

INDICE

0.		INTESTAZIONE	3
1.		PREMESSA.....	3
	tabella A	Elaborati indagine geologica a supporto del nuovo P.R.G.C.....	3
2.		INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO.....	4
3.		SITUAZIONE GEOMORFOLOGICA.....	5
	figura 1	Anfiteatro morenico tilaventino.....	5
3.1		Tavola "SITUAZIONE GEOMORFOLOGIA" – note illustrative.....	6
3.1.1		Terrazzi principali	6
	figura 2	Carta dei terrazzi del Cormor (fuori scala).....	7
3.1.2		Terrazzi secondari	8
3.1.3		Cordoni morenici	8
3.1.4		Settore collinare morenico.....	8
3.1.5		Settore di piana pedemorenica	9
3.1.6		Scoscendimenti.....	9
3.1.7		Area con materiali artificiali di accumulo	9
4.		SITUAZIONE GEOLOGICA.....	10
4.1		Tavola "SITUAZIONE GEOLOGICA" – note illustrative.....	10
4.1.1		Depositi morenici.....	10
4.1.2		Sedimenti fluvio-glaciali.....	11
4.1.3		Alluvioni recenti	12
4.1.4		Alluvioni attuali.....	12
4.1.5		Indagini.....	12
5.		SITUAZIONE IDROLOGICA ED IDROGEOLOGICA.....	13
	figura 3	Le isofreatiche (m s.l.m.) durante le fasi di massima e minima altezza della falda (fuori scala).....	15
	figura 4	Le isofreatiche (m s.l.m.) durante la fase di altezza media della falda e le escursioni isofreatiche (fuori scala).....	16
5.1		Tavola "SITUAZIONE IDROLOGICA– IDROGEOLOGICA" – note illustrative	17
5.1.1		Corsi d'acqua permanenti	17
5.1.2		Corsi d'acqua temporanei.....	17
5.1.3		Corsi d'acqua occasionali	17
5.1.4		Bacini di contenimento ed infiltrazione	17
5.1.5		Aree esondabili	17
5.1.6		Canalizzazioni con fondo e sponde in terra	18
5.1.7		Canalizzazioni con fondo e/o sponde in cls	18
5.1.8		Canalizzazioni sotterranee	18
5.1.9		Alveo rivestito e con salti di fondo	18
5.1.10		Sponde con protezione in gabbioni o scogliera.....	18
5.1.11		Briglia selettiva – manufatto sghiaiatore.....	18
5.1.12		Pozzi per acqua	18
	tabella B	Pozzi per acqua "s.l.".....	19
	tabella C	Pozzi per acqua destinata al consumo potabile.....	19
5.1.13		Stazione piezometrica.....	19
	tabella D	Valori limite livelli di falda nel periodo dicembre 1999 – marzo 2008.....	19
6.		SISMICITÀ.....	20
6.1		Classificazione sismica	20
	tabella E	Categorie di suolo di fondazione (Ord. P.C.M. n.° 3274).....	20
6.2		Indagini effettuate	21
6.2.1		Strumentazione impiegata	21
6.2.2		Definizioni	21

6.2.3	Misure in campo libero a stazione singola - Procedura di analisi dati per stazioni singole H/V.....	21
6.2.4	Risultati indagine - Vulnerabilità sismica.....	23
figura 5	Grafico: Frequenze di risonanza del sottosuolo vs. Altezza edifici (maggiormente vulnerabili per doppia risonanza terreno-struttura).....	23
figura 6	Grafico: Media H/V vs. Frequenze.....	23
6.2.5	Risultati indagine – V_{s30}	24
tabella F	Velocità onde di taglio " V_{s30} ".....	24
7.	CONOSCENZE GEOLOGICO – TECNICHE.....	25
7.1	Caratteristiche geologico- tecniche generali.....	25
7.1.1	Depositi morenici.....	25
7.1.2	Sedimenti fluvioglaciali.....	26
7.1.3	Alluvioni.....	26
8.	BIBLIOGRAFIA.....	27
9.	APPENDICE – TECNICHE DI INVERSIONE PER MISURE A STAZIONE SINGOLA.....	29
10.	APPENDICE – INDAGINI PREGRESSE.....	31

Riproduzione vietata. Tutti i diritti sono riservati. Nessuna parte del presente documento può essere riprodotta o diffusa con un mezzo qualsiasi senza autorizzazione della BOSSO & ROTA - Strada per i Laghetti, 9 – Z.I. Noghère Ospo 34015 Muggia (TS)

0. **INTESTAZIONE**

Regione:	Friuli Venezia Giulia
Provincia:	Udine
Comune:	Tavagnacco
Titolo del Progetto:	Nuovo P.R.G.C.
Committente:	Amministrazione comunale di Tavagnacco
Progettazione:	Studio Associato di Architettura dott. arch. Paola Cigalotto – dott. arch. Mariagrazia Santoro
Data prima stesura:	15 luglio 2008
Aggiornamento:	/

1. **PREMESSA**

Su incarico e per conto dell'Amministrazione comunale di Tavagnacco (Determina dirigenziale di incarico n.° 413, dd. 07/05/2008), nel periodo giugno – luglio 2008 è stata eseguita l'indagine geologica a supporto del Nuovo Piano Regolatore Generale del Comune di Tavagnacco (Udine)

La presente relazione (completa di tavole grafiche fuori testo), descrive pertanto la situazione morfologica, gli aspetti geologici ed idrologici - idrogeologici del territorio comunale, al fine di fornire uno strumento conoscitivo tecnico di base quale supporto al nuovo P.R.G.C..

La raccolta bibliografica delle conoscenze già esistenti^a, l'effettuazione della ricognizione diretta sul territorio e l'esecuzione di ulteriori indagini puntuali (il tutto esplicitato di seguito nelle "note illustrative" e nelle allegate carte tematiche), ha permesso anche la rielaborazione della "zonizzazione geologica" (testo normativo ed elaborato cartografico).

Titolo:	Elaborato:
Relazione geologica	Vol. GA
Situazione geomorfologia (tavola in scala 1:10.000)	Tav. G1
Situazione geologica (tavola in scala 1:10.000)	Tav. G2
Situazione idrologica – idrogeologica (tavola in scala 1:10.000)	Tav. G3
Zonizzazione geologica (Normative geologico – tecniche)	Vol. GB
Zonizzazione geologica (tavola in scala 1:10.000)	Tav. G4

tabella A **Elaborati indagine geologica a supporto del nuovo P.R.G.C.**

^a In particolare il presente studio riprende fedelmente nonché aggiorna ed integra la precedente "Indagine geologica di supporto alla Variante generale di adeguamento alla L.R. 52/91 del Piano Regolatore Generale Comunale di Tavagnacco", redatta dalla Georicerche di Trieste (dott.geol. Sandro Rota e dott.geol. Fabio Bosso), nel dicembre 1997.

2. INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO

L'area appartenente amministrativamente al Comune di Tavagnacco (Provincia di Udine) copre una superficie di circa Km² 15,3.

L'agglomerato urbano di Tavagnacco assieme alle sue frazioni di Adegliacco, Branco, Cavalicco, Colugna, Feletto Umberto, Molin Nuovo e Santa Fosca si situano pertanto all'interno della Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, nel settore del Friuli centrale, immediatamente a meridione della cerchia esterna di colline moreniche degradanti verso Sud (alta pianura friulana).

Le basi topografiche (tavolette – sezioni – elementi della Carta Tecnica della Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia), interessate dallo studio sul territorio risultano le seguenti:

scala 1 : 25.000

- 066-NE "Tricesimo",
- 066-SE "Udine";

scala 1 : 10.000

- 066070 "Tavagnacco",
- 066080 "Povoletto",
- 066110 "Udine";

scala 1 : 5.000

- 066071 "Tavagnacco",
- 066072 "Feletto Umberto",
- 066073 "Pagnacco",
- 066074 "Fontanabona",
- 066083 "Salt",
- 066111 "Paderno",
- 066114 "Colugna".

Sulle basi topografiche in scala 1:5.000 sono stati eseguiti i rilevamenti di dettaglio, successivamente trasferiti sulla base C.T.R.N. (rilievo aerofotogrammetrico anno 1998, con aggiornamento^b al novembre 2006), per l'elaborazione delle carte tematiche allegate.

^b L'aggiornamento è stato redatto, e gentilmente fornito, dalle Progettiste del Piano – arch. Cigalotto ed arch. Santoro.

3. SITUAZIONE GEOMORFOLOGICA

Il settore del Friuli centrale è caratterizzato dalla presenza delle colline dell'anfiteatro morenico pedemontano del Tagliamento: allo sbocco del Fiume Tagliamento in pianura si estende infatti, da Ragogna a Qualso, l'evidente cerchia morenica pleistocenica attribuibile alla glaciazione würmiana; l'intero anfiteatro occupa una superficie molto vasta di circa km² 250.

Si tratta di un apparato morenico frontale, ordinato su tre grandi archi concentrici, generato dal ghiacciaio del Tagliamento (detto anche ghiacciaio Tilaventino), costituito da un complesso di argini morenici con disposizione a semicerchio, concavità a monte ed ampiezza e altezza decrescenti verso Nord; la cerchia più esterna risulta anche la più antica, ad essa si innestano, verso Sud, le alluvioni fluvio-glaciali costituenti la maggior parte dell'alta pianura friulana.

I menzionati archi morenici, coincidono con i maggiori momenti di stasi succeduti alla fase di massima espansione del ghiacciaio; le forme collinose dominano tale paesaggio morenico con un disegno regolare: il territorio del Comune di Tavagnacco rientra parzialmente in tale area, essendo interessato da tali forme moreniche nel suo settore settentrionale.

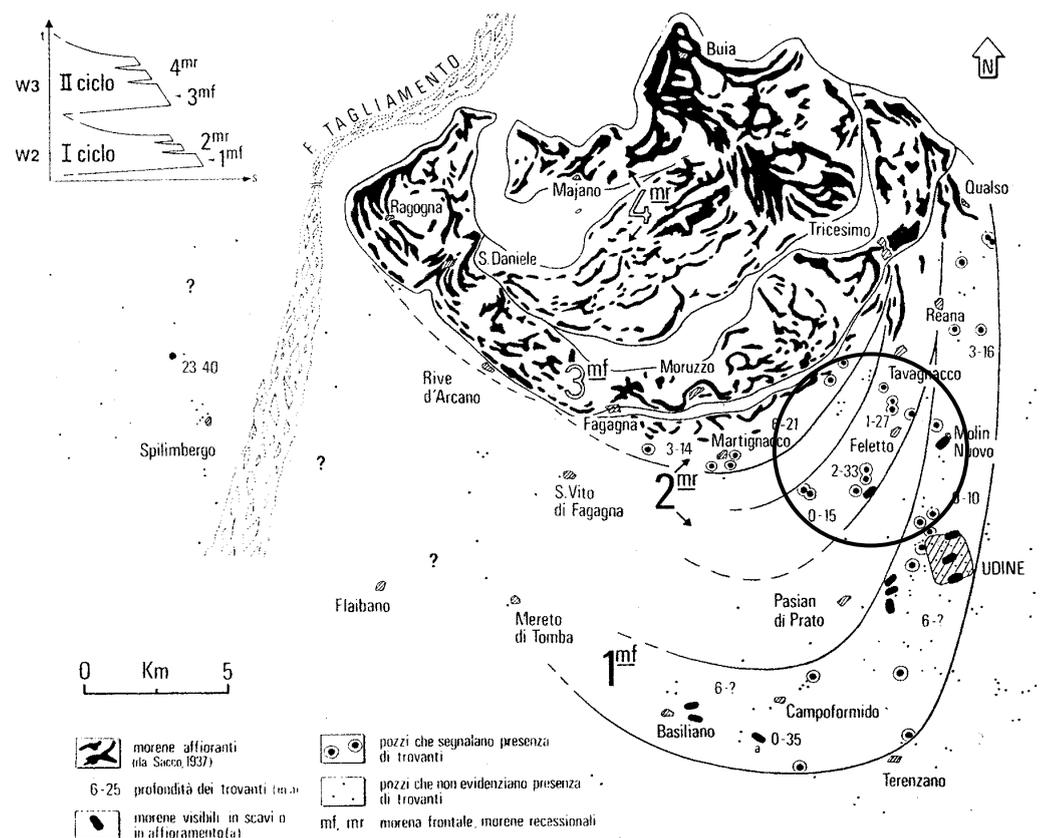


figura 1 Anfiteatro morenico tilaventino

Distribuzione dei depositi glaciali affioranti e delle morene sepolte (più antiche) così come desunte da scavi e stratigrafie di pozzi ubicati nell'Alta Pianura Friulana (vd. legenda in figura). L'arco morenico sepolto più meridionale disegna una propaggine arcuata che si spinge per oltre km 10 a Sud del più avanzato tra gli archi morenici affioranti. (Venturini, 1988).

La morfologia dell'anfiteatro morenico testimonia la prolungata permanenza della massa ghiacciata sulle menzionate posizioni, anche se la massima espansione

orizzontale dei ghiacci v'è ascritta ad un periodo precedente, con copertura areale estesa ulteriormente verso Sud (si vedano a tal proposito la precedente figura 1 nonché, in letteratura, gli studi sugli "archi würmiani sepolti nelle alluvioni dell'alta pianura friulana"). L'acme glaciale sarebbe perciò temporalmente posteriore alla massima espansione e l'evidente cerchia morenica principale testimonierebbe, con la sua posizione più arretrata, lo spostamento verso Nord del limite di fusione del fronte; consegue che la cerchia principale (cui appartiene un settore del territorio comunale) risulta in effetti essere la seconda (o prima recessionale) ma, a causa del perdurare di un "temporaneo" periodo di equilibrio climatico, la più sviluppata volumetricamente; successivamente a tale intervallo di tempo sarebbe iniziato il vero e proprio ritiro (fasi di economia negativa del ghiacciaio) con sviluppo dei successivi depositi (morene recessionali) testimoniati dagli archi presenti verso Settenntrione.

Nell'ambito comunale le quote oscillano dai m 177,7 s.l.m.m. del colle morenico posto a Nord dell'abitato di Tavagnacco (in coincidenza della porzione più settentrionale del comprensorio comunale) ed i m 110,6 s.l.m.m. della sezione d'uscita del Torrente Cormor dal territorio del Comune.

Analizzando specificatamente il settore appartenente amministrativamente al Comune di Tavagnacco si può individuare un "sistema" con ambiti territoriali dalle diverse caratteristiche morfologiche: a Sud un settore subpianeggiante evidenzia una situazione di antico ambiente subglaciale, ad esso si innestano a Settenntrione i resti della fascia di cordoni morenici caratterizzata dal principale (ed unico) colle dell'ambito amministrativo; l'intero sistema è complicato dalla presenza di terrazzi di vario ordine e rotture di pendenza ascrivibili soprattutto alle fasi di "deglaciazione" (fenomeni di erosione, trasporto e deposizione da parte degli antichi "scaricatori" e rivi d'ablazione e successivamente dei corsi d'acqua in generale).

3.1 Tavola "SITUAZIONE GEOMORFOLOGIA" – note illustrative

La redazione della Tavola "SITUAZIONE GEOMORFOLOGIA" (Tavola G1) si è basata sui sopralluoghi effettuati direttamente nella zona di studio e sui dati reperiti dalla consultazione della bibliografia esistente: è stato in tal modo possibile anche verificare ed evidenziare specifiche situazioni morfologiche ed ambientali derivanti dall'interazione "fenomeni naturali - intervento dell'uomo" che in vario modo hanno inciso o condizionano tuttora l'ambiente; a tal riguardo si produce di seguito la descrizione delle "forme" del territorio rilevate e cartografate.

3.1.1 Terrazzi principali

Si tratta di forme costituite da superfici pianeggianti delimitate da scarpate; l'attribuzione dell'"importanza" è stata definita in base alla differenza di quota esistente tra i due lembi di base e superiore ("alzata" generalmente media, media-elevata) e non in base all'ordine gerarchico (terrazzi di I e/o II ordine), legato invece all'ordine temporale delle fasi genetiche di formazione della scarpata stessa.

L'area in esame è caratterizzata dalla valle di un antico importante scaricatore del ghiacciaio tilaventino; tale incisione è tuttora occupata dal corso del Torrente Cormor: in coincidenza approssimativa con il capoluogo si ha la comparsa (all'interno del territorio comunale) dei terrazzamenti più settentrionali. Il versante di sinistra idrografica (il solo interno al territorio comunale) mostra un terrazzo principale che genericamente segue l'incisione del torrente stesso: il segmento settentrionale descrive un arco di cerchio con concavità rivolta in direzione NO (da Tavagnacco a Branco), successivamente (al rientro nell'ambito del comune, nel suo estremo margine SO), in vicinanza di Colugna si dispone secondo la direzione Nord-Sud.

L'altezza relativa delle scarpate associate ai terrazzi principali, nell'ambito del territorio in studio, oscilla dai m 15 ÷ 20 circa dell'intorno del capoluogo ai m 7 ÷ 10 dei settori di

Branco e di Colugna: si nota pertanto una diminuzione della differenza di quota tra piede e coronamento scarpata procedendo da Nord a Sud; è importante notare anche la frequente elevata acclività di tali scarpate che comunque, anche nei tratti maggiormente pendenti presentano pressoché totale copertura vegetale.

La presenza di frequenti assi stradali ed autostradali in vicinanza e/o intersecanti gli orli dei terrazzamenti ha comportato locali e parziali modificazioni delle geometrie originarie degli stessi, cancellandone in talune zone le forme naturali: nell'allegata carta della "SITUAZIONE GEOMORFOLOGICA" (Tav. G1) sono stati indicati i lembi terrazzati più evidenti, senza insistere sulla loro continuità (non sempre univocamente ricostruibile allo stato di fatto del territorio).

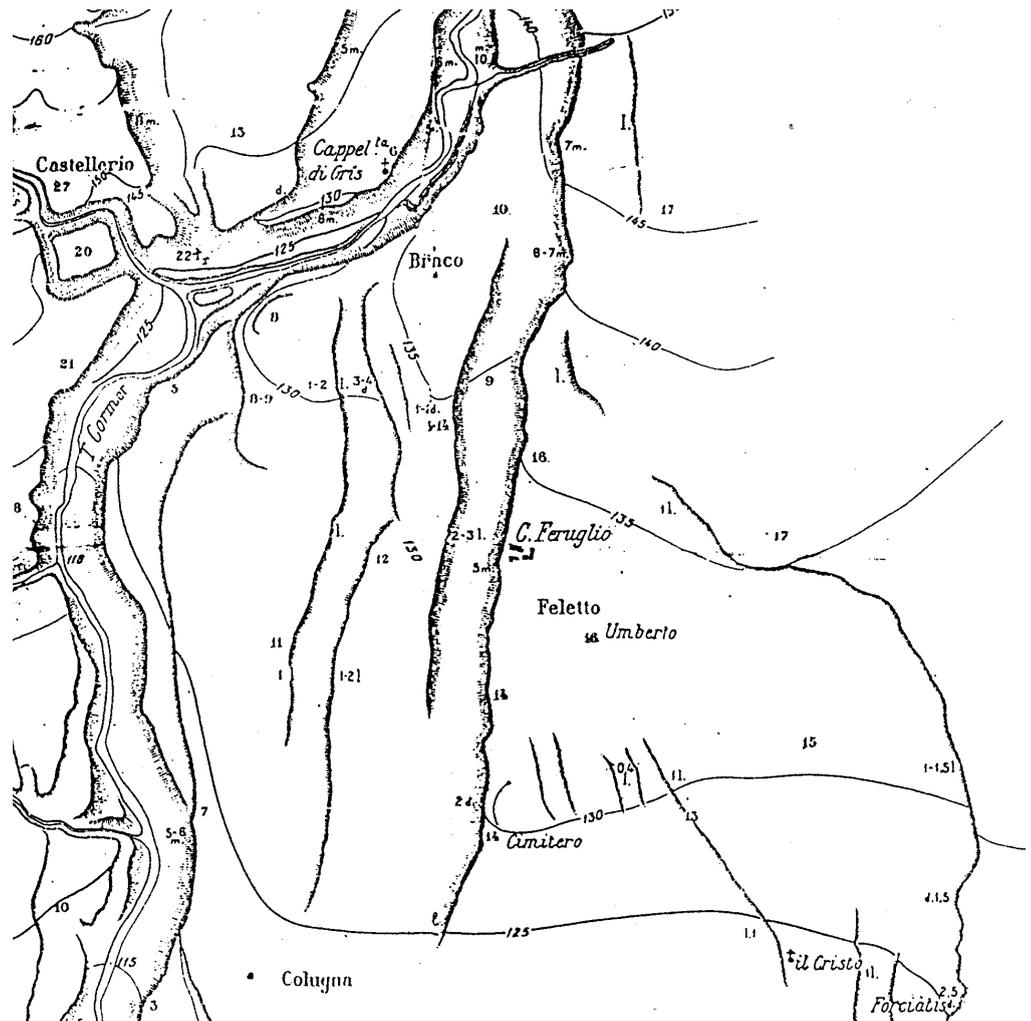


figura 2 Carta dei terrazzi del Cormor (fuori scala)
Tratto da "I terrazzi della pianura pedemorenica friulana" (Feruglio, 1920)

3.1.2 Terrazzi secondari

Rappresentano vecchie superfici di origine fluvio-glaciale limitate da scarpate risultanti dal successivo intaglio da parte di corsi d'acqua.

Similmente ai terrazzi principali essi si sviluppano prevalentemente lungo la valle del Torrente Cormor e nel suo intorno (nonché nel settore centrale del comprensorio comunale, lungo alcuni tratti del Rio Tresemane), hanno rispetto ai primi altezze relative decisamente più modeste (genericamente di ordine metrico e comunque inferiori ai m 5).

La disposizione di questi terrazzi (peraltro di tipo convergente, per cui i dislivelli tra le diverse superfici tendono a diminuire – fino ad annullarsi, verso Sud) permette un'attendibile ricostruzione dei progressivi e successivi spostamenti del corso del Cormor; tali modificazioni di tracciato sono ascrivibili alle situazioni climatiche (correlabili alle variazioni di portata ed al regime erosivo/deposizionale del torrente stesso), al condizionamento operato dai tributari minori, al generale sollevamento del territorio, alla erodibilità delle sponde ed al meandreggio del fiume.

Nelle vicinanze di Tavagnacco (località "Casa Comuzzi") si ha la presenza del più importante (per continuità e per il fatto di essere il più antico della zona in studio) di questi terrazzi secondari: esso presenta allineamento Nord-Sud e risulta nettamente identificabile (esclusi alcuni tratti fortemente antropizzati) fino alla periferia Nord-occidentale di Feletto Umberto.

In vicinanza dell'alveo del Torrente Cormor sono stati riconosciuti modesti terrazzamenti (sia in sinistra che in destra idrografica), legati all'attività erosiva del menzionato corso d'acqua nella sua attuale posizione e, pertanto, di età recente.

I restanti terrazzi, presenti lungo il corso del Tresemane presentano anch'essi altezze limitate (non superiori ai m 3 circa) e risultano profondamente condizionati dall'attività antropica di urbanizzazione ed utilizzo commerciale-industriale del territorio: ne consegue una quasi totale oblitterazione (cfr. anche sopra riportato estratto "Carta dei terrazzi" – Feruglio, 1920) delle forme naturali originarie (attraverso la sopraelevazione dell'originario piano campagna, mediante la messa a dimora di terreni di riporto o la "rettifica" delle antiche scarpate).

Similmente a quanto fatto per i terrazzi principali, si sono cartografate le forme descritte ove le stesse fossero tuttora riscontrabili.

3.1.3 Cordoni morenici

Si sono voluti evidenziare gli allineamenti di "argine morenico" (di forma pronunciata ed allungata), riconducibili alla prolungata "sosta" del margine glaciale. Di fatto tali cordoni sono localmente interrotti verso SO dall'attività erosiva dell'originario scaricatore del ghiacciaio tilaventino (incisione tuttora occupata dal corso del Torrente Cormor), mentre verso settentrione risultano proseguire in direzione di Tricesimo.

3.1.4 Settore collinare morenico

Come già precedentemente descritto (nonché in correlazione con la presenza dei cordoni morenici) la porzione occidentale dell'estremo settore Nord del territorio comunale vede la presenza di un rilievo collinare di origine morenica (limitato a Settentrione dal confine amministrativo con il Comune di Tricesimo, ad Est dall'asse stradale Tavagnacco-Tricesimo, a Sud dall'agglomerato urbano di Tavagnacco ed infine verso Occidente dalla strada Tavagnacco-Leonacco).

L'area individuata presenta morfologia moderatamente "movimentata" da locali variazioni di pendenza ed esposizione dei singoli settori di versante: verso Nord ed in direzione Est il rilievo presenta acclività modeste (genericamente comprese tra il 4% ed il 6%), nel settore di mezzogiorno il pendio si raccorda dolcemente (tra il 2% ed il 3%) con la piana pedemorenica mentre solamente il versante occidentale presenta

locali acclività maggiori (circa 20% massimo), in adiacenza all'asse stradale conducente a Leonacco.

3.1.5 **Settore di piana pedemorenica**

La maggior parte, superiore al 95%, dell'intero ambito del comprensorio comunale è caratterizzata da una morfologia tabulare subpianeggiante (acclività media dell' 1% e massima genericamente inferiore al 2%).

In tale settore di piana pedemorenica (di origine fluvio-glaciale), rientrano anche i già descritti terrazzi (principali e secondari), le cui pendenze non sono state prese in considerazione nel calcolo dell'acclività di questo settore.

3.1.6 **Scoscendimenti**

E' stata rilevata (già nel 1997) la presenza di una modestissima frana superficiale (coinvolgente il deposito di origine glaciale) lungo il versante occidentale del colle morenico, in vicinanza della viabilità Tavagnacco-Leonacco. Questa forma mostra dimensioni estremamente contenute in altezza ed in lunghezza (m² 25-30 circa); non risulta pertanto compromettere la sicurezza del territorio circostante ma indica una locale evoluzione dinamica di un settore del pendio.

3.1.7 **Area con materiali artificiali di accumulo**

E' caratterizzata dal deposito di materiali costituenti accumuli morfologicamente evidenti rispetto al contesto topografico circostante ("collina artificiale").

All'interno del comprensorio comunale è stata individuata (già nel corso dell'indagine geologica del 1997) una evidente porzione di territorio caratterizzata dall'accumulo di rifiuti / materiale di scavo e demolizione, attualmente colonizzata dalla vegetazione.

Non si esclude la presenza, nell'ambito comunale, di altri settori caratterizzati dai medesimi depositi ma, a causa dalle dimensioni generalmente meno estese e dell'"uso" del territorio, attualmente non individuabili con il rilevamento geologico "di superficie".

4. SITUAZIONE GEOLOGICA

I depositi presenti, in affioramento e subaffioramento, all'interno del comprensorio comunale risultano ovunque legati all'antica presenza del ghiacciaio Tilaventino ed alla sua attività; dal punto di vista stratigrafico, pur essendo possibile riconoscere diverse "formazioni", la litologia risulta abbastanza omogenea (sia in senso verticale che arealmente): conseguentemente assumono fondamentale importanza, al fine della stesura della carta geologica, i caratteri geomorfologici precedentemente acquisiti e descritti, unitamente al rilevamento sul terreno^c.

L'unità più antica è quella morenica, cronostratigraficamente ascrivibile all'ultima maggiore espansione glaciale (Würm); essa caratterizza il deposito riconducibile ai cordoni morenici veri e propri (morene frontali - till di ablazione glaciale).

Ad essa succedono nell'area meridionale, esterna alla cerchia glaciale, i depositi fluvio-glaciali generati dagli antichi corsi d'acqua "scaricatori" delle acque di fusione della lingua glaciale stessa; pertanto, in modo generale, è subito evidente una prima differenziazione in senso meridiano dei due depositi detritici caratterizzanti la regione in esame.

Le restanti "formazioni" sono riconducibili all'attività fluviale; si tratta infatti di depositi alluvionali di età diversa, la cui distinzione è stata effettuata principalmente in base al riconoscimento delle forme tuttora attive (anche se arealmente modeste).

Tutti i depositi riconosciuti escluse le zone d'alveo e quelle urbanizzate, presentano uno spessore di ordine metrico pedogenizzato (suolo).

4.1 Tavola "SITUAZIONE GEOLOGICA" – note illustrative

La redazione della Tavola "SITUAZIONE GEOLOGICA" (Tav. G2) si è basata sui sopralluoghi effettuati direttamente nella zona di studio, sulle notizie reperite dalla consultazione della letteratura scientifica esistente e sui dati desunti dalle indagini effettuate sui terreni: sono state in tal modo cartografate anche le ubicazioni delle indagini puntuali, eseguite all'interno del territorio comunale (dei verbali di tali indagini viene allegata copia - cfr. "APPENDICE – INDAGINI PREGRESSE").

4.1.1 Depositi morenici

Si tratta di un ammasso caotico (mal classato e con disposizione casuale) di detriti ghiaiosi, ciottolosi (anche striati e da subspigolosi ad arrotondati) e di massi erratici immersi in una matrice sabbiosa, limosa ed argillosa; esso rappresenta il prodotto dei numerosi eventi deposizionali legati direttamente al trasporto ed accumulo da parte della massa glaciale; localmente si nota la prevalenza di una determinata classe granulometrica (anche fina), fatto questo legato alle modalità di deposizione nell'ambito del ghiacciaio.

Litologicamente si è in presenza di una massa detritica formata all' 80% da rocce carbonatiche (calcari e dolomie) cui si aggiungono, in percentuali variabili, elementi poligenici provenienti dalla Carnia (principalmente dal bacino del Tagliamento e subordinatamente dal bacino del Fella).

^c Relativamente alla "stratigrafia profonda" è possibile indicare una potenza della copertura quaternaria di circa m 200 [a questa seguono: successioni mioceniche di piattaforma, deltizie e di piana alluvionale con potenza di circa m 1000; successioni mioceniche di piattaforma terrigena per m 500 circa; successione torbiditica (Paleocene – Eocene medio) con potenza m 1600 circa e quindi si incontra la "Piattaforma carbonatica" (Triassico sup. – Cretacico, localmente Paleocene) ad una profondità di circa m 3300 da p.c.].

Per quanto concerne i depositi morenici, essi sono in diretta relazione con il raggiungimento del limite di massima espansione verso Sud del ghiacciaio e con il suo successivo, repentino regresso: formazione della prima cerchia, bassa e discontinua, attualmente talora "sepolta" (testimonianze di morene a blocchi nella fascia esterna Qualso – Reana – Udine – Campoformido - Spilimbergo) o raccordata con la seconda, chiamata anche principale in quanto di maggior spicco (fascia intermedia Tavagnacco - Tricesimo Sud), attraverso le ampie conoidi costituite dai depositi fluvio - glaciali; si tratta di depositi granulometricamente eterodimensionali: nei quali si rinvengono elementi grossolani (ciottoli e massi) in associazione con detriti più fini; ciò va posto in relazione al fatto che nelle parti marginali esterne dell'apparato glaciale (morene terminali) le frazioni con granulometria inferiore subivano un dilavamento più accentuato nel mentre proseguiva la deposizione di sedimenti con maggiori dimensioni (tali elementi possono mostrare pezzatura variabile dal dm^3 fino anche al m^3).

Il grado di addensamento varia in funzione del punto di osservazione; si rilevano lenti di materiale moderatamente cementato (pseudoconglomerato), dovute peraltro a normale diagenesi (circolazione d'acqua ecc.) e non riconducibili assolutamente ad indizi cronostratigrafici.

Sotto l'aspetto podologico si è in presenza di suoli franco-limosi, con scheletro comune, genericamente ben drenati, con approfondimento radicale limitato tra m 1,0 e m 1,5 dalla granulometria grossolana (*Cutani – Chromic Luvisols*)

4.1.2

Sedimenti fluvioglaciali

Si tratta di sedimenti di origine glaciale coinvolti da azioni di naturale rimaneggiamento, conseguenti al trasporto e deposizione da parte delle acque di fusione, oltre il limite meridionale del ghiacciaio; essi sono costituiti prevalentemente da ghiaie e sabbie (materiali moderatamente grossolani, in movimento sul fondo dei torrenti "scaricatori" del ghiacciaio), la frazione fina (limi ed argille) risulta invece genericamente subordinata in quanto il suo trasporto in sospensione ne ha favorito un maggiore allontanamento.

Nell'area indagata i depositi in esame sono presenti nella fascia pedecollinare sotto iniziali forme di ampie paleoconoidi di deiezione con apice in corrispondenza degli sbocchi dei principali "scaricatori" glaciali ed allineamento preferenziale N - S (in zona il percorso dell'antico scaricatore si discostava da quello dell'attuale Cormor nella fascia pedemorenica, ove seguiva l'ampio meandro estendentesi tra Leonacco e Pagnacco); tali sedimenti, impostatisi su preesistenti depositi morenici (il già menzionato arco morenico sepolto), hanno svolto un'azione livellatrice sulla topografia preesistente, creando di fatto una superficie omogenea che borda il rilievo morenico, poco pendente (2% - 3%), e successivamente incisa (terrazzi).

Gli elementi costituenti il deposito risultano dal punto di vista litologico identici a quelli caratterizzanti la retrostante morena con la differenza di presentarsi generalmente arrotondati; talora può essere rilevata traccia di stratificazione (anche incrociata), mentre resta variabile la classe granulometrica (frazioni prevalenti: ghiaie e sabbie).

In profondità si segnala la possibile presenza di trovanti (massi erratici "immersi" nella morena sepolta) nonché di lenti / livelli cementati e di banchi di conglomerati (questi ultimi genericamente oltre i m 30 ÷ 40 da p.c.).

In base ai dati raccolti è possibile operare una locale suddivisione dei depositi superficiali (di copertura), secondo le caratteristiche granulometriche dei sedimenti esistenti: si osserva infatti una moderatamente maggiore presenza di "materiale granulare fino" nella "fascia" centrale (allungata N – S) del territorio comunale (porzione apicale del conoide dello "scaricatore" dell'anfiteatro morenico) rispetto ai settori orientale ed occidentale (rispettivamente porzioni distali e/o di incisione del conoide medesimo).

Tale differenza risulta localmente “condizionare” le caratteristiche pedologiche dei suoli presenti:

- nel primo caso si è genericamente in presenza di suoli franchi o franco-limosi, con scheletro comune, genericamente ben drenati, con approfondimento radicale limitato tra m 1,0 e m 1,5 dalla granulometria grossolana (*Cutani – Chromic Luvisols*);
- nel secondo caso si è genericamente in presenza di suoli franchi, con scheletro abbondante, genericamente eccessivamente drenati, con approfondimento radicale limitato tra m 0,25 e m 0,50 dalla granulometria grossolana (*Episkeleti – Aric Regosols*).

4.1.3 Alluvioni recenti

La distinzione è stata operata in base ai caratteri morfologici dell'area ed all'esistenza di forme attive.

I caratteri litologici fondamentali sono legati a quelli del “bacino” circostante e pertanto all'ambito morenico e fluvio - glaciale.

Le alluvioni recenti (alluvionamenti causati dalle acque di piena al di fuori dell'alveo) sono riferibili ad episodi saltuari di esondazione (anche in epoca storica). Le caratteristiche del bacino e di portata del Torrente Cormor non autorizzano ad ipotizzare che quest'ultimo possa aver causato importanti eventi deposizionali (spessore dei sedimenti pertanto modesto con spagliamento degli stessi sulle vicine superfici di antica erosione fluviale, nel corpo dei depositi fluvio - glaciali).

4.1.4 Alluvioni attuali

Infine le alluvioni attuali, modeste e localmente lungo il corso del Torrente Cormor, indicano puntuali condizioni di deposito (prevalentemente sovralluvionamento); va notato che all'interno di tale asta drenante attualmente risulta genericamente modesta l'attività erosiva.

4.1.5 Indagini

Vengono indicate le posizioni dei vari punti di effettuata misura del microtremore ambientale (TR) nonché dei siti d'indagine acquisita (**dati pubblici**): sondaggi elettrici verticali (SEV), pozzetti geotecnici (PG), punti prelievo campione (CR), prove penetrometriche (DP), sondaggi geognostici (S), pozzi per acqua (P), stazione piezometrica (SP).

La documentazione tecnica di tali indagini viene allegata in copia nelle appendici (cfr. rispettivamente “APPENDICE – INDAGINI PREGRESSE” ed “APPENDICE – TECNICHE DI INVERSIONE PER MISURE A STAZIONE SINGOLA ”)

5. SITUAZIONE IDROLOGICA ED IDROGEOLOGICA

L'attività dei corsi d'acqua proglaciali ha avuto un ruolo determinante nel modellamento del territorio: l'alimentazione offerta dall'enorme massa di ghiacci in scioglimento ha lasciato testimonianza delle imponenti correnti fluviali nelle valli principali (si veda in zona quella del Torrente Cormor), in cui le dimensioni vanno forzatamente riferite ad un'età in cui gli apporti e l'energia erano di molto superiori alle condizioni attuali.

L'attuale diminuita parvenza del reticolo idrografico vede comunque proprio nel **Torrente Cormor** il corso d'acqua con dimensioni ed importanza maggiore. Esso nasce sul versante orientale delle colline di Buia e defluisce verso meridione in direzione di Treppo; raccoglie le acque apportate dal Torrente Urana - Soima, attraversa l'incisione di Fontanabona e, ricevute le acque di sgrondo delle colline moreniche esterne, prosegue verso Sud entro un alveo allora limitatamente ristretto ma affiancato da ampi spazi golenali (si segnala che nei dintorni di Tavagnacco l'alveo ha subito lavori di rettifica e regimazione negli anni '80 e successivi). Esso presenta regime di scorrimento temporaneo (cfr. Tavola G3 "SITUAZIONE IDROLOGICA – IDROGEOLOGICA") lungo i tratti intersecanti il territorio comunale di Tavagnacco; solamente in prossimità della frazione di Branco l'esistenza di un depuratore fognario (in vicinanza del ponte della carrozzabile per Pagnacco e Colloredo di Monte Albano), instaura un breve segmento con regime permanente, anche se artificiale. Alla "progressiva" di Colugna il bacino imbrifero è dimensionalmente caratterizzato da una superficie di circa km² 92; la portata di piena (con Tr 100 anni), valutata al ponte di Colugna (sezione di chiusura del bacino collinare), risulta ammontare a m³/s 115, con tempo di corrivazione di 11 h e 30', su di un tragitto di km 27 ed una precipitazione di mm 228 (Causero – Croce, 1995)^d.

All'estremità Sud-occidentale del comprensorio comunale, in vicinanza della frazione di Colugna ed intersecante lo stesso corso del Torrente Cormor, si rinviene il **Canale Ledra**: si tratta di un corso d'acqua artificiale caratterizzato da importanti opere in calcestruzzo edificate, a partire dal 1881, a fini principalmente irrigui ed energetici (forza motrice per i mulini ed a servizio di opifici).

Gli altri corsi d'acqua esistenti all'interno del comprensorio comunale di Tavagnacco sono il Rio Tresemane e la **Roggia di Udine**: essa entra nell'ambito amministrativo in località Santa Fosca e ne esce in coincidenza della frazione di Molin Nuovo (dopo aver attraversato anche Cavalicco), presenta alveo prevalentemente in terreno naturale con tratti di protezioni spondali e di fondo in cls, in prossimità degli attraversamenti dei centri abitati, di certa viabilità o in coincidenza con vecchi ed ormai dismessi mulini. Il regime di scorrimento, di natura artificiale, risulta permanente nell'arco dell'anno (fatte salve eventuali manutenzioni).

Infine il menzionato **Rio Tresemane** (anche Fosso Tresemano, Canale Tresemana), attraversa il comprensorio di Tavagnacco da Nord a Sud in vicinanza, e parallelamente, alla S.S. 13 (e Strada Provinciale "Tresemana"). Si tratta di un corso d'acqua endoreico, a regime torrentizio (temporaneo) il cui alveo nel corso del tempo veniva usato (nei periodi di secca) come via di collegamento (si veda a tal proposito l'abbondante bibliografia storica in materia). Attualmente il rio svolge il ruolo di asta drenante delle acque meteoriche e di collettore delle acque di sfioro del sistema fognario del Comune di Tricesimo: sono proprio tali acque che comportano un regime di scorrimento permanente, generalmente rilevabile fino all'intersezione con il nuovo canale scolmatore. Poiché l'elevatissimo stato di urbanizzazione del territorio

^d Valori confermati anche dalla simulazione con modello matematico e successiva verifica su due eventi di piena (5/7 ottobre 1998 e 31 ottobre 2004) cfr. "Reg. F.V.G – Autorità di Bacino Regionale, Progetto di piano stralcio per la difesa idraulica del torrente Cormor. Aprile 2006".

circostante comportava, in situazioni di piogge abbondanti, un grado di "sensibilità" del corso d'acqua elevato in quanto se originariamente una portata eccessiva poteva essere smaltita nei numerosi fossi irrigui che intersecavano il corso stesso, più recentemente le ampie superfici coperte (parcheggi pavimentati e capannoni industriali - commerciali) hanno cancellato tali possibilità aggravando, con la presenza di una copertura impermeabile, le quantità d'acqua affluenti al rio stesso.

Conseguentemente, a più riprese, recenti lavori idraulici hanno affrontato il problema delle piene del Torrente Tresemane. Al riguardo risulta estremamente esaustiva la descrizione degli interventi realizzati (ante 2005) contenuta nella "Relazione illustrativa" del "Progetto definitivo per la messa in sicurezza e valorizzazione del Rio Tresemane" ^e, della quale si riporta nel seguito lo stralcio del paragrafo:

"3.3. interventi già realizzati per la sicurezza idraulica

a) *La Direzione regionale della protezione civile ha eseguito, nel 1999, un intervento che ha permesso di adeguare la capacità di deflusso del Tresemane nel tratto terminale. Dove avevano luogo le esondazioni più gravi, sostituendo le condotte esistenti, di diametro insufficiente a garantire la portata con un manufatto scatolare avente base di 4 metri ed altezza di 2 metri. La nuova condotta sotterranea garantisce una portata di circa 25 mc/s. Nei Campi del Cristo sono stati realizzati due bacini di contenimento ed infiltrazione nel sottosuolo, al fine di migliorare le condizioni di sicurezza dei centri abitati e delle infrastrutture circostanti.*

Per incrementare il volume d'invaso al fine di contenere le acque di piena delle portate con tempo di ritorno di 20 anni, è stato necessario adeguare altimetricamente le arginature esistenti e la realizzazione dei tratti mancanti, fino a raccordarsi con le scarpate naturali, in modo da ottenere la completa perimetrazione dell'area da destinare a bacini di espansione.

b) *Lo scolmatore, finanziato sempre dalla Direzione regionale della Protezione Civile, consiste in una condotta, parte in sotterraneo e parte a cielo aperto, che prelevando le acque del Tresemane all'altezza dell'incrocio tra la SS Pontebbana e via della Madonnina in località denominata "il Pascat", le recapita in Torre subito a monte del ponte per Salt di Povoletto. Il collettore si sviluppa per progressivi 4353 m dall'imbocco fino allo scarico, di questi circa 3042 sono in sotterraneo realizzati impiegando uno scatolare di dimensioni interne 3 m x 2 m gli altri a cielo aperto possiedono sezione trapezia con fondo di due metri. La necessità dell'impiego dello scatolare e di ridurre il più possibile i tratti a cielo aperto nasce dalla presenza delle numerose interferenze che si incontrano lungo il percorso. Non esiste infatti la possibilità di tracciare una livelletta adeguata alle esigenze idrauliche e nel contempo in grado di evitare i problemi legati all'incrocio delle reti tecnologiche dei servizi o ai manufatti già presenti. Nel percorso si incrociano nell'ordine: l'acquedotto, due volte il metanodotto oltre ai manufatti da sottopassare; questi sono la SP n.° 38, la roggia di Udine, la roggia di Palma ed il rilevato ferroviario della linea Udine - Tarvisio.*

Dopo la realizzazione del diversivo idraulico, lungo l'asta del rio Tresemane scorrono solamente le acque di scarico superficiali provenienti dall'area di attraversamento, a nord di Udine. Dovranno rimanere le due vasche di accumulo per la parte al disotto del piano campagna, fino alla realizzazione del collegamento del Tresemane con la condotta esistente che all'altezza di Colugna va nel Cormor.

Le portate residue che interessano l'asta terminale del Tresemane sono dell'ordine di 5 mc/s, posto che 20 mc/s vengono deviati a monte nel torrente Torre. Rientrano pertanto nei valori previsti dall'ing. De Cillia nel progetto di deviazione del Tresemane nel Cormor del 1980. A seguito di questo progetto, il comune di Udine ed il comune di Tavagnacco si erano costituiti in consorzio, per la realizzazione delle opere necessarie a deviare nel Torre o nel Cormor, le acque provenienti dal territorio posto a nord della città di Udine. E' stata realizzata una condotta ovoidale del diametro massimo di 3.00 metri avente una portata di 9 mc/s che dal Cormor, all'altezza di Colugna, arriva fino in via Moissesso in comune di Udine. Tale condotta scarica attualmente nel Cormor, solamente le acque meteoriche provenienti dall'abitato di Feletto Umberto e Colugna...".

^e In dettaglio: «Programma di riqualificazione Urbana e Sviluppo Sostenibile del Territorio denominato "Riqualificazione urbana ed ambientale ed interventi di miglioramenti della viabilità nel distretto insediativo costituito dai comuni di Udine, Tavagnacco, Reana del Rojale, Tricesimo". Messa in sicurezza del Rio Tresemane (8.1). Ing. M. Causero, Ing. M. Cuffolo, Udine, 2005».

A tali manufatti idraulici dettagliatamente descritti devono aggiungersi le opere previste e realizzate dal progetto di cui alla soprariportata relazione (Causero, 2005), riassumibili sinteticamente in:

- ricalibratura delle sezioni del Rio Tresemane e pulizia dell'alveo,
- realizzazione dell'attraversamento della statale Pontebbana all'altezza del Cimitero di Guerra Inglese e conseguente dismissione dell'esistente sifone,
- realizzazione del nuovo guado e del muro di protezione in c.a. in località Case Perinotti.

--- ----- ---

Per quanto concerne l'andamento nel settore collinare della **falda** nel sottosuolo, oltre ad avere una soggiacenza irregolare (profondità variabili localmente, comunque oscillanti attorno ai m 3 - 5) essa mostrerebbe alti e bassi freatici alternati agli alti e bassi morfologici: in pratica la "tavola" freatica seguirebbe l'andamento della topografia smorzandone le variazioni; ne deriva una generale superficialità nella menzionata area morenica ed un notevole approfondimento nella restante parte di territorio studiato. Nelle zone tabulari subpianeggianti (fascia pedecollinare) la profondità della falda risulta omogenea ma elevata (m 50 - 60 s.l.m.).

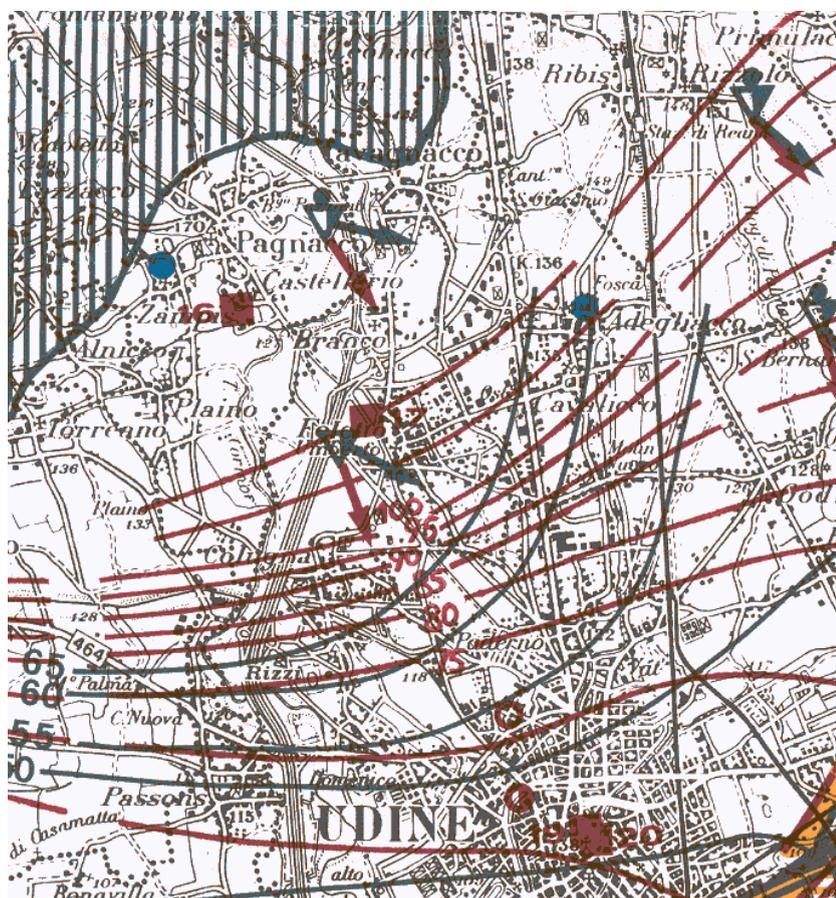
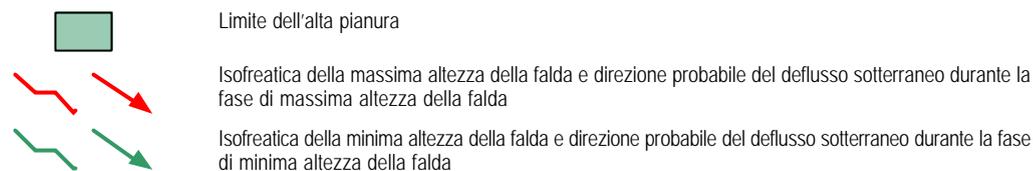


figura 3 Le isofreatiche (m s.l.m.) durante le fasi di massima e minima altezza della falda (fuori scala)

Tratto da "I potenziali inquinamenti delle acque freatiche ..." (Stefanini e Giorgetti, 1996)



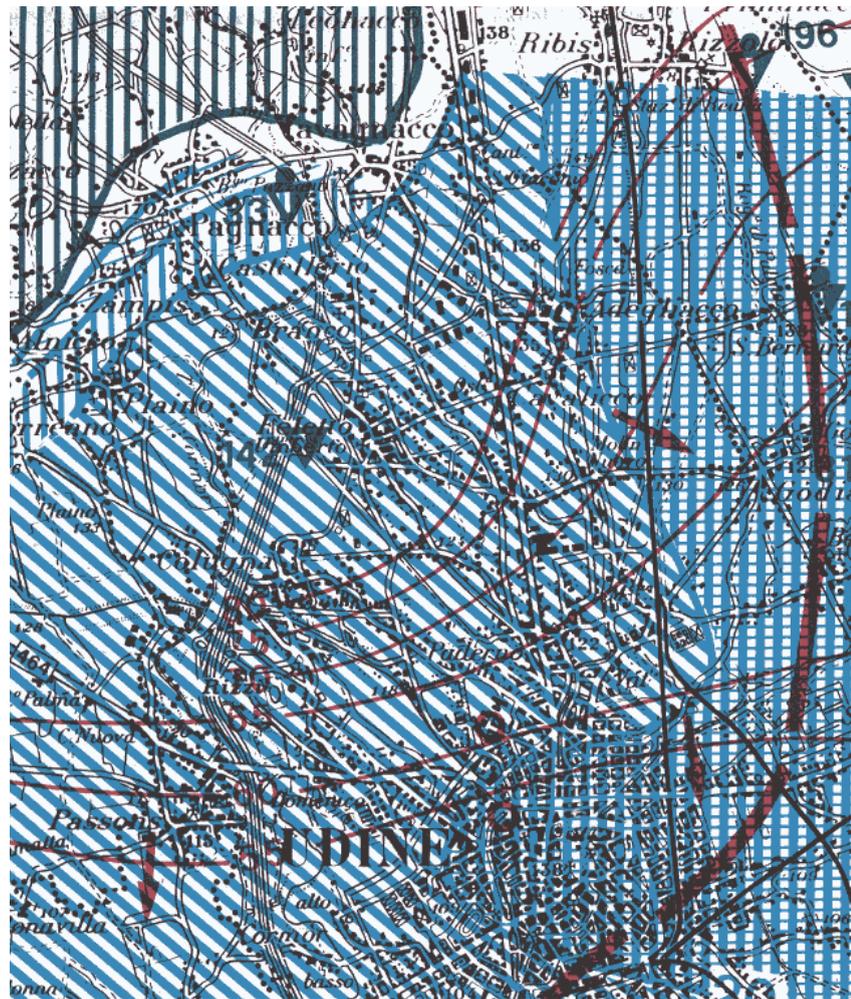
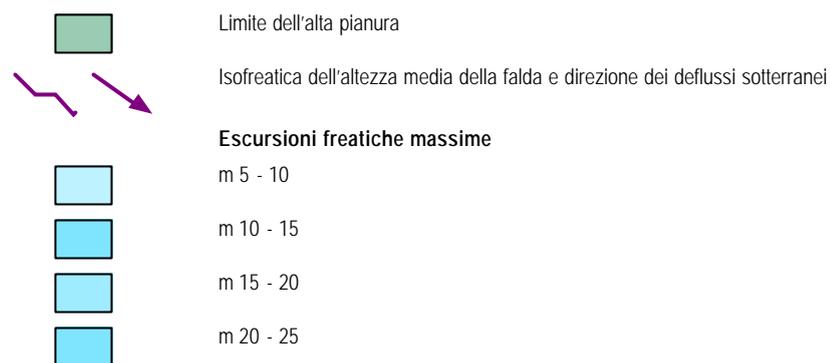


figura 4 **Le isofreatiche (m s.l.m.) durante la fase di altezza media della falda e le escursioni isofreatiche (fuori scala)**
Tratto da "I potenziali inquinanti delle acque freatiche ..." (Stefanini e Giorgetti, 1996)



I soprariportati estratti cartografici^f forniscono un'attendibile ricostruzione delle isofreatiche, a livello regionale (carte originali redatte alla scala 1:100.000).

^f Tratti dalla pubblicazione: "I potenziali inquinanti delle acque freatiche dell'alta pianura friulana ad opera delle discariche. Università degli studi di Trieste dipartimento di scienze geologiche, ambientali e marine. Prof. S. Stefanini, Prof. F. Giorgetti. Trieste 1996".

Relativamente alle caratteristiche di **permeabilità** dei terreni presenti si faccia riferimento al capitolo "CARATTERISTICHE GEOLOGICO-TECNICHE GENERALI" ove, per i diversi depositi rilevati e cartografati sulla allegata Tavola G2 "SITUAZIONE GEOLOGICA", vengono indicati i principali parametri geotecnici ed idrogeologici.

5.1 **Tavola "SITUAZIONE IDROLOGICA – IDROGEOLOGICA" – note illustrative**

La stesura della Tavola "SITUAZIONE IDROLOGICA – IDROGEOLOGICA" (Tavola G3) si è basata sulle osservazioni in sito e sulle notizie bibliografiche; per quanto riguarda in particolar modo il corso del Rio Tresemane, si è potuto far riferimento ai numerosi elaborati progettuali degli interventi finalizzati alla sicurezza idraulica del territorio e delle infrastrutture (cfr. "BIBLIOGRAFIA").

5.1.1 **Corsi d'acqua permanenti**

Sono stati riconosciuti e cartografati quei corsi d'acqua (naturali ed artificiali) o loro tratti che presentano normalmente nell'arco dell'anno un regime di scorrimento permanente (solo talora semipermanente, in particolari condizioni stagionali o in periodi di manutenzione per quanto riguarda i segmenti artificiali).

5.1.2 **Corsi d'acqua temporanei**

Come corsi d'acqua temporanei sono state classificate le aste torrentizie naturali che presentano scorrimento d'acqua in particolari situazioni quali precipitazioni piovose intense e/o prolungate nel tempo.

5.1.3 **Corsi d'acqua occasionali**

Si intendono i segmenti di primo ordine del reticolo fluviale e/o alcune canalizzazioni in cui la presenza di scorrimento d'acqua si ha in concomitanza con rovesci di eccezionale intensità.

5.1.4 **Bacini di contenimento ed infiltrazione**

Si tratta degli esistenti bacini di accumulo, realizzati in località Campi del Cristo, per dare la possibilità di contenimento (e successiva infiltrazione) delle acque della Tresemane, al fine di migliorare le condizioni di sicurezza dei centri abitati e delle infrastrutture circostanti. Anche attraverso tali opere si è potuto eliminare (in concomitanza con eventi meteorologici notevoli) l'originario spagliamento delle acque (con battente di ordine decimetrico e scarso scorrimento) nell'intorno dell'alveo, con moderato ristagno delle stesse (in tale zona il fenomeno non comportava comunque danni ad alcun insediamento -settore seminativo-arativo, se non l'esondazione di un segmento di viabilità -peraltro a fondo naturale; maggiori disagi si creavano nel confinante territorio del Comune di Udine (con maggiore grado di urbanizzazione ed antropizzazione del territorio).

5.1.5 **Aree esondabili**

Lungo tutto il corso del Torrente Cormor si individua un'area di tipo golenale saltuariamente sensibile all'esondazione da parte delle acque del menzionato corso d'acqua (dopo l'intervento di rettifica e regimazione la portata convogliabile dall'alveo

risulta di m^3/s 100, con possibilità di spagliamento di acque in area golenale in occasione di portate di piena centenaria); dati l'assetto morfologico della zona, limitata (per quanto concerne il territorio comunale) da un lato dall'asta torrentizia e dall'altro da terrazzamenti, nonché l'assenza di attività od insediamento antropici, la temporanea presenza d'acqua (anche in moderato movimento) non pregiudica od influisce sull'equilibrio del territorio.

5.1.6 Canalizzazioni con fondo e sponde in terra

Sono stati cartografati lungo il corso della Roggia di Udine e dello scolmatore del Rio Tresemane, laddove il manufatto risulta costituito da "terreno naturale".

5.1.7 Canalizzazioni con fondo e/o sponde in cls

Si tratta di opere in calcestruzzo costruite per il mantenimento di tratti di alveo e per la salvaguardia di settori spondali (opere longitudinali); si ritrovano lungo il Canale Ledra, la Roggia di Udine ed in alcuni tratti del Rio Tresemane.

5.1.8 Canalizzazioni sotterranee

Alcuni segmenti risultano "intubati" in corrispondenza di assi viari e di zone edificate.

5.1.9 Alveo rivestito e con salti di fondo

In alcuni tratti il profilo del corso d'acqua (Torrente Cormor) risulta rettificato mediante la copertura del fondo naturale originario con l'allogamento di massi e cls nonché con l'esecuzione di opere idrauliche trasversali (briglie e soglie).

5.1.10 Sponde con protezione in gabbioni o scogliera

Sono stati individuati alcuni singoli tratti con difesa spondale longitudinale in gabbionata metallica riempita di materiale lapideo (tratto del Rio Tresemane) o in massi di elevate dimensioni "scogliera" (vd. tratti del Torrente Cormor).

5.1.11 Briglia selettiva – manufatto sghiaiatore

Si tratta di opere trasversali aperte (filtranti) formate da una serie di profilati verticali immersi in uno zoccolo di calcestruzzo (e, poichè posti all'imbocco di tratti "intubati", fissati anche superiormente); risultano di altezza modesta ed operano il trattenimento del materiale fluitato (tronchi, ramaglie e rifiuti).

Per quanto attiene il "manufatto sghiaiatore" (vasca in c.a. al fondo dell'alveo), la stessa risulta posizionata, lungo il corso della Tresemane, immediatamente a monte del tombotto di sottopasso della statale Pontebbana.

5.1.12 Pozzi per acqua

Nella Tavola G3 vengono riportate le ubicazioni dei soli pozzi per i quali si abbia un'informazione circa la profondità della superficie libera dell'acqua al suo interno. Nel

seguito si riassumono in tabella tali dati⁹, distinguendo i pozzi per acqua s.l. da quelli destinati al consumo potabile (pozzi gestiti dal Consorzio Acquedotto Friuli Centrale S.p.A.)

POZZO	LOCALITA'	QUOTA LIVELLO STATICO (m s.l.m.)
P3	Branco	57
P4	Feletto	61
P5	C.li Favit	68
P14	Colugna	60
P16	Colugna	61

tabella B Pozzi per acqua "s.l."

POZZO	LOCALITA'	QUOTA LIVELLO STATICO (m s.l.m.)
P1	Feletto	55
P2	Feletto	57

tabella C Pozzi per acqua destinata al consumo potabile

Per quanto attiene i "Pozzi CAFC", si specifica che gli stessi sono utilizzati quale derivazione "secondaria", in situazioni di "emergenza" (prevalentemente in periodo estivo, quando è in "sofferenza" la derivazione principale di Molin del Bosso).

5.1.13

Stazione piezometrica

Nell'ambito del territorio comunale è presente un'unica "stazione piezometrica" appartenente alla "rete di rilevamento dei livelli freaticometrici nel territorio regionale".

In "APPENDICE – INDAGINI PREGRESSE" si riporta il diagramma freaticometrico.

POZZO	LOCALITA'	Q.TA LIV. MINIMO (magra) (m s.l.m.)	Q.TA LIV. MASSIMO (piena) (m s.l.m.)
SP225	Adegliacco	46	71

tabella D Valori limite livelli di falda nel periodo dicembre 1999 – marzo 2008

⁹ Dati da "Litostratigrafia e caratteristiche idrologiche di pozzi della pianura friulana, dell'anfiteatro morenico del Tagliamento e del campo di Osoppo e Gemona". Università degli studi di Trieste istituto di geologia e paleontologia. Prof. S. Stefanini Trieste, 1986.

6. SISMICITÀ

6.1 Classificazione sismica

Relativamente alla sismicità della zona, il comprensorio del Comune di Tavagnacco, ai sensi dell'Ordinanza P.C.M. n.° 3274 del 20 marzo 2003, recepita dalla Regione Autonoma Friuli – Venezia Giulia attraverso la Deliberazione di Giunta Regionale n.° 2325 del 1 agosto 2003, risulta classificato in “zona 2” (ex II categoria = S9, ai sensi del D.M. 15/09/1976 e dal D.M. 22/09/1980).

Relativamente alla classificazione del sito (di specifico “intervento costruttivo”), l'ordinanza citata precisa che lo stesso “...verrà classificato sulla base del valore di V_{s30} , se disponibile, altrimenti sulla base del valore di N_{SPT} ”^h.

SUOLO DI FONDAZIONE	V_{s30}	$N_{SPT} \cdot C_u$
A Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/sec, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 m.	>800 m/s	
B Depositi di sabbie e ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/sec e 800 m/sec (ovvero resistenza penetrometrica $N_{spt} > 50$, o coesione non drenata $c_u > 250$ kPa)	>360 m/s <800 m/s	$N_{SPT} > 50$ $C_u > 250$ kPa
C Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/sec e 360 m/sec ($15 < N_{spt} < 50$, $70 < c_u < 250$ kPa).	>180 m/s <360 m/s	$15 < N_{SPT} < 50$ $10 < c_u < 250$ kPa
D Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti, caratterizzati da valori di $V_{s30} < 180$ m/sec ($N_{spt} < 15$, $c_u < 70$ kPa).	<180 m/s	$N_{SPT} < 15$ $C_u < 70$ kPa
E Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali, con valori di V_{s30} simili a quelli dei tipi C e D e spessore compreso tra 5 e 20 m, giacenti su un substrato di materiale più rigido con $V_{s30} > 800$ m/sec.	<360 m/s	
S₁ Depositi costituiti da, o che includono, uno strato spesso almeno 10 m di argille/limi di bassa consistenza, con elevato indice di plasticità ($I_p > 40$) e contenuto d'acqua, caratterizzati da valori di $V_{s30} < 100$ m/sec.	<100 m/s	
S₂ Depositi di terreni soggetti a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti.		

tabella E Categorie di suolo di fondazione (Ord. P.C.M. n.° 3274)

^h Nel calcolo dell'azione sismica, sotto l'aspetto geologico, oltre alla zona sismica ed alla categoria di suolo, andrà tenuto conto anche della morfologia stessa dello specifico sito d'intervento.

6.2 Indagini effettuate

Nell'ambito del territorio comunale è stata eseguita una campagna d'indagine sismica passiva a stazione singola, con i seguenti obiettivi:

- ricostruire la stratigrafia sismica del sottosuolo;
- caratterizzare le frequenze fondamentali di risonanza al fine di mettere in luce possibili fenomeni di doppia risonanza tra terreno e strutture in caso di terremoto;
- stimare il profilo della velocità delle onde di taglio (V_s) per fornire la categoria di suolo di fondazione secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni.

A tali fini si sono effettuate:

- n.° 9 misure di microtremore ambientale della durata di 20' su terreno naturaleⁱ.

Cenni sull'oggetto della misura di sismica passiva e sulla teoria di base della tecnica impiegata nonché, per ciascun sito, risultati dell'indagine H/V, profilo di V_s (e di V_{s30}) e studio della frequenza principale di risonanza (nel solo campo Hz 1 ÷ 10 – campo di interesse ingegneristico standard) sono dati in "APPENDICE – TECNICHE DI INVERSIONE PER MISURE A STAZIONE SINGOLA".

Per quanto attiene le ubicazioni dei siti di indagine / misura si faccia riferimento alla Tavola G2 "SITUAZIONE GEOLOGICA" (in scala 1:10.000).

6.2.1 Strumentazione impiegata

Per la sismica passiva a stazione singola: tutte le misure di microtremore ambientale sono state effettuate per mezzo di un tomografo digitale portatile progettato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico. Lo strumento (*Tromino*[®], Micromed s.p.a.) è dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente, fornito di GPS interno. I dati di rumore, amplificati e digitalizzati a 24 bit equivalenti, sono stati acquisiti alle frequenze di campionamento di Hz 128.

6.2.2 Definizioni

Il tipo di stratigrafia che le tecniche di sismica passiva possono restituire si basa sul concetto di *contrasto di impedenza*. Per *strato* si intende cioè un'unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un contrasto di impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

6.2.3 Misure in campo libero a stazione singola - Procedura di analisi dati per stazioni singole H/V

Dalla registrazione del rumore sismico ambientale in campo libero è stata ricavata la curva H/V, secondo la procedura descritta in Castellaro *et al.* (2005), con parametri:

- larghezza delle finestre d'analisi s 20,
- liscio secondo finestra triangolare con ampiezza pari al 10% della frequenza centrale,
- rimozione dei transienti sulla serie temporale degli H/V.

La curva H/V è stata invertita creando una serie di modelli sintetici (che contemplano la propagazione delle onde di Rayleigh e di Love nel modo fondamentale e superiori in sistemi multistrato), fino a considerare per buono il modello teorico più vicino alle curve sperimentali. L'inversione delle curve H/V è possibile esclusivamente in

ⁱ Nella scelta dei siti d'indagine si è data priorità alla maggior "copertura" dell'ambito comunale, alla situazione geologica del territorio e si sono privilegiate le aree con previsioni insediative aggiuntive rispetto al Piano vigente.

presenza di un vincolo. Nel caso in questione tale vincolo è fornito dalla profondità di un riflettore sismico, nota tramite prove dirette (cfr. "BIBLIOGRAFIA"), il cui marker sia riconoscibile nelle curve H/V (Castellaro e Mulargia, 2008).

La velocità media delle onde di taglio nei primi 30 m di terreno viene calcolata ai sensi di legge (O.P.C.M. n.° 3274 20/03/2003, Norme Tecniche per le Costruzioni D.M 14/01/2008, ex D.M. 14/09/2005) con la seguente espressione¹:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

dove h_i e V_i indicano lo spessore (in metri) e la velocità delle onde "di taglio" (per deformazioni $\gamma < 10^{-6}$) dello strato i -esimo, per un totale di N strati presenti nei m 30 superiori.

GLOSSARIO ESSENZIALE

Discontinuità sismiche. Livelli all'interno del profilo litostratigrafico in corrispondenza dei quali si verificano nette variazioni di velocità delle onde sismiche (e pertanto delle proprietà elastiche dei litotipi).

Frequenza naturale (o fondamentale). E' la frequenza a cui un sistema, eccitato da un impulso, vibra con maggior ampiezza. E' il reciproco del periodo fondamentale.

Impedenza sismica. Prodotto Z tra la densità del terreno e la velocità delle onde sismiche V . Esso solitamente varia tra strati differenti di terreno e influisce sul coefficiente di riflessione. In pratica, il contributo maggiore alle variazioni di impedenza sismica è dato dalle variazioni di V , piuttosto che di densità.

Microtremore. Rumore sismico ambientale, caratterizzato da oscillazioni di piccola ampiezza, provocate da sorgenti naturali o antropiche (onde del mare, vento, piccoli movimenti terrestri, traffico ecc.). I microtremori sono costituiti da tutti i tipi di onde sismiche, ma generalmente, in maggior misura, da [onde superficiali di Rayleigh](#) e di Love.

Risonanza. E' la tendenza di un sistema ad oscillare con maggior ampiezza quando eccitato da energia ad una specifica frequenza, detta *frequenza naturale* di vibrazione del sistema, autofrequenza o *frequenza di risonanza*.

Nel caso degli edifici la risonanza è controllata dalle geometrie e dai materiali di costruzione mentre la frequenza di risonanza è controllata principalmente dall'altezza. La frequenza naturale di risonanza di un edificio può essere stimata, in prima approssimazione, dividendo 10 Hz per il numero dei piani dell'edificio.

Risonanza doppia. Tutte le strutture hanno una frequenza naturale alla quale la sovrapposizione di energia alla stessa frequenza amplifica il moto. Se il moto sismico indotto dal terremoto eccita la base di un edificio a frequenze prossime a quelle di risonanza naturale dell'edificio stesso, l'amplificazione del moto risultante può diventare distruttiva e portare al collasso della struttura.

¹ Media armonica.

6.2.4

Risultati indagine - Vulnerabilità sismica

Nella figura di seguito riportata vengono messe in relazione le frequenze di risonanza del sottosuolo con l'altezza degli edifici che si renderebbero maggiormente vulnerabili per doppia risonanza terreno-struttura in caso di terremoto. La curva vale per edifici standard in c.a. (cfr. Masi *et al.*, 2007)^k.

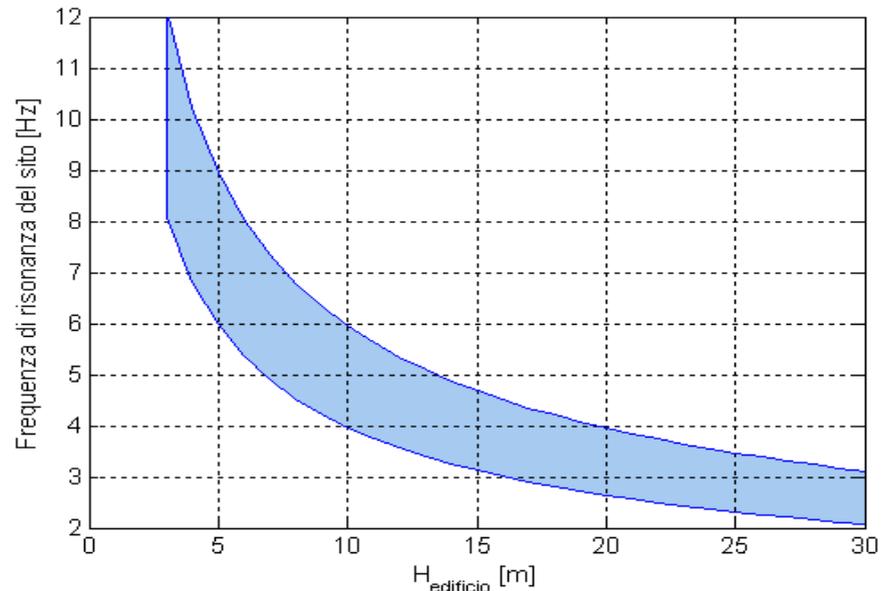


figura 5 Grafico: **Frequenze di risonanza del sottosuolo vs. Altezza edifici** (maggiormente vulnerabili per doppia risonanza terreno-struttura)

Se si osservano nell'insieme i siti indagati (cfr. grafico sottoriportato), si vede che nel campo di frequenze di interesse ingegneristico (Hz 1-15), gli stessi mostrano genericamente delle risonanze importanti tra Hz 3 e 4.

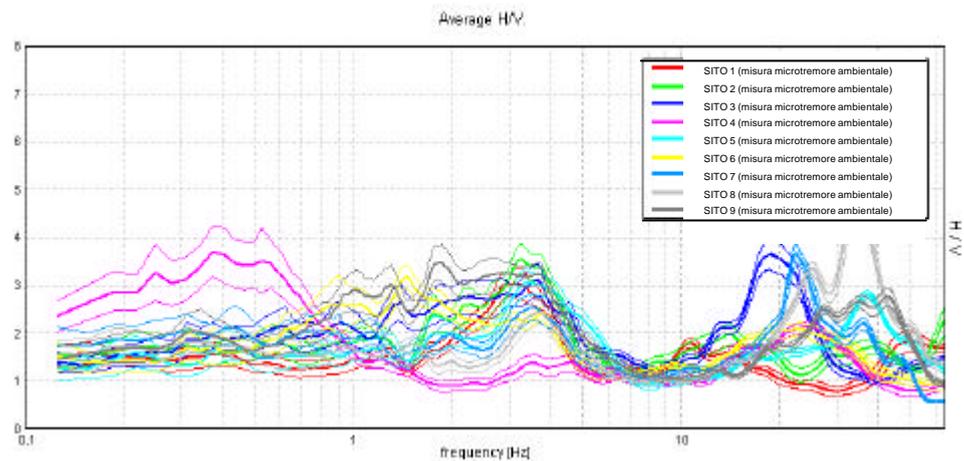


figura 6 Grafico: **Media H/V vs. Frequenze**

^k Ovviamente la prassi corretta è quella di calcolare / misurare i modi di vibrare degli edifici. In fase preliminare, a livello di pianificazione, il grafico può fornire utili indicazioni per le future progettazioni (la curva riportata può essere applicata a qualsiasi sito).

6.2.5

Risultati indagine - V_{S30}

Nella tabella sottostante si riassumono i risultati della stima delle velocità medie di propagazione, entro m 30 di profondità, delle onde di taglio (V_{S30}), determinati attraverso l'elaborazione delle misure di microtremore ambientale.

SITO DI MISURA	V_{S30} (m/s)
1	309
2	314
3	365
4	364
5	412
6	345
7	363
8	377
9	343

tabella F Velocità onde di taglio " V_{S30} "

7. CONOSCENZE GEOLOGICO – TECNICHE

Nell'ambito del territorio comunale sono state eseguite nel tempo numerose campagne d'indagine, sia di tipo diretto che indiretto; tali indagini (cfr. "BIBLIOGRAFIA"), hanno fornito utili indicazioni per la conoscenza non solo superficiale del territorio.

Di tali indagini viene evidenziata l'ubicazione dei siti indagati (cfr. Tavola G2 "SITUAZIONE GEOLOGICA") ed allegata la documentazione di prova (cfr. "APPENDICE – TECNICHE DI INVERSIONE PER MISURE A STAZIONE SINGOLA " ed "APPENDICE – INDAGINI PREGRESSE").

7.1 Caratteristiche geologico-tecniche generali

In base alla situazione geologica rilevata è possibile formulare, per ogni "formazione" riconosciuta, alcune considerazioni generali di carattere geologico-tecnico con definizione preliminare dei campi di variabilità dei principali parametri geotecnici.

Per quanto attiene alla "classificazione dei terreni di fondazione" (di cui alle già citate O.P.C.M. n.° 3274 dd. 20/03/2003 e Norme Tecniche per le Costruzioni D.M 14/01/2008, ex D.M. 14/09/2005), sulla base dei risultati ottenuti dalle misure di microtremore ambientale (vd. "SISMICITÀ"), sebbene per valori di V_{s30} alcuni siti indagati siano riconducibili a profili stratigrafici di "categoria B" ($m/s\ 360 < V_{s30} < m/s\ 800$), si ritiene prudentiale, nella presente fase di pianificazione, considerare genericamente rappresentativa, per il territorio comunale, la "categoria C" ($m/s\ 180 < V_{s30} < m/s\ 360$), in considerazione delle velocità definite ($m/s\ 310 < V_{s30} < m/s\ 410$, con $V_{s30\ media} = m/s\ 355$) nonché delle evidenti risonanze tra Hz 3 e 4 (frequenze "delicate" dal punto di vista sismico per edifici di altezza maggiore di m 10).

7.1.1 Depositi morenici

Come precedentemente descritto i depositi morenici vedono al loro interno differenziazioni granulometriche legate alla situazione geomorfologica del sito; è pertanto possibile individuare:

- prevalenti depositi costituiti da materiali grossolani (massi, ciottoli, ghiaie e sabbie) con presenza di una subordinata matrice fina (limo-argillosa); esistenza di locali e disordinate lenti di materiale moderatamente cementato (pseudoconglomerati).

PROPRIETA'	VALORI BIBLIOGRAFICI
angolo d'attrito (°)	30 - 40
coesione (kN/m^2)	0 - 50
peso di volume (kN/m^3)	20 - 22
permeabilità (m/s)	$10^{-6} - 10^{-4}$

- subordinati depositi costituiti da materiali fini (sabbie, limi ed argille) con ciottoli e ghiaie.

PROPRIETA'	VALORI BIBLIOGRAFICI
angolo d'attrito (°)	20 - 30
coesione (kN/m^2)	50 - 100
peso di volume (kN/m^3)	19 - 21
permeabilità (m/s)	$10^{-9} - 10^{-7}$

7.1.2 Sedimenti fluvioglaciali

I depositi fluvioglaciali risultano costituiti genericamente da materiali grossolani (ciottoli, ghiaie e sabbie) con variabile percentuale di matrice fina limo-argillosa.

PROPRIETA'	VALORI BIBLIOGRAFICI
angolo d'attrito (°)	30 - 40
coesione (kN/m ²)	/
peso di volume (kN/m ³)	20 - 22
permeabilità (m/s)	10 ⁻³ - 10 ⁻²

7.1.3 Alluvioni

La possibilità di una certa eterogeneità granulometrica (prevalentemente ghiaie arrotondate con subordinate sabbie) legata al sito d'indagine comporta un certo campo di variabilità nelle caratteristiche tecniche dei depositi.

PROPRIETA'	VALORI BIBLIOGRAFICI
angolo d'attrito (°)	20 - 40
coesione (kN/m ²)	/
peso di volume (kN/m ³)	20 - 22
permeabilità (m/s)	10 ⁻³ - 10 ⁻²

Trieste, 15 luglio 2008

Consulenza geologica:

dott.geol. Fabio BOSSO

dott.geol. Sandro ROTA

8. BIBLIOGRAFIA

- Aa. Vv. L'anfiteatro morenico del Tagliamento.
- Aa. Vv. Studi geomorfologici delle cerchie dell'anfiteatro morenico tilaventino.
- I terrazzi della pianura pedemorenica friulana. Dott. E. Feruglio. Udine, 1920.
- Carta geologica delle Tre Venezie. Ufficio idrografico del Regio Magistrato alle Acque, Foglio Udine scala 1:100.000, Padova 1925.
- Caratteristiche idrogeologiche e chimiche della falda freatica nell'anfiteatro morenico del Tagliamento (Regione Friuli - Venezia Giulia). Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di ricerca sulle acque - Stefanini & Kobec, Roma 1978.
- Comune di Udine, studio geologico – tecnico in prospettiva sismica del territorio comunale. Dott. G. Bernardis, Dott. P. Zorzi Udine, 1979.
- Evoluzione strutturale Plio-quadernaria del Friuli e della Venezia Giulia. Pubbl. n.° 356 P.F. Geodinamica C.N.R. 489-545, Carulli et al., Roma 1980.
- Sintesi sull'idrologia del Friuli - Venezia Giulia. Quaderni dell'Ente tutela pesca n.° 6, Prof. F. Mosetti, Udine, 1983.
- Aspetti geomorfologici dell'anfiteatro Tilaventino (Friuli). Dott. Croce, Prof. Vaia, Udine, 1985.
- Reg. Aut. F.V.G. - Foto aeree lotto 4. Dir. reg. della Pianificazione territoriale, Servizio dell'informazione territoriale e della cartografia, Trieste 1986.
- Litostratigrafia e caratteristiche idrologiche di pozzi della pianura friulana, dell'anfiteatro morenico del Tagliamento e del campo di Osoppo e Gemona. Università degli studi di Trieste istituto di geologia e paleontologia. Prof. S. Stefanini Trieste, 1986
- Strutture flyschoidi sepolte e morfogenesi glaciale nell'alta pianura friulana. Prof. Vaia, Udine, 1987.
- Geologia, pedologia, uso del suolo, stato dell'ambiente nel Comune di Tavagnacco (UD). Dott. I. Visintini, Corno di Rosazzo, 1988.
- Relazione geologico tecnica per il progetto di miglioramento fondiario in area collinare nel Comune di Tavagnacco - Azienda Agricola "Il roccolo". Dott. I.Visintini, Corno di Rosazzo, 1988.
- L'anfiteatro morenico del Tagliamento: evidenze di archi würmiani sepolti nelle alluvioni dell'alta pianura friulana e relative implicazioni glaciali neotettoniche. Prof. C. Venturini. Udine, 1988.
- La zona pedecollinare a Nord di Udine: considerazioni geologiche e caratteristiche geotecniche dei terreni. Dott. E. Bertozzi, Udine, 1989.
- Studio geologico tecnico in prospettiva sismica del Comune di Tavagnacco. Dott. I. Visintini, Corno di Rosazzo, 1990.
- Catasto regionale dei pozzi per acqua e delle perforazioni eseguite nelle alluvioni quaternarie e nei depositi sciolti del Friuli - Venezia Giulia. Dir. Reg. Ambiente Reg. Aut. F.V.G., Trieste 1990.
- La Tresemane: storia di un percorso. A. De Cilia, Udine, 1992.
- Carta di sintesi delle pericolosità naturali (scala 1:50.000). Reg. Aut. F.V.G. - Istituto di Geologia e Paleontologia dell'Università degli Studi di Trieste, conv. n.° 5686, Trieste 1992.
- Progettazione degli interventi idraulici e di inalveazione del Torrente Cormor. Ing. M. Causero, Udine, 1994.
- Studio geomorfologico di una parte del territorio dei Comune di Tavagnacco. Dott. D. Croce, Udine, 1995.
- Comune di Pagnacco, relazione sullo studio geologico – tecnico per il piano regolatore generale comunale. Dott. P. Floreani, 1995.
- Studio idrologico ed idraulico del "Tresemane" finalizzato alla sicurezza idraulica del territorio e delle infrastrutture. I fase - aspetti geologici, morfologici ed idrologici. Ing. M. Causero, Dott. D. Croce, Udine, 1996.
- Relazione geologica sull'aggiornamento del progetto generale di massima della fognatura comunale nella frazione di Feletto Colugna. Dott. D. Croce, Udine, 1996.
- I potenziali inquinanti delle acque freatiche dell'alta pianura friulana ad opera delle discariche. Università degli studi di Trieste dipartimento di scienze geologiche, ambientali e marine. Prof. S. Stefanini, Prof. F. Giorgetti. Trieste 1996.

-
- Comune di Reana del Rojale, studio geologico - tecnico del territorio comunale relativo al nuovo PRGC. Dott. S. Beltrame, 1997.
 - Comune di Tavagnacco, indagine geologica (prove in sito e di laboratorio) per il piano regolatore generale comunale. Dott. F. Bosso, Dott. S. Rota, Trieste, 1997.
 - Comune di Tricesimo, studio geologico – tecnico per il piano regolatore generale comunale. Dott. M. Cuttini, Tricesimo, 1998.
 - Relazione geologico – tecnica, ristrutturazione ed adeguamento funzionale dell'edificio denominato ex scuola elementare di Tavagnacco. Dott. F. Bosso, Dott. S. Rota, Trieste, 1998.
 - Relazione geologico – tecnica, progetto per la costruzione di opere in C.A. su scuole pubbliche. Dott. F. Bosso, Dott. S. Rota, Trieste, 1998.
 - Scritti di geografia e geologia. La prima attività scientifica (1912-1926), saggio introduttivo Prof. F. Micelli, Comune di Tavagnacco, 2000.
 - Reg. Aut. F.V.G. Direzione regionale della protezione civile. Interventi urgenti per la realizzazione di un diversivo idraulico per la deviazione delle portate di piena del rio Tresemane nel torrente Torre. Relazione idraulica. Ing. M. Causero, Udine, 2002.
 - Perizia geologico – tecnica per la costruzione della scuola materna di Adegliacco. Dott. A. Masutto, Udine, 2002.
 - Relazione geologico – tecnica, progetto per le opere di ristrutturazione e ampliamento dell'asilo nido di Colugna. Dott. F. Caproni, Udine, 2003.
 - Glaciers, l'età dei ghiacci in Friuli, ambienti climi e vita negli ultimi 100.000 anni. Comune di Udine, Museo friulano di storia naturale, gennaio – aprile 2003.
 - Relazione geologico – tecnica, progetto per la costruzione di nuovi loculi nel cimitero di Colugna. Dott. F. Caproni, Udine, 2004.
 - Comune di Tavagnacco, Assessorato Ambiente – Tresemane storia e territorio, W. Ceschia, 2004.
 - Programma di riqualificazione Urbana e Sviluppo Sostenibile del Territorio denominato "Riqualificazione urbana ed ambientale ed interventi di miglioramenti della viabilità nel distretto insediativo costituito dai comuni di Udine, Tavagnacco, Reana del Rojale, Tricesimo". Messa in sicurezza del Rio Tresemane (8.1). Ing. M. Causero, Ing. M. Cuffolo, Udine, 2005.
 - Relazione geologico – tecnica, progetto per la costruzione di un nuovo blocco di loculi presso il cimitero di Adegliacco. Dott. F. Caproni, Udine, 2005.
 - La toponomastica locale, atti dei convegni di Branco (2003-2005), Sabrina Sguazzero, Udine, 2005.
 - Reg. Aut. F.V.G. direzione centrale ambiente e lavori pubblici, servizio idraulica, carta delle isofreatiche, massimo impinguamento novembre 2000. Trieste, marzo 2005.
 - Reg. Aut. F.V.G. direzione centrale ambiente e lavori pubblici, servizio idraulica, carta delle isofreatiche, minimo impinguamento agosto - settembre 1993. Trieste, marzo 2005.
 - Reg. Aut. F.V.G. direzione centrale ambiente e lavori pubblici, servizio idraulica, carta delle isofreatiche, massimo impinguamento febbraio - marzo 1977. Trieste, marzo 2005.
 - ERSA – Reg. Aut. F.V.G. – Suoli e Vigneti, vocazione viticola della zona a D.O.C. "Friuli Grave", provincia di Udine, dicembre 2005.
 - Carta geologica d'Italia (Udine foglio 066) scala 1:50.000 – Reg. Aut. F.V.G – APAT, 2005.
 - Relazione geologica per lavori di ristrutturazione dell'immobile di via Asilo n°2 da destinare a centro socio riabilitativo a Tavagnacco. Dott. F. Caproni, Udine, 2006.
 - Reg. F.V.G – Autorità di Bacino Regionale, Progetto di piano stralcio per la difesa idraulica del torrente Cormor. Aprile 2006.
 - Carta geologica del Friuli Venezia Giulia scala 1:150.000 - Reg. Aut. F.V.G direzione centrale ambiente e lavori pubblici, servizio geologico - Università degli Studi di Trieste, Dipartimento di Scienze geologiche, ambientali e marine – Università degli Studi di Udine, Dipartimento di Georisorse e Territorio, 2006.
 - Reg. Aut. F.V.G. Direzione centrale Ambiente e Lavori pubblici, Servizio idraulica Unità operativa idrografica. Andamento della stazione piezometrica 225 dal 1999 al 2008 (località Adegliacco).

APPENDICE – TECNICHE DI INVERSIONE PER MISURE A STAZIONE SINGOLA

Tecnica impiegata - cenni storici

Dai primi studi di Kanai (1957) in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo a partire dagli spettri del rumore sismico registrati in un sito. Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è la tecnica dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR o H/V), applicata da Nogoshi e Igarashi (1970). Il metodo fu in seguito reso popolare principalmente da Nakamura (1989) come strumento per la determinazione dell'amplificazione sismica locale. Mentre su questo punto non è ancora stato raggiunto consenso, è invece ampiamente riconosciuto che la curva H/V è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali di risonanza dei sottosuoli e, tramite opportuna inversione, delle profondità dei substrati rocciosi sotto le coperture sedimentarie.

Studi recenti hanno dimostrato che ulteriori picchi a frequenza maggiori di quelle del bedrock sono riconducibili a contrasti di impedenza interni alla copertura sedimentaria e picchi a frequenze minori di quella del bedrock sono invece riconducibili a contrasti di impedenza interni al bedrock stesso. Riconosciuta questa capacità e dato che, se è disponibile una stima delle velocità delle onde elastiche, le frequenze di risonanza possono essere convertite in stratigrafia, ne risulta che il metodo H/V può essere usato come strumento stratigrafico.

Le basi teoriche dell'H/V sono relativamente semplici in un sistema bistrato del tipo sedimenti + bedrock in cui i parametri variano solo con la profondità (1-D). In questi casi la profondità h della discontinuità sismica viene ricavata tramite la formula semplice della risonanza $h = V / (4 f_r)$ o, al più, tramite la formula [1] in cui V_0 è la velocità al tetto dello strato, x un fattore che dipende dalle caratteristiche del sedimento (granulometria, coesione ecc.) e f_r la frequenza fondamentale di risonanza (cf. ad esempio Ibs-Von Seht e Wohlenberg, 1999).

$$h = \left[\frac{V_0(1-x)}{4f_r} + 1 \right]^{\frac{1}{1-x}} - 1 \quad [1]$$

Nei sistemi multistrato, teoricamente l'effetto di risonanza è sommabile, ma non in modo lineare e senza una corrispondenza 1:1. Ciò significa che la curva H/V relativa ad un sistema a più strati contiene l'informazione relativa alle frequenze di risonanza (e quindi allo spessore) di ciascuno di essi, ma non è interpretabile semplicemente applicando l'equazione [1]. L'inversione richiede l'analisi delle singole componenti e del rapporto H/V, che fornisce un'importante normalizzazione del segnale per a) il contenuto in frequenza, b) la risposta strumentale e c) l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o meno alto.

L'inversione delle misure di tremore a fini stratigrafici, nei casi reali, sfrutta la tecnica del confronto degli spettri singoli e dei rapporti H/V misurati con quelli 'sintetici', cioè con quelli calcolati relativamente ad un modello. L'interpretazione è tanto più soddisfacente, e il modello tanto più vicino alla realtà, quanto più i dati misurati e quelli sintetici sono vicini. I modelli sintetici di inversione impiegati in questo lavoro partono dalla modellizzazione del campo d'onde superficiali (onde di Rayleigh e Love) in sistemi multistrato (Aki, 1964; Ben-Menahem e Singh, 1981). L'inversione delle curve H/V per ottenere un profilo di Vs è possibile a patto di disporre di un punto di taratura (es. penetrometria o sondaggio) che fornisca la profondità di un riflettore - anche molto superficiale - riconoscibile nella curva H/V oppure a patto di conoscere la Vs del primo strato a partire da tecniche indipendenti (Castellaro e Mulargia, 2008).

Bibliografia tecnica

- Aki K., 1964. A note on the use of microseisms in determining the shallow structures of the earth's crust, *Geophysics*, **29**, 665-666.
- Ben-Menahem A., Singh S.J., 1981. *Seismic Waves and Sources*, Springer-Verlag, New York.
- Castellaro S., Mulargia F. e Bianconi L., 2005. Stratigrafia sismica passiva: una nuova tecnica accurata, rapida ed economica, *J. Geotech. Environm. Geol.*, **3**, 51-77.
- Castellaro S. e Mulargia F., 2008. Constrained H/V only estimates of Vs30, *Bull. Seism. Soc. Am.*, in stampa.
- Ibs-von Seht M. e Wohlenberg J., 1999. Microtremor measurements used to map thickness of soft sediments, *Bull. Seismol. Soc. America*, **89**, 250-259.
- Kanai K., 1957. The requisite conditions for predominant vibration of round, *Bull. Earthquake Res. Inst. Tokyo Univ.*, **31**, 457.
- Nakamura Y., 1989. A method for dynamic characteristics estimates of subsurface using microtremor on the round surface, *QR of RTRI*, **30**, 25-33.

--- ----- ---

Si riportano nel seguito, per ciascun sito, le “schede” (pagg. I – XXVII) con i risultati dell’indagine H/V, il profilo di Vs (e di Vs30) e lo studio della frequenza principale di risonanza (nel solo campo Hz 1 , 10 – campo di interesse ingegneristico standard).

Per quanto attiene le ubicazioni dei siti di misura si faccia riferimento alla Tavola G2 “SITUAZIONE GEOLOGICA” (in scala 1:10.000).

10. APPENDICE – INDAGINI PREGRESSE

Per ciascun punto di indagine segnalato (per le ubicazioni dei siti di indagine si veda la Tavola G2 "SITUAZIONE GEOLOGICA", in scala 1:10.000), si riportano nel seguito (**dati pubblici**):

- i verbali dei sondaggi elettrici verticali (SEV),
- le stratigrafie dei pozzetti geotecnici (PG),
- le descrizioni litologiche (moduli di apertura campione) per i punti di prelievo campione (CR),
- i verbali delle prove penetrometriche (DP),
- le stratigrafie dei sondaggi geognostici (S),
- le stratigrafie¹ dei pozzi per acqua (P),
- il diagramma freaticometrico della stazione piezometrica 225 (SP).

¹ Da "Catasto regionale dei pozzi per acqua e delle perforazioni eseguite nelle alluvioni quaternarie e nei depositi sciolti del Friuli - Venezia Giulia". Dir. Reg. Ambiente Reg. Aut. F.V.G., Trieste 1990 oppure (se mancanti di dati della profondità della falda) da "Litostratigrafia e caratteristiche idrologiche di pozzi della pianura friulana, dell'anfiteatro morenico del Tagliamento e del campo di Osoppo e Gemona". Università degli studi di Trieste istituto di geologia e paleontologia. Prof. S. Stefanini Trieste, 1986.