

giovanni bassi geologo, via donatori di sangue 13, 26029 soncino (cr)
tel. 0374 85486, cell. 347 4414375, e_mail: bassi.geologo@gmail.com

COMUNE DI SPINO D'ADDA

Provincia di Cremona

Committente: Tecno Ventil s.p.a.

NUOVE COSTRUZIONE DI EDIFICI PRODUTTIVI
in procedura SUAP

RELAZIONE GEOLOGICA DI FATTIBILITA'

(R3 ex D.G.R. IX/2616/2011)

RELAZIONE GEOLOGICA

(R1 ex D.M. 17/01/18)

RELAZIONE GEOTECNICA

(R2 ex D.M. 17/01/18)



IL GEOLOGO
DR GIOVANNI BASSI
Marzo 2022

PREMESSA

Nel comune di Spino d'Adda è in progetto l'ampliamento degli edifici della ditta Tecno Ventil s.p.a., posti a nord di quelli esistenti e a sud di Cascina Resega.

Le nuove strutture sono:

- Edificio A: Magazzino prodotti finiti da accoppiare all'esistente;
- Edificio B: Produttivo con lavorazione differenziata dall'esistente produzione;
- Edificio C: Ricerca e Sviluppo senza produzione assimilabile a uffici;
- Edificio D: Deposito in prefabbricato aperto sui quattro lati con struttura portante centrale.

In fig. 1 sono riportate in rosso le strutture di progetto.



Figura 1 - Planimetria nuove strutture.

L'ubicazione dell'area in esame è evidenziata in **Allegato 1, Corografia** e in **Allegato 2, Estratto mappa**.

E' stato determinato il modello geologico di riferimento, verificato il carico ammissibile per le fondazioni adottabili, stimato i cedimenti (verifica geotecnica con il metodo degli stati limite, D.M.17.01.18).

Il seguente lavoro ha come riferimento le seguenti norme:

- DPR 380/2001 - Testo unico per le costruzioni;
- DM 17/01/2018 - Norme tecniche per le costruzioni;
- LR 33/2015 - Disposizioni in materia di opere o di costruzioni e relativa vigilanza in zone sismiche;
- DGR 5001/2016 - Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l'esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica;
- LR 12/2005 - Legge per il governo del territorio;
- DGR 2616/2011 - Aggiornamento dei 'Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio;
- Norme Geologiche di Piano (PGT).

Le seguenti relazioni sono conformi alla DGR 30/03/2016 n. X/5001 "Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l'esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica" e alle Norme Geologiche di Piano (PGT di Spino d'Adda).

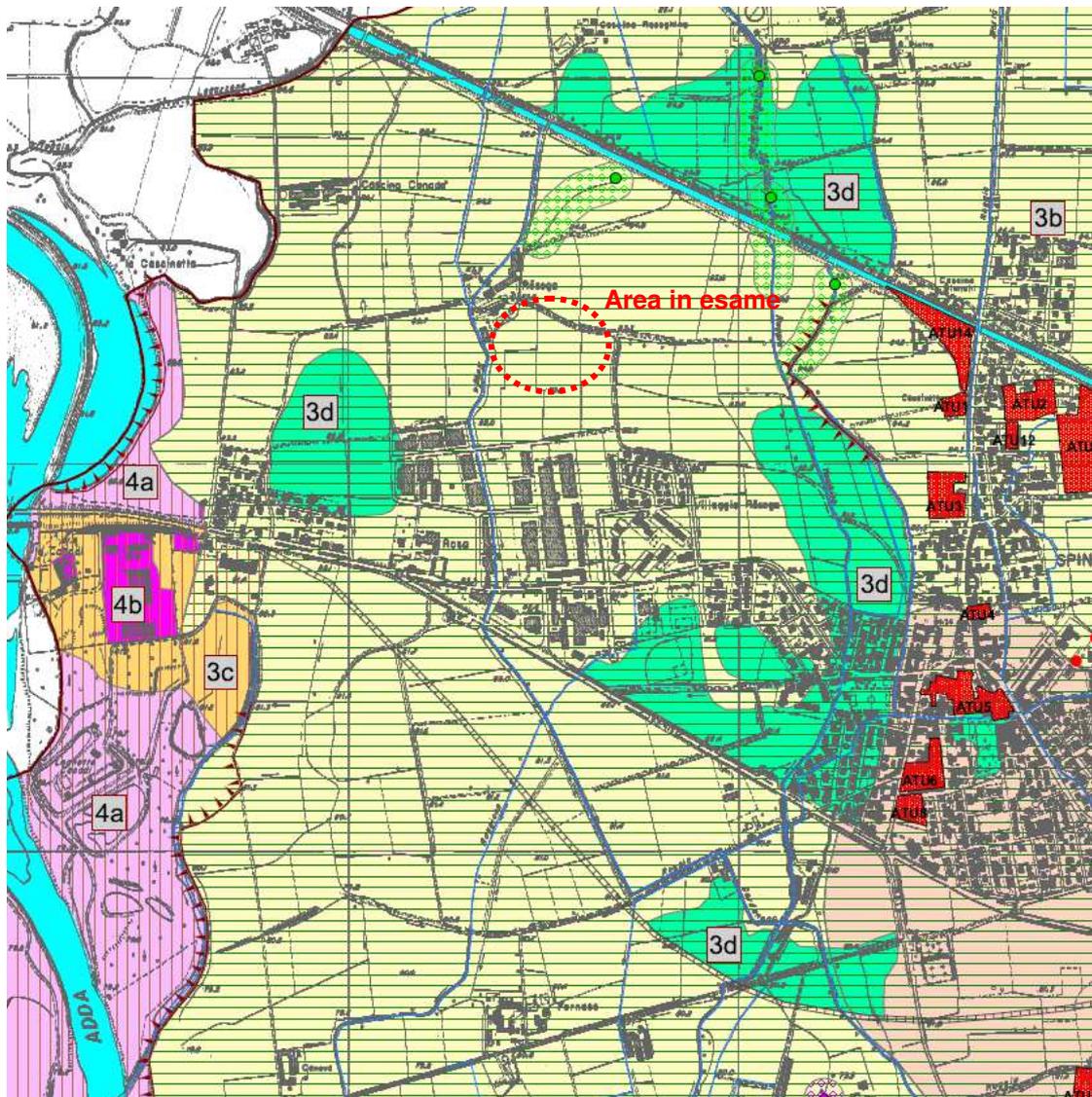
RELAZIONE GEOLOGICA DI FATTIBILITA'

L'area è situata a nord ovest dell'abitato di Spino d'A. a quota di 83 m s.l.m. (Fig. 2) ed è compresa in Zona sismica 3 (medio pericolo sismico); il comune è dotato di PGT con componente geologica.



Figura 2 - Immagine Google Earth.

Per la componente geologica l'area in esame appartiene alla Classe di fattibilità geologica 3b con consistenti limitazioni (fig. 2). Queste aree sono tipiche della media pianura ad elevata vulnerabilità, per presenza di alluvioni prevalentemente sabbioso ghiaiose e falda prossima al p.c.



CLASSE 3 - Fattibilità con consistenti limitazioni:

- 3a - Valle alluvionale terrazzata con vulnerabilità idrogeologica alta
- 3b - Piana alluvionale inondabile con substrato prevalentemente limoso, falda prossima a p.c.
- 3c - Piana alluvionale inondabile con substrato prevalentemente limoso, falda prossima a p.c., vulnerabilità idrogeologica elevata
- 3d - Aree a rischio idraulico per conformazione morfologica

Figura 3 - Carta di Fattibilità Geologica – PGT (2020).

La relazione geologica che qui segue contiene il modello geologico di riferimento; è stata verificata la capacità portante del terreno con il metodo dello stato limite, stimati i

cedimenti assoluti e differenziali ed eseguita la prima caratterizzazione geotecnica del sito e definito il suolo sismico secondo le norme antisismiche vigenti.

RELAZIONE GEOLOGICA

1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

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

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

La successione dei terrazzi geomorfologici è la seguente:

- Fluviale Mindel: superfici più antiche e poste a quote maggiori,
- Fluviale Riss: superfici intermedie per quota ed età,
- Fluviale Würm: superfici più recenti e disposte a quote inferiori.

Quest'ultima costituisce il "Livello fondamentale della pianura o piano generale terrazzato (*PFdP*)", risultato dell'ultima fase di esteso colmamento della pianura. Successivamente a tale colmamento alluvionale, nel corso del cataglaciale (fase di ripresa termica dopo il periodo freddo) würmiano, ha avuto inizio un ciclo prevalentemente erosivo protrattosi nell'Olocene, che ha determinato la formazione delle alte scarpate morfologiche che, incidendo il *PFdP*, delimitano le valli dei principali fiumi occupate, a loro volta, dai successivi depositi alluvionali medio recenti.

Il territorio in discussione è descritto, nelle sue caratteristiche geomorfologiche e geopedologiche, nel seguente paragrafo, dove sono distinte le unità e sottounità morfologiche (UM) ed i loro rapporti geometrici e temporali e nel secondo, sono riassunte le principali caratteristiche litologiche, di permeabilità e drenaggio delle unità morfologiche stesse.

Le unità geomorfologiche affioranti sono le seguenti (fig. 1):

UM 1 – Livello Fondamentale della pianura (LFdP)

UM 2 – Unità intermedia, alluvioni terrazzate sabbioso ghiaiose, ribassate di 5-6 m dal LFdP;

2a – aree pianeggianti o debolmente ondulate, affrancate da tempo dall’attività fluviale, suolo moderatamente profondo,

2b – aree debolmente ribassate con suolo poco sviluppato, drenaggio difficoltoso con fontanili,

2c – terreni di posizione incerta tra UM 2 e 3 a NE e NW dell’abitato,

UM 3 – Alluvioni attuali e recenti dell’Adda

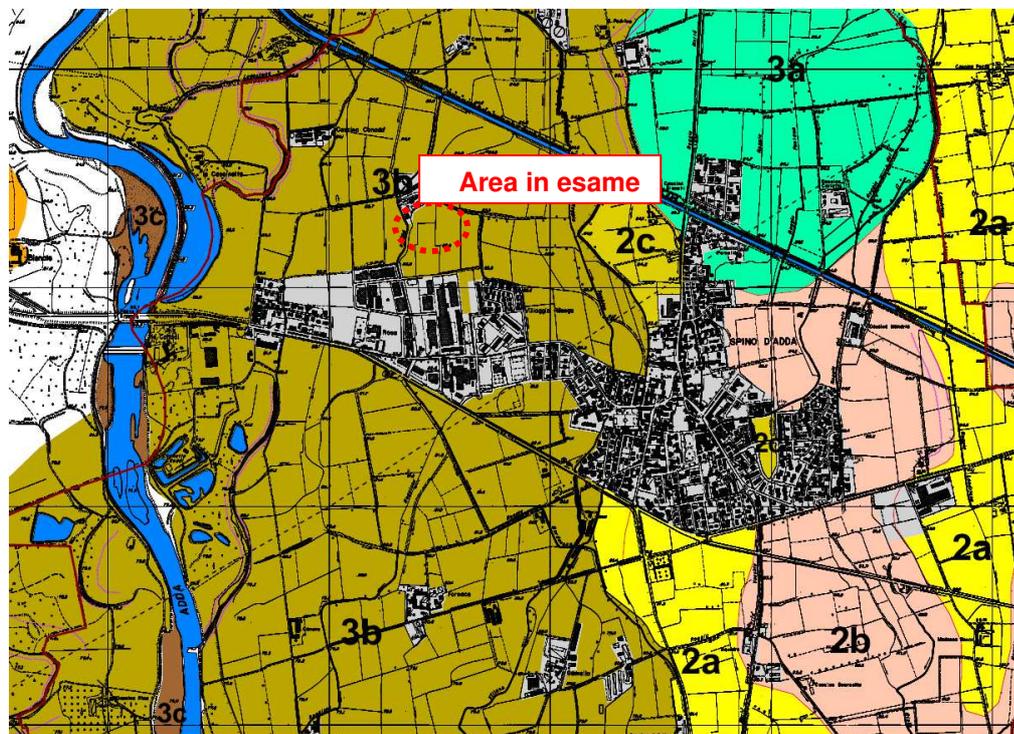
3a – piano di c.na San Pietro, attribuibile ad un corso d’acqua più antico dell’Adda,

3b – alluvioni attribuibili al corso recente dell’Adda,

3c – depositi sabbioso ghiaiosi dell’alveo di piena ordinaria.

Il settore di pianura lombarda in cui si colloca il territorio del Comune di Spino D’Adda è stato modellato dall’attività fluviale del fiume Adda e dai corsi d’acqua ad esso preesistenti.

L’area in esame ricade nell’unità 2b, appartenente all’Unità Intermedia (fig. 4).



- Unità morfologiche (U.M):

- 1** 1. Livello fondamentale della pianura (LFdP): alluvioni sabbioso-ghiaiose, costituiscono il terrazzo morfologico ad ovest del fiume ADDA.
- 2. Unità intermedia: Alluvioni terrazzate ghiaioso sabbiose, ribassate di 5-6m dal LFdP. Permeabilità elevata.
- 2a** 2a. Aree pianeggianti o debolmente ondulate, affrancate da tempo dall’attività fluviale, con suolo mediamente profondo.
- 2b** 2b. Aree debolmente ribassate, con un suolo poco sviluppato, drenaggio difficoltoso, con fontanili.
- 2c** 2c. Terreni di posizione incerta tra U.M 2 e 3, a NO e NE dell’abitato.
- 3. Alluvioni attuali e recenti dell’Adda: alluvioni terrazzate ghiaioso-sabbiose, con rare lenti limose, permeabilità elevata e suoli da mediamente a poco sviluppati.
- 3a** 3a. Piano di C.na S.Pietro (settore NE): piano più elevato di 0.5-1.5m, attribuibile ad un corso d’acqua più antico dell’Adda.
- 3b** 3b. Alluvioni attribuibili al corso recente dell’Adda: possibili lenti limose in corrispondenza dei paleovalci, drenaggio difficoltoso a causa della falda subaffiorante, tranne che in prossimità dell’Adda.
- 3c** 3c. Depositi sabbioso ghiaiosi dell’alveo di piena ordinaria.

Figura 4 - Estratto da carta geomorfologica – PGT.

Tutti gli elementi importanti relativi all'assetto idrogeologico del territorio, andamento della superficie freatica, emergenze della stessa, pozzi pubblici, rilevati in prossimità dell'area in esame, sono riportati in fig. 5.

Il territorio comunale di Spino d'Adda presenta caratteristiche idrogeologiche tipiche del settore di pianura in cui è inserito ed è caratterizzato da falda superficiale, il cui tetto si trova a pochi metri da p.c., con verso principale di scorrimento dalle Alpi verso il Po (N-S). La presenza del fiume Adda, che esercita una forte azione drenante di questo settore di territorio e di una scarpata di erosione, alta più di 10 m, in destra idrografica ad ovest del territorio comunale, provoca, nelle isopiezometriche rappresentate in carta, un'inflessione verso NO, con accentuato arretramento in corrispondenza dell'asta fluviale.

Le direttrici di scorrimento della falda ruotano, verso occidente da un andamento "normale" NS, di un angolo variabile, tanto più elevato quanto più ci si avvicina al fiume; la rotazione è verso ovest in sinistra idrografica, nel territorio da noi studiato, ma verso est in destra, la rotazione è asimmetrica, sui due lati del fiume, a causa della scarpata morfologica, che, essendo posta in destra idrografica e non in sinistra, influenza massicciamente l'andamento piezometrico in questo lato.

I gradienti sono variabili, generalmente più elevati nelle immediate vicinanze del fiume e nel settore ad ovest di esso. La soggiacenza della falda superficiale, è molto bassa su tutto il territorio in esame, caratterizzato da presenza diffusa di teste di fontanili. In generale la profondità minima della falda, nel periodo di irrigazione (aprile – settembre), è inferiore a 1.5 m, mentre può raggiungere 3 m in periodo invernale. Fa eccezione la zona, prossima all'Adda, a valle della briglia di Bisnate, dove la soggiacenza estiva può anche superare tre metri, a monte della briglia del ponte di Bisnate (dove si opera), la falda superficiale è mantenuta più alta. In ambedue queste aree a valle e a monte, con l'Adda in piena, anche la falda si innalza significativamente e persiste così fino al suo esaurirsi.

Nell'area in esame la soggiacenza è compresa indicativamente tra -2.00 m e -2.20 m; durante la stagione irrigua è possibile un innalzamento del livello di 0.50/1.00 m.

Il reticolo idrografico è rappresentato da corsi d'acqua con andamento generalmente N-S, con il Canale Vacchelli che scorre circa 300 m a N dell'area in esame da ovest a est.

I corsi d'acqua che regolano il flusso idrico superficiale dell'area in esame sono la Roggia Dardanona e Tombino con andamento N-S (fig. 5).

Questi corsi d'acqua minori e i rami secondari dell'Adda potrebbero aver lasciato depositi con caratteristiche geotecniche scadenti.

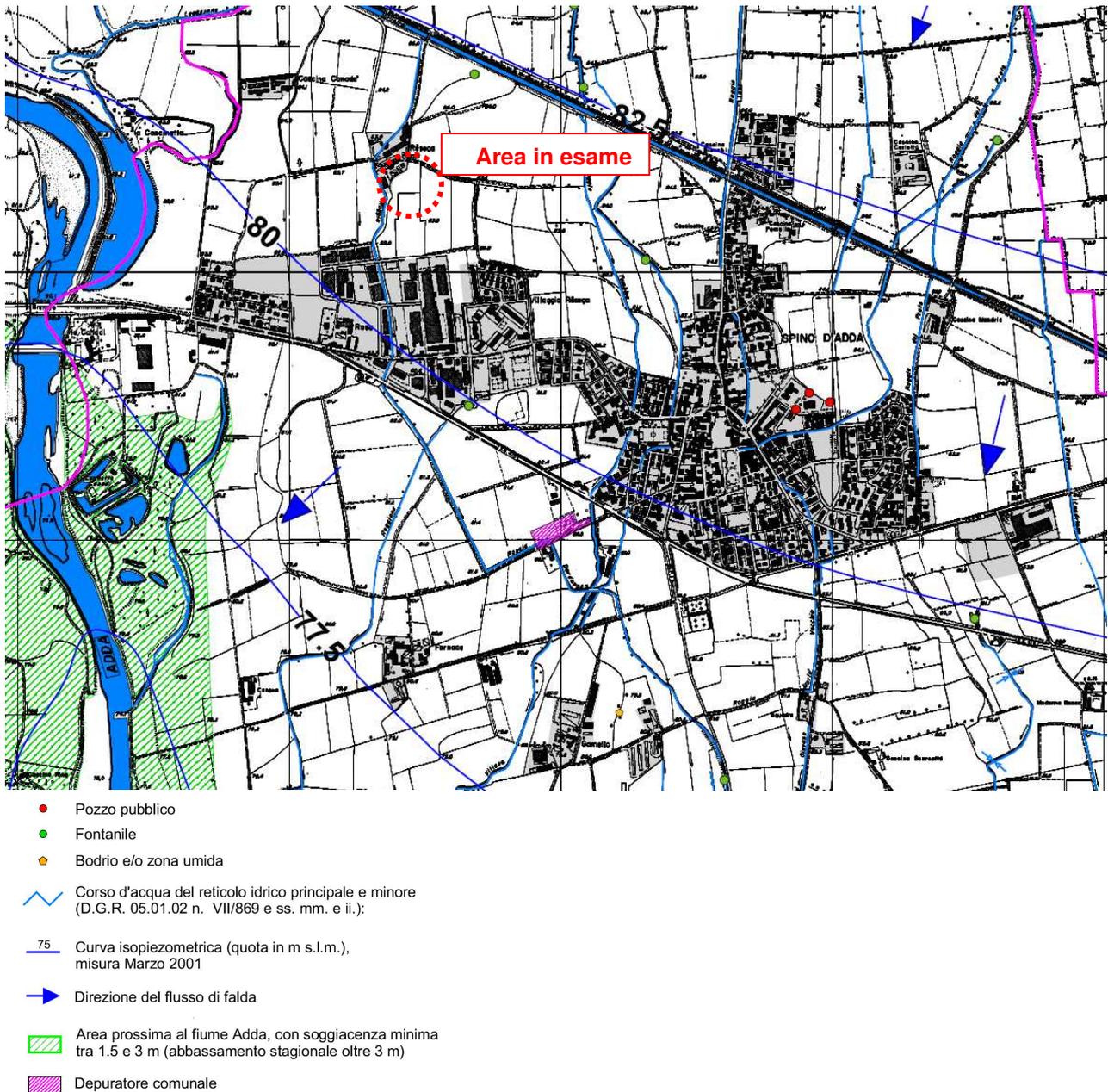


Figura 5 - Estratto da carta idrogeologica – PGT.

2. CARATTERISTICHE LITOLOGICHE E GEOTECNICHE DEI TERRENI

L'indagine geognostica del 5 febbraio 2022, consta di 16 prove penetrometriche dinamiche, eseguite con Penetrometro Pagani, superpesante da 20 t, (fig. 6), qui di seguito analizzate.

A queste si accompagnano alcune prove, eseguite per Tecno Ventil nel 2015, per i capannoni esistenti.



Figura 6 - Penetrometro Pagani.

SCPT1			
Profondità	Litologia	Np medio	ϕ
0,00-4,00	limo - limo sabbioso	3	27°
4,00-6,80	sabbia media con ghietto	14	32°
6,80-7,60	ghaia e sabbia addensata	47	40°
Livello falda: -2,20 da p.c.			

SCPT2			
Profondità	Litologia	Np medio	ϕ
0,00-4,80	limo - limo sabbioso con lenti sabbiose	3	27°
4,80-8,80	sabbia media con lenti limose	9	29°
8,80-9,20	ghaia e sabbia addensata	43	41°
Livello falda: -2,20 da p.c.			

SCPT3			
Profondità	Litologia	Np medio	ϕ
0,00-2,60	limo - limo sabbioso con lenti sabbiose	2	25°
2,60-7,00	sabbia media con lenti limose	9	29°
7,00-7,40	ghaia e sabbia addensata	48	41°
Livello falda: -2,40 da p.c.			

SCPT4			
Profondità	Litologia	Np medio	ϕ
0,00-2,60	limo - limo sabbioso con lenti sabbiose	3	27°
2,620-6,00	sabbia media con lenti limose	9	29°
6,00-6,60	ghaia e sabbia addensata	44	41°
Livello falda: -2,40 da p.c.			

SCPT5			
Profondità	Litologia	Np medio	ϕ
0,00-0,60	limo - limo sabbioso con lenti sabbiose	2	25°
0,60-5,80	sabbia media con lenti limoso sabbiose	10	30°
5,80-6,20	ghaia e sabbia addensata	38	38°
Livello falda: N.P.			

SCPT6			
Profondità	Litologia	Np medio	ϕ
0,00-2,40	limo - limo sabbioso con lenti sabbiose	3	27°
2,40-8,80	sabbia media con lenti limoso sabbiose	11	31°
8,60-9,00	ghaia e sabbia addensata	35	37°
Livello falda: N.P.			

SCPT7			
Profondità	Litologia	Np medio	ϕ
0,00-1,80	limo - limo sabbioso	2	25°
1,80-5,40	sabbia media o addensata	14	31°
5,40-5,80	ghaia e sabbia addensata	39	36°
Livello falda: -2,00 m da p.c.			

SCPT8			
Profondità	Litologia	Np medio	ϕ
0,00-3,00	argilla organica	1	//
3,00-5,40	sabbia media o addensata	14	31°
5,40-6,20	ghaia e sabbia addensata	40	38°
Livello falda: -1,80 m da p.c.			

SCPT9			
Profondità	Litologia	Np medio	ϕ
0,00-3,80	limo - limo sabbioso	2	25°
3,80-6,20	sabbia media o addensata	11	31°
6,20-6,60	ghaia e sabbia addensata	48	42°
Livello falda: -1,80 m da p.c.			

SCPT10			
Profondità	Litologia	Np medio	ϕ
0,00-2,00	argilla organica	1	//
2,00-8,80	sabbia media con lenti sabbiose	9	29°
8,80-9,20	ghaia e sabbia addensata	42	39°
Livello falda: -1,80 m da p.c.			

SCPT11			
Profondità	Litologia	Np medio	ϕ
0,00-1,00	argilla organica	1	//
1,00-9,00	sabbia fine o media con lenti ghiaiose	10	30°
9,00-9,40	ghiaia e sabbia addensata	40	38°
Livello falda: N.P.			

SCPT12			
Profondità	Litologia	Np medio	ϕ
0,00-1,40	limo sabbioso	2	25°
1,40-5,00	sabbia fine o media con lenti ghiaiose	9	29°
5,00-6,40	ghiaia e sabbia addensata	30	36°
Livello falda: N.P.			

SCPT13			
Profondità	Litologia	Np medio	ϕ
0,00-4,40	limo sabbioso con lente di sabbia media	3	27°
4,40-9,20	sabbia fine o media con lenti ghiaiose	13	32°
9,20-9,80	ghiaia e sabbia addensata	32	37°
Livello falda: -2,30 m da p.c.			

SCPT14			
Profondità	Litologia	Np medio	ϕ
0,00-4,60	limo sabbioso	3	27°
4,60-10,00	sabbia media con lenti ghiaiose	13	32°
10,00-10,40	ghiaia e sabbia addensata	40	42°
Livello falda: -2,40 m da p.c.			

SCPT15			
Profondità	Litologia	Np medio	ϕ
0,00-3,60	limo sabbioso	2	25°
3,60-10,20	sabbia media con lenti limose	7	29°
10,20-10,60	ghiaia e sabbia addensata	39	39°
Livello falda: -2,40 m da p.c.			

SCPT16			
Profondità	Litologia	Np medio	ϕ
0,00-1,60	limo sabbioso	2	25°
1,60-5,40	sabbia media con lenti limose	13	32°
5,40-6,40	ghiaia e sabbia addensata	29	36°
Livello falda: -2,20 m da p.c.			

SCPT17			
Profondità	Litologia	Np medio	ϕ
0,00-2,40	limo sabbioso - sabbia limosa	3	27°
2,40-8,40	sabbia fine o media con lenti ghiaiose	10	30°
8,40-8,80	ghiaia e sabbia addensata	35	37°
Livello falda: -2,20 m da p.c.			

SCPT18			
Profondità	Litologia	Np medio	ϕ
0,00-1,40	argilla organica	1	23°
1,40-7,00	sabbia media con lenti ghiaiose	13	31°
7,00-8,00	ghiaia e sabbia addensata	28	36°
Livello falda: -2,20 m da p.c.			

SCPT19			
Profondità	Litologia	Np medio	ϕ
0,00-1,40	limo sabbioso - limo	2	25°
1,40-7,00	alternanza di sabbia limosa e sabbia ghiaiosa	9	29°
7,00-8,00	ghiaia e sabbia addensata	25	35°
Livello falda: -2,40 m da p.c.			

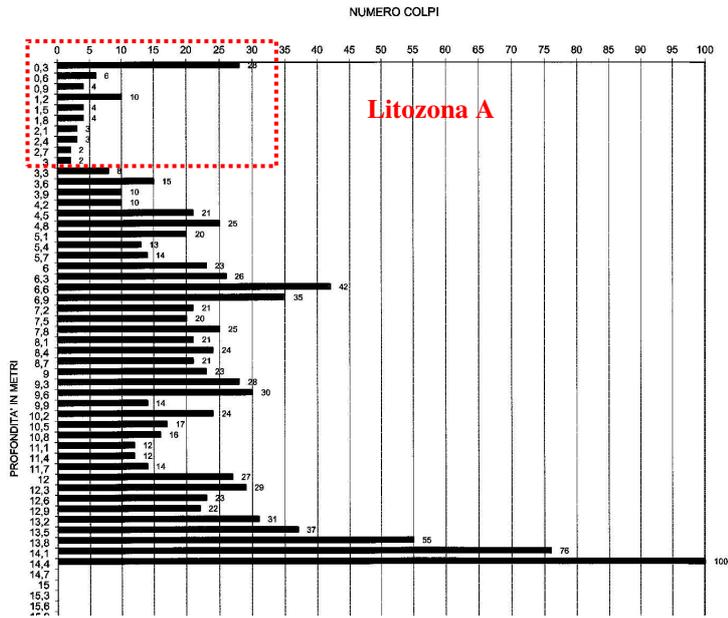
SCPT20			
Profondità	Litologia	Np medio	ϕ
0,00-1,20	argilla organica	1	//
1,20-7,80	alternanza di sabbia limosa e sabbia ghiaiosa	11	31°
7,80-8,40	ghiaia e sabbia addensata	34	37°
Livello falda: -2,40 m da p.c.			

SCPT21			
Profondità	Litologia	Np medio	ϕ
0,00-1,40	argilla organica	1	//
1,40-5,80	alternanza di sabbia limosa e sabbia ghiaiosa	13	32°
5,80-6,40	ghiaia e sabbia addensata	36	37°
Livello falda: N.P.			

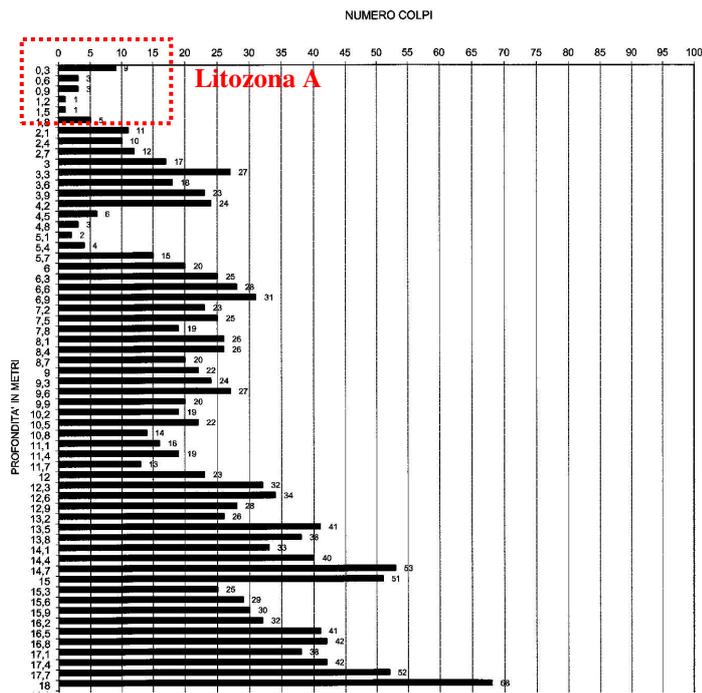
SCPT22			
Profondità	Litologia	Np medio	ϕ
0,00-1,80	sabbia limosa - limo	2	25°
1,80-6,40	alternanza di sabbia limosa e sabbia addensata	9	29°
6,40-7,80	ghiaia e sabbia addensata	26	35°
Livello falda: N.P.			

Prove SCPT - 2015 (lotto A)

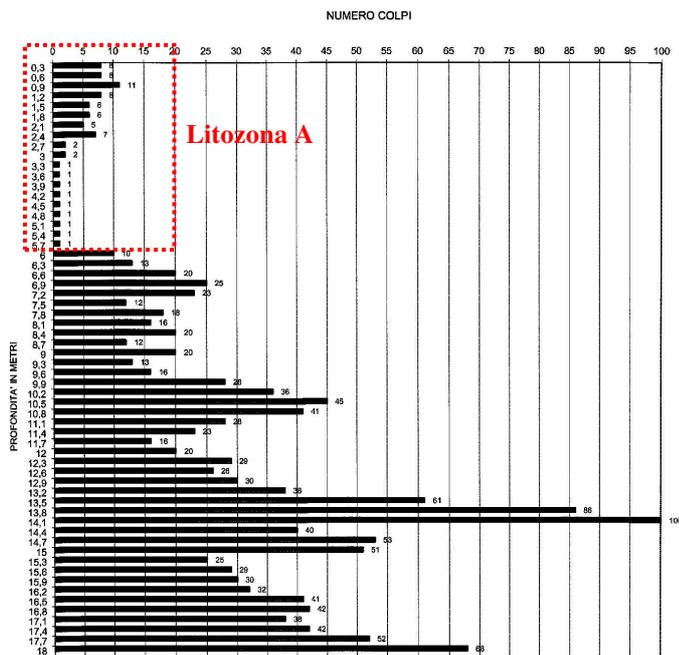
Prova 1



Prova 3



Prova 4



In prima analisi le prove indicano che è presente tripartizione dei depositi con litozona superficiale limoso argillosa a componente organica su tutta la superficie in esame, di potenza variabile da pochi decimetri a -4.60 m da p.c., al cui letto stanno alternanze di sabbia fine o media intercalate da lenti sabbioso ghiaiose, fino a profondità tra -5.00/8.00 m da p.c. mentre al di sotto si presentano depositi prevalentemente ghiaioso sabbiosi molto addensati. In tutte le prove si va a **rifiuto**.

La falda, nei perfori di prova, è segnalata a -1.80-2.40 m da p.c. il 05.02.21

3. STIMA DELL'AZIONE SISMICA LOCALE

Il territorio di Spino d'Adda è in Zona sismica 3 (medio pericolo sismico).

Regione Lombardia e il PGT vigente definiscono lo scenario di pericolosità sismica locale Z4a che associa "la bassa pianura parte integrante dell'immenso fondovalle costituito dalla Pianura Padana (PSL Z4a); quindi di "default" tutta l'area comunale verrà dunque associata alla PSL Z4a (Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi). Quindi gli effetti possibili degli scenari di pericolosità sismica locale evidenziati sono: **amplificazioni litologiche e geometriche (Z4A)**.

Definizione dell'accelerazione orizzontale propria del sito: applicando le "Norme Tecniche per le Costruzioni", per definire principalmente **l'accelerazione orizzontale propria del sito**, si introduce un sisma di progetto, considerando punti di ancoraggio (nodi) di una rete di 4 km di lato. Sono introdotti gli Stati Limite

sismici probabilistici e l'intensità della componente orizzontale del sisma è trattata come campo aleatorio (in ogni punto del territorio il sisma è rappresentato da una variabile aleatoria).

Qui di seguito sono definiti i parametri da inserire nella NUOVA VERSIONE SPETTRI DI RISPOSTA VER.1.03 del programma sperimentale che fornisce gli spettri di risposta rappresentativi delle componenti (orizzontali e verticale) delle azioni sismiche di progetto per il generico sito del territorio nazionale, fornito dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti per la verifica geotecnica in aree sismiche.

Parametri

Il D.M. 17.01.18 classifica la struttura in discussione (edifici residenziali) come:

Edificio con vita nominale della struttura $V_n = 50$ anni,

Classe d'uso in funzione della destinazione II,

Coefficiente $C_u = 1.0$,

Coordinate geografiche indicative WGS84 GD: 9.478683°E, 45.407019°N.

Di seguito sono trascritti i dati utili per i calcoli relativi all'ipotesi di fondazione (Tabella 1).

STATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_c^* [s]
SLO	30	0,025	2,497	0,193
SLD	50	0,032	2,536	0,210
SLV	475	0,072	2,587	0,285
SLC	975	0,091	2,592	0,297

Tabella 1.

Dove si ha che:

A_g : accelerazione orizzontale massima al sito (0.072 g);

F_o : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T_c : periodo di inizio tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale;

SLO: stato limite di operatività;

SLD: stato limite di danno;

SLV: stato limite di salvaguardia della vita;

SLC: stato limite di prevenzione del collasso.

Stima delle V_{sEq} e degli effetti litologici

Per valutare le caratteristiche sismiche del sito in esame si considerano le indagini sismiche effettuate lungo la SP 415 a sud dell'area in esame (Microtremori PGT SP1 e SP2), con similitudine di condizione geologica. A conferma delle indagini PGT è stato eseguito, il 5.2.22, un'indagine HVSR in corrispondenza dell'area in esame.

ReMi o microtremori sono un metodo sismico che permette di ricavare, da misure in situ, profili di velocità

delle onde trasversali (onde S). La norma sismica in vigore chiede la determinazione della categoria del suolo sismico del sito mediante la determinazione di V_{SEq} ($V_{SEq}=30/\sum_{i=1, N} h_i/V_i$: velocità equivalente delle onde S nei primi 30 metri di profondità). I dati sono acquisiti dalla superficie topografica, con sismografi e geofoni verticali, usata nella sismica a rifrazione, che registrano il rumore ambientale, o **microtremori**, generati da fonti antropiche o naturali; questo permette di acquisire dati senza energizzazioni del terreno. A seconda delle caratteristiche del sottosuolo, della lunghezza dello stendimento e del numero di sensori impiegati il metodo permette di determinare la velocità delle onde trasversali V_s per profondità da alcune decine di metri a 100 m.

L'approfondimento geofisico è finalizzato all'analisi del rischio sismico, misura le velocità nel sottosuolo delle onde di taglio (V_s). Successivamente alla rilevazione di campagna si è proceduto all'elaborazione dei dati con ricostruzione del periodo naturale di oscillazione del sito in discussione e del fattore di amplificazione sismica locale (F_a), utilizzando i metodi indicati dalla Regione Lombardia.

L'approfondimento con indagine sismica (microtremore) ha consentito di misurare le velocità delle onde di taglio (onde V_s) nel sottosuolo. L'elaborazione dei risultati persegue la finalità di ricostruire il periodo naturale dei siti e determinare il fattore di amplificazione sismica locale (F_a), come indicato dai Criteri attuativi di natura geologica, idrogeologica e sismica della L.R. 12/2005 (DGRL 28.05.08 N. 8/7374 e s.m. i.). I dati individuati con indagine sismica (velocità, m/s e profondità, m) dei singoli strati sono compendati nella seguente Tabella 2.

Le velocità V_{SEq} , calcolate nei primi 30 m in m/s sono riportate in Tabella 2. **La velocità media V_{SEq} , calcolata nei primi 30 m è compresa tra 307-319 m/s.** I dati dei singoli strati sono riportati in Tabella 2.

Linea	Strato 1		Strato 2		Strato 3		Strato 4		Strato 5	
	H1	Vs1	H2	Vs2	H3	Vs3	H4	Vs4	H5	Vs5
Sp01	5.5	210	25	350		840				
Sp02	4.8	210	28	320		800				

Tabella 2 – Distribuzione verticale delle V_{seq} .

I risultati dell'analisi sismica si sintetizzano come qui segue.

Nella fig. 7 e 8 il modello interpretativo rileva un primo strato di 5.5 m a velocità 210 m/s cui succede in profondità uno strato a velocità 350 m/s (fino a 25 m). A questa profondità s'individua il substrato veloce ($V_s = 840$ m/s).

Questa distribuzione di velocità, come quella delle due linee seguenti, ricade nel campo di validità della scheda *sabbie*. Poiché i dati litologici, ricavati da stratigrafie di pozzi, indicano una litologia prevalentemente sabbioso-ghiaiosa, si è scelta la scheda sabbie come scheda principale di riferimento.

La $V_{SEq} = 341$ m/s indica che i suoli dell'area possono essere ricondotti al tipo C (depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate o argille mediamente consistenti $V_{SEq} \leq 360$ m/s).

Il primo strato di 5.5 m con $V_s=210$ m/s fa ricadere la scelta della curva periodo- F_a sulla curva 2 delle sabbie. Il valore del periodo proprio del sito ($T_p=0.31$ s) fa ricadere l'intercetta nel tratto di

curva polinomiale ($T_p < 0.45$ s).

In base a questi elementi il fattore di Amplificazione F_a , calcolato sulla scheda sabbie, risulta di **1.7** per edifici con periodo < 0.5 s e di **1.4** per edifici con periodo superiore a 0.5 s.

Lo spettro della linea Sp02 è simile a quello della linea Sp01, ma lo spettro risulta molto attenuato a piccola profondità e la salita finale, in profondità, è appena accennata. In Fig. 5b è evidenziato l'incremento di velocità che caratterizza la linea (210 m/s fino a 4.8 m poi 320 m/s fino a 28 m) poi la presenza del substrato veloce ($V_s \geq 800$ m/s). La profondità del substrato tuttavia non è determinabile con precisione, per quanto già detto sul tratto finale dello spettro. La profondità di 28 m va intesa come la profondità minima possibile del substrato e ne è stata verificata la compatibilità, tramite modellizzazione. La configurazione di velocità, in particolare la presenza del substrato a meno di 30 m, è compatibile con la scheda litologica *sabbie*.

Anche in questo caso, tramite la $V_{SEq} = 307$ m/s si possono attribuire i suoli al tipo C (depositi di sabbie e ghiaie molto addensate o argille molto consistenti - $V_{SEq} > 360$ m/s).

Il primo strato di spessore modesto e bassa velocità (4.8 m con 210 m/s) fa ricadere la scelta della curva periodo- F_a sulla curva 2.

Come nella linea Sp01, il periodo proprio del sito ($T_p = 0.31$ s) fa ricadere l'intercetta nel tratto polinomiale della curva 2.

In base a questi elementi il fattore di Amplificazione F_a , calcolato sulla scheda *sabbie*, risulta di **1.6** per edifici con periodo < 0.5 s e di **1.5** per edifici con periodo superiore a 0.5 s.

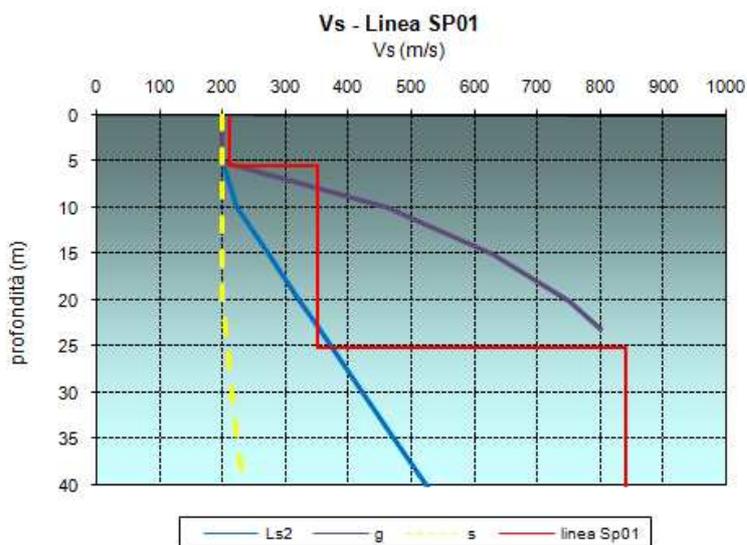


Figura 7

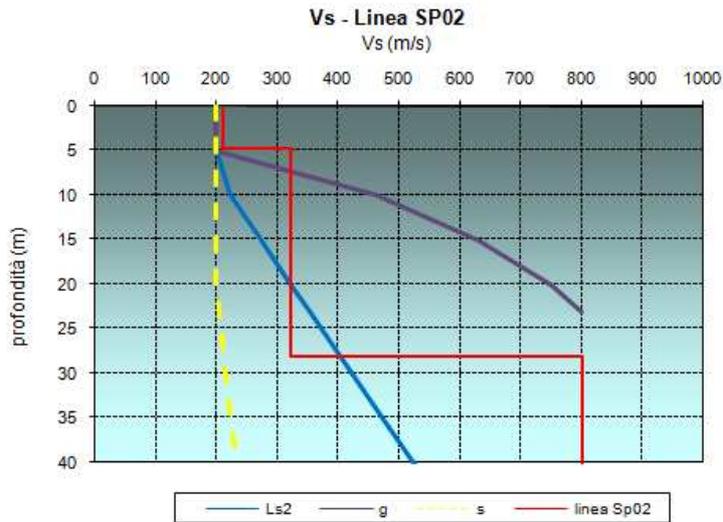


Figura 8

In Tabella 3 sono sintetizzati i valori V_{sEq} , il tipo di suolo sismico, il periodo proprio del sito (T_p) calcolato dalle Vs ed i valori calcolati del Fattore di Amplificazione (F_a) per le due tipologie di edifici: $0.1 < T \leq 0.5s$ e $T > 0.5s$. Nell'ultima riga sono riportati i valori soglia (di riferimento) forniti da Regione Lombardia.

Linea	V_{sEq}	Suolo sismico	Periodo (T_p)	F_a ($T=01-0.5 s$)	F_a ($T>0.5 s$)
Sp01	341	C	0.31	1.7	1.4
Sp02	307	C	0.37	1.6	1.5
Fa di riferimento Regione Lombardia				1.8	2.4

Tabella 3 – V_{s30} , Suolo sismico, T_p e F_a

Qui di seguito si riporta il profilo Vs derivante dall'analisi HVSR (fig. 9) che conferma quelli elaborato per il PGT riportato di seguito.

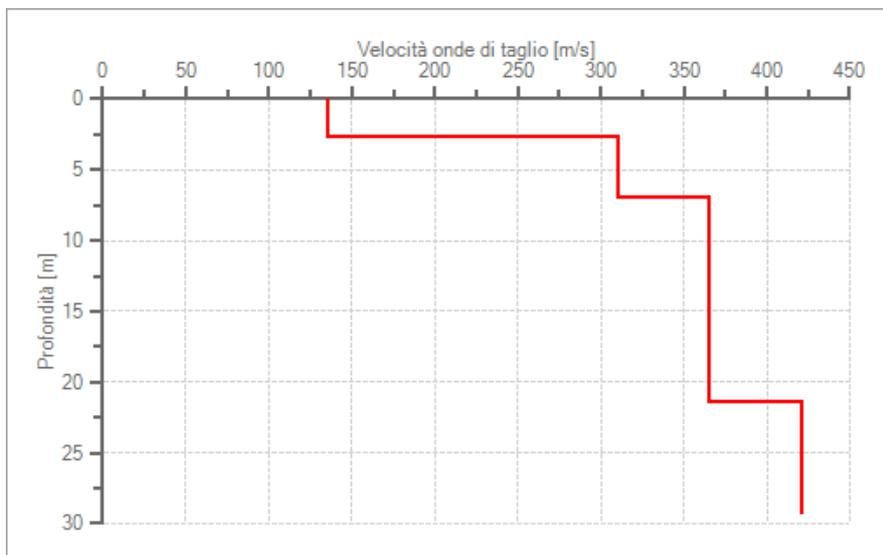


Figura 9 – Profilo Vs da indagine HVSR.

Dal modello stratigrafico prodotto dall'indagine HVSR si deduce un valore di V_{seq} di 319 m/s. In base al modello ricavato il sito ricade nella categoria di suolo sismico C. Frequenza del picco del rapporto H/V: 11.45 Hz \pm 0.15 Hz.

Conclusioni elaborazione azione sismica

Il risultato della verifica comporta che i valori di F_a calcolati sono inferiori a quelli forniti da Regione Lombardia, per tutti gli edifici. Pertanto nell'area indagata si adotteranno gli spettri di norma relativi al **suolo sismico C (depositi di sabbie e ghiaie molto addensate o argille molto consistenti - $V_{s30} > 360$ m/s)**.

4. MODELLO GEOLOGICO

Sulla base delle conoscenze acquisite si compendia qui di seguito il modello geologico di riferimento. Le caratteristiche geologico e sismiche individuate sono riprese nel modello geotecnico.

Modello geologico: il settore di pianura lombarda in cui si colloca il territorio di Spino D'Adda è stato modellato dall'attività fluviale esercitata dal fiume Adda e dai corsi d'acqua ad esso preesistenti. In particolare l'area in esame rientra nelle Alluvioni attuali e recenti dell'Adda.

L'analisi sismica definisce che l'area è potenzialmente soggetta allo scenario di pericolosità sismica Z4, caratterizzata da amplificazioni litologiche o geometriche. Il **suolo sismico da adottare è C** (depositi di sabbie e ghiaie molto addensate o argille molto consistenti - $V_{seq30} > 360$ m/s).

La soggiacenza della falda è a -1.80/2.40 m da p.c. con flusso in direzione SO con possibile risalita di 0.50/1.00 m durante i periodi particolarmente piovosi o irrigui.

RELAZIONE GEOTECNICA

5. MODELLO GEOTECNICO DI RIFERIMENTO

Il **modello geotecnico (NTC D.M. 14.01.08, cap. 6)**, relativo al sito in discussione, considerando il contesto geologico in cui si inserisce, è definito come qui segue.

Litozona A: al di sotto della copertura di suolo agrario (potenza media 0.30-0.40 m) sono presenti depositi limoso sabbiosi o argillosi localmente organici (prove 8-11-13-18-20-21 fino a -0.60/4.80 m da p.c., limite inferiore disomogeneo con geometrie lentiformi dei

depositi transizionali, N_p da 0 a 5, ϕ da 25° a 27° (componente granulare);

Litozona B: litozona transizionale dal letto della litozona A fino a -5.00/10.20 m da p.c., sabbia media con intercalazioni di lenti sabbiose addensate o sabbioso limose, limite inferiore ampiamente disomogeneo, N_p da 5 a 18, ϕ da 29° a 32° ;

Litozona C: dal letto della litozona B fino a -10.60 m da p.c. (max profondità indagata, rifiuto all'avanzamento penetrometrico), ghiaia e sabbia addensata, $N_p > 20$, ϕ da 35° a 42° .

Sulla base dei dati geognostici e geofisici si definisce, nella seguente Tabella 4, il **modello geotecnico di riferimento**, con evidenziate le litozone, i relativi angoli di attrito interno, la velocità V_{seq} e il suolo sismico:

Profondità (m)	Litozona	$\Delta \phi$	V_{seq} media (m/s)	Suolo sismico da adottare
0.30/0.40-0.60/4.80	A	$25^\circ - 27^\circ$	307-319-341	C
0.60/4.80-5.00/10.20	B	$29^\circ - 32^\circ$		
5.00/10.20-10.60	C	$35^\circ - 42^\circ$		

Tabella 4 - Modello geotecnico.

6. VERIFICA IPOTESI DI FONDAZIONE

Al fine di fornire una prima valutazione riguardo le fondazioni di possibile impiego, si considerano alcune tipologie che sembrano conformi alle diverse costruzioni di progetto. Si tratterà quindi preliminarmente di fondazioni profonde su pali, da eseguire dove si avranno i carichi maggiori.

Le valutazioni qui di seguito esposte, **hanno valore orientativo e di prima caratterizzazione e non sono da confondere con la progettazione geotecnica esecutiva.**

Palo trivellato lunghezza 12 m diametro 0.40 m. Capacità portante indicativa da verificare 50 t.

La verifica della capacità portante del palo che qui segue è costituita dalle seguenti **4 fasi**:
 1) definizione statistica del valore di progetto dell'angolo di attrito ϕ per le litozone del modello geologico di riferimento che sono coinvolte nell'iterazione fra punta del palo e terreno. Essendo piccolo il volume basale la conseguente superficie di rottura potrebbe

svilupparsi interamente all'interno di una zona di strati deboli, non essendoci quindi compensazione delle fluttuazioni della resistenza del terreno;

2) determinazione del carico verticale di progetto (E_d) da applicare sul palo di progetto;

3) calcolo della capacità portante (basale e laterale) del palo;

4) verifica agli stati limiti ultimi secondo la disequazione: **$E_d < R_d$**

dove E_d è la componente della risultante delle forze normali agenti sul palo e R_d è il valore di progetto della resistenza del terreno.

1) Definizione statistica del valore di progetto dell'angolo di attrito ϕ per le tre litozone individuate nel modello geologico di riferimento.

Si applica il metodo NTC, cioè l'analisi statistica per parametri geotecnici significativi ricavati dal modello geologico e geotecnico di riferimento.

Si ricava così il seguente valore di progetto " X_d " da utilizzare nella verifica agli stati limite.

Qui di seguito è illustrato il calcolo del valore di progetto " X_d " dell'angolo di attrito interno ϕ mediante analisi statistica della litozona C (dove verrà posta la punta del palo).

5° percentile distribuzione del campione

Per PICCOLI volumi di rottura e distribuzione normale (Φ)

(ciò avviene in genere in piccoli plinti, pali, travi in situazioni di rottura locale)

Parametro	Φ		
dati	media dati	X_k	
40	37,17	35,9	Valore caratteristico
36	COV Φ %	X_d	
36	2	30,1	Valore di progetto
35	n° dati		
39	6		
37			

$$X_k \approx \bar{X} - 1.645 * \sigma$$

COV: coefficiente di variazione

2) Determinazione del carico verticale di progetto (E_d) che sarà applicato sul palo da verificare: viene applicato il coefficiente moltiplicativo γ_f ai carichi indicati che è pari all'unità (vedi NTC)

$$E_d = 40 \text{ t} \times \gamma_f = 40 \times 1 = \mathbf{40 \text{ t}}$$

3) Calcolo della capacità portante del palo di lunghezza 12 m, diametro di punta 0.40 m.

Per valutare, indicativamente, la portanza del palo, si utilizza la seguente relazione:

➤ **Resistenza di punta:**

$$Q_p = \sigma_{\text{tot}} \times A \times N_q$$

dove $A = 0.12 \text{ m}^2$ (area della punta, diametro 0.40 m)

γ (peso specifico medio del terreno sopra il piano fondazione profonda)

Tensione litostatica Litozona A $\rightarrow \sigma_A = \gamma_{LA} \times L_A = 1.4 \text{ t/m}^3 \times 4.8 \text{ m}$;

Tensione litostatica Litozona B $\rightarrow \sigma_B = \gamma_{LB} \times L_B = 1.6 \text{ t/m}^3 \times 5.4 \text{ m}$;

Tensione litostatica Litozona C $\rightarrow \sigma_C = \gamma_{LC} \times L_C = 1.9 \text{ t/m}^3 \times 1.8 \text{ m}$.

Tensione totale : $\sigma_{\text{tot}} = (\sigma_{1A} + \sigma_{2A} + \sigma_{1B} + \sigma_{2B}) = 18.78 \text{ t/m}^2$

$L = 12 \text{ m}$ (lunghezza totale del palo),

$N_q = 18.4$ coefficiente dimensionale in base all'angolo di attrito interno di progetto (ϕ medio progetto = 30°).

Si calcola:

$$Q_p = 18.78 \times 0.12 \times 18.4 = 41.46 \text{ t} = 414.6^1 \text{ KN (valore indicativo per singolo palo).}$$

➤ **Resistenza laterale:**

La resistenza laterale, data dalla coesione e dall'attrito dei terreni, varia a seconda del tipo di palo impiegato, dalle geometrie del palo e dalla tecnologia di realizzazione. Si tenga presente che:

- utilizzando pali trivellati, al fine di garantire la resistenza per attrito laterale, essi devono essere relativamente più lunghi dei pali infissi (che a parità di caratteristiche presentano resistenze alla punta maggiori);
- dopo circa 10 m di profondità, in terreni granulari, la pressione verticale efficace (dalla quale dipende la portanza laterale e di punta) non è crescente con la profondità; sarà quindi opportuno allungare il palo, incrementando significativamente la resistenza di punta, solo qualora si vogliano raggiungere strati con caratteristiche geotecniche buone o elevate.

Per le ragioni esposte si propone la valutazione della portanza laterale per un palo infisso a 10 m di profondità:

$$Q_l \text{ (portanza laterale per pali trivellati)} = \pi \times D_i \times \Delta L \times 0.7 \times \text{tg}\phi \times \gamma \times z$$

dove:

D_i : diametro palo (0.40 m)

ΔL : lunghezza palo in strati con le medesime caratteristiche

γ : peso specifico strati considerati (t/m^3)

ϕ : angolo di attrito interno medio stimato

¹ A questo valore andrà sottratto il peso del palo.

Z: spessore litozona considerata

Quindi si esprimono le portanze laterali proprie di ogni litozona considerata fino alla profondità di **10 m** da p.c.:

Litozona A: $Q_{IA} = \pi \times 0.4 \times 4.8 \times 0.7 \times \text{tg } 24^\circ \times 1.4 \times 4.8 = 12.62 \text{ t}$

Litozona B (fino a -10 m da p.c.): $Q_{IB} = \pi \times 0.4 \times 5.2 \times 0.7 \times \text{tg } 29^\circ \times 1.6 \times 5.2 = 21.08 \text{ t}$

quindi:

$Q_{\text{totale}} = Q_{IA} + Q_{IB} = 33.70 \text{ t} = 337.0 \text{ KN}$ (valore indicativo per singolo palo a cui sottrarre il peso del palo stesso)).

Valore di progetto della resistenza del terreno per il palo analizzato:

Si considerano i coefficienti parziali (γ_b e γ_s) da applicare alle resistenze caratteristiche di punta e laterale per palo trivellato:

$$R_d = Q_p / \gamma_b + Q_l / \gamma_s = 41.46 / 1.7 + 33.70 / 1.45 = 24.38 + 23.24 = \underline{47.62 \text{ t}}$$

I numerosi parametri che intervengono per la valutazione delle formule statiche, utilizzate per il calcolo della portanza di punta e laterale e soprattutto le difficoltà oggettive di valutazione delle caratteristiche del terreno che subisce un disturbo per la messa in opera del palo, inducono a considerare **INDICATIVI** i calcoli effettuati e soggetti alla variabilità del terreno e soprattutto della tecnica di infissione dei pali.

Inoltre si tenga presente che, per evitare che l'influenza reciproca dei singoli pali (sovrappressioni) comporti cedimenti eccessivi della palificata, non compatibili con la struttura, è opportuno che la distanza tra i singoli elementi sia regolata in base al diametro; questo fa sì che **la distanza minima tra i pali non dovrà essere inferiore a 3 volte il diametro del palo**, pena il verificarsi di bruschi incrementi dei cedimenti.

In questo caso la distanza minima da rispettare sarà di **1.20 m** fra ogni palo.

4) Verifica agli stati limiti ultimi: Ed < Rd

Dove E_d (componente delle risultanti delle forze agenti sul palo) = 40 t; R_d (valore di progetto della resistenza del terreno per palo di diametro 0.40 m e profondità 12 m) = 35.67. **Ed (40 t) < Rd (47.62 t) VERIFICATA**

Liquefacibilità: è valutata la probabilità di liquefazione per gli strati di fondazione per la struttura in esame. Usualmente la liquefazione si verifica in depositi recenti di sabbia e sabbia siltosa che si trovano spesso prossimi ai corsi d'acqua e in presenza di falda (quindi saturi) e sono suscettibili alla liquefazione soprattutto suoli non coesivi (sabbie e limi) con basso contenuto di fini plastici (meno del 15 %).

Nel caso in esame è possibile non eseguire la verifica alla liquefazione in quanto l'accelerazione massima attesa al piano campagna, in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) per l'area in esame è minore di 0,1 g ($A_g \max$).

7. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il Comune è collocato in Zona sismica 3 (media sismicità).

Si riassume, in Tabella A, il **modello geotecnico** dell'area in discussione:

Litozona A: al di sotto della copertura di suolo agrario (spessore medio 0.30-0.40 m) sono presenti depositi limoso sabbiosi o argillosi localmente organici (prove 8-11-13-18-20-21 fino a -0.60/4.80 m da p.c., limite inferiore disomogeneo con geometrie lentiformi dei depositi transizionali, N_p da 0 a 5, ϕ da 25° a 27° (componente granulare);

Litozona B: litozona transizionale dal letto della litozona A fino a -5.00/10.20 m da p.c., sabbia media con intercalazioni di lenti sabbioso addensate o sabbioso limose limite inferiore ampiamente disomogeneo, N_p da 5 a 18, ϕ da 29° a 32°;

Litozona C: dal letto della litozona B fino a -10.60 m da p.c. (max profondità indagata, rifiuto all'avanzamento penetrometrico), ghiaia e sabbia addensata, $N_p > 20$, ϕ da 35° a 42°.

La falda, nei perfori di prova, è segnalata a -1.80-2.40 m da p.c. il 05.02.21

Profondità (m)	Litozona	$\Delta \phi$	Vseq (m/s)	Suolo sismico da adottare	Falda m da p.c.
0.30/0.40-0.60/4.80	A	25°- 27°	307-319-341	C	-1.80/2.40 (+0.50/0.80)
0.60/4.80-5.00/10.20	B	29°- 32°			
5.00/10.20-10.60	C	35°-42°			

Tabella A - Modello geotecnico generale.

In Tabella B si riassumono le caratteristiche del tipo di fondazione trattata.

Fondazione	Profondità (m)	Litozona piano fondazione	Carico da verificare (SLU)	Portanza (SLU)	Verifica SLU
Palo trivellato diametro 0.40 m	12.00	C	<u>40 t</u>	<u>47.62 Kg/cm²</u>	<u>VERIFICATA</u>

Tabella B

I carichi evidenziati in Tabella B sono da considerare riferiti principalmente all'interazione della ipotizzata fondazione, contraddistinta da caratteristiche progettuali precise (geometria, piano di posa, dimensioni, ecc.) e il terreno. Non sono quindi da considerare come carichi relativi alla capacità portante dei terreni in senso stretto. Cambiando in modo sostanziale le caratteristiche progettuali di fondazione varieranno anche i carichi evidenziati.

L'ipotesi, qui sopra esposta, di fondazione profonda è INDICATIVA; i calcoli effettuati sono soggetti alla variabilità del terreno ed alla tecnica di infissione dei pali da considerare nel progetto esecutivo. L'indagine geognostica ha evidenziato una spiccata variabilità dell'area indagata soprattutto per le litozone superficiali (A e B): pertanto **si consiglia di eseguire dei pali di prova (con relativa prova di carico)** e/o in alternativa di valutare la possibilità di impiegare pali in ghiaia vibroflottati, sia per verificare direttamente la tipologia di palo migliore che l'effettiva portanza del terreno.

IL GEOLOGO

dott. Giovanni Bassi

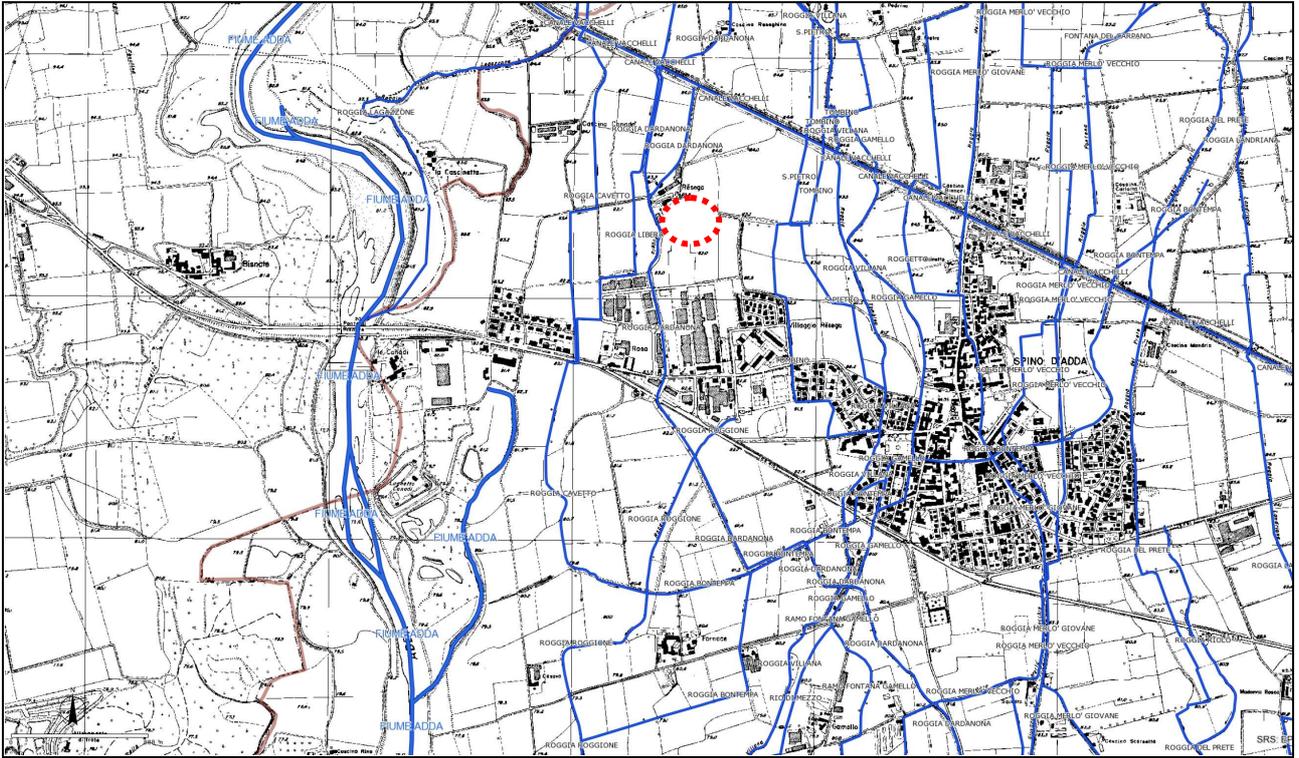
Marzo 2022



ALLEGATI

1. Corografia.
2. Estratti mappa.
3. Rapporto prove penetrometriche.

ALLEGATO 1 - COROGRAFIA



 Area in esame.

ALLEGATO 2: ESTRATTO MAPPA CON PROVE



