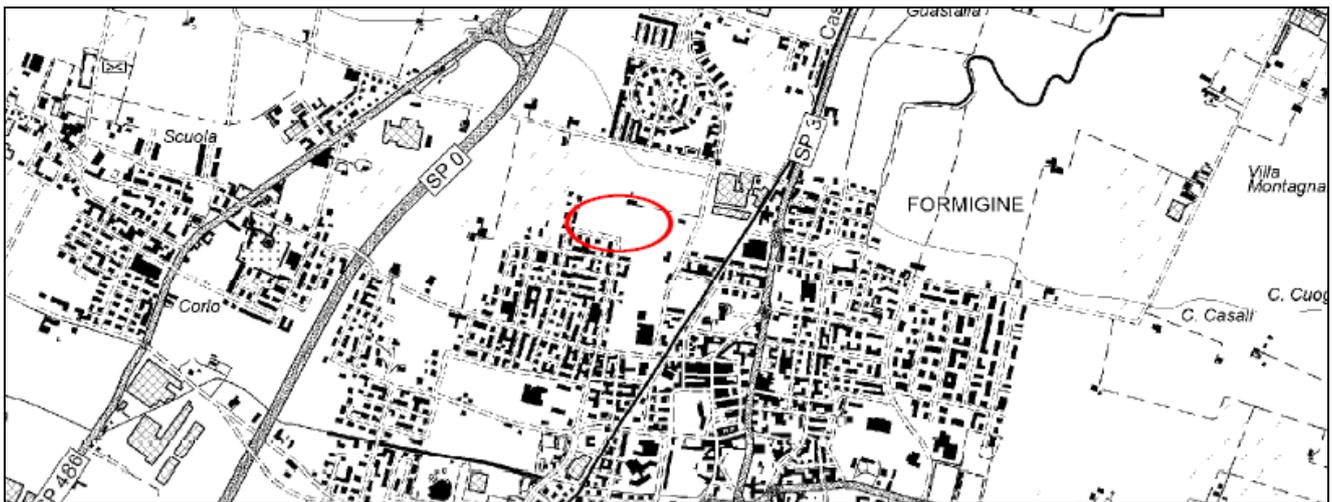


COMUNE DI FORMIGINE
PROVINCIA DI MODENA

AMBITO ANS2 FORMIGINE NORD-OVEST
P.U.A. PIANO URBANISTICO ATTUATIVO

PROGETTISTI: a3o LABORATORIO PROGETTUALE

RELAZIONE GEOLOGICA-GEOTECNICA E SISMICA



DOTT. GEOL. ALESSANDRO MACCAFERRI
V.LE CADUTI IN GUERRA 1- 41121 MODENA
☎ 059-226540



DICEMBRE 2021

**DOTT. ALESSANDRO MACCAFERRI
- GEOLOGO -****Studio:**

V.le Caduti in Guerra 1

41121 Modena

Tel: 059-226540 - Fax: 059-4398943

Cell. 335-7053511 - E-mail: maccafe@tin.it

Modena 13/12/2021

RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA**PROGETTO:** PUA Piano Urbanistico Attuativo - Ambito ANS2 Formigine nord-ovest**REGIONE:** Emilia Romagna**PROVINCIA:** Modena**COMUNE:** Formigine**LOCALITA':** Capoluogo**COMPARTO:** Ambito ANS2 Formigine nord-ovest**PROGETTISTI:** a3o Laboratorio progettuale di Ascari & Onfiani Associati**COMMITTENTI:** Sig.ri Dalle Luche Anna Chiara, Dalle Luche Consuelo Walter, Dalle Luche Paolo, Montanini Alberta, Montanini Anna Maria, Montanini Maria Elena, Montanini Elisabetta, Arno Amalia, Ferrari Eleonora e Ferrari Raffaella**RIFERIMENTI NORMATIVI:** Delibera Regionale n° 1677 del 24.10.2005 - Del. Ass. Lgs. 112/2007 - DGR 630/2019 - DGR 476/2021**RELAZIONE REDATTA AD USO:** Approvazione PUA

. PREMESSA

Su incarico dei committenti e d'intesa con i tecnici progettisti dello studio a3o Laboratorio Progettuale, si è provveduto alla stesura della presente relazione geologico-geotecnica e sismica inerente il Piano Urbanistico Attuativo, PUA dell'Ambito ANs2 Formigine nord-ovest, per la realizzazione di futuri insediamenti di tipo residenziale.

L'Ambito per nuovi insediamenti, oggetto di studio, risulta ubicato nella zona nord-ovest del centro abitato di Formigine (Mo), lungo le vie Focherini e XX Settembre.

L'area dell'ambito in studio attualmente ha un uso agricolo, sulla quale è prevista un'edificazione residenziale, con 5 lotti edificabili.

Lo studio è stato condotto nel rispetto delle vigenti normative in materia, e finalizzato alla definizione delle caratteristiche geolitologiche, geomorfologiche e geotecniche del terreno interessato dagli interventi in progetto, al fine di stabilirne la fattibilità e le modalità esecutive più idonee, anche in relazione agli aspetti sismici introdotti al riguardo dalle normative in materia, di cui alle NTC2018 e, per quanto riguarda gli aspetti pianificatori, alla Delibera 112/2007 dell'Assemblea Legislativa della Regione Emilia Romagna, successivamente aggiornata dalla DGR 630/2019 e 476/2021.

Si è inoltre fatto riferimento allo studio di Microzonazione sismica del PSC del comune di Formigine, nel quale è ricompresa l'area dell'ambito in esame.

In data 14/06/2021 è stato eseguito un sopralluogo sull'area al fine di prendere visione della situazione e programmare l'idonea campagna geognostica.

Per la caratterizzazione litostratigrafica e geotecnica dei terreni di sottofondazione si sono eseguite sull'area in esame, n. 5 prove penetrometriche statiche CPT, spinte sino alla profondità massima di 4,40 m dal piano campagna, profondità alla quale si è incontrato il primo strato di ghiaia che non ha permesso oltre l'avanzamento.

Al fine poi di classificare da un punto di vista sismico i terreni presenti, si è effettuata un'apposita indagine geofisica, tramite l'esecuzione di uno stendimento MASW, la quale ha permesso di determinare la V_{s30} , velocità delle onde di taglio nei primi 30 m di profondità, e quindi la categoria di suolo di fondazione interessato dai futuri interventi edilizi, in funzione della quale si sono poi ricavati i relativi coefficienti di amplificazione stratigrafica.

La relazione si articola nel seguente modo:

- A) INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E AMBIENTALE
 - A1) INQUADRAMENTO GEOGRAFICO
 - A2) INQUADRAMENTO GEOLOGICO
- B) VALUTAZIONE DELLA FATTIBILITA' DEL PROGETTO PROPOSTO
 - B1) DESCRIZIONE DEL PROGETTO
 - B2) INDAGINI GEOGNOSTICHE
 - B3) CLASSIFICAZIONE SISMICA
 - B4) MICROZONAZIONE SISMICA
 - B5) FATTIBILITÀ DEL PROGETTO PROPOSTO
- C) CONCLUSIONI
- ALLEGATI

A) INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E AMBIENTALE

. A1) INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area esaminata, sulla quale è in progetto la costruzione dei futuri fabbricati residenziali, si colloca nella zona nord ovest del centro abitato di Formigine (Mo), più precisamente ubicata lungo via Beato Odoardo Focherini e via XX Settembre; siamo nella fascia di alta pianura modenese ad una quota media di circa 76-77 metri sul livello del mare.

Da un punto di vista cartografico è compresa nella Tavola della C.T.R. alla scala 1:25.000 n. 219NE, denominata "Formigine" (Allegato 1) e nell'Elemento, sempre della C.T.R., in scala 1:5.000 n. 219034 denominato "Casinalbo" (Allegato 2).

In allegato 8 si riporta una planimetria dell'area in esame con indicazione dei lotti edificabili, sui quali sono previsti i futuri fabbricati in progetto.

.A2) INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Dal punto di vista geologico l'area in esame del PUA, sulla quale è prevista la costruzione dei nuovi residenziali in progetto, si colloca nella fascia di alta pianura modenese appartenente alla zona di transizione tra i conoidi dei corsi minori e la piana alluvionale.

Tale porzione di territorio è caratterizzata deposizionalmente dai sedimenti alluvionali costituenti la pianura, alla cui formazione hanno contribuito, interferendo con il Fiume Secchia stesso, anche i corsi d'acqua minori, tra cui il principale Torrente Tiepido.

In particolare l'area insiste sul settore sinistro della conoide che il torrente Tiepido ha formato al suo sbocco in pianura, a partire dal Pleistocene medio-superiore, alla chiusura del ciclo marino pliocenico-calabriano e dopo il sollevamento definitivo della catena appenninica, sulla quale si colloca quasi tutto il centro abitato di Formigine.

Sono presenti in superficie depositi di età pleistocenica e olocenica, riferibili prevalentemente ad ambiente deposizionale di alta energia, costituiti da alluvioni terrazzate e da alluvioni del fondovalle.

Le prime sono caratterizzate dalla presenza di sabbie e ghiaie con limo di colore bruno o giallo ocra, non sempre alterate in superficie; le seconde sono invece rappresentate sia da terreni prevalentemente sabbiosi con alte percentuali di limo, che da terreni prevalentemente ghiaiosi. In allegato 3 viene riportata la "Carta geologica del margine appenninico e dell'alta pianura modenese" (Gasperi, 1987), nella quale si può notare come l'area in oggetto ricada all'interno dell'Unità delle conoidi dei corsi d'acqua minori (4a), riferibile al torrente Tiepido, di età recente, compresa tra il Neolitico-Romano, rappresentata da depositi alluvionali limosi e argillosi, con intercalazioni di lenti di ghiaie.

Tale porzione di territorio è infatti caratterizzata deposizionalmente dai sedimenti alluvionali, a granulometria grossolana, costituenti la pianura, in cui lo spessore dei materiali risulta, in corrispondenza della zona in studio, pari a circa 100 metri e tendente ad aumentare man mano che si procede verso Nord.

Tali terreni, di età riferibile all'Olocene, appoggiano su di un substrato, affiorante a Sud verso il margine collinare, costituito da formazioni marine impermeabili di natura argillosa di età plio-pleistocenica media, le quali per motivi strutturali vengono rapidamente ribassate a Nord

dell'allineamento Sassuolo-Maranello-Vignola e ricoperte appunto dalle alluvioni della conoide fluviale.

La fase continentale di riempimento è stata infatti preceduta da una fase marina nel pliocene superiore-pleistocene inferiore, quando l'intera Pianura Padana era ancora sommersa e costituiva un grande golfo del mare Adriatico, nel quale si raccoglievano e si depositavano i sedimenti provenienti dall'erosione delle catene alpina e appenninica.

Stratigraficamente ritroviamo la base delle formazioni marine plio-pleistoceniche a circa 2000-3000 m di profondità.

Da un punto di vista litostratigrafico si hanno quindi terreni fini in superficie, che sormontano con modesti spessori terreni grossolani prevalenti, che a loro volta sono intercalati a strati granulometricamente più fini, sotto forma di lenti e bancate di variabile spessore ed estensione; nell'area in oggetto il primo strato di ghiaia si colloca a profondità variabili pari a circa 5 m dal piano di campagna, come evidenziato anche nella carta in allegato 4.

In allegato 4 viene riportata la Carta della litologia di superficie desunta dallo studio eseguito sui territori dell'alta pianura modenese, dal Comune di Modena in collaborazione con l'Istituto di Geologia dell'Università di Modena; dall'analisi di tale carta risulta chiaro come le caratteristiche litologiche e granulometriche dei terreni superficiali siano da ricollegarsi all'evoluzione paleoidrografica del fiume Secchia e dei corsi d'acqua minori, tra cui il Torrente Tiepido, risulta il più importante.

I tipi litologici principali, ghiaie, sabbie, limi e argille, affiorano secondo fasce allungate in direzione NNE-SSO, segnatamente in linea con la direzione di scorrimento dei corsi d'acqua appenninici.

Nell'area in studio la litologia di superficie è rappresentata da depositi prevalentemente limosi e argillosi, che ricoprono con modesto spessore, circa 3 m, il primo strato di ghiaia, come si evince anche dalle prove eseguite sull'area del PUA.

Morfologicamente l'area d'intervento si presenta pianeggiante, tale da permettere uno sviluppo dell'intervento in progetto senza particolari problemi; si vuole precisare come trattasi di un'area inserita in un contesto urbano, già ampiamente edificato, per la quale non si riscontrano nessuna problematica.

La morfologia dell'area, tipica della fascia di alta pianura modenese, è interessata solo localmente, a larga scala, da dossi e avvallamenti, che testimoniano le antiche divagazioni dei corsi d'acqua; l'andamento è quasi perfettamente pianeggiante con pendenze modeste verso N-NE, nell'ordine del 3-4%, con quote medie di 76-77 metri s.l.m.

L'area risulta completamente caratterizzata dall'intervento antropico, che attualmente si qualifica ad unico agente morfogenetico.

L'area esaminata, per quel che riguarda l'idrogeologia, si colloca sulla struttura della conoide dei corsi d'acqua minori, nella quale, come già detto, risultano intercalati depositi grossolani in potenti bancate, e depositi più fini sempre con notevoli spessori.

Siamo quindi in presenza di una falda multistrato e mono acquifero solo localmente differenziabile, con valori di trasmissività estremamente elevati, la cui alimentazione avviene principalmente per apporti di subalveo dal fiume stesso e per infiltrazione superficiale.

La superficie piezometrica si attesta sui 10 m di profondità dal piano di campagna.

Nell'area in esame il drenaggio superficiale è assicurato dalla presenza della rete fognaria urbana e più in generale, al di fuori del centro urbano, dal sistema dei fossi presenti; si rilevano complessivamente buone condizioni di deflusso delle acque superficiali, in relazione anche alla litologia dei terreni affioranti.

Nella zona d'intervento non si sono riscontrati problemi di ristagno idrico delle acque di precipitazione, non rilevando forme depresse o chiuse che rendono difficoltoso il drenaggio superficiale, che potrebbero provocare un peggioramento delle caratteristiche meccaniche dei terreni presenti.

Per quanto riguarda l'idrografia superficiale i corsi d'acqua presenti sono rappresentati prevalentemente dal fiume Secchia a ovest e da corsi minori (torrente Fossa e Tiepido), che complessivamente creano buone condizioni di deflusso delle acque superficiali. In relazione alle condizioni fisiche dei corsi d'acqua presenti, che scorrono nelle vicinanze dell'area, con i propri letti inalveati rispetto al piano campagna circostante, si ritiene non sussistano rischi di esondazione per l'area in esame.

. B) VALUTAZIONE DELLA FATTIBILITA' DELL'INTERVENTO

.B1) DESCRIZIONE DEL PROGETTO

Il progetto in esame rappresenta il Piano Urbanistico Attuativo, PUA, dell'Ambito ANS2 Formigine nord-ovest, per la futura realizzazione di insediamenti residenziali, come già attualmente presenti nel contesto urbano nel quale si inserisce.

L'area dell'Ambito si colloca lungo le via XX Settembre e Focherini, nella zona nord ovest del centro abitato di Formigine (Mo), ed è attualmente utilizzata come area agricola.

La nuova destinazione urbanistica prevede per l'ambito in oggetto interventi prevalentemente residenziali. Nell'area di piano, oltre ai diversi lotti edificabili, si prevede la realizzazione dei vari servizi, quali parcheggi, la viabilità interna e di collegamento con quella pubblica, oltre alle zone a verde sia pubblico, che privato.

. B2) INDAGINI GEOGNOSTICHE

Per la caratterizzazione geologica-geotecnica e geofisica dell'area dell'Ambito ANS2 in oggetto, oltre ad una raccolta bibliografica e cartografica degli studi eseguiti nella zona in studio, vedi PSC del Comune di Formigine, è stata predisposta un'apposita indagine geognostica consistita nell'esecuzione di:

- N. 5 prove penetrometriche statiche CPT;
- N. 1 stendimento sismico MASW.

Prove penetrometriche CPT

In data 14/06/2021 si è provveduto ad eseguire un'indagine geognostica sull'area in oggetto, al fine di valutare le caratteristiche litostratigrafiche e geotecniche dei terreni che saranno interessati dagli interventi in progetto.

L'indagine è stata sviluppata mediante l'esecuzione di n. 5 prove penetrometriche spinte sino alla profondità massima di 4,40 m dal piano campagna, profondità alla quale si è incontrato il primo strato di ghiaia che non ha permesso oltre l'avanzamento.

Le prove eseguite sull'area sono ubicate come da allegato 8, e in relazione alle presumibili caratteristiche granulometriche dei terreni del primo sottosuolo, sono state effettuate con infissione statica.

Le prove sono state effettuate in campagna utilizzando un penetrometro statico olandese Gouda da 10 tonnellate, montato su carrello cingolato, impiegando per la perforazione una punta "Friction Jacket Cone" avente un'area di 10 cm² e un angolo alla punta di 60 gradi.

I dati acquisiti attraverso una cella estensimetrica di carico hanno permesso di determinare ogni 20 cm d'avanzamento della punta, i valori, calcolati mediante elaborazione automatica, della resistenza penetrometrica alla punta (Rp), espressi in Kg/cm², i valori della resistenza laterale locale (Rl), sempre espressi in Kg/cm², nonché i valori della resistenza laterale totale (punta + manicotto), sempre in Kg/cm².

Nei diagrammi penetrometrici, sempre in allegato al presente studio, sono state riportate, per semplicità di lettura, mediante plotter interfacciato con l'elaboratore, solamente due curve e precisamente:

- a sinistra, la curva della resistenza penetrometrica alla punta (Rp: pressione di rottura del terreno), espressa in Kg/cm²;
- a destra, la curva della resistenza laterale (Rl espressa in Kg/cm²).



Prova penetrometrica P1



Prova penetrometrica P2



Prova penetrometrica P3



Prova penetrometrica P4



Prova penetrometrica P5

L'elaborazione dei valori di resistenza all'infissione caratteristici dei vari livelli del sottosuolo, fornisce utili informazioni per il riconoscimento di massima della litologia dei terreni attraversati, sulla base del rapporto R_p/R_l (q_c/f_s) fra la resistenza alla punta e la resistenza laterale (Rapporto di Begemann 1965 – Raccomandazioni AGI) ovvero sulla base dei valori di R_p e del rapporto $Fr=R_l/R_p\%$ (Schemertmann 1878).

Analogamente i dati geognostici raccolti sono stati elaborati suddividendo il terreno in strati omogenei per caratteristiche litologiche e geotecniche, determinando per ognuno i valori medi dei principali parametri geotecnici, ottenuti mediante ormai note correlazioni empiriche, il tutto come riportato di seguito.

Modello geologico

L'elaborazione delle prove penetrometriche e la correlazione delle stesse con altre indagini eseguite in aree circostanti, ha permesso di ricostruire il modello geologico del primo sottosuolo. In generale si rileva una copertura fine argillosa e limosa, fino a circa 3/4 m di profondità, ove si incontra il primo strato di ghiaia.

L'indagine specifica evidenzia la presenza delle seguenti unità:

Unità A da 0 m a 3/4 m

La prima unità è costituita da terreni fini e medio-fini, formati da argille limose e limi argillosi, da mediamente a molto compatti e consistenti.

Unità B da 3/4 m

La seconda unità è costituita da terreni grossolani, formati da ghiaie eterometriche ed eterogenee, ben addensate, in matrice sabbiosa. Da dati bibliografici consultati tale unità risulta avere uno spessore medio nell'ordine di 7/8 metri.

Situazione idrogeologica locale

I terreni riscontrati all'interno dell'area in esame, dal punto di vista idrogeologico, sono classificabili come depositi alluvionali di origine fluviale, da poco permeabili a quasi impermeabili. Nell'area in esame non si è riscontrata una falda freatica superficiale, la cui profondità, da dati bibliografici si colloca oltre i 10 metri.

Caratterizzazione geotecnica

La caratterizzazione geotecnica dei terreni del primo sottosuolo è stata eseguita mediante l'elaborazione delle cinque prove penetrometriche statiche eseguite sull'area, sulla quale è prevista la realizzazione dei futuri interventi in progetto, spinte sino alla profondità di 4,40 m dal piano campagna. Le prove sono poi state confrontate con altre prove effettuate nelle vicinanze in occasione di altri interventi edilizi, rilevando una sostanziale omogeneità della situazione. La parametrizzazione delle unità litotecniche del sottosuolo è stata redatta attraverso le correlazioni proposte in letteratura, con riferimento alle unità litostratigrafiche prima descritte.

Complessivamente l'indagine eseguita ha evidenziato la presenza di terreni con ottime caratteristiche di resistenza del tutto favorevoli alla realizzazione degli interventi previsti.

I terreni interessati dalle strutture di fondazione in progetto, ovvero i più interessati dall'interazione struttura-terreno, sono quelli dell'unità A, sufficientemente consistenti da affrontare le normali problematiche fondazionali.

Le caratteristiche geotecniche dei terreni variano da buone a molto buone, con valori medi di resistenza meccanica che, entro i primi 3/4 metri di profondità, risultano pari a circa 30 kg/cm². Per quanto riguarda lo strato di ghiaia sottostante si rilevano resistenze oltre i 200 Kg/cm².

Nelle tabelle seguenti è riportata per le prove eseguite la caratterizzazione litostratigrafica e geotecnica media, con i principali parametri utili per le successive verifiche.

Parametri geotecnici

Prova P1

Strato	Prof.	Rpm	Cu	C'	φ	Mo	γ	Dr	v	w	Tipo
1	0,60 – 4,00	31,39	1,05	0,38	21	82,78	1,9	/	0,42	3	Limi argillosi
2	4,00 – 4,40	292,50	/	/	39	605,00	2,2	80	0,3	12	Ghiaie

Prova P2

Strato	Prof.	Rpm	Cu	C'	φ	Mo	γ	Dr	v	w	Tipo
1	0,60 – 3,60	42,06	1,40	0,55	21	104,12	1,9	/	0,4	4	Limi argillosi
2	3,60 – 4,20	221,67	/	/	39	463,34	2,2	80	0,3	12	Ghiaie

Prova P3

Strato	Prof.	Rpm	Cu	C'	φ	Mo	γ	Dr	v	w	Tipo
1	0,60 – 3,40	38,33	1,28	0,49	21	96,66	1,9	/	0,42	3	Limi argillosi
2	3,40 – 3,80	314,00	/	/	39	648,00	2,2	80	0,3	12	Ghiaie

Prova P4

Strato	Prof.	Rpm	Cu	C'	φ	Mo	γ	Dr	v	w	Tipo
1	0,60 – 3,00	42,92	1,43	0,57	21	105,84	1,9	/	0,4	4	Limi argillosi
2	3,00 – 3,40	209,50	/	/	39	439,00	2,2	80	0,3	12	Ghiaie

Prova P5

Strato	Prof.	Rpm	Cu	C'	φ	Mo	γ	Dr	v	w	Tipo
1	0,60 – 3,00	38,46	1,28	0,49	21	96,92	1,9	/	0,42	3	Limi argillosi
2	3,00 – 3,40	227,00	/	/	39	474,00	2,2	80	0,3	12	Ghiaie

dove:

Strato:	Numero progressivo strato	φ :	Angolo di resistenza al taglio ($^{\circ}$)
Prof:	Profondità base strato (m)	Mo:	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
Rpm:	Resistenza alla punta media (Kg/cm ²)	γ :	Peso unità di volume (t/m ³)
Cu:	Coesione non drenata (Kg/cm ²)	w:	Coefficiente di Winkler (Kg/cm ³)
C':	Coesione efficace (Kg/cm ²)	v:	Coefficiente di Poisson
Dr:	Densità relativa (%)	Tipo:	Litologia prevalente strato

.B3) CLASSIFICAZIONE SISMICA

L'Emilia-Romagna è interessata da una sismicità che può essere definita media relativamente alla sismicità nazionale, con terremoti storici di magnitudo massima compresa tra 5,5 e 6 della scala Richter e intensità del IX-X grado della scala Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS).

La porzione dell'alta pianura modenese in cui ricade l'area in esame risulta caratterizzata da un'attività tettonica attiva, dovuta alla presenza nel sottosuolo di strutture geodinamiche note in bibliografia con il nome di dorsale ferrarese, caratterizzate da tutta una serie di pieghe e faglie, che hanno determinato il notevole innalzamento dei depositi marini e che interessano tutta la zona della bassa modenese, responsabili tra l'altro dei terremoti del 20 e 29 maggio 2012, che hanno interessato proprio tale zona, tra cui anche quella in oggetto, tanto da danneggiare il fabbricato oggetto di demolizione e ricostruzione.

Nelle vicinanze dell'area vi sono poi altre zone attive dal punto di vista tettonico, basti pensare alle zone che si collocano a sud, a ridosso del margine appenninico, zone nelle quali si riconoscono faglie attive con blocchi in movimento relativo tra di loro, la catena appenninica in sollevamento e l'alta pianura in abbassamento, che hanno provocato lesioni allineate secondo l'andamento delle fratture. Tutto ciò a dimostrare come la zona in esame sia caratterizzata da movimenti tettonici marcati, che scaricano gradualmente l'energia accumulata nel terreno, che possono originare fenomeni sismici frequenti ancorché di modesta entità.

A tale proposito l'Ordinanza del P.C.M. n. 3274 del 20/03/2003 e s.m.i., "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica", ha stabilito la nuova classificazione sismica di tutto il territorio nazionale, e disciplinato la progettazione e la costruzione di nuovi edifici soggetti ad azioni sismiche, nonché la valutazione della sicurezza e gli interventi di adeguamento e miglioramento su edifici esistenti soggetti al medesimo tipo di azioni.

Il sito di costruzione ed i terreni in esso presenti dovranno in generale essere esenti da rischi di instabilità di pendii e di cedimenti permanenti causati da fenomeni di liquefazione o eccessivo addensamento in caso di terremoto.

Con l'entrata in vigore, il 23 ottobre 2005, delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14.09.2005, le cui norme tecniche includono tra le referenze tecniche essenziali anche l'Ordinanza n. 3274/2003 e s.m.i., è diventata obbligatoria la progettazione antisismica per tutto il territorio nazionale, facendo riferimento alle zone sismiche di cui alla OPCM 3274/2003. Ai fini dell'applicazione di queste norme, il territorio nazionale è stato suddiviso in quattro zone sismiche, a ciascuna delle quali è assegnato un intervallo di valori dell'accelerazione di picco orizzontale del suolo (a_g), con probabilità di superamento del 10% in 50 anni; in particolare, per la determinazione delle azioni sismiche, risulta assegnato un valore (a_g / g), di ancoraggio

dello spettro di risposta elastico, diverso per ogni zona sismica; il Comune di Formigine ricade nella zona 2 (Allegato 5) a sismicità media, a cui è associato un valore della massima accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico pari a $a_g = 0,25g$.

I valori di a_g , espressi come frazione dell'accelerazione di gravità g , da adottare in ciascuna delle zone sismiche del territorio nazionale sono:

Zona	Valore di a_g
1	0,35g
2	0,25g
3	0,15g
4	0,05g

Con l'entrata in vigore del D.M. 14 gennaio 2008, come confermato dal recente D.M. 17/01/2018 che ne ha aggiornato alcuni contenuti, la stima della pericolosità sismica, intesa come accelerazione massima orizzontale su suolo rigido ($V_{s30} > 800$ m/s), viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente". Secondo l'approccio "zona dipendente", adottato dalla precedenti normative nazionali in campo antisismico, l'accelerazione di base a_g , senza considerare l'incremento dovuto ad effetti locali dei terreni, era direttamente derivante dalla Zona sismica di appartenenza del comune nel cui territorio è localizzato il sito di progetto.

Nella normativa di cui al D.M. 14 gennaio 2008, come confermato da quella del 2018, la classificazione sismica del territorio è scollegata dalla determinazione dell'azione sismica di progetto, mentre rimane il riferimento per la trattazione di problematiche tecnico-amministrative connesse con la stima della pericolosità sismica. Pertanto, secondo quanto riportato nell'allegato A del D.M. 14 gennaio 2008, ripresi dalle NTC del 2018, la stima dei parametri spettrali necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto viene effettuata calcolandoli direttamente per il sito in esame, utilizzando come riferimento le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento, riportato nella tabella 1 nell'allegato B del D.M. del 2008. Tale griglia è costituita da 10.751 nodi (distanziati di non più di 10 km) e copre l'intero territorio nazionale ad esclusione delle isole (tranne Sicilia, Ischia, Procida e Capri) dove, con metodologia e convenzioni analoghe vengono forniti parametri spettrali costanti per tutto il territorio (tabella 2 nell'allegato B del D.M. 14 gennaio 2008).

Per ciascuno dei nodi della griglia vengono forniti, per 9 valori del periodo di ritorno (da 30 anni a 2.475 anni), i valori dei parametri di pericolosità sismica, utili per la progettazione e cioè i valori di a_g (accelerazione orizzontale massima del terreno espressa in $g/10$), F_0 (valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale adimensionale) e T^*c (periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro di accelerazione orizzontale espresso in secondi) necessari per la definizione dell'azione sismica, una volta definito per l'intervento in progetto, ai sensi sempre delle NTC2008, come riprese da quelle del 2018, il tipo e la classe (ad esempio, per i fabbricati in oggetto, tipo 2 e classe II).

Secondo quanto riportato nell'allegato A del D.M. 2008, definite le coordinate del sito interessato dal progetto, è possibile il calcolo dei suddetti parametri spettrali (per uno dei tempi di ritorno forniti) tramite media pesata con i 4 punti della griglia di accelerazioni (Tabella

1 in Allegato B) che comprendono il sito in esame, per i quattro stati limite previsti dalle norme S.L.O., S.L.D., S.L.V. e S.L.C.

Inoltre allo scopo di valutare l'amplificazione lito-stratigrafica dell'azione sismica di progetto, intesa come l'azione generata dal moto non uniforme del terreno di sedime per effetto della propagazione delle onde sismiche, deve essere classificato il terreno di fondazione, nelle seguenti categorie individuate dalle NTC 2008 e parzialmente modificate nelle NTC2018, come di seguito riportate.

Il sito viene classificato sulla base di Vs30 se disponibile, altrimenti sulla base del valore di Nspt, per terreni prevalentemente granulari, ovvero sulla base della cu, per i terreni prevalentemente coesivi, nelle seguenti categorie di suolo:

A -	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di Vs30 >800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B -	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero resistenza penetrometrica NSPT>50 nei terreni a grana grossa, o coesione non drenata cu>250 kPa nei terreni a grana fine).
C -	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensate, o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 180 e 360 m/s (ovvero 15< NSPT <50 nei terreni a grana grossa, 70< cu <250 kPa nei terreni a grana fine).
D -	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine scarsamente consistenti, con spessori superiori ai 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 <180 m/s (ovvero NSPT <15 nei terreni a grana grossa, cu <70 kPa nei terreni a grana fine).
E -	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente, simili a quelli dei tipi C o D con profondità del substrato non superiore ai 30 metri.

Le nuove norme di cui al D.M. 17/01/2018 hanno soppresso poi le due categorie speciali che erano individuate con le lettere S1 e S2 per le quali le NTC2008 richiedevano per la definizione dell'azione sismica il ricorso a studi specifici.

Nelle definizioni precedenti Vs30 è la velocità media di propagazione entro i primi 30 m di profondità delle onde di taglio e viene calcolata con la seguente espressione:

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

dove h_i e V_i indicano lo spessore (in metri) e la velocità delle onde di taglio dello strato i -esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori.

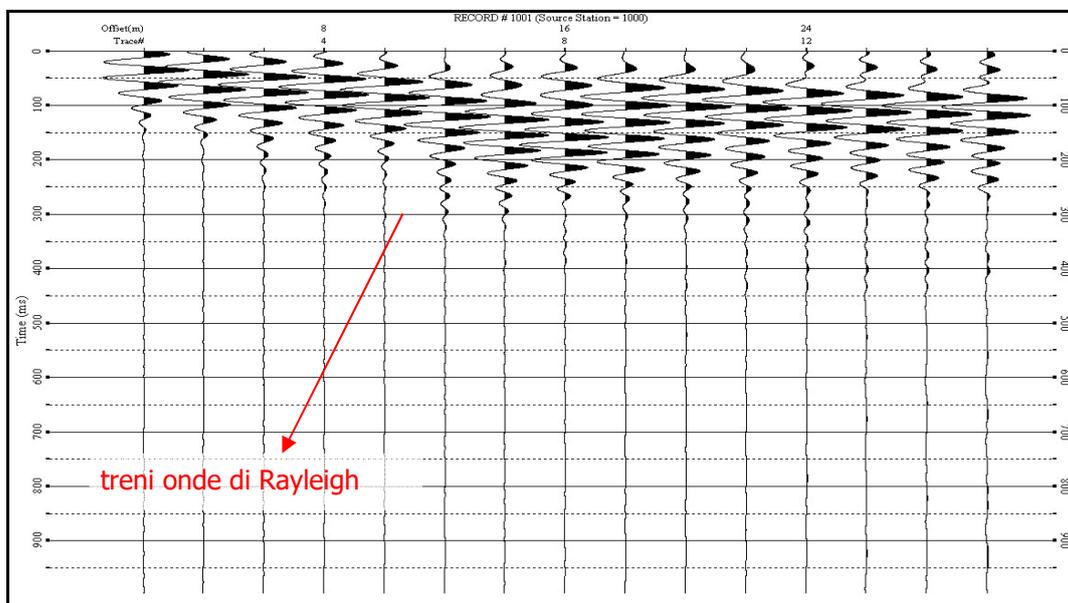
Indagine sismica Masw

In data 14/06/2021 si è provveduto ad eseguire un'indagine geofisica, tramite uno stendimento MASW, sull'area in oggetto (Allegato 8), al fine di valutare le caratteristiche sismiche dei terreni che saranno interessati dall'intervento in progetto.

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

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

La successiva elaborazione consente di ottenere un diagramma 1D (profondità/velocità onde di taglio) tramite modellizzazione ed elaborazione matematica con algoritmi capaci di minimizzare le differenze tra i modelli elaborati e i dati di partenza.



- Sismogramma -

Il diagramma, riferibile al centro della linea sismica, rappresenta un valor medio della sezione di terreno interessata all'indagine di lunghezza circa corrispondente a quella della linea sismica e profondità variabile principalmente in funzione delle caratteristiche dei materiali attraversati e della geometria dello stendimento. Il metodo MASW fruttava le caratteristiche di propagazione

delle onde di Rayleigh per ricavare le equivalenti velocità delle onde di taglio (V_s), essendo le onde di Rayleigh prodotte dall'interazione delle onde di taglio verticali e delle onde di volume (V_p). Le onde di Rayleigh si propagano secondo fronti d'onda cilindrici, producendo un movimento ellittico delle particelle durante il transito.

Con i metodi di energizzazione usuali i due terzi dell'energia prodotta viene trasportata dalle onde di Rayleigh a fronte di meno di un terzo suddiviso tra le rimanenti tipologie di onde. Inoltre le onde di Rayleigh sono meno sensibili delle onde P e S alla dispersione in funzione della distanza e con un'attenuazione geometrica inferiore.

Onde di Rayleigh ad alte frequenze e piccole lunghezze d'onda trasportano informazioni relative agli strati più superficiali mentre quelle a basse frequenze e lunghezze d'onda maggiori interessano anche gli strati più profondi.

In pratica il metodo MASW di tipo attivo opera in intervalli di frequenze comprese tra 5 e 70 Hz circa, permettendo di indagare una profondità massima variabile, in funzione delle caratteristiche dei terreni interessati, tra 30 e 50 metri.

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

Nella campagna di indagine del lavoro in oggetto è stato eseguito uno stendimento di 24 geofoni, con spaziatura tra i geofoni di 2 metri per una lunghezza della linea sismica di 46 metri. L'energizzazione è stata eseguita a 2,5 e a 10 metri dal primo e dall'ultimo geofono.

Per ridurre il rumore di fondo e migliorare la qualità complessiva dei sismogrammi sono stati sommati più tiri. Il sito di indagine è collocato in area urbana, ove comunque non si rilevano particolari fonti di rumore antropico in grado di interferire con il segnale sismico.

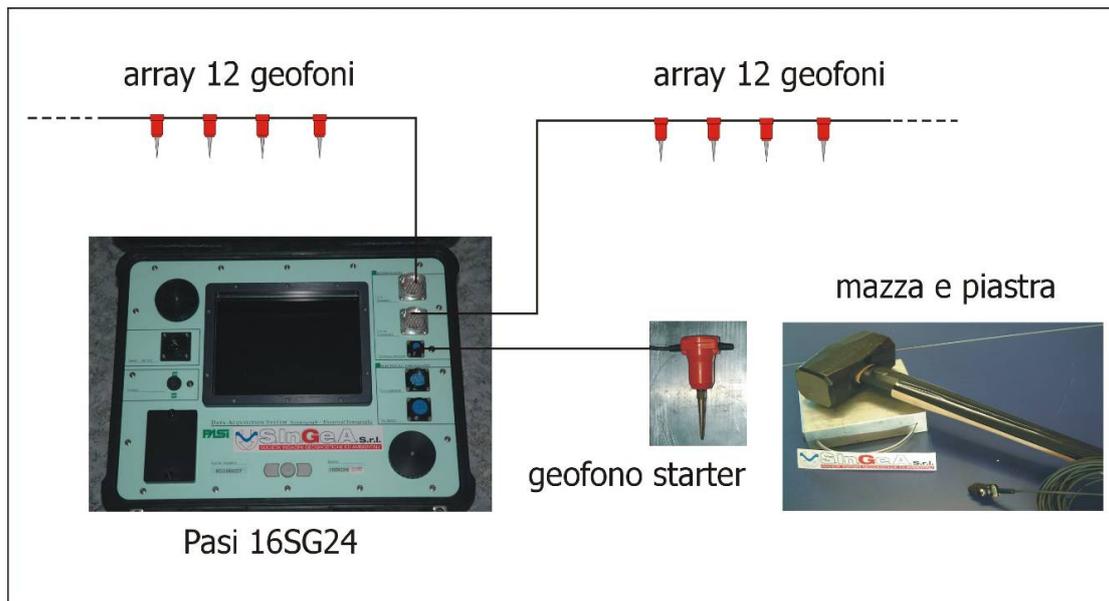
Strumentazione

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un simografo multicanale "PASI 16SG24", dotato di 24 geofoni verticali Oyo Geospace con frequenza propria di 4,5 Hz, collegati allo strumento tramite cavi elettrici schermati.

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

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

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



- "PASI 16SG24" con due stringhe da 12 geofoni -

Elaborazione

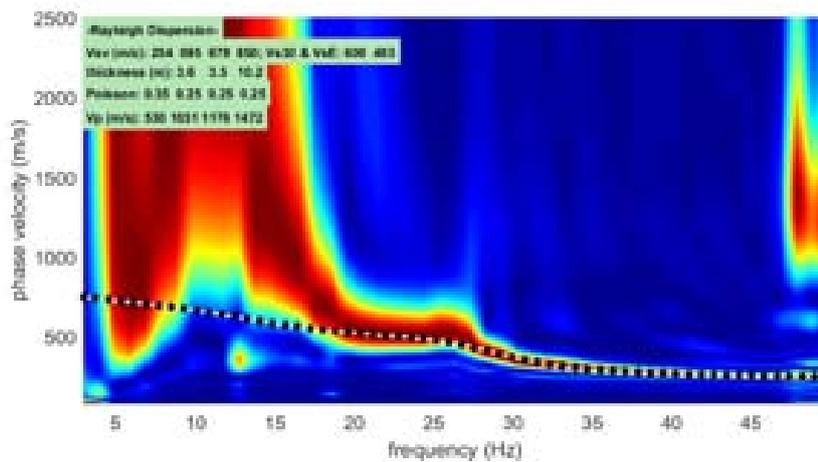
L'elaborazione è stata effettuata con un software dedicato (*SurfSeis 2 – Kansas Geological Survey*) in grado di gestire le fasi di preparazione, analisi, modellizzazione e restituzione finale.

La fase iniziale consiste nel filtraggio del segnale sismico per eliminare il "rumore" ed eventuali frequenze indesiderate. Il software permette di visualizzare il sismogramma nel dominio spazio-tempo e visualizzando i grafici frequenza-ampiezza anche per le singole tracce. Sono disponibili varie modalità di gestione del segnale, le cui principali sono i filtri "passa basso", "passa alto", "passa banda", "taglia banda", il "muting", l'ACG e i filtri tipo F-K ("fan cut", "fun pass", "horizontal e vertical cut").

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

Il diagramma permette di visualizzare anche l'intervallo di lunghezza d'onda acquisito e il rapporto segnale-disturbo, utile per valutare la qualità dei dati. Utilizzando la curva di dispersione si procede ad individuare la curva della velocità di fase apparente tramite metodo manuale o semi-automatico.

La fase di inversione prevede una modellizzazione monodimensionale che consente di determinare un profilo di velocità delle onde di taglio V_s in funzione della profondità. L'elaborazione avviene tramite l'applicazione di un procedimento calcolo e un algoritmo di inversione (Xia et al. 1999a), che gestisce i parametri velocità di taglio (V_s) e spessore degli strati.

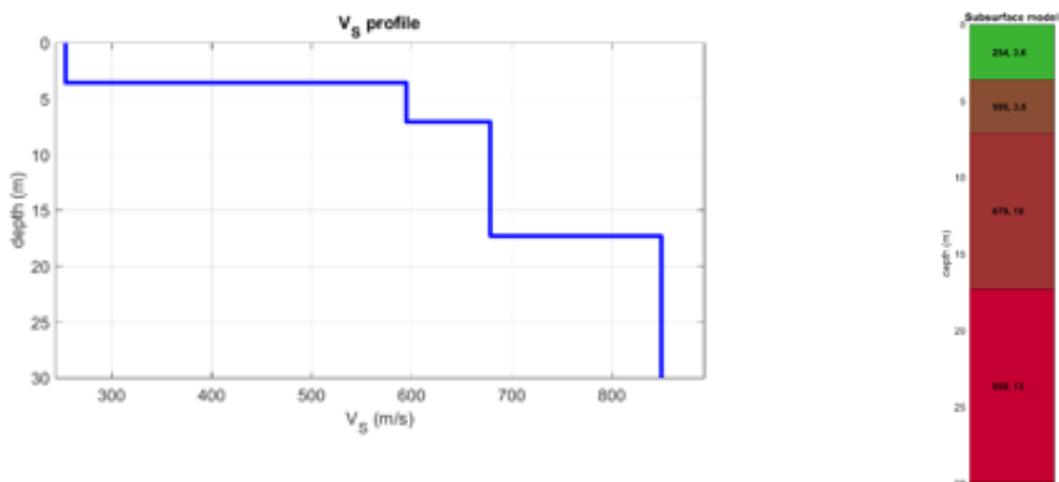


- Curva di dispersione -

Altri parametri previsti dal modello sono il coefficiente di poisson e la velocità delle onde di volume (Vp) che, assieme allo spessore dei sismostrati e relative Vs, possono venire modificati anche manualmente. Tramite interazioni successive si ottiene un modello geofisico in grado di far coincidere con la migliore approssimazione possibile (errore quadratico medio inferiore al 5-10%) la curva di dispersione elaborata nella fase precedente e quella modellizzata.

Determinazione della categoria del suolo di fondazione

Profondità da p.c. (m)	Spessore (m)	Velocità onde S (m/sec)
3.6	3.6	254
7.1	3.5	595
17.3	10.2	679
22.7	30.0	850



- Diagramma Vs/profondità -

Per i terreni in oggetto, nell’area dell’allevamento Bertoni, sulla quale è prevista la costruzione del nuovo fabbricato in progetto, fino ai 30 m di profondità, tenuto conto dell’indagine effettuata, si è ottenuto un valore della Vs₃₀ pari a 600 m/sec e di Vs_{eq} pari a 493 m/sec; sulla base di tali valori si definisce una categoria di suolo di fondazione di tipo B, riferibile a Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs₃₀ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero resistenza penetrometrica NSPT>50 nei terreni a grana grossa, o coesione non drenata cu>250 kPa nei terreni a grana fine).

Sulla base della categoria di suolo di appartenenza del terreno, le NTC2018 associano un coefficiente di amplificazione stratigrafica SS, da applicare alle componenti orizzontali dell’azione sismica; viene inoltre definito un coefficiente CC che serve per il calcolo del periodo di controllo Tc corrispondente all’inizio del tratto a velocità costante dello spettro di risposta elastico in accelerazione.

Poiché tale valore è riferito al bedrock, per definire il valore di ag in superficie si calcola quindi il fattore Ss, caratteristico dell’area, che dipende dalla categoria di suolo di fondazione; essendo i terreni dell’area in esame in categoria B, avremo:

- $Ss = 1.40 - (0.4 \times Fo \times ag/g)$

Viene inoltre definito un coefficiente Cc, che serve per il calcolo del periodo di controllo Tc, corrispondente all’inizio del tratto a velocità costante dello spettro di risposta elastico in accelerazione; in particolare Tc è calcolato come prodotto di Cc per il periodo T*c, ottenuto dallo studio di pericolosità sismici del sito specifico, come riportato nella tabella precedente.

Per suoli in categoria B il coefficiente Cc risulta pari a.

- $Cc = 1.1 \times (T^*c) - 0.2.$

Le NTC 2018 prevedono anche un coefficiente di amplificazione topografica che tiene conto della particolare ubicazione del sito, in relazione alla sua configurazione morfologica.

Vengono previste 4 categorie topografiche, a secondo della configurazione geometrica del sito, alle quali è associato un coefficiente di amplificazione S_T che varia da 1 a 1.4, come riportato nella tabella seguente.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica	Fattore di amplificazione S_T
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$	1
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$	1.2
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	1.2
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$	1.4

Per quanto concerne la topografia dell'area dell'Ambito in studio sito, siamo nella categoria T1, caratterizzata da una superficie pianeggiante con inclinazione media inferiore o uguale a 15° , alla quale è associata un valore del coefficiente di amplificazione topografica S_T pari a 1; anche in riferimento alla recente DGR 476/2021 non abbiamo effetti legati alla topografia, essendo l'area piana con inclinazione inferiore ai 15° .

.B4) MICROZONAZIONE SISMICA

L'operatività della classificazione sismica di tutto il territorio regionale, sia pure in via di prima applicazione, a far data dal 23 ottobre 2005, comporta significativi effetti per quanto riguarda i contenuti e le modalità di approvazione degli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica.

L'esame della distribuzione dei danni prodotti da un terremoto nello stesso territorio dimostra che le azioni sismiche possono assumere anche a distanze di poche decine di metri caratteristiche differenti in funzione delle diverse condizioni locali (morfologia superficiale, morfologia del substrato roccioso sepolto, presenza e profondità della falda freatica, costituzione e proprietà del sottosuolo, presenza di faglie).

Come previsto dalla L.R. 20/2000 e dalla successiva L.R. 19/2008, gli strumenti di pianificazione devono concorrere alla "prevenzione del rischio sismico, sulla base delle analisi di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione".

Pertanto anche gli strumenti di pianificazione a livello comunale devono aggiornarsi su tali aspetti, al fine di "valutare la compatibilità delle previsioni in essi contenute con l'obiettivo della riduzione del rischio sismico e con le esigenze di protezione civile, sulla base di analisi di pericolosità locale nonché di vulnerabilità ed esposizione urbana".

Con la Delibera della G.R. n. 1677/2005 la RER ha fornito le prime indicazioni in merito alle valutazioni della compatibilità delle previsioni urbanistiche con le condizioni di pericolosità locale.

Successivamente la RER ha approvato dall'Assemblea Legislativa il 02.05.2007 l'Atto di indirizzo e coordinamento tecnico in merito agli studi di microzonazione sismica" (Delibera 112), nei quali si dettano i diversi approfondimenti sismici da farsi nelle varie fasi della pianificazione, successivamente aggiornata con la DGR 2193/2015 della RER, recentemente sostituita dalla DGR 630/2019, aggiornata poi dalla DGR 476/2021.

L'area oggetto del presente studio, posta nell'alta pianura modenese nella porzione nord ovest del centro abitato di Formigine, è stata inserita all'interno delle "Aree soggette ad amplificazione per caratteristiche litologiche" nella "Carta provinciale delle aree suscettibili di effetti locali" del vigente PTCP della Provincia di Modena, come riportato in allegato 6.

Da quanto contenuto nel PTCP per l'area in oggetto si richiederebbe pertanto la valutazione del coefficiente di amplificazione litologico, e quindi approfondimenti di II livello, ai sensi della DGR 630/2019, come aggiornata dalla DGR 476/2021.

In seguito ai terremoti del maggio 2012, il Comune di Formigine ha provveduto ad eseguire lo studio di Microzonazione sismica a livello comunale di PSC: nella carta suddetta, riportata in allegato 7, l'area in esame viene definita come interessata da amplificazione stratigrafica per caratteristiche litologiche confermando quanto riportato nel PTCP.

Facendo riferimento alle norme del Piano della Ricostruzione, si evince che le porzioni di Pertanto si è provveduto per quanto attiene la stima dei fattori di amplificazione, all'analisi del II livello di approfondimento ai sensi della DGR 630/2019 e 476/2021.

II Livello di approfondimento – Stima fattori di amplificazione

Si è pertanto proceduto alla elaborazione dell'analisi della risposta sismica locale e microzonazione sismica per l'ambito in esame, tramite un'indagine in sito e successiva definizione dei coefficienti di amplificazione sismica, ottenuti impiegando gli abachi e le formule dell'Allegato A2 (A2.1 e A2.2) dell'Atto di indirizzi della RER, che permettono di calcolare i fattori di amplificazione sismica rispetto ad un suolo di riferimento. Questi fattori sono espressi sia in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA_0) sia di rapporto di Intensità di Housner (SI/SI_0) per prefissati intervalli di periodo, dove PGA_0 e SI_0 sono rispettivamente l'accelerazione orizzontale e l'intensità di Housner al suolo di riferimento, definiti per ogni comune, ricavabili dal data base regionale, e PGA e SI sono le corrispondenti grandezze di accelerazione massima orizzontale e l'intensità di Housner calcolate alla superficie dei siti esaminate.

L'esame della distribuzione dei danni prodotti da un terremoto nello stesso territorio dimostra che le azioni sismiche possono assumere anche a distanze di poche decine di metri caratteristiche differenti in funzione delle diverse condizioni locali (morfologia superficiale, morfologia del substrato roccioso sepolto, presenza e profondità della falda freatica, costituzione e proprietà del sottosuolo, presenza di faglie).

Per la classificazione del sito (modello geologico) è necessario conoscere le caratteristiche stratigrafiche del sottosuolo dell'area indagata; come abbiamo precedentemente trattato, a tale proposito per l'ambito in esame si sono acquisiti tutti i dati e le analisi esistenti, comprensive sia di carte geologiche, geomorfologiche che di dati litostratigrafici, desunti da perforazioni di pozzi per acqua.

La raccolta dei dati ha avuto come finalità la determinazione di:

- 1) il numero e lo spessore degli strati di copertura, cioè dei livelli sovrastanti il bedrock o il bedrock-like, intendendo con questi termini l'eventuale substrato roccioso (bedrock) o uno strato sciolto (bedrocklike) con velocità delle onde S nettamente maggiore dei livelli superiori (e generalmente con valori oltre i 500-700 m/s);
- 2) la velocità delle onde S negli strati di copertura.

Le prove penetrometriche eseguite sull'area in esame hanno permesso di individuare la presenza di una copertura fine fino a circa 3/4 m per poi rilevare strati di ghiaia dominanti fino a diverse decine di metri in profondità.

In conformità a quanto previsto nell'Allegato n. 2 dell'Atto di indirizzi della RER, per calcolare i fattori di amplificazione (F.A.) richiesti nell'analisi semplificata del 2° livello, oltre alla determinazione della V_{s30} , si è definita la situazione litostratigrafica in cui si colloca l'ambito in esame, per l'utilizzo delle tabelle di riferimento.

Dall'elaborazione eseguita si evince come il *Bedrock* sismico (caratterizzato da velocità delle onde S maggiori o uguali a 800 m/s) sia stato individuato all'interno dei primi 30 metri.

Dalle indagini eseguite alle quali si è fatto riferimento, nei primi 30 metri di profondità, il suolo di fondazione indagato appartiene da norma alla categoria B, avendo registrato valori di velocità delle onde di taglio V_s nei primi 30 metri pari a 600 m/sec.

Una volta noto il valore delle V_{s30} , si è proceduto con la determinazione dei fattori di amplificazione secondo la metodologia prima esposta, contenuta nell'Atto di indirizzi, che prevede diversi F.A. in funzione del valore di V_{s30} e della situazione litostratigrafica all'interno della quale ci si colloca, come riportato nelle tabelle in Allegato 2 all'Atto di indirizzi regionale.

Nell'allegato della DGR 630/2019, come aggiornata dalla DGR 476/2021, per la determinazione del fattore di Amplificazione (FA) si individuano diverse situazioni litostratigrafiche, a secondo che ci si ritrovi in una delle tre situazioni si utilizzano differenti tabelle per il calcolo dei fattori di amplificazioni.

La valutazione eseguita ha permesso di definire l'ambito in cui ricade il territorio in studio, necessario per l'applicazione delle tabelle e delle formule dell'Allegato A2 punto A.2.1.2: la zona di Formigine in cui si colloca l'area in esame può essere ragionevolmente inserita nell'ambito denominato Margine di tipo A.

I fattori di amplificazione riportati nelle tabelle delle DGR sopra citate, sono stati calcolati per un tempo di ritorno $TR=475$ anni, con smorzamento $\zeta=5\%$, e sono relativi ai seguenti parametri rappresentativi dello scuotimento sismico:

- accelerazione di picco orizzontale (PGA);
- intensità spettrale $SA = T1 \int T2 A(T, \zeta) dT$

dove A è lo spettro di risposta in accelerazione, T è il periodo proprio e ζ è lo smorzamento; sono stati considerati quattro intervalli di periodo proprio T ottenendo quattro valori di intensità spettrale:

	T1	T2
SA1	0,1 s	0,5 s
SA2	0,4 s	0,8 s
SA3	0,7 s	1,1 s

- intensità spettrale $SI = \tau_1 \int^{\tau_2} V(T, \zeta) dT$

dove V è lo spettro di risposta in velocità, T è il periodo proprio e ζ è lo smorzamento³; sono stati considerati tre intervalli di periodo proprio T ottenendo tre valori di intensità spettrale:

	T1	T2
SI1	0,1 s	0,5 s
SI2	0,5 s	1,0 s

I fattori di amplificazione che si vanno a definire, sono espressi sia in termini di:

- PGA/PGA₀; PGA₀ è l'accelerazione massima orizzontale a periodo T=0 al suolo di riferimento, PGA è l'accelerazione massima orizzontale a periodo T=0 alla superficie del sito.
- SA/SA₀; SA₀ è l'integrale dello spettro di risposta in accelerazione al suolo di riferimento, SA è l'integrale dello spettro di risposta in accelerazione alla superficie del sito.
- SI/SI₀; SI₀ è l'integrale dello spettro di risposta in velocità (Intensità di Housner) al suolo di riferimento, SI l'integrale dello spettro di risposta in velocità (o corrispondente grandezza di Intensità di Housner) alla superficie del sito.

Per quel che concerne al Vs da prendere a riferimento per le tabelle, si è scelto in via cautelativa, di considerare la Vs di 254 m/sec, cioè quella del 1° strato al passaggio con il secondo di ghiaia, dove si evidenzia un forte contrasto di impedenza.

Scelto quindi, il valore della Vs e noto l'ambito litostratigrafico di riferimento, si è desunto il relativo valore del fattore di amplificazione FA, espresso sia in termini di accelerazione massima orizzontale (PGA), sia in termini di intensità spettrale di accelerazione, sia in termini di Intensità di Housner (SI), per prefissati intervalli di periodo, come precedentemente riportato. Si sono ottenuti i seguenti risultati:

	Fattore di amplificazione
PGA	1.8
SA1	1.7
SA2	1.7
SA3	1.6
SI1	1.7
SI2	1.6

La DGR 630/2019, come aggiornata dalla 476/2021, richiede anche la definizione del valore di HSM, parametro che esprime lo scuotimento atteso al sito in valore assoluto (accelerazione in cm/s²), dato dal prodotto del parametro Acceleration Spectrum Intensity (ASIUHS), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato per l'intervallo di periodi

$0,1s \leq T \leq 0,5s$, diviso per ΔT (in questo caso pari a 0,4s) e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione (FA) calcolato per lo stesso intervallo di periodi.

L'Acceleration Spectrum Intensity (ASIUHS) più prossima al sito, ricavata dal data base della DGR 630/2019, già diviso per ΔT , risulta per l'area in esame pari a 336 cm/s^2 che, moltiplicato per il fattore di amplificazione SA1 permette di ottenere, un HSM pari a 571 cm/s^2 . Tale valore identifica una pericolosità sismica moderata ($340 < H_{SM} < 650$), come da tabella seguente.

seismic hazard	low-very low	moderate-low	moderate	high	very high
H_{SM} (cm/s^2)	≤ 180	$180 < H_{SM} \leq 340$	$340 < H_{SM} \leq 650$	$650 < H_{SM} \leq 1240$	> 1240
potential damage	none - very light	very light - moderate	moderate - heavy	heavy	very heavy
instrumental intensity	$\leq VI$	VII	VIII	IX	$\geq X$

MG. Naso, L. Martelli, M. Baglione, F. Brammerini, S. Castenetto, V. D'Intinosante and G. Ercolessi, 2018. Maps for land management: from geology to seismic hazard. Bollettino di geofisica teorica ed applicata. Volume 60 anno 2019.

Verifica della suscettibilità alla liquefazione

Nella nuova normativa tecnica delle costruzioni, di cui al D.M. 17/01/2018, è richiesto di effettuare la verifica a liquefazione nel caso in cui siano presenti, nei primi 20 m di profondità del sottosuolo indagato, terreni granulari saturi (sabbie e sabbie limose) predisposti al fenomeno della liquefazione in caso di sisma. Dalle indagini eseguite è emerso che, dal punto di vista litostratigrafico, il sottosuolo dell'area in esame è costituito da terreni superficiali prevalentemente fini, limosi e argillosi e relativi termini intermedi, sino a circa 3/4 m, per poi ritrovare il primo strato di ghiaia, spesso fino a circa 30/40 m di profondità, non rilevando altresì livelli sabbiosi saturi predisposti al fenomeno della liquefazione. Pertanto da tale punto di vista si ritiene il rischio di liquefazione nullo.

.B5) FATTIBILITÀ DEL PROGETTO DI PUA

Il progetto in esame rappresenta il Piano Urbanistico Attuativo, PUA, dell'Ambito ANS2 Formigine nord-ovest, ubicato nella zona nordovest del centro abitato di Formigine.

Sull'area in esame sono previsti principalmente insediamenti residenziali.

L'area, attualmente agricola, si colloca adiacente ad una zona già ampiamente edificata, con presenza di diversi fabbricati residenziali.

Nell'area dell'Ambito si prevede la realizzazione dei vari servizi, quali parcheggi, la viabilità interna e di collegamento ed il verde sia pubblico che privato, che si collega alle zone esistenti circostanti.

L'area in oggetto presenta quote medie del piano campagna comprese tra 76-77 m s.l.m., con pendenze prevalenti molto blande, pari a circa 0.5-1 per mille, in direzione est nordest.

La morfologia piana e semplice dell'area è tale da permettere uno sviluppo edilizio senza particolari problemi; l'area si presenta del tutto stabile con terreni in posto per i quali non si ravvisano problematiche particolari.

Per l'area in esame non si riscontrano problemi di deflusso delle acque superficiali, risultando del tutto assenti forme chiuse o depresse, che potrebbero dare origine a ristagni idrici, né rischi particolari di allagamenti legati ai corsi d'acqua presenti.

Non si riscontrano problemi per quel che riguarda il drenaggio superficiale delle acque, sia per la permeabilità dei terreni affioranti, sia per la mancanza di forme depresse o chiuse a deflusso difficoltoso.

Per la caratterizzazione litostratigrafica e geotecnica dei terreni presenti si sono eseguite, come detto, sull'area n. 5 prove penetrometriche statiche, ubicate come nella planimetria riportata in allegato 8 e spinte sino alla profondità massima di 4,40 m dall'attuale piano campagna, profondità alla quale si è rinvenuto il primo strato di ghiaia che non ha permesso oltre l'avanzamento.

Da un punto di vista stratigrafico le prove effettuate evidenziano, la presenza dominante di terreni fini, argillosi e limosi, che alla profondità di circa 3/4 m, passano a terreni più grossolani, costituiti da ghiaie molto addensate.

Per quanto attiene l'idrogeologia le prove eseguite confermano nell'area l'assenza di una falda superficiale, che in zona si pone alla profondità di oltre 10 m dal piano campagna, come rilevato anche nelle prove eseguite sull'area di PUA.

Si ritiene pertanto che non vi siano interferenze con le porzioni interrato dei futuri edifici residenziali.

In ogni modo in fase esecutiva ed in relazione al periodo d'intervento si dovrà valutare la profondità della falda superficiale e quindi sue possibili interferenze con le strutture fondali dei futuri edifici in progetto.

Da un punto di vista geotecnico le prove effettuate hanno evidenziato la presenza di terreni con buone caratteristiche di resistenza, rilevando una certa omogeneità sull'area indagata, che, tenuto conto anche delle dimensioni dell'area stessa, sicuramente consiglia successivi approfondimenti specifici sui diversi lotti d'intervento, come tra l'altro previsto dalle normative vigenti in materia. La situazione geotecnica rilevata si riflette necessariamente sulla scelta del tipo di fondazioni adottabili, che sarà strettamente collegata alle caratteristiche tipologiche dei fabbricati in progetto e quindi in rapporto alla stabilità globale opera-terreno. Sulla base delle caratteristiche geomeccaniche del primo sottosuolo, evidenziate dalle indagini geognostiche eseguite nell'area e considerando la tipologia prevalente dei fabbricati previsti (residenziali), si ritiene idonea l'adozione di fondazioni superficiali, di cui il tipo continuo nastriforme o a platea, risulta quello maggiormente indicato, non escludendo comunque altre tipologie, in caso di interventi di un certo impegno.

Si consiglia in tale caso una profondità di posa non inferiore a 0,60/0,80 m dal p.d.c. attuale considerando di fatto il superamento del terreno vegetale superficiale, nonché di quello che maggiormente risente delle variazioni stagionali di umidità e temperatura; a tale proposito si consiglia di valutare in fase esecutiva sui singoli lotti d'intervento l'eventuale presenza di terreni di riporto o rimaneggiati.

Per quanto attiene la resistenza del terreno di sottofondazione, a titolo indicativo, sulla base delle prove eseguite, si è stimata una portanza in termini di tensioni ammissibili, pari a un valore grosso modo di 2 Kg/cmq. Tale valore dovrà essere comunque opportunamente

verificato in fase esecutiva, ai sensi delle norme vigenti NTC2018, una volta noti i carichi agenti.

Per quanto attiene gli aspetti sismici l'area risulta idonea, non rilevandosi rischi particolari; rimane comunque la progettazione sismica degli interventi futuri ai sensi delle nuove NTC2018. Al fine di classificare da un punto di vista sismico i terreni presenti, si è effettuata un'apposita indagine geofisica, tramite l'esecuzione di una base MASW, la quale ha permesso di determinare la V_{s30} , velocità delle onde di taglio nei primi 30 m di profondità, e quindi la categoria di suolo di fondazione interessato dai futuri interventi edilizi, risultata la B, in funzione della quale si sono poi ricavati i relativi coefficienti di amplificazione stratigrafica. Si è verificato come l'area sia omogenea per quanto attenga la risposta sismica locale e i possibili effetti attesi. Non vi sono, invece, effetti legati alla topografia.

Si è valutato come il rischio di liquefazione dei terreni presenti, sia nullo.

In considerazione di tutto ciò possiamo, pertanto, dedurre che per quanto riguarda il progetto di PUA dell'Ambito ANS2 Formigine nord-ovest in studio, non sussistono particolari controindicazioni e questo sia dal punto di vista geologico, geotecnico, morfologico, idrogeologico e sismico, potendo affermare la fattibilità degli interventi in progetto, fermo restando i dovuti approfondimenti in fase esecutiva, sui singoli lotti d'intervento, come peraltro previsto dalle norme in materia.

. C) CONCLUSIONI

La presente relazione è stata redatta a supporto del Piano Urbanistico Attuativo PUA dell'Ambito ANS2 Formigine nord-ovest, per la futura realizzazione di interventi prevalentemente residenziali, su un'area ubicata in via XX Settembre e via Focherini, nel centro abitato di Formigine (Mo).

Si tratta di un'area attualmente agricola, per la quale si prevedono insediamenti di tipo prevalentemente residenziale, oltre alla viabilità, al verde pubblico e privato.

Complessivamente l'indagine eseguita ha evidenziato la mancanza di controindicazioni da un punto di vista geologico, idrogeologico, idrologico, geotecnico e sismico.

Per la caratterizzazione litostratigrafica e geotecnica dei terreni di sottofondazione si sono eseguite sull'area n. 5 prove penetrometriche statiche (CPT), spinte sino alla profondità massima di 4,40 m dal piano campagna, profondità alla quale si è rinvenuto il primo strato di ghiaia.

Al fine poi di classificare da un punto di vista sismico i terreni presenti, si è eseguita sull'area un'indagine geofisica, consistita in uno stendimento sismico MASW, che ha permesso di determinare la V_{s30} , velocità delle onde di taglio nei primi 30 m di profondità, e quindi la categoria di suolo di fondazione interessato dai futuri interventi edilizi, in funzione della quale si sono poi ricavati i relativi coefficienti di amplificazione stratigrafica.

Valutando contestualmente le caratteristiche geotecniche e morfologiche dei terreni presenti, unitamente alla tipologia dei fabbricati previsti, si ritiene di massima idonea l'adozione di fondazioni superficiali.

La profondità di posa delle nuove fondazioni dovrà essere di almeno 0,6/0,8 m dall'attuale piano campagna, in modo tale da oltrepassare il terreno più superficiale soggetto alle variazioni

stagionali di umidità e temperatura; a tale proposito si consiglia di valutare in fase esecutiva sui singoli lotti d'intervento l'eventuale presenza di terreni di riporto o rimaneggiati.

In fase esecutiva, ai sensi delle norme vigenti, si dovrà procedere alla esecuzione delle apposite verifiche geotecniche del complesso terreno-fondazione, preceduto da un idoneo approfondimento geognostico su ciascun lotto, una volta progettato il singolo l'intervento edilizio, tenuto conto della estrema variabilità della situazione riscontrata.

Dal punto di vista idrogeologico, le indagini eseguite hanno evidenziato l'assenza di una falda superficiale; si escludono, pertanto, possibili interferenze tra questa e le fondazioni dei futuri edifici o con i relativi scavi nella fase di cantiere, di cui tenere conto.

Da un punto di vista sismico il Comune di Formigine rientra in zona 2, quindi a media sismicità, alla quale fare riferimento nella progettazione esecutiva degli interventi edilizi; mediante apposita indagine geofisica si è determinata quale categoria di suolo di fondazione, la categoria B, mediante la quale ricavare i fattori di amplificazione stratigrafica. Per quanto riguarda l'amplificazione topografica siamo nella categoria T1.

Come previsto dalla DGR 630/2019, recentemente aggiornata con la DGR 476/2021, e dai successivi strumenti di pianificazione, quale Studio di MZS del Comune di Formigine, si è eseguito uno studio di risposta sismica locale di secondo livello, per la microzonazione dell'Ambito in esame, al fine della riduzione del rischio sismico, che ha evidenziato come l'area dell'ambito sia omogenea per quanto attiene i possibili effetti attesi.

Si sono valutati i fattori di amplificazione stratigrafica. Non vi sono, invece, effetti legati alla topografia. Si è verificato come non vi sia per i terreni in esame rischio di liquefazione.

Pertanto tutto ciò considerato si conferma la fattibilità del presente progetto di PUA Piano Urbanistico Attuativo, dell'Ambito ANS2 Formigine nord-ovest, nel comune di Formigine (MO). In ogni caso, si ritiene comunque necessario in fase esecutiva un approfondimento dello studio qui eseguito sui singoli lotti d'intervento, secondo le specifiche delle norme vigenti di cui alle NTC2018.

Modena 13/12/2021

Il Tecnico

Dott. Geol. Alessandro Maccaferri



ALLEGATI

Allegato 1 – Inquadramento geografico

Allegato 2 – Ubicazione area in oggetto

Allegato 3 – Carta geologica

Allegato 4 – Carta della litologia superficiale

Allegato 5 – Carta della zonizzazione sismica RER

Allegato 6 – Carta del rischio sismico PTCP

Allegato 7 – Carta della microzonazione sismica PSC

Allegato 8 – Ubicazione indagini geognostiche

Allegato 9 – Prove penetrometriche CPT

Inquadramento Geografico

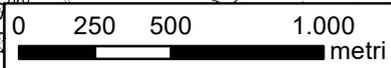
C.T.R. scala 1 : 25.000

Estratto Tavola 219NE "Formigine"

 Ubicazione area in oggetto

A
L
L
E
G
A
T
O

1



Ubicazione area in studio

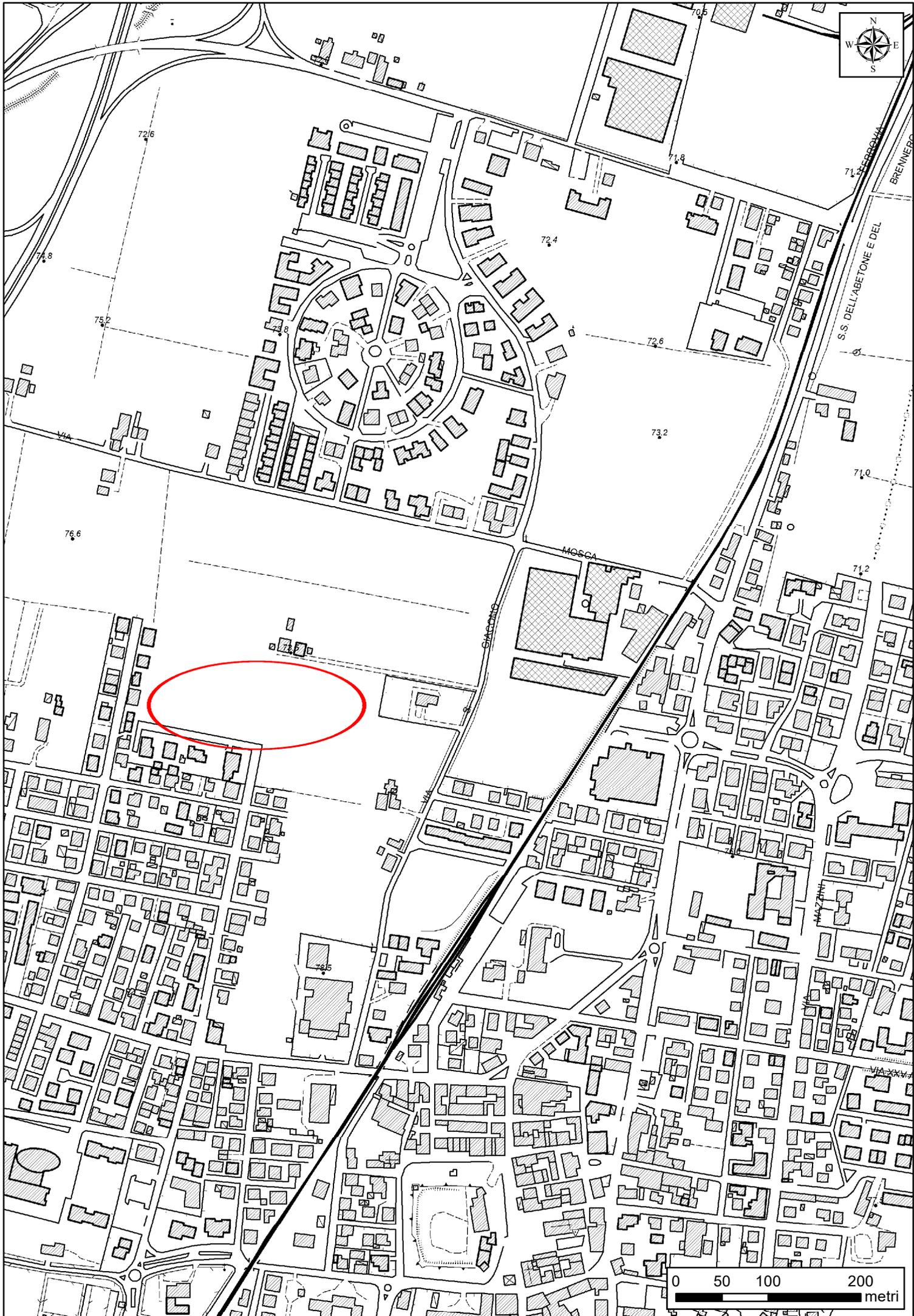
C.T.R. scala 1 : 5.000

Estratto Elemento 219034 "Casinalbo"

 Ubicazione area in oggetto

A
L
L
E
G
A
T
O

2



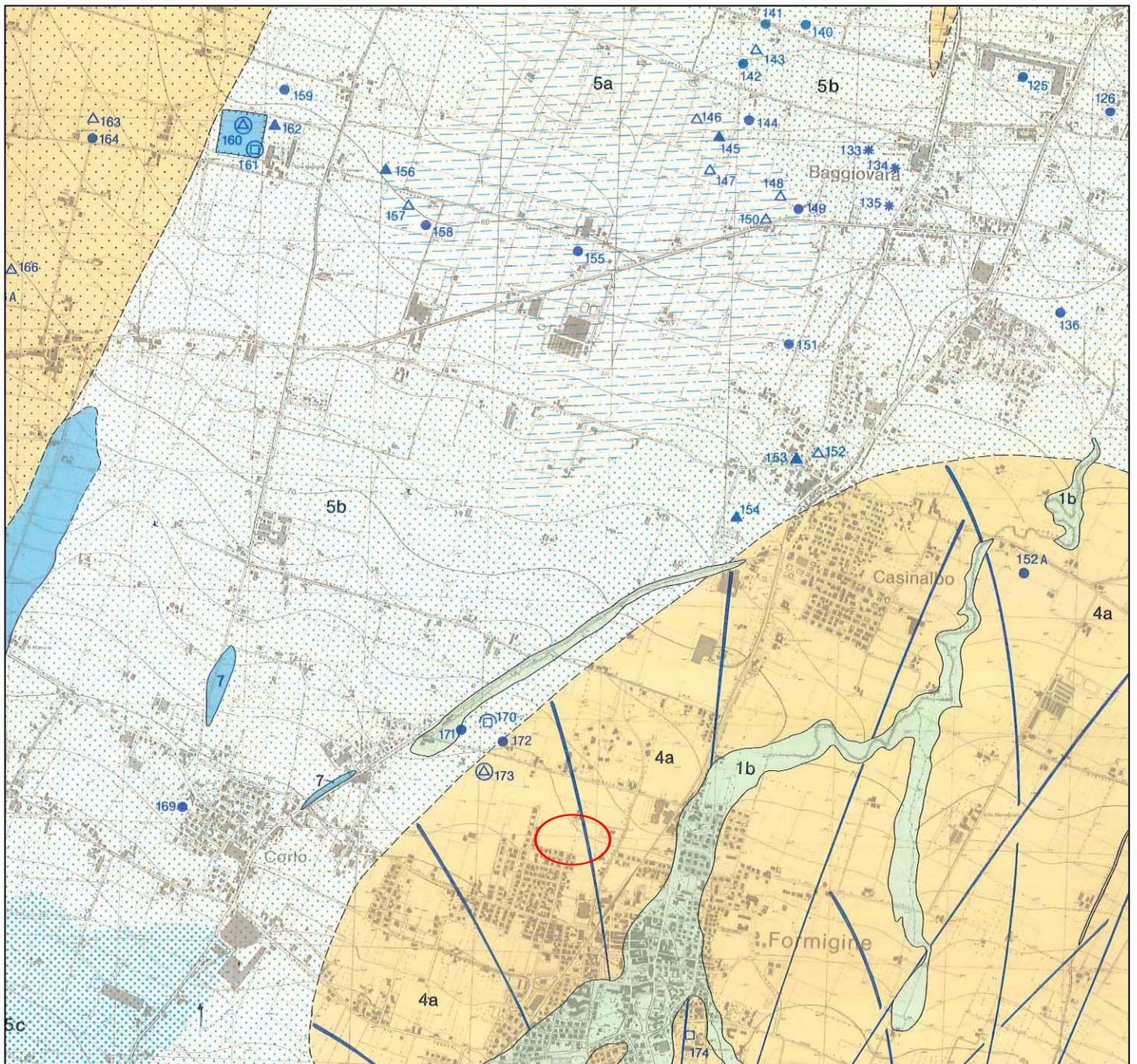
Carta geologica dell'alta pianura

Scala 1 : 25.000

 Ubicazione area in oggetto

A
L
L
E
G
A
T
O

3



2a
3a
4a

Unità dei corsi d'acqua minori: depositi di conoide alluvionale limo-sabbiosi e argillosi e sabbioso-limosi con lenti di ghiaie; a tetto suoli alluvionali poco evoluti(*):
 2a posteriori alle opere di difesa spondali costruite tra il XV-XVI e il XX secolo.
 Età: *XV-XX secolo*.
 3a ricoprenti evidenze archeologiche di età romana.
 Età: *Medioevo*.
 4a alla base materiali archeologici neolitici e a tetto o in superficie materiali archeologici dell'Età del bronzo e romana.
 Età: *Neolitico - Romano*.

2b
3b
4b

Unità dei corsi d'acqua principali: depositi ghiaiosi e sabbiosi delle conoidi pedemontane dei fiumi Secchia e Panaro; a tetto suoli alluvionali poco evoluti:
 2b posteriori alle opere di difesa spondali costruite tra il XV-XVI e il XX secolo. L'Unità comprende i depositi sabbiosi e limosi delle aree golenali e degli alvei abbandonati.
 Età: *XV-XX secolo*.
 3b Età: *Medioevo*.
 4b Età: *Neolitico - Romano*.

5a	5b	5c
----	----	----

Pianura alluvionale: depositi argillosi (a), limosi (b) e sabbiosi (c) stratificati o massivi, di prevalente accrescimento verticale nella piana alluvionale, costituenti anche dossi fluviali, argini naturali e ventagli di esondazione. Sono laterali e coevi a: 3a, 4a, 3b, 4b. A tetto suoli alluvionali poco evoluti.
 Età: *Neolitico - Medioevo*.

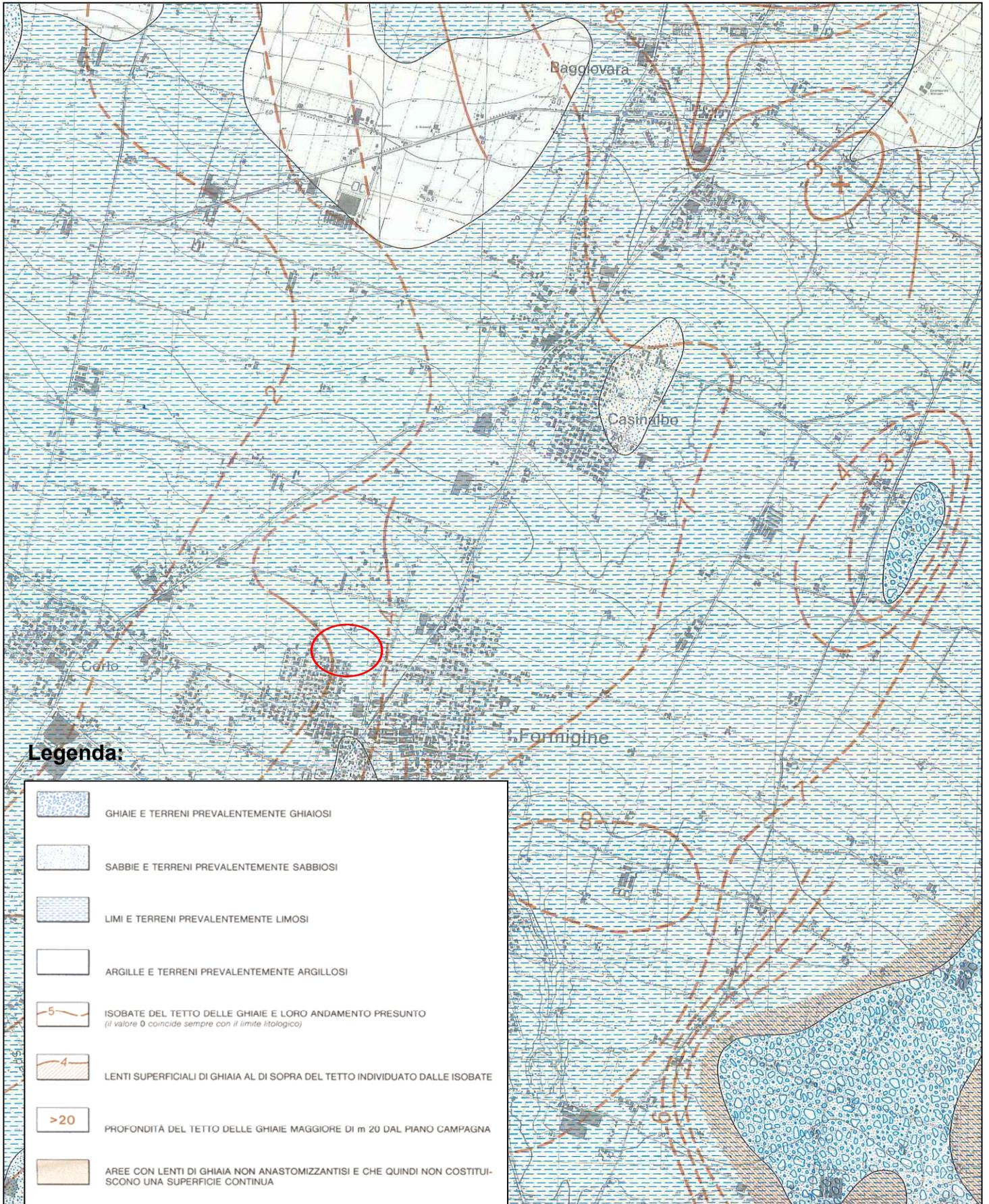
Carta della litologia di superficie

Scala 1 : 25.000

 Ubicazione area in oggetto

A
L
L
E
G
A
T
O

4



Legenda:

-  GHIAIE E TERRENI PREVALENTEMENTE GHIAIOSI
-  SABBIE E TERRENI PREVALENTEMENTE SABBIOSI
-  LIMI E TERRENI PREVALENTEMENTE LIMOSI
-  ARGILLE E TERRENI PREVALENTEMENTE ARGILLOSI
-  ISOBATE DEL TETTO DELLE GHIAIE E LORO ANDAMENTO PRESUNTO
(il valore 0 coincide sempre con il limite litologico)
-  LENTI SUPERFICIALI DI GHIAIA AL DI SOPRA DEL TETTO INDIVIDUATO DALLE ISOBATE
-  PROFONDITÀ DEL TETTO DELLE GHIAIE MAGGIORE DI m 20 DAL PIANO CAMPAGNA
-  AREE CON LENTI DI GHIAIA NON ANASTOMIZZANTISI E CHE QUINDI NON COSTITUISCONO UNA SUPERFICIE CONTINUA
-  ALVEO FLUVIALE
-  ORLI DI SCARPATE
-  LIMITE DELL'ALTA PIANURA

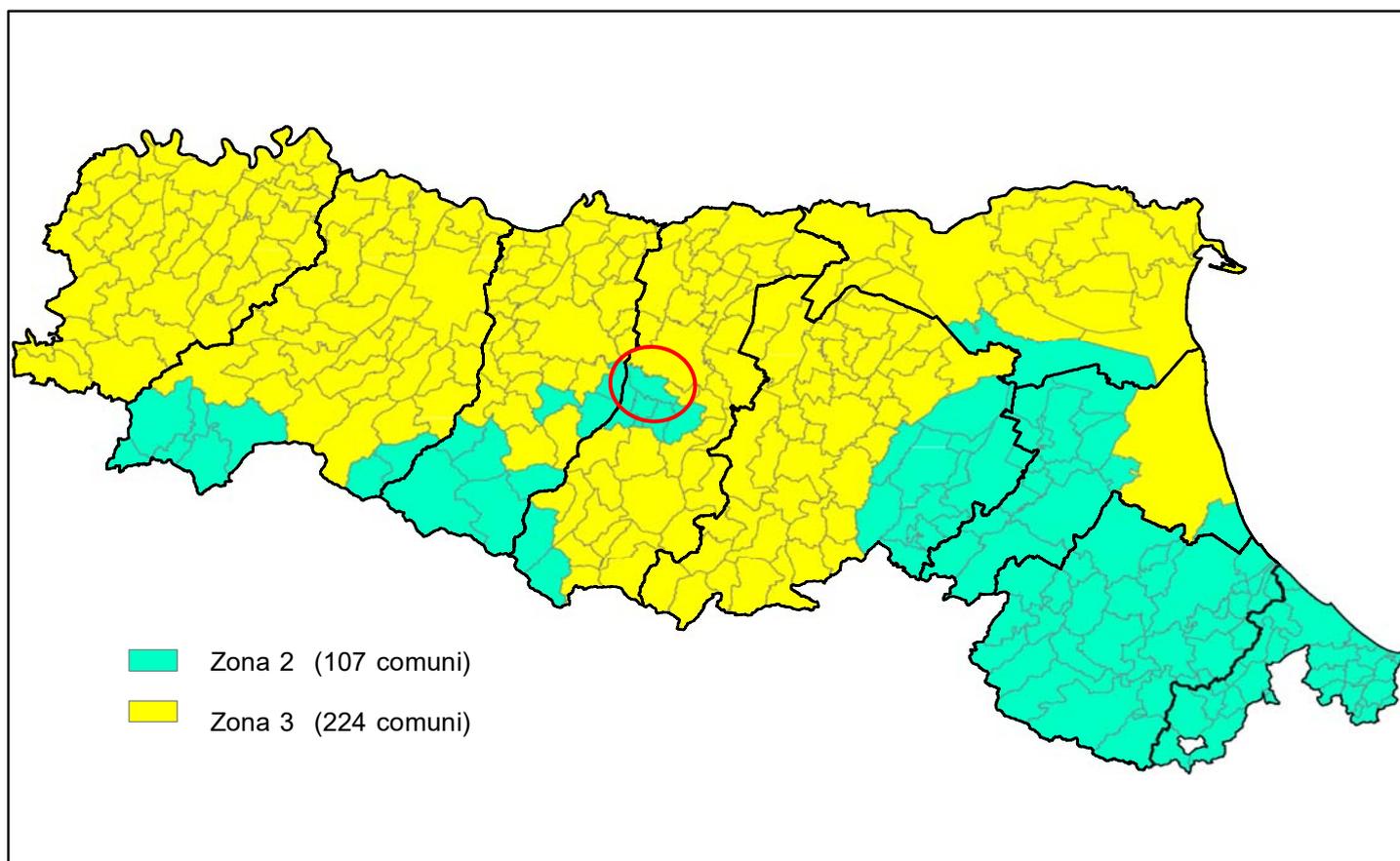
Carta della zonizzazione sismica

 Comune di Formigine

A
L
L
E
G
A
T
O

5

Classificazione sismica dei comuni dell'Emilia Romagna

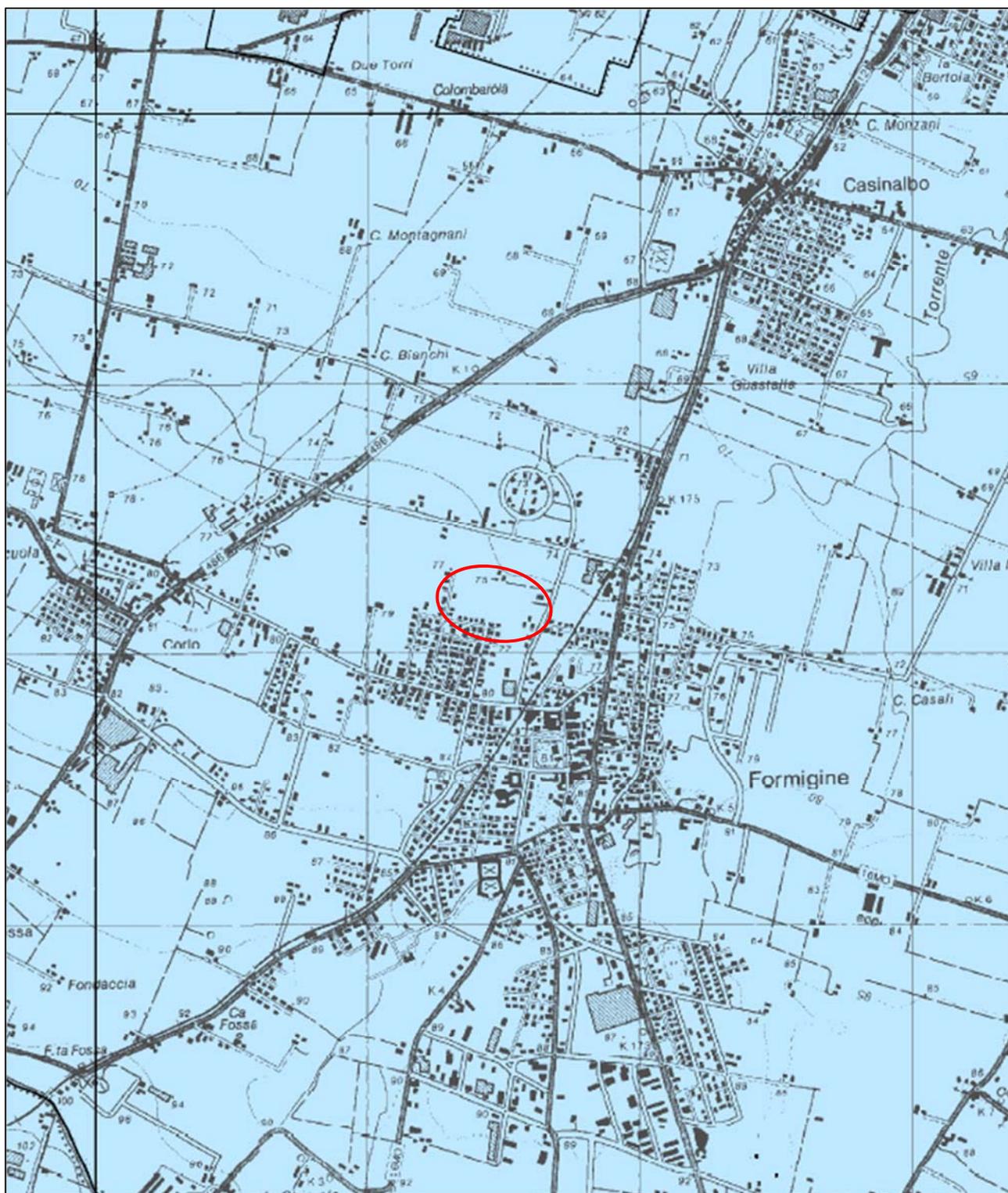


Estratto PTCPTCP
Carta del rischio sismico
Scala 1 : 25.000

 Ubicazione area in oggetto

A
L
L
E
G
A
T
O

6



5	<p>Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche <u>studi</u>: valutazione del coefficiente di amplificazione litologico; <u>microzonazione sismica</u>: approfondimenti di II livello.</p>
6	<p>Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e topografiche <u>studi</u>: valutazione del coefficiente di amplificazione litologico e topografico; <u>microzonazione sismica</u>: approfondimenti di II livello; nelle aree prossime ai bordi superiori di scarpate o a quote immediatamente superiori agli ambiti soggetti ad amplificazione per caratteristiche topografiche e nelle zone con accentuato contrasto di pendenza, lo studio di microzonazione sismica deve valutare anche gli effetti della topografia.</p>

Estratto PSC

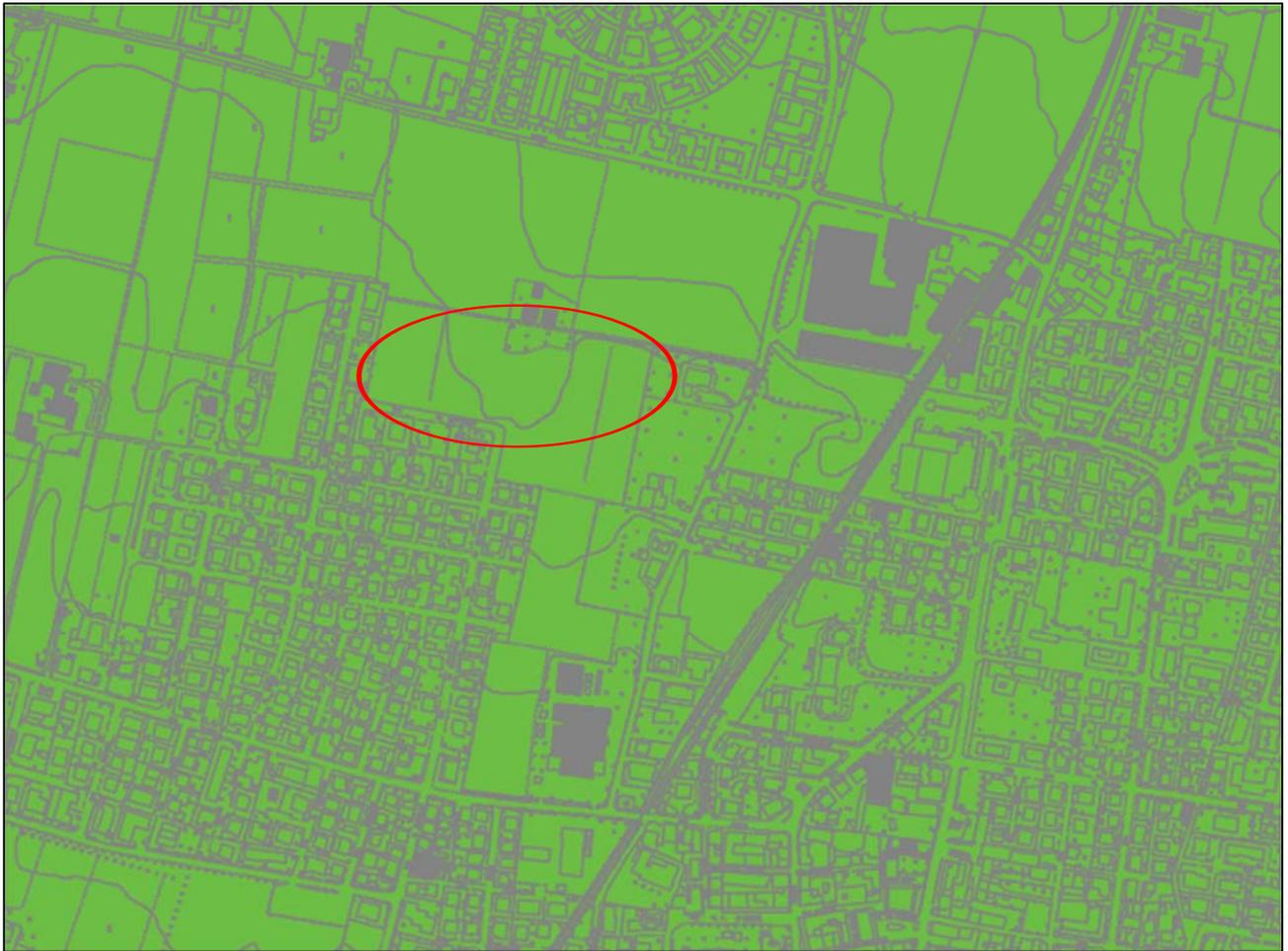
**Carta delle microzone omogenee in
prospettiva sismica**

Scala 1 : 5.000

 Ubicazione area in oggetto

A
L
L
E
G
A
T
O

7



Ghiaie di conoide
(amplificazione)



Sabbie di canale
(amplificazione, potenziale liquefazione e cedimenti)



Limi e Argille di piana alluvionale
(amplificazione, possibili cedimenti)

Planimetria PUA
con ubicazione indagini geognostiche



P1 Prova penetrometrica CPT



S1 Indagine sismica MASW

UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE



Prove penetrometriche CPT

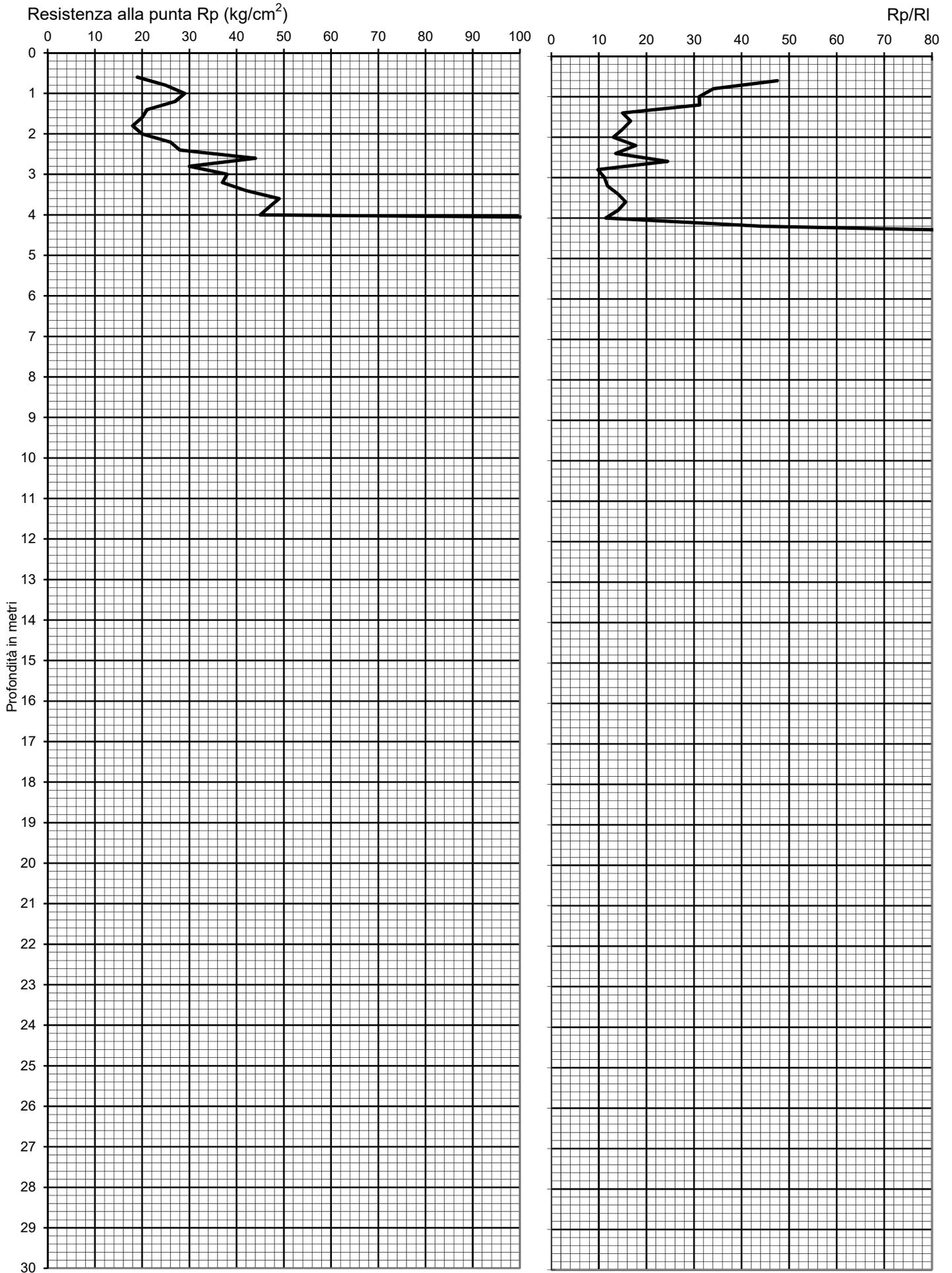
A
L
L
E
G
A
T
O

9

DOTT. GEOL. A. MACCAFERRI

Viale Caduti in Guerra 1 - Modena

Prova n°: 1 Quota: P.C. Data: 14/06/2021
Località: Via Focherini-Via XX Settembre - Formigine (Mo)
Committ.: a3o Laboratorio Progettuale
Certificato: **141** Data emissione: 10/12/21



DOTT. GEOL. A. MACCAFERRI

Viale Caduti in Guerra 1 - Modena

Prova n°: 1 Quota: P.C. Data: 14/06/2021
Località: Via Focherini-Via XX Settembre - Formigine (Mo)
Committ.: a3o Laboratorio Progettuale
Certificato: **141** Data emissione: 10/12/21

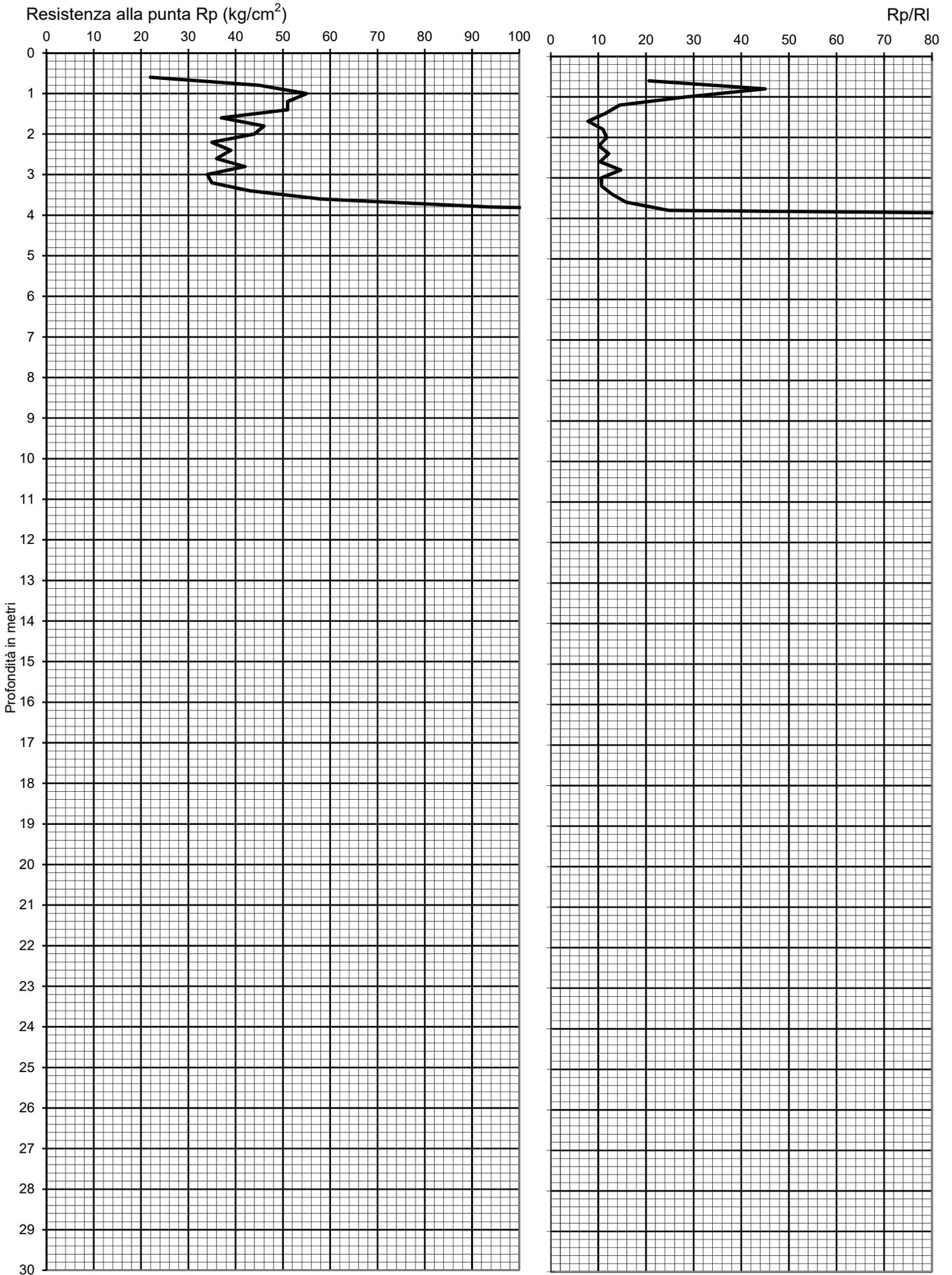
Prof. (m)	P (kg/cm ²)	P + L (kg/cm ²)	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI [-]
0,20					
0,40					
0,60	19	25	19	0,40	47,50
0,80	25	36	25	0,73	34,09
1,00	29	43	29	0,93	31,07
1,20	27	40	27	0,87	31,15
1,40	21	42	21	1,40	15,00
1,60	20	38	20	1,20	16,67
1,80	18	36	18	1,20	15,00
2,00	20	43	20	1,53	13,04
2,20	26	48	26	1,47	17,73
2,40	28	59	28	2,07	13,55
2,60	44	71	44	1,80	24,44
2,80	30	76	30	3,07	9,78
3,00	38	89	38	3,40	11,18
3,20	37	84	37	3,13	11,81
3,40	42	87	42	3,00	14,00
3,60	49	96	49	3,13	15,64
3,80	47	97	47	3,33	14,10
4,00	45	104	45	3,93	11,44
4,20	255	341	255	5,73	44,48
4,40	330	369	330	2,60	126,92
4,60					
4,80					
5,00					
5,20					
5,40					
5,60					
5,80					
6,00					
6,20					
6,40					
6,60					
6,80					
7,00					
7,20					
7,40					
7,60					
7,80					
8,00					
8,20					
8,40					
8,60					
8,80					
9,00					
9,20					
9,40					
9,60					
9,80					
10,00					
10,20					
10,40					
10,60					
10,80					
11,00					
11,20					
11,40					
11,60					
11,80					
12,00					
12,20					
12,40					
12,60					
12,80					
13,00					
13,20					
13,40					
13,60					
13,80					
14,00					
14,20					
14,40					
14,60					
14,80					
15,00					

Prof. (m)	P (kg/cm ²)	P + L (kg/cm ²)	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI [-]
15,20					
15,40					
15,60					
15,80					
16,00					
16,20					
16,40					
16,60					
16,80					
17,00					
17,20					
17,40					
17,60					
17,80					
18,00					
18,20					
18,40					
18,60					
18,80					
19,00					
19,20					
19,40					
19,60					
19,80					
20,00					
20,20					
20,40					
20,60					
20,80					
21,00					
21,20					
21,40					
21,60					
21,80					
22,00					
22,20					
22,40					
22,60					
22,80					
23,00					
23,20					
23,40					
23,60					
23,80					
24,00					
24,20					
24,40					
24,60					
24,80					
25,00					
25,20					
25,40					
25,60					
25,80					
26,00					
26,20					
26,40					
26,60					
26,80					
27,00					
27,20					
27,40					
27,60					
27,80					
28,00					
28,20					
28,40					
28,60					
28,80					
29,00					
29,20					
29,40					
29,60					
29,80					
30,00					

DOTT. GEOL. A. MACCAFERRI

Viale Caduti in Guerra 1 - Modena

Prova n°: 2 Quota: P.C. Data: 14/06/2021
Località: Via Focherini-Via XX Settembre - Formigine (Mo)
Committ.: a3o Laboratorio Progettuale
Certificato: **142** Data emissione: 10/12/21



DOTT. GEOL. A. MACCAFERRI

Viale Caduti in Guerra 1 - Modena

Prova n°: 2 Quota: P.C. Data: 14/06/2021
Località: Via Focherini-Via XX Settembre - Formigine (Mo)
Committ.: a3o Laboratorio Progettuale
Certificato: **142** Data emissione: 10/12/21

Prof. (m)	P (kg/cm ²)	P + L (kg/cm ²)	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI [-]
0,20					
0,40					
0,60	22	38	22	1,07	20,63
0,80	45	60	45	1,00	45,00
1,00	55	84	55	1,93	28,45
1,20	51	104	51	3,53	14,43
1,40	51	117	51	4,40	11,59
1,60	37	108	37	4,73	7,82
1,80	46	109	46	4,20	10,95
2,00	44	100	44	3,73	11,79
2,20	35	87	35	3,47	10,10
2,40	39	87	39	3,20	12,19
2,60	36	88	36	3,47	10,38
2,80	42	85	42	2,87	14,65
3,00	34	82	34	3,20	10,63
3,20	35	84	35	3,27	10,71
3,40	43	93	43	3,33	12,90
3,60	58	113	58	3,67	15,82
3,80	94	151	94	3,80	24,74
4,00	187	200	187	0,87	215,77
4,20	384	400	384	1,07	360,00
4,40					
4,60					
4,80					
5,00					
5,20					
5,40					
5,60					
5,80					
6,00					
6,20					
6,40					
6,60					
6,80					
7,00					
7,20					
7,40					
7,60					
7,80					
8,00					
8,20					
8,40					
8,60					
8,80					
9,00					
9,20					
9,40					
9,60					
9,80					
10,00					
10,20					
10,40					
10,60					
10,80					
11,00					
11,20					
11,40					
11,60					
11,80					
12,00					
12,20					
12,40					
12,60					
12,80					
13,00					
13,20					
13,40					
13,60					
13,80					
14,00					
14,20					
14,40					
14,60					
14,80					
15,00					

Prof. (m)	P (kg/cm ²)	P + L (kg/cm ²)	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI [-]
15,20					
15,40					
15,60					
15,80					
16,00					
16,20					
16,40					
16,60					
16,80					
17,00					
17,20					
17,40					
17,60					
17,80					
18,00					
18,20					
18,40					
18,60					
18,80					
19,00					
19,20					
19,40					
19,60					
19,80					
20,00					
20,20					
20,40					
20,60					
20,80					
21,00					
21,20					
21,40					
21,60					
21,80					
22,00					
22,20					
22,40					
22,60					
22,80					
23,00					
23,20					
23,40					
23,60					
23,80					
24,00					
24,20					
24,40					
24,60					
24,80					
25,00					
25,20					
25,40					
25,60					
25,80					
26,00					
26,20					
26,40					
26,60					
26,80					
27,00					
27,20					
27,40					
27,60					
27,80					
28,00					
28,20					
28,40					
28,60					
28,80					
29,00					
29,20					
29,40					
29,60					
29,80					
30,00					

DOTT. GEOL. A. MACCAFERRI

Viale Caduti in Guerra 1 - Modena

Prova n°: 3

Quota: P.C.

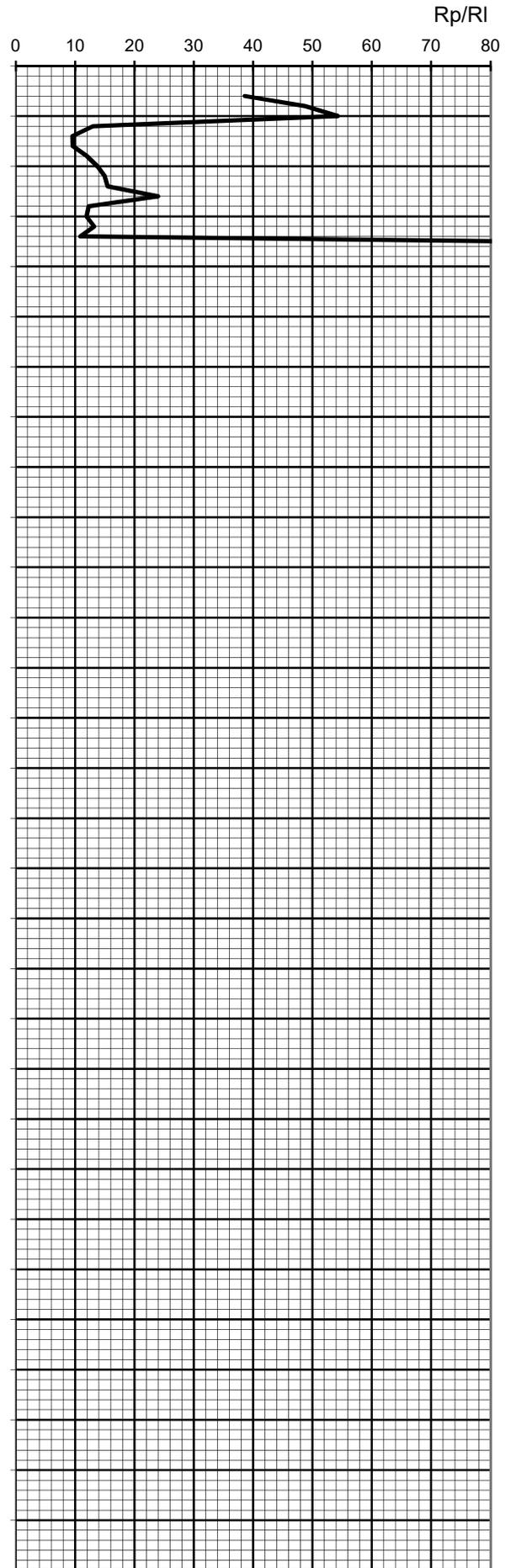
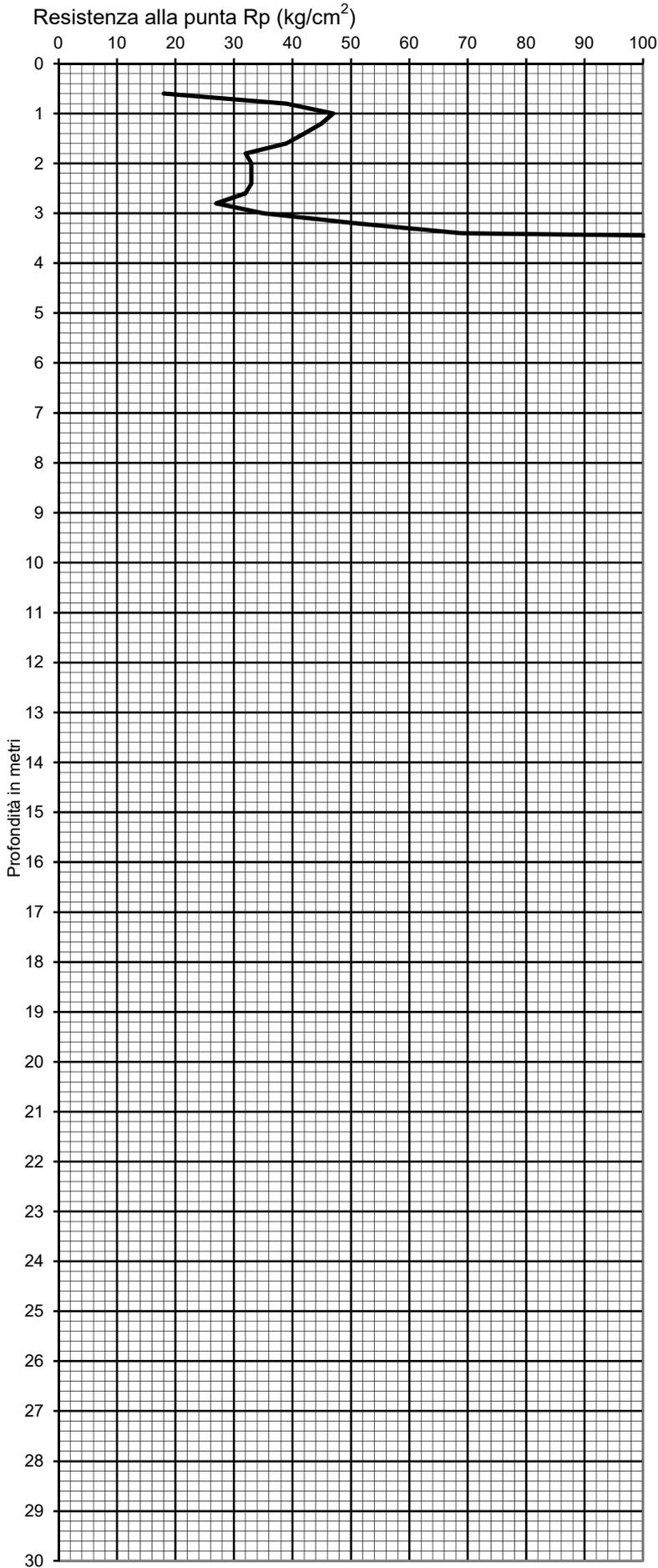
Data: 14/06/2021

Località: Via Focherini-Via XX Settembre - Formigine (Mo)

Committ.: a3o Laboratorio Progettuale

Certificato: 143

Data emissione: 10/12/21



DOTT. GEOL. A. MACCAFERRI

Viale Caduti in Guerra 1 - Modena

Prova n°: 3 Quota: P.C. Data: 14/06/2021
Località: Via Focherini-Via XX Settembre - Formigine (Mo)
Committ.: a3o Laboratorio Progettuale
Certificato: **143** Data emissione: 10/12/21

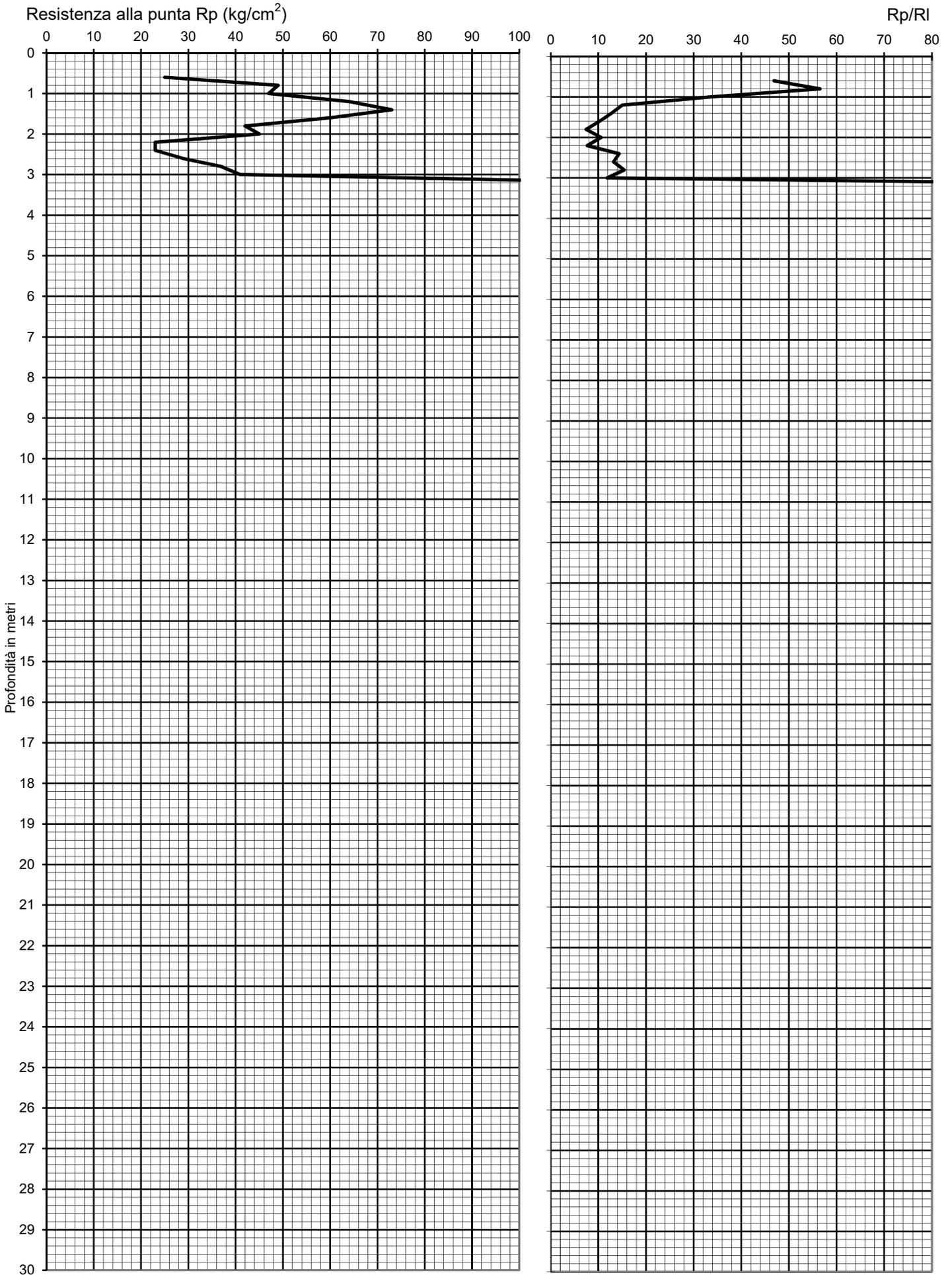
Prof. (m)	P (kg/cm ²)	P + L (kg/cm ²)	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI [-]
0,20					
0,40					
0,60	18	25	18	0,47	38,57
0,80	39	51	39	0,80	48,75
1,00	47	60	47	0,87	54,23
1,20	45	97	45	3,47	12,98
1,40	42	108	42	4,40	9,55
1,60	39	100	39	4,07	9,59
1,80	32	72	32	2,67	12,00
2,00	33	69	33	2,40	13,75
2,20	33	66	33	2,20	15,00
2,40	33	65	33	2,13	15,47
2,60	32	52	32	1,33	24,00
2,80	27	60	27	2,20	12,27
3,00	35	79	35	2,93	11,93
3,20	51	109	51	3,87	13,19
3,40	69	164	69	6,33	10,89
3,60	210	230	210	1,33	157,50
3,80	418	430	418	0,80	522,50
4,00					
4,20					
4,40					
4,60					
4,80					
5,00					
5,20					
5,40					
5,60					
5,80					
6,00					
6,20					
6,40					
6,60					
6,80					
7,00					
7,20					
7,40					
7,60					
7,80					
8,00					
8,20					
8,40					
8,60					
8,80					
9,00					
9,20					
9,40					
9,60					
9,80					
10,00					
10,20					
10,40					
10,60					
10,80					
11,00					
11,20					
11,40					
11,60					
11,80					
12,00					
12,20					
12,40					
12,60					
12,80					
13,00					
13,20					
13,40					
13,60					
13,80					
14,00					
14,20					
14,40					
14,60					
14,80					
15,00					

Prof. (m)	P (kg/cm ²)	P + L (kg/cm ²)	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI [-]
15,20					
15,40					
15,60					
15,80					
16,00					
16,20					
16,40					
16,60					
16,80					
17,00					
17,20					
17,40					
17,60					
17,80					
18,00					
18,20					
18,40					
18,60					
18,80					
19,00					
19,20					
19,40					
19,60					
19,80					
20,00					
20,20					
20,40					
20,60					
20,80					
21,00					
21,20					
21,40					
21,60					
21,80					
22,00					
22,20					
22,40					
22,60					
22,80					
23,00					
23,20					
23,40					
23,60					
23,80					
24,00					
24,20					
24,40					
24,60					
24,80					
25,00					
25,20					
25,40					
25,60					
25,80					
26,00					
26,20					
26,40					
26,60					
26,80					
27,00					
27,20					
27,40					
27,60					
27,80					
28,00					
28,20					
28,40					
28,60					
28,80					
29,00					
29,20					
29,40					
29,60					
29,80					
30,00					

DOTT. GEOL. A. MACCAFERRI

Viale Caduti in Guerra 1 - Modena

Prova n°: 4 Quota: P.C. Data: 14/06/2021
Località: Via Focherini-Via XX Settembre - Formigine (Mo)
Committ.: a3o Laboratorio Progettuale
Certificato: **144** Data emissione: 10/12/21



DOTT. GEOL. A. MACCAFERRI

Viale Caduti in Guerra 1 - Modena

Prova n°: 4 Quota: P.C. Data: 14/06/2021
Località: Via Focherini-Via XX Settembre - Formigine (Mo)
Committ.: a3o Laboratorio Progettuale
Certificato: **144** Data emissione: 10/12/21

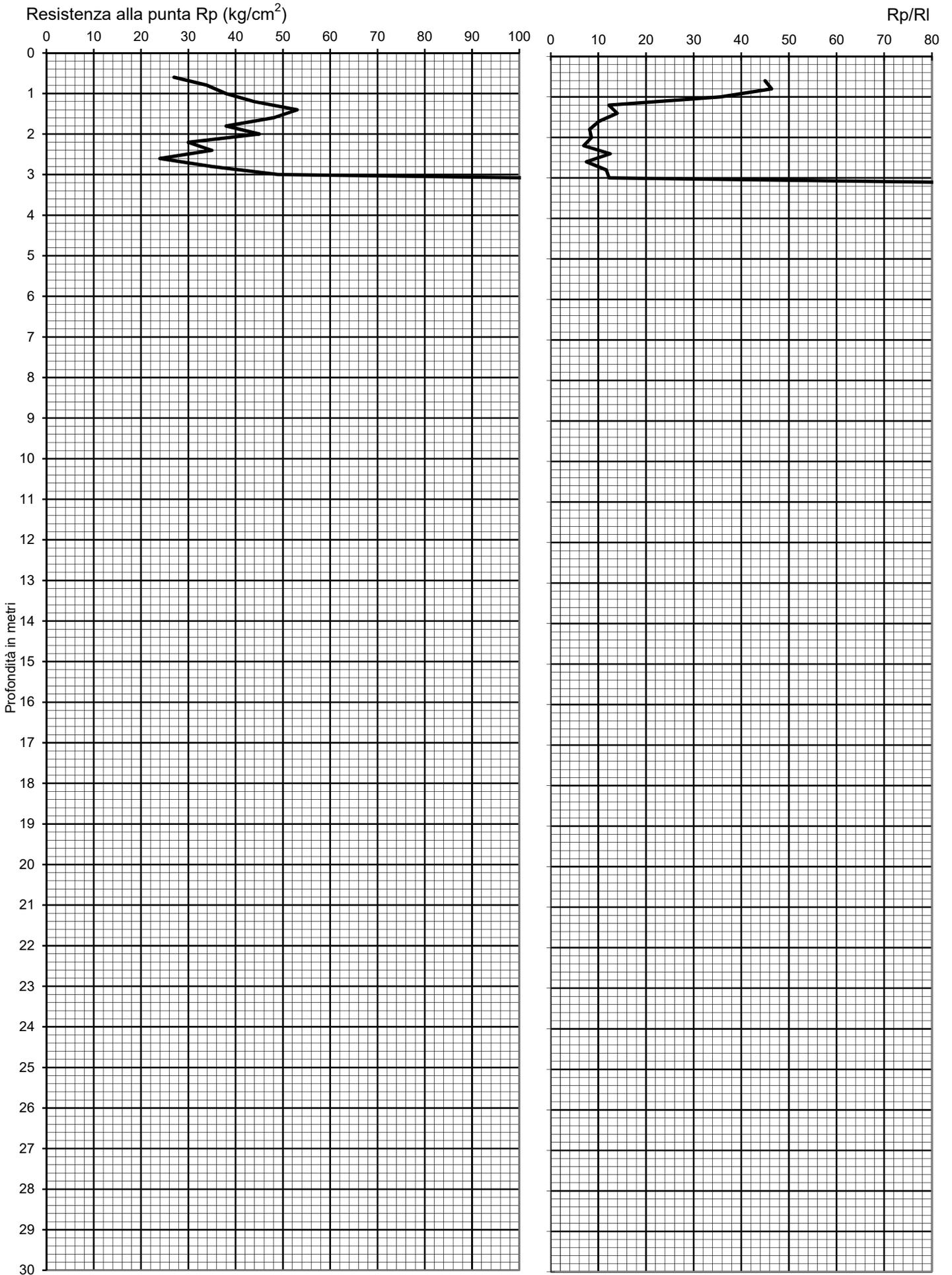
Prof. (m)	P (kg/cm ²)	P + L (kg/cm ²)	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI [-]
0,20					
0,40					
0,60	25	33	25	0,53	46,88
0,80	49	62	49	0,87	56,54
1,00	47	68	47	1,40	33,57
1,20	64	128	64	4,27	15,00
1,40	73	159	73	5,73	12,73
1,60	60	148	60	5,87	10,23
1,80	42	127	42	5,67	7,41
2,00	45	109	45	4,27	10,55
2,20	23	68	23	3,00	7,67
2,40	23	47	23	1,60	14,38
2,60	29	62	29	2,20	13,18
2,80	37	73	37	2,40	15,42
3,00	41	93	41	3,47	11,83
3,20	128	140	128	0,80	160,00
3,40	291	320	291	1,93	150,52
3,60					
3,80					
4,00					
4,20					
4,40					
4,60					
4,80					
5,00					
5,20					
5,40					
5,60					
5,80					
6,00					
6,20					
6,40					
6,60					
6,80					
7,00					
7,20					
7,40					
7,60					
7,80					
8,00					
8,20					
8,40					
8,60					
8,80					
9,00					
9,20					
9,40					
9,60					
9,80					
10,00					
10,20					
10,40					
10,60					
10,80					
11,00					
11,20					
11,40					
11,60					
11,80					
12,00					
12,20					
12,40					
12,60					
12,80					
13,00					
13,20					
13,40					
13,60					
13,80					
14,00					
14,20					
14,40					
14,60					
14,80					
15,00					

Prof. (m)	P (kg/cm ²)	P + L (kg/cm ²)	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI [-]
15,20					
15,40					
15,60					
15,80					
16,00					
16,20					
16,40					
16,60					
16,80					
17,00					
17,20					
17,40					
17,60					
17,80					
18,00					
18,20					
18,40					
18,60					
18,80					
19,00					
19,20					
19,40					
19,60					
19,80					
20,00					
20,20					
20,40					
20,60					
20,80					
21,00					
21,20					
21,40					
21,60					
21,80					
22,00					
22,20					
22,40					
22,60					
22,80					
23,00					
23,20					
23,40					
23,60					
23,80					
24,00					
24,20					
24,40					
24,60					
24,80					
25,00					
25,20					
25,40					
25,60					
25,80					
26,00					
26,20					
26,40					
26,60					
26,80					
27,00					
27,20					
27,40					
27,60					
27,80					
28,00					
28,20					
28,40					
28,60					
28,80					
29,00					
29,20					
29,40					
29,60					
29,80					
30,00					

DOTT. GEOL. A. MACCAFERRI

Viale Caduti in Guerra 1 - Modena

Prova n°: 5 Quota: P.C. Data: 14/06/2021
Località: Via Focherini-Via XX Settembre - Formigine (Mo)
Committ.: a3o Laboratorio Progettuale
Certificato: **145** Data emissione: 10/12/21



DOTT. GEOL. A. MACCAFERRI

Viale Caduti in Guerra 1 - Modena

Prova n°: 5 Quota: P.C. Data: 14/06/2021
Località: Via Focherini-Via XX Settembre - Formigine (Mo)
Committ.: a3o Laboratorio Progettuale
Certificato: **145** Data emissione: 10/12/21

Prof. (m)	P (kg/cm ²)	P + L (kg/cm ²)	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI [-]
0,20					
0,40					
0,60	27	36	27	0,60	45,00
0,80	34	45	34	0,73	46,36
1,00	38	54	38	1,07	35,63
1,20	44	98	44	3,60	12,22
1,40	53	110	53	3,80	13,95
1,60	48	119	48	4,73	10,14
1,80	38	108	38	4,67	8,14
2,00	45	124	45	5,27	8,54
2,20	30	95	30	4,33	6,92
2,40	35	77	35	2,80	12,50
2,60	24	72	24	3,20	7,50
2,80	35	80	35	3,00	11,67
3,00	49	109	49	4,00	12,25
3,20	181	200	181	1,27	142,89
3,40	273	300	273	1,80	151,67
3,60					
3,80					
4,00					
4,20					
4,40					
4,60					
4,80					
5,00					
5,20					
5,40					
5,60					
5,80					
6,00					
6,20					
6,40					
6,60					
6,80					
7,00					
7,20					
7,40					
7,60					
7,80					
8,00					
8,20					
8,40					
8,60					
8,80					
9,00					
9,20					
9,40					
9,60					
9,80					
10,00					
10,20					
10,40					
10,60					
10,80					
11,00					
11,20					
11,40					
11,60					
11,80					
12,00					
12,20					
12,40					
12,60					
12,80					
13,00					
13,20					
13,40					
13,60					
13,80					
14,00					
14,20					
14,40					
14,60					
14,80					
15,00					

Prof. (m)	P (kg/cm ²)	P + L (kg/cm ²)	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI [-]
15,20					
15,40					
15,60					
15,80					
16,00					
16,20					
16,40					
16,60					
16,80					
17,00					
17,20					
17,40					
17,60					
17,80					
18,00					
18,20					
18,40					
18,60					
18,80					
19,00					
19,20					
19,40					
19,60					
19,80					
20,00					
20,20					
20,40					
20,60					
20,80					
21,00					
21,20					
21,40					
21,60					
21,80					
22,00					
22,20					
22,40					
22,60					
22,80					
23,00					
23,20					
23,40					
23,60					
23,80					
24,00					
24,20					
24,40					
24,60					
24,80					
25,00					
25,20					
25,40					
25,60					
25,80					
26,00					
26,20					
26,40					
26,60					
26,80					
27,00					
27,20					
27,40					
27,60					
27,80					
28,00					
28,20					
28,40					
28,60					
28,80					
29,00					
29,20					
29,40					
29,60					
29,80					
30,00					