



FONDAZIONE AQUILEIA

INTERVENTI DI VALORIZZAZIONE E MUSEALIZZAZIONE DEL FONDO COSSAR
PROGETTO ESECUTIVO – SECONDO STRALCIO

2. 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: Giorgio Danesi (interventi di conservazione), Stefano Massarino (impianti elettrici), Federico Mondini (impianti termoidraulici). Collaboratori: Stefano Arnoldo, Martha Cantù Toscano, Andrea Marchioli.



INDICE

<i>1. PREMESSA</i>	<i>2</i>
<i>2. COROGRAFIA ED EVOLUZIONE STORICA</i>	<i>3</i>
<i>3. CARATTERISTICHE GEOLOGICHE GENERALI</i>	<i>12</i>
<i>4. DINAMICA EVOLUTIVA ATTUALE</i>	<i>19</i>
<i>5. INDAGINI IN SITO ESEGUITE</i>	<i>22</i>
<i>6. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA</i>	<i>38</i>
<i>7. IDROGEOLOGIA</i>	<i>41</i>
<i>8. SISMICITA'</i>	<i>51</i>
<i>9. CONCLUSIONI</i>	<i>53</i>
<i>10. ALLEGATI</i>	<i>57</i>

1. PREMESSA

La presente relazione è stata redatta al fine di approfondire gli aspetti geologico-tecnici relativi all'intervento in oggetto, nella fase esecutiva oltre che nella fase del progetto definitivo:

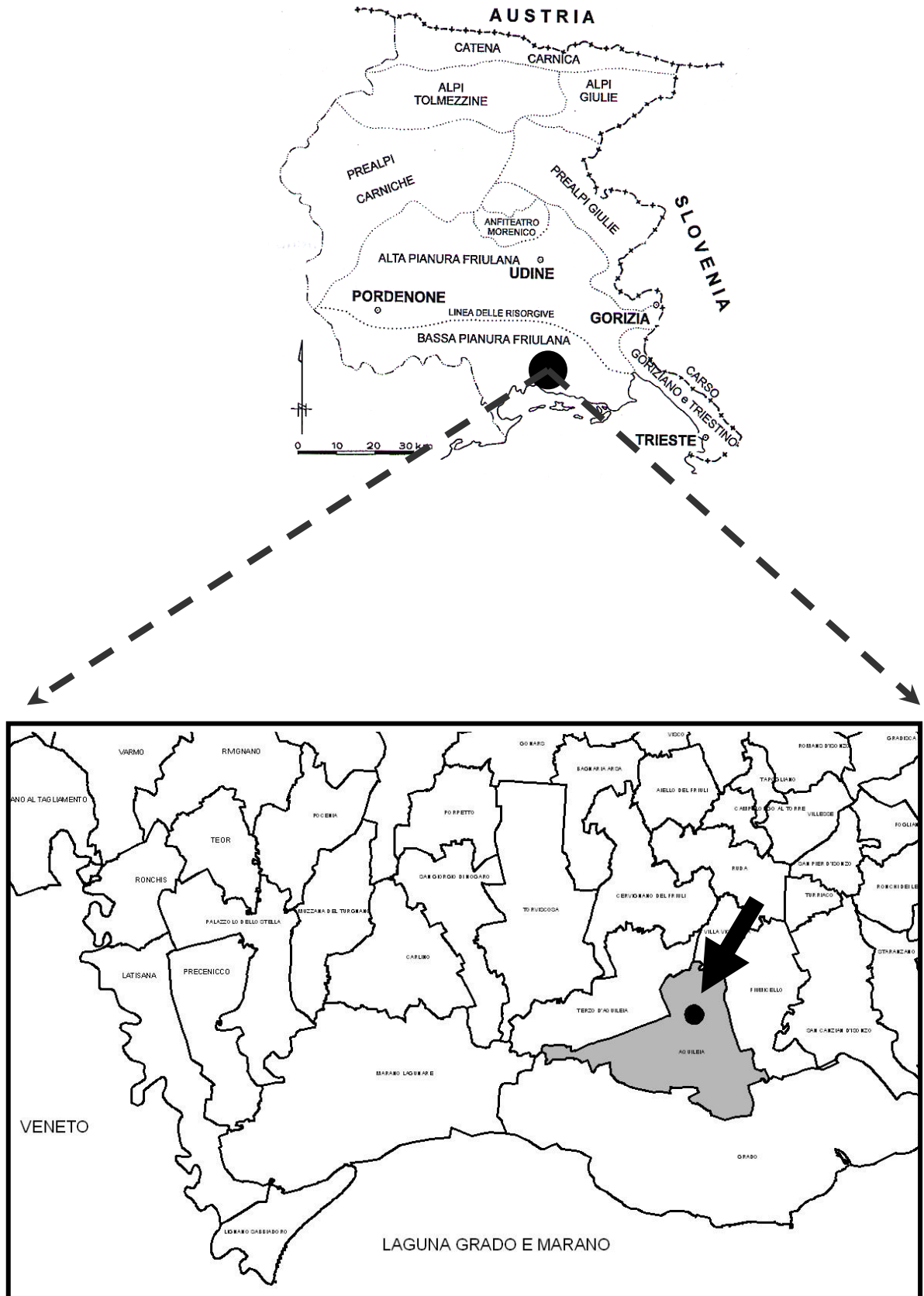
Piano di lavoro progetto definitivo – Marzo 2013:

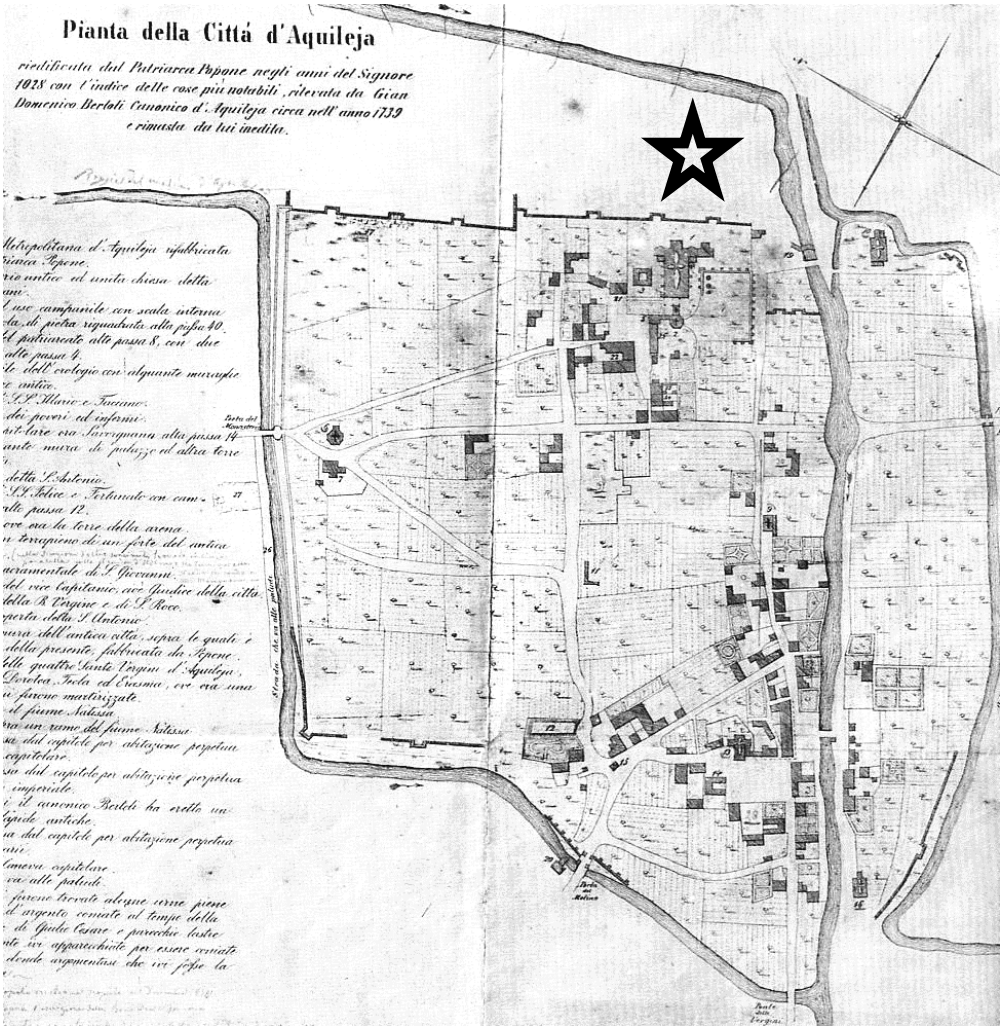
- Reperimento di informazioni di natura geologica da fonti bibliografiche, da colloqui con gli abitanti e con i tecnici dei Pubblici Uffici.
- Rilevamento geologico-tecnico in sito;
- Esame dei dati relativi alle campagne di scavo pregresse;
- Sondaggio S01 a carotaggio continuo, spinto fino a 10m con prove in foro SPT e CPT; sondaggio a S02 spinto fino a 3m e attrezzato piezometro a tubo aperto (P02).
- Verifica del livello della falda in foro P02.

Piano di lavoro progetto esecutivo – Giugno 2014:

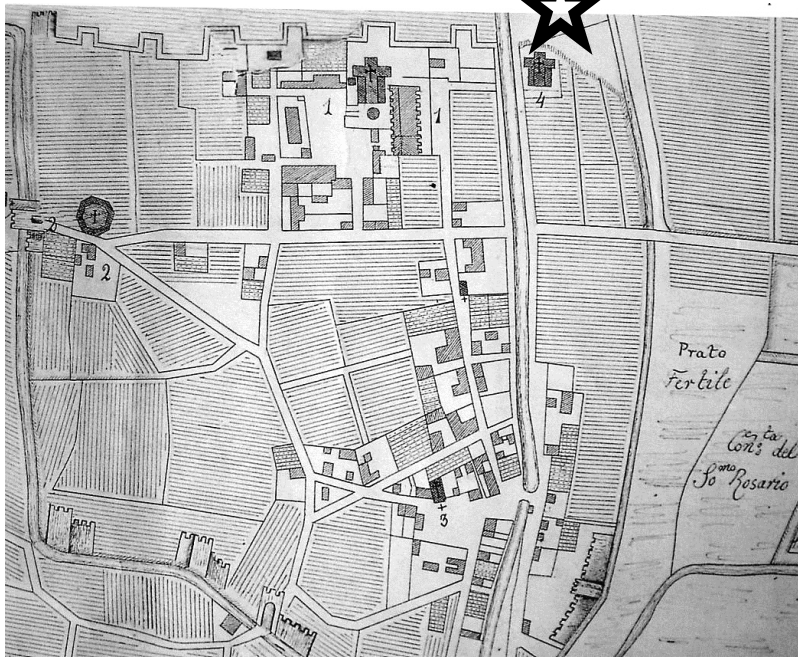
- Esecuzione di sondaggio a carotaggio continuo S03, con prove in foro, spinto fino a 10m dal p.c.;
- Esecuzione di prova statica continua con punta meccanica CPT1, 20 ton, spinta fino a rifiuto.
- Monitoraggio piezometrico.

2. COROGRAFIA ED EVOLUZIONE STORICA





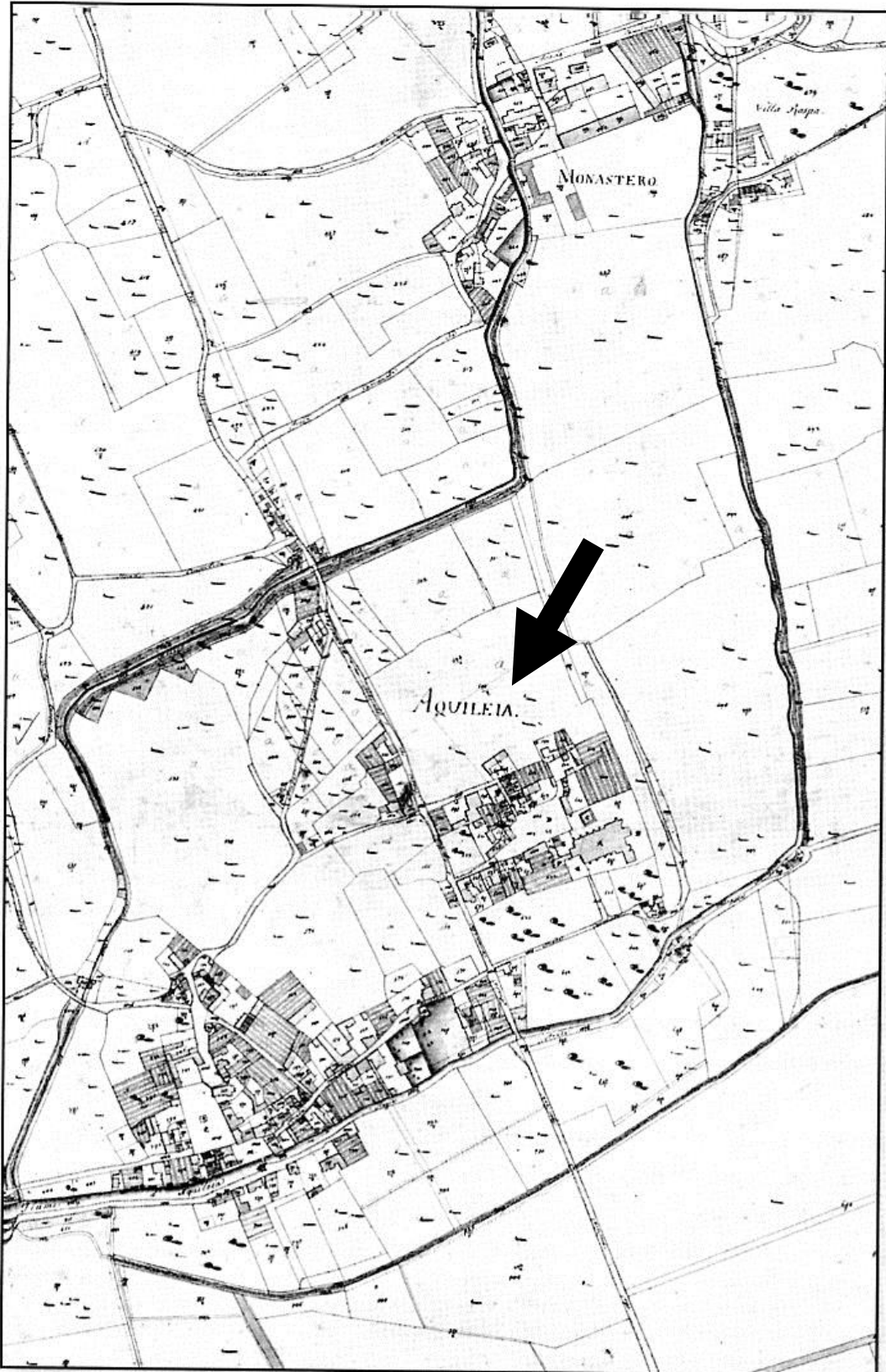
1730



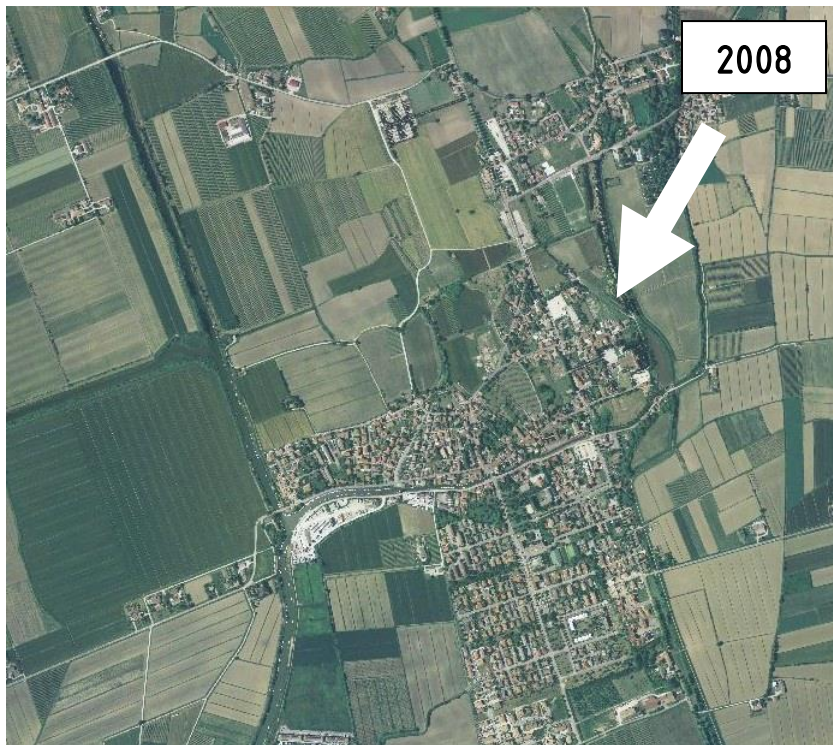
1760

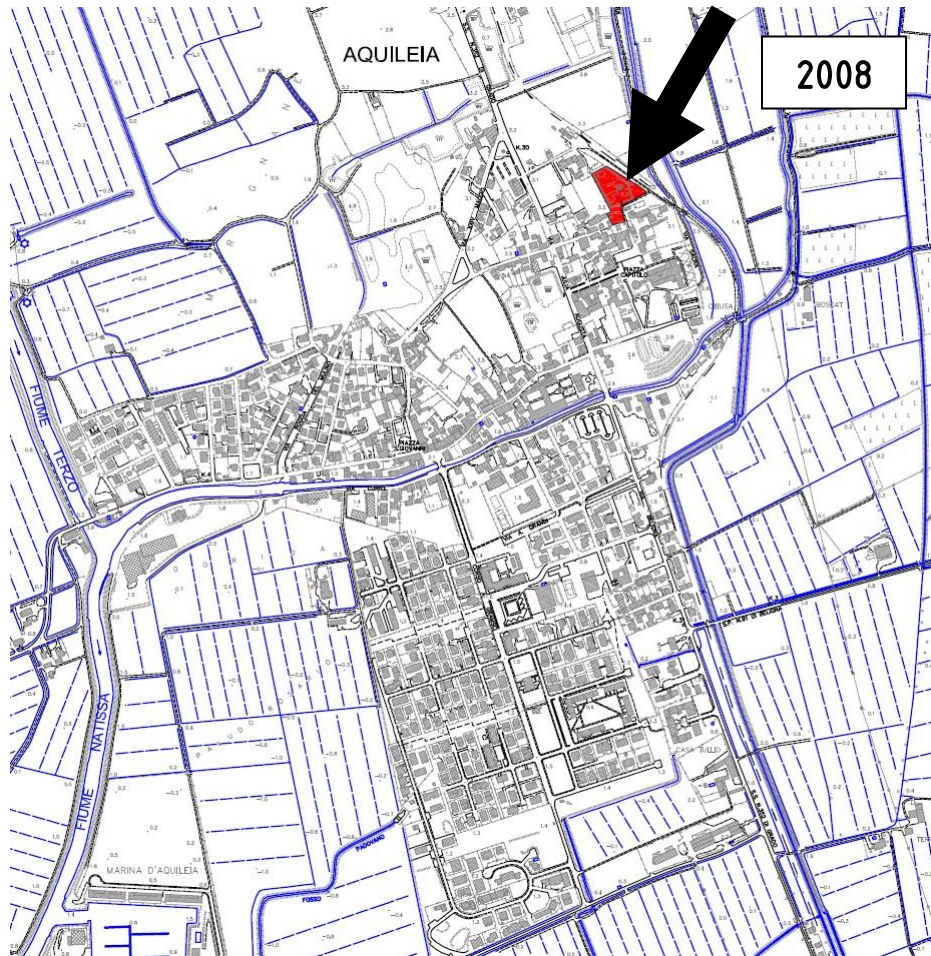
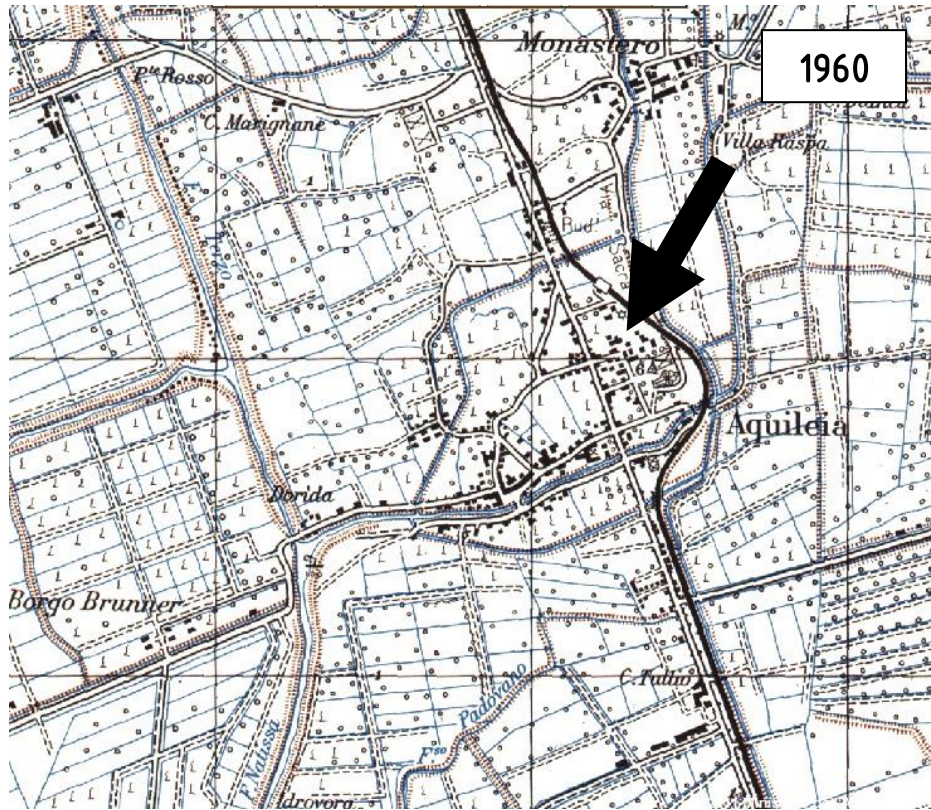


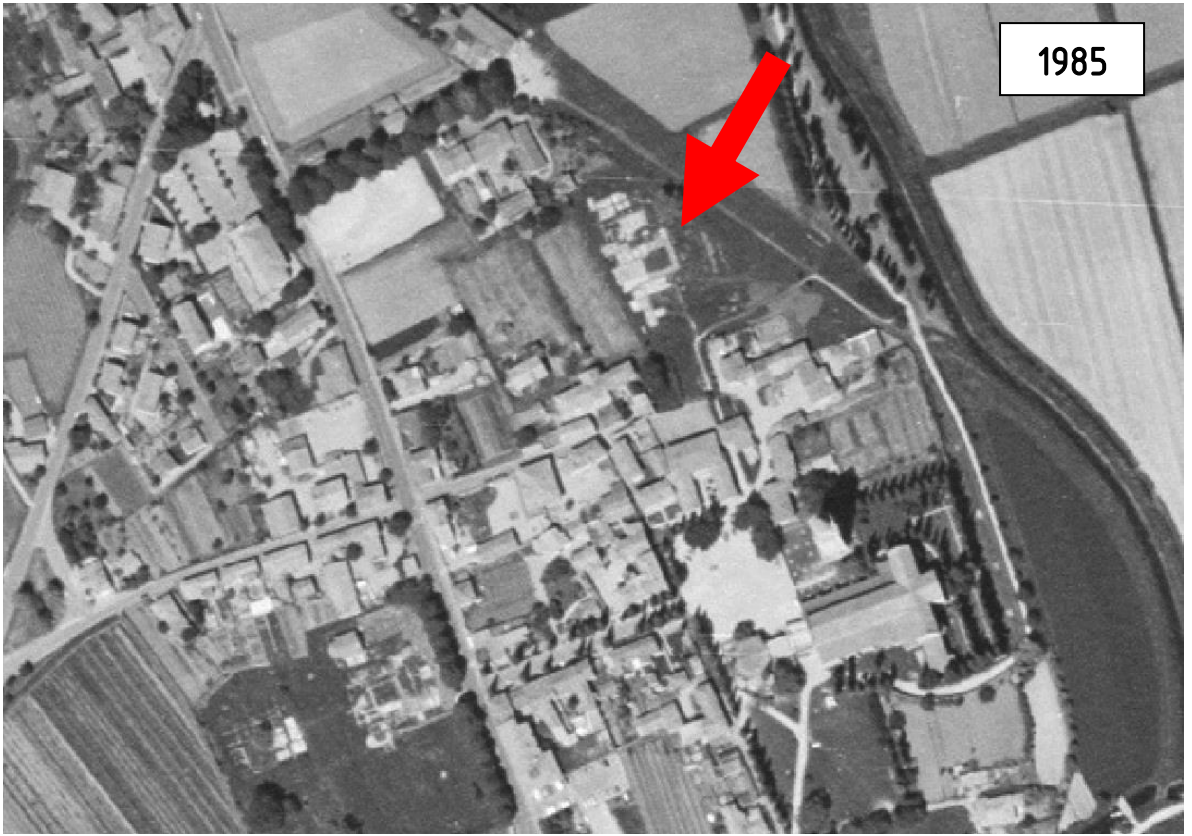
1825



Evoluzione storica recente 1960-2010







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).

3. CARATTERISTICHE GEOLOGICHE GENERALI

Qui di seguito vengono analizzate, 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	ESECUTIVO
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 incunearsi all'interno del paese, passando sotto l'Arc di S.Filîs, 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 Durîda, 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 rinvenivano 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.

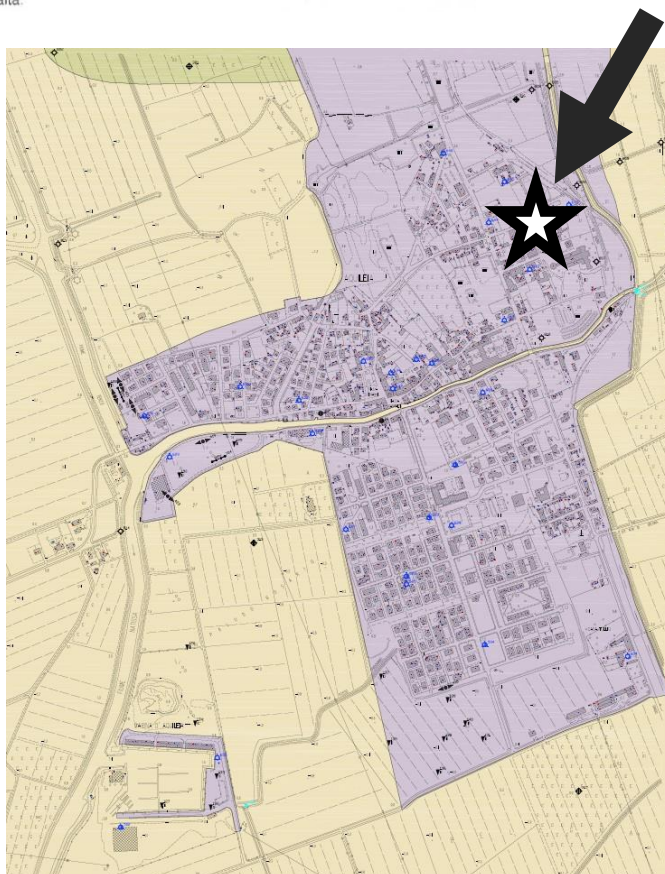


Aree potenzialmente interessate da ingressione marina ed esondazione fluviale a seguito di un eccezionale fenomeno di acqua alta (lama d'acqua prevista inferiore ai 50 cm).

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., 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.

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.

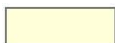


Estratto Carta Geologico Tecnica Regione FVG – Litologica superficiale

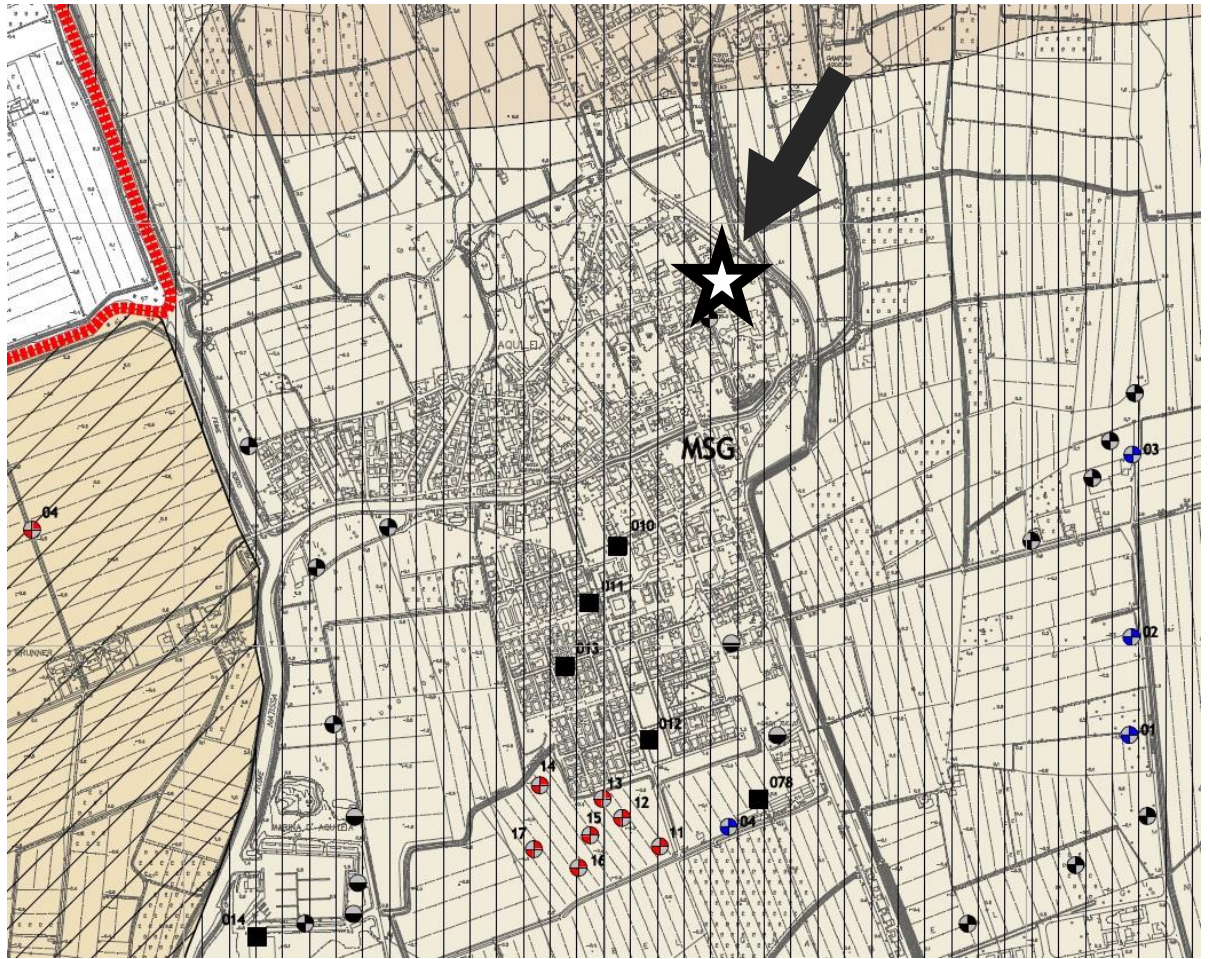
Legenda:











MS : SEDIMENTI PREVALENTEMENTE LIMOSO-ARGILLOSI CON SABBIE







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




-  Depositi alluvionali di natura prevalentemente calcareo-dolomitica. (Olocene-Attuale)
-  Terreni spesso ancora organici riposanti su depositi fluviali o di fondo lagunare (Olocene-Attuale)
-  Sedimenti prevalentemente limoso-argillosi con sabbie e ghiaie
-  Sedimenti prevalentemente limoso-argillosi con sabbie
-  Sedimenti prevalentemente sabbiosi con limi e argille
-  Sedimenti prevalentemente sabbiosi
-  Sedimenti prevalentemente argilloso-limosi organici
-  Limite amministrativo comunale di Aquileia

Indagini geognostiche svolte in lavori precedenti

-  Prove penetrometriche statiche di tipo meccanico
-  Prove penetrometriche dinamiche
-  01 Prove penetrometriche dinamiche svolte per lo Studio Geologico del 1998 e per lo Studio della lottizzazione "Ca' Tullio" e relativo numero d'ordine
-  004 Pozzi con stratigrafia censiti nel Catasto Regionale dei Pozzi e relativo numero progressivo d'ordine originale

Indagini geognostiche svolte per il presente Studio

-  01 Prove penetrometriche dinamiche e relativo numero d'ordine

Estratto Carta Geologica PRG

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.

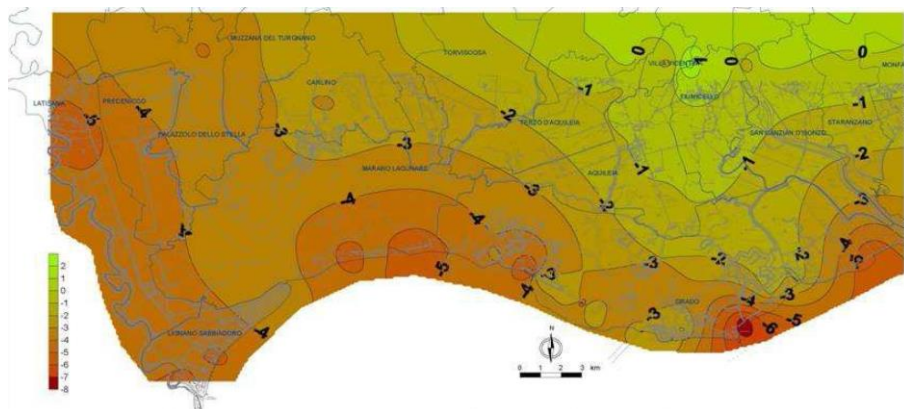
Si ritiene quindi, che lo spessore medio del materiale di riporto in corrispondenza del sito in esame sia compreso entro i 2m dal p.c. ed inglobi i resti archeologici delle strutture sopite; più in profondità sono presenti alternanze di limi-argilloso-sabbiosi con lenti di sabbie e argille organiche. 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).

4. DINAMICA EVOLUTIVA ATTUALE

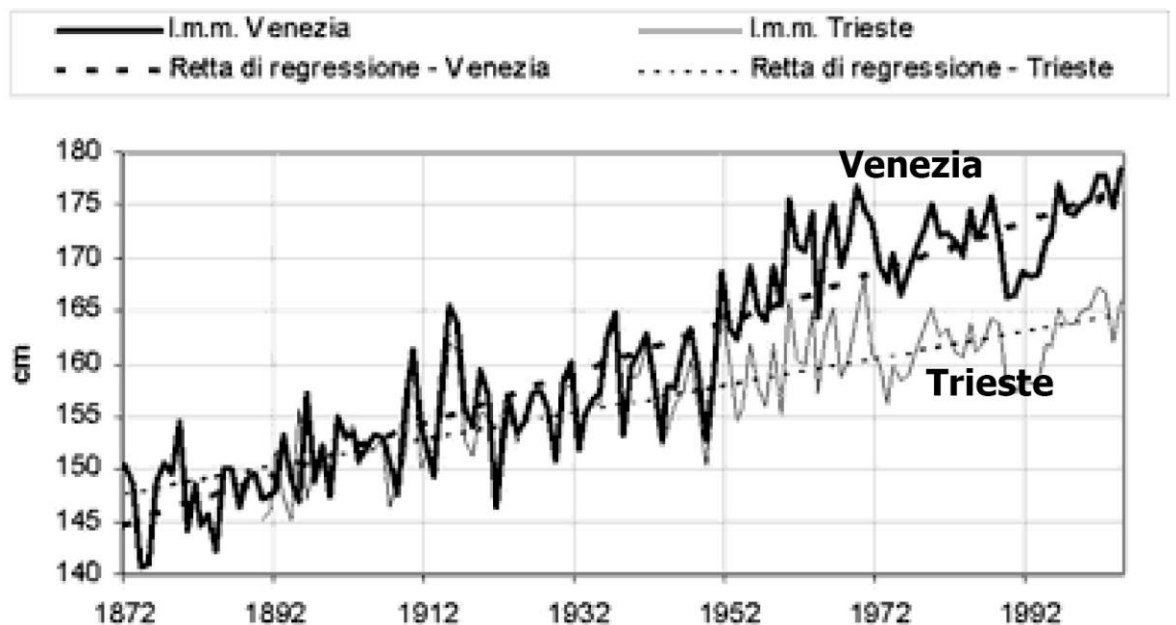
La Bassa pianura friulana è interessata dai fenomeni di subsidenza, così come tutto l'arco della pianura padana che si sviluppa dal Veneto all'Emilia- Romagna. L'intensità del fenomeno naturale in passato è stato aggravato dall'estrazione dei fluidi dal sottosuolo che negli ultimi decenni hanno accelerato 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 aggiunga 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

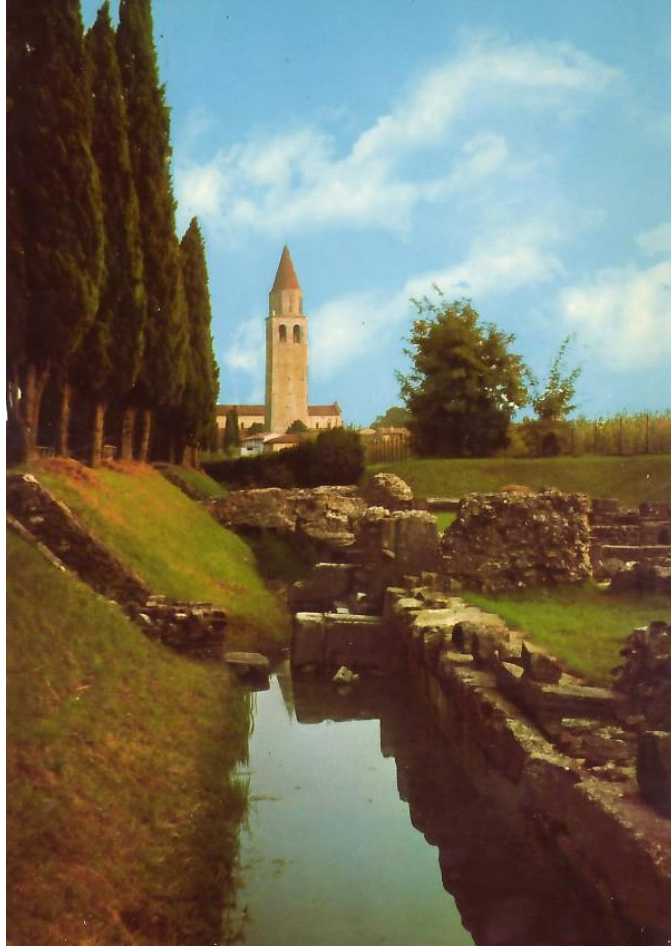


Scavi archeologici eseguiti negli anni 30

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 1.0m÷3.5m dal p.c.. 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

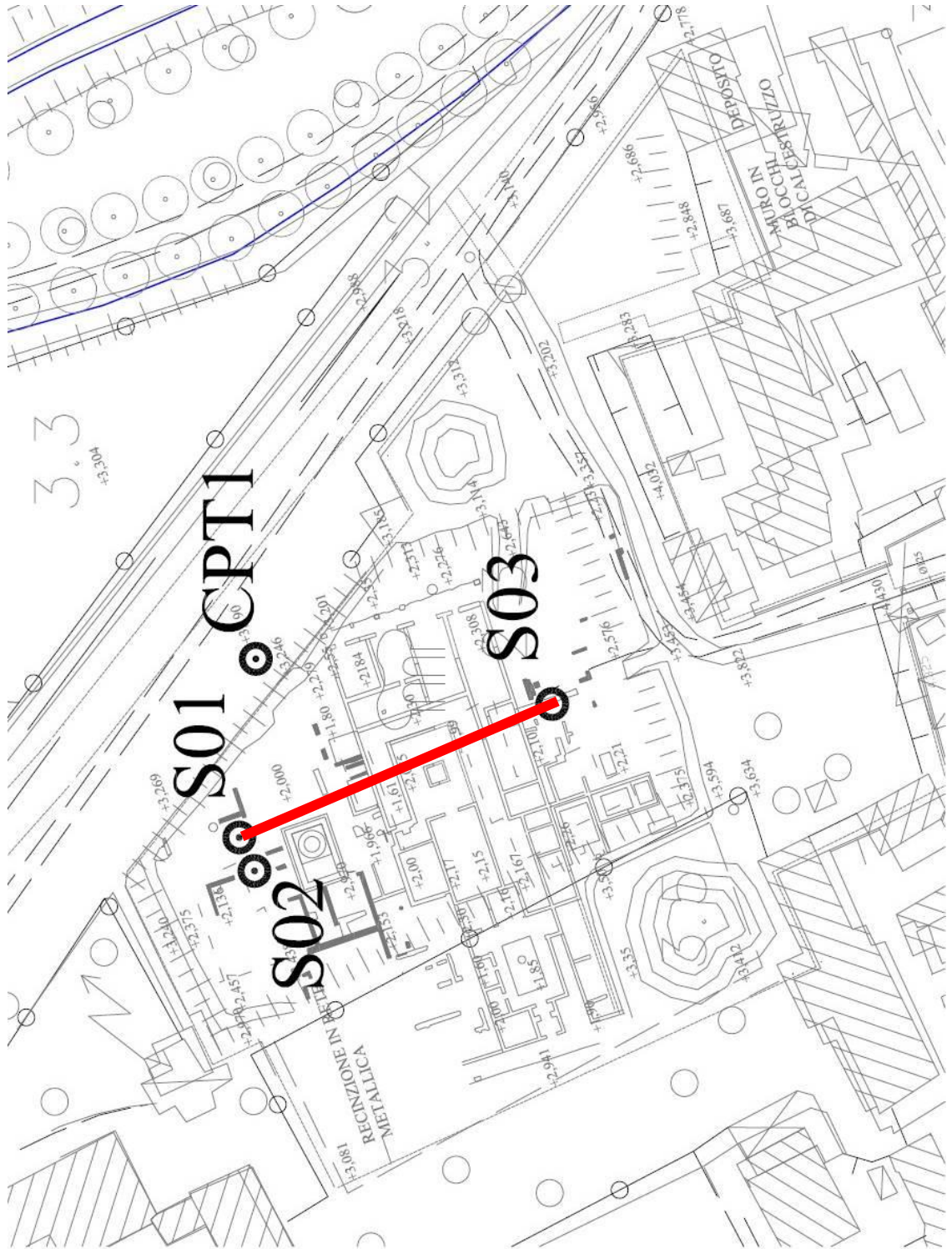


Porto antico

5. 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 distanza di circa 50m l'uno dall'altro e spinti rispettivamente a 10m. L'ubicazione dei punti perforazione è stata attentamente valutata dal Progettista, in accordo con la Soprintendenza e con la Fondazione Aquileia.

Sono stati eseguiti 3 sondaggi, di cui due 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 su CTRN con sovrapposto il rilievo di dettaglio, con indicata la traccia della sezione



Ubicazione delle indagini eseguite da foto aerea

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

Le perforazioni sono state eseguite mediante l'utilizzo di due diverse perforatrici, al fine di garantire l'accesso ed il minimo disturbo all'interno dell'area archeologica segregata.

Le perforazioni S01 ed S02 (2013) sono state eseguite con una perforatrice Nenzi GELMA 2, montata su autocarro gommato 6 assi Astra, con le seguenti caratteristiche:



Sonda Gelma 2, sondaggio S1 – SRV srl – 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;

La perforazione S03 (2014) è stata eseguita con una perforatrice Atlas Copco A30, montata su carro cingolato in gomma, con le seguenti caratteristiche:

Caratteristiche generali:

Modello: Atlas Copco A30;

Peso sonda: 4.000 Kg;

Morse: Doppia morsa diametro max 215mm.

Pompa Acqua: Pompa triplex 200l/min.

Testa di rotazione;

Velocità albero di rotazione: 0 - 430 r/min;

Coppia massima: 600 Kg/m;

Slitta di avanzamento:

Corsa utile effettiva: 3.700mm;

Tiro max 2.0 tonnellate

Centralina oleodinamica:

Motore: Same 4 cilindri;

Potenza: 30KW/1800r/min;



Sonda Atlas Copco A30 - SRV srl - 2014

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

SONDAGGI 2013

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 per le CPT, 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

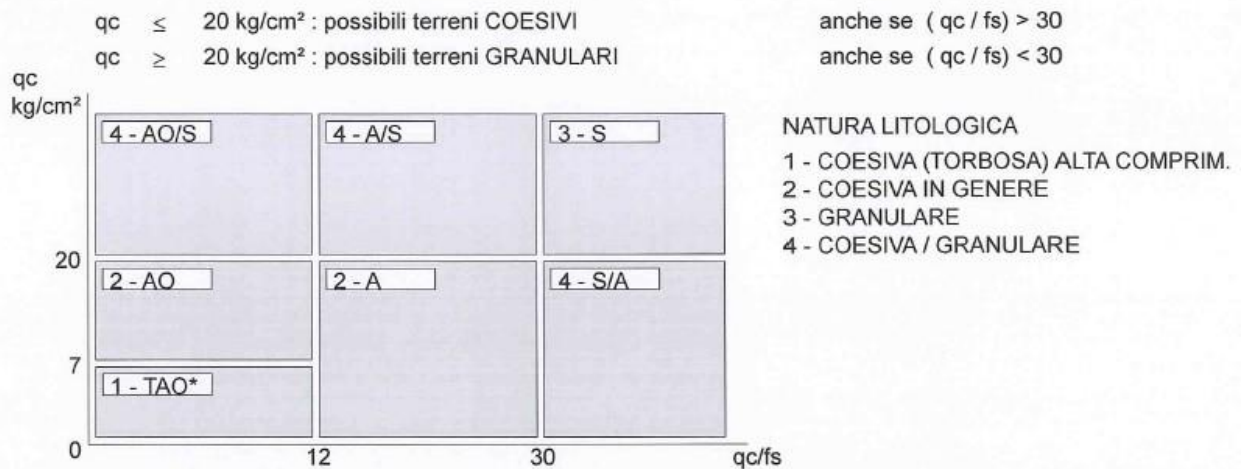
1 kPa (kiloPascal) = 1 kN/m² = 0,001 MN/m² = 0,001 MPa \approx 0,1 t/m² = 0,01 kg/cm²

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 qc / fs (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' - qc - 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 - qc]
- 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 = 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' - qc]
 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 - qc - 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 - qc - 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

INDAGINI 2014

Sondaggio S3 (2.1m s.l.m.) – Stratigrafia Sintetica – Giugno 2014

- 0.0m ÷ 0.6m Ciottoli e ghiaietto sabbioso - Riporto;
- 0.6m ÷ 2.2m Limo sabbioso rimaneggiato e con resti archeologici;
- 2.2m ÷ 3.4m Limo sabbioso poco consistente;
- 3.4m ÷ 5.0m Argilla sabbiosa;
- 5.0m ÷ 10.0m Sabbia limosa, diventa più addensata a partire da 6.6m;

Falda: -1.80m

Prove penetrometriche dinamiche in foro (SPT):

SPTA: Intervallo 1.50m-1.95m; N° colpi: 1, 1, 1 (NSPT=3);

SPTB: Intervallo 3.0m-3.45m; N° colpi: 3, 2, 4 (NSPT=6);

SPTC: Intervallo 4.5m-4.95m; N° colpi: 2, 4, 4 (NSPT=8);

CPT1 (2.1m s.l.m.) – Stratigrafia Sintetica 26/03/2013



Esecuzione prova CPT

Strumento utilizzato...	Gouda (200 kN)
Prova eseguita in data	03/07/2014
Profondità prova	13,00 mt
Falda Nr. 1:	Quota iniziale=1,60 Quota finale=13,00 mt

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm ²)	Lettura laterale (Kg/cm ²)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	qc/fs Begemann
0,20	0,0	0,0	0,0	0,0	
0,40	0,0	0,0	0,0	0,0	
0,60	0,0	0,0	0,0	0,0	
0,80	0,0	0,0	0,0	0,0	

1,00	0,0	0,0	0,0	0,0	
1,20	0,0	0,0	0,0	0,0	
1,40	0,0	0,0	0,0	0,0	
1,60	0,0	0,0	0,0	0,0	
1,80	0,0	0,0	0,0	0,0	
2,00	0,0	0,0	0,0	0,0	
2,20	0,0	0,0	0,0	0,0	
2,40	0,0	0,0	0,0	0,07	0,0
2,60	1,0	2,0	1,41	0,13	10,85
2,80	2,0	4,0	2,41	0,13	18,54
3,00	2,0	4,0	2,41	0,13	18,54
3,20	2,0	4,0	2,55	0,07	36,43
3,40	0,5	1,5	1,05	0,03	35,0
3,60	0,5	1,0	1,05	0,07	15,0
3,80	0,5	1,5	1,05	0,1	10,5
4,00	1,5	3,0	2,05	0,2	10,25
4,20	2,0	5,0	2,69	0,27	9,96
4,40	4,0	8,0	4,69	0,27	17,37
4,60	4,0	8,0	4,69	0,27	17,37
4,80	2,0	6,0	2,69	0,37	7,27
5,00	1,5	7,0	2,19	0,33	6,64
5,20	5,0	10,0	5,83	0,27	21,59
5,40	3,0	7,0	3,83	0,03	127,67
5,60	0,5	1,0	1,33	0,1	13,3
5,80	0,5	2,0	1,33	0,1	13,3
6,00	0,5	2,0	1,33	0,03	44,33
6,20	0,5	1,0	1,47	0,27	5,44
6,40	8,0	12,0	8,97	0,27	33,22
6,60	8,0	12,0	8,97	0,27	33,22
6,80	4,0	8,0	4,97	0,13	38,23
7,00	8,0	10,0	8,97	0,27	33,22
7,20	6,0	10,0	7,1	0,67	10,6
7,40	38,0	48,0	39,1	0,73	53,56
7,60	7,0	18,0	8,1	0,33	24,55
7,80	23,0	28,0	24,1	0,8	30,13
8,00	4,0	16,0	5,1	0,27	18,89
8,20	34,0	38,0	35,24	0,4	88,1
8,40	16,0	22,0	17,24	0,27	63,85
8,60	38,0	42,0	39,24	0,93	42,19
8,80	36,0	50,0	37,24	0,73	51,01
9,00	27,0	38,0	28,24	0,67	42,15
9,20	24,0	34,0	25,38	0,4	63,45
9,40	12,0	18,0	13,38	0,53	25,25
9,60	30,0	38,0	31,38	1,07	29,33
9,80	57,0	73,0	58,38	1,0	58,38
10,00	63,0	78,0	64,38	0,67	96,09

10,20	80,0	90,0	81,52	1,2	67,93
10,40	70,0	88,0	71,52	0,73	97,97
10,60	77,0	88,0	78,52	0,67	117,19
10,80	70,0	80,0	71,52	0,93	76,9
11,00	74,0	88,0	75,52	0,8	94,4
11,20	66,0	78,0	67,66	0,67	100,99
11,40	52,0	62,0	53,66	0,67	80,09
11,60	53,0	63,0	54,66	0,8	68,33
11,80	22,0	34,0	23,66	0,4	59,15
12,00	26,0	32,0	27,66	0,53	52,19
12,20	28,0	36,0	29,79	0,53	56,21
12,40	56,0	64,0	57,79	0,13	444,54
12,60	102,0	104,0	103,79	0,67	154,91
12,80	100,0	110,0	101,79	1,33	76,53
13,00	120,0	140,0	121,79	0,0	

Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm²)	fs Media (Kg/cm²)	Comp. Geotecnico	Descrizione
2,60	0,0	0,01		Stima non eseguibile
7,40	4,97	0,22	Coesivo	Argille
12,20	42,63	0,67	Incoerente	Sabbie limose
13,00	96,29	0,53	Incoerente	Sabbie dense - Sabbie con Ghiaia

CPT1 (3.25m s.l.m.) – Stratigrafia sintetica interpretata 03/07/2014

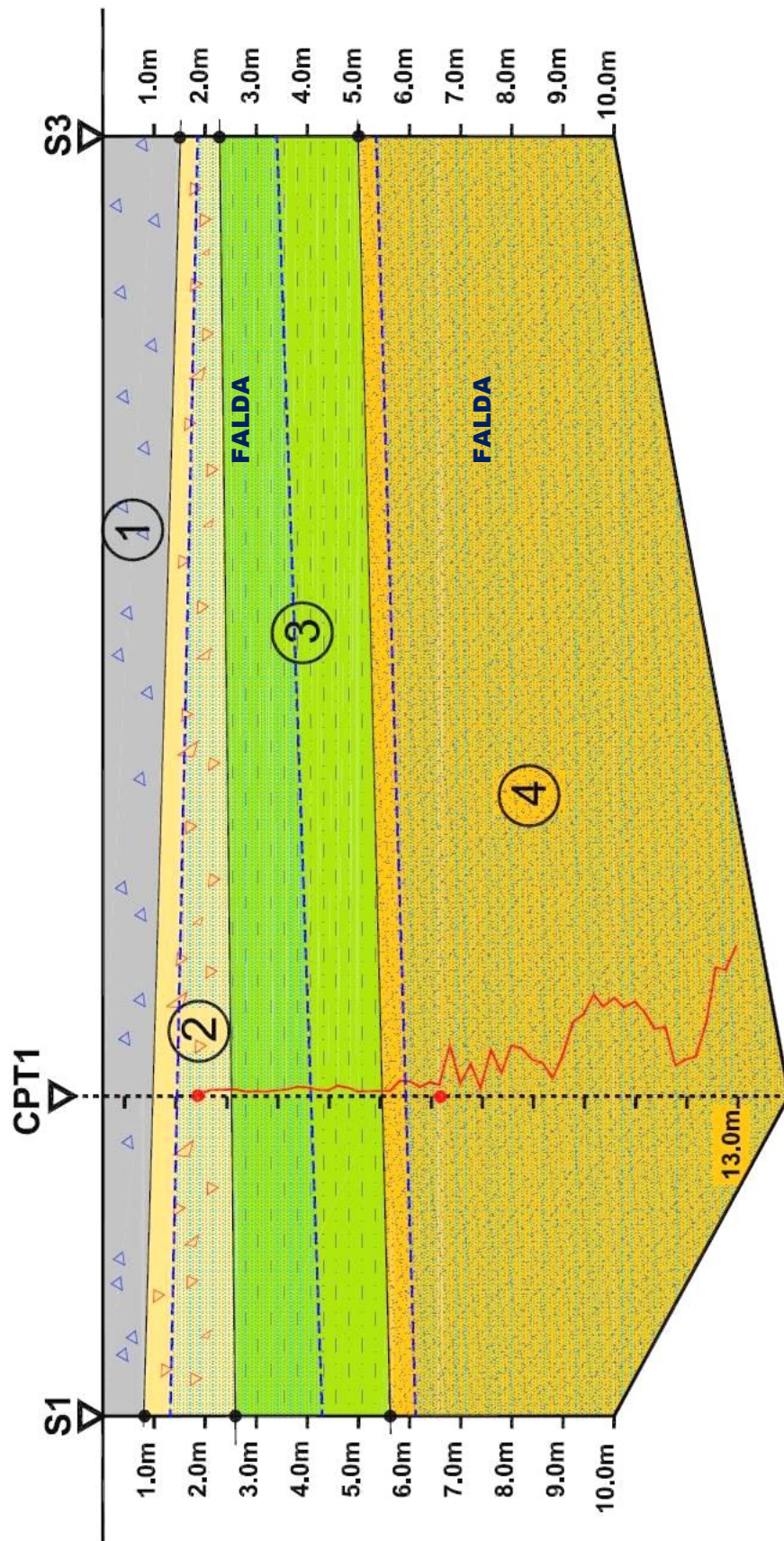
0.0m ÷ 2.6m Riporto eterogeneo e grossolano;

2.6m ÷ 7.40m Sabbia limosa e argilla poco consistente;

7.40m ÷ 13.0m Sabbia limosa da mediamente addensata ad addensata;

Qui di seguito si propone una ricostruzione geologica 2D, interpolata fra i due sondaggi S1 e S2, con sovrapposta l'interpretazione ottenuta della prova statica CPT1, proiettata sul piano della sezione.

N.B. la prova statica CPT1, ha incontrato riporto eterogeneo antropico fino a -2.6m dal p.c, attraversato con pre-foro, e la quota del piano campagna di inizio prova risulta sopra elevata rispetto a quella dei sondaggi di circa 1.15m.



Sezione geologica indicativa, interpolata fra le prove S1, S2 e CPT1. LA falda è stata inserita nella posizione intercettata al momento delle indagini

Orizzonti litotecnici fondamentali individuati nella sezione geologica:

- 1: Riporto eterogeneo recente poco consistente;
- 2: Limo sabbioso con resti archeologici;
- 3: Limo sabbioso e argilla scarsamente consistenti;
- 4: Sabbia da mediamente addensata ad addensata in falda

Sulla base delle risultanze sopra esposte, si propone qui di seguito un modello geotecnico del primo sottosuolo:

6. 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.

Il modello sintetizza una serie di orizzonti litotecnici, individuati soprattutto a partire dall'esito delle prove eseguite in sito.

Orizzonte litotecnico	Profondità media da p.c.	Comportamento	Pesi volume (t/m ³) dry/sat	Cu (Kg/cm ²)	Φ (°)	Dr (%)
1+2 - Sabbia limo-argillosa con laterizi e resti ARCHEOLOGICI	0.0m ÷ 2.2m	Comportamento misto, prev granulare	1.7/1.9	-	29°	20÷30
3 - Limo sabbioso e Argilla poco consistenti	2.2m ÷ 6.5m	Comportamento prev coesivo	1.8/2.0	Cu=0.3+0.4	-	-

4a - Sabbia <i>limosa</i> <i>mediamente</i> <i>addensata</i>	6.5m ÷ 9.0m	Comportamento granulare	1.8/2.0	-	33°	50+60
4b - Sabbia <i>scarsamente</i> <i>limosa</i> <i>addensata</i>	9.0m ÷ 13m	Comportamento granulare	1.8/2.0	-	38°	80+100

Falda (profondità indicative):

1° falda: 1.5m÷3.5m

2° falda: >5.5m

N.B.: Le profondità si ritengono riferite da boccaforo, ovvero da circa +2.1m s.l.m. (da rilievo Progettista).

N.B. Si segnala la presenza dell'orizzonte 3 ASSAI POCO CONSISTENTE e ALTAMENTE COMPRESSIBILE (Modulo Edometrico≈25Kg/cmq circa), presente fino a circa 6.5m e costituito da limi sabbiosi e argilla.

Nel corso delle fasi di scavo/perforazione dovrà essere presente il geologo al fine di verificare il modello geotecnico sopra esposto e la stabilità di eventuali fronti di scavo.

A tal proposito si ricorda che le pareti di scavo possiedono una capacità di autosostentamento sub-verticale (50°circa) sufficiente solo nel brevissimo periodo ed in zona NON satura (ovvero sopra il livello di falda); in ogni caso, qualora fossero previste lavorazioni all'interno di eventuali scavi con presenza di personale, si dovrà:

- provvedere all'approntamento delle necessarie misure di sostegno provvisori per tutta l'altezza dei fronti di scavo;
- evitare l'accumulo di pesi in prossimità dell'orlo di scarpata;

- verificare le interferenze fra gli scavi e le strutture poste nelle immediate vicinanze; anche in ragione della necessità di provvedere all'agottamento dell'acqua di falda.

Si ricorda inoltre che, in base a quanto disposto al punto 6.8.6.2. del D.M. 14.01.2008, *"per scavi in trincea a fronte verticale di altezza superiore ai 2 m, nei quali sia prevista la permanenza di operai, e per scavi che ricadano in prossimità di manufatti esistenti, deve essere prevista una armatura di sostegno delle pareti di scavo"*.

In corso d'opera, al fine di preservare le strutture murarie esistenti e consentire l'adeguato recupero dell'orizzonte archeologico esistente, si propone di utilizzare la seguente tecnica di perforazione per la posa in opera dei micropali:

- **Attraversamento muro in pietra:** perforazione a rotazione e carotaggio continuo con circolazione d'acqua e corona diamantata, in modo da evitare il danneggiamento del muro e realizzare un foro cilindrico con geometria regolare;
- **Campionamento Orizzonte Archeologico** (fino a circa -2.5m dal p.c.), presente al di sotto del muro; tale orizzonte dovrà essere campionato mediante carotaggio continuo e carotiere semplice apribile a secco, fino ad intercettare l'orizzonte sterile; i campioni prelevati saranno conservati in apposite cassette, e ciascuna perforazione sarà controllata dal geologo di cantiere, al fine di verificare l'esatta profondità dell'interfaccia archeologico/sterile; si dovrà poi porre particolare attenzione a non comprimere troppo il campione, osservando un cambio di manovra ad ogni variazione significativa di resistenza alla perforazione. Sarà quindi necessaria la supervisione del geologo di cantiere (assistente alla D.L.);

- **Perforazione a distruzione:** una volta attraversato l'orizzonte archeologico e fino a fondo foro, la perforazione potrà essere proseguita a rotazione e distruzione di nucleo (orizzonti sterili) mediante l'utilizzo di opportuno tricono e circolazione d'acqua.
In tal modo la perforazione eviterà l'impasto del martello ed eventuali vibrazioni, fumi e fontane di fango.

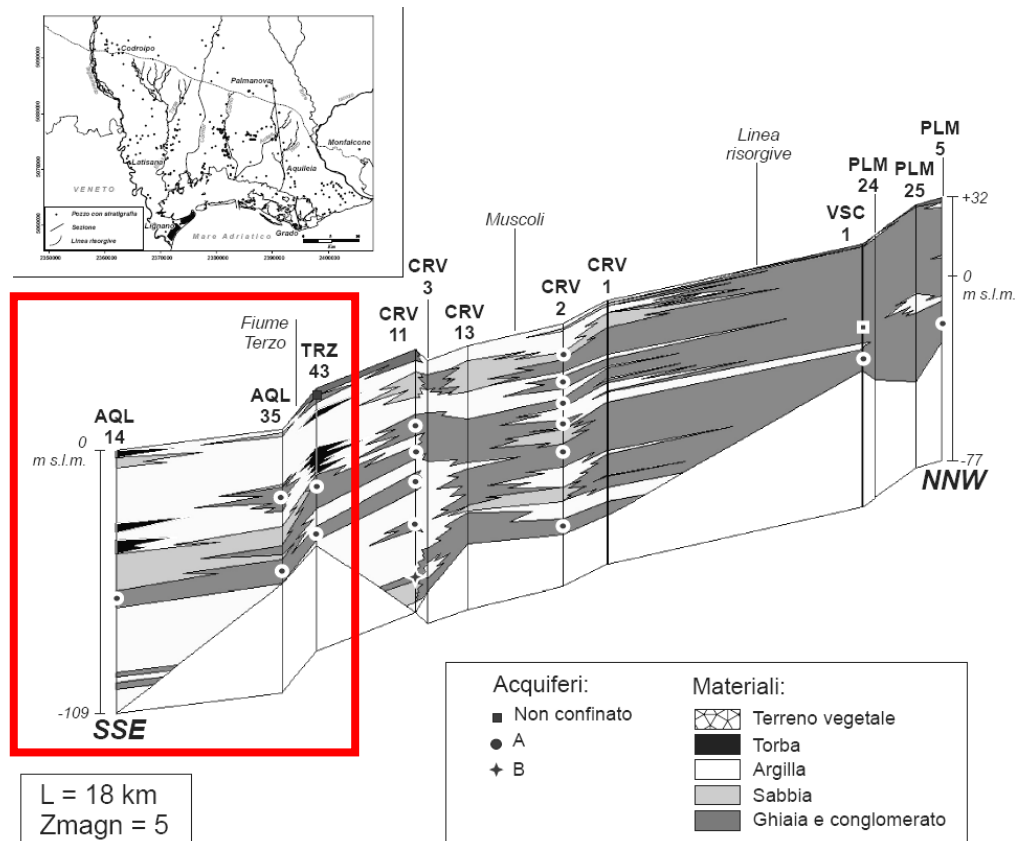
7. IDROGEOLOGIA

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.

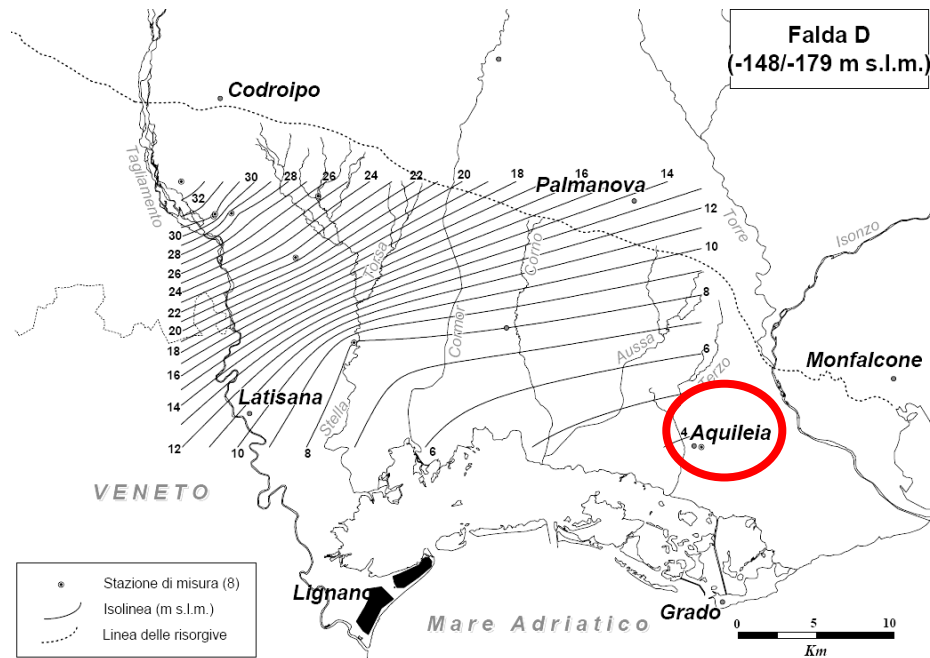
Nel 1999 Cucchi, Massari ed Oberti pubblicano un articolo sulla classificazione delle falde artesiane della Pianura Friulane, individuando almeno 6 categorie a Sud della linea delle risorgive, fino ad una profondità di 290 mlm, e distinte dalle lettere A, B, C, D, E ,F:



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.

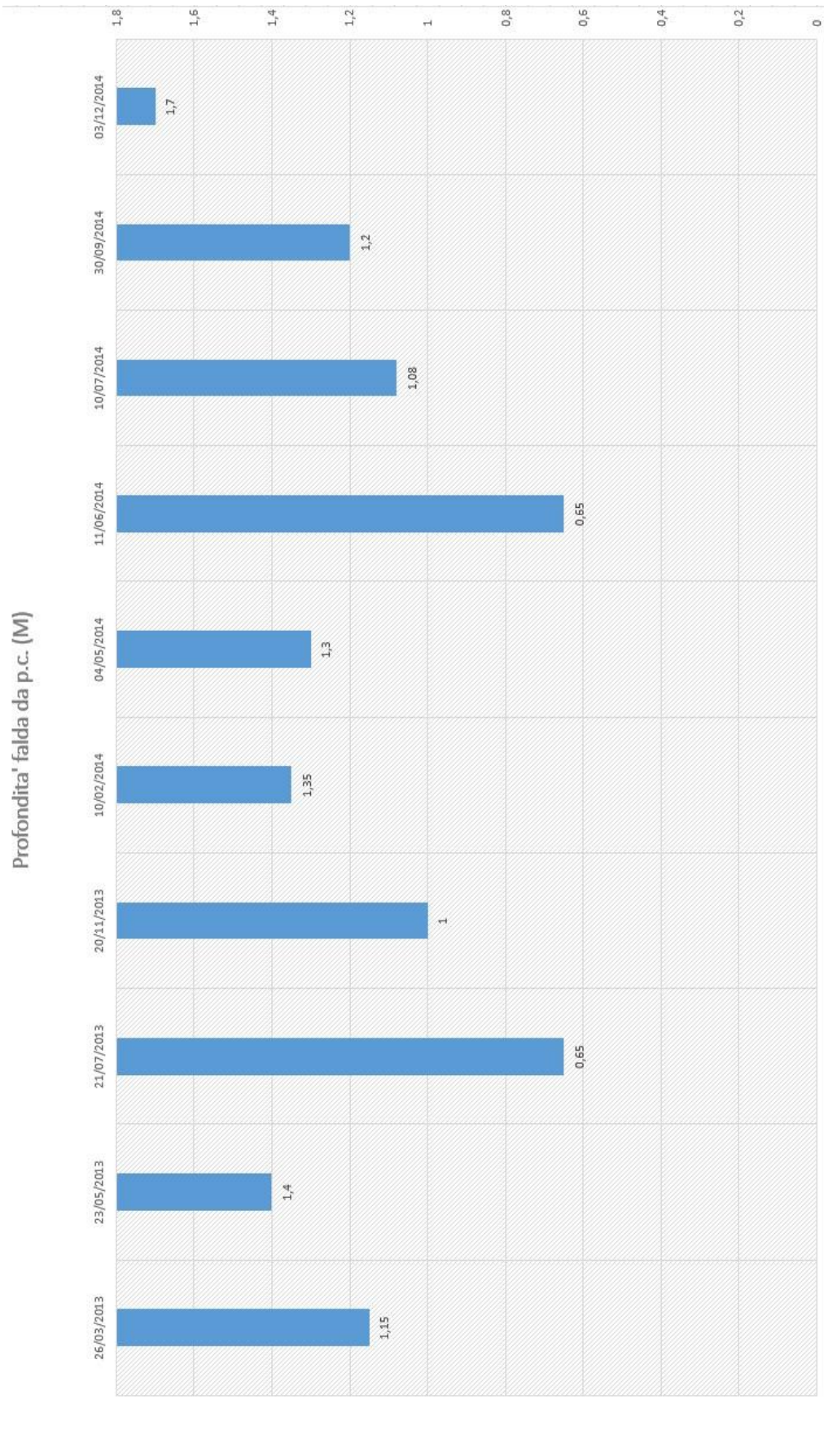
Falde del sistema confinato	Prelievo ($10^6 \text{ m}^3/\text{anno}$)
A	276
B	167
C	18
D	26
E	16
F	16
G	2
H	5

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 potenzialmente allagabile.

Nella fattispecie si sottolinea quanto segue:

- nel corso delle indagini in sito, condotte a partire da quota di circa +2.2m s.l.m., è stata intercettata una prima falda mediamente 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 letto dall'orizzonte coesivo consistente ed asciutto 3, a partire da circa -5.5m circa da boccaforo.
- dai dati bibliografici, si evince che l'evoluzione naturale del sito in esame abbia comportato un progressivo 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.

Il rilevamento della falda è stato eseguito manualmente con apposito freatimetro in corrispondenza del foro attrezzato S2, nelle date indicate nel grafico. I dati ottenuti fino ad ora dal monitoraggio piezometrico eseguito in corrispondenza del foro S02, vengono qui di seguito schematizzati:



Andamento della variazione del livello di falda nel periodo 2013-2014

Da questo monitoraggio preliminare si evidenzia una massima escursione positiva della falda fino a -0.5m dal p.c., misurata il mese di Dicembre 2014. Si ritiene che il giorno 07/11/2014, si sia verificato un ulteriore impinguamento del livello freatico, testimoniato dall'allagamento delle "fosse archeologiche" evidenziato dalla documentazione fotografica.

A titolo indicativo, si riportano qui di seguito alcune immagini dell'area Fondo Cossar, relative al periodo assai piovoso di Novembre - Dicembre 2014.



Piezometro P2

07/11/2014



08/11/2014



10/11/2014

Fondazione Aquileia - Fondo Cossar 2014-11-10 10:47:07



11/11/2014

Fondazione Aquileia - Fondo Cossar 2014-11-11 08:33:45



19/11/2014



03/12/2014



A titolo indicativo si riporta qui di seguito l'andamento delle precipitazioni in corrispondenza dell'unico pluviometro ufficiale più vicino, ovvero quello

di "Grado Marea", a Grado (GO).

Giorno	Precipitazione cumulata 24 ore (mm)
01/11/2014	0
02/11/2014	0
03/11/2014	0
04/11/2014	0.2
05/11/2014	62
06/11/2014	63
07/11/2014	41
08/11/2014	15
09/11/2014	3.8
10/11/2014	0
11/11/2014	7.8
12/11/2014	6.1
13/11/2014	1.2
14/11/2014	0
15/11/2014	4.1
16/11/2014	6
17/11/2014	38
18/11/2014	8.4
19/11/2014	0
20/11/2014	0
21/11/2014	0

Andamento delle precipitazioni (Stazione Meteo più vicina - Grado marea) dati Protezione Civile Regionale

I dati consentono di eseguire una correlazione, in termini del tutto indicativi, fra le altezze di pioggia e l'andamento del livello di falda.

Nel caso in cui venga eseguito il "prototipo" di progetto, risulta consigliabile intraprendere un monitoraggio della Falda eseguito in continuo, mediante apposito sensore piezometrico digitale installabile in corrispondenza del foro attrezzato P2.

Congiuntamente potrebbe essere montata una centralina meteo con trasmissioni dati in remoto, in modo da correlare le altezze di pioggia con il livello freatico, ed ottenere una serie dati che attualmente manca in Aquileia.

L'ideale sarebbe istituire un monitoraggio dell'intero intorno Fondo Cossar, anche per valutare le interazioni della vicina Roggia Orientale.

Il presente monitoraggio preliminare indica comunque periodici allagamenti delle "fosse archeologiche" presenti nel Fondo Cossar.

8. 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
Amax [m/s²]	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 rigidità, 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 ($St=1$).

9. 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 PROSSIMA AL PIANO CAMPAGNA

PERICOLOSITÀ GEOLOGICHE/IDRAULICHE INDIVIDUATE DAL P.A.I.	NESSUNA
PERICOLOSITÀ GEOLOGICHE/IDRAULICHE INDIVIDUATE DALLO STUDIO GEOLOGICO PER IL P.R.G.:	NESSUNA

In particolare:

Si segnala la presenza dell'orizzonte 3 ASSAI POCO CONSISTENTE e ALTAMENTE COMPRESSIBILE (Modulo Edometrico \approx 25Kg/cmq circa), presente fino a circa 6.5m e costituito da limi sabbiosi e argilla.

Nel corso delle fasi di scavo/perforazione dovrà essere presente il geologo al fine di verificare il modello geotecnico sopra esposto e la stabilità di eventuali fronti di scavo.

A tal proposito si ricorda che le pareti di scavo possiedono una capacità di autosostentamento sub-verticale (50°circa) sufficiente solo nel brevissimo periodo ed in zona NON satura (ovvero sopra il livello di falda); in ogni caso, qualora fossero previste lavorazioni all'interno di eventuali scavi con presenza di personale, si dovrà:

- provvedere all'approntamento delle necessarie misure di sostegno provvisori per tutta l'altezza dei fronti di scavo;
- evitare l'accumulo di pesi in prossimità dell'orlo di scarpata;
- verificare le interferenze fra gli scavi e le strutture poste nelle immediate vicinanze; anche in ragione della necessità di provvedere all'agottamento dell'acqua di falda.

In corso d'opera, al fine di preservare le strutture murarie esistenti e consentire l'adeguato recupero dell'orizzonte archeologico esistente, si

propone di utilizzare la seguente tecnica di perforazione per la posa in opera dei micropali:

- **Attraversamento muro in pietra:** perforazione a rotazione e carotaggio continuo con circolazione d'acqua e corona diamantata, in modo da evitare il danneggiamento del muro e realizzare un foro cilindrico con geometria regolare;
- **Campionamento Orizzonte Archeologico** (fino a circa -2.5m dal p.c.), presente al di sotto del muro; tale orizzonte dovrà essere campionato mediante carotaggio continuo e carotiere semplice apribile a secco, fino ad intercettare l'orizzonte sterile; i campioni prelevati saranno conservati in apposite cassette, e ciascuna perforazione sarà controllata dal geologo di cantiere, al fine di verificare l'esatta profondità dell'interfaccia archeologico/sterile; si dovrà poi porre particolare attenzione a non comprimere troppo il campione, osservando un cambio di manovra ad ogni variazione significativa di resistenza alla perforazione. Sarà quindi necessaria la costante supervisione del geologo di cantiere (assistente alla D.L.);
- **Perforazione a distruzione:** una volta attraversato l'orizzonte archeologico e fino a fondo foro, la perforazione potrà essere proseguita a rotazione e distruzione di nucleo (orizzonti sterili) mediante l'utilizzo di opportuno tricono e circolazione d'acqua. In tal modo la perforazione eviterà l'impasto del martello ed eventuali vibrazioni, fumi e fontane di fango.

Per quanto attiene al livello della falda freatica superficiale, si sottolinea la vicinanza della stessa al piano campagna, con periodici allagamenti delle "Fosse Archeologiche".

Nel caso in cui venga eseguito il "prototipo" di progetto, risulta consigliabile intraprendere un monitoraggio della Falda eseguito in continuo,

mediante apposito sensore piezometrico digitale installabile in corrispondenza del foro attrezzato P2.

Congiuntamente potrebbe essere montata una centralina meteo con trasmissioni dati in remoto, in modo da correlare le altezze di pioggia con il livello freatico, ed ottenere una serie dati che attualmente manca in Aquileia.

L'ideale sarebbe istituire un monitoraggio dell'intero intorno Fondo Cossar, anche per valutare le interazioni della vicina Roggia Orientale.

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.

Massimo Valent – geologo

10. ALLEGATI

INDAGINI IN SITO

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA S01

POSIZIONAMENTO S01 - 26/03/2013



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA S01 cassetta A



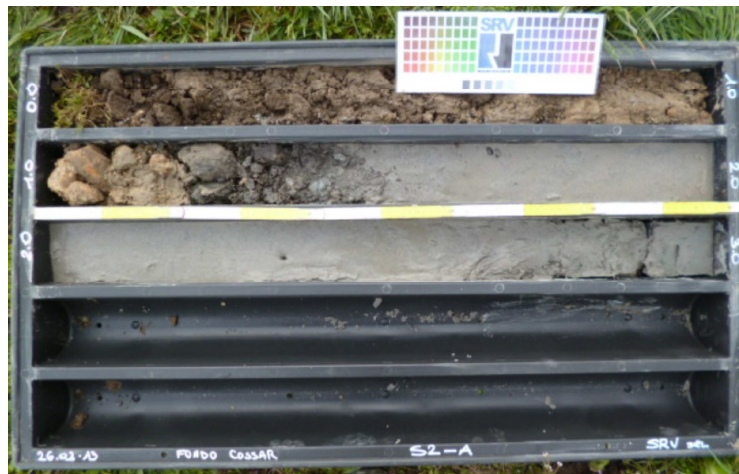
0.0m	Ghiaietto con ciottoli in matrice limo-sabbiosa - RIPOSTO		1.0m
1.0m	Archeo	Sabbia limosa	2.0m
2.0m	Sabbia limosa	Limo sabbioso	3.0m
3.0m	Limo sabbioso	Argilla limosa	4.0m
4.0m	Argilla limosa		5.0m

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA S01 cassetta B



5.0m	Argilla limosa	Sabbia	6.0m
6.0m	Sabbia		7.0m
7.0m	Sabbia		8.0m
8.0m	Sabbia		9.0m
9.0m	Sabbia		10.0m

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA S01 cassetta A



0.0m	Ghiaietto con ciottoli in matrice limo-sabbiosa - RIPORETO		1.0m
1.0m	Archeo	Sabbia limosa	2.0m
2.0m	Sabbia limosa	Limo sabbioso	3.0m
3.0m			4.0m
4.0m			5.0m

SRV
INDAGINI GEOLOGICHE SRL
 Via Rocca, 13 - 33053 LATISANA (UD)
 Partita IVA 02531030308
 R.E.A.: UD 268292

Massimo Valent

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA S03

POSIZIONAMENTO S03 - 11/06/2014



ATLAS COPCO A 30 - SRV indagini geologiche srl

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA S03 cassetta A



0.0m	RIPORTO		ARCHEO 1		1.0m
1.0m			ARCHEO 2	ARCHEO 3	2.0m
2.0m	ARCHEO 4	Limo sabbioso			3.0m
3.0m	Limo sabbioso				4.0m
4.0m	Limo sabbioso				5.0m

COMMITTENTE: FONDAZIONE AQUILEIA - AQUILEIA (UD)
PROGETTO: CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA
LOCALITA': FONDO COSSAR

Sondaggio n.:

S3

Supervisione: geol. M. Valent - Sondatore Gianni Corona (SRV srl) - Sonda: Atlas Copco A30

Coordinate: 2393244 E - 5069917 N
 Quota: 2.10m s.l.m.

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA S03 cassetta B



5.0m	Sabbia limosa		6.0m
6.0m	Sabbia limosa	Sabbia	7.0m
7.0m	Sabbia limosa		8.0m
8.0m	Sabbia limosa	Torba	9.0m
9.0m	Sabbia limosa		10.0m

SRV
 INDAGINI GEOLOGICHE SRL
 Via Rocca, 13 - 33053 LATISANA (UD)
 Partita IVA 02531030308
 R.E.A.: UD 268292

Gianni Corona

CANTIERE FONDO COSSAR - AQUILEIA

PROVA DI CARICO SPEDITIVA SU PALO DI PROVA 18/06/2014

FONDO COSSAR - AQUILEIA



Prova di carico installazione





Prova di carico rifiuto



Prova di carico rifiuto



Perforatrice A30 – cantiere Fondo Cossar

Prova di carico sperimentale speditiva su palo.

Diametro Palo: 76mm;

Spessore: 6mm;

Lunghezza palo: 3.0m;

Infissione: 2.45m;

Fuori terra palo: 0.55m;

Modalità esecutive palo:

- Perforazione eseguita a rotazione a secco;
- Diametro 127mm;
- Inserimento del palo all'interno del rivestimento;
- Intasamento con sabbia fina;

Data prova 18/06/2014 – ore 12.00

Soggetti in cantiere: dott. Geol. Massimo Valent (SRV) – Sondatore Gianni Corona (SRV) – Ing. Marino del Piccolo (Progettista Strutture);

Foro di prova diametro: 127mm;

Foro di prova profondità: 2.45m

Falda profondità: -1.2m;

Stratigrafia: vedere Sondaggio S3;

Sonda perforatrice: Atlas Copco A30;

Peso perforatrice: 4.150Kg;

Lunghezza perforatrice: 2.400mm;

Larghezza perforatrice: 1.080mm;

Altezza perforatrice: 3.610mm-5.110mm;

Tiro carro cingolato: 7.000Kg;

Velocità traslazione: 3.0 Km/h

Testa rotazione perforatrice: BBR 360 – coppia max 360Kgm

Corsa utile: 2.200mm;

Motore: Same Kw 30

Risultati:

Trazione palo applicata a +0.45m dal p.c., ovvero a -0.1m dalla testa palo.

Tiro applicato	Tempo	Spostamento testa palo
3.500Kg	5"	2cm
7.000Kg	15"	5cm
7.000Kg	Rifiuto	14cm

Geol. Massimo Valent





FONDAZIONE AQUILEIA

INTERVENTI DI VALORIZZAZIONE E MUSEALIZZAZIONE DEL FONDO COSSAR
PROGETTO ESECUTIVO – SECONDO STRALCIO

INTEGRAZIONI

1. DATI GENERALI

REGIONE	FRIULI-VENEZIA GIULIA
PROVINCIA	UDINE
COMUNE	AQUILEIA
LOCALITA'	FONDO COSSAR
PROGETTO	INTERVENTI DI VALORIZZAZIONE FONDO COSSAR
PROGETTISTA STRUTTURE	ING. MARINO DEL PICCOLO - UDINE
COMMITTENTE	FONDAZIONE AQUILEIA
CONTENUTI	INTEGRAZIONI VALIDAZIONE PROGETTO ESECUTIVO
DATA	2015

2. RIFERIMENTI NORMATIVI

- D.M. LL.PP. del 14/02/1992.

Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.

-

- Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG.

Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996

Con particolare riferimento a:

- D.M. 11/3/88; Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.
- Nuove norme tecniche per le costruzioni - D.M. 14/01/2008
- Circolare 2 febbraio 2009 n°617/C.S.LL.PP.

3. PREMESSA

Su incarico della Fondazione Aquileia, ed in risposta alla richiesta di integrazioni relativa alla validazione del Progetto esecutivo, codice elaborato 2, si procede qui di seguito a fornire quanto richiesto.

La richiesta di integrazioni riguarda quanto di seguito riportato:

- A. *pag. 38 Tabella Orizzonte 3: mancano i dati coefficienti di attrito interno e $Dr\%$;*
- B. *Manca una indagine sismica V30 specifica come da normativa D.M. 14 Gennaio 2008 (D.M. 4/2/08);*
- C. *Non si rilevano indicazioni in merito all'allontanamento dell'acqua di falda in sede di scavo e posa dei micropali e fondazioni."*

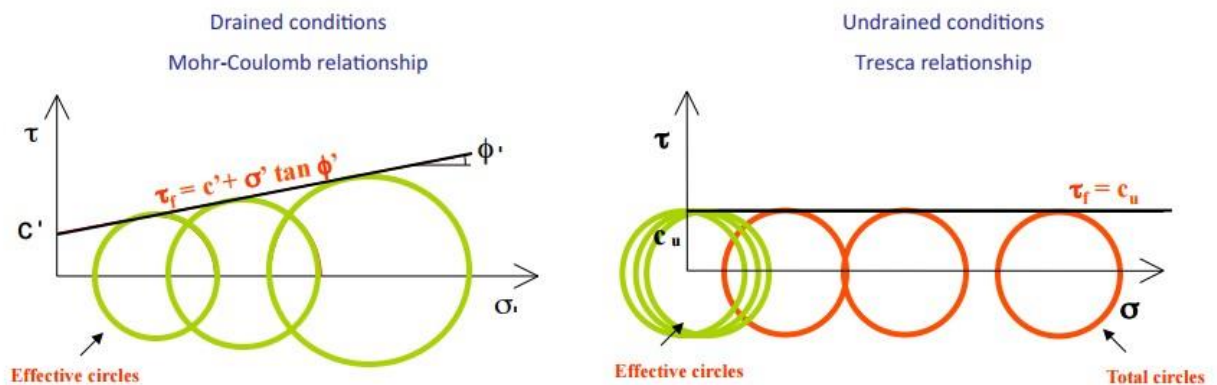
4. INTEGRAZIONI

4.1 RISPOSTA PUNTO A

L'orizzonte 3 risulta costituito, come già descritto, da materiali a grana fine di natura limo sabbiosi con argilla. Dal punto di vista geotecnico e sulla base delle caratteristiche rilevate nel corso dell'esecuzione dei sondaggi geognostici e delle prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test), si è deciso di caratterizzare tale materiale in condizioni NON DRENATA.

L'orizzonte 3 si trova in condizioni perennemente sature. Questo significa che un incremento della tensione radiale σ_r si trasferisce completamente sulla fase liquida presente nel terreno mantenendo inalterate le tensioni efficaci del provino; per questo motivo rimangono immutate le condizioni di rottura.

Se per rappresentare tale comportamento si dovesse far riferimento ad una prova di resistenza al taglio in termini di tensioni efficaci, allora si otterrebbe un unico cerchio di Mohr rappresentativo di tutte le condizioni di rottura, come indicato nella figura qui di seguito.



In termini di tensioni totali la condizione di rottura del terreno può quindi essere espressa dalla relazione:

$$\sigma_r = C_u \text{ con } \phi_u = 0 - \text{Ovvero } \phi=0$$

con $C_u = \text{COESIONE NON DRENATA}$

e questa condizione rappresenta il CRITERIO DI ROTTURA DI MOHR-COULOMB.

Per tale motivo si ritiene di aver correttamente caratterizzato la resistenza al taglio dell'orizzonte 3, esprimendola in termini non efficaci, ovvero con il solo valore di C_u .

Parimenti, per quanto attiene ai materiali a comportamento prevalentemente coesivo, non si usa impiegare il termine di densità relativa. Per i materiali di tipo coesivo non si adopera il termine di densità relativa, utile invece per definire i materiali granulari a comportamento prevalentemente attritivo. Per tale motivo l'orizzonte 3 è stato definito in termini di consistenza e non di addensamento.

4.2 RISPOSTA PUNTO B

Qui di seguito si riportano le risultanze dell'indagine geofisica eseguita specificatamente in sito che conferma la caratterizzazione sismica del suolo di fondazione già riportata nella relazione geologica del progetto esecutivo.



Esecuzione indagine sismica MASW e HVSR

Risultati indagine HVSr

Località: Aquileia (UD). HVSr01

Coordinate: Lat. 45°46'16.82"N - Long. 13°22'11.58"E

Strumento: Geofono Triassiale GEMINI-2.

Inizio registrazione: 23/10/2015. Ore 08:04 (UTC).

Durata registrazione: 30'.

Frequenza campionamento: 200 Hz; ricampionamento: 64 Hz.

Note: Tempo soleggiato, vento. Prato.

Lunghezza finestre: 30". Tipo di lisciamento: Triangolare. Lisciamento: 10%.

Classificazione misura HVSr: Classe A1.

show data reset show location field notes

step01 (optional) - decimate
 54Hz new frequency resample

step02 - HV computation
 remove events both Pat. & Tr. clean axes
 30 window length (s)
 8 tapering (%)
 15 outlier tolerance threshold
 10% spectral smoothing (triangular window)
 show particle motion and all HVSrs
 full output compute

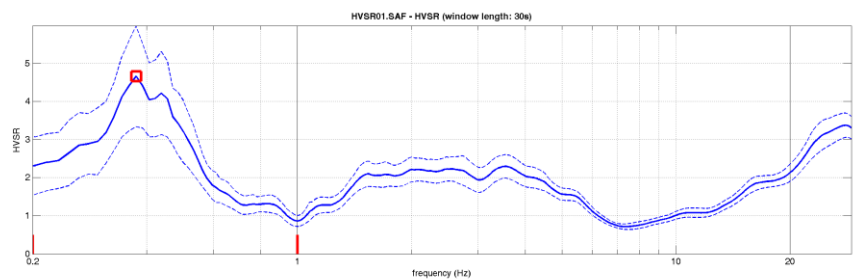
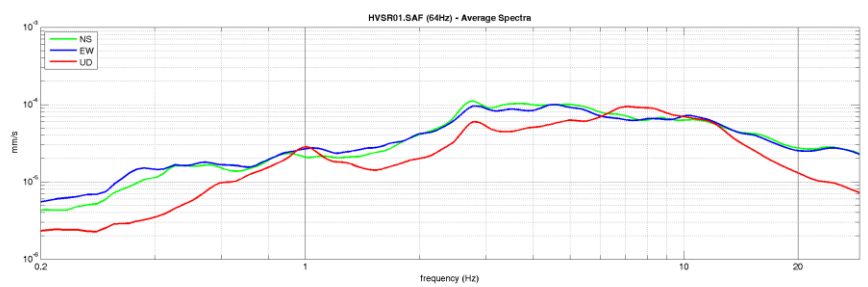
step03 - directivity analysis
 frequencies to highlight: 0.5 2.0 5.0 10.0 Hz compute

save - optional: save HVSr as it is
 save HV from 0.2 to 30 Hz
 save HV curve (as it is)

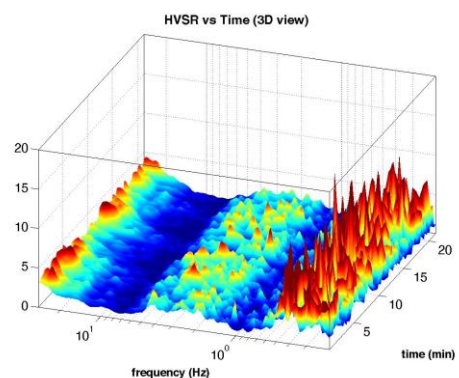
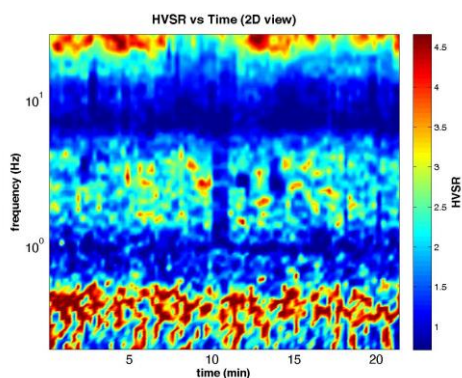
save - optional: picking HV curve
 pick HV curve save picked HV

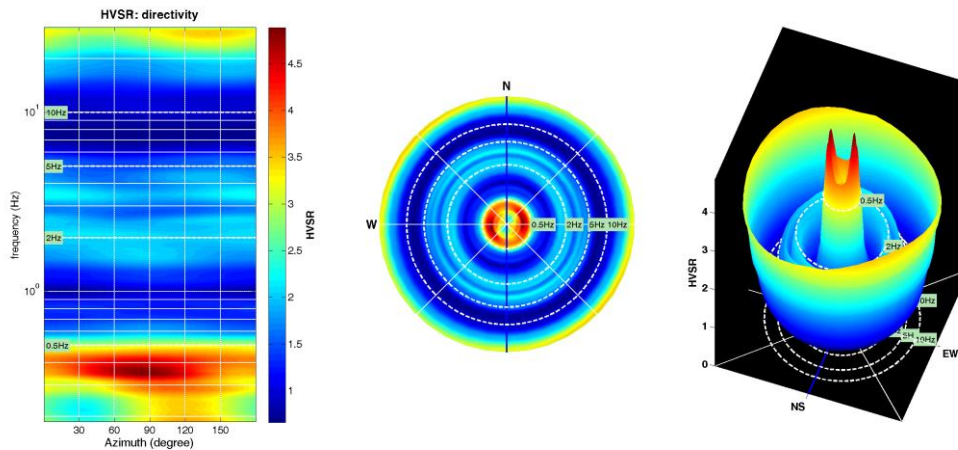
quick analysis (H-to-M)
 average 1/3 (m/s)
 20 depth of the bedrock (m)
 1000 V/s of the bedrock
 clean compute

directivity over time
 directivity in time time step: 50 s



To model the HVSr (also partly with MASW or RefMSEAC data), save the HV curve, go to the "Velocity Spectrums, Modeling & Picking" panels and upload the saved HV curve





=====

In the following the results considering the data in the 0.5–10.0Hz frequency range
f₀

Peak frequency (Hz): 0.4 (±0.1)

Peak HVSr value: 4.7 (±1.1)

=== Criteria for a reliable H/V curve =====

#1. [f₀ > 10/Lw]: 0.375 > 0.33333 (OK)

#2. [n_c > 200]: 968 > 200 (OK)

#3. [f₀>0.5Hz; sigmaA(f) < 3 for 0.5f₀ < f < 2f₀] (OK)

=== Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) =====

#1. [exists f₋ in the range [f₀/4, f₀] | AH/V(f₋) < A₀/2]: yes, at frequency 0.2 Hz (OK)

#2. [exists f₊ in the range [f₀, 4f₀] | AH/V(f₊) < A₀/2]: yes, at frequency 0.67 Hz (OK)

#3. [A₀ > 2]: 4.7 > 2 (OK)

#4. [f_{peak}[Ah/v(f) ± sigmaA(f)] = f₀ ± 5%]: (OK)

#5. $[\sigma_{maf} < \epsilon(f_0)]: 0.074 < 0.075$ (OK)

#6. $[\sigma_{A(f_0)} < \theta(f_0)]: 1.327 < 2.50$ (OK)

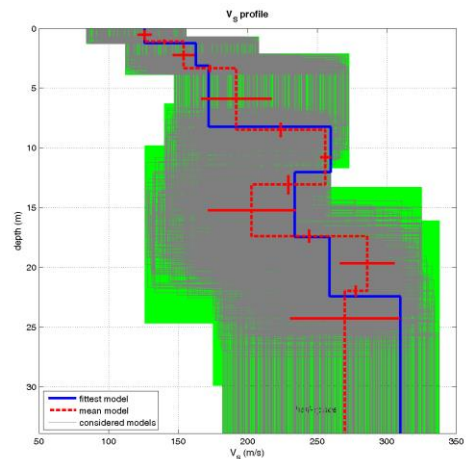
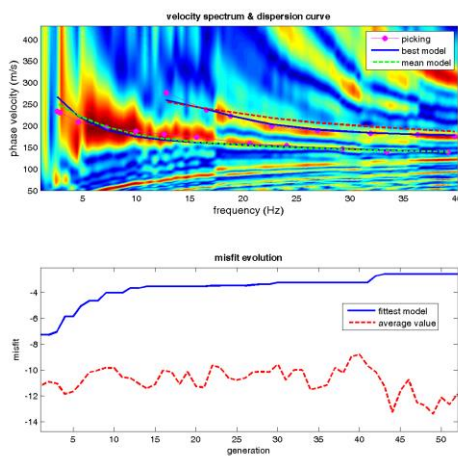
Risultati indagine MASW

Località: Aquileia (UD). MASW01

Date: 24 10 2015

Time: 15 45

Dataset: MASW01-THF.mat

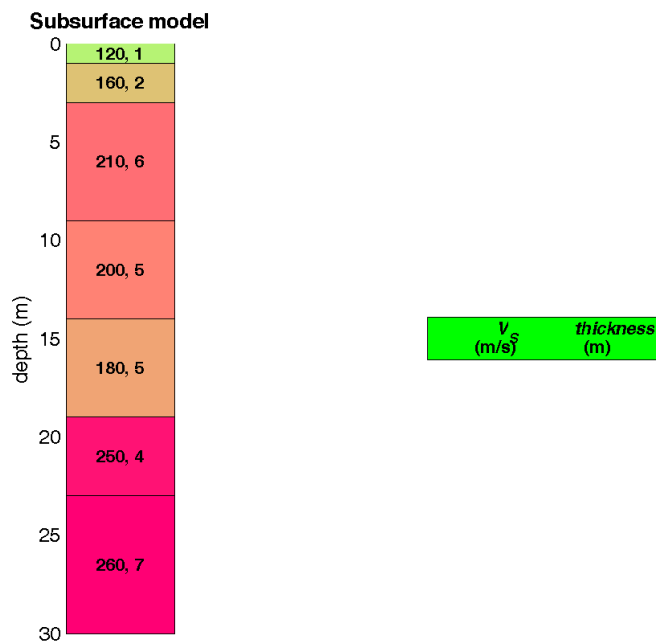


dataset: MASW01-THF.mat
dispersion curve: Pick 2.cdp
Vs30 (best model): 226 m/s
Vs30 (mean model): 222 m/s

www.winmasw.com

Vp (m/s)	Poisson	thickness (m)	modelling
120	0.4	1	synthetic
160	0.35	2	TOP
210	0.35	8	upload model
200	0.4	1	save model
160	0.35	1	refresh
200	0.40	4	report
200	0.40	1	
0	0.2		

Mean model



V_s (m/s): 126, 154, 192, 256, 203, 286, 270

Standard deviations (m/s): 5, 8, 25, 4, 31, 20, 39

Thickness (m): 1.1, 2.2, 5.2, 4.6, 4.3, 4.6

Standard deviations (m/s): 0.2, 0.3, 0.6, 0.8, 0.6, 0.5

Density (gr/cm³) (approximate values): 1.65 1.70 1.75 1.82 1.76 1.85 1.83

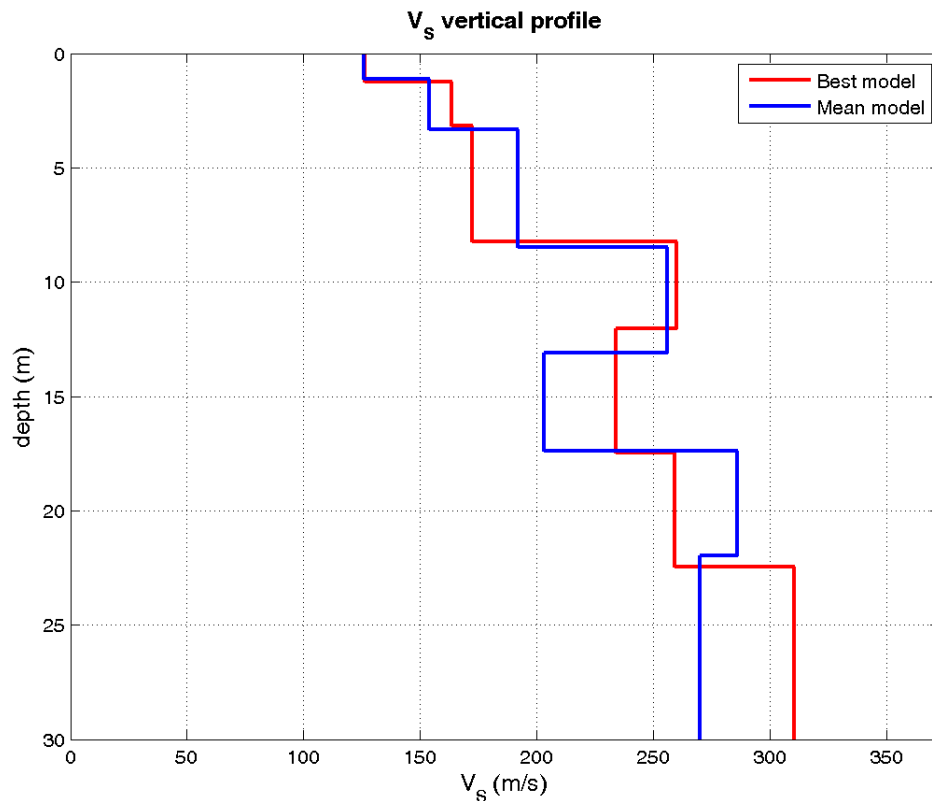
Seismic/Dynamic Shear modulus (MPa) (approximate values): 26 40 65 119 73 151 134

Estimated static shear modulus (MPa) (approximate values): 0 0 0 0 0 0 0

Analyzing Phase velocities

Considered dispersion curve: Pick 2.cdp

Analysis: Love Waves



Vs30 (m/s): 222

Dalla 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 conferma pertanto quanto già riportato nella relazione geologica che accompagna il progetto esecutivo, in cui il suolo di fondazione è già stato definito in categoria C:

C - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT30 < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < cu30 < 250$ kPa nei terreni a grana fina).

Pertanto non essendosi verificato un vero e proprio collasso, ma una progressiva deformazione della pendice, si riconosce la presenza di un cinematismo prevalentemente nel campo delle deformazioni visco-plastiche.

4.1 RISPOSTA PUNTO C

In merito ai chiarimenti riferiti al punto C, si rimanda a quanto riportato dal Progettista in altro elaborato nell'ambito della presente integrazione.

Si rimane a disposizione per eventuali chiarimenti.

Cordiali Saluti

Massimo Valent GEOLOGO

