



FONDAZIONE AQUILEIA

INTERVENTI DI VALORIZZAZIONE E MUSEALIZZAZIONE DEL FONDO COSSAR
PROGETTO DEFINITIVO

4. RELAZIONE GEOLOGICA

Gruppo di progettazione: Eugenio Vassallo (capogruppo), Pierluigi Grandinetti (coordinamento), Sandro Pittini, Massimiliano Valle, Marino Del Piccolo, Daniele Mucin (sicurezza), Dario Cazzaro, Piera Puntel. Consulenti: Maurizia De Min (archeologia), Alberto Candolini (vegetazione), Stefano Massarino (impianti elettrici), Federico Mondini (impianti termoidraulici), Massimo Valent (geologia). Collaboratori: Stefano Arnoldo, Michela Bosco, Michela Cafazzo, Alice Contardo, Sara Di Resta, Andrea Marchioli.



INDICE

	Premessa.....	1
1.	Corografia ed evoluzione storica.....	2
2.	Caratteristiche geologiche generali.....	9
3.	Dinamica evolutiva attuale.....	15
4.	Indagini in sito eseguite.....	19
5.	Caratterizzazione geotecnica.....	28
6.	Idrogeologia.....	30
7.	Sismicità.....	34
8.	Conclusioni.....	36

PREMESSA

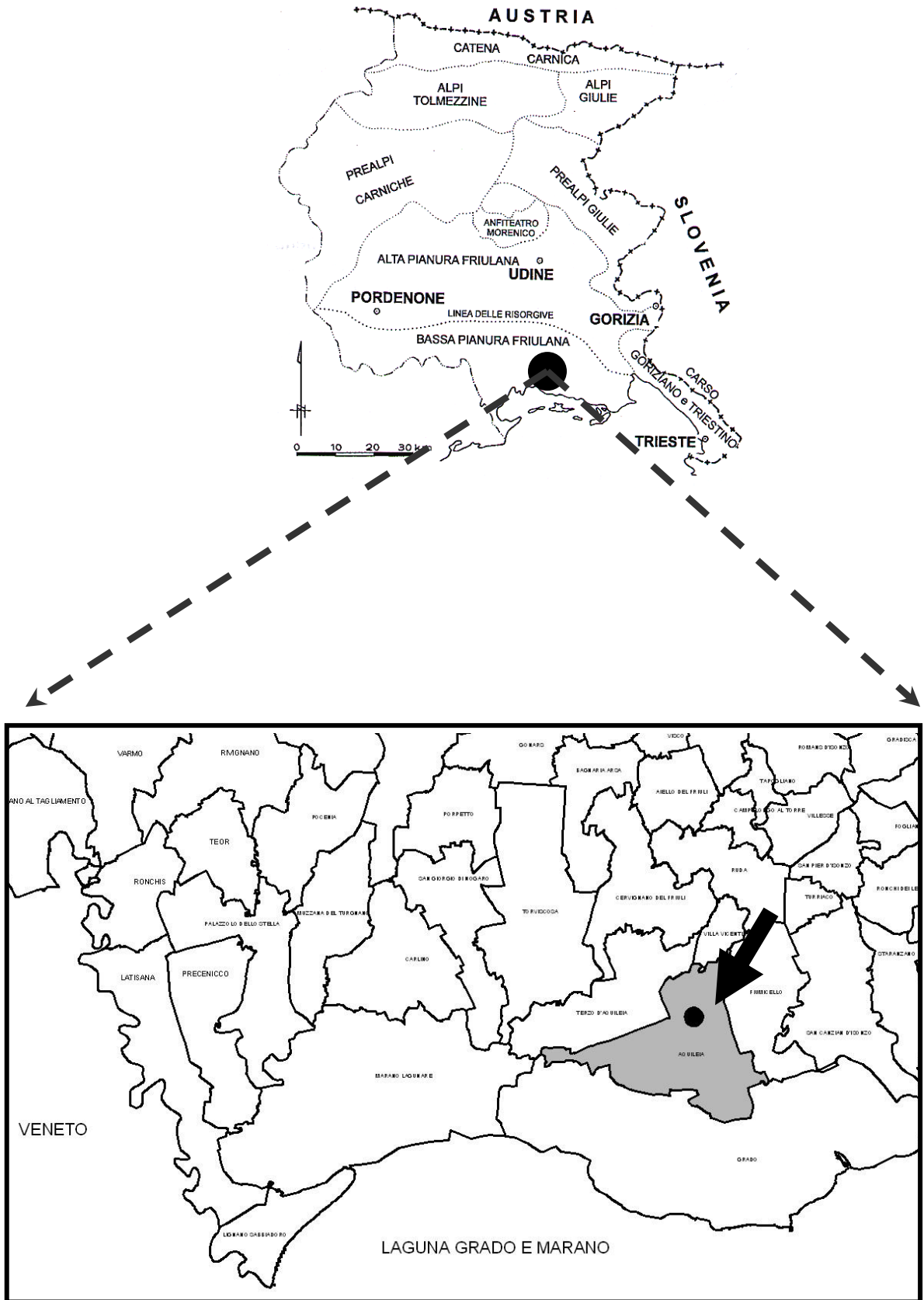
La presente relazione è stata redatta al fine di approfondire gli aspetti geologico-tecnici relativi all'intervento in oggetto. In questa fase progettuale è stato seguito il seguente piano di lavoro:

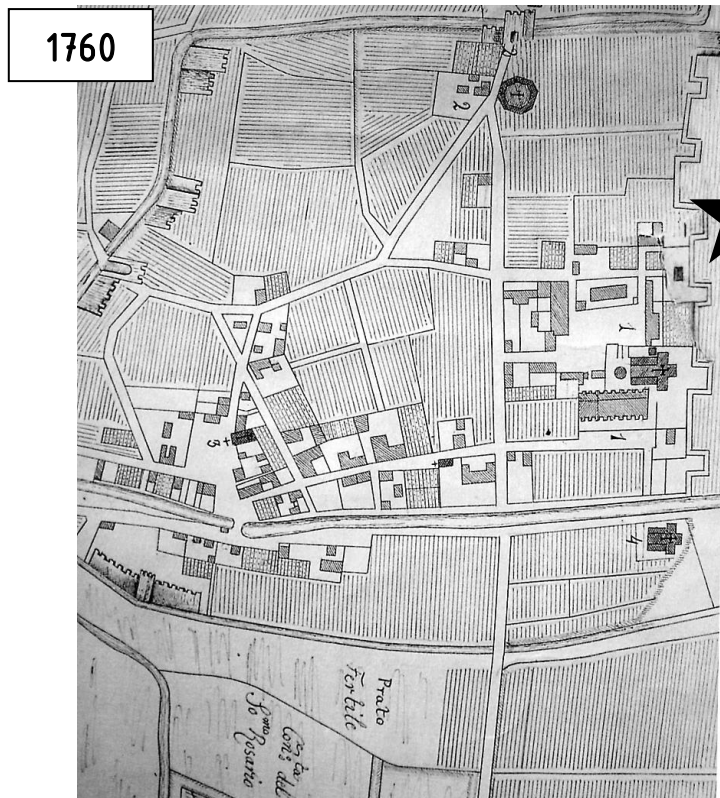
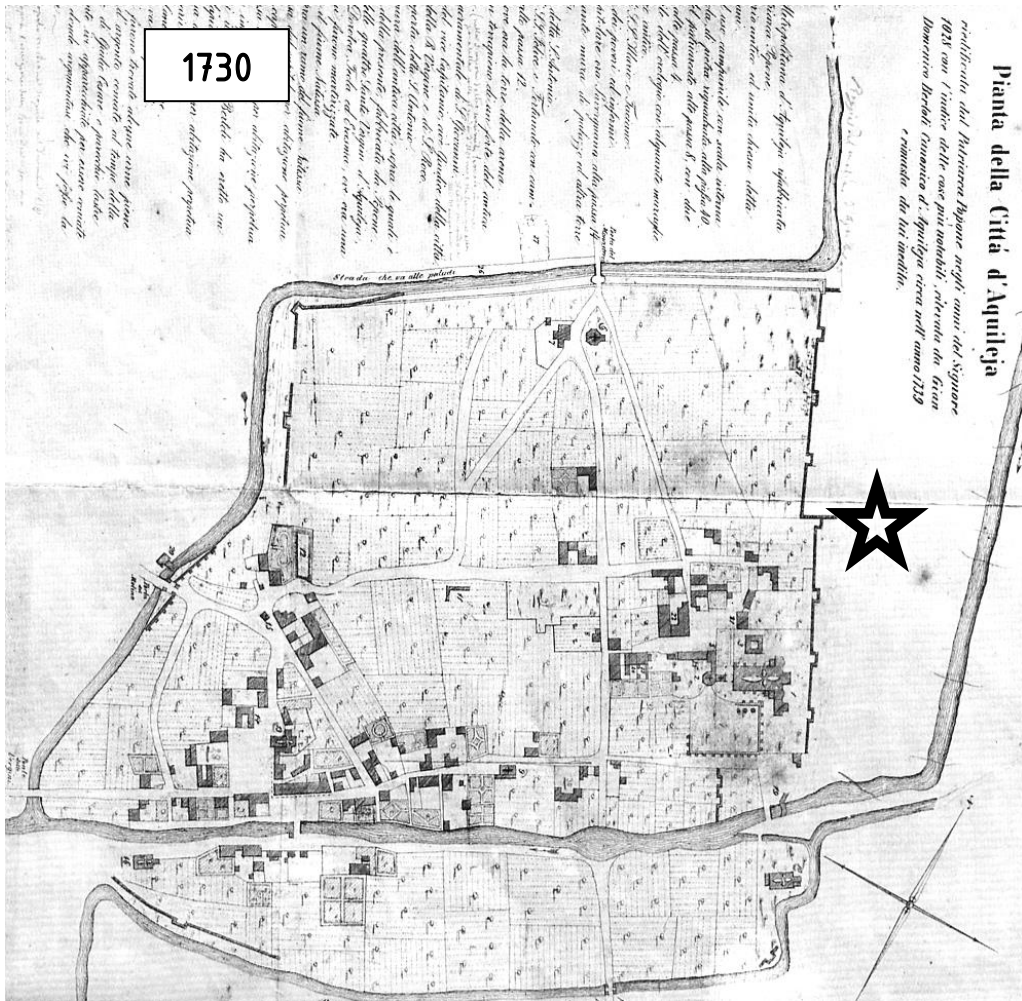
- Reperimento di informazioni di natura geologica da fonti bibliografiche, da colloqui con gli abitanti e con i tecnici dei Pubblici Uffici.
- Rilevamento geologico-tecnico in sito;
- Esame dei dati relativi alle campagne di scavo pregresse;
- Sondaggio S01 a carotaggio continuo, spinto fino a 10m con prove in foro SPT e CPT; sondaggio a S02 spinto fino a 3m e attrezzato piezometro a tubo aperto.
- Verifica del livello della falda in foro.

In fase di progettazione esecutiva, ci si riserva di eseguire ulteriori accertamenti geognostici ed approfondire i seguenti aspetti:

- assetto idrogeologico del sito d'intervento;
- Smaltimento/riutilizzo del materiale di scavo presente in cantiere, ai sensi della normativa vigente (D.lgs 161/2012)

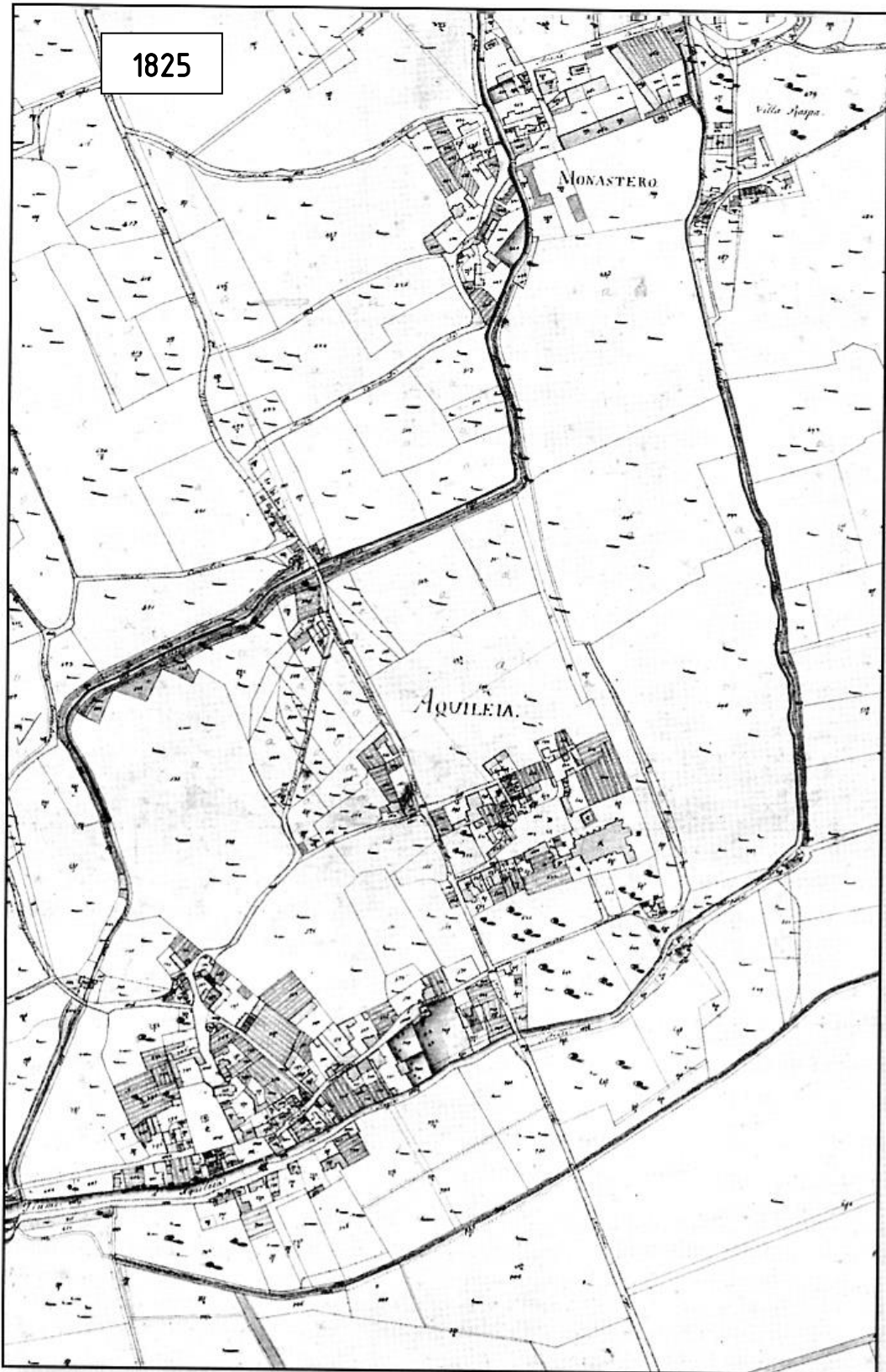
1. COROGRAFIA ED EVOLUZIONE STORICA



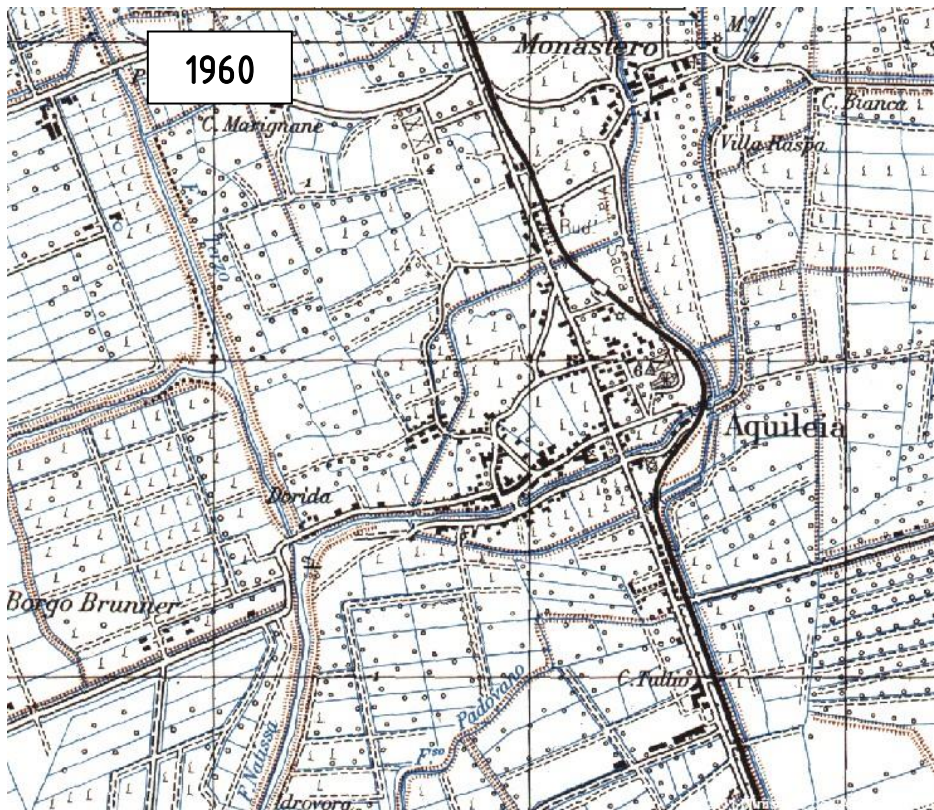


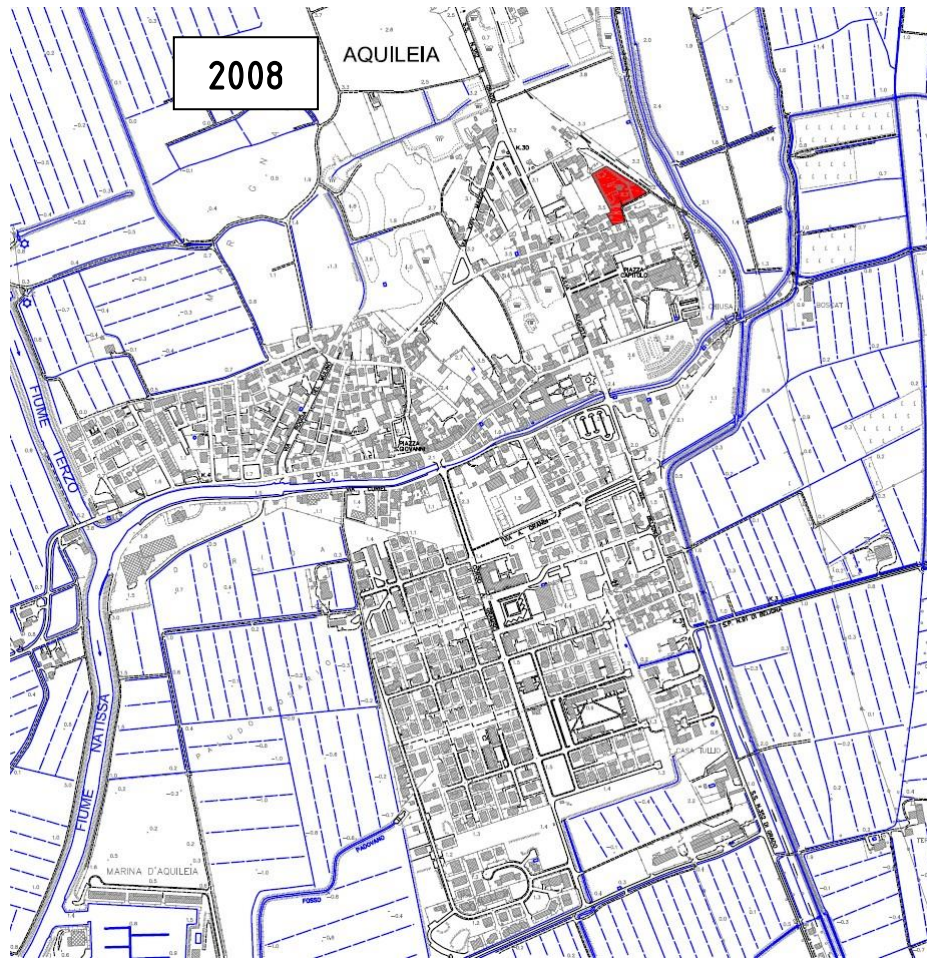
XIX sec











Le immagini sopra-riportate, testimoniano la notevole dinamica evolutiva che il sito in esame ha subito negli ultimi secoli, sia per fattori naturali che per azioni di natura antropica: in questo contesto è quindi lecito attendersi anche un'elevata variabilità litologica nei primi metri che costituiscono il sottosuolo, con orizzonti rimaneggiati ricchi di reperti archeologici sepolti fino a circa 2m dal piano campagna.

Le mappe antiche (1700-1800) confermano l'assenza della Roggia che scorre in fregio all'attuale Via Sacra; l'attivazione di questo corso d'acqua con direzione Nord-Sud, è stata eseguita a partire dalla seconda metà del XIX secolo, allorché proseguirono le operazioni di regimazione e bonifica delle acque superficiali provenienti da località Monastero. Il sito in esame risulta quindi collocato in corrispondenza del settore Nord Orientale dell'antica Città fortificata, in adiacenza al bastione Est, in un

ambito scarsamente edificato (periferia settentrionale del nucleo medioevale).

2. CARATTERISTICHE GEOLOGICHE GENERALI

Qui di seguito vengono analizzate, in forma di progetto definitivo, le caratteristiche geologiche ed idrogeologiche del sito che accoglierà le opere in progetto.

COORDINATE SITO	E 2393237;- N 5069931
QUOTA MEDIA S.L.M.	2.5M
COMUNE	AQUILEIA
ELEMENTO CTRN	109013
PROGETTO	INTERVENTI DI VALORIZZAZIONE DEL FONDO COSSAR
FASE PROGETTO	DEFINITIVO
CATEGORIA OPERA (NTC 2008)	II^A
ZONA SISMICA D.GR N°845 DEL 06/05/2010	3 - BASSA
PERICOLOSITA' DA PRG	ASSENTE
AREALI P.A.I. - PERICOLOSITA' GEOLOGICA O IDRAULICA	NESSUNO
PROCESSI NATURALI ATTIVI	SUBSIDENZA

Al fine di meglio comprendere le caratteristiche geologiche del sito in esame, si riprende brevemente l'evoluzione geologica recente del territorio in esame, facendo particolare attenzione alla dinamica del Fiume Natissa nel periodo post-romano. Il corso del Fiume Natissa non risulta particolarmente lungo: circa cinque chilometri separano la località dei Roncs dalla foce, dove le acque si versano nella laguna di Grado. Esaminando le antiche mappe che rappresentano il territorio aquileiese nel VIII° secolo, emerge chiaramente che il Fiume Natissa nasceva a quell'epoca in mezzo ad un vasto bosco (il Grant Bosc), completamente deforestato agli inizi del 1800, quando i nobili Cassis acquistarono queste terre per coltivarle in maniera intensiva: a tale scopo la presenza dei boschi e delle copiose acque venne a costituire un problema non di poco conto, che allora fu risolto con un forte riordino fondiario e una modifica della rete drenante. Nel periodo medievale le acque del F.Natissa, chiamato anche Fayet appunto perché nasceva da un bosco di faggeti, furono fatte scorrere su tutti i lati della cinta muraria difensiva della città e probabilmente diedero il nome anche alla porta di sud ovest: porta Faytiula. Ancora oggi oltre alla Natissa scendono le acque dell'Aussèt, del Marignùl, della Pantanosa, del Padovan. Dopo i Roncs, terreni posti al limite nord del comune di Aquileia, il Natissa attraversa i Paludèi, un'area bassa, ricca di presenze archeologiche d'epoca romana, per arrivare all'interno della oggi vasta borgata di Munistîr. Oltrepassata questa località, il Natissa lo si segue accostato alla banchina portuale romana, messa alla luce negli anni 1930, in fregio all'area di studio. All'altezza della Basilica le acque del Natissa incontrano quelle di un'altra roggia aquileiese (detta del Mulino di Monastero) per dirigersi verso occidente ed incunarsi all'interno del paese, passando sotto l'Arc di S.Filìs, resto delle mura medievali. Il

corso d'acqua poi passa sotto i due ponti: quello sull'attuale strada statale per Grado, chiamato Punt dal Crist e quello di fronte al Municipio, chiamato "Punt di Plassa". Uscito dal perimetro della città antica, il Natissa, arriva alla Durida, dove riceve le acque del Flum di Tiars che a loro volta passano sotto l'attuale Punt da Vergjnis. Qui, le acque oramai miste con quelle salate marine, si dirigono verso sud lambendo i terreni della Malburga sul lato orientale e del Marassìn sul lato opposto. Il Natissa corre poi lungo le località, a destra dei Panigài e a sinistra dei Montonus e sfocia in laguna (Comune di Aquileia, 2007).

Molto probabilmente il termine Natissa deriva dal latino "natare", cioè nuotare. Un nome simile a Natisone. A tal proposito le cronache storiche riportano più volte che la città romana di Aquileia era lambita, nella parte orientale, dal Natiso cum Turro, cioè dalle acque del Natisone e da quelle del Torre. Questi corsi d'acqua alimentavano il celeberrimo porto romano di Aquileia imperiale (periodo romano), largo circa 50 metri e lungo oltre 300, e sono venuti a mancare repentinamente nella seconda metà del IV secolo dopo Cristo. Le indagini eseguite nel territorio della città di Aquileia, ed i rilievi topografici di dettaglio del piano campagna, hanno messo in luce la presenza di un paleo-dosso alluvionale, costituito da sedimenti per lo più granulari (sabbie e ghiaie) orientato N-S lungo la Via Sacra, edificato da un paleo-corso d'acqua, non di risorgiva, costituito dal sistema Natisone+Torre. Nell'immediato intorno, si rinvengono depositi di esondazione su piana alluvionale per lo più di ambiente salmastro, e quindi riconducibili a periodiche ingressioni della laguna, queste ultime legate all'aumento del livello medio del mare ed alla subsidenza. Litologicamente, nei primi 20 metri dal piano campagna è stata accertata la presenza di orizzonti lentiformi giustapposti e costituiti da argilla organica che interrompe la continuità di banchi per lo più sabbiosi o limo-sabbiosi. La falda freatica si attesta nell'intervallo

2.5m-3.5m dal piano campagna, sostenuta al letto da orizzonti argillosi compatti.



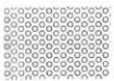
Estratto Carta Geologica per il PRG, con indicato il punto in esame

Legenda:



Z5 - In questa zona rientrano i sedimenti prevalentemente limo argillosi di consistenza fluido plastica spesso caratterizzati da valori prossimi al limite di liquidità (scadenti caratteristiche geotecniche).
L'utilizzo dei terreni ai fini fondazionali risulta sempre ammesso, anche se spesso problematico, tanto da dover adottare soluzioni fondazionali di tipo profondo o a platea.

Gli interventi dovranno venir sviluppati a seguito di una rigorosa indagine geognostica e geotecnica che definisca con esattezza lo spessore degli orizzonti più direttamente influenzati dalle opere di progetto, i rapporti di correlazione tra gli stessi, i principali parametri geotecnici, al fine di verificare la capacità portante del terreno in funzione delle fondazioni scelte e quindi alle pressioni di contatto ammissibili ed ai cedimenti e/o rigonfiamenti del terreno di sedime. A tal fine dovrà venir predisposto un programma di osservazioni ed indagini di ampiezza commisurata all'importanza dell'opera ed alla complessità della situazione geotecnica. Dovrà essere attentamente verificata la posizione della tavola d'acqua nell'area d'interesse. La realizzazione di vani interrati viene di norma considerata incompatibile.

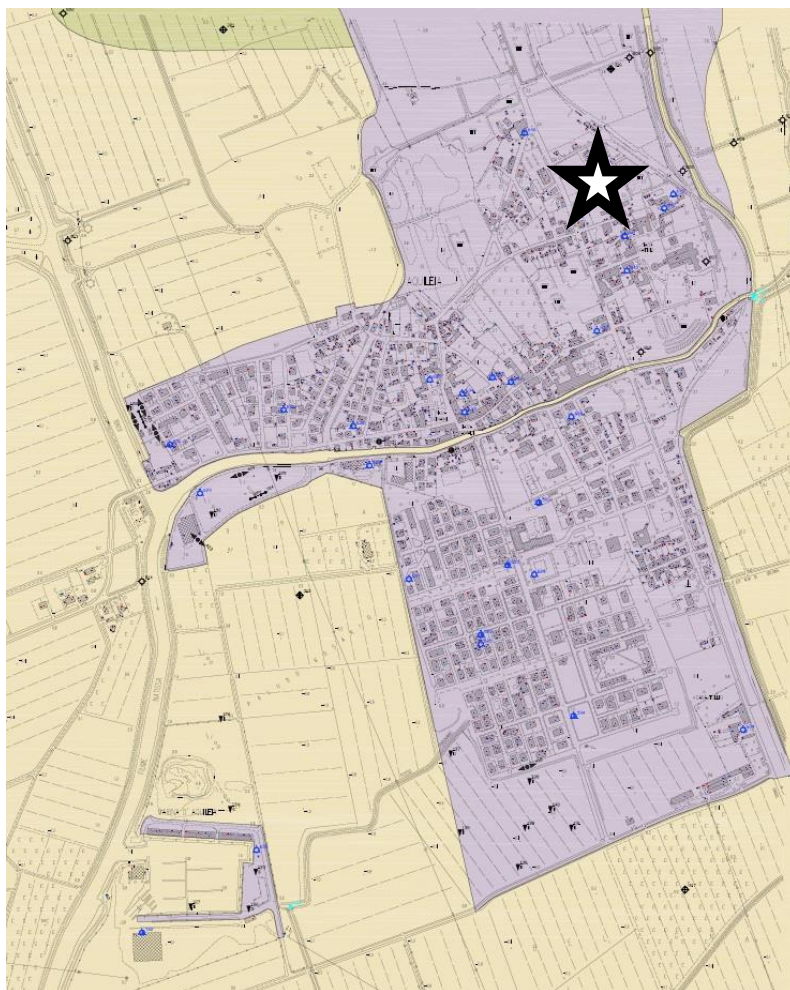


Aree potenzialmente interessate da ingressione marina ed esondazione fluviale a seguito di un eccezionale fenomeno di acqua alta (lama d'acqua prevista inferiore ai 50 cm).

All'interno dell'area bonifica IV partita potrà venir consentita la nuova edificazione e si potrà operare sul patrimonio edilizio esistente a condizione che il piano calpestio delle costruzioni sia posto ad una quota superiore a - 1.0 metri s.l.m.m., mentre nell'area presso la confluenza tra il fiume Natissa ed il fiume Terzo si potrà operare a partire da una quota di riferimento superiore a + 2.0 metri s.l.m.m.

Dovranno venir individuati e descritti gli opportuni accorgimenti atti a contrastare gli effetti derivanti dall'eventuale fenomeno.

Gli impianti al servizio degli edifici esistenti e di quelli eventualmente previsti verranno collocati in posizione di sicurezza rispetto al possibile fenomeno di acqua alta.

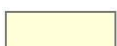


Estratto Carta Geologica Tecnica Regione FVG – Litologica superficiale

Legenda:



MS : SEDIMENTI PREVALENTEMENTE LIMOSO-ARGILLOSI CON SABBIE



MSG = MGS : SEDIMENTI PREVALENTEMENTE LIMOSO-ARGILLOSI CON GHIAIE E SABBIE

Le analisi morfologiche, eseguite anche mediante tecniche avanzate di laser scanning (OGS – 2009), testimoniano la presenza del “nucleo storico” costituito da un alto morfologico artificiale su cui sono stati sovrapposti gli edifici esistenti. Si ritiene quindi, che lo spessore medio del materiale di riporto in corrispondenza del sito in esame sia compreso entro i 2m dal p.c. ed inglobi i resti archeologici delle strutture sopite; più in profondità sono presenti alternanze di limi-argilloso-sabbiosi con

lenti di sabbie e argille organiche. Il primo sottosuolo deve quindi essere considerato compressibile.

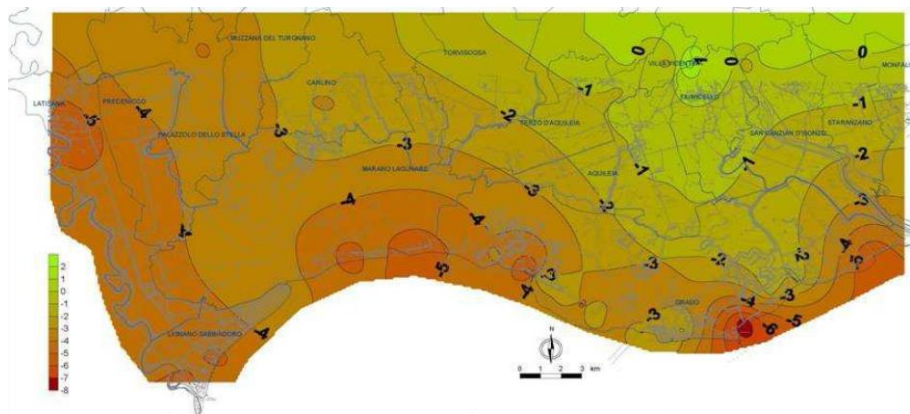


Modello digitale del terreno a conturaggio colorimetrico sulla scala delle altezze. Con i colori chiari sono evidenziate le aree a quota più elevata. E' evidenziato il sito in esame ed il paleo-alveo del T.Natissa (Rilievo estratto da Coren, Visintini, Fales, Sterzai, Prearo, Rubinich, 2005).

3. DINAMICA EVOLUTIVA ATTUALE

La Bassa pianura friulana è interessata dai fenomeni di subsidenza, così come tutto l'arco della pianura padana che si sviluppa dal Veneto all'Emilia- Romagna. L'intensità del fenomeno naturale in passato è stato aggravato dall'estrazione dei fluidi dal sottosuolo che negli ultimi decenni hanno accelerato i processi di costipamento dei terreni. Nel caso specifico delle Lagune di Marano e Grado, oltre ai processi naturali ed antropici connessi con l'estrazione dell'acqua dal sottosuolo in corrispondenza degli abitati, non vanno sottovalutati i fenomeni di costipamento successivi alle bonifiche che hanno interessato tutto l'arco lagunare a monte dell'attuale

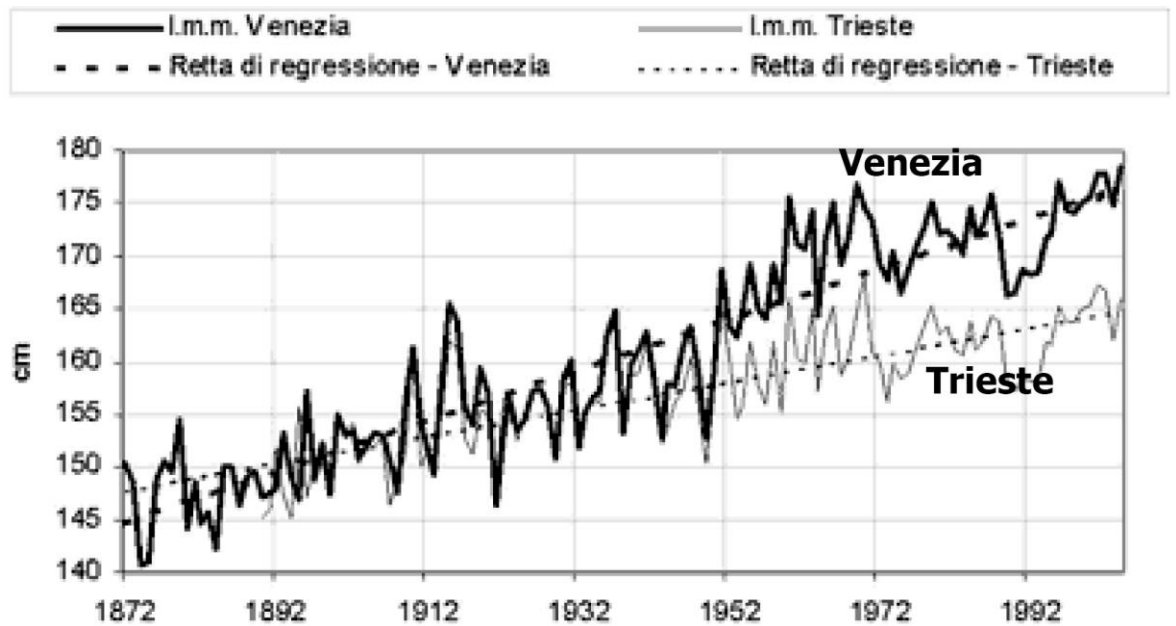
argine di conterminazione. Ciò ha comportato un abbassamento del suolo che può aver coinvolto nel tempo gli stessi argini negli anni successivi alla loro realizzazione e all'esecuzione delle opere di drenaggio per il recupero dei terreni ad uso agricolo. Tale abbassamento è stato favorito anche dalla presenza di livelli, talvolta consistenti, di torbe o di argille organiche, particolarmente diffusi in alcuni settori del perimetro lagunare tra le foci dei fiumi Natissa e Turgnano. Tutta la regione compresa tra la linea di livellazione che si sviluppa lungo la strada statale da Latisana a Ronchi a Nord e tra le foci del Tagliamento e dell'Isonzo a Sud, è caratterizzata da significativi fenomeni di "subsidenza" già accertati nel periodo '80-'89 e confermati nel periodo successivo 1989-2004.



Modello digitale del terreno a conturaggio colorimetrico sulla scala dell'abbassamento del piano campagna per subsidenza - Fonte: Protezione Civile della Regione

Più in particolare, va sottolineato che il processo di subsidenza, analizzata nell'intero periodo 1980-2007, interessa tutta l'area lagunare con particolare riferimento all'arco costiero (da 4 mm/anno a Lignano a 7 mm/anno a Grado), all'asta del Tagliamento da Latisana alla sua foce (attorno a 4 mm/anno), al delta dell'Isonzo (con punte fino a 5 mm/anno) e all'area che si sviluppa da Latisana fino a poco ad E di Muzzana. Nell'area lagunare in esame i valori, riferiti al periodo 1980-2007, variano quindi da 2 a 7 mm/anno.

A questo fenomeno si aggiunge anche l'accertato innalzamento del livello medio marino. Da 133 anni si evidenzia un andamento pressoché crescente del livello medio marino. In 100 anni di osservazioni mareografiche a Trieste si riscontra un innalzamento di circa 15 cm del livello medio marino.



Andamento livelli marini a Venezia e a Trieste

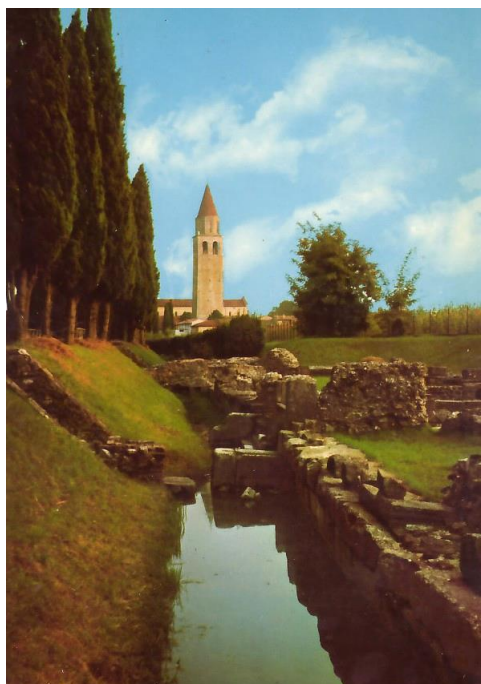


Scavi archeologici eseguiti negli anni 30

Gli scavi archeologici eseguiti in fregio all'area in esame negli anni trenta testimoniano la sostanziale assenza di falda fino alla quota di fondo-scavo. Attualmente invece la falda generalmente si posiziona nell'intervallo 1.2m-2.0m. Dal momento che l'evoluzione attuale e futura dei siti perilagunari, risulta caratterizzata da un progressivo abbassamento del piano campagna per subsidenza conclamata, è probabile che il primo sottosuolo interessato dai resti archeologici, un tempo in condizioni normalmente "dry", ora sia generalmente da considerarsi saturo, con tutte le conseguenze del caso sulla conservazione dei resti.



Realizzazione della Via Sacra

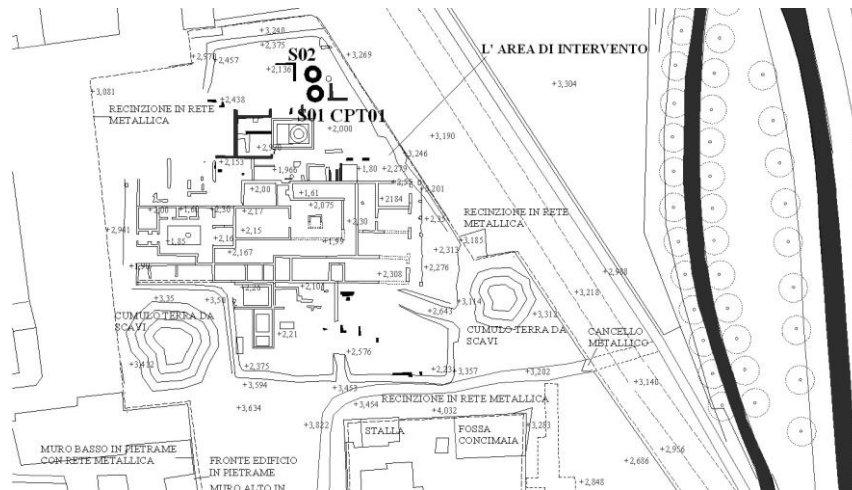


Porto antico

4. INDAGINI IN SITO ESEGUITE

Al fine di valutare le caratteristiche del primo sottosuolo in corrispondenza del sito in esame, sono stati eseguiti n° 2 sondaggi a carotaggio continuo a brevissima distanza l'uno dall'altro e spinti rispettivamente a 10m e 3m dal piano campagna. L'ubicazione dei punti perforazione è stata attentamente valutata dal Progettista, in accordo con la Soprintendenza e con la Fondazione Aquileia.

Sono stati eseguiti 2 sondaggi, di cui uno per scopi geognostici e geotecnici fino a 10m dal p.c. e l'altro per l'installazione del piezometro a tubo aperto.



Ubicazione delle indagini eseguite



Al fine di realizzare le indagini in sito ci si è avvalsi della seguente attrezzatura:

Le perforazioni sono state eseguite mediante l'utilizzo di una perforatrice Nenzi GELMA 2, montata su autocarro gommato 6 assi Astra, con le seguenti caratteristiche:



Sonda Gelma 2, sondaggio S1 – 2013

Caratteristiche generali:

Modello: Nenzi Gelma 2;

Peso sonda: 18.000 Kg;

Morse: Doppia morsa diametro max 300mm.

Pompa Acqua: Pompa triplex 200l/min.

Testa di rotazione;

Velocità albero di rotazione: 0 – 600 r/min;

Accessori: Martello in Testa;

Coppia massima: 1.000 Kg/m;

Slitta di avanzamento:

Corsa utile effettiva: 3.700mm;

Tiro max 8,5 tonnellate

Trazione/spinta: 79KN;

Velocità max movimentazione testa: 40cm/sec;

Centralina oleodinamica:

Motore: Deutz 6 cilindri;

Potenza: 60KW/2000r/min;

Autocarro:

Modello Camion ASTRA;

Targa: PG 651527;

Trazione: 4x6;

Qui di seguito si riassume la stratigrafia dei sondaggi, allegati in calce alla presente relazione, ed eseguiti dalla Ditta SRV indagini geologiche srl

Sondaggio S1 (2.1m s.l.m.) – Stratigrafia Sintetica 26/03/2013

0.0m ÷ 0.95m	Ghiaietto in matrice limo-sabbiosa bruna con ciottoli arrotondati carbonatici, frammenti di radici e laterizi;
0.95m ÷ 1.30m	Sabbia limosa rimaneggiata e con resti archeologici;
1.30m ÷ 2.60m	Sabbia limosa di colore grigio;
2.60m ÷ 3.50m	Limo sabbioso;
3.50m ÷ 5.70m	Argilla limosa;
5.70m ÷ 6.20m	Sabbia limosa da poco a mediamente addensata;
6.20m ÷ 10.0m	Sabbia addensata;

Falda: -1.50m

Prove penetrometriche dinamiche in foro (SPT):

SPTA: Intervallo 3.0m-3.45m; N° colpi: 1, 2, 2 (NSPT=4);

SPTB: Intervallo 7.0m-7.45m; N° colpi: 6, 3, 9 (NSPT=12);

SPTC: Intervallo 9.0m-9.45m; N° colpi: 14, 33, 22 (NSPT=35);

Sondaggio S2 (2.1m s.l.m.) - Stratigrafia Sintetica 26/03/2013

0.0m ÷ 1.00m	Ghiaietto in matrice limo-sabbiosa bruna con ciottoli arrotondati carbonatici, frammenti di radici e laterizi;
1.00m ÷ 1.40m	Sabbia limosa rimaneggiata e con resti archeologici - resto di legname;
1.40m ÷ 2.70m	Sabbia limosa di colore grigio;
2.70m ÷ 3.00m	Limo sabbioso;



Pozzetto piezometro P1

Il foro di sondaggio S2 è stato attrezzato con piezometro a tubo aperto P1, con diametro 2 pollici, fessurato. In questo modo sarà possibile eseguire una serie di misurazioni del livello freatico in vista della progettazione esecutiva.

N.B. il foro S2 è stato appositamente eseguito al fine di installare il piezometro confinato alla base da un orizzonte poco permeabile; questo accorgimento consentirà di monitorare l'andamento della falda freatica, senza che la stessa venga alterata dall'acquifero presente più in profondità.

Prove SPT in foro S01:

Elaborazione dati con software Dynamic probing (Geostru - 2012)

Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: PROVE SPT IN FORO

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	63,5Kg
Altezza di caduta libera	0,76m
Peso sistema di battuta	4,2Kg
Diametro punta conica	50,46mm
Area di base punta	20cm ²
Lunghezza delle aste	1m
Peso aste a metro	7Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0,80m
Avanzamento punta	0,30m
Numero colpi per punta	N(30)
Coeff. Correlazione	1
Rivestimento/fanghi	No

SPTB

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
[1] - Strato	12	7,95	12	Meyerhof 1957	67,63

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
[1] - Strato	12	7,95	12	Meyerhof (1965)	34,41

SPTC

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
[1] - Strato	35	9,45	25	Meyerhof 1957	88,51

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
[1] - Strato	35	9,45	25	Meyerhof (1965)	38,47

Prova CPT in foro S1:

Al fine di raccogliere informazione sul comportamento geotecnico degli orizzonti coesivi, è stata condotta una prova penetrometrica statica con punta meccanica CPT in foro di sondaggio.

Quando la perforazione a carotaggio ha raggiunto la profondità di 3.5m, è stato completato il rivestimento del foro e la pulizia dello stesso. Successivamente si è passati all'allestimento della prova nell'intervallo:

3.5m<CPT<5.5m



Esecuzione prova CPT in foro

Lo strumento utilizzato possiede le seguenti caratteristiche:

Caratteristiche:

- punta conica meccanica \varnothing 35.7 mm, area punta $A_p = 10 \text{ cm}^2$
- punta conica meccanica angolo di apertura: $\alpha = 60^\circ$
- manicotto laterale di attrito tipo 'Begemann' ($\varnothing = 35.7 \text{ mm} - h = 133 \text{ mm} - A_m = 150 \text{ cm}^2$)
- velocità di avanzamento costante $V = 2 \text{ cm/sec}$ ($\pm 0,5 \text{ cm / sec}$)
- spinta max nominale dello strumento S_{max} variabile a seconda del tipo
- costante di trasformazione $CT = \text{SPINTA (Kg)} / \text{LETTURA DI CAMPAGNA}$
(dato tecnico legato alle caratteristiche del penetrometro utilizzato, fornito dal costruttore)

fase 1 - resistenza alla punta: $q_c \text{ (kg/cm}^2 \text{)} = (L_1) \times CT / 10$

fase 2 - resistenza laterale locale: $f_s \text{ (kg/cm}^2 \text{)} = [(L_2) - (L_1)] \times CT / 150$

fase 3 - resistenza totale : $R_t \text{ (kg/cm}^2 \text{)} = (L_t) \times CT$

- Prima lettura = lettura di campagna durante l' infissione della sola punta (fase 1)
- Seconda lettura = lettura di campagna relativa all'infissione di punta e manicotto (fase 2)
- Terza lettura = lettura di campagna relativa all'infissione delle aste esterne (fase 3)

N.B. : la spinta S (Kg) , corrispondente a ciascuna fase , si ottiene moltiplicando la corrispondente lettura di campagna L per la costante di trasformazione CT .

N.B. : nonostante la distanza intercorrente (20 cm circa) fra il centro del manicotto laterale e la punta conica del penetrometro , la resistenza laterale locale f_s viene computata alla stessa quota della punta .

CONVERSIONI

1 kN (kiloNewton) = 1000 N \approx 100 kg = 0,1 t

1 MN (megaNewton) = 1.000 kN = 1.000.000 N \approx 100 t

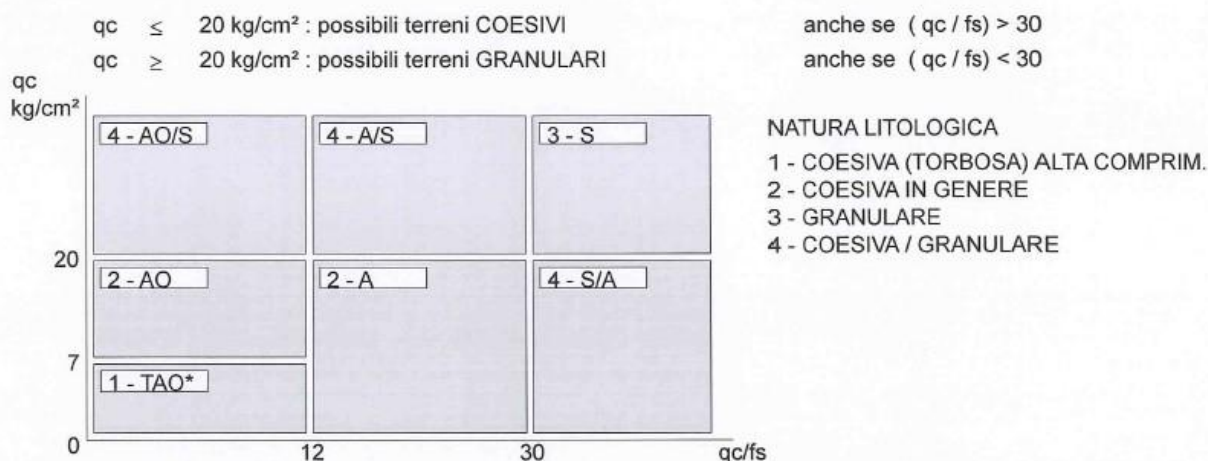
1 kPa (kiloPascal) = 1 kN/m² = 0,001 MN/m² = 0,001 MPa \approx 0,1 t/m² = 0,01 kg/cm²

1 MPa (megaPascal) = 1 MN/m² = 1.000 kN/m² = 1000 kPa \approx 100 t/m² = 10 kg/cm²

1 kg/cm² = 10 t/m² \approx 100 kN/m² = 100 kPa = 0,1 MN/m² = 0,1 MPa

1 t = 1000 kg \approx 10 kN

Le scelte litologiche vengono effettuate in base al rapporto q_c / f_s (Begemann 1965 - A.G.I. 1977) prevedendo altresì la possibilità di casi dubbi :



PARAMETRI GEOTECNICI (validità orientativa) - simboli - correlazioni - bibliografia

- γ' = peso dell' unità di volume (efficace) del terreno [correlazioni : γ' - q_c - natura]
(Terzaghi & Peck 1967 - Bowles 1982)
- σ'_{vo} = tensione verticale geostatica (efficace) del terreno (valutata in base ai valori di γ')
- C_u = coesione non drenata (terreni coesivi) [correlazioni : C_u - q_c]
- OCR = grado di sovra consolidazione (terreni coesivi) [correlazioni : OCR - C_u - σ'_{vo}]
(Ladd et al. 1972 / 1974 / 1977 - Lancellotta 1983)
- E_u = modulo di deformazione non drenato (terreni coesivi) [correl. : E_u - C_u - OCR - I_p $I_p = \text{ind.plast.}$]
 E_{u50} - E_{u25} corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50-25% (Duncan & Buchigani 1976)
- E' = modulo di deformazione drenato (terreni granulari) [correlazioni : E' - q_c]
 E'_{50} - E'_{25} corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50-25% (coeff. di sicurezza $F = 2 - 4$ rispettivamente)
Schmertmann 1970 / 1978 - Jamiolkowski ed altri 1983)
- M_o = modulo di deformazione edometrico (terreni coesivi e granulari) [correl. : M_o - q_c - natura]
Sanglerat 1972 - Mitchell & Gardner 1975 - Ricceri et al. 1974 - Holden 1973)
- D_r = densità relativa (terreni granulari N. C. - normalmente consolidati)
[correlazioni : D_r - R_p - σ'_{vo} (Schmertmann 1976)]
- ϕ' = angolo di attrito interno efficace (terreni granulari N.C.) [correl. : ϕ' - D_r - q_c - σ'_{vo}]
 ϕ'_{Ca} - Caquot (1948) ϕ'_{Ko} - Koppejan (1948)
 ϕ'_{DB} - De Beer (1965) ϕ'_{Sc} - Schmertmann (1978)
 ϕ'_{DM} - Durgunoglu & Mitchell (1975) (sabbie N.C.) ϕ'_{Me} - Meyerhof (1956 / 1976) (sabbie limose)
- F.L. = accelerazione al suolo che può causare liquefazione (terreni granulari)
(g = accelerazione gravità)(Seed & Idriss 1971 - Sirio 1976) [correlazioni : (A_{max}/g) - D_r]
- V_s = velocità di propagazione delle onde sismiche (Iyisan 1996)

Le risultanze hanno verificato la presenza di un banco compressibile a grana fine e comportamento prevalentemente coesivo, nell'intervallo 3.0m÷5.5m, con le seguenti caratteristiche di resistenza stimate nel corso della prova in foro:

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm ²)	Lettura laterale (Kg/cm ²)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
3,40	0,0	0,0	0,0	0,136	0,0	-
3,60	8,0	10,0	8,712	0,136	64,06	1,56
3,80	8,0	10,0	8,712	0,34	25,62	3,9
4,00	10,0	15,0	10,752	0,272	39,53	2,53
4,20	8,0	12,0	8,85	0,34	26,03	3,84
4,40	10,0	15,0	10,89	0,476	22,88	4,37
4,60	8,0	15,0	8,85	0,544	16,27	6,15
4,80	8,0	16,0	8,85	0,408	21,69	4,61
5,00	9,0	15,0	9,87	0,544	18,14	5,51
5,20	8,0	16,0	8,988	0,272	33,04	3,03

In sintesi:

Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm ²)	fs Media (Kg/cm ²)	Gamma Medio (t/m ³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
3,40	0,0	0,008	0,0	-	Stima non eseguibile
5,40	9,5502	0,3332	1,84	Coesivo	Argille - Argille Limose

5. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Il progetto prevede essenzialmente la realizzazione di un sistema di coperture poggianti su una serie di micropali di fondazione, inseriti al centro della muratura e nel terreno, per profondità comprese tra i 4 e i 6 metri.

Orizzonte litotecnico	Profondità media da p.c.	Comportamento	Pesi volume (t/m ³) dry/sat	Cu (Kg/cm ²)	Φ (°)	Dr (%)
<i>A - Ghiaietto sabbioso limoso con ciottoli - RIPORE SCIOLTO</i>	0.0m ÷ 1.0m	Comportamento misto, prev granulare	1.7/2.0	-	32°	20÷30
<i>B - Sabbia limo-argillosa con laterizi - ARCHEOLOGICO</i>	1.0m ÷ 1.30m	Comportamento misto, prev granulare	1.7/1.9	-	31°	20÷30
<i>C - Sabbia con limo SCIOLTA</i>	1.30m ÷ 3.50m	Comportamento prev granulare	1.7/2.0	-	30°	20
<i>D - Argilla limosa consistente organica</i>	3.50m ÷ 5.70m	Comportamento prev granulare	1.8/2.0	Cu=0.6÷0.8	-	-
<i>E - Sabbia limosa mediamente addensata</i>	5.70m ÷ 7.50m	Comportamento granulare	1.8/2.0	-	34°	70÷80
<i>F - Sabbia scarsamente limosa addensata</i>	7.50m ÷ 10.0m	Comportamento granulare	1.8/2.0	-	38°	80÷100

Falda:

1° falda: 1.5m÷3.7m

2° falda: >5.7m

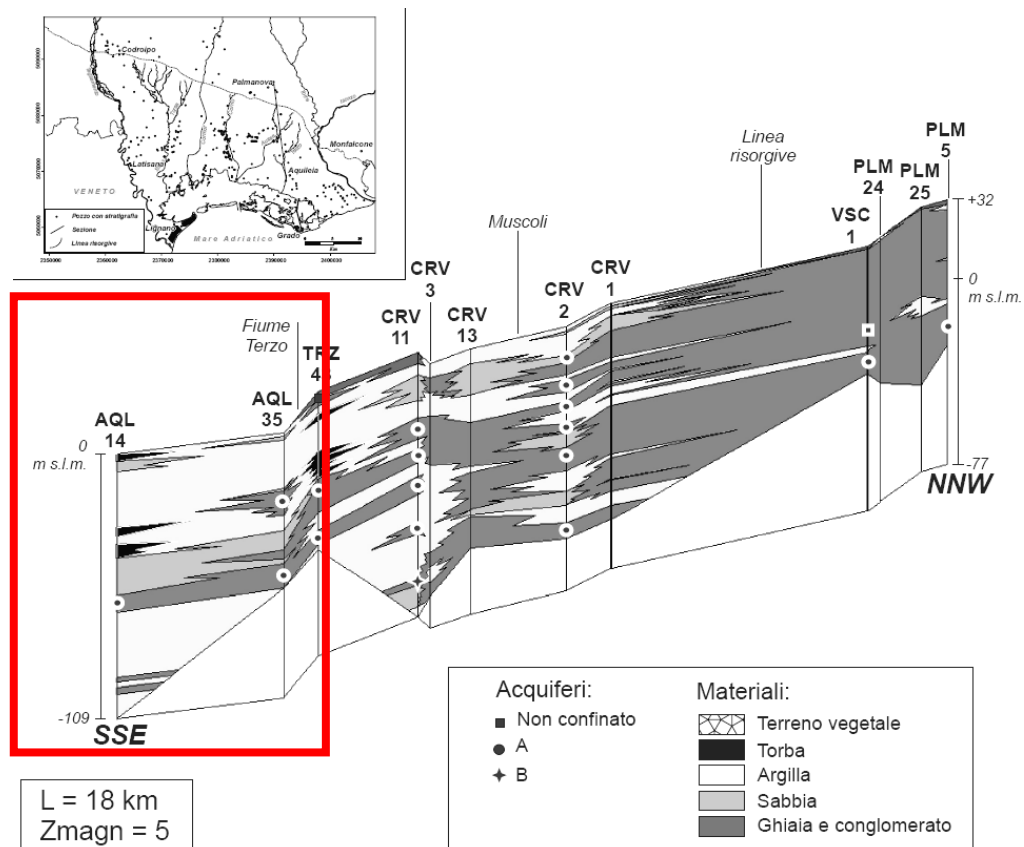
N.B.: Le profondità si ritengono riferite da boccaforno, ovvero da circa +2.0m s.l.m. (da rilievo Progettista). Inoltre ed al fine di conservare al

meglio le strutture murarie esistenti e consentire, in corso d'opera, il campionamento dell'orizzonte archeologico, si propone di utilizzare la seguente tecnica di perforazione per la posa in opera dei micropali:

- perforazione a rotazione e carotaggio continuo con circolazione d'acqua, corona diamantata e carotiere doppio, per la perforazione del muro in pietra. In tal modo saranno prelevate le carote del muro su ciascun punto di perforazione;
- al di sotto del muro, l'orizzonte archeologico potrà essere prelevato mediante carotaggio continuo e carotiere semplice a secco;
- successivamente, e fino a fondo foro, la perforazione potrà essere proseguita a distruzione di nucleo (orizzonti sterili) mediante l'utilizzo di tricono e circolazione d'acqua chiara. In tal modo la perforazione non crea vibrazioni, fumi e fontane di fango, che invece potrebbero innescarsi con la classica perforazione martello fondo foro e aria.

6. IDROGEOLOGIA

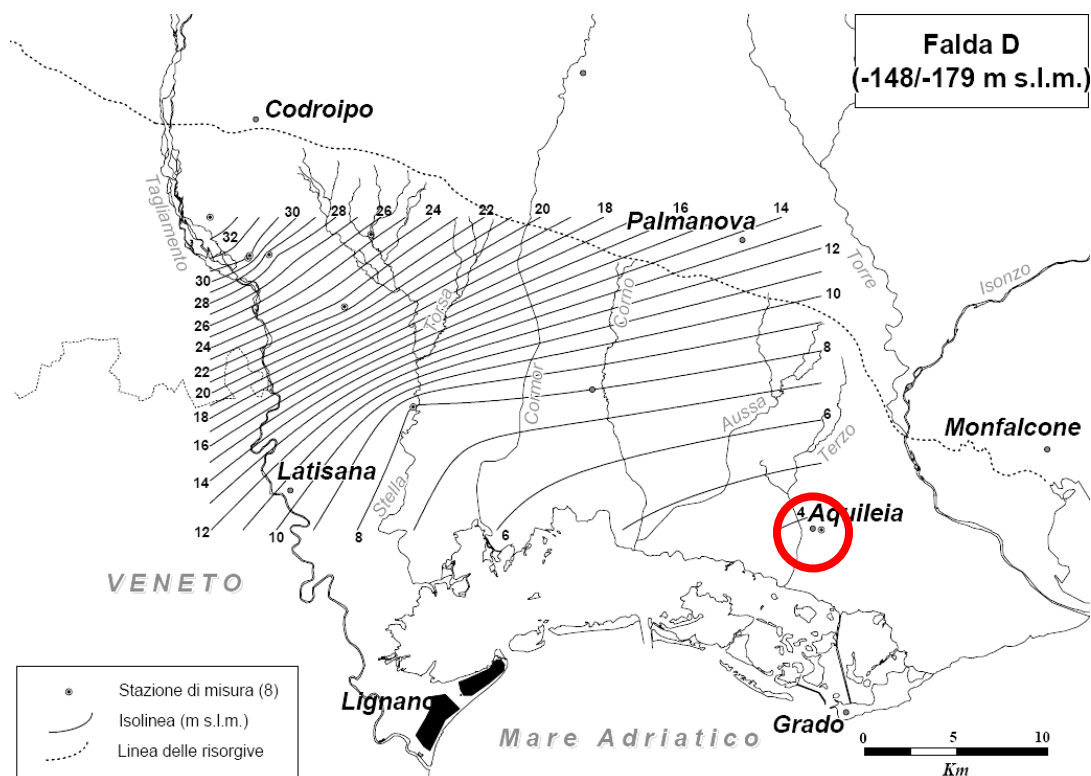
Da un punto di vista idrogeologico e morfologico generali l'area in esame rientra all'interno dell'unità definita "Bassa Pianura Centro Orientale", situata a valle della linea delle risorgive, ad una quota media di circa 2m s.l.m. Il Natissa scorre poco a Est, percorrendo in questo settore un ampio tratto in direzione N-S, per poi piegare bruscamente verso Ovest, dove si congiunge con il Fiume di risorgiva Terzo. Il sottosuolo risulta interessato da una sovrapposizione di orizzonti a diversa permeabilità che confinano in senso verticale alcune falde artesiane. Nel 1999 Cucchi, Massari ed Oberti pubblicano un articolo sulla classificazione delle falde artesiane della Pianura Friulane, individuando almeno 6 categorie a Sud della linea delle risorgive, fino ad una profondità di 290 mlm, e distinte dalle lettere A, B, C, D, E ,F:



Sezione idrogeologica orientata N-S, e tracciata da Pamanova ad Aquileia, con evidenziato in rosso il settore d'interesse.

- **Falda A:** Risulta la più superficiale, è contenuta in livelli sabbiosi e ghiaiosi, alluvioni isontine, ed è articolata in quattro orizzonti diversi A1, A2, A3, A4 sempre compresi, comunque, entro due strati guida costituiti da torbe che suggeriscono episodi di deposizione lacustro - lagunare alternatisi ai depositi fluviali. Si trova ad una profondità compresa tra - 30 e -100 mlm.
- **Falda B:** Risulta più profonda della precedente e si sviluppa in un unico livello sabbioso. Si trova tra i - 95 e i - 100 mlm.
- **Falda C:** Si articola in 3 o 4 rami C1, C2, C3, C4 per poi confluire in un unico orizzonte prevalentemente sabbioso. Si trova tra i -110 e i - 130 mlm.
- **Falda D:** Risulta unica e posta prevalentemente in ghiaie. E' posta ad una profondità media di - 165 mlm.

- **Falda E:** Risulta unica e contenuta in ghiaie. Si trova ad una profondità di - 175 mlm.
- **Falda F:** Risulta unica e prevalentemente in sabbie. E' ad una profondità di - 215 mlm.



Carta piezometrica relativa alla variazione del livello di falda (differenziale) nel periodo settembre-ottobre 2003.

L'elaborazione contenuta in figura individua un andamento del flusso sotterraneo principale in direzione NW-SE.

Falde del sistema confinato	Prelievo ($10^6 \text{ m}^3/\text{anno}$)
A	276
B	167
C	18
D	26
E	16
F	16
G	2
H	5

Il piano campagna del sito in esame non risulta soggetto ad allagamento per innalzamento della falda freatica o esondazione di canali limitrofi. Il

piano di scavo risulta invece allagabile, come testimoniano i dati ottenuti fino ad ora dal monitoraggio piezometrico eseguito in corrispondenza del foro S02.

Nella fattispecie si sottolinea quanto segue:

- nel corso delle indagini in sito, condotte a partire da quota di circa +2.0m s.l.m., è stata intercettata una prima falda a partire da -1.5m da boccaforo, risalita a fine perforazione a circa -1.2m dal p.c.; più in profondità è stata intercettata una seconda falda, probabilmente semi-confinata al tetto dall'orizzonte coesivo consistente ed asciutto, D, a partire da -5.7m circa da boccaforo.
- l'installazione di un piezometro a tubo aperto, inserito nell'intervallo 0.0m÷3.0m consentirà di monitorare l'escursione della falda superficiale soprattutto in vista della redazione del progetto esecutivo; per il momento ci si riferisce alle misurazioni eseguite i giorni 26/03 e 23/05, che indicano preliminarmente un innalzamento del livello di falda a circa -0.8m dalla boccaforo;

Data	Piezometro	Quota falda (m da p.c.)
26/03	P01	-1.45m
23/05	P01	-0.85m

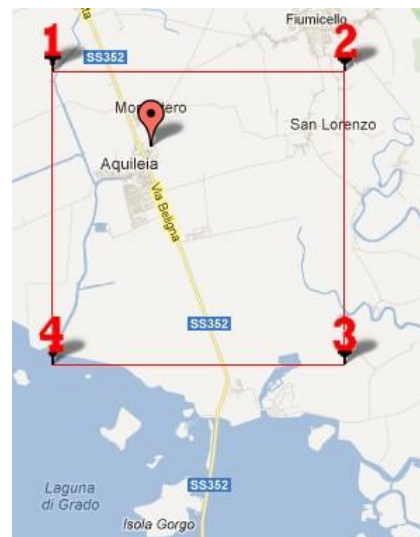
- l'evoluzione naturale del sito in esame ha comportato un abbassamento del piano campagna, ovvero una probabile riduzione dello spessore dell'orizzonte NON SATURO. La subsidenza in atto è stata confermata anche come tendenza futura, con effetti non del tutto trascurabili per l'orizzonte archeologico.
- Dal punto di vista idrogeologico, risulta importante anche la presenza della Roggia Orientale, che scorre in fregio alla Via Sacra; tale corso d'acqua artificiale è stato introdotto nel XIX° secolo, mentre la Via

Sacra, che funge anche da argine, deriva dall'accumulo del materiale di risulta originato dagli scavi che hanno portato alla luce i resti del Porto Antico. Non si escludono fenomeni di filtrazione che si propagano anche nelle zone contermini agli scavi del Fondo Cossar.

7. SISMICITA'

Con l'attuale normativa (*modifiche del D.M. 14/09/2005: Norme Tecniche per le Costruzioni, emanate con D.M. Infrastrutture del 14/01/2008, pubblicato su Gazzetta Ufficiale Supplemento ordinario n° 29 del 04/02/2008*), si fornisce una stima della pericolosità sismica, ricordando che il sito in esame ricade all'interno della maglia di microzonazione sismica indicata nella figura qui di seguito (nodi 1-4):

Da delibera Giunta Regionale n°845 del 06/05/2010, il Comune di AQUILEIA ricade in:
Zona 3, a BASSA Sismicità



Vertici punto (WGS 84): 45.771234, 13.369846

I parametri sismici caratteristici e calcolati per un'opera genericamente ascrivibile alla II^a classe:

Parametri di pericolosità Sismica

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	F_0	T_c^* [s]
Operatività (SLO)	30	0,033	2,591	0,218
Danno (SLD)	50	0,043	2,550	0,252
Salvaguardia vita (SLV)	475	0,105	2,555	0,361
Prevenzione collasso (SLC)	975	0,135	2,589	0,379
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,010	0,013	0,038	0,048
kv	0,005	0,006	0,019	0,024
A_{max} [m/s ²]	0,489	0,625	1,545	1,979
Beta	0,200	0,200	0,240	0,240

Dove:

Gli spettri sono definiti in base a tre parametri fondamentali:

- a_g : accelerazione orizzontale massima del terreno;
- F_0 : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro;
- T_c^* : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione.

Sulla base delle indagini geofisiche eseguite nelle vicinanze e contenute nello Studio Geologico per il PRG, si considera preliminarmente adeguato scegliere come suolo di fondazione la **Categoria C** *"Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media rigidezza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di VS30 compresi fra 180 e 360 m/s"*.

La verifica a liquefazione viene omessa in quanto le litologie in esame non rientrano fra quelle sensibili al fenomeno.

Il sito in esame non rientra direttamente nelle situazioni interessate da amplificazioni della forza sismica per fattori morfologici ($S_t=1$).

8. CONCLUSIONI

In base a quanto esposto si riassumono i seguenti punti sulla base del

N.T.C: 2008

CONTESTO MORFOLOGICO:	PIANA ALLUVIONALE - BASSA PIANURA FRIULANA
PROCESSI GEOMORFOLOGICI ATTIVI	SUBSIDENZA
VELOCITA' EVOLUTIVA PAESAGGIO	MEDIA (ANTROPICA + NATURALE)
UNITA' LITOLOGICHE:	ORIZZONTI SUPERFICIALI RIMANEGGIATI SABBIOSO-LIMOSI SCIOLTI E SATURI, SEGUE UN ORIZZONTE PER LO PIU' COESIVO, CHE LASCIA IL POSTO AL SOTTOSTANTE BANCO SABBIOSO ADDENSATO
FALDA FREATICA	INTERFERISCE CON LE STRUTTURE DI FONDAZIONE; FALDA NELL'INTERVALLO -2.0M÷-3.5M
PERICOLOSITA' GEOLOGICHE/IDRAULICHE INDIVIDUATE DAL P.A.I.	NESSUNA
PERICOLOSITA' GEOLOGICHE/IDRAULICHE INDIVIDUATE DALLO STUDIO GEOLOGICO PER IL P.R.G.:	NESSUNA

In particolare:

Il progetto prevede essenzialmente la realizzazione di un sistema di coperture poggianti su una serie di micropali di fondazione, inseriti al centro della muratura e nel terreno sottostante.

Al fine di verificare l'esatto accoppiamento delle strutture con l'orizzonte di fondazione prescritto e la correttezza del modello geotecnico, sarà necessaria la presenza del geologo in cantiere, nel corso delle perforazioni.

Da quota -2.0m s.l.m., le pareti di scavo possiedono una capacità di autosostentamento sub-verticale insufficiente anche nel breve periodo; pertanto, qualora debbono essere eseguite lavorazioni all'interno dello scavo che implicino la presenza di personale, si dovrà:

- provvedere all'approntamento delle necessarie misure di sostegno provvisori ed accorgimenti volti a preservare la superficie dall'azione delle acque meteoriche (teli plastificati);
- verificare l'interferenza delle pareti di scavo con strutture poste nelle vicinanze.
- evitare l'accumulo di pesi in prossimità dell'orlo di eventuali scarpate;

L'evoluzione naturale del sito in esame ha comportato un abbassamento del piano campagna, ovvero una probabile riduzione dello spessore dell'orizzonte NON SATURO. La subsidenza in atto è stata confermata anche come tendenza futura, con effetti non del tutto trascurabili per l'orizzonte archeologico.

In accordo con il Progettista, per la realizzazione dei micropali si propone di considerare i seguenti accorgimenti:

- perforazione a rotazione e carotaggio continuo con circolazione d'acqua, corona diamantata e carotiere doppio, per la perforazione del muro in

pietra. In tal modo saranno prelevate le carote del muro su ciascun punto di perforazione;

- al di sotto del muro, l'orizzonte archeologico potrà essere prelevato mediante carotaggio continuo e carotiere semplice a secco;
- successivamente, e fino a fondo foro, la perforazione potrà essere proseguita a distruzione di nucleo (orizzonti sterili) mediante l'utilizzo di tricono e circolazione d'acqua chiara. In tal modo la perforazione non crea vibrazioni, fumi e fontane di fango, che invece potrebbero innescarsi con la classica perforazione martello fondo foro e aria.

Nel rispetto di quanto sopra sottolineato e consigliato ed in considerazione della tipologia d'intervento, le caratteristiche geologico-tecniche rilevate in corrispondenza del sito in esame si sono rivelate compatibili con la realizzazione delle opere in progetto.