



Comune di Padova

Settore Lavori Pubblici
Ufficio Edilizia Monumentale

PROGETTO ESECUTIVO - STRALCIO 1

PADOVA CELESTE PARCO DELLE MURA E DELLE ACQUE
RESTAURO DELL'ALA EST DEL CASTELLO
CARRARESI (LLPP EDP 2021/053)

Progettisti

coordinamento e progettazione generale:
GALEAZZO ARCHITETTI ASSOCIATI
via P. E. Botta n.1 - 35138 Padova - 049 655427
architettogaleazzo@studiogaleazzo.it

progettazione strutturale:
FACCIO ENGINEERING SRL
via Astichello n.18 - 35133 Padova - 049 8647020
posta@faccioengineering.com

progettazione impiantistica:
TFE INGEGNERIA SRL
via Friuli Venezia Giulia n.8 - 30030 Pianiga (VE) - 041 5101542
amministrazione@tfeingegneria.it

coordinamento sicurezza e prevenzione incendi:
ESSETIESSE INGEGNERIA SRL
via P. Bronzetti n.30 - 35138 Padova - 049 8808237
amministrazione.ingegneria@essetiesse.it

Restauratore Beni Culturali:
ADRIANO CINCOTTO
Cannareggio 2588 - 30121 Venezia - 041 2750077
cincottorestauro@gmail.com

Esperto aspetti energetici e ambientali:
ING. MARCO SORANZO
via Tintoretto n.16 - 35030 Selvazzano Dentro (PD) - 348 3109523
ingmsoranzo@gmail.com

Geologo:
DOTT. GEOL. PAOLO CORNALE
Strada di Costabissara n.17 - 36100 Vicenza (VI) - 348 3979406
paolo.cornale55@gmail.com

CUP

H96J20001530008

LLPP EDP 2021/053

N° Progetto

APPR_00

Nome file
EG_RGEO

Data

Novembre 2023

Elaborato

RELAZIONE GEOLOGICA

Scala

.....

Rup

Domenico Lo Bosco

Capo Settore

Matteo Banfi

1 SOMMARIO

1	Sommario	1
2	PREMESSA	2
3	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	3
4	inquadramento geologico e geomorfologico	4
5	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	8
6	INQUADRAMENTO SISMICO GENERALE	11
7	SISMICITA' DEL SITO E CLASSIFICAZIONE	14
8	VINCOLI E PRESCRIZIONI URBANISTICHE DI NATURA GEOLOGICA	15
8.1	Carta dei Vincoli	15
8.2	Carta delle Fragilità	16
9	INDAGINI IN SITO e prove di laboratorio	18
10	Modello geologico-tecnico di sintesi per la progettazione	19
11	Verifica alla liquefazione	20
12	Conclusioni	20

2 PREMESSA

L'obiettivo del presente studio è quello di confermare le caratteristiche geologiche, geomorfologiche e di stabilità dell'area in prossimità dell'Ala Est del Castello dei Carraresi a Padova, già ipotizzate nella mia precedente relazione eseguita per il progetto definitivo, in ottemperanza alle seguenti normative vigenti:

- D.M. 14/01/2008, integrato dalla Circolare Ministeriale n° 617 del 02/02/2009, recante: “Nuove norme tecniche per le costruzioni” e relative istruzioni per la sua applicazione
- D.M. 17/01/18 “Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni”;
- O.P.C.M. n. 3274/03 “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica” con allegati e successive modifiche.
- O.P.C.M. n. 3519/06 “Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime.”

A tal fine gli elaborati della ditta Geosisma, del dott. Sergio Drago e della ditta Expin srl, già citati nella mia precedente relazione, sono stati confrontati con altri recentissimi dati geologici, stratigrafici e sismici da me stesso eseguiti a settembre 2023 per un'altra ditta privata, nelle vicinanze del Castello dei Carraresi, che hanno permesso di confermare la continuità stratigrafica del terreno già ipotizzata nella mia relazione geologica precedente.

La presente relazione geologica conferma pertanto la situazione geologica, geomorfologica e idrogeologica generale dell'area già descritta e si ritiene che le verifiche effettuate nei precedenti studi, assieme ai recenti dati geologici acquisiti a settembre di quest'anno, sono sufficienti a definire i seguenti punti:

situazione geologica, geomorfologica e idrogeologica generale dell'area;

problematiche geologico - tecniche del sito in esame;

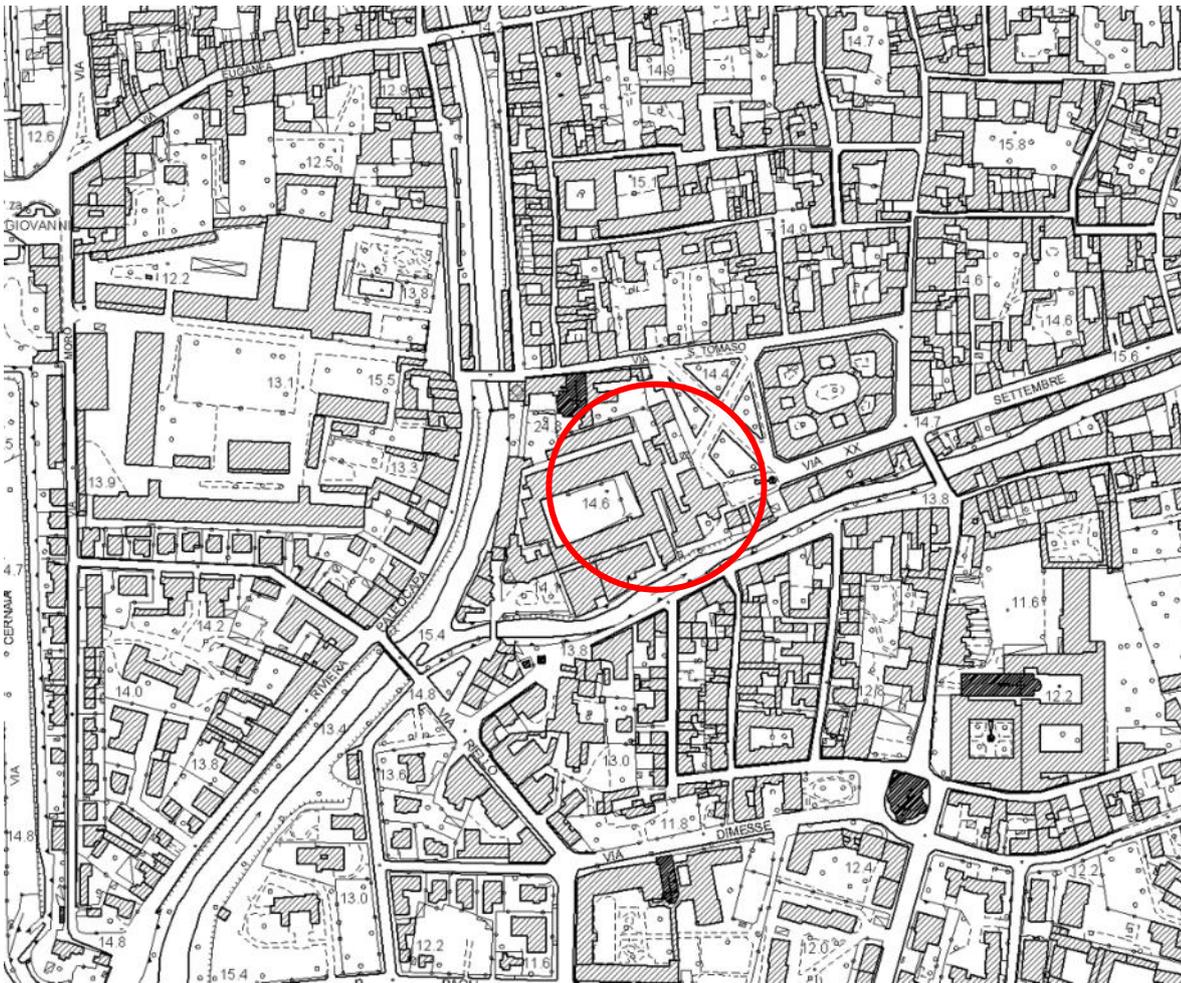
ricostruire l'assetto stratigrafico del sottosuolo;

determinare le caratteristiche meccaniche del terreno di fondazione;

riconoscere le proprietà del sistema idrogeologico locale;

valutare la risposta sismica di sito;

verificare la compatibilità e sostenibilità degli interventi di progetto in relazione alla dinamica delle componenti del territorio di cui ai punti precedenti.



l’Olocene, i detriti trasportati creando grandi conoidi legate le une alle altre: tra di esse non esistono linee di separazione nette poiché durante la loro formazione si sono più volte incrociate, sovrapposte, anastomizzate a causa del mutare frequente del corso dei fiumi. Dal punto di vista stratigrafico è perciò presente una notevole variabilità di materiali, legata ai vari cicli di deposizione ed alle diverse correnti dominanti. Valutando il territorio nel suo insieme, si possono individuare situazioni stratigrafiche ed idrogeologiche tipiche che caratterizzano, seppure orientativamente, intere fasce della pianura veneta (Figura 4).

Queste fasce, che definiscono l’alta, la media e la bassa pianura, (Figura 3) hanno caratteristiche abbastanza omogenee e si susseguono da N a S dalle Prealpi al Mare Adriatico: esse si sviluppano per tutta l’estensione della Pianura Veneta e Friulana, in direzione subparallela rispetto al limite dei rilievi montuosi ed alla linea attuale di costa e perpendicolarmente ai corsi d’acqua.

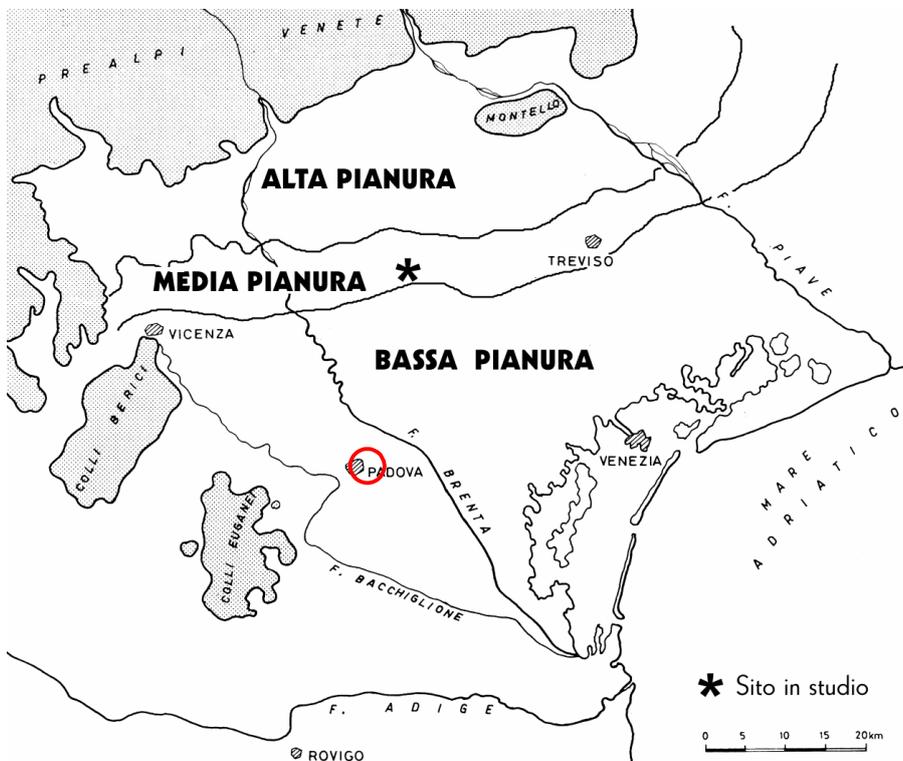
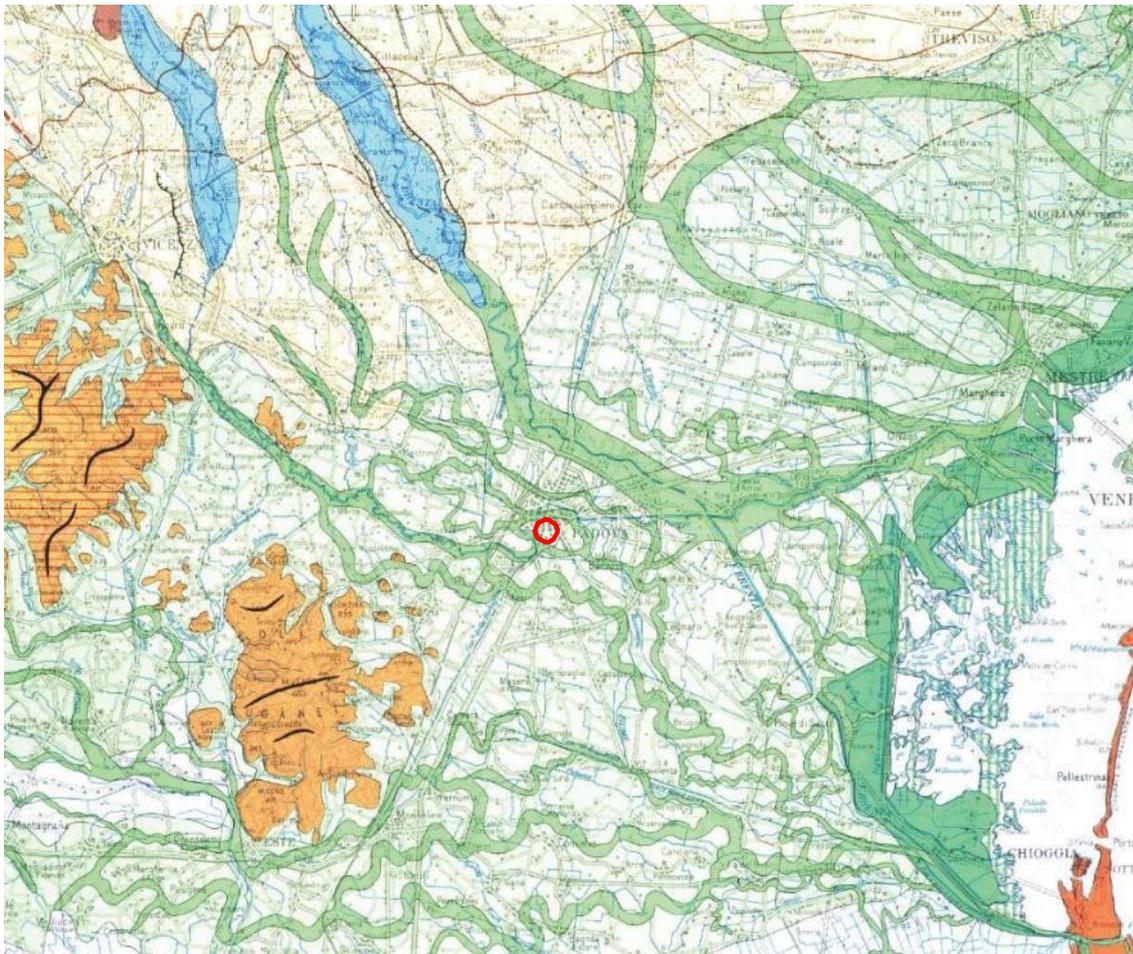


Figura 3 - Individuazione indicativa delle zone di Alta, Media, Bassa Pianura Veneta.



FORME DI ACCUMULO



Depositi fluvio-glaciali e alluvionali antichi e recenti delle vallate alpine e pre-alpine e della fascia di conoidi pedemontane (Pleistocene e Olocene) (Adige, Garda, Valli Lessinee, Agno, Chiampo, Astico, Brenta, Piave, Livenza, Tagliamento)



Depositi fluviali della pianura alluvionale recente (Po, Adige, Bacchiglione, Brenta, Piave, Livenza, Tagliamento)



Fascia di divagazione delle aste fluviali attuali e recenti (Paleo-alvei); nel tratto medio e terminale dell'asta fluviale i depositi assumono a volte un risalto positivo tipico degli argini naturali (Po, Adige, Brenta, Piave, Tagliamento)



Fasce fluviali depresse e zone a deflusso difficoltoso (rami fluviali anastomizzati del sistema Adige-Po)



Depositi mobili degli alvei fluviali attuali.

Figura 4 - Estratto della Carta Geomorfologica della Regione Veneto.

Nell'alta pianura, a ridosso dei rilievi prealpini (150÷200 m s.l.m.) dove i fiumi sboccano dai bacini montani, si estende una fascia larga da 5 a 20 km costituita da alluvioni ghiaiose di origine fluviale e fluvio-glaciale praticamente indifferenziate fino al substrato roccioso, dello spessore di anche 300÷400 metri.

Il litotipo prevalente è costituito da ghiaie grossolane di natura carbonatica generalmente associate a sabbie grossolane mentre localmente si rinvencono anche sottili intercalazioni limoso-argillose e livelli ghiaiosi con diverso grado di cementazione.

Procedendo verso S e SE (media pianura) si assiste ad una progressiva diminuzione del materiale ghiaioso grossolano e ad un conseguente aumento dei litotipi sabbiosi a granulometria variabile da grossa a media di origine prevalentemente fluviale, alternati a sabbie argillose, limi e argille di origine marina; i livelli ghiaiosi presenti fino a 100÷150 metri di profondità si esauriscono quasi completamente dopo qualche decina di chilometri, mentre quelli più profondi si spingono generalmente molto a sud, e in qualche raro caso fino al di sotto delle lagune adriatiche. Il materasso dell'alta pianura e gran parte di quello della zona mediana del territorio è formato da una serie di grosse conoidi contigue, addentellate e parzialmente sovrapposte, depositate in seguito ad imponenti fenomeni di alluvionamento operati dai fiumi al loro sbocco in pianura. Non esistono nette linee di separazione tra di esse, anzi durante la formazione si sono più volte incrociate, sovrapposte, anastomizzate, a causa del mutare frequente del corso dei fiumi.

Infine, la bassa pianura, dove insiste l'area in esame, una fascia di 10÷20 km di larghezza a ridosso della costa adriatica.

Dal punto di vista litologico la fascia di bassa pianura è quindi costituita da un materasso di depositi periglaciali e fluvioglaciali caratterizzati da granulometria medio-fine (sabbie e limi) interdigitati con limi argillosi ed argille.

La successione stratigrafica del primo sottosuolo è quindi contraddistinta da una successione di materiali aventi una composizione granulometrica variabile, compresa tra le sabbie e le argille (Figura 5).

Essendo tale sistema deposizionale molto complesso e legato alle proprietà ed alla geometria di ciascun corso d'acqua ed di ciascun evento alluvionale, si possono trovare zone di ristagno caratterizzate da sedimenti argillosi adiacenti a zone ad elevata energia di trasporto caratterizzate invece da sedimenti più grossolani di tipo sabbioso, per cui tali sedimenti si alternano e si intercalano formando banchi e lenti più o meno estesi e potenti, con una forte eterogeneità deposizionale sia orizzontale che verticale.

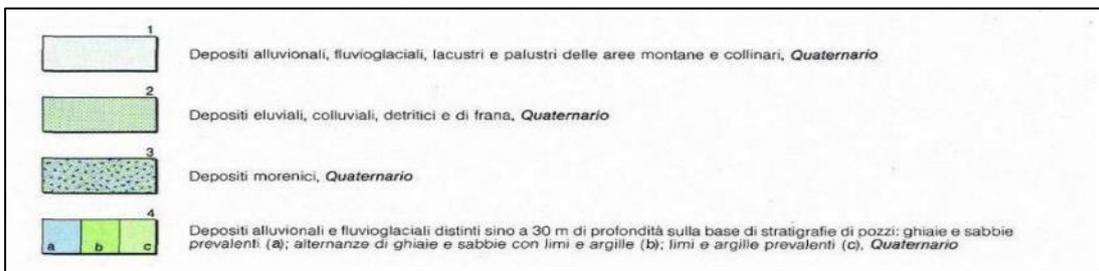
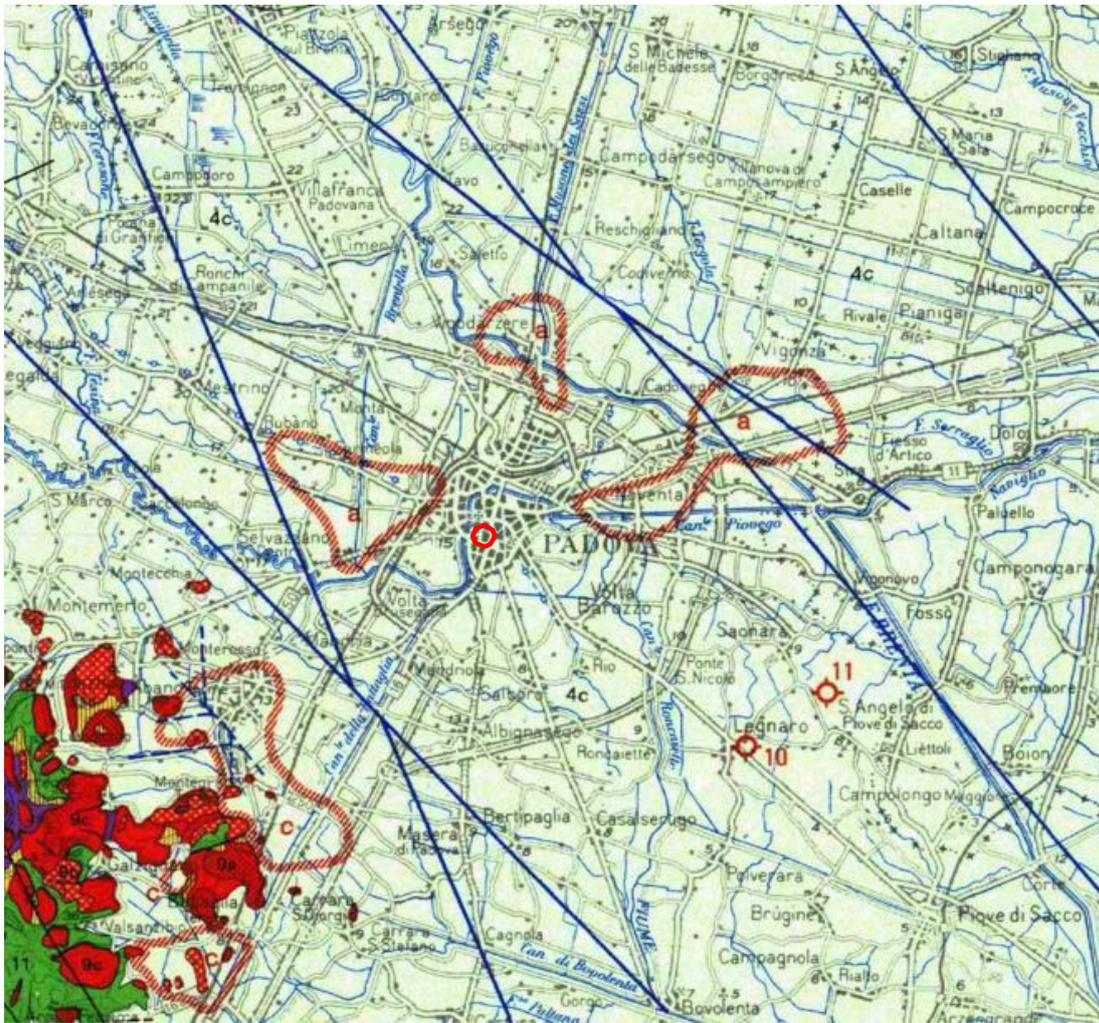


Figura 5 - Estratto della Carta Geologica della Regione Veneto, scala 1: 250.000.

5 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Per quanto riguarda l'assetto idrogeologico, la costituzione litostratigrafica del sottosuolo della Pianura Veneta determina l'esistenza di differenti situazioni idrogeologiche (Figura 6). Il materasso ghiaioso grossolano nella zona pedemontana (alta pianura), riconducibile alle attività dei principali fiumi, è sede di un acquifero freatico indifferenziato, intensamente sfruttato a scopo idropotabile. Tale falda presenta continuità laterale determinata dal contatto diretto tra i materiali grossolani permeabili delle varie conoidi

alluvionali. La profondità della superficie della falda è massima a ridosso dei rilievi prealpini, dove si trova compresa tra i 50 e i 150 metri sotto il piano di campagna.

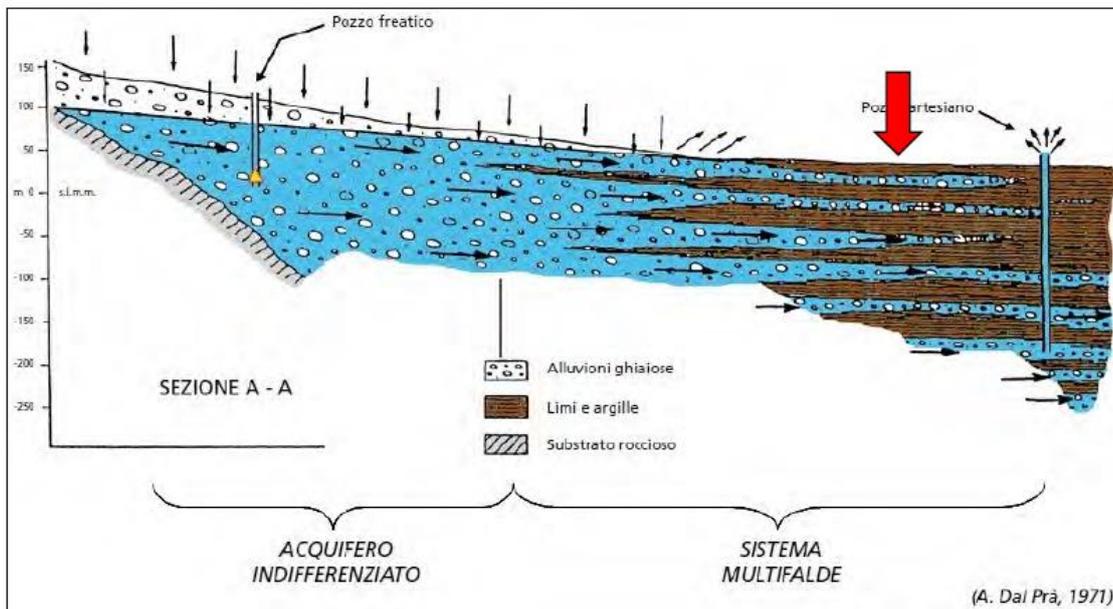


Figura 6 - Schema idrogeologico della Pianura Veneta.

Il passaggio tra l'alta e la media pianura e cioè tra l'acquifero freatico indifferenziato a nord ed il sistema multifalde in pressione a sud avviene in modo graduale attraverso una zona di transizione che coincide arealmente con la fascia di restituzione dei fontanili, o "zona delle risorgive", in corrispondenza della quale la falda freatica del sistema indifferenziato affiora spontaneamente nei punti più depressi, dopo un percorso sotterraneo di 10÷40 km.

In corrispondenza della fascia delle risorgive, che definisce la media pianura, nei primi 60÷100 m di sottosuolo prevalgono ancora le ghiaie grossolane; tuttavia, compaiono i primi livelli impermeabili limoso-argillosi che sono in genere poco potenti (raramente superano i 10÷15 m di spessore) e molto discontinui.

Tale situazione litostratigrafica determina la presenza di un sistema multifalde, costituito da un acquifero freatico a debole profondità (non sempre presente) e da più falde in pressione. Anche nella fascia meridionale della Pianura Veneta (bassa pianura), dove insiste l'area in esame, si riscontrano falde in pressione entro acquiferi prevalentemente sabbiosi.

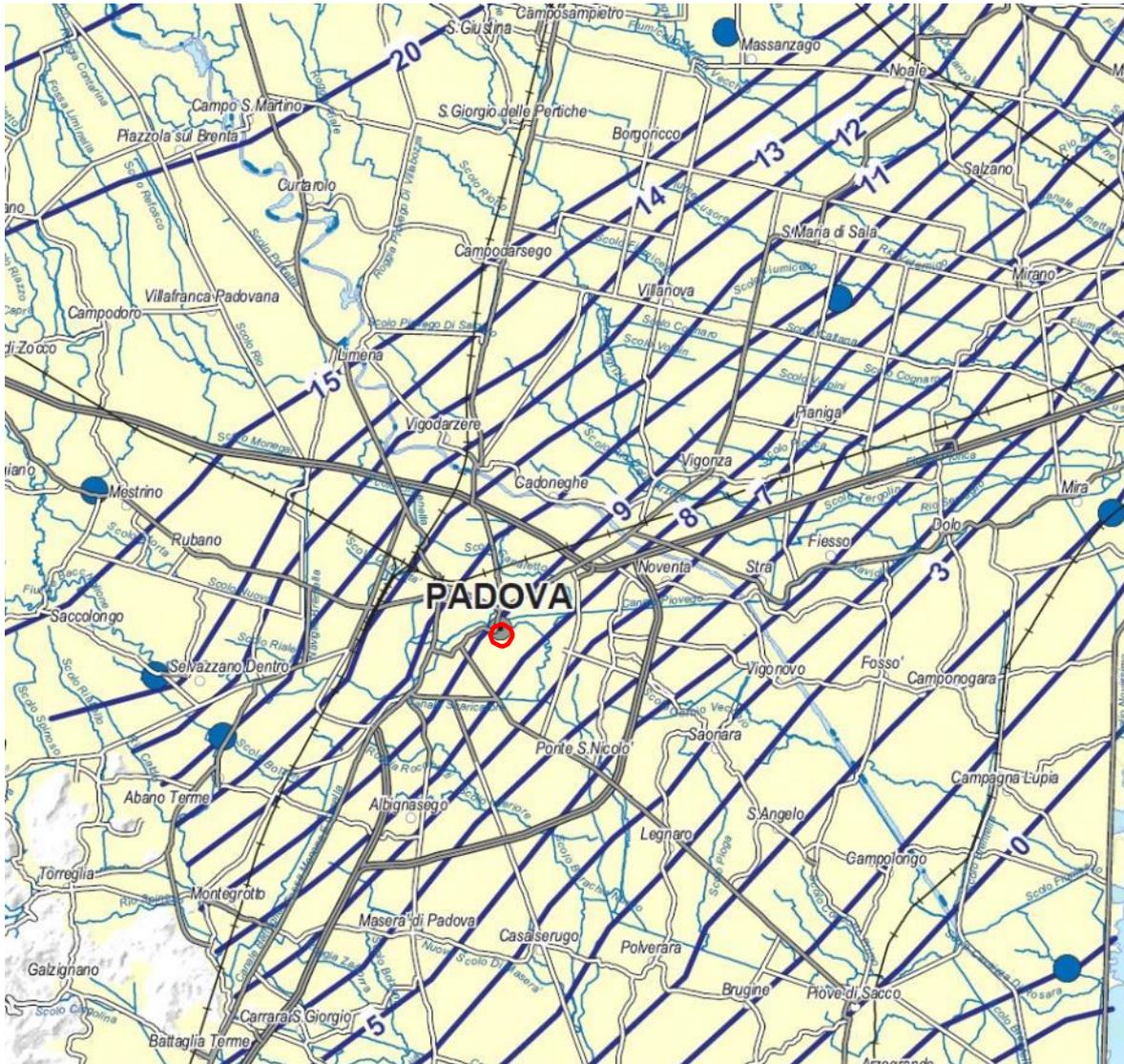


Figura 7 - Estratto della Carta delle Isofreatiche della Regione Veneto.

Come detto, i corsi d'acqua che maggiormente hanno influenzato i processi deposizionali dell'area di studio sono il fiume Bacchiglione ed il fiume Brenta.

Il fiume Bacchiglione entra a Padova da sud e alla Specola si divide in due rami principali, che alimentano numerosi canali secondari: il "Tronco maestro", verso nord, e il "Naviglio Interno" verso est, che percorre tutto il centro storico. I due rami principali confluiscono nuovamente alle "Porte Contarine", la chiusa che permette di superarne il dislivello, e formano il canale Piovego, il quale prosegue fino al fiume Brenta, che raggiunge nei pressi di Strà, dove si collega inoltre con la riviera del Brenta.

Mentre il Fiume Brenta scorre ad est di Padova con direzione all'incirca NO-SE. Entrambi i corsi d'acqua, nei tratti in cui non sono incanalati artificialmente, sono caratterizzati dalla tipica morfologia di un fiume prossimo allo sbocco in pianura, con un andamento meandriforme e letto compreso tra due elevate arginature; essi presentano modalità deposizionali tipiche di ambienti ad energia più ridotta.

Sotto l'aspetto idrogeologico, la Carta delle Isofreatiche della Regione Veneto, riportata nella precedente figura, colloca l'area in oggetto in prossimità dell'isofreatica 9 m s.l.m.; la falda risulta pertanto essere sub-superficiale caratterizzata da gradienti ridotti e direzione generale di deflusso verso sud-est.

Vista la vicinanza dell'area di indagine al canale "Naviglio interno" la falda sicuramente risentirà dell'effetto del regime idraulico stagionale dello stesso.

6 INQUADRAMENTO SISMICO GENERALE

L'attività neotettonica veneta è massima nella zona pedemontana alpina: dal punto di vista sismogenetico le sorgenti più vicine verso nord sono infatti quelle di Thiene-Cornuda (ITCS007) e di Montebelluna-Montereale (ITCS060), con magnitudo massima attesa M_w compresa tra 6.5 e 6.6 (fig. 8).

A ovest di osserva la sorgente denominata "Adige plain" (ITCS076) con M_w attesa di 6.7.



Figura 8 - Database of individual Seismogenic Sources - INGV.

Secondo l'Ordinanza 3519 del 28 aprile 2006, la pericolosità sismica della Regione Veneto, intesa come accelerazione massima orizzontale riferita a suolo rigido con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni è riportata nella figura seguente. La Regione Veneto, con Delibera del Consiglio Regionale n.67/03 ha recepito la classificazione sismica del territorio comunale stabilita con la ordinanza n. 3274/2003 e con successiva D.G.R. n. 71/2008 ha preso atto, tra l'altro, di quanto disposto dalla successiva ordinanza n.3519/2006.

La zonazione sismica regionale è riportata nella seconda figura a pagina seguente. Il comune di Padova ricade nella zona di bassa sismicità della Regione Veneto, essendo classificato in zona 4.

Si rammenta che per quanto concerne la descrizione dell'azione sismica, il Decreto 14/01/2008 del Ministero delle Infrastrutture (GU n.29 del 04/02/2008) impone la definizione dell'azione sismica tramite una griglia definita a livello nazionale di valori atti a definire la risposta sismica locale per le diverse categorie di suolo.

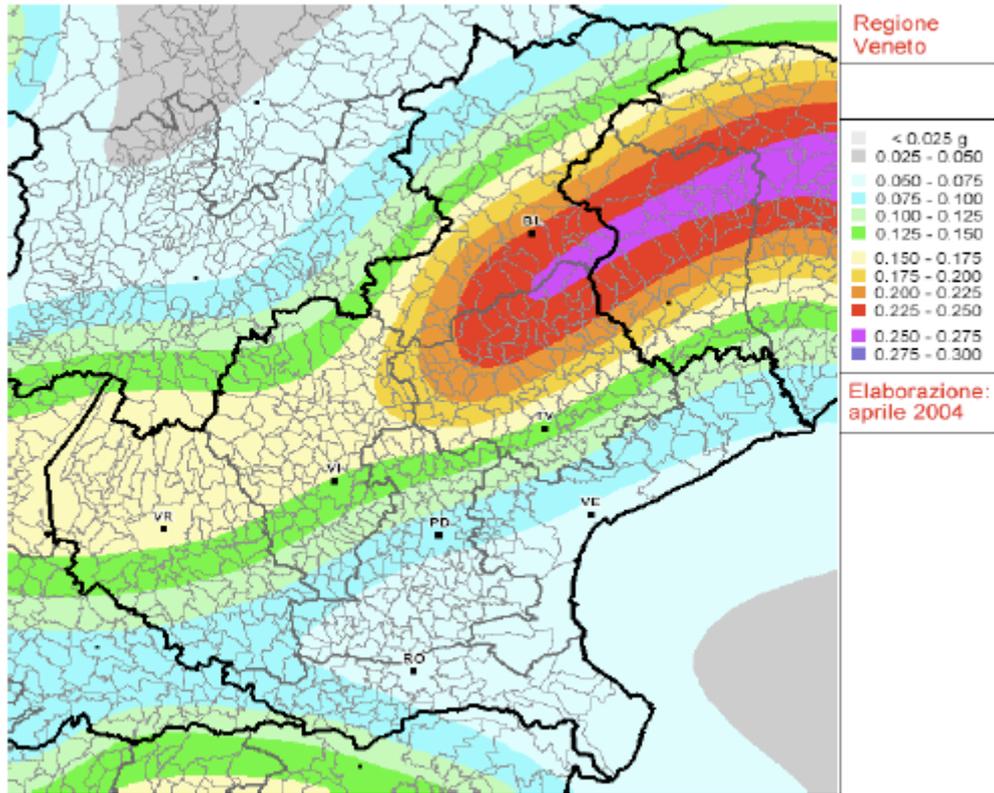


Figura 9 - Pericolosità sismica del Veneto secondo ordinanza 3519 del 28 aprile 2006.

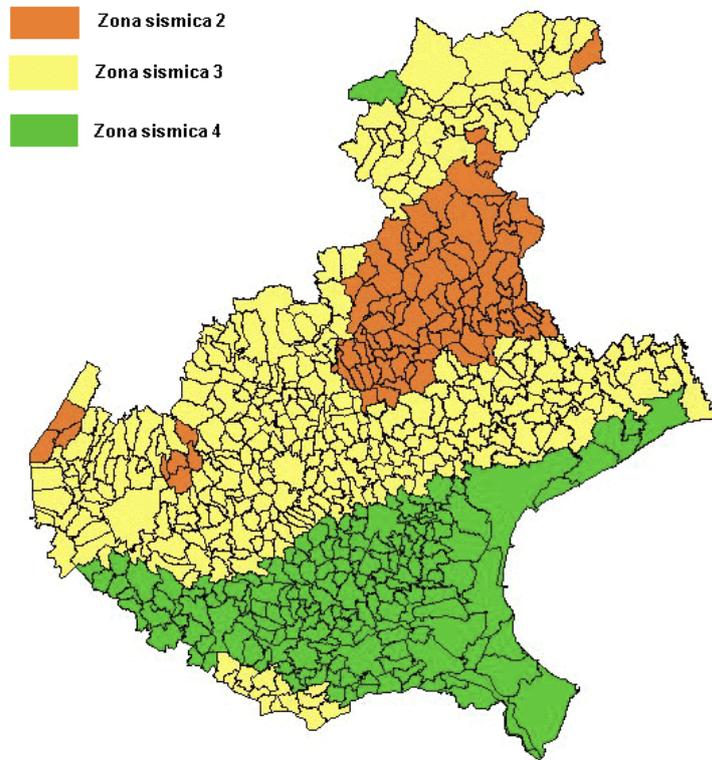
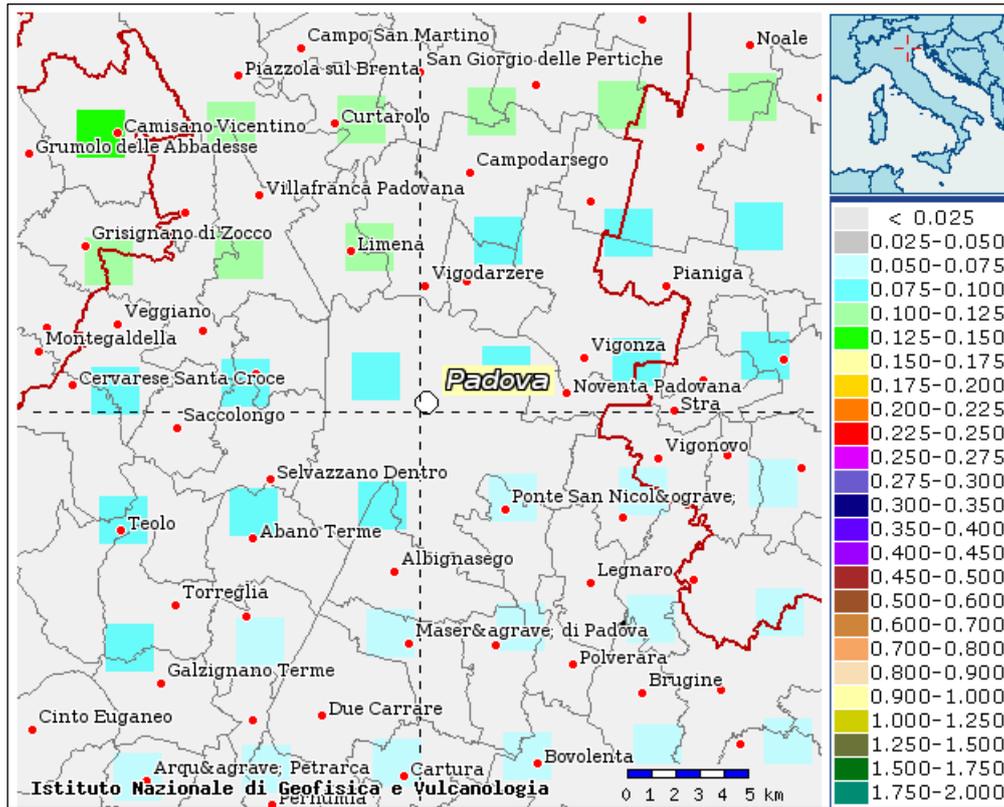


Figura 10 - Ex classificazione sismica della Regione Veneto.



Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
5.500	44.000	1.530

Figura 11 - Mappa interattiva di pericolosità sismica e valore medio di magnitudo attesa - INGV del 10% in 50 anni.

Per completare l'inquadramento, si sono infine ricercati i terremoti storici ed i risultati ottenuti sono riportati nella figura di seguito riportata che comprende gli eventi principali (≥ 4 grado scala MCS) dall'anno 1000, come si può osservare il territorio in esame è stato direttamente interessato da eventi sismici rilevanti.

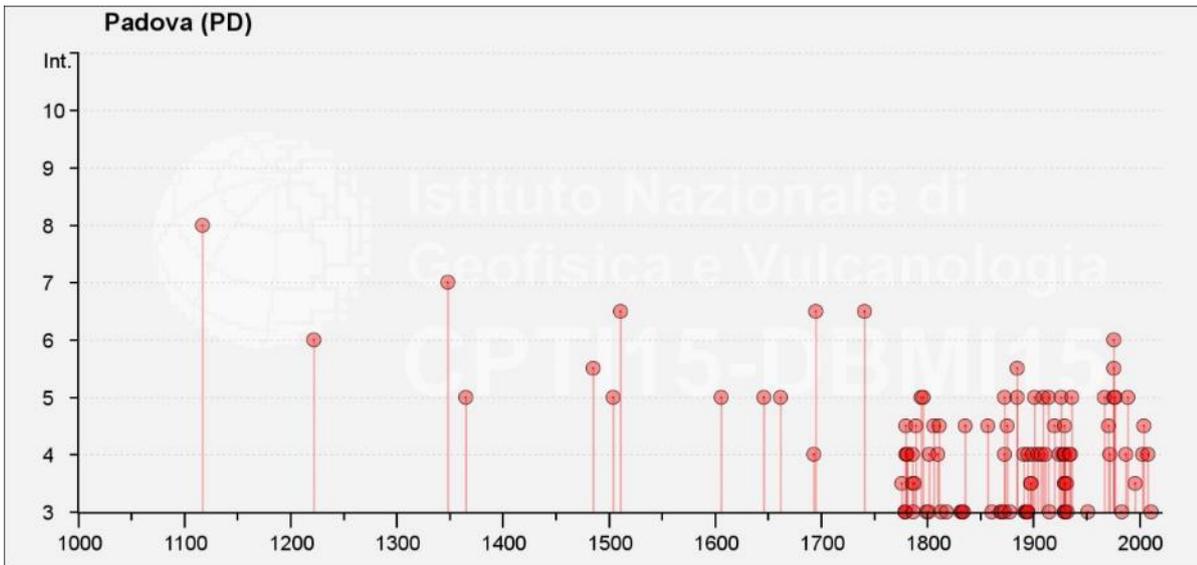


Figura 12 - Database Macrosismico Italiano - DBMI 15.

7 SISMICITA' DEL SITO E CLASSIFICAZIONE

Sulla base dei precedenti studi geofisici condotti nel 2014 nell'area di indagine ("Relazione Tecnica per la Caratterizzazione Sismica del Suolo presso il Castello Carrarese riviera Paleocapa - Padova" della Ditta Geosisma), si possono classificare i terreni come appartenenti alla

categoria di sottosuolo denominata C

A tale classe appartengono i "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s".

Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo estratta dal D.M. 17/01/2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni"

A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

In base alla configurazione morfologica dell'area nella categoria topografica è T1.

8 VINCOLI E PRESCRIZIONI URBANISTICHE DI NATURA GEOLOGICA

L'analisi delle Cartografie di Progetto del P.A.T. del Comune di Padova ed in particolare della Carta dei Vincoli e della Pianificazione Territoriale e della Carta delle Fragilità si evince quanto di seguito esposto.

8.1 CARTA DEI VINCOLI

Dall'analisi della Carta dei Vincoli e della Pianificazione Territoriale del P.A.T. del Comune di Vicenza l'area oggetto di studio ricade all'interno dei seguenti vincoli:

- Vincolo sui beni culturali (D.Lgs 42/2004, art.10 e 12);
- Centro storico

I riferimenti nelle Norme Tecniche di Attuazione del PAT sono rispettivamente l'Art. 5.1 e l'Art. 5.5.1.

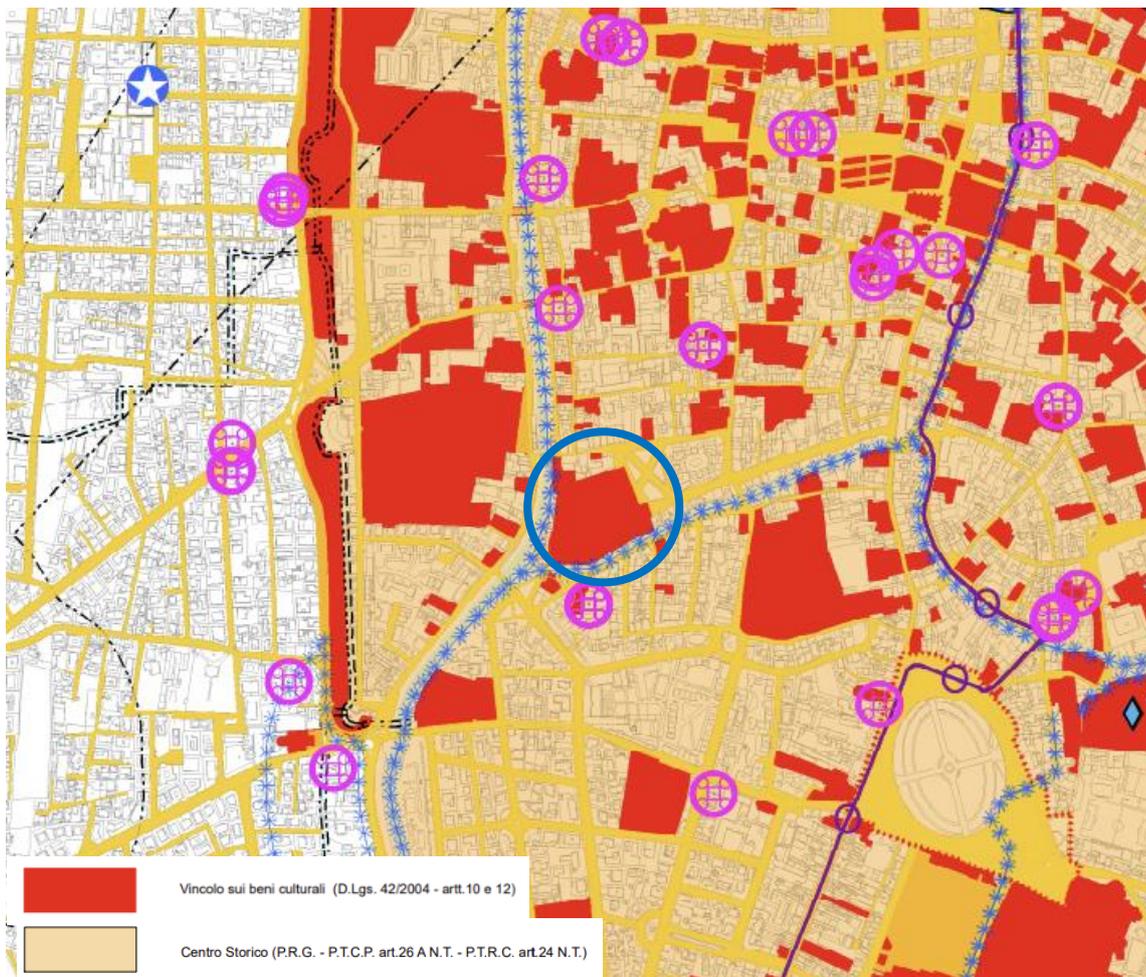


Figura 13 - Estratto della Carta dei Vincoli e della Pianificazione Territoriale del PAT del Comune di Padova.

8.2 CARTA DELLE FRAGILITÀ

L'area oggetto di studio è definita Area IDONEA, ed è normata dall'Art. 7 – Compatibilità geologica delle Norme Tecniche di Attuazione del PAT del Comune di Vicenza riportato di seguito:

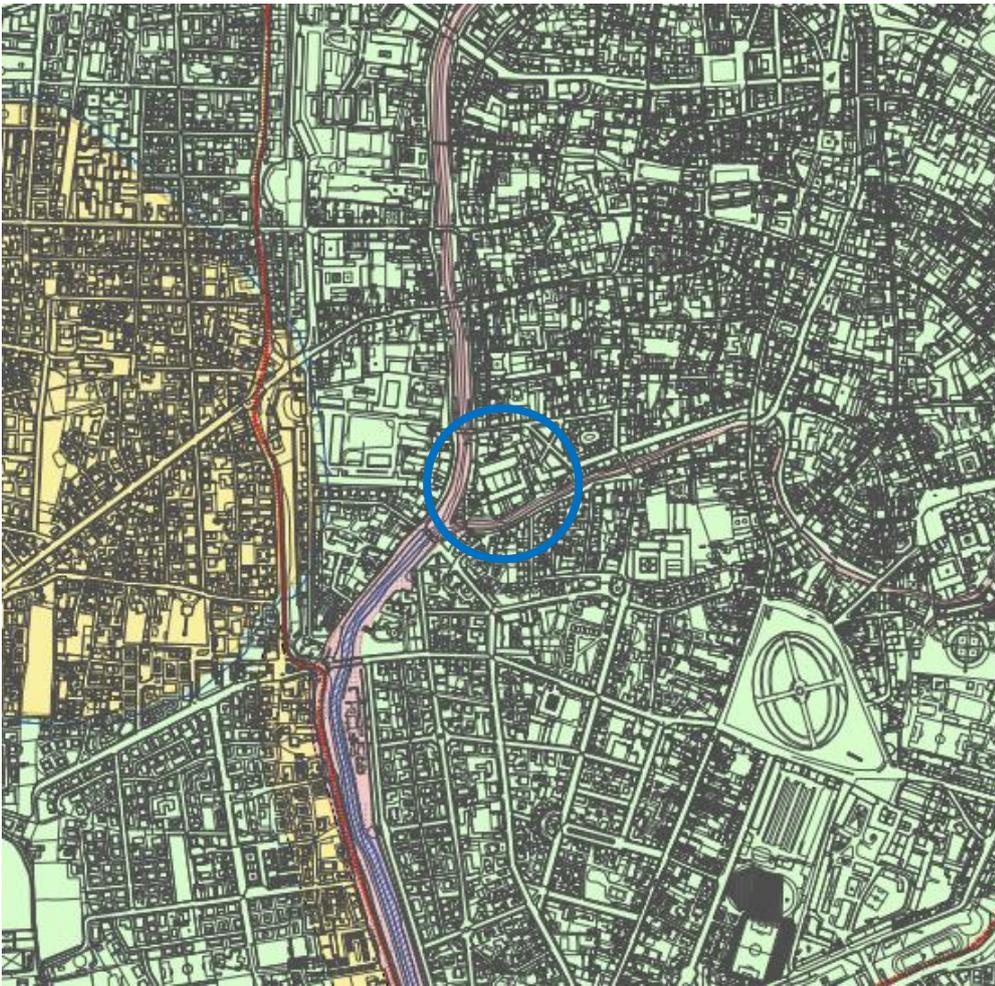


Figura 14 - Estratto della Carta delle Fragilità del PAT del Comune di Padova.

Tali aree non presentano sostanziali problematiche idrogeologiche o vincoli e sono prive cioè di sostanziali penalità di carattere geologico o idrogeologico.

Infine, l'analisi della "Carta delle Invarianti" e la "Carta delle Penalità e dei Vincoli e della Pianificazione Territoriale" non ha evidenziato nell'area penalità o vincoli di carattere geologico, geomorfologico o idrogeologico.

9 INDAGINI IN SITO E PROVE DI LABORATORIO

Al fine di caratterizzazione la stratigrafia locale ed ottenere un'indicazione generale del sottosuolo interessato dai futuri interventi, si è proceduto alla consultazione della “Relazione geologica e di caratterizzazione geotecnica” del 2018 del Dott. Geol. Sergio Drago e della “Relazione tecnica di Caratterizzazione Sismica del Suolo” del 2014 della ditta Geosisma.

In particolare sono stati effettuati:

- 1 sondaggio a carotaggio continuo spinto alla profondità massima di 15.0 metri da p.c. ubicato in corrispondenza dell'Ala Sud
- n.1 prelievo di campione indisturbato e n. 2 prelievi di campioni rimaneggiati per analisi geotecniche di laboratorio

Si riporta di seguito un estratto dell'ubicazione delle prove effettuate nel 2018 nell'Ala Sud dove risulta evidente la prossimità con l'Ala Est, oggetto della presente relazione.

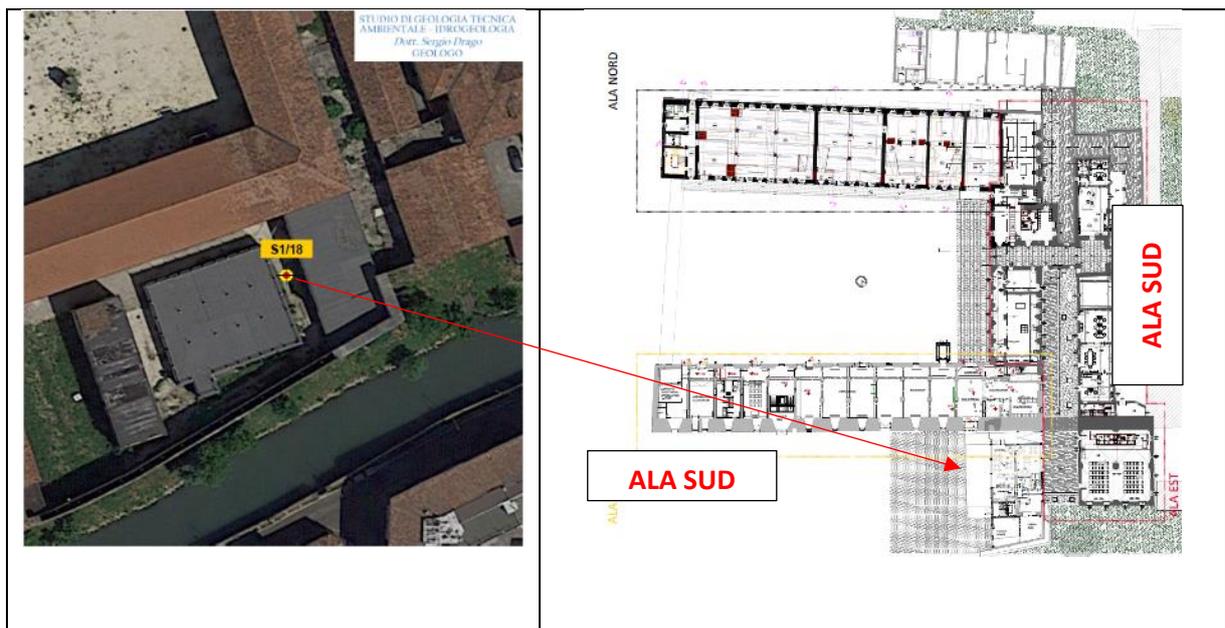


Figura 15 - Estratto della Relazione geologica del Dott. Geol. Sergio Drago (2018) con ubicazione indagini (Ala Sud) e confronto con Ala Est oggetto della presente relazione.

Vista la situazione geologica e morfologica locale evidenziata dal rilievo preliminare di campagna e ipotizzando una omogeneità stratigrafica orizzontale, tenuto conto della vicinanza, in questa fase si ritiene che il sottosuolo in corrispondenza dell'Ala Est possa avere una continuità stratigrafica e analoghe caratteristiche geotecniche dei terreni dell'Ala Sud.

Tale continuità risulta confermata da un recente studio da me stesso eseguito nelle vicinanze in via Pio X per un'altra ditta privata. Tale studio evidenzia un modello geologico del sito in via Pio X del tutto simile a quello di seguito descritto, pertanto si può affermare che la continuità stratigrafica risulta molto estesa e non si ritiene più necessaria l'esecuzione di ulteriori prove geognostiche in corrispondenza del sedime dell'Ala Est.

10 MODELLO GEOLOGICO-TECNICO DI SINTESI PER LA PROGETTAZIONE

Le considerazioni dei paragrafi precedenti hanno permesso, in conformità del § 6.2.1 del D.M. 14/01/2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni", di identificare un **modello geologico del sito** tramite la ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio.

Nello specifico dalla consultazione delle relazioni geologiche citate in premessa, delle prove effettuate nell'Ala Sud (sondaggio a carotaggio con relative prove in foro e laboratorio) e delle recenti prove eseguite da me stesso a settembre 2023 per altra ditta privata in via Pio X, si può ottenere il seguente assetto geologico del sottosuolo e relativo modello geologico-geotecnico.

Modello geologico							
STRAT	INTERPRETAZIONE LITOSTRATIGRAFICA DEL DEPOSITO	PROFONDITÀ	SPESSORE STRATO	COMPORTAMENTO PREVALENTE	ϕ'_m	C_u	C'
		[m]	[cm]		[°]	[Kg / cm ²]	[Kg / cm ²]
-	Riporto Limo sabbioso argilloso frammisto a materiale di riporto grossolano di varia natura e pezzatura	0,00 – 3,80	380	-	-	-	-
1	Argille e limi argillosi con poca sabbia	3,80 – 6,30	250	coesivo	27	0,4-0,5	0,28
2	Limo sabbioso debolmente argilloso	6,30 – 8,10	180	granulare	31	-	-
3	Argilla	8,10 – 9,40	130	coesivo	-	0,6	-
4	Sabbia fine limosa	9,40 – 11,60	220	granulare	31	-	-
5	Argilla	11,60 – 14,20	260	coesivo	-	0,5	-
6	Sabbia fine - media	14,20 – 15,00	80	granulare	33	-	-

Dove:

ϕ'_m = angolo di attrito (°)

C_u = coesione non drenata (kg /cm²)

C' = coesione efficace (kg /cm²)

In fase di perforazione si è riscontrata la presenza di acqua di falda alla profondità di circa 3.70 metri da p.c., successivamente risalita a 3.00 mt da p.c..

11 VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario, ai sensi del D.M. 14/07/2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni", la valutazione di procedere alla verifica della stabilità dell'opera in progetto nei confronti della liquefazione.

Nell'elaborato "Relazione geologica e di caratterizzazione geotecnica" del 2018 del Dott. Geol. Sergio Drago è stata verificata la liquefazione in base alla procedura semplificata di "Sherif & Ishibashi" su terreni che si ipotizza siano dal punto di vista geotecnico analoghi a quelli dell'Area Est. In questa fase, pertanto, si possono considerare i risultati ottenuti. Se le indagini geognostiche integrative proposte restituiranno una stratigrafia differente, si dovrà procedere con un'ulteriore verifica del potenziale di liquefazione.

Nel caso in esame **la verifica alla liquefazione effettuata nell'elaborato del 2018 ha restituito coefficienti di sicurezza minori di 1, pertanto il rischio di liquefazione può essere considerato basso-nullo.**

12 CONCLUSIONI

La ricerca bibliografica, un rilievo geomorfologico in sito e un attento studio delle relazioni precedenti, confrontati con un recente studio eseguito nelle vicinanze da me stesso per altra ditta a settembre 2023 permettono di ipotizzare una continuità stratigrafica del sottosuolo molto estesa, come risulta dalle tavv. 1, 2 e 3 allegate, che risultano perfettamente compatibili con i modelli geologici, sismici e la verifica alla liquefazione riportati nella presente relazione. Non si ritiene quindi necessario eseguire ulteriori indagini e pertanto si confermano le conclusioni già indicate nella relazione geologica precedente:

Dal punto di vista **geomorfologico** l'area situata nel centro storico di Padova è in zona pianeggiante urbanizzata con una quota media di circa 15,00 metri S.L.d.M..

La carta dei Vincoli e delle Fragilità del PAT del Comune di Padova classifica la zona in oggetto come **area di vincolo sui beni culturali e centro storico**, oltre ad **Area IDONEA** (prive di sostanziali penalità di carattere geologico o idrogeologico).

La **stratigrafia** dell'area in oggetto è stata ricavata dal sondaggio effettuato per la "Relazione geologica e di caratterizzazione geotecnica" del 2018 del Dott. Geol. Sergio Drago: riporto di Limo sabbioso argilloso con spessore di circa 3,80 m, Argille e limi argillosi con poca sabbia con spessore di circa 2,50 m, Limo sabbioso debolmente argilloso con spessore di circa 1,80 m, Argilla con spessore di 1,30 m, Sabbia fine limosa con spessore di 2,20, Argilla con spessore di 2,60 ed infine Sabbia fine limosa con spessore di circa 0,80 m.

In fase di perforazione si è riscontrata la presenza di acqua di falda alla profondità di circa 3.70 metri da p.c., successivamente risalita a 3.00 mt da p.c..

Sulla base dei precedenti studi geofisici condotti nel 2014 nell'area di indagine ("Relazione Tecnica per la Caratterizzazione Sismica del Suolo presso il Castello Carrarese riviera Paleocapa - Padova" della Ditta Geosisma), si possono classificare i terreni come appartenenti alla **categoria di sottosuolo denominata C** e in base alla configurazione morfologica dell'area nella **categoria topografica è T1**.

Dalle verifiche di suscettibilità alla **liquefazione** effettuate negli studi precedenti risulta che si possono escludere fenomeni di liquefazione, a condizione che in fase esecutiva si confermino tramite indagini integrative le caratteristiche granulometriche dei terreni rilevate nell'area vicina (Ala Sud).

Si conferma una generale fattibilità delle opere previste con le seguenti prescrizioni:

si consiglia di prevedere adeguate opere ed accorgimenti per la salvaguardia delle acque di falda;

non effettuare alcun movimento terra senza prima avvertire la Direzione Lavori che valuterà se è necessaria anche la presenza del geologo;

contattare tempestivamente lo scrivente per gli opportuni accertamenti nel caso in cui venissero riscontrate delle evidenze stratigrafiche diverse da quelle ipotizzate in modo indiretto nella presente relazione.

Vicenza, 13 novembre 2023

Dott. Geol. Paolo Cornale



Allegati: tavole 1,2 e 3.

Tav. 2 Estratto da relazione geologica dott. geol. Paolo Cornale per ditta privata eseguita a Padova in Via Pio X a settembre 2023 - pag.17.
MODELLO SISMICO LOCALE

Frequenza fondamentale di risonanza di sito

0.3 ± 0.13 Hz

Categoria di sottosuolo di fondazione secondo le Norme Tecniche sulle Costruzioni - D.M. 17 gennaio 2018

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi o in rapporto ad un approccio semplificato che si basa sull'individuazione di Categorie di Sottosuolo di riferimento.

Per definire le Categorie, il D.M. 17 gennaio 2018 prevede il calcolo del parametro $V_{s,eq}$, ovvero della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio V_s dei terreni posti al di sopra del substrato di riferimento ($V_{s,30}$ per depositi con profondità del substrato superiore a 30 m). La profondità del substrato è riferita al piano di posa delle fondazioni superficiali, alla testa dei pali per fondazioni indirette, al piano di imposta delle fondazioni per muri di sostegno di terrapieni o alla testa delle opere di sostegno di terreni naturali.

Dall'assetto sismostratigrafico desunto dalle indagini sismiche effettuate, è possibile constatare la presenza del bedrock geofisico (substrato di riferimento) a profondità superiori a 30 m.

Pertanto, come espressamente richiesto dalla normativa vigente (Norme Tecniche sulle Costruzioni - D.M. 17/01/2018), si è calcolata la velocità media di propagazione delle onde di taglio fino a 30 m dal piano di posa delle fondazioni ($V_{s,30}$), a partire da varie profondità dal piano campagna:

Profondità piano di posa delle fondazioni	$V_{s,30}$
0 m dal p.c.	$V_s (0 - 30) \approx 219 \text{ m/s}$
1 m dal p.c.	$V_s (1 - 31) \approx 223 \text{ m/s}$
2 m dal p.c.	$V_s (2 - 32) \approx 228 \text{ m/s}$
3 m dal p.c.	$V_s (3 - 33) \approx 233 \text{ m/s}$

Dalla ricostruzione del quadro geofisico emerso dal presente studio e dalle indicazioni normative si prevede l'inserimento del sito d'indagine nella **Categoria di Sottosuolo denominata C**, così definita:

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

Tav. 3 Estratto da relazione geologica dott. geol. Paolo Cornale per ditta privata eseguita a Padova in Via Pio X a settembre 2023 - pag.19.
VERIFICA DELLA SUSCETTIBILITA ALLA LIQUEFAZIONE

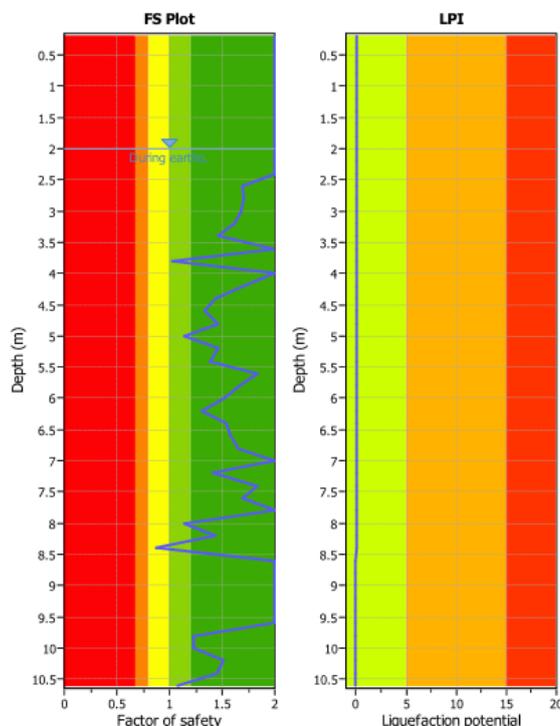
Il potenziale di liquefazione di un sottosuolo viene tradizionalmente stimato attraverso i metodi propri della geotecnica, quali l'analisi delle curve di distribuzione granulometrica o delle prove CPT e SPT. Questi ultimi si basano sostanzialmente sul calcolo del rapporto tra lo sforzo ciclico (CSR) indotto dal terremoto alla profondità dello strato potenzialmente liquefacibile e la resistenza opposta dallo stesso strato.

Nel caso specifico, la verifica alla liquefazione è stata effettuata sulla base della prova CPT realizzata. In particolare, la verifica è stata condotta secondo il metodo di Idriss e Boulanger (2014), sui livelli totalmente o parzialmente incoerenti intercettati fino ad un massimo di 10,60 m. Il livello della falda è stato impostato a circa 2,0 m, in coerenza con quanto indicato dalla carta delle soggiacenze del PAT (falda compresa tra 2 - 5 m di profondità). Per quanto riguarda i dati sismici di *input*, oltre al valore della magnitudo massima attesa desunto dal grafico di disaggregazione inerente al sito indagato (M_w pari a 7.3), è stato assegnato il valore di a_g (PGA) di 0.12 g, corrispondente al valore di accelerazione dello spettro di risposta elastico (Categoria di sottosuolo C) ottenuto, in corrispondenza del periodo $T=0$.

Analysis method	Idriss e Boulanger (2014)
Earthquake magnitude M_w	7.3
Peak ground acceleration	0.12
G.W.T. (earthq.)	2.0 m

Si riportano a seguire i grafici *Fattore di sicurezza - Profondità* e *Indice Potenziale di Liquefazione-Profondità* inerenti alla prova eseguita.

Verifica alla liquefazione: Prova penetrometrica CPT



Liquefaction potential

0.14 (basso)

Alla luce delle verifiche condotte, il sottosuolo locale è caratterizzato da un potenziale di liquefazione I_L pari a circa 0.14, corrispondente ad un **rischio di liquefazione basso**.