



**THE
BLOSSOM
AVENUE**
FOR BETTER HUMAN LIVING

info@theblossomavenue.com
www.theblossomavenue.com

COMUNE DI CREMONA
Via Sesto, n 10
26100 Cremona, (CR)

PIANO ATTUATIVO AMBITO CR36 Cremona - area EX SCAC

PROJECT MANAGMENT

The Blossom Avenue Partners

Prof. Arch. Marco Facchinetti
Urb. Marco Dellavalle
Arch. Luca De Stefani
Corso Italia 13, 20122, Milano
Tel +39 (02) 36520482
info@theblossomavenue.com
www.theblossomavenue.com

5.3

STUDIO DI FATTIBILITA' GEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA

TOTO
COSTRUZIONI GENERALI

Passione, tecnologia, ingegno

PROPONENTE

Toto S.p.A. Costruzioni Generali

V.le Abruzzo 410, 66100, Chieti
Tel +39 0871 58741
info@totospa.it

STUDI SPECIALISTICI

Te.A. Consulting srl
Ing. Massimo Moi
via G. B. Grassi 15, 20157, Milano
moi@territorioambiente.com

STUDIO DEL TRAFFICO

MOBILITER srl
Ing. Ivan Genovese
Via Ripamonti 2, 20136, Milano
info@mobiliter.it

STUDIO DEL VERDE E DEL PAESAGGIO

Studio Architettura Paesaggio
Dott. Architetto Paesaggista Luigino Pirola
Via Piave 1, 24040, Bonate Sopra (BG)
Tel. 035.992674
info@studioarchitetturapaesaggio.it
www.studioarchitetturapaesaggio.it



THE BLOSSOM AVENUE PARTNERS

Area: Via Sesto 72, 26100, Cremona (CR)
REALIZZAZIONE NUOVO POLO LOGISTICO

Relazione tecnica

Relazione Geologica-Geotecnica e Sismica NTC 2018

Milano, Maggio 2025

Redatto da: Dott. Geol. Roberto Grano

Te.A. Consulting S.r.l.

Sede legale Via Vincenzo Monti 32 - 20123 Milano
pec tea.consulting@legalmail.it

PIVA e C.F. n° 06908160960 - R.E.A. n° MI - 1923131

MI Via G.B. Grassi 15 - 20157
T 02 21711067 F 0221596353
BG Via Don A. Mazzucotelli 6 - 24020 Gorle
T 035 19966616 F 0221596353

Member of CISQ Federation



INDICE

2	1 PREMESSA	4
2.1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	5
3	INQUADRAMENTO TERRITORIALE	7
4	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	10
4.1	Lineamenti geologici e geomorfologici	10
4.2	Litologia di superficie	10
4.2.1	<i>f^w: Fluviale würmiano</i>	11
5	INQUADRAMENTO IDROGRAFICO-IDROGEOLOGICO	13
5.1	Reticolo idrografico superficiale	13
5.2	Assetto idrogeologico A Vasta Scala	14
5.2.1	CLASSIFICAZIONE DEI GRUPPI ACQUIFERI	16
6	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO SITOSPECIFICO	20
7	CARTOGRAFIA P.G.R.A.	21
8	FATTIBILITÀ - VINCOLI GEOLOGICI, IDROGEOLOGICI E IDRAULICI	22
9	PIANO DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE	28
9.1	Prova penetrometrica DINAMICA	30
9.2	Prova sismica attiva M.A.S.W.	30
9.3	Prova sismica passiva HVSR	31
10	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	33
10.1	Modalità di interpretazione Prove Penetrometriche	33
10.2	DEFINIZIONE DELLE LITOZONE	36
11	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	38
12	CARATTERIZZAZIONE GEOFISICA DEL SITO	44
12.1	Indagine Sismica Attiva M.A.S.W. – Multichannel Analysis Of Surface Waves	44
12.2	Sismica Passiva A Stazione Singola – H.V.S.R. – H/V Spectral Ratio	45
13	Risultati indagini geofisiche	47
13.1	RAPPRESENTAZIONE ED INTERPRETAZIONE DATI SISMICI M.A.S.W.	47
3.0	RICOSTRUZIONE DEL SOTTOSUOLO	50
13.2	CATEGORIA DI SOTTOSUOLO	51
14	ANALISI DI 2° LIVELLO	53
3.1	FREQUENZA CARATTERISTICA DI RISONANZA DEL SITO	58
14.1	Caratteristiche macrosismiche dell'area	59
14.2	Pericolosità Sismica Locale (P.S.L.)	60
14.3	Definizione della pericolosità sismica di base	62
14.4	Parametri sismici di riferimento	63

15	VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	65
16	STABILITÀ DEGLI SCAVI E GESTIONE DELLE ACQUE	68
17	TERRE E ROCCE DA SCAVO	69
18	CONCLUSIONI	69

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1	Inquadramento Generale del sito di Indagine	7
Figura 2	Inquadramento di dettaglio del sito oggetto di indagine	8
Figura 3	Inquadramento su base C.T.R. del sito oggetto di indagine	8
Figura 4	Inquadramento catastale del sito in esame	9
Figura 5	Inquadramento Progettuale	9
Figura 6	Stralcio della Carta Geologica d'Italia – Foglio 61 – CREMONA	10
Figura 7	Estratto della tavola "Carte Geologica" PGT di Cremona	12
Figura 8	Elaborazione dello shapefile R.I.R.U. – Geoportale Lombardia	14
Figura 9	Schema dei rapporti stratigrafici nella Pianura Padana	15
Figura 10	Unità idrostratigrafiche tradizionali e gruppi acquiferi A, B, C e D (Giudici 2007)	17
Figura 11	Stralcio della Carta Idrogeologica del PGT di Cremona con evidenza del sito in esame	20
Figura 13	Estratto della cartografia del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni del Po (Geoportale della Lombardia)	21
Figura 14	Estratto della Tavola "P.A.I." del PGT di Cremona	22
Figura 15	Estratto Carta dei vincoli (P.G.T. Comune di Cremona)	23
Figura 16	Estratto Carta della fattibilità geologica (P.G.T. Comune di Cremona)	28
Figura 17	Ubicazione delle indagini	29
Figura 18	Distribuzione del numero di colpi normalizzati S.P.T. in relazione alla profondità	40
Figura 19	Distribuzione della Densità relativa in relazione alla profondità	41
Figura 20	distribuzione dell'angolo di attrito interno in relazione alla profondità	42
Figura 21	andamento del modulo elastico con la profondità secondo i principali autori	43
Figura 22	Sismogramma filtrato relativo all'acquisizione L1	48
Figura 23	Curva di dispersione relativa all'indagine L1 con picking del modo fondamentale	49
Figura 24	Input di calcolo per la definizione della Categoria di Suolo	50
Figura 25	Diagramma delle velocità V_s riferite ai vari strati intercettati nella base sismica L1	51
Figura 26	Tabella 3.2.II "Categorie di sottosuolo" – D.M. 17.01.2018	53
Figura 27	Rapporti spettrali H/V vs Hz rilevazione sismica passiva TR1	57
Figura 28	Direzionalità H/V rilevazione sismica passiva TR1	57
Figura 29	Spettri delle singole componenti rilevazione sismica passiva TR1	58
Figura 30	Classificazione sismica dei comuni della Lombardia a seguito della D.G.R. n. X/2129	59
Figura 31	Estratto Carta della Pericolosità Sismica Locale (P.G.T. Comune di Cremona)	61
Figura 32	Tabella 3.2.III "Categorie topografiche" – D.M. 17.01.2018	63
Figura 33	Fusi granulometrici di terreni suscettibili a liquefazione con $U_c < 3.5$	67
Figura 34	Fusi granulometrici di terreni suscettibili a liquefazione con $U_c > 3.5$	67

Committente	Documento	Data stampa	Pagina
The Blossom Avenue Partners S.L.: Corso Italia 13, Milano (MI)	Comune di Cremona (CR) Nuovo Polo Logistico in Via Sesto, 72, Cremona (CR) Geologica-Geotecnica e Sismica NTC 2018	Maggio 2025	3 di 71

1 PREMESSA

La presente relazione, redatta per conto della società The Blossom Avenue Partners., costituisce il supporto geologico, geotecnico e sismico preliminare alla valutazione della realizzazione di un nuovo polo logistico presso il sito esistente ubicato nel Comune di Cremona (CR), Via Sesto, Area ex SCAC.

Lo studio è finalizzato alla definizione delle caratteristiche geologico-geomorfologiche dell'area e dell'assetto litostratigrafico e geotecnico nonché alla caratterizzazione sismica dei terreni di imposta delle strutture in progetto; in particolare lo scopo dell'indagine è quello di fornire al Progettista utili indicazioni riguardo il contesto geologico, geotecnico, sismico ed idrogeologico, in funzione delle specifiche proprie del progetto e delle effettive condizioni litostratigrafiche del volume significativo di terreno interessato dalle opere.

Per tale scopo in questa fase oltre che tramite raccolta bibliografica di dati inerenti l'area e un suo significativo intorno, le condizioni geologiche, idrogeologiche e sismiche di dettaglio della stessa sono state definite attraverso specifiche prospezioni geognostiche rappresentate da, n.4 prove penetrometriche di tipo dinamico D.P.S.H., da n.1 stendimento sismico con metodologia attiva M.A.S.W. e da n.1 indagine geofisica passiva a stazione singola di tipo H.V.S.R. per la misurazione e l'acquisizione del microtremore sismico ambientale, eseguite in data 23 novembre 2024.

I dati raccolti sono stati integrati con quelli esistenti, derivanti da studi pregressi nella medesima zona ed in zone limitrofe, dalla bibliografia disponibile, dalla letteratura di riferimento e dalla cartografia tecnica ufficiale.

Pertanto, considerando gli obiettivi sopra esposti, l'indagine si è articolata attraverso la successione delle seguenti fasi:

- esame dei dati geologici ed idrogeologici pregressi della zona, disponibili tramite bibliografia (P.G.T.);
- rilevamento morfologico-geologico-idrologico speditivo dell'area e del suo relativo intorno;
- esecuzione delle prospezioni geognostiche in situ (D.P.S.H., M.A.S.W., H.V.S.R.);
- caratterizzazione sismica del sito;

Committente	Documento	Data stampa	Pagina
The Blossom Avenue Partners S.L.: Corso Italia 13, Milano (MI)	Comune di Cremona (CR) Nuovo Polo Logistico in Via Sesto, 72, Cremona (CR) Geologica-Geotecnica e Sismica NTC 2018	Maggio 2025	4 di 71

Come previsto dalla recente normativa sismica regionale L.R. 33/2015 e D.G.R. 5001/2016, le relazioni geologiche ai sensi della D.G.R. IX 2616/2011 e ai sensi delle NTC 2018 (aventi la sigla rispettivamente di R1 ed R3) vengono presentate accorpate.

1.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La stesura della seguente relazione è stata eseguita in ottemperanza alle disposizioni contenute nelle normative di riferimento elencate di seguito:

Ministero dei Lavori Pubblici, Decreto 11 Marzo 1988

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

Ministero dei Lavori Pubblici, Decreto 17 Gennaio 2018

"Norme tecniche per le costruzioni – Testo aggiornato delle norme tecniche per le costruzioni, di cui alla legge 5 novembre 1971, n.1086, alla legge 2 febbraio 1974, n.64, al decreto del Presidente della Repubblica 6 giugno 2001, n.380, ed al decreto-legge 28 maggio 2004, n.136, convertito con modificazioni, dalla legge 27 luglio 2004, n.186".

Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, Circolare 21 Gennaio 2019, n. 7

"Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018".

Eurocodice 7, 1997

"Progettazione geotecnica – parte I: Regole Generale (1997) – parte II: Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002) – parte III: progettazione assistita con prove in sito (2002)".

Eurocodice 8, 1998

"Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture – parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici".

Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri, 28 Aprile 2006, n. 3519

"Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone".

Committente	Documento	Data stampa	Pagina
The Blossom Avenue Partners S.L.: Corso Italia 13, Milano (MI)	Comune di Cremona (CR) Nuovo Polo Logistico in Via Sesto, 72, Cremona (CR) Geologica-Geotecnica e Sismica NTC 2018	Maggio 2025	5 di 71

D.G.R. Regione Lombardia n. IX/2616 30.11.2011

"Aggiornamento dei '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', approvati con d.g.r. 22 dicembre 2005, n.8/1566 e successivamente modificati con d.g.r. 28 maggio 2008, n.8/7374", pubblicata sul BURL n.50 Serie ordinaria del 15 dicembre 2012.

D.P.R. n.120 13.06.2017

Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo, ai sensi dell'articolo 8 del decreto-legge 12 settembre 2014, n.133, convertito, con modificazioni, della legge 11 novembre 2014, n.164";

Associazione Geotecnica Italiana; giugno 1977

"Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche".

P.G.T. (Piano di Governo del Territorio) del Comune di Cremona

"Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica" -

Committente	Documento	Data stampa	Pagina
The Blossom Avenue Partners S.L.: Corso Italia 13, Milano (MI)	Comune di Cremona (CR) Nuovo Polo Logistico in Via Sesto, 72, Cremona (CR) Geologica-Geotecnica e Sismica NTC 2018	Maggio 2025	6 di 71

2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'area in esame è ubicata nel settore occidentale del nucleo urbano di Cremona (Figura 2); il sedime, sul quale attualmente insistono esistenti capannoni industriali (area ex SCAC) è catastalmente individuato al Foglio 20, Mappali 21,22, 23, 25, 27, 28, 33 (Figura 4) del Comune di Cremona e si attesta ad una quota topografica media di piano campagna pari a 47,66 m s.l.m. (dato ricavato da DTM Provincia di Cremona, disponibile al download sul Geoportale della Lombardia).

Figura 1 Inquadramento Generale del sito di Indagine



Committente	Documento	Data stampa	Pagina
The Blossom Avenue Partners S.L.: Corso Italia 13, Milano (MI)	Comune di Cremona (CR) Nuovo Polo Logistico in Via Sesto, 72, Cremona (CR) Geologica-Geotecnica e Sismica NTC 2018	Maggio 2025	7 di 71

Figura 2 – Inquadramento di dettaglio del sito oggetto di indagine



Figura 3 – Inquadramento su base C.T.R. del sito oggetto di indagine



Committente	Documento	Data stampa	Pagina
The Blossom Avenue Partners S.L.: Corso Italia 13, Milano (MI)	Comune di Cremona (CR) Nuovo Polo Logistico in Via Sesto, 72, Cremona (CR) Geologica-Geotecnica e Sismica NTC 2018	Maggio 2025	8 di 71

Figura 4 – Inquadramento catastale del sito in esame



Il progetto prevede la realizzazione di un nuovo polo logistico composto da n. 1 capannone di superficie pari a circa 21'500 m2 con relative pertinenze (parcheggi e aree a verde) e manufatti accessori (vasche di laminazione, stazione antincendio e cabina di trasformazione voltaggio)(Figura 5)

Figura 5 - Inquadramento Progettuale



Committente	Documento	Data stampa	Pagina
The Blossom Avenue Partners S.L.: Corso Italia 13, Milano (MI)	Comune di Cremona (CR) Nuovo Polo Logistico in Via Sesto, 72, Cremona (CR) Geologica-Geotecnica e Sismica NTC 2018	Maggio 2025	9 di 71

3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

3.1 LINEAMENTI GEOLOGICI E GEOMORFOLOGICI

Il sito è iscritto in un contesto di pianura urbanizzata con valori di pendenza topografica estremamente bassi, attestandosi su una percentuale massima del 1.50 %.

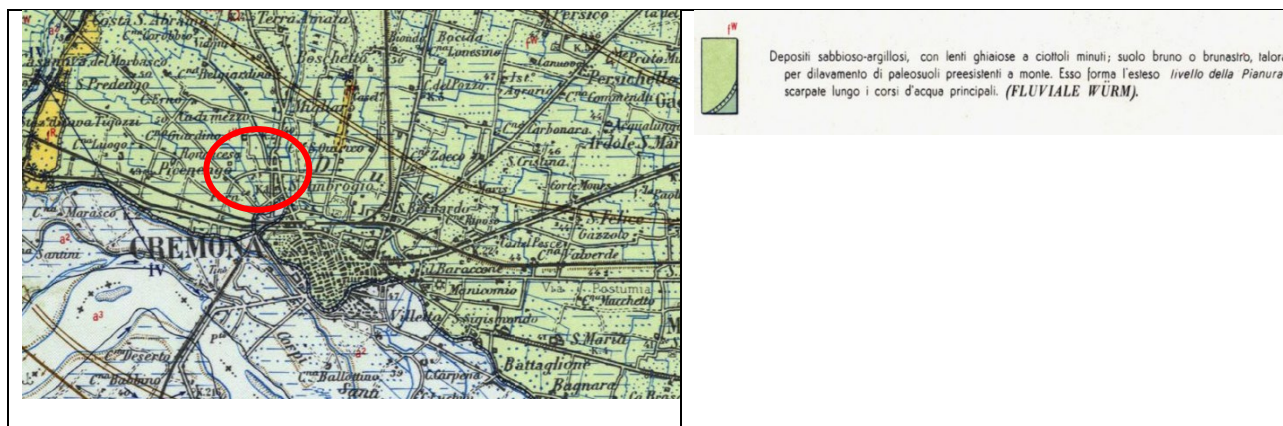
Geologicamente il sito in esame, come da cartografia ricavata da P.G.T. di Cremona, di cui si riporta uno stralcio, si colloca al contatto tra due unità litostratigrafiche di origine fluviale, le unità in esame sono afferenti agli ambiti **5** e **6** dell' *"Unità centro occidentale sabbiosa con limi di copertura"* che la relazione geologica illustrativa del PGT descrive come: "Superfici modestamente ondulate, con alto relativo nell'area di S. Predengo, e pendenze modeste (0,13 %), localmente sensibili (0,3%). Substrati geologici prevalentemente sabbiosi, con frequenti coperture plurimetrische limose e suoli ben drenati a tessiture franche."

3.2 LITOLOGIA DI SUPERFICIE

Dalle osservazioni dirette di campagna e dalle indagini in sito svolte per la redazione del presente elaborato, si è potuto constatare la presenza in superficie di terreni a tessitura fine, di natura limoso sabbiosa.

Il contesto geologico di pertinenza è stato desunto dalla *Carta Geologica d'Italia – Foglio 61 – Cremona*, scala 1: 100.000 (Figura 6): l'area si colloca sulla formazione recente "fluviale Wurmiano", che si espone in dettaglio in Par.3.2.1

Figura 6 Stralcio della Carta Geologica d'Italia – Foglio 61 – CREMONA



Committente	Documento	Data stampa	Pagina
The Blossom Avenue Partners S.L.: Corso Italia 13, Milano (MI)	Comune di Cremona (CR) Nuovo Polo Logistico in Via Sesto, 72, Cremona (CR) Geologica-Geotecnica e Sismica NTC 2018	Maggio 2025	10 di 71

3.2.1 f^W : Fluviale würmiano

Litologicamente la grande pianura del Fluviale würmiano (f^W) varia, da Nord a Sud, per la granulometria decrescente dei suoi componenti, con prevalenza di ghiaie (diametro massimo di 5 centimetri) e sabbie con lenti sabbioso-argilloso-limose, in sinistra del F. Oglio; verso Sud, in sponda destra, le ghiaie scompaiono, e dalla prevalenza litologica a sabbie, si passa a zone argilloso-sabbiose e argilloso-limose. È questo il **livello fondamentale della Pianura**. Il suolo è di colore brunastro, ma talora assume colorazioni rossastre per rimaneggiamento e dilavamento di paleosuoli più antichi preesistenti nelle aree a monte del Foglio. La Pianura che si estende per gran parte del Foglio a Sud della strada Giuseppina (Cremona-Rivarolo M.), è incisa profondamente dai Fiumi Oglio, Strone, Mella, Seriola Gambara e Chiese, e viene attribuita al Fluviale würmiano. Più a Nord nel F° BRESCIA, la bassa Piana a suolo bruno, presenta zone a terreno bruno-rossiccio, dovuto a dilavamento delle argille cariche prealpine o di paleosuoli mindeliani e rissiani dell'Anfiteatro del Garda. Essa infatti si raccorda a monte colle cerchie moreniche più interne, del Würm, risultando pertanto del Fluvioglaciale-Fluviale würmiano.

Tale Fluvioglaciale grossolano, passa ad alluvioni ghiaioso-sabbiose, via via più argillose verso Sud, che provano traslati di depositi fluviali, molto lontani ormai dalle fronti glaciali testimoniate dalle cerchie moreniche (Fo 48 «PESCHIERA DEL GARDA» e «Note Illustrative», 1969).

Verso Sud, il passaggio dal Fluviale würmiano all'Olocene, con Alluvioni antiche (a^2) e medio-recenti (a^{2r}), è nettamente distinguibile nella zona di Cremona, in corrispondenza dell'attuale scarpata tra Cava Tigozzi (limite occidentale del Foglio) e Gerre de' Caprioli (6 km SE di Cremona). Nella parte orientale del Foglio, il passaggio diventa graduale e sfuma nell' a^{21} , nella zona di Pieve d'Olmi, ed addirittura nell' a^{22} più ad Est; ciò è dovuto al fatto che le alluvioni del Po hanno ormai condotto ad annullato la scarpata che segnava il limite inferiore del f^W . La stessa scarpata si ritrova ad Est del Foglio, subito ad oriente di Rivaloro Mantovano e prosegue per Civile, Spineda, Commessaggio, sino a raccordarsi con quella dell'Oglio, alla sua confluenza con il Po (Fo «MANTOVA»).

Ad occidente del Fo CREMONA tale scarpata è presente, in sinistra del Po, fino a Torino del d'Olio. Più ad oriente, essa manca per diversi fattori più o meno concomitanti:

Committente	Documento	Data stampa	Pagina
The Blossom Avenue Partners S.L.: Corso Italia 13, Milano (MI)	Comune di Cremona (CR) Nuovo Polo Logistico in Via Sesto, 72, Cremona (CR) Geologica-Geotecnica e Sismica NTC 2018	Maggio 2025	11 di 71

1. Il F. Oglio, da Gerre de' Caprioli a Commessaggio, durante il Fluvioglaciale-Fluviale würmiano, poteva formare un'estesa conoide, che neutralizzava l'azione erosiva del Po, e lo sospingeva e deviava più a Sud.
2. L'attuale andamento dell'Oglio, nel suo tratto inferiore sospinto oriente e subparallelo al Po, potrebbe essere connesso con l'innalzamento finale delle strutture di Piacenza e di Cremona, che si sarebbe verificato fino all'epoca più recente. La debole dorsale ed i pozzi A.G.I.P. indicati sul Foglio proverebbero tale interpretazione.

Figura 7 – Estratto della tavola "Carte Geologica" PGT di Cremona



A causa delle modalità di formazione dei depositi descritti, è comune osservare una locale variazione delle granulometrie, in senso sia verticale che orizzontale. A ciò si aggiungono le variazioni ed i rimaneggiamenti di origine antropica che hanno alterato l'assetto stratigrafico originario, almeno nei livelli più superficiali (max 1 m da p.c.) i quali possono essere sovrastati da spessori anche non esigui di materiali di riporto, come

Committente	Documento	Data stampa	Pagina
The Blossom Avenue Partners S.L.: Corso Italia 13, Milano (MI)	Comune di Cremona (CR) Nuovo Polo Logistico in Via Sesto, 72, Cremona (CR) Geologica-Geotecnica e Sismica NTC 2018	Maggio 2025	12 di 71

si evince sia dai risultati delle prove penetrometriche, come da Par. 9 per la ricostruzione del modello geologico-geotecnico di riferimento.

4 INQUADRAMENTO IDROGRAFICO-IDROGEOLOGICO

4.1 RETICOLO IDROGRAFICO SUPERFICIALE

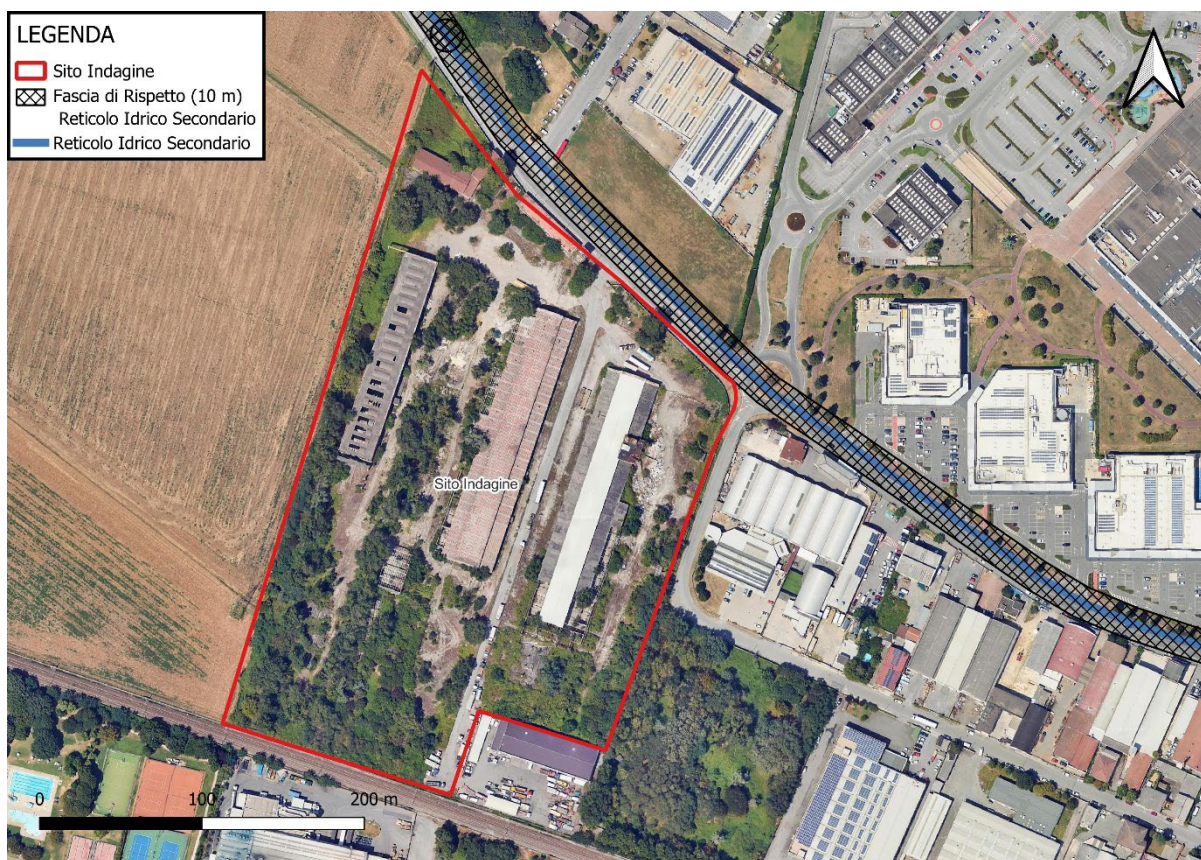
In relazione all'idrografia di superficie a grande scala non si riscontrano elementi idrici superficiali afferenti al reticolo idrico principale. In riferimento alle fasce fluviali relative alla cartografia P.A.I., l'area in esame risulta **esterna** alle tre fasce fluviali individuate (fascia A - porzione dell'alveo che è sede di deflusso in caso di piena ordinaria, fascia B - area di esondazione protetta da opere di difesa, fascia C - area di inondazione per piena catastrofica). (Figura 13)

Più nel dettaglio tale porzione di pianura risulta caratterizzata dalla presenza di una rete di rogge e canali minori tra queste si segnala in particolare la Roggia Malcorrente Gabbanina che scorre a circa 20 m in direzione Nord rispetto al sito in esame. Tale distanza è sufficiente per escludere sovrapposizioni tra il sito in esame e la fascia di rispetto (ampiezza 10 m) dalla Roggia.

Di seguito si espone un'immagine con dettaglio dell'ubicazione della roggia rispetto al sito in esame.

Committente	Documento	Data stampa	Pagina
The Blossom Avenue Partners S.L.: Corso Italia 13, Milano (MI)	Comune di Cremona (CR) Nuovo Polo Logistico in Via Sesto, 72, Cremona (CR) Geologica-Geotecnica e Sismica NTC 2018	Maggio 2025	13 di 71

Figura 8 – Elaborazione dello shapefile R.I.R.U. – Geoportale Lombardia



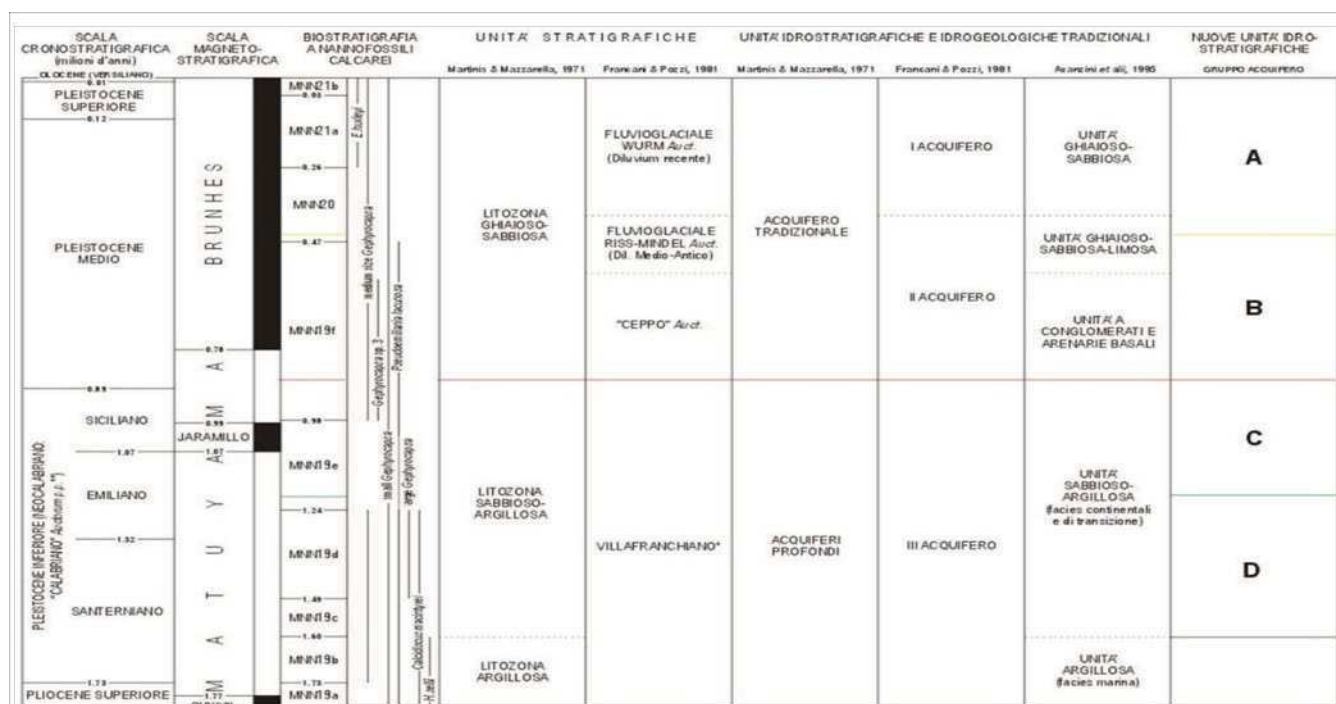
4.2 ASSETTO IDROGEOLOGICO A VASTA SCALA

A livello generale si può definire la successione sedimentaria del bacino padano come una successione a carattere regressivo, ovvero si passa da sedimenti di mare profondo a sedimenti continentali con due direzioni principali, una assiale rispetto al bacino padano e diretta verso Est, originata dal paleo-delta del Po, e la seconda trasversale, con direzione di avanzamento verso Sud-Est, determinata dai sistemi deltizi ad alimentazione alpina (Regione Lombardia & ENI Divisione Agip, 2002).

Committente	Documento	Data stampa	Pagina
The Blossom Avenue Partners S.L.: Corso Italia 13, Milano (MI)	Comune di Cremona (CR) Nuovo Polo Logistico in Via Sesto, 72, Cremona (CR) Geologica-Geotecnica e Sismica NTC 2018	Maggio 2025	14 di 71

La successione sedimentaria in epigrafe è tipicamente costituita alla base da depositi torbiditici di mare profondo cui fanno seguito depositi di scarpata, piattaforma esterna, litorali, deltizi/lagunari e infine fluviali e fluvioglaciali. Con l'analisi sequenziale sono stati individuati 4 limiti di sequenza (superfici) riconoscibili e seguibili a livello di bacino; questi limiti delimitano altrettante unità idrostratigrafiche principali che, a loro volta, sono formate da gruppi di acquiferi denominati, dal più superficiale al più profondo, A, B, C, e D. L'architettura interna di ciascuna unità è caratterizzata da corpi sedimentari a granulometria prevalentemente grossolana passanti a granulometria prevalentemente fine organizzati in sequenze verticali con alternanze cicliche; queste sequenze hanno spessori che variano da pochi metri per quelle di ordine gerarchico inferiore ad alcune decine di metri per quelli superiori (Regione Lombardia & ENI Divisione

Figura 9 - Schema dei rapporti stratigrafici nella Pianura Padana.



Agip, 2002).

Sono messe a confronto le unità idrostratigrafiche definite più recentemente con le unità idrostratigrafiche, idrogeologiche e stratigrafiche di Autori precedenti (da Regione Lombardia & ENI Divisione Agip, 2002).

Il modello idrogeologico dell'area afferente all'intero Comune di Cremona è stato ricostruito integrando informazioni stratigrafiche e/o caratterizzazioni idrodinamiche reperite o effettuate dagli autori, relative ad opere di captazione pubbliche e private, con i dati estratti dagli studi idrogeologici più autorevoli e aggiornati

Committente	Documento	Data stampa	Pagina
The Blossom Avenue Partners S.L.: Corso Italia 13, Milano (MI)	Comune di Cremona (CR) Nuovo Polo Logistico in Via Sesto, 72, Cremona (CR) Geologica-Geotecnica e Sismica NTC 2018	Maggio 2025	15 di 71

relativi agli acquiferi padani della regione Lombardia, di seguito sintetizzati. Nella schematizzazione idrostratigrafica si è tenuto conto della suddivisione in unità idrostratigrafiche proposta nel 1995 da Avanzini M., Beretta G.P., Francani V. e Nespoli M., che prevede, dall'alto verso il basso:

- Unità ghiaioso-sabbiosa, costituita da facies fluviali dell'Olocene-Pleistocene Superiore;
- Unità sabbioso-ghiaiosa, costituita da facies fluviali del Pleistocene Medio;
- Unità a conglomerati e arenarie, costituita da facies fluviali del Pleistocene Inferiore;
- Unità sabbioso-argillosa, costituita da facies continentali e transizionali, riconducibili a Pleistocene Inferiore, al Villafranchiano Superiore e Medio Auctorum p.p.;
- Unità argillosa, costituita da facies marine riconducibili al Pleistocene Inferiore e al Calabriano Auctorum p.p.

4.2.1 CLASSIFICAZIONE DEI GRUPPI ACQUIFERI

La ricostruzione della struttura idrogeologica dell'area di studio è stata effettuata avvalendosi di dati stratigrafici di pozzi pubblici e privati del territorio secondo direzioni E-W e N-S, in modo da definire la distribuzione orizzontale e verticale dei corpi litologici e l'andamento della superficie piezometrica dell'acquifero superiore. Le unità idrogeologiche individuate, la cui distribuzione in profondità è stata confrontata con i dati della pubblicazione "Eni-Regione Lombardia", non coincidono, se non in un caso, con i limiti tra le unità idrogeologiche e idrostratigrafiche tradizionali. In particolare, il gruppo acquifero A, quello più superficiale, comprende una parte della unità ghiaioso-sabbiosa di Avanzini et al. (1995) e, di conseguenza, la parte superiore di quello che era definito il II acquifero da Francani e Pozzi (1981).

Il gruppo acquifero B, invece, ha come limite di base la marcata differenziazione litologica che già aveva permesso di distinguere l'acquifero tradizionale dagli acquiferi profondi (Martinis e Mazzarella, 1971) o il II e III acquifero di Francani e Pozzi (1981) o l'unità sabbioso argillosa (sottostante) dalle unità conglomeratiche (sovrastanti) di Avanzini et al (1995). Si noti, inoltre, la differente attribuzione di età per la superficie di base che per Regione Lombardia & ENI Divisione Agip (2002) è compresa nel Pleistocene medio mentre per Avanzini et al. (1995) è del Pleistocene inferiore.

I gruppi acquiferi C e D corrispondono agli "acquiferi profondi" tradizionali; nel gruppo C, superiore, si riconosce una sequenza di sedimenti con predominanza di sabbie fini, silt e argilla, in cui si hanno facies sia marine che transizionali e continentali organizzate in due distinti cicli regressivi intervallati da un ciclo

Committente	Documento	Data stampa	Pagina
The Blossom Avenue Partners S.L.: Corso Italia 13, Milano (MI)	Comune di Cremona (CR) Nuovo Polo Logistico in Via Sesto, 72, Cremona (CR) Geologica-Geotecnica e Sismica NTC 2018	Maggio 2025	16 di 71

trasgressivo tutti compresi nel Pleistocene medio. Il gruppo D, invece, è costituito da argille e silt con intercalate sabbie e ghiaie attribuite a delta conoidi.

Figura 10 - Unità idrostratigrafiche tradizionali e gruppi acquiferi A, B, C e D (Giudici 2007).

Chronostratigraphic scale (10 ⁶ year)		Traditional hydrostratigraphic units		Aquifer groups
0.01	Olocene	Traditional aquifer	Gravel-sandy unit	A
0.12	Upper Pleistocene		Gravel-sandy-silty unit	
0.89	Middle Pleistocene		Conglomerate and basal sandstones unit	B
		Deep aquifers	Sandy-silty unit (continental and transitional facies)	C
1.73	Lower Pleistocene		Silty-clay unit (marine facies)	D
	Upper Pliocene			

Si succedono, dalla più superficiale alla più profonda, secondo il seguente schema:

Gruppo Acquifero A E' presente con continuità in tutto il territorio ed è costituito da depositi di ambiente continentale in facies fluvioglaciale/fluviatile di tipo braided. Dal punto di vista litologico sono presenti sedimenti prevalentemente grossolani ad elevata porosità e permeabilità (ghiaie a matrice sabbiosa medio grossolana con subordinati intervalli sabbiosi da medi a molto grossolani) con intercalazioni di lenti e livelli limosi e limoso-argillosi generalmente privi di continuità laterale ma con spessori variabili plurimetrici; lo spessore medio dell'unità è di circa 40-45 m con approfondimento a 50-60 m nei settori orientali. L'unità è sede dell'acquifero superiore ("primo acquifero) di tipo libero o localmente semiconfinato, caratterizzato da

soggiacenze variabili da <1 a 15 m circa da piano campagna, ed è tradizionalmente captata dai pozzi di captazione a scopo idropotabile di vecchia realizzazione e da pozzi privati.

Gruppo Acquifero B E' presente con continuità in tutto il territorio esaminato ed è costituito da depositi in facies fluvioglaciale/fluviatile di tipo braided. Litologicamente è composta prevalentemente da sabbie medio-grossolane, sabbie ciottolose e ghiaie a matrice sabbiosa con locali lenti cementate conglomeratiche o arenitiche e con intercalazioni di sedimenti fini limoso-argillosi. L'unità al tetto è separata dalla precedente da livelli scarsamente permeabili con discreta continuità areale che conferiscono agli acquiferi in essa contenuti un carattere di semiconfinamento. Lo spessore complessivo del gruppo è variabile da 40 a 60 m in approfondimento verso S. La base dell'unità si rinviene nell'area in esame a quote di circa 60 / 40 m s.l.m. L'unità è sede dell'acquifero superiore ("secondo acquifero") tradizionalmente captato da pozzi di più antica realizzazione, con carattere da libero a semiconfinato. La maggior parte dei pozzi di Segrate captano gli acquiferi contenuti in tale unità tra le profondità complessivamente comprese tra 44 e 95 m da p.c. Gruppo Acquifero C E' presente con continuità in tutto il territorio esaminato ed è costituito da depositi in facies continentale/transizionale deltizia. Litologicamente è costituito da sabbie da fini a medie e argille limose con orizzonti torbosi a cui si intercalano livelli ghiaioso-sabbiosi a maggiore permeabilità. Lo spessore complessivo è sconosciuto in quanto il limite inferiore non è stato raggiunto dalle perforazioni dei pozzi più profondi presenti nell'area. Nei livelli permeabili sono presenti acquiferi intermedi e profondi, di tipo confinato, la cui vulnerabilità è mitigata dalla presenza a tetto di strati argillosi arealmente continui, ma non sono da escludere collegamenti ed alimentazione da parte dell'acquifero libero superiore ad alta vulnerabilità.

Gruppo Acquifero C E' presente con continuità in tutto il territorio esaminato ed è costituito da depositi in facies continentale/transizionale deltizia. Litologicamente è costituito da sabbie da fini a medie e argille limose con orizzonti torbosi a cui si intercalano livelli ghiaioso-sabbiosi a maggiore permeabilità. Lo spessore complessivo è sconosciuto in quanto il limite inferiore non è stato raggiunto dalle perforazioni dei pozzi più profondi presenti nell'area. Nei livelli permeabili sono presenti acquiferi intermedi e profondi, di tipo confinato, la cui vulnerabilità è mitigata dalla presenza a tetto di strati argillosi arealmente continui, ma non sono da escludere collegamenti ed alimentazione da parte dell'acquifero libero superiore ad alta vulnerabilità.

Committente	Documento	Data stampa	Pagina
The Blossom Avenue Partners S.L.: Corso Italia 13, Milano (MI)	Comune di Cremona (CR) Nuovo Polo Logistico in Via Sesto, 72, Cremona (CR) Geologica-Geotecnica e Sismica NTC 2018	Maggio 2025	18 di 71

Committente	Documento	Data stampa	Pagina
The Blossom Avenue Partners S.L.: Corso Italia 13, Milano (MI)	Comune di Cremona (CR) Nuovo Polo Logistico in Via Sesto, 72, Cremona (CR) Geologica-Geotecnica e Sismica NTC 2018	Maggio 2025	19 di 71

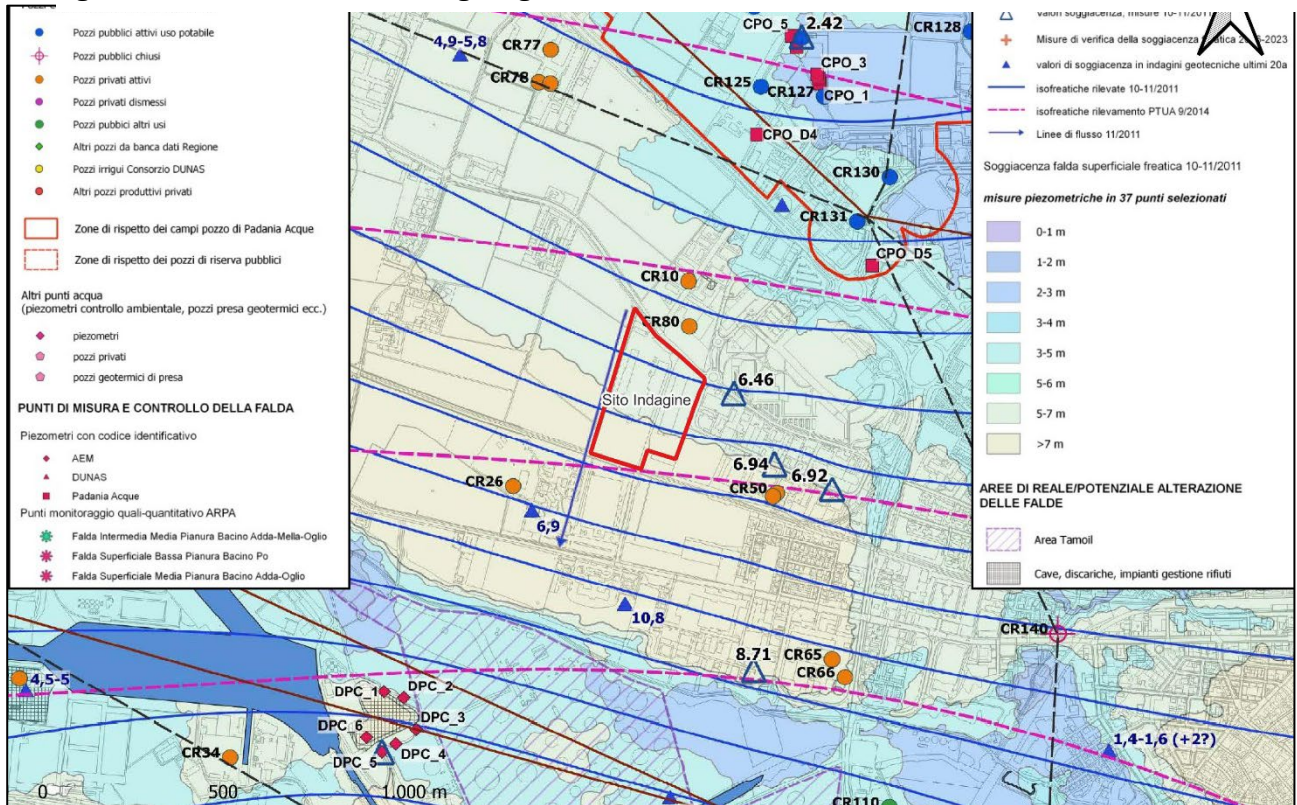
5 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO SITOSPECIFICO

Con il fine di inquadrare a livello generale il contesto idrogeologico del sito in esame, è stata consultata la tavola "G_Tavola 3a Idrogeologia" facente parte della componente geologica del PGT del comune di Cremona.

Tale documento, riporta l'andamento delle isopiezometriche della falda freatica, c.d. superficiale.

Di seguito si espone uno stralcio della Tavola di interesse.

Figura 11 – Stralcio della Carta Idrogeologica del PGT di Cremona con evidenza del sito in esame.



Dalla disamina del documento esposto, si evince che al sito, al netto di una quota topografica media di 47,66 m s.l.m., vista la quota isofreatica prossima pari a 41 m s.l.m., è attribuibile una soggiacenza di circa 7m da p.c.

Si segnala che in data 23/11/2024 è stato misurato il livello di falda in corrispondenza di un piezometro esistente situato nella porzione nord-occidentale del sedime: tale valore risultava pari a -6.70 metri dall'attuale piano campagna, dato coerente con quanto desunto sinora.

Committente	Documento	Data stampa	Pagina
The Blossom Avenue Partners S.L.: Corso Italia 13, Milano (MI)	Comune di Cremona (CR) Nuovo Polo Logistico in Via Sesto, 72, Cremona (CR) Geologica-Geotecnica e Sismica NTC 2018	Maggio 2025	20 di 71

6 CARTOGRAFIA P.G.R.A.

Nella cartografia *P.G.R.A.-Po* (Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Po), redatta in riferimento al D.Lgs. n.49 del 23.02.2010 ed attuativo della Direttiva Europea 2007/60/CE, revisione 2022 (Figura 12), la cui mappatura è resa disponibile sul Geoportale di Regione Lombardia; il sito risulta esterno alle aree allagabili individuate con scenari di pericolosità P1-L, P2-M e P3-H e conseguentemente alle aree a rischio R1, R2, R3 ed R4.

Figura 12 - Estratto della cartografia del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni del Po (Geoportale della Lombardia).



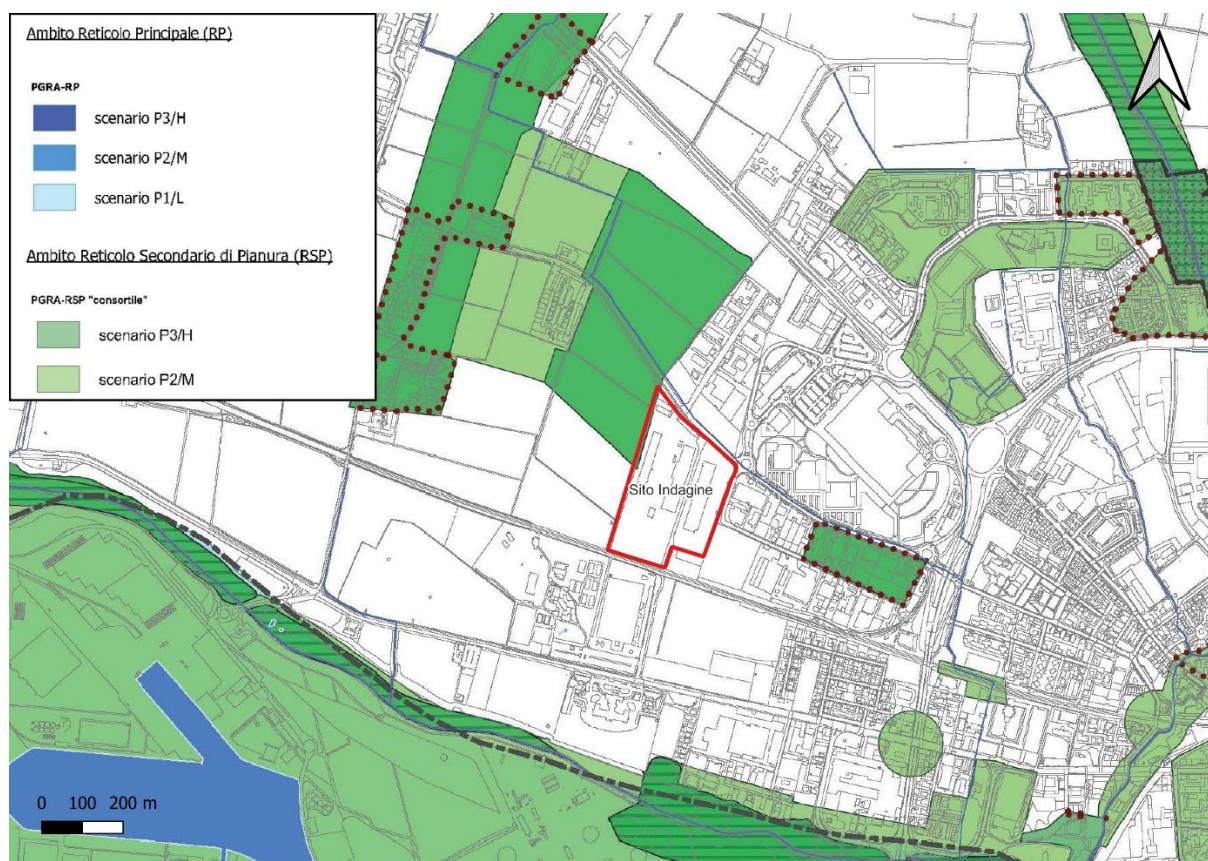
L'area confina in direzione Ovest- Nord Ovest con un sito con scenario di pericolosità RSC – Pericolosità Media senza tuttavia rientrare nel suo perimetro. Questo elemento ha delle conseguenze riguardo la zonazione vincolistica del sito, che sarà trattata con maggior dettaglio in Par. 7.

Committente	Documento	Data stampa	Pagina
The Blossom Avenue Partners S.L.: Corso Italia 13, Milano (MI)	Comune di Cremona (CR) Nuovo Polo Logistico in Via Sesto, 72, Cremona (CR) Geologica-Geotecnica e Sismica NTC 2018	Maggio 2025	21 di 71

7 FATTIBILITÀ - VINCOLI GEOLOGICI, IDROGEOLOGICI E IDRAULICI

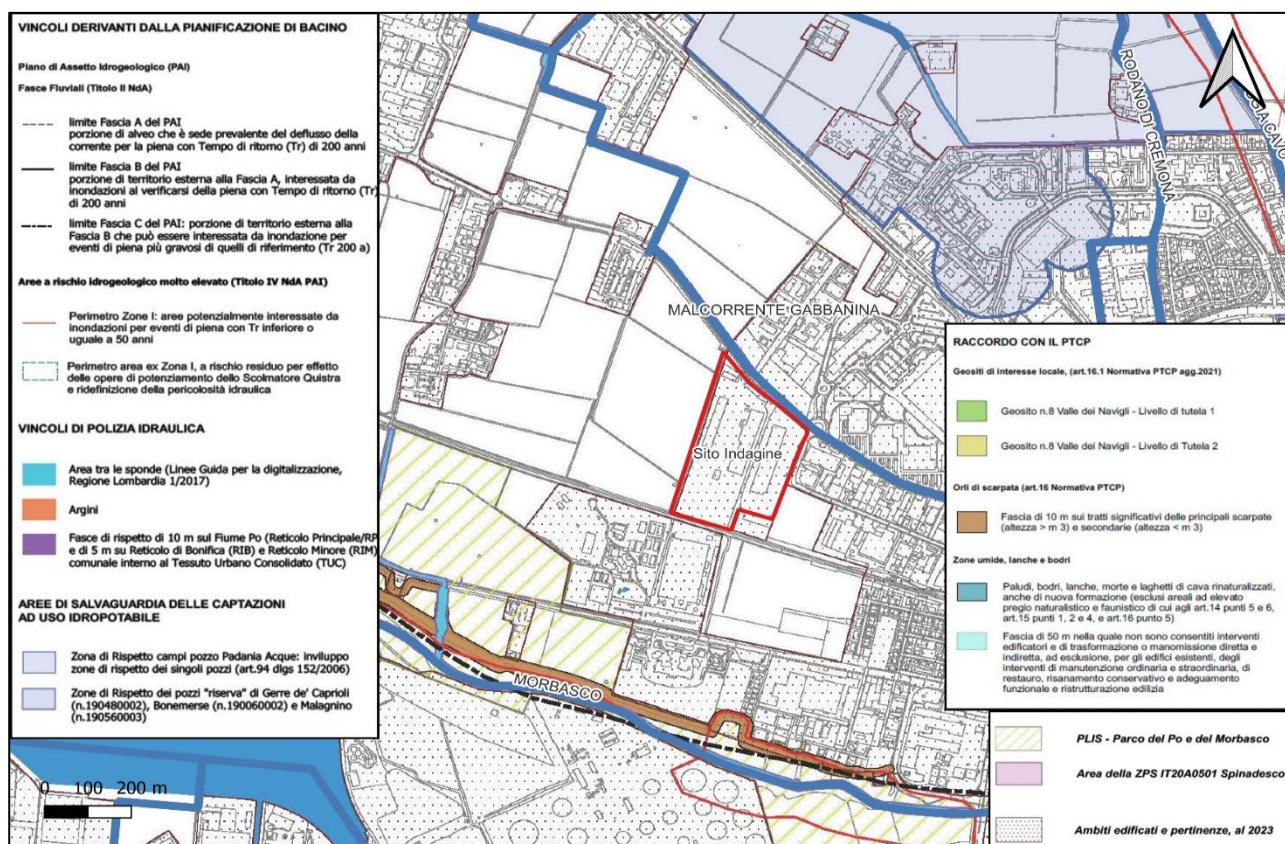
L'area in esame non ricade entro aree sottoposte a vincolo idrogeologico e/o idraulico, come riportato nella cartografia geologico-tecnica di riferimento. In particolare, nelle tavole "P.A.I." (Figura 13) e "Carta dei vincoli" (Figura 14) pertinente lo Studio Geologico a supporto del P.G.T. comunale l'area risulta esterna a qualsiasi vincolo segnalato di tale natura. Tuttavia, come esposto in Par. 6, l'area confina a nord ovest con un sito sede di "scenario P3/H" per quanto riguarda la pericolosità da alluvione/esondazione per il reticolo secondario di pianura. Tale categorizzazione si riflette sulla vincolistica, come visibile in Figura 14, in cui il sito ricade interamente in un'area classificata come "Ambiti Edificati – Costruito e relative pertinenze". Di seguito si illustrano gli stralci delle tavole citate.

Figura 13 - Estratto della Tavola "P.A.I." del PGT di Cremona



Committente	Documento	Data stampa	Pagina
The Blossom Avenue Partners S.L.: Corso Italia 13, Milano (MI)	Comune di Cremona (CR) Nuovo Polo Logistico in Via Sesto, 72, Cremona (CR) Geologica-Geotecnica e Sismica NTC 2018	Maggio 2025	22 di 71

Figura 14 Estratto Carta dei vincoli (P.G.T. Comune di Cremona).



A tal proposito, le N.t.A. del Piano delle Regole del Comune di Cremona si esprimono in tal senso: “

Indicazioni generali

Queste aree identificano le porzioni di pianura, esterne alle Zone I, per le quali è stata valutata una pericolosità idraulica H_3 o H_4 , secondo l'All.4 d.g.r.2616/2011. Sono aree per la metà a pericolosità P_2/M del PGRA e per l'altra metà a pericolosità maggiori, P_3/H . La migliore definizione delle pericolosità ha determinato la modifica di alcuni poligoni PGRA – P_3/H e la aggiunta di altri.

Dove le aree della sottoclasse, di pericolosità H_3 o H_4 , rimangono comprese all'interno degli ambiti edificati (costruito e pertinenze), si determinano condizioni di rischio idraulico elevato R_4 , indicato come R_3 , valore massimo, se valutato con lo schema interpretativo del PGRA.

Limitazioni compresenti diffuse sono rappresentate dalla scarsa profondità della falda freatica, anche a meno di 3 metri da piano campagna, e in subordine da falda idrica a profondità di poco superiore, substrati a caratteri geotecnici scadenti e presenza di aree a forte alterazione storica dei terreni.

Committente	Documento	Data stampa	Pagina
The Blossom Avenue Partners S.L.: Corso Italia 13, Milano (MI)	Comune di Cremona (CR) Nuovo Polo Logistico in Via Sesto, 72, Cremona (CR) Geologica-Geotecnica e Sismica NTC 2018	Maggio 2025	23 di 71

*In queste aree, allo stato attuale, sono ammessi tutti gli interventi, previa verifica, da effettuare prima della progettazione, del reale livello di rischio idraulico esistente e dell'impatto che l'intervento comporterà sulla situazione pregressa. **L'ammissibilità degli interventi è dunque, in questo caso, condizionata dall'esito delle verifiche obbligatorie;** Sono esclusi dalle verifiche gli interventi che non comportano occupazione di volumi esondabili, che non creano modificazioni al regime idraulico nell'area allagabile e non determinano aumento del carico insediativo. In questi casi gli interventi devono essere accompagnati da una asseverazione del progettista che attesti le condizioni di esclusione.*

Il soggetto attuatore è comunque tenuto a sottoscrivere un atto liberatorio che escluda ogni responsabilità della Amministrazione Pubblica in ordine agli eventuali futuri danni derivanti dal dissesto segnalato."

Il sito in esame, sebbene sia ubicato nelle immediate adiacenze di un'area ricadente in sottoclasse P3/H, non vi rientra: ciò esclude il sito in esame da verifiche puntuali e rende ammissibile l'intervento in progetto, fatte salve le opportune cautele da adottare.

Nella *Carta della fattibilità geologica* (Figura 15) l'area in esame è classificata nella Classe 1 di Fattibilità Geologica, "fattibilità senza particolari limitazioni". ovvero una condizione di fattibilità che richiedono una serie di cautele e di attenzioni generali valide per ogni classe di fattibilità. Di seguito si espone integralmente il relativo articolo (Art. 8) delle N.t.A. del P.G.T. di Cremona:

"Norme Tecniche Costruzioni

In ottemperanza a quanto previsto dal d.m. 20 febbraio 2018 ogni intervento deve essere accompagnato da una valutazione geologico – geotecnica volta alla determinazione dei caratteri litotecnici dell'area, in particolare della capacità portante dei terreni e dei cedimenti previsti.

Gli interventi di nuova costruzione, ristrutturazione edilizia, restauro conservativo e manutenzione straordinaria che comportano rilevanti modifiche strutturali ad edifici esistenti, devono pertanto essere supportati da apposita relazione geologico tecnica redatta a seguito di:

- *indagini geognostiche volte a determinare i caratteri geotecnici del terreno di fondazione. Lo spessore del terreno indagato sarà funzionale al tipo di fondazione e alle dimensioni dell'intervento;*
- *determinazione della Velocità di propagazione delle onde di taglio nei 30 m di sottosuolo presenti al di sotto della fondazione (V_{s30}), meglio se con indagini specifiche, o, in alternativa alle V_s , analisi della risposta sismica locale.*

Committente	Documento	Data stampa	Pagina
The Blossom Avenue Partners S.L.: Corso Italia 13, Milano (MI)	Comune di Cremona (CR) Nuovo Polo Logistico in Via Sesto, 72, Cremona (CR) Geologica-Geotecnica e Sismica NTC 2018	Maggio 2025	24 di 71

La relazione dovrà, soprattutto nel caso di scavi di dimensioni significative, verificare anche la stabilità dei fronti di scavo ed eventualmente indicare la tipologia e il dimensionamento delle opere di sostegno necessarie. Inoltre, data la scarsa soggiacenza della falda idrica in tutto il territorio comunale, la valutazione geologico tecnica degli interventi che interessano il sottosuolo oltre 3 – 5 m di profondità, dovrà considerare la possibilità di interferenza con la falda stessa.

Prove, indagini e valutazioni sono finalizzate alla scelta della tipologia costruttiva e al dimensionamento delle strutture e delle fondazioni, e sono subordinate alla definizione di un quadro geologico di dettaglio dell'area indagata.

Oltre alle indicazioni contenute nel d.m. 20/2/2018, dal momento della loro entrata in vigore, nelle aree di classe 1 occorre applicare alcune specifiche costruttive e approfondimenti di indagine per la mitigazione del rischio, indicate come "prescrizioni". Gestione acque drenaggio urbano

Ad ogni intervento trasformativo a carico di aree appartenenti alla classe 1, si applicano le disposizioni delle NTA del Programma di Tutela e Uso delle Acque 2017, e le disposizioni applicative del regolamento regionale 7/2017, di applicazione dell'art.7 della l.r.4/2016 (invarianza idraulica e idrologica). E' introdotto pertanto l'obbligo di adeguare comunque gli scarichi idrici nei recettori agli standard già introdotti dal precedente PTUA 2006: cioè 20 l/s*Ha di superficie scolante impermeabile, per nuovi insediamenti, e 40 l/s*Ha per le aree già urbanizzate.

A partire dalla pubblicazione del Regolamento "invarianza idraulica" (BURL supplemento n.48 del 27/11/2017), e scaduti i sei mesi successivi, con o senza recepimento delle nuove norme di applicazione nel Regolamento edilizio comunale, vige l'obbligo di rispetto degli standard più restrittivi previsti dalla seguente tabella (art.8 del Regolamento)

- | |
|--|
| a) per le aree A di cui al comma 3 dell'articolo 7: 10 l/s per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento; |
| b) per le aree B di cui al comma 3 dell'articolo 7: 20 l/s per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento; |
| c) per le aree C di cui al comma 3 dell'articolo 7: 20 l/s per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento. |

e di applicazione ad ogni progetto di trasformazione che comporti una riduzione della permeabilità del terreno rispetto alla situazione originaria, pre-urbanizzazione, delle misure di invarianza idraulica e idrologica classificate secondo la tabella di cui all'art.9 e successivamente progettate e realizzate secondo i criteri tecnici previsti agli Art. 10 e 11 del Regolamento regionale Invarianza Idraulica, fatti salvi i casi di procedure urbanistiche ed edilizie già avviate, ai sensi dell'art. 17 del r.r.7/2017.

Committente	Documento	Data stampa	Pagina
The Blossom Avenue Partners S.L.: Corso Italia 13, Milano (MI)	Comune di Cremona (CR) Nuovo Polo Logistico in Via Sesto, 72, Cremona (CR) Geologica-Geotecnica e Sismica NTC 2018	Maggio 2025	25 di 71

E' confermata, comunque, la classificazione dell'intero territorio di Cremona nelle aree definite "B - Ambiti territoriali a media criticità", per le quali si adotta il livello intermedio di cautele nella gestione delle acque prodotte dai bacini scolanti.

Ciò significa che solo nel caso di interventi a impatto molto modesto, che cioè riguardino complessivamente superfici inferiori a 100 m², è possibile adottare misure semplificate di I.I.I. per il calcolo dei volumi di laminazione delle acque di scarico. I volumi minimi da prevedere sono pari a 600 m³/Ha di superficie scolante impermeabile, come indicato dall'art. 12 del Regolamento. In alternativa è consentito un sistema di scarico sul suolo o primo sottosuolo o, per il caso di Cremona, di scarico diretto nel Fiume Po.

In ogni caso, tutti gli interventi di trasformazione che comportino riduzione della permeabilità del suolo e siano dunque obbligati alla adozione di misure di I.I.I., dovranno tenere conto e adeguare la progettazione delle misure ai contenuti, indicazioni e prescrizioni, eventualmente più vincolanti o specifiche, derivate dallo "Studio comunale di gestione del rischio idraulico" (ScGRI) approvato con Deliberazione C.C. n16/2023.

Questi documenti di analisi e programmazione, ferme restando le disposizioni regionali e gli standard obbligatori, indicano soluzioni preferibili e indirizzi tecnici adattati alla situazione reale del territorio di Cremona.

3. In ogni caso, per ogni disposizione tecnica e prescrizione in esso contenuta, si deve fare riferimento al testo integrale e originale del Regolamento e al suo formale recepimento nel Regolamento Edilizio Comunale, utilizzando le presenti note come richiamo alla specifica normativa.

Verifiche sismiche

Il Comune di Cremona ricade in zona sismica 3 (sismicità bassa) L'intero territorio comunale presenta scenari di pericolosità sismica locale Z4a, Z2a e Z2b .

Per le aree ricadenti in PSL Z4 la valutazione del 2° livello di approfondimento previsto dall'Allegato 5 alla DGR IX/2616 2011, dimostra che Fa calcolato è minore al valore soglia comunale indicato dalla Regione Lombardia.

Pertanto le nuove costruzioni previste in aree a PSL Z4 non necessitano del 3° livello di approfondimento previsti dall'Allegato 5 alla DGR IX/2616 2011.

Per le aree ricadenti in PSL Z2 invece è necessario effettuare, in fase progettuale, il 3° livello di approfondimento richiesto dalla succitata normativa.

Per tutti i casi di ambiguità, dove è segnalata la coesistenza di due PSL diversi, sarà compito del geologo individuare quale dei due scenari è predominante, successivamente a valutazioni locali di carattere puntuale

Committente	Documento	Data stampa	Pagina
The Blossom Avenue Partners S.L.: Corso Italia 13, Milano (MI)	Comune di Cremona (CR) Nuovo Polo Logistico in Via Sesto, 72, Cremona (CR) Geologica-Geotecnica e Sismica NTC 2018	Maggio 2025	26 di 71

che tengano in considerazione anche il tipo di intervento proposto.

Il terzo livello di approfondimento è sempre obbligatorio per costruzioni il cui uso prevede affollamenti significativi, industrie con attività pericolose per l'ambiente, reti viarie e ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza e costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, e sociali essenziali

Valori di soglia				
Periodo	Tipo di Suolo			
	B	C	D	E
0.1-0.5 s	1.4	1.8	2.1	1.9
0.5-1.5 s	1.7	2.4	4.0	3.0

Valori soglia per il Comune di Cremona (Regione Lombardia)

Ai sensi della l.r. 33/2015 si ricorda inoltre che:

- per i comuni in zona 3: obbligo del deposito della documentazione relativa al progetto prima dell'avvio dei lavori
- attività di controllo sistematico degli interventi relativi a opere o edifici pubblici o, in genere, edifici destinati a servizi pubblici essenziali, ovvero progetti relativi ad opere, comunque, di particolare rilevanza sociale o destinate allo svolgimento di attività, che possono risultare, in caso di evento sismico, pericolose per la collettività
- attività di controllo su tutti gli altri tipi di edifici in tutte le zone sismiche.

Sono comunque da effettuarsi le indagini previste dal DM 20 febbraio 2018 al Paragrafo 7.11.

Anche in questo caso, gli approfondimenti di indagine indicati per tutte le classi di fattibilità geologica, limitatamente agli interventi ammissibili, devono essere realizzati prima della progettazione degli interventi, in quanto propedeutici alla pianificazione degli stessi e alla progettazione.

Ulteriori prescrizioni

Nel caso di interventi in aree già a destinazione produttiva, è obbligatorio procedere all'analisi delle matrici ambientali attraverso la predisposizione di un Piano di Indagine Ambientale finalizzato all'individuazione di eventuali alterazioni dello stato dei suoli e/o delle acque dovute alla attività produttiva stessa. Tale Piano dovrà essere sottoposto alla Autorità competente. Tutti gli interventi che prevedono scavi e movimenti terra sono soggetti alle prescrizioni dell'art. 186 del D.Lgs. 152/2006."

Committente	Documento	Data stampa	Pagina
The Blossom Avenue Partners S.L.: Corso Italia 13, Milano (MI)	Comune di Cremona (CR) Nuovo Polo Logistico in Via Sesto, 72, Cremona (CR) Geologica-Geotecnica e Sismica NTC 2018	Maggio 2025	27 di 71

Figura 15 - Estratto Carta della fattibilità geologica (P.G.T. Comune di Cremona).



Sulla base di quanto sopra indicato, dal punto di vista della fattibilità geologica, l'area è giudicata idonea ad accogliere l'intervento edificatorio programmato, fatte salve le prescrizioni generali di carattere geologico-geotecnico, idraulico e sismico appena esposte, da rispettare per ogni classe di fattibilità

8 PIANO DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE

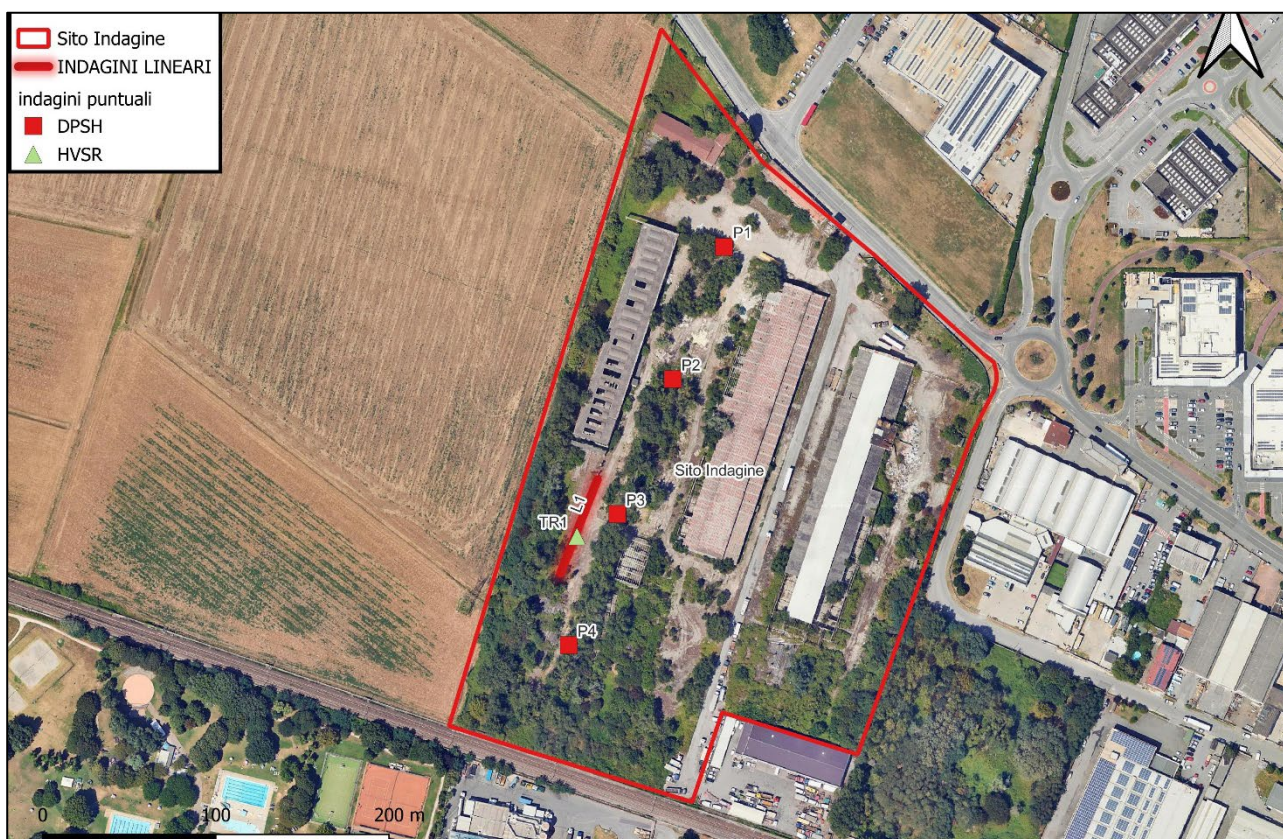
La campagna di indagine geognostica è stata predisposta con lo scopo di definire l'assetto stratigrafico dei terreni, di definirne le caratteristiche geotecniche, di determinare ove possibile il livello della falda freatica nel sito e di effettuare la caratterizzazione sismica di dettaglio. Relativamente alla attuale fase progettuale, è stata predisposta la campagna di indagine geognostica, che è consistita nella esecuzione di:

Committente	Documento	Data stampa	Pagina
The Blossom Avenue Partners S.L.: Corso Italia 13, Milano (MI)	Comune di Cremona (CR) Nuovo Polo Logistico in Via Sesto, 72, Cremona (CR) Geologica-Geotecnica e Sismica NTC 2018	Maggio 2025	28 di 71

- n.4 prove penetrometriche dinamiche (D.P.S.H.), spinte a prof. massima di 13.80 m (verticale P₄) dall'attuale p.c. e tutte sono state concluse per rifiuto strumentale.
- n.1 prova sismica attiva con metodologia M.A.S.W. per la definizione della categoria di sottosuolo sulla base della V_{seq} ai sensi delle N.T.C. 2018
- n. 1 prova sismica passiva con metodologia H.V.S.R., per definire la frequenza di risonanza propria del sito di interesse.

L'ubicazione delle indagini è riportata nella figura seguente (Figura 16).

Figura 16 - Ubicazione delle indagini



Committente	Documento	Data stampa	Pagina
The Blossom Avenue Partners S.L.: Corso Italia 13, Milano (MI)	Comune di Cremona (CR) Nuovo Polo Logistico in Via Sesto, 72, Cremona (CR) Geologica-Geotecnica e Sismica NTC 2018	Maggio 2025	29 di 71

8.1 PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

Per l'acquisizione dei dati è stato impiegato un penetrometro semovente statico-dinamico PAGANI modello TG 63-150, dotato di opportuni elicoidi di ancoraggio e punta meccanica Begemann per le prove statiche e di sgancio automatico per le prove dinamiche.

L'esecuzione delle prove dinamiche ha comportato la verifica del numero di colpi N del maglio necessari per infiggere verticalmente nel terreno, per intervalli consecutivi della lunghezza di 20 cm, l'apposita punta conica collegata ad una batteria di aste. Le caratteristiche tecniche dell'attrezzatura in modalità dinamica sono le seguenti:

<i>Peso della massa battente</i>	<i>63.5 Kg</i>
<i>Altezza di caduta</i>	<i>75 cm</i>
<i>Superficie della punta</i>	<i>20 cm²</i>
<i>Diametro della punta</i>	<i>51 mm, con conicità 90°</i>
<i>Diametro delle aste</i>	<i>32 mm</i>
<i>Peso delle aste</i>	<i>6.31 Kg/m</i>
<i>Passo infissione</i>	<i>20 cm</i>

I risultati riscontrati in campagna vengono visualizzati attraverso grafici che riportano per ogni verticale di prova:

- il numero di colpi N_{20} necessari per avanzamenti della punta di 20 cm;
- i valori di resistenza dinamica alla punta (R_{pd}) assimilabili ai valori di R_p .
- i valori di resistenza N_{SPT} ricavati dai valori di N_{20} tramite la correlazione $N_{SPT} = 1.47 \cdot N_{20}$.

8.2 PROVA SISMICA ATTIVA M.A.S.W.

L'indagine sismica è stata condotta utilizzando la metodologia M.A.S.W. (Multi Channel Analysis of Surface Waves) attivo e passivo, ai sensi del D.M. 17.01.2018, che consente la determinazione diretta della velocità delle onde trasversali (Onde di taglio - onde Sh/Sv). Il metodo utilizzato sfrutta le onde di superficie (onde di

Committente	Documento	Data stampa	Pagina
The Blossom Avenue Partners S.L.: Corso Italia 13, Milano (MI)	Comune di Cremona (CR) Nuovo Polo Logistico in Via Sesto, 72, Cremona (CR) Geologica-Geotecnica e Sismica NTC 2018	Maggio 2025	30 di 71

Rayleigh) e il fenomeno della dispersione delle stesse, sulla base della variazione della velocità di fase con il variare della frequenza.

Si è optato per l'analisi delle onde di superficie dal momento che tale tecnica ha dimostrato ampiamente la sua affidabilità e la capacità risolutiva.

La prova è stata eseguita utilizzando un sismografo multicanale ad incrementi di segnale, della P.A.S.I. mod. GEA24 a 24 canali, con le seguenti specifiche tecniche:

-Canali:	24
-Formato dati:	SEG-2 (.dat),
-Tempi campionamento:	6000ms
-Filtri digitali:	Passa alto (25÷400 Hz) Passa Basso (100÷250 Hz) Notch (50÷180 Hz)
-Attivazione filtri:	manualmente
-Trigger:	inibizione impulsi dovuti a rimbalzi

Per le possibilità operative presenti nel sito di intervento, la base M.A.S.W., comprensiva del punto di shot, è stata improntata con la geometria sotto indicata:

Numero geofoni	12
Geometria spaziatura geofoni	Shot con trigger + 0,0-5,0-10,0-15,0-20,0-25,0-30,0-35,0-40,0-45,0-50,0-55,0-60,0 metri
Lunghezza stendimento geofonico	60,0 m

I dati acquisiti dai rilievi in sito sono stati quindi elaborati, sulla taratura dei profili di resistenza delle prove penetrometriche e del sondaggio, ed è quindi stato possibile ricostruire un modello Vs/profondità attendibile.

Qualora necessario, in fase di elaborazione, è possibile effettuare il picking della curva Velocità/frequenza per il solo modo fondamentale di vibrazione, oppure per diversi modi di vibrazione.

8.3 PROVA SISMICA PASSIVA HVSR

L'indagine sismica è stata condotta utilizzando un tomografo digitale PASI, della serie "Gemini"; si tratta di un sismografo di piccole dimensioni, contenente tre sensori elettrodinamici ortogonali tra loro (velocimetri), che possono lavorare sul range frequenziale tra 0,1 – 512 Hz.

Committente	Documento	Data stampa	Pagina
The Blossom Avenue Partners S.L.: Corso Italia 13, Milano (MI)	Comune di Cremona (CR) Nuovo Polo Logistico in Via Sesto, 72, Cremona (CR) Geologica-Geotecnica e Sismica NTC 2018	Maggio 2025	31 di 71

L'indagine geofisica proposta si avvale del "metodo di Nakamura", basato sullo studio dei valori medi del rapporto di ampiezza fra le componenti spettrali orizzontali e verticali del rumore sismico.

In particolare, oggetto di analisi è la cosiddetta "funzione H/V" che rappresenta i rapporti spettrali medi in funzione della frequenza di vibrazione. Il valore di tale rapporto è direttamente correlato con la frequenza di risonanza determinata dal passaggio tra due strati con una differenza significativa del contrasto di impedenza (velocità delle onde e densità del materiale).

I dati vengono memorizzati in una scheda di memoria interna da 512 Mb, evitando così la presenza di qualsiasi cavo che possa introdurre rumore meccanico ed elettronico.

I dati ottenuti sono convertiti in file ASCII mediante software "WinMASW 3C 7.2 beta", fornito a supporto dello strumento utilizzato, quindi elaborati per ottenere spettri di velocità in funzione della frequenza.

In fase operativa si sono seguite le seguenti operazioni:

- il rumore sismico è stato registrato nelle sue tre componenti per un tempo di 60';
- la registrazione è stata suddivisa in intervalli della durata di 20 secondi ciascuno;
- per ogni segmento viene eseguita un'analisi spettrale del segmento nelle sue tre componenti;
- per ciascun segmento si calcolano i rapporti spettrali tra le componenti del moto sui piani orizzontale e verticale;
- vengono calcolati i rapporti spettrali medi su tutti i segmenti.

Per considerare la misura ottenuta come una stima dell'ellitticità delle onde di Rayleigh è necessario che:

- i rapporti H/V ottenuti sperimentalmente siano "stabili" ovvero frutto di un campionamento statistico adeguato;
- gli effetti di sorgente siano stati effettivamente mediati ovvero non ci siano state sorgenti "dominanti";
- la misura non contenga errori sistematici (esempio un cattivo accoppiamento strumento-terreno).

Per la determinazione delle velocità delle onde di taglio è stato utilizzato un codice di calcolo appositamente creato per interpretare i rapporti spettrali (HVSr), basati sulla simulazione del campo di onde di superficie (Rayleigh e Love) in sistemi multistrato a strati piani e paralleli secondo la teoria descritta in AKI (1964) e Ben-Menahem e Singh (1981). Operativamente si costruisce un modello teorico HVSr avente tante discontinuità sismiche quante sono le discontinuità evidenziate dalla registrazione eseguita;

Committente	Documento	Data stampa	Pagina
The Blossom Avenue Partners S.L.: Corso Italia 13, Milano (MI)	Comune di Cremona (CR) Nuovo Polo Logistico in Via Sesto, 72, Cremona (CR) Geologica-Geotecnica e Sismica NTC 2018	Maggio 2025	32 di 71

successivamente, tramite specifico algoritmo, si adatta la curva teorica a quella sperimentale. In questo modo si otterranno gli spessori dei sismostrati con la relativa velocità delle onde VS.

Nel presente lavoro, quindi, si sfrutterà la teoria di Nakamura che relaziona lo spettro di risposta del substrato roccioso (rapporto spettrale H/V) con quello effettivamente misurato in superficie.

Considerando due strati con differente impedenza acustica, la frequenza di risonanza (f_r) è legata allo spessore e alla velocità delle onde di taglio V_s del primo strato dalla seguente relazione:

$$f_r = V_{s1} / 4 h_1$$

dove: V_{s1} = velocità delle onde S del primo strato; h_1 = spessore primo strato.

Nakamura (1989) ha inoltre dimostrato che i massimi dei rapporti spettrali H/V consentono di individuare correttamente la frequenza e quindi il periodo fondamentale di risonanza per le onde S.

9 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

L'insieme dei dati attualmente disponibili, derivanti dalle indagini geognostiche (D.P.S.H., M.A.S.W., H.V.S.R.) ed i rilevamenti eseguiti in sito oltre che dall'esame di indagini geognostiche già eseguite nelle vicinanze dell'area di intervento, ha consentito di definire uno schema nel quale si identificano degli orizzonti litostratigrafici sovrapposti, aventi parametri litologici e geomeccanici specifici.

Le variazioni dei parametri $N_{S.P.T.}$, $N_{D.P.S.H.}$, R_{pd} , e V_{seq} rilevate lungo le singole verticali di indagine sono normalmente riconducibili sia a cambiamenti geolitologici e granulometrici dei terreni attraversati che al diverso stato di addensamento o consistenza degli stessi.

9.1 MODALITÀ DI INTERPRETAZIONE PROVE PENETROMETRICHE

Al fine di determinare le caratteristiche geotecniche dei terreni sono state condotte n.8 prove penetrometriche dinamiche DPSH. La prova consiste nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta conica di dimensioni standard, infissa per battitura nel terreno per tratti consecutivi di 20cm, per mezzo di un dispositivo di percussione e misurando il numero di colpi necessari. Le n.4 prove sono state eseguite da piano campagna fino alla profondità massima di -15m da p.c.

Committente	Documento	Data stampa	Pagina
The Blossom Avenue Partners S.L.: Corso Italia 13, Milano (MI)	Comune di Cremona (CR) Nuovo Polo Logistico in Via Sesto, 72, Cremona (CR) Geologica-Geotecnica e Sismica NTC 2018	Maggio 2025	33 di 71

Le risultanze dell'interpretazione dei dati di campo sono riportati in allegato alla presente relazione.

Correlazione con Nspt

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più diffusi ed economici per ricavare informazioni dal sottosuolo, la maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi Nspt ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con Nspt. Il passaggio viene dato da:

$$NSPT = \beta_t \cdot N$$

Dove:

$$\beta_t = \frac{Q}{Q_{SPT}}$$

in cui Q è l'energia specifica per colpo e Qspt è quella riferita alla prova SPT.

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

$$Q = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot \delta \cdot (M + M')}$$

in cui

- M peso massa battente.
- M' peso aste.
- H altezza di caduta.
- A area base punta conica.
- d passo di avanzamento.

Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd

Formula Olandesi

$$Rpd = \frac{M^2 \cdot H}{[A \cdot e \cdot (M + P)]} = \frac{M^2 \cdot H \cdot N}{[A \cdot \delta \cdot (M + P)]}$$

- Rpd resistenza dinamica punta (area A).
- e infissione media per colpo (d/ N).
- M peso massa battente (altezza caduta H).

Committente	Documento	Data stampa	Pagina
The Blossom Avenue Partners S.L.: Corso Italia 13, Milano (MI)	Comune di Cremona (CR) Nuovo Polo Logistico in Via Sesto, 72, Cremona (CR) Geologica-Geotecnica e Sismica NTC 2018	Maggio 2025	34 di 71

P peso totale aste e sistema battuta.

Calcolo di $(N_1)_{60}$

$(N_1)_{60}$ è il numero di colpi normalizzato definito come segue:

$$(N_1)_{60} = CN \cdot N_{60} \text{ con } CN = \sqrt{(Pa/\sigma_{vo})} \quad CN < 1.7 \quad Pa = 101.32 \text{ kPa} \quad (Liao \text{ e } Whitman 1986)$$

$$N_{60} = N_{SPT} \cdot (ER/60) \cdot C_s \cdot C_r \cdot C_d$$

ER/60 rendimento del sistema di infissione normalizzato al 60%.

C_s parametro funzione della controcamicia (1.2 se assente).

C_d funzione del diametro del foro (1 se compreso tra 65-115mm).

C_r parametro di correzione funzione della lunghezza delle aste.

Metodologia di Elaborazione.

Il calcolo del rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT) è stato effettuato tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini (1983) - Meyerhof (1956) - Desai (1968) - Borowczyk-Frankowsky (1981).

Valutazioni statistiche e correlazioni

Elaborazione Statistica

È stata effettuata l'elaborazione statistica dei dati numerici delle DPSH, utilizzando nel calcolo dei valori rappresentativi dello strato considerato un valore inferiore o maggiore della media aritmetica dello strato (dato comunque maggiormente utilizzato); i valori possibili in immissione sono:

Distribuzione normale R.N.C.: Il valore di $N_{spt,k}$ viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, trattando i valori medi di N_{spt} distribuiti normalmente:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}}) / \sqrt{n}$$

Committente	Documento	Data stampa	Pagina
The Blossom Avenue Partners S.L.: Corso Italia 13, Milano (MI)	Comune di Cremona (CR) Nuovo Polo Logistico in Via Sesto, 72, Cremona (CR) Geologica-Geotecnica e Sismica NTC 2018	Maggio 2025	35 di 71

dove n è il numero di letture.

Correzione N_{spt} in presenza di falda

$$N_{spt\ corretto} = 15 + 0.5 \cdot (N_{spt} - 15)$$

N_{spt} è il valore medio nello strato

La correzione viene applicata in presenza di falda solo se il numero di colpi è maggiore di 15 (la correzione viene eseguita se tutto lo strato è in falda).

9.2 DEFINIZIONE DELLE LITOZONE

Con il ricorso a inevitabili schematizzazioni il modello litostratigrafico locale può essere così proposto:

Litozona A:

Materiali di riporto afferenti a lavorazioni/sistemazioni preesistenti, di natura granulare; $N_{S.P.T.}$ medio pari a **25**–

Litozona B

Sabbie limose di origine fluviale poco addensate con valori $N_{S.P.T.}$ medio pari a **5**.

Litozona C

Argille medio- compatte con $N_{S.P.T.}$ medio pari a **11**;

Litozona D

Sabbie da fini a medie in matrice fine limoargillosa con $N_{S.P.T.}$ medio pari a **18**.

Litozona E:

Sabbie fini in matrice limoargillosa - $N_{S.P.T.}$ medio pari a **35**.

Si segnala che le litozone appena esposte sono state intercettate lungo tutte le verticali d'indagine.

Committente	Documento	Data stampa	Pagina
The Blossom Avenue Partners S.L.: Corso Italia 13, Milano (MI)	Comune di Cremona (CR) Nuovo Polo Logistico in Via Sesto, 72, Cremona (CR) Geologica-Geotecnica e Sismica NTC 2018	Maggio 2025	36 di 71

Con riferimento alla quota di inizio prova (corrispondente al piano campagna alla data di esecuzione delle indagini), i rapporti stratigrafici nei diversi punti di indagine possono essere così schematizzati:

Tabella 1 – Profondità interfacce strati riferite al piano campagna al momento delle prospezioni.

Punto di indagine n°		D.P.S.H. P ₁	D.P.S.H. P ₂	D.P.S.H. P ₃	D.P.S.H. P ₄
Quota inizio indagine (m s.l.m.)		47.31	47.39	47.45	47.58
Prof. da <u>piano di indagine</u> interfaccia strati (m)	A-B	-0.60	-0.80	-0.80	-0.80
	B-C	-3.80	-2.60	-2.60	-2.800
	C-D	-5.00	-5.20	-4.20	-5.80
	D-E	-10.60	-10.20	-11.00	-9.80
Prof. fine prova (m da piano prova) – RIFIUTO STRUMENTALE		-12.40	-12.60	-13.20	-13.80

Durante l'esecuzione dell'indagine (novembre 2024) non è stato possibile riscontrare un'evidenza diretta della presenza d'acqua e quindi della soggiacenza sitospecifica, in quanto il foro di esecuzione della prova non presentava condizioni ottimali per l'inserimento di adeguata sonda freatimetrica. Tuttavia, è stata riscontrata la presenza di umidità nelle aste del penetrometro, per cui il fattore correttivo per la presenza di falda verrà applicata secondo principio empirico, basando le conoscenze sulla profondità della falda secondo quanto reperito in bibliografia e comunque in coerenza con quanto al Par. 5

10 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

La definizione dei parametri geotecnici che caratterizzano gli strati di terreno investigati è stata eseguita basandosi sui risultati delle indagini eseguite nell'area di intervento, utilizzando le principali correlazioni semi-empiriche e sperimentali note in letteratura. Al modello litostratigrafico proposto si possono attribuire i valori riportati nella seguente tabella, determinati mediante una valutazione statistica cautelativa sia dei valori medi che dei valori minimi utilizzando il metodo di calcolo del 5° percentile.

Tabella 2 - Principali indici geotecnici suddivisi per litozona

LITOZONA		A	B	C	D	E
Comportamento geotecnico		Granulare	Granulare	Coesivo	Granulare	Granulare
Valori medi di $N_{D.P.S.H.}$		17	4	8	13	24-
Valori medi di $N_{1(60)}$		36	27	14-	17	25
Peso di volume secco γ [t/m ³]	γ_k stima della media	1.90	1,75	2.0	/	-
	γ_k stima del minimo	1.90	1,75	2.0	/	-
Peso di volume immerso γ_i [t/m ³]	$\gamma_{i,k}$ stima della media	-	-	-	1.90	1.90
	$\gamma_{i,k}$ stima del minimo	-	-	-	1.90	1.90
Densità relativa D_r [%]	$D_{r,k}$ stima della media	68%	41%	44%	53%	60%
	$D_{r,k}$ stima del minimo	38%	26%	26%	39%	34%
Coesione non drenata C_u [Kg/cm ²]	$C_{u,k}$ stima della media	-	-	-		-
	$C_{u,k}$ stima del minimo	-	-	-		-
Coesione efficace c' [Kg/cm ²]	c'_k stima della media	0.0	0.0	0.0		0.0
	c'_k stima del minimo	0.0	0.0	0.0		0.0
Angolo di attrito efficace ϕ' [°]	ϕ'_k stima della media	41°	27°	32°	33°	37°
	ϕ'_k stima del minimo	28°	24°	25°	29°	27°
Modulo Edometrico M [Kg/cm ²]	M_k stima della media	50	105	48	450	875
Modulo Elastico E [Kg/cm ²]	E_k stima della media	539.384	215.924	300.511	369.429	537.251
	E_k stima del minimo	224.637	173.127	192.869	276.667	244.667
Modulo Elastico non drenato E_u [Kg/cm ²]	$E_{u,k}$ stima della media	-	-	-		-
	$E_{u,k}$ stima del minimo	-	-	-		-
	v_k stima della media	0.30	0.35	0.40	0.25	0.20

Coefficiente di Poisson ν	ν_k stima del minimo	0.25	0.30	0.35	0.20	0.15
----------------------------------	-----------------------------	------	------	------	------	------

I valori sopra riportati sono stati determinati mediante una valutazione statistica cautelativa sia dei valori medi che dei valori minimi utilizzando il metodo di calcolo del 5° percentile:

- F_k (stima della media) = $\mu + t^{5\%} \cdot s / \sqrt{n}$
- F_k (stima del minimo) = $\mu \cdot [1 - 1.645 \cdot C.O.V.]$

μ = media dei valori; $t^{5\%}$ = t di student al 5° percentile; s = deviazione standard dei valori

n = numero di valori; C.O.V. = coefficiente di variazione pari a s / μ

I parametri così derivati sono da considerare validi per gli scopi prefissati dalla presente indagine, per una loro definizione di maggior dettaglio sarà invece necessario ricorrere ad ulteriori e più specifiche indagini in sito ed analisi di laboratorio su campioni di terreno indisturbati.

Per la scelta dei parametri da utilizzare in fase di progettazione esecutiva si fa riferimento a quanto indicato nella Circolare n.7 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici 21.01.19 *"Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»» di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018"*, ovvero che è giustificato l'utilizzo dei valori caratteristici derivanti dall'approccio di calcolo statistico mediante la stima cautelativa dei valori medi quando l'opera interessa un elevato volume di terreno, con possibile compensazione delle eterogeneità o quando la struttura stessa è dotata di rigidità sufficiente a trasferire le azioni dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti, mentre si dovranno utilizzare quali valori caratteristici quelli derivanti dall'approccio di calcolo statistico mediante la stima cautelativa dei valori minimi nel caso in cui siano coinvolti modesti volumi di terreno, con concentrazione delle deformazioni o nel caso in cui la struttura non sia in grado di trasferire forze dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti a causa della sua insufficiente rigidità.

Figura 17 – Distribuzione del numero di colpi normalizzati S.P.T. in relazione alla profondità

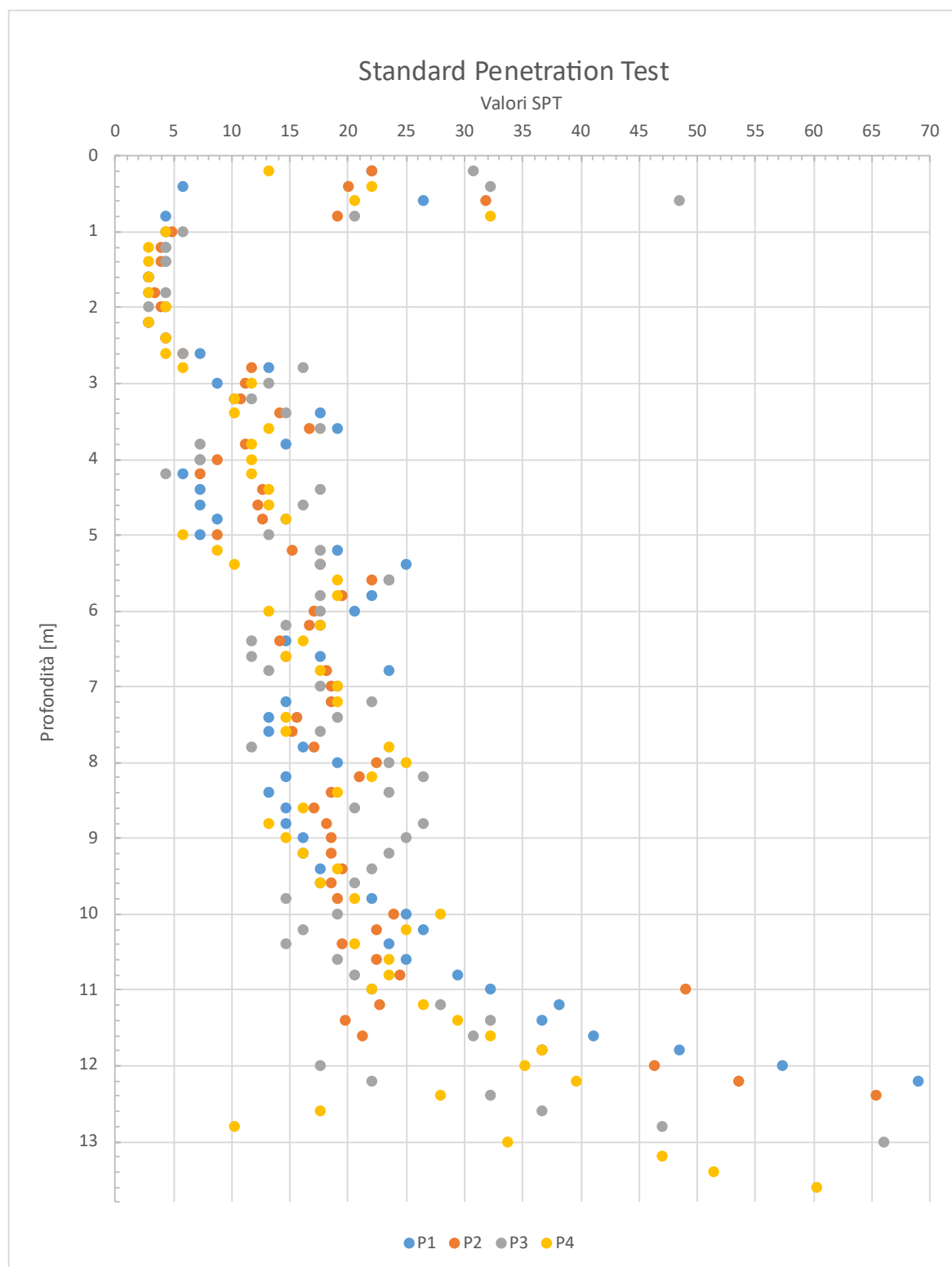


Figura 18 - Distribuzione della Densità relativa in relazione alla profondità

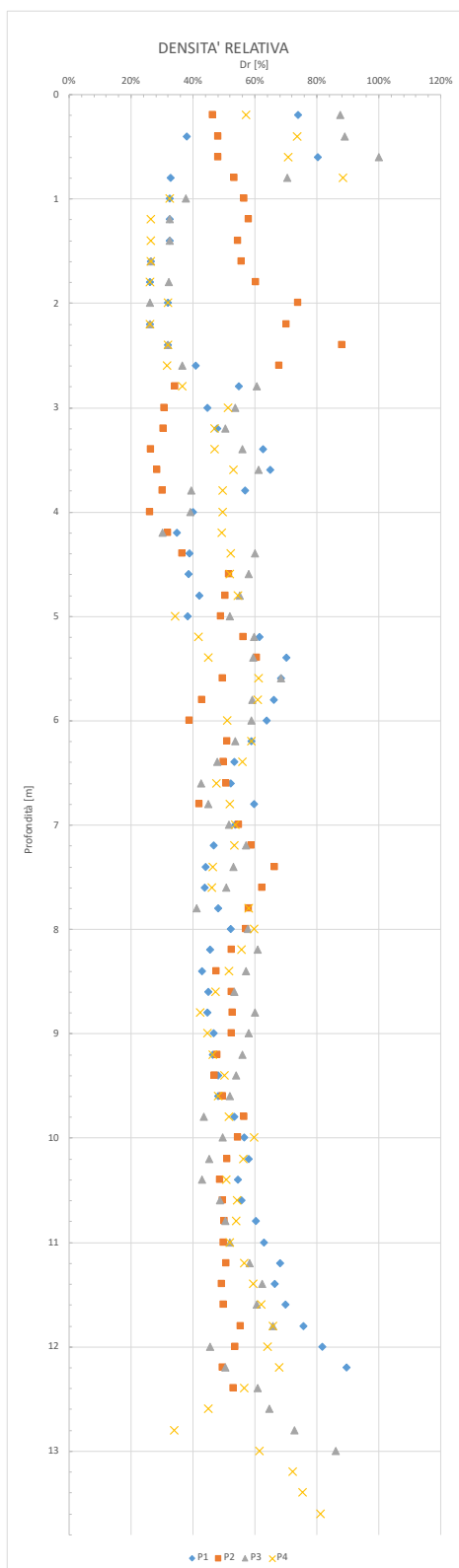


Figura 19 - distribuzione dell'angolo di attrito interno in relazione alla profondità

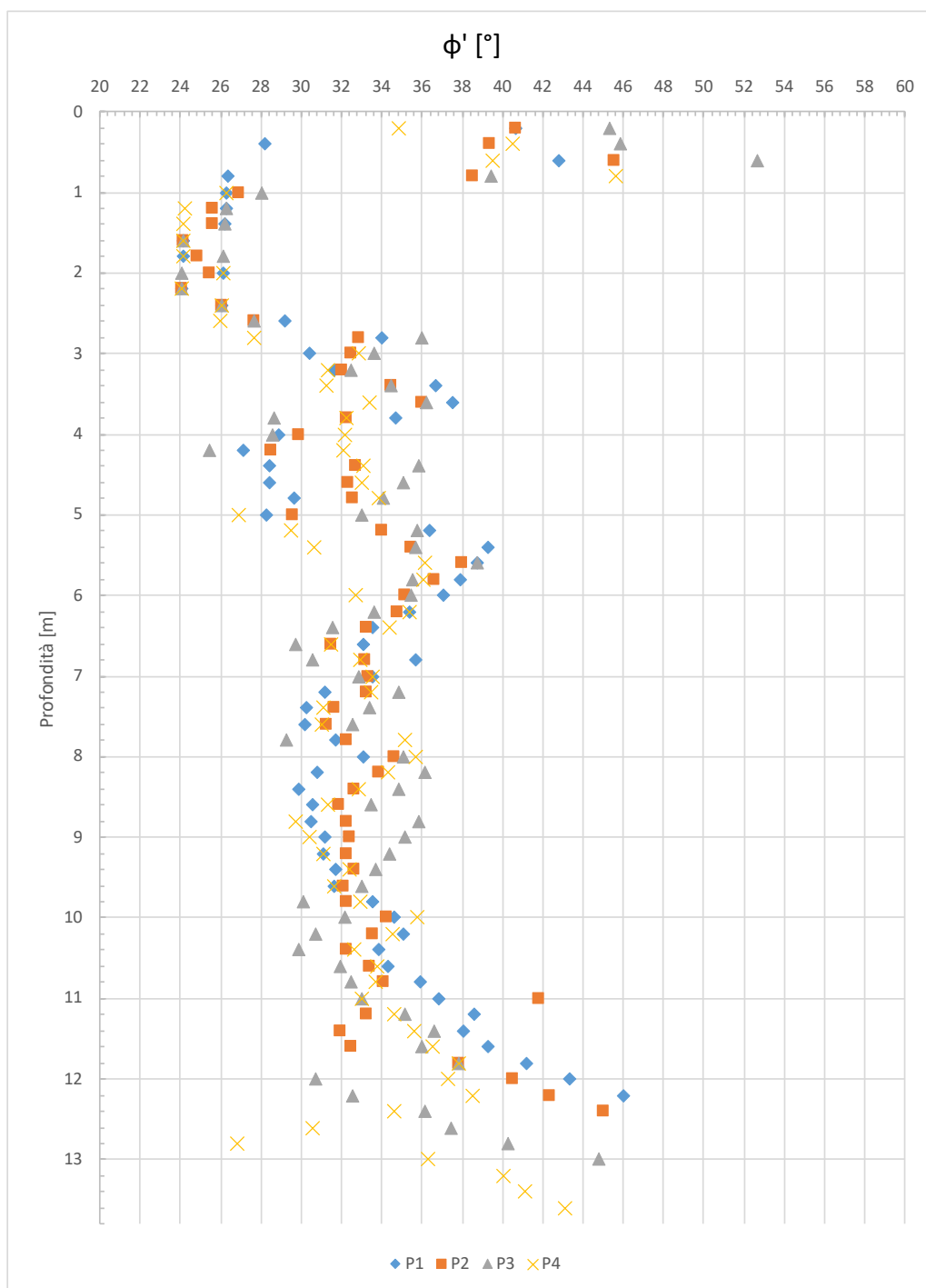
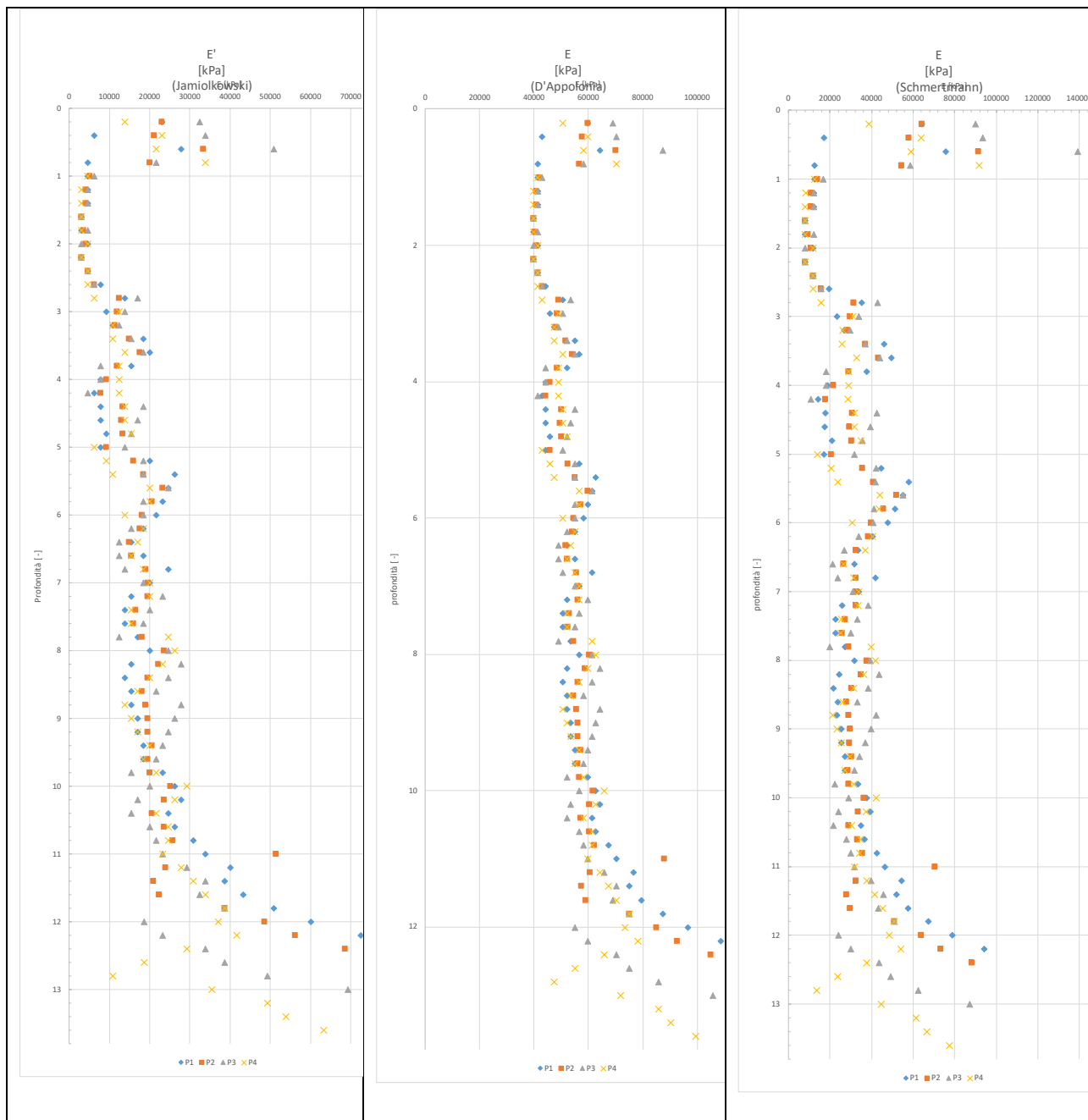


Figura 20- andamento del modulo elastico con la profondità secondo i principali autori



11 CARATTERIZZAZIONE GEOFISICA DEL SITO

11.1 INDAGINE SISMICA ATTIVA M.A.S.W. – MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES

L'acquisizione di campagna è stata condotta con il sismografo Pasi modello Gea 24 con possibilità di stack degli impulsi sismici, filtraggio digitale programmabile (per la riduzione dei rumori) e guadagno automatico del segnale (in ampiezza).

Sono stati utilizzati n.12 geofoni verticali da 4.5 Hz spaziati di 4m con offset a 4m di distanza dal primo geofono, l'energizzazione è avvenuta tramite mazza del peso di 10 Kg.

Per avere un'approfondita Analisi Multicanale delle Onde di Superficie (M.A.S.W.), il dataset è stato ottenuto mediante le seguenti modalità di acquisizione:

- Dataset Onde Rayleigh componente verticale (ZVF)
 - n.12 geofoni verticali da 4.5 Hz
 - Energizzazione verticale su piastra quadrata in lega di alluminio

L'elaborazione è stata eseguita tramite il software WinMASW 3C 7.2 beta e nell'analisi sono stati scelti i dataset migliori acquisiti scegliendo il più rappresentativo per le Onde di Rayleigh (ZVF). Una volta individuato il dataset da utilizzare è stato determinato lo spettro di velocità e successivamente è stata effettuata la modellazione.

È necessario sottolineare che l'interpretazione delle indagini geofisiche viene fatta nell'ipotesi che gli strati del sottosuolo siano omogenei, orizzontali e con superfici di separazione piano parallele. Si rammenta infine come, in ogni caso, la valutazione delle

Committente	Documento	Data stampa	Pagina
The Blossom Avenue Partners S.L.: Corso Italia 13, Milano (MI)	Comune di Cremona (CR) Nuovo Polo Logistico in Via Sesto, 72, Cremona (CR) Geologica-Geotecnica e Sismica NTC 2018	Maggio 2025	44 di 71

velocità e degli spessori dei singoli strati viene effettuata con un margine di incertezza, insita proprio nei metodi geofisici, che si aggira attorno al 10-15%.

11.2 SISMICA PASSIVA A STAZIONE SINGOLA – H.V.S.R. – H/V SPECTRAL RATIO

Si tratta di una metodologia sismica passiva, finalizzata alla determinazione dei valori di frequenza caratteristica del sito e del suolo al fine di verificare che non vi siano eventuali effetti di doppia risonanza, che potrebbero inficiare sulla stabilità delle strutture.

Allo stesso tempo la misurazione effettuata sul terreno ha permesso di verificare la presenza di eventuali orizzonti rifrattori più profondi rispetto alla massima profondità indagata con la sismica attiva.

La misurazione è stata eseguita mediante l'utilizzo di un geofono triassiale digitale 3D PASI, modello Gemini ed i dati sono stati rielaborati tramite software WinMASW 3C 7.2 beta.

Tale indagine geofisica si avvale della tecnica di Nakamura (1989) e sui rapporti spettrali H.V.S.R. (Horizontal to Vertical Spectral Ratio); viene misurato il microtremore sismico ambientale (rumore sismico) presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre. Per poter effettuare tale misurazione lo strumento racchiude tre velocimetri elettrodinamici ortogonali tra loro ad alta definizione con frequenza naturale di risonanza 2.0 Hz.

I dati vengono registrati su pc collegato alla strumentazione. Durante la misura si è orientata una delle componenti orizzontali parallelamente alla direzione dello stendimento sismico, per consentire una eventuale ripetizione e sovrapposizione delle registrazioni in tempi successivi.

Committente	Documento	Data stampa	Pagina
The Blossom Avenue Partners S.L.: Corso Italia 13, Milano (MI)	Comune di Cremona (CR) Nuovo Polo Logistico in Via Sesto, 72, Cremona (CR) Geologica-Geotecnica e Sismica NTC 2018	Maggio 2025	45 di 71

Operativamente si è proceduto alla registrazione del rumore sismico sulle tre componenti per un intervallo di tempo di 30 minuti.

Committente	Documento	Data stampa	Pagina
The Blossom Avenue Partners S.L.: Corso Italia 13, Milano (MI)	Comune di Cremona (CR) Nuovo Polo Logistico in Via Sesto, 72, Cremona (CR) Geologica-Geotecnica e Sismica NTC 2018	Maggio 2025	46 di 71

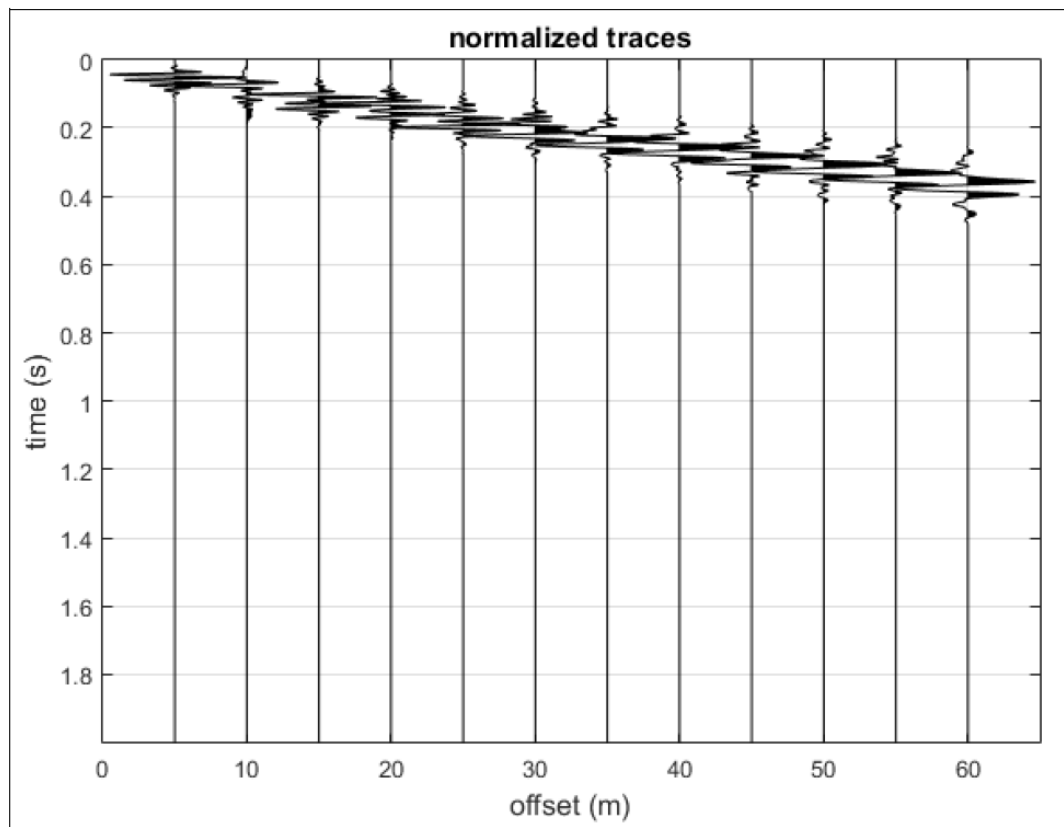
12 RISULTATI INDAGINI GEOFISICHE

12.1 RAPPRESENTAZIONE ED INTERPRETAZIONE DATI SISMICI M.A.S.W.

Al fine di fornire i valori delle V_s , necessarie per la caratterizzazione sismica del sito, è stata realizzata una stesa sismica denominata L1, di lunghezza pari a 60.0m con distanza intergeofonica pari a 5.0 m. L'energizzazione del terreno (sorgente di energia), per la lettura dei tempi di arrivo delle onde Superficiali (Rayleigh), è stata ottenuta impiegando una mazza battente da 10 kg in senso verticale su di una piastra in lega di alluminio aderente al suolo. L'energizzazione è stata effettuata agli estremi dello stendimento ad una distanza di 4.0m ed è stata eseguita più volte per garantire l'apprezzabilità dei segnali raccolti dal sistema di acquisizione dati. Si riporta di seguito il sismogramma frutto della somma di ciascuna acquisizione, filtrato di eventuali disturbi di fondo, scelto per la modellazione (Figura 22):

Committente	Documento	Data stampa	Pagina
The Blossom Avenue Partners S.L.: Corso Italia 13, Milano (MI)	Comune di Cremona (CR) Nuovo Polo Logistico in Via Sesto, 72, Cremona (CR) Geologica-Geotecnica e Sismica NTC 2018	Maggio 2025	47 di 71

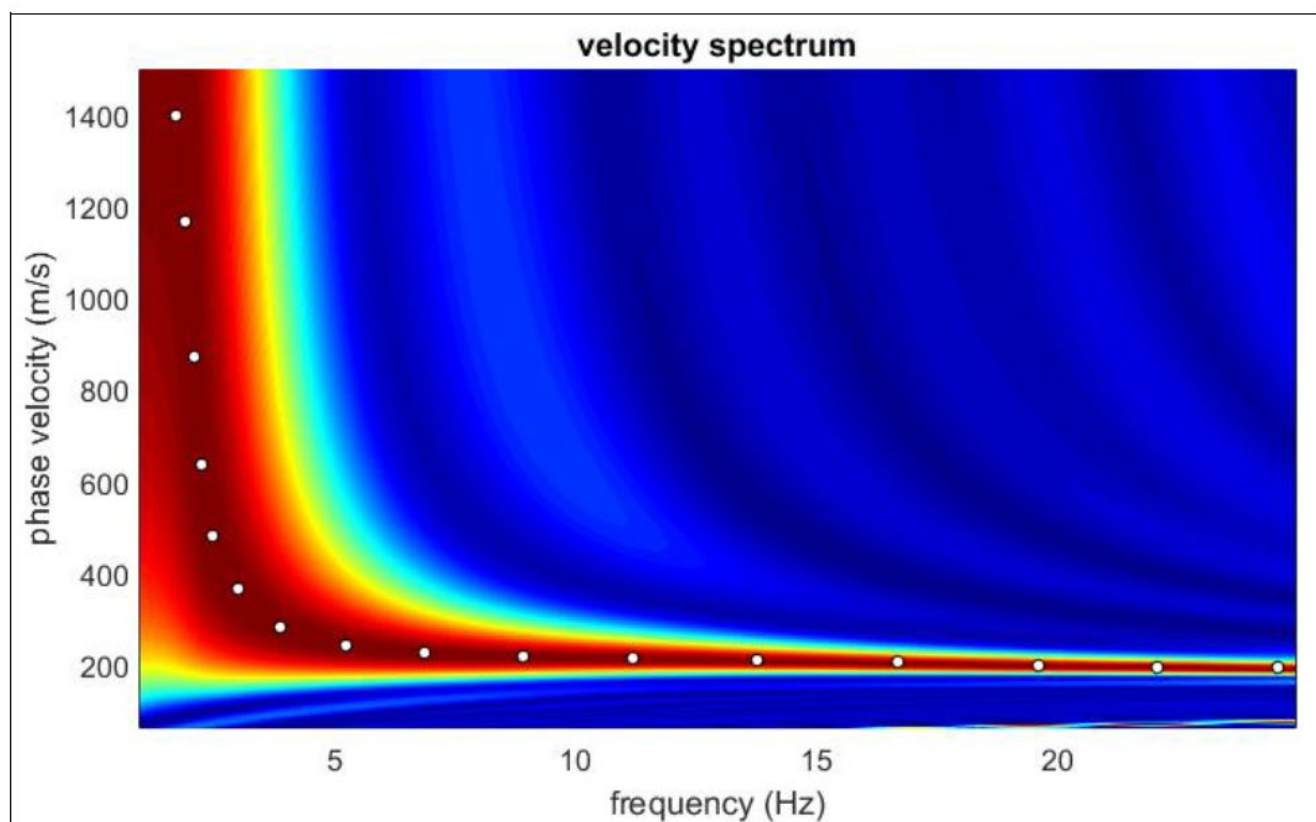
Figura 21 – Sismogramma filtrato relativo all'acquisizione L1



L'elaborazione del sismogramma ha consentito di estrapolare lo spettro di velocità dal quale si è risalito tramite picking alla curva di dispersione (Figura 22) che consente di ottenere sia gli spessori dei vari strati che le rispettive velocità.

Committente	Documento	Data stampa	Pagina
The Blossom Avenue Partners S.L.: Corso Italia 13, Milano (MI)	Comune di Cremona (CR) Nuovo Polo Logistico in Via Sesto, 72, Cremona (CR) Geologica-Geotecnica e Sismica NTC 2018	Maggio 2025	48 di 71

Figura 22 – Curva di dispersione relativa all'indagine L1 con picking del modo fondamentale



Committente	Documento	Data stampa	Pagina
The Blossom Avenue Partners S.L.: Corso Italia 13, Milano (MI)	Comune di Cremona (CR) Nuovo Polo Logistico in Via Sesto, 72, Cremona (CR) Geologica-Geotecnica e Sismica NTC 2018	Maggio 2025	49 di 71

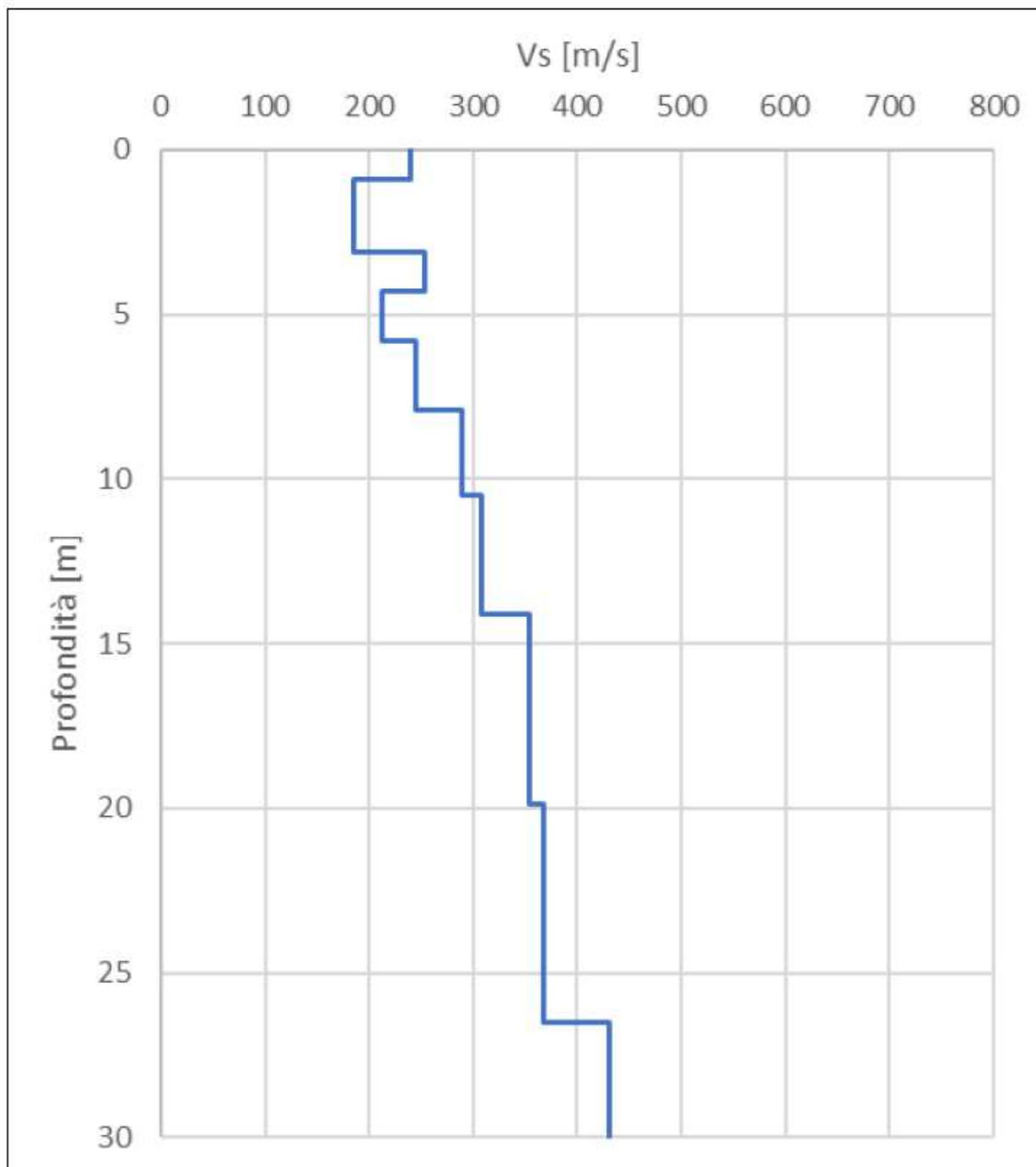
3.0 RICOSTRUZIONE DEL SOTTOSUOLO

Dall'inversione della curva di dispersione si è ottenuta la ricostruzione del sottosuolo in orizzonti aventi differenti spessori e valori di velocità:

Figura 23 Input di calcolo per la definizione della Categoria di Suolo

L1		
Spessore (m)	Profondità (m)	V_s (m/sec)
0.90	0.00-0.90	239
2.20	0.90-3.10	185
1.20	3.10-4.30	254
1.50	4.30-5.80	212
2.10	5.80-7.90	244
2.60	7.90-10.50	289
3.60	10.50-14.10	308
5.80	14.10-19.90	354
6.60	19.90-26.50	368
3.50	26.50-30.00	431

Figura 24 Diagramma delle velocità V_s riferite ai vari strati intercettati nella base sismica L1.



12.2 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

Per quanto riguarda la determinazione della categoria di sottosuolo il D.M. 17.01.2018 prevede una classificazione in cinque categorie principali riportate nella tabella 3.2.II (Figura 26: [Tabella](#)

Committente	Documento	Data stampa	Pagina
The Blossom Avenue Partners S.L.: Corso Italia 13, Milano (MI)	Comune di Cremona (CR) Nuovo Polo Logistico in Via Sesto, 72, Cremona (CR) Geologica-Geotecnica e Sismica NTC 2018	Maggio 2025	51 di 71

3.2.11 “Categorie di sottosuolo” – D.M. 17.01.2018. definite in base ai valori della velocità equivalente $V_{s,eq}$ corrispondente alla velocità media di propagazione delle onde sismiche di taglio a partire dal piano di fondazione (per fondazioni superficiali e per muri di sostegno di terrapieni), dalla testa dei pali o dalla testa dell’opera (per opere di sostegno di terreni naturali), fino alla profondità del substrato sismico, definito come quella formazione caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Per depositi con profondità di tale substrato superiore a 30m la velocità equivalente $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$, considerando le proprietà degli strati di terreno fino alla profondità di 30m.

L’espressione per la determinazione della velocità equivalente $V_{s,eq}$ è la seguente:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum \frac{h_i}{V_i}}$$

h_i = Spessore in metri dello strato i-esimo
 V_i = Velocità dell'onda di taglio i-esima
 N = Numero di strati
 H = Profondità del substrato sismico con $V_s > 800 \text{ m/s}$

Per il sito in esame la categoria di sottosuolo è stata determinata tramite i dati ottenuti dallo stendimento sismico con metodologia M.A.S.W.+H.V.S.R. eseguito in corrispondenza dell’area di indagine.

Dall’elaborazione di tali dati il terreno presenta per la linea eseguita, valori delle $V_{s,eq}$ corrispondenti alle $V_{s,30}$ (il substrato sismico non è stato individuato nei primi 30m di profondità) pari a **302.45 m/s**, riferiti all’attuale piano campagna; il terreno è pertanto classificabile in **categoria 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”.

Committente	Documento	Data stampa	Pagina
The Blossom Avenue Partners S.L.: Corso Italia 13, Milano (MI)	Comune di Cremona (CR) Nuovo Polo Logistico in Via Sesto, 72, Cremona (CR) Geologica-Geotecnica e Sismica NTC 2018	Maggio 2025	52 di 71

Figura 25: Tabella 3.2.II "Categorie di sottosuolo" – D.M.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	Anniassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina 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.
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.
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina 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 tra 100 e 180 m/s.
E	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.

13 ANALISI DI 2° LIVELLO

La valutazione degli effetti di amplificazione dovuti alla litologia è avvenuta mediante la procedura semplificata di 2° livello riportata nella D.G.R. 8/7374 del 28 Maggio 2008 e successivamente ripresa dalla D.G.R. IX/2616 del 30 Novembre 2011 di Regione Lombardia; la sua applicazione richiede la conoscenza della litologia prevalente dei materiali presenti in sito; e dell'andamento delle $V_{s,eq}$ con la profondità (spessore e velocità $V_{s,eq}$ di ciascuno strato); per la loro determinazione sono stati utilizzati i risultati ottenuti dalla esecuzione delle prove penetrometriche realizzate in sito unitamente ai dati relativi ad indagini geognostiche già realizzate ed alle stratigrafie delle indagini eseguite sul territorio comunale oltre che ai risultati emersi dall'esecuzione dell'indagine geofisica M.A.S.W..

La procedura fornisce la stima quantitativa della risposta sismica dei terreni in termini di valori di Fattori di Amplificazione (F_a) dal punto di vista degli effetti litologici, al fine di determinare se la normativa nazionale risulta sufficiente o meno nella stima degli effetti di amplificazione sismica locale sulla base del confronto tra gli F_a calcolati e quelli di

Committente	Documento	Data stampa	Pagina
The Blossom Avenue Partners S.L.: Corso Italia 13, Milano (MI)	Comune di Cremona (CR) Nuovo Polo Logistico in Via Sesto, 72, Cremona (CR) Geologica-Geotecnica e Sismica NTC 2018	Maggio 2025	53 di 71

riferimento indicati dalla Regione Lombardia per ciascun comune; lo studio è condotto con metodi quantitativi semplificati, validi per le amplificazioni litologiche ed è utilizzato per caratterizzare l'area in esame in funzione del fattore F_a . Tale valore di F_a si riferisce quindi agli intervalli di periodo 0.1-0.5s e 0.5-1.5s, in funzione del periodo proprio delle tipologie edilizie più rappresentate sul territorio regionale, rispettivamente riferibili a strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide (max. 4 piani) ed a strutture alte e flessibili (5 o più piani).

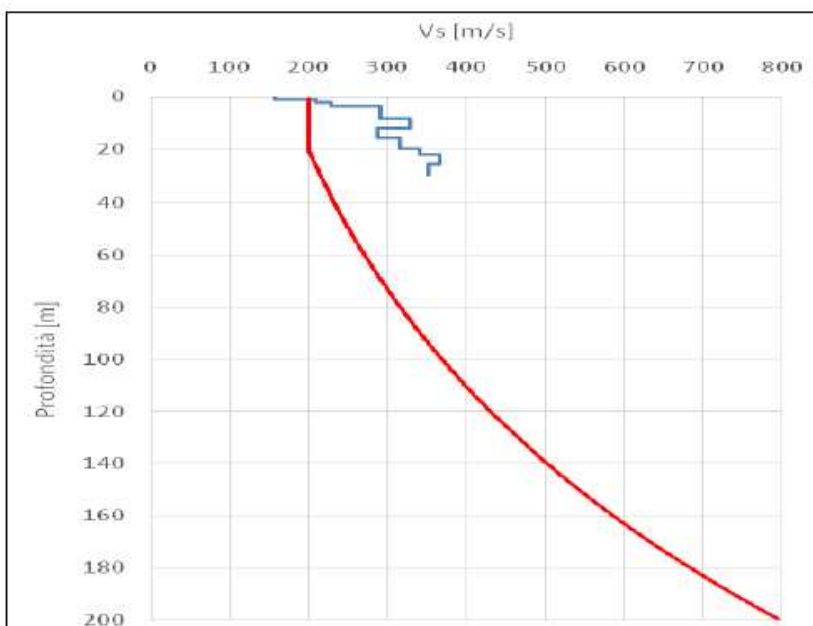
Sulla base dei parametri geotecnici e litologici si individua la litologia prevalente del sito e da questa si sceglie la relativa scheda di riferimento tra quelle riportate nella citata normativa regionale, che può essere utilizzata se l'andamento delle $V_{s,eq}$ ricade nel campo di validità dell'apposito diagramma riportato nella scheda. Successivamente ricavando lo spessore del primo "sismo-strato" con $V_{s,eq}$ pari ad almeno 200 m/s (il cui spessore deve essere di almeno 4 metri) si determina quali curve tra quelle riportate nella scheda per i due diversi intervalli di periodo descritti occorre utilizzare per la valutazione del Fattore di Amplificazione, sulla base del periodo T del sito (calcolato a partire dall'andamento delle $V_{s,eq}$ con la profondità fino agli 800 m/s direttamente misurati o ipotizzati con adeguato gradiente).

Committente	Documento	Data stampa	Pagina
The Blossom Avenue Partners S.L.: Corso Italia 13, Milano (MI)	Comune di Cremona (CR) Nuovo Polo Logistico in Via Sesto, 72, Cremona (CR) Geologica-Geotecnica e Sismica NTC 2018	Maggio 2025	54 di 71

STIMA DEGLI EFFETTI LITOLGICI
ai sensi della D.G.R. IX/2616 - 30.11.2011 di Regione Lombardia

Scheda "LITOLOGIA SABBIOSA"

L1		
Spess. (m)	Prof. (m)	V _s (m/s)
0.90	0.90	239
2.20	3.10	185
1.20	4.30	254
1.50	5.80	212
2.10	7.90	244
2.60	10.50	289
3.60	14.10	308
5.80	19.90	354
6.60	26.50	368
3.50	30.00	431

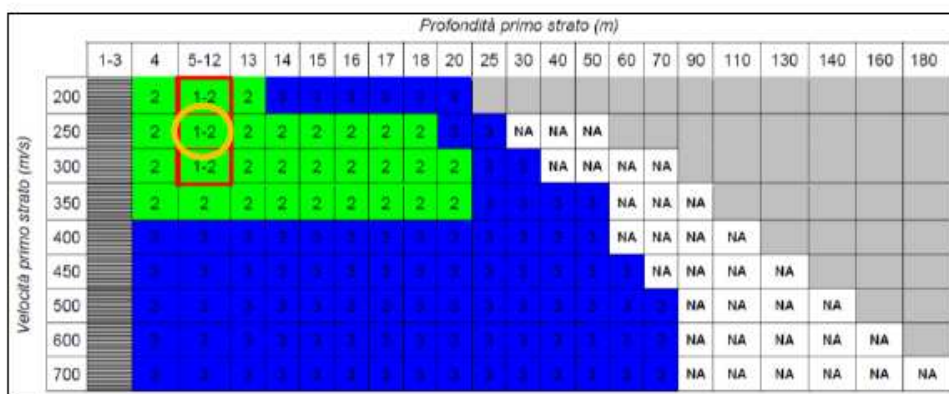


V _{s,eq} (m/s)	Cat. sottosuolo
302.45	C

Periodo T (s)
0.52

Primo strato	
Prof. (m)	7.90
V _s (m/s)	216.50

Curva caratteristica	
n.	2



il riquadro rosso indica la condizione stratigrafica per cui è necessario utilizzare le curve 1
CONDIZIONE: strato con spessore compreso tra 5 e 12 m e velocità media V_s minore o uguale a 300 m/s poggianti su strato con velocità maggiore di 500 m/s

VERIFICA

Periodo	Valori F_a di sito	Valori F_a di soglia Comune di CREMONA			
		Suolo B	Suolo C	Suolo D	Suolo E
$0.1 < T < 0.5$ s	1.40	1.40	1.80	2.10	1.90
$0.5 < T < 1.5$ s	1.87	1.70	2.40	4.00	3.00

La procedura ha permesso di stimare gli F_a con le schede di valutazione sopra riportate e di confrontarli con i corrispettivi valori di soglia, considerando una variabilità di ± 0.1 , che tiene conto la variabilità dei valori dei F_a ottenuti.

Dalla verifica deriva che, sia nel caso di edifici bassi che caso di edifici alti, il valore di F_a calcolato e riferito alla categoria di suolo C è inferiore al valore di riferimento; **pertanto, lo spettro proposto dalla normativa per suoli di tipo C risulta sufficiente a tenere in considerazione la reale amplificazione presente nel sito.**

RAPPRESENTAZIONE ED INTERPRETAZIONE DATI SISMICI H.V.S.R.

Al fine di fornire i valori di frequenza caratteristica del sito oltre che per la determinazione dei valori delle $V_{s,eq}$, necessari per la caratterizzazione sismica dello stesso (in modalità congiunta con i dati ricavati dallo stendimento sismico M.A.S.W. eseguito nell'area in esame) è stata eseguita una acquisizione puntuale (TR1) in passivo del microtremore sismico ambientale mediante geofono triassiale 3D e per una durata di 30 minuti.

Si riportano di seguito i relativi diagrammi H/V elaborati dalla misurazione effettuata sull'area

Committente	Documento	Data stampa	Pagina
The Blossom Avenue Partners S.L.: Corso Italia 13, Milano (MI)	Comune di Cremona (CR) Nuovo Polo Logistico in Via Sesto, 72, Cremona (CR) Geologica-Geotecnica e Sismica NTC 2018	Maggio 2025	56 di 71

Figura 26 Rapporti spettrali H/V vs Hz rilevazione sismica passiva TR1.

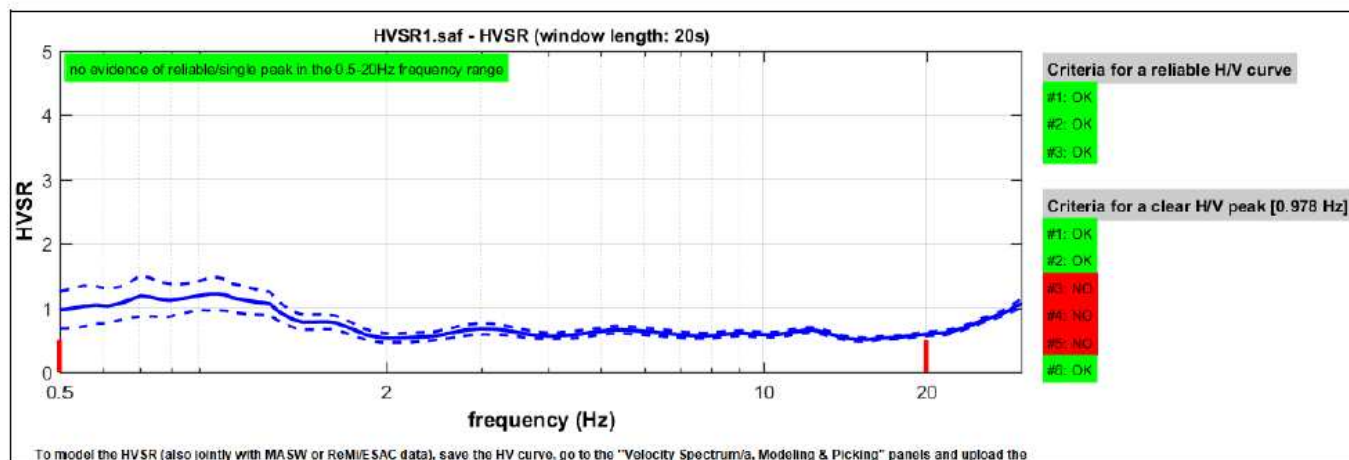


Figura 27 - Direzionalità H/V rilevazione sismica passiva TR1.

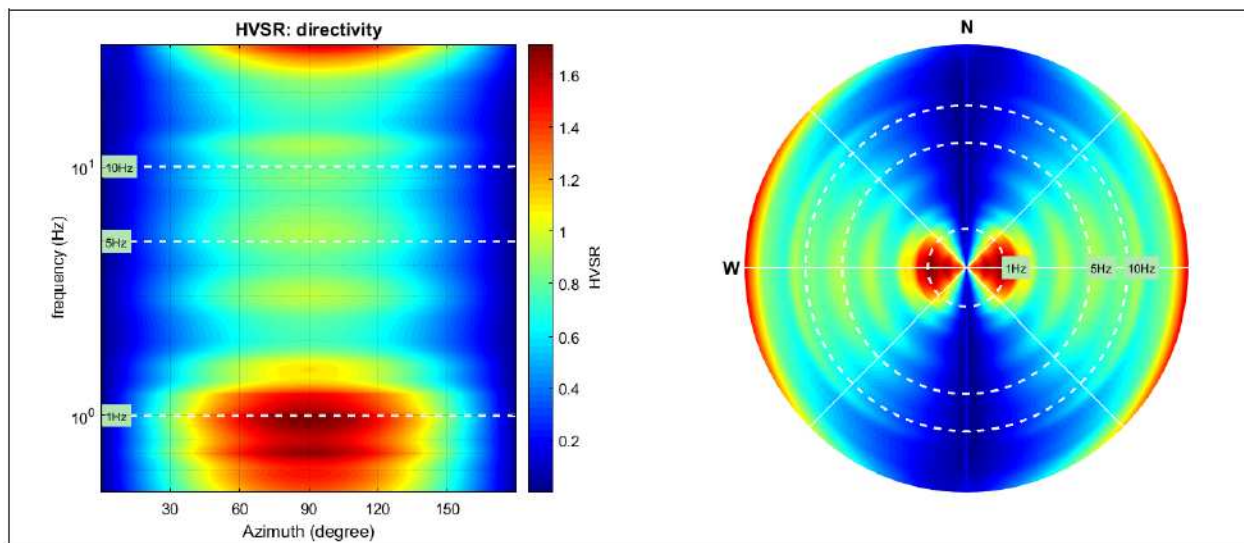
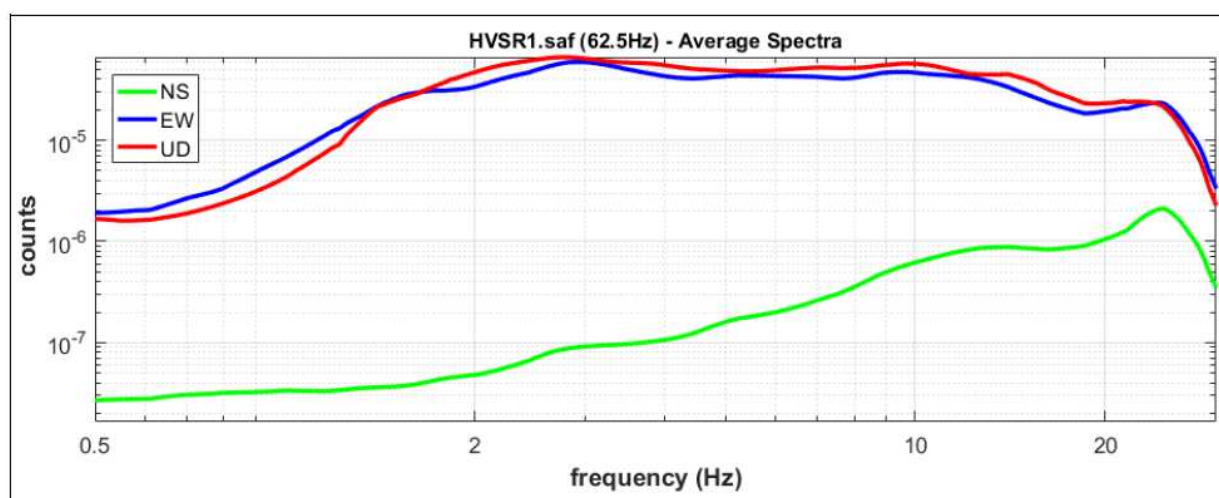


Figura 28 Spettri delle singole componenti rilevazione sismica passiva TR1.



3.1 FREQUENZA CARATTERISTICA DI RISONANZA DEL SITO

Dal punto di vista empirico, è noto che la frequenza di risonanza di un edificio è governata principalmente dalla sua altezza e può essere pertanto calcolata, in prima approssimazione, secondo la formula:

$$freq. \text{ naturale edificio } \approx 10 \text{ Hz} / \text{numero piani}$$

Si tenga conto che se si verifica la seguente somiglianza tra risonanza del terreno e della struttura, si creano condizioni di pericolo, perché si dà luogo alla massima amplificazione:

$$freq. \text{ naturale edificio } \approx freq. \text{ naturale copertura}$$

Dall'elaborazione dei risultati e dall'analisi degli stessi è possibile riconoscere un picco di frequenza principale, anche se decisamente attenuato a circa **0,978 Hz** e due picchi secondari, in corrispondenza degli intervalli 2.50÷3.50 Hz e 5.00÷6.00 Hz.

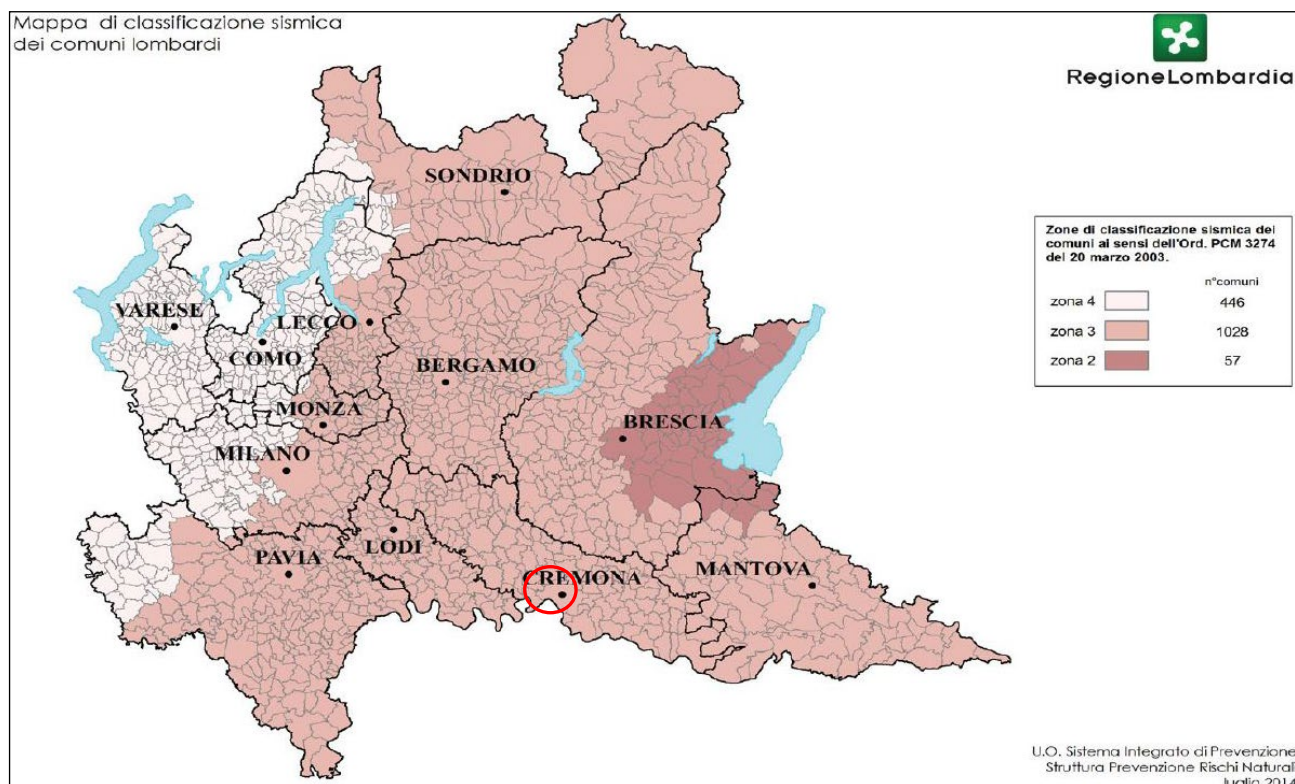
Committente	Documento	Data stampa	Pagina
The Blossom Avenue Partners S.L.: Corso Italia 13, Milano (MI)	Comune di Cremona (CR) Nuovo Polo Logistico in Via Sesto, 72, Cremona (CR) Geologica-Geotecnica e Sismica NTC 2018	Maggio 2025	58 di 71

Si evince che tali valori di frequenza caratteristica ed i valori di frequenza fondamentale di risonanza delle strutture esistenti ed in progetto dovranno essere sufficientemente diversi così da non comportare il verificarsi di fenomeni di doppia risonanza.

13.1 CARATTERISTICHE MACROSISMICHE DELL'AREA

Secondo l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei ministri n.3519 del 28 aprile 2006 – "*Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone*" riferita all'intero territorio nazionale, e recepita dalla Regione Lombardia tramite la D.G.R. n.X/2129 - 11.07.2014 il territorio comunale di Cremona risulta classificato in **zona sismica 3** a "sismicità bassa", cui corrisponde un valore massimo di a_g pari a 0.15g (Figura 29)

Figura 29 Classificazione sismica dei comuni della Lombardia a seguito della D.G.R. n. X/2129.



Committente	Documento	Data stampa	Pagina
The Blossom Avenue Partners S.L.: Corso Italia 13, Milano (MI)	Comune di Cremona (CR) Nuovo Polo Logistico in Via Sesto, 72, Cremona (CR) Geologica-Geotecnica e Sismica NTC 2018	Maggio 2025	59 di 71

Allo stesso modo i valori di a_g , calcolati secondo il D.M. 17.01.2018 “*Norme tecniche per le costruzioni*” (e riportato nei successivi paragrafi) per le coordinate che identificano il sito ovvero :

- **S.R. ED 50-** Lat. **45.149485**, Long. **9.993140**
- **S.R. Wgs84** – Lat. 45.148550, Long. 9.992105

risultano compresi tra a 0.05g e 0.15g confermando la **zona sismica 3** (Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, Allegato al Voto n.36 del 27.07.2007 – “*Pericolosità sismica e criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale*”).

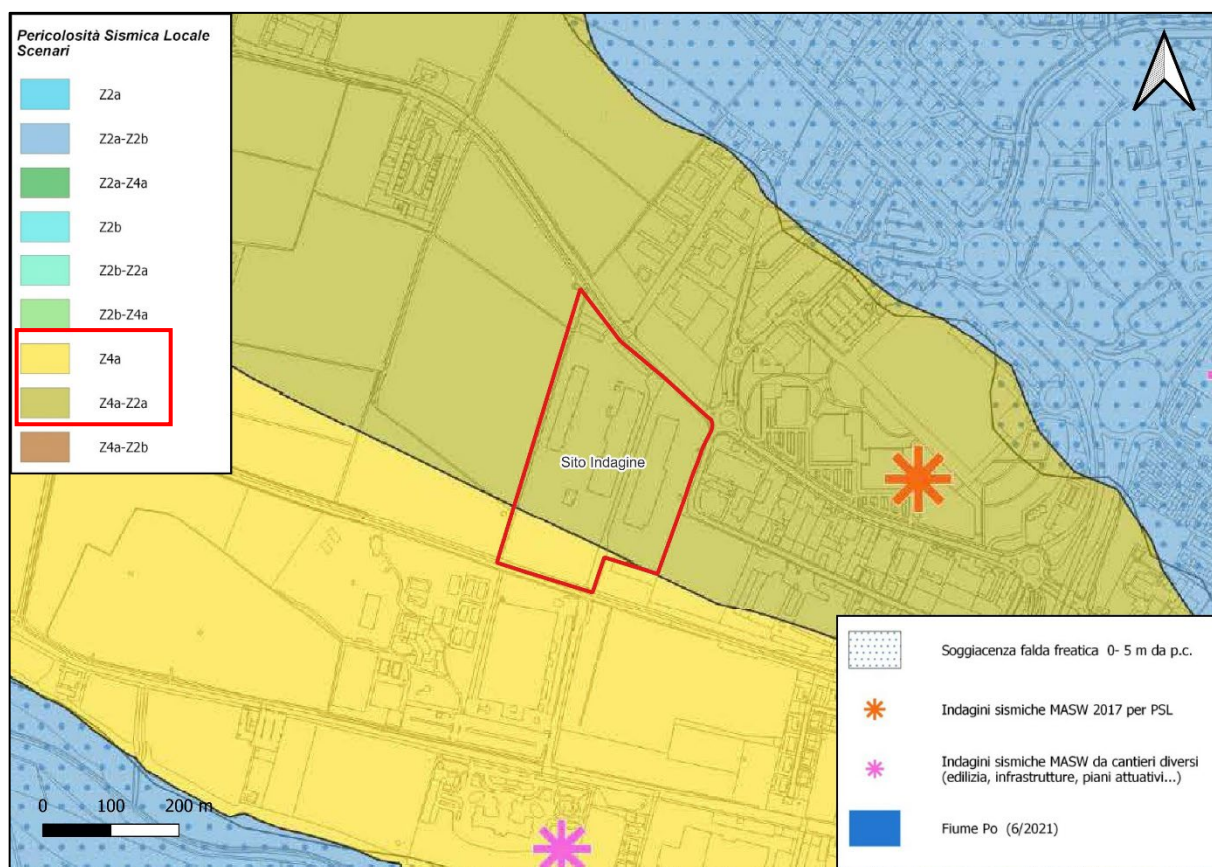
13.2 PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE (P.S.L.)

L’area ricade entro lo scenario di Pericolosità Sismica Locale Z_{4a} “*Zona di fondovalle di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi*” come riportato nella carta della *Pericolosità Sismica Locale* pertinente lo Studio Geologico a supporto del P.G.T. comunale, di cui si espone uno stralcio in Figura 30.; Si segnala che la porzione meridionale del sito di interesse ricade in classe Z_{4a}-Z_{2a} “*Zona di pianura con prevalenza di depositi alluvionali granulari e/o coesivi e subordinatamente zone con terreni di fondazione saturi particolarmente scadenti*, ovvero una porzione di sito ricade in un’area che potrebbe essere soggetta a cedimenti come effetto sismoindotto secondario.

Tuttavia, visto che le fondazioni occuperanno la porzione di sito non ricadente in tale categorizzazione, elemento che caratterizza oltre i $\frac{3}{4}$ della superficie di interesse, l’approfondimento sismico richiesto si concentrerà maggiormente sulla valutazione dei potenziali effetti amplificativi dovuti a contrasti di litologie e geometrie di sottosuolo (Z_{4a}).

Committente	Documento	Data stampa	Pagina
The Blossom Avenue Partners S.L.: Corso Italia 13, Milano (MI)	Comune di Cremona (CR) Nuovo Polo Logistico in Via Sesto, 72, Cremona (CR) Geologica-Geotecnica e Sismica NTC 2018	Maggio 2025	60 di 71

Figura 30 Estratto Carta della Pericolosità Sismica Locale (P.G.T. Comune di Cremona).



In tale ambito lo scenario di pericolosità sismica locale atteso è legato ad eventuali amplificazioni imputabili a contrasti di caratteristiche litologiche tra gli strati superficiali e/o a geometrie deposizionali degli stessi che favoriscono l'amplificazione delle onde di taglio verso la superficie. Tale valutazione benché non richiesta da normativa nel caso in esame, è stata eseguita basandosi sui dati ricavati dalle indagini geofisiche M.A.S.W.+H.V.S.R. eseguita nell'area di intervento le cui risultanze, riportate nei successivi capitoli unitamente alla descrizione delle modalità esecutive, hanno determinato i valori di F_a da confrontare con quelli di riferimento previsti dalla Regione Lombardia per il Comune di Cremona.

Pertanto, in conclusione, dal punto di vista della sismicità, l'area è giudicata idonea ad accogliere l'intervento programmato, fatte salve le prescrizioni di carattere sismico che verranno indicate nei paragrafi successivi.

Committente	Documento	Data stampa	Pagina
The Blossom Avenue Partners S.L.: Corso Italia 13, Milano (MI)	Comune di Cremona (CR) Nuovo Polo Logistico in Via Sesto, 72, Cremona (CR) Geologica-Geotecnica e Sismica NTC 2018	Maggio 2025	61 di 71

13.3 DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

La normativa prevede che le azioni sismiche di progetto agenti su una costruzione si definiscano a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione, la quale è rappresentata dalla probabilità che in un fissato lasso di tempo (periodo di riferimento V_R espresso in anni) nel sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato; tale probabilità è denominata “Probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento” (P_{VR}).

Il D.M. 14.01.2008 ed il successivo D.M. 17.01.2018 hanno introdotto un nuovo elemento metodologico nella stima della pericolosità sismica di base, la quale non risulta più associata alla zona sismica di appartenenza (criterio “zona dipendente”) ma viene definita mediante un approccio “sito dipendente”.

Pertanto, essa è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero (free field) su sito di riferimento con superficie topografica orizzontale (di categoria A quale definita al § 3.2.2 delle NTC 2018), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R . In alternativa è ammesso l’uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica del sito.

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

a_g accelerazione orizzontale massima al sito;

F_0 valore massimo di fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T^*_C periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

In allegato alle NTC i suddetti valori vengono forniti in funzione delle coordinate geografiche del sito, per una griglia di punti prefissati sul territorio (*reticolo di riferimento*); per un qualunque punto del territorio non ricadente nei nodi (siti di riferimento) del reticolo di riferimento tali valori si ottengono per interpolazione sui quattro vertici adiacenti. Per la valutazione finale dell’azione sismica di progetto deve essere inoltre tenuta in considerazione la cosiddetta risposta sismica locale, peculiare delle condizioni stratigrafiche del sottosuolo e della morfologia della superficie topografica del sito in questione, le quali esercitano una diretta influenza sulla propagazione e sull’eventuale amplificazione delle onde sismiche nel sottosuolo. Tale

Committente	Documento	Data stampa	Pagina
The Blossom Avenue Partners S.L.: Corso Italia 13, Milano (MI)	Comune di Cremona (CR) Nuovo Polo Logistico in Via Sesto, 72, Cremona (CR) Geologica-Geotecnica e Sismica NTC 2018	Maggio 2025	62 di 71

valutazione è conseguibile, con buona approssimazione, tramite la definizione della categoria di sottosuolo del terreno di fondazione e della categoria topografica del sito.

Da queste ultime vengono infatti ricavati i coefficienti di amplificazione stratigrafica e topografica (S_s ed S_T) che subentrano nella ricostruzione degli spettri di risposta elastici definiti per la pericolosità sismica di base.

Per la definizione della categoria di sottosuolo da indagine M.A.S.W. esperita in data 30/10/2024, si rimanda al Par. 12.2

In riferimento alle categorie topografiche riportate nella tabella 3.2.III del D.M. (Figura 31), il sito può essere classificato nella **categoria T1** "Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$ ".

Figura 31 Tabella 3.2.III "Categorie topografiche" – D.M. 17.01.2018.

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

13.4 PARAMETRI SISMICI DI RIFERIMENTO

Di seguito si riportano i parametri di riferimento, propri del sito in questione, per la definizione della pericolosità sismica di base ed i parametri sismici necessari per la valutazione delle azioni sismiche di progetto attese.

Nel caso in esame il sito presenta le seguenti coordinate (sistema di riferimento WGS84):

Latitudine	Longitudine
45.148550°	9.992105°

Per il calcolo delle grandezze a_g , F_0 e T^*_c si devono considerare i seguenti parametri:

- **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,

Committente	Documento	Data stampa	Pagina
The Blossom Avenue Partners S.L.: Corso Italia 13, Milano (MI)	Comune di Cremona (CR) Nuovo Polo Logistico in Via Sesto, 72, Cremona (CR) Geologica-Geotecnica e Sismica NTC 2018	Maggio 2025	63 di 71

reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

- **Vita nominale V_N :** ≥ 50 anni (tabella 2.4.I - tipologie costruttive classe 2): Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale.
- **Coefficiente d'uso C_U :** 1,0 relativo alla classe d'uso II.
- **Periodo di riferimento per l'azione sismica:** $V_R = V_N * C_U = 50 * 1.0 = 50$ anni.

Pertanto, a partire dai dati sopra riportati, in funzione della probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} vengono calcolati i valori a_g , F_o , T^*_c e del periodo di ritorno $T_R = -V_R / \ln(1 - P_{VR})$:

Stati limite		P_{VR}	Periodo di ritorno (anni)	a_g (g)	F_o	T^*_c (sec)
SLE	SLO	81%	30	0.032	2.545	0.208
	SLD	63%	50	0.039	2.580	0.229
SLU	SLV	10%	475	0.082	2.595	0.299
	SLC	5%	975	0.101	2.619	0.314

Da questi ultimi è possibile ricavare, sulla base della **CATEGORIA C** del suolo di fondazione, gli ulteriori parametri:

Stati limite		S_s	C_c	S_t	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)	F_v
SLE	SLO	1.50	1.76	1.00	0.106	0.318	1.679	0.49
	SLD	1.50	1.71	1.00	0.117	0.351	1.734	0.55
SLU	SLV	1.50	1.56	1.00	0.206	0.571	1.855	0.71
	SLC	1.50	1.54	1.00	0.155	0.466	1.825	0.64

Dove:

SLE = stati limite di esercizio:

- **SLO** = Stato Limite di Operatività;
- **SLD** = Stato Limite di Danno;

SLU = stati limite ultimi:

- **SLV** = Stato Limite di salvaguardia della Vita;
- **SLC** = Stato Limite di prevenzione del Collasso;

S_s = coefficiente di amplificazione stratigrafica;

C_c = coefficiente di categoria di sottosuolo;

S_t = coefficiente di amplificazione topografica;

T_B = periodo corrispondente all'inizio del tratto ad accelerazione costante spettro delle componenti orizzontali;

T_C = periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante spettro delle componenti orizzontali;

T_D = periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante spettro delle componenti orizzontali;

F_V = fattore di amplificazione spettrale.

Per calcolare il valore di A_{max} (accelerazione massima) occorre moltiplicare il valore di a_g per i coefficienti di amplificazione sismica (S) tramite la relazione: $A_{max}=a_g \text{ (m/s}^2\text{)} \cdot S$; l'accelerazione massima deve essere fornita in m/s^2 , pertanto, i valori nominali di a_g precedentemente calcolati vanno moltiplicati per 9.81 m/s^2 e successivamente moltiplicati per i coefficienti di amplificazione sismica $S = S_s \cdot S_t$.

Stati limite		a_g (g)	a_g (m/s ²)	S ($S_s \cdot S_t$)	A_{max} (g)	A_{max} (m/s ²)
SLE	SLO	0.032	0.31	0.50	0.015	0.155
	SLD	0.039	0.38	0.50	0.019	0.19
SLU	SLV	0.082	0.80	0.50	0.04	0.4
	SLC	0.101	0.99	0.50	0.050	0.495

Infine, i coefficienti K_h (coefficiente sismico orizzontale) e K_v (coefficiente sismico verticale) assumono i seguenti valori:

Stati limite		K_h	K_v
SLE	SLO	0.010	0.005
	SLD	0.012	0.006
SLU	SLV	0.024	0.012
	SLC	0.036	0.018

14 VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Il fenomeno della liquefazione interessa generalmente depositi sabbiosi e/o sabbioso-limosi sciolti, saturi e a granulometria uniforme, i quali a seguito di una sollecitazione sismica passano dallo stato solido a quello fluido, denotando una diminuzione della resistenza al taglio a causa dell'aumento delle pressioni interstiziali (u), tale da generare deformazioni permanenti significative o persino dell'annullamento delle pressioni efficaci (σ') nel terreno.

La verifica della suscettibilità alla liquefazione deve essere effettuata quando la falda freatica si trova in prossimità della superficie ed il terreno di fondazione comprende strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sottofalda.

Secondo il D.M. 17.01.2018 tale verifica può invece essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di $0.1g$;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$, dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometriche esterne alle zone indicate nella Figura 32, nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$ ed in Figura 33, nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3.5$.

Committente	Documento	Data stampa	Pagina
The Blossom Avenue Partners S.L.: Corso Italia 13, Milano (MI)	Comune di Cremona (CR) Nuovo Polo Logistico in Via Sesto, 72, Cremona (CR) Geologica-Geotecnica e Sismica NTC 2018	Maggio 2025	66 di 71

15 STABILITÀ DEGLI SCAVI E GESTIONE DELLE ACQUE

La stabilità dei fronti di scavo nelle fasi del cantiere verrà garantita, per altezze come quelle in progetto adottando scarpate con inclinazione $\leq 45^\circ$ (1/1) sull'orizzontale (2/3 nel caso di materiali marcatamente incoerenti), purché si provveda solertemente alla costruzione delle opere definitive in c.a..

I lavori dovranno essere tassativamente eseguiti nel corso di stagioni meteorologicamente favorevoli, e dovranno essere adottati opportuni accorgimenti per la gestione delle acque superficiali e di percolazione, valutando altresì di ricorrere a opere provvisorie di sostegno quali ad esempio palificate in legno.

Si ribadisce la possibile interferenza della falda freatica, la cui soggiacenza è di ordine metrico (Delta della soggiacenza paria 2 m), con gli scavi fondazionali nell'eventualità di un deciso innalzamento della stessa in concomitanza dei periodi intensamente piovosi; dovranno pertanto essere presi gli opportuni accorgimenti tecnici in riferimento a tale aspetto, sia durante le operazioni di scavo che per la completa impermeabilizzazione di tutte le eventuali parti interrato della nuova struttura.

A tal proposito si ritiene infine indispensabile, al fine della salvaguardia delle necessarie condizioni di stabilità, come sopra espresso, nelle fasi di cantiere (per quanto riguarda le scarpate degli scavi) la corretta gestione delle acque meteoriche di scorrimento superficiale, adottando opportuni dispositivi atti alla raccolta ed allo smaltimento delle stesse. Le acque dovranno essere raccolte e quindi evacuate favorendone il rapido smaltimento, al fine di evitare ristagni superficiali o filtrazioni nel sottosuolo nelle immediate vicinanze delle strutture, pregiudizievoli per l'integrità delle stesse. A tal proposito negli scavi di fondazione e/o sottofondazione dovranno necessariamente essere evitati riempimenti con materiali (es ghiaie, sabbie, misto frantumato, misto riciclato, ecc.) diversi dal c.l.s. in quanto fungerebbero da richiamo ed accumulo per le acque sotterranee e di percolazione favorendo accumuli di acqua con conseguente decadimento delle caratteristiche geotecniche e delle proprietà meccaniche del terreno a discapito e della stabilità delle strutture.

Le modalità di gestione di tali acque dovranno rispettare il principio dell'invarianza idraulica ed idrologica secondo i criteri e i metodi contenuti nel R.R. n.7 del 23.11.2017, come previsto dall'articolo 58bis della L.R. n.12 del 11.03.2005 per il governo del territorio.

Per quanto concerne la valutazione della stabilità dei fronti di scavo in relazione al dimensionamento delle fondazioni e la valutazione dei cedimenti attesi si rimandano alla relazione tecnica R2 che verrà predisposta nelle more dell'esecutività del progetto.

Committente	Documento	Data stampa	Pagina
The Blossom Avenue Partners S.L.: Corso Italia 13, Milano (MI)	Comune di Cremona (CR) Nuovo Polo Logistico in Via Sesto, 72, Cremona (CR) Geologica-Geotecnica e Sismica NTC 2018	Maggio 2025	68 di 71

16 TERRE E ROCCE DA SCAVO

Per l'eventuale riutilizzo dei materiali di risulta degli scavi si potrà fare riferimento al D.P.R. n.120 del 13.06.2017 (che riunisce e sostituisce gli articoli n.184, n.185 e n.186 del D.Lgs. n.152 del 03.04.2006 ed il D.M. n.161 del 10.08.2012, disciplinato dall'articolo n.41-bis della L. n.98 del 09.08.2013) o, in caso contrario, essi dovranno essere gestiti come rifiuto secondo quanto previsto dalla parte IV del D.Lgs. n.152 del 03.04.2006.

17 CONCLUSIONI

La presente relazione, redatta per conto della società The Blossom Avenue Partners., costituisce il supporto geologico, geotecnico e sismico preliminare alla valutazione della realizzazione di un nuovo polo logistico presso il sito esistente ubicato nel Comune di Cremona (CR), Via Sesto, Area ex SCAC.

Lo studio è finalizzato alla definizione delle caratteristiche geologico-geomorfologiche dell'area e dell'assetto litostratigrafico e geotecnico nonché alla caratterizzazione sismica dei terreni di imposta delle strutture in progetto; in particolare lo scopo dell'indagine è quello di fornire al Progettista utili indicazioni riguardo il contesto geologico, geotecnico, sismico ed idrogeologico, in funzione delle specifiche proprie del progetto e delle effettive condizioni litostratigrafiche del volume significativo di terreno interessato dalle opere.

Per tale scopo in questa fase oltre che tramite raccolta bibliografica di dati inerenti l'area e un suo significativo intorno, le condizioni geologiche, idrogeologiche e sismiche di dettaglio della stessa sono state definite attraverso specifiche prospezioni geognostiche rappresentate da, n.4 prove penetrometriche di tipo dinamico D.P.S.H., da n.1 stendimento sismico con metodologia attiva M.A.S.W. e da n.1 indagine geofisica passiva a stazione singola di tipo H.V.S.R. per la misurazione e l'acquisizione del microtremore sismico ambientale, eseguite in data 23 novembre 2024.

Sulla base dei dati reperiti in bibliografia, dei risultati delle indagini, elaborati e interpretati si possono trarre le seguenti conclusioni:

1. *Esame dei dati geologici ed idrogeologici pregressi della zona, disponibili tramite bibliografia (P.G.T.):*
 - Il sito insiste su formazioni di origina fluviale costituite da **successioni di sabbie da medie a fini in matrice limo argillosa (preponderante la percentuale limosa).**

Committente	Documento	Data stampa	Pagina
The Blossom Avenue Partners S.L.: Corso Italia 13, Milano (MI)	Comune di Cremona (CR) Nuovo Polo Logistico in Via Sesto, 72, Cremona (CR) Geologica-Geotecnica e Sismica NTC 2018	Maggio 2025	69 di 71

- Il sito presenta una soggiacenza di falda misurata tramite lettura freaticometrica diretta presso piezometro ubicato in area limitrofa pari a **-6.70 m** da p.c..
- Morfologia del sito pianeggiante e comunque insistente su sito fortemente antropizzato a destinazione d'uso prevalentemente produttiva;

2. *Esecuzione delle prospezioni geognostiche in situ (D.P.S.H., M.A.S.W., H.V.S.R.):*

- n. 4 Prove D.P.S.H. intercettanti **n. 5 litozone**, spinte sino ad una **profondità massima di 13, 80 m** da piano campagna (P₄) e tutte terminate per rifiuto strumentale.

Punto di indagine n°		D.P.S.H. P ₁	D.P.S.H. P ₂	D.P.S.H. P ₃	D.P.S.H. P ₄
Quota inizio indagine (m s.l.m.)		47.31	47.39	47.45	47.58
Prof. da piano di indagine interfaccia strati (m)	A-B	-0.60	-0.80	-0.80	-0.80
	B-C	-3.80	-2.60	-2.60	-2.800
	C-D	-5.00	-5.20	-4.20	-5.80
	D-E	-10.60	-10.20	-11.00	-9.80
Prof. fine prova (m da piano prova) – RIFIUTO STRUMENTALE		-12.40	-12.60	-13.20	-13.80

- N. 1 prova sismica attiva M.A.S.W. per la caratterizzazione della categoria si suolo a scala sitospecifica, ai sensi della Tabella 3.2. Il "Categorie di sottosuolo" – D.M. 17.01.2018;
- N. 1 Indagine tomografica passiva a stazione singola di tipo H.V.S.R: per la ricostruzione della frequenza di risonanza a scala sitospecifica;

3. *Caratterizzazione sismica del sito;*

- E' stata ricavata una velocità delle onde di taglio ad una profondità del bedrock sismico posta idealmente a 30 m pari a **V_{s30} 302,45 m/s**, elemento che pone il sito in **categoria C** (compreso tra 180 m/s e 360 m/s);
- Dal processing dei dati relativi al microtremore sismico del sito, ne risulta una frequenza di risonanza pari a **0,978 Hz**, si evince che tali valori di frequenza caratteristica ed i valori di frequenza

fondamentale di risonanza delle strutture esistenti ed in progetto dovranno essere sufficientemente diversi così da non comportare il verificarsi di fenomeni di doppia risonanza.

- Dall'analisi dei coefficienti sismici propri del sito indagato, noti i dati riguardo la categoria di suolo, la frequenza di risonanza, la vita nominale del progetto e la classe d'uso attribuitagli, si ricava un fattore di amplificazione sitospecifico pari **0.050 g**; tale valore rientra tra le casistiche previste dalle N.T.C. 2018 per la **non sussistenza dei requisiti della verifica a liquefazione**.
4. *Ricostruzione dell'assetto litostratigrafico e caratterizzazione geologico-tecnica dei terreni di fondazione con la definizione dei principali parametri geotecnici caratteristici:*
- Di seguito si espongono sinteticamente i principali indici geotecnici risultanti dalle correlazioni con i dati D.P.S.H.:

	Dr [%]	Modulo Elastico (Media Autori) - MPa	ϕ' [°]	γ [kN/m ³]
LITOZONA				
A	68	53	41	19
B	41	21	27	17,5
C	44	29	32	20
D	53	36	33	19
E	60	53	37	19