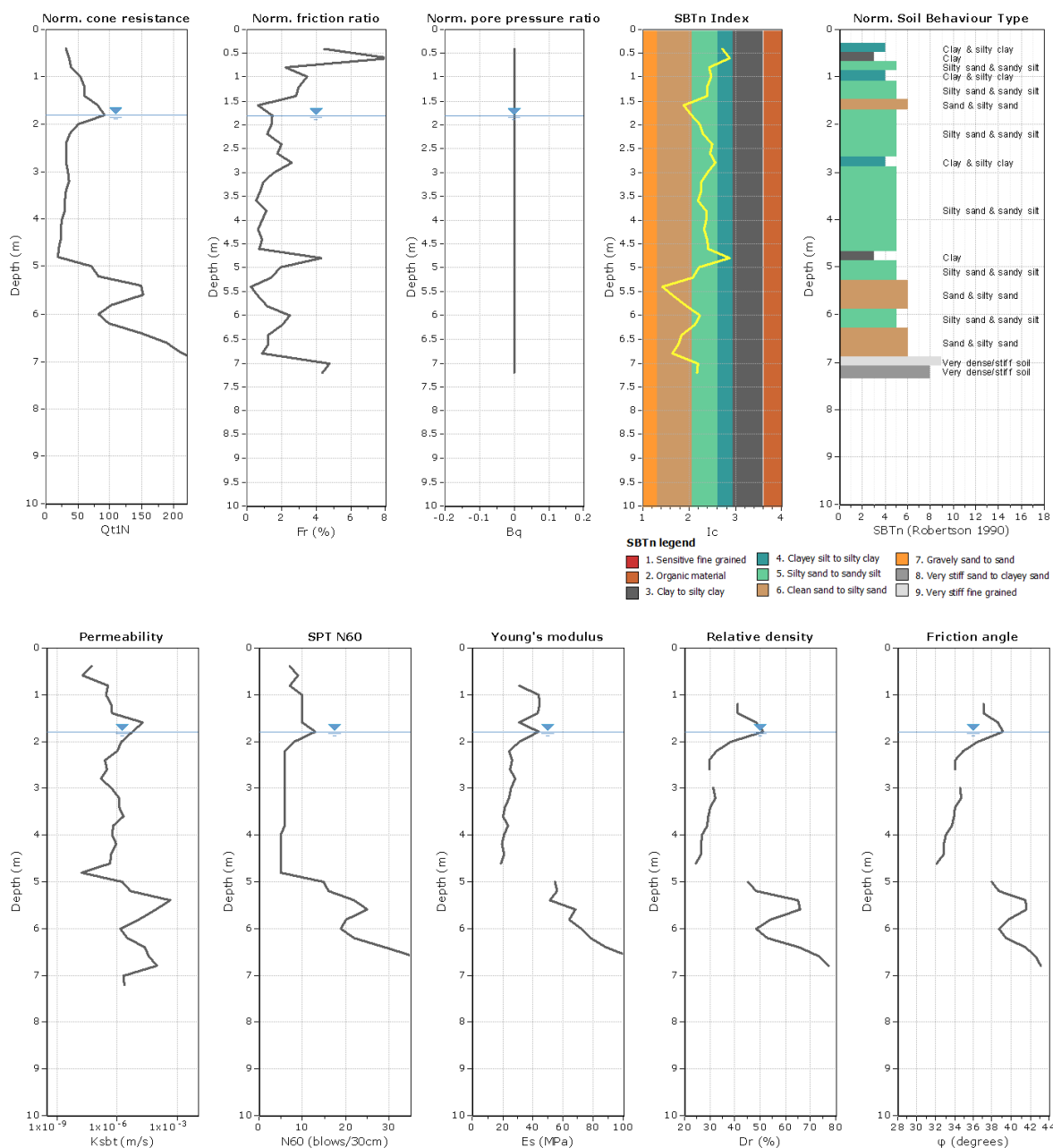


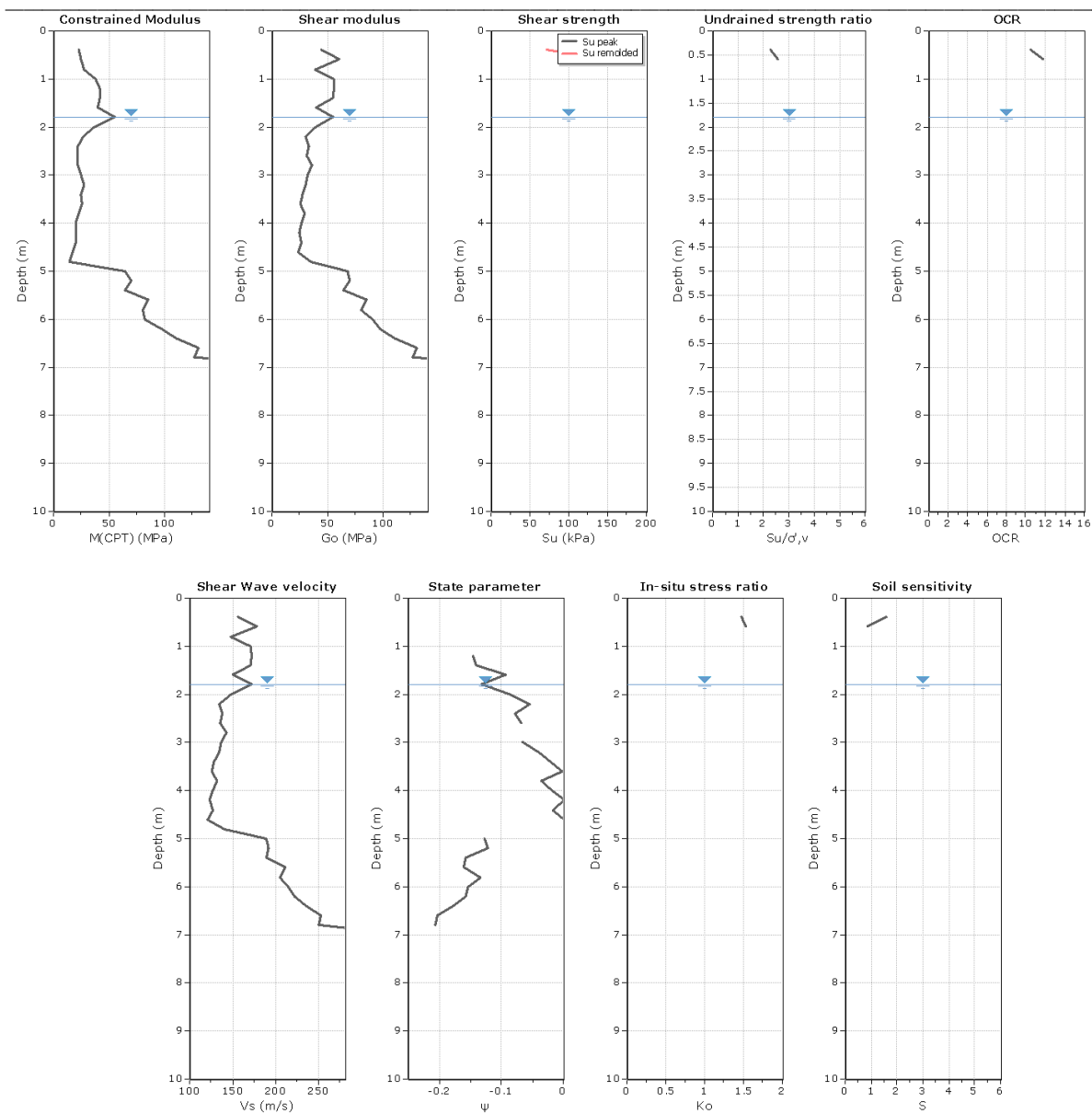
CPT 1/8



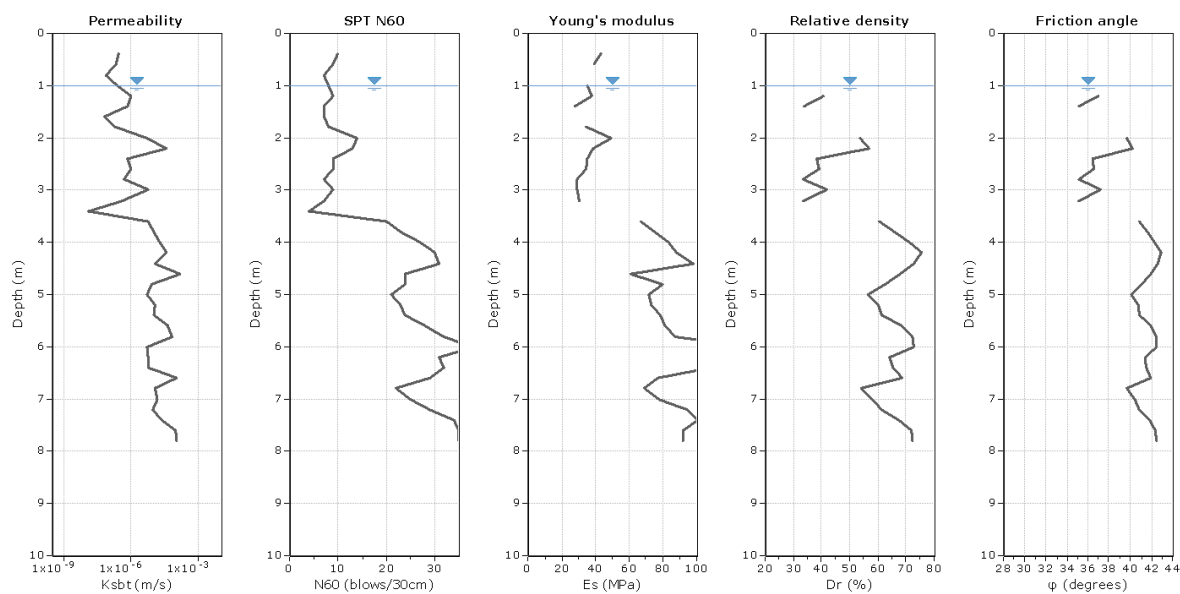
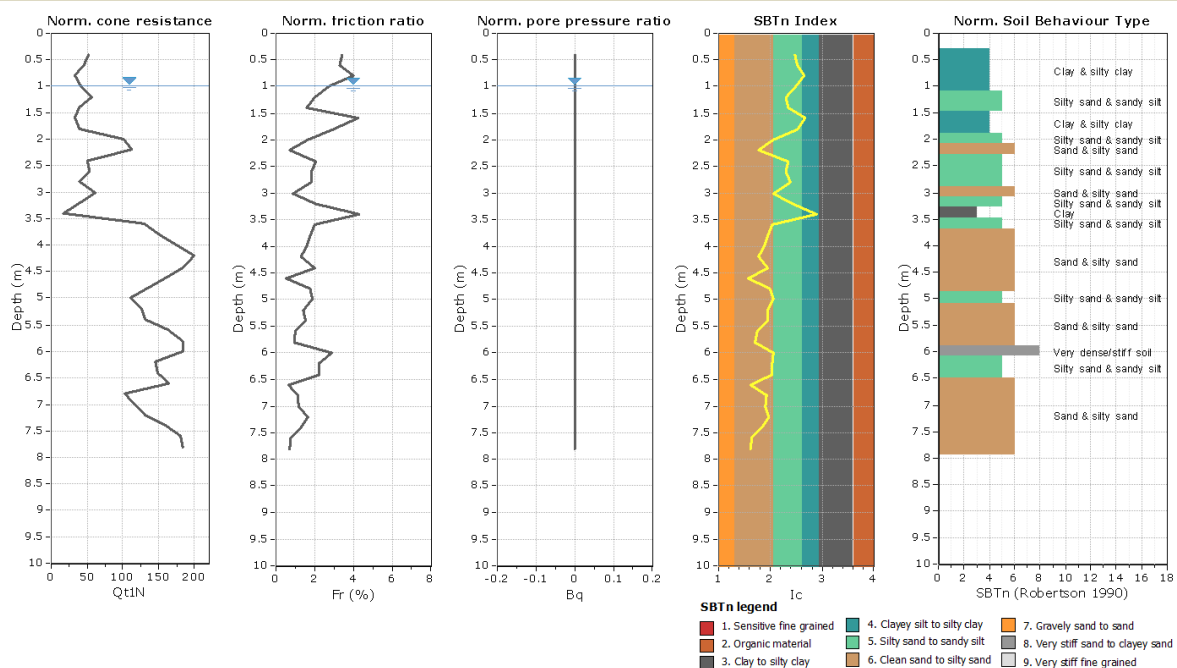


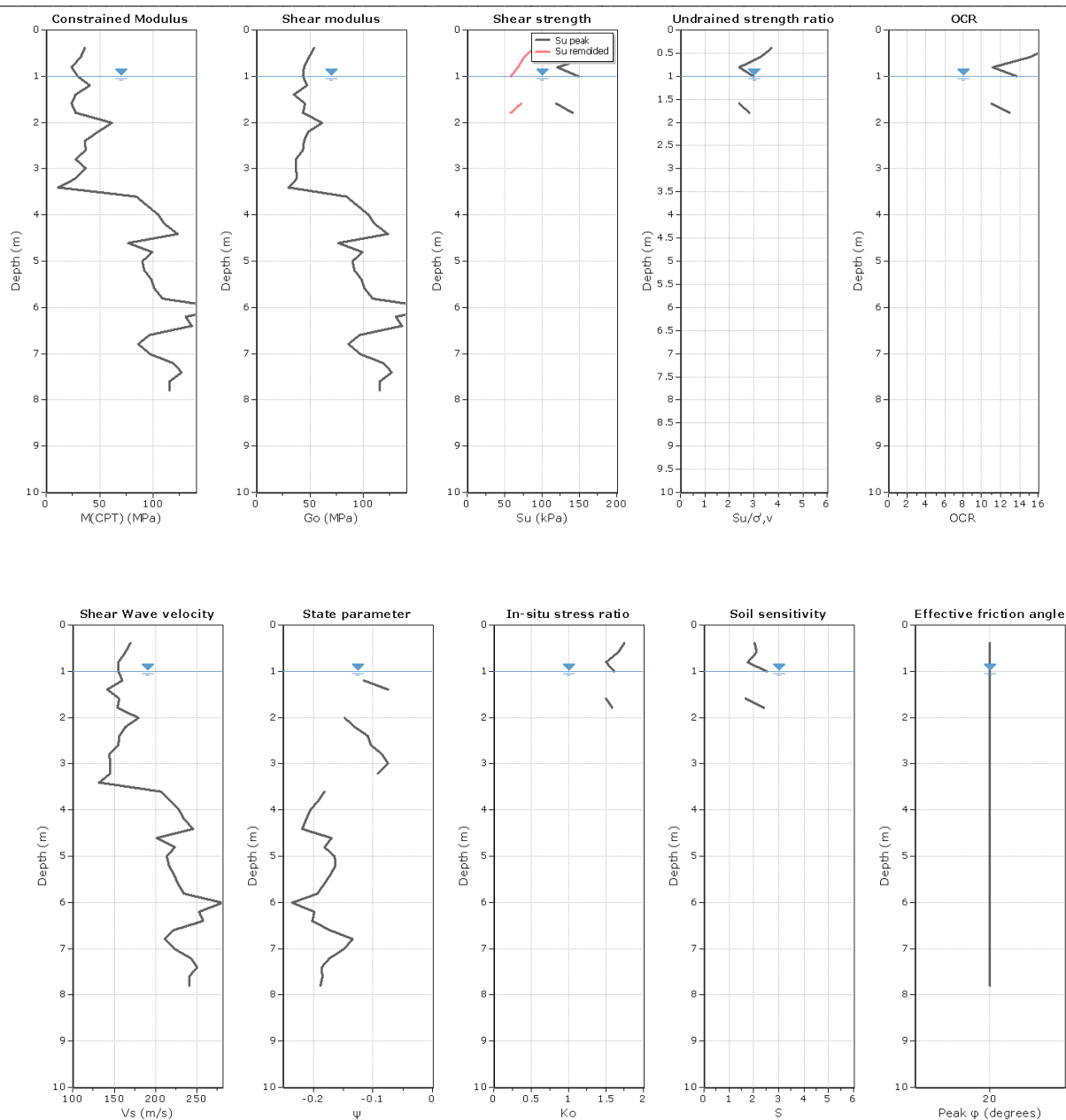
CPT 2/8



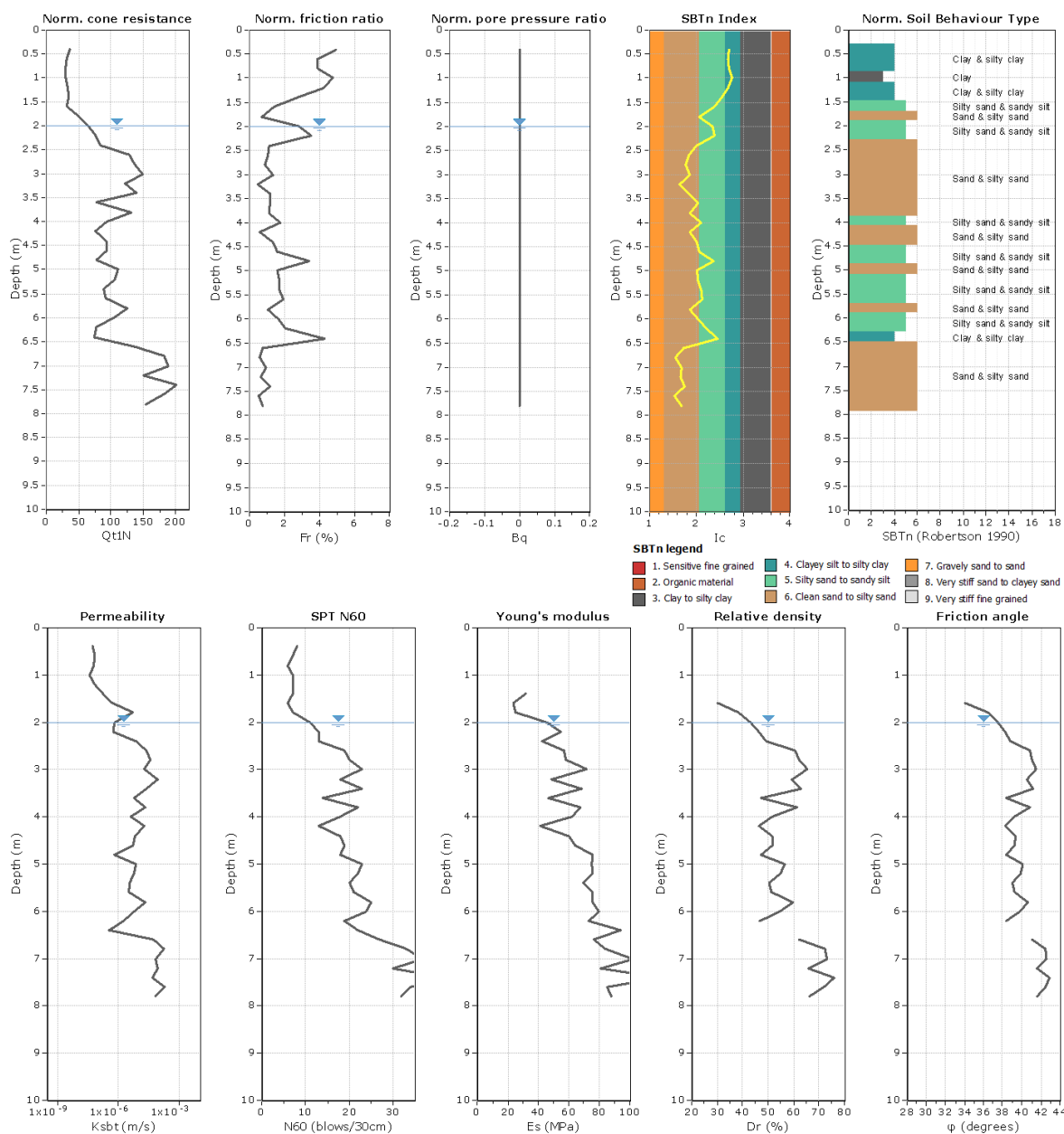


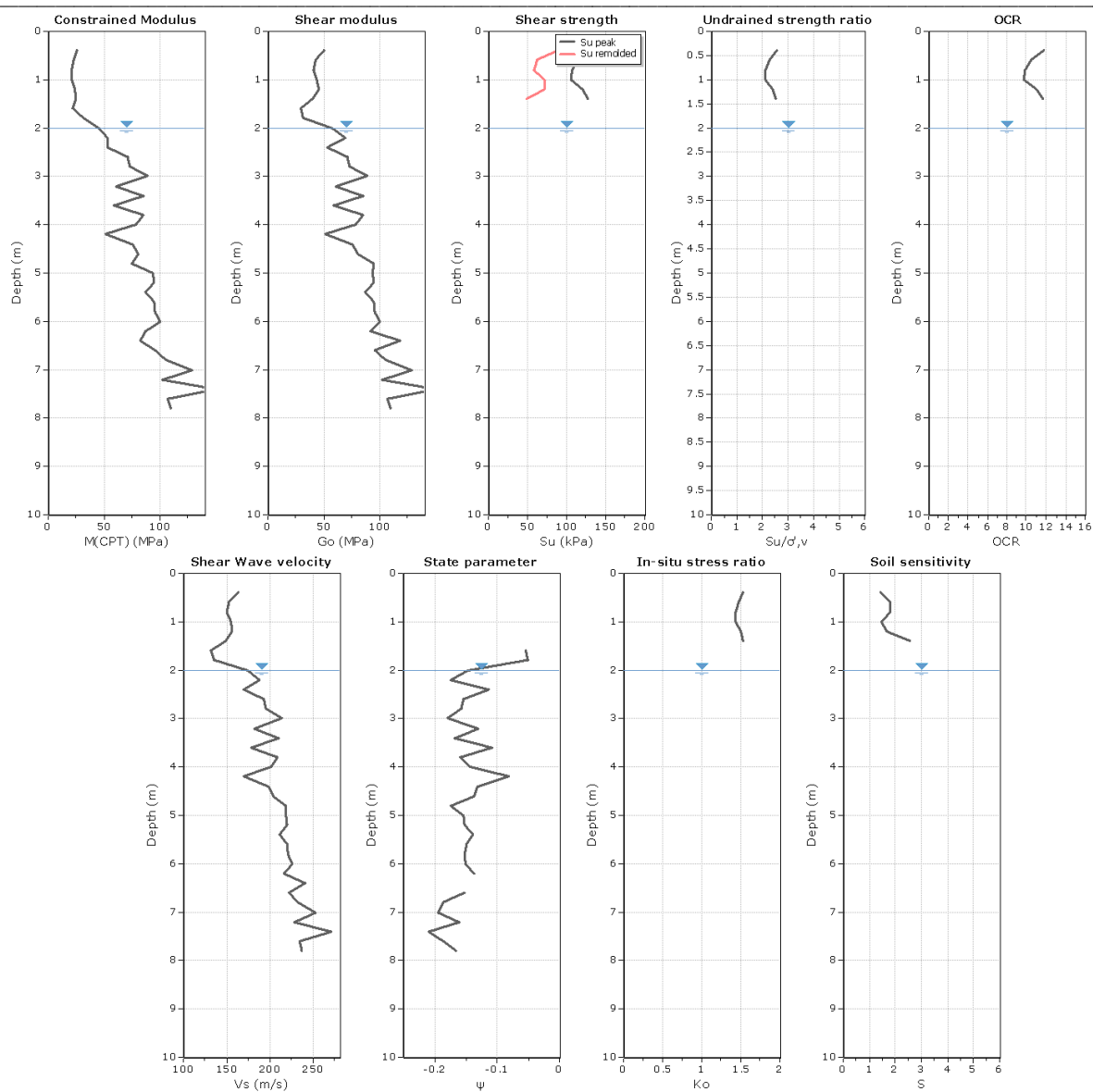
CPT 3/8



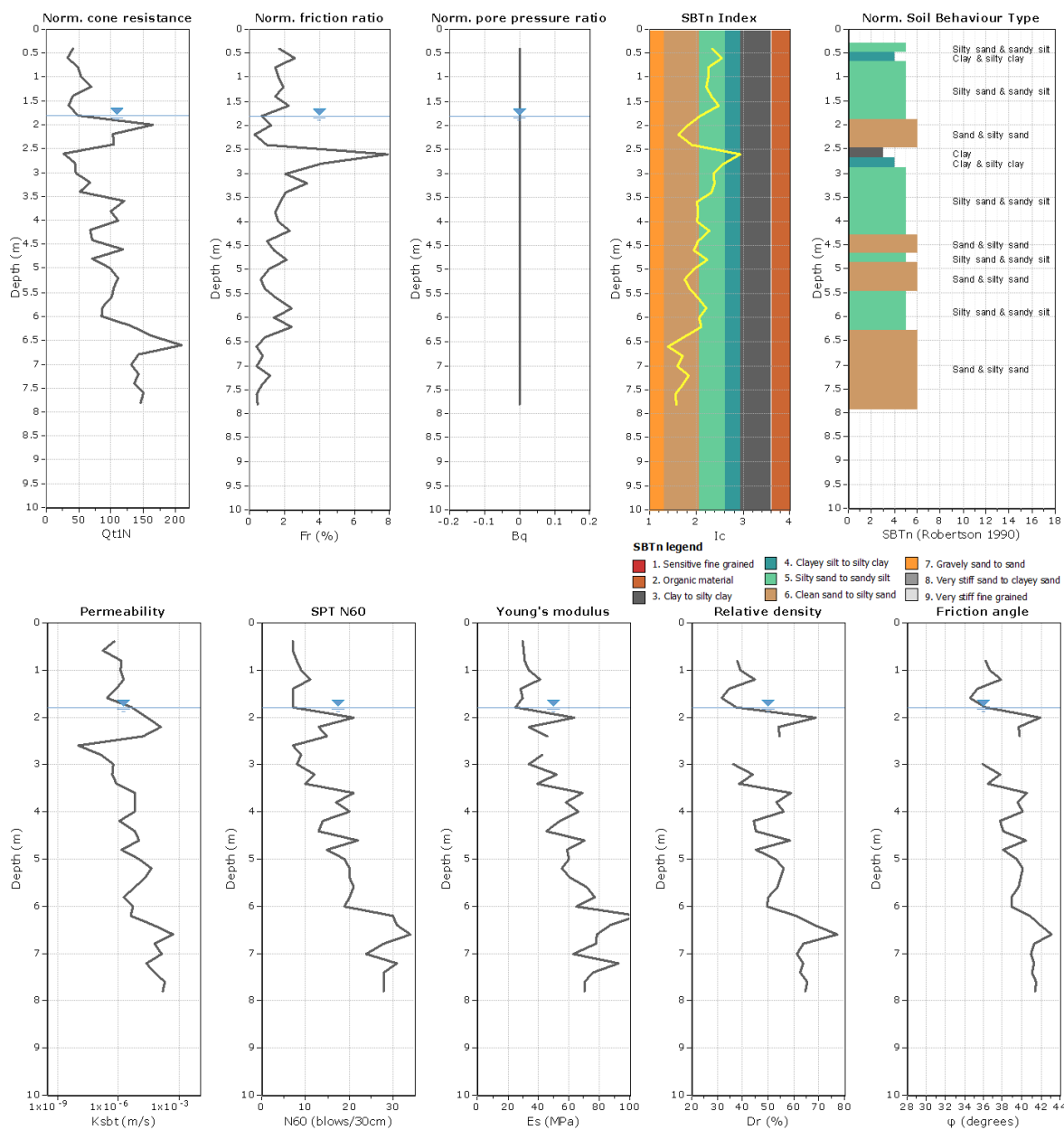


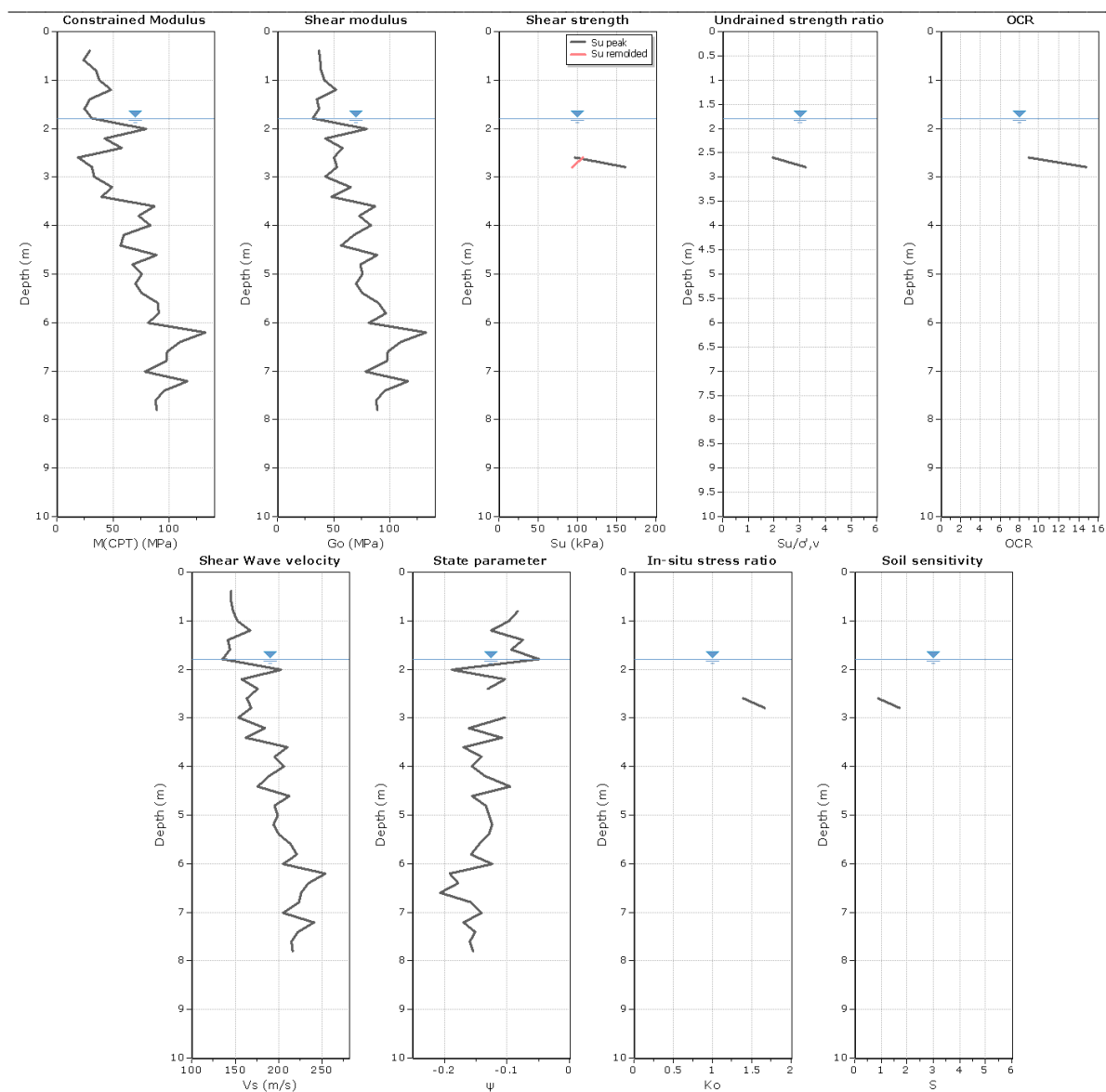
CPT 4/8



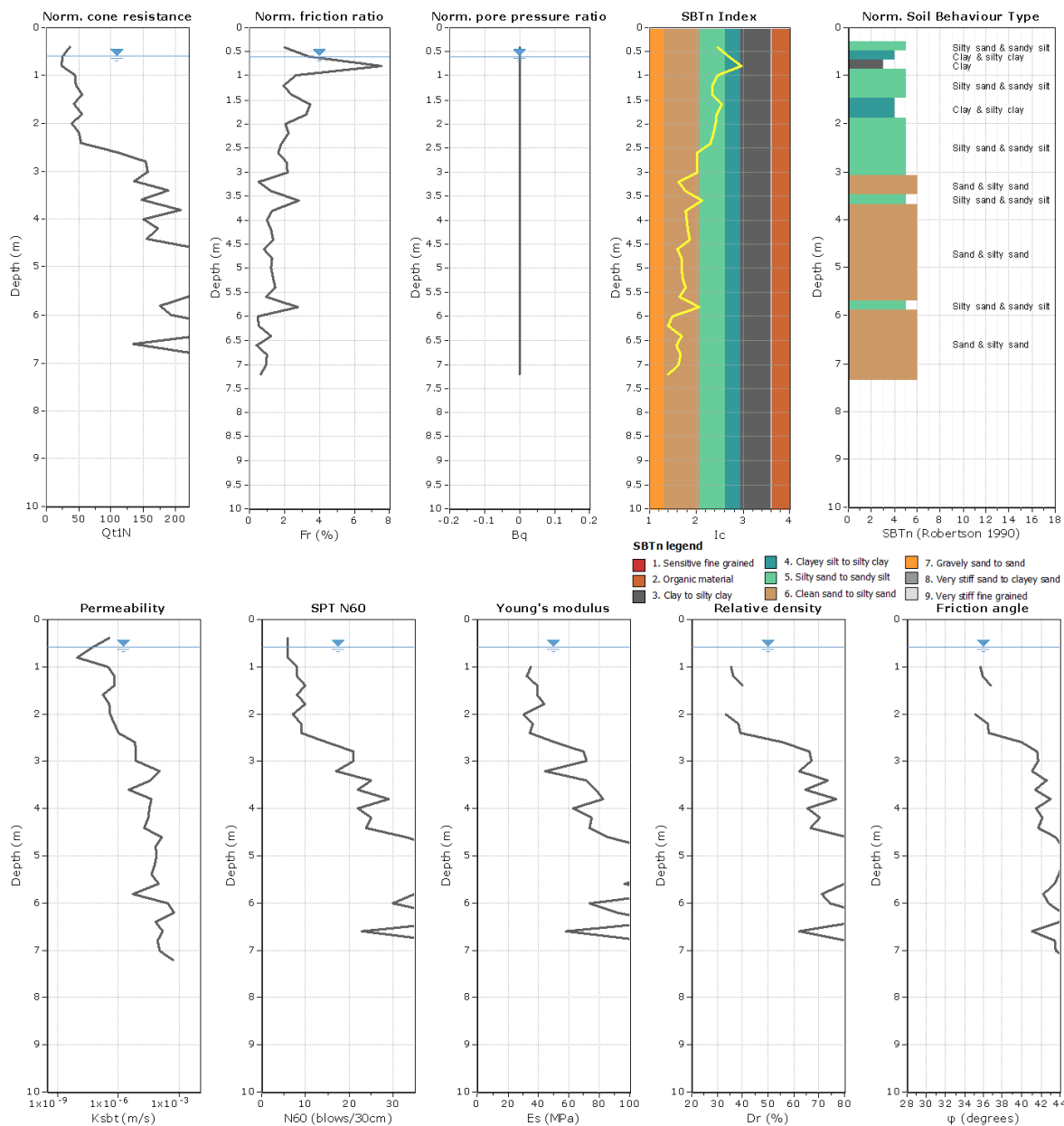


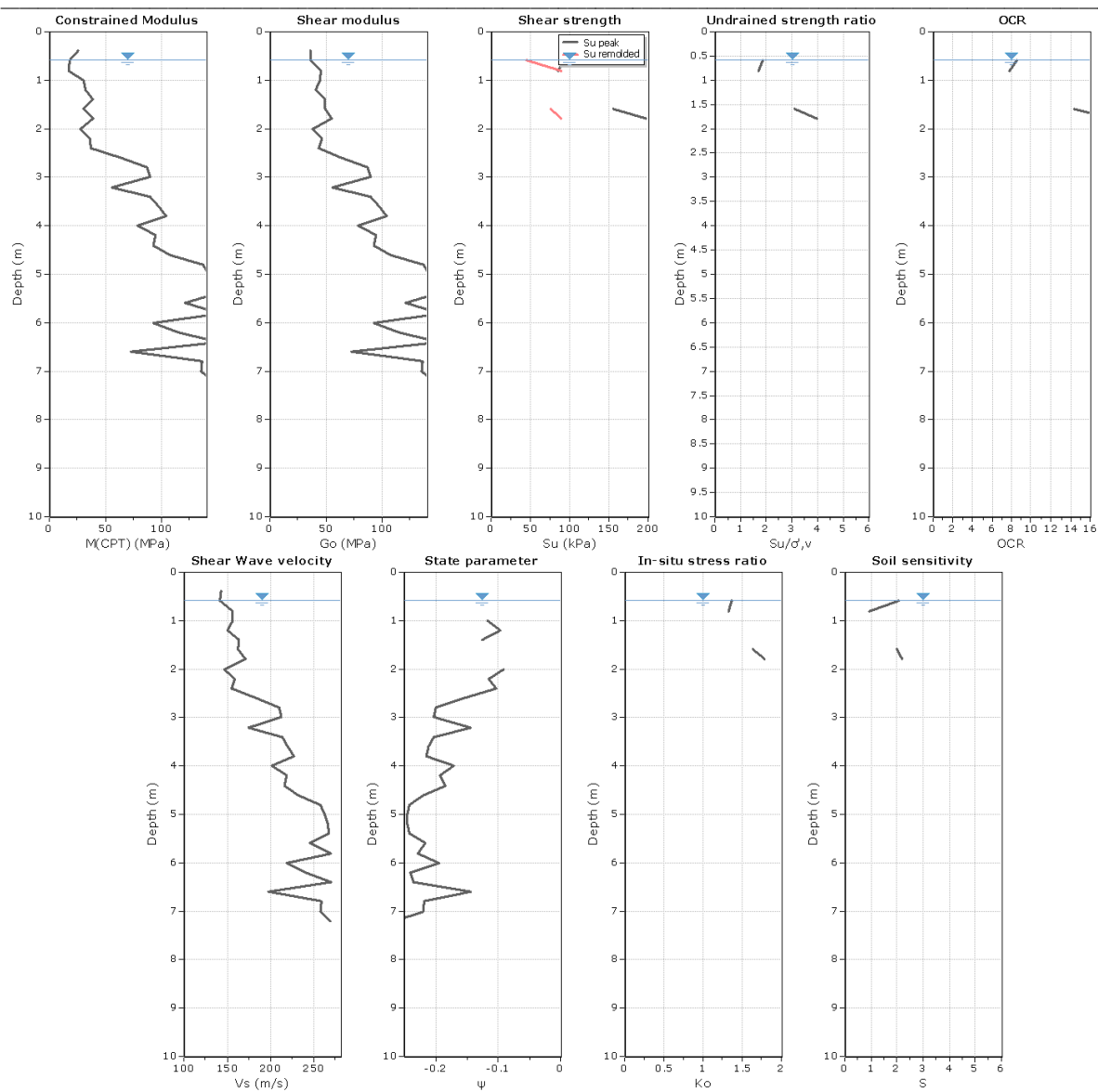
CPT 5/8



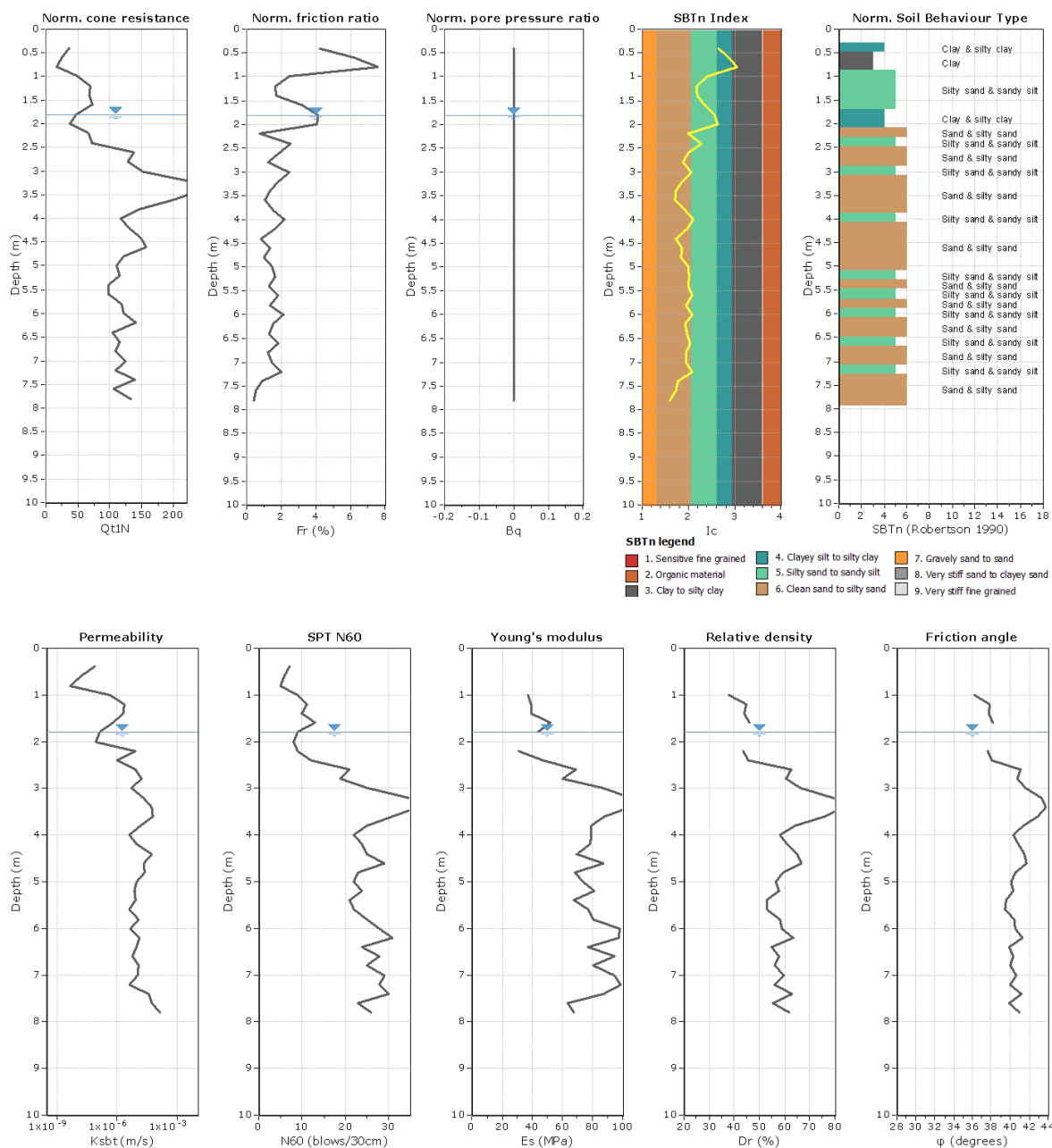


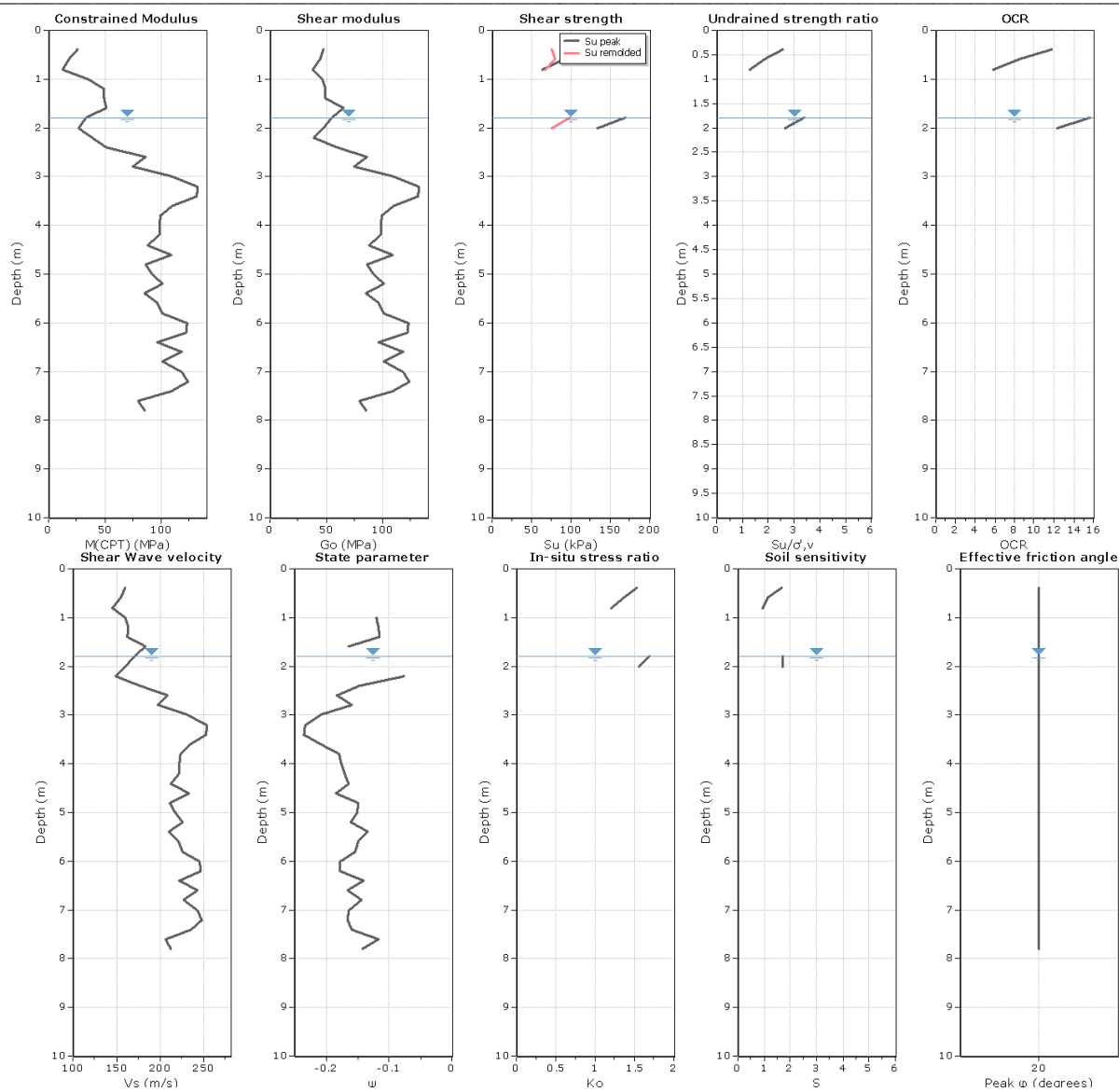
CPT 6/8



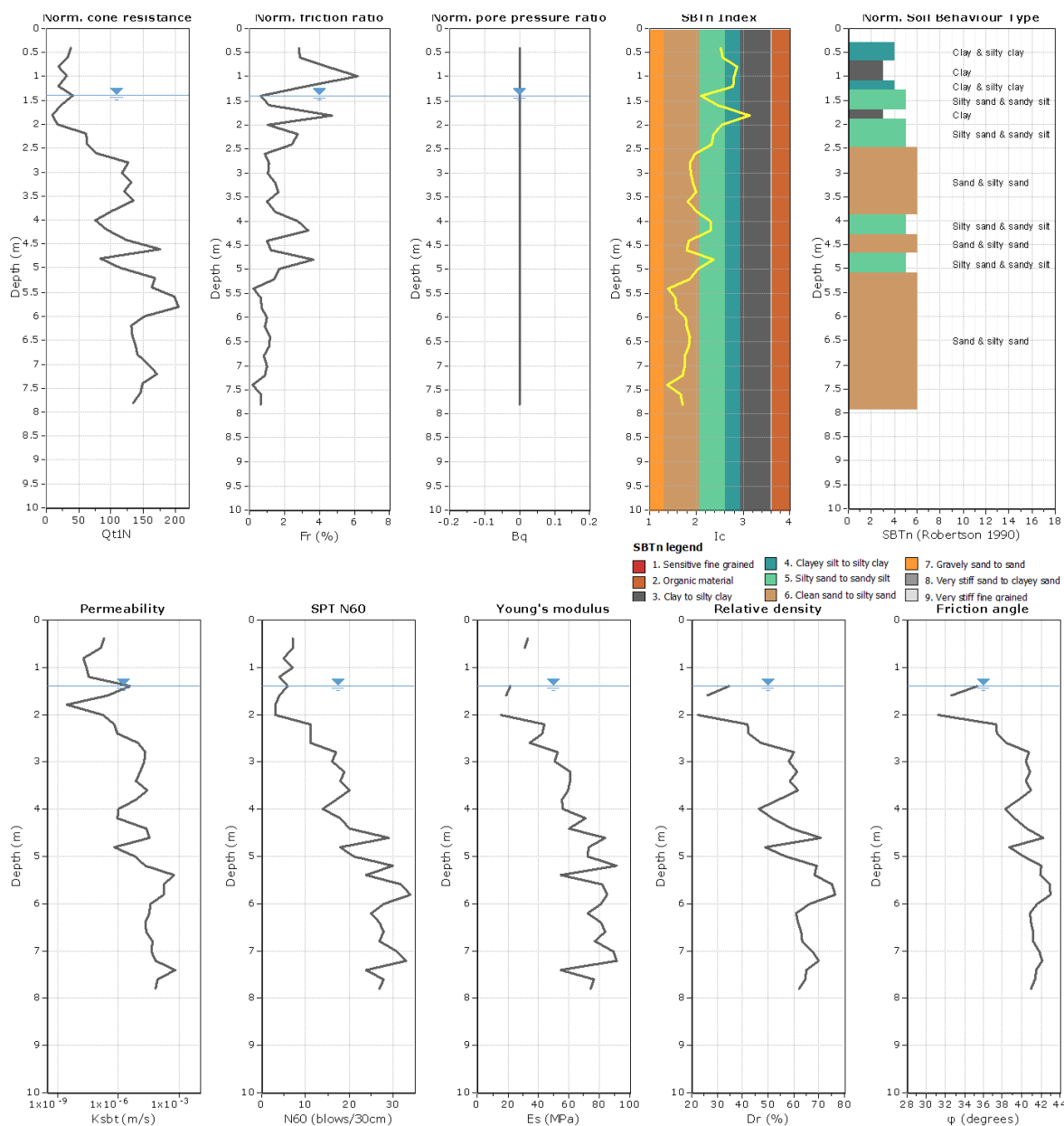


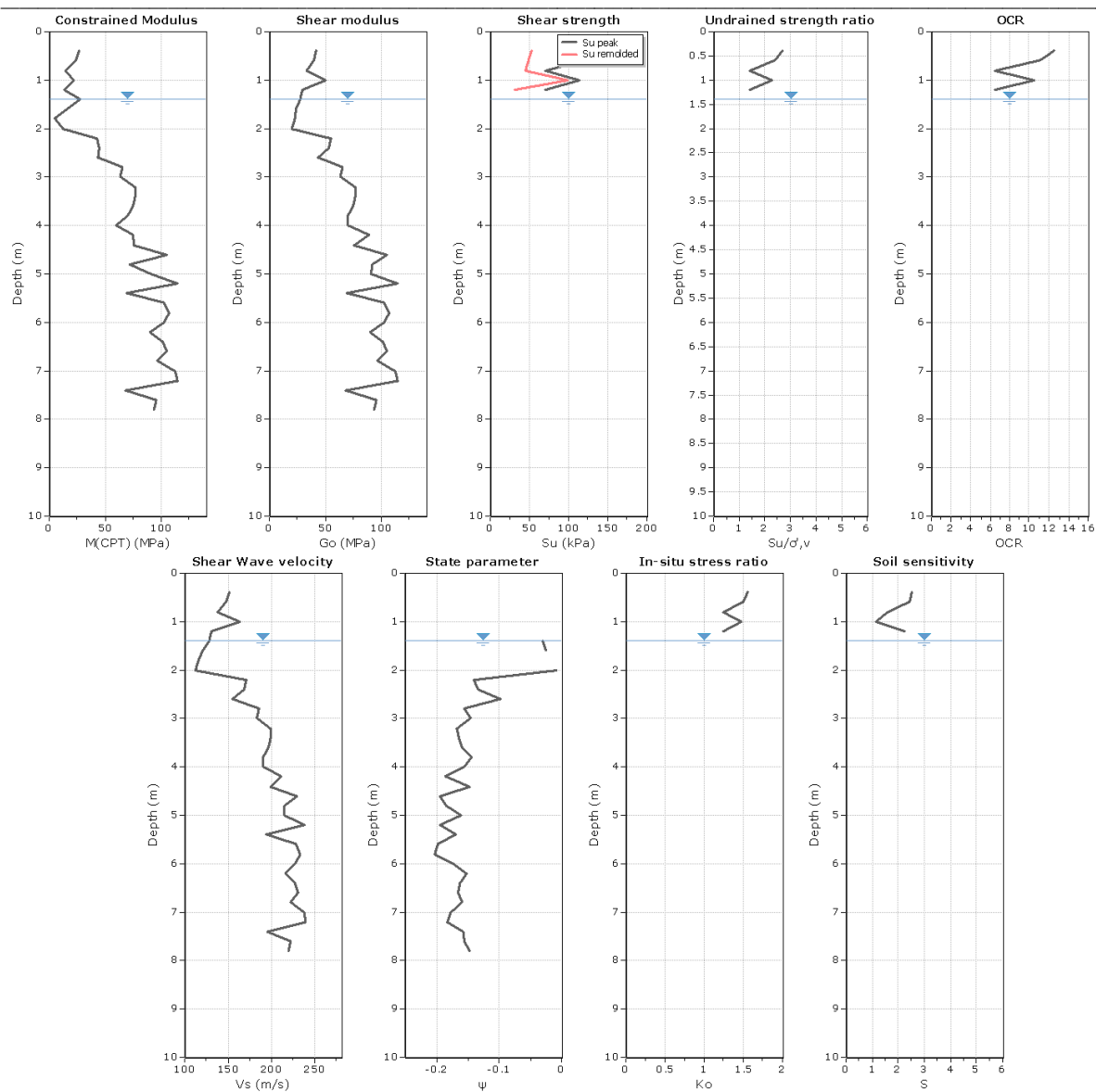
CPT 7/8



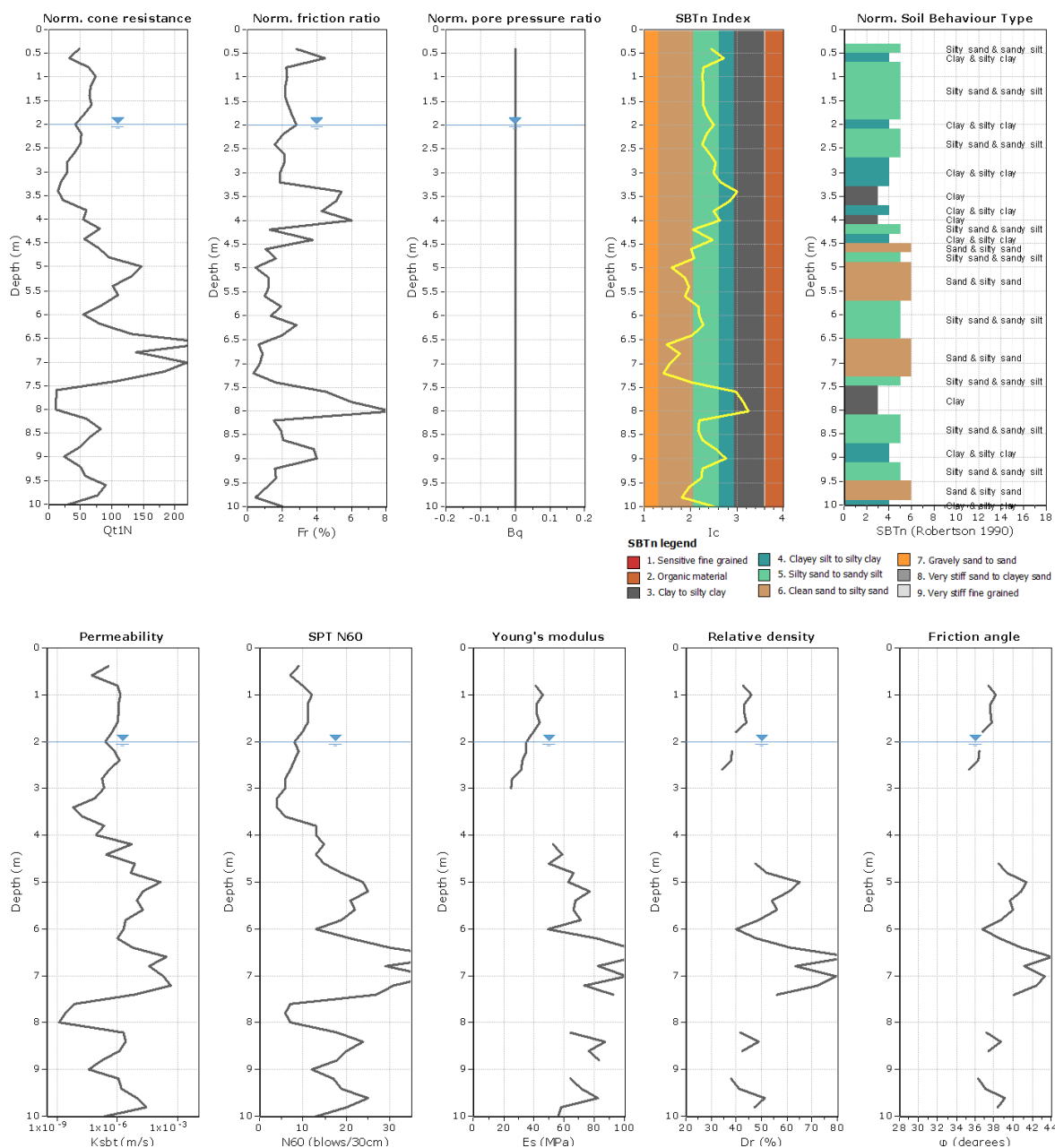


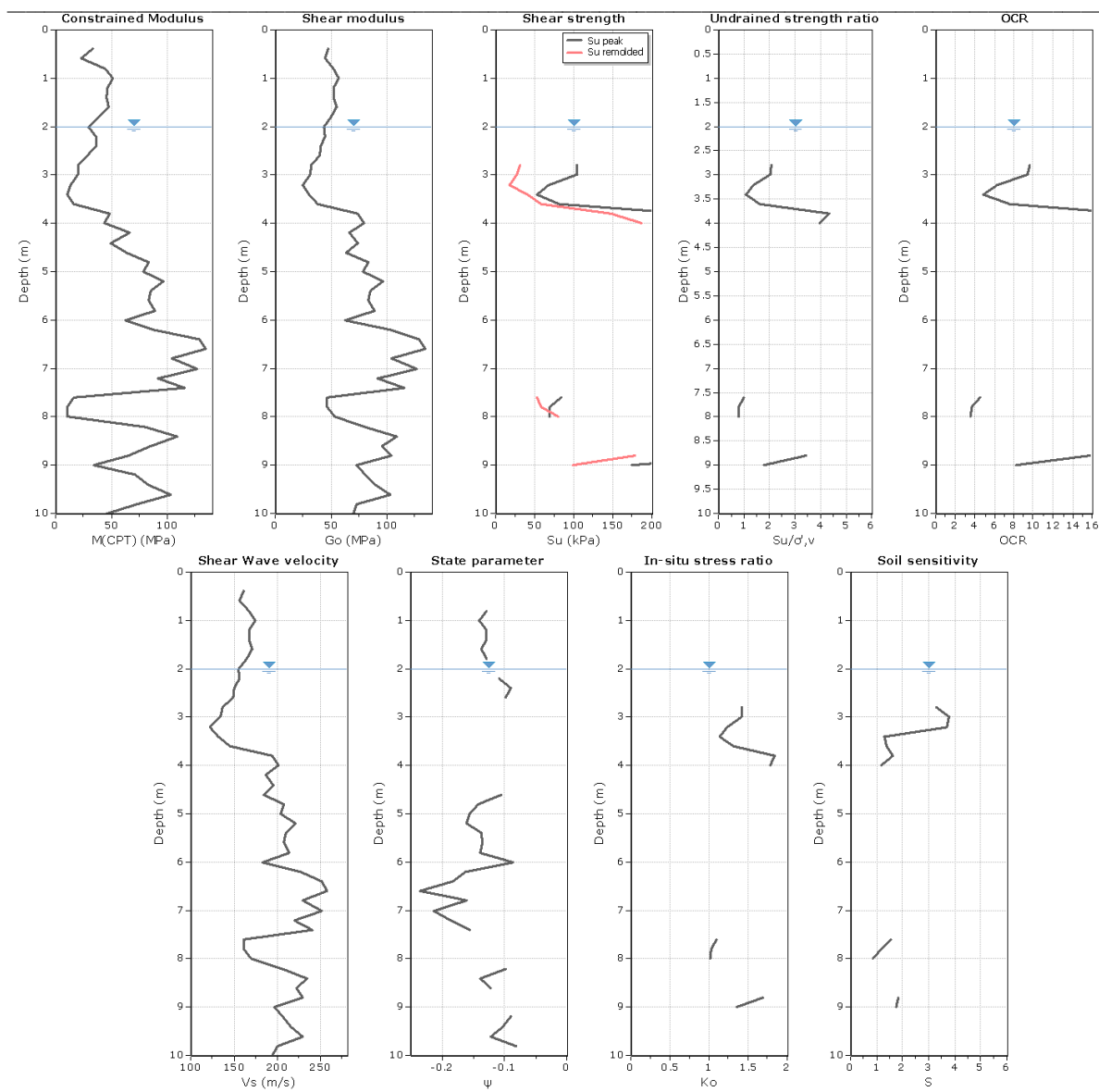
CPT 8/8



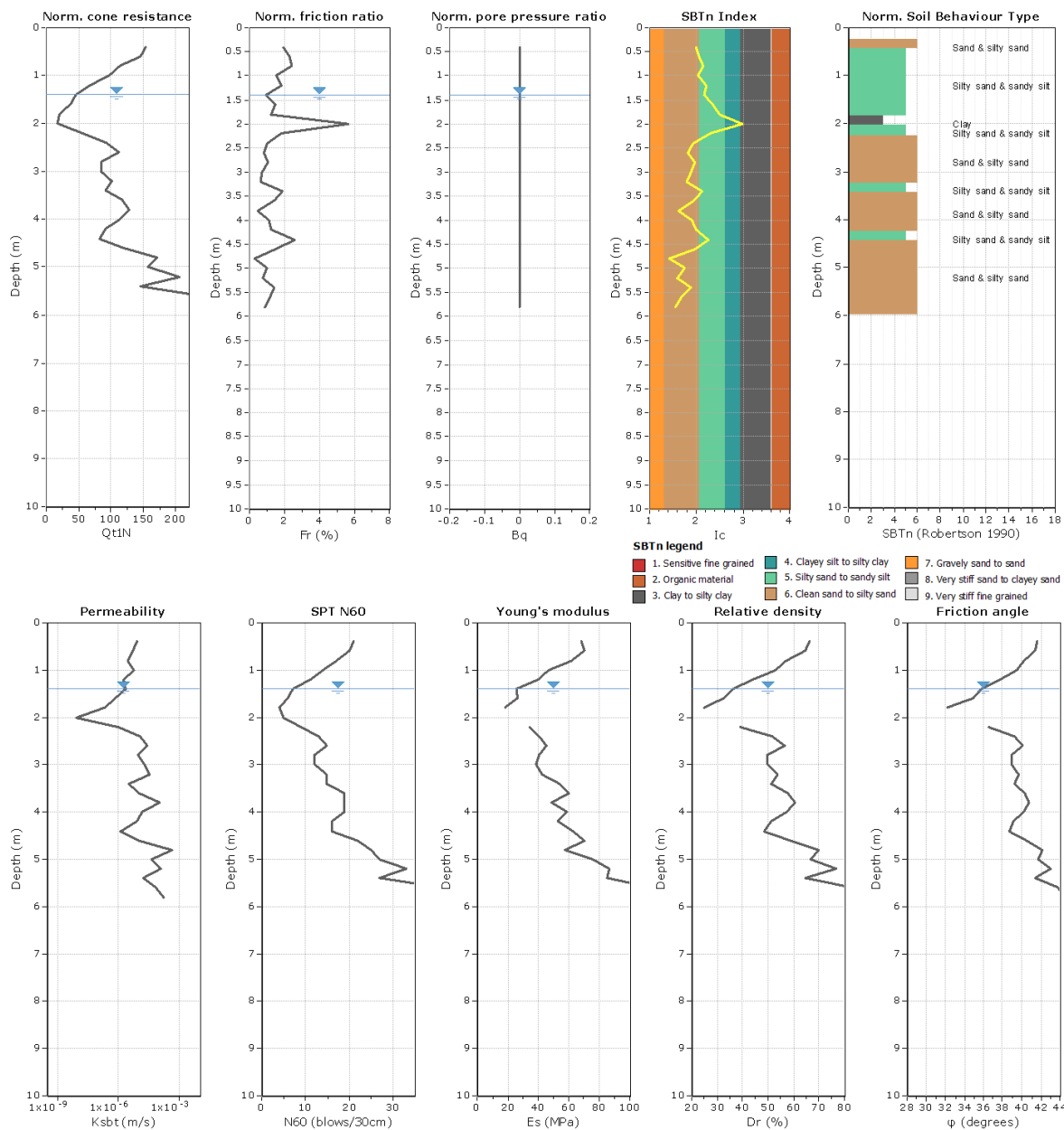


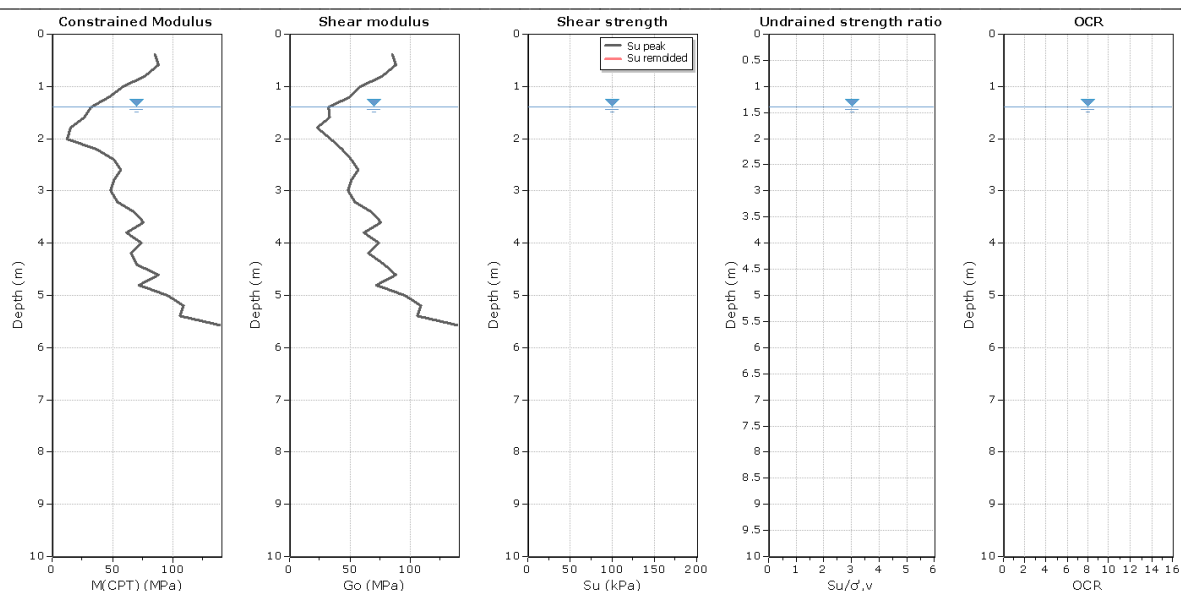
CPT Tecnopali





CPT GTA 1/2

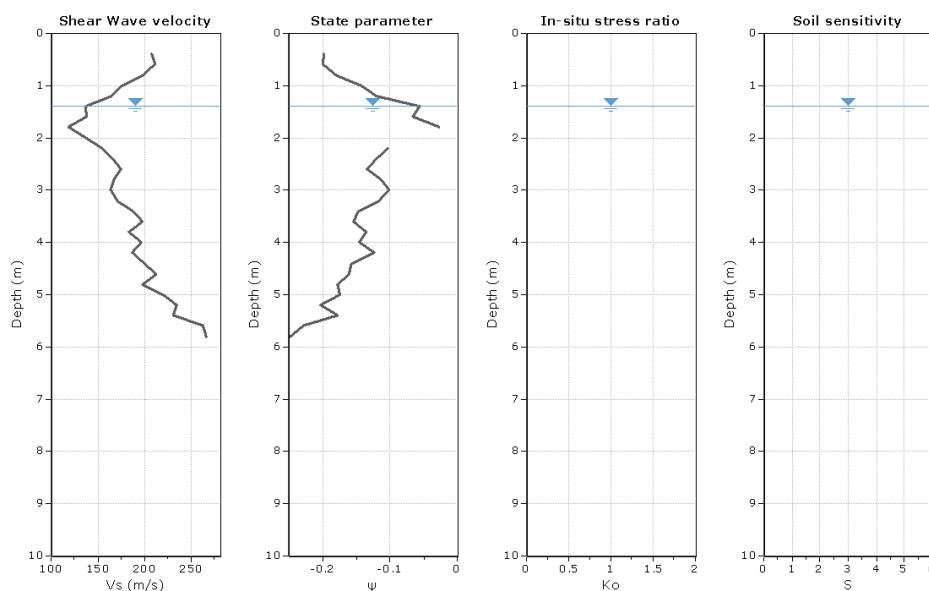


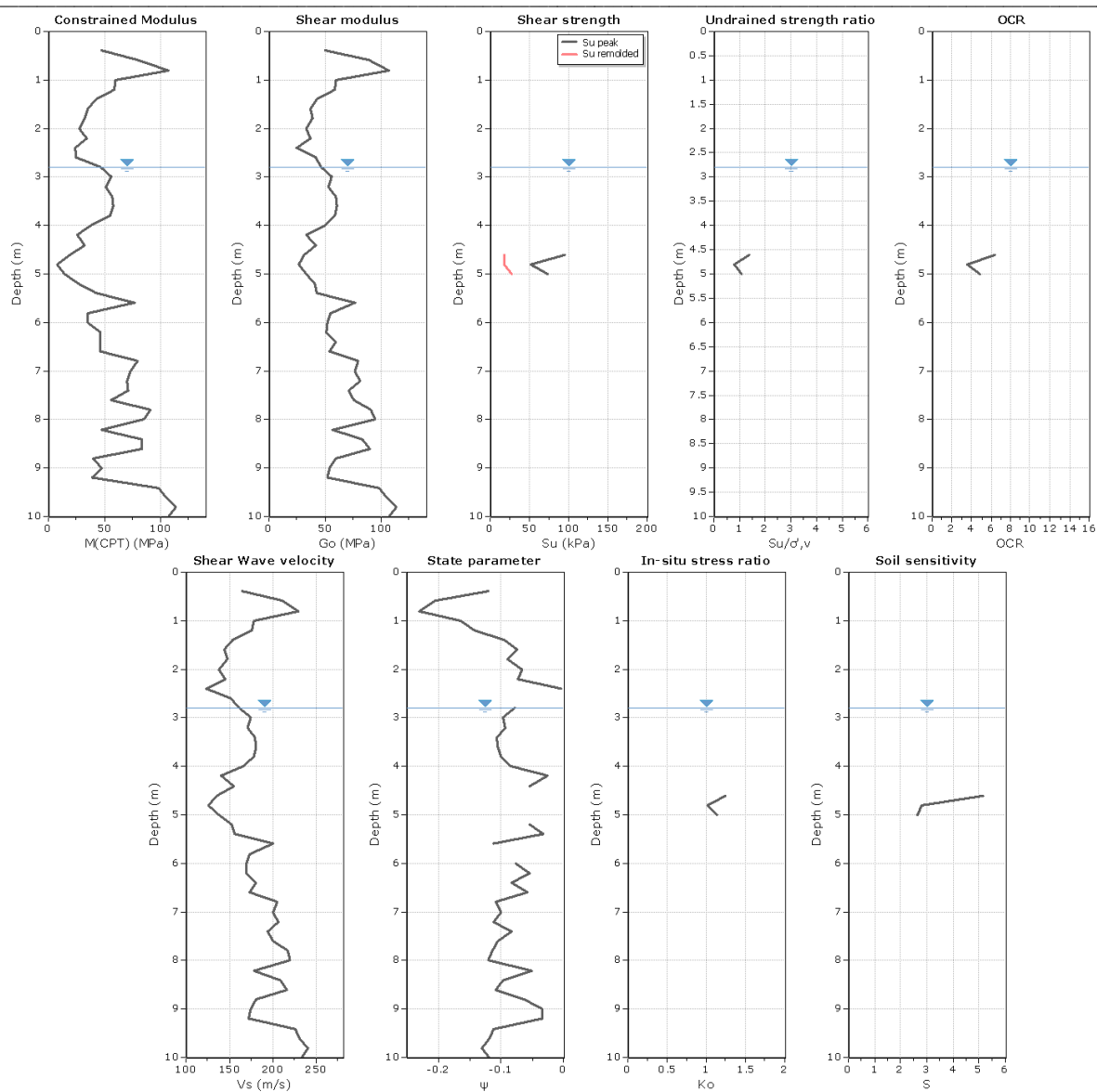


Scotti Angelo
studio di geologia
via Lungo Adda 24 26026 Pizzighettone
tel 0372-743911

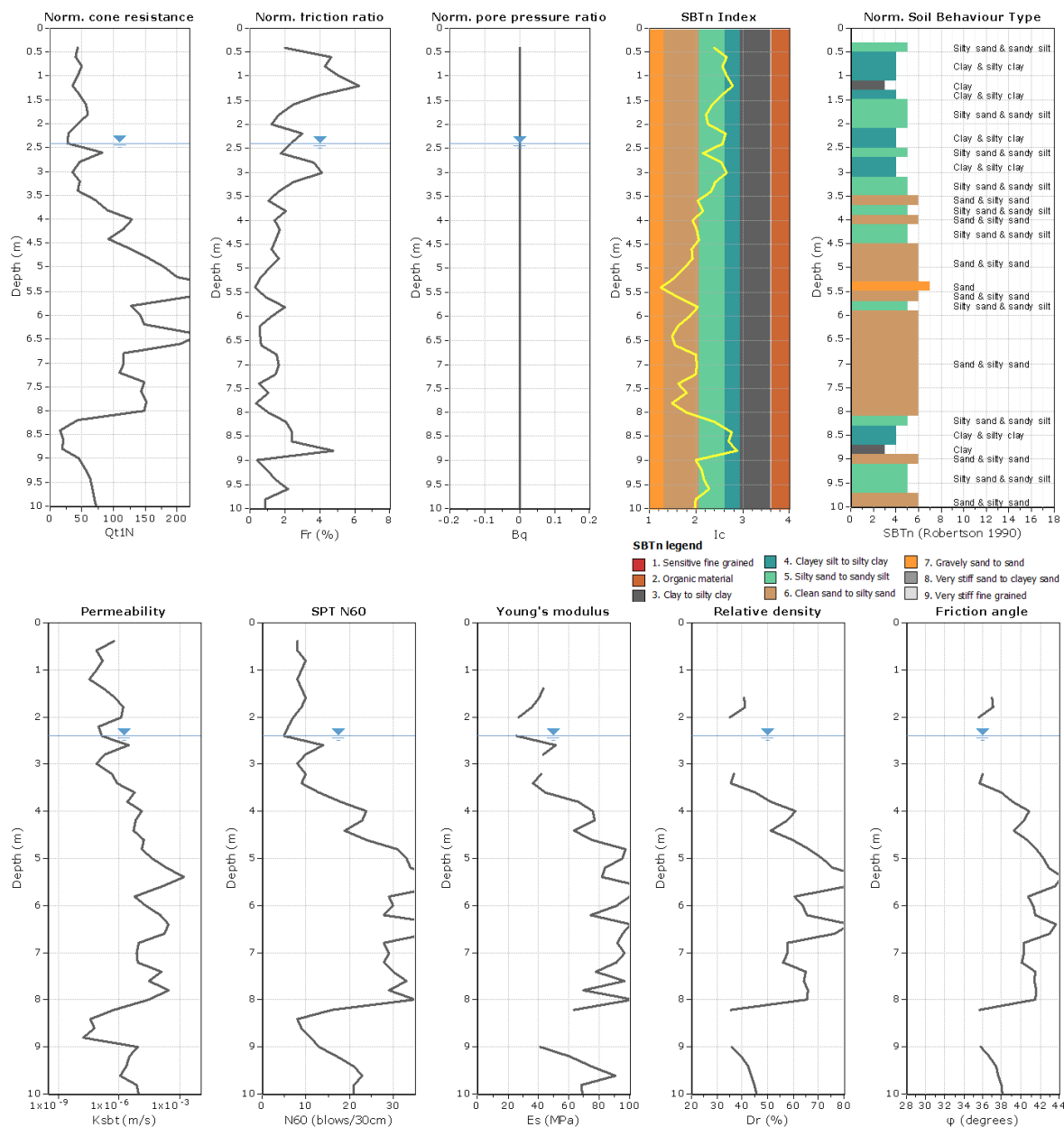
Project: PGT Cornegliano Laudense

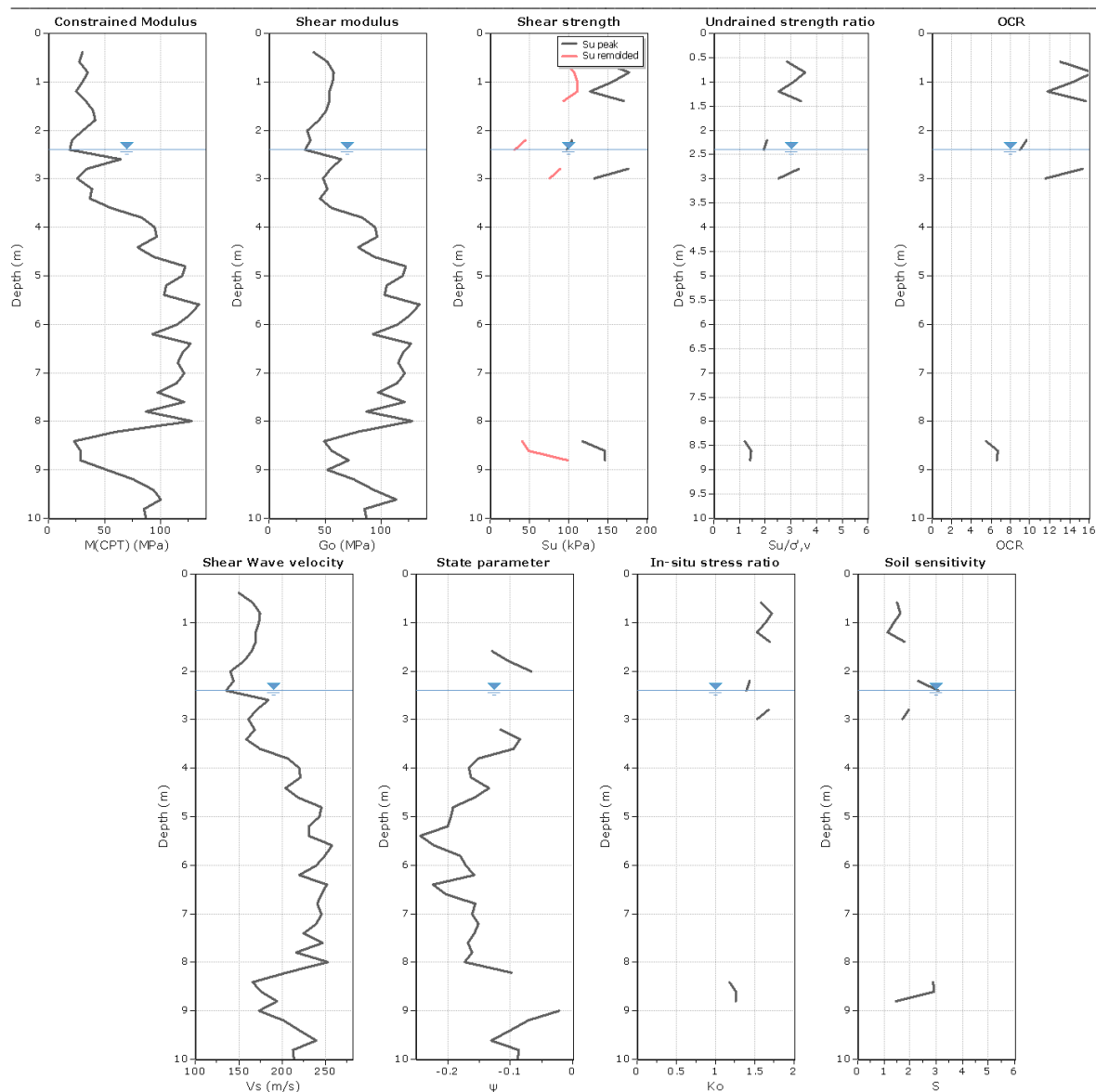
Location:





CPT Poste 1/2





8.2 STIMA DEL CARICO LIMITE

8.2.1 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 larghezza **B da 0,6 m a 2,0 m**, lunghezza **10 B** e profondità posa dal piano campagna **D = 0,6 m**

Utilizzando l'esito delle prove penetrometriche statiche (CPT) si è quindi calcolato il **CARICO LIMITE** (q_{ult} = carico a rottura, quindi privo di coefficiente di sicurezza)

La stima del carico limite per semplicità 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 fino a profondità $-1,5 B$ sotto la fondazione.

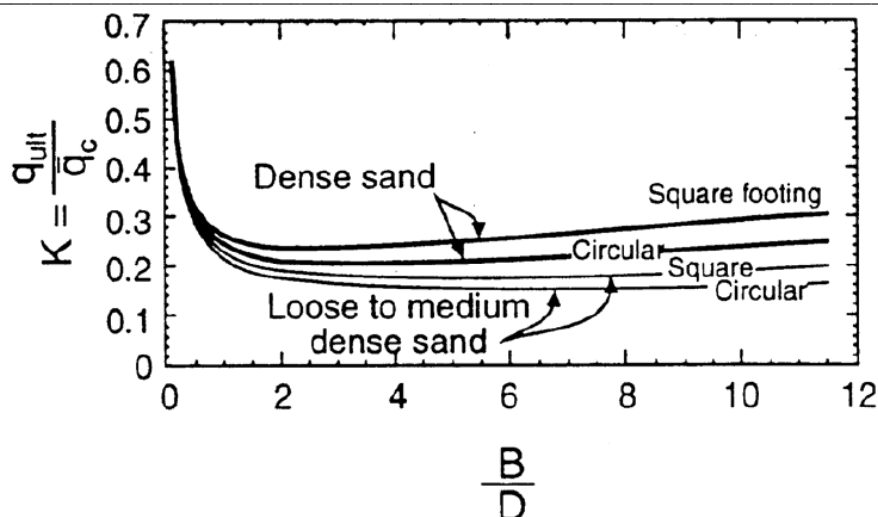


Figura 27 : Correlation between bearing capacity of footing on cohesionless soils and average cone. Eslaamizaad, S., and Robertson, P. K. "Cone Penetration Test to Evaluate Bearing Capacity of Foundations in Sands." Submitted to 49th Canadian Geotechnical Conference, St. John's, Newfoundland. 122 - 22 – 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), $q_{ult} = K_{su} q_{c(av)} + \gamma D$ 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.

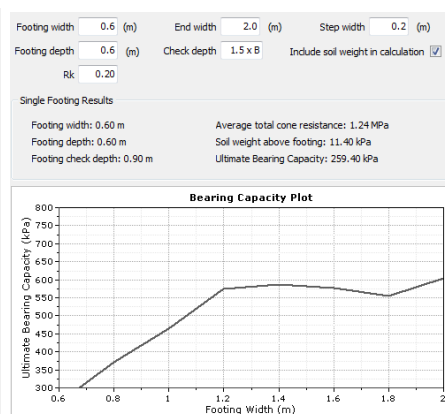
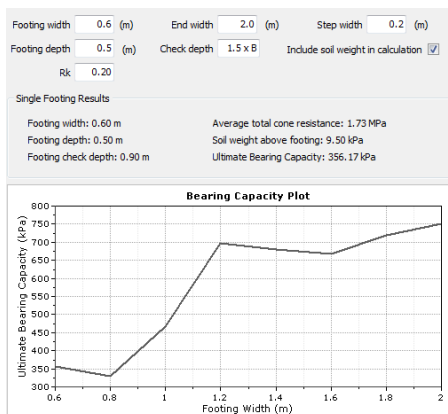
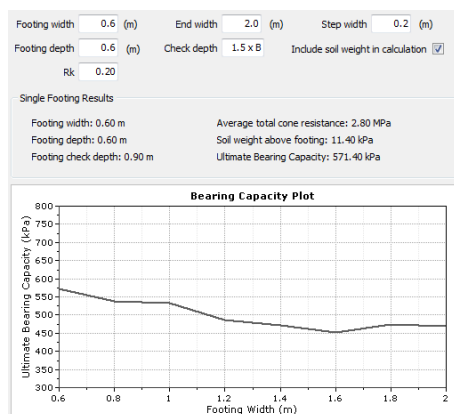
8.2.2 Risultati delle elaborazioni e relativi commenti

I valori di carico limite in funzione della larghezza delle fondazioni, determinato secondo le procedure riferite e nel paragrafo precedente, è illustrato nelle seguenti figure:

CPT 1/5

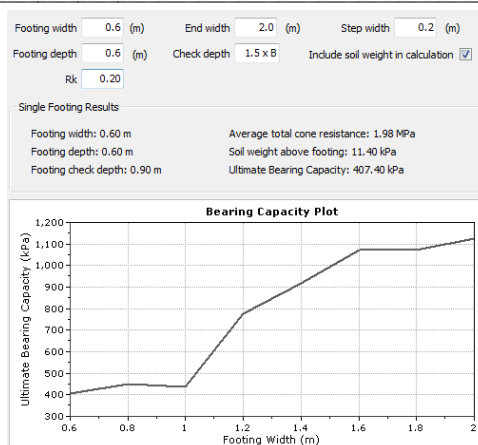
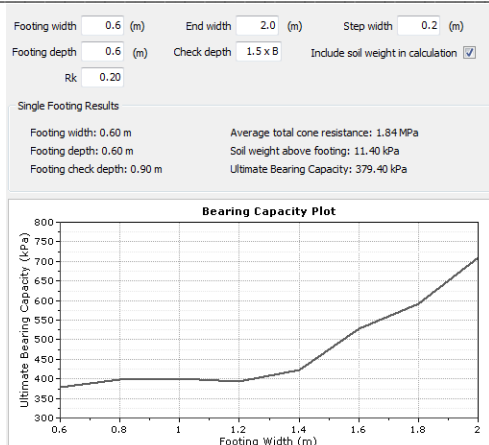
CPT 2/5

CPT 3/5



CPT 4/5

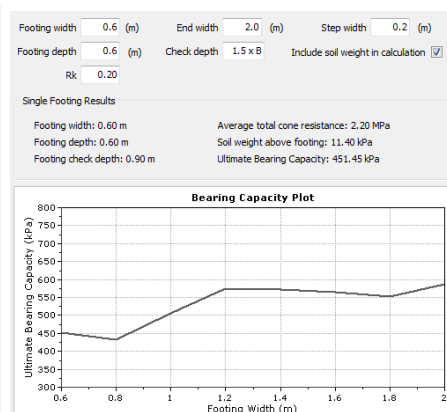
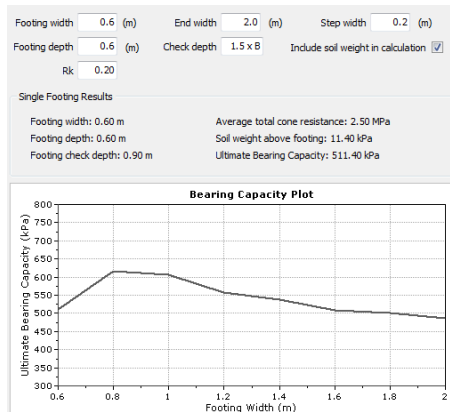
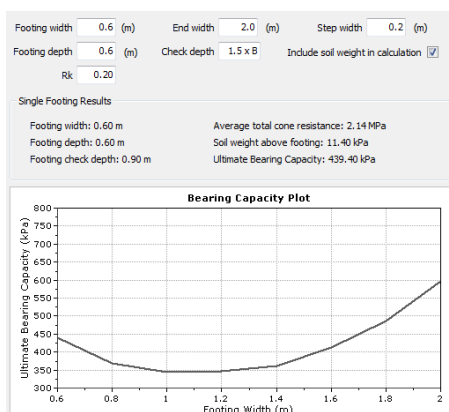
CPT 5/5



CPT 1/8

CPT 2/8

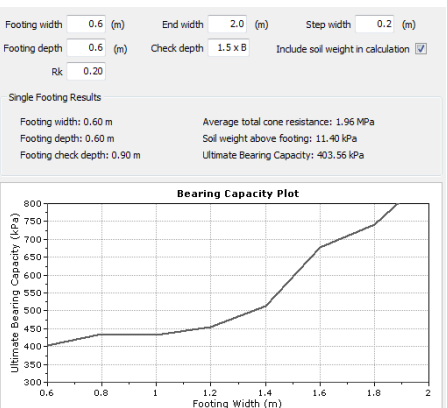
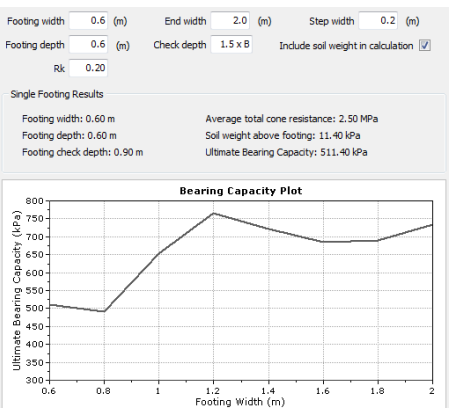
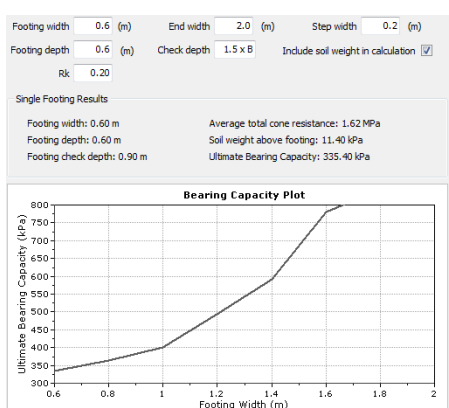
CPT 3/8



CPT 4/8

CPT 5/8

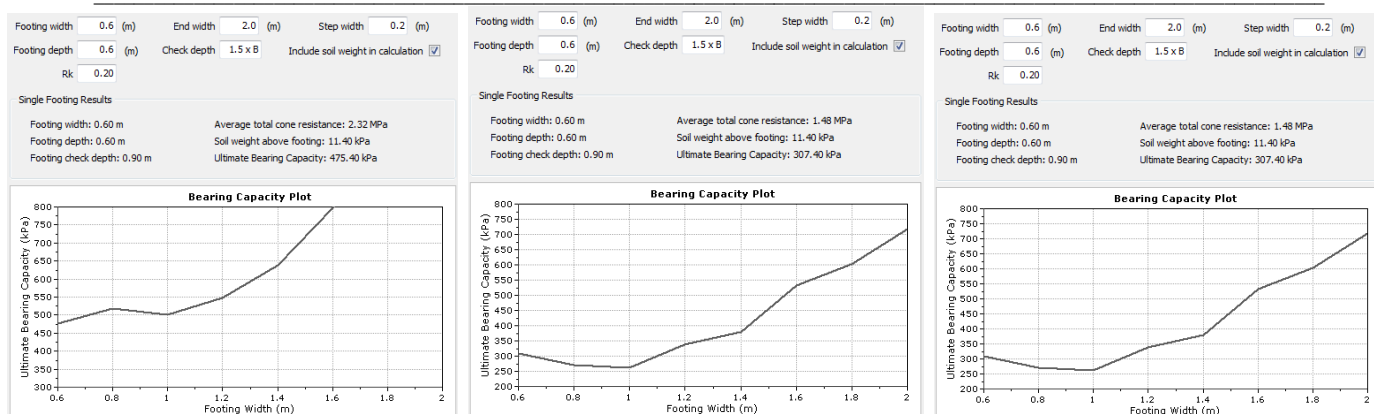
CPT 6/8



CPT 7/8

CPT 8/8

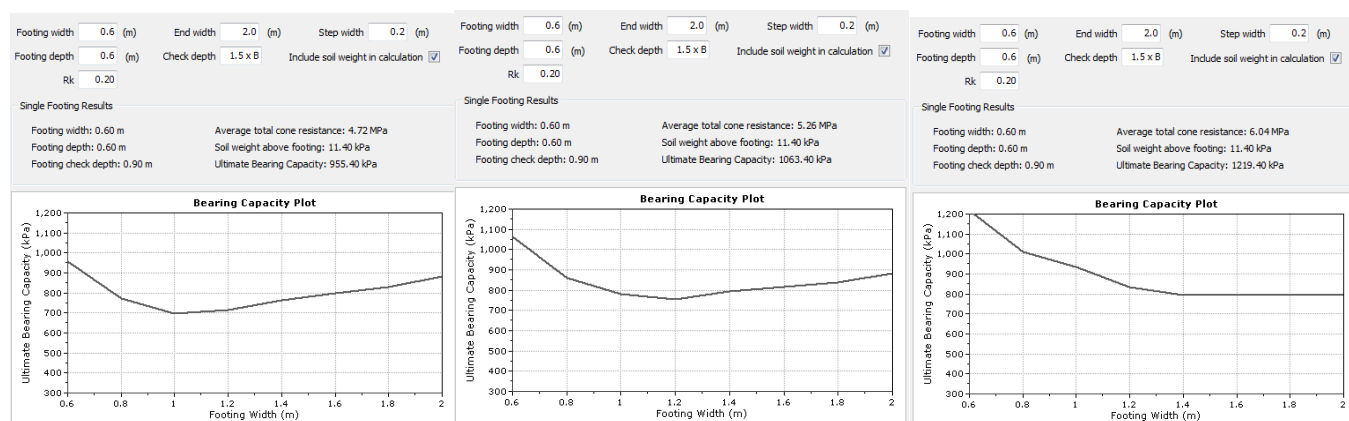
CPT Tecnopali



CPT GTA 1/2

CPT GTA 2/2

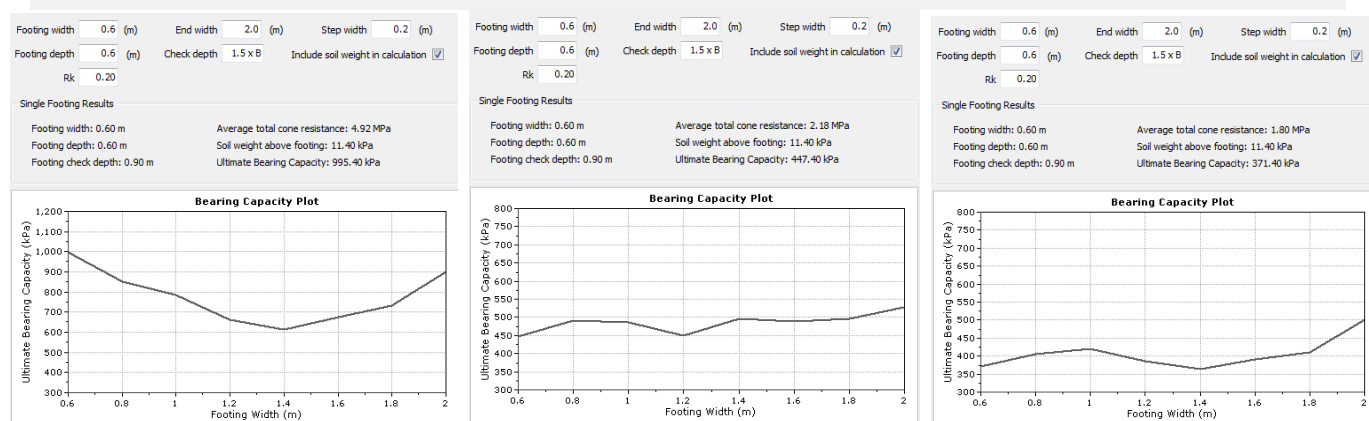
CPT EE 1/2



CPT EE 2/2

CPT Poste 1/2

CPT Poste 2/2



Riferendosi ai valori individuati per fondazioni di larghezza di **0,8 metri**, si è elaborata una rappresentazione planimetrica riportata nella figura seguente:

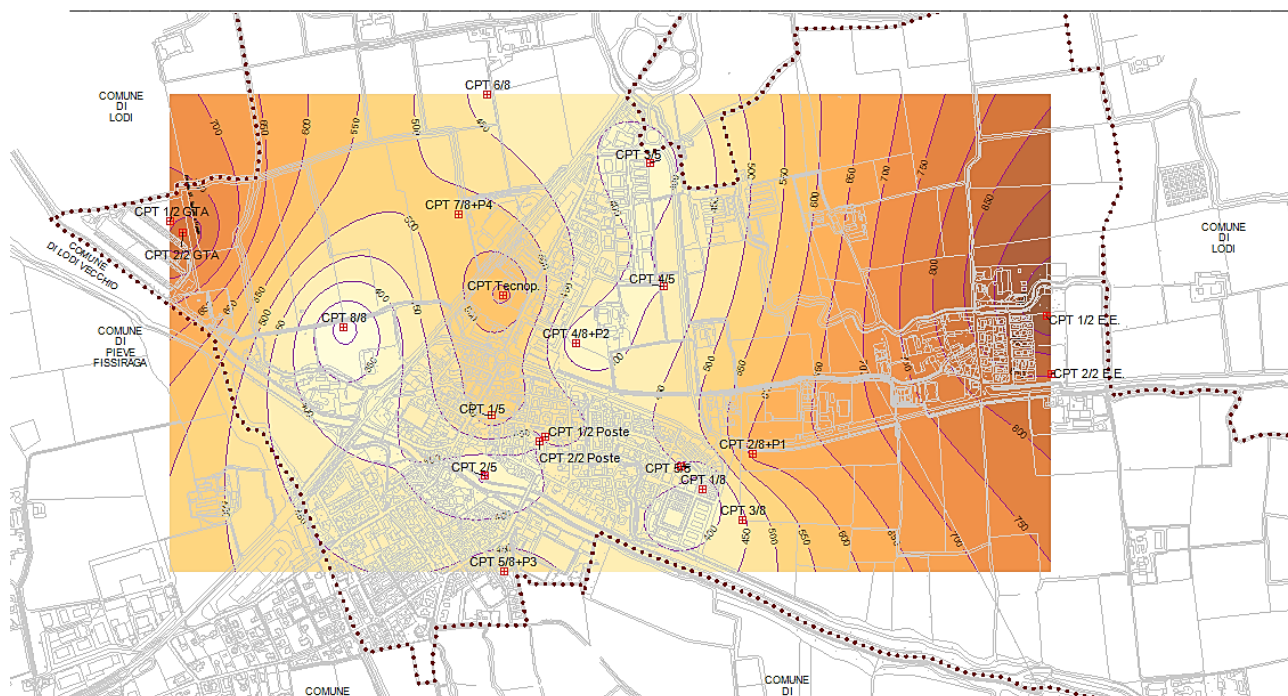


Figura 28: rappresentazione planimetrica dei valori del carico a rottura in kPa per fondazioni di larghezza $B=0,8$ m posate a $-0,6$ m

CPT n	q_{ult} kPa
1/5	540
2/5	340
3/5	370
4/5	400
5/5	450
1/8	350
2/8	620
3/8	440
4/8	360
5/8	490
6/8	430
7/8	520
8/8	270
tecnop	620
GTA 1/2	770
GTA 2/2	860
EE 1/2	1000
EE 2/2	850
Poste1/2	490
Poste2/2	400

I **carichi limite** (q_{ult} = carico a rottura, quindi privo di coefficiente di sicurezza) presentano una distribuzione abbastanza uniforme con valori per lo più compresi tra 400 e 600 kPa (la media armonica di tutte le verticali è di 470 kPa) e massimi in corrispondenza della verticali poste alle estremità ovest ed est dell'area considerata, presso l'allevamento ittico e presso l'area ATR 2 a Cornegliano.

Valori inferiori a 400 kPa interessano la fascia più prossima al canale Muzza (prove 8/8, 2/5 e 1/8) e sono legate alla presenza entro i due metri di depositi limo argillosi di spessore di alcuni decimetri poco sovraconsolidati. Nel caso delle prove 8/8 e 2/5 si segnala una buona coincidenza con lievi depressioni evidenziate nella carta morfologica.

Nella verifica della prova 8/8 il carico a rottura risulta essere di 270 kPa e quindi, applicando per semplicità un coefficiente di sicurezza $F_s = 3$, il carico ammissibile risulta essere di 90 kPa ($0,9 \text{ Kg/cm}^2$).

Nel restante territorio il carico ammissibile, nelle condizioni ipotizzate, è sempre maggiore di 110 KPa ($1,1 \text{ Kg/cm}^2$), valore spesso impiegato per le stime preliminari dei costi delle fondazioni realizzate nell'area lodigiana.

Una seconda area caratterizzata da valori di $q_{lim} < 400$ kPa, si individua tra Via Toscana – Via Lombardia – C.na Papinetta, in questo caso senza che si evidenzii alcuna correlazione con la morfologia.

In sintesi non si segnalano condizioni problematiche per fondazioni superficiali ordinarie che comunque dovranno essere progettate a seguito di verifica puntuale delle caratteristiche geotecniche locali.

8.3 RAPPRESENTAZIONE PLANIMETRICA DI ALTRI PARAMETRI DERIVATI

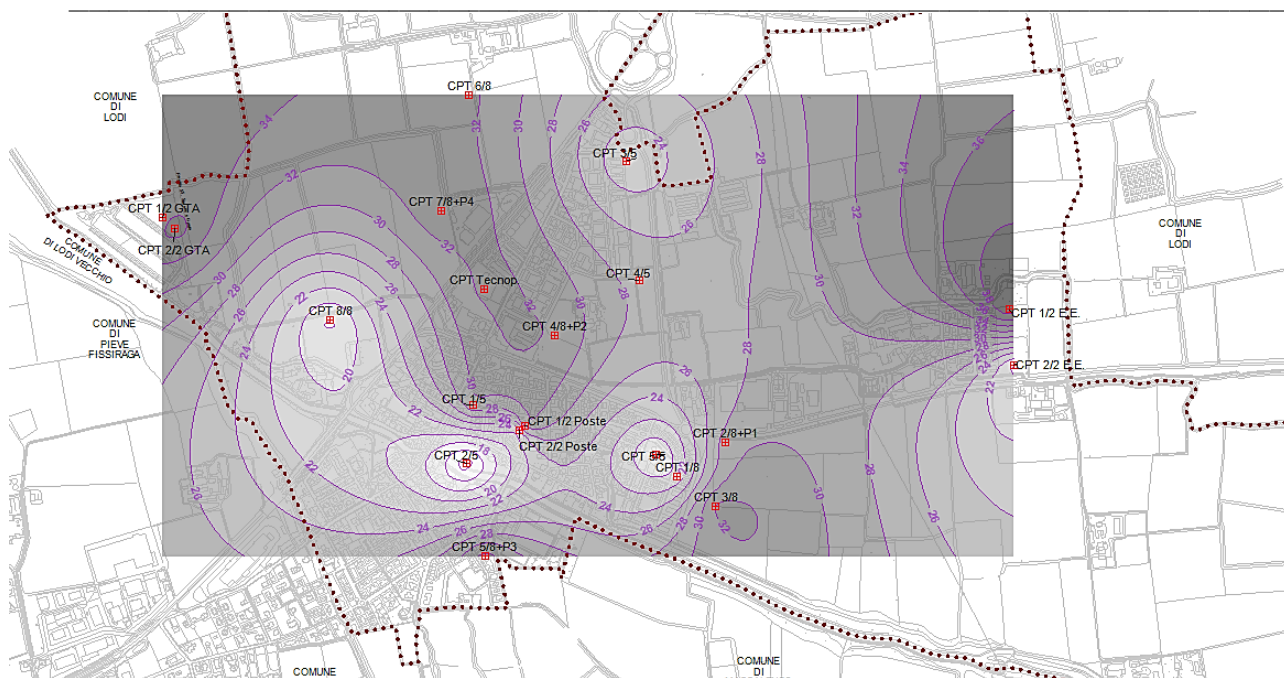
Procedendo in modo analogo a quanto riferito per la stima del carico a rottura, è possibile considerare le variazioni spaziali di tutti i parametri geotecnici almeno in buona parte del territorio comunale. Il risultato deve essere valutato tenendo a mente i limiti intrinseci della rappresentazione, connessi alla relativa distanza tra i dati e alla variabilità talora rilevante sia delle tessiture sia dello stato di addensamento delle sabbie (minori variazioni si solito si osservano nei depositi fini) anche nello spazio di pochi metri.

Il primo parametro che si è ritenuto utile presentare è il modulo di compressibilità in condizioni confinate (M) precedentemente illustrato, che è impiegato per la stima dei cedimenti di fondazioni superficiali.

Il valore utilizzato è la **media armonica** ottenuta nell'intervallo da -0,4 a -3,0 m in ciascuna verticale penetrometrica, che riflette la compressibilità media dei terreni interessati dagli incrementi di carico sotto le fondazioni di edifici ordinari privi di piano cantina.

I valori ottenuti dalle relazioni utilizzate, come detto, sono molto più elevati rispetto a quelli impiegati fino alla fine degli anni '90 e quindi pare ragionevole, nelle applicazioni pratiche, dimezzare il valore ricavato salvo che non vi siano altre fonti di dati in grado di confermarne la validità.

La distribuzione di questo parametro riflette da vicino quella del carico limite precedentemente illustrata, con valori inferiori alla media (25 MPa) nelle prove eseguite in prossimità del canale Muzza e in parte nelle aree più depresse, come pure lungo l'asse Via Toscana – C.na Papinetta.



Nel restante territorio i valori sono compresi tra 26 e 36 MPa, con l'eccezione dell'area ATR 2 dove si osserva un forte contrasto tra le due prove poste a distanza reciproca di circa 180 metri. La ragione è data dalla presenza nella prova EE 2/2 di uno strato argilloso quasi normalconsolidato tra -2,0 e -2,6 metri e nella contestuale presenza nel profilo della prova EE 1/2 di uno strato superficiale molto rigido, forse limi argillosi sovraconsolidati per essiccazione.

Con i moduli sopra riportati i cedimenti di fondazioni lineari di larghezza $B = 0,8$ m che trasmettono al suolo carichi di circa 100 kPa conducono a una stima di cedimenti immediati pari a 1,5 cm nella verticale più sfavorevole (CPT 2/5), equivalente a circa 3 cm se si ipotizza di dimezzare il valore del modulo per le cautele precedentemente espresse.

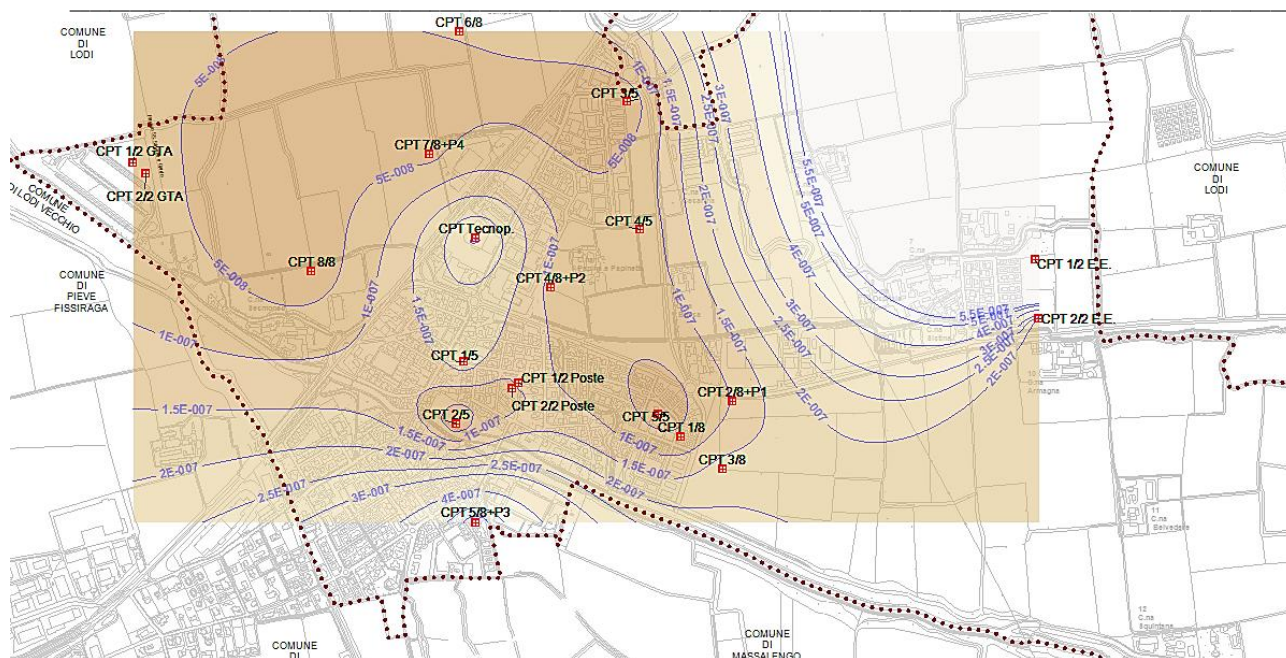
I cedimenti nelle verticali che presentano valori medi del modulo sono di circa 0,5 cm, ovvero 1,0 cm adottando le cautele sopra ricordate.

In conclusioni anche per quanto concerne questo parametro le verticali esaminate restituiscono per tutto il territorio un quadro compatibile e spesso favorevole, almeno per quanto riguarda la compressibilità dei terreni in caso di opere ordinarie.

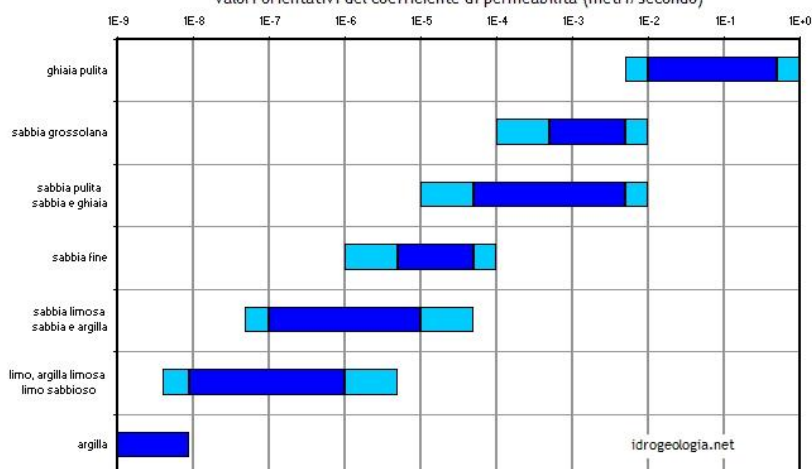
La successiva rappresentazione riguarda la stima della permeabilità (k in m/s) considerata dalla profondità di 0,4 metri fino a -2,0 m, quota circa coincidente con quella media della falda freatica.

La distribuzione della media armonica di ogni verticale anche in questo caso consente di operare suddivisioni rilevanti del territorio, distinguendo aree a tessitura limo argillosa, principalmente individuate dai valori $m < 5 \cdot 10^{-8}$ m/s, dalle restanti dove sono i valori sono superiori oltre un ordine di grandezza e che genericamente sono attribuibili a limi sabbiosi e sabbie fini limose.

COMUNE DI CORNEGLIANO LAUDENSE (LO) STUDIO DELLA COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO
aggiornata a seguito di osservazioni ARPA protocollo dell'Ente n. III019 del 08.08.2012 (class. 6.3 Rep 156/11)



Valori orientativi del coefficiente di permeabilità (metri/secondo)



Anche in questo caso si osserva un valore anomalo nella prova CPT 1/2 EE (differenze di oltre due ordini di grandezza dal valore medio $4 \cdot 10^{-8}$ m/s) che determina una forte distorsione degli isovalori rappresentati in carta, privo però di reale significato.

9 Aspetti sismologici e risposta sismica locale

9.1 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) posso 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 Cornegliano Laudense non sono presenti scarpate morfologiche ad esclusione di quelle che delimitano le strade alzaie del Canale Muzza e gli alvei dei principali canali, di 1 – 2 metri di altezza, che non definiscono ambiti soggetti 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.

L'“intrappolamento” delle onde sismiche all'interno del deposito sedimentario è determinato dal contrasto di impedenza¹⁷ (prodotto fra la densità ρ del terreno o della roccia e la velocità V delle onde ($\rho \cdot V = Z$)) tra strati sedimentari o tra sedimenti e bedrock.

Il rapporto d'impedenza $I = \rho_r V_{s(r)} / \rho_t V_{s(t)}$ superiore circa a 2 dà luogo ad effetti sensibili di amplificazione, che in particolare si manifestano quando la frequenza dell'eccitazione sismica si approssima o coincide con la frequenza fondamentale dello strato superficiale, identificabile dalla relazione $f_1 = \frac{V_s}{4H}$ funzione del suo spessore e della V_s , ovvero quando di realizzano condizioni di risonanza.

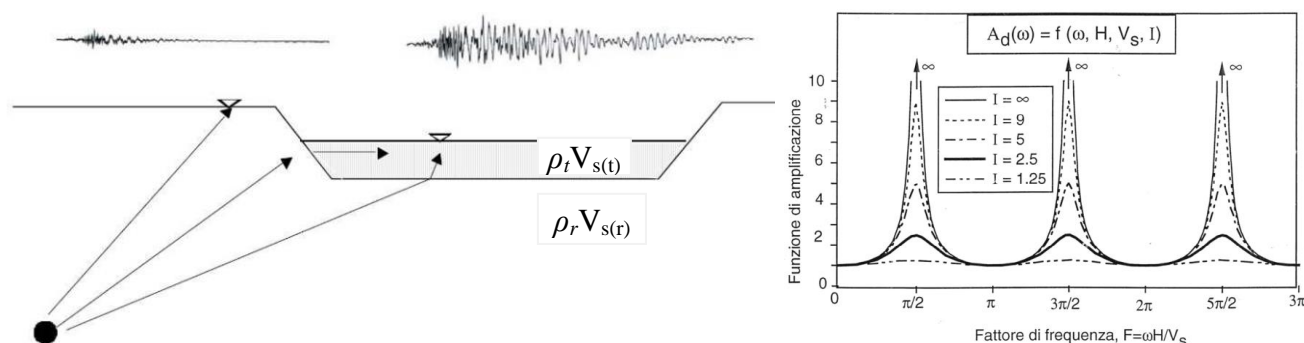


Figura 29: schema rappresentativo di amplificazioni dovute a condizioni litologiche e/o geometriche e a destra grafici della funzione di amplificazione al variare del fattore di frequenza ($F = \omega H / V_s$, con $\omega = 2\pi f$ = frequenza circolare) e del valore del rapporto di impedenza.

Tale condizione **può essere presente a Cornegliano Laudense** 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'amplificazione litologica deve peraltro essere tenuta in conto in fase progettuale mediante la procedura prevista dal DM 14.01.2008, con l'individuazione della **categoria di sottosuolo** di cui alla Tabella 3.2.II. del citato D.M., categoria che in base all'esito di tutte le prove geofisiche disponibili, di seguito illustrate, risulta essere costantemente la "C" e comporta un incremento del 50% della sollecitazione sismica ipotizzata su suolo rigido di categoria A.

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 **assente nel territorio di Cornegliano Laudense salvo che per le alzaie del canale Muzza e gli alvei dei principali canali** dove le scarpate artificiali hanno altezze inferiori a 2 metri e possono produrre solo modestissimi dissesti.

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 sabbioso-

¹⁷ Il contrasto di impedenza sismica fra strati di roccia adiacenti influisce sul coefficiente di riflessione. In particolare, fra le rocce profonde (bedrock) e le rocce alluvionali appoggiate su di esse, il contrasto è la causa degli "intrappolamenti" di energia (riflessioni multiple) all'interno delle piane alluvionali, una delle principali cause dei più vistosi effetti di amplificazione di sito. In questo senso, forti contrasti di impedenza fra bedrock e alluvioni, e particolari condizioni geometriche (spessori delle alluvioni) possono provocare particolari interazioni tra frequenze del moto ondulatorio in arrivo e modo di vibrare degli edifici (pseudo-risonanza). Tratto dal sito <http://www.sissa.it/main/> SISSA : Scuola Internazionale Superiore di Studi Avanzati, Trieste.

limosa e messa in posto recente¹⁸, mentre tutta la superficie comunale si è formata durante le fasi finali della glaciazione wurmiana o all'inizio dell'olocene e i depositi possono essere lievemente cementati o comunque aver subito addensamenti sia per il carico litostatico sia per effetto dell'attività sismica intervenuta dalla messa in posto ai giorni nostri.

Per quanto concerne il rischio di **liquefazione**, ovvero di perdita istantanea di capacità portante per incremento delle pressioni neutre generate dal sisma, questa interessa terreni granulari fini (sabbiosi) saturi di acqua, costantemente presenti a Cornegliano Laudense.

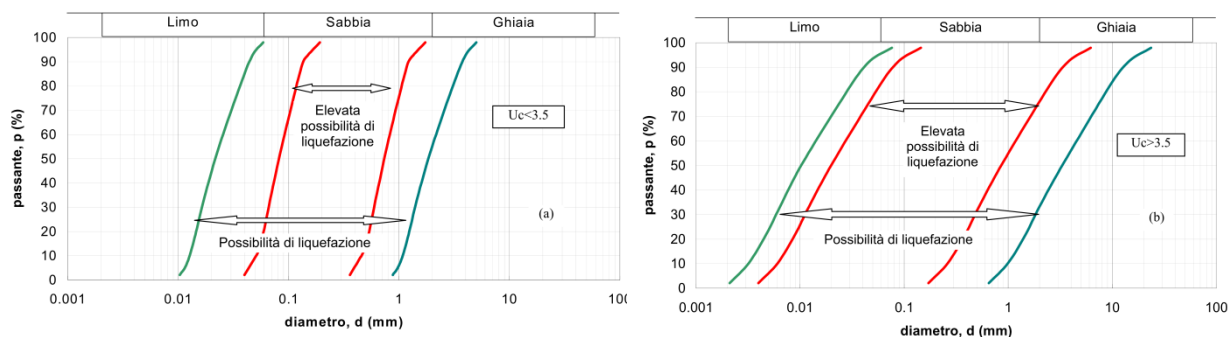


Figura 30: Fasce granulometriche per la valutazione preliminare della suscettibilità alla liquefazione di un terreno per i terreni a granulometria uniforme (a) ed estesa (b)

(da AGI, 2005 Aspetti Geotecnici della Progettazione in Zona Sismica) e § 7.11.3.4.2 NTC 2008.

Le elaborazioni effettuate con i dati delle prove penetrometriche statiche disponibili (CPT con punta meccanica) hanno condotto a **escludere tale rischio nelle aree indagate, e quindi a ritenere il 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. Argille montmorillonitiche sono sicuramente presenti negli orizzonti di accumulo illuviale dei suoli, estesi in profondità fino a 1 -1,5 metri, ma fino alle profondità investigate (6 - 10 metri) sono molto rare e sottili le intercalazioni limo argillose e conseguentemente il potenziale fenomeno si può considerare poco rilevante.

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 **Cornegliano Laudense nella zona 4**, di bassissima 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

¹⁸ 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

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.

Per **Cornegliano Laudense** gli **EDIFICI STRATEGICI** sono costituiti dalla **sede comunale, dal magazzino comunale e dalla** 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** rilevanti non di competenza statale si possono considerare la **SP 235**, le **S.P. 186 e 23** con i relativi ponti sul canale Muzza e sulla roggia Codogna Bassa, nonché i ponti sulla Muzza di via Roma e di via Olimpia.

La **tavola 5** 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 (ora aggiornata con la DGR 30 novembre 2011 n. IX/2616), 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° livello, ma il passaggio diretto a quelli di 3° 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 PERICOLOSITA' 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	Liquefazioni
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-meccaniche molto diverse	Comportamenti differenziali

TABELLA 1 – SCENARI DI PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE

Figura 31: 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 Cornegliano Laudense. Le zone Z2 (riquadrate con in tratteggio) 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 32), e più specificamente $a_g = 0,0718$ g per il nodo posto al confine tra Cornegliano Laudense, Massalengo e San Martino in Strada.

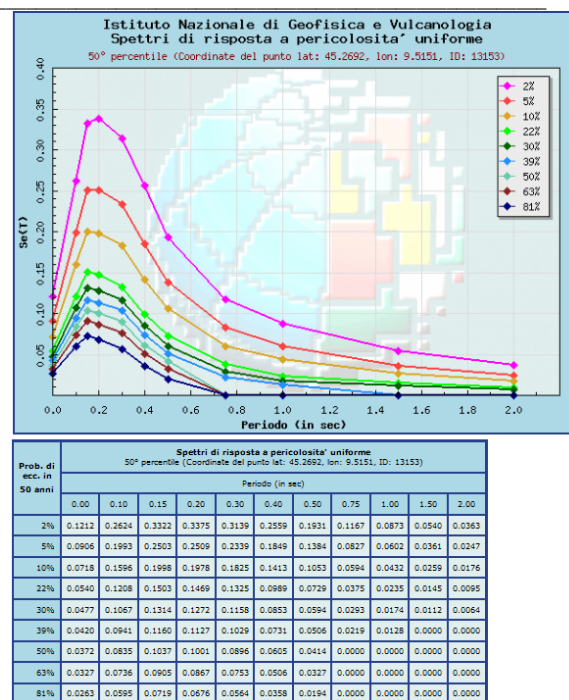
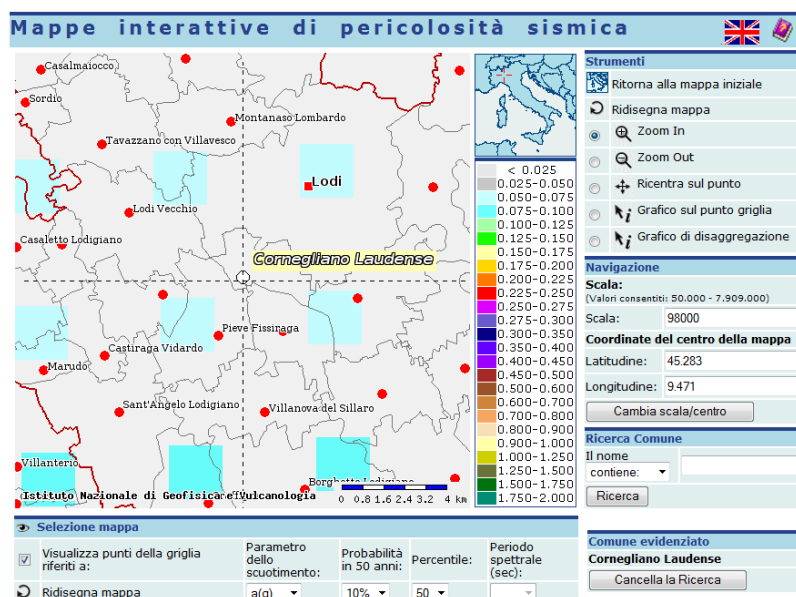


Figura 32 : valori di pericolosità sismica espressa in termini di accelerazione prevista su suolo rigido. Nella figura a sinistra è rappresentato il caso di probabilità di superamento del 10 % in 50 anni, corrispondente ad un tempo di ritorno di 475 anni. Nella parte destra della figura è rappresentato 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 SE dell'abitato di Cornegliano Laudense

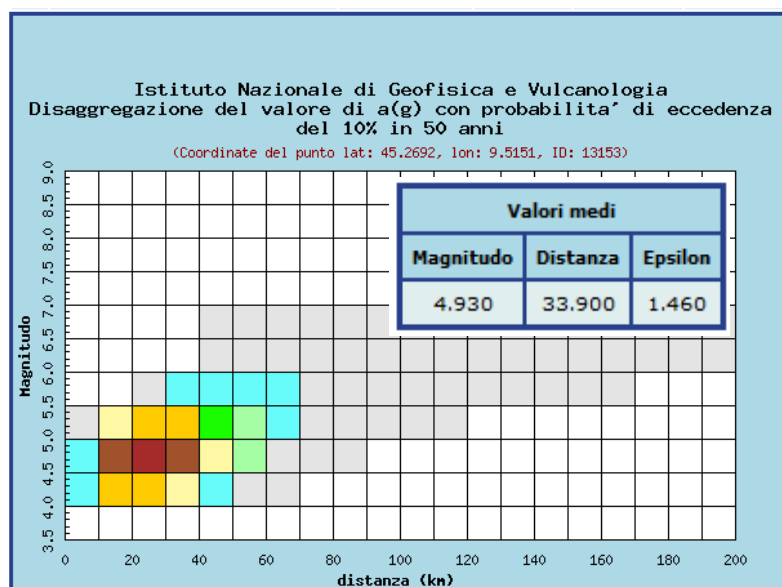


Figura 33: grafico di disaggregazione dei valori di pericolosità, che esprime il contributo percentuale alla stima di pericolosità fornito da tutte le possibili coppie di valori di magnitudo (M) e distanza (R). Il parametro ϵ rappresenta il numero di deviazioni standard per cui lo scuotimento (logaritmico) devia dal valore mediano predetto da una data legge di attenuazione dati M ed R.

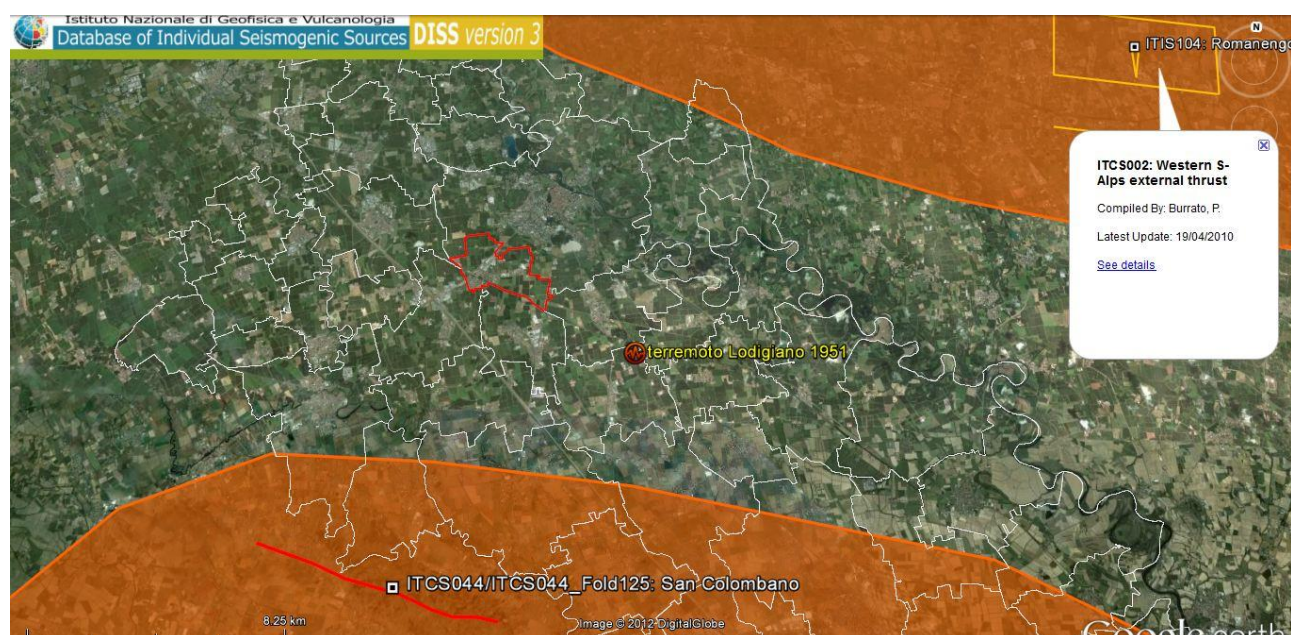
Il contributo massimo è dato da sismi posti tra 20 e 40 Km e di magnitudo da 4.5 a 5.0. La magnitudo **media** prevista con probabilità di superamento del 10 % in 50 anni è di $M = 4,93$


Si denota che la pericolosità sismica in questa più recente elaborazione è incrementata di circa il 44 % 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.

9.2 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 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://diss.rm.ingv.it/diss/>.





DISS 3.1.1: Seismogenic Source ITCS044 - Portalbera-Cremona

[Source Info Summary](#)

[Commentary](#)

[References](#)

[Pictures](#)

General information

Code	ITCS044		
Name	Portalbera-Cremona		
Compiled By	Burrato, P., and S. Mariano		
Latest Update	06/09/2007		


Parametric information

	Parameter	Qual.	Evidence
Min Depth (km)	2	OD	Based on geological data from various authors.
Max Depth (km)	7	OD	Based on geological data from various authors.
Strike (deg)	30 - 115	OD	Based on geological data from various authors.
Dip (deg)	20 - 40	OD	Based on geological data from various authors.
Rake (deg)	80 - 100	EJ	Inferred from geological data.
Slip Rate (mm/y)	0.1 - 0.5	EJ	Derived from geological data concerning adjacent structures.
Max Magnitude (Mw)	5.5	EJ	Assumed from regional seismological data.

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
125	Fold	San Colombano	Toscani et al. [2006]



DISS 3.1.1: Seismogenic Source ITCS002 - Western S-Alps external thrust

Source Info Summary

Commentary

References

Pictures

General information

Code

ITCS002

Name

Western S-Alps external thrust

Compiled By

Burrato, P.

Latest Update

19/04/2010

Parametric information

	Parameter	Qual.	Evidence
Min Depth (km)	2	OD	Based on geological and geophysical data from various authors.
Max Depth (km)	9	OD	Based on geological and geophysical data from various authors.
Strike (deg)	230 - 340	OD	Based on geological data from various authors.
Dip (deg)	25 - 40	OD	Based on geological data from various authors.
Rake (deg)	80 - 100	EJ	Inferred from geological data.
Slip Rate (mm/y)	0.1 - 0.5	EJ	Derived from geological data concerning adjacent structures.
Max Magnitude (Mw)	6.1	OD	Based on the strongest earthquake occurred in the region.

Q-keys:

LD = Literature Data; OD = Original Data; ER = Empirical Relationship; AR = Analytical Relationship; EJ = Expert Judgement

Figura 34: sintesi delle informazioni sulle strutture sismogenetiche (aree arancioni) prossime a Cornigliano Laudense. 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, 8,2 Km a SW del municipio di Cornegliano Laudense, mentre circa 10 km a NE, in prossimità del confine con il Cremonasco, 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 $M_e = 5,6$.

Altre elaborazioni concernenti la pericolosità sismica del territorio sono fornite dalla cartografia del progetto ITHACA (*ITaly HAzard from Capable faults*) sviluppato dal Servizio Geologico d'Italia - ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e Ricerca Ambientale), rivolto in particolare all'individuazione delle **faglie capaci**, definite come faglie che potenzialmente possono creare deformazione in superficie.

Gli autori definiscono il database delle faglie capaci come "*strumento fondamentale per: a) analisi di pericolosità ambientale e sismica, b) comprensione dell'evoluzione recente del paesaggio, c) pianificazione territoriale e d) gestione delle emergenze di Protezione Civile.*".

Nello stralcio della documentazione riportata in Figura 35 si evidenzia la presenza di due faglie disposte circa in direzione W – E che tagliano longitudinalmente l'intero territorio comunale nella sua parte mediana. La prima s'individua lungo la congiungente tra la località C.na Fabia, dove inizia, e la C.na Belvedere, estendendosi prima verso sud est, poi verso est fino a terminare nei pressi dell'Adda a Turano Lodigiano (circa 16 km in totale).

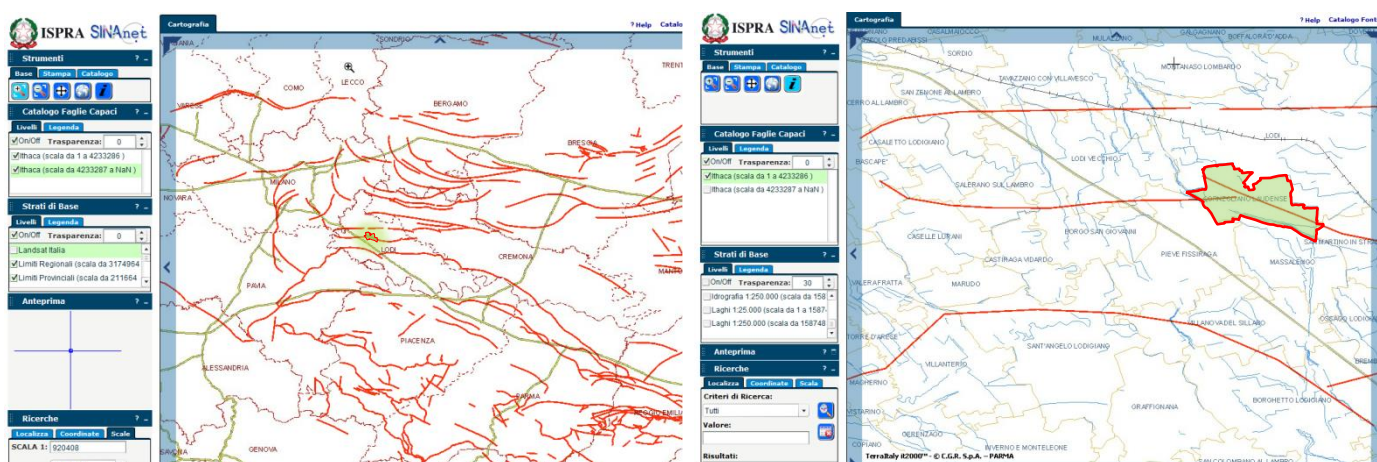


Figura 35: visione a piccola scala e in dettaglio della posizione delle faglie capaci indicate nel database di ITHACA, dal sito <http://www.isprambiente.gov.it/site/it-it/Progetti/ITHACA - Catalogo delle faglie capaci/>

La seconda è disposta esclusivamente W-E e inizia circa dalla metà di via Lombardia / via Codognino per proseguire verso ovest per circa 12 Km fino al confine con la provincia di Pavia.

Non appare ragionevole in questa fase attribuire all'argomento uno specifico peso nell'ambito della previsione urbanistica, non essendo noti allo scrivente il grado di affidabilità e la precisione planimetrica delle previsioni formulate nel documento tecnico sopra citato, ancora in fase di perfezionamento come chiaramente dichiarato dagli autori. Nondimeno la fonte è **autorevole**¹⁹ e la problematica è potenzialmente molto rilevante sia per le questioni di sicurezza sismica sia per i riflessi economici sul territorio e conseguentemente si rimanda ogni valutazione allo sviluppo di adeguati approfondimenti con l'ente sopra citato e con gli enti locali sovraordinati.

La storia sismica di Cornegliano Laudense non è nota direttamente perché i cataloghi macrosismici 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									
Effetti	In occasione del terremoto:								
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		FABRIANESE	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				FRANCIACORTA	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		LECCESE	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 macrosismica 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

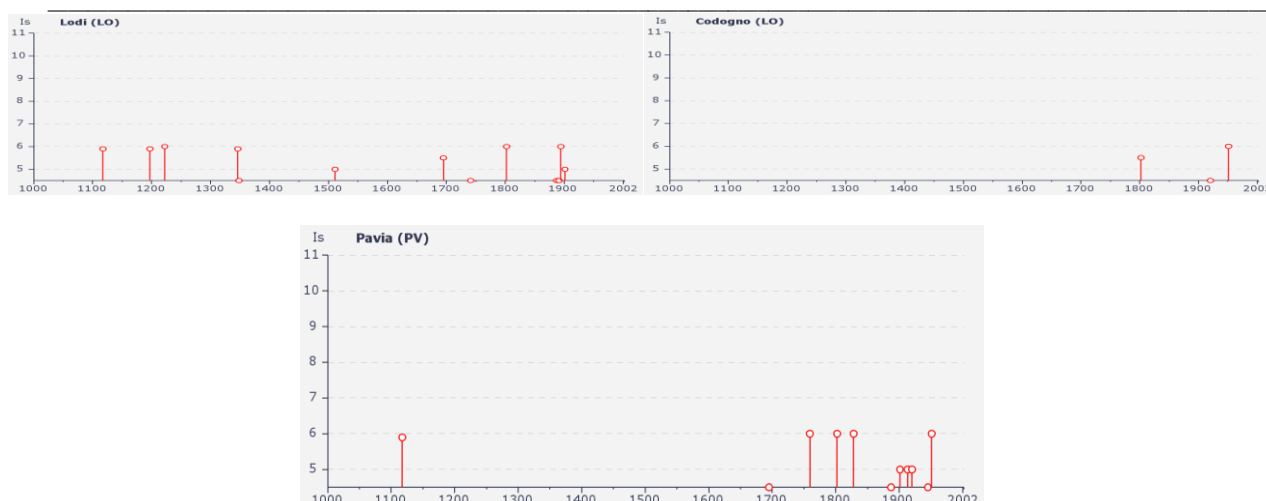
Mw = magnitudine momento nell'area epicentrale

Da : Stucchi et alii. (2007). DBMI04, il database delle osservazioni macrosismiche 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									
Effetti	In occasione del terremoto:								
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

¹⁹ Nella presentazione dell'ante si precisa che : L'ISPRA svolge le funzioni ...dell'Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici ...dell'Istituto Nazionale per la Fauna Selvatica...e dell'Istituto Centrale per la Ricerca scientifica e tecnologica Applicata al Mare....



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°* $I_o = 6-7$ **$M_w = 5.24$**) e **6,7 Km ad SE** di Cornegliano Laudense. Si evidenzia che questo terremoto non fa parte della storia sismica di Lodi, mentre sono segnalati risentimenti con intensità macrosismica $I_s = 6$ nelle province confinanti, e con intensità 5 per un vasto intorno, nel quadrilatero compreso tra Salò, Varese, Alessandria e Modena²⁰.

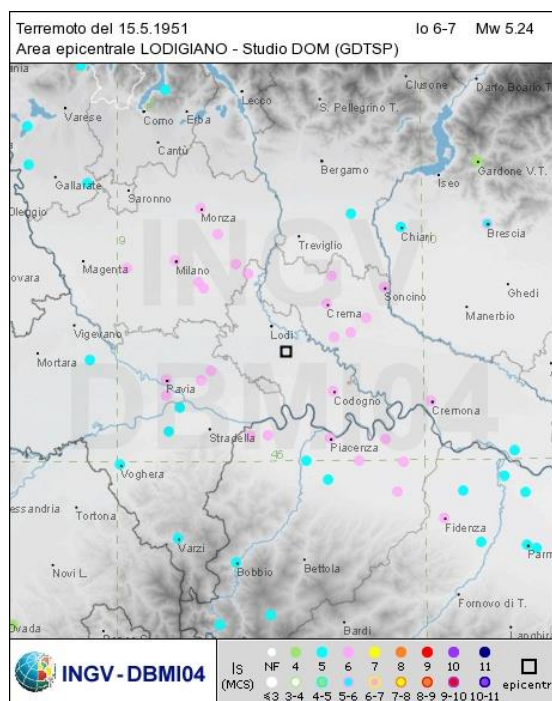


Figura 36: risentimenti sismici in occasione del terremoto “Lodigiano” del 1951.

²⁰ 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.

9.3 INDAGINI SIMICHE - PARAMETRI GEOFISICI E CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

9.3.1 Aspetti generali

Per definire il profilo delle onde di taglio Vs e la categoria di sottosuolo ai sensi delle Tabelle 3.2.II e 3.2.III delle NTC 2008 mediante il calcolo di Vs₃₀, è stata eseguita un'**indagine sismica mediante i metodi MASW** (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) e **Re.Mi** (*Refraction Microtremor*) realizzando **due stendimenti** rappresentati nella planimetria di Figura 37 (che prendono il nome dagli ambiti di trasformazione nei quali sono stati effettuati), dove è riportata anche la posizione di **due analoghe prove** eseguite in precedenza.

La prima è stata eseguita a maggio 2009 per il progetto della nuova sede delle poste e i relativi documenti sono stati forniti sia dall'U.T. comunale (prova Re.Mi.) sia dal dott. Alberto Lepori che ha eseguito e interpretato una prova MASW non contenuta nei documenti comunali.

La seconda è stata gentilmente messa a disposizione dal Dott. Emanuela Emani ed è stata eseguita per la progettazione di un intervento residenziale nell'area ATR 2.

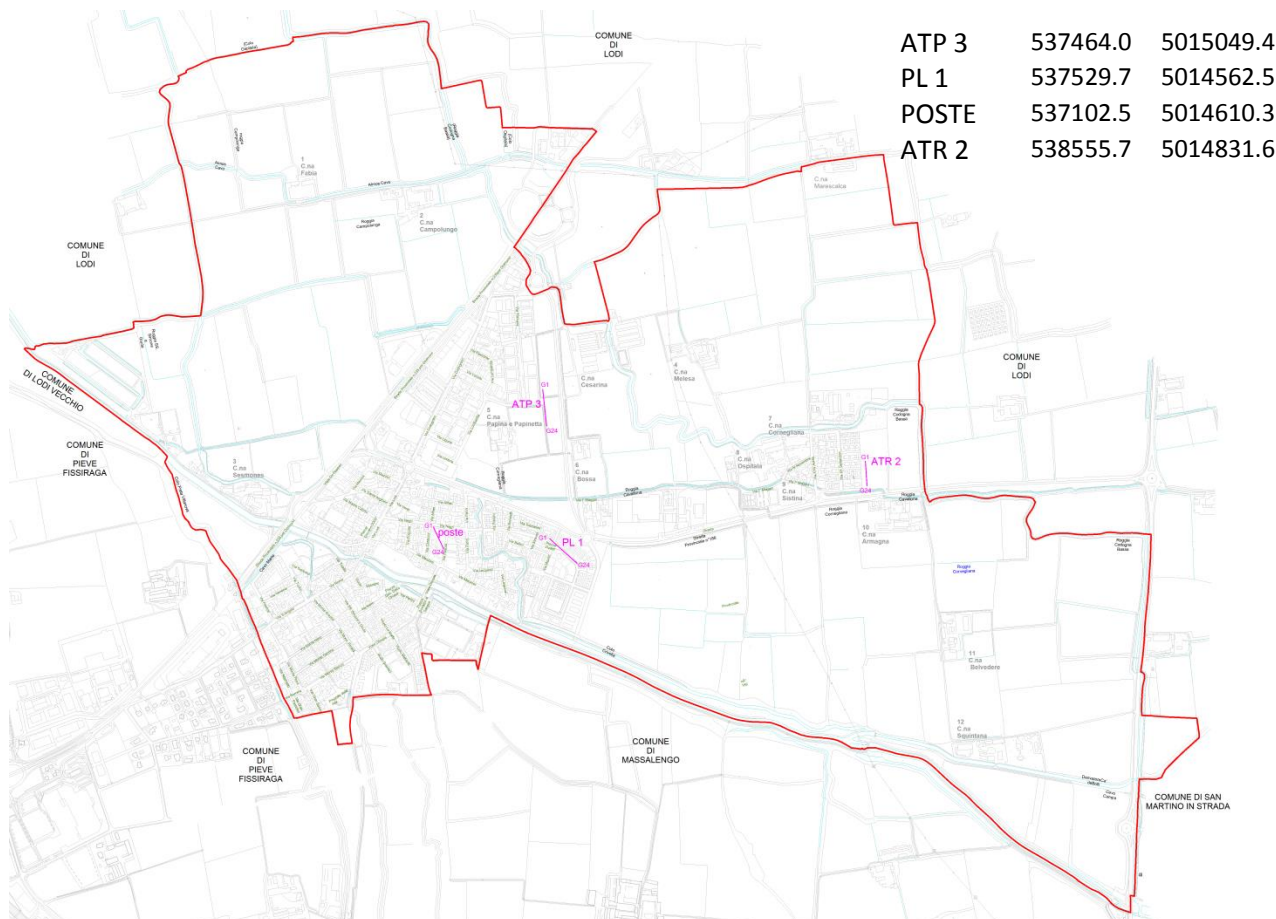


Figura 37: ubicazione degli stendimenti sismici e coordinate dei centri delle stese nel sistema WGS84.

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) slow-ness-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 rigidità 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.

9.3.2 Modalità esecutive delle indagini sismiche

La strumentazione impiegata (ad esclusione della MASW dell'ambito ATR 2) 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). L'ampia banda d'ingresso (1.75 Hz – 20 kHz, con velocità di campionamento da 0.02 msec a 16 msec), consente allo strumento di essere utilizzabile per varie 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 (V_s). Il risultato finale consiste quindi nella rappresentazione grafica del profilo di velocità e nel calcolo della relativa V_{s30} .

Per la tecnica **MASW** si è impiegato lo stesso stendimento della prova "Re.Mi.", costituito da un allineamento di 24 geofoni spazati 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 V_s , modificando opportunamente lo spessore h , le velocità delle onde di taglio V_s e di compressione V_p (o in maniera alternativa alle velocità V_p è possibile assegnare il coefficiente di Poisson), la densità di massa degli strati che costituiscono il

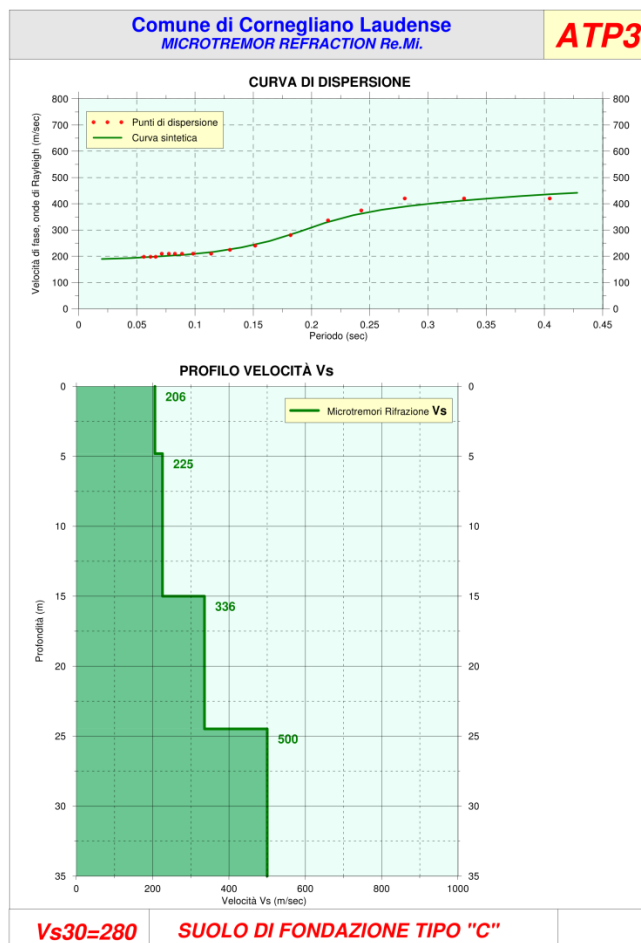
modello del suolo, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale e la velocità di fase numerica corrispondente al modello di velocità assegnato.

9.3.3 Risultati delle indagini sismiche

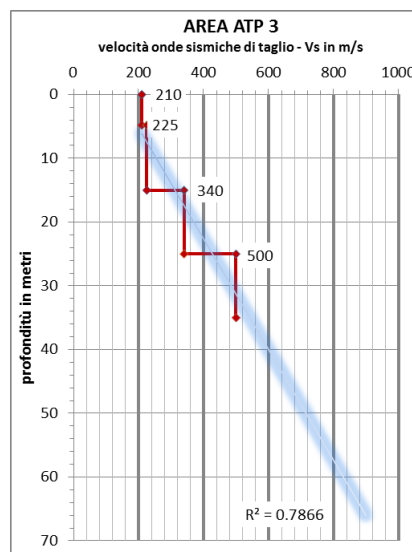
AREA ATP 3



Prova ATP3-ReMi		Prova ATP3-MASW	
prof.(m)	Vs	prof.(m)	Vs
0	210	--	--
4.8	210		
4.8	225		
15.0	225		
15.0	340		
25.0	340		
25.0	500		
35.0	500		



La prova nell'area ATP 3 con metodo MASW è stata eseguita e interpretata ma non è qui restituita per la mancanza di chiarezza del segnale



Non si osservano inversioni di velocità e l'incremento con la profondità è graduale denotando una sostanziale uniformità stratigrafica. Un moderato contrasto di impedenza si rileva intorno alla profondità di 25 metri denotando un possibile passaggio a litologie

sabbioso ghiaioso che si osservano nelle stratigrafie dei pozzi pubblici presenti in territorio di Piave Fissiraga e negli altri pozzi riferiti nella tavola 2B a circa 20 metri di profondità.

L'estrapolazione lineare dei dati estesa in profondità (grafico a destra) porta a stimare il bedrock sismico ($v_s = 800$ m/s) alla profondità di circa **58 metri**.

La **V_{s30}** calcolata come richiesto dalle NTC '08 con la relazione $V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_i}}$

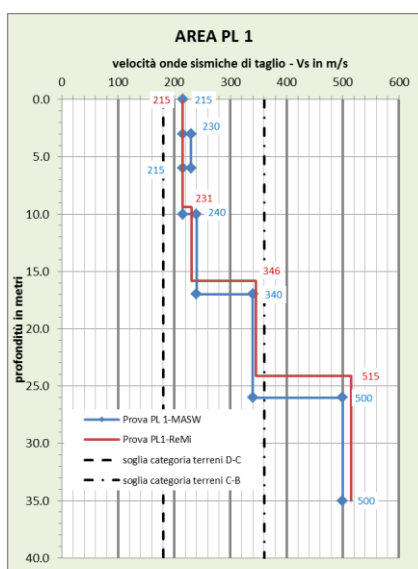
è di **280 m/s** se valutata dalla superficie topografica. Se si considerano ipotesi di fondazioni a -2,0 e a -4 metri, le V_{s30} divengono rispettivamente **294 m/s** e **311 m/s**.

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 $V_{s,30}$ 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).

AREA PL 1

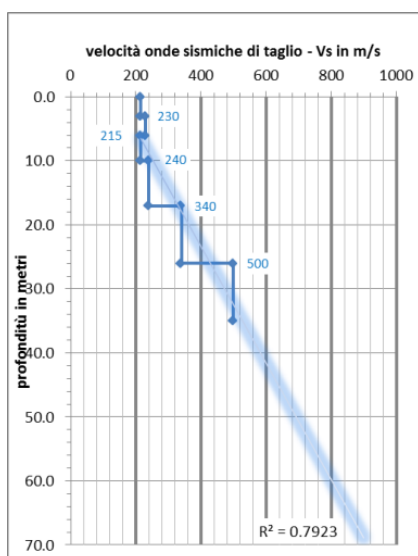
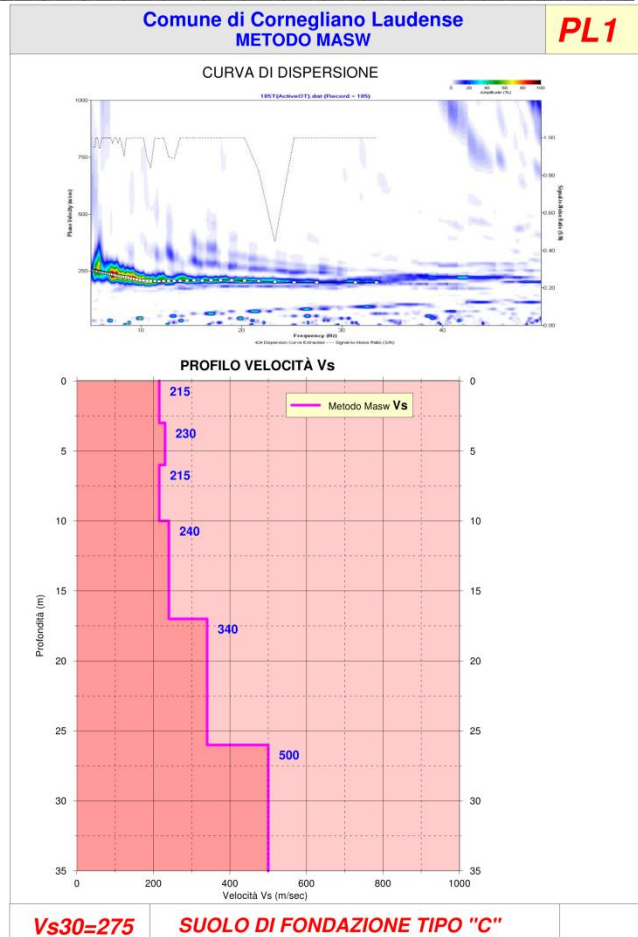
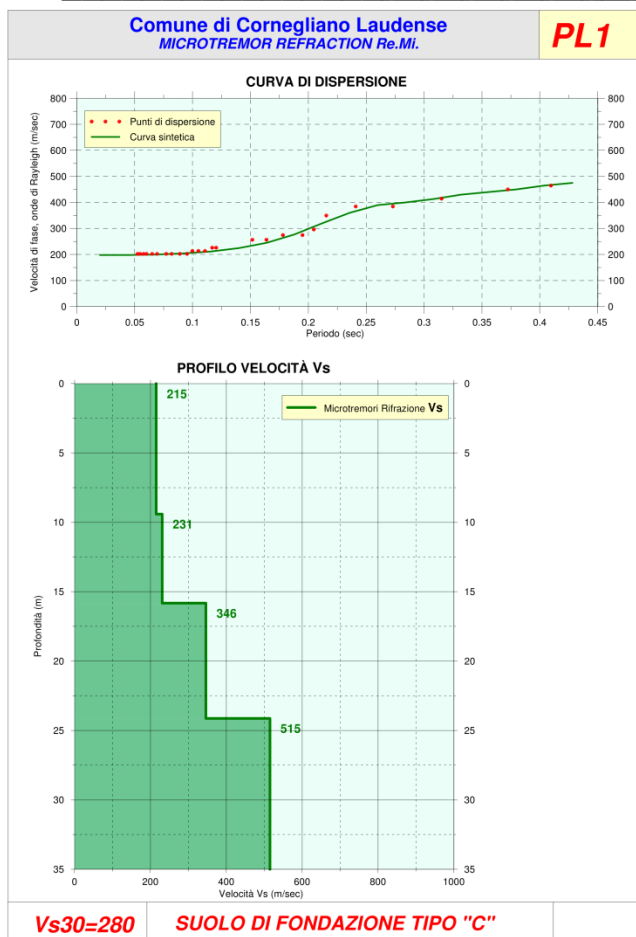


Prova PL 1-ReMi		Prova PL1-MASW	
prof.(m)	Vs	prof.(m)	Vs
0	215	0.0	215
9.4	215	3.0	215
9.4	231	3.0	230
15.8	231	6.0	230
15.8	346	6.0	215
24.1	346	10.0	215
24.1	515	10.0	240
35.0	515	17.0	240
		17.0	340
		26.0	340
		26.0	500
		35.0	500



I valori di Vs determinati dall'interpretazione sono tra loro ben comparabili (v. figura a destra), e rilevano una modesta inversione di velocità tra i -6 e i -10 metri nei dati MASW probabilmente connessa a depositi sabbiosi con una maggiore frequenza di frazione limosa.

Anche in questo caso si osserva un contrasto apprezzabile a circa 25 metri di profondità, che come nel caso precedente è associabile ad una transizione a depositi di granulometria più grossolana.



L'estrapolazione lineare dei dati MASW estesa in profondità (grafico a sinistra) porta a stimare il bedrock sismico ($v_s = 800$ m/s) alla profondità di circa **60 metri**.

Le **Vs30** sono rispettivamente di **280 m/s** per la prova Re.Mi. e di **275 m/s** per la MASW se valutate dalla superficie topografica.

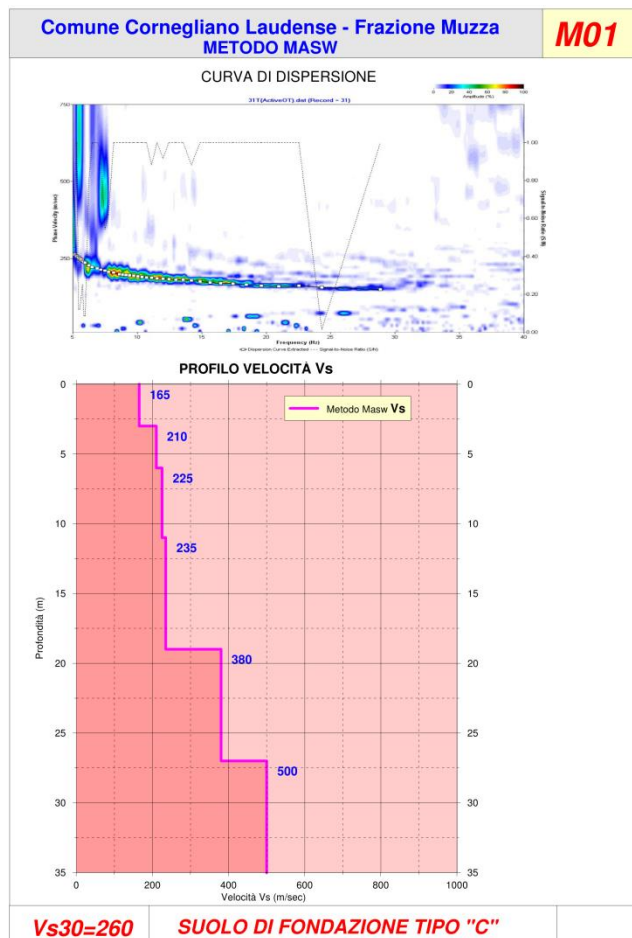
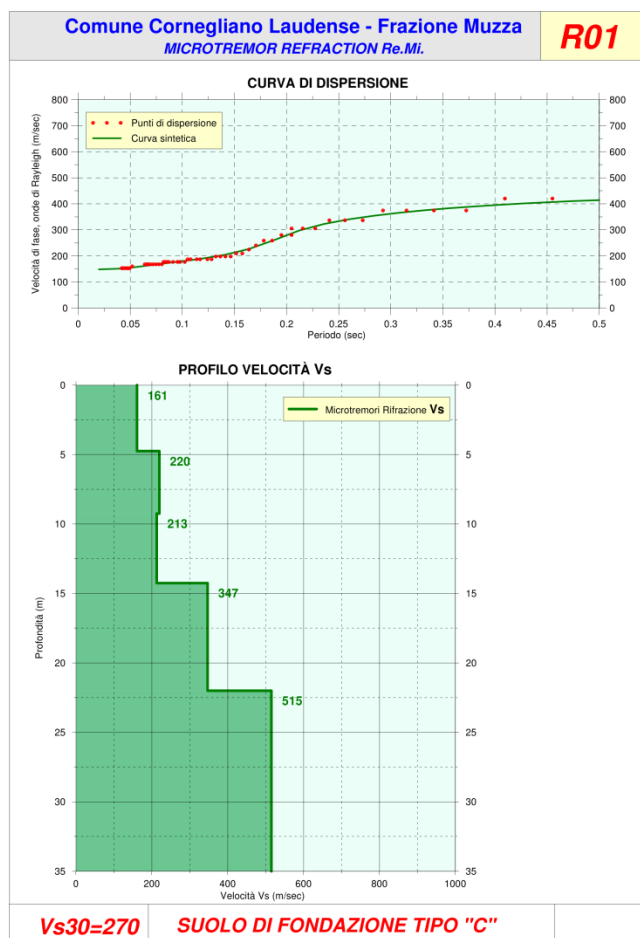
Se si considerano ipotesi di fondazioni a maggiore profondità le Vs30 divengono rispettivamente **296 m/s** e **289 m/s** con fondazioni a -2,0 metri e **312 m/s** e **303 m/s** con fondazioni a -4,0 metri.

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

edificio POSTALE

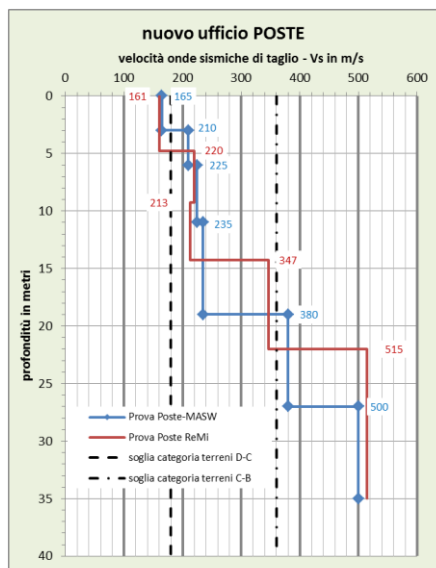


Prova POSTE-ReMi		Prova POSTE-MASW	
prof.(m)	Vs	prof.(m)	Vs
0	161	0	165
4.8	161	3	165
4.8	220	3	210
9.3	220	6	210
9.3	213	6	225
14.3	213	11	225
14.3	347	11	235
22.0	347	19	235
22.0	515	19	380
35.0	515	27	380
		27	500
		35	500



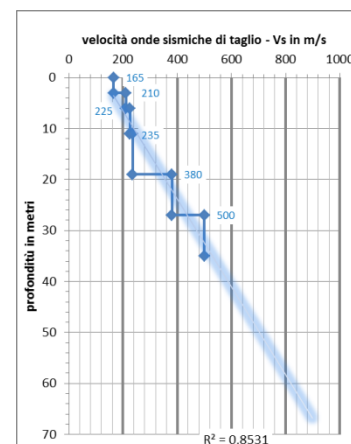
I valori di Vs determinati dall'interpretazione sono tra loro ben comparabili nei primi 15 metri, mentre oltre tale quota l'interpretazione colloca le transizioni verso gli strati sabbioso ghiaiosi a profondità di circa 15 metri nella prova ReMi e a profondità maggiori di circa 5 metri nella prova MASW.

Nel complesso comunque il profilo è del tutto analogo a quello illustrato nelle prove riferite in precedenza, ubicate rispettivamente 550 m a NE e 400 m ad est.



L'estrapolazione lineare dei dati della prova MASW estesa in profondità (v. grafico in basso a destra) porta a stimare il bedrock sismico ($v_s = 800$ m/s) alla profondità di **58 metri**.

Operando l'analoga interpolazione con i dati Re.Mi la profondità che si ottiene è di circa **48 metri**, valore che appare lievemente in contrasto con quello derivato da tutte le altre prove.



Le **V_{s30}** sono rispettivamente di **270 m/s** per la prova Re.Mi. e di **260 m/s** per la MASW se valutate dalla superficie topografica. Se si considerano ipotesi di fondazioni a maggiore profondità le V_{s30} divengono rispettivamente **291 m/s** e **279 m/s** con fondazioni a -2,0 metri e **318 m/s** e **297 m/s** con fondazioni a -4,0 metri.

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

Area ATR 2

Prova ATR 2-MASW combinata

prof.(m)	Vs
0	128
1.4	128
1.4	163
2.3	163
2.3	197
3.5	197
3.5	166
5.0	166
5.0	227
6.8	227
6.8	210
9.2	210
9.2	282
12.0	282
12.0	315
15.7	315
15.7	373

L'esito della prova, come detto, è stato gentilmente fornito dal collega dott. Emanuele Emami e la prova è stata eseguita dalla società *Signa srl* di Codogno.



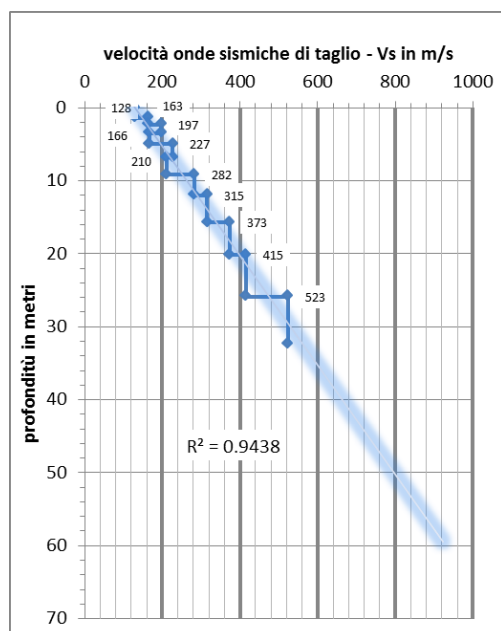
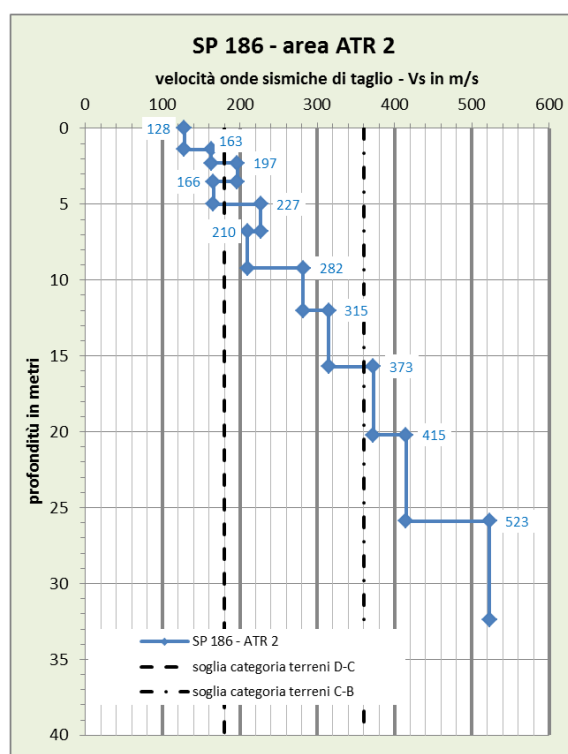
Sia la strumentazione

che la tecnica impiegata sono sostanzialmente le stesse utilizzate per le prove illustrate in precedenza, con la differenza che l'intervallo tra i geofoni è stato posto pari a 2 metri e che l'energizzazione è stata effettuata con un fucile sismico invece che con una percussione mediante mazza.

In fase interpretativa invece i due metodi, elaborati in fasi separate, sono stati successivamente combinati in modo da ottenere uno spettro unico sul quale si è operato per individuare il profilo di Vs.

Il risultato ottenuto è qui riferito con alcune semplificazioni degli strati più superficiali e l'eliminazione dei decimali riportati nel documento originario.

Si osservano valori di velocità nei primi 5 metri un poco inferiori a quelli individuati nelle precedenti prove, con una chiara inversione tra -3,5 e -5 metri che può essere attribuita a uno



strato limo sabbioso o limo argilloso.

A maggiore profondità il profilo presenta un incremento graduale dei valori di Vs che rispecchia quello determinato nelle prove precedentemente illustrate, rilevando un apprezzabile contrasto di impedenza intorno -25 metri con valori del deposito inferiore superiori ai 500 m/s.

La concordanza dei risultati, ottenuti da differenti operatori sembra attestare sia l'affidabilità del metodo sia la continuità laterale dei depositi presenti nel territorio.

La $V_{s,30}$ calcolata dalla superficie è di **282 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**.

Se si considerano ipotesi di fondazioni a maggiore profondità le V_{s30} divengono rispettivamente **314 m/s** e **340 m/s** con fondazioni a -2,0 metri e a -4,0 metri.

In questo caso l'estrapolazione lineare dei dati estesa in profondità porta a stimare il bedrock sismico ($v_s = 800$ m/s) a profondità di circa 50 m dalla superficie (v. grafico a fianco).

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 **259 e 281 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 $V_{s,30}$, illustrato in Figura 38, che comunque restano nell'ambito della categoria C.

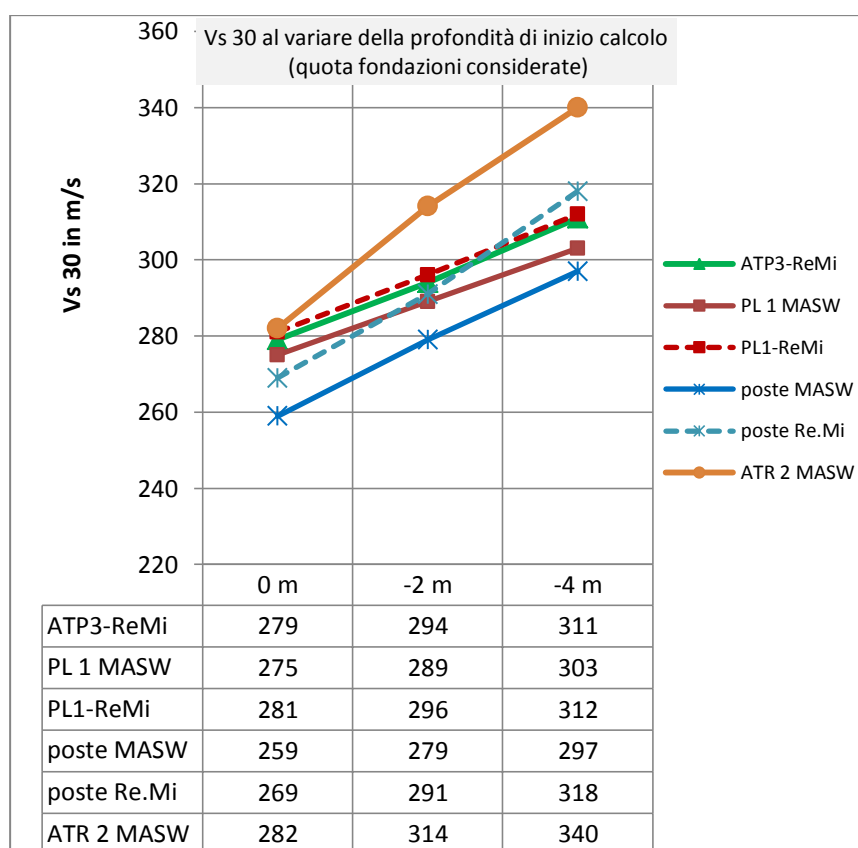


Figura 38: sintesi dei risultati dei calcoli delle V_{s30} considerate a partire da varie profondità

Il **substrato rigido**, definito da terreni caratterizzati da $V_s \geq 800$ m/s, si può ipotizzare a profondità indicate nella tabella a fianco. Considerando la grossolanità del metodo di stima e l'uniformità ottenuta, non è parso utile fornire una rappresentazione planimetrica dei valori.

Prova	PROFONDITA BEDROCK (m)
ATP 3	58
PL 1	60
POSTE	58 (48 con ReMi)
ATR 2	50

9.3.4 Analisi sismica di 2° livello

L'analisi di 2° livello comporta una valutazione semi quantitativa degli effetti di amplificazione litologica, espressa dal *Fattore di Amplificazione F_a* , e confronto con i valori di riferimento secondo una procedura approntata dal Politecnico di Milano riferita nell'allegato 5 della citata dgr 8/7374 del 28 maggio 2008. In generale la metodologia fa riferimento a una sismicità di base caratterizzata da un periodo di ritorno di 475 anni (probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni) ma può essere attuata considerando altri periodi di ritorno.

La procedura in sintesi può essere descritta come segue:

Dai dati litologici, geotecnici e dall'andamento in profondità delle Vs, ottenuta nel nostro caso mediante le MASW, s'individua la litologia prevalente del sito e conseguentemente la scheda di riferimento.

Esistono 6 tipi di schede litologiche:

- *scheda per le litologie prevalentemente ghiaiose;*
- *scheda per le litologie prevalentemente limoso-argillose (tipo 1 e tipo 2)*
- *scheda per le litologie prevalentemente limoso-sabbiose (tipo 1 e tipo 2)*
- **scheda per le litologie sabbiose**

Nel nostro caso si fa direttamente riferimento all'ultima scheda appositamente costruita per le zona di pianura e che è conforme alla litologia individuata, come risulta dai "*parametri indicativi*" che ne descrivono l'ambito di applicazione:

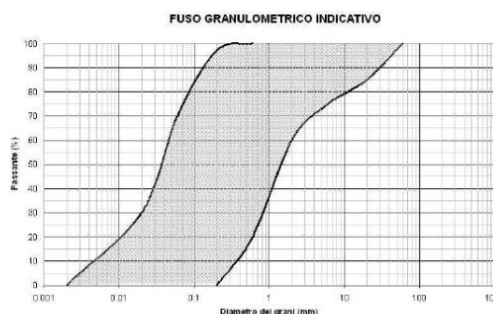
PARAMETRI INDICATIVI

GRANULOMETRIA:

Da sabbia con ghiaia e ciottoli a limo e sabbia passando per sabbie ghiaiose, sabbie limose, sabbie con limo e ghiaia, sabbie limose debolmente ghiaiose, sabbie ghiaiose debolmente limose e sabbie

NOTE:

Comportamento granulare
Struttura granulo-sostenuta
Clasti con $D_{max} > 20$ cm inferiori al 15%
Frazione ghiaiosa inferiore al 25%
Frazione limosa fino ad un massimo del 70%



Una volta individuata la scheda di riferimento è necessario verificarne la applicabilità al caso in esame controllando che il profilo dei valori di Vs con la profondità ottenuto nel sito ricada, almeno in gran parte, nel "*campo di validità*" della scheda stessa, ovvero nella porzione superiore destra del diagramma Vs /profondità della Figura 39.

I grafici mostrano che i valori di Vs misurati con le MASW rientrano quasi interamente nell'area di validità, terminando alla profondità di circa 40 metri. Per valutare il fattore di amplificazione F_a , il successivo passo è di individuare il periodo proprio del sito "**T**"²¹ calcolato

²¹ Nota: Una struttura non deve mai possedere una frequenza di risonanza uguale alla frequenza fondamentale di risonanza dei terreni di fondazione (doppia risonanza), al fine di minimizzare gli effetti di un evento sismico intenso. La "doppia risonanza", si traduce in un aumento considerevole

considerando tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità V_s è uguale o superiore a 800 m/s, utilizzando la seguente relazione:

$$T = \frac{4 \times \sum_{i=1}^n h_i}{\left(\frac{\sum_{i=1}^n V_{s_i} \times h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \right)}$$

dove al numeratore compare la distanza dalla superficie del substrato "rigido" (moltiplicata per quattro), che non essendo nota dall'indagine geofisica, deve essere individuata *"ipotizzando un opportuno gradiente di V_s con la profondità sulla base dei dati ottenuti dall'indagine, tale da raggiungere il valore di 800 m/s"*.

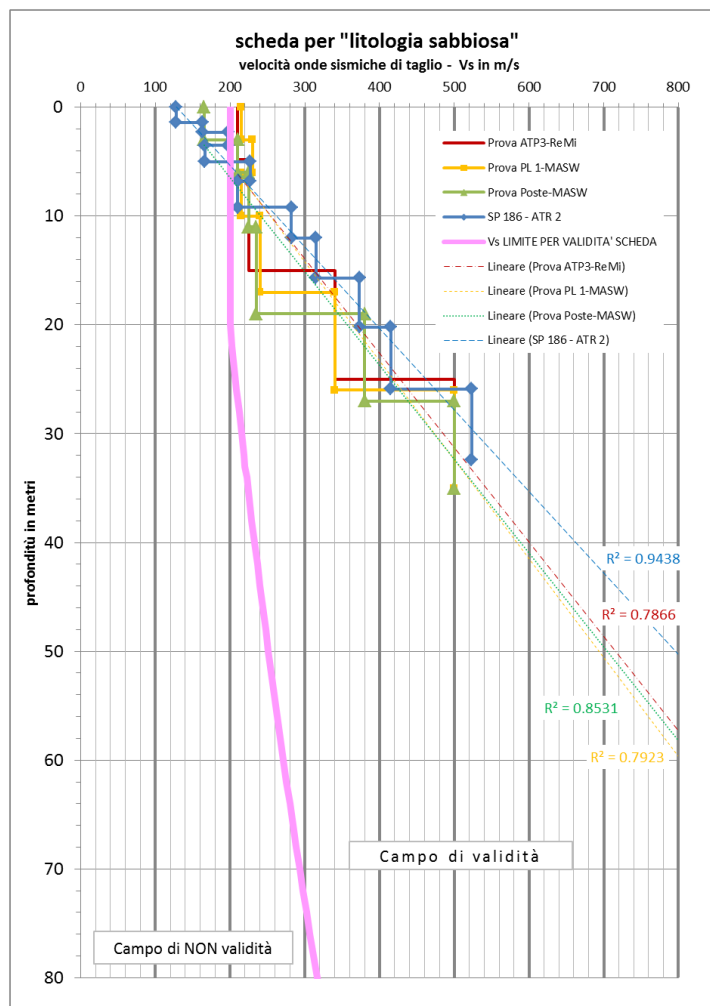


Figura 39: schema di controllo della coerenza dei profili sismici individuati e ipotesi sulla loro prosecuzione fino a $V_s = 800$ m/s.

I valori mancanti sono stati attribuiti aggiungendo all'ultima misura incrementi di V_s di 12-13 m/s al metro nelle prove Re.Mi ATP 3, MASW PL 1, MASW Poste e 18.6 m/s al metro nella MASW ATR 2. Si sono così costruite rette che allineano ai dati sperimentali presenti oltre la profondità di circa -35 metri e raggiungono la misura di 800 m/s alla profondità 58-60 metri ad esclusione della MASW ATR 2 dove la profondità è di 50 metri.

delle sollecitazioni agenti sull'edificio e quindi, del danno che quest'ultimo può subire con un forte sisma

Al denominatore della relazione di stima del periodo proprio "T", compare la velocità media ponderale. Il calcolo effettuato con le ipotesi precedentemente illustrate è riportato nella seguenti tabelle:

da	a	ATP3- ReMi	$V_{s_i} \cdot h_i$
0	4.8	210	1008
4.8	15.0	225	2300
15.0	25.0	340	3400
25.0	35.0	500	5000
35	40	565	2825
40	45	630	3150
45	50	695	3475
50	55	760	3800
55	58	800	2400
Σh_i	58	$\Sigma V_{s_i} \cdot h_i$	27358
$4 \cdot \Sigma h_i$	232	$/s_i \cdot h_i / \Sigma h_i$	472
periodo	T	0.49	secondi

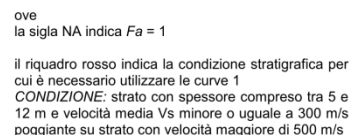
da	a	PL 1- Masw	$V_{s_i} \cdot h_i$
0	3.0	215	645
3.0	6.0	230	690
6.0	10.0	215	860
10.0	17.0	240	1680
17.0	26.0	340	3060
26.0	35.0	500	4500
35	40	560	2800
40	45	620	3100
45	50	680	3400
50	55	740	3700
55	60	800	4000
Σh_i	60	$\Sigma V_{s_i} \cdot h_i$	28435
$4 \cdot \Sigma h_i$	240	$/s_i \cdot h_i / \Sigma h_i$	474
periodo	T	0.51	secondi

da	a	Poste - Masw	$V_{s_i} \cdot h_i$
0	3.0	165	495
3.0	6.0	210	630
6.0	11.0	225	1125
11.0	19.0	235	1880
19.0	27.0	380	3040
27.0	35.0	500	4000
35	40	565	2825
40	45	630	3150
45	50	695	3475
50	55	760	3800
55	58	800	2400
Σh_i	58	$\Sigma V_{s_i} \cdot h_i$	26820
$4 \cdot \Sigma h_i$	232	$/s_i \cdot h_i / \Sigma h_i$	462
periodo	T	0.50	secondi

da	a	ATR 2 - Masw	$V_{s_i} \cdot h_i$
0	1.4	128	179
1.4	2.3	163	147
2.3	3.5	197	236
3.5	5.0	166	249
5.0	6.8	227	409
6.8	9.2	210	504
9.2	12.0	282	790
12.0	15.7	315	1166
15.7	20.2	373	1679
20.2	25.9	415	2366
25.9	32.4	523	3400
35	40	616	3080
40	45	709	3545
45	50	802	4010
Σh_i	50	$\Sigma V_{s_i} \cdot h_i$	21758
$4 \cdot \Sigma h_i$	200	$/s_i \cdot h_i / \Sigma h_i$	435
periodo	T	0.46	secondi

Tabella 3: calcolo del periodo proprio dei terreni di fondazione. In colore verde i valori assunti in ipotesi per determinare le V_s fino a 800 m/s.

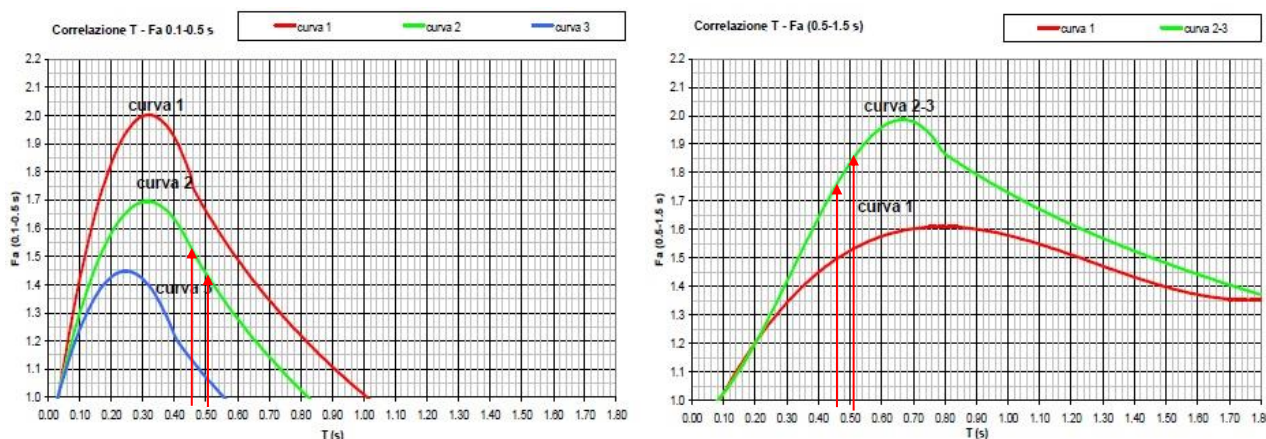
Ottenuto il periodo proprio del terreno di fondazione, sostanzialmente uniforme in tutto il territorio, il passo successivo è quello di operare una selezione entro una matrice presente nella scheda di valutazione che in funzione della profondità e della velocità V_s dello strato superficiale, consente di individuare quale curva utilizzare per la valutazione del valore di **Fa**.



litologica, con indicazione del tipo di curva individuata per il caso specifico.

Il rettangolo rosso che contorna alcune caselle nella matrice è presente nella grafica primaria del documento e si riferisce ad una condizione estranea a quella del sito in esame, riportata nel riquadro destro della Tabella 4.

Definita nella scheda in esame la curva di riferimento da adottare, il valore del fattore di moltiplicazione F_a s'individua dall'intersezione dell'ordinata passante per i periodi propri T precedentemente determinati ($T = 0.46 - 0.51$ s. v Tabella 3) con la curva stessa.



0: curve che identificano le variazioni del fattore di amplificazione in funzione del periodo proprio del terreno. Le frecce rosse identificano i valori massimi e minimi dei periodi propri di risonanza dei terreni.

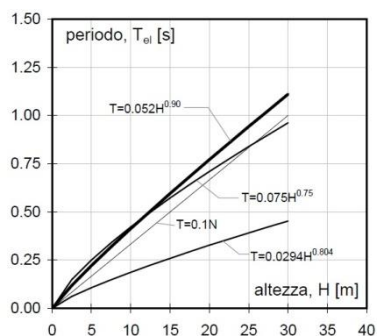


Figura 1. Comparazione delle principali formulazione periodo-altezza di letteratura

Le curve disponibili per tale valutazione sono riferite a due intervalli di periodo, di 0.1-0.5 s e di 0.5-1.5 s. Il primo intervallo si riferisce a edifici relativamente bassi e rigidi, indicativamente formati da strutture elevate da 1 a 4 piani (da 3 a 12 metri), il secondo a edifici alti e flessibili, indicativamente formate da strutture elevate da 5 a 15 piani (da 15 a 45 metri).

Per esemplificare il significato dei due intervalli prescelti la figura sopra riportata fornisce alcune relazioni di massima tra altezza degli edifici e periodo fondamentale di vibrazione, tratta da "Il periodo nella valutazione sismica di edifici esistenti in c.a." G.M. Verderame, I. Iervolino, C. Mariniello e G. Manfredi *Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Università degli Studi di Napoli Federico II - Linea 2 del progetto triennale, 2005/2008, ReLUIs - Dipartimento della Protezione Civile.*

L'uso dei grafici di Figura 40 consente di individuare i seguenti intervalli di valori :

$Fa_{0.1-0.5}$ = da 1.52 a 1,43 approssimati come richiesto dalla procedura **$Fa_{0.1-0.5} = 1,5$ e $1,4$**

$Fa_{0.5-1.5}$ = da 1,75 a 1.86, approssimati come richiesto dalla procedura a **$Fa_{0.5-1.5} = 1,7$ e $1,9$**

L'ultimo passo necessario a completare la verifica si realizza confrontando il valore di Fa ottenuto dall'applicazione delle schede di valutazione con un parametro di analogo significato calcolato **per ciascun comune e per le diverse categorie di suolo** (B, C, D ed E delle Norme Tecniche per le Costruzioni) soggetto ad amplificazioni litologiche e per i due intervalli di periodo 0.1-0.5 s e 0.5-1.5 s.

Il parametro calcolato è riportato nel file **soglie_lombardia.xls** disponibile nel sito della Direzione Generale Territorio e Urbanistica della regione Lombardia (difesa del territorio → Componente geologica a scala comunale), contiene per ciascun Comune della Regione Lombardia i valori massimi del fattore di amplificazione sismica (Fa) per ogni categoria di sottosuolo che rappresenta il valore di soglia oltre il quale lo spettro proposto dalla normativa risulta insufficiente a tenere in considerazione la reale amplificazione presente nel sito.

I valori relativi a Cornegliano Laudense sono riportati nella seguente tabella, dove è evidenziato il caso dei suoli di **categoria C** (Tabella 3.2.II NTC '08), che sono quelli individuati come tali in tutte le prove sismiche:

COMUNE	INTERVALLO di periodo (s)	Valori soglia dell'amplificazione (Fa) per categoria di suolo			
		B	C	D	E
Cornegliano	0.1 - 0.5	1.4	1.8	2.2	1.9
Laudense	0.5 - 1.5	1.7	2.4	4.1	3.0

Tabella 5: valori di soglia del fattore di amplificazione Fa per il comune di Cornegliano Laudense (verificate ad aprile 2012)

Poiché i valori di amplificazione litologica locale ottenuti dalla verifica di secondo livello (Fa_{locale}) sono inferiori a quelli di soglia:

$$Fa_{\text{locale } 0.1-0.5} = 1,5 < 1,8 \text{ (soglia NTC '08)} ; Fa_{\text{locale } 0.5-1.5} = 1,9 < 2,4 \text{ (soglia NTC '08)}$$

l'analisi termina con esito positivo e ciò significa che la normativa esistente ed il relativo spettro è sufficiente a tenere in considerazione gli effetti di amplificazione litologica specifici del sito in esame.

In caso contrario, ovvero se con la procedura semplificata di secondo livello si fossero ottenuti valori Fa superiori al valore di soglia corrispondente, sarebbe stato necessario, in fase di progettazione edilizia, effettuare analisi più approfondite (3° livello) o utilizzare lo spettro caratteristico della categoria di suolo superiore previsto dalle NTC '08, in questo caso della categoria "D".

9.4 STIMA V_{s30} CON METODI ALTERNATIVI

Un'interessante metodo stima dei valori di V_{s30} è disponibile sul sito dell'USGS all'indirizzo <http://earthquake.usgs.gov/hazards/apps/vs30/>, dove si propone l'applicazione di criteri di analisi differenti dalle misure dirette. In particolare è considerata l'esistenza di relazioni significative tra i gradienti topografici e le V_{s30} sulla base di sperimentazioni che hanno interessato vari siti degli Stati Uniti, l'Italia, Taiwan e l'Australia.

Senza entrare nel merito della tecnica, illustrata in vari articoli reperibili nel sito sopra riportato, si riferisce di seguito nella **Figura 41** l'elaborazione fornita dal database per l'area in esame, che oltre ad una rappresentazione grafica rende disponibili anche i dati puntuali dai quali è stata elaborata. Impiegando questi dati è stata predisposta la rappresentazione riportata nella parte inferiore della figura stessa.

Il territorio presenta valori $185 < V_{s30} < 205$ m/s, inferiori di circa il 30 % rispetto a quanto rilevato con le misure di superficie (v. Figura 38) ma conferma la collocazione colloca i terreni nella **categoria "C"** e l'uniformità su tutta la superficie comunale.

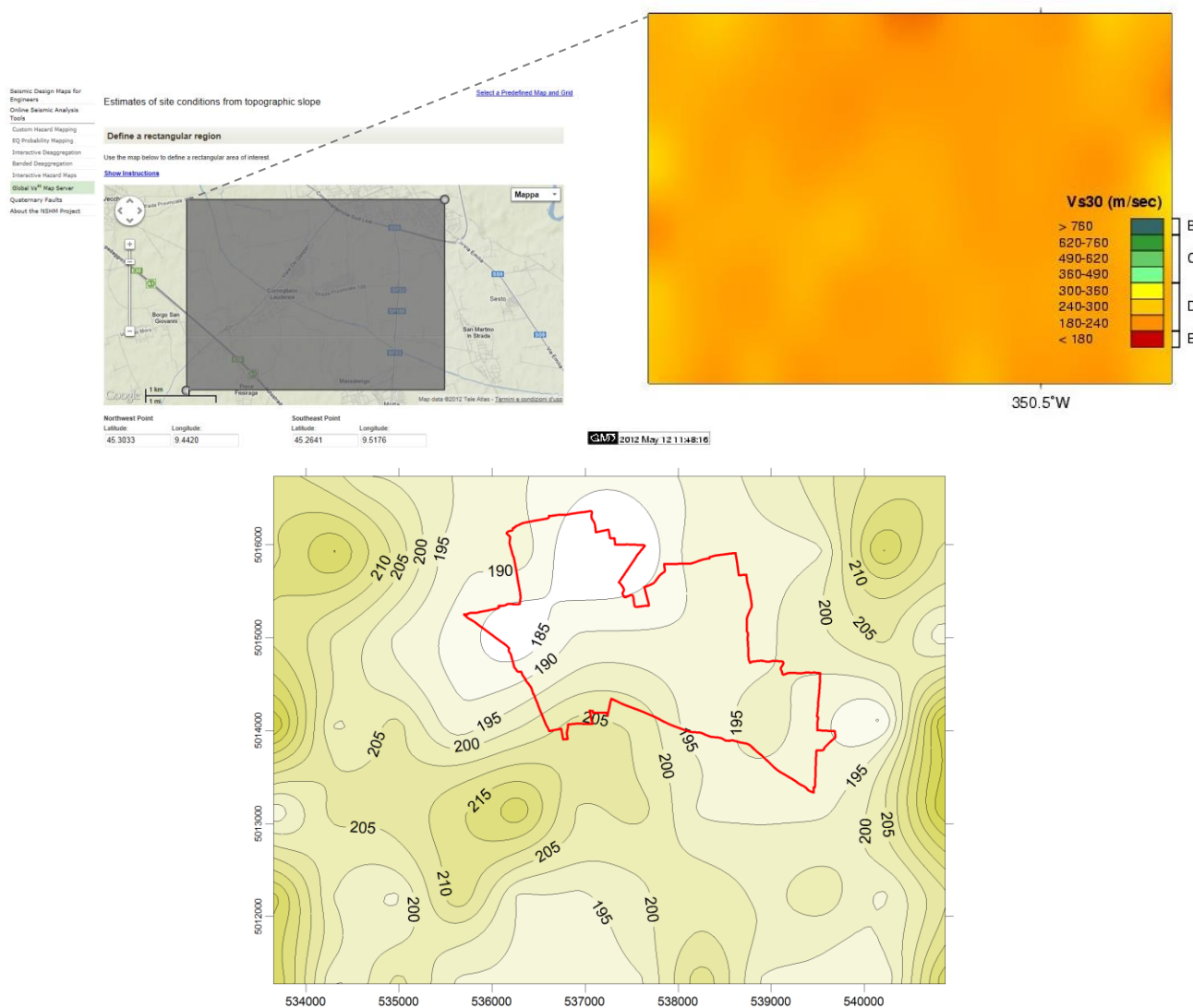


Figura 41: valori di V_s disponibili sul citato sito dell'USGS relativi al territorio tra Lodi e Sant'Angelo Lodigiano.

9.5 STIMA DEL RISCHIO DI LIQUEFAZIONE

La stima del RISCHIO DI LIQUEFAZIONE è stata elaborata mediante il metodo di **Robertson e Wride**²² impiegando il software **Cliq** ver.1.5.1.26 della GeoLogismiki Geotechnical Engineers realizzato in collaborazione con l'autore del metodo.

Per la verifica sono stati impiegati i dati dei profili ritenuti più rappresentativi per tale aspetto (CPT Tecnopali, CPT 2/8, CPT EE 2/2), introducendo per la magnitudo il valore di **M = 5,5** in base alle considerazioni riferite nel § 9.2, e per l'accelerazione massima al suolo **a_{max} = 0,13 g**, valore cautelativamente incrementato del 20% considerando che a_g = 0,072 g come indicato in Figura 32 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**; considerando il criterio cautelativo impiegato e la relativa uniformità dei profili penetrometrico osservati, 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.

²² 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.

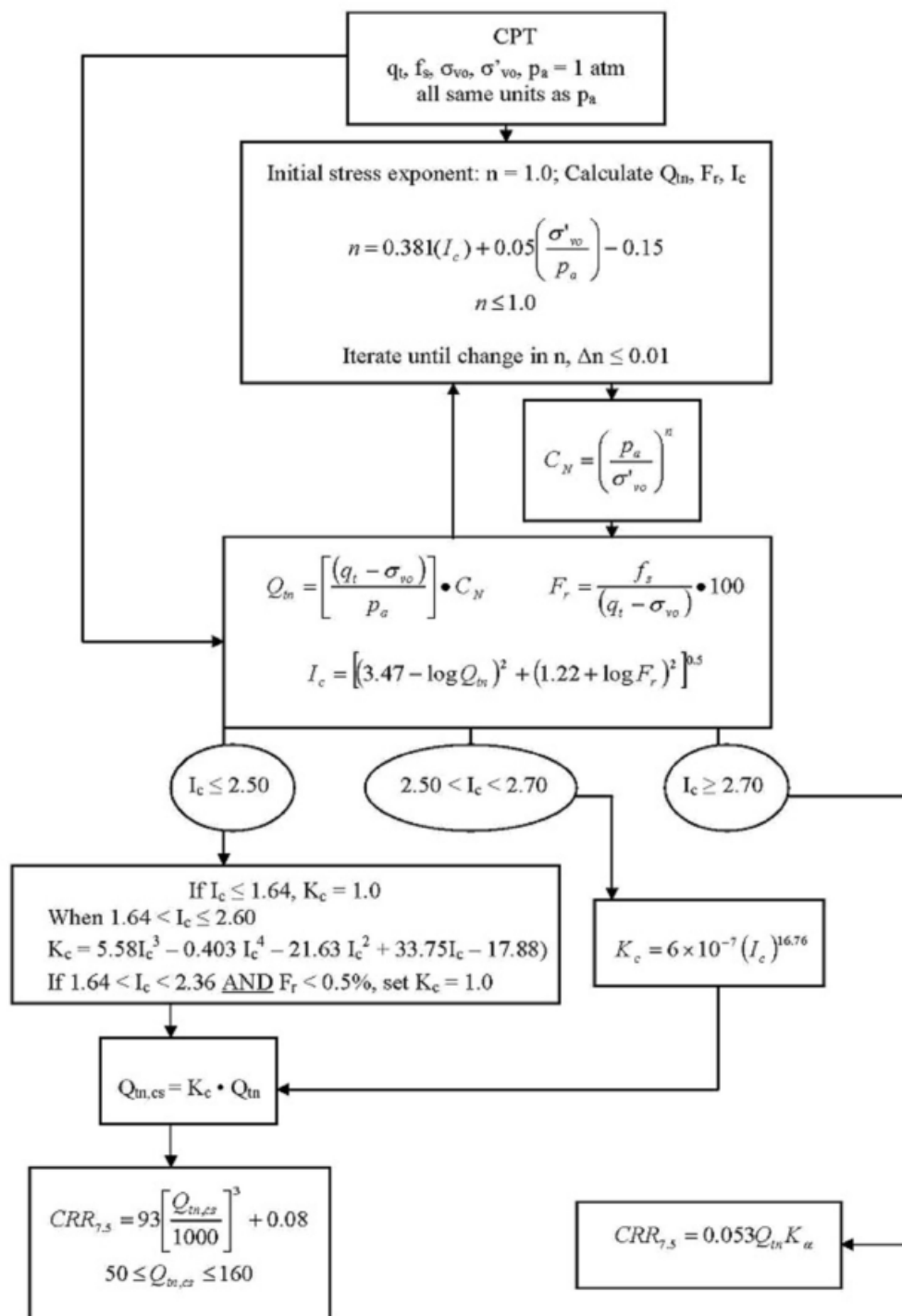
Zhang, G., Robertson, P.K., Brachman, R., 2002, *Estimating Liquefaction Induced Ground Settlements from the CPT*, Canadian Geotechnical Journal, 39: pp 1168-1180

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.

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:



¹ P.K. Robertson, 2009. "Performance based earthquake design using the CPT", Keynote Lecture, International Conference on Performance-based Design in Earthquake Geotechnical Engineering – from case history to practice, IS-Tokyo, June 2009

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

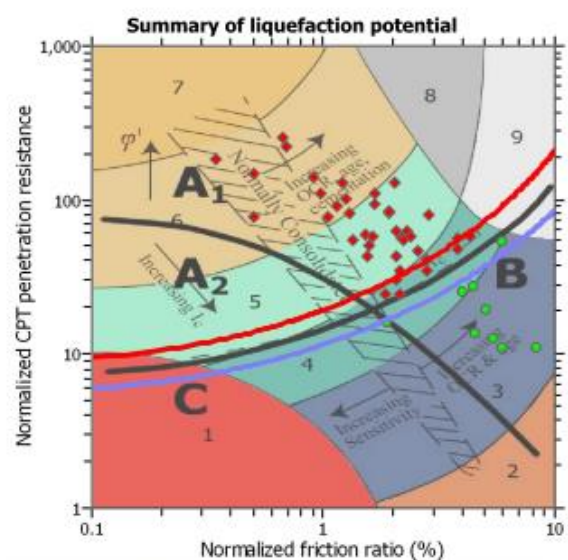
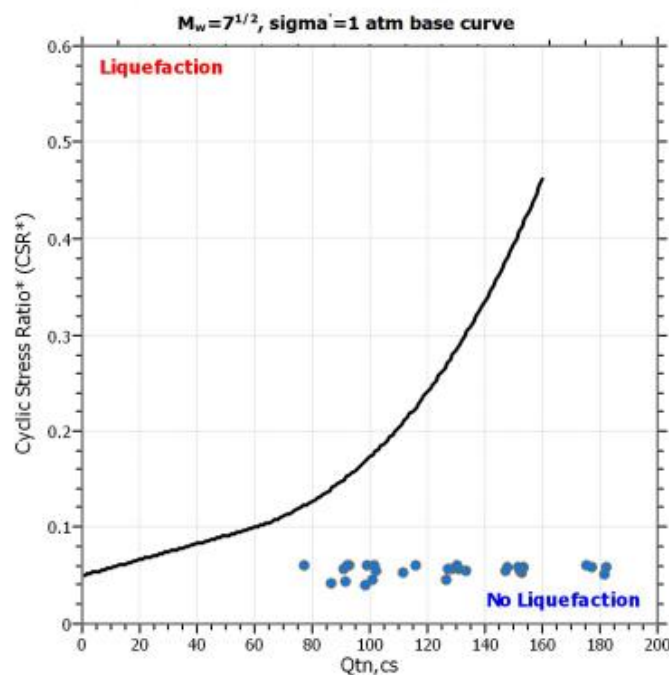
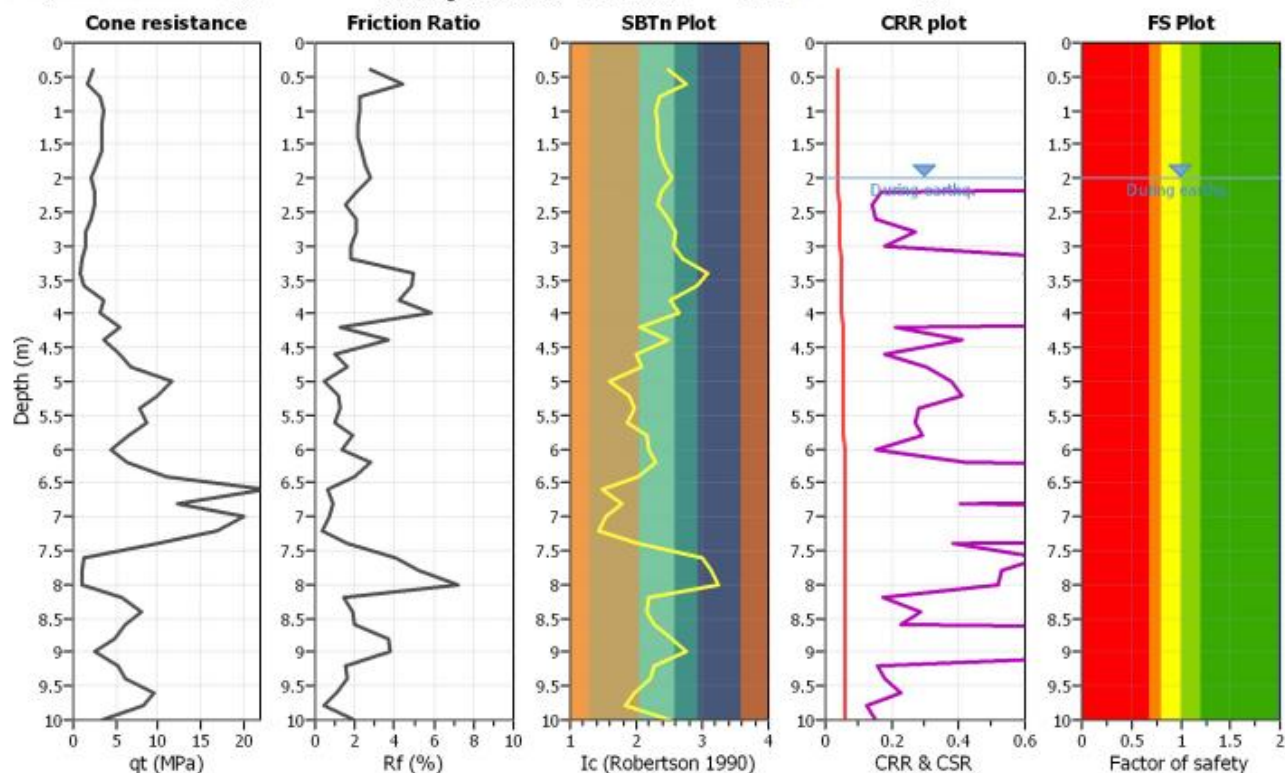
Project title : PGT Cornegliano Laudense

Location :

CPT file : Tecnopali

Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	G.W.T. (in-situ):	2.00 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	Robertson (2009)	G.W.T. (earthq.):	2.00 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:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	5.50	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	Limit depth:	15.00 m
Peak ground acceleration:	0.13	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_0 applied:	Yes		



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

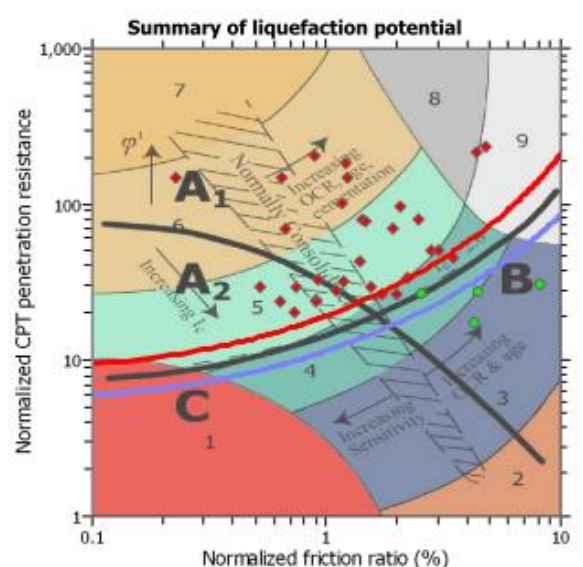
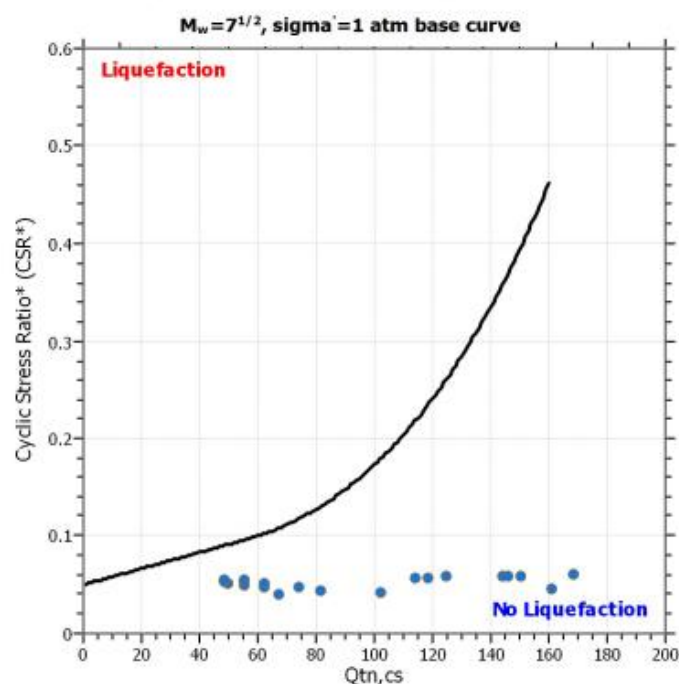
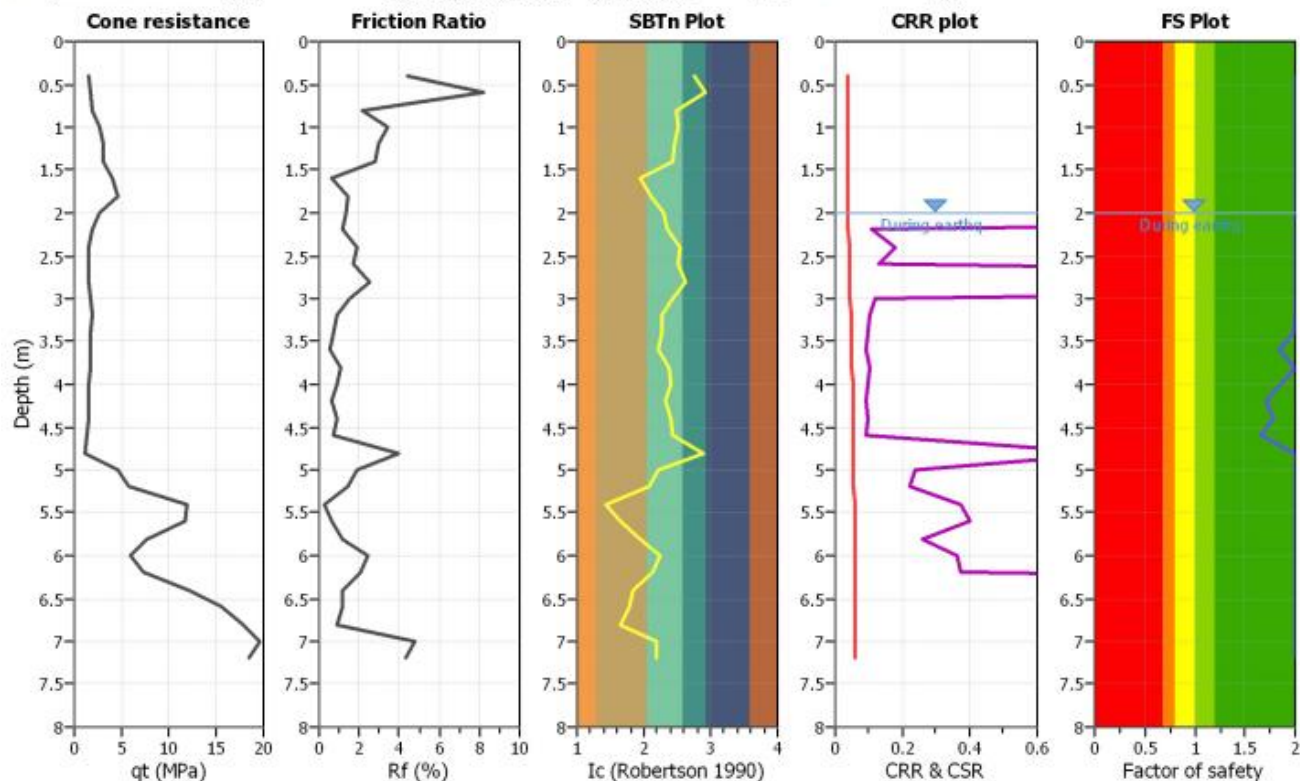
Project title : PGT Cornegliano Laudense

Location :

CPT file : CPT 2/8

Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	G.W.T. (in-situ):	2.00 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	Robertson (2009)	G.W.T. (earthq.):	2.00 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:	Yes
Earthquake magnitude M_w :	5.50	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	Limit depth:	15.00 m
Peak ground acceleration:	0.13	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_g applied:	Yes		



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

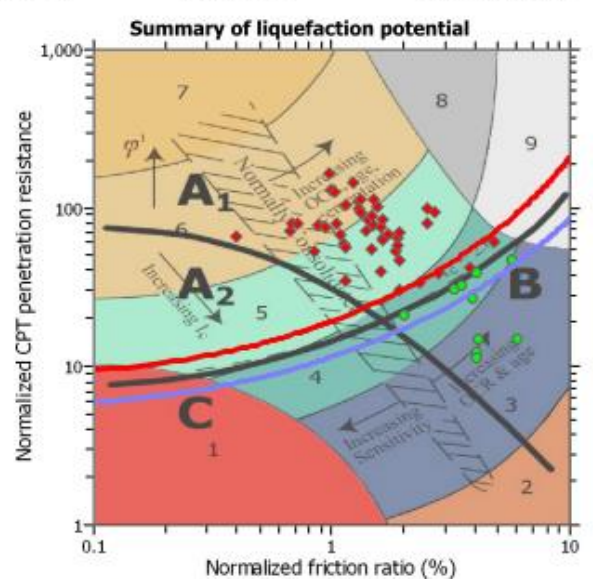
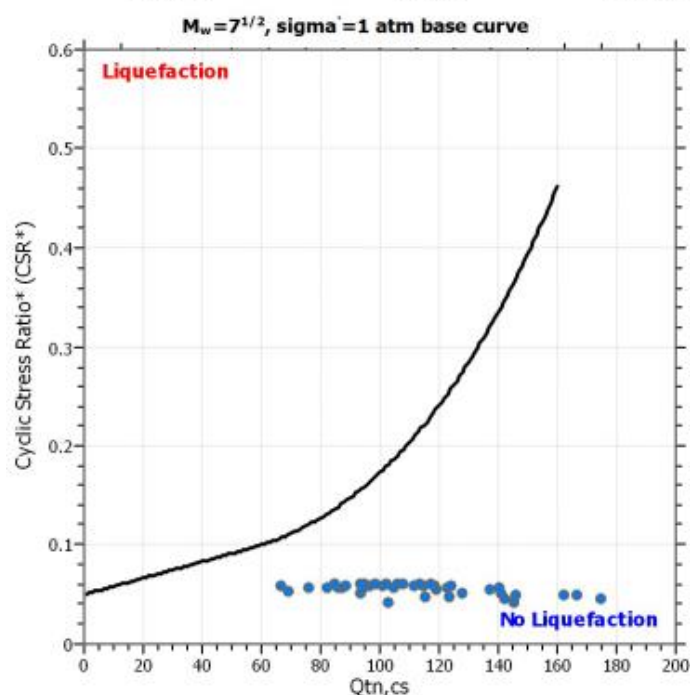
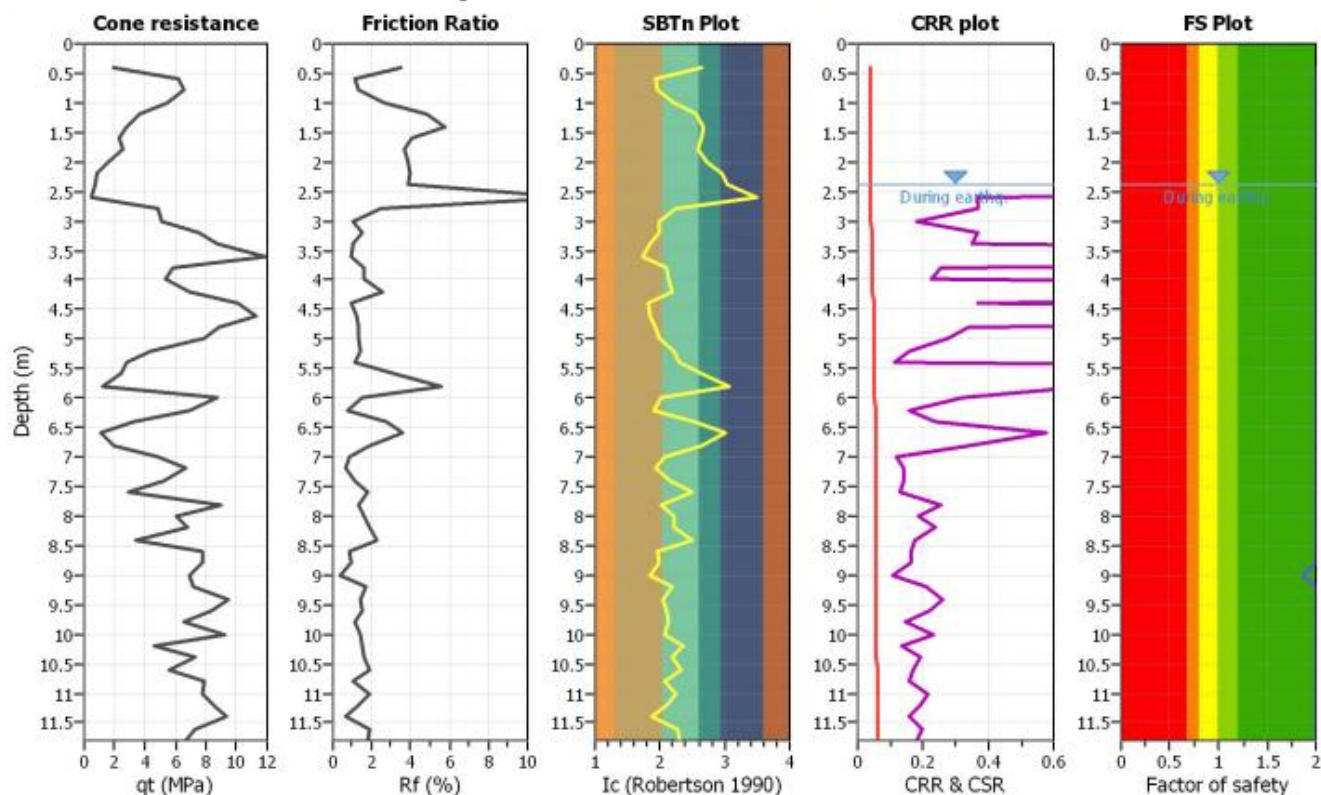
Project title : PGT Cornegliano Laudense

Location :

CPT file : CPT EE 2/2

Input parameters and analysis data

Analysis method:	Robertson (2009)	G.W.T. (in-situ):	2.40 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	Robertson (2009)	G.W.T. (earthq.):	2.40 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:	0.13	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_σ applied:	Yes		



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

10 Rischio gas metano negli strati superficiali del sottosuolo

La problematica concernente la possibile presenza di gas metano a quote superficiali nel sottosuolo del territorio comunale è conosciuta alle autorità locali e ai servizi di protezione civile, ma la complessità e le dimensioni del fenomeno, ancorché manifesti chiari segnali di esaurimento, rendono indeterminati alcuni aspetti e quindi difficile operare scelte pratiche. Le recenti indagini di controllo, periodicamente previste, rivelano mediante l'analisi spettrale di immagini aeree "anomalie ambientali" di poca o scarsa rilevanza.

La storia del fenomeno, per quanto noto allo scrivente, è descritta con ampio e dettagliato ricorso alle ricostruzioni storiche e testimoniali nella pubblicazione del Comune di Cornegliano Laudense intitolata "*Il ritrovamento del gas metano*" (anno 2003) e in un rapporto tecnico prodotto dal PMIP U.O. Fisica e Tutela dell'ambiente (ora ARPA) dell'Asl di Lodi del 27/04/1999 (prot. 252/99) a firma del Dott. Giovanni De Felice. Quest'ultimo documento è stato gentilmente messo a disposizione dall'ARPA di Lodi ed è centrato sulle problematiche sorte per la centrale di pozzi di Caviaga, ma contiene valutazioni estese al territorio di Cornegliano Laudense.

Informazioni sulla consistenza attuale del fenomeno sono esposte in vari rapporti elaborati da ENI Spa, che secondo quanto indicato nel più recente dei documenti consultati, sono fondati principalmente sull'interpretazione di rilievi eseguiti mediante foto aeree, nell'anno 1994 con tecnica infrarosso e negli anni 1998, 1999, 2003, 2004, 2008 con tecnica iperspettrale MIVIS.

Il fenomeno si è manifestato con rilevante intensità e gravi disagi per la popolazione di Muzza negli anni 1954 – 1956, dove la presenza del gas ha provocato scoppi e incendi in alcune residenze e la necessità di sgomberare numerose famiglie per realizzare interventi di messa in sicurezza delle abitazioni. La gravità fu tale che si propose anche l'abbandono della frazione Muzza, soluzione non attuata ma probabilmente meno onerosa degli interventi messi in opera...

Secondo quanto è riferito nel documento del PMIP sopra citato, la causa è da ricondursi al "*...collasso, per motivi vari (eruzione, rottura della colonna di rivestimento ecc) e in diversi periodi, di alcuni pozzi, ubicati nella zona oggetto dell'indagine, per la produzione di gas metano proveniente da un giacimento posto a parecchie centinaia di metri di profondità (1400-1600 metri), il cui sfruttamento era iniziato nel 1943, determinava la fuoriuscita di gas risalito dai pozzi stessi, formando delle sacche denominate "depositi secondari di Caviaga e Cornegliano" nelle zone più superficiali del sottosuolo (ultimi 350 -400 metri), costituiti da formazione porose e quindi la diffusione, attraverso queste ultime, sature e insature, fino all'emissione all'esterno della superficie del terreno;" [...]*.

Per contenere gli effetti delle manifestazioni gassose, negli anni dal 1952 al 1958 furono emanati vari Decreti Prefettizi contenti prescrizioni che dovevano essere attuate in porzioni di territorio individuate da apposite planimetrie, comprendenti aree nei comuni di Cornegliano Laudense, Lodivecchio, Borgo San Giovanni, Pieve Fissiraga e Lodi, ed altre nei comuni di Cavenago e territori limitrofi. I decreti, tra l'altro, imponevano ai residenti

l'utilizzo sistemi di controllo della presenza di gas, l'aerazione giornaliera dei locali (apertura delle finestre per almeno 15 minuti), l'uso di particolari cautele per lo scavo dei terreni per fondazioni o altre opere (in scavi sotto falda si osservava la formazione di bolle prodotte dal flusso di gas) e l'obbligo da parte della società AGIP di eseguire ispezioni periodiche all'interno e all'esterno degli edifici.

Sempre secondo il documento PMIP del 1999, gli interventi dell'AGIP volti al recupero del gas intrappolato nei cosiddetti "depositi secondari" consistettero nella perforazione tra "il 1953 e il 1988 di ben 130 pozzi di "sfiato" di profondità compresa tra i 200 e i 400 metri, ubicati nelle zone maggiormente interessate dalle eruzioni dei pozzi; tali pozzi sono stati tutti chiusi tranne tre, di cui due ancora in produzione [nel 1999] insieme a cinque pozzi profondi."

La mappatura delle campagne di misura eseguite da AGIP fino al 1990 sono riportate in due mappe in scala 1: 25.000 che segnalano la progressiva diminuzione del fenomeno



Figura 42:ricostruzione storica dei fenomeni : tratto da documentazione presente presso ARPA, presumibilmente da elaborati AGIP del 1990. Fonte non chiaramente attribuibile per mancanza di indicazioni sulla tavola.

In data 05 agosto 1996 la Prefettura di Lodi, subentrata a quella di Milano, emanava un nuovo Decreto in sostituzione dei precedenti che prendeva atto della diminuzione d'intensità

ed estensione del fenomeno e indicava mediante una planimetria in scala 1:10.000 le aree interessate dall'attuazione di norme di prevenzione di seguito riferite:

omissis (art. 1 e 2)

art. 3 I Comuni di ...Cornegliano Laudense... potranno chiedere in occasione del rilascio di concessioni edilizie per l'edificazione di nuove costruzioni e per la realizzazione di pozzi artesiani ad uso potabile e/o industriale da compiersi entro il perimetro delle aree individuate e descritte all'art. 2 [cartografia in scala 1:10.000], il parere dell'Ufficio Nazionale Minerario per gli Idrocarburi e la Geotermia di Bologna, ai sensi e per gli effetti delle norme di Legge in materia. Tali nulla osta saranno rilasciati con prescrizioni di opere cautelative, qualora si constataste, attraverso il rilevamento tradizionale di tipo tecnico-manuale, effettuato su richiesta del sopracitati comuni da parte della Società AGIP S.p.A., presenza di gas nelle immediate vicinanze o nelle fondazioni.

Art. 4 La Società AGIP S.p.A. provvederà in ogni caso, a sue spese e a sue cure, ad effettuare, con cadenza quinquennale, il telerilevamento aerofotogrammetrico corredato dal complementare rilevamento sulle aree indicate, secondo le modalità dettate dall'ottenimento della necessaria base di punti di monitoraggio diretto ed invierà una approfondita relazione tecnica, comprendente l'analisi dei rilevamenti compiuti, all'Ufficio Nazionale Minerario per gli Idrocarburi e la Geotermia di Bologna, segnalando immediatamente ogni eventuale anomalia constatata ed indicando altresì i provvedimenti consequenziali adottati.

Art.5 Il presente decreto potrà essere modificato in relazione alle variazioni delle situazioni.

omissis. (art. 6).

Gli obblighi posti in capo alla società AGIP spa sono ora trasferiti a ENI Spa



Figura 43: : stralcio dello “studio delle anomalie ambientali correlabili ad emersioni di metano nella zona di Cornegliano Laudense – Caviaga (Lodi) – interpretazione assistita al calcolatore di foro aeree all’infrarosso in falso colore”, ENI giugno 1999, Crema (Cr). Si individuano unicamente anomalie ambientali “poco significative” ed anomalie ambientali “scarsamente significative”.

Nelle conclusioni del rapporto PMIP del 1999 si precisa di poter *escludere "qualsiasi pericolo diretto per la salute derivante dall'ingestione di acqua, in quanto il gas metano si libera immediatamente al contatto con l'aria [...] non si possono invece escludere fenomeni derivanti dal disturbo olfattivo, come se non l'inquinamento, almeno la possibile variazione delle caratteristiche organolettiche dell'acqua potabile (odore e talvolta sapore), entrambi determinati non dal metano, ma dalle sostanze ad esso normalmente associate (idrogeno solforato, mercaptani ecc.).*

Per quanto riguarda la possibile formazione in ambienti chiusi o all'interno di manufatti di sacche di miscele incendiarie o esplosive, **non esistono al momento elementi sufficienti a poter confermare o escludere tale ipotesi** in assenza di una valutazione specifica dello stato della presenza attuale del gas metano in termini quantitativi e areali, pur potendo concordare con valutazioni tecniche che propendono a indicare la tendenza del gas stesso a muoversi nel sottosuolo lungo un percorso obbligato costituito dai materiali più permeabili : non a caso infatti si nota che le analisi effettuate, dirette e indirette, testimoniano in qualche modo un percorso parallelo alla direzione di flusso idrico sotterraneo in entrambe le zone oggetto di indagine; a tale proposito si può oltretutto sollevare il dubbio che il fenomeno interessi ancora soltanto le aree originariamente coinvolte, oppure se la migrazione non abbia invece interessato altre zone esterne a quelle inizialmente perimetrate, sulle quali non vengono presumibilmente effettuati rilievi.

Si sottolinea infine come la chiusura, di cui non è chiara la motivazione, di tutti i pozzi di sfiato, ad eccezione di due, non sostituiti da altri, abbia certamente ridotto le capacità di scarico controllato del gas ancora eventualmente presente nel sottosuolo: capacità attualmente affidata praticamente solo alla casuale e non controllabile movimentazione per qualsivoglia motivo del terreno stesso, per emanazioni quantitativamente significative, oppure alla sistematica ma debole emissione derivante da lenti processi di diffusione negli strati più permeabili del sottosuolo.

Nell'ultimo rapporto tecnico consultato (ENI 2008) relativo a rilievi effettuati in ottemperanza al Decreto prefettizio con piattaforma iperspettrale MIVIS, si precisa che nelle aree in precedenza individuate nel 1994 a Caviaga come anomalia termica, sono state eseguite indagini a terra nel 2001 e 2002 rilevando presenza di gas metano "ben al di sotto dei limiti di esplosività e la presenza di tale gas sempre legata all'acqua di falda, nella quale il metano è in soluzione".

Il rapporto ENI precisa inoltre che la società ha richiesto ad ARPA l'esecuzione di campionamenti a terra contemporanei ai rilievi da piattaforma aerea e che tale proposta non ha avuto esito positivo, precisando ancora che i prossimi rilievi aerei saranno eseguiti nel 2013.

Nel capitolo dedicato all'interpretazione dei risultati, il rapporto ENI 2008 dichiara che "...sebbene le considerazioni sopra descritte inducano a ritenere che il fenomeno della presenza del gas proveniente dal giacimento al periodo degli avvenimenti accidentali accaduti

negli anni '50 e '60 e [sia ?] attualmente in soluzione, in basse concentrazioni, negli acquiferi presenti nel sottosuolo del campo di Caviaga, non sia del tutto esaurito [...]".

Inoltre aggiunge che " Pur confermando che, a quanto oggi rilevato, le emissioni di gas nell'area indagata non presentano alcuna pericolosità [...] sarebbe opportuno un approfondimento delle conoscenze sull'ambiente soggetto ad indagine".

E infine "Sarà invece da prendere in considerazione, a nostro parere, una revisione delle disposizioni attualmente in essere sull'area, in particolare per quanto prescritto sui controlli da eseguire mediante esplosimetro in occasione di particolari lavori civili quali scavi di fondazione o sui vincoli comunque esistenti. Tuttavia si auspica che gli Enti preposti presenti sul territorio emettano inoltre linee guida ed indicazioni per quanto riguarda trivellazioni da eseguire, sia in caso di ricerca e sfruttamento di risorse idriche , sia in caso di pali trivellati per fondazioni di manufatti.

In relazione a quanto sopra riferito, alla complessità e probabile dinamicità del fenomeno descritto nella relazione del PMIP del 1999 ed alla necessità di approfondimenti ribadite nel rapporto ENI del 2008, lo scrivente ritiene, ai fini della pianificazione urbanistica, di dover limitare il proprio contributo alla presente sintesi ed alla segnalazione in forma grafica della vigenza del Decreto prefettizio del 1996, rimandando la formulazione di eventuali "linee guida", come auspicato da ENI, ad altro atto da redigere congiuntamente agli enti di controllo ed alla società stessa.

11 Norme Geologiche di Piano e classi di fattibilità

ASPETTI GENERALI

In tutto il territorio comunale interessato da possibili interventi attuativi 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 20 prove penetrometriche statiche con punta meccanica Begemann, quattro stendimenti sismici per la misura delle velocità delle onde di taglio Vs e le letture in numerosi piezometri e di fonti bibliografiche, che hanno consentito di ricostruire l'andamento della falda freatica riferito nella tavola 2.

L'elaborazione dei dati ha permesso di individuare le caratteristiche geotecniche sinteticamente riferite nel testo della relazione generale e negli allegati e di valutare il rischio di liquefazione dei terreni al verificarsi dell'evento sismico atteso nell'area, risultato nullo pur esaminando i profili più sfavorevoli a disposizione.

L'aspetto più rilevante, comune a tutto il territorio di Cornegliano Laudense e ad ampie porzioni dei comuni limitrofi, è dato dalla presenza della falda freatica che mediamente si colloca in ambito urbano a profondità comprese tra circa -0,5 m e -2,5 m dal piano campagna, abbassandosi di circa 0,5 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 consentirne 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 della norma regionale), che specificamente prevede la classe 3 in presenza di *"aree a bassa soggiacenza o con presenza di falde sospese"*.

Ai fini della tutela del suolo e della falda, si rammenta che il riutilizzo di aree industriali dismesse è subordinato all'esito delle indagini da eseguire con le procedure indicate dagli Allegati alla parte V del D.Lgs 152/2006 e che in caso di scavi trova applicazione il recente Decreto del Ministero dell'Ambiente del 10 agosto 2012, n. 161 *"Regolamento recante la disciplina dell'utilizzazione delle terre e rocce da scavo"*.

Copia delle indagini effettuate e della relazione geologica di supporto alla progettazione 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).

Infine si evidenzia che un'ampia porzione del territorio a est della SP 123, individuata da apposita perimetrazione nella tavola 4 di 6 (sintesi delle pericolosità – vulnerabilità geologiche e classi di fattibilità), è soggetta alle norme di prevenzione definite dal decreto del Prefetto di Lodi protocollo 863/GAB/20.2 del 05 agosto 1996 a causa del permanere di condizioni residue di potenziale rischio di presenza di gas metano negli strati superficiali del sottosuolo, connesso alle intense manifestazioni osservate negli anni 1954 – 1956. In tali aree l'Amministrazione Comunale di Cornegliano Laudense potrà richiedere in occasione del rilascio di concessioni edilizie per l'edificazione di nuove costruzioni e per la realizzazione di pozzi o scavi, il parere dell'Ufficio Nazionale Minerario per gli Idrocarburi e la Geotermia di Bologna.

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

In tutto il territorio individuato graficamente nella tavola 6, 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 0,5 metri. L'aumento è richiesto per tenere conto che la tavola riproduce approssimativamente la condizione media di soggiacenza e che i valori osservati mensilmente presso il pozzo pubblico di C.na S. Antonio a Pieve Fissiraga (1,7 Km a SE dell'edificio comunale di Cornegliano Laudense), indicano un'escursione annua 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 applicando esclusivamente 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 anche a una valutazione di compatibilità che definisca il pericolo di contaminazione della falda freatica, determinando le modalità di attenuazione del rischio.

In relazione a questo aspetto, nella documentazione di progetto dovranno essere precisate:

- 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 acquose e silicato di sodio** dovrà essere illustrata la modalità di utilizzo e la quantità di prodotti impiegati. In tale circostanza 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 del Ministero dell'Ambiente del 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 (*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 D.g.r. 22 dicembre 2011 - n. IX/2762 *"semplificazione dei canoni di polizia idraulica e riordino dei reticoli idrici"*, 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 3b 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 Cornegliano Laudense.

Poiché la carta topografica di base (DB topografico della provincia di Lodi) non consente di avere adeguati dettagli sulla morfologia del margine superiore dei corsi d'acqua, la rappresentazione fornita con la tavola 6 può talora non essere affidabile e per la valutazione dei singoli interventi si richiede che la precisa posizione delle fasce di rispetto sia verificata mediante l'esecuzione di rilievi plano altimetrici in scala minima 1:500.

Classe 3C (*zona di rispetto dei pozzi pubblici*)

Nella tavola è riportata la zona di rispetto intorno a due pozzi pubblici ubicati in territorio di San Martino in Strada (n. 92 e 93 nella medesima perforazione), istituita ai sensi

dell'art.94 del Decreto Legislativo 3 aprile 2006 n.152 *"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"*. La zona di rispetto è definita dalla superficie circostante la zona di tutela assoluta (che ricade esclusivamente in territorio del comune confinante), entro il raggio di 200 m dall'opera di captazione ed è collocata in classe 3 di fattibilità; all'interno della tale superficie secondo l'art.94 sono vigenti le seguenti prescrizioni:

"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 proveniente 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 qualora l'acquifero freatico sia oggetto di captazione, e al servizio delle nuove abitazioni non potranno essere realizzati serbatoi o condotte di sostanze pericolose sul suolo e nel sottosuolo [...].

sottoclasse 4A (fasce di scorrimento delle piene del reticolo superficiale)

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.

sottoclasse 4B (aree sottoposte a bonifiche o ad analisi di rischio)

Nelle aree oggetto di provvedimenti di cui alla parte IV del titolo V del D. L.gs 152/2006, gli eventuali interventi in progetto dovranno essere compatibili con quello di bonifica e devono essere validati dagli enti che stanno attuando la bonifica stessa.

**Allegato n° 1 : DATI MISURATI E PARAMETRI GEOTECNICI DERIVATI DA PROVE
PENETROMETRICHE STATICHE CPT CON PUNTA MECCANICA BEGEMANN**