

Provincia di Lodi
COMUNE DI CASTELNUOVO BOCCA D'ADDA



**INTERVENTI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA
PONTE N.3 COLATORE GANDIOLO – S.P.243**

**Relazione Geologica e Sismica
ai sensi del D.M. 17.01.2018
e del D.G.R. N. IX/2616 del 30.11.2011**

Carpenedolo (BS), 16.02.2024

Dott. Geol. Giancarlo Poli – Dott. Geol. Leonardo Spada – Ing. Paolo Franzoni – Ing. Paolo Franzoni
Via Meucci, 26 25013 Carpenedolo (BS)

**Provincia di Lodi
COMUNE DI CATELNUOVO BOCCA D'ADDA**

**INTERVENTI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA PONTE N.3
COLATORE GANDIOLO – S.P.243**

COMMITTENTE: Agenzia Interregionale per il fiume Po (AIPO)
Via T. Taramelli, 12
20124 – Milano (MI)

INDICE

1	RIFERIMENTI NORMATIVI	4
2	GENERALITÀ.....	6
3	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO, GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO.....	7
3.1	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	7
3.2	INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO.....	8
3.3	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO.....	11
4	FATTIBILITÀ GEOLOGICA, VINCOLI E PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE.....	14
5	SISMOTETTONICA	18
6	SISMICITÀ.....	25
7	INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	28
7.1	GENERALITÀ.....	28
7.2	SONDAGGI GEOGNOSTICI.....	28
7.2.1	GENERALITÀ.....	28
7.2.2	COMPLETAMENTO FORI.....	29
7.3	CAMPIONAMENTO.....	29
7.3.1	CAMPIONI INDISTURBATI DI TIPO GEOTECNICO.....	29
7.4	PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE S.P.T.	30
7.4.1	GENERALITÀ.....	30
7.4.2	ATTREZZATURA	30
7.4.3	MODALITÀ ESECUTIVE.....	31
7.4.4	ELABORAZIONE.....	31
7.4.5	RISULTATI.....	32
7.4.6	PARAMETRI GEOTECNICI DESUNTI DALLE PROVE SPT.....	33
7.5	PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO.....	35
8	INDAGINE SISMICA	36
8.1	INTRODUZIONE.....	36
8.2	INDAGINE MASW	36

8.2.1	METODOLOGIA DI INDAGINE.....	36
8.2.2	STRUMENTAZIONE	38
8.2.3	ELABORAZIONE.....	39
8.2.4	RISULTATI	40
9	AMPLIFICAZIONE SISMICA DEL SITO.....	42
9.1	GENERALITÀ.....	42
9.2	PROCEDURA REGIONE LOMBARDIA.....	42
9.3	DETERMINAZIONE DEL PERIODO DI RIFERIMENTO DEL SITO	43
10	AZIONE SISMICA	45
10.1	INTRODUZIONE.....	45
10.2	AZIONE SISMICA SU SUOLO RIGIDO.....	46
10.3	AZIONE SISMICA SITO SPECIFICA	48
11	RISCHIO DI LIQUEFAZIONE	50
11.1	GENERALITÀ.....	50
11.2	VERIFICA DEL RISCHIO DI LIQUEFAZIONE	51
11.2.1	METODO DI BRAY & SANCIO (2006)	52
11.2.2	METODO DI YOUD ET AL. (2001).....	53
11.2.2.1	Resistenza ciclica alla liquefazione (CRR)	53
11.2.2.2	Sollecitazione ciclica indotta dal sisma (CSR).....	54
11.2.2.3	Fattore di sicurezza, probabilità di liquefazione e indice del potenziale di liquefazione	55
11.2.3	PARAMETRI UTILIZZATI PER LE VERIFICHE.....	56
11.2.4	RISULTATI.....	56
12	NATURA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SOTTOSUOLO	58
13	CONCLUSIONI E PRESCRIZIONI	61

ALLEGATI

- Corografia generale in scala 1:10.000
- Carta Geologica in scala 1:100.000
- Planimetria generale con ubicazione indagini
- Stratigrafie sondaggi
- Report fotografico
- Certificati prove di laboratorio
- Sintesi risultati verifiche a liquefazione

1 RIFERIMENTI NORMATIVI

- **Decreto Ministeriale 11/03/1988**

"Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione"

- **Decreto Ministeriale 16/01/1996**

"Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche"

- **Decreto Ministeriale 14/01/2008**

Norme Tecniche per le Costruzioni

- **Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici – Circolare n.617 del 02/02/2009**

Istruzioni per l'applicazione delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al D.M. 14/01/2008. Circolare 02/02/2009

- **Decreto Ministeriale 17/01/2018**

Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni"

- **Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici – Circolare n.7 del 21/01/2019**

Istruzioni per l'applicazione dell'"Aggiornamento Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al D.M. 17/01/2018. Circolare 02/02/2009"

- **Eurocodice 8 (1998)**

Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture -Parte 5: fondazioni, strutture di contenimento e aspetti geotecnici (2003)

- **Eurocodice 7.1 (1997)**

Progettazione geotecnica – Parte I: regole generali UNI

- **Eurocodice 7.3 (2002)**

Progettazione geotecnica – Parte II: progettazione assistita con prove in sito (2002)

- **Legge Regionale Lombardia 11/03/2005 n. 12**

Legge per il Governo del Territorio

- **Legge Regionale Lombardia n.4 del 15/03/2016**

Revisione della normativa regionale in materia di difesa del suolo, di prevenzione e mitigazione del rischio idrogeologico e di gestione dei corsi d'acqua

- **D.G.R. Lombardia n. 9/2616 del 30/11/2011**

Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della L.R. 11/03/2005 n. 12

- **D.G.R. Lombardia n. 10/2129 del 11/07/2014**

Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (L.R. 1/2000, art. 3, c. 108, lett. d)

- **D.G.R. Lombardia n. 10/2489 del 10/10/2014**
Differimento del termine di entrata in vigore della nuova classificazione sismica del territorio approvata con D.G.R. 21 luglio 2014, n. 2129 «Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r. 1/2000, art. 3, comma 108, lett. d)»
- **D.G.R. Lombardia n. 10/4144 del 8/10/2015**
Ulteriore differimento del termine di entrata in vigore della nuova classificazione sismica del territorio approvata con D.G.R. 21 luglio 2014, n. 2129 «Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r. 1/2000, art. 3, comma 108, lett. d)»
- **D.G.R. Lombardia n. 10/5001 del 30/03/2016**
Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l'esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica (artt. 3, comma 1, e 13, comma 1, della l.r. 33/2015)
- **Direttiva 2007/60/CE del parlamento europeo e del consiglio del 23/10/2007**
Valutazione e gestione dei rischi di alluvioni
- **D.Lgs 23/02/2010, n. 49**
Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni
- **D.P.C.M. 26/10/2015**
Approvazione del "Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni" per il Distretto Idrografico Padano
- **Autorità di Bacino del Fiume Po**
Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI)-Interventi sulla rete idrografica e sui versanti-Norme di Attuazione
- **Autorità di Bacino del Fiume Po – Atto del Comitato Istituzionale - Deliberazione n.4/2015**
D.Lgs 23/02/2010, n. 49 e s.m.i., art.7, comma 8: adozione del "Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni" del Distretto Idrografico Padano
- **Autorità di Bacino del Fiume Po – Atto del Comitato Istituzionale - Deliberazione n.2/2016**
Direttiva 2007/60/CE, art.7; D.Lgs. 3/04/2006, n.152 e s.m.i., art.63, comma 10; D.Lgs. 23/02/2010 n.49 e s.m.i., art. 7, comma 8 – Approvazione del "Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni del Distretto Idrografico Padano" (PGRA)
- **D.G.R. Lombardia n. 10/6738 del 19/06/2017**
Disposizioni regionali concernenti l'attuazione del "Piano dei Rischi di Alluvione" (PGRA)
- **Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica del Piano di Governo del Territorio del Comune di Castelnuovo Bocca d'Adda e relative Norme Tecniche di Attuazione**

2 GENERALITÀ

Per conto dell'Agenzia Interregionale per il fiume Po, è stata redatta la presente geologica e sismica, sui terreni di fondazione del ponte n.3 sul colmatore Gandiolo, interessato da interventi di manutenzione straordinaria, ubicato in Comune di Castelnuovo Bocca d'Adda (LO), lungo la Strada Provinciale n.243.

La presente relazione, sintesi e compendio dello studio geologico eseguito per la determinazione delle caratteristiche stratigrafiche, litologiche, idrogeologiche e geotecniche dei terreni costituenti il sottosuolo, contiene le considerazioni e le stime a carattere geologico-geotecnico riguardanti i terreni interessati dalle fondazioni delle opere in progetto.

Le opere in progetto, alla luce della normativa vigente (NTC 2018), appartiene al Tipo 2 (N.T.C. 2018 2.4.1, Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari) con Classe d'Uso II (N.T.C. 2018 2.4.2, Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV).

Di conseguenza questa relazione, seguendo i dettami della normativa vigente e dello stato dell'arte, è finalizzata alla costruzione del modello geologico che è imprescindibile per la redazione del successivo modello geotecnico, facente parte della relazione d'opera geotecnica.

Per la caratterizzazione geologico-geotecnica dei terreni di sottofondazione del sito oggetto di intervento e per la definizione della categoria di sottosuolo, nel mese di giugno 2019, sono state eseguite le seguenti indagini:

- n.2 sondaggi geognostici, verticali, eseguiti a carotaggio continuo, spinti sino a profondità pari a -20.00 m da p.c., con esecuzione di prove penetrometriche dinamiche in foro tipo SPT e prelievo di campioni indisturbati di tipo geotecnico;
- Prove di laboratorio di caratterizzazione fisica e meccanica sui campioni prelevati;
- n.1 prospezione sismica attiva di tipo MASW, con stendimento di n.24 geofoni di lunghezza pari a 46.00 m e distanza intergeofonica pari a 2.00 m;

Oltre a quanto sopra esposto, nel mese di gennaio 2024 sono state eseguite le seguenti indagini integrative:

- n.1 sondaggio geognostico, verticale, eseguito con tecnica mista (distruzione di nucleo e carotaggio continuo), spinto sino a profondità pari a -35.00 m da p.c., con esecuzione di prove penetrometriche dinamiche in foro tipo SPT.

Per le notizie di carattere geologico generale e geologico tecnico sono stati eseguiti rilievi di campagna, basati sull'osservazione delle forme del territorio e delle litologie superficiali, correlati al passato geologico dell'area; lo studio è stato poi completato dalle notizie e dai dati bibliografici a disposizione, nonché dalle conoscenze acquisite dagli scriventi nella zona, tramite precedenti lavori e indagini.

3 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO, GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO

3.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

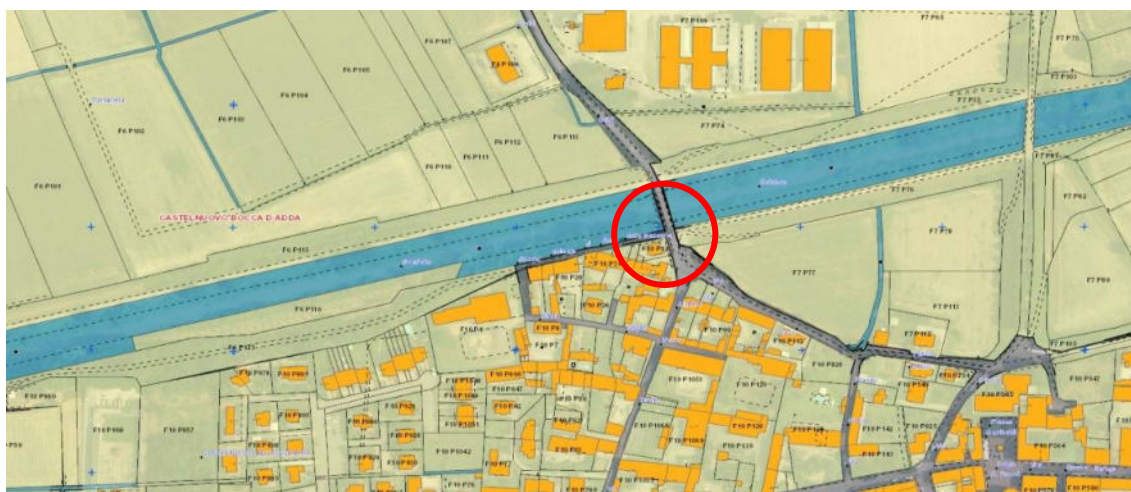
Il territorio comunale di Castelnovo Bocca d'Adda, che si estende su un'area di 20.32 km², è compreso tra una quota minima di 37 m s.m. nella porzione sud orientale dell'area comunale, in corrispondenza della sponda sinistra del fiume Po, e una massima di 51 m s.m. in corrispondenza del centro abitato (porzione centrale dell'area).

L'area oggetto di intervento, situata in Comune di Castelnovo Bocca d'Adda, presso la Strada Provinciale n.243, ricade nel Foglio C7D5 della Carta Tecnica Regionale ed è centrata sulle coordinate 45°06'54.28" di latitudine N, 09°51'55.78" di longitudine E, a una quota di circa 44 m s.m.



- Veduta aerea dell'area in esame (estratto da Google Earth)-

Catastalmente l'area oggetto di intervento è identificata dal mappale coincidente con la S.P.243 (codice univoco 3120542) del Foglio n.7 del Comune di Castelnovo Bocca d'Adda (codice catastale C228).



-Veduta aerea dell'area in esame (estratto da mappa catastale)-

3.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

Dal punto di vista geologico il territorio comunale di Castelnuovo Bocca d'Adda ricade all'interno del bacino di sedimentazione padano, colmato da una potente coltre di sedimenti marini e fluviali, di età compresa tra il Mesozoico e l'attuale, che ricoprono un basamento cristallino metamorfico del Paleozoico.

La geometria del bacino padano, nonostante l'apparente monotonia della superficie prevalentemente pianeggiante, in profondità risulta molto "complesso", interessato da sovrascorrimenti, duplicazioni, ondulazioni e pieghe, generate dalle stesse spinte orogenetiche che hanno determinato la formazione delle Alpi e degli Appennini.

Nel bacino padano le deformazioni hanno interessato sia la successione terrigena terziaria, scollata alla base in corrispondenza delle formazioni marnose, probabilmente dell'Oligocene-Miocene medio, sia la successione carbonatica mesozoica, scollata dal basamento cristallino paleozoico al livello delle formazioni triassiche.

La successione quaternaria appare invece priva di deformazioni tettoniche e la presenza di strutture lenticolari, anche assai pronunciate con ampie ondulazioni (Castellarin et al., 1985), possono essere interpretate come il riempimento in prevalenza passivo delle depressioni residue del sistema bacinale precedente.

Nel settore emiliano e basso lombardo sono presenti due serie di thrusts sepolti a sviluppo sequenziale frontale, costituenti sistemi di grandi pieghe asimmetriche con andamento anticlinalico. Essi si sono formati attraverso faglie inverse e sovrascorrimenti immergenti verso SO con inclinazioni comprese tra i 15° e i 30°, in particolare:

- **External Thrust Front (ETF):** ubicato lungo l'allineamento Parma-Cremona-Pavia, esprime la zona di confine tra la regione "Alpine Homocline", a nord (zolla Adriatica), e la regione "Apennines" (zolla Corso - Sarda), a sud. In altri termini costituisce una dorsale sepolta (o alto strutturale) che divide verso nord il bacino subsidente padano vero e proprio, sede degli accumuli sedimentari più rilevanti, da un bacino minore o satellite, racchiuso tra la dorsale stessa e la catena appenninica
- **Pedeapenninic Thrust Front (PTF):** ubicato lungo il margine morfologico dell'Appennino Settentrionale, esprime la zona di confine tra la catena appenninica e il bacino satellite che si apre verso nord racchiuso tra i primi rilievi dello stesso Appennino e l'alto strutturale relativo all'External Thrust Front.

Verso settentrione, sull'allineamento Lodi-Peschiera del Garda-Val d'Adige, è presente un'altra zona di scollamento tettonico, contraddistinta in questo caso da thrusts con sviluppo sequenziale a ritroso, contrapponendosi al sistema strutturale di tipo frontale dell'External Thrust Front e del Pedeapenninic Thrust Front.

Le regioni comprese tra i suddetti sistemi di thrusts sono contraddistinte da sistemi bacinali subsidenti nei quali si assiste ad un notevole ispessimento dei sedimenti marini e continentali: il sistema racchiuso tra l'External Thrust Front e il Pedepenninic Thrust Front è noto come "bacino satellite", mentre il sistema che si estende a nord dell'External Thrust Front è conosciuto come "Alpine Homocline".

Nel complesso si tratta di strutture depresse profonde con andamento tipicamente sinclinalico. In questi settori la subsidenza è instaurata da vari milioni di anni ed in maniera più accentuata dall'inizio del Pliocene con tasso di abbassamento di 1 o più mm all'anno.

I depositi affioranti nella zona in esame appartengono al sistema alluvionale del Fiume Po sedimentato durante il Quaternario (iniziato a partire da 1.8 M.A. fino ai giorni nostri), caratterizzato, a livello globale, da ripetute variazioni climatiche che hanno comportato variazioni negative delle temperature medie annuali di 8 - 10°C rispetto al valore attuale. Tali condizioni determinarono l'accumularsi sui continenti e sui mari di enormi quantità di ghiaccio (specie nelle catene montuose elevate ed alle alte latitudini) e notevoli oscillazioni eustatiche del livello marino.

Le glaciazioni quaternarie più significative sono avvenute nell'ultimo milione di anni (Pleistocene) ed hanno impresso evidenti testimonianze, tra cui: i grandi anfiteatri morenici pedalpini (Garda, Iseo, Brianza, Como, Ivrea, ecc.), le ampie piane ghiaioso-sabbiose proglaciali loro antistanti, i circhi glaciali e i depositi morenici lungo il crinale principale dell'Appennino settentrionale.

Ogni glaciazione è intervallata da un periodo denominato interglaciale dove si assistono condizioni di miglioramento climatico e soprattutto temperature medie decisamente più alte.

L'alternarsi degli stadi glaciali e interglaciali è all'origine delle oscillazioni eustatiche del livello marino. In particolare le glaciazioni sono responsabili delle regressioni marine e conseguentemente dell'espansione delle terre emerse, mentre i periodi interglaciali sono imputabili delle trasgressioni marine e quindi dell'invasione delle acque.

Analogamente al culmine delle fasi fredde si determina, pertanto, uno stazionamento basso del mare (massima regressione), mentre durante la punta più accentuata di miglioramento climatico si determina uno stazionamento alto del mare (massima trasgressione).

Occorre comunque sottolineare che oltre alle condizioni climatiche, le oscillazioni eustatiche dipendono da altri fattori tra cui: i movimenti di origine tettonica, il tasso di subsidenza (l'entità dell'abbassamento della superficie terrestre o del fondo marino) e il tasso di sedimentazione (la quantità di materiale che si deposita in un punto nell'unità di tempo).

Durante i periodi di massima espansione glaciale, come già accennato, avviene la regressione del livello marino e l'estensione delle superficie emerse. I bacini glaciali, nella breve stagione di disgelo, alimentano grandi fiumi di ablazione glaciale (scaricatori glaciali), che distribuiscono nel bacino padano i sedimenti trasportati, molti dei quali presi in carico attraversando gli anfiteatri morenici spogli di vegetazione, costruendo, allo sbocco delle rispettive vallate, potenti sistemi di conoidi prevalentemente ghiaiose e sabbiose.

L'erosione si intensifica non solo per l'aumento delle portate dei corsi d'acqua, ma anche per l'aumento dell'inclinazione dei letti fluviali, in quanto si trovano a defluire in mare a quote più basse. Quando i ghiacci fondono durante i periodi caldi interglaciali il mare tende a rioccupare la pianura, però deve interagire con la grande quantità di sedimenti portati dai corsi d'acqua nel corso della fase glaciale.

In riferimento alla storia evolutiva della pianura padana durante il quaternario, i depositi accumulatisi in questa era, possono essere suddivisi, in senso stratigrafico, in una porzione inferiore di depositi di ambiente marino (Qm) e in una porzione superiore (successione affiorante) di depositi di ambiente continentale (Qc).

I depositi affioranti nell'area in esame, sono caratterizzati da una serie di terrazzi fluviali la cui successione altimetrica è proporzionale all'età dei sedimenti: la quota è tanto maggiore, quanto più antica è l'età del terrazzo; inoltre tanto più antica è l'età del terrazzo, tanto più ridotta sarà la sua estensione, in quanto sottoposto all'azione erosiva negli stadi interglaciali successivi.

La successione dei terrazzi nella medio-bassa pianura è la seguente:

- Fluviale Mindel: superfici più antiche poste a quote maggiori;
- Fluviale Riss: superfici intermedie per quota ed età;
- - Fluviale Wurm: superfici più recenti poste a quote inferiori.

Queste ultime costituiscono quello che viene definito il livello fondamentale della Pianura o piano generale terrazzato, risultato dall'ultima fase di esteso colmamento della pianura.

Successivamente a tale colmamento alluvionale, nel corso cataglagiale wurmiano (periodo di ripresa termica successivo alla glaciazione stessa), ha avuto inizio un ciclo prevalentemente erosivo protrattosi nell'Olocene, che ha determinato la formazione dell'alta scarpata morfologica che, incidendo il Piano fondamentale, delimita le valli dei principali fiumi occupate dai successivi depositi alluvionali medio recenti.

Nel territorio di Castelnuovo Bocca d'Adda affiorano le unità litostratigrafiche qui di seguito descritte dalla più recente alla più antica:

- **Deposti di alveo attivo:** presenti all'interno dell'asta fluviale del Fiume Po e del Fiume Adda a Nord, costituiti da sabbie grossolane e ghiaietto con stratificazione piano parallela o a festoni.
- **Alluvioni attuali del Fiume Po:** presenti parallelamente all'asse del corso d'acqua medesimo, fiancheggiando l'alveo inciso, costituiti in prevalenza da sabbie, argille sabbiose e limi, ai quali si intercalano livelli di argille, con spessore generalmente di qualche decimetro, riferibili a processi di sedimentazione in ambienti privi di correnti trattive.
- **Alluvioni attuali del Fiume Adda:** presenti nella porzione più settentrionale del territorio comunale costituiti da sedimenti del tutto assimilabili a quelli costituenti le alluvioni attuali del Fiume Po
- **Alluvioni terrazzate del Fiume Po:** depositi intercalati medio-recenti, di natura sabbiosa, argillo-limosa e limosa, di poco sospesi sugli alvei attuali, presenti nelle aree delle piane

alluvionali affrancate dalle attività di deposizione fluviale, aree golenali esondabili più o meno saltuariamente e i paleomeandri corrispondenti ad antichi percorsi fluviali.

- **Alluvioni Pleistoceniche:** depositi fluviali da sabbiosi ad argilloso-sabbiosi e argilloso-limosi, con granulometria decrescente da ovest verso est, costituenti il livello fondamentale della pianura.

Nell'area in esame sono presenti diversi paleoalvei afferenti sia al Fiume Po, che al Fiume Adda riconoscibili da lievi depressioni nel piano campagna che conservano le forme subcircolari e a festoni tipiche dei meandri estinti, caratterizzati da una successione stratigrafica costituita da da sabbie con ghiaietto in facies di canale attivo, chiuse verso l'alto da una successione finingupward di riempimento canale (in sequenza sabbie, limi ed argille, talora torbe).

L'attuale assetto geomorfologico dell'area in esame è il risultato dell'effetto combinato di alterne vicende climatiche di varia intensità, lente deformazioni tettoniche ed interventi antropici, che si sono imposti negli ultimi millenni ed hanno direttamente interagito sulla rete idrografica.

Nel complesso l'area comunale è caratterizzata da un morfologia monotona e pianeggiante, con pendenze comprese fra 0.05% e 0.3 %, caratterizzato da morfologie fluviali in corrispondenza dei fiumi principali e dei canali appartenenti al retico idrico secondario.

Localmente è possibile osservare la presenza discontinua di paleoalvei, la cui morfologia risulta spesso da parzialmente a completamente obliterata dall'attività antropica.

Secondo la Carta Geologica a scala 1: 100.000 Foglio N. 60 PIACENZA, l'area in esame appartiene Alle alluvioni limose, localmente sabbiose e ghiaiose, recenti (a2), sovrastanti le alluvioni fluvioglaciali e fluviali, prevalentemente sabbiose, con lenti limose e sottili livelli ghiaiose (fg^w).

Morfologicamente il sito in esame, posto ad una quota di circa 44 m s.m., è ubicato in un'area pianeggiante, non soggetta a fenomeni di dinamica geomorfologica in atto o potenziali che pregiudichino la stabilità dei luoghi.

3.3 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Dal punto di vista idrogeologico il territorio comunale di Castelnuovo Bocca d'Adda è caratterizzato, secondo la classificazione effettuata da ENI – Divisione Agip e Regione Lombardia (2002), dalla presenza di quattro Unità Idrostratigrafiche, definite informalmente Gruppi Acquiferi A, B, C, D, riconducibili agli studi precedenti relativi all'idrogeologia dell'alta pianura Padana.

- **Gruppo Acquifero D:** costituito da una sequenza in facies negativa, o a granulometria inversamente crescente (Coarsening Upward) di età pleistocenica inferiore, caratterizzata da argilla siltosa e silt con intercalazioni di sabbia fine e finissima in strati sottili alla base, sabbia grigia fine e media nella porzione intermedia, e ghiaia poligenica alternata a sabbia nella parte alta.

La successione sedimentaria è interpretata come un sistema deposizionale di delta – conoide progradante da Nord verso Sud.

- **Gruppo Acquifero C:** attribuito al Pleistocene Medio, è ripartito in due distinti cicli regressivi: il ciclo inferiore è costituito, alla base, da sedimenti marini di piattaforma, rappresentati in prevalenza da argilla siltoso - sabbiosa che passano superiormente a depositi prevalentemente sabbiosi di ambiente transizionale, la parte alta del ciclo è invece rappresentata da depositi continentali di piana alluvionale con sabbia grigia da finissima a media, laminata, alternata ad argilla siltosa e argilla palustre scura, ricca in sostanza organica.

Il ciclo regressivo inferiore è interrotto da una fase trasgressiva che ha coinciso con la deposizione di facies transizionali di un sistema litorale a prevalenti sabbie finissime passanti superiormente ad argille marine di piattaforma.

La porzione basale del ciclo superiore è rappresentata da una sequenza di facies negativa di progradazione di sistemi deltizi (ambiente transizionale), con prevalente sabbia grigia fine e media in strati gradati. Segue una sedimentazione in ambiente continentale di piana alluvionale con sabbia grigia, da finissima a media, alternata ad argilla siltosa ed argilla nerastra.

Nel suo complesso questa unità corrisponde ad una fase di progradazione da Ovest verso Est dei sistemi deposizionali padani, la quale determina il rapido colmamento dei bacini profondi a sedimentazione torbiditica, ancora presenti nella parte orientale e sud orientale della Lombardia.

La notevole variabilità sedimentaria ha importanti conseguenze di natura idrogeologica; gli intervalli sabbiosi rappresentano infatti dei serbatoi caratterizzati da spessori significativi (10-30 m), buona continuità laterale e valori dei parametri idrogeologici (porosità e permeabilità) favorevoli allo sfruttamento idrico, mentre i livelli argillosi garantiscono una sufficiente protezione e confinamento delle falde idriche presenti.

- **Gruppo Acquifero B:** suddivisibile in due distinti cicli positivi (fining upward) di spessore pari a circa 20 m; nel ciclo inferiore prevalgono i litotipi sabbiosi, con sabbia grigia da fine a grossolana, raramente ciottolosa, massiva o laminata, in strati gradati da sottili a molto spessi.

Il ciclo superiore è caratterizzato da granulometrie più grossolane, con chiara prevalenza delle ghiaie, nelle aree più prossime alle aree alpine di alimentazione, e delle sabbie in quelle meridionali più distali.

Il limite di base del Gruppo Acquifero B coincide con una fase molto importante nell'evoluzione sedimentaria della pianura lombarda per quanto attiene a litologie, facies sedimentarie, ambienti e sistemi deposizionali e direzione degli apporti. Esso segna infatti il passaggio alla deposizione generalizzata di sedimenti grossolani, rappresentati da sabbie medio - grossolane, sabbie ciottolose e ghiaie a matrice sabbiosa.

L'ambiente di deposizione è esclusivamente continentale con sistemi deposizionali di piana alluvionale dominata da sistemi fluviali braided ad alta energia, caratterizzati da sedimenti sabbioso - ghiaiosi poco classati organizzati in strati molto spessi, per lo più amalgamati.

- **Gruppo Acquifero A:** questa unità presenta forti analogie con il sottostante Gruppo B in termini di litofacies, ambienti e sistemi deposizionali.

I depositi sono costituiti da ghiaie e ghiaie ciottolose poligeniche a matrice sabbiosa da media a molto grossolana; l'ambiente deposizionale è continentale e dominano, in particolare, le piane alluvionali con sistemi fluviali di tipo braided.

L'andamento della falda superficiale nel sottosuolo del territorio comunale è caratterizzato da un flusso generalizzato O-E, con locali variazioni di flusso.

Nell'area oggetto di intervento e nelle sue zone limitrofe l'andamento della superficie freatica è caratterizzato da un flusso in direzione O-E, e da una quota variabile fra 35 m s.m. e 36 m s.m..

Dalle indagini eseguite è emersa la presenza della falda a profondità compresa fra circa -8.00 m da p.c. e -9.90 m da p.c., in accordo con quanto riportato sul PGT comunale.

4 FATTIBILITÀ GEOLOGICA, VINCOLI E PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE

La fase di progettazione e di valutazione della fattibilità dell'intervento prevede l'analisi delle limitazioni d'uso del territorio (vincoli) individuati e riportati nella "Componente geologica, idrogeologica, e sismica" del Piano di Governo del Territorio Comunale, nonché delle limitazioni relative alla normativa sovraordinata (Provinciale, Regionale e di Bacino).

Dall'esame della componente Geologica, Idrogeologica e Sismica del P.G.T. vigente del Comune di Castelnuovo Bocca d'Adda si ricavano i seguenti dati:

- In riferimento alla "Carta di Fattibilità geologica per le azioni di piano", l'area oggetto di intervento ricade in classe di Fattibilità 2 (Classe di fattibilità con modeste limitazioni – Aree non interessate con problematiche idrogeologiche evidenti).
- In riferimento alla "Carta dei vincoli", l'area oggetto di intervento non risulta soggetta a vincolo ai sensi del D.Lgs. 42/04 (i fiumi, i torrenti, i corsi d'acqua iscritti negli elenchi previsti dal testo unico delle disposizioni di legge sulle acque ed impianti elettrici, approvato con regio decreto 11 dicembre 1933, n.1775, e le relative sponde o piedi degli argini per una fascia di 150 metri ciascuna).
- In riferimento al Piano di Gestione del Rischio Alluvioni, l'area oggetto di intervento risulta collocata nello scenario di pericolosità di alluvione rara (P1/L) per l'ambito territoriale di Reticolo Principale (RP), con classe di rischio moderato (R2); fascia C del fiume Po.
- Con riferimento alla Carta della Pericolosità Sismica Locale le aree oggetto di interventi risultano inquadrate nello scenario sismico Z2 (Depositi prevalentemente limoso sabbiosi e sabbiosi: copertura fine prevalentemente limosa con falda superficiale).

Sulla base di quanto sopra esposto, gli interventi in progetto sono compatibili in relazione ai vincoli e alle limitazioni comunali e sovracomunali presenti nell'area in oggetto in quanto:

- Secondo quanto riportato dalle N.t.A. del P.G.T. comunale vigente, le aree che rientrano in classe di fattibilità 2 il progetto dovrà essere supportato da apposite indagini per la verifica della qualità dei terreni di fondazione nonché per la valutazione di eventuali problematiche idrogeologiche locali (ristagno superficiale di acqua)
- Secondo quanto prescritto dall'Art.31 del PAI (fascia di esondazione C), compete agli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica regolamentare le attività consentite, i limiti e i divieti edificatori all'interno delle suddette aree.

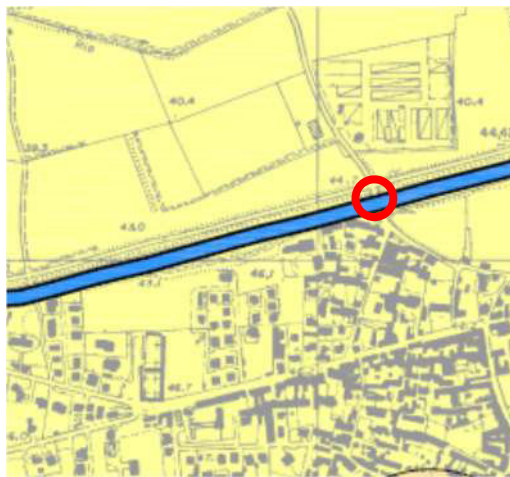
Secondo quanto riportato nella normativa del PGRA e del PAI, è consentita la realizzazione di opere pubbliche o di interesse pubblico, riferite a servizi essenziali non altrimenti localizzabili, a condizione che non modificano i fenomeni idraulici naturali e le caratteristiche di particolare rilevanza naturale dell'ecosistema fluviale che possono aver luogo nelle fasce, che non costituiscano significativo ostacolo al deflusso e non limitino in modo significativo la capacità di

invaso, e che non concorrano ad incrementare il carico insediativo. A tal fine i progetti devono essere corredati da uno studio di compatibilità, che documenti l'assenza dei suddetti fenomeni e delle eventuali modifiche alle suddette caratteristiche, da sottoporre all'Autorità competente, per l'espressione di parere rispetto la pianificazione di bacino.

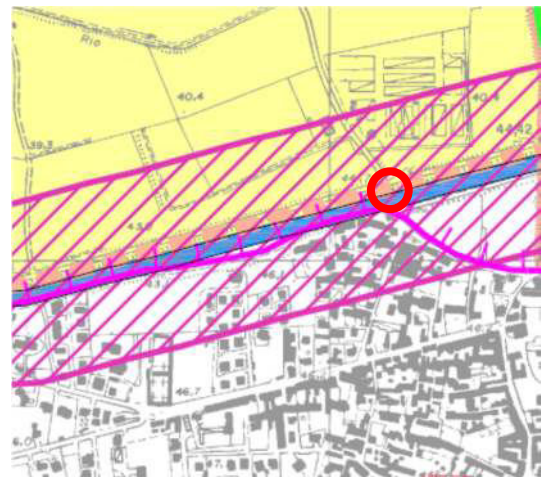
Gli interventi di nuova realizzazione dovranno comunque assicurare il mantenimento o il miglioramento delle condizioni di drenaggio superficiale dell'area, l'assenza di interferenze negative con il regime delle falde freatiche presenti e con la sicurezza delle opere di difesa esistenti.

- Secondo quanto prescritto dall'art.21 del D.Lgs 42/04, l'esecuzione di opere e di lavori di qualunque genere su beni culturali è subordinata ad autorizzazione del soprintendente. L'autorizzazione è resa su progetto o, qualora sufficiente, su descrizione tecnica dell'intervento, presentati dal richiedente, e può contenere prescrizioni.

Nelle figure seguenti sono riportati gli stralci della cartografia ufficiale consultata con l'ubicazione dell'area oggetto di intervento.

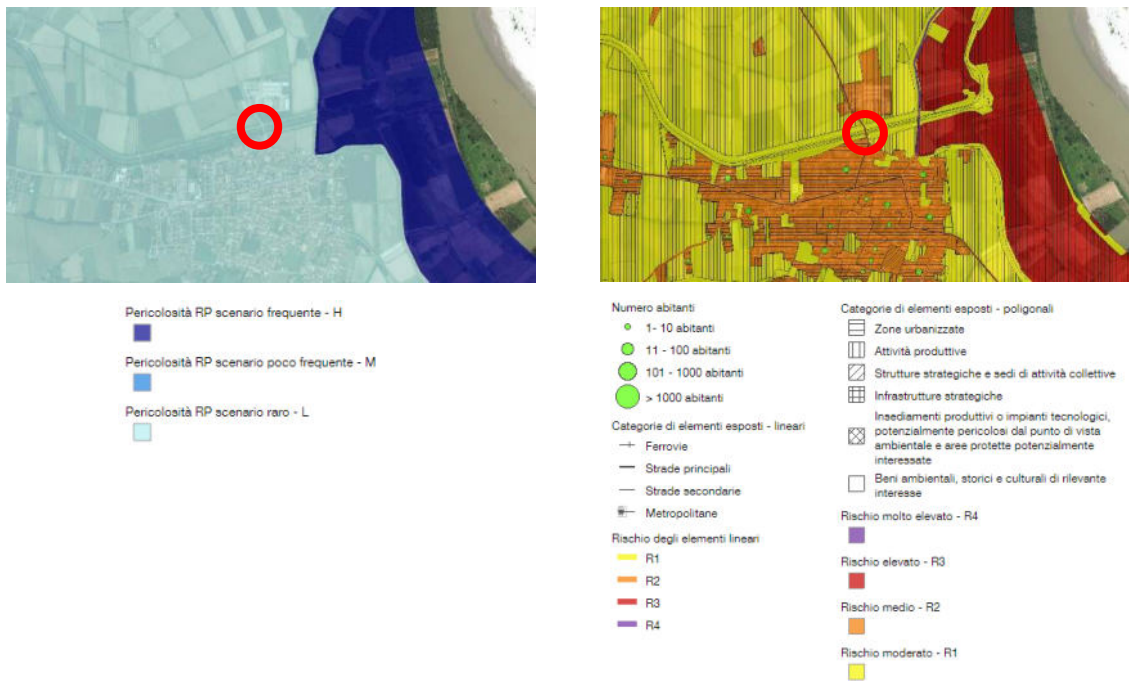


-  CLASSE 2 - FATTIBILITA' CON MODESTE LIMITAZIONI
Aree non interessate da problematiche idrogeologiche evidenti, soggette solamente al vincolo della fascia C del PAI
-  CLASSE 3 - FATTIBILITA' CON CONSISTENTI LIMITAZIONI
Aree di rispetto dei pozzi ad uso idropotabile
-  CLASSE 3* - FATTIBILITA' CON CONSISTENTI LIMITAZIONI
Aree appartenenti alla classe 3 e ricadenti nella fascia B del PAI
-  CLASSE 4 - FATTIBILITA' CON GRAVI LIMITAZIONI
Aree direttamente interessate da fenomeni alluvionali
-  Corsi d'acqua principali
-  Aree di ristagno d'acqua e depositi paludosi
-  Confini amministrativi

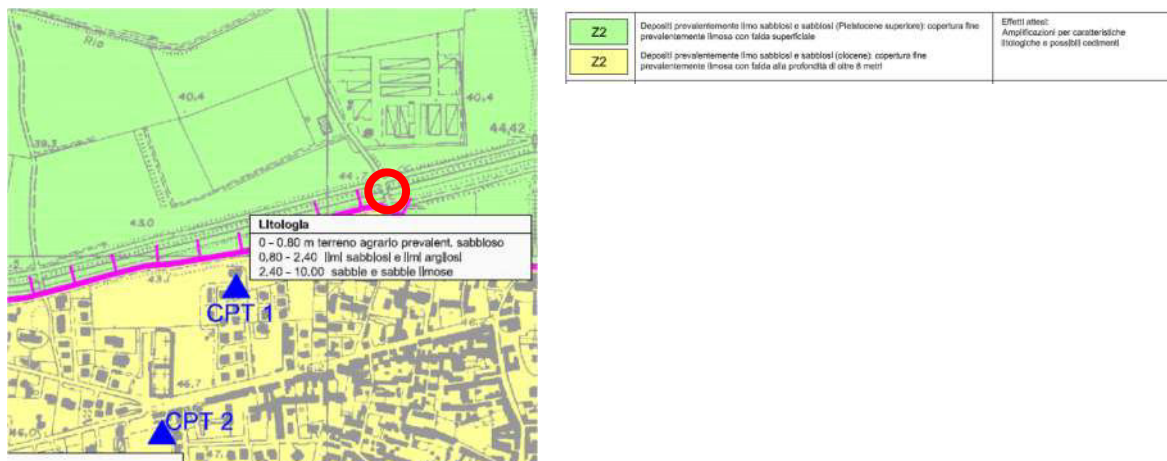


-  Corsi d'acqua principali
-  Vincolo idrogeologico R.D. 3227/23
-  Ambito vincolato ai sensi del D.Lgs.42/04 art 142, comma 1, lettera c - ex 431/85
-  Terrazzo morfologico
-  Argine maestro
-  Argini intragolenali
-  Limite tra la fascia A e la fascia B da PAI
-  Limite tra la fascia B e la fascia C da PAI
-  Zona di rispetto dei pozzi idropotabili
-  Impianto idrovoro
-  Zone a vulnerabilità elevata
-  Terreni a litologia prevalentemente limo-argillosa
-  Zone a drenaggio molto lento
-  Zone paludose di possibile ristagno

-Stralcio Carta della Fattibilità Geologica per le Azioni di Piano e stralcio Carta dei Vincoli-



-Stralcio Carte Piano Gestione Rischio Alluvioni (PGRA): pericolosità (sinistra) e rischio (destra)-



-Stralcio Carta della Pericolosità Sismica Locale (PSL)-

5 SISMOTETTONICA

La convergenza tra le placche Africana ed Europea, iniziata nel Cretaceo superiore è tuttora in atto, come mostrato dai dati geodetici satellitari. In profondità questo raccorciamento si trasforma in uno sforzo di caricamento delle faglie di tipo compressivo localizzate sia al piede delle Alpi Meridionali, sia al piede dell'Appennino settentrionale. Sottoposte alla coltre di sedimenti padani esistono quindi delle strutture tettoniche attive capaci di generare terremoti, fatto testimoniato sia dalla sismicità strumentale dell'area, sia dalla sismicità documentata storicamente.

Dal punto di vista strutturale la serie di faglie, sovrascorrimenti e piegamenti a macroscale che si rinvencono nel settore occidentale del lago di Garda con asse ad orientamento E-W e NE-SW (fascio di faglie delle Giudicarie o sistema Gardesano) rappresentano l'assetto strutturale compressivo e transpressivo legato all'orogenesi alpina delle Prealpi Lombarde.

Il terremoto (o sisma) è una repentina liberazione di energia che si è andata accumulando nel tempo nello strato superficiale della terra. L'energia elastica può, ad un dato momento, superare la resistenza intrinseca delle rocce stesse; a questo punto, avviene la frantumazione delle rocce e la liberazione di energia che si trasmette sotto forma di: onde compressive (onde P) o onde di volume e onde ondulatorie (onde S) o onde interne. Il punto in cui inizia la rottura delle rocce si definisce ipocentro mentre la sua proiezione verticale sulla superficie terrestre viene definita epicentro.

Le onde P ed S si generano nell'ipocentro e si propagano in maniera sferica attorno ad esso. Quando le onde S raggiungono la superficie si trasformano in parte in onde superficiali che si propagano dall'epicentro lungo la superficie terrestre e si smorzano rapidamente in profondità. Tra queste le principali sono le onde di Rayleigh e le onde di Love. La trasmissione delle onde sismiche avviene attraverso le rocce ed i terreni con caratteristiche elastiche proprie.

L'assetto geostrutturale dell'Italia settentrionale è caratterizzato dalla presenza di due catene, le Alpi Meridionali e l'Appennino. L'attività tettonica lungo le due catene produce deformazioni che si manifestano attraverso l'attività sismica.

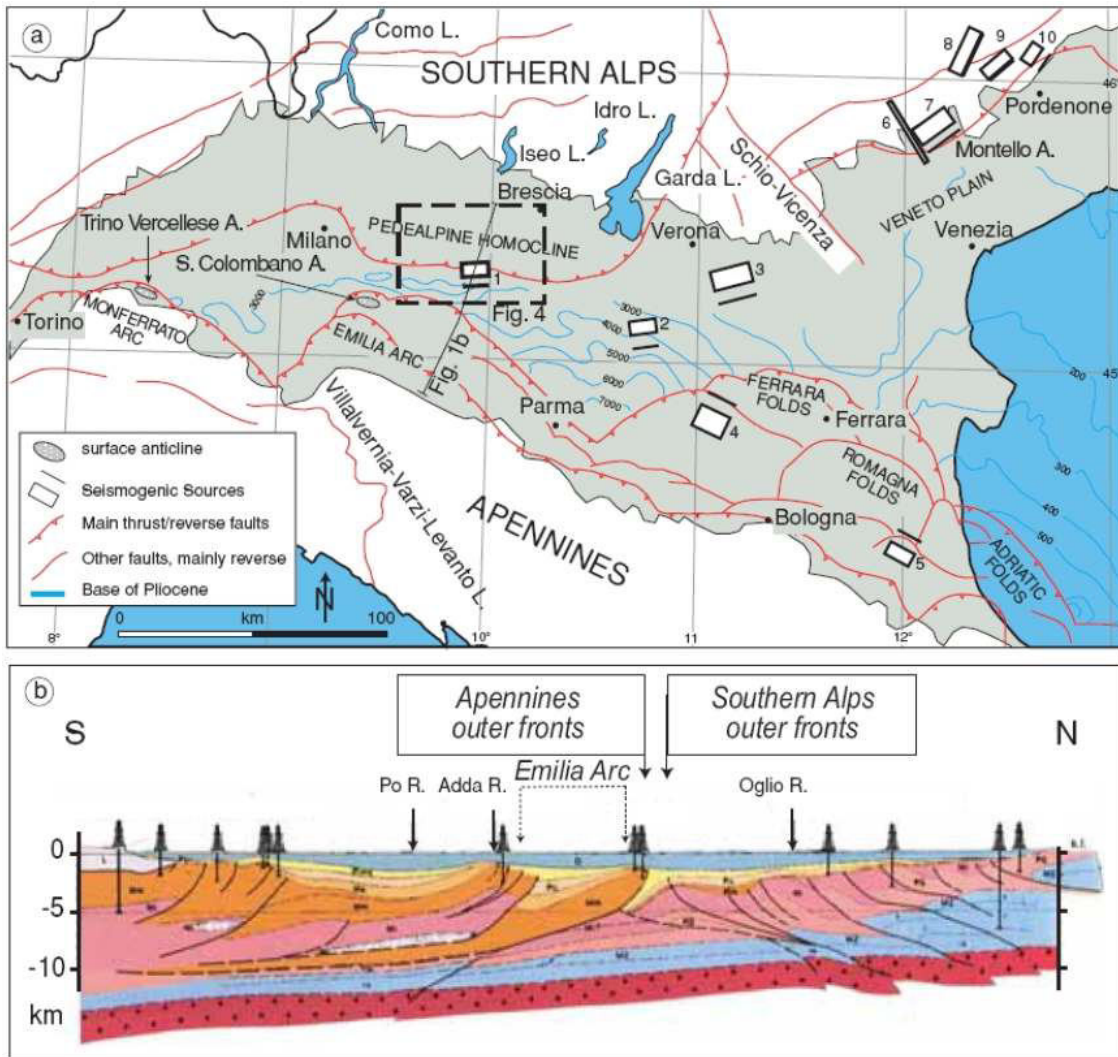
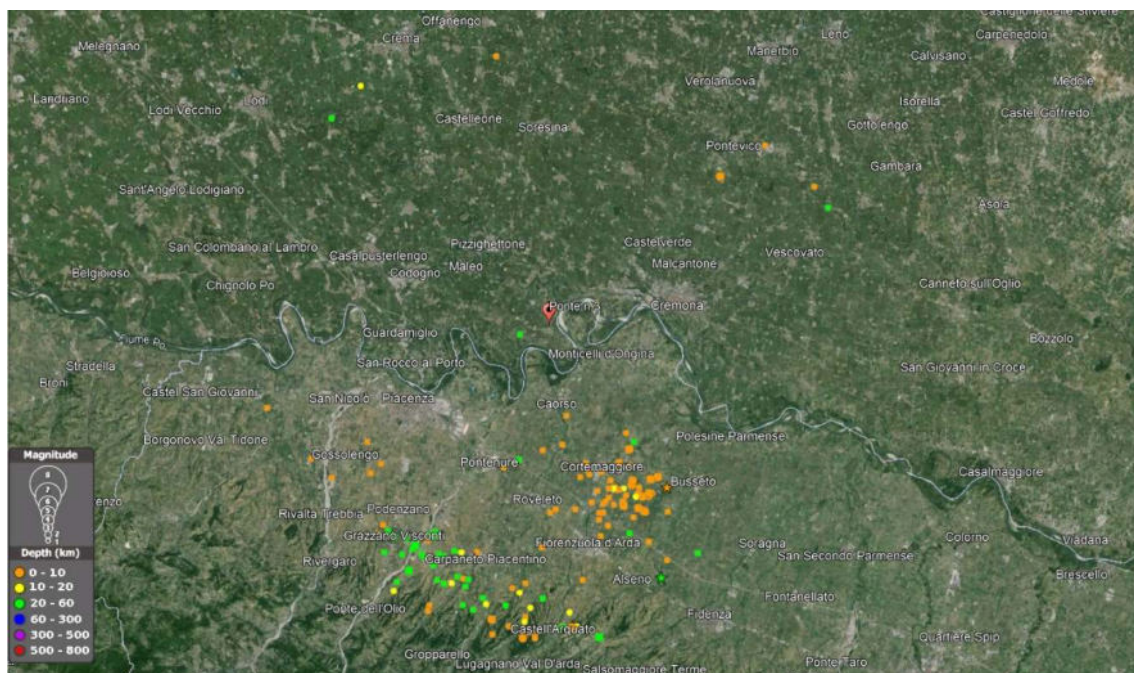


Fig. 1a,b. a) Simplified structural map of the Po Plain and neighbouring Veneto Plain, showing the main tectonic elements (from Pieri and Groppi, 1981, modified), and contours of the base of the Plio-Quaternary sedimentary sequence (from Bigi *et al.*, 1989). The plain is shaded in light grey, while higher topography regions are shown in white. The outer thrust fronts of the Southern Alps and of the Apennines are buried beneath the thick syn-orogenic clastic deposits. The seismogenic sources are from Valensise and Pantosti (2001b) and are identified in table II. b) Structural cross-section of the Central Po Plain, showing the main buried thrust fronts of the Northern Apennines and Southern Alps (from Cassano *et al.*, 1986, modified). Location of the trace is shown in fig. 1a.

-Mappa strutturale semplificata della Pianura Padana-

Nelle figure seguenti sono riportate le caratteristiche dei sismi con magnitudo (M) superiore a 2, avvenuti nell'intorno di 30 km dall'area oggetto di intervento da inizio 1985 a fine 2023 (Fonte: INGV, database ISIDE).



-Mappa degli eventi sismici con $M > 2$ entro 30 km dall'area di intervento (1985÷2023)-

ID	DATA	ORA	LAT	LONG	PROFONDITA' (km)	TIPO DI MAGNITUDO	MAGNITUDO	UBICAZIONE
21679	27/05/1985	13:06:11	44.920	9.778	8.7	Md	2.4	1 km W Carpaneto Piacentino (PC)
90939	17/07/1986	09:44:41	45.323	9.633	19.7	Md	2.6	1 km E Casaletto Ceredano (CR)
128799	24/04/1987	09:17:48	45.349	9.800	10.0	Md	2.2	2 km E Salvirola (CR)
170939	03/02/1988	12:52:18	44.889	9.821	5.0	Md	2.3	4 km SE Carpaneto Piacentino (PC)
295929	09/02/1990	06:30:24	45.000	9.829	26.1	Md	2.3	3 km E Pontenure (PC)
326139	29/05/1990	11:38:13	44.872	9.843	10.9	Md	2.7	3 km NW Castell'Arquato (PC)
411029	27/08/1991	08:32:53	45.015	9.643	5.0	Md	2.6	2 km E Gossolengo (PC)
423519	30/10/1991	00:47:06	44.964	9.957	5.0	Md	2.6	3 km S Besenzone (PC)
423549	30/10/1991	01:50:54	44.974	9.951	5.0	Md	2.4	2 km S Besenzone (PC)
423559	30/10/1991	01:58:17	44.985	9.904	5.0	Md	2.1	3 km SW Cortemaggiore (PC)
423569	30/10/1991	02:33:33	45.008	9.858	7.5	Md	2.1	5 km N Cadeo (PC)
423579	30/10/1991	02:33:43	44.976	9.976	5.0	Md	2.5	2 km SE Besenzone (PC)
423709	30/10/1991	15:35:34	44.975	9.939	10.0	Md	2.5	2 km SW Besenzone (PC)
423719	30/10/1991	15:35:52	44.997	9.952	5.0	Md	3.1	1 km N Besenzone (PC)
423759	30/10/1991	16:24:21	45.009	9.964	5.0	Md	3.0	2 km SE San Pietro in Cerro (PC)
423889	31/10/1991	09:31:18	44.976	10.010	5.0	Md	4.0	3 km W Busseto (PR)
423909	31/10/1991	10:51:58	44.989	9.930	7.3	Md	2.5	1 km S Cortemaggiore (PC)
423919	31/10/1991	10:59:59	44.975	9.945	10.2	Md	2.8	2 km SW Besenzone (PC)
424039	31/10/1991	18:25:33	44.991	9.913	5.0	Md	2.5	2 km W Cortemaggiore (PC)
424179	01/11/1991	06:17:10	44.971	9.988	5.0	Md	3.2	3 km SE Besenzone (PC)
424209	01/11/1991	13:17:45	44.960	9.957	4.0	Md	3.0	3 km S Besenzone (PC)
424219	01/11/1991	13:30:19	44.969	9.960	5.9	Md	2.9	2 km S Besenzone (PC)
424289	02/11/1991	10:42:27	44.958	9.975	5.0	Md	3.2	4 km SE Besenzone (PC)
424749	08/11/1991	13:44:10	44.983	9.990	5.0	Md	3.0	3 km E Besenzone (PC)
426109	17/11/1991	01:26:05	44.985	9.999	5.0	Md	3.4	3 km W Busseto (PR)
426839	22/11/1991	07:40:01	44.978	9.967	6.5	Md	3.5	2 km SE Besenzone (PC)
426849	22/11/1991	07:55:49	44.954	9.867	10.0	Md	2.2	2 km SE Cadeo (PC)
426859	22/11/1991	07:57:45	44.969	9.988	5.0	Md	3.2	3 km SE Besenzone (PC)
426939	22/11/1991	11:17:45	44.967	9.939	8.1	Md	2.5	3 km SW Besenzone (PC)
426969	22/11/1991	17:55:02	44.995	9.966	5.0	Md	2.7	1 km NE Besenzone (PC)
427539	26/11/1991	08:23:53	44.982	9.941	5.0	Md	2.1	1 km SW Besenzone (PC)

-Caratteristiche degli eventi sismici con $M > 2$ entro 30 km dall'area di intervento (1985÷2023)-

ID	DATA	ORA	LAT	LONG	PROFONDITA' (km)	TIPO DI MAGNITUDO	MAGNITUDO	UBICAZIONE
428999	03/12/1991	16:58:23	44.971	9.992	5.0	Md	2.9	4 km SE Besenzone (PC)
429179	04/12/1991	13:31:30	44.975	9.946	5.0	Md	3.1	2 km SW Besenzone (PC)
430239	10/12/1991	02:48:28	44.962	9.932	5.0	Md	2.7	3 km SW Besenzone (PC)
432979	26/12/1991	20:59:44	45.023	9.960	7.5	Md	2.8	1 km E San Pietro in Cerro (PC)
433549	01/01/1992	10:12:19	44.982	9.968	5.0	Md	3.4	1 km SE Besenzone (PC)
433579	01/01/1992	11:38:59	44.955	10.011	9.8	Md	2.3	4 km SW Busseto (PR)
433779	02/01/1992	12:30:49	44.955	9.983	5.0	Md	3.2	4 km SE Besenzone (PC)
433789	02/01/1992	13:44:59	44.968	9.980	3.9	Md	3.4	3 km SE Besenzone (PC)
433859	03/01/1992	02:59:17	44.973	9.925	5.0	Md	2.5	3 km S Cortemaggiore (PC)
433869	03/01/1992	03:39:52	45.013	9.882	5.0	Md	2.3	4 km S Caorso (PC)
434129	04/01/1992	16:26:22	44.987	9.915	5.0	Md	2.4	2 km SW Cortemaggiore (PC)
435719	13/01/1992	12:43:16	45.135	9.924	10.2	Md	2.6	2 km S Spinadesco (CR)
436449	17/01/1992	23:00:27	44.996	9.660	10.0	Md	2.4	4 km E Gossolengo (PC)
446789	20/03/1992	13:54:24	44.964	9.956	9.6	Md	2.7	3 km S Besenzone (PC)
446799	20/03/1992	14:29:31	44.954	9.932	9.5	Md	2.4	3 km NE Fiorenzuola d'Arda (PC)
446879	21/03/1992	01:33:34	44.975	9.957	13.3	Md	2.6	2 km S Besenzone (PC)
515759	14/04/1993	23:55:14	44.856	9.817	7.0	Md	2.5	4 km N Lugagnano Val d'Arda (PC)
520749	13/05/1993	10:46:11	44.957	9.980	8.5	Md	2.9	4 km SE Besenzone (PC)
550489	05/08/1993	09:11:38	45.038	9.887	5.0	Md	2.5	2 km SE Caorso (PC)
552859	15/08/1993	14:17:41	44.897	9.761	5.0	Md	2.7	3 km SW Carpaneto Piacentino (PC)
554009	20/08/1993	23:59:25	44.860	9.836	12.7	Md	2.5	3 km W Castell'Arquato (PC)
578119	07/01/1994	04:10:35	44.885	9.830	11.6	Md	2.4	5 km SE Carpaneto Piacentino (PC)
579239	14/01/1994	11:05:57	44.846	9.849	7.1	Md	2.8	2 km W Castell'Arquato (PC)
582069	02/02/1994	01:44:40	44.846	9.834	6.7	Md	3.0	3 km N Lugagnano Val d'Arda (PC)
583999	12/02/1994	04:47:06	44.875	9.789	15.0	Md	2.2	5 km S Carpaneto Piacentino (PC)
585529	21/02/1994	16:00:59	44.893	9.747	15.8	Md	2.5	4 km SW Carpaneto Piacentino (PC)
623749	13/08/1994	03:12:31	44.862	9.796	5.0	Md	3.2	5 km NW Lugagnano Val d'Arda (PC)
623759	13/08/1994	03:33:59	44.856	9.882	5.0	Md	2.5	1 km E Castell'Arquato (PC)
625689	22/08/1994	10:05:58	44.850	9.849	10.0	Md	2.5	2 km W Castell'Arquato (PC)
629839	13/09/1994	18:41:48	44.868	9.891	10.4	Md	2.6	2 km NE Castell'Arquato (PC)
643349	26/11/1994	10:44:56	44.948	9.927	9.5	Md	2.5	3 km NE Fiorenzuola d'Arda (PC)
656619	11/02/1995	04:22:26	44.970	9.975	5.0	Md	3.1	3 km SE Besenzone (PC)
680249	10/06/1995	18:34:21	44.864	9.837	9.9	Md	2.3	3 km W Castell'Arquato (PC)
688309	20/07/1995	22:25:13	44.851	9.842	5.5	Md	2.7	2 km W Castell'Arquato (PC)
735309	14/03/1996	07:01:41	44.855	9.894	5.0	Md	3.4	2 km E Castell'Arquato (PC)
779859	02/11/1996	08:08:15	45.044	9.520	5.0	Md	2.3	3 km SE Sarmato (PC)
822609	04/06/1997	17:08:06	44.950	9.969	5.0	Md	2.6	4 km S Besenzone (PC)
822649	04/06/1997	19:32:14	44.957	9.898	6.3	Md	2.6	3 km N Fiorenzuola d'Arda (PC)
822659	04/06/1997	19:32:58	44.943	9.938	3.7	Md	2.7	3 km NE Fiorenzuola d'Arda (PC)
822679	04/06/1997	20:32:02	44.934	9.929	5.0	Md	2.6	2 km E Fiorenzuola d'Arda (PC)
822769	04/06/1997	23:36:29	44.993	9.810	10.0	Md	2.3	2 km E Pontenure (PC)
822889	05/06/1997	03:41:48	44.963	9.918	5.0	Md	2.5	4 km N Fiorenzuola d'Arda (PC)
823089	05/06/1997	18:23:43	44.961	9.945	5.0	Md	2.8	3 km S Besenzone (PC)
823099	05/06/1997	18:32:23	44.957	9.874	10.0	Md	2.2	2 km SE Cadeo (PC)
824079	08/06/1997	07:05:13	44.954	9.927	5.0	Md	2.9	3 km NE Fiorenzuola d'Arda (PC)
833189	15/07/1997	08:42:44	44.893	9.837	10.0	Md	2.5	5 km SE Carpaneto Piacentino (PC)
837089	03/08/1997	17:49:09	44.964	9.935	5.0	Md	2.5	3 km SW Besenzone (PC)
991419	15/05/1998	14:47:52	44.930	9.717	8.1	Md	2.6	3 km SW San Giorgio Piacentino (PC)
1124449	22/02/2000	01:27:57	44.968	9.972	11.0	Md	2.6	3 km SE Besenzone (PC)
1211659	16/01/2001	23:07:28	44.924	9.857	5.0	Md	2.5	4 km W Fiorenzuola d'Arda (PC)
1211669	16/01/2001	23:32:35	44.896	9.907	9.1	Md	2.6	4 km S Fiorenzuola d'Arda (PC)
1232499	23/04/2001	21:35:41	44.988	9.647	5.3	Md	2.6	3 km SE Gossolengo (PC)
1457819	03/08/2003	21:44:45	45.245	10.076	5.1	Md	3.4	2 km S Robecco d'Oglio (CR)
1546059	24/08/2004	14:57:53	44.997	9.911	5.0	Md	2.7	2 km W Cortemaggiore (PC)
1585429	21/03/2005	04:57:14	44.874	9.720	10.0	Md	2.6	5 km N Gropparello (PC)
1585439	21/03/2005	05:35:06	44.869	9.718	10.0	Md	2.3	4 km N Gropparello (PC)
1703949	10/11/2006	16:21:33	45.236	10.192	4.0	ML	2.7	1 km SE Seniga (BS)
1759929	30/07/2007	19:03:00	44.913	10.010	1.1	ML	2.7	4 km E Alseno (PC)
1759939	30/07/2007	19:05:43	44.898	10.003	20.5	Mw	4.2	3 km E Alseno (PC)
1759959	30/07/2007	19:20:12	44.929	9.988	4.2	ML	2.0	4 km NE Alseno (PC)
2189659	10/05/2010	19:12:59	44.849	9.797	9.6	ML	2.5	4 km NW Lugagnano Val d'Arda (PC)
2211159	19/06/2010	01:16:28	44.856	9.900	16.7	ML	2.9	3 km E Castell'Arquato (PC)
2211169	19/06/2010	01:20:16	44.880	9.858	27.8	ML	2.3	3 km N Castell'Arquato (PC)
2211209	19/06/2010	02:16:29	44.874	9.813	28.5	ML	2.3	5 km W Castell'Arquato (PC)
4815271	06/01/2015	02:54:06	44.855	9.875	26.3	ML	2.3	1 km E Castell'Arquato (PC)
6293011	08/12/2015	14:02:04	45.108	9.830	26.8	ML	2.1	1 km SW Meleti (LO)
6305651	14/12/2015	09:23:30	45.295	9.597	38.0	ML	2.6	1 km NW Cavenago d'Adda (LO)

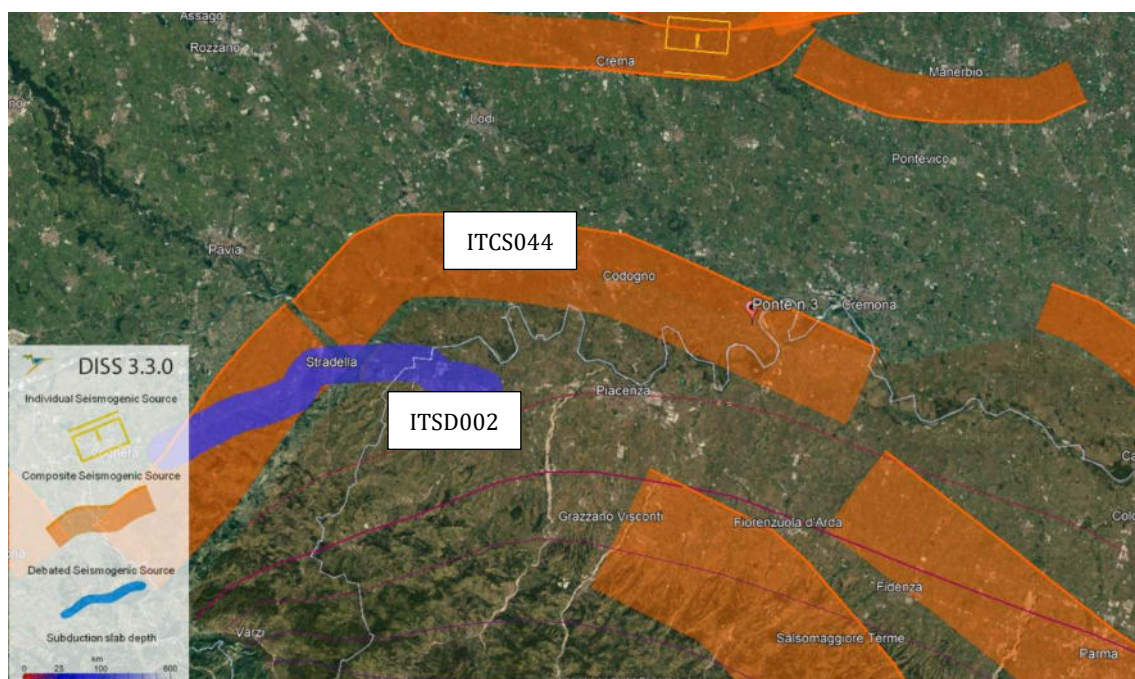
-Caratteristiche degli eventi sismici con $M > 2$ entro 30 km dall'area di intervento (1985-2023)-

ID	DATA	ORA	LAT	LONG	PROFONDITA' (km)	TIPO DI MAGNITUDO	MAGNITUDO	UBICAZIONE
6885011	29/06/2016	11:31:22	45.218	10.209	37.8	ML	2.2	1 km W Gabbioneta-Binanuova (CR)
19625361	06/06/2018	00:13:57	44.894	9.680	20.1	ML	2.0	2 km SE Vigolzone (PC)
22309641	22/05/2019	14:37:36	44.847	9.927	23.0	ML	3.5	5 km E Castell'Arquato (PC)
24350231	02/05/2020	10:49:07	44.919	10.048	29.0	ML	2.3	6 km N Fidenza (PR)
24518651	28/05/2020	01:46:35	45.015	9.970	25.4	ML	2.1	2 km E San Pietro in Cerro (PC)
27908301	11/08/2021	03:59:47	44.936	9.964	27.5	ML	2.1	4 km N Alseno (PC)
34650491	11/04/2023	18:35:48	45.272	10.131	7.0	ML	2.4	1 km W Alfianello (BS)
35150121	31/05/2023	15:29:47	44.856	9.883	23.6	ML	2.2	1 km E Castell'Arquato (PC)
36305311	27/09/2023	14:04:29	44.886	9.676	10.8	ML	2.1	3 km S Vigolzone (PC)
36310321	28/09/2023	02:37:00	44.936	9.657	8.6	ML	2.4	3 km NW Vigolzone (PC)
36310631	28/09/2023	03:42:29	44.893	9.738	22.2	ML	2.1	5 km SW Carpaneto Piacentino (PC)
36337361	30/09/2023	03:28:05	44.938	9.727	20.9	ML	2.4	2 km SW San Giorgio Piacentino (PC)
36341661	30/09/2023	12:28:48	44.921	9.750	24.1	ML	2.4	3 km W Carpaneto Piacentino (PC)
36356281	01/10/2023	19:31:32	44.880	9.785	23.2	ML	2.0	4 km S Carpaneto Piacentino (PC)
36386901	04/10/2023	19:12:05	44.874	9.761	24.0	ML	2.1	5 km NE Gropparello (PC)
36388661	05/10/2023	01:07:40	44.918	9.686	20.4	ML	2.6	1 km E Vigolzone (PC)
36389321	05/10/2023	02:49:04	44.899	9.754	22.7	ML	2.0	3 km SW Carpaneto Piacentino (PC)
36401111	06/10/2023	06:29:02	44.932	9.692	30.9	ML	2.1	3 km NE Vigolzone (PC)
36411241	07/10/2023	08:33:08	44.920	9.665	23.2	ML	2.6	1 km NW Vigolzone (PC)
36428121	08/10/2023	19:40:13	44.890	9.764	24.1	ML	2.0	4 km SW Carpaneto Piacentino (PC)
36428441	08/10/2023	21:08:22	44.908	9.725	23.2	ML	2.4	4 km E Vigolzone (PC)
36428811	08/10/2023	22:11:50	44.920	9.759	19.8	ML	2.3	2 km W Carpaneto Piacentino (PC)
36429381	09/10/2023	00:10:48	44.916	9.712	23.5	ML	2.1	3 km E Vigolzone (PC)
36429521	09/10/2023	00:29:56	44.984	9.599	6.2	ML	2.2	3 km SW Gossolengo (PC)
36430301	09/10/2023	03:01:02	44.943	9.663	9.3	ML	2.2	2 km SW Podenzano (PC)
36430461	09/10/2023	03:40:53	45.000	9.574	3.3	ML	2.2	1 km S Gragnano Trebbiense (PC)
36434681	09/10/2023	12:39:22	44.938	9.669	25.7	ML	2.4	2 km SW Podenzano (PC)
36439331	10/10/2023	03:20:15	44.936	9.719	20.5	ML	2.7	3 km SW San Giorgio Piacentino (PC)
36447811	11/10/2023	03:02:42	44.870	9.773	25.2	ML	2.4	5 km S Carpaneto Piacentino (PC)
36465341	13/10/2023	05:11:56	44.904	9.695	20.9	ML	3.5	2 km E Vigolzone (PC)
36465621	13/10/2023	05:19:45	44.918	9.731	21.5	ML	2.5	4 km S San Giorgio Piacentino (PC)
36466071	13/10/2023	05:42:48	44.923	9.701	23.6	ML	2.7	3 km E Vigolzone (PC)
36466481	13/10/2023	06:17:07	44.933	9.727	25.0	ML	2.9	3 km SW San Giorgio Piacentino (PC)
36466751	13/10/2023	06:29:38	44.922	9.699	24.2	ML	2.4	2 km E Vigolzone (PC)
36467121	13/10/2023	07:25:20	44.926	9.702	21.5	ML	3.7	3 km E Vigolzone (PC)
36467271	13/10/2023	07:43:04	44.918	9.710	21.4	ML	2.4	3 km E Vigolzone (PC)
36467441	13/10/2023	07:52:34	44.917	9.737	23.3	ML	2.4	4 km W Carpaneto Piacentino (PC)
36485241	14/10/2023	19:16:21	44.896	9.729	32.5	ML	2.2	5 km E Vigolzone (PC)
36495761	15/10/2023	17:17:58	44.933	9.677	24.4	ML	2.6	2 km N Vigolzone (PC)
36939361	22/11/2023	16:16:38	44.896	9.767	23.6	ML	2.3	3 km SW Carpaneto Piacentino (PC)

-Caratteristiche degli eventi sismici con $M > 2$ entro 30 km dall'area di inetrvento (1985÷2023)-

Di seguito si evidenzia quanto riportato dal DISS (Database of Individual Seismogenetic Sources) elaborato dall'Istituto Nazionale Geofisica che fornisce informazioni sulle faglie attive in Italia.

Tale database indica che il sito di interesse si colloca in corrispondenza della sorgente sismogenetica composita ITCS044 (Portalbera-Cremona), e a circa 8.5 km a NNE dalla sorgente di subduzione ITSD002 (Northern Apennines Arc), rispettivamente caratterizzate da magnitudo massima pari a $M_w=6.7$ (ITCS044) e $M_w=8.1$ (ITSD002), assunte sulla base di dati sismologici regionali.



-Estratto carta delle sorgenti sismogenetiche (DISS)-

GENERAL INFORMATION			
DISS-ID	ITCS044		
Name	Portalbera-Cremona		
Compiler(s)	Burrato P.(1)		
Contributor(s)	Burrato P.(1), D'Ambrogio C.(2), Maesano F.E.(1), Toscani G.(3)		
Affiliation(s)	1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sezione Roma 1; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy 2) Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale; Servizio Geologico d'Italia; Via Vitaliano Brancati, 48, 00144 Roma, Italy 3) Università di Pavia, Dipartimento di Scienze della Terra e dell'Ambiente; Via Ferrara, 1, 27100 Pavia, Italy		
Created	17/10/2013		
Updated	19/06/2015		
PARAMETRIC INFORMATION			
	Parameter	Quality	Evidence
Min depth [km]	2.0	OD	Based on geological data from various authors.
Max depth [km]	7.0	OD	Based on geological data from various authors.
Strike [deg] min... max	30...115	OD	Based on geological data from various authors.
Dip [deg] min... max	20...40	OD	Based on geological data from various authors.
Rake [deg] min... max	80...100	EJ	Inferred from geological data.
Slip Rate [mm/y] min... max	0.4800... 0.5400	OD	Based on geological data from Maesano et al. (2015).
Max Magnitude [Mw]	6.7	ER	Estimated from Leonard's (2014) scaling relations.
L=D:Literature Data; OD=Original Data; ER=Empirical Relationship; AR=Analytical Relationship; EJ=Expert Judgement			

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

GENERAL INFORMATION			
DISS-ID	ITSD002		
Name	Northern Apennines Arc		
Compiler(s)	Maesano F.E.(1)		
Contributor(s)	DISS W.G.(1)		
Affiliation(s)	1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sezione Roma 1; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy		
Created	11/11/2019		
Updated	02/12/2021		
PARAMETRIC INFORMATION			
Parameter	Quality	Evidence	
Min Seismogenic Depth [km]	12.0	LD	Based on various published geological profiles
Max Seismogenic Depth [km]	20.0	LD	Based on rheological profiles from Carafa et al. (2015).
Dip direction	SW	LD	Based on geophysical and geological data from various authors
Convergence azimuth [deg CW from North]	30...70	LD	Based on geodetic data from various authors.
Convergence Rate [mm/y]	0.5...1.5	LD	Based on geodetic data from various authors.
Max Magnitude [Mw]	8.1	ER	Estimated from the scaling relation by Allen & Hayes (2017) applied to the area of the largest rupture area that fits inside the seismic interface.

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

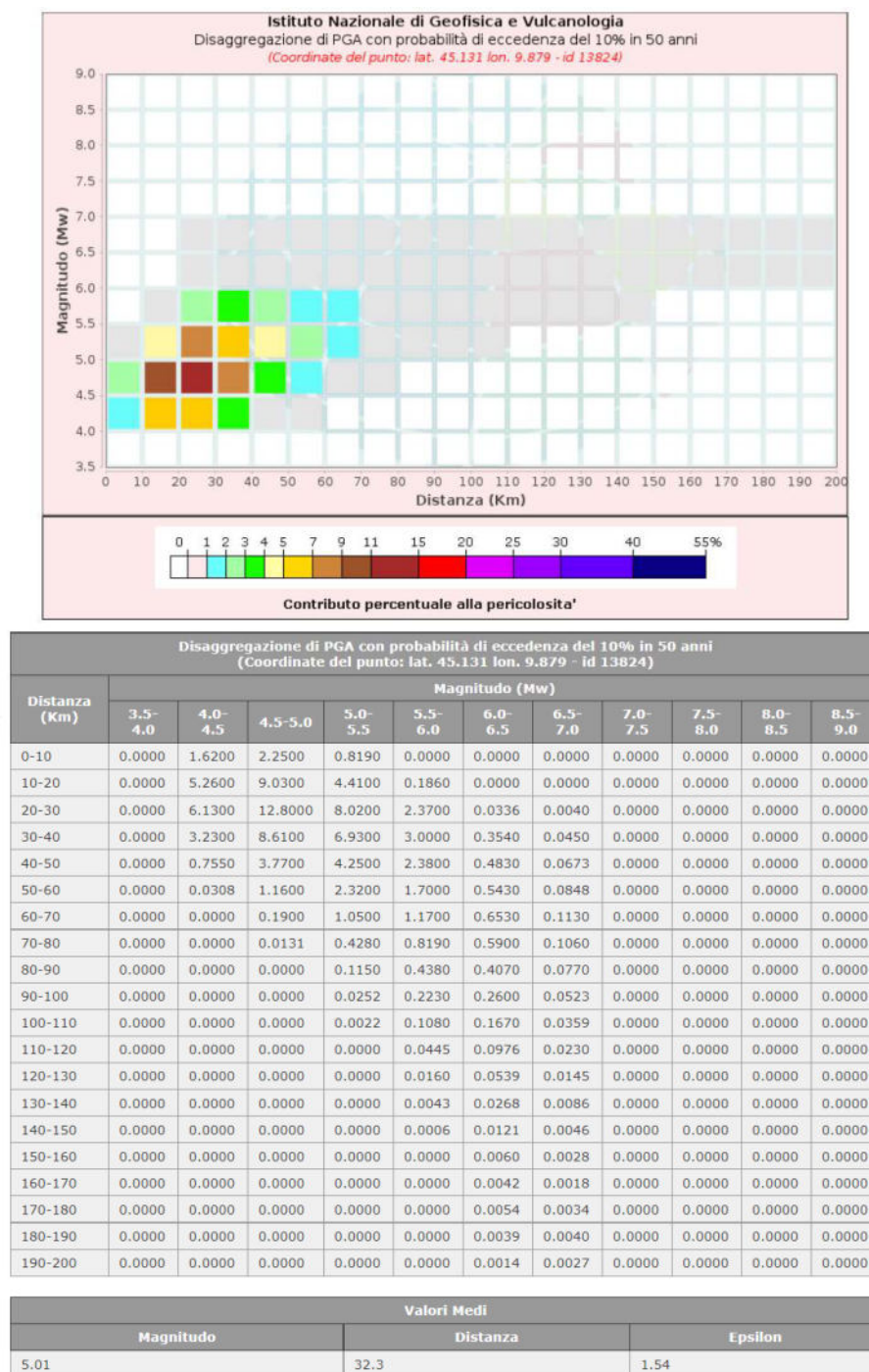
LD=Literature Data; OD=Original Data; ER=Empirical Relationship; AR=Analytical Relationship; EJ=Expert Judgement

-Informazioni parametriche sorgenti sismogenetiche (DISS)-

La valutazione dei contributi di diversi sorgenti sismiche alla pericolosità sismica di una porzione di territorio viene eseguita mediante l'operazione di disaggregazione (o deaggregazione), la quale permette di definire il contributo di ogni sorgente sismogenica di magnitudo M ubicata a una distanza R dall'area oggetto di studio.

Espresso in altri termini il processo di disaggregazione in M - R fornisce il terremoto che domina lo scenario di pericolosità (terremoto di scenario) inteso come l'evento di magnitudo M a distanza R dal sito oggetto di studio che contribuisce maggiormente alla pericolosità sismica del sito stesso.

Nella figura seguente è riportato il grafico di disaggregazione relativo all'area oggetto di intervento, ricavato in funzione delle coordinate geografiche del sito in oggetto e della classe d'uso delle opere in progetto (II).



-Grafico di disaggregazione-Modello di pericolosità sismica MPS04-S1 INGV-

I risultati ottenuti in questo studio possono risultare utili nella selezione di accelerogrammi a scopi di progettazione e/o per analisi dinamiche (es. analisi numeriche di risposta sismica locale).

6 SISMICITÀ

La porzione di territorio in cui ricade l'area in esame risulta a bassa sismicità.

La normativa vigente sul rischio sismico è di seguito riassunta:

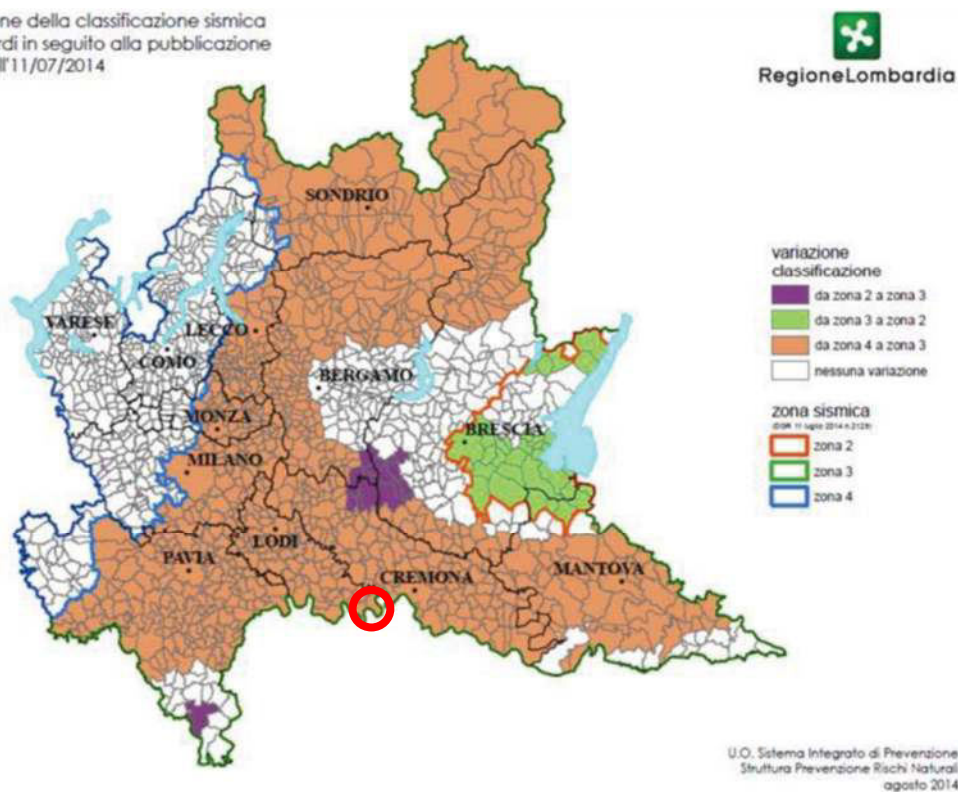
- Ordinanza del P.C.M. n° 3274 del 20/03/2003 e succ. mod. ed int., pubblicata sul supplemento ordinario della Gazzetta Ufficiale n° 105 del 08/05/2003, che emana i "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per la costruzioni in zone sismiche" e disciplina la progettazione e la costruzione di nuovi edifici soggetti ad azioni sismiche, nonché la valutazione della sicurezza e gli interventi di adeguamento e miglioramento su edifici esistenti soggetti al medesimo tipo di azioni. Il sito di costruzione ed i terreni in esso presenti dovranno in generale essere esenti da rischi di cedimenti permanenti causati da fenomeni di liquefazione o eccessivo addensamento in caso di terremoto. L'occorrenza di tali fenomeni andrà valutata con opportune indagini geognostiche il cui scopo sarà anche quello di classificare il terreno di fondazione nelle categorie individuate dall'ordinanza.
- Il D.G.R. della Regione Lombardia del 30 novembre 2011, n. 9/2616: aggiornamento dei "Criteri e indirizzi per la definizione 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", approvati con D.G.R. 22 dicembre 2005, n. 8/1566 e successivamente modificati con D.G.R. 28 maggio 2008, n. 8/7374.
- Il D.G.R. della Regione Lombardia del 11 luglio 2014, n. 10/2129: aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r. 1/2000, art. 3, c. 108, lett. d).

Con il D.G.R. 10 ottobre 2014 - n. 10/2489, la Giunta Regionale ha provveduto al differimento del termine per l'entrata in vigore della nuova classificazione sismica dei Comuni lombardi, di cui alla D.G.R. 11 luglio 2014, n. 2129 "Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r. 1/2000, art.3, c.108, lett. d)".

Con il D.G.R. 8 ottobre 2015 - n. 10/4144, la Giunta Regionale ha provveduto all'ulteriore differimento del termine per l'entrata in vigore della nuova classificazione sismica dei Comuni lombardi, di cui alla D.G.R. 11 luglio 2014, n. 2129 "Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r. 1/2000, art.3, c.108, lett. d)".

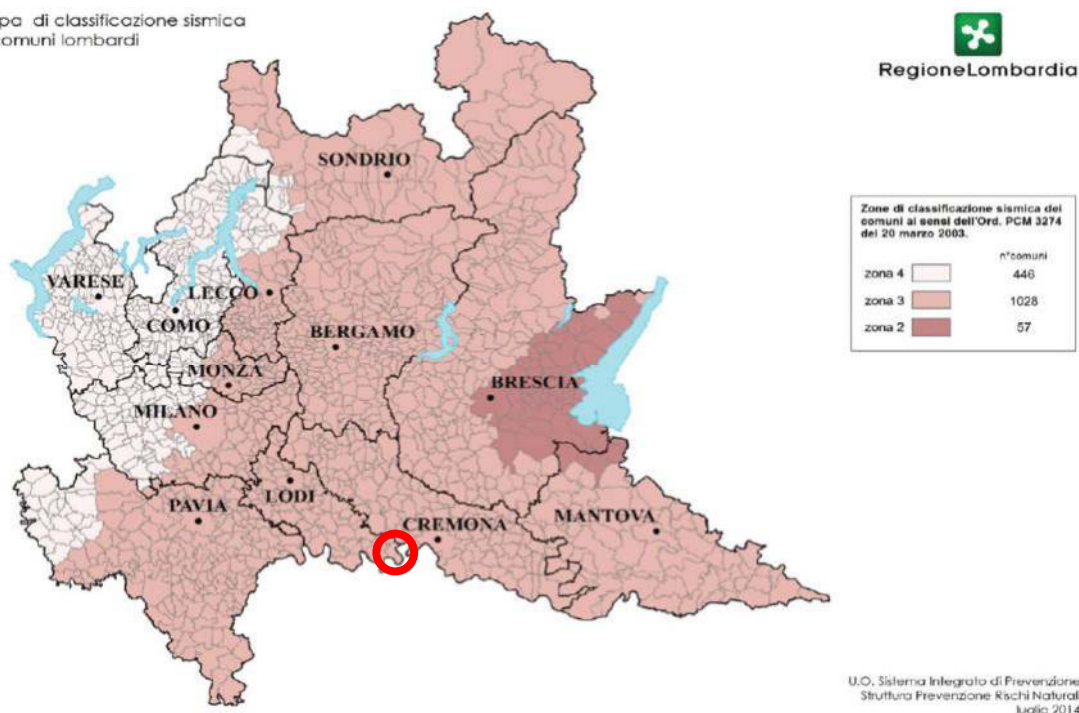
Dal 10/04/2016, con l'entrata in vigore del D.G.R. n. 10/2129, il Comune di Castelnuovo Bocca d'Adda viene riclassificato da zona 4 a **zona 3**.

Mappa di variazione della classificazione sismica dei comuni lombardi in seguito alla pubblicazione della DGR 2129 dell'11/07/2014



-Mappa di variazione della classificazione sismica dei comuni lombardi-

Mappa di classificazione sismica dei comuni lombardi



-Mappa di classificazione sismica dei comuni lombardi-

Si riporta la tabella che individua ciascuna zona secondo i valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo (a_g), con probabilità di superamento del 10% in 50 anni.

Zona sismica	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni [a_g/g]	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico [a_g/g]
1	> 0.25	0.35
2	0.15 – 0.25	0.25
3	0.05 – 0.15	0.15
4	< 0.05	0.05

Attraverso l’emanazione di successive ordinanze (Ordinanza di protezione civile n° 3379 del 05/11/2004, Ordinanza del P.C.M. n° 3431 del 03/05/2005, Ordinanza del P.C.M. n° 3452 del 01/08/2005) il termine per l’entrata in vigore dell’O.P.C.M. 3274/2003 è stato prorogato all’ 8 ottobre 2005.

Tale scadenza, 8 ottobre 2005, ha visto un ulteriore periodo transitorio per l’applicazione delle norme tecniche di 18 mesi, previsto dalla legge 18 agosto 2005, n° 168, ulteriormente prorogata al 31 dicembre 2007 (legge 26 febbraio 2007, n° 17).

In particolare con l’entrata in vigore della legge n. 31/08 del 28/02/2008, si stabilisce che fino al 30 giugno 2009, in alternativa all’applicazione delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14 gennaio 2008), è possibile fare riferimento al D.M. 14 settembre 2005 oppure al D.M. 9 gennaio 1996.

A partire dal 01/07/2009 è terminato il periodo transitorio ed è divenuta obbligatoria l’applicazione del D.M. 14 gennaio 2008.

Dal 20 marzo 2018, con l’entrata in vigore del D.M. 17 gennaio 2018, vengono applicate le Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2018).

7 INDAGINI GEOGNOSTICHE

7.1 GENERALITÀ

La necessità di acquisire validi e significativi dati geotecnici, circa le caratteristiche del sottosuolo, ha suggerito la realizzazione di un'indagine geognostica specifica; essa è consistita nell'esecuzione di:

- n.2 sondaggi geognostici, verticali, a carotaggio continuo, spinti sino a profondità pari a -20.00 m da p.c., con esecuzione di prove penetrometriche dinamiche in foro tipo SPT e prelievo di campioni indisturbati di tipo geotecnico;
- Prove di laboratorio di caratterizzazione fisica sui campioni prelevati.

Nel corso del mese di gennaio 2024 è stato inoltre eseguito n.1 sondaggio geognostico integrativo, realizzato con tecnica mista (a distruzione di nucleo e a carotaggio continuo), spinto sino a profondità pari a -35.00 m da p.c., con esecuzione di prove penetrometriche dinamiche in foro tipo SPT.

Nelle tabelle seguenti sono sinteticamente riassunte le indagini eseguite.

SONDAGGI GEOGNOSTICI						
CAMPAGNA DI INDAGINE	SIGLA	PROFONDITA' (m da p.c.)	METODO DI PERFORAZIONE	N. PROVE S.P.T.	N. CAMPIONI INDISTURBATI	COMPLETAMENTO FORO
2019	P3-S1	20.00	a carotaggio continuo	6	3	Sigillatura mediante iniezione di miscela binaria acqua-cemento in rapporto 1:1
	P3-S2	20.00	a carotaggio continuo	7	3	Sigillatura mediante iniezione di miscela binaria acqua-cemento in rapporto 1:1
2024	P3-S1bis	35.00	a distruzione di nucleo (0.00÷20.00 m da p.c.) a carotaggio continuo (20.00÷35.00 m da p.c.)	10	-	Sigillatura mediante iniezione di miscela binaria acqua-cemento in rapporto 1:1

-Sintesi sondaggi geognostici eseguite-

Negli allegati specifici, annessi al presente documento, sono riportate le stratigrafie dei sondaggi eseguiti, la relativa documentazione fotografica e i certificati delle prove di laboratorio effettuate.

Nei paragrafi seguenti sono sinteticamente descritte le lavorazioni effettuate.

7.2 SONDAGGI GEOGNOSTICI

7.2.1 GENERALITÀ

Le perforazioni, condotte secondo quanto prescritto nelle raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geognostiche (A.G.I., 1977), sono state eseguite con sonda a rotazione cingolata modello Mustang A66 (campagna 2019) e con sonda a rotazione autocarrata modello PX850 montata su Mercedes Unimog U500.

La rotazione è fornita da mandrino montato nella parte superiore dell'antenna, il tiro e la spinta sono assicurati da un motore oleodinamico con trasmissione a catena; la morsa è di tipo doppio con sistema di controllo oleodinamico. Il controllo della verticalità è assicurato tramite quattro stabilizzatori a pistone, con controllo tramite livella a bolla posta nella parte posteriore.

Gli utensili utilizzati per l'avanzamento della perforazione sono e per il prelievo dei campioni indisturbati:

- Aste di perforazione con filettatura tronco conica APIR 2"3/8 $\varnothing_{EST}=76$ mm, L=1.50÷3.00 m;

- Valvola a sfera a tenuta d'acqua con aperture di scarico, a filettatura tronco conica APIR 2"3/8 $\varnothing_{EST}=76$ mm, L=0.50 m;
- Tubi di rivestimento $\varnothing_{EST}=127$ mm, L=1.50 m;
- Carotiere semplice tipo T1 $\varnothing_{EST}=101$, L=1.50÷3.00 m;
- Tricono a inserti di carburo di tungsteno, $\varnothing_{EST}=4"$ 1/8;
- Pompa triplex dotata di smorzatore di pulsazioni pneumatico, con pressione di iniezione massima pari a 40 bar a e portata massima pari a 200 l/min;
- Corone e scarpe a inserti in carburo di tungsteno.

Le perforazioni sono state eseguite completamente a secco, il fluido di circolazione, costituito da acqua additivata con polimero biodegradabile, è stato utilizzato unicamente per le fasi di posa delle tubazioni di rivestimento provvisorio e per le fasi di perforazione a distruzione.

Il materiale prelevato durante le perforazioni è stato depositato, in modo continuo ed ordinato, in apposite cassette catalogatrici in PVC (capacità 5.0 m), ognuna siglata temporaneamente con l'identificativo del sondaggio, l'intervallo di profondità, la profondità di prelievo dei campioni, la profondità di esecuzione delle prove geotecniche in foro, il committente e la data di perforazione.

Le cassette catalogatrici, una volta riempite, sono state fotografate e descritte da geologo abilitato.

Le stratigrafie dei sondaggi geognostici eseguiti e la relativa documentazione fotografica sono riportate nello specifico allegato.

7.2.2 COMPLETAMENTO FORI

Al termine delle operazioni di perforazione, tutti i fori sono stati sigillati mediante posa di materiale di risulta della perforazione additivato con miscela binaria acqua-cemento in rapporto 1:1.

7.3 CAMPIONAMENTO

Durante la campagna di indagini 2019 sono stati prelevati n.6 campioni rimaneggiati di tipo geotecnico, da sottoporre a prove di caratterizzazione fisica di laboratorio.

Nei paragrafi seguenti sono sinteticamente riportate le modalità di campionamento utilizzate e le tabelle di sintesi dei campioni prelevati.

Nelle stratigrafie di ogni sondaggio eseguito, sono sinteticamente indicati i nomi di tutti i campioni prelevati e le relative profondità di prelievo.

7.3.1 CAMPIONI INDISTURBATI DI TIPO GEOTECNICO

Il prelievo dei campioni indisturbati è stato eseguito con fustella in acciaio inox dotata di scarpa tagliente, in accordo con quanto prescritto nelle raccomandazioni A.G.I.

Il prelievo dei campioni indisturbati è stato eseguito sempre a seguito di una manovra di carotaggio, con velocità di spinta costante e in un'unica tratta, in modo da preservare la struttura, le caratteristiche fisiche e meccaniche del terreno campionato.

I campioni indisturbati sono stati prelevati mediante l'utilizzo di un campionatore a pareti sottili a tubo aperto, di tipo "Shelby" (infisso nel terreno mediante spinta meccanica delle aste di perforazione), costituito da una testa dotata di valvola e da un tubo contenitore, con diametro interno pari a 88.9 mm, infisso a velocità costante con una leggera pressione meccanica nel terreno, per un tratto compreso fra 0.50 m e 0.70 m.

In ogni operazione di campionamento effettuata la percentuale di recupero del materiale (rapporto fra lunghezza della manovra e lunghezza del campione prelevato) è stata del 95%-100%.

Ogni campione, previa sigillatura della fustella mediante paraffina e successiva nastratura, è stato siglato con il nome del committente, il nome del cantiere, la sigla del sondaggio, la sigla identificativa del campione, la profondità e la data di prelievo, ed è conservato in luogo chiuso riparato da agenti atmosferici fino al ritiro da parte dei tecnici di laboratorio incaricati.

Nella tabella seguenti sono sinteticamente riassunti i campioni rimaneggiati prelevati nel corso della campagna di indagini.

CAMPIONI INDISTURBATI				
Sondaggio	Profondità (m da p.c.)	Sigla campione	Profondità di prelievo (m da p.c.)	Campionatore utilizzato
P3-S1	20.00	CI1	1.50÷2.00	Shelby
		CI2	4.00÷4.50	Shelby
		CI3	6.70÷7.30	Shelby
P3-S2	20.00	CI1	3.00÷3.50	Shelby
		CI2	5.50÷6.00	Shelby
		CI3	7.90÷8.50	Shelby

-Sintesi campioni rimaneggiati di tipo geotecnico prelevati-

Nei report stratigrafici, riportati nello specifico allegato, sono sinteticamente riportate le quote di prelievo e le sigle dei campioni indisturbati prelevati.

7.4 PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE S.P.T.

7.4.1 GENERALITÀ

Le prove penetrometriche dinamiche tipo SPT sono state eseguite in avanzamento alle profondità indicate dalla Committenza, secondo le modalità esecutive proposte dall'A.G.I. e in accordo con le normative ASTM 1586 e UNI EN ISO 22476-3:2012.

La prova consiste nell'infissione a percussione nel terreno, secondo una procedura standard, di un campionatore posto a fondo foro per tre tratti di lunghezza pari a 150 mm; durante la prova viene registrato il numero di colpi necessario all'attraversamento dei tre tratti di lunghezza pari a 150 mm (N_1 , N_2 e N_3).

7.4.2 ATTREZZATURA

L'attrezzatura utilizzata per l'esecuzione della prova è la seguente:

- Dispositivo di battitura con maglio a sganciamento automatico tipo Plicon-Nenzi (63.50 kg), con caduta libera da H=76 cm e testa di battuta in acciaio;

- Aste di collegamento fra testa di battuta e campionatore Raymond L=3.00 m, $\varnothing_{EST}=50$ mm, giunte a nipplo m/m;
- Valvola a sfera a tenuta d'acqua con aperture di scarico, $\varnothing_{EST}=50$ mm;
- Campionatore Raymond, apribile longitudinalmente, a punta chiusa e/o aperta ($\varnothing_{INT}=35$ mm);

7.4.3 MODALITÀ ESECUTIVE

Tutte le prove sono state eseguite previa verifica dell'effettiva profondità raggiunta dalla perforazione mediante scandaglio graduato e di eventuale manovra di pulizia del foro mediante carotiere.

Nel caso di fenomeni di instabilità delle pareti del foro, si è proceduto con l'avanzamento della colonna di rivestimento fino a circa 20-50 cm al di sopra del fondo foro, al fine di minimizzare il disturbo del terreno naturale.

Una volta calata l'attrezzatura in foro, si procede all'infissione del campionatore nel terreno, annotando in numero di colpi necessari al superamento dei tre tratti di lunghezza 150 mm.

Il numero di colpi N_{SPT} è la somma dei valori relativi agli ultimi due tratti di prova (30 cm) e consente la definizione, con buon grado di precisione, dei principali parametri meccanici del terreno; i valori riferiti al primo tratto da 150 mm (N_1 , infissione preliminare), generalmente non vengono considerati in quanto rappresentativi di un terreno parzialmente disturbato dalla perforazione.

Quando il numero di colpi necessari al superamento del primo tratto da 15 cm superi 50 o nel caso che il numero di colpi necessario al superamento del secondo e del terzo tratto da 15 cm superi 100, la prova è considerata a rifiuto, e si annota la profondità di infissione del campionatore relativo a 50 colpi (nei primi 150 mm) o a 100 colpi (nel secondo e terzo livello, 300 mm).

Nei sondaggi oggetto del presente documento, le prove SPT sono state effettuate con campionatore Raymond a punta aperta, viste le caratteristiche granulometriche dei depositi interessati dalle indagini.

7.4.4 ELABORAZIONE

Dai valori di N_{SPT} misurati in campo, si ricavano successivamente i parametri normalizzati N_{60} e $(N_1)_{60}$, legati al rendimento energetico del sistema di battitura, alle caratteristiche del foro e della prova (diametro, tipologia di campionatore Raymond utilizzato), alla profondità di esecuzione (lunghezza della batteria di aste) e al carico litostatico alla quota di prova, mediante le seguenti formulazioni.

$$N_{60} = N_{SPT} \times C_E \times C_B \times C_R \times C_S$$

$$C_E = \frac{ER}{60}$$

$$(N_1)_{60} = N_{60} \times C_N$$

$$C_N = \sqrt{\frac{p_a}{\sigma'_V}}$$

Dove:

- N_{SPT} : numero di colpi necessario al superamento del secondo e del terzo tratto di prova (300 mm);
- C_E : coefficiente correttivo per il rapporto di energia;
- E_R rendimento energetico del sistema di battitura (per maglio Plicon-Nenzi pari al 60%);
- C_B : coefficiente correttivo per il diametro del foro (valore tabellare);
- C_S : coefficiente correttivo per la tipologia di campionatore utilizzato (valore tabellare, nel caso in oggetto pari a 1.00);
- C_R : coefficiente correttivo per la lunghezza della batteria di aste (valore tabellare);
- C_N : coefficiente correttivo per la pressione litostatica;
- p_a : pressione atmosferica;
- σ'_v : tensione efficace verticale alla profondità di prova.

Nel caso di prova a rifiuto è stato considerato un valore di N_{SPT} pari a 100; si sottolinea che il valore a rifiuto, oltre che alle caratteristiche di addensamento del deposito investigato, potrebbe essere legato alla presenza di ciottoli o blocchi in corrispondenza del tratto interessato dalla prova, che impediscono l'avanzamento del campionatore nel terreno.

Per il calcolo della tensione verticale efficace è stata utilizzata la profondità della falda misurata nel corso delle indagini ed è stato ipotizzato un peso di volume naturale dei terreni pari a 18.5 kN/m³.

7.4.5 RISULTATI

Nelle tabelle successive sono sinteticamente riportati i valori misurati durante l'esecuzione delle prove S.P.T. e i valori normalizzati ricavati.

SINTESI PROVE SPT - SONDAGGIO P3-S1							
SIGLA SONDAGGIO	SIGLA PROVA SPT	PROFONDITA' DI PROVA (m da p.c.)	CAMPIONAT. UTILIZZATO	NUMERO DI COLPI ($N_1-N_2-N_3$)	N_{SPT}	N_{60}	(N_1) ₆₀
P3-S1	SPT 1	10.50÷10.95	Punta aperta	2-1-1	2	2	2
	SPT 2	13.50÷13.95	Punta aperta	3-9-10	19	19	13
	SPT 3	15.00÷15.45	Punta aperta	4-8-13	21	21	14
	SPT 4	16.50÷16.95	Punta aperta	4-10-14	24	24	16
	SPT 5	18.00÷18.45	Punta aperta	3-11-15	26	26	17
	SPT 6	19.50÷19.95	Punta aperta	5-13-16	29	29	18

-Sintesi risultati prove SPT sondaggio P3-S1-

SINTESI PROVE SPT - SONDAGGIO P3-S2							
SIGLA SONDAGGIO	SIGLA PROVA SPT	PROFONDITA' DI PROVA (m da p.c.)	CAMPIONAT. UTILIZZATO	NUMERO DI COLPI ($N_1-N_2-N_3$)	N_{SPT}	N_{60}	(N_1) ₆₀
P3-S2	SPT 1	1.50÷1.95	Punta aperta	2-5-7	12	10	13
	SPT 2	12.00÷12.45	Punta aperta	3-3-5	8	8	6
	SPT 3	13.50÷13.95	Punta aperta	3-8-14	22	22	16
	SPT 4	15.00÷15.45	Punta aperta	3-7-14	21	21	14
	SPT 5	16.50÷16.95	Punta aperta	2-7-11	18	18	12
	SPT 6	18.00÷18.45	Punta aperta	3-8-17	25	25	16
	SPT 7	19.50÷19.95	Punta aperta	4-9-14	23	23	14

-Sintesi risultati prove SPT sondaggio P3-S2-

SINTESI PROVE SPT - SONDAGGIO P3-S1bis							
SIGLA SONDAGGIO	SIGLA PROVA SPT	PROFONDITA' DI PROVA (m da p.c.)	CAMPIONAT. UTILIZZATO	NUMERO DI COLPI (N ₁ -N ₂ -N ₃)	N _{SPT}	N ₆₀	(N ₁) ₆₀
S3	SPT 1	21.00÷21.45	Punta aperta	9-9-9	18	18	11
	SPT 2	22.50÷22.95	Punta aperta	10-10-8	18	18	10
	SPT 3	24.00÷24.45	Punta aperta	12-12-11	23	23	13
	SPT 4	25.50÷25.95	Punta aperta	10-11-12	23	23	13
	SPT 5	27.00÷27.45	Punta aperta	9-11-9	20	20	11
	SPT 6	28.50÷28.95	Punta aperta	11-12-10	22	22	12
	SPT 7	30.00÷30.45	Punta aperta	13-11-12	23	23	12
	SPT 8	31.50÷31.95	Punta aperta	14-14-13	27	27	14
	SPT 9	33.00÷33.45	Punta aperta	15-15-14	29	29	15
	SPT 10	34.50÷34.95	Punta aperta	12-13-12	25	25	12

-Sintesi risultati prove SPT sondaggio P3-S1bis-

7.4.6 PARAMETRI GEOTECNICI DESUNTI DALLE PROVE SPT

In letteratura esistono diverse correlazioni fra i principali parametri geotecnici del terreno e il valore N_{SPT} .

Nel presente paragrafo vengono riportati i principali parametri geotecnici dei terreni investigati mediante prove SPT ricavati dai valori di N_{SPT} , N_{60} e $(N_1)_{60}$, attraverso le seguenti formulazioni:

- Densità relativa: determinata secondo le formulazioni proposte da Terzaghi & Peck (1967) e da Yoshida & Kokusho (1988);
- Angolo di attrito efficace: determinato utilizzando le correlazioni proposte da Peck, Hansaon & Thornburn (1974) e da Meyerhof (1956);
- Coesione non drenata: determinata utilizzando le correlazioni proposte da Terzaghi & Peck (1948) e da Sivrikay & Togol (2007);
- Modulo di deformazione drenato: determinato utilizzando le correlazioni proposte da Tornaghi et Al. e da Bowles (1987);
- Modulo di deformazione drenato al 25%: determinato utilizzando le correlazioni proposte da Jamiolkowsky (1988) e da Stroud (1989);
- Modulo di deformazione non drenato: determinato utilizzando le correlazioni proposte da Bowles (1987) e da Kulhawy & Mayne (1990).

PARAMETRI GEOTECNICI DA PROVE SPT - SONDAGGIO P3-S1																		
Prova SPT	Profondità di prova (m da p.c.)	N _{SPT}	NATURA GRANULARE										NATURA COESIVA					
			Dr (%)		φ (°)			E' (kg/cm ²)		E _{25'} (kg/cm ²)			c _u (kg/cm ²)				E _u (kg/cm ²)	
			(1)	(2)	(1)	(2.1)	(2.2)	(1)	(2)	(1.1)	(1.2)	(2)	(1.1)	(2.1)	(2.2)	(2.3)	(1)	(2)
SPT 1	10.50÷10.95	2	16	19	24.5	22.8	28.2	101	87	20	94	16	0.13	0.13	0.10	0.14	25	29
SPT 2	13.50÷13.95	19	47	51	31.1	32.7	37.8	311	173	168	683	151	1.24	1.20	0.96	1.32	82	113
SPT 3	15.00÷15.45	21	49	53	31.4	33.1	38.2	327	183	185	743	167	1.37	1.32	1.06	1.46	88	120
SPT 4	16.50÷16.95	24	52	56	31.9	33.7	38.8	350	199	209	827	191	1.57	1.51	1.21	1.67	98	130
SPT 5	18.00÷18.45	26	53	58	32.2	34.1	39.1	364	209	225	883	207	1.70	1.64	1.31	1.81	105	136
SPT 6	19.50÷19.95	29	55	61	32.6	34.5	39.6	384	224	249	963	231	1.89	1.83	1.46	2.02	115	146
Formulazioni utilizzate:																		
-Dr: (1) Terzaghi & Peck (1967); (2) Yoshida & Kokusho (1988);																		
-φ: (1) Peck, Hansaon & Thornburn (1974); (2.1) Meyerhof (1956) sabbie fini e sabbie limose; (2.2) Meyerhof (1956) sabbie medie e grossolane;																		
-E': (1) Tornaghi et Al; (2) Bowles (1987);																		
-E' _{25'} : (1.1) Jamiolkowsky (1988) sabbie normal consolidate; (1.2) Jamiolkowsky (1988) sabbie sovra consolidate; (2) Stroud (1989);																		
-c _u : (1) Terzaghi & Peck (1948); (2.1) Sivrikay & Togol (2007) limi e argille limose; (2.2) Sivrikay & Togol (2007) argille bassa plasticità; (2.3) Sivrikay & Togol (2007) argille alta plasticità;																		
-E _u : (1) Bowles (1987); (2) Kulhawy & Mayne (1990).																		

- Sondaggio P3-S1-Sintesi parametri geotecnici desunti da prove SPT -

PARAMETRI GEOTECNICI DA PROVE SPT - SONDAAGGIO P3-S2																		
Prova SPT	Profondità di prova (m da p.c.)	N _{SPT}	NATURA GRANULARE									NATURA COESIVA						
			Dr (%)		φ (°)			E' (kg/cm ²)		E _{25'} (kg/cm ²)			c _u (kg/cm ²)				E _u (kg/cm ²)	
			(1)	(2)	(1)	(2.1)	(2.2)	(1)	(2)	(1.1)	(1.2)	(2)	(1.1)	(2.1)	(2.2)	(2.3)	(1)	(2)
SPT 1	1.50÷1.95	12	47	53	31.1	30.7	35.8	221	138	85	345	76	0.63	0.60	0.48	0.67	50	75
SPT 2	12.00÷12.45	8	31	35	27.7	28.9	34.1	202	117	75	332	64	0.52	0.50	0.40	0.56	45	67
SPT 3	13.50÷13.95	22	51	55	31.8	33.3	38.4	335	189	192	763	175	1.44	1.39	1.11	1.53	92	123
SPT 4	15.00÷15.45	21	49	53	31.4	33.1	38.2	327	183	185	743	167	1.37	1.32	1.06	1.46	88	120
SPT 5	16.50÷16.95	18	45	49	30.5	32.5	37.6	303	168	161	664	143	1.17	1.13	0.90	1.25	78	109
SPT 6	18.00÷18.45	25	52	57	32.0	33.9	39.0	357	204	217	858	199	1.63	1.58	1.26	1.74	102	133
SPT 7	19.50÷19.95	23	49	54	31.5	33.5	38.6	342	194	202	812	183	1.50	1.45	1.16	1.60	95	127
Formulazioni utilizzate:																		
-Dr: (1) Terzaghi & Peck (1967); (2) Yoshida & Kokusho (1988);																		
-φ: (1) Peck, Hansaon & Thornburn (1974); (2.1) Meyerhof (1956) sabbie fini e sabbie limose; (2.2) Meyerhof (1956) sabbie medie e grossolane;																		
-E': (1) Tornaghi et Al; (2) Bowles (1987);																		
-E' _{25'} : (1.1) Jamiolkowsky (1988) sabbie normal consolidate; (1.2) Jamiolkowsky (1988) sabbie sovra consolidate; (2) Stroud (1989);																		
-c _u : (1) Terzaghi & Peck (1948); (2.1) Sivrikay & Togol (2007) limi e argille limose; (2.2) Sivrikay & Togol (2007) argille bassa plasticità; (2.3) Sivrikay & Togol (2007) argille alta plasticità;																		
-E _u : (1) Bowles (1987); (2) Kulhawy & Mayne (1990).																		

- Sondaggio P3-S2-Sintesi parametri geotecnici desunti da prove SPT -

PARAMETRI GEOTECNICI DA PROVE SPT - SONDAGGIO S3																		
Prova SPT	Profondità di prova (m da p.c.)	N _{SPT}	NATURA GRANULARE									NATURA COESIVA						
			Dr (%)		φ (°)		E' (kg/cm ²)		E _{25'} (kg/cm ²)			c _u (kg/cm ²)				E _u (kg/cm ²)		
			(1)	(2)	(1)	(2.1)	(2.2)	(1)	(2)	(1.1)	(1.2)	(2)	(1.1)	(2.1)	(2.2)	(2.3)	(1)	(2)
SPT 1	21.00÷21.45	18	42	48	30.0	32.5	37.6	303	168	162	679	143	1.17	1.13	0.90	1.25	78	109
SPT 2	22.50÷22.95	18	42	48	29.9	32.5	37.6	303	168	163	682	143	1.17	1.13	0.90	1.25	78	109
SPT 3	24.00÷24.45	23	47	53	30.9	33.5	38.6	342	194	204	832	183	1.50	1.45	1.16	1.60	95	127
SPT 4	25.50÷25.95	23	46	53	30.8	33.5	38.6	342	194	204	836	183	1.50	1.45	1.16	1.60	95	127
SPT 5	27.00÷27.45	20	43	49	30.1	32.9	38.0	319	178	180	752	159	1.31	1.26	1.01	1.39	85	116
SPT 6	28.50÷28.95	22	44	51	30.4	33.3	38.4	335	189	197	814	175	1.44	1.39	1.11	1.53	92	123
SPT 7	30.00÷30.45	23	45	52	30.6	33.5	38.6	342	194	205	847	183	1.50	1.45	1.16	1.60	95	127
SPT 8	31.50÷31.95	27	48	56	31.3	34.2	39.3	371	214	238	963	215	1.76	1.70	1.36	1.88	108	139
SPT 9	33.00÷33.45	29	49	57	31.5	34.5	39.6	384	224	254	1021	231	1.89	1.83	1.46	2.02	115	146
SPT 10	34.50÷34.95	25	46	53	30.7	33.9	39.0	357	204	223	914	199	1.63	1.58	1.26	1.74	102	133
Formulazioni utilizzate: -Dr: (1) Terzaghi & Peck (1967); (2) Yoshida & Kokusho (1988); -φ: (1) Peck, Hansaon & Thornburn (1974); (2.1) Meyerhof (1956) sabbie fini e sabbie limose; (2.2) Meyerhof (1956) sabbie medie e grossolane; -E': (1) Tornaghi et Al; (2) Bowles (1987); -E' _{25'} : (1.1) Jamiolkowsky (1988) sabbie normal consolidate; (1.2) Jamiolkowsky (1988) sabbie sovra consolidate; (2) Stroud (1989); -c _u : (1) Terzaghi & Peck (1948); (2.1) Sivrikay & Togol (2007) limi e argille limose; (2.2) Sivrikay & Togol (2007) argille bassa plasticità; (2.3) Sivrikay & Togol (2007) argille alta plasticità; -E _u : (1) Bowles (1987); (2) Kulhawy & Mayne (1990).																		

- Sondaggio P3-S2-Sintesi parametri geotecnici desunti da prove SPT -

7.5 PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO

Le prove geotecniche sono state svolte presso il laboratorio Tecnocontrolli S.r.l. di Calderara di Reno (BO), in possesso della concessione ministeriale in conformità all'Art.59 D.P.R. 380/01 e certificato UNI-EN-ISO 9001.

Secondo le indicazioni della Committenza, sui campioni prelevati sono state eseguite le seguenti prove di laboratorio:

- Apertura e descrizione geotecnica;
- Determinazione del peso di volume allo stato naturale;
- Determinazioni del peso di volume allo stato secco;
- Determinazioni del contenuto d'acqua naturale;
- Determinazioni dei limiti di consistenza (limite liquido e limite plastico);
- Classificazione CNR UNI 10006;
- Prova di compressione monoassiale a espansione laterale libera;
- Prova edometrica;
- Prova di taglio torsionale ciclico;
- Prova di colonna risonante. Analisi granulometrica per setacciatura;

Nelle pagine seguenti sono riportati in sintesi le tipologie di prove eseguite sui campioni indisturbati prelevati.

I certificati delle prove di laboratorio eseguite sono allegati alla presente di cui costituiscono parte integrante.

CAMPIONI INDISTURBATI PRELEVATI IN FORO DI SONDAGGIO E PROVE DI LABORATORIO ESEGUITE												
SONDAGGIO	CAMPIONE	PROFONDITA' (m da p.c.)	Apertura	Contenuto naturale d'acqua	Peso di volume naturale	Peso specifico dei granuli	Limiti di consistenza	Classificazione CNR UNI 10006	Compressione monoassiale E.L.L.	Prova edometrica	Taglio torsionale ciclico	Colonna risonante
P3-S1	CI1	1.50÷2.00	x	x	x		x	x				
	CI2	4.00÷4.50	x	x	x	x	x	x	x	x		
	CI3	6.70÷7.30	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
P3-S2	CI1	3.00÷3.50	x	x	x		x	x				
	CI2	5.50÷6.00	x	x	x	x	x	x	x	x		x
	CI3	7.90÷8.50	x	x	x		x	x				

- Sintesi tipologia di prove di laboratorio eseguite -

8 INDAGINE SISMICA

8.1 INTRODUZIONE

Nel mese di giugno 2019, nei pressi della Strada Provinciale n. 243, nel Comune di Castelnuovo Bocca D'Adda (LO), è stata eseguita n.1 prospezione geofisica con metodo MASW, con l'obiettivo di determinare le velocità ponderate delle onde sismiche di taglio nei primi 30 metri a partire dal piano delle fondazioni ($V_{s,EQ}$), in riferimento alla nuova classificazione sismica del territorio, al D.M. 17/01/18 ("Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni") e secondo le direttive della Giunta Regionale della Regione Lombardia contenute nella D.G.R. n. 9/2616 del 30 Novembre 2011 (Criteri ed indirizzi per la definizione 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).

Di seguito si riporta la descrizione della metodologia adottata, nonché i risultati dell'indagine eseguita.

8.2 INDAGINE MASW

8.2.1 METODOLOGIA DI INDAGINE

La MASW (Multichannel Analysis of Seismic Waves) è una metodologia di indagine geofisica che consente l'individuazione di frequenza, ampiezza, lunghezza d'onda e velocità di propagazione delle onde sismiche superficiali (principalmente onde di Rayleigh) generate artificialmente. L'analisi delle onde superficiali permette la determinazione delle velocità delle onde di taglio verticali (V_s) nei terreni al di sotto dello stendimento sismico.

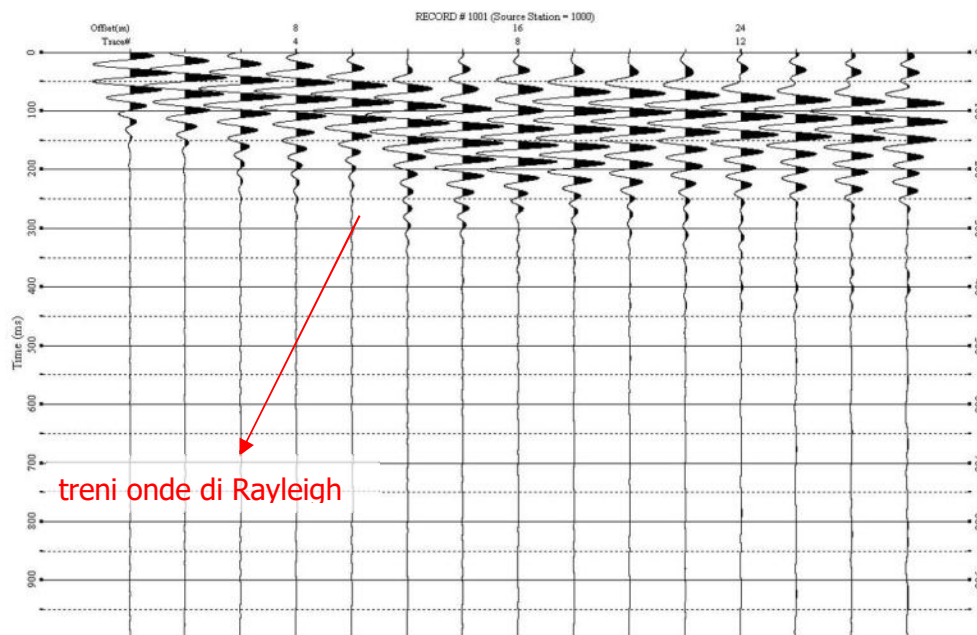
L'indagine è realizzata disponendo lungo una linea retta, a intervalli regolari, una serie di geofoni collegati ad un sismografo. Una fonte puntuale di energia, quale mazza battente su piastra metallica o cannoncino sismico, produce treni d'onda che attraversano il terreno con percorsi, velocità e frequenze variabili. Il passaggio del treno d'onda sollecita la massa inerziale presente nel geofono, l'impulso così prodotto viene convertito in segnale elettrico e acquisito dal sismografo. Il risultato è un accelerogramma che contiene molteplici informazioni quali tempo di arrivo ai geofoni rispetto all'istante di energizzazione, frequenze e relative ampiezze dei treni d'onda.

La successiva elaborazione consente di ottenere un diagramma 1D (profondità/velocità onde di taglio) tramite modellizzazione ed elaborazione matematica con algoritmi capaci di minimizzare le differenze tra i modelli elaborati e i dati di partenza. Il diagramma, riferibile al centro della linea sismica, rappresenta un valor medio della sezione di terreno interessata all'indagine di lunghezza circa corrispondente a quella della linea sismica e profondità variabile principalmente in funzione delle caratteristiche dei materiali attraversati e della geometria dello stendimento.

Il metodo MASW sfrutta le caratteristiche di propagazione delle onde di Rayleigh per ricavare le equivalenti velocità delle onde di taglio (V_s), essendo le onde di Rayleigh prodotte dall'interazione delle onde di taglio verticali e delle onde di volume (V_p).

Le onde di Rayleigh si propagano secondo fronti d'onda cilindrici, producendo un movimento ellittico delle particelle durante il transito. Con i metodi di energizzazione usuali i due terzi dell'energia prodotta viene trasportata dalle onde di Rayleigh a fronte di meno di un terzo suddiviso tra le rimanenti tipologie di onde. Inoltre le onde di Rayleigh sono meno sensibili delle onde P e S alla dispersione in funzione della distanza e con un'attenuazione geometrica inferiore.

Onde di Rayleigh ad alte frequenze e piccole lunghezze d'onda trasportano informazioni relative agli strati più superficiali mentre quelle a basse frequenze e lunghezze d'onda maggiori interessano anche gli strati più profondi. In pratica il metodo MASW di tipo attivo opera in intervalli di frequenze comprese tra 5 e 70 Hz circa, permettendo di indagare una profondità massima variabile, in funzione delle caratteristiche dei terreni interessati, tra 30 e 50 metri.



- Record sismico -

La geometria della linea sismica ha influenza sui dati e quindi sul risultato finale, infatti la massima lunghezza d'onda acquisibile è circa corrispondente alla lunghezza dello stendimento; mentre la distanza tra i geofoni, solitamente compresa tra 1 e 3 metri, definisce la minima lunghezza d'onda individuabile evitando fenomeni di aliasing.

Nella campagna di indagine in oggetto è stato eseguito uno stendimento di 24 geofoni con spaziatura intergeofonica di 2.0 metri, per una lunghezza totale della linea sismica pari a 46.0 m.

L'energizzazione è stata eseguita a 10, 5 e 2 metri dal primo geofono e a 2 metri dall'ultimo geofono; inoltre, allo scopo ridurre il rumore di fondo e migliorare la qualità complessiva dei record sismici, sono stati eseguiti più tiri in ogni stazione e, ove ritenuto utile, essi sono stati sommati (stacking).

Il sito di indagine è ubicato in un contesto urbano, tuttavia non si evidenziano particolari fonti di rumore antropico in grado di interferire in modo significativo con il segnale sismico.

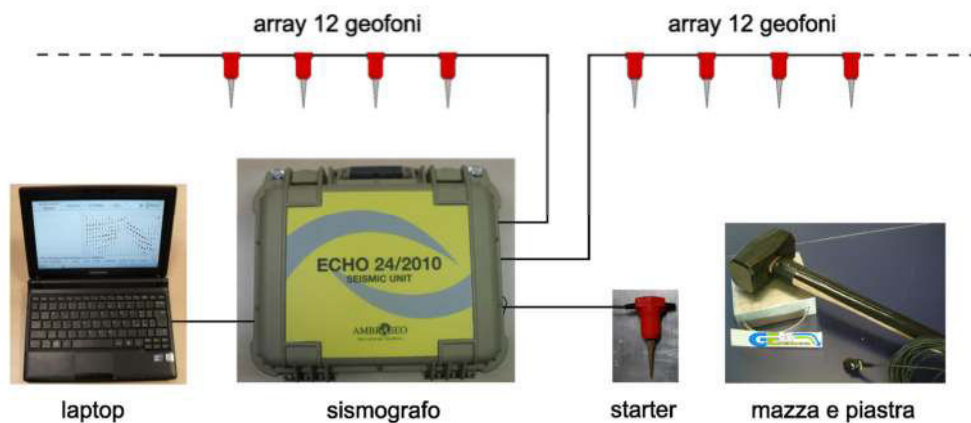
8.2.2 STRUMENTAZIONE

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un sismografo multicanale "ECHO 24/2010", dotato di 24 geofoni verticali Oyo Geospace con frequenza propria di 4.5 Hz, collegati allo strumento tramite cavi elettrici schermati.

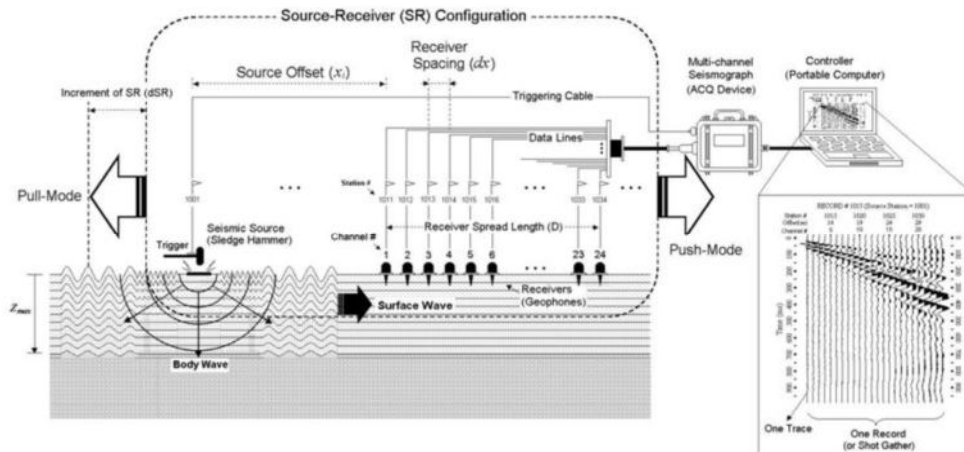
Lo strumento è in grado di gestire l'acquisizione simultanea su 24 canali e di rilevare l'istante di energizzazione (tempo zero) tramite geofono starter. È inoltre equipaggiato di software proprietario in grado di gestire tutte le operazioni di campagna attraverso le seguenti fasi:

- impostazione numero di canali e metodologia di indagine;
- impostazione frequenza e lunghezza di campionamento;
- selezione entità dell'amplificazione del segnale per ogni canale;
- impostazione filtraggi delle frequenze indesiderate;
- visualizzazione del record con misura dei tempi di arrivo;
- esecuzione operazioni di somma e sottrazione di ulteriori record;
- memorizzazione di tutti i dati relativi all'acquisizione.

Per l'energizzazione è stata utilizzata una mazza del peso di 8 kg e una piastra di battuta di alluminio.



- ECHO 24/2010" con due array da 12 geofoni -



- Schema esecuzione MASW -

8.2.3 ELABORAZIONE

L'elaborazione è stata effettuata con un software dedicato (*Winmasw 4.3 – Elisoft*) in grado di gestire le fasi di preparazione, analisi, modellizzazione e restituzione finale.

La fase iniziale consiste nel filtraggio del segnale sismico per eliminare il “rumore” ed eventuali frequenze indesiderate. Il software permette di visualizzare l'accelerogramma nel dominio spazio-tempo e visualizzando i grafici frequenza-ampiezza anche per le singole tracce. Sono disponibili varie modalità di gestione del segnale, le cui principali sono i filtri “passa basso”, “passa alto”, “passa banda”, “taglia banda”, il “muting” e l'ACG. Inoltre tramite le curve di attenuazione delle onde superficiali è possibile valutare con maggior precisione la qualità dei dati acquisiti.

La fase successiva consiste nel calcolo della curva di dispersione, visualizzata tramite diagramma frequenza-numero d'onda con appropriata scala cromatica dell'ampiezza.

Utilizzando la curva di dispersione si procede ad individuare la curva della velocità di fase apparente del modo fondamentale e, ove possibile, dei modi superiori.

La fase di inversione prevede una modellizzazione monodimensionale che consente di determinare un profilo di velocità delle onde di taglio V_s in funzione della profondità. L'elaborazione avviene tramite l'applicazione di procedimenti di calcolo e algoritmi genetici di inversione (*global-search methods*), che gestiscono all'intero di un “spazio di ricerca”, modelli caratterizzati da parametri velocità di taglio (V_s) e spessori degli strati. Altri parametri previsti dal modello sono il coefficiente di Poisson e la velocità delle onde di volume (V_p) che, assieme a spessore degli sismostrati e relative V_s , possono venire modificati anche manualmente. Tramite iterazioni successive si ottiene un modello di inversione in grado di far coincidere con la migliore approssimazione possibile la curva di dispersione elaborata nella fase precedente e quella modellizzata. Viene inoltre restituita una stima dell'attendibilità (deviazione standard) del modello proposto ottenuta con tecniche statistiche.

Avendo a disposizione informazioni aggiuntive, quali ad esempio stratigrafie di sondaggio, analisi granulometriche, di densità, prove CPT ecc, è possibile impostare un modello geologico/geofisico con il quale definire parametri quali lo spessore degli strati, la velocità delle onde P stimata e coefficiente di Poisson. Tale modello consente una più accurata inversione dei dati di campagna e di conseguenza una migliore definizione della sismostratigrafia del sito.

In conclusione viene restituito un diagramma (1D) delle velocità delle onde di taglio (V_s) in funzione della profondità, con relativa tabella, calcolo delle $V_{s,eq}$ e correlazione al tipo di terreno, come da normativa.

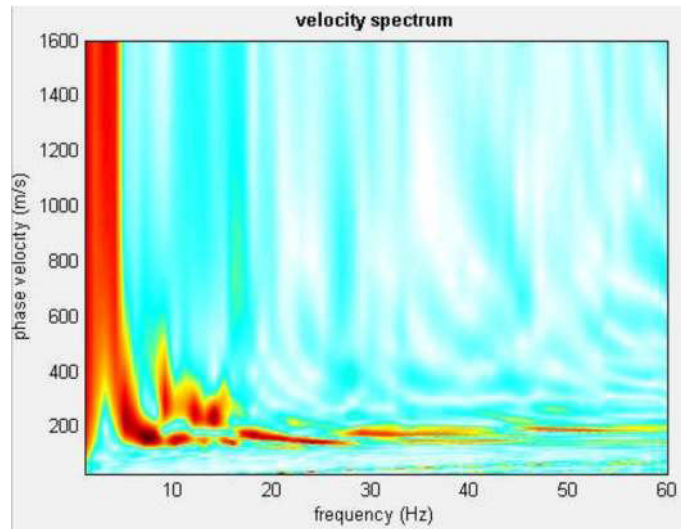
Va ricordato che il diagramma 1D mostra una suddivisione sismostratigrafica ricostruita sul diverso comportamento sismico dei materiali investigati. È quindi possibile che variazioni di velocità non corrispondano necessariamente a passaggi litologici netti.

8.2.4 RISULTATI

L'analisi delle onde di taglio (V_s) tramite metodo MASW, ha consentito di determinare gli spessori dei sismostrati e le relative velocità di taglio, come riportato in tabella e relativo diagramma, permettendo di calcolare il valore $V_{s,EQ}$ per la sezione indagata.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,EQ}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità (N.T.C. 2018 3.2.2).

I valori di $V_{s,EQ}$ sono riferiti ai primi 30 m a partire da piano di imposta dei pali di fondazione, ipotizzato a -2.00 m da p.c..



- Curva di dispersione MASW-01 -

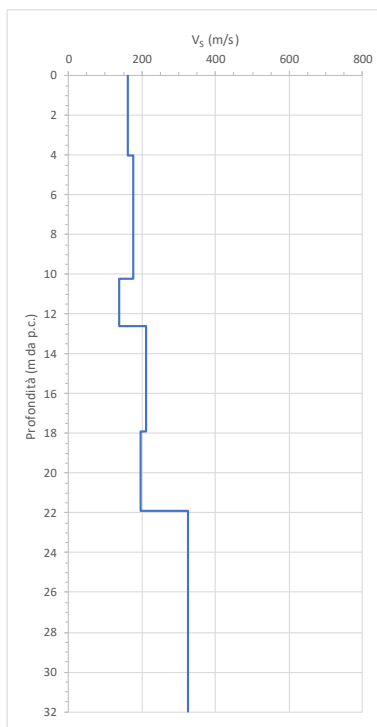


TABELLA SISMOSTRATIGRAFICA		
Profondità (m da p.c.)	Spessore (m)	Vs (m/s)
4.00	4.00	161
10.20	6.20	175
12.60	2.40	139
17.90	5.30	211
21.90	4.00	196
32.00	10.10	324

- Grafico velocità Vs/profondità e sismostratigrafia MASW-01 -

Il valore $V_{S, EQ}$ è pari a 212 m/s, secondo normativa la categoria di appartenenza del litotipo equivalente è la C.

Categoria	Descrizione da D.M. 17/01/2018 – Tabella 3.2.II
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>

- Categoria di sottosuolo -

Descrizione da D.M. 17/01/2018 – Tabella 3.2.V		
Categoria	S_s	C_c
A	1.00	1.00
B	$1.00 \leq 1.40 - 0.40 \cdot F_0 \cdot \text{ag/g} \leq 1.20$	$1.10 \cdot (TC^*) - 0.20$
C	$1.00 \leq 1.70 - 0.60 \cdot F_0 \cdot \text{ag/g} \leq 1.50$	$1.05 \cdot (TC^*) - 0.33$
D	$0.90 \leq 2.40 - 1.50 \cdot F_0 \cdot \text{ag/g} \leq 1.80$	$1.25 \cdot (TC^*) - 0.50$
E	$1.00 \leq 2.00 - 1.10 \cdot F_0 \cdot \text{ag/g} \leq 1.60$	$1.15 \cdot (TC^*) - 0.40$

- Espressioni di S_s e C_c -

9 AMPLIFICAZIONE SISMICA DEL SITO

9.1 GENERALITÀ

La verifica dell'eventuale amplificazione sismica è condotta applicando le metodologie geologico-geofisiche indicate dalla Regione Lombardia nella D.G.R. 11 Novembre 2011 n° 9/2616 "Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della L.R. 11/03/2005 n. 12".

Il parametro calcolato per ciascun Comune da Regione Lombardia è riportato in una banca dati e rappresenta il valore di soglia oltre il quale lo spettro proposto dalla normativa nazionale (NTC 2018) risulta insufficiente a tenere in considerazione la reale amplificazione del sito.

Per il Comune di Castelnuovo Bocca d'Adda Regione Lombardia ha assegnato i valori di amplificazione per le diverse categorie di sottosuolo, sotto riportati, in funzione di due intervalli di periodi, di cui quello tra 0.1 e 0.5 s corrisponde indicativamente a fabbricati di altezza inferiore ai 5 piani mentre quello compreso tra 0.5 e 1.5 s è relativo a fabbricati più alti.

INTERVALLO	CATEGORIA DI SOTTOSUOLO			
(secondi)	B	C	D	E
0.1÷0.5	1.4	1.8	2.1	1.9
0.5÷1.5	1.7	2.3	4.0	3.0

-Fattori di amplificazione definiti da Regione Lombardia per il Comune di Castelnuovo Bocca d'Adda -

9.2 PROCEDURA REGIONE LOMBARDIA

1° LIVELLO

Applicando il primo livello d'approfondimento si ricava che le aree in esame sono soggetta a possibili amplificazioni per effetti litologici (*presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi*).

2° LIVELLO

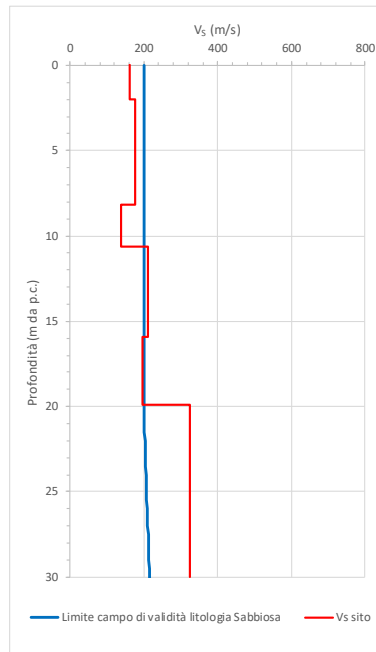
Sulla base di quanto riportato nel PGT comunale, la normativa della Regione Lombardia prevede la verifica di 2° livello che si esplica nella verifica del fattore di amplificazione sismica. Il primo passaggio da compiere è quello di controllare la compatibilità dei dati ricavati con l'indagine sismica nel sito di intervento e la corrispondenza, nel campo delle variazioni di velocità con la profondità, delle schede tipo della Regione Lombardia relative ad alcune tipologie di suolo.

A questo punto, scelta la scheda di riferimento, si deve accertare che il valore di amplificazione in sito sia inferiore a quello definito da R.L.

Nel caso in esame, come previsto dalla normativa regionale, si è adottata la *scheda dei terreni di litologia sabbiosa*, che ben si associa agli andamenti delle velocità con la profondità ricavati nel corso delle indagini geofisiche, come si vede nei grafici di seguito riportato.

Di fatto le indagini geofisiche evidenziano nei primi metri da piano campagna valori di V_s pari a circa 160 m/s, in progressivo aumento con la profondità fino alla massima profondità ricavata che è di circa -30.00 m da piano fondazioni (-32.00 m da p.c.).

Di seguito sono riportati i grafici dell'andamento delle velocità sismiche da piano fondazione confrontate con la curva caratteristica.



-Andamento $V_{s,EQ}$ scheda litologia sabbiosa Regione Lombardia/MASW-01 -

9.3 DETERMINAZIONE DEL PERIODO DI RIFERIMENTO DEL SITO

La determinazione del periodo di riferimento del sito si ottiene applicando la seguente relazione:

$$T(s) = \frac{4 \times \sum_1^n h_i}{\frac{\sum_1^n v_{s,i} \times h_i}{\sum_1^n h_i}}$$

Dove h_i è lo spessore in metri dello strato i-esimo, $v_{s,i}$ è la velocità delle onde di taglio dello strato i-esimo e n è il numero di strati.

L'applicazione della relazione implica di conoscere l'andamento delle velocità con la profondità sino a raggiungimento di velocità delle onde di taglio ≥ 800 m/s. Nel caso in esame, nel sito di indagine non è stato individuato il bedrock sismico sino alla massima profondità raggiunta dalle indagini geofisiche, pertanto si è dovuto stimare l'andamento delle velocità in profondità.

A tale scopo sono state utilizzate informazioni geologiche tratte da bibliografia oltre a valutare il trend di incremento della velocità con la profondità, ipotizzando una profondità del bedrock sismico a circa -105.0 m da piano fondazioni.

Considerando che la velocità del primo strato equivalente, di spessore pari a 19.9 m, è pari a circa 180 m/s, e che la verifica degli effetti è stata condotta a partire da piano fondazioni, si ricava quanto segue:

- Periodo proprio di sito $T = 1.41$ s
- Fattore di amplificazione ricavato dalla scheda litologia sabbiosa per periodo $0.1 \div 0.5$ s: $F_a = 1.0$ (soglia comunale categoria C = 1.8 ± 0.1)
- Fattore di amplificazione ricavato dalla scheda litologia sabbiosa per periodo $0.5 \div 1.5$ s: $F_a = 1.5$ (soglia comunale categoria C = 2.4 ± 0.1)

Tenendo conto di un valore di variabilità di ± 0.1 del valore della soglia comunale, come previsto dalla normativa regionale, i valori di F_a caratteristici dei siti di studio relativi alla categoria di sottosuolo C risultano entrambi inferiori ai valori di soglia comunale per i periodi $0.1 \div 0.5$ s e $0.5 \div 1.5$ s.

Sulla base di quanto sopra esposto si ricava che la normativa nazionale è da ritenersi sufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica del sito sia per il periodo $0.1 \div 0.5$ s, sia per il periodo $0.5 \div 1.5$ s.

Di conseguenza, in fase di verifiche geotecniche e strutturali si potrà assumere la categoria di sottosuolo ricavata dalle indagini geofisiche (categoria C).

10 AZIONE SISMICA

10.1 INTRODUZIONE

Con l'entrata in vigore del D.M. 14/01/2008 e del successivo aggiornamento (D.M. 17/01/2018), la stima della pericolosità sismica viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente".

La normativa prevede la definizione della Pericolosità sismica di base del sito in costruzione in termini di:

- Accelerazione orizzontale massima attesa in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (a_g);
- Spettro di risposta elastico in accelerazione corrispondente, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza (P_{VR}) nel periodo di riferimento (V_R), legate alle prestazioni della costruzione nel suo complesso (Stati Limite), definiti a partire dai valori dei parametri caratteristici a_g , F_0 e T^*_C (rispettivamente accelerazione orizzontale massima al sito, valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale e periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale).

Stati Limite		P_{VR} - Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R
Di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Il territorio nazionale è stato suddiviso in punti denominati "nodi", a ciascuno dei quali sono stati assegnati i valori dei parametri spettrali di cui sopra (a_g , F_0 e T^*_C) per diversi tempi di ritorno dell'azione sismica (T_R), definiti sulla base del periodo di riferimento (V_R) e della probabilità di superamento nel periodo di riferimento (P_{VR}).

$$T_R = \frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})} \pi r^2$$

Il periodo di riferimento (V_R) è definito, come prescritto al §2.4.3 delle NTC, in funzione della vita nominale dell'opera in progetto (V_N) e della sua Classe d'uso (funzione della tipologia d'opera, a cui corrisponde un coefficiente d'uso C_U):

$$V_R = V_N \times C_U$$

Una volta determinata la pericolosità sismica di base, legata essenzialmente all'ubicazione del sito oggetto di studio sul territorio nazionale e sulle caratteristiche dell'opera in progetto, la normativa prevede la definizione dell'azione sismica sito specifica in termini di massima accelerazione attesa al suolo (a_{MAX}) e spettro di accelerazione sito specifico, mediante la valutazione di eventuali effetti di amplificazione stratigrafica (S_S e C_C) e topografica (S_T) del moto sismico, in corrispondenza del sito in oggetto di studio, secondo quanto riportato al § 3.2.2 della normativa stessa.

CATEGORIE E COEFFICIENTI DI AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA			
Cat. Strat.	Descrizione	S_s	C_c
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, caratterizzati da valori delle onde di taglio superiori a 800m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3m.</i>	1.00	1.00
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>	$1.00 \leq 1.40 - 0.40 \times F_0 \times a_g / g \leq 1.20$	$1.1 \times (T^*_{*c})^{-0.20}$
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>	$1.00 \leq 1.70 - 0.60 \times F_0 \times a_g / g \leq 1.50$	$1.05 \times (T^*_{*c})^{-0.33}$
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi fra 100 m/s e 180 m/s.</i>	$0.90 \leq 2.40 - 1.50 \times F_0 \times a_g / g \leq 1.80$	$1.25 \times (T^*_{*c})^{-0.50}$
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>	$1.00 \leq 2.00 - 1.10 \times F_0 \times a_g / g \leq 1.60$	$1.15 \times (T^*_{*c})^{-0.40}$

-Categoria e coefficienti di amplificazione stratigrafica (NTC 2018)-

Cat. Topo.	Caratteristiche della superficie topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$	-	1
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$	In corrispondenza della sommità del pendio	1.2
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	In corrispondenza della cresta del rilievo	1.2
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$	In corrispondenza della cresta del rilievo	1.4

-Categoria e coefficienti di amplificazione topografica (NTC 2018)-

In definitiva, per ogni probabilità di superamento del periodo di riferimento, il valore dell'accelerazione massima attesa al suolo è ricavato dalla seguente equazione:

$$a_{max} = a_g \times S_s \times S_T$$

10.2 AZIONE SISMICA SU SUOLO RIGIDO

La definizione dei parametri sismici di progetto è stata eseguita, direttamente per il sito in esame, a partire dai parametri fondamentali per l'opera in progetto.

Sulla base delle caratteristiche delle opere, sono stati scelti i seguenti parametri:

Tipo di costruzione:	Categoria 2	Costruzioni con livelli di prestazioni normali
Vita nominale (V_N):	50 anni	Funzione del tipo di costruzione

Classe d'uso:	II	Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
Coefficiente C_u :	1.0	Funzione della classe d'uso
Periodo di riferimento (V_R):	50 anni	

I parametri di pericolosità sismica di base sono stati elaborati a partire dalle coordinate del sito di riferimento:

Sito in esame: S.P.342, s.n.c., Castelnuovo Bocca d'Adda (LO)

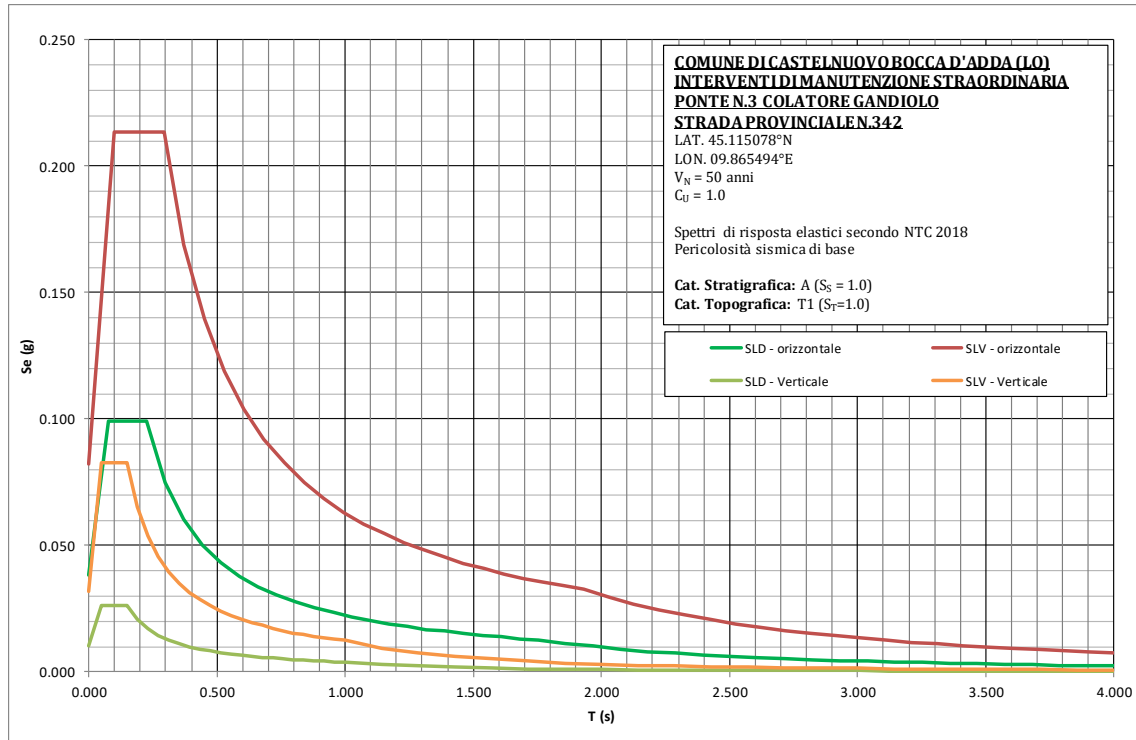
- Latitudine: 45.115078°
- Longitudine: 09.865494°

Sulla base di tali parametri di ingresso si ottengono i seguenti valori di pericolosità sismica di base:

PARAMETRI SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICA SU SUOLO RIGIDO	u.m.	STATO LIMITE			
		SLO	SLD	SLV	SLC
Probabilità di superamento (P_{VR})	%	81	63	10	5
Tempo di ritorno (T_R)	anni	30	50	475	975
Accelerazione orizzontale massima attesa (su suolo rigido) (a_g)	g	0.032	0.038	0.082	0.104
Valore massimo fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale (F_0)	-	2.544	2.581	2.590	2.588
Tempo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale (T^*_c)	s	0.207	0.225	0.295	0.308

-Parametri sismici spettri di risposta elastica su suolo rigido -

Nella figura seguente vengono riportati gli spettri elastici di base (su suolo rigido) orizzontale e verticale (NTC 2018) relativi allo stato limite di danno (SLD) e allo stato limite di salvaguardia della vita (SLV) per i due siti in esame.



- Spettri di risposta elastici su suolo rigido (NTC 2018) -

10.3 AZIONE SISMICA SITO SPECIFICA

L'azione sismica sito specifica è stata calcolata, secondo quanto prescritto nella normativa di riferimento (NTC2018), valutando le amplificazioni stratigrafiche e le amplificazioni topografiche specifiche del sito oggetto di studio.

- Categoria topografica: definita sulla base delle osservazioni effettuate in sito e sulle informazioni riportate sul PGT del Comune di Castelnuovo Bocca d'Adda in relazione all'area oggetto di intervento.

Categoria topografica: T1 pendii con inclinazione media $> 15^\circ$

- Categoria stratigrafica: definita sulla base dei risultati delle indagini geofisiche eseguite e dello studio dell'amplificazione sismica locale secondo la normativa regionale (§8, §9).

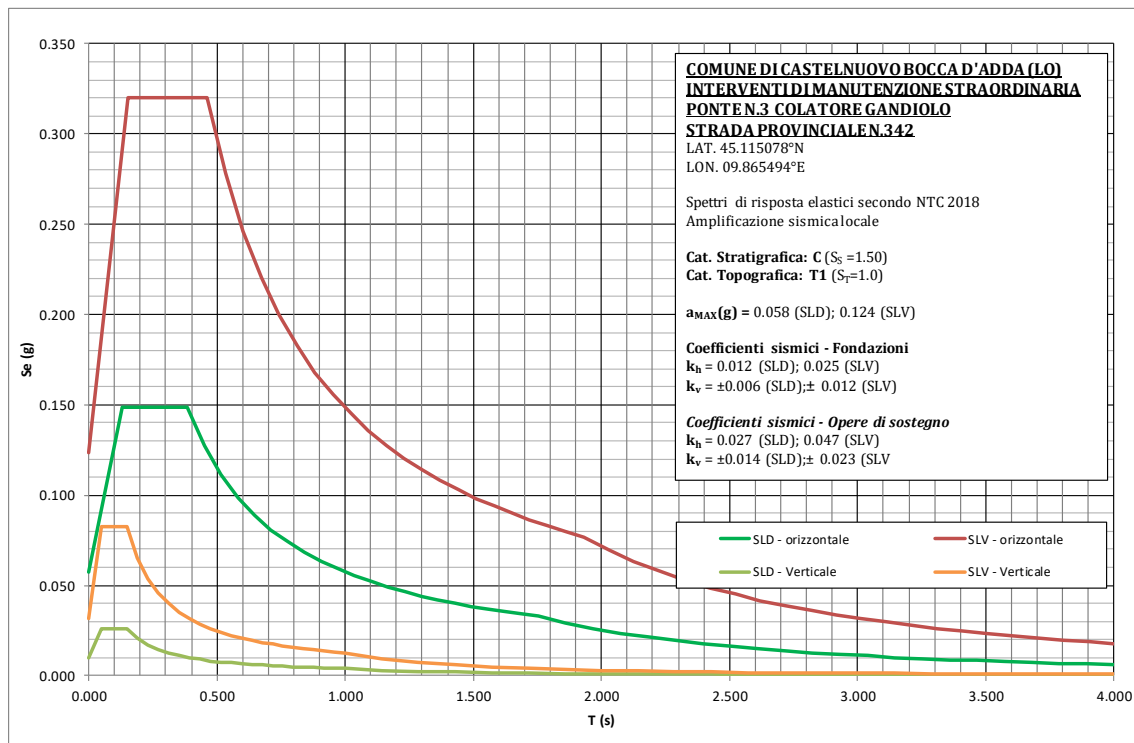
Categoria di sottosuolo: C Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

In definitiva, sulla base di tutte le considerazioni di cui sopra, i parametri sismici sito specifici risultano:

PARAMETRI SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICA SITO SPECIFICI	u.m.	STATO LIMITE			
		SLO	SLD	SLV	SLC
Coefficiente topografico (S_T)	-	1.000	1.000	1.000	1.000
Coefficiente stratigrafico (S_S)	-	1.500	1.500	1.500	1.500
Coefficiente di modifica del periodo (C_C)	-	1.766	1.718	1.571	1.548
Accelerazione orizzontale massima attesa sito specifica ($a_{MAX}(g)$)	g	0.048	0.058	0.124	0.156
Accelerazione orizzontale massima attesa sito specifica (a_{MAX})	m/s^2	0.469	0.565	1.213	1.528
Coefficiente di riduzione accelerazione massima attesa (β_S) - Fondazioni	-	0.20	0.20	0.20	0.24
Coefficiente sismico orizzontale (k_H) - Fondazioni	-	0.010	0.012	0.025	0.037
Coefficiente sismico verticale (k_V) - Fondazioni	-	0.005	0.006	0.012	0.019
Coefficiente di riduzione accelerazione massima attesa (β_S) - Opere di sostegno	-	-	0.47	0.38	-
Coefficiente sismico orizzontale (k_H) - Opere di sostegno	-	-	0.027	0.047	-
Coefficiente sismico verticale (k_V) - Opere di sostegno	-	-	0.014	0.023	-

-Parametri sismici spettri elastici sito specifici -

Nella figura seguente vengono riportati gli spettri elastici sito specifici orizzontale e verticale (NTC2018), relativi allo stato limite di danno (SLD) e allo stato limite di salvaguardia della vita (SLV) per i due siti in esame.



-Spettri di risposta elastici sito specifici-

Il rispetto dei vari stati limite viene considerato conseguito dalle NTC 2018:

- Nei confronti di tutti gli Stati Limite Ultimi (SLU) quando siano soddisfatte le verifiche al solo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV).
- Nei confronti di tutti gli Stati Limite di Esercizio (SLE) quando siano soddisfatte le verifiche al solo Stato Limite di Danno (SLD).

11 RISCHIO DI LIQUEFAZIONE

11.1 GENERALITÀ

La liquefazione di un terreno è un fenomeno di drastica riduzione (o completo annullamento) della resistenza al taglio dello stesso, causata dall'aumento delle pressioni interstiziali a seguito di un evento sismico.

Generalmente possono essere suscettibili a liquefazione depositi saturi costituiti da sabbia fine o media, con contenuto in fine variabile generalmente da 0 a 25%, da poco a mediamente addensati, posizionati a profondità inferiori a -15.00÷-20.00 m da p.c..

Un terreno incoerente saturo, in assenza di sollecitazioni sismiche, è soggetto soltanto alla pressione litostatica, dovuta al peso dei sedimenti soprastanti. Durante una sollecitazione sismica vengono indotte nel terreno delle sollecitazioni cicliche di taglio, dovute alla propagazione delle onde sismiche verso la superficie; se la scossa sismica produce un numero di cicli tale da far aumentare la pressione interstiziale fino a eguagliare o superare la pressione litostatica, si sviluppa il fenomeno della liquefazione.

I metodi di calcolo permettono di esprimere la suscettibilità alla liquefazione del deposito attraverso un coefficiente di sicurezza, dato dal rapporto tra la resistenza ciclica mobilitata (R) e le azioni cicliche indotte dal sisma (T), ovvero:

$$F_s = \frac{R}{T}$$

Un deposito dovrà essere considerato suscettibile di liquefazione, se il coefficiente di sicurezza sarà inferiore o pari a 1.

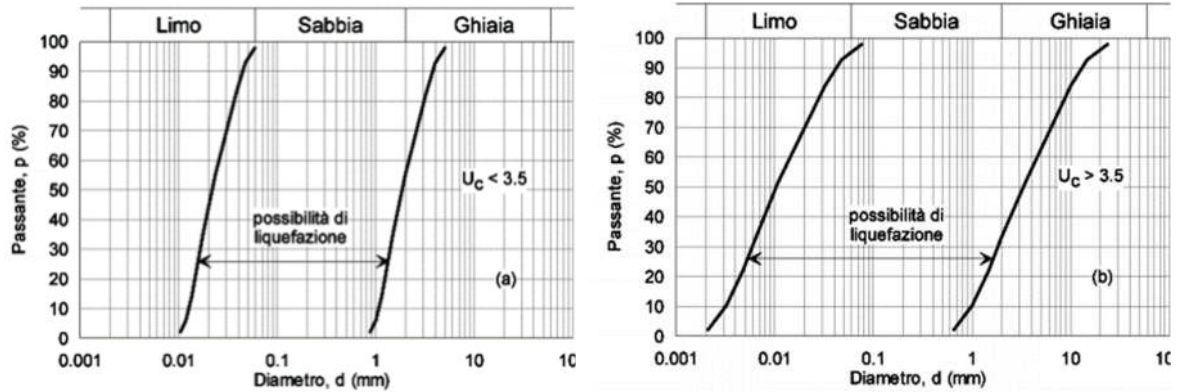
Le azioni cicliche indotte da un evento sismico (T) dipendono dai parametri dell'evento stesso, mentre la resistenza ciclica mobilitata (R) è funzione delle caratteristiche meccaniche del deposito, (principalmente del suo stato di addensamento), e può essere ricavato attraverso correlazioni con i risultati di prove penetrometriche dinamiche, statiche o con le velocità di propagazione delle onde di taglio (V_s) all'interno dei terreni, ricavate da stendimenti di sismica a rifrazione o da indagini geofisiche in foro.

In ogni caso la verifica alla liquefazione può essere esclusa, in accordo con la normativa vigente (NTC 2018), quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- Accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0.1 g;
- Profondità media stagionale della falda superiore a 15.0 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali.
- Depositati costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1,N} > 180$, dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata da prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100

kPa e $q_{CL,N}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa.

- Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nelle figure successive nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$ e nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3.5$.



Nel caso in oggetto, viste le caratteristiche granulometriche dei depositi nei primi metri di sottosuolo nonché le caratteristiche idrogeologiche sismiche sito specifiche, è stato necessario procedere alla verifica della liquefazione.

11.2 VERIFICA DEL RISCHIO DI LIQUEFAZIONE

Secondo quanto riportato nella normativa vigente (NTC 2018), la sicurezza alla liquefazione viene valutata localmente con l'impiego di metodologie di analisi che consentono di determinare il coefficiente di sicurezza, definito come di seguito:

$$FSL = \frac{CRR}{CSR}$$

Dove:

- CRR: resistenza ciclica alla liquefazione;
- CSR: sollecitazione ciclica indotta dal sisma.

La resistenza ciclica alla liquefazione può essere determinata con prove cicliche di laboratorio o con relazioni empiriche basate su risultati di prove e misure in sito. La sollecitazione ciclica indotta dal sisma è correlata alla massima tensione tangenziale indotta dall'azione sismica alla profondità considerata, determinabile direttamente con analisi di risposta sismica locale, o indirettamente con l'ausilio di relazioni empiriche.

Un deposito è considerato suscettibile di liquefazione se il coefficiente di sicurezza FSL risultante dall'analisi risulta inferiore 1.25 (Eurocodice 8) o inferiore a 1.00 (NTC 2018); secondo quanto riportato nel D.G.R. 2193/2015 emesso dalla Regione Emilia Romagna, un terreno risulta potenzialmente liquefacibile quando il potenziale di liquefazione (LPI o IL) risulta superiore o pari a 2 lungo una verticale di indagine

Per la valutazione della probabilità di sviluppo del fenomeno di liquefazione sono stati utilizzati i risultati delle prove penetrometriche eseguite nei fori di sondaggio, utilizzando il metodo proposto da Youd et Al. (2001, NCEER), nonché i risultati delle prove di laboratorio eseguite sui campioni indisturbati prelevati, utilizzando la metodologia proposta da Bray & Sancio (2006).

Nei paragrafi seguenti viene sinteticamente descritto il metodo di determinazione della resistenza e della sollecitazione ciclica, i dati considerati per lo svolgimento della verifica, nonché i risultati ottenuti.

11.2.1 METODO DI BRAY & SANCIO (2006)

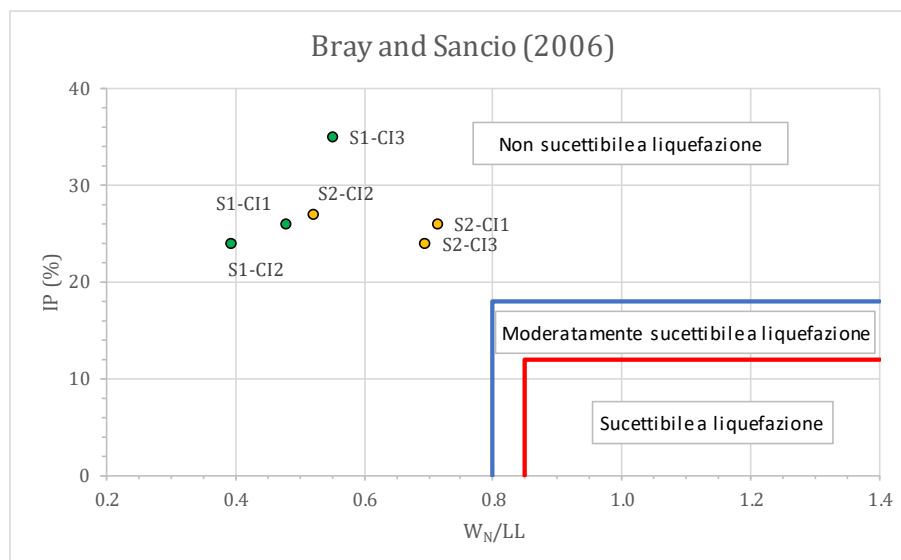
La metodologia proposta si basa sullo stato fisico del deposito in oggetto per valutare la sua suscettibilità al fenomeno.

Il metodo prende in considerazione i valori di contenuto d'acqua naturale e i limiti di consistenza dei materiali, classificando i terreni come non suscettibili al fenomeno se caratterizzati da un'indice di plasticità (IP) superiore a 18% o un rapporto fra contenuto d'acqua naturale (w_N) e limite liquido (LL) inferiore a 0.8.

Nelle figure seguenti sono sinteticamente riassunti i limiti di consistenza e il contenuto d'acqua dei campioni prelevati nei sondaggi, nonché il diagramma proposto dagli autori.

SONDAGGIO	CAMPIONE	PROFONDITA' (m da p.c.)	LIMITI DI CONSISTENZA			w_N (%)	w_N/LL (-)
			LL (%)	LP (%)	IP (%)		
P3-S1	CI1	1.50÷2.00	53	27	26	25.29	0.48
	CI2	4.00÷4.50	50	26	24	19.61	0.39
	CI3	6.70÷7.30	71	36	35	39.1	0.55
P3-S2	CI1	3.00÷3.50	49	23	26	34.94	0.71
	CI2	5.50÷6.00	53	26	27	27.67	0.52
	CI3	7.90÷8.50	45	21	24	31.26	0.69

-Sintesi risultati prove di laboratorio considerate-



-Diagramma di Bray & Sancio-

11.2.2 METODO DI YOUD ET AL. (2001)

11.2.2.1 Resistenza ciclica alla liquefazione (CRR)

La resistenza ciclica alla liquefazione normalizzata a un evento sismico standard con magnitudo 7.5 e alla pressione litostatica verticale efficace pari a 1 atm, viene determinata con la seguente relazione:

$$CRR_{M=7.5; \sigma'_{V}=1 \text{ atm}} = \frac{1}{34 - (N_1)_{60,cs}} + \frac{(N_1)_{60,cs}}{135} + \frac{50}{(10 \times (N_1)_{60,cs} + 45)^2} - \frac{1}{200}$$

Dove:

- $(N_1)_{60,cs}$: numero di colpi SPT normalizzati rispetto al carico litostatico equivalente a prova SPT in sabbia pulita;

La resistenza alla penetrazione normalizzata equivalente si ottiene partendo dai valori di resistenza misurati in sito nel corso di prova opportunamente normalizzati $((N_1)_{60})$: normalizzazione in funzione del carico litostatico, del tipo di campionatore, della lunghezza delle aste, del diametro del foro di sondaggio e dell'energia specifica per colpo), attraverso la seguente relazione:

$$(N_1)_{60,cs} = \alpha + \beta \times (N_1)_{60}$$

Dove:

- $(N_1)_{60,cs}$: resistenza alla penetrazione normalizzata equivalente a prova SPT in sabbia pulita;
- $(N_1)_{60}$: resistenza alla penetrazione normalizzata da prova SPT;
- α, β : coefficienti correttivi funzione del contenuto percentuale di fine (FC) del deposito

$$\alpha = 0 \text{ per } FC \leq 5\%$$

$$\alpha = \exp \left[1.76 - \left(\frac{190}{FC^2} \right) \right] \text{ per } 5\% < FC < 35\%$$

$$\alpha = 5 \text{ per } FC \geq 35\%$$

$$\beta = 1 \text{ per } FC \leq 5\%$$

$$\beta = 0.99 - \left(\frac{FC^{1.5}}{1000} \right) \text{ per } 5\% < FC < 35\%$$

$$\beta = 1.2 \text{ per } FC \geq 35\%$$

La resistenza alla penetrazione normalizzata $(N_1)_{60}$ si ottiene applicando ai valori misurati in sito nel corso di prova (N_{SPT}) , dei coefficienti correttivi che tengono conto dell'energia specifica per colpo (C_E), del diametro del foro (C_B), del tipo di campionatore Raymond utilizzato (C_S), della lunghezza delle aste (C_R) e del carico litostatico (C_N):

$$(N_1)_{60} = N_{SPT} \times C_E \times C_B \times C_S \times C_R \times C_N$$

$$C_E = \frac{E_R}{60}$$

Dove:

- E_R (%): rendimento del sistema di battitura;

Diametro del foro		Tipo di campionatore		Lunghezza delle aste	
(mm)	CB	tipo	CS	(m)	CR
65÷115	1.00	Standard	1.00	3÷4	0.75
150	1.05	Con portacampione	1.05÷115	4÷6	0.85
200	1.15			6÷10	0.95
				>10	1.00

$$C_N = \left(\frac{p_a}{\sigma'_v} \right)^{0.5}$$

Si sottolinea che, nel caso in cui $(N_1)_{60} \geq 30$ il terreno non è soggetto al fenomeno di liquefazione.

11.2.2.2 Sollecitazione ciclica indotta dal sisma (CSR)

La sollecitazione ciclica indotta dal sisma, riferita a un evento sismico di magnitudo M e a una tensione litostatica efficace σ'_v , è legata all'accelerazione massima di progetto sito specifica (a_{MAX}), e al rapporto fra tensione litostatica totale ed efficace; la formulazione per il calcolo è la seguente:

$$CSR_{M; \sigma'_v} = 0.65 \times \frac{a_{MAX}}{g} \times \left(\frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \right) \times r_d$$

$$r_d = \frac{1 - 0.4113 \times z^{0.5} + 0.04052 \times z + 0.001753 \times z^{1.5}}{1 - 0.4177 \times z^{0.5} + 0.05729 \times z - 0.006205 \times z^{1.5} + 0.001210 \times z^2} \leq 1$$

Dove:

- a_{MAX} : accelerazione massima attesa in sito;
- g : accelerazione di gravità;
- σ_{v0} : tensione litostatica verticale totale;
- σ'_{v0} : tensione litostatica verticale efficace;
- r_d : coefficiente di riduzione delle tensioni (calcolato con la formulazione di Blake, 1996);
- z : profondità.

La resistenza ciclica alla liquefazione precedentemente definita, è relativa a un evento sismico di magnitudo pari a 7.5 e a una tensione litostatica di riferimento pari a 100 kPa, di conseguenza deve essere normalizzata in funzione della tensione litostatica e della magnitudo momento sito specifica (σ'_v , M), mediante la seguente relazione.

$$CRR_{M; \sigma'_v} = CRR_{M=7.5; \sigma'_v=1 atm} \times MSF \times K_\sigma$$

Dove:

- MSF : fattore di scala della magnitudo;
- K_σ : fattore di correzione per la tensione litostatica.

$$MSF = \frac{10^{2.24}}{M_W^{2.56}} \quad (Idriss, 1995)$$

$$MSF = \left(\frac{M_W}{7.5} \right)^{-3.3} \quad (Andrus \& Stokoe, 1997)$$

$$K_{\sigma} = \left(\frac{\sigma'_{v0}}{P_a} \right)^{f-1} \leq 1$$

$$0.6 < f < 0.8$$

Dove:

- M_w : magnitudo momento sito specifica;
- f : fattore compreso fra 0.6 e 0.8, funzione della densità relativa del deposito attraversato.

Come suggerito dall'autore del metodo, il valore del fattore di scala della magnitudo viene calcolato mediante l'applicazione della formulazione proposta da Idriss nel caso di $M_w > 7.5$, mentre viene assunto pari alla media dei valori ottenuti con le due formulazioni di cui sopra nel caso di $M_w \leq 7.5$

11.2.2.3 Fattore di sicurezza, probabilità di liquefazione e indice del potenziale di liquefazione

In base a quanto sopra esposto, il fattore di sicurezza nei confronti della liquefazione viene calcolato come:

$$FSL = \frac{CRR_{M; \sigma'_{v0}}}{CSR_{\sigma'_{v0}}}$$

Oltre a quanto sopra esposto, si è proceduto al calcolo della probabilità di sviluppo del fenomeno della liquefazione secondo la formulazione proposta da Chen et Al. (2000) per il metodo di verifica utilizzato.

$$P_L = \frac{1}{1 + \left(\frac{FSL}{0.77} \right)^{3.25}}$$

Per la verticale di indagine è stato calcolato l'indice di potenziale di liquefazione, secondo la formulazione proposta da Sonmez (2003):

$$I_L = \int_{z=0}^{z_{crit}} F_{(z)} \times w_{(z)} \times dz$$

Dove:

- z_{crit} : profondità massima alla quale l'effetto della liquefazione produce effetti in superficie (assunta pari a 20.0 m)
- $F_{(z)}$: variabile con valori compresi fra 0 e 1, definita per ogni profondità compresa fra 0 m e z_{crit} , legata al fattore di sicurezza della liquefazione (FSL):

$$F_{(z)} = 0 \quad \text{per } FSL \geq 1.25$$

$$F_{(z)} = 2 \times 10^6 \times \exp(-18.427 \times FSL) \quad \text{per } 1.25 > FSL > 0.95$$

$$F_{(z)} = 1 \quad \text{per } FSL \leq 0.95$$

- $w_{(z)}$: fattore di peso della profondità:

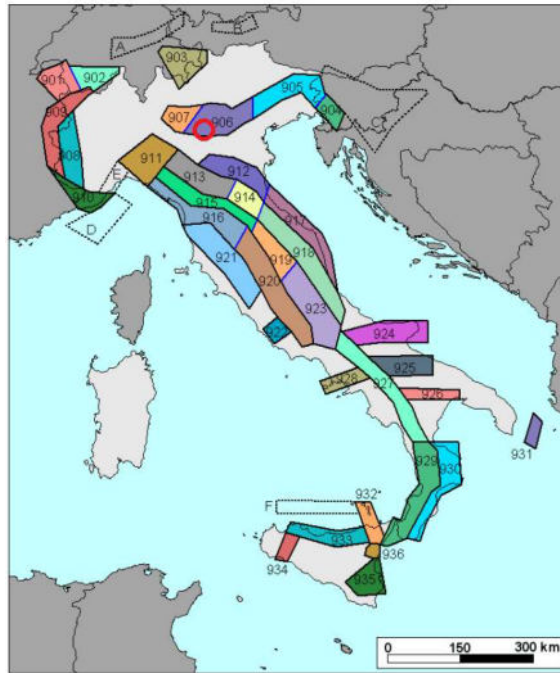
$$w_{(z)} = \frac{200}{z_{crit}} \times \left(1 - \frac{z}{z_{crit}} \right)$$

In funzione del risultato una verticale di prova viene definita non liquefacibile ($I_L=0$), con potenziale di liquefazione basso ($0 < I_L \leq 2$), moderato ($2 < I_L \leq 5$), alto ($5 < I_L \leq 15$) o molto alto ($15 < I_L$).

11.2.3 PARAMETRI UTILIZZATI PER LE VERIFICHE

Per le verifiche effettuate sono stati utilizzati i seguenti parametri:

- Risultati delle prove penetrometriche dinamiche in foro tipo SPT eseguite (N_{SPT});
- Soggiacenza della falda acquifera misurata nel corso delle indagini (giugno 2019 e gennaio 2024), rispettivamente pari a -8.00 m da p.c. e -9.00 m da p.c., con possibilità di escursione massima rispettivamente pari a 3.00 m e a 4.00 m;
- Accelerazione massima di progetto allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) sito specifica ($a_{g,MAX}/g$), definita al §9, pari a $a_{g,MAX} = 0.124 \times g$;
- Magnitudo momento (M_W) sito specifica definita, in accordo con quanto riportato sulle Linee guida della Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica, in funzione della zona sismogenetica (catalogo ZS9; INGV, 2009), di appartenenza dell'area oggetto di intervento (zona n.911 Tortona-Bobbio, $M_W=6.14$); tale condizione risulta più cautelativa rispetto a quella definita con il metodo della disaggregazione (§5).



-Mappa delle zone sismogenetiche ZS9, con ubicazione area di intervento -

Per quanto riguarda il peso di volume del terreno necessario per il calcolo delle tensioni litostatiche verticali, è stato stimato un valore costante lungo tutta la verticale di indagine, pari a 18.5 kN/m^3 ; per quanto riguarda il contenuto percentuale in fine (limo e argilla) del deposito oggetto di indagine, è stato valutato sulla base dell'osservazione delle cassette catalogatrici e dei risultati delle prove di laboratorio eseguite.

11.2.4 RISULTATI

Nello specifico allegato sono riportati i diagrammi resistenza ciclica alla liquefazione -sollecitazione ciclica indotta dal sisma-profondità, fattore di sicurezza alla liquefazione-profondità, probabilità di

liquefazione-profondità, nonché il diagramma dell'indice di potenziale di liquefazione (LPI) lungo le due verticali di indagine.

Dai diagrammi di cui sopra relativi alle prove penetrometriche in foro tipo SPT si osserva che i depositi interessati dalla nuova opera non risultano soggetti al fenomeno della liquefazione, infatti il fattore di sicurezza risulta sempre superiore all'unità e lungo le verticali l'indice del potenziale di liquefazione risulta basso ($LPI < 2$).

12 NATURA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SOTTOSUOLO

Si ritiene che i risultati dell'indagine siano sufficientemente esaustivi e rappresentativi, tali da permettere una caratterizzazione litologica del terreno indagato in relazione alla tipologia costruttiva in progetto. I terreni in oggetto, dal punto di vista stratigrafico, si presentano piuttosto omogenei anche se non mancano eterogeneità sia in senso verticale che orizzontale con passaggi laterali ed eteropie, nonché variazioni nel grado di addensamento.

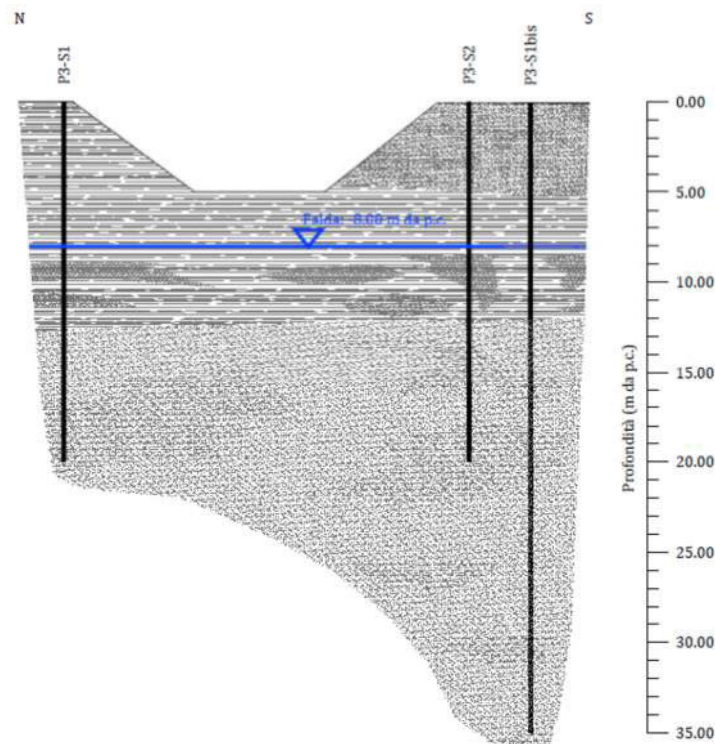
Al di sotto di uno strato di terreno rimaneggiato/ di riporto di spessore compreso fra circa 0.20 m e 0.50 m, costituito da sabbia, da limosa a con limo, localmente sabbia e limo, da ghiaiosa a deb. ghiaiosa, sono presenti depositi di natura alluvionale costituiti da limo con argilla, localmente argilloso, localmente debolmente sabbioso, molto consistente fino a profondità compresa fra 12.10 m da p.c. e 12.65 m da p.c., a cui seguono depositi granulari di natura alluvionale/fluvioglaciale, costituiti da sabbia, da fine a medio fine, localmente grossolana, localmente deb. limosa, moderatamente addensata, fino alla massima profondità raggiunta dalle indagini.

Si sottolinea che in corrispondenza della sponda destra del colatore (sondaggio P3-S2), i primi 5 m di materiale è costituito da sabbia, da limosa a debolmente limosa, con locali intercalazioni da centimetriche a decimetriche di limo con sabbia, argilloso.

In entrambi i sondaggi eseguiti, è stata riscontrata la presenza di sostanza organica diffusa e livelli decimetrici di torba fra circa -8.00 m da p.c. e -12.00 m da p.c..

Durante l'esecuzione delle indagini è stata riscontrata la presenza di falda acquifera a circa -8.00 m da p.c. in entrambi i sondaggi eseguiti.

Nella figura seguente è riportato il modello geologico dell'area di intervento.



-Modello geologico dell'area -

La successione stratigrafica, espressa in termini di unità geotecniche, sulla base delle informazioni desunte dalle indagini eseguite e dai risultati delle prove di laboratorio effettuate, può essere sintetizzata come di seguito riportato:

UNITÀ GEOTECNICA A

- Depositi alluvionali: limo con argilla, localmente argilloso, localmente debolmente sabbioso, molto consistente.
- Profondità: da 0.00-5.00 m da p.c. a -8.00 m da p.c.

Peso di volume naturale (t/mc)	$\gamma_N = 1.89$
Peso di volume saturo (t/mc)	$\gamma_{SAT} = 2.04$
Coesione non drenata (kg/cm ²)	$c_U = 0.40-0.60$
Modulo Edometrico (kg/cm ²)	$E = 25-30$

UNITÀ GEOTECNICA A1

- Depositi alluvionali: sabbia, da limosa a debolmente limosa moderatamente addensata, con locali intercalazioni da centimetriche a decimetriche di limo con sabbia, argilloso.
- Profondità: da -0.00÷-5.00 m da p.c. (presente solo localmente).

Peso di volume naturale (t/mc)	$\gamma_N = 1.83$
Peso di volume saturo (t/mc)	$\gamma_{SAT} = 1.99$
Densità relativa (%)	$Dr = 45-50$
Coesione efficace (kg/cm ²)	$c' = 0.00$
Angolo di resistenza al taglio (°)	$\phi' = 28-29$
Modulo Edometrico (kg/cm ²)	$M = 80-100$

UNITÀ GEOTECNICA B

- Depositi alluvionali: argilla limosa, localmente con limo, torbosa, con locali intercalazioni decimetriche di torba.
- Profondità: da -8.00 m da p.c. a -12.00÷-12.60 m da p.c.

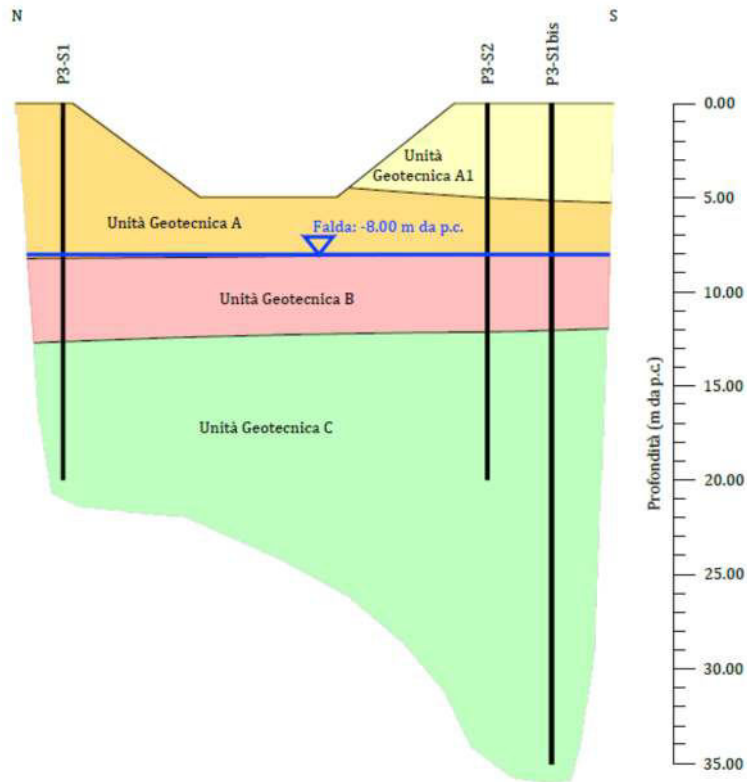
Peso di volume naturale (t/mc)	$\gamma_N = 1.89$
Peso di volume saturo (t/mc)	$\gamma_{SAT} = 2.04$
Coesione non drenata (kg/cm ²)	$c_U = 0.10-0.15$
Modulo Edometrico (kg/cm ²)	$M = 15-20$

UNITÀ GEOTECNICA C

- Depositi alluvionali/fluvioglaciali: sabbia, da fine a medio fine, localmente grossolana, localmente deb. limosa, moderatamente addensata.
- Profondità: da -12.00÷-12.60 m da p.c. a -20.00 m da p.c. (massima profondità raggiunta dalle indagini)

Peso di volume naturale (t/mc)	$\gamma_N = 1.89$
Peso di volume saturo (t/mc)	$\gamma_{SAT} = 2.04$
Coesione efficace (kg/cmq)	$c' = 0.00$
Angolo di resistenza al taglio (°)	$\phi' = 30-32$
Modulo elastico (kg/cmq)	$E = 280-300$

Nella figura seguente è riportato in forma grafica il modello geotecnico per le due aree oggetto di intervento.



-Modello geotecnico di riferimento dell'area -

Alla luce di quanto sopra esposto è ragionevole estrapolare i dati ottenuti dall'indagine puntuale all'intero volume di terreno di fondazione in ogni singolo settore omogeneo, facendo cautelativamente riferimento, in sede di verifiche geotecniche, ai parametri più cautelativi delle unità sopra definite e agli spessori più pregiudizievoli per la sicurezza dell'opera.

13 CONCLUSIONI E PRESCRIZIONI

La presente relazione è stata redatta al fine di valutare le caratteristiche geologiche, idrogeologiche e sismiche dei terreni su cui è fondato il ponte n.3 del colatore Gandiolo, ubicato nel comune di Castelnuovo Bocca d'Adda (LO), lungo la S.P.243, interessato da interventi di manutenzione straordinaria.

A tal fine, per verificare la natura dei terreni presenti nei primi metri di sottosuolo in corrispondenza dell'area oggetto di intervento, sono stati eseguiti n.2 sondaggi geognostici verticali, a carotaggio continuo, spinti sino a profondità pari a -20.00 m da p.c., con esecuzione di prove penetrometriche dinamiche in foro tipo SPT e prelievo di campioni indisturbati di tipo geotecnico, nonché prove di laboratorio di caratterizzazione fisica e meccanica sui campioni prelevati.

Oltre alle indagini di cui sopra sono state eseguite n.1 prospezione sismica con metodo MASW.

Nel corso di gennaio 2024 è stato eseguito inoltre un sondaggio geognostico integrativo, verticale, eseguito con tecnica mista (distruzione di nucleo e carotaggio continuo), spinto sino a profondità pari a -35.00 m da p.c., con esecuzione di prove penetrometriche dinamiche in foro tipo SPT.

La definizione della categoria di sottosuolo per il calcolo dei parametri sismici sito-specifici è stata effettuata sulla base dei risultati ottenuti dall'indagine geofisica effettuata (MASW) e dall'analisi di secondo livello prescritta da Regione Lombardia.

Tali indagini hanno messo in evidenza la presenza, al di sotto di uno strato di terreno rimaneggiato/ di riporto di spessore compreso fra circa 0.20 m e 0.50 m, costituito da sabbia, da limosa a con limo, localmente sabbia e limo, da ghiaiosa a deb. ghiaiosa, sono presenti depositi di natura alluvionale costituiti da limo con argilla, localmente argilloso, localmente debolmente sabbioso, molto consistente fino a profondità compresa fra 12.10 m da p.c. e 12.65 m da p.c., a cui seguono depositi granulari di natura alluvionale/fluvioglaciale, costituiti da sabbia, da fine a medio fine, localmente grossolana, localmente deb. limosa, moderatamente addensata, fino alla massima profondità raggiunta dalle indagini.

Si sottolinea che in corrispondenza della sponda destra del colatore (sondaggio P3-S2), i primi 5 m di spessore sono costituiti da sabbia, da limosa a debolmente limosa, con locali intercalazioni da centimetriche a decimetriche di limo con sabbia, argilloso.

In entrambi i sondaggi eseguiti, è stata riscontrata la presenza di sostanza organica diffusa e livelli decimetrici di torba fra circa -8.00 m da p.c. e -12.00 m da p.c..

Sulla base delle considerazioni svolte nei paragrafi precedenti e delle indagini realizzate nell'area in oggetto si traggono le seguenti conclusioni:

- La geomorfologia dell'area, limitatamente alla zona interessata dagli interventi, risulta esente da fenomeni in rapida evoluzione geomorfologica in atto o potenziali che pregiudichino la stabilità dei luoghi e la buona riuscita delle opere in progetto.

- Nel corso della campagna di indagine è stata riscontrata la presenza di falda acquifera a circa -8.0 di profondità, in accordo con quanto riportato sul P.G.T. comunale.
- L'area oggetto di intervento ricade in classe di fattibilità geologica con modeste limitazioni (Classe di fattibilità 2 – Aree non interessate con problematiche idrogeologiche evidenti).
- Dall'analisi della carta dei vincoli a scala comunale è emerso che l'area oggetto di intervento risulta soggetta a vincolo ai sensi del D.Lgs. 42/04 (i fiumi, i torrenti, i corsi d'acqua iscritti negli elenchi previsti dal testo unico delle disposizioni di legge sulle acque ed impianti elettrici, approvato con regio decreto 11 dicembre 1933, n.1775, e le relative sponde o piedi degli argini per una fascia di 150 metri ciascuna).
- Dall'analisi delle carte dei vincoli territoriali a scala sovracomunale (PAI e PGRA), è emerso che l'area oggetto di intervento risulta collocata nello scenario di pericolosità di alluvione rara (P1/L) per l'ambito territoriale di Reticolo Principale (RP), con classe di rischio moderato (R2); fascia C del fiume Po.
- Dall'analisi delle Norme di attuazione del P.GT. comunale e degli strumenti di pianificazione sovra comunali (PAI e PGRA), gli interventi in progetto risultano compatibili in relazione ai vincoli e alle limitazioni di cui sopra, fatto salvo le prescrizioni negli strumenti di pianificazione territoriale (descritte al §4).
- Con riferimento alla Carta della Pericolosità Sismica Locale l'area è inquadrata nello scenario Z2 (Depositi prevalentemente limoso sabbiosi e sabbiosi: copertura fine prevalentemente limosa con falda superficiale).
- Sulla base delle indagini sismiche eseguita la velocità di propagazione delle onde di taglio entro 30 m di profondità da piano fondazioni ($V_{s,EQ}$) nei terreni interessati dagli interventi in progetto è pari a 212 m/s, pertanto la categoria di appartenenza del litotipo equivalente è la C: "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s".
- L'analisi di 2° livello per l'amplificazione sismica di sito dell'area oggetto di intervento, eseguita utilizzando il metodo Regione Lombardia, ha fornito, relativamente ai periodi $0.1 \div 0.5$ s e $0.5 \div 0.15$ s, valori di F_a di sito pari a 1.0 e 1.5 per la categoria di sottosuolo C, entrambi inferiori ai corrispettivi valori di soglia comunale definiti da Regione Lombardia (1.8 ± 0.1 e 2.3 ± 0.1 per la categoria di sottosuolo B); in fase di verifiche geotecniche e strutturali, si potrà quindi adottare lo spettro previsto da normativa per la categoria di sottosuolo C.
- L'accelerazione sismica massima attesa nell'area oggetto di intervento (a_{MAX}) per lo Stato Limite di Vita (SLV), definita a partire dalla pericolosità sismica di base sito specifica e dai parametri sismici di

progetto, risulta pari a 1.213 m/s^2 ($0.124 \times g$). I corrispondenti coefficienti sismici orizzontale e verticale risultano pari a $K_h=0.025$, $K_v= \pm 0.012$ (opere fondazionali) e $K_h=0.025$, $K_v= \pm 0.012$ (opere di sostegno).

- La verifica a liquefazione dei terreni di fondazione, eseguita con il metodo proposto da Youd et Al. (2001) per prove SPT e con il metodo di Bray & Sancio (2006), indica che i depositi presenti nell'area di intervento non risultano suscettibili al fenomeno, in quanto la verifica indica fattori di sicurezza superiori all'unità e comunque un indice di potenziale di liquefazione in corrispondenza di entrambe le verticali inferiore a 2 (potenziale basso).
- Viste le caratteristiche di resistenza e deformabilità dei depositi presenti sino a -12.00 m da p.c., si consiglia di impostare le fondazioni su pali, in modo tale da scaricare i sovraccarichi indotti dalla struttura sui terreni costituenti l'Unità Geotecnica C.
- In fase esecutiva, dato il carattere puntuale dei dati forniti dalle indagini, sarà comunque opportuno verificare la rispondenza delle condizioni locali con le caratteristiche litologiche ed idrogeologiche indicate nella presente relazione; nel caso di mancata rispondenza si consiglia la sospensione dei lavori e la tempestiva comunicazione agli scriventi. Nell'eventualità anche le condizioni geotecniche e quindi di stabilità dei depositi dovranno essere rivedute e corrette.

Carpenedolo (BS), 16.02.2024



ALLEGATI

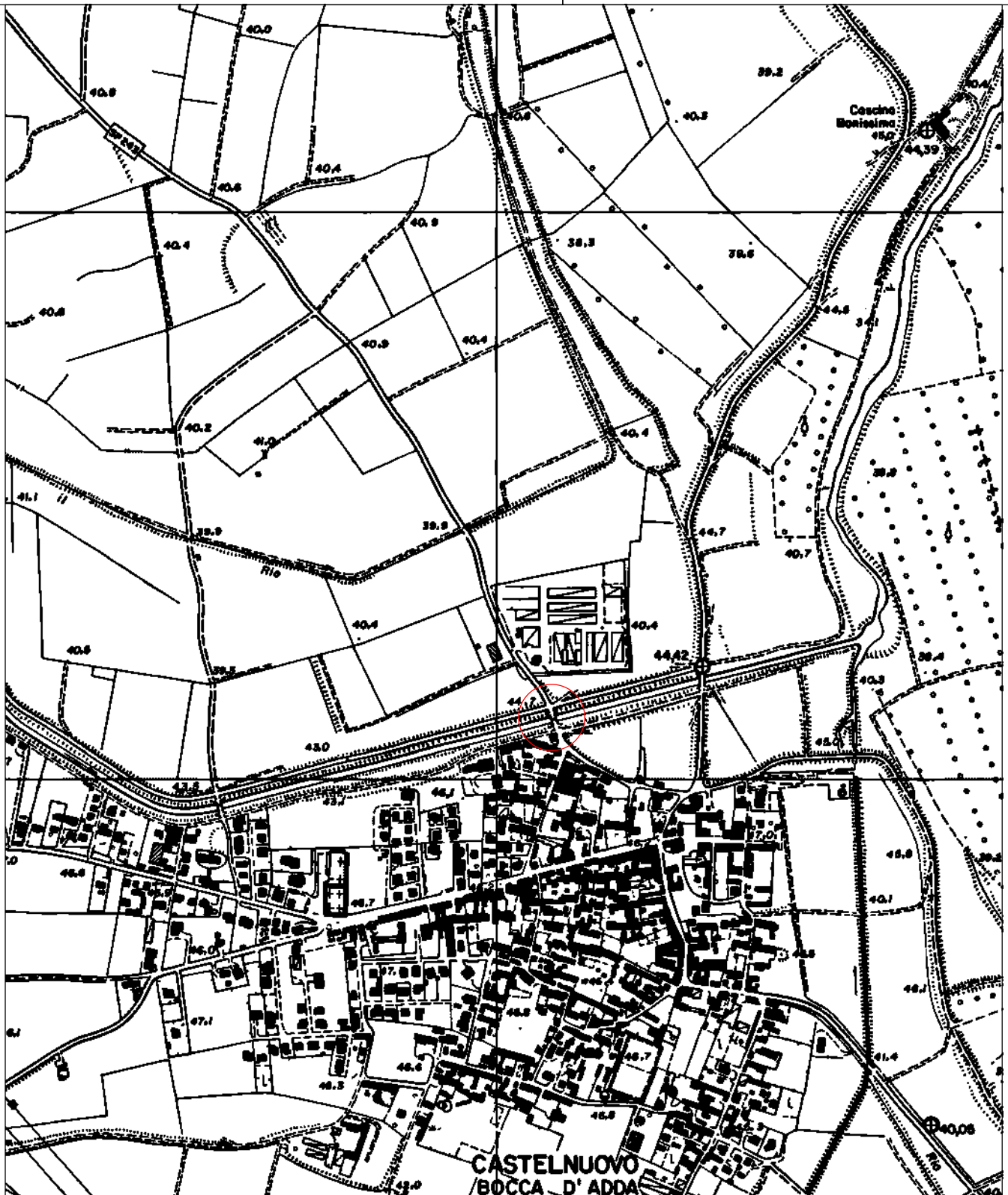
STUDIO ASSOCIATO GEO TECNICA

COROGRAFIA

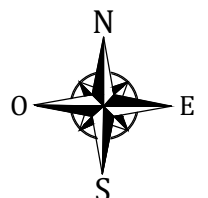
1:10000

Provincia di Lodi
Comune di CASTELNUOVO BOCCO D'ADDA (LO)
INTERVENTO DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA PONTE N.3
COLATORE GANDIOLO - S.P. 243

Sez. C.T.R. C7D5
Base cartografica Carta Tecnica Regionale
Regione Lombardia


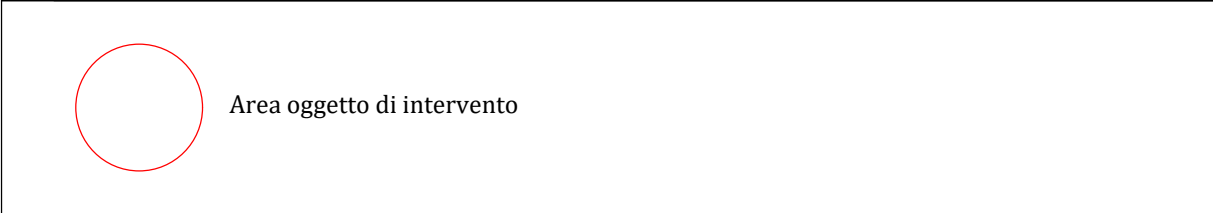
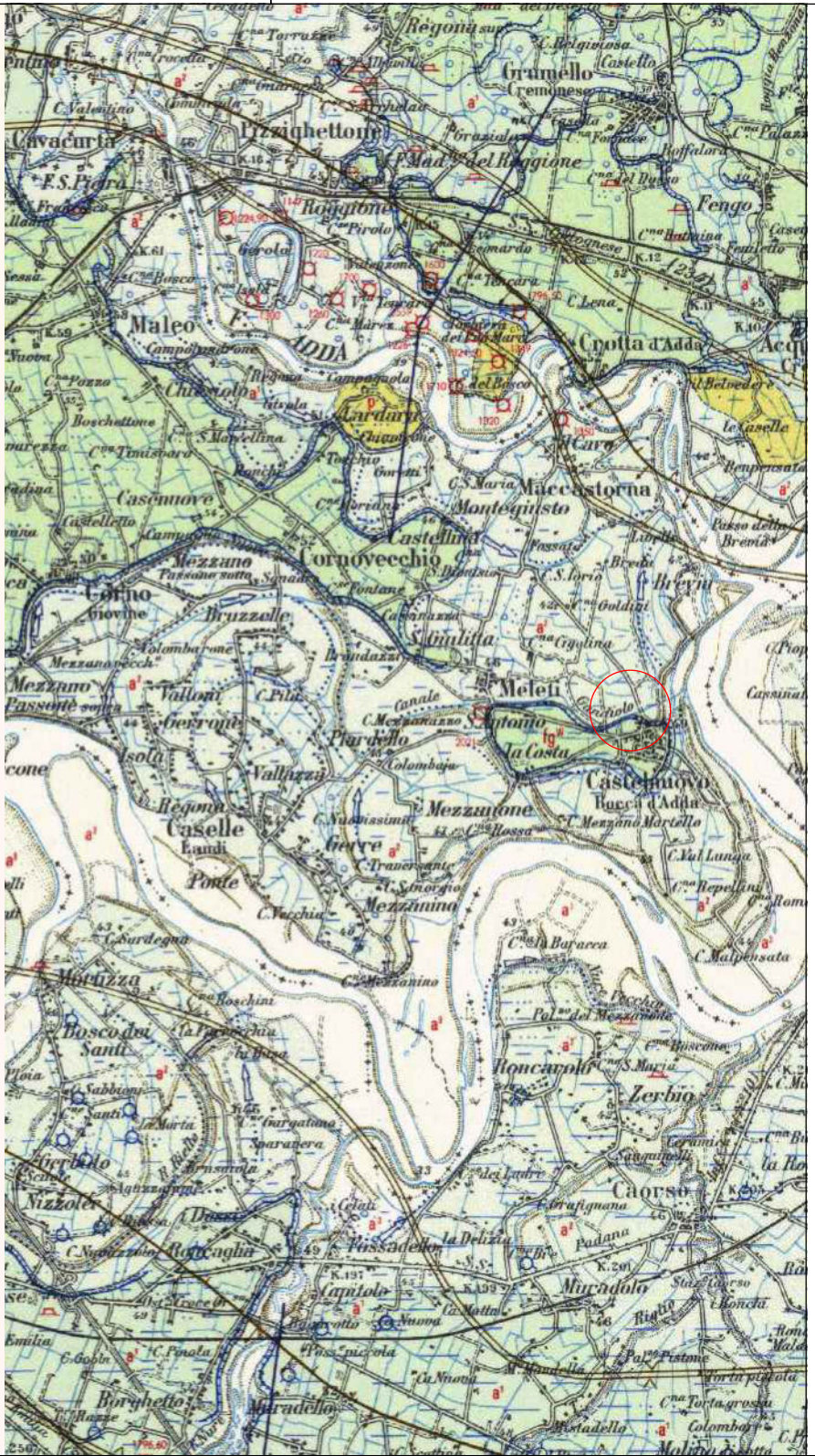
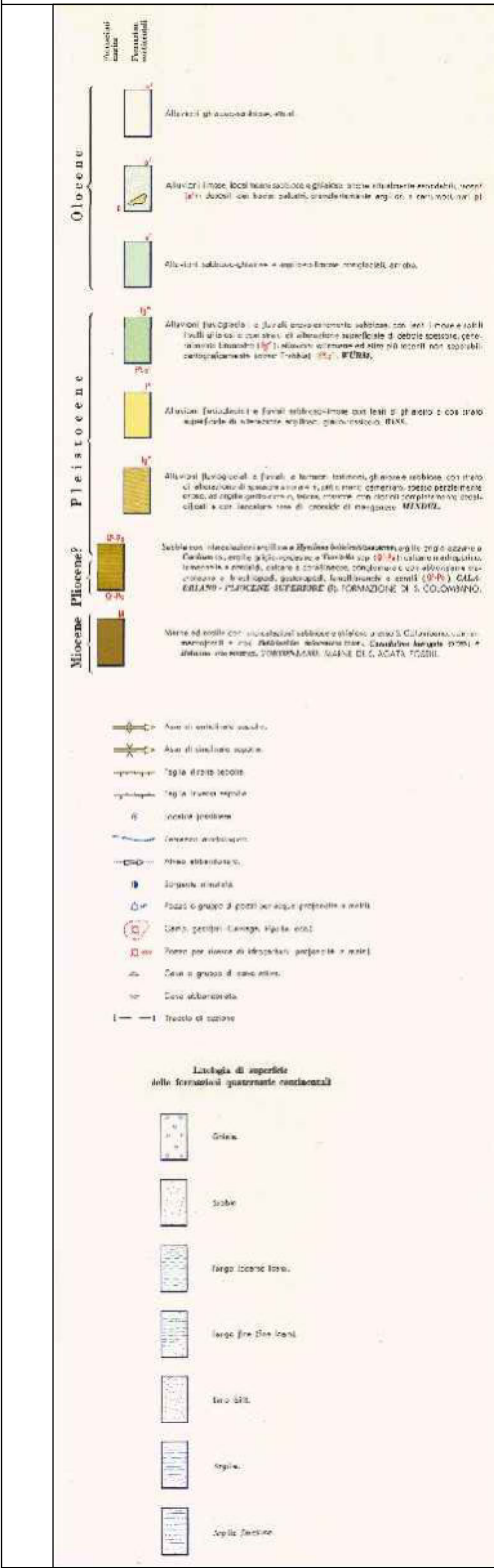


Area oggetto di intervento

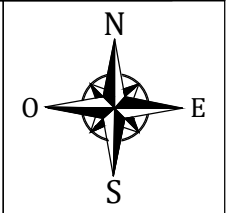


Provincia di Lodi
Comune di CASTELNUOVO BOCCO D'ADDA (LO)
INTERVENTO DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA PONTE N.3
COLATORE GANDIOLO - S.P. 243

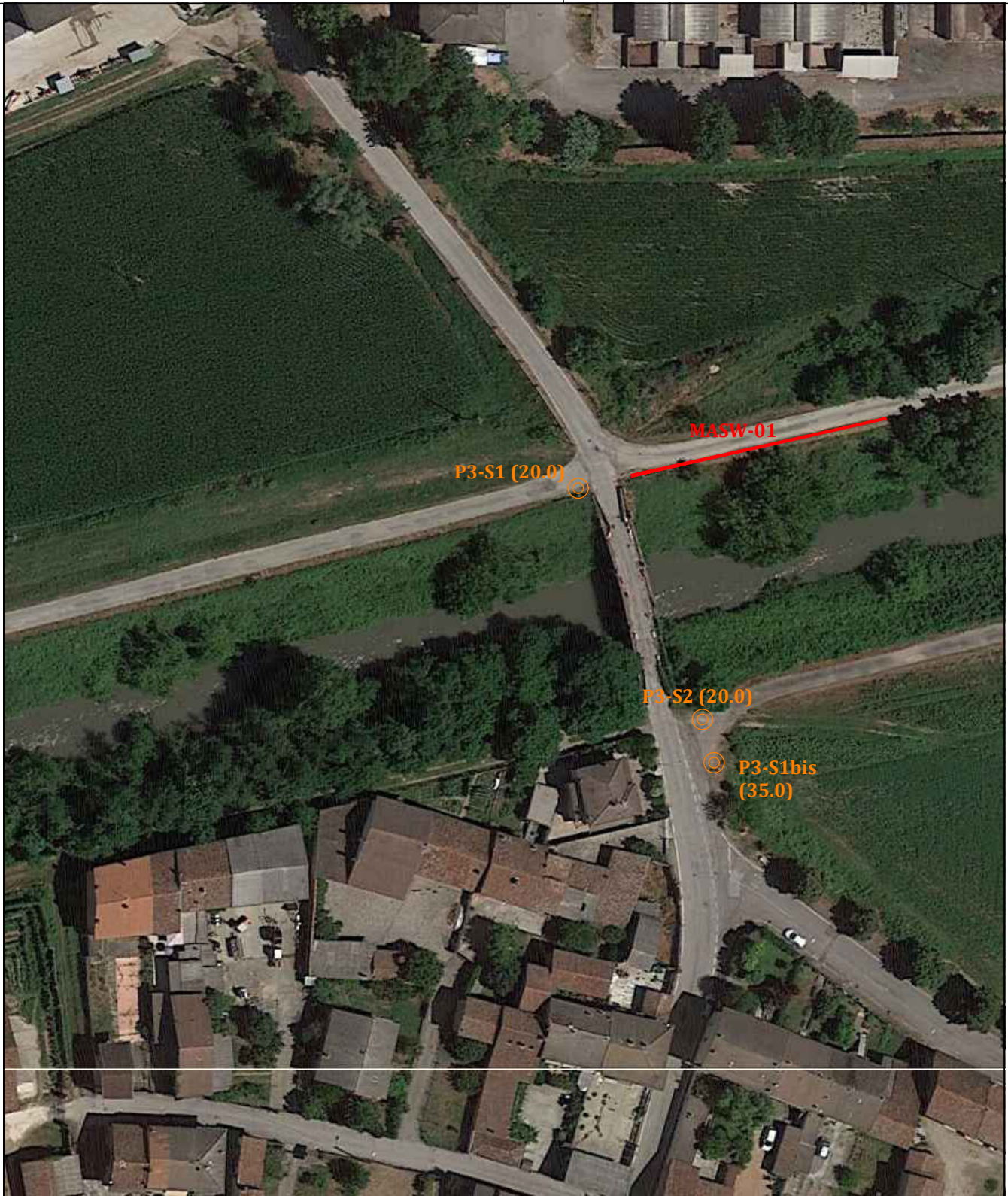
Foglio n.60 - PIACENZA (stralcio)
Base cartografica: Carta Geologica d'Italia
Servizio Geologico d'Italia



Area oggetto di intervento



Provincia di Lodi
Comune di CASTELNUOVO BOCCO D'ADDA (LO)
INTERVENTO DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA PONTE N.3
COLATORE GANDIOLO - S.P. 243



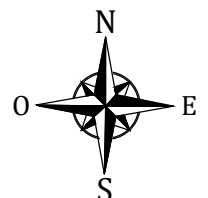
P3-S1 (20.0)



Sondaggi geognostici (tra parentesi è indicata la profondità raggiunta)

MASW-01

Prospezione sismica con metodo MASW



Provincia di Lodi
COMUNE DI CASTELNUOVO BOCCA D'ADDA



INTERVENTI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA
PONTE N.3 COLATORE GANDIOLO – S.P.243



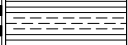
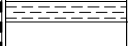













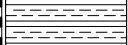
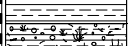




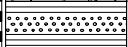
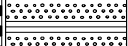

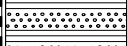
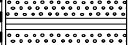





Stratigrafie sondaggi

Committente: Agenzia Interregionale per il fiume PO	Sondaggio: P3-S1
Riferimento: Progettazione adeguamenti sul colatore Gandiolo in Comune di Castenovo D'Adda (LO)	Data: 11.06.2019
Coordinate: -	Quota: -
Perforazione: a carotaggio continuo	

SCALA 1 :75

STRATIGRAFIA - P3-S1

Pagina 1/2

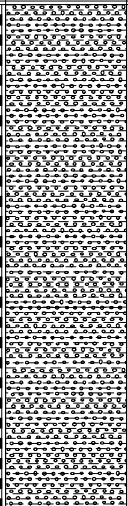
ø mm	R v	A	metri	LITOLOGIA	prof. m	Spess. m	DESCRIZIONE	Prel. % 0 --- 100	Standard Penetration Test			Campioni
									m	S.P.T.	N	
					0.20	0.20	Sabbia e ghiaia, deb. limosa, di colore grigio chiaro, asciutta.					
			1				Alternanze di livelli da centimetrici a decimetrici di argilla, deb. limosa, localmente limosa, di colore beige, da deb. umida a umida, plasticità media, e di livelli centimetrici di argilla, deb. limosa, localmente deb. sabbiosa, di colore marrone scuro, da deb. umida a umida, plasticità media.					Cl1) She 1,50 2,00
					1.50	1.30	Da 0.20 m a 0.60 m presenza di locali livelli centimetrici maldefiniti di argilla e limo, da sabbiosa a con sabbia, di colore beige, intercalati.					
			2		2.00	0.50	CAMPIONE INDISTURBATO					
							Limo con argilla, localmente argilloso, di colore beige, umido, plasticità da medio bassa a media.					
			3				Presenza di rari clasti di natura antropica completamente alterati (mattoni, Dmax=8-10 mm).					
												
			4		4.00	2.00						Cl2) She 4,00 4,50
							CAMPIONE INDISTURBATO					
					4.50	0.50						
			5				Limo, da con argilla ad argilloso, di colore marrone beige, umido, plasticità bassa, passante a 4.70 m ad argilla, deb. limosa, localmente limosa, di colore beige, umida, plasticità media.					
							Presenza di locali screziature di colore ocra.					
			6									
												
					6.70	2.20						Cl3) She 6,70 7,30
			7				CAMPIONE INDISTURBATO					
					7.30	0.60						
			8				Argilla, deb. limosa, localmente limosa, di colore beige, umida, plasticità media.					
					8.20	0.90						
			9				Argilla deb. limosa, dlocalmente da torbosa a deb. torbosa, di colore grigio, localmente grigio nerastro, da umida a molto umida, plasticità media.					
							Da 9.80 m a 9.90 m livello di torba con argilla, molto umida, di colore nerastro.					
			10									
					10.20	2.00						
			11				Alternanze di livelli decimetrici di sabbia media, localm ente medio fine, deb. limosa, localmente da argillosa a con argilla, satura, e di livelli di di argilla limosa, localmente deb. sabbiosa, da deb. torbosa a torbosa, di colore grigio e grigio nerastro, satura, plasticità da media a bassa, poco consistente.		10,5	2-1-1	2	
							Da 12.15 m a 12.25 m livello di torba deb. argillosa, di colore nerastro, satura.					
			12				Da 12.45 m a 12.65 m presenza di locali resti vegetali parzialmente decomposti.					
												
					12.65	2.45						
			13				Sabbia da medio fine a fine, deb. limosa, localmente limosa, di colore grigio chiaro, satura, moderatamente addensata.		13,5	3-9-10	19	
												
			14									
												
			15						15,0	4-8-13	21	

Committente: Agenzia Interregionale per il fiume PO	Sondaggio: P3-S1
Riferimento: Progettazione adeguamenti sul colatore Gandiolo in Comune di Castenovo D'Adda (LO)	Data: 11.06.2019
Coordinate: -	Quota: -
Perforazione: a carotaggio continuo	

SCALA 1 :75

STRATIGRAFIA - P3-S1

Pagina 2/2

ø mm	R v	A	metri	LITOLOGIA	prof. m	Spess. m	DESCRIZIONE	Prel. % 0 --- 100	Standard Penetration Test			Campioni
									m	S.P.T.	N	
			16				Sabbia da medio fine a fine, deb. limosa, localmente limosa, di colore grigio chiaro, satura, moderatamente addensata.					
			17									
			18									
			19									
			20		20,00	7,35						
101												




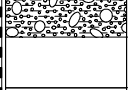
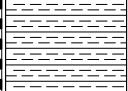
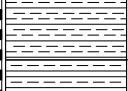

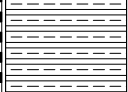
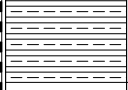
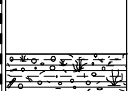

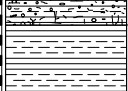
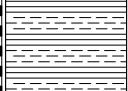
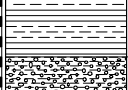
Foro ritombato mediante iniezione di miscela binaria acqua-cemento in rapporto 1:1

Committente: Agenzia Interregionale per il fiume PO	Sondaggio: P3-S2
Riferimento: Progettazione adeguamenti sul colatore Gandiolo in Comune di Castenovo D'Adda (LO)	Data: 12.06.2019
Coordinate: -	Quota: -
Perforazione: a carotaggio continuo	

SCALA 1 : 75

STRATIGRAFIA - P3-S2

Pagina 1/2

ø mm	R v	A	metri	LITOLOGIA	prof. m	Spess. m	DESCRIZIONE	Prel. % 0 --- 100	Standard Penetration Test			Campioni
									m	S.P.T.	N	
			1		0.50	0.50	Limo e sabbia, da argilloso a con argilla, deb. ghiaioso, di colore marrone arancione, deb. umido, localmente umido. Clasti poligenici, poco alterati, sub angolosi, sfericità da bassa a medio bassam Dmax=20 mm, Dmed=5-8 mm. Presenza di abbondanti clasti di natura antropica (mattoni completamente alterati, Dmax=30 mm). Primi 5 cm conglomerato bituminoso.		1,5	2-5-7	12	
			2				Sabbia, da deb. limosa a limosa, rara ghiaia, di colore marrone beige, da deb. umida a umida, moderatamente addensata. Presenti locali livelli centimetrici di limo con sabbia, da argilloso a deb. argilloso, intercalati.					
			3		3.00	2.50	Da 2.70 m a 3.00 m livello di limo con sabbia, argilloso, localmente deb. argilloso, di colore marrone beige.					C11) Shear 3,00 3,50
					3.50	0.50	CAMPIONE INDISTURBATO					
			4				Sabbia, da deb. limosa a limosa, rara ghiaia, di colore marrone beige, da deb. umida a umida, moderatamente addensata. Presenti locali livelli centimetrici di limo con sabbia, da argilloso a deb. argilloso, intercalati.					
			5		5.00	1.50	Da 3.50 m a 3.65 m livello di limo con sabbia, argilloso, localmente deb. argilloso, di colore marrone beige.					
					5.50	0.50	Limo argilloso, di colore marrone, umido, plasticità bassa.					C12) Shear 5,50 6,00
			6		6.00	0.50	CAMPIONE INDISTURBATO					
			7				Argilla, deb. limosa a limosa, localmente con limo, di colore grigio verdognolo, umida, plasticità media, localmente da medio bassa a bassa.					
			8		7.90	1.90						C13) Shear 7,90 8,50
					8.50	0.60	CAMPIONE INDISTURBATO					
			9				Argilla, da deb. limosa a alimosa, da torbosa a con torba, di colore grigio e grigio nerastro, umida, localmente molto umida, plasticità da medio bassa a bassa. Presenza di locali concrezioni calcaree di colore biancastro, Dmax=2-4 mm.					
			10		10.00	1.50						
			11				Argilla limosa, localmente con limo, di colore grigio e grigio verdognolo, da umida a molto umida, plasticità media, localmente medio elevata.					
			12		12.10	2.10			12,0	3-3-5	8	
			13				Sabbia con limo, localmente deb. argillosa, rara ghiaia (Dmax=35 mm), di colore marrone grigio, satura, poco addensata.					
					13.60	1.50			13,5	3-8-14	22	
			14				Sabbia media, deb. limosa, di colore grigio, satura, moderatamente addensata.					
			15						15,0	3-7-14	21	

Committente: Agenzia Interregionale per il fiume PO	Sondaggio: P3-S2
Riferimento: Progettazione adeguamenti sul colatore Gandiolo in Comune di Castenovo D'Adda (LO)	Data: 12.06.2019
Coordinate: -	Quota: -
Perforazione: a carotaggio continuo	

SCALA 1 :75

STRATIGRAFIA - P3-S2

Pagina 2/2

ø mm	R v	A	metri	LITOLOGIA	prof. m	Spess. m	DESCRIZIONE	Prel. % 0 --- 100	Standard Penetration Test			Campioni
									m	S.P.T.	N	
			16		16,00	2,40	Sabbia media, deb. limosa, di colore grigio, satura, moderatamente addensata.					
			17				Sabbia media, localmente medio fine, da con limo a limosa, localmente deb. argillosa, di colore grigio, satura, moderatamente addensata.		16,5	2-7-11	18	
			18						18,0	3-8-17	25	
			19						19,5	4-9-14	23	
101			20		20,00	4,00						

Foro ritombato mediante iniezione di miscela binaria acqua-cemento in rapporto 1:1

Committente: Agenzia Interregionale per il Fiume Po	Sondaggio: P3-S1bis
Riferimento: Progettazione adeguamenti ponti colatore Gandiolo in comune di Castelnuovo Bocca D'Adda (LO)	Data: 04.01.2024 - 05.01.2024
Coordinate: -	Quota: -
Perforazione: a distruzione di nucleo e a carotaggio continuo	

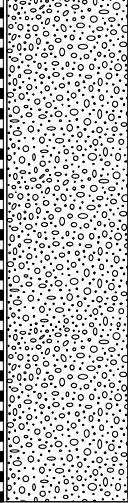
SCALA 1:75				SONDAGGIO										Pagina 2/3			
ø mm	R v	A	metri batt.	LITOLOGIA	prof. m	Spess. m	DESCRIZIONE	RP	VT	S.P.T.			Campioni	Prel. 0	%	Pz	
										m	S.P.T.	N					
							Perforazione eseguita a distruzione di nucleo.										
			16														
			17														
			18														
			19														
			20		20,00	20,00											
			21				Sabbia medio-grossolana, localmente debolmente ghiaiosa, rari ciottoli (Dmax = 90 mm), moderatamente addensata, di colore grigio, bagnata. Clasti poligenici, debolmente alterti, subarrotondati, sfericità media, Dmax = 60 mm; Dmed = 10/12 mm.			21,0	9-9-9	18					
			22				Presenti livelli centimetrici e decimetrici di limo sabbioso.										
			23														
			24							24,0	12-12-11	23					
			25														
			26														
			27							27,0	9-11-9	20					
			28														
			29							28,5	11-12-10	22					
			30														

Committente: Agenzia Interregionale per il Fiume Po	Sondaggio: P3-S1bis
Riferimento: Progettazione adeguamenti ponti colatore Gandiolo in comune di Castelnuovo Bocca D'Adda (LO)	Data: 04.01.2024 - 05.01.2024
Coordinate: -	Quota: -
Perforazione: a distruzione di nucleo e a carotaggio continuo	

SCALA 1:75

SONDAGGIO

Pagina 3/3

ø mm	R v	A	metri batt.	LITOLOGIA	prof. m	Spess. m	DESCRIZIONE	RP	VT	S.P.T.			Campioni	Prel. 0	% 100	Pz
										m	S.P.T.	N				
101			31				Sabbia medio-grossolana, localmente debolmente ghiaiosa, rari ciottoli (Dmax = 90 mm), moderatamente addensata, di colore grigio, bagnata. Clasti poligenici, debolmente alterti, subarrotondati, sfericità media, Dmax = 60 mm; Dmed = 10/12 mm. Presenti livelli centimetrici e decimetrici di limo sabbioso.			31,5	14-14-13	27				
			32													
			33							33,0	15-15-14	29				
			34													
			35							34,5	12-13-12	25				
					35,00	15,00										

Sigillatura mediante iniezione da fondo foro di miscela binaria acqua-cemento in rapporto 1:1.

Rilievo del livello dell'acqua nel corso della perforazione										
Giorno	04/01/24	05/01/24	05/01/24							
Ora	sera	mattina	sera							
Livello dell'acqua (m)	9,60	9,90	9,90							
Prof. perforazione(m)	28,50	28,50	35,00							
Prof. rivestimento(m)	28,50	28,50	35,00							

Provincia di Lodi
COMUNE DI CASTELNUOVO BOCCA D'ADDA



INTERVENTI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA
PONTE N.3 COLATORE GANDIOLO – S.P.243

Report fotografico

SONDAGGIO P3-S1



SONDAGGIO P3-S1 – Postazione



SONDAGGIO P3-S1 - Cassa n.1 da 0.00 m a 5.00 m



SONDAGGIO P3-S1 - Cassa n.2 da 5.00 m a 10.00 m



SONDAGGIO P3-S1 - Cassa n.3 da 10.00 m a 15.00 m



SONDAGGIO P3-S1 - Cassa n.4 da 15.00 m a 20.00 m

SONDAGGIO P3-S2



SONDAGGIO P3-S2 – Postazione



SONDAGGIO P3-S2 - Cassa n.1 da 0.00 m a 5.00 m



SONDAGGIO P3-S2 - Cassa n.2 da 5.00 m a 10.00 m



SONDAGGIO P3-S2 – Cassa n.3 da 10.00 m a 15.00 m



SONDAGGIO P3-S2 – Cassa n.4 da 15.00 m a 20.00 m

SONDAGGIO P3-S1BIS



SONDAGGIO P3-S1BIS – Postazione



SONDAGGIO P3-S1BIS - Cassa n.1 da 20.00 m a 25.00 m



SONDAGGIO P3-S1BIS - Cassa n.2 da 25.00 m a 30.00 m



SONDAGGIO P3-S1BIS - Cassa n.3 da 30.00 m a 35.00 m

INDAGINE SISMICA MASW-01



INDAGINE SISMICA MASW-01 – Postazione

Provincia di Lodi
COMUNE DI CASTELNUOVO BOCCA D'ADDA



**INTERVENTI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA
PONTE N.3 COLATORE GANDIOLO – S.P.243**

Certificati prove di laboratorio



CERTIFICATO 713G-43

CAMPIONE

Sondaggio:	P3-S1	Campione:	CI1	Profondità (m. dal p.c.):	1,50 ÷ 2,00
Tipo:	Indisturbato	Classe:	Q4	Data prelievo:	/
Materiale:	Argilla limosa di colore bruno scuro, con presenza di sostanza organica e frustoli vegetali. A 1,75m passa a sabbia limosa di colore bruno. Campione di lunghezza pari a circa 35cm.				
Profondità (m)	1,55	1,65	1,75		
Pocket (kg/cm ²)	2,25	2,50	3,25		
Profondità (m)	1,60	1,70	1,80		
Torvane (kg/cm ²)	0,80	0,72	0,20		

APERTURA E CARATTERISTICHE FISICHE (secondo le raccomandazioni AGI, 1994)

Contenuto d'acqua (%)	25,29
Peso di Volume naturale (kN/m ³)	17,93
Peso di Volume secco (kN/m ³)	14,31
Peso specifico dei grani (kN/m ³)	/
Indice dei vuoti	/

Il Tecnico Esecutore
(dott. Enrico Bertocchi)

Il Direttore del Laboratorio
(dott. Marco Grasselli)

Pagina 1 di 1 del Certificato n. 713G-43 del 28.08.2019

È vietata la riproduzione del rapporto di prova o di singole parti senza l'approvazione del laboratorio Tecnocontrolli s.r.l.



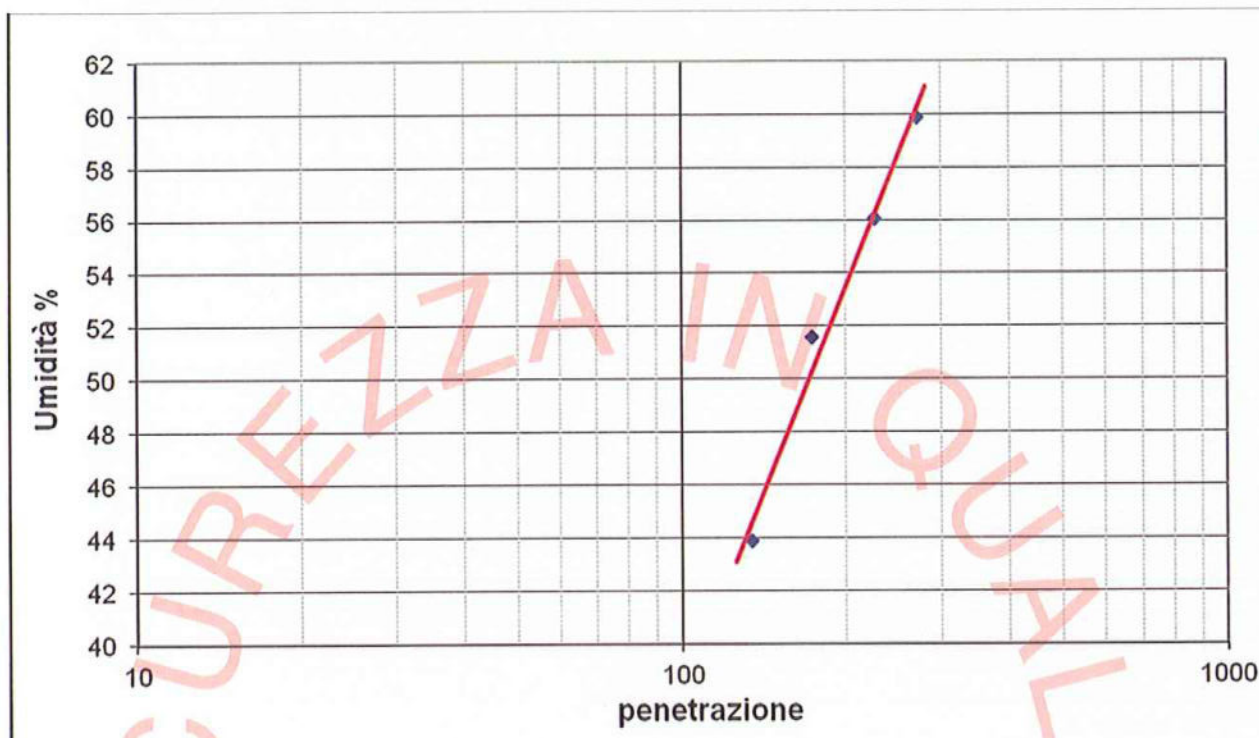
**CERTIFICATO 713G-44****CAMPIONE**

Sondaggio:	P3-S1	Campione:	CI1	Profondità (m. dal p.c.):	1,50 ÷ 2,00
Tipo:	Indisturbato	Classe:	Q4	Data prelievo:	/
Materiale:	Argilla limosa di colore bruno scuro, con presenza di sostanza organica e frustoli vegetali. A 1,75m passa a sabbia limosa di colore bruno. Campione di lunghezza pari a circa 35cm.				

**LIMITI DI CONSISTENZA
(secondo la norma UNI EN 17892-12)**
Il Tecnico Esecutore
(dott. Enrico Bertocchi)
Il Direttore del Laboratorio
(dott. Marco Grasselli)



Provino N.		LIMITE LIQUIDO				LIMITE PLASTICO	
		1	2	3	4	1	2
Tara	A	28,28	32,06	33,59	30,65	29,43	33,20
Peso lordo umido	B	66,27	72,06	72,45	76,50	35,96	40,25
Peso lordo secco	C	52,04	57,69	59,23	62,51	34,57	38,72
Peso netto secco	D=C-A	23,76	25,63	25,64	31,86	5,14	5,52
Contenuto d'acqua	$W=100 \cdot \frac{(B-C)}{D}$	59,89	56,07	51,56	43,91	27,04	27,72
Penetrazione		270	226	173	134		



Limite Liquido: 53 %

Limite Plastico: 27 %

Indice di Plasticità: 26 %

Il Tecnico Esecutore
(dott. Enrico Bertocchi)

Il Direttore del Laboratorio
(dott. Marco Grasselli)

Pagina 2 di 2 del Certificato n. 713G-44 del 28.08.2019

È vietata la riproduzione del rapporto di prova o di singole parti senza l'approvazione del laboratorio Tecnocontrolli s.r.l.





CERTIFICATO 713G-45

CAMPIONE

Sondaggio:	P3-S1	Campione:	CI1	Profondità (m. dal p.c.):	1,50 ÷ 2,00
Tipo:	Indisturbato	Classe:	Q4	Data prelievo:	/
Materiale:	Argilla limosa di colore bruno scuro, con presenza di sostanza organica e frustoli vegetali. A 1,75m passa a sabbia limosa di colore bruno. Campione di lunghezza pari a circa 35cm.				

CLASSIFICAZIONE (secondo la norma CNR UNI 10006)

Peso campione di prova:	268,90 g
Peso trattenuto a 2mm:	0,68 g
Peso trattenuto a 0,42mm:	6,95 g
Peso trattenuto a 0,075mm:	37,21 g

Passante al setaccio 2 mm	:	99,7	%
Passante al setaccio 0,42 mm	:	97,2	%
Passante al setaccio 0,075 mm	:	83,3	%

Limite di liquidità	WI =	53	%
Limite di plasticità	Wp =	27	%
Indice di plasticità	Ip =	26	%

Classificazione:	A7-6
Indice di gruppo:	17

Il Tecnico Esecutore
Enrico Bertocchi
(dott. Enrico Bertocchi)

Il Direttore del Laboratorio
Marco Grasselli
(dott. Marco Grasselli)

**CERTIFICATO 713G-46****CAMPIONE**

Sondaggio:	P3-S1	Campione:	CI2	Profondità (m. dal p.c.):	4,00 ÷ 4,50
Tipo:	Indisturbato	Classe:	Q4	Data prelievo:	/
Materiale:	Limo con argilla di colore bruno oliva, con presenza di sostanza organica, frustoli vegetali e frammenti di laterizi.				
Profondità (m)	4,05	4,15	4,25	4,35	
Pocket (kg/cm ²)	3,50	2,50	3,75	2,50	
Profondità (m)	4,10	4,20	4,30	4,40	
Torvane (kg/cm ²)	0,55	0,60	0,70	0,63	

**APERTURA E DESCRIZIONE
(secondo le raccomandazioni AGI, 1994)**

Il Tecnico Esecutore
(dott. Enrico Bertocchi)

Il Direttore del Laboratorio
(dott. Marco Grasselli)

Pagina 1 di 1 del Certificato n. 713G-46 del 28.08.2019

È vietata la riproduzione del rapporto di prova o di singole parti senza l'approvazione del laboratorio Tecnocontrolli s.r.l.

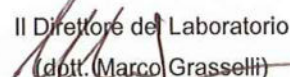


**CERTIFICATO 713G-47****CAMPIONE**

Sondaggio:	P3-S1	Campione:	CI2	Profondità (m. dal p.c.):	4,00 ÷ 4,50
Tipo:	Indisturbato	Classe:	Q4	Data prelievo:	/
Materiale:	Limo con argilla di colore bruno oliva, con presenza di sostanza organica, frustoli vegetali e frammenti di laterizi.				

**LIMITI DI CONSISTENZA
(secondo la norma UNI EN 17892-12)**


Il Tecnico Esecutore
(dott. Enrico Bertocchi)


Il Direttore del Laboratorio
(dott. Marco Grasselli)

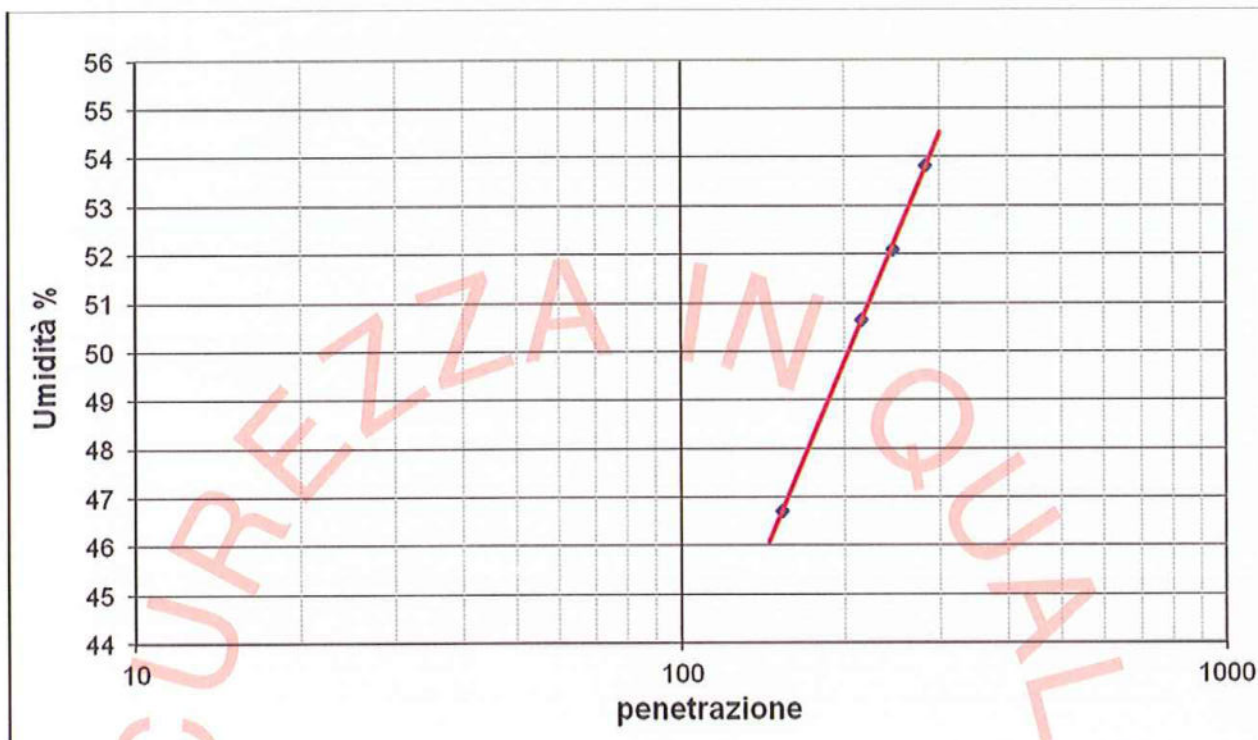
Pagina 1 di 2 del Certificato n. 713G-47 del 28.08.2019

È vietata la riproduzione del rapporto di prova o di singole parti senza l'approvazione del laboratorio Tecnocontrolli s.r.l.





Provino N.		LIMITE LIQUIDO				LIMITE PLASTICO	
		1	2	3	4	1	2
Tara	A	31,02	30,88	29,49	28,27	32,83	30,74
Peso lordo umido	B	72,83	62,35	68,53	73,22	38,32	36,11
Peso lordo secco	C	59,52	51,77	55,16	57,49	37,18	35,01
Peso netto secco	D=C-A	28,50	20,89	25,67	29,22	4,35	4,27
Contenuto d'acqua	$W=100 \cdot \frac{(B-C)}{D}$	46,70	50,65	52,08	53,83	26,21	25,76
Penetrazione		153	215	245	282		



Limite Liquido: 50 %

Limite Plastico: 26 %

Indice di Plasticità: 24 %

Il Tecnico Esecutore
(dott. Enrico Bertocchi)

Il Direttore del Laboratorio
(dott. Marco Grasselli)



CERTIFICATO 713G-48

CAMPIONE

Sondaggio:	P3-S1	Campione:	CI2	Profondità (m. dal p.c.):	4,00 ÷ 4,50
Tipo:	Indisturbato	Classe:	Q4	Data prelievo:	/
Materiale:	Limo con argilla di colore bruno oliva, con presenza di sostanza organica, frustoli vegetali e frammenti di laterizi.				

CLASSIFICAZIONE (secondo la norma CNR UNI 10006)

Peso campione di prova:	558,95 g
Peso trattenuto a 2mm:	13,79 g
Peso trattenuto a 0,42mm:	65,52 g
Peso trattenuto a 0,075mm:	94,90 g

Passante al setaccio 2 mm	:	97,5	%
Passante al setaccio 0,42 mm	:	85,8	%
Passante al setaccio 0,075 mm	:	68,8	%

Limite di liquidità	WI =	50	%
Limite di plasticità	Wp =	26	%
Indice di plasticità	Ip =	24	%

Classificazione:	A7-6
Indice di gruppo:	14

Il Tecnico Esecutore
(dott. Enrico Bertocchi)

Il Direttore del Laboratorio
(dott. Marco Grasselli)

Pagina 1 di 1 del Certificato n. 713G-48 del 28.08.2019

È vietata la riproduzione del rapporto di prova o di singole parti senza l'approvazione del laboratorio Tecnocontrolli s.r.l.



**CERTIFICATO 713G-49****CAMPIONE**

Sondaggio:	P3-S1	Campione:	CI2	Profondità (m. dal p.c.):	4,00 ÷ 4,50
Tipo:	Indisturbato	Classe:	Q4	Data prelievo:	/
Materiale:	Limo con argilla di colore bruno oliva, con presenza di sostanza organica, frustoli vegetali e frammenti di laterizi.				

**PROVA di COMPRESSIONE
A ESPANSIONE LATERALE LIBERA
(secondo le raccomandazioni AGI, 1994)**

Provino - Caratteristiche iniziali	
Diametro (cm)	3,80
Altezza (cm)	7,60
Contenuto d'acqua (%)	19,61
Peso di Volume naturale (kN/m ³)	18,39
Peso di Volume secco (kN/m ³)	15,38

Il Tecnico Esecutore
(dott. Enrico Bertocchi)

Il Direttore del Laboratorio
(dott. Marco Grasselli)

Pagina 1 di 3 del Certificato n. 713G-49 del 28.08.2019

È vietata la riproduzione del rapporto di prova o di singole parti senza l'approvazione del laboratorio Tecnocontrolli s.r.l.





Velocità di deformazione = 0,5 mm/min

Spostamento (mm)	Def. assiale ε (%)	σ_1 (kPa)
0,000	0,00	0,0
0,157	0,21	10,5
0,347	0,46	36,7
0,526	0,69	67,9
0,696	0,91	84,3
0,875	1,15	103,2
1,047	1,37	113,3
1,212	1,59	122,6
1,378	1,81	132,6
1,557	2,04	140,0
1,714	2,25	144,9
1,867	2,45	147,2
1,966	2,58	149,5
2,035	2,67	151,1
2,141	2,81	152,6
2,252	2,96	154,1

Spostamento (mm)	Def. assiale ε (%)	σ_1 (kPa)
2,384	3,13	155,5
2,528	3,32	156,0
2,655	3,48	156,6
2,804	3,68	157,1
2,951	3,87	157,7
3,080	4,04	158,2
3,220	4,23	158,8
3,365	4,42	158,5
3,527	4,63	158,9
3,684	4,83	157,8
3,855	5,06	156,6
4,027	5,28	155,4
4,215	5,53	151,6
4,392	5,76	144,6
4,579	6,01	133,6
4,774	6,27	123,3

SICUREZZA QUALITÀ

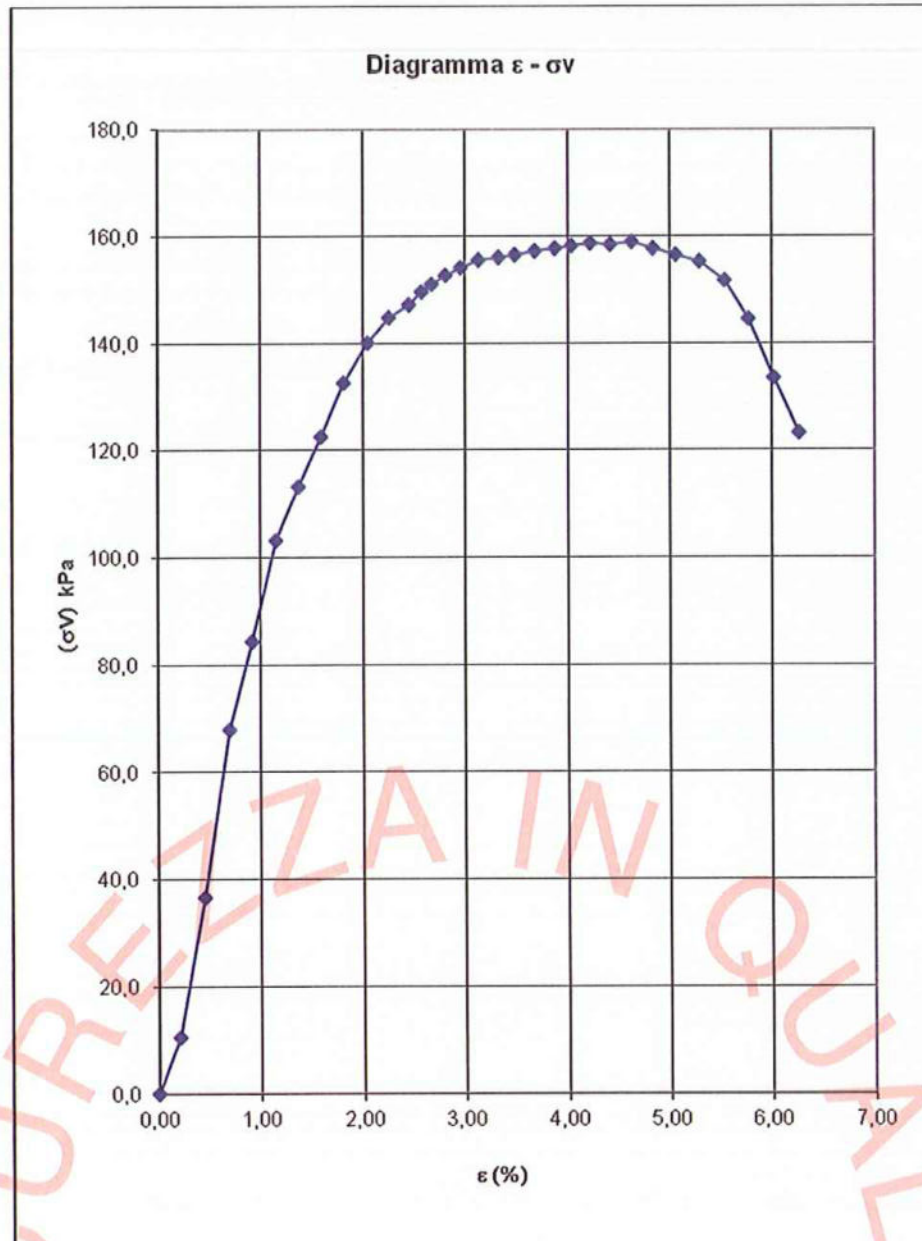
Il Tecnico Esecutore
(dott. Enrico Bertocchi)

Il Direttore del Laboratorio
(dott. Marco Grasselli)

Pagina 2 di 3 del Certificato n. 713G-49 del 28.08.2019

È vietata la riproduzione del rapporto di prova o di singole parti senza l'approvazione del laboratorio Tecnocontrolli s.r.l.





Il Tecnico Esecutore
(dott. Enrico Bertocchi)

Il Direttore del Laboratorio
(dott. Marco Grasselli)

**CERTIFICATO 713G-50****CAMPIONE**

Sondaggio:	P3-S1	Campione:	CI2	Profondità (m. dal p.c.):	4,00 ÷ 4,50
Tipo:	Indisturbato	Classe:	Q4	Data prelievo:	/
Materiale:	Limo con argilla di colore bruno oliva, con presenza di sostanza organica, frustoli vegetali e frammenti di laterizi.				

**PROVA di COMPRESSIONE EDOMETRICA
(secondo le raccomandazioni AGI, 1994)****Caratteristiche geometriche del campione**

Diametro (cm)	Altezza (cm)	Area (cm ²)
5,046	2,00	20,00

Provino - Caratteristiche iniziali

Contenuto d'acqua (%)	7,65
Peso di Volume naturale (kN/m ³)	21,69
Peso di Volume secco (kN/m ³)	15,68
Peso specifico dei grani (Mg/m ³)	2,620
Indice dei vuoti	0,638
Saturazione (%)	89,02

Il Tecnico Esecutore
(dott. Enrico Bertocchi)Il Direttore del Laboratorio
(dott. Marco Grasselli)

Pagina 1 di 4 del Certificato n. 713G-50 del 28.08.2019

È vietata la riproduzione del rapporto di prova o di singole parti senza l'approvazione del laboratorio Tecnocontrolli s.r.l.



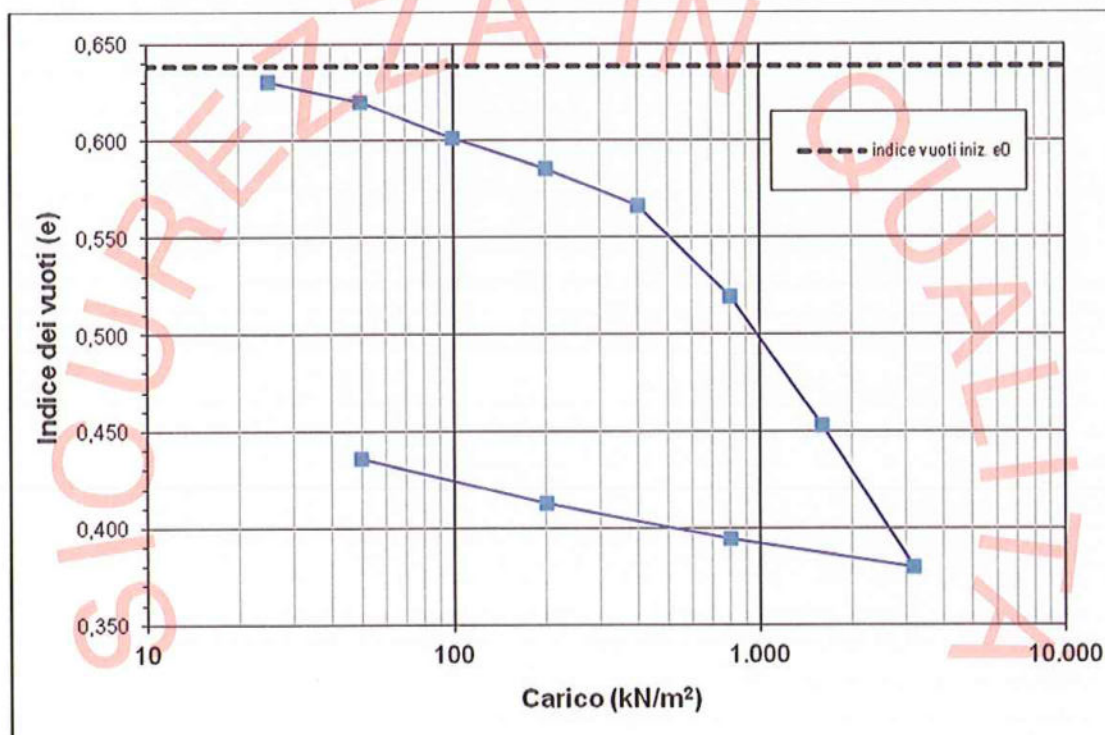


Fase di carico

σ_v (kPa)	Δh (mm)	e	M (kPa)	C_v (m ² /sec)
0	0,000	0,638	-	
25	0,099	0,630	5051	$7,70 \times 10^{-8}$
50	0,222	0,620	4045	$3,02 \times 10^{-8}$
100	0,454	0,601	4263	$2,22 \times 10^{-8}$
200	0,643	0,586	10342	$2,57 \times 10^{-8}$
400	0,875	0,567	16687	$1,32 \times 10^{-8}$
800	1,448	0,520	13351	$3,69 \times 10^{-8}$
1600	2,264	0,453	28188	$2,31 \times 10^{-8}$
3200	3,152	0,380	31957	$3,68 \times 10^{-8}$

Fase di scarico

σ_v (kPa)	Δh (mm)	e
800	2,977	0,394
200	2,750	0,413
50	2,468	0,436



Il Tecnico Esecutore
(dott. Enrico Bertocchi)

Il Direttore del Laboratorio
(dott. Marco Grasselli)

Pagina 2 di 4 del Certificato n. 713G-50 del 28.08.2019

È vietata la riproduzione del rapporto di prova o di singole parti senza l'approvazione del laboratorio Tecnocontrolli s.r.l.





Cedimenti-Tempo 25 kPa		Cedimenti-Tempo 50 kPa		Cedimenti-Tempo 100 kPa	
t (min)	Cedimenti (mm)	t (min)	Cedimenti (mm)	t (min)	Cedimenti (mm)
0	0,000	0	0,099	0	0,222
0,1	0,069	0,1	0,140	0,1	0,303
0,25	0,074	0,25	0,148	0,25	0,324
0,5	0,078	0,5	0,158	0,5	0,340
1	0,081	1	0,167	1	0,353
2	0,084	2	0,176	2	0,369
4	0,087	4	0,185	4	0,382
8	0,090	8	0,191	8	0,395
15	0,092	15	0,197	15	0,406
30	0,094	30	0,202	30	0,420
60	0,095	60	0,208	60	0,430
120	0,096	120	0,212	120	0,439
240	0,097	240	0,215	240	0,444
480	0,098	480	0,218	480	0,448
1440	0,099	1440	0,222	1440	0,454

Cedimenti-Tempo 200 kPa		Cedimenti-Tempo 400 kPa		Cedimenti-Tempo 800 kPa	
t (min)	Cedimenti (mm)	t (min)	Cedimenti (mm)	t (min)	Cedimenti (mm)
0	0,454	0	0,643	0	0,875
0,1	0,483	0,1	0,669	0,1	0,909
0,25	0,504	0,25	0,682	0,25	0,975
0,5	0,520	0,5	0,700	0,5	1,025
1	0,533	1	0,720	1	1,080
2	0,549	2	0,741	2	1,142
4	0,562	4	0,768	4	1,206
8	0,575	8	0,795	8	1,257
15	0,586	15	0,821	15	1,293
30	0,600	30	0,834	30	1,327
60	0,610	60	0,849	60	1,355
120	0,619	120	0,859	120	1,375
240	0,628	240	0,868	240	1,396
480	0,634	480	0,872	480	1,416
1440	0,643	1440	0,875	1440	1,448

Il Tecnico Esecutore
Enrico Bertocchi
(dott. Enrico Bertocchi)

Il Direttore del Laboratorio
Marco Grasselli
(dott. Marco Grasselli)

Pagina 3 di 4 del Certificato n. 713G-50 del 28.08.2019

È vietata la riproduzione del rapporto di prova o di singole parti senza l'approvazione del laboratorio Tecnocontrolli s.r.l.





Cedimenti-Tempo 1600 kPa		Cedimenti-Tempo 3200 kPa	
t (min)	Cedimenti (mm)	t (min)	Cedimenti (mm)
0	1,448	0	2,264
0,1	1,598	0,1	2,350
0,25	1,698	0,25	2,468
0,5	1,774	0,5	2,596
1	1,858	1	2,694
2	1,941	2	2,790
4	2,009	4	2,875
8	2,065	8	2,944
15	2,107	15	3,011
30	2,142	30	3,045
60	2,170	60	3,068
120	2,196	120	3,088
240	2,219	240	3,106
480	2,236	480	3,122
1440	2,264	1440	3,152

SICUREZZA IN QUALITÀ

Il Tecnico Esecutore
(dott. Enrico Bertocchi)

Il Direttore del Laboratorio
(dott. Marco Grasselli)

**CERTIFICATO 713G-51****CAMPIONE**

Sondaggio:	P3-S1	Campione:	CI3	Profondità (m. dal p.c.):	6,70 ÷ 7,30
Tipo:	Indisturbato	Classe:	Q4	Data prelievo:	/
Materiale:	Argilla limosa di colore da oliva a grigio, passante a 7,20m a materiale torboso.				
Profondità (m)	6,80	6,90	7,00	7,10	7,20
Pocket (kg/cm ²)	1,25	1,50	1,50	1,75	1,75
Profondità (m)	6,75	6,85	6,95	7,05	7,15
Torvane (kg/cm ²)	0,30	0,40	0,50	0,45	0,40

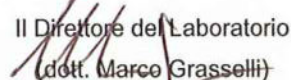
**APERTURA E DESCRIZIONE
(secondo le raccomandazioni AGI, 1994)**
Il Tecnico Esecutore
(dott. Enrico Bertocchi)
Il Direttore del Laboratorio
(dott. Marco Grasselli)

**CERTIFICATO 713G-52****CAMPIONE**

Sondaggio:	P3-S1	Campione:	CI3	Profondità (m. dal p.c.):	6,70 ÷ 7,30
Tipo:	Indisturbato	Classe:	Q4	Data prelievo:	/
Materiale:	Argilla limosa di colore da oliva a grigio, passante a 7,20m a materiale torboso.				

**LIMITI DI CONSISTENZA
(secondo la norma UNI EN 17892-12)**


Il Tecnico Esecutore
(dott. Enrico Bertocchi)


Il Direttore del Laboratorio
(dott. Marco Grasselli)

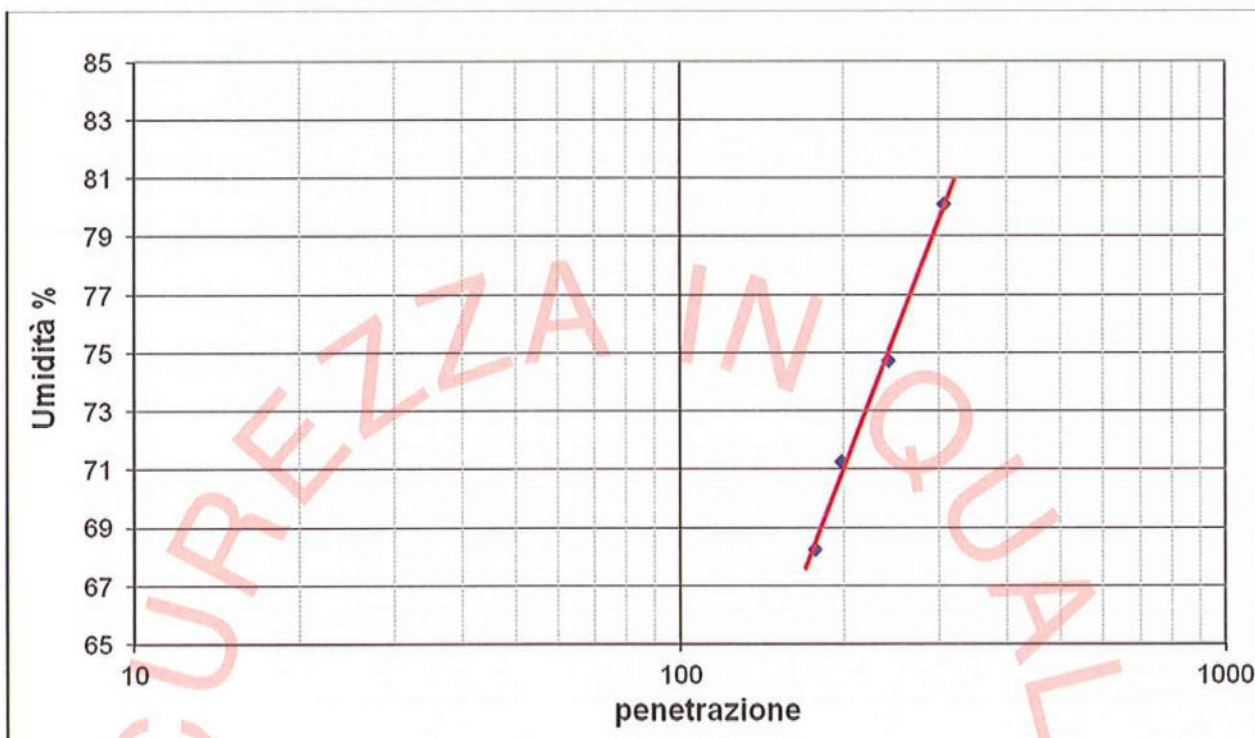
Pagina 1 di 2 del Certificato n. 713G-52 del 28.08.2019

È vietata la riproduzione del rapporto di prova o di singole parti senza l'approvazione del laboratorio Tecnocontrolli s.r.l.





Provino N.		LIMITE LIQUIDO				LIMITE PLASTICO	
		1	2	3	4	1	2
Tara	A	30,13	28,90	31,03	28,58	30,83	30,28
Peso lordo umido	B	67,36	66,81	73,00	64,97	35,84	34,30
Peso lordo secco	C	50,80	50,60	55,54	50,21	34,53	33,24
Peso netto secco	D=C-A	20,67	21,70	24,51	21,63	3,70	2,96
Contenuto d'acqua	$W=100 \cdot \frac{(B-C)}{D}$	80,12	74,70	71,24	68,24	35,41	35,81
Penetrazione		306	241	198	177		



Limite Liquido: 71 %

Limite Plastico: 36 %

Indice di Plasticità: 35 %

Il Tecnico Esecutore
(dott. Enrico Bertocchi)

Il Direttore del Laboratorio
(dott. Marco Grasselli)

**CERTIFICATO 713G-53****CAMPIONE**

Sondaggio:	P3-S1	Campione:	CI3	Profondità (m. dal p.c.):	6,70 ÷ 7,30
Tipo:	Indisturbato	Classe:	Q4	Data prelievo:	/
Materiale:	Argilla limosa di colore da oliva a grigio, passante a 7,20m a materiale torboso.				

CLASSIFICAZIONE
(secondo la norma CNR UNI 10006)

Peso campione di prova: 190,78 g
Peso trattenuto a 2mm: 0,14 g
Peso trattenuto a 0,42mm: 0,21 g
Peso trattenuto a 0,075mm: 0,17 g

Passante al setaccio 2 mm	:	99,9	%
Passante al setaccio 0,42 mm	:	99,8	%
Passante al setaccio 0,075 mm	:	99,7	%

Limite di liquidità	Wl =	71	%
Limite di plasticità	Wp =	36	%
Indice di plasticità	Ip =	35	%

Classificazione:	A7-5
Indice di gruppo:	20

Il Tecnico Esecutore
(dott. Enrico Bertocchi)

Il Direttore del Laboratorio
(dott. Marco Grasselli)

Pagina 1 di 1 del Certificato n. 713G-53 del 28.08.2019

È vietata la riproduzione del rapporto di prova o di singole parti senza l'approvazione del laboratorio Tecnocontrolli s.r.l.



**CERTIFICATO 713G-54****CAMPIONE**

Sondaggio:	P3-S1	Campione:	CI3	Profondità (m. dal p.c.):	6,70 ÷ 7,30
Tipo:	Indisturbato	Classe:	Q4	Data prelievo:	/
Materiale:	Argilla limosa di colore da oliva a grigio, passante a 7,20m a materiale torboso.				

**PROVA di COMPRESSIONE
A ESPANSIONE LATERALE LIBERA
(secondo le raccomandazioni AGI, 1994)**

Provino – Caratteristiche iniziali	
Diametro (cm)	3,80
Altezza (cm)	7,60
Contenuto d'acqua (%)	39,10
Peso di Volume naturale (kN/m³)	17,52
Peso di Volume secco (kN/m³)	12,60

Il Tecnico Esecutore
(dott. Enrico Bertocchi)Il Direttore del Laboratorio
(dott. Marco Grasselli)

Pagina 1 di 3 del Certificato n. 713G-54 del 28.08.2019

È vietata la riproduzione del rapporto di prova o di singole parti senza l'approvazione del laboratorio Tecnocontrolli s.r.l.





Velocità di deformazione = 0,6 mm/min

Spostamento (mm)	Def. assiale ε (%)	σ_1 (kPa)
0,000	0,00	0,0
0,210	0,28	13,1
0,526	0,69	37,5
0,869	1,14	49,4
1,238	1,62	57,8
1,587	2,08	64,4
1,884	2,47	70,1
2,185	2,87	75,0
2,480	3,25	78,1
2,751	3,61	82,0
3,032	3,98	84,2
3,316	4,35	86,4

Spostamento (mm)	Def. assiale ε (%)	σ_1 (kPa)
3,584	4,70	87,8
3,829	5,02	89,1
4,063	5,33	90,5
4,298	5,64	91,0
4,558	5,98	91,5
4,795	6,29	92,1
5,038	6,61	93,4
5,287	6,94	93,1
5,560	7,30	91,9
5,865	7,70	91,5
6,181	8,11	91,1
6,501	8,53	89,9

SICUREZZA IN QUALITÀ

Il Tecnico Esecutore
(dott. Enrico Bertocchi)

Il Direttore del Laboratorio
(dott. Marco Grasselli)

Pagina 2 di 3 del Certificato n. 713G-54 del 28.08.2019

È vietata la riproduzione del rapporto di prova o di singole parti senza l'approvazione del laboratorio Tecnocontrolli s.r.l.





Il Tecnico Esecutore
(dott. Enrico Bertocchi)

Il Direttore del Laboratorio
(dott. Marco Grasselli)

**CERTIFICATO 713G-55****CAMPIONE**

Sondaggio:	P3-S1	Campione:	CI3	Profondità (m. dal p.c.):	6,70 ÷ 7,30
Tipo:	Indisturbato	Classe:	Q4	Data prelievo:	/
Materiale:	Argilla limosa di colore da oliva a grigio, passante a 7,20m a materiale torboso.				

**PROVA di COMPRESSIONE EDOMETRICA
(secondo le raccomandazioni AGI, 1994)****Caratteristiche geometriche del campione**

Diametro (cm)	Altezza (cm)	Area (cm ²)
5,046	2,00	20,00

Provino - Caratteristiche iniziali	
Contenuto d'acqua (%)	150,11
Peso di Volume naturale (kN/m ³)	11,37
Peso di Volume secco (kN/m ³)	4,55
Peso specifico dei grani (Mg/m ³)	1,891
Indice dei vuoti	3,078
Saturazione (%)	92,22

NB: prova eseguita sulla porzione torbosa

Il Tecnico Esecutore
(dott. Enrico Bertocchi)Il Direttore del Laboratorio
(dott. Marco Grasselli)

Pagina 1 di 4 del Certificato n. 713G-55 del 28.08.2019

È vietata la riproduzione del rapporto di prova o di singole parti senza l'approvazione del laboratorio Tecnocontrolli s.r.l.



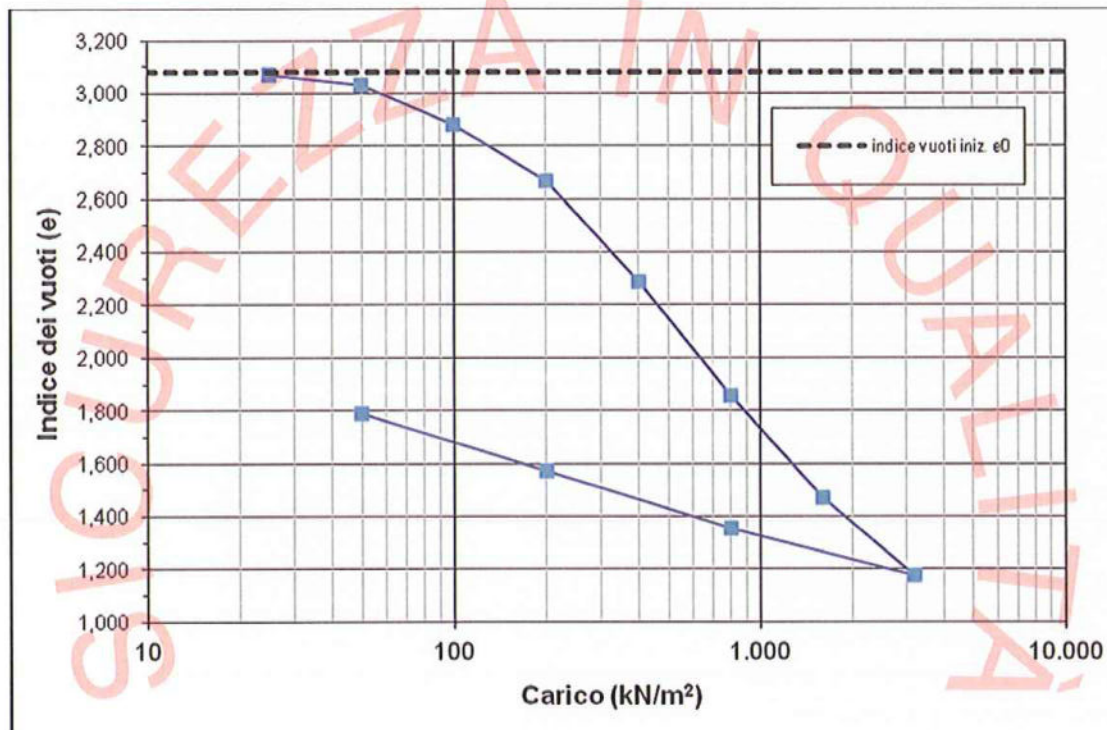


Fase di carico

σ_v (kPa)	Δh (mm)	e	M (kPa)	Cv (m ² /sec)
0	0,000	3,078	-	
25	0,050	3,068	10000	$1,64 \times 10^{-8}$
50	0,232	3,030	2740	$1,99 \times 10^{-9}$
100	0,955	2,883	1367	$8,10 \times 10^{-10}$
200	2,015	2,667	1797	$1,98 \times 10^{-9}$
400	3,891	2,284	1917	$3,69 \times 10^{-10}$
800	6,000	1,854	3055	$9,28 \times 10^{-10}$
1600	7,874	1,472	5977	$2,19 \times 10^{-10}$
3200	9,342	1,173	13216	$1,44 \times 10^{-10}$

Fase di scarico

σ_v (kPa)	Δh (mm)	e
800	8,448	1,355
200	7,387	1,572
50	6,320	1,789



Il Tecnico Esecutore
(dott. Enrico Bertocchi)



Il Direttore del Laboratorio
(dott. Marco Grasselli)



Cedimenti-Tempo 25 kPa		Cedimenti-Tempo 50 kPa		Cedimenti-Tempo 100 kPa	
t (min)	Cedimenti (mm)	t (min)	Cedimenti (mm)	t (min)	Cedimenti (mm)
0	0,000	0	0,050	0	0,232
0,1	0,017	0,1	0,069	0,1	0,405
0,25	0,021	0,25	0,086	0,25	0,457
0,5	0,024	0,5	0,099	0,5	0,491
1	0,027	1	0,112	1	0,522
2	0,030	2	0,124	2	0,558
4	0,032	4	0,137	4	0,595
8	0,035	8	0,150	8	0,638
15	0,037	15	0,163	15	0,674
30	0,040	30	0,176	30	0,718
60	0,042	60	0,188	60	0,760
120	0,044	120	0,199	120	0,805
240	0,046	240	0,211	240	0,850
480	0,048	480	0,219	480	0,889
1440	0,050	1440	0,228	1440	0,935
2880	-	2880	0,232	2880	0,955

Cedimenti-Tempo 200 kPa		Cedimenti-Tempo 400 kPa		Cedimenti-Tempo 800 kPa	
t (min)	Cedimenti (mm)	t (min)	Cedimenti (mm)	t (min)	Cedimenti (mm)
0	0,955	0	2,015	0	3,891
0,1	1,205	0,1	2,386	0,1	4,156
0,25	1,262	0,25	2,481	0,25	4,315
0,5	1,315	0,5	2,563	0,5	4,444
1	1,358	1	2,660	1	4,585
2	1,427	2	2,752	2	4,725
4	1,499	4	2,861	4	4,884
8	1,575	8	2,979	8	5,025
15	1,642	15	3,078	15	5,154
30	1,718	30	3,199	30	5,334
60	1,798	60	3,307	60	5,509
120	1,865	120	3,433	120	5,685
240	1,924	240	3,563	240	5,783
480	1,975	480	3,682	480	5,888
1440	2,015	1440	3,844	1440	5,958
2880	-	2880	3,891	2880	6,000

Il Tecnico Esecutore
(dott. Enrico Bertocchi)

Il Direttore del Laboratorio
(dott. Marco Grasselli)

Pagina 3 di 4 del Certificato n. 713G-55 del 28.08.2019

È vietata la riproduzione del rapporto di prova o di singole parti senza l'approvazione del laboratorio Tecnocontrolli s.r.l.





Cedimenti-Tempo 1600 kPa		Cedimenti-Tempo 3200 kPa	
t (min)	Cedimenti (mm)	t (min)	Cedimenti (mm)
0	6,000	0	7,874
0,1	6,152	0,1	8,013
0,25	6,236	0,25	8,059
0,5	6,342	0,5	8,145
1	6,430	1	8,270
2	6,522	2	8,395
4	6,647	4	8,512
8	6,776	8	8,630
15	6,931	15	8,754
30	7,101	30	8,865
60	7,285	60	8,964
120	7,448	120	9,074
240	7,590	240	9,175
480	7,721	480	9,225
1440	7,832	1440	9,303
2880	7,874	2880	9,342

SICUREZZA IN QUALITÀ

Il Tecnico Esecutore
(dott. Enrico Bertocchi)



Il Direttore del Laboratorio
(dott. Marco Grasselli)

CERTIFICATO 713G-56

CAMPIONE

Sondaggio:	P3-S2	Campione:	CI1	Profondità (m. dal p.c.):	3,00 ÷ 3,50
Tipo:	Indisturbato	Classe:	Q4	Data prelievo:	/
Materiale:	Limo con sabbia argilloso di colore bruno oliva, con presenza di sostanza organica e frustoli vegetali. Campione di lunghezza pari a circa 35cm.				
Profondità (m)	3,10	3,20	3,30		
Pocket (kg/cm ²)	1,00	1,25	1,25		
Profondità (m)	3,05	3,15	3,25		
Torvane (kg/cm ²)	0,55	0,50	0,46		

APERTURA E CARATTERISTICHE FISICHE (secondo le raccomandazioni AGI, 1994)

Contenuto d'acqua (%)	34,93
Peso di Volume naturale (kN/m ³)	17,90
Peso di Volume secco (kN/m ³)	13,27
Peso specifico dei grani (kN/m ³)	/
Indice dei vuoti	/

Il Tecnico Esecutore
(dott. Enrico Bertocchi)

Il Direttore del Laboratorio
(dott. Marco Grasselli)

**CERTIFICATO 713G-57****CAMPIONE**

Sondaggio:	P3-S2	Campione:	CI1	Profondità (m. dal p.c.):	3,00 ÷ 3,50
Tipo:	Indisturbato	Classe:	Q4	Data prelievo:	/
Materiale:	Limo con sabbia argilloso di colore bruno oliva, con presenza di sostanza organica e frustoli vegetali. Campione di lunghezza pari a circa 35cm.				

**LIMITI DI CONSISTENZA
(secondo la norma UNI EN 17892-12)**

SICUREZZA IN QUALITÀ

Il Tecnico Esecutore
(dott. Enrico Bertocchi)
Il Direttore del Laboratorio
(dott. Marco Grasselli)

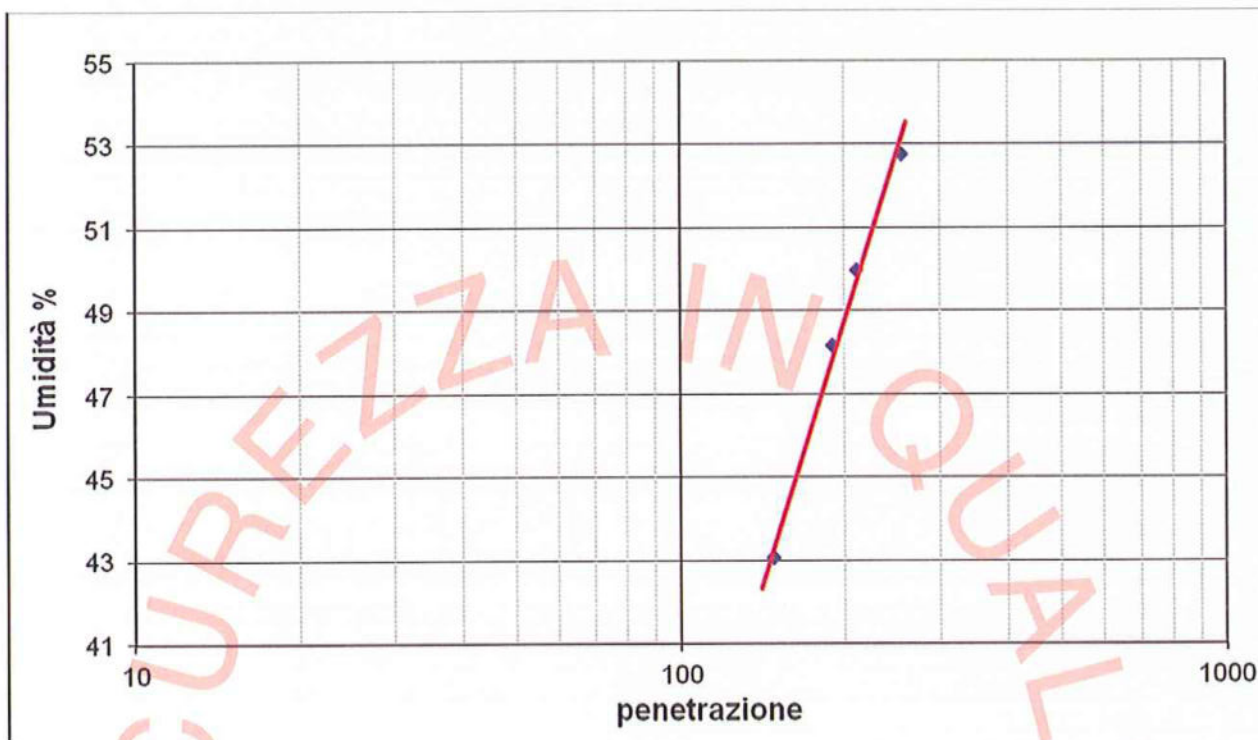
Pagina 1 di 2 del Certificato n. 713G-57 del 28.08.2019

È vietata la riproduzione del rapporto di prova o di singole parti senza l'approvazione del laboratorio Tecnocontrolli s.r.l.





Provino N.		LIMITE LIQUIDO				LIMITE PLASTICO	
		1	2	3	4	1	2
Tara	A	30,51	33,40	30,87	30,32	24,57	31,99
Peso lordo umido	B	67,76	65,77	77,18	66,51	30,84	38,01
Peso lordo secco	C	56,55	55,25	61,75	54,01	29,69	36,83
Peso netto secco	D=C-A	26,04	21,85	30,88	23,69	5,12	4,84
Contenuto d'acqua	$W=100 \cdot \frac{(B-C)}{D}$	43,05	48,15	49,97	52,76	22,46	24,38
Penetrazione		148	190	210	254		



Limite Liquido: 49 %

Limite Plastico: 23 %

Indice di Plasticità: 26 %

Il Tecnico Esecutore
(dott. Enrico Bertocchi)

Il Direttore del Laboratorio
(dott. Marco Grasselli)



CERTIFICATO 713G-58

CAMPIONE

Sondaggio:	P3-S2	Campione:	CI1	Profondità (m. dal p.c.):	3,00 ÷ 3,50
Tipo:	Indisturbato	Classe:	Q4	Data prelievo:	/
Materiale:	Limo con sabbia argilloso di colore bruno oliva, con presenza di sostanza organica e frustoli vegetali. Campione di lunghezza pari a circa 35cm.				

CLASSIFICAZIONE (secondo la norma CNR UNI 10006)

Peso campione di prova:	324,10 g
Peso trattenuto a 2mm:	1,57 g
Peso trattenuto a 0,42mm:	37,23 g
Peso trattenuto a 0,075mm:	59,16 g

Passante al setaccio 2 mm	:	99,5	%
Passante al setaccio 0,42 mm	:	88,0	%
Passante al setaccio 0,075 mm	:	69,8	%

Limite di liquidità	WI =	49	%
Limite di plasticità	Wp =	23	%
Indice di plasticità	Ip =	26	%

Classificazione:	A7-6
Indice di gruppo:	15

Il Tecnico Esecutore
(dott. Enrico Bertocchi)

Il Direttore del Laboratorio
(dott. Marco Grasselli)

Pagina 1 di 1 del Certificato n. 713G-58 del 28.08.2019

È vietata la riproduzione del rapporto di prova o di singole parti senza l'approvazione del laboratorio Tecnocontrolli s.r.l.



**CERTIFICATO 713G-59****CAMPIONE**

Sondaggio:	P3-S2	Campione:	CI2	Profondità (m. dal p.c.):	5,50 ÷ 6,00
Tipo:	Indisturbato	Classe:	Q4	Data prelievo:	/
Materiale:	Limo argilloso di colore grigio, con presenza di frammenti di laterizi.				
Profondità (m)	5,55	5,65	5,75	5,85	
Pocket (kg/cm ²)	2,00	1,50	1,50	1,75	
Profondità (m)	5,60	5,70	5,80	5,90	
Torvane (kg/cm ²)	0,40	0,32	0,30	0,38	

APERTURA E DESCRIZIONE
(secondo le raccomandazioni AGI, 1994)
Il Tecnico Esecutore
(dott. Enrico Bertocchi)
Il Direttore del Laboratorio
(dott. Marco Grasselli)

Pagina 1 di 1 del Certificato n. 713G-59 del 28.08.2019

È vietata la riproduzione del rapporto di prova o di singole parti senza l'approvazione del laboratorio Tecnocontrolli s.r.l.



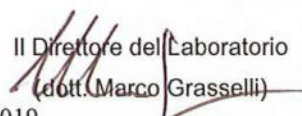
**CERTIFICATO 713G-60****CAMPIONE**

Sondaggio:	P3-S2	Campione:	CI2	Profondità (m. dal p.c.):	5,50 ÷ 6,00
Tipo:	Indisturbato	Classe:	Q4	Data prelievo:	/
Materiale:	Limo argilloso di colore grigio, con presenza di frammenti di laterizi.				

**LIMITI DI CONSISTENZA
(secondo la norma UNI EN 17892-12)**


Il Tecnico Esecutore
(dott. Enrico Bertocchi)




Il Direttore del Laboratorio
(dott. Marco Grasselli)



		LIMITE LIQUIDO				LIMITE PLASTICO	
Provino N.		1	2	3	4	1	2
Tara	A	33,07	29,48	30,76	33,62	30,38	32,10
Peso lordo umido	B	65,52	57,55	65,22	87,17	35,52	39,95
Peso lordo secco	C	54,98	47,66	52,75	67,21	34,47	38,33
Peso netto secco	D=C-A	21,91	18,18	21,99	33,59	4,09	6,23
Contenuto d'acqua	$W=100 \cdot (B-C)/D$	48,11	54,40	56,71	59,42	25,67	26,00
Penetrazione		154	215	243	273		



Limite Liquido: 53 %

Limite Plastico: 26 %

Indice di Plasticità: 27 %

Il Tecnico Esecutore
(dott. Enrico Bertocchi)

Il Direttore del Laboratorio
(dott. Marco Grasselli)

CERTIFICATO 713G-61**CAMPIONE**

Sondaggio:	P3-S2	Campione:	CI2	Profondità (m. dal p.c.):	5,50 ÷ 6,00
Tipo:	Indisturbato	Classe:	Q4	Data prelievo:	/
Materiale:	Limo argilloso di colore grigio, con presenza di frammenti di laterizi.				

CLASSIFICAZIONE
(secondo la norma CNR UNI 10006)

Peso campione di prova:	296,50 g
Peso trattenuto a 2mm:	6,75 g
Peso trattenuto a 0,42mm:	46,02 g
Peso trattenuto a 0,075mm:	56,16 g

Passante al setaccio 2 mm	:	97,7	%
Passante al setaccio 0,42 mm	:	82,2	%
Passante al setaccio 0,075 mm	:	63,3	%

Limite di liquidità	Wl =	53	%
Limite di plasticità	Wp =	26	%
Indice di plasticità	Ip =	27	%

Classificazione:	A7-6
Indice di gruppo:	14

Il Tecnico Esecutore
(dott. Enrico Bertocchi)Il Direttore del Laboratorio
(dott. Marco Grasselli)

Pagina 1 di 1 del Certificato n. 713G-61 del 28.08.2019

È vietata la riproduzione del rapporto di prova o di singole parti senza l'approvazione del laboratorio Tecnocontrolli s.r.l.

CERTIFICATO 713G-62**CAMPIONE**

Sondaggio:	P3-S2	Campione:	CI2	Profondità (m. dal p.c.):	5,50 ÷ 6,00
Tipo:	Indisturbato	Classe:	Q4	Data prelievo:	/
Materiale:	Limo argilloso di colore grigio, con presenza di frammenti di laterizi.				

**PROVA di COMPRESSIONE
A ESPANSIONE LATERALE LIBERA
(secondo le raccomandazioni AGI, 1994)**

Provino – Caratteristiche iniziali	
Diametro (cm)	3,80
Altezza (cm)	7,60
Contenuto d'acqua (%)	27,67
Peso di Volume naturale (kN/m³)	18,34
Peso di Volume secco (kN/m³)	14,37

Il Tecnico Esecutore
(dott. Enrico Bertocchi)Il Direttore del Laboratorio
(dott. Marco Grasselli)

Pagina 1 di 3 del Certificato n.713G-62 del 28.08.2019

È vietata la riproduzione del rapporto di prova o di singole parti senza l'approvazione del laboratorio Tecnocontrolli s.r.l.



Velocità di deformazione = 0,6 mm/min

Spostamento (mm)	Def. assiale ϵ (%)	σ_1 (kPa)
0,000	0,00	0,0
0,105	0,14	6,1
0,209	0,27	10,5
0,487	0,64	25,3
0,743	0,98	36,5
0,980	1,29	44,2
1,215	1,59	50,1
1,418	1,86	55,1
1,648	2,16	59,2
1,845	2,42	62,5
2,066	2,71	65,7
2,282	2,99	68,9
2,487	3,26	72,1

Spostamento (mm)	Def. assiale ϵ (%)	σ_1 (kPa)
2,691	3,53	73,6
2,910	3,82	75,9
3,131	4,11	78,2
3,361	4,41	79,7
3,594	4,72	81,1
3,852	5,06	81,6
4,094	5,37	83,0
4,366	5,73	83,5
4,648	6,10	84,0
4,951	6,50	82,0
5,272	6,92	79,2
5,589	7,33	72,3
5,893	7,73	66,4

SICUREZZA IN QUALITÀ

Il Tecnico Esecutore
(dott. Enrico Bertocchi)

Il Direttore del Laboratorio
(dott. Marco Grasselli)

Pagina 2 di 3 del Certificato n. 713G-62 del 28.08.2019

È vietata la riproduzione del rapporto di prova o di singole parti senza l'approvazione del laboratorio Tecnocontrolli s.r.l.





Il Tecnico Esecutore
(dott. Enrico Bertocchi)

Il Direttore del Laboratorio
(dott. Marco Grasselli)

**CERTIFICATO 713G-63****CAMPIONE**

Sondaggio:	P3-S2	Campione:	CI2	Profondità (m. dal p.c.):	5,50 ÷ 6,00
Tipo:	Indisturbato	Classe:	Q4	Data prelievo:	/
Materiale:	Limo argilloso di colore grigio, con presenza di frammenti di laterizi.				

**PROVA di COMPRESSIONE EDOMETRICA
(secondo le raccomandazioni AGI, 1994)****Caratteristiche geometriche del campione**

Diametro (cm)	Altezza (cm)	Area (cm ²)
5,046	2,00	20,00

Provino - Caratteristiche iniziali	
Contenuto d'acqua (%)	26,22
Peso di Volume naturale (kN/m ³)	18,62
Peso di Volume secco (kN/m ³)	14,75
Peso specifico dei grani (Mg/m ³)	2,561
Indice dei vuoti	0,703
Saturazione (%)	95,54

Il Tecnico Esecutore
(dott. Enrico Bertocchi)

Il Direttore del Laboratorio
(dott. Marco Grasselli)

Pagina 1 di 4 del Certificato n.713G-63 del 28.08.2019

È vietata la riproduzione del rapporto di prova o di singole parti senza l'approvazione del laboratorio Tecnocontrolli s.r.l.



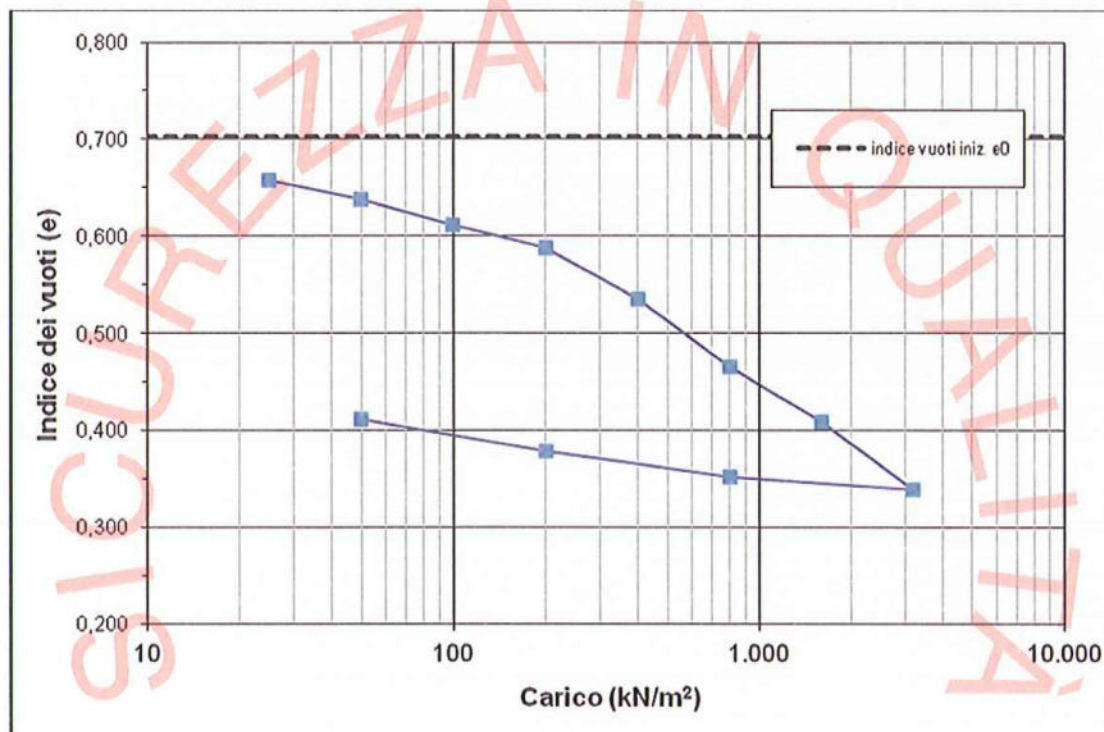


Fase di carico

σ_v (kPa)	Δh (mm)	e	M (kPa)	Cv (m ² /sec)
0	0,000	0,703	-	
25	0,523	0,658	956	$1,04 \times 10^{-7}$
50	0,761	0,638	2046	$1,92 \times 10^{-8}$
100	1,074	0,611	3073	$2,29 \times 10^{-8}$
200	1,344	0,588	7010	$1,14 \times 10^{-8}$
400	1,974	0,535	5923	$1,95 \times 10^{-8}$
800	2,795	0,465	8782	$6,20 \times 10^{-8}$
1600	3,452	0,409	20950	$3,12 \times 10^{-8}$
3200	4,268	0,339	32447	$9,90 \times 10^{-8}$

Fase di scarico

σ_v (kPa)	Δh (mm)	e
800	4,126	0,351
200	3,808	0,379
50	3,427	0,411



Il Tecnico Esecutore
(dott. Enrico Bertocchi)

Il Direttore del Laboratorio
(dott. Marco Grasselli)

Cedimenti-Tempo 25 kPa		Cedimenti-Tempo 50 kPa		Cedimenti-Tempo 100 kPa	
t (min)	Cedimenti (mm)	t (min)	Cedimenti (mm)	t (min)	Cedimenti (mm)
0	0,000	0	0,523	0	0,761
0,1	0,313	0,1	0,620	0,1	0,893
0,25	0,339	0,25	0,632	0,25	0,903
0,5	0,366	0,5	0,642	0,5	0,917
1	0,388	1	0,653	1	0,935
2	0,413	2	0,669	2	0,955
4	0,435	4	0,689	4	0,982
8	0,453	8	0,707	8	1,005
15	0,467	15	0,718	15	1,023
30	0,479	30	0,728	30	1,035
60	0,486	60	0,737	60	1,044
120	0,497	120	0,745	120	1,054
240	0,503	240	0,751	240	1,062
480	0,511	480	0,756	480	1,068
1440	0,523	1440	0,761	1440	1,074

Cedimenti-Tempo 200 kPa		Cedimenti-Tempo 400 kPa		Cedimenti-Tempo 800 kPa	
t (min)	Cedimenti (mm)	t (min)	Cedimenti (mm)	t (min)	Cedimenti (mm)
0	1,074	0	1,344	0	1,974
0,1	1,121	0,1	1,560	0,1	2,270
0,25	1,145	0,25	1,610	0,25	2,350
0,5	1,166	0,5	1,653	0,5	2,403
1	1,188	1	1,700	1	2,463
2	1,208	2	1,750	2	2,525
4	1,227	4	1,788	4	2,576
8	1,244	8	1,823	8	2,614
15	1,262	15	1,853	15	2,643
30	1,278	30	1,882	30	2,668
60	1,293	60	1,907	60	2,692
120	1,306	120	1,930	120	2,716
240	1,318	240	1,949	240	2,739
480	1,330	480	1,963	480	2,764
1440	1,344	1440	1,974	1440	2,795

Il Tecnico Esecutore
(dott. Enrico Bertocchi)

Il Direttore del Laboratorio
(dott. Marco Grasselli)

Pagina 3 di 4 del Certificato n. 713G-63 del 28.08.2019

È vietata la riproduzione del rapporto di prova o di singole parti senza l'approvazione del laboratorio Tecnocontrolli s.r.l.



Cedimenti-Tempo 1600 kPa		Cedimenti-Tempo 3200 kPa	
t (min)	Cedimenti (mm)	t (min)	Cedimenti (mm)
0	2,795	0	3,452
0,1	2,910	0,1	3,697
0,25	2,951	0,25	3,781
0,5	3,027	0,5	3,862
1	3,102	1	3,966
2	3,167	2	4,036
4	3,230	4	4,084
8	3,290	8	4,115
15	3,322	15	4,141
30	3,355	30	4,165
60	3,390	60	4,188
120	3,405	120	4,212
240	3,420	240	4,237
480	3,433	480	4,252
1440	3,452	1440	4,268

SICUREZZA IN QUALITÀ

Il Tecnico Esecutore
(dott. Enrico Bertocchi)

Il Direttore del Laboratorio
(dott. Marco Grasselli)

Pagina 4 di 4 del Certificato n. 713G-63 del 28.08.2019

È vietata la riproduzione del rapporto di prova o di singole parti senza l'approvazione del laboratorio Tecnocontrolli s.r.l.



CERTIFICATO 713G-64

CAMPIONE

Sondaggio:	P3-S2	Campione:	CI3	Profondità (m. dal p.c.):	7,90 ÷ 8,50
Tipo:	Indisturbato	Classe:	Q4	Data prelievo:	/
Materiale:	Argilla con limo di colore bruno, passante a 8,05m a limo argilloso grigio. Presenza di livello torboso negli ultimi 5cm. Campione di lunghezza pari a circa 50cm.				
Profondità (m)	7,95	8,05	8,15	8,25	8,35
Pocket (kg/cm ²)	0,50	0,20	0,25	0,25	1,50
Profondità (m)	8,00	8,10	8,20	8,30	
Torvane (kg/cm ²)	0,25	0,10	0,15	0,12	

APERTURA E CARATTERISTICHE FISICHE (secondo le raccomandazioni AGI, 1994)

Contenuto d'acqua (%)	31,26
Peso di Volume naturale (kN/m ³)	18,98
Peso di Volume secco (kN/m ³)	14,46
Peso specifico dei grani (kN/m ³)	/
Indice dei vuoti	/

Il Tecnico Esecutore
(dott. Enrico Bertocchi)



Il Direttore del Laboratorio
(dott. Marco Grasselli)

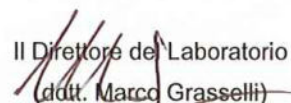
**CERTIFICATO 713G-65****CAMPIONE**

Sondaggio:	P3-S2	Campione:	CI3	Profondità (m. dal p.c.):	7,90 ÷ 8,50
Tipo:	Indisturbato	Classe:	Q4	Data prelievo:	/
Materiale:	Argilla con limo di colore bruno, passante a 8,05m a limo argilloso grigio. Presenza di livello torboso negli ultimi 5cm. Campione di lunghezza pari a circa 50cm.				

**LIMITI DI CONSISTENZA
(secondo la norma UNI EN 17892-12)**

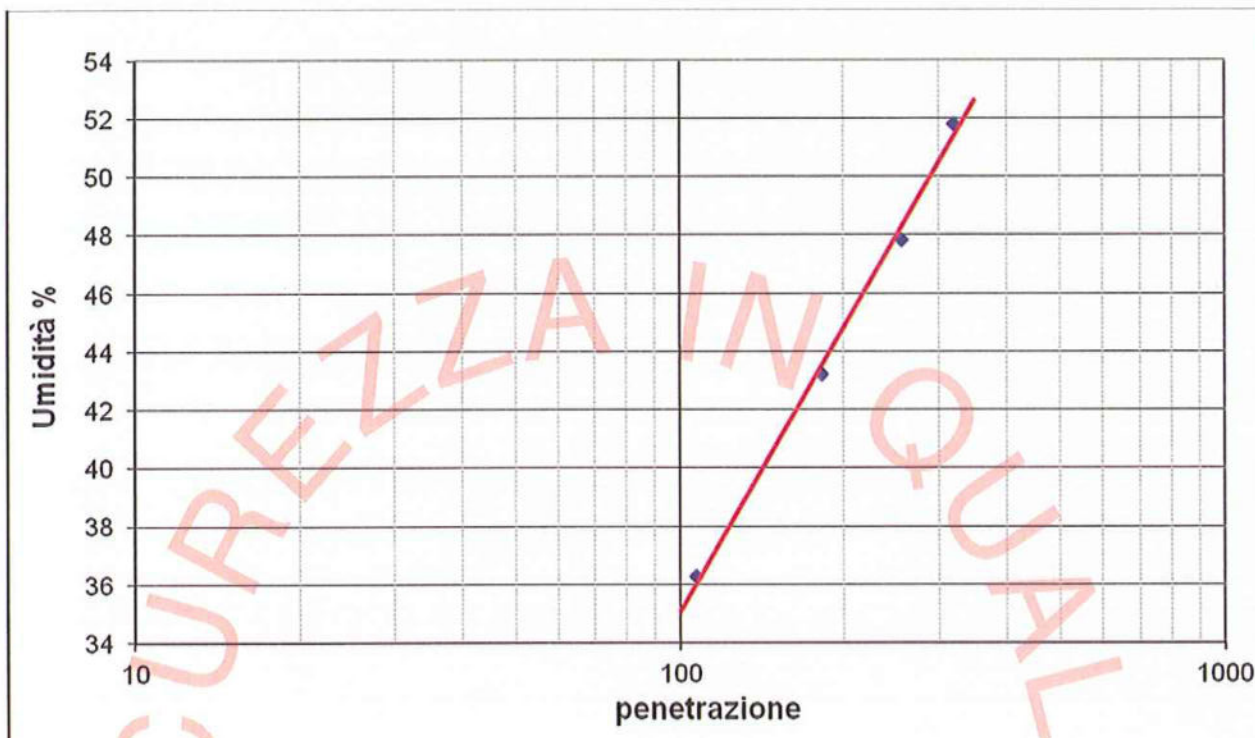

Il Tecnico Esecutore
(dott. Enrico Bertocchi)




Il Direttore del Laboratorio
(dott. Marco Grasselli)



Provino N.		LIMITE LIQUIDO				LIMITE PLASTICO	
		1	2	3	4	1	2
Tara	A	30,82	31,00	30,19	33,85	30,30	30,05
Peso lordo umido	B	74,19	69,78	62,87	83,06	35,87	35,72
Peso lordo secco	C	59,39	57,23	53,01	69,96	34,88	34,73
Peso netto secco	D=C-A	28,57	26,23	22,82	36,11	4,58	4,68
Contenuto d'acqua	$W=100 \cdot \frac{(B-C)}{D}$	51,80	47,85	43,21	36,28	21,62	21,15
Penetrazione		318	255	182	107		



Limite Liquido: 45 %

Limite Plastico: 21 %

Indice di Plasticità: 24 %

Il Tecnico Esecutore
(dott. Enrico Bertocchi)

Il Direttore del Laboratorio
(dott. Marco Grasselli)

**CERTIFICATO 713G-66****CAMPIONE**

Sondaggio:	P3-S2	Campione:	CI3	Profondità (m. dal p.c.):	7,90 ÷ 8,50
Tipo:	Indisturbato	Classe:	Q4	Data prelievo:	/
Materiale:	Argilla con limo di colore bruno, passante a 8,05m a limo argilloso grigio. Presenza di livello torboso negli ultimi 5cm. Campione di lunghezza pari a circa 50cm.				

CLASSIFICAZIONE
(secondo la norma CNR UNI 10006)

Peso campione di prova:	490,75 g
Peso trattenuto a 2mm:	12,48 g
Peso trattenuto a 0,42mm:	62,45 g
Peso trattenuto a 0,075mm:	95,53 g

Passante al setaccio 2 mm	:	97,5	%
Passante al setaccio 0,42 mm	:	84,7	%
Passante al setaccio 0,075 mm	:	65,3	%

Limite di liquidità	WI =	45	%
Limite di plasticità	Wp =	21	%
Indice di plasticità	Ip =	24	%

Classificazione:	A7-6
Indice di gruppo:	12

Il Tecnico Esecutore
(dott. Enrico Bertocchi)Il Direttore del Laboratorio
(dott. Marco Grasselli)

Pagina 1 di 1 del Certificato n. 713G-66 del 28.08.2019

È vietata la riproduzione del rapporto di prova o di singole parti senza l'approvazione del laboratorio Tecnocontrolli s.r.l.



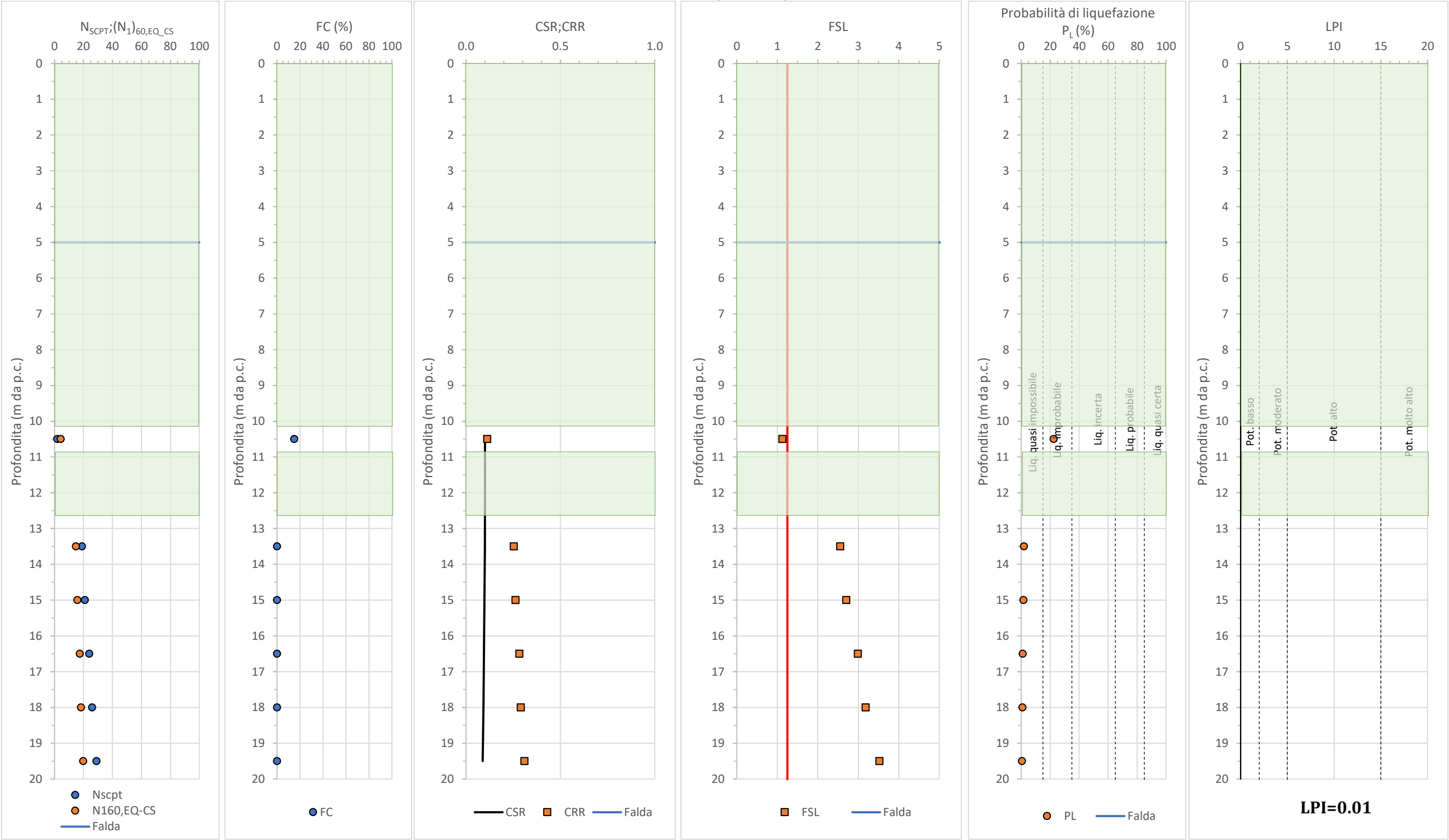
Provincia di Lodi
COMUNE DI CASTELNUOVO BOCCA D'ADDA



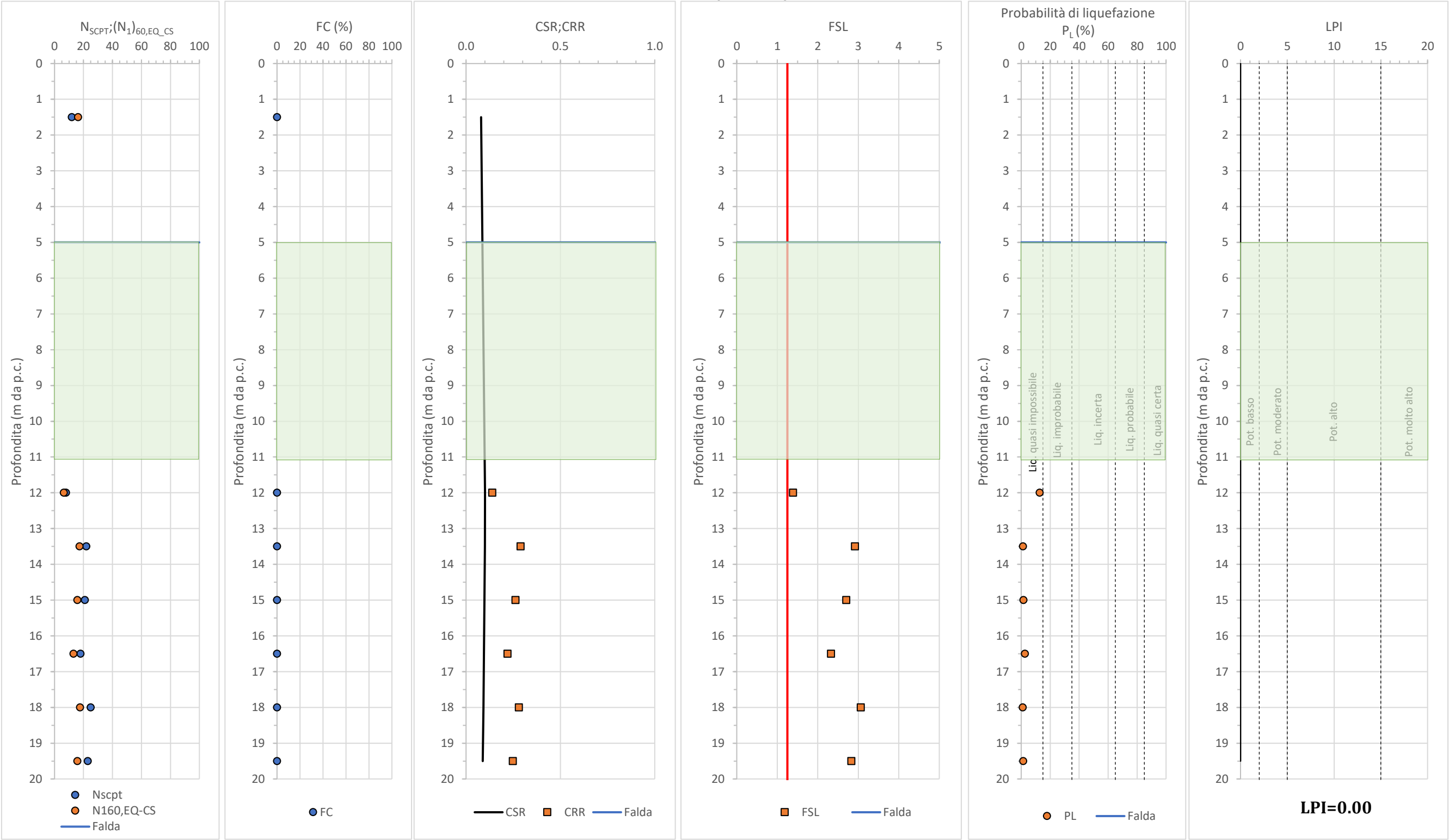
**INTERVENTI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA
PONTE N.3 COLATORE GANDIOLO – S.P.243**

Sintesi risultati verifiche a liquefazione

VERIFICA A LIQUEFAZIONE - METODO DI YOUNG et AL. (2001) - P3-S1
(Stato limite: SLV; a_g : 0.082g; a_{gmax} : 0.124g; M_w : 6.14)

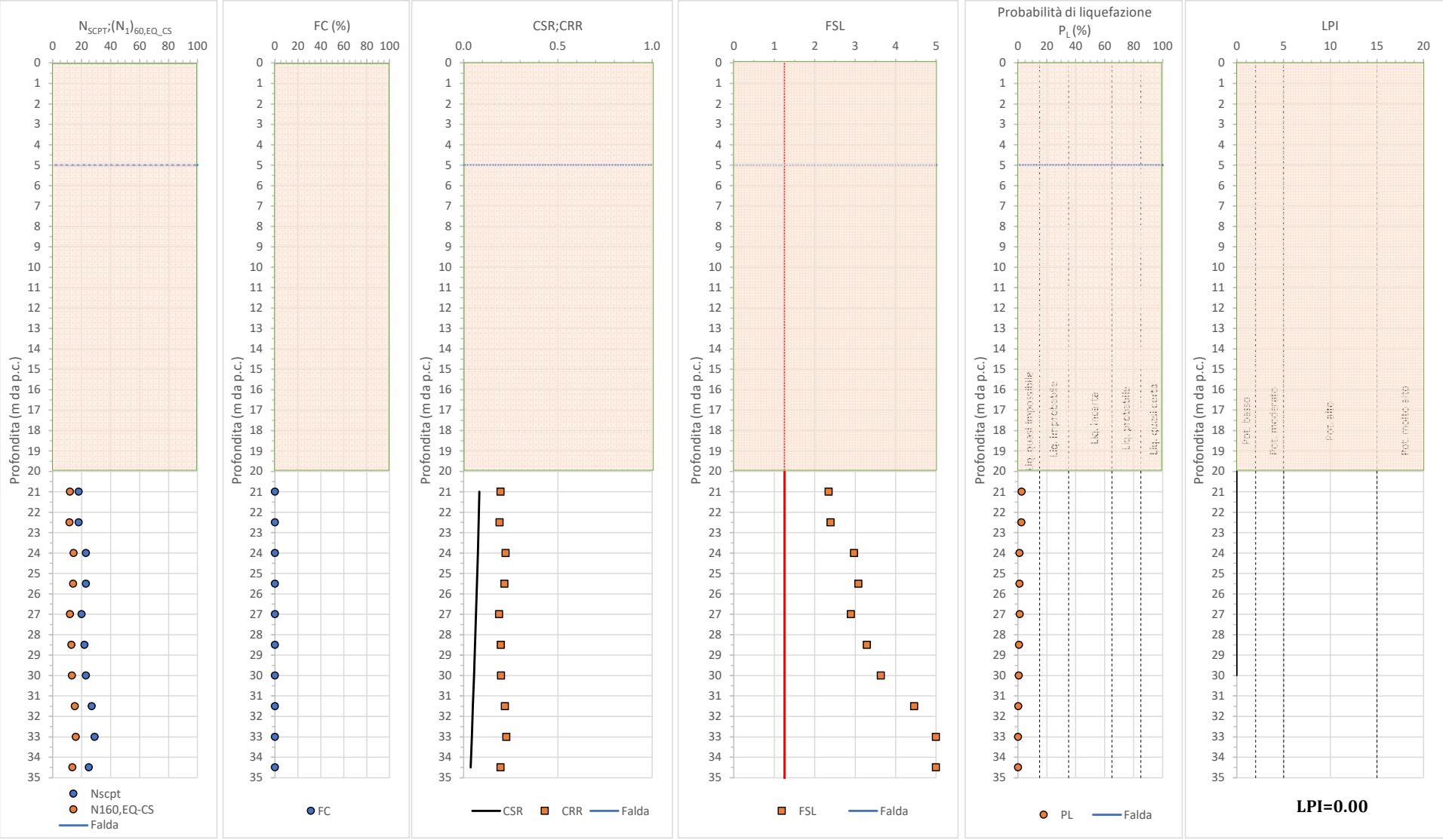


VERIFICA A LIQUEFAZIONE - METODO DI YOUNG et AL. (2001) - P3-S2
(Stato limite: SLV; a_g : 0.082g; a_{gmax} : 0.124g; M_w : 6.14)



NOTE: le aree evidenziate in verde sono caratterizzate dalla presenza di terreni non suscettibili a liquefazione.

VERIFICA A LIQUEFAZIONE - METODO DI YOUNG et AL. (2001) - P3-S1bis
(Stato limite: SLV; a_g : 0.082g; a_{gmax} : 0.124g; M_w : 6.14)



NOTE: l'area evidenziata in rosso è la porzione di sondaggio eseguita a distruzione di nucleo