

COMUNE DI SONCINO

Provincia di Cremona

**PIANO DI RECUPERO 5 IN VIA NOBILINI
FOGLIO 27 MAPP. 1360 – 906 – 581 – 61 – 62 – 971 – 582**

COMMITTENE : SIG.RI GIACOMO E GIUSEPPE CANGINI

**RELAZIONE GEOLOGICO TECNICA CON
VALUTAZIONE SISMICA DI
INQUADRAMENTO GENERALE PER P.R. 5**

**GEOLOGO
dott. Mattia Lucchi**

FEBBRAIO 2021

PREMESSA

La Committenza ha in progetto la definizione di un piano di recupero residenziale , ubicato in via Nobilini – via Belvedere, Comune di Soncino (CR) e che occupa la posizione indicata in allegato “Corografia “, scala 1:10.000.

La seguente perizia è eseguita ai sensi del *D.M. 14 gennaio 2008 e successivo aggiornamento Decreto 17 gennaio 2018 “Norme tecniche per le costruzioni”*, 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 controllo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione".

Al fine di determinare le caratteristiche dei terreni di fondazione, sono state analizzate, n. 9 prova penetrometrica dinamiche (SCPT)¹ eseguite in cantieri limitrofi all'area di intervento, esse sono ubicate in allegato estratto di mappa in scala 1:2.000 modificata.

E' inoltre stata utilizzata un'indagine sismica tipo MASW eseguita nel 2017 in via Benzi e posta a circa 260 m ad ovest dell'area di intervento.

In fase di progetto definitivo del piano di recupero in oggetto sarà necessario predisporre indagini di dettaglio all'interno dei lotti ove sorgeranno i nuovi edifici.

La perizia conclude con l'indicazione della tipologia e delle dimensioni delle fondazioni; sono stati inoltre eseguiti i calcoli della capacità portante del terreno e la valutazione dell'azione sismica.

1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

A1 INQUADRAMENTO REGIONALE

La geologia di superficie di questo tratto di pianura cremasca è strettamente influenzata dall'alternanza delle azioni di deposito ed erosione dei corsi d'acqua, connessi ai complessi fenomeni climatici che si sono susseguiti dal Pleistocene ai nostri giorni.

Nella pianura cremasca sono attualmente riconoscibili una serie di terrazzi fluviali la cui successione altimetrica risponde ad una precisa regola: la quota è tanto maggiore quanto più antica è l'età del terrazzo; inoltre tanto più antica è l'età del terrazzo più ridotta sarà la sua estensione attuale, in quanto sottoposto all'azione erosiva negli stadi interglaciali successivi.

La successione dei terrazzi nella pianura cremasca è la seguente:

Fluviale Mindel: superfici più antiche e poste a quote maggiori,

Fluviale Riss: superfici intermedie per quota ed età,

Fluviale Würm: superfici più recenti e disposte a quote inferiori.

Quest'ultima costituisce il “Livello fondamentale della pianura o piano generale terrazzato (PGT)”, risultato dell'ultima fase di esteso colmamento della pianura. Successivamente a tale colmamento alluvionale, nel corso del cataglaciale (fase di ripresa termica dopo il periodo freddo) würmiano, ha avuto inizio un ciclo prevalentemente erosivo protrattosi nell'Olocene, che ha determinato la formazione delle alte scarpate morfologiche che,

incidendo il PGT, delimitano le valli dei principali fiumi occupate, a loro volta, dai successivi depositi alluvionali medio recenti.

A2 GEOLOGIA DEL TERRITORIO DI SONCINO

La porzione del territorio del Comune di Soncino in cui sono stati terebrati i pozzi presenta caratteri geologici tipici della bassa pianura cremasca, la quale è costituita esclusivamente (fino ad una profondità di 200 m circa) da depositi pleistocenici ed olocenici di presunta facies continentale.

In tale area affiorano differenti unità geomorfologiche e geopedologiche (tratte da ERSAL "Paesaggi e suoli della Provincia di Cremona"); per la descrizione puntuale e l'estensione spaziale di queste ultime si rimanda alla "Carta Geomorfologica ed Idrogeologica", scala 1:10.000, del PGT comunale .

B - CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE

Nel seguente capitolo vengono descritte le caratteristiche idrogeologiche della porzione di territorio prossima al sito in esame e le condizioni idrogeologiche locali.

L'idrogeologia della zona in esame è ricostruita dalle sezioni ottenute correlando tra loro le stratigrafie di alcuni pozzi pubblici.

In base a quanto osservato in ambito locale è possibile proporre un modello idrogeologico di riferimento basato sulla suddivisione del sottosuolo in tre distinte litozone:

Procedendo dall'alto verso il basso si ha:

- *litozona superficiale*: sede di falda freatica o semifreatica, costituita da una facies a ghiaie e sabbie. La potenza dello strato varia tra 30 e 35 m, l'alimentazione dell'acquifero sotterraneo è diretta dalla superficie o per infiltrazione di acqua meteorica o irrigua. Vulnerabilità molto elevata.
- *litozona intermedia*: ospita falde più semiartesiane verso il tetto, decisamente artesiane verso il letto della litozona che può essere collocato intorno a 100-120 m. Sabbie alternate a livelli argillosi con torbe che denunciano un ambiente di deposizione di transizione tra continente e mare. Le falde sono sufficientemente ricche di acque ed alimentate per infiltrazione non dalla superficie immanente ma da zone remote o dalla falda soprastante. Buona la protezione costituita dagli acquichiusi potenti 10-20 m.
- *litozona profonda*: è costituita da argille prevalentemente alternate a sabbie, forte presenza di torbe, talora con resti fossili. E' sede di falde artesiane.

Dal punto di vista idrogeologico la direzione media di flusso delle acque sotterranee, ortogonale alle curve isofreatiche, è mediamente orientata da nord/nord-ovest verso sud/sud-est, con gradiente idraulico medio pari a 0,0037.

La soggiacenza media della falda è generalmente compresa tra 1 e 7 m da p.c., mentre sulla verticale dei pozzi terebrati la profondità della superficie piezometrica è di circa 4-5 m. La permeabilità dei suoli è generalmente moderata, mentre nell'intorno del pozzo non sono segnalate né riscontrate coperture superficiali impermeabili tali da ingenerare falda

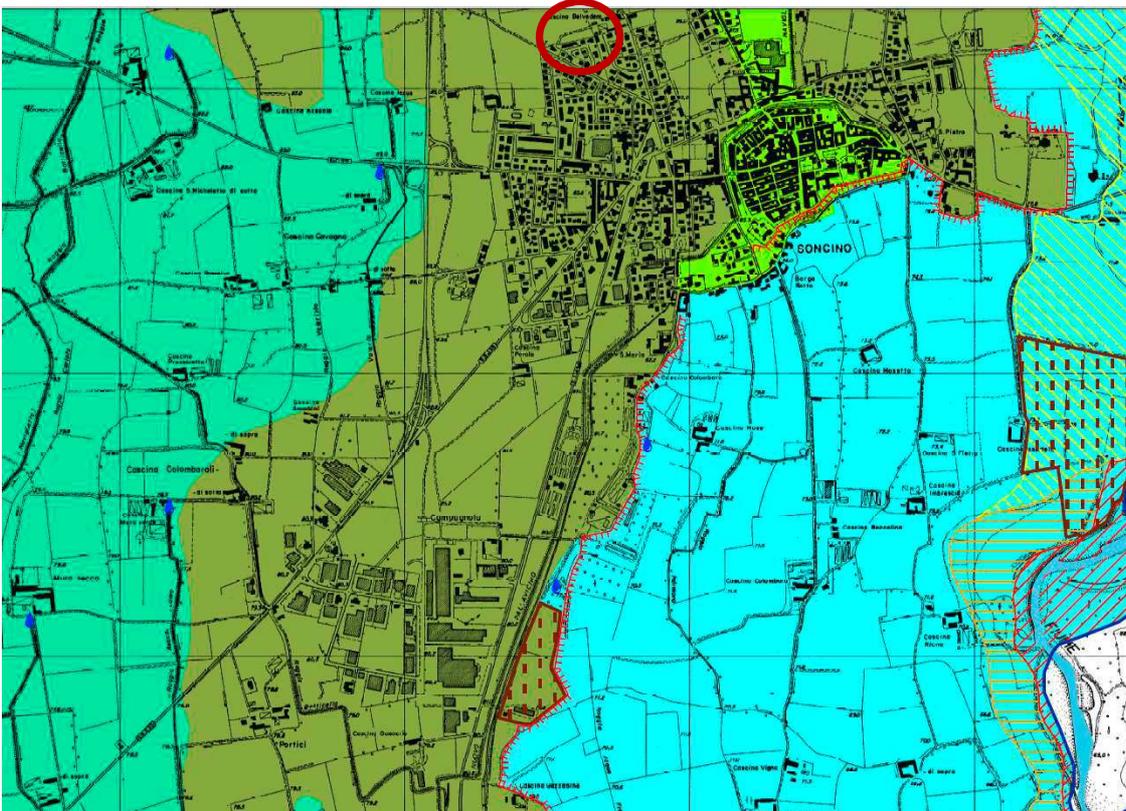
¹ In allegato sono riportate le caratteristiche del penetrometro utilizzato
P. I.V.A. 03129020966 – C.F. LCC MTT 72L26 C816D
mattia.lucchi@tiscali.it

superficiale confinata. La vulnerabilità del primo acquifero dalla superficie incombente è pertanto mediamente elevata.

2. VINCOLI DI NATURA GEOLOGICA E NATURALISTICA E FATTIBILITA' GEOLOGICA

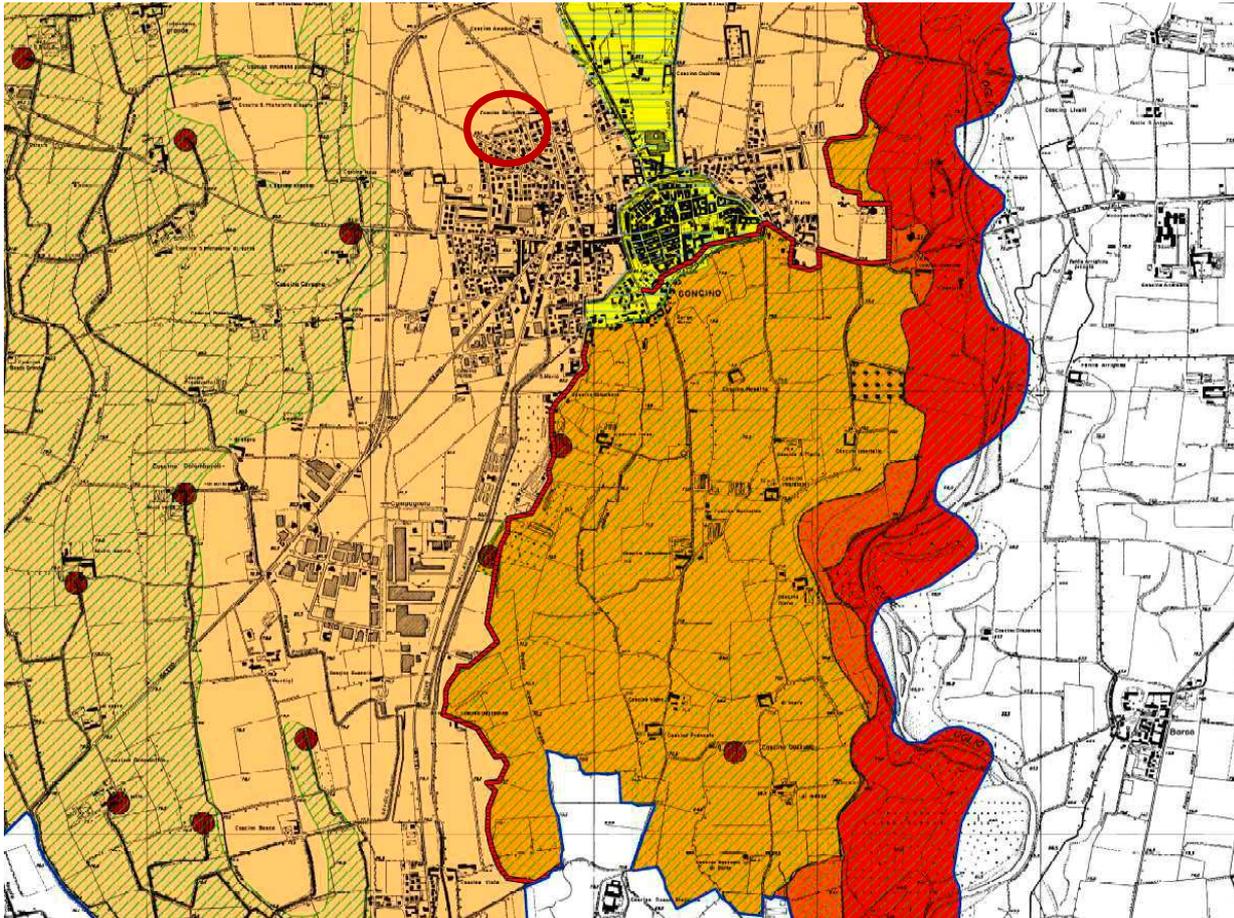
Attraverso l'utilizzo delle carte tematiche del PGT comunale 2018 redatto dallo scrivente si espongono di seguito gli stralci della zona oggetto di intervento con individuazione dei vincoli geologici .

Carta di SINTESI (fonte PGT del maggio 2018)



PER L'AREA OGGETTO DI INTERVENTO È RILEVATA LA VULNERABILITA' DI TIPO IDROGEOLOGICO ALTA.

Carta di FATTIBILITA' GEOLOGICA (fonte PGT del maggio 2018)



PER L'AREA OGGETTO DI INTERVENTO È RILEVATA LA CLASSE DI FATTIBILITA' 3 CON CONSISTENTI LIMITAZIONI DI TIPO IDROGEOLOGICO.

LEGENDA

CLASSI DI FATTIBILITA' GEOLOGICA

-  Classe 2: fattibilità con modeste limitazioni (zona a vulnerabilità idrogeologica media)
-  Classe 3: fattibilità con consistenti limitazioni
-  Classe 3a: fascia B del PAI e area a pericolosità P2/M del PGRA
-  Classe 3b: ambiti territoriali estrattivi (PPC 2016)
-  classe 3c: zona a vulnerabilità idrogeologica molto elevata
-  classe 3d: zona a vulnerabilità idrogeologica elevata/alta
-  Classe 4: fattibilità con gravi limitazioni
-  Classe 4a: fascia A del PAI e area a pericolosità P3/H del PGRA
-  Classe 4b: fascia di tutela di testa di orlo di terrazzo morfologico principale pari a 10 m di profondità (al piede e al ciglio)
-  Classe 4c: fascia di tutela di testa di fontanile pari a 50 m di raggio
-  Classe 4d: lago di oava con la relativa fascia di tutela pari a 10 m

SCENARI DI PERICOLOSITA' SISMICA (RILEVATI)

-  Z2a: Zona con terreni di fondazione saturi particolarmente scadenti
-  Z2b: Zona con con depositi granulari fini saturi
-  Z4a: Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi; corrispondente a tutto il territorio comunale

L'intervento che prevede un piano di recupero per la futura realizzazione di edifici residenziali privi di interrati è fattibile sia dal punto di vista della vulnerabilità idrogeologica che della classe di fattibilità geologica (classe 3 con consistenti limitazioni).

3. DATI GEOGNOSTICI

Per un puntuale dettaglio si fornisce qui di seguito l'interpretazione della verticale di prova e, conseguentemente, la verifica dei parametri di fondazione che si ritiene opportuno adottare.

S.C.P.T. n° 1 via Belvedere del 2008

Profondità dal p.c. in m	Litologia	Nscpt
0.00 – 0.30	Terreno di riporto	-
0.30 - 2.40	Sabbia con ghiaia	15/22
2.40 - 4.20	Sabbia poca addensata	5/8
4.20 - 6.30	Sabbia con ghiaia	15/20

S.C.P.T. n° 2 via Belvedere del 2008

Profondità dal p.c. in m	Litologia	Nscpt
0.00 – 0.30	Terreno di riporto	-
0.30 - 1.80	Sabbia con ghiaietto	8/15
1.80 - 3.90	Sabbia poca addensata	4/7
3.90 - 6.30	Sabbia con ghiaia	15/20

S.C.P.T. n° 3 via Belvedere del 2008

Profondità dal p.c. in m	Litologia	Nscpt
0.00 – 0.30	Terreno di riporto	-
0.30 - 1.20	Sabbia limosa	5/6
1.20 - 2.70	Sabbia con ghiaia	15/25
2.70 - 4.20	Sabbia poco addensata	4/9
4.20 - 6.30	Sabbia con ghiaietto	12/15

S.C.P.T. n° 4 via Belvedere del 2008

Profondità dal p.c. in m	Litologia	Nscpt
0.00 – 0.30	Terreno di riporto	-
0.30 - 1.20	Sabbia limosa	3/6
1.20 - 2.70	Sabbia con ghiaia	11/20
2.70 - 4.50	Sabbia poco addensata	4/7
4.50 - 6.30	Sabbia con ghiaietto	11/16

La quattro prove penetrometriche dinamiche eseguite mostrano una sostanziale omogeneità dei terreni indagati.

Al di sotto di un primo strato costituito da terreno di riporto sono presenti livelli prevalentemente sabbiosi e sabbioso limosi da poco a mediamente addensati fino ad una profondità variabile di circa -1,80 - 2,70 m da piano prova.. Tale livello presenta qualità geotecniche medie con valori di resistenza penetrometrica compresi tra 4 e 6 Nscpt.

Il passaggio alle sabbie con ghiaietto prevalenti è graduale ma avviene in poche decine di centimetri con un incremento delle resistenze penetrometriche per via della litologia granulometricamente più grande e del maggior addensamento delle particelle.

Sono presenti locali livelli a sabbia medio fine poco addensata tra i 3,0 e 4,0 m di profondità.

Acqua di falda è stata rilevata a circa -3,50 m dal piano di riferimento. Durante il periodo estivo irriguo o dopo forti precipitazioni è possibile un innalzamento del livello di riferimento di circa 0,20 – 0,30 m.

S.C.P.T. n° 1 via Benzi del 2010

Profondità dal p.c. in m	Litologia	Nscpt
0.00 – 0.60	Terreno di riporto	8
0.60 - 3.90 rifiuto	Sabbia con ghiaietto ben addensato	12/35

S.C.P.T. n° 2 via Benzi del 2010

Profondità dal p.c. in m	Litologia	Nscpt
0.00 – 0.60	Terreno ben addensato di natura ghiaiosa	15
0.60 - 2.10	Sabbia medio fine	4-8
2.10 - 3.60	Sabbia con ghiaietto ben addensata	28/40

Le prove penetrometriche dinamiche hanno permesso la caratterizzazione geologico tecnica dei terreni presenti nell'area in oggetto.

Al di sotto di un primo strato costituito da terreno di riporto natura sabbioso ghiaiosa sono presenti livelli prevalentemente ghiaiosi mediamente addensati fino ad una profondità di circa -3,60 m da piano prova dove si è raggiunto il rifiuto strumentale. Tale livello presenta qualità geotecniche buone con valori di resistenza penetrometrica compresi tra 10 e 20 Nscpt.

In SCPT 2 è stato intercettato un locale livello a sabbia medio fine potente circa 1,5 m che presenta valori di resistenza penetrometrica inferiori.

Il livello della falda non è stato raggiunto dal perfo di prova, tuttavia in periodi particolarmente piovosi la falda può raggiungere la quota di circa -3,0m dall'attuale p.c..

S.C.P.T. n° 1 via Belvedere del 2017

Profondità dal p.c. in m	Litologia	Nscpt
0.0 - 0.60	Terreno vegetale poco addensato	3 - 4
0.60 - 1.80	Sabbia limosa e limo sabbioso a bassa consistenza	da 2 a 3
1.80 - 6.30	Sabbia medio fine prevalente con locali lenti a sabbia ghiaiosa tra -2,10 e -3,0 m e tra -4,20 e -4,80 m .	da 4 a 8

S.C.P.T. n° 2 via Belvedere del 2017

Profondità dal p.c. in m	Litologia	Nscpt
0.0 - 0.60	Terreno vegetale poco addensato	3 - 5
0.60 - 5.70	Sabbia limosa e limo sabbioso a bassa consistenza	da 2 a 3
5.70 - 6.30	Sabbia media con ghiaietto	da 8 a 20

Le prove penetrometriche dinamiche hanno permesso la caratterizzazione geologico tecnica dei terreni presenti nell'area in oggetto dimostrandone una sostanziale disomogeneità nei primi 6,30 m di profondità.

Sono presenti livelli prevalentemente limoso sabbiosi con locali lenti di argilla dalle scarse qualità geotecniche caratterizzati da valori di resistenza penetrometrica media di 2 – 3 Nscpt.

Questo primo strato raggiunge una profondità di circa – 1,80 m in corrispondenza di prova 1, mentre nella seconda prova raggiunge i – 5,70 m da p.c.

La condizione di saturazione, misurata con un tubo piezometrico si attesta a circa – 3,20 m da p.c..

Al letto la consistenza e le qualità geomeccaniche dei sedimenti migliorano parzialmente con valori di resistenza penetrometrica superiori a 4 - 8 Nscpt determinati dalla presenza di sabbia con ghiaietto prevalente che in alcune stratificazione risulta ben addensata.

S.C.P.T. n° 1 via Nobilini del 2020

Profondità dal p.c. in m	Litologia	Nscpt
0.00 – 0.30	Terreno agrario e di riporto mediamente addensato	8
0.30 - 1.20	Limo leggermente sabbioso e Sabbia limosa mediamente addensata	6 - 10
1.20 - 4.20 Rifiuto strumentale	Sabbie con ghiaia da ben addensate a molto addensate in profondità con determinazione del rifiuto strumentale	Da 20 a > 60

Al di sotto di un primo strato costituito da terreno agrario e di riporto sono presenti livelli prevalentemente limoso sabbiosi e sabbioso limosi da poco a mediamente addensati fino ad una profondità di circa -1,20 da piano prova. Tale livello presenta qualità geotecniche medie con valori di resistenza penetrometrica compresi tra 6 e 10 Nscpt. Al letto la consistenza e le qualità geomeccaniche dei sedimenti migliorano nettamente con valori di resistenza penetrometrica superiori a 20 Nscpt determinati dalla presenza di sabbia con ghiaia e ghiaietto prevalente che in alcune stratificazioni risulta molto ben addensata.

Il livello della falda è stato raggiunto dai perfori di prova e si colloca ad una profondità superiore a -3,30 m da p.c.. con probabile risalita di circa 40 – 60 cm durante il periodo irriguo.

PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI INDICATIVI

STRATO DI FONDAZIONE DA QUOTA – 0,30 mt. A QUOTA – 1,20 mt.						
N° PROVA	$\gamma_m - kN : m^3$	φ°	$C - daN : cm^2$	$M - daN : cm^2$	$kW - daN : cm^3$	Poisson=0,33 (indicativo)
S1	1,80 t/m ³ 0,80 t/m ³ imm 1,90 t/m ³ sat	27,0°	0,25 Kg/cm ²	Modulo elastico long: 400 kg/cm ² (indicativo) Modulo Edometrico: 70 (indicativo)	K winkler = 2,80 kg/cm ³	

STRATO DA QUOTA – 1,20 mt. A QUOTA – 4,20 mt.						
N° PROVA	$\gamma_m - kN : m^3$	φ°	$C - daN : cm^2$	$M - daN : cm^2$	$kW - daN : cm^3$	Poisson=0,32 (indicativo)
S1	1,75 t/m ³ 0,75 t/m ³ imm 1,90 t/m ³ sat	>33°	Terreni non coesivi	Modulo elastico long: 900 kg/cm ² (indicativo) Modulo Edometrico:215 (indicativo)	K winkler = 3,65 kg/cm ³	

4. VERIFICA IPOTESI DI FONDAZIONE

Nell'area indagata è in progetto la costruzione di nuovi edifici residenziali privi di locali interrati .

Per quanto riguarda il piano di fondazione, viene uniformemente individuato a circa - 0,60 - 0,70 m da piano campagna con tipologia di fondazione a trave continua di altezza 0,40 m e larghezza 1,0 m.

Si riporta qui si seguito la verifica del carico massimo ammissibile dei terreni sede di fondazione per una possibile ipotesi fondazionale che andrà modificata a seguito della progettazione definitiva.

CASO 1) CALOCOLO CON NTC 2018

FONDAZIONE TIPO TRAVE, IN TERRENO A DOMINANTE LITOLOGICA GRANULARE (PIANO DI FONDAZIONE -0,60 m . B= 1,00 m D= 0,40 m)

APPROCCIO 2

Formula di Terzaghi in terreni granulari in assenza di falda risulta:

Stimando un valore di angolo di attrito interno, per terreni prevalentemente incoerenti, pari a $\varphi = 27,0^\circ$

$$Q_{lim} = (B/2 \times \gamma_{t2} \times N_\gamma + (\gamma_{t1} \times D_f) \times N_q) =$$

dove:

γ_{t1} - γ_{t2} = peso specifico rispettivamente del terreno sopra la fondazione e sotto la fondazione

$D_f = 0,40$ m incastro della fondazione fuori falda

$B = 1,00$ m larghezza minima della fondazione

N_γ - N_q = fattori di capacità portante $f(\varphi)$

$\gamma_M = \gamma_\phi =$ parametro secondo tab 6.2.II = 1,0

Sviluppo del calcolo:

$$Q_{lim} = (0,5 \times 1,80 \times 16,5) + (1,80 \times 0,40) \times 19 = (14,85 + 13,68) =$$

$$= 28,53 \text{ t/m}^2 \sim 2,85 \text{ Kg/cm}^2 \sim 285 \text{ KN/m}^2 =$$

$$R_d = Q_{lim} / \gamma_R = 2,85 / 2,3 = 1,24 \text{ Kg/cm}^2$$

Il K_w (coefficiente di winkler) calcolato è pari a $2,80 \text{ Kg/cm}^3$

In tali condizione la fondazione ha portata complessiva, compreso il peso proprio, è di:

$$\underline{\underline{12,4 \times \text{lung.} \times \text{larg} = \dots \text{ ton}}}$$

6. AZIONE SISMICA

Nel mese di Dicembre 2017, nell'ambito dello studio sismico del PGT comunale:

È stata effettuata una indagine sismica tipo MASW (Multichannel Spectral Analysis of Waves), in via Benzi a Soncino (CR). Essa si colloca a circa 260 m ad ovest dell'area in oggetto e viene utilizzata per la caratterizzazione sismica.

La prova è stata ubicata come indicato dalla committenza e visualizzato nella scheda allegata a fine testo.

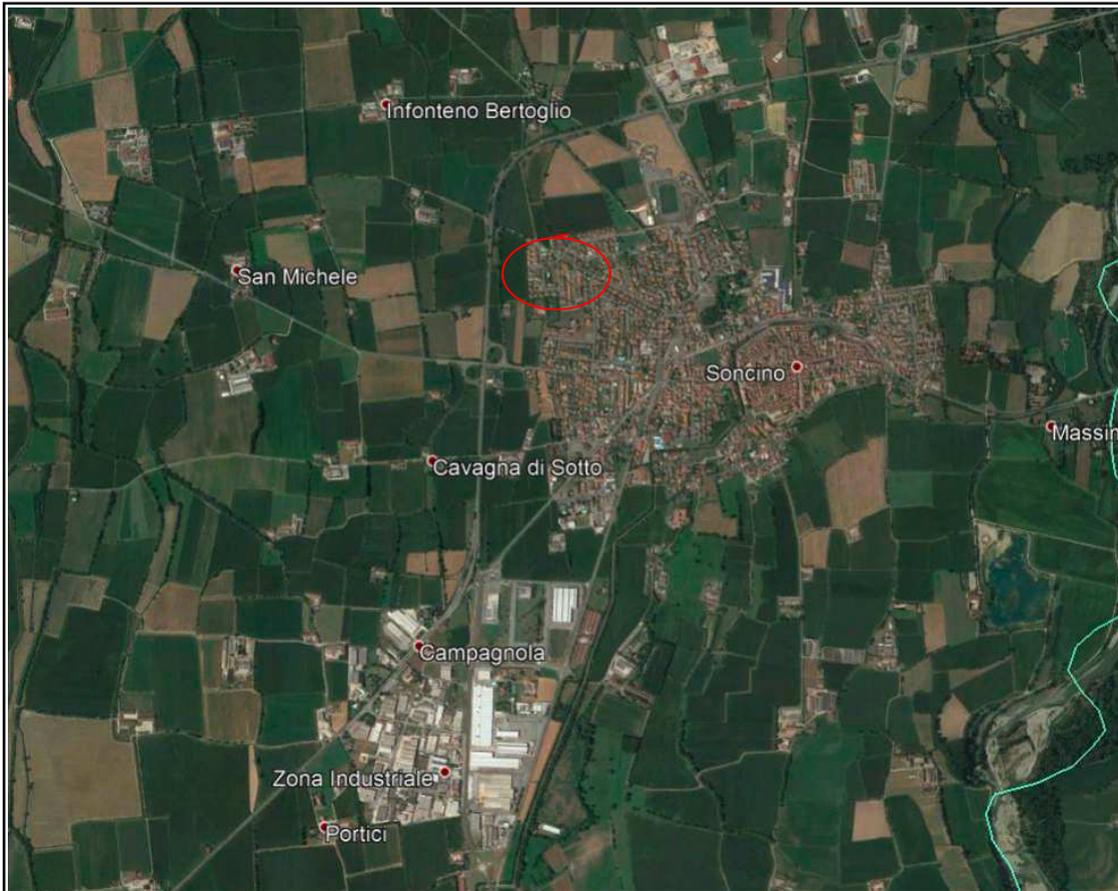


Fig.1 Ubicazione area di indagine

L'indagine MASW è indirizzata a misurare le velocità delle onde sismiche (V_s) del sottosuolo e la valutazione del parametro V_{s30} come prescritto da:

- *Ordinanza del P.C.M. n° 3274 del 20 marzo 2003*
- *D.M. NTC 2018 "Norme tecniche per le Costruzioni".*

Si ricorda che la normativa richiede l'azione sismica di progetto sulla base della zona sismica di appartenenza del sito e la categoria sismica di suolo su cui sarà realizzata l'opera. All'interno del territorio nazionale sono state individuate 4 zone sismiche, contraddistinte dal valore a_g dell'accelerazione di picco al suolo, normalizzata rispetto

all'accelerazione di gravità (v. Allegato 1 ord. 3274 del 2003 e succ. modifiche). La classificazione del suolo (tabella 1) è invece convenzionalmente eseguita sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio entro 30 m di profondità

$$V_{s_{30}} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

dove V_{s_i} e h_i sono la velocità delle onde di taglio e lo spessore dello stato i -esimo.

Suolo	Descrizione geotecnica	Vs30 (m/sec)
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s_{30}}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3m	>800
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s_{30}}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{spt} >$ di 50 nei terreni a grana grossa e $c_u > 250$ kPa nei terreni a grana fina)	360-800 ($N_{spt} > 50$) ($c_u > 250$ KPa)
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s_{30}}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{spt} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_u < 250$ kPa nei terreni a grana fina)	180-360 ($15 < N_{spt} < 50$) $70 < c_u < 250$ KPa)
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s_{30}}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{spt} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_u < 70$ kPa nei terreni a grana fina)	<180 ($N_{spt} < 15$) ($c_u < 70$ KPa)
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_{s_{30}} > 800$ m/s)</i>	

Tabella1: classificazione del tipo di suolo secondo le “Nuove norme tecniche per le costruzioni” NTC 2018

Tabelle 3.2.II (categorie di suolo) e 3.2.III (categorie di suolo aggiuntive) mod.

Caratteristiche attrezzatura

Le indagini in sito sono state eseguite utilizzando un sismografo multicanale ad incrementi di segnale, della P.A.S.I. mod. 16SG24 a 24 canali. Le specifiche tecniche dello strumento sono:

-processore:	Pentium 200 MMx Intel,
-Trattamento dati:	Floating Point 32-Bit,
-Ambiente operativo:	Windows xp 32bit
-Canali:	24 (espandibili sino a 48)
-Display:	VGA colori LCD_TFT 10,4” touch screen
-Supporto memorizz.:	Hard Disk stato solido
-Risoluzione acquisizione:	6/24 bit
-Sonde ambiente interne:	temperatura, umidità relativa
-Formato dati:	Pasi (.osv) e SEG-2 (.dat),
-Durata acquisizioni:	Rifrazione, 32÷65536 ms Riflessione, 32÷16384 ms,
-Tempi campionamento:	da 125 µs a 2 ms su 24 ch
-Filtri digitali:	Passa alto (25÷400 Hz) Passa Basso (100÷250 Hz) Notch (50÷180 Hz)
-Attivazione filtri:	in acquisizione o manualmente
-Trigger:	inibizione impulsi dovuti a rimbalzi

Altra strumentazione:

- 24 geofoni da 4,5 Hz
- un cavo con lunghezza 65 m per collegare in serie i geofoni
- Sorgente impulsiva: mazza battente da 10 Kg con piastra metallica 15x15 cm su cui battere, da disporre sul terreno.
- Bindella metrica per posizionare i ricevitori.

Metodologia d'indagine MASW

L'indagine sismica di tipo MASW, consente la determinazione diretta della velocità delle onde trasversali (Onde di taglio - onde Sh/Sv) dei terreni del sottosuolo in esame in modo da ottenere una corretta caratterizzazione della categoria sismica del sottosuolo dell'area in oggetto (V_{s30}). L'indagine sismica adottata, Masw (in sismica attiva) è stata scelta in funzione delle limitazioni che affliggono in genere misure di onde Sh in metodi a rifrazione tradizionali (come ad es. difficoltà di generazione di onde polarizzate Sh o inversioni di velocità identificabili con difficoltà e/o valutabili con costosi lunghi ed impegnativi metodi sismici in foro es. Cross-Hole e Down-Hole).

La tecnica sismica Masw, è stata ampiamente testata (perfezionata già dal 1999) ed è contemplata fra le indagini per la definizione rigorosa del profilo di Vs per caratterizzazione sismica del sito (*NTC-08 e ad es. Lai, Foti e Rota "Input sismico e stabilità geotecnica dei siti di costruzione - IUSS Press Eucentre 2009*) e risulta migliore per la caratterizzazione del primo sottosuolo; le tecniche basate su utilizzo di registrazioni di microtremiti di origine naturale e/o antropica (tecniche passive) possono caratterizzare infatti il sottosuolo più in profondità, da diverse decine, sino alle volte, anche a centinaia di metri (*Lai et alii - IUSS Press Eucentre 2009*) ma con minor risoluzione per la zona prossima alla superficie che invece più ci interessa.

Inoltre diversi autori (*Lachet e Bard 94, Bard 99, De Ferrari et alii - Università studi di Genova 2008*), segnalano che sistemi d'acquisizione in sismica passiva sono poco idonei per terreni alluvionali, in quanto l'utilizzo di tecniche passive, è possibile o consigliabile nel caso di:

- intenso "rumore antropico" (che impedisce o maschera l'acquisizione dei dati in sismica attiva)
- discreto contrasto di impedenza sismica ($>2,5-3$) fra il substrato (sismico) ed il materasso alluvionale sovrastante
- è importante l'interramento del sensore sismico passivo (per migliorare l'accoppiamento sensore-terreno), quindi altri autori (*Konno e Ohmachi 98, Bard 99, Bindi et alii 2000, Parolai et alii 2002*) consigliano di evitare terreni caratterizzati da: erba, fango, terreno saturo, neve, ghiaccio, materiali incoerenti in superficie (ghiaia, ciottoli, quindi piazzali rilevati ecc.), coperture artificiali con piastrelle, superfici sintetiche, ecc.

Valutando le sopracitate motivazioni per caratterizzare il sottosuolo dal punto di vista del profilo Vs/profondità è stata realizzata una prospezione Masw, (rilevazione onde di Rayleigh - tecnica in sismica attiva).

Dal punto di vista operativo l'indagine è stata eseguita stendendo lungo una linea 24 ricevitori (geofoni), ad una distanza intergeofonica costante ed energizzando ad una estremità dello stendimento con una mazza su una piastra di alluminio. La distanza tra il punto di energizzazione e il primo geofono è denominata "offset".

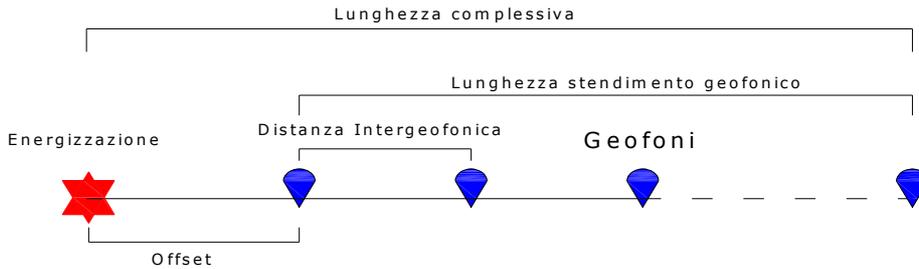


Fig.2 Schema illustrativo prova Masw

La linea Masw eseguita, per le possibilità operative presenti in corrispondenza del sito di intervento, presenta (Compreso il punto di shot) la con geometria come sotto indicato:

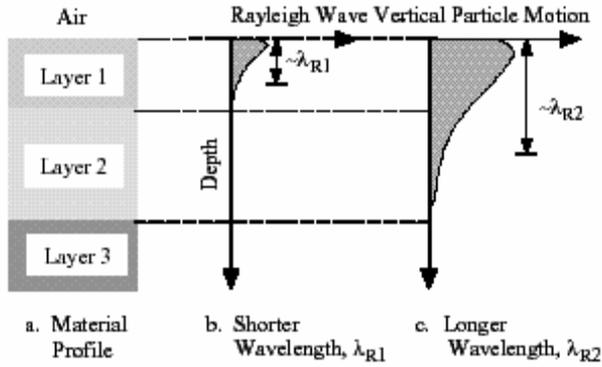
- | | |
|--|--------------|
| ➤ Numero geofoni | 24 |
| ➤ Distanza Intergeofonica | 2,0 m |
| ➤ Lunghezza stendimento geofonico | 46 m |
| ➤ Distanza punto di shot da ultimo geofono "offset" | 10 m |
| ➤ Lunghezza complessiva | 56 m |

Si ricorda che data la necessità di analizzare con elevato dettaglio le basse frequenze (tipicamente anche al di sotto dei 20 Hz), la tecnica di acquisizione per onde di superficie necessita di geofoni (ad asse verticale) con frequenza di taglio non superiore a 4,5 Hz.

Quindi le basi teoriche della tecnica di Acquisizione delle Masw, (analisi ed elaborazione delle onde di superficie di Rayleigh) sono completamente diverse dalle onde P od S degli stendimenti di simica a riflessione o rifrazione). Perciò nell'acquisizione con tecnica Masw, non è possibile caratterizzare la tecnica con un classico coefficiente geometrico che esprime la profondità di investigazione in funzione della lunghezza della stesa sismica, (come nella riflessione o nella rifrazione), ove infatti le metodiche di interpretazione si basano sui tempi di arrivo ai geofoni delle onde riflesse o rifratte (quindi si misurano dei tempi). Nella tecnica Masw non si misurano dei tempi, ma viene eseguita una trattazione spettrale dei sismogrammi e mediante trasformata di Fourier si restituisce lo spettro del segnale sismico nel dominio frequenza (f) n° d'onda (k) detto anche dominio f-k. La lunghezza dello stendimento dipende sia dal numero di ricevitori utilizzabili, sia dallo spazio disponibile.

Normalmente si dispongono i ricevitori ad interasse costante compreso tra 0,5 m e 3,0 m. (con array a parità di numero di ricevitori un interasse di 3,0 m consente di avere uno stendimento di ricevitori più lungo e quindi una maggiore risoluzione della curva di dispersione lungo la coordinata numero d'onda k; tuttavia si riduce il numero d'onda di Nyquist oltre cui non si ha certezza sull'affidabilità del segnale misurato.

Viceversa un interasse piccolo può essere necessario in piccoli spazi e consente un intervallo più ampio di numeri d'onda, ma comporta una minore risoluzione della curva di dispersione lungo i numeri d'onda.



La profondità investigata dalle onde di Rayleigh dipende più propriamente dalla lunghezza d'onda, dalla velocità delle onde di taglio V_s e dalla frequenza. (Stokoe II and Santamarina, 2000).

La relazione quindi che meglio consente di valutare la profondità di indagine di un'indagine masw, è legata più che alla dimensione dello stendimento, al valore della V_s assegnata ad una determinata profondità z dal piano campagna, calcolata in funzione della lunghezza d'onda, cioè:

$$Z = \frac{\lambda}{(1,5 / 2,0)}$$

Inoltre si evidenzia che:

Con la tecnica Masw (indagine sismica non invasiva di superficie) si ottiene una modellazione del sottosuolo, basandosi sulla propagazione delle onde di Rayleigh, oggi realizzata mediante approcci multi stazioni, che risultano robusti ed efficienti (Foti, 2000; Lai e Wilmanski, 2005) rispetto ai primi approcci del metodo, che si basavano essenzialmente su 2 ricevitori (Prova Sasw - Stoke et al., 1994).

Queste prove (masw-sasw) sfruttano la proprietà della dispersione geometrica, che rende la velocità di propagazione delle onde di Rayleigh (V_R) dipendente dalla frequenza di eccitazione in mezzi verticalmente eterogenei.

L'onda di Rayleigh, costituisce un particolare tipo d'onda sismica ed è facilmente individuabile in quanto ha una velocità differente dai treni d'onda delle onde P ed S risultando più lenta anche di queste ultime, con una velocità di propagazione $V_R \approx 0,9 \div 0,96 V_s$ (da V. Socco Lab. Geofisica Appl. Dip. Ing Territorio Politecnico di TORINO)

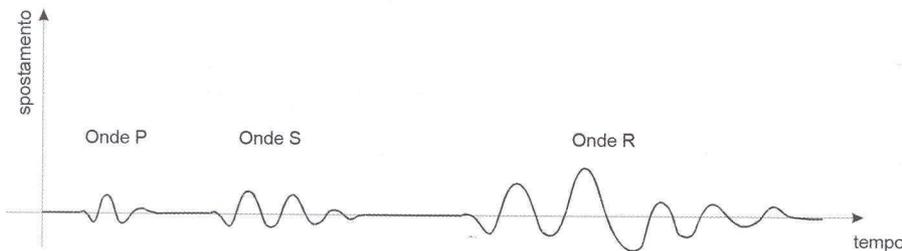


Fig. 3: sismogramma che evidenzia l'arrivo distinto di onde P, S e di Rayleigh (da Crespellani e Facciorusso "Dinamica dei terreni")

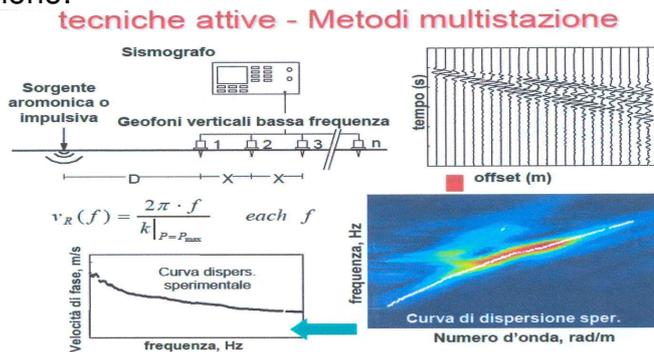
L'onda di Rayleigh si trasmette infatti sulla superficie libera di un mezzo isotropo e omogeneo ed è il risultato dell'interferenza e della combinazione d'onde sismiche di pressione (P-waves) e onde di taglio polarizzate verticalmente (Sv-waves).

La prova consiste nel produrre sulla superficie del terreno, in corrispondenza del sito da investigare, una sollecitazione (piccolo sisma) e nel registrare le vibrazioni prodotte sempre in corrispondenza della superficie, a distanze note e prefissate.

Il profilo di V_s viene determinato attraverso la soluzione di un problema matematico di inversione della curva di dispersione (V_R in funzione della frequenza).

In un mezzo reale stratificato avviene una dispersione delle onde prodotte; in altre parole, una deformazione del treno d'onda, dovuto alla variazione della velocità di propagazione, con la frequenza, che varia in relazione alle caratteristiche di "rigidezza" di ogni singolo strato.

Nella figura sotto esposta (da V. Socco Lab. Geofisica Appl. Dip. Ing Territorio Politecnico di TORINO) è ben riassunto il processo di acquisizione ed il passaggio alla curva di dispersione:



Gli elementi a bassa frequenza penetrano quindi più in profondità, con velocità di fase in genere più alta, rispetto alle componenti ad alta frequenza.

Il calcolo del profilo delle velocità delle onde di Rayleigh, visualizzato dai grafici $V(\text{fase})/f(\text{frequenza})$, tramite elaborazioni e programmi dedicati, è convertito in profili V_s / profondità.

Interpretazione dati acquisiti

L'interpretazione delle tecniche di rilievo sismico MASW traggono spunto come sopra accennato dalle prime tecniche studiate da Nazarian e Stokoe (1984-94) che per primi hanno presentato il metodo SASW che utilizzava una sorgente d'impulso e 2 soli sismometri di rilevazione (1 Hz).

Tale tecnica come d'altronde anche la Masw, è basata sul fatto che osservando il segnale che si propaga nel suolo a seguito di una energizzazione, è notorio che la quasi totalità dell'energia (circa 2/3 o più) si propaga tramite onde superficiali (onde di Rayleigh).

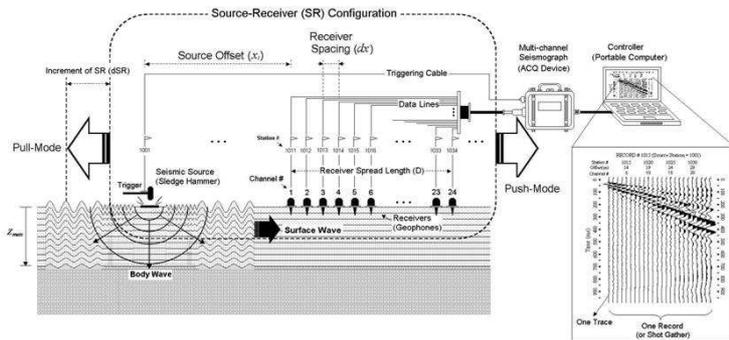
A tale scopo Park et Alii (1999) hanno studiato e sviluppato il metodo MASW, per sopperire alle difficoltà d'applicazione, della tecnica Sasw in diverse situazioni.

La differenza principale è l'utilizzo simultaneo di 24 (o più) geofoni (sismometri polarizzati verticalmente - frequenza massima 4,5 Hz) per consentire di ricavare numerosi profili di velocità V_s , ricavati dallo studio delle velocità di fase, dei numerosi treni d'onda di Rayleigh che sono registrati ai sismometri.

I geofoni possono essere spazati da 0,5 sino ad un massimo di circa 2-3 m e forniscono una ridondanza statistica delle misure delle velocità di fase, avvalorandone quindi la veridicità (rispetto al metodo Sasw che si basava solo su di un'unica misura).

Le tracce dei sismogrammi, possono essere salvate nel dominio temporale, permettendo quindi di distinguere ed evidenziare (nel record di registrazione) le onde di Rayleigh,

caratterizzate da elevata ampiezza di segnale (la quasi totalità dell'energia prodotta si ripartisce nelle onde di Rayleigh).



Dal sismogramma tramite una trasformata nel dominio, **frequenza (f) – numero d'onda (k)**, le tracce cui corrispondono i massimi spettrali (senza trascurare i modi superiori se presenti) si può così risalire alla curva di dispersione (cioè un grafico ampiezza/frequenza) mediante la relazione:

$$V_R(f) = f/k.$$

che consente di individuare il segnale proprio, relativo alle onde superficiali che interessano tale metodologia.

Il processo iniziale di individuazione della curva di dispersione caratteristica del sito in esame, è ottenuto tramite il software (**SWAN®** vers. 2008) seguito poi da una fase di elaborazione-interpretazione, eseguendo una “analisi spettrale” si procede sostanzialmente nella risoluzione del cosiddetto problema inverso: a partire dalla curva di dispersione misurata in situ, si arriva al modello di stratificazione del terreno con i relativi parametri sismici, secondo il seguente schema:

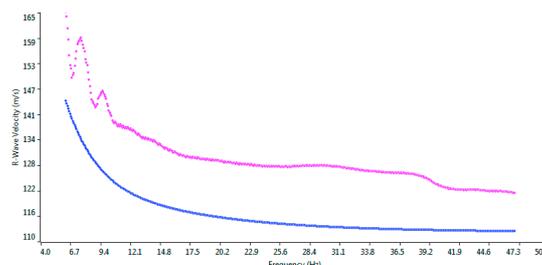
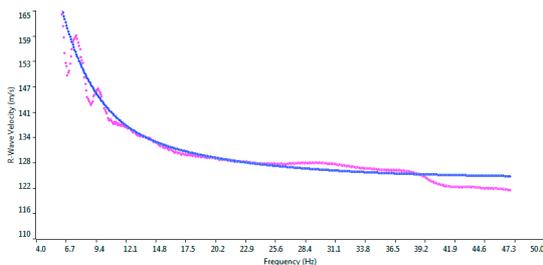
- Concatenazione dei file contenenti i record di registrazione in situ.
- fase di pre-processing per “ottimizzare” i record stessi in modo da migliorare la qualità dell'interpretazione cioè eventuale filtraggio o “pulizia” dei dati grezzi.
- Passaggio dal sismogramma al dominio spettrale mediante trasformata FK.
- Picking dei punti dello spettro per ottenere la curva di dispersione sperimentale; la procedura consiste nel trovare per ogni frequenza dei massimi assoluti/relativi dello spettro FK, finalizzata alla individuazione del modo fondamentale di propagazione dell'onda (ovvero quello a velocità minore), senza trascurare (analisi multimodale) di ricercare anche eventuali modi superiori.
- Estrazione curva di dispersione sperimentale mediante la procedura sopra indicata dallo spettro FK.
- Inversione: tale procedura è avviata allo scopo di ottimizzare un modello stratigrafico che sia relativo e sovrapponibile alla curva di dispersione sperimentale propria del sito; in tale procedura il programma **SWAN®** utilizza una tecnica di inversione lineare tipo OCCAM che presenta il vantaggio di minimizzare l'errore quadratico medio tra dati sperimentali e dati teorici. In linea generale come in gran parte dei processi di inversione (definiti “try and error”) l'inversione viene fermata quando un determinato parametro, definito ϵ (cioè la differenza fra dato osservato e dato calcolato) è in genere $< 2-3\%$. L'inversione OCCAM, utilizzando differenze quadratiche medie, da risultati ancora migliori, di un'inversione lineare classica, dato che quando si raggiunge lo stop dell'inversione (ϵ_{MIN}) cioè un valore percentualmente molto piccolo, la sovrapposizione delle curve è davvero buona.

- Fase di ottimizzazione e di taratura della curva teorica, realizzata contestualmente alla procedura d'inversione, con inserimento (eventuale) di strati sino ad un massimo di 30, assegnazione di moduli di Poisson e taratura dello spessore degli strati mediante confronto con prove dirette (prove penetrometriche, stratigrafie di sondaggio, colonne di perforazioni di pozzi ecc.) ed eseguendo ulteriori processi di inversione allo scopo di raffinare il risultato ottenuto, cioè una curva di dispersione teorica finale molto ben sovrapposta a quella sperimentale.

L'obiettivo finale cioè l'ottenimento di un profilo verticale delle Vs, minimizzando le imprecisioni (risultati random), ottenendo quindi un modello ad elevata attendibilità e fortemente rappresentativo, mediante le tarature, del reale profilo Vs/profondità del sito in analisi, come d'altronde suggerito anche da ricercatori in ambito geofisico (es. Dal Moro et alii Gruppo Esplor. Geofisica - Dip. Geol e Scienze Marine Univ. Trieste "cosa migliore è confrontare lo spettro di velocità osservato, con le curve teoriche di dispersione di un modello che riteniamo plausibile per l'area sotto esame.").

Considerazioni sulle tecniche di inversione:

- Le tecniche d'inversione possono fornire soluzioni non univoche, ma proprio ovviare a questa possibilità, si eseguono TARATURE, con dati reali del sito (prove cpt, stratigrafie ecc.) utilizzando anche parametri che esprimono la "rigidezza" degli strati individuati (es. coeff. Poisson), proprio per indirizzare l'inversione verso un modello molto vicino a quello reale.
- La funzione obiettivo (il misfit tra dato osservato e dato calcolato) è prossima a zero, solo in caso ideale in assenza di rumore; per questo motivo il sismogramma può essere trattato o filtrato per ridurre al minimo od eliminare eventuali rumori o disturbi esterni, che non hanno nulla a che fare con l'onda sismica che stiamo analizzando.
- E' fuorviante e sbagliato attribuire una percentuale di errore eseguendo una operazione di alterazione delle velocità sismiche, ottenute dall'esecuzione dei dettagliati processi di inversione sopra esposti (esempio attribuendo un errore globale del $\pm 10\%$, quindi alterando ad es. le velocità sismiche ottenute moltiplicando $\cdot 0,9$ le Vs dei singoli strati), perché in tal modo si **vanificherebbe** completamente l'elaborazione Masw, che è stata fatta con cura ed esperienza secondo principi codificati e consolidati. Infatti ipotizzando possa esistere un modello Vs/profondità analogo a quello definito con l'interpretazione corretta della prova Masw, ma con velocità alterate (cioè diminuite/aumentate del 10%) si otterrebbe un Match fra curva sperimentale e teorica **completamente non attendibile**. A titolo di esempio si allegano alcune figure che illustrano tale erronea operazione di alterazione delle Vs calcolate.



<p>Grafico con sovrapposizione fra curva dispersione sperimentale (magenta) e curva teorica (blu) ottenuta dal processo inversione Masw dominio frequenza/velocità. Si noti la quasi perfetta corrispondenza del fitting fra le due curve</p>	<p>Grafico con sovrapposizione fra curva dispersione sperimentale (magenta) e curva teorica "alterata" modificando le Vs diminuendole erroneamente del 10% (blu) dominio frequenza/velocità. Si noti la completa "sfasatura" della curva teorica sinonimo di un allontanamento dalla reale stratigrafia sismica che caratterizza il sito quindi un modello NON ACCETTABILE</p>
---	--

Le curve di dispersione sopra esposte sono da considerare indicative e non riferite alla indagine Masw della presente relazione; sono riferite ad un generico sito con una stratificazione di 5 strati, mantenuti identici nelle 2 simulazioni, con analoghi coefficienti di Poisson assegnati (variabili fra 0.45-0.48) e $V_{S30} \approx 190$ m/sec (grafico a sinistra) e $V_{S30} \approx 170$ m/sec (grafico a destra).

Categorie di suolo di fondazione (Azione sismica di progetto V_{S30})

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto (come previsto da art. 3.2 del DM 14-1-08) sono stati esaminati i dati ottenuti dalle prospezioni sismiche di superficie, opportunamente tarati con dati stratigrafici e litologici presenti in bibliografia (pozzi, sezioni stratigrafiche ecc..) e delle prove penetrometriche eseguite precedentemente in sito,

i valori della velocità media delle onde di taglio V_s risultano pertanto:

metodo sismico attivo-MASW onde Rayleigh:

1° strato:	velocità media onde V_s 250 m/sec	spessore medio 2,00 m
2° strato:	velocità media onde V_s 315 m/sec	spessore medio 3,60 m
3° strato:	velocità media onde V_s 265 m/sec	spessore medio 5,40 m
4° strato:	velocità media onde V_s 358 m/sec	spessore medio 10,20 m
5° strato:	velocità media onde V_s 420 m/sec	spessore medio $\geq 8,80$ m

In base a quanto sopra, la classificazione delle categorie dei suoli di fondazione, come da All. 2 (cfr. Ord. Pres. Consiglio dei Ministri 3274 del 20-3-2003 e art. 3.2.2 DM 14-1-08), ai vari strati sismo stratigrafici individuati, è stato associato il valore della velocità V_s direttamente misurate, consentendo di ottenere la V_{S30} , cioè la velocità media di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 m di sottosuolo, dall'espressione:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{S_i}}}$$

dove

h_i = spessore dello strato i-esimo

V_{S_i} = velocità onde S nello stato i-esimo

N = numero strati considerati

Ottenendo in base ai dati sopra esposti,

Prospezione MASW $V_{s30} = 336$ m/sec (da p.c. a -30 m)

Si ricorda che in base a quanto previsto da art. 3.2.2 NTC08, *“Per le fondazioni superficiali tale profondità è riferita al piano di imposta delle stesse,..”*,

Da cui si evince che in base ai valori ottenuti il terreno corrisponde alla categoria del suolo di fondazione di tipo **C** (*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s*)

Il Comune di Soncino secondo l'ordinanza PCM del 20/03/03 n. 3274 all 1, e successiva D.G.R. del 14/07/2014 n. X/2129 è collocato in zona di rischio sismologico 3 con A_g max attesa pari a 0,125772



Ubicazione Masw

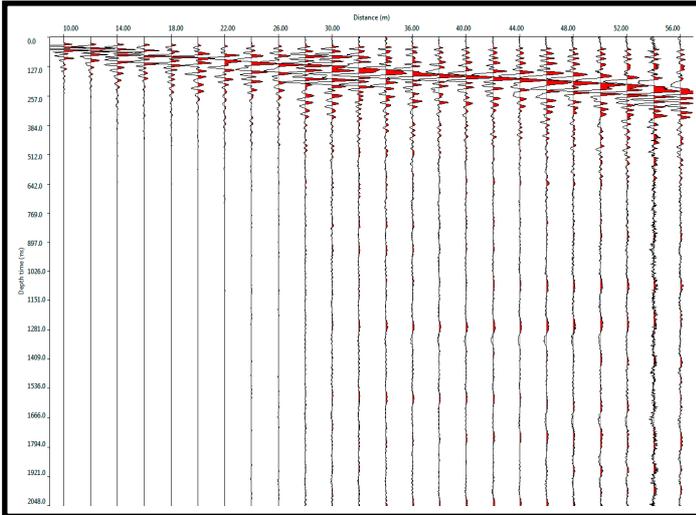


- 0 Punto di Shot
- 56 Ubicazione geofono
24

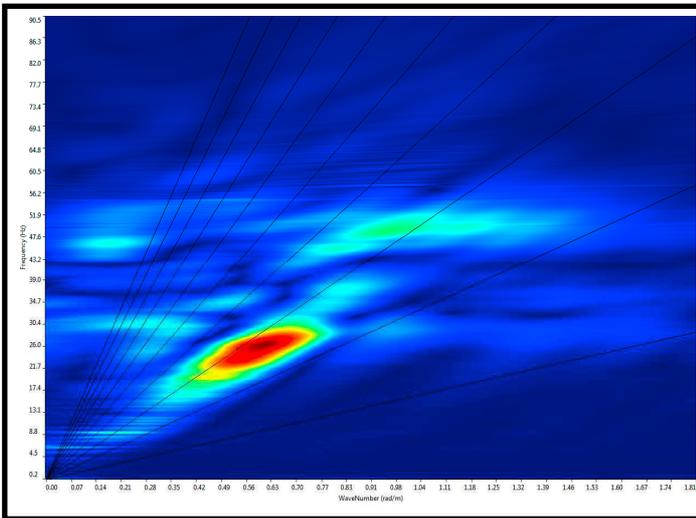


Piazzamento Masw

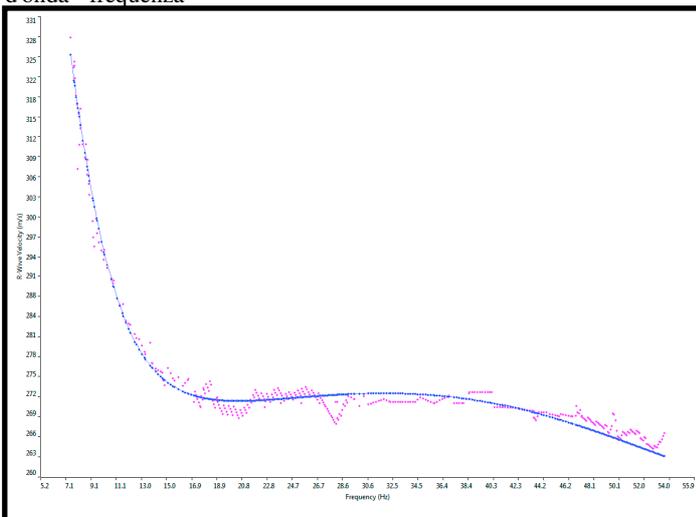
Scheda Indagine MASW



Sismogramma nel dominio spazio/tempo



Spettro FK - Rappresentazione del sismogramma nel dominio numero d'onda - frequenza



Sovrapposizione curva di dispersione calcolata /curva teorica rappresentata nel dominio Frequenza/Velocità

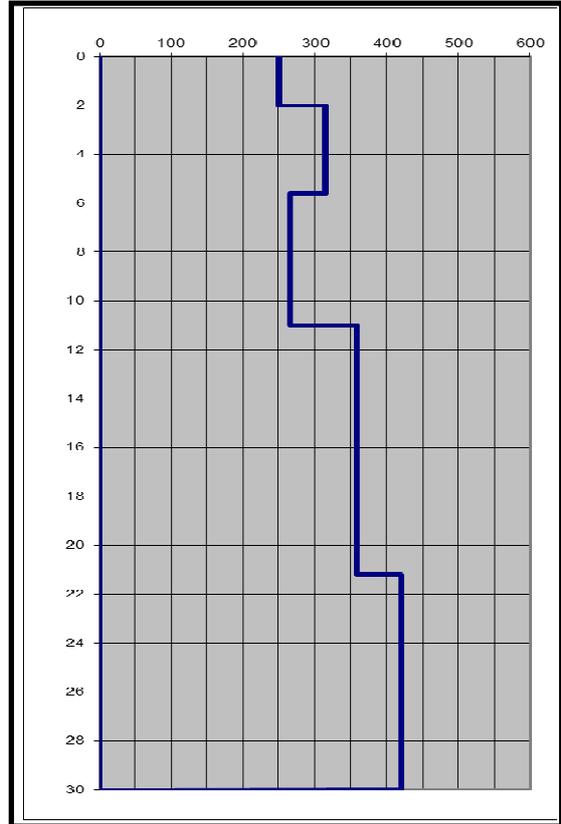


Grafico velocità/profondità onde di taglio Vs

Risultati Elaborazione MASW				
Strato	profondità		Spessore m	Vel. m/sec
	da	a		
Strato1	0.00	2.00	2.00	250
Strato2	2.00	5.60	3.60	315
Strato3	5.60	11.00	5.40	265
Strato4	11.00	21.20	10.20	358
Strato5	21.20	≥30.00	≥8.80	420

V_{s30} da pc a – 30 m = 336 m/sec

Che corrisponde alla categoria del suolo di fondazione di tipo **C** (*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s*)

Amplificazione topografica

Condizioni topografiche Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (Tab. 3.2.III):

Tab. 3.2.III – Categorie topografiche, e Caratteristiche della superficie topografica :

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

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

Per tener conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico ST riportati nella Tab. 3.2.VI, in funzione

delle categorie topografiche definite in § 3.2.2 e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento.

Il valore assegnato di amplificazione topografica è $T1 = 1,0$

Tabella 3.2.VI – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica ST

Categoria topografica Ubicazione dell'opera o dell'intervento ST
T1 - 1,0
T2 In corrispondenza della sommità del pendio : 1,2
T3 In corrispondenza della cresta del rilievo , pendenza $<$ o uguale a 30° : 1,2
T4 In corrispondenza della cresta del rilievo pendenza media $>30^\circ$: 1,4

La variazione spaziale del coefficiente di amplificazione topografica è definita da un decremento lineare con l'altezza del pendio o rilievo, dalla sommità o cresta fino alla base dove ST assume valore unitario.

7. LIQUEFACIBILITA' DELLE SABBIE

Questo tipo di analisi rappresenta una fase peculiare delle indagini in zona sismica in seguito alla notevole importanza ai fini della stabilità statica dell'edificio. Per una verifica della suscettibilità alla liquefazione esistono vari metodi che sono concordi nell'ammettere la possibilità di liquefazione solo nei livelli che presentino le seguenti caratteristiche:

- *accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti minori di 0,1 g*
- *siano costituiti da sabbie o sabbie limose;*
- *profondità media stagionale della falda inferiore a 15 m dal piano campagna, per p.c.c sub orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;*
- *depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica $< 30 (N_1)_{60}$ normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 KPa.*
- ***distribuzione del fuso granulometrico delle sabbie compreso tra 0.01 mm e 1 mm. (presupposto assente)***

Secondo la normativa vigente la verifica può essere omessa quando non si manifesti almeno una delle condizioni sopra esposte.

L'analisi effettuata sui dati di campagna prendendo in considerazione la prova eseguita nell'area di intervento rileva l'assenza di livelli potenzialmente liquefacibili per la litologia avente un alta componente coesiva nei primi 1,20 m di stratificazione (sede di fondazione) e sabbioso ghiaiosa molto addensata al letto. La porzione più profonda è composta da granulometrie più grossolane con presenza di ghiaietto ricadente in un fuso non liquificabile.

Tale aspetto pregiudica l'applicazione di metodi analitici che eventualmente si possono applicare sui dati forniti dalle prove geognostiche dinamiche come ad esempio il:

Metodo Seed-Idriss

che considera un parametro chiamato "domanda di resistenza ciclica indotta dal sisma CSR" e parallelamente in relazione a procedure basate su prove CPT (o eventualmente SPT) e/o sulla velocità delle onde di taglio (V_s) che stima la "capacità di resistenza del terreno alla liquefazione-CRR".

Dal rapporto fra questi parametri si ottiene un valore numerico del potenziale di liquefazione tramite il coefficiente di sicurezza FS_L :

$$FS_L = \frac{CRR}{CSR} \times MSF$$

ove MSF = *fattore di scala in funzione della magnitudo attesa*

Ottenuto il valore del coefficiente di sicurezza F_{SL} allo stesso si possono attribuire i seguenti significati:

- $F_{SL} > 1$ **si possono escludere fenomeni di liquefazione**
- $F_{SL} < 1$ **è possibile che avvengano fenomeni di liquefazione.**

**Relazione per il calcolo di
FI:**

$$F_{SL} = \frac{t/s'o}{rd/s'o} = \frac{0,26 * (0.16 * Na^{0.5} + (0.21 * Na^{0.5})^{14})}{0,65 * A/g * so/s'o * (1 - 0.01z)}$$

In condizioni di fuso granulometrico non liquefacibile la formula determina sempre valori molto superiori a 1

Da tale disamina si evince che i terreni esaminati, presentano coefficiente di sicurezza alla liquefazione sempre $F_{SL} > 1$ e grado di probabilità potenziale complessivamente sempre molto basso, quindi liquefazione non possibile o non probabile.

Si ricorda comunque, in ogni caso che anche se eventualmente si verifica un fenomeno di liquefazione, non necessariamente produce perdita di funzionalità o collasso delle strutture interagenti con il terreno.

Tali caratteristiche riducono quindi in maniera rilevante la possibilità che fenomeni di liquefazione possano verificarsi nei terreni interessati dalle fondazioni.

8. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il terreno di fondazione su cui si interverrà presenta caratteri tipici della sedimentazione fluviale legata ai depositi del fiume Oglio in tempi medio recenti. I terreni sono sostanzialmente omogenei e presentano modeste qualità geotecniche.

Sulla base delle analisi e dei dati in possesso si può pertanto stabilire:

- a) l'intervento dal punto di vista geologico tecnico è fattibile nel rispetto delle indicazioni riportate nei paragrafi "Verifica ipotesi di fondazione" e "Stima dei cedimenti".
- b) condizione indispensabile: la fondazione deve essere imposta su terreno naturale, non rimaneggiato.
- c) in presenza di materiali non idonei dovrà essere prevista la loro asportazione e sostituzione con inerte di idonea granulometria opportunamente costipato.
- d) I terreni indagati mostrano qualità geotecniche e resistenza penetrometrica adeguate nei livelli sede delle future fondazioni. E' possibile, pertanto, operare con un valore indicativo di Resistenza del sistema geotecnico **Rd pari a quello**

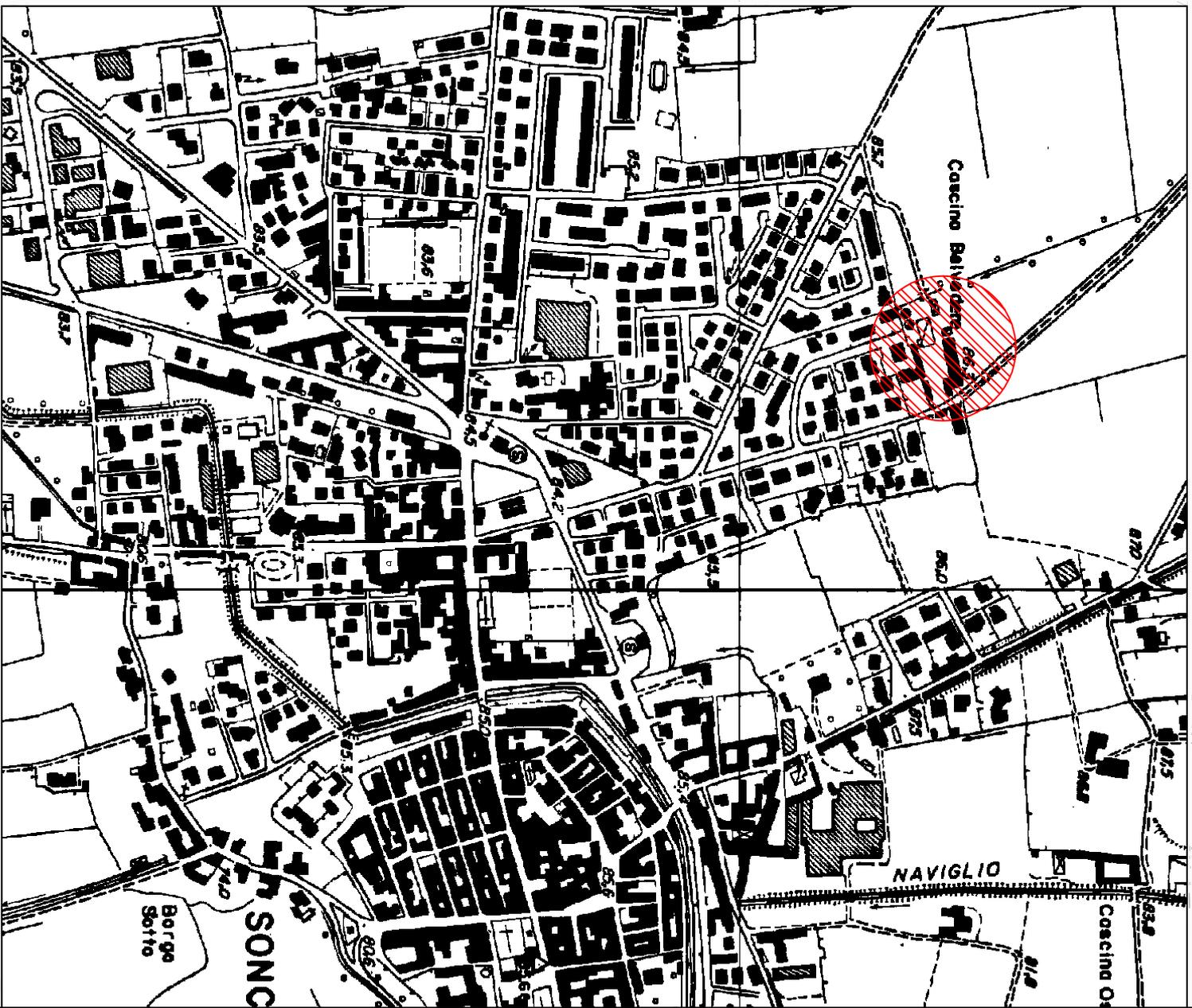
esposto nei casi calcolati al capitolo 4, per la tipologia di fondazione ipotizzata nei paragrafi precedenti.

- e) si possono ragionevolmente escludere fenomeni di liquefazione dei sedimenti sabbiosi in considerazione di un fuso granulometrico non soggetto a liquefazione.
- f) Alla luce dell'indagine Masw di riferimento è possibile far rientrare l'area indagata nella **categoria di suolo di fondazione tipo C**.
- g) In fase di progetto definitivo del piano di recupero in oggetto sarà necessario predisporre indagini di dettaglio all'interno dei lotti ove sorgeranno i nuovi edifici.

**GEOLOGO
DOTT. MATTIA LUCCHI
FEBBRAIO 2021**

ALLEGATI:

- Corografia, scala 1:10.000
- Estratto di mappa ed ubicazione della prove geognostiche, scala 1:2.000 modificata
- N. 9 Prove penetrometriche (SCPT)
- Caratteristiche del penetrometro



COMUNE DI SONCINO

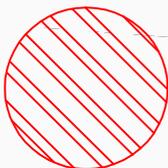
Provincia di Cremona

PIANO DI RECUPERO 5

COROGRAFIA

scala 1:10.000

LEGENDA



Ubicazione dell'intervento

Geologo

dott. Mattia Lucchi

ANALISI PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE

Localita': Soncino via Belvedere

Data: 13/03/2008

Dati del Penetrometro:

DPSH Pesante (AGI Meardi)

W	H	A	D	Wa	Wc
73,0	75,0	60,0	51,0	7,0	55,0

W = peso del maglio (Kg)

H = altezza di caduta (cm)

A = Angolo d'apertura del cono (°)

D = Diametro di base del cono (mm)

Wa = peso delle aste (Kg/m)

Wc = peso della cuffia (Kg)

Passo delle misure = 30,00 cm.

Profondità iniziale della prova = 0,3 m.

Profondità della falda = 5,0 m.

PROVA PENETROMETRICA n. 1

VALORI DI N

z (m)	N	N60	Nc
0,3	14	11	22
0,6	8	6	12
0,9	19	14	28
1,2	15	11	22
1,5	30	23	43
1,8	28	21	36
2,1	16	12	19
2,4	20	15	22
2,7	5	4	6
3,0	3	2	3
3,3	5	4	5
3,6	5	4	5
3,9	6	5	6
4,2	8	7	8
4,5	11	9	10
4,8	16	14	15
5,1	21	18	19
5,4	21	18	18
5,7	17	14	14
6,0	15	13	13
6,3	16	15	15

z = profondità

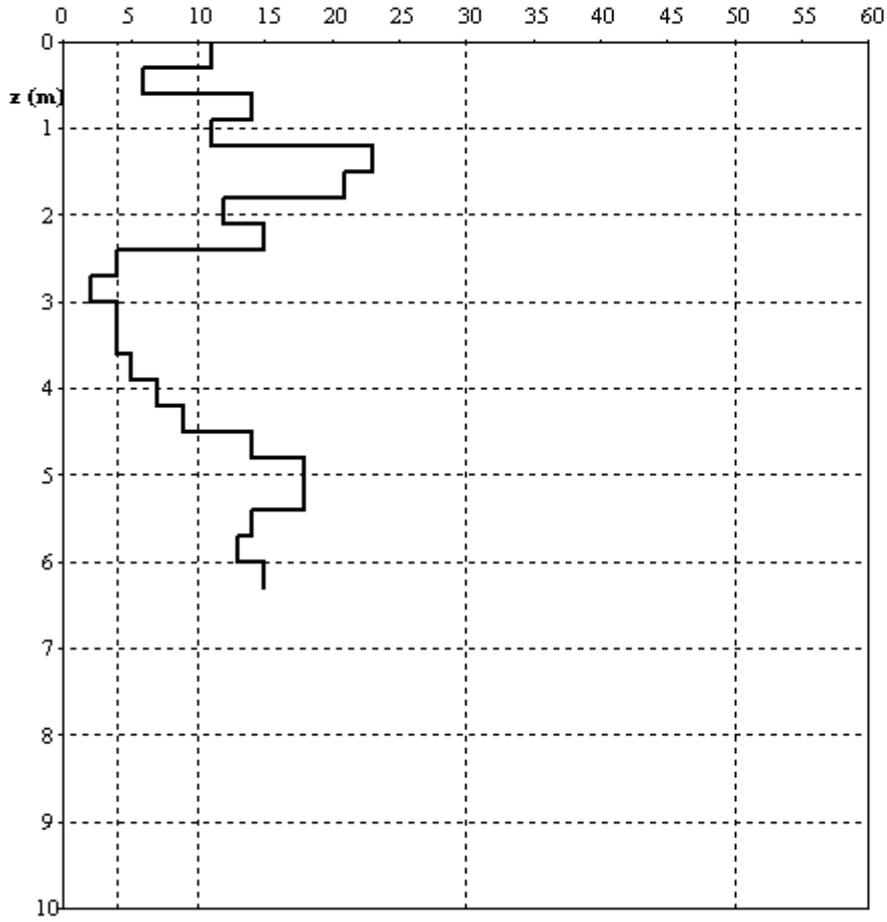
N = numero colpi originale

N60 = numero colpi standardizzato

Nc = numero dei colpi corretto per la pressione litostatica

Prova penetrometrica dinamica continua 1
Soncino -

N60



ANALISI PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE

Localita': Soncino via Belvedere

Data: 13/03/2008

Dati del Penetrometro:

DPSH Pesante (AGI Meardi)

W	H	A	D	Wa	Wc
73,0	75,0	60,0	51,0	7,0	55,0

W = peso del maglio (Kg)

H = altezza di caduta (cm)

A = Angolo d'apertura del cono (°)

D = Diametro di base del cono (mm)

Wa = peso delle aste (Kg/m)

Wc = peso della cuffia (Kg)

Passo delle misure = 30,00 cm.

Profondità iniziale della prova = 0,3 m.

Profondità della falda = 5,0 m.

PROVA PENETROMETRICA n. 2

VALORI DI N

z (m)	N	N60	Nc
0,3	21	16	32
0,6	7	5	10
0,9	4	3	6
1,2	8	6	12
1,5	23	17	33
1,8	23	17	30
2,1	6	5	8
2,4	7	5	8
2,7	4	3	4
3,0	4	3	4
3,3	5	4	5
3,6	6	5	6
3,9	7	5	6
4,2	11	9	11
4,5	16	14	16
4,8	23	20	22
5,1	24	20	21
5,4	18	15	16
5,7	19	16	16
6,0	21	18	18
6,3	22	21	21

z = profondità

N = numero colpi originale

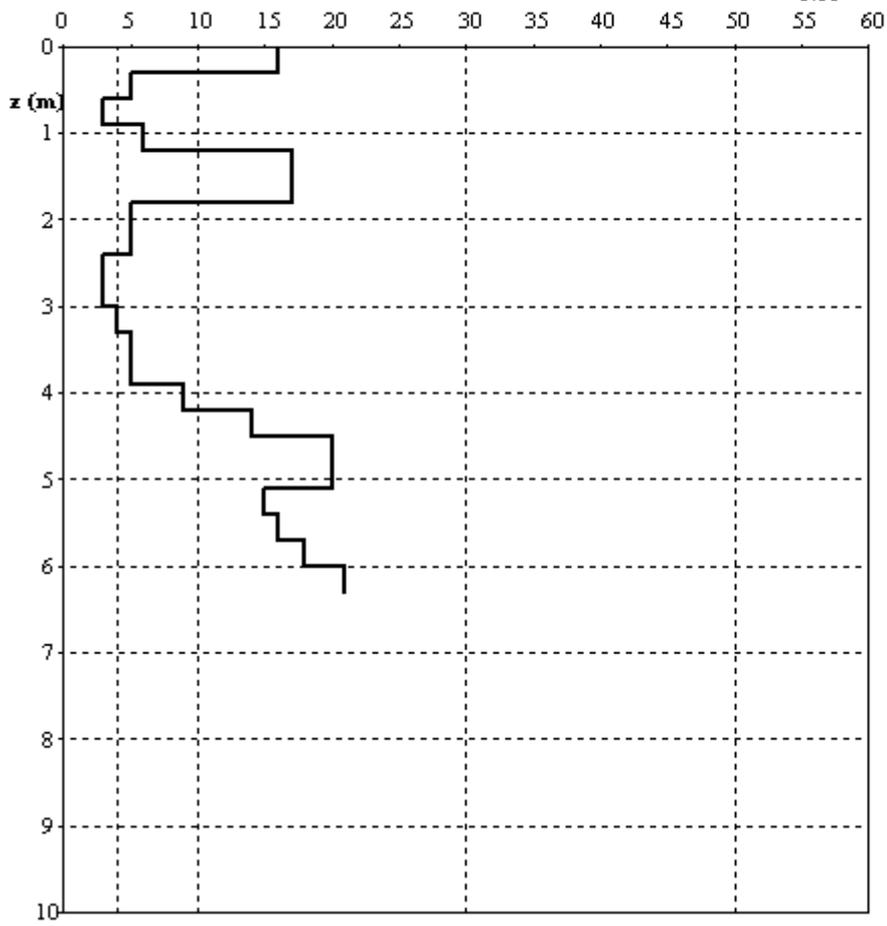
N60 = numero colpi standardizzato

Nc = numero dei colpi corretto per la pressione litostatica

Prova penetrometrica dinamica continua 2

Soncino -

N60



ANALISI PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE

Localita': Soncino via Belvedere

Data: 13/03/2008

Dati del Penetrometro:

DPSH Pesante (AGI Meardi)

W	H	A	D	Wa	Wc
73,0	75,0	60,0	51,0	7,0	55,0

W = peso del maglio (Kg)

H = altezza di caduta (cm)

A = Angolo d'apertura del cono (°)

D = Diametro di base del cono (mm)

Wa = peso delle aste (Kg/m)

Wc = peso della cuffia (Kg)

Passo delle misure = 30,00 cm.

Profondità iniziale della prova = 0,3 m.

Profondità della falda = 3,5 m.

PROVA PENETROMETRICA n. 3

VALORI DI N

z (m)	N	N60	Nc
0,3	31	23	46
0,6	6	5	10
0,9	5	4	8
1,2	5	4	8
1,5	22	17	33
1,8	28	21	36
2,1	30	23	36
2,4	15	11	16
2,7	11	8	11
3,0	6	5	7
3,3	3	2	3
3,6	4	3	4
3,9	4	3	4
4,2	9	8	10
4,5	11	9	11
4,8	14	12	14
5,1	15	13	15
5,4	12	10	11
5,7	13	11	12
6,0	17	14	15
6,3	14	13	14

z = profondità

N = numero colpi originale

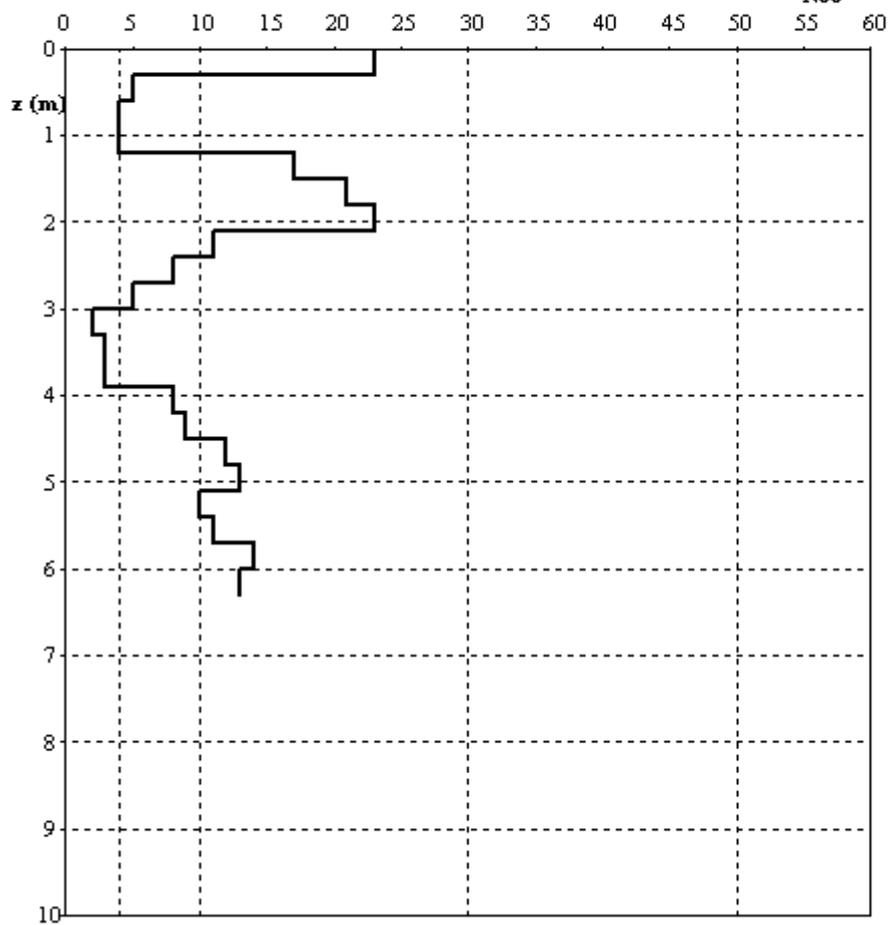
N60 = numero colpi standardizzato

Nc = numero dei colpi corretto per la pressione litostatica

Prova penetrometrica dinamica continua 3

Soncino -

N60



ANALISI PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE

Localita': Soncino via Belvedere

Data: 13/03/2008

Dati del Penetrometro:

DPSH Pesante (AGI Meardi)

W	H	A	D	Wa	Wc
73,0	75,0	60,0	51,0	7,0	55,0

W = peso del maglio (Kg)

H = altezza di caduta (cm)

A = Angolo d'apertura del cono (°)

D = Diametro di base del cono (mm)

Wa = peso delle aste (Kg/m)

Wc = peso della cuffia (Kg)

Passo delle misure = 30,00 cm.

Profondità iniziale della prova = 0,3 m.

Profondità della falda = 3,3 m.

PROVA PENETROMETRICA n. 4

VALORI DI N

z (m)	N	N60	Nc
0,3	21	16	32
0,6	6	5	10
0,9	3	2	4
1,2	3	2	4
1,5	10	8	16
1,8	24	18	32
2,1	22	17	28
2,4	21	16	24
2,7	11	8	11
3,0	4	3	4
3,3	5	4	5
3,6	4	3	4
3,9	3	2	3
4,2	4	3	4
4,5	7	6	7
4,8	11	9	11
5,1	14	12	14
5,4	18	15	17
5,7	14	12	14
6,0	15	13	15
6,3	15	14	15

z = profondità

N = numero colpi originale

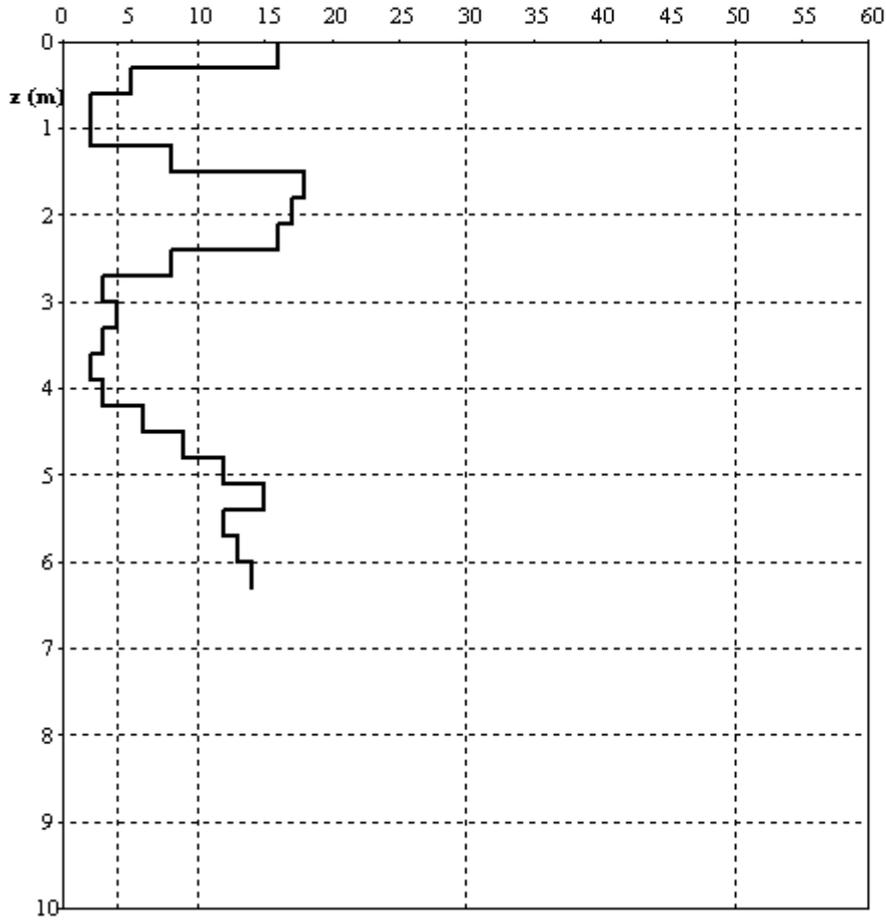
N60 = numero colpi standardizzato

Nc = numero dei colpi corretto per la pressione litostatica

Prova penetrometrica dinamica continua 4

Soncino -

N60



ANALISI PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE

Localita': Soncino via Benzi

Data: 09/06/2010

Dati del Penetrometro:

DPSH Pesante (AGI Meardi)

W	H	A	D	Wa	Wc
73.0	75.0	60.0	51.0	7.0	55.0

W = peso del maglio (Kg)

H = altezza di caduta (cm)

A = Angolo d'apertura del cono (°)

D = Diametro di base del cono (mm)

Wa = peso delle aste (Kg/m)

Wc = peso della cuffia (Kg)

Passo delle misure = 30.00 cm.

Profondità iniziale della prova = 0.3 m.

PROVA PENETROMETRICA n. 1

VALORI DI N

z (m)	N	N60	Nc
0.3	8	7	14
0.6	8	7	14
0.9	12	10	20
1.2	29	25	50
1.5	28	24	45
1.8	52	44	74
2.1	41	35	54
2.4	32	27	39
2.7	30	25	34
3.0	29	25	32
3.3	45	38	46
3.6	60	51	59
3.9	100	85	95

z = profondità

N = numero colpi originale

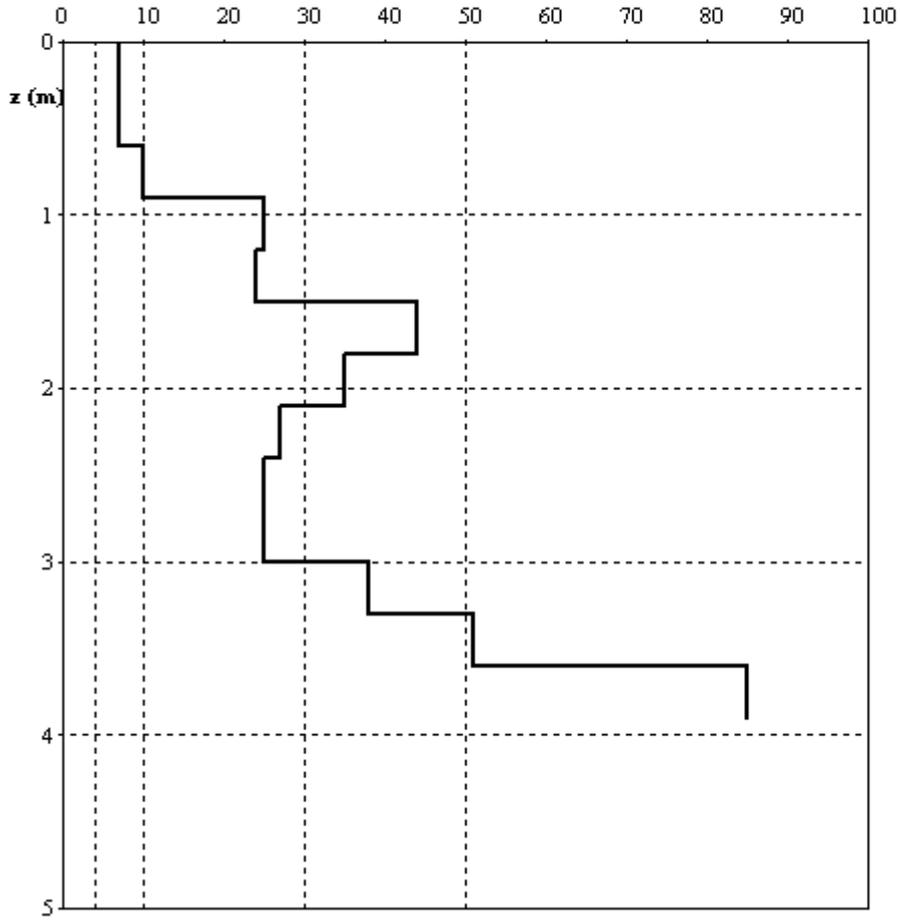
N60 = numero colpi standardizzato

Nc = numero dei colpi corretto per la pressione litostatica

Prova penetrometrica dinamica continua 1

Soncino -

N60



ANALISI PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE

Localita': Soncino via Benzi

Data: 09/06/2010

Dati del Penetrometro:

DPSH Pesante (AGI Meardi)

W	H	A	D	Wa	Wc
73.0	75.0	60.0	51.0	7.0	55.0

W = peso del maglio (Kg)

H = altezza di caduta (cm)

A = Angolo d'apertura del cono (°)

D = Diametro di base del cono (mm)

Wa = peso delle aste (Kg/m)

Wc = peso della cuffia (Kg)

Passo delle misure = 30.00 cm.

Profondità iniziale della prova = 0.3 m.

PROVA PENETROMETRICA n. 2

VALORI DI N

z (m)	N	N60	Nc
0.3	15	13	26
0.6	17	14	28
0.9	6	5	10
1.2	3	3	6
1.5	4	3	6
1.8	5	4	7
2.1	8	7	12
2.4	28	24	37
2.7	34	29	41
3.0	36	31	42
3.3	28	24	30
3.6	41	35	42

z = profondità

N = numero colpi originale

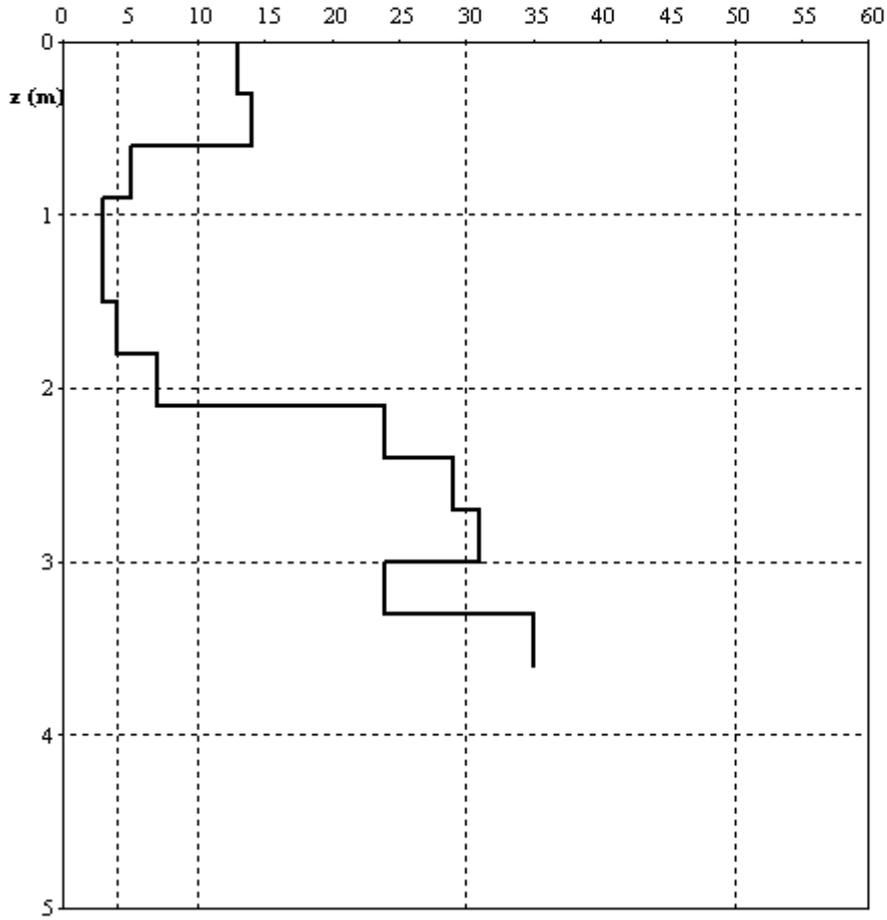
N60 = numero colpi standardizzato

Nc = numero dei colpi corretto per la pressione litostatica

Prova penetrometrica dinamica continua 2

Soncino -

N60



ANALISI PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE

Localita': Soncino via belvedere

Data: 13/03/2017

Dati del Penetrometro:

DPSH Pesante (AGI Meardi)

W	H	A	D	Wa	Wc
73.0	75.0	60.0	51.0	7.0	55.0

W = peso del maglio (Kg)

H = altezza di caduta (cm)

A = Angolo d'apertura del cono (°)

D = Diametro di base del cono (mm)

Wa = peso delle aste (Kg/m)

Wc = peso della cuffia (Kg)

Passo delle misure = 30.00 cm.

Profondità iniziale della prova = 0.3 m.

Profondità della falda = 3.2 m.

PROVA PENETROMETRICA n. 1

VALORI DI N

z (m)	N	N60	Nc
0.3	5	4	8
0.6	4	3	6
0.9	2	2	4
1.2	2	2	4
1.5	4	3	6
1.8	3	3	6
2.1	6	5	9
2.4	12	10	16
2.7	13	11	16
3.0	11	9	13
3.3	6	5	7
3.6	4	3	4
3.9	4	3	4
4.2	6	6	8
4.5	10	10	13
4.8	12	12	15
5.1	5	5	6
5.4	5	5	6
5.7	4	4	5
6.0	8	8	9
6.3	8	9	10

z = profondità

N = numero colpi originale

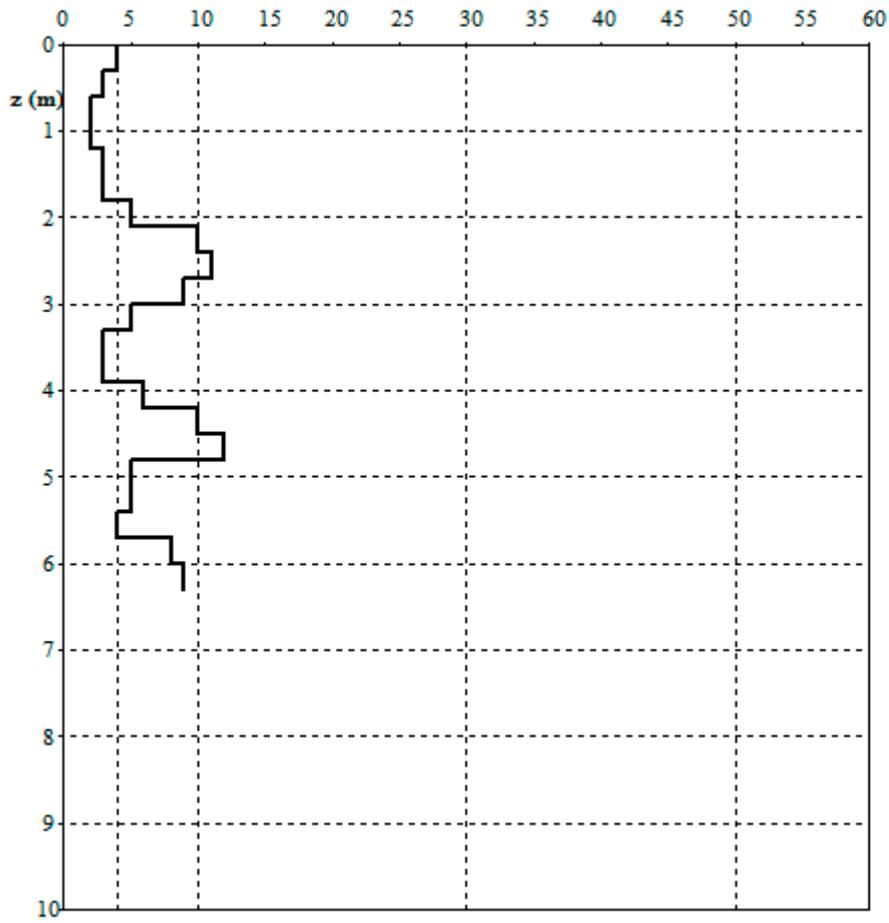
N60 = numero colpi standardizzato

Nc = numero dei colpi corretto per la pressione litostatica

Prova penetrometrica dinamica continua 1

Soncino -

N60



ANALISI PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE

Localita': Soncino via belvedere

Data: 13/03/2017

Dati del Penetrometro:

DPSH Pesante (AGI Meardi)

W	H	A	D	Wa	Wc
73.0	75.0	60.0	51.0	7.0	55.0

W = peso del maglio (Kg)

H = altezza di caduta (cm)

A = Angolo d'apertura del cono (°)

D = Diametro di base del cono (mm)

Wa = peso delle aste (Kg/m)

Wc = peso della cuffia (Kg)

Passo delle misure = 30.00 cm.

Profondità iniziale della prova = 0.3 m.

Profondità della falda = 3.2 m.

PROVA PENETROMETRICA n. 2

VALORI DI N

z (m)	N	N60	Nc
0.3	6	5	10
0.6	4	3	6
0.9	2	2	4
1.2	2	2	4
1.5	3	3	6
1.8	3	3	6
2.1	8	7	12
2.4	3	3	5
2.7	3	3	5
3.0	4	3	4
3.3	4	3	4
3.6	4	3	4
3.9	4	3	4
4.2	5	5	7
4.5	6	6	8
4.8	3	3	4
5.1	3	3	4
5.4	4	4	5
5.7	3	3	4
6.0	8	8	10
6.3	21	23	27

z = profondità

N = numero colpi originale

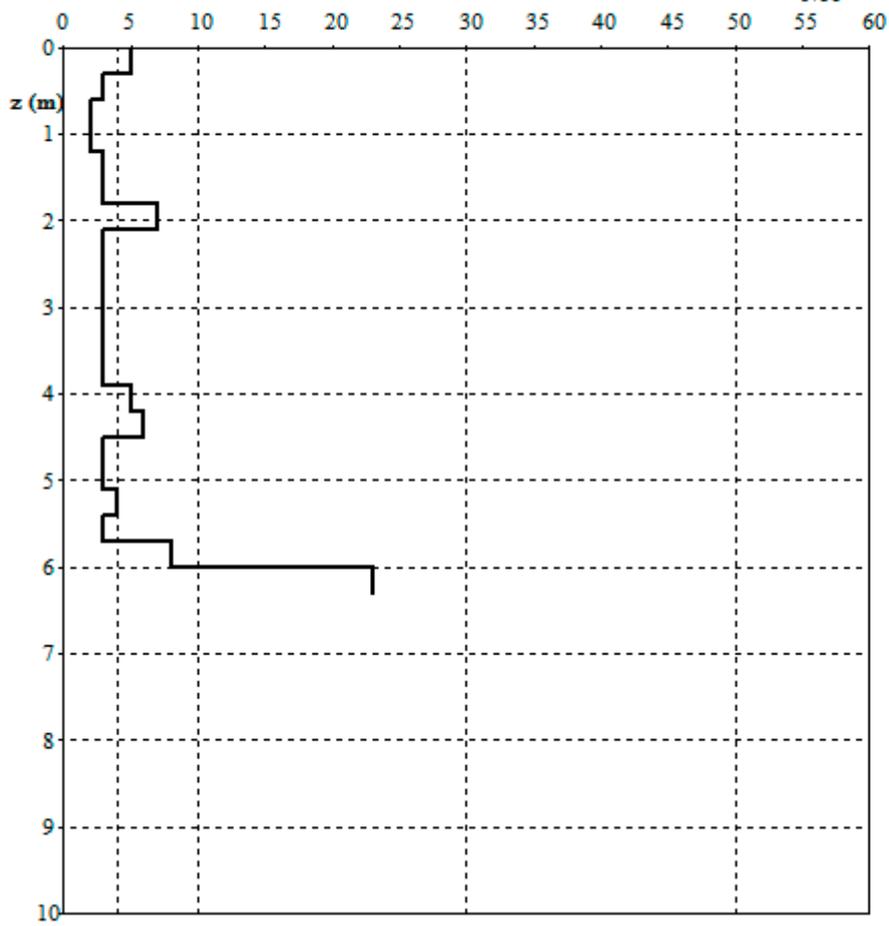
N60 = numero colpi standardizzato

Nc = numero dei colpi corretto per la pressione litostatica

Prova penetrometrica dinamica continua 2

Soncino -

N60



ANALISI PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE

Localita': Soncino - Via Nobilini

Data: 17/01/2020

Dati del Penetrometro:

DPSH Pesante (AGI Meardi)

W	H	A	D	Wa	Wc
73.0	75.0	60.0	51.0	7.0	55.0

W = peso del maglio (Kg)

H = altezza di caduta (cm)

A = Angolo d'apertura del cono (°)

D = Diametro di base del cono (mm)

Wa = peso delle aste (Kg/m)

Wc = peso della cuffia (Kg)

Passo delle misure = 30.00 cm.

Profondità della falda = 3,3 m.

PROVA PENETROMETRICA n. 1

VALORI DI N

z (m)	N	N60	Nc
0,3	8	6	12
0,6	10	8	16
0,9	6	5	10
1,2	10	8	16
1,5	20	15	29
1,8	17	13	23
2,1	26	20	32
2,4	60	45	67
2,7	61	46	64
3,0	58	44	58
3,3	65	49	61
3,6	59	44	54
3,9	63	47	56
4,2	80	68	79

z = profondità

N = numero colpi originale

N60 = numero colpi standardizzato

Nc = numero dei colpi corretto per la pressione litostatica

Prova penetrometrica dinamica continua 1

Soncino - Via Nobilini -

N60

