

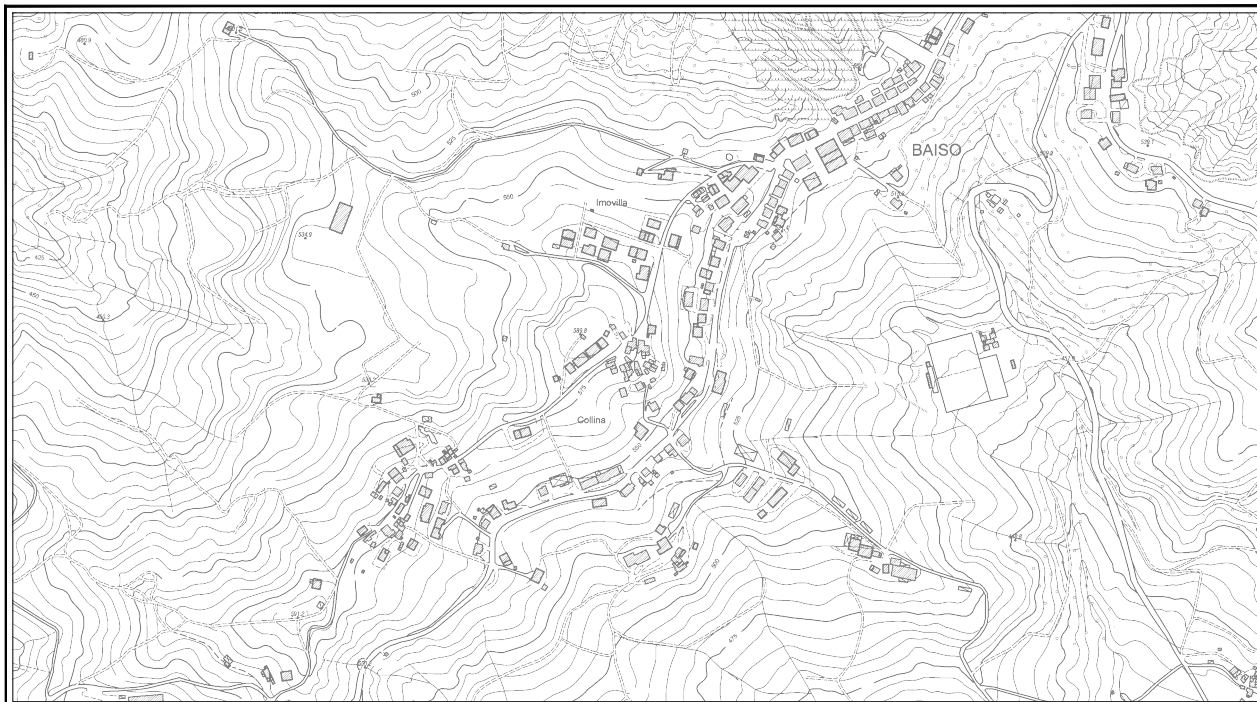
R. Emilia Romagna

Provincia di Reggio Emilia

Comune di BAISO

CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICO GEOTECNICA E SISMICA
 AMBITO PERIURBANO DI TRASFORMAZIONE PER LA NUOVA EDIFICAZIONE A
 PREVALENTE FUNZIONE RESIDENZIALE IN LOCALITA' COLLINA CAPOLUOGO, ATR8

Amministrazione Comunale di Baiso



CARATTERIZZAZIONE - MODELLAZIONE GEOLOGICO GEOTECNICA E SISMICA RELAZIONE TECNICA

Dr. Geol. GIAN PIETRO MAZZETTI



REL.N°	REV.	DATA	NOTE	Verificato	Approvato
2067/17		Novembre 2017		G.P. Mazzetti	G.P. Mazzetti

CENTROGEO SURVEY SNC

42015 CORREGGIO (RE) - PIAZZA S. QUIRINO, 6 - TEL 0522 641001 - FAX 0522 632162

COMUNE DI BAISO

**CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICO GEOTECNICA E SISMICA
 AMBITO PERIURBANO DI TRASFORMAZIONE PER LA NUOVA EDIFICAZIONE A
 PREVALENTE FUNZIONE RESIDENZIALE IN LOCALITA' COLLINA CAPOLUOGO, ATR8**

Provincia di Reggio Emilia

	INDICE
INTRODUZIONE	1
INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO.....	1
METODOLOGIA DI INDAGINE	2
INQUADRAMENTO GEOLOGICO	4
Serie litostratigrafica	5
CARATTERISTICHE STRUTTURALI E SISMOTETTONICHE	9
Attività tettonica	11
INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	11
PIOVOSITÀ NEL TERRITORIO DI BAISO.....	13
Piovosità trentennale 1961 / 1990	13
Piovosità periodo 1991 / 2015	14
Differenze piovosità periodo 1991/2015 e 1961/1990	15
Piovosità 2014: anno più piovoso. Confronto 1961/1990 e 1991/2015.....	17
Caratteristiche idrogeologiche.....	18
Dinamica dei versanti	19
Frana di Collina.....	20
MODELLAZIONE SISMICA – PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE	21
Inquadramento topografico.....	21
CLASSIFICAZIONE SISMICA.....	21
AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO.....	25
ZONAZIONE SISMICA Q.C. PTCP	25
MICROZONAZIONE SISMICA QC PSC	26
PROSPEZIONI GEOFISICHE	27
Possibilità e limitazioni della prospezione sismica	28
Prospezioni basi in tomografia sismica	28
Analisi di insieme prospezioni in Tomografia Sismica 2D	37
PROSPEZIONE SISMICA INTEGRATA ATTIVA - PASSIVA	37
ANALISI DEI MICROTREMORI CON LA TECNICA HVSR	40
PROSPEZIONE DOWN HOLE	43
Confronto andamenti successione sismostratigrafica	48
Identificazione categoria suolo di fondazione	49
Fattore di amplificazione sismico locale.....	51
ANALISI DI TERZO LIVELLO	54
Risposta sismica locale.....	54
Calcolo degli effetti di sito	55
Definizione dei coefficienti di amplificazione sismica.....	57
Spettrocompatibilità	58
Azione sismica.....	59
CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA.....	60
ANALISI DI LABORATORIO GEOTECNICO.....	62
Descrizione geotecnica all'apertura del campione.....	63
Parametri di resistenza al taglio	63
Prova di Colonna Risonante (RC)	64
CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA CORRELAZIONI	67
Prove Penetrometriche Dinamiche DPSH.....	67
Peso dell'unità di volume	68
Angolo di attrito	69
Densità relativa.....	69
Angolo attrito interno stato critico.....	69
Coesione.....	70
Deformabilità	70
MODELLO LITOTECNICO LOCALE	71

Suscettività di Liquefazione	75
VERIFICHE DI STABILITA' DEL VERSANTE	76
Analisi Condizioni di stabilità – Ambito ATR8	83
Indirizzi di manutenzione del versante.....	86
CONCLUSIONI	87

ALLEGATI

<i>UBICAZIONE AREA.....</i>	<i>TAV. 1</i>
<i>CARTA GEOMORFOLOGICO TECNICA.....</i>	<i>TAV. 2</i>
<i>ESTRATTO CARTA MICROZONAZIONE PSC.....</i>	<i>TAV. 3</i>
<i>ESTRATTO CARTA EFFETTI ATTESI PTCP.....</i>	<i>TAV. 4</i>
<i>UBICAZIONE INDAGINI</i>	<i>TAV. 5</i>
<i>PERIMETRAZIONE-ZONIZZAZIONE BAISO CAPOLUOGO.....</i>	<i>TAV. 6</i>

INDAGINI GEOGNOSTICHE – INDAGINI GEOFISICHE – STENDIMENTI SISMICI A RIFRAZIONE 2D –
 SEZIONE LITOTECNICA – SONDAGGIO GEOGNOSTICO – DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA –
 LABORATORIO GEOTECNICO - VERIFICHE DI STABILITA'

INTRODUZIONE

Nel contesto della Variante al PSC 11/2017 relativa all'Ambito Periurbano di Trasformazione per la Nuova Edificazione a prevalente funzione Residenziale del Comparto ATR8, in località Collina, Baiso, Re, appartenente all'area già oggetto di Nuova Perimetrazione e Zonizzazione dell'Abitato di Baiso Capoluogo RE, ai sensi dell'art. 25 della L.R. n° 7/2004, redatta Dr. Geol. Giovanni Bertolini – Servizio Area Affluenti del Po Sede di Reggio Emilia, Novembre 2016, è stata sviluppata un'analisi di caratterizzazione e modellazione geologico – geotecnica e sismica del settore di versante sede del comparto ATR8. Tale esame è stato finalizzato all'individuazione dell'assetto geometrico e caratteristiche dei materiali che formano il sottosuolo del sito in narrativa per la valutazione delle condizioni di stabilità dell'areale al quale appartiene l'ambito oggetto della variante.

Lo studio, articolato in rilevamenti geologico - geomorfologici, integrati da indagini geognostiche, da prospezioni geofisiche ed analisi di laboratorio geotecnico, eseguito in ottemperanza ai dettati del DM 14/01/2008, DGR.ER. 2193/2015 e NA PTCP Reggio Norme, della sopracitata Nuova Perimetrazione e Zonizzazione dell'Abitato di Baiso Capoluogo (Dr. G. Bertolini, SAAP - Sede di RE) è stato eseguito su commissione dell'**Amministrazione Comunale di Baiso RE** nel contesto dell'incarico per l'*Analisi di Microzonazione sismica di 3° livello*, DGR 2188/2016 che recepisce l'ODPC. 09/05/2016, n° 344-annualità 2015.

Le analisi effettuate, in subordine agli indirizzi e prescrizioni individuate, evidenziano che sussistono idonee condizioni di fattibilità geologico tecnica per l'utilizzo ai fini edificatori del sito sede dell'Ambito ATR8.

INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO

L'ambito ATR8, in località Collina, appartiene all'urbanizzato del capoluogo che si estende su un crinale principale allungato in direzione sud ovest - nord est con pendenze mediamente comprese tra 10% e 20% ad assetto blandamente inclinato, con quote medie localmente comprese tra 570 e 580 m slm che si caratterizzano con un cocuzzolo che giunge a 589,8 m slm nella zona a cui appartiene il comparto in oggetto. Ai fianchi nord ovest e sud est di detto crinale le inclinazioni medie dei versanti si accentuano a 15°/20° nei pendii orientali ed a 20°/25° in quelli occidentali con tratti che in quest'ultimo giungono a 35°/40°.

La zona in analisi ricade nel settore nord orientale della sezione *BAISO n° 218120*, delle basi C.T.R. E.R. in scala 1:10.000, appartenente, per quanto riguarda la cartografia I.G.M. al F° MODENA N° 86, Zona 32 T, quadrato PQ.

I vertici delle coordinate *UTM WGS84*, riferiti circa agli spigoli perimetrali del comparto ATR8 sono:

- 626841 ÷ 4927879
- 626832 ÷ 4927888
- 626830 ÷ 4927897
- 626875 ÷ 4927951
- 626898 ÷ 4927935

METODOLOGIA DI INDAGINE

Per definire la sequenza litotecnica, l'assetto geometrico spaziale, dei depositi e del substrato roccioso, disposizioni litostratigrafiche e caratteristiche tipologiche degli stessi, definizione dei parametri geotecnici dei materiali che costituiscono il settore al quale appartiene l'area oggetto di variante e dei possibili cinematismi dei processi, sono state eseguite le indagini di seguito descritte:

- **Sondaggio meccanico:** effettuato dalla Ditta *Subsoil srl*, commissionato da *SAAP sede di RE*
 - n°1 sondaggio meccanico a carotaggio continuo utilizzando una sonda oleodinamica ad avanzamento flottante per rotazione e pressione mod. C4 Casagrande, con coppia 8200/12160 kN, forza di estrazione 50 kN, lunghezza sfilo 3,1 m, attrezzata con carotiere semplice T1 e carotiere doppio T2 per il recupero di tratti di carota, la perforazione è stata eseguita, sino a -30.0 m pc;
 - Contestualmente alle perforazioni sono state eseguite prove di penetrazione codificata SPT (n°6), prelievo di campioni sufficientemente indisturbati con carotiere T2 n° 3, misurazioni del livello idrico nel foro di indagine;
 - Sui tratti di carota recuperati, sono state determinate le classificazioni litologico granulometriche ed eseguite prove di resistenza a compressione con pocket penetrometer e di resistenza al taglio semplice con tor vane da campo;
 - Il foro di sondaggio è stato attrezzato con tubo inclinometro in alluminio a 4 vie, diametro 76 mm, rivestendo e saturando lo spazio tra il foro e tubo con getto di boiacca di cemento, dotato di pozzetto in testa in cls, tappo di fondo.

- **Prove Penetrometriche dinamiche Superpesanti DPSH**
 - n° 3 prove penetrometriche dinamiche superpesanti DPSH, eseguite con penetrometro dinamico a funzionamento oleodinamico dotato di massa battente da 63,5 kgf, altezza di caduta costante di 75 cm, punta con sezione da 20 cmq ad angolo di apertura della punta $\beta = 90^\circ$, mod. Pagani TG 63-100/200.
- **Prospezioni geofisiche:**
 - n° 3 basi sismiche a rifrazione con acquisizione dei valori delle velocità di propagazione delle onde sismiche di compressione V_p con geofoni verticali da 4.5 Hz, in sezioni estese in n°2 secondo la minima pendenza ed 1 secondo la massima pendenza del versante, sino alla scarpata al lato nord ovest dell'area, registrando le acquisizioni con tecnica per l'elaborazione e restituzione in tomografia sismica 2D;
 - n° 3 prospezioni con metodo integrato a rifrazione passiva Re.Mi. ed attiva con metodo MASW, elaborando i dati ottenuti con procedura integrata: passiva/attiva Re.Mi./MASW restituendo i dati ottenuti in 3 singole verticali;
 - n° 7 rilevazioni a stazione singola di microtremori ambientali con metodo Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSJ);
- **Analisi di laboratorio geotecnico** effettuate da *Geotest sas* e da *Sinergea srl.* entrambi *Laboratori Certificati ai sensi dell'art. 59 del DPR 380/01:*
 - N°3 prove di taglio diretto consolidato drenato (CD) con Scatola di Casagrande (2 *Sinergea* – 1 *Geotest*).
 - N°1 prova di colonna risonante (*Geotest*)

Le indagini geognostiche direttamente eseguite, unitamente alle analisi di laboratorio geotecnico e prospezioni geofisiche, in funzione di un'analisi integrata, hanno consentito di definire i modelli litotecnici e geometrici, la caratterizzazione geotecnica delle unità litotecniche che costituiscono il tratto di versante sede del comparto ATR8.

INQUADRAMENTO GEOLOGICO

La struttura geologica del territorio di Reggio Emilia è costituita da complessi di ammassi rocciosi, a falde alloctone, originatisi in distinti ambiti paleogeografici che, in senso sud nord, sono identificabili come *Falda Toscana*, *Falda Ligure* e *Subligure*, *Successione Epiligure* e *Successione del Margine Appenninico*; queste ultime si sono depositate in bacini satellite impostatisi sulla Falda Ligure mentre era in movimento.

Contestualmente alla strutturazione dell'Appennino, con l'avanzamento verso oriente della catena ligure, si sono impostati bacini marini minori, estesi secondo una fossa allungata in direzione ovest est, nei quali si depositarono, tra 40 e 5 Ma¹ fa (*Oligocene-Miocene*), materiali provenienti dallo smantellamento del fronte di accavallamento della Falda Ligure. Tali azioni e materiali hanno dato origine alla Successione Epiligure costituita alla base da depositi di mare profondo, coperti da torbiditi arenaceo – marnose, brecce argillose – argilliti e sedimenti di mare medio profondo, seguiti da depositi di mare basso. Ciò testimonia tempi evolutivi relativamente rapidi dell'ambiente nel quale si sono formate dette rocce, come indicano i depositi arenacei e microconglomeratici della Formazione di Ranzano, quali quelli presenti nel territorio tra Regnano e Riolo, sedimentatisi in mari tendenzialmente stretti ed allungati sub parallelamente al fronte sommerso, impostatisi durante le fasi di avanzamento della Falda Ligure.

Contestualmente alle fasi finali di messa in posto della Successione Epiligure, diversificate nel tempo e nei luoghi, avvenute tra 10 e 5 Ma fa (*Miocene*), ed all'apertura del Tirreno (7 ÷ 8 Ma da oggi) con rotazione e compressione verso nord est dell'Appennino settentrionale, è iniziata l'ultima importante fase di strutturazione della catena che ha portato all'attuale configurazione.

In questo scenario, circa in corrispondenza dell'attuale fascia collinare, si erano instaurate, in un primo tempo, condizioni di mare basso, con essiccazione, quasi totale, del Mediterraneo (5,4 ÷ 5,3 Ma), che hanno generato l'insediamento di ambienti evaporitici, nei quali si sono depositati i Gessi Messiniani, osservabili nella fascia estesa da Pecorile a M. Evangelo. Successive fasi determinarono assetti morfologici a profondità variabile dove si sedimentavano le Argille Grigio Azzurre (FAA) alle quali, in corrispondenza delle zone meno profonde di piattaforma, si sostituivano le deposizioni di materiali sabbiosi ed a luoghi ghiaioso sabbiosi.

Il sottosuolo del settore di territorio al quale appartiene il capoluogo di Baiso, è costituito prevalentemente delle alternanze marnoso calcaree – calcareo marnose con presenza al tetto di sottili strati argillosi grigio scuri – alternati a sequenze di strati arenaceo pelitici debolmente cementati con intercalati straterelli siltoso marnosi, della

¹ Ma: milioni di anni

Formazione di Monte Venere, e dalle Breccie Argillose di Baiso presenti per contatto tettonico con la sopracitata formazione. Nella zona settentrionale del capoluogo ed a nord dello stesso, Montecchio, si rinvencono le alternanze pelitico arenaceo –arenaceo pelitiche della Formazione di Ranzano ed areniti che della Formazione di Pantano.

Dette unità litostratigrafiche costituiscono un assetto antiforme con asse orientato ovest – est che si immerge in direzione orientale che nella sua parte settentrionale è interrotto da un sovrascorrimento a direttrice appenninica esteso circa secondo l'allineamento Monte Duro – S. Giovanni di Querciola – S. Romano; successivamente procedendo in verso settentrionale si rinviene la sinclinale di Viano con asse esteso ovest est e che si immerge in direzione occidentale circa secondo le località Regnano – Viano – Castellarano.

I principali sovrascorrimenti nel territorio tra Baiso e Scandiano hanno direttrice appenninica ed oltre alla sopracitata linea di Monte Duro – S. Giovanni di Querciola – S. Romano, sono rappresentati dal Fronte di Accavallamento della Successione Carbonatica Meso Cenozoica circa orientato secondo le località Pecorile – Cavazzone – Rondinara – S. Michele dei Mucchiotti e degli sovrascorrimenti del Lineamento Frontale Pedappenninico estesi circa da S. Polo d'Enza a Casalgrande – Sassuolo.

Sono inoltre presenti importanti faglie antiappenniniche a direzione sud ovest – nord est quali quella estesa circa secondo le località Cigarellino – Baiso – M. Lusino, sulla quale è impostato il T. Tresinaro e la faglia del Secchia circa orientata secondo le località Gatta – Bebbio – San Michele dei Mucchiotti.

Le unità litostratigrafiche che costituiscono la fascia del medio e basso appennino reggiano, al quale appartiene il territorio sede del capoluogo, sono attribuite, dall'alto in basso in senso stratigrafico, a:

- **Depositi Quaternari**
- **Successione Epiligure**
- **Dominio Ligure**
 - ***Successioni della Rossena***
 - ***Pre-flysch ad elmintoidi***

Serie litostratigrafica

A) DEPOSITI QUATERNARI

DEPOSITI DI VERSANTE ELUVIALI - COLLUVIALI (Olocene attuale e non attuale)

Sono costituiti da materiali eterometrici con granulometrie medie e medio fini con dimensione massima equivalente ai blocchi ai massi, immersi in una massa di fondo prevalentemente limosa – limoso argillosa; ricoprono localmente, con spessore variabile, le formazioni prequaternarie; sono diffusamente presenti in spessori modesti: 1/2 m, nei settori circostanti il comparto ATR8.

DEPOSITI GRAVITATIVI IN MASSA, FRANE (*Olocene attuale e non attuale*)

Presentano forme ed estensioni diverse e sono costituiti da materiali eterometrici non classati e non stratificati. I rapporti materiale fine/materiale grossolano sono estremamente variabili in relazione al tipo di accumulo e caratteristiche del substrato litologico nel quale si sono originate. Occupano posizioni di fondovalle e/o rivestono fianchi dei pendii assumendo forme sia attive che non in evoluzione manifesta; sono diffusamente presenti nei versanti latitanti il crinale tra Castagneto e Montecchio, sul quale si estende il capoluogo, dove si rilevano corpi di frana attiva complessa coalescenti che si sviluppano principalmente nei materiali argillosi delle Brecce Argillose di Baiso e nelle alternanze arenaceo pelitiche debolmente cementate con sottili strati argillosi della parte sommitale della Formazione di Monte Venere; detti accumuli si estendono sia in direzione ovest che est raggiungendo lunghezze variabili tra 500 e 1000/1300 m e larghezze tra 50 e 200 m. La nicchia di frana adiacente al versante occidentale del poggio di collina (IFFI - 350001301) si rinviene circa 85/90 ad ovest di via Collina, dove assume larghezza di 70/80 m e si estende in direzione occidentale; l'archivio storico delle frane RER non documenta aggiornamenti del perimetro di frana successivamente alle rilevazioni di origine.

DEPOSITI FLUVIALI (*Olocene attuale e non attuale*)**DEPOSITI ATTUALI** (*b1*)

Ghiaie poligeniche arrotondate – sub arrotondate ad assetto embriciato, grossolanamente gradate, con intercalati livelli sabbiosi e sabbioso limosi presenti in percentuale subordinata; si rinvencono nel letto ordinario e straordinario del T. Tresinaro 1,5 km ad ovest dell'ambito ATR8.

AES8a – UNITÀ DI MODENA (*Post-VI secolo dC.*)

Depositi ghiaiosi e fini. Unità definita dalla presenza di un suolo a bassissimo grado di alterazione, con profilo potente meno di 100 cm, calcareo e grigio-giallastro. Corrisponde all'ordine b2 dei terrazzi nelle zone intravallive; sono presenti lungo il tratto di terrazzo alluvionale del T. Tresinaro 1,3/1,5 km ad occidente di Collina - Baiso e sono più elevati di 4÷5/8 m rispetto all'alveo di detto torrente.

B) SUCCESSIONE EPILOGURE**GRUPPO DI BISMANTOVA****FORMAZIONE DI PANTANO (PAT)** (*Birdigaliano p.p. – Langhiano p.p.*)

Areniti, areniti marnose e peliti sabbiose a stratificazione mal distinguibile per bioturbazione, con locali ricche malalacofaune a Lamellibranchi, Gasteropodi, Coralli aermatipici; potenza oltre 400 m, contatto inferiore in discontinuità, localmente in discordanza angolare, su CTG; ambiente di piattaforma; si riscontra circa 1/1,2 km a nord di Collina dove costituisce il poggio di Montecchio.

FORMAZIONE DI RANZANO**MEMBRO DI VARANO DE' MELEGARI (RAN_{3a})** (*Rupeliano med - sup*)

Unità prevalentemente pelitico – arenacea. Litoareniti ben cementate, di colore grigio piombo, particolarmente ricche di frammenti di rocce carbonatiche, in strati da molto sottili a spessi, con geometria sia tabulare che lenticolare. Frequenti intervalli caotici. Sono presenti anche livelli ricchi di frammenti di serpentinoscisti e altre metamorfiti di alta pressione e strati sottili di vulcano areniti feldspatiche di composizione andesitica. Potenza complessiva variabile da pochi metri a circa 600 metri. Limite netto, talora discordante su RAN_{3a}; limite superiore talora discordante con ANT; si riscontra 0,8/1,0 km a nord est di Collina.

BRECCE ARGILLOSE DI BAISO (BAI) (*Luteziano sup. – Bartoniano*)

Brecce argillose poligeniche (diamictiti) a matrice argillosa grigia, recanti inclusi di AVV, SCB, APA, MMP. Differenziati membri lateralmente eteropici a scala regionale. Potenza variabile da poche decine al centinaio di metri. Sedimentazione per colate sottomarine di fango e detrito, sono riscontrabili nei settori 250/300 m a nord del capoluogo ed in quelli 200 m a sud ovest di Collina.

MEMBRO DI COSTA DEI BUOI (BAI₄)

Brecce argillose poligeniche a matrice argillosa nerastra, contenenti clasti decimetrici di prevalenti calcilutiti biancastre. Rari inclusi di AVV, Flysch ad Elmintoidi e MMP. Potenza variabile da 40 a 200 m, sono presenti 400/500 m a sud – sud ovest di Collina.

C) DOMINIO LIGURE**SUCCESSIONE DELLA VAL ROSSENA****FORMAZIONE DI MONTE VENERE (MOV) (Campaniano sup. - Maastrichtiano)**

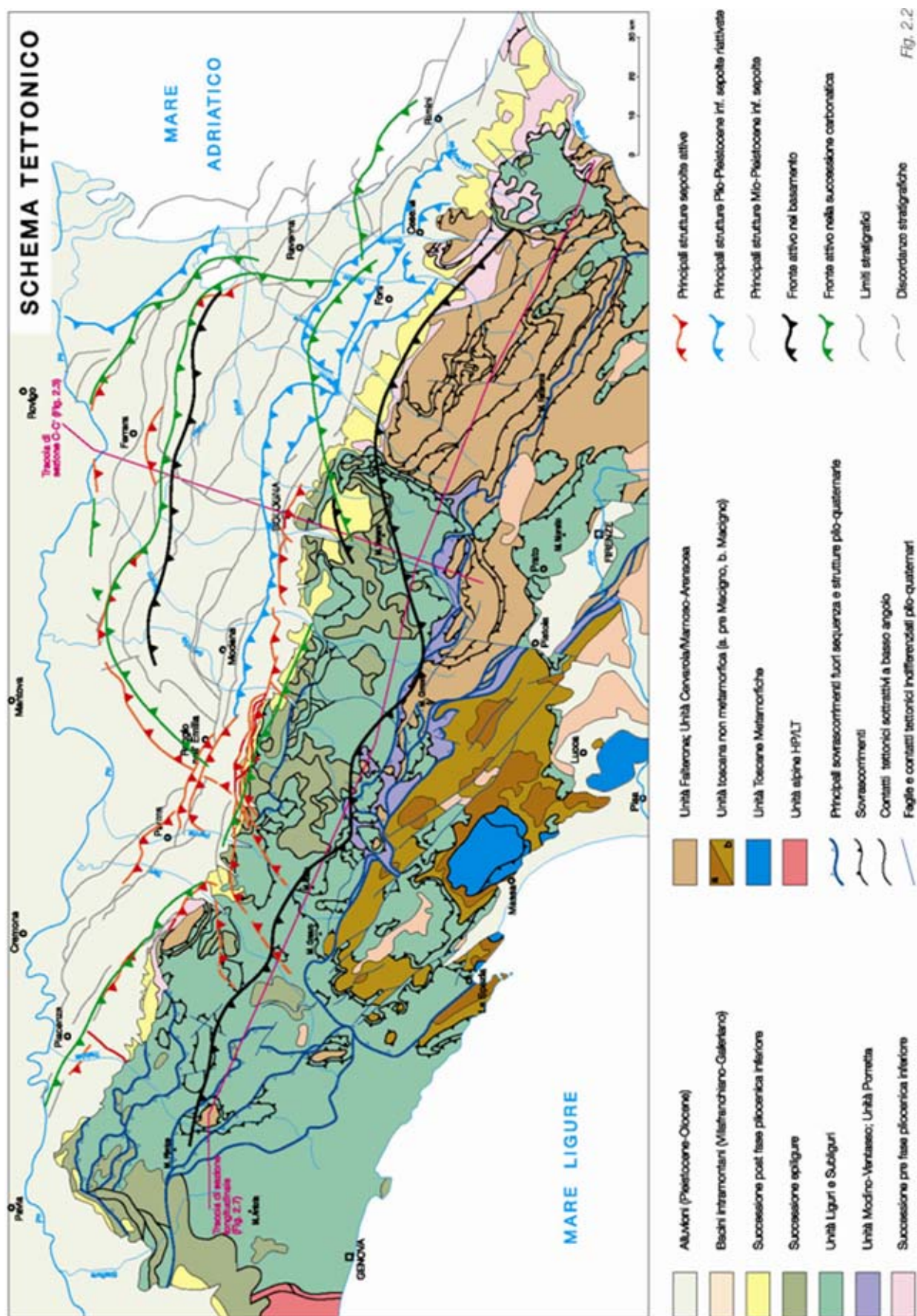
Marne calcaree a base arenitica in strati spessi e banchi gradati; al tetto alternanze di sottili livelli di peliti areniti scarsamente cementate con intercalati sottili livelli argillosi nerastri. Potenza parziale di 600 m, sedimentazione torbiditica di piana bacinale, costituiscono il substrato roccioso del poggio di Collina dove affiorano in posizione dritta e presentano immersione di $30^{\circ}\div 35^{\circ}$ a sud ovest; nel settore del capoluogo sono rappresentate dalla sequenza megatorbiditica sommitale della Formazione di Monte Venere.

FORMAZIONE PRE-FLYSCH AD ELMINTOIDI**ARGILLE VARICOLORI DI CASSIO (AVV) (Cenoniano – Campaniano sup.)**

Argilliti rosse, violacee e verdi sottilmente stratificate, caotiche per intensa tettonizzazione. Recano “boudins” di areniti tipo SCB e siltiti magnesifere. Presenti sporadici strati medio-sottili di arenarie a composizione ofiolitica. Potenza geometrica variabile da qualche decina a qualche centinaio di metri. Contatti tettonizzati con SCB. Sedimentazione pelagica intervallata da correnti di torbidità s.l. sono osservabili 1,2 km a nord est del capoluogo.

1. ARGILLE A PALOMBINI (APA) (Cretacico inf.)

Argilliti grigio scure, tettonizzate, recanti “boudins” di calciluliti biancastre, a luoghi silicizzate, pervasivamente fratturate. Presenti basalti in “pillow”. Potenza geometrica variabile da alcune decine ad alcune centinaia di metri. Contatti ovunque tettonici. Sedimentazione pelagica argillosa, intervallata da risedimentazione di fanghi carbonatici. Sono presenti in sinistra T. Tresinaro, 1,5 km ad ovest del capoluogo.



CARATTERISTICHE STRUTTURALI E SISMOTETTONICHE

L'assetto strutturale delle unità litologiche che formano l'areale al quale appartiene il territorio di Baiso è caratterizzato da unità sovrascorse ed embriciate che generano una fascia, con larghezza di $5 \div 4$ km, estesa in senso ovest est, nella quale le linee di sovrascorrimento presentano piani che si immergono a sud con angoli di $22^\circ/30^\circ$ nelle zone più settentrionali dei fronti e che procedendo in direzione meridionale diminuiscono a $16/20^\circ$.

Dal punto di vista strutturale, nell'area dell'appennino reggiano in oggetto, le principali linee tettoniche sono orientate in direzione appenninica (WNW-ESE), e nella zona in esame si estendono nella fascia di territorio a settentrione dell'allineamento Cerredolo de Coppi – Monte Duro – S. Romano – Monte Baranzone, più a nord detti sovrascorrimenti sono circa compresi tra Ciano – S. Polo d'Enza – Quattro Castella ad ovest e Dinazzano – Casalgrande – Boglioni ad est.

Detta conformazione rappresenta la parte del sistema di thrust che durante il *Miocene ed il Pliocene* ha permesso l'embricazione dell'Appennino.

Un altro importante sistema di linee tettoniche è quello trasversale a direttrice antiappenninica sud ovest – nord est, delle quali quelle localmente principali sono osservabili circa secondo l'allineamento Cigarelllo – Baiso – M. Lusino e ad ovest sud ovest del capoluogo dalla linea del Secchia che si estende da Gatta a Bebbio – San Michele dei Mucchietti – Salvarola.

Assumono inoltre importanza primaria il Fronte di Accavallamento della Successione Carbonatica Meso Cenozoica esteso in direzione ovest nord ovest – est sud est nel sottosuolo dell'allineamento S. Polo d'Enza - Cavazzone - Rondinara e la linea di sovrascorrimento mio-pliocenica riattivata estesa ovest nord ovest – est sud est da Selvapiana/Cerredolo de Coppi a San Giovanni di Querciola – San Romano – Monte Barazzone.

Al sistema dislocativo appenninico appartengono i principali elementi tettonici lineari che interessano l'area alla quale appartiene il territorio di Baiso di seguito esposti:

- *Linea tra San Polo d'Enza – Monte Cavolo – Albinea – Scandiano*: si estende in direzione ovest est circa secondo le località sopra indicate e rappresenta la parte più settentrionale dei fronti pedeappenninici (Fronte di Albinea) che sovrascorre la fascia di cunei embriciati che costituiscono l'assetto antifforme del Fronte di Reggio Emilia; è classificato sovrascorrimento attivo sepolto, si rinviene nel sottosuolo a nord di Baiso circa 12 km a nord del capoluogo.

• *Linea dei Gessi tra Calvernano/Sedrignano e San Ruffino/Casalgrande*: è costituita da una fascia di faglie sepolte con andamento tra loro circa subparallelo, larga circa $2 \div 3$ km che si estende in direzione ovest – est e presenta le larghezze inferiori ad ovest: 2 km; nella parte centrale: Vezzano sC/ La Fornace la larghezza aumenta a 3 km e si riduce successivamente in direzione est a 2 km: Borzano/Iano, incrementa a 4 km nella zona orientale: Boglioni/Casalgrande; si riscontra nel sottosuolo del territorio della fascia estesa ovest nord ovest – est sud est ubicata, circa 11 km a nord del capoluogo.

• *Linea San Polo d'Enza – Cavazzone – San Romano - San Michele dei Mucchi*: è costituita dallo sovrascorrimento sepolto del Fronte di Accavallamento della Successione Carbonatica Meso Cenozoica classificato attivo; è estesa in direzione ovest nord ovest - est sud est e transita nel sottosuolo della fascia circa 8 km a settentrione del capoluogo.

• *linea Selvapiana – Monte Duro – San Romano – Monte Baranzzone*: si estende in direttrice ovest nord ovest – est sud est, attraversando la fascia settentrionale del territorio comunale, di Baiso, circa 3 km a nord del capoluogo.

• *Linea Felina – Cigarello - Baiso – M. Lusino*: si estende in direzione sud ovest – nord est circa secondo le sopracitate località ed è classificata come faglia trascorrente mio-pliocenica riattivata; transita nel sottosuolo del settore 1,5 km ad occidente del capoluogo.

• *Linea del Secchia*: è estesa in direzione sud ovest nord est circa secondo le località Gatta – Bebbio – San Michele dei Mucchi – Salvarola e risulta faglia attiva pleistocenico - olocenica a prevalentemente componente trascorrente.

Di dette linee quelle relativamente meno recenti sono rappresentate dalla Linea Selvapiana – M. Duro – S. Romano, e dalla linea Bettola - Broletto costituite da sovrascorrimenti di età pliocenica successivamente riattivatisi (M. Boccaletti, L. Martelli, 2004).

Risultano essere strutture sepolte attive nel quaternario la fascia delle Linee S. Polo d'Enza - Pecorile – Cavazzone – S. Valentino - Casalgrande e più a sud la Linea Sedrignano – Cavazzone – Pigneto – Salvarola costituita da Fronte di Accavallamento della Successione Carbonatica Meso – Cenozoica, la Linea del Secchia.

Attività tettonica

Le analisi relative alle strutture profonde visualizzate nella *Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna* (M. Boccaletti, L. Martelli; 2004) indicano attività della linea del Fronte di Accavallamento della Successione Carbonatica Meso – Cenozoica, orientata ovest est circa secondo l'allineamento Sedrignano - Cavazzone – San Valentino.

Nel medesimo elaborato sono inoltre evidenziati epicentri sismici nella zona di Rubiera e tra Fiorano e Maranello con $M_w > 5.5$; ad est del Capoluogo, circa 3,5/4 km, tra Sassogattone e Roteglia e 14 km a nord est (Casalgrande) sono individuati epicentri, con magnitudo: $5 < M < 5,5$.

L'attività sismica nell'area in oggetto è prevalentemente correlata alla fascia deformativa dei fronti di accavallamento delle pieghe del fronte pedeappenninico che si estende in direttrice ovest nord ovest – est sud est, circa secondo l'allineamento S. Polo d'Enza – Vico - Vezzano sul Crostolo/Albinea – Rondinara/Scandiano – Sassuolo; tali fronti costituiscono una fascia con larghezza variabile tra $2 \div 3 \div 4$ km, con valori minimi nei settori orientali (Sassuolo – Casalgrande e Scandiano - Iano), massimi nella zone mediane (Montecavolo - Sedrio) ed intermedi nelle aree occidentali (Ciano d'Enza - Vico – San Polo d'Enza).

Una non trascurabile influenza sulla sismicità nel territorio del medio appennino reggiano è correlata all'attività sismogenetica della zona della Garfagnana.

Nel territorio in analisi la sismicità è principalmente connessa all'attività dei processi deformativi che interessano le strutture superficiali nei primi 15 km del sottosuolo, prevalentemente collegate a meccanismi focali compressivi e trascorrenti, ed in percentuale relativa inferiore alle deformazioni compressive delle strutture medio profonde ($15 \div 25-30$ km) e profonde ($25-30 \div > 35$ km).

L'attività tettonica del territorio in esame è indicata dalle alterne fasi di sollevamento – stasi – abbassamento individuate (CNR- PFGSN, 1983) nella fascia estesa ovest est da San Polo d'Enza a Castellarano.

INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Il territorio in oggetto è stato interessato, in epoche passate, da azioni che hanno inciso e profondamente modificato le originarie morfologie.

Gli agenti modellanti di maggior influenza sono stati le acque di scorrimento e la gravità e non da ultimo l'uomo che, sia in periodi storici che attualmente, ha profondamente variato le forme naturali proprie dell'area in analisi.

Gli agenti che localmente hanno generato le più rilevanti trasformazioni del territorio sono il F. Secchia ed il T. Tresinaro. Quest'ultimo ha costituito, nella zona di

Viano, una sezione di fondovalle con larghezza di circa $400 \div 600$ m che si caratterizza con un meandro incastrato per fenomeno di sovrainposizione.

Le azioni erosive di detto torrente hanno generato locali terrazzamenti, del tipo a ripiani, dei depositi alluvionali più antichi presenti nella zona in esame per altezze di 5/10 m.

Il tratto di versante al quale appartiene Collina è costituito prevalentemente da alternanze calcareo marnose – marnose ed arenitico siltose debolmente cementate con intercalati livelli siltosi e sottili strati argillosi grigio nerastri (MOV); a sud ed a sud est di Collina sono presenti litotipi argillosi brecciati e budinati (BAI); si differenzia da tali caratteristiche generali la zona più settentrionale del capoluogo, nella quale è insediato Montecchio, costituita da areniti ben cementate e stratificate contraddistinte da medio elevato – elevato grado di resistenza dell'erosione.

I processi di dissesto presenti nel settore di territorio in analisi, correlati alle acque di scorrimento e di infiltrazione e dall'azione della gravità, conseguono alle medio basse – basse caratteristiche di resistenza meccanica delle litozone prevalentemente argilloso limose – argillitiche delle Breccie Argillose di Baiso (BAI) e medio – medio bassa resistenza delle alternanze calcareo marnose – marnose ed arenaceo pelitiche debolmente cementate, con intercalati sottili livelli argillosi, della Formazione di Monte Venere (MOV).

I corpi di frana più diffusi, sia attivi che quiescenti, sono rappresentati principalmente da frane di colata e di tipo complesso: scivolamento e colata, di medio – medio – rilevante spessore: $5/10 \div 10/20$ m; i primi di tali accumuli caratterizzano diffusamente il tratto di versante ad est ed a nord del capoluogo mentre i secondi di riscontrano prevalentemente nel versante ad occidente di Baiso – Collina.

In quest'ultimo detti processi di innescano al passaggio, per contatto tettonico, tra le litozone argillose praticamente impermeabili delle Breccie Argillose di Baiso e quelle più pelitico argillose della Formazione di Monte Venere, con le alternanze arenitico pelitiche – pelitico marnose a grado di permeabilità relativo maggiore delle sopracitate litozone; a dette condizioni conseguono arretramenti verso monte delle fratture di detensionamento che con il progredire inducono fenomeni di scivolamento che successivamente evolvono in processi di colata.

Detti cinematismi sono principalmente correlati, oltre alle scadenti e medio caratteristiche litotecniche delle rocce che formano il versante occidentale del capoluogo, alle incisioni di fondo del T. Tresinaro che sostituisce il locale livello di base dei fossi e rii che solcano i pendii ad occidente del capoluogo.

Analogamente i processi di frana nei versanti ad oriente di Baiso sono governati dai processi evolutivi del F. Secchia e suoi affluenti in sponda occidentale.

PIOVOSITÀ NEL TERRITORIO DI BAISO

In considerazione del grado di influenza dell'andamento della piovosità annuale e dei periodi nei quali si concentrano le precipitazioni meteoriche, sulle condizioni di saturazione idrica dei terreni, e conseguentemente della stabilità dei versanti correlate alla variazione delle pressioni interstiziali, ed all'insorgere di processi di rammollimento, si è redatta un'analisi dell'andamento della piovosità in riferimento sia alle medie trentennali: 1961/1990 ARPA E.R., che a quelle relative al periodo 1991/2015. La stazione meteo più vicina all'area di studio con dati continuativi dagli anni '60 fino ai giorni nostri, risulta essere quella dell'ARPA E.R. Baiso (Lucenta e Tresinaro) ubicata alle seguenti coordinate: lat: 44,50° long: 10,60° altitudine: 542 m. s.l.m. (http://www.arpa.emr.it/sim/pagine/osservazioni_e_dati/climatologia/tabella.php?periodo=trent&variabile=piogge&stazione=05990).

I dati sono stati inseriti manualmente per ogni singolo mese ed anno e rielaborati successivamente per un quadro statistico generale ed affidabile che permettesse un'analisi accurata dell'andamento e della distribuzione delle precipitazioni nei diversi periodi: annuale, mensile, stagionale.

Piovosità trentennale 1961 / 1990

La media delle precipitazioni trentennali corrisponde a circa 838 mm annui e l'andamento delle precipitazioni presenta un andamento bimodale con massimi di afflussi meteorici nel trimestre autunnale (settembre - ottobre - novembre): 260 mm ed un sub massimo primaverile (marzo - aprile - maggio): 236 mm; i minimi di precipitazione si verificano nel periodo estivo giugno - luglio - agosto: 166 mm, con un sub minimo in inverno (dicembre - gennaio - febbraio): 176 mm.

I mesi più piovosi sono aprile, novembre ed ottobre (87 ÷ 90 mm) mentre quelli più siccitosi sono luglio (42 mm) e gennaio (53 mm).

comune di BAISO - (RE)

latitudine: 44.50; longitudine 10.60; altezza: 542;

bacino: SECCHIA - sottobacino: manca

mese	periodo	precipitazione cumulata						massima assoluta	
		n° dati giorni	media (mm)	mediana (mm)	sqm (mm)	min (mm)	max (mm)	mm	giorno
GENNAIO	prima	270	15.3	3.0	14.6	2.2	94.2	39.0	03/01/73
	seconda	270	21.1	11.8	19.8	1.8	63.6	38.0	16/01/87
	terza	297	17.0	12.4	16.3	1.0	67.4	58.8	23/01/73
	mese	837	53.3	34.4	51.9	3.0	186.6	58.8	23/01/73
FEBBRAIO	prima	270	14.5	2.8	14.0	1.0	97.0	55.0	05/02/69
	seconda	270	28.5	17.8	26.7	1.2	107.0	75.4	17/02/79
	terza	222	14.6	5.4	14.0	1.2	76.8	38.4	22/02/63
	mese	762	57.6	50.4	55.9	5.4	155.2	75.4	17/02/79
MARZO	prima	270	28.0	16.2	26.2	1.2	77.4	70.8	08/03/73
	seconda	270	19.0	12.6	17.9	1.8	55.0	40.0	17/03/83
	terza	297	27.3	16.4	25.6	1.0	103.6	46.0	22/03/86
	mese	837	74.3	78.0	72.2	5.8	212.0	70.8	08/03/73
APRILE	prima	270	25.4	16.6	23.6	3.0	62.4	42.6	09/04/65
	seconda	270	33.9	20.0	31.7	1.0	156.8	61.2	16/04/78
	terza	270	30.8	25.6	28.8	2.4	135.6	70.0	24/04/61
	mese	810	90.0	69.0	87.4	8.2	251.8	70.0	24/04/61
MAGGIO	prima	266	22.1	10.6	20.7	1.0	73.6	44.6	01/05/74
	seconda	270	29.4	14.6	27.3	2.0	109.8	45.0	15/05/89
	terza	297	20.1	9.8	18.9	1.0	77.8	30.2	26/05/75
	mese	833	71.6	59.2	69.6	14.6	169.0	45.0	15/05/89
GIUGNO	prima	270	22.0	12.6	21.3	1.4	142.0	98.4	09/06/73
	seconda	270	19.7	9.2	18.7	1.4	66.0	51.2	18/06/81
	terza	270	14.7	6.8	14.2	2.6	107.4	50.8	23/06/81
	mese	810	56.4	38.0	54.9	8.6	195.4	98.4	09/06/73
LUGLIO	prima	270	13.5	4.0	13.1	1.0	60.8	31.0	06/07/63
	seconda	270	16.6	8.0	15.8	2.0	69.8	35.0	11/07/63
	terza	297	11.8	4.0	11.5	1.0	53.4	32.2	31/07/69
	mese	837	41.9	28.4	40.9	8.2	107.8	35.0	11/07/63
AGOSTO	prima	270	13.7	4.4	13.4	2.8	69.4	58.0	10/08/84
	seconda	270	18.0	5.2	17.8	1.0	103.0	72.6	19/08/79
	terza	297	35.5	23.0	33.7	1.4	127.8	85.0	25/08/87
	mese	837	67.2	53.4	65.5	1.0	156.4	85.0	25/08/87
SETTEMBRE	prima	270	31.8	15.0	30.3	1.2	139.8	82.4	04/09/81
	seconda	270	25.6	5.6	24.6	1.0	154.0	65.8	16/09/72
	terza	270	25.6	8.0	24.7	1.0	151.6	88.8	26/09/73
	mese	810	83.1	55.4	80.8	7.0	229.8	88.8	26/09/73
OTTOBRE	prima	270	33.5	10.8	31.4	1.0	104.2	81.2	05/10/90
	seconda	270	29.2	14.2	27.4	2.0	117.8	52.0	16/10/62
	terza	297	24.6	15.4	23.3	1.4	165.0	53.0	26/10/64
	mese	837	87.3	61.8	84.9	1.0	315.8	81.2	05/10/90
NOVEMBRE	prima	270	30.2	11.6	28.4	2.0	111.6	67.0	04/11/66
	seconda	270	24.6	8.6	23.0	2.6	106.8	49.0	12/11/71
	terza	268	35.0	25.0	32.4	9.4	99.2	42.6	29/11/78
	mese	808	89.7	73.6	87.1	4.0	192.6	67.0	04/11/66
DICEMBRE	prima	270	24.4	14.6	23.3	1.6	99.0	75.0	05/12/66
	seconda	270	19.0	5.0	18.0	1.2	71.0	35.0	14/12/63
	terza	297	22.1	15.0	20.9	1.0	101.4	58.0	27/12/67
	mese	837	65.5	59.8	63.8	11.4	133.0	75.0	05/12/66
mese	periodo	n° dati giorni	media (mm)	mediana (mm)	sqm (mm)	min (mm)	max (mm)	mm	giorno
precipitazione cumulata									massima assoluta

*Piovosità Baiso 1961 - 1990***Piovosità periodo 1991 / 2015**

La media annuale delle precipitazioni nel periodo 1991 / 2015 corrisponde a circa 780 mm anno e l'andamento delle precipitazioni presenta un andamento bimodale con massimi di afflussi meteorici nel trimestre autunnale (settembre - ottobre - novembre): 263 mm ed un sub massimo primaverile (marzo - aprile - maggio): 202 mm; i minimi di precipitazione si verificano nel periodo estivo giugno - luglio - agosto: 153 mm, con un sub minimo in inverno (dicembre - gennaio - febbraio): 155 mm.

Gli anni più piovosi sono stati il 2014 con 1131 mm e il 2010 con 1098 mm, mentre gli anni più secchi furono il 1998 con 415 mm ed anche il 2000 (452 mm).

I mesi più piovosi in assoluto sono stati novembre 2008 ed ottobre 1992 (circa 215 ÷ 218 mm) e giugno 1994 (229 mm), altri mesi hanno accumulato comunque quantitativi di circa 200 mm (marzo 2013, giugno 2008, novembre 1999); quelli più siccitosi sono stati agosto 2011 e febbraio 1993 (0,2 mm), marzo 1994 e febbraio 2000 (0,6 mm) e gennaio 2000 (1,8 mm). Per quanto riguarda le medie mensili il mese più piovoso è novembre con una media di quasi 100 mm, seguito da marzo (81 mm) ed ottobre (97 mm); il mese più secco è decisamente luglio con soli 27 mm, poi agosto (42 mm), seguiti da gennaio e febbraio (46 ÷ 49 mm).

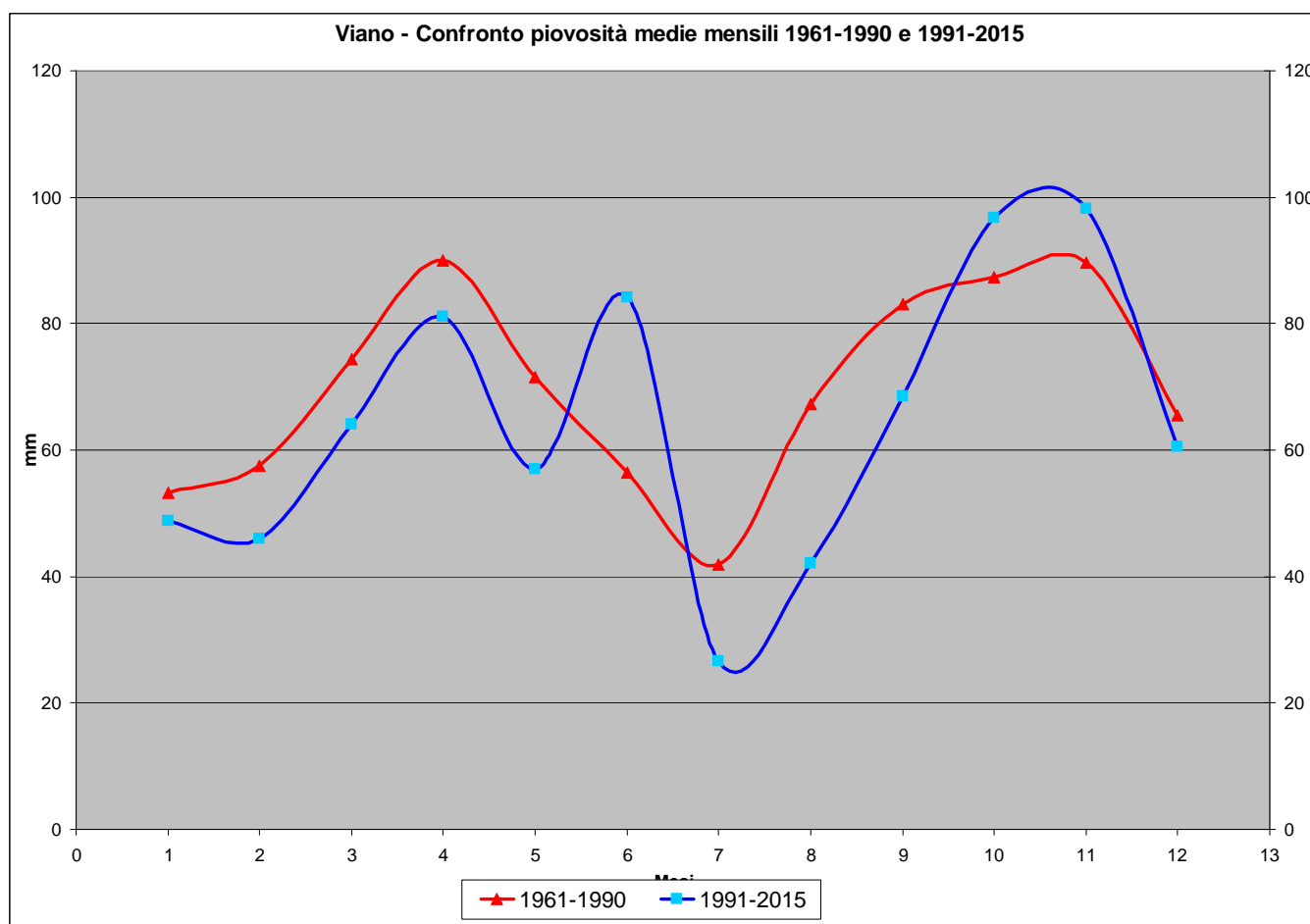
Stazione meteo di Baiso (Lucenta e Tresinaro) - Arpa - 542 m. s.l.m.													
	Lat: 44,5°				Long: 10,6°								
	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Anno
1991	30,4	16	33	112,8	82,8	46,6	6,4	17,2	66,8	144,6	126,2	4	686,8
1992	58,2	14,8	2,8	36,2	60,6	131,8	45,2	21,6	38,6	214,4	40,2	113	777,4
1993	1,8	0,2	100,8	81,6	38	18,6	25,8	37,6	73,2	91,4	76,4	30,4	575,8
1994	83,8	32,2	0,6	169,4	34	229	39,2	16,2	141,2	68	68,2	28	909,8
1995	9,4	67	23,6	33,8	89	153	34,2	137,4	75	37,2	50,8	83	793,4
1996	63	62,6	36,6	115	68,2	41,2	3,4	31,6	135,4	154,2	71,2	99	881,4
1997	66	3,6	28,6	61,6	38	175	36,8	25	23,4	31,8	103,2	50,4	643,4
1998	23,2	12,2	36	38,8	68,8	20	2,8	9	89,4	35,6	17,8	60,8	414,4
1999	38	11,2	12,6	56,2	18,2	58	10,2	49,6	65	146	200,8	22	687,8
2000	1,8	0,6	50	61,4	25,4	64,2	10,6	65	12,8	31,8	82,4	46	452
2001													
2002													
2003			32,8	103,2	12,8	27	4,4	30,8	71,2	69,2	130,6	48,6	
2004	36,8	59	76,4	75	67,2	77,8	67,2	36,6	77,2	110,6	151	94,4	929,2
2005	18,6	37,6	50,4	148,6	38,6	28	54	124,8	91,2	159,6	100,6	98,8	950,8
2006	43,8	50	48	45,4	39,4	12,6	15,2	63	152,2	19,8	45,6	43,8	578,8
2007	27	31,2	125,6	23	58,2	162,4	8,4	20,6	45	189,8	54,6	33,6	779,4
2008	45	19,2	54,2	68	144,8	205,2	11,4	1,2	16,4	46,8	218,4	130,4	961
2009	89	45,8	87,6	146,4	11,6	42	25,2	36,6	91,8	52,2	83,6	127,2	839
2010	63,4	78,2	97,8	107,6	104,4	106,4	39,6	83,4	49,4	116,4	142,8	108,2	1098
2011	27,8	58,2	105,2	24,6	19,2	152,8	35	0	28,4	87,8	29,2	26,6	594,8
2012	13,2	91	48,4	95,4	63,2	5,4	24,6	10,6	90,6	109	144,4	55	750,8
2013	110	97,2	198,4	112,4	73,4	13,8	4,4	19,2	40,4	116	111,8	18,4	915,4
2014	176	96	101,6	79,2	99	97	106,4	17,4	62,6	60,2	165,8	69,8	1131
2015	46,6	127,6	122	69,6	54,8	69,4	3	113,8	37,6	132,8	41,8	2,2	821,2
Medie	48,8	46,0	64,0	81,1	56,9	84,2	26,7	42,1	68,5	96,7	98,1	60,6	780,5

Piovosità Baiso 1991 - 2015

Differenze piovosità periodo 1991/2015 e 1961/1990

Come si evince chiaramente dai dati sopra descritti riguardo le medie pluviometriche relative al trentennio 1961/1990 e agli anni più recenti 1991/2015, la media delle precipitazioni annuali è diminuita di circa 65 mm negli ultimi anni (circa il

13% in meno di pioggia rispetto alla 1961/1990). La differenza più sostanziale riguarda la distribuzione temporale delle precipitazioni, che hanno subito una estremizzazione sia verso il basso che verso l'alto, mostrando una differenza notevole nella singola distribuzione mensile delle piogge. I mesi che mostrano il maggior scarto negativo con una riduzione delle piogge rispetto alla media 1961/1990 sono rispettivamente: luglio ed agosto con circa il $36 \div 37\%$ in meno, settembre (-17%) e febbraio (-20%). Gli unici mesi che presentano un surplus pluviometrico sono 3: giugno con circa il 50% in più rispetto alla media 1961/1990, novembre e marzo ($+9\% \div +14\%$). Anche i rispettivi trimestri stagionali rispecchiano un andamento altalenante delle precipitazioni: le 2 stagioni col maggior scarto negativo sono l'inverno (-12%) e la primavera (-14%), seguite dal trimestre estivo (calo di circa -8%) rispetto alla media 1961/1990; l'unica stagione rimasta praticamente invariata è l'autunno (+1%). In generale si stanno accentuando i cosiddetti "periodi di estremizzazione climatica" dove a settimane - mesi di generale siccità o pochissima pioggia possono seguire giorni e settimane di pioggia costante o periodi di brevissima durata (ore) durante i quali si possono registrare eventi pluviometrici estremi concentrati in brevi periodi, favorendo così le condizioni di innesco di fenomeni di dissesti idrogeologici, tendenzialmente incrementanti nelle fasce climatiche "attuali".



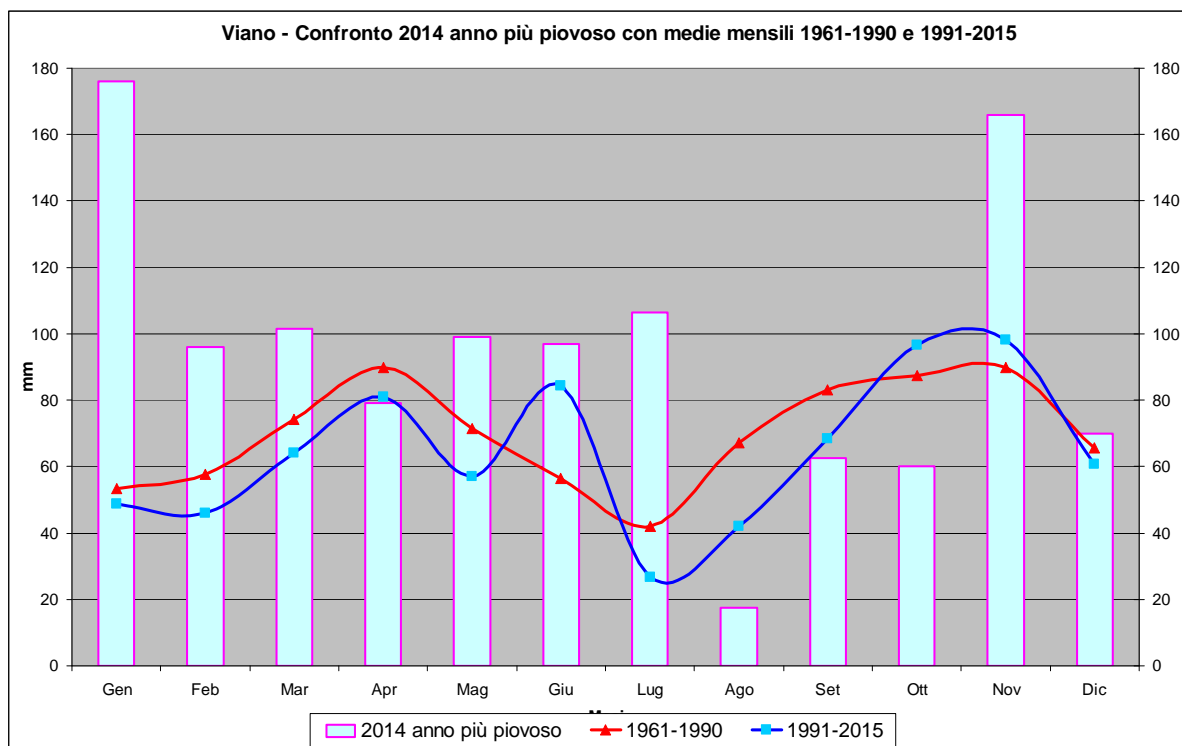
Piovosità 2014: anno più piovoso. Confronto 1961/1990 e 1991/2015

La media del 2014, anno più piovoso degli ultimi 25 anni, si contraddistingue per un andamento bimodale come per il 1961/1990 e 1991/2015, evidenzia un aumento delle precipitazioni del 35% rispetto a quella trentennale e del 45% rispetto alla 1991/2015 ed un sensibile incremento dei periodi di massima piovosità con inversione dei massimi e sub massimi.

Il trimestre con maggiori precipitazioni corrisponde a quello invernale (solitamente caratterizzato, invece, da un sub minimo) con un surplus del +65% rispetto alla media trentennale e +87% nei confronti del 1991/2015, seguito dal trimestre estivo (di solito quello meno piovoso) con +33% e +44%, caratterizzanti rispettivamente i due trimestri contraddistinti normalmente da sub minimo e minimo. Analogamente il mese più piovoso è stato gennaio con 176 mm (+230% rispetto a 1961/1990 e +260% rispetto a 1991/2015), seguito da novembre (+85% e +69% rispettivamente) e luglio (+154% e +300%).

L'andamento della piovosità nel 2014, contraddistinto da un aumento della media delle precipitazioni annuali, è stato caratterizzato dall'accentuazione della differenza tra periodi piovosi e periodi secchi con concentrazioni delle piogge nei mesi di gennaio,

novembre e luglio. Queste ultime hanno indotto condizioni di saturazione/essicazione/saturazione ai quali sono conseguiti processi di dissesto, generalmente di media – medio piccola dimensione.



Confronto piovosità Viano anno 2014 con medie 1961/1990 e 1991/2015

Caratteristiche idrogeologiche

La fascia di tra Maestà ed Imovilla, sede del capoluogo, ad eccezione del settore tra sud di collina e nord di Maestà è costituita da litozone ad alternanze di strati arenitico pelitici debolmente cementati pelitico marnosi con intercalati sottili livelli argillosi ai quali si intercalano sulla verticale banchi pelitico marnosi – marnosi a permeabilità secondaria bassa – molto bassa: $k = 10^{-5} \div 10^{-8}$ m/sec.

L'assetto strutturale, condizionato dalla diffusa presenza di linee di sovrascorrimento e faglia, nelle zone a nord ovest di Imovilla evidenzia un prevalente immersione a nord ovest con angoli di $30^\circ/35^\circ$; nel settore a meridione di detta località, zona di Collina – Maestà, le inclinazioni degli strati di $30^\circ/35^\circ$ sono orientate a sud ovest.

Nei litotipi che costituiscono il versante ad ovest del crinale sede del capoluogo (aree pelitiche – peliti marnose) l'infiltrazione delle acque nel sottosuolo è prevalentemente modesta come evidenziano i pattern del drenaggio subdendritico nelle zone a nord – nord ovest di Imovilla e ad ovest di Maestà; simili caratteristiche, ma con grado di capacità di infiltrazione nei terreni leggermente maggiore, denota l'area ad occidente di Collina nella quale il pattern del drenaggio tende al sub parallelo.

In rapporto all'assetto degli strati le precipitazioni meteoriche saturano principalmente i primi metri del sottosuolo, detensionati e fessurati per essiccazione, ove prevalgono le intercalazioni pelitico marnose e/o argillose della parte sommitale di MOV, determinando processi di rammollimento dei terreni. A dette condizioni consegue lo svilupparsi di dissesti di frana di scivolamento e di colata. Questi ultimi ammassi costituiscono acquiferi locali discontinui a bassa produttività idrogeologica.

Le unità litotecniche che costituiscono rocce serbatoio sono rappresentate dalle alternanze di strati arenitici della Formazione di Pantano (PAT) rinvenibile 0,8/0,9 km a settentrione di Imovilla dove è insediato Montecchio.

Nel settore di Versante di Collina le immersioni degli strati a sud ovest evidenziano che le acque che si infiltrano e saturano il sottosuolo defluiscono in verso sud occidentale. Ciò, unitamente al passaggio litologico alle litozone prevalentemente argillose (BAI) nella zona a sud di Collina, concorda con l'aumento relativo in presenza percentuale degli ammassi di frana rispetto alle aree tra Collina e Imovilla.

Dinamica dei versanti

Le forme e processi evolutivi, sia attivi che non, sono e sono stati sensibilmente influenzati dalle erosioni di sponda e di fondo del T. Tresinaro che ha costituito il livello di base per i propri affluenti. Nella zona in oggetto, il tributario di detto torrente che ha interessato il versante ad occidente di Collina è rappresentato dal Fosso di Collina, circa 100 m a sud ovest dell'omonimo poggio; per quanto riguarda la parte di pendio a settentrione di Imovilla l'agente che ha indotto i processi erosivi che hanno generato i dissesti di frana sul versante a nord della stessa, correlati alle più scadenti caratteristiche litomeccaniche delle rocce ivi presenti: argille brecciate, è il Fosso del Vallone Toschi.

Gli incrementi di approfondimento di detti torrenti hanno generato incisioni delle zone sede dei depositi alluvionali più recenti: AES8a, di 5/8 m rispetto alle quote d'alveo attuali; tali approfondimenti indicano un tasso di erosione medio stimabile in 0,3/0,5 cm/anno.

Gli accumuli di frana presenti sui versanti ad occidente e ad oriente del crinale sul quale si estende il capoluogo sono in netta prevalenza classificati attivi (accumulo interessato da deformazioni/traslazioni avvenute negli ultimi 30 anni) ed in subordine di tipo quiescente.

Queste ultime sebbene non abbiano fornito indizi di movimenti negli ultimi 30 anni sono comunque zone che sono da considerare a potenziale pericolosità di riattivazione dei processi deformativi/traslativi.

Frana di Collina

Il corpo di frana di Collina, identificato con il codice IFFI- 350001301 nella Carta Inventario delle Frane RER, con inizio dell'accumulo circa 110/115 m ad ovest di via collina e nicchia circa a 85/90 m da detta via, costituisce una delle frane maggiori presenti nel territorio circostante il capoluogo ed è classificabile secondo la scala di intensità proposta da *Fell*, 1994, di tipo mediamente grande: $V > 2,5 \cdot 10^{-5} \div 10^{-6}$ mc.

Dall'analisi delle geometrie delle curve di livello e relative quote, visualizzate nelle cartografie IGM I° Impianto 1984, IGM 1936, CTR ER – Voli 1973, compatibilmente con la scala - le tecniche dei rilevamenti e gli ingrandimenti, sono stimabili arretramenti verso monte delle nicchie di frana al lato nord ovest e sud ovest del poggio di Collina corrispondenti a circa 120/130 m dal 1884 al 1935; successivamente sono stimabili evoluzioni verso monte della nicchia dell'ordine di 5/10 m dal 1935 al 1973 ed un avanzamento indicativo dei materiali accumulati di 10/20 m.

Le analisi dei fotogrammi aerei multi temporali, a partire dai valori IGM – GAI 1954 evidenziano (*G. Bertolini – SAAP – RE, 11/2016*) “*Morfologie e posizione della scarpata principale della frana sostanzialmente immutate*”. Detta condizione è rimasta tale anche al periodo delle riattivazioni che hanno interessato il corpo di frana di collina (*tra le quali quella avvenuta negli anni 90*) che “*non hanno quindi provocato retrocessioni della scarpata*” (*G. Bertolini, 11/2016*) e pertanto l'arretramento stimato sopra indicato è da considerare sia avvenuto precedentemente al 1954.

Una sostanziale conservatività delle geometrie della nicchia di frana in narrativa dal 1974 al 2004 è indicata dall'analisi delle foto aeree STB/BN 2004.

Gli interventi di consolidamento realizzati mediante la messa in opera di pozzi drenanti del diametro di 1500 mm collegati da una condotta di allontanamento delle acque mediante deflusso per gravità, effettuate su progetto dell'STB.RE precedentemente all'agosto 2005, hanno conferito condizioni stabili al corpo di frana di Collina come documentano le misurazioni nell'inclinometro COL1 (profondo 35 m) ubicato nella parte superiore dell'accumulo in oggetto; dette rilevazioni strumentali dal 08/2005 al 09/2007 hanno evidenziato l'assenza di spostamenti: < 5 mm (*G. Bertolini, 11/2016*); tale assenza di movimenti fa ritenere che nel periodo delle registrazioni il corpo di frana è stato praticamente inattivo.

Pertanto gli interventi di consolidamento attuati da STB.RE hanno ottenuto gli effetti previsti in progetto.

Allo stato attuale la scarpata della nicchia di frana, con inclinazione mediante compresa tra 35° e 40° (da rilevamento integrato GPS – livellazione dal mezzo; *Centrogeo, 2017*) indica la presenza di modesti processi di deformazione molto lenti per creeping evidenziati dalla curvatura alla base degli alberelli insediati sul versante. Tali effetti sono correlabili all'inclinazione della scarpata e caratteristiche litotecniche delle

alternanze arenitico pelitiche e peliti marnose (MOV), a fenomeni di detensionamento dell'ammasso roccioso e di saturazione/ruscellamento nella porzione superficiale del versante.

MODELLAZIONE SISMICA – PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE

Inquadramento topografico

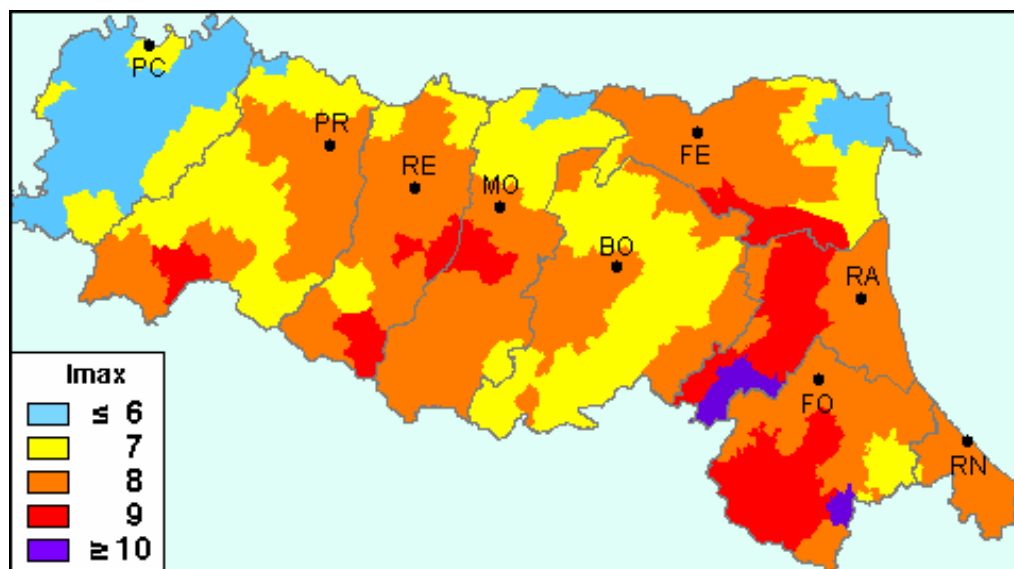
Le coordinate geografiche (ellissoide ED50) relative circa al centro dell'area di intervento corrispondono a:

$$10,596501 \div 44,494312$$

(utilizzate per il calcolo dell'azione sismica – DM 14-01-08)

CLASSIFICAZIONE SISMICA

Nell'ambito in cui ricade il territorio comunale di Baiso (RE) il catalogo delle massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani, valutate a partire dalla banca dati macrosismici del GNDT e dai dati del Catalogo dei Forti Terremoti in Italia di ING/SGA, elaborato per il Dipartimento della Protezione Civile (*D. Molin, M. Stucchi e G. Valensise, 1996*) documenta eventi sismici giungenti al 8° grado della Scala *Mercalli - Cancani – Sieberg*, con magnitudo massima corrispondente ad $M = 5,6 \div 5,8$, come evidenziato nella seguente figura:



Nell'area a cui appartiene il territorio di Baiso, RE il *Database Macrosismico DBMI15* utilizzato per la compilazione del *catalogo parametrico CPTI15* (a cura di Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds), 2016. *CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes*. Istituto Nazionale di Geofisica e

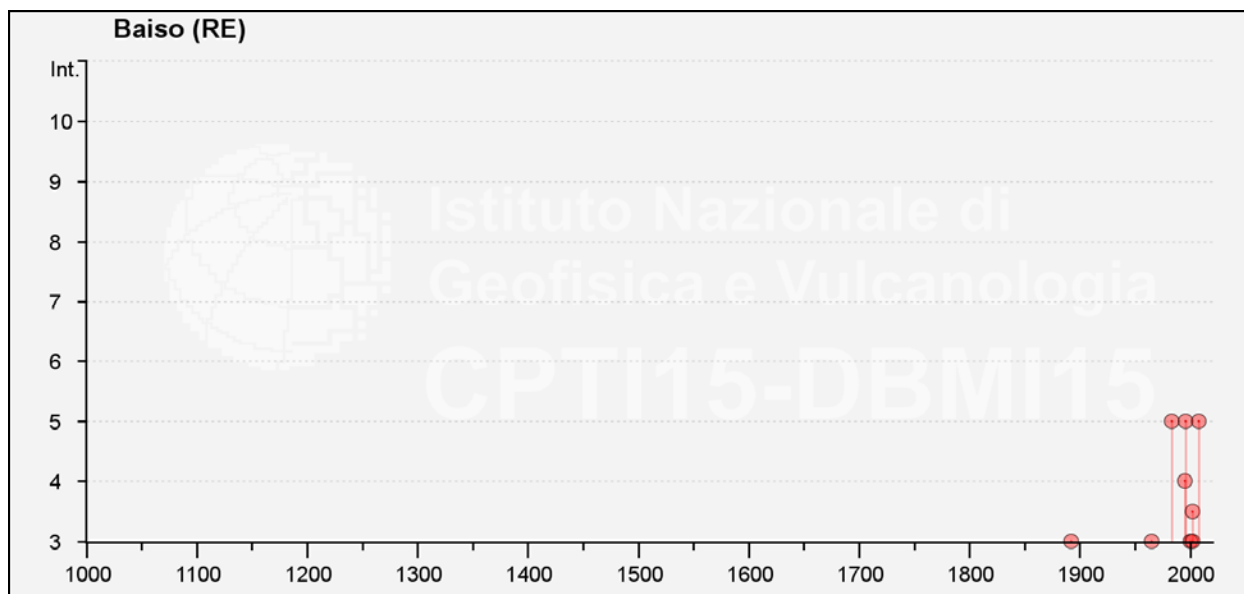
Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15>) documenta gli eventi sismici di seguito riportati:

Storia sismica di Baiso

Numero di eventi: 20

Effetti	In occasione del terremoto del				
Int.	Anno Me Gi Ho Mi Se	Area epicentrale	NMD P	Io	Mw
5	1983 11 09 16 29 5	Parmense	850	6-7	5.04
5	1996 10 15 09 55 5	Pianura emiliana	135	7	5.38
5	2008 12 23 15 24 2	Parmense	291	6-7	5.36
4	1995 10 10 06 54 2	Lunigiana	341	7	4.82
3-4	2002 06 08 20 13 0	Frignano	115	4	4.23
3	1892 05 17 03 08 1	Carpineti	28	5	4.28
3	1965 11 09 15 35	Appennino reggiano	32	5	4.17
3	2000 06 18 07 42 0	Pianura emiliana	304	5-6	4.40
3	2002 06 18 22 23 3	Frignano	186	4	4.30
2	2000 10 03 01 12 3	Frignano	62	5	4.22
NF	1899 06 26 23 17 2	Valle del Bisenzio	138	7	5.02
NF	1986 10 01 19 53 3	Lunigiana	68	5	4.46
NF	1986 12 06 17 07 1	Ferrarese	604	6	4.43
NF	1989 10 03 09 41 3	Appennino parmense	91	4	4.04
NF	1996 12 16 09 09 5	Pianura emiliana	115	5-6	4.06
NF	1997 05 12 22 13 5	Pianura emiliana	56	4-5	3.68
NF	1997 12 24 17 53 1	Garfagnana	98	5	4.33
NF	1998 02 21 02 21 1	Pianura emiliana	104	5	3.93
NF	1998 03 26 16 26 1	Appennino umbro-marchigiano	409		5.26
NF	2002 11 13 10 48 0	Franciacorta	768	5	4.21

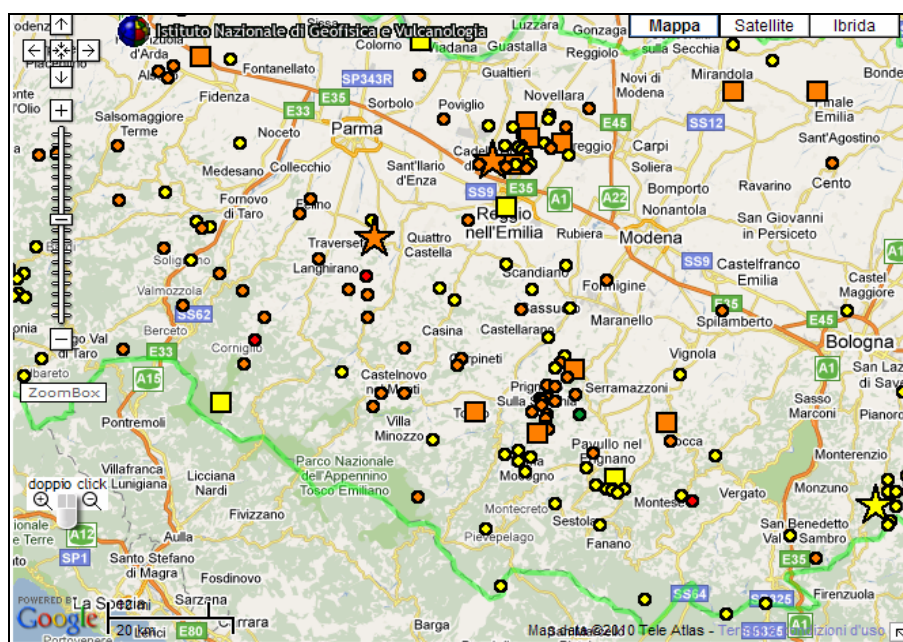
Dove: Io ed Mw = Intensità e Magnitudo sismica epicentrale; Int = Intensità sismica percepita



(tabella e grafico reperiti dall'archivio DBMI11, consultabile al sito internet

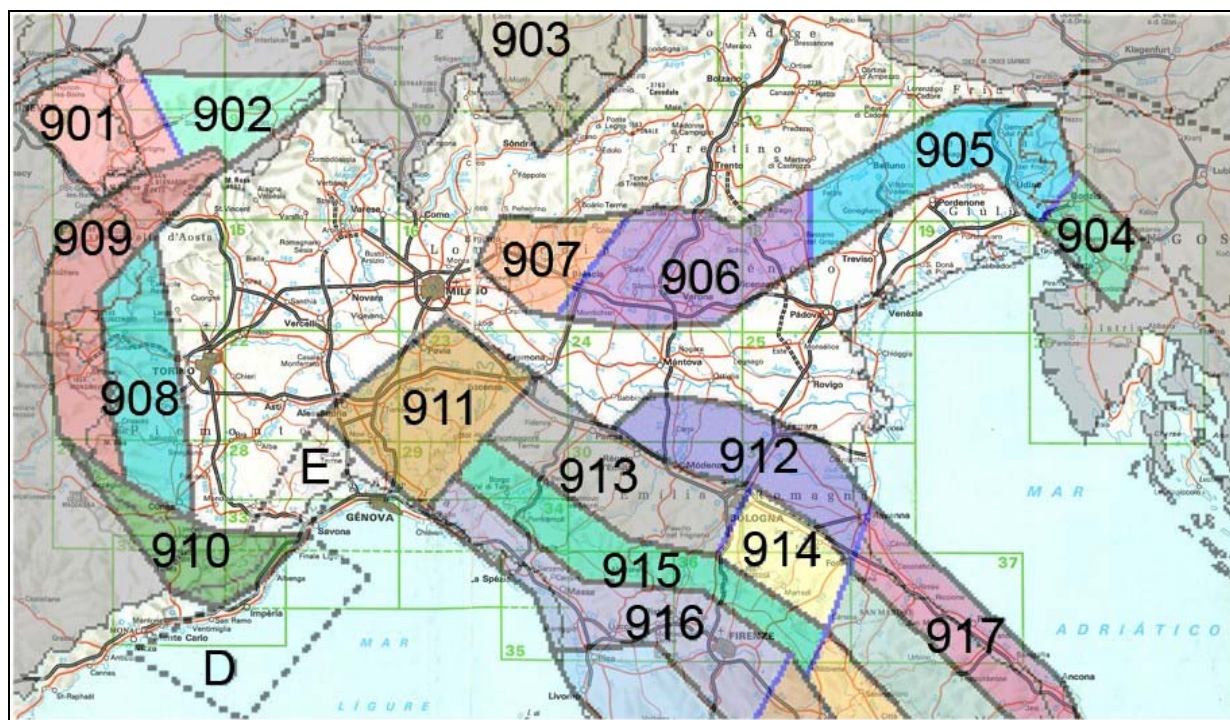
<http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>)

In occasione dei sismi che hanno colpito il territorio il 20 e 29 maggio 2012 l'area di Baiso, RE, ha subito effetti inferiori al V° grado MCS (Fonte: "Rilievo Macrosismico MCS Speditivo" – Rapporto Finale – Protezione Civile – Giugno 2012).



Epicentri dei principali terremoti ($M > 3$) rilevati da INGV nell'intorno dell'area di interesse

La zonazione sismica del territorio nazionale, che identifica le zone sorgente a caratteristiche sismiche omogenee, elaborata da I.N.G.V. (2003), attribuisce l'ambito territoriale in oggetto alla zona sismogenetica 913.



Zonazione sismogenetica ZS9 (INGV, 2004)

ZS	4.76	4.99	5.22	5.45	5.68	5.91	6.14
913	26	13	11	6	4	1	0

Distribuzione degli eventi sismici per classi di magnitudo per la zona 913 (INGV, 2004)

La riclassificazione sismica del territorio nazionale OPCM 3274/2003 attribuisce il comune di Baiso alla zona 3 con grado di sismicità, riferito alla previgente normativa sismica, equivalente agli ambiti con S6.

I parametri di accelerazione massima orizzontale di picco al suolo, ag, relativi all'area di pertinenza del settore di territorio in esame, in base alla griglia dell'NTC 14/01/2008, sono compatibili con quelli delle classificazioni sopra esposte.

AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO**DM 14/01/200**

Sulla base delle indicazioni contenute delle NTC di cui al D.M. 14/01/08, per l'area in esame, considerando, strutture di classe II (vita nominale $V_n = 50$ anni, coefficiente d'uso $C_u = 1,0$; $V_r = 50$ anni), risultano i seguenti valori di accelerazione di riferimento al suolo e parametri per il calcolo degli spettri di risposta di riferimento, in funzione dei diversi stati limite considerati:

STATO LIMITE	T_R (anni)	a_g (g)	F_0 (-)	T_c (s)
SLO	30	0.054	2.490	0.247
SLD	50	0.068	2.492	0.262
SLV	475	0.158	2.489	0.288
SLC	975	0.199	2.499	0.296

dove:

SLO = Stato limite di operatività; Pvr = 81%

SLD = Stato limite di danno; Pvr = 63%

SLV = Stato limite di salvaguardia della vita; Pvr = 10%

SLC = Stato limite di prevenzione del collasso; Pvr = 5%

 a_g = accelerazione massima di riferimento al suolo F_0 = fattore di amplificazione T_c = inizio del tratto orizzontale dello spettro di risposta**D.G.R. E.R. 2193/2015**

Il valore della a_g di riferimento, con probabilità di eccedenza dell'evento sismico del 10% in 50 anni, riportato nell'allegato A4 della Delibera della Giunta Regionale Emilia Romagna n°2193/2015, per l'area in analisi, corrisponde a

$$a_{refg} = 0,158 \text{ g}$$

ZONAZIONE SISMICA Q.C. PTCP

Le analisi di zonazione sismica redatte nel contesto del QC PTCP RE 2010, negli elaborati Tav. P9a – 218SE Effetti Attesi e Tav P9b – 218SE Livelli di Approfondimento, classificano la fascia di territorio a cui appartiene il sito ATR8 come classe H con $V_s > 800$ m/sec (Tav. P9a) per la quale non sono richiesti ulteriori livelli di approfondimento (Tav. P9b).

MICROZONAZIONE SISMICA QC PSC

Le analisi di Microzonazione Sismica di secondo livello del territorio di Baiso (*Centrogeo Survey, 2009*) classificano il settore di territorio di Collina al quale appartiene l'ambito ATR8 come: area con substrato con $V_{s_{30}} < 800$ m/sec soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche appartenente ad abitato da consolidare e trasferire, Tav. P09; l'elaborato di microzonazione sismica, Tav. P10 attribuisce la zona di Collina – Comparto ATR8, ad area instabile e soggetta ad amplificazione litostratigrafica per tale zona sono richieste valutazioni del coefficiente di amplificazione litologico, valutazione del grado di stabilità con analisi di approfondimento di III° livello secondo l'allegato A3 della DAL 112/2007, ora DGR 2193/2015.

PROSPEZIONI GEOFISICHE

Per l'individuazione dell'assetto litostratigrafico e variazioni delle geometrie laterali e verticali delle unità litotecniche che costituiscono il settore di versante sede dell'ambito ATR8 – Collina, nel quale ad una distanza di 26 m dal limite ovest del comparto è presente la scarpata di una nicchia di frana che si estende in direzione sud ovest – nord est per una lunghezza di 70/80 m, sono state effettuate 3 prospezioni geofisiche con sismica a rifrazione, con acquisizione ed elaborazione dei segnali sismici con metodo in tomografia 2D.

Negli stendimenti dei profili sismici, estesi sud est – nord ovest e sud ovest – nord est, sono state generate onde sismiche di compressione (onde P) sia per il profilo sviluppato secondo la linea di massima pendenza del versante (SE-NW) e che per quelli secondo le linee di minima pendenza (SW-NW).

Nel contesto di tali indagini, per definire le caratteristiche di risposta sismica dei litotipi che formano il versante, sono state effettuate 3 prospezioni a rifrazione con registrazione delle velocità di propagazione delle onde di taglio, con metodo integrato passivo/attivo Re.Mi/MASW; dette indagini sono state integrate da otto acquisizioni a stazione singola per determinare le frequenze proprie di vibrazione del sottosuolo, finalizzate ad individuare i principali contrasti di impedenza identificanti il passaggio al substrato roccioso più consistente, con metodo Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr).

Gli stendimenti sismici a rifrazione e le indagini ReMi/MASW sono state effettuate utilizzando un sismografo digitale a 24 canali ad elevata dinamica *GEOMETRICS GEODE*, attrezzato con 24 geofoni verticali con frequenza propria da 4,5 Hz, disposti ad interassi di 1.5 m, in tutti i profili, sia per lunghezze di indagine negli stendimenti di 100 m (BS1-BS2; minima pendenza) che di 65 m (BS3; massima pendenza). L'energizzazione nel terreno si è effettuata con una mazza da 10 kg battente su piastra metallica in alluminio resa solidale al terreno. Per aumentare il rapporto segnale/rumore si è proceduto alla somma di più energizzazioni generando 11 impulsi di cui 7 interni e 4 esterni in ogni singola base.

Le determinazioni della frequenza fondamentale dei terreni sono state effettuate mediante acquisizioni di microtremiti con sismometro *SARA mod. GeoBox* a dinamica di 24 bits dotato di geofono tridirezionale con frequenza propria di 4,5 Hz ed analogo sismometro *TROMINO*; i dati registrati sono stati elaborati con tecnica HVSr mediante software *Grilla*.

L'ubicazione delle indagini in sito è visualizzata nell'allegata Tav. 5 ed i risultati ottenuti dalle elaborazioni negli allegati profili in tomografia sismica, schede MASW/Re.Mi., HVSr.

Oltre a dette prospezioni è stata eseguita, nel foro di sondaggio attrezzato con inclinometro, una prova sismica in foro con metodo Down Hole.

Possibilità e limitazioni della prospezione sismica

Le onde elastiche provocate da una vibrazione si trasmettono nel suolo con velocità differenti per ogni litotipo.

Nella prospezione sismica a rifrazione si utilizza la diversa velocità di propagazione delle onde longitudinali basata sul principio che le onde di compressione e dilatazione (onde P) sono onde elastiche più veloci di propagazione nel sottosuolo rispetto alle onde di taglio o trasversali (onde S).

Le velocità di avanzamento dei treni d'onda dipendono dalle caratteristiche elastiche di un determinato litotipo ed in particolare dai moduli di *Young*, *Poisson*, di incompressibilità, di rigidità, della densità e del grado di saturazione dei materiali che influisce sulle onde P incrementandone i valori; detti effetti dipendono inoltre sia dalle geometrie delle strutture attraversate che di quelle ad esse circostanti.

Tali limitazioni sono mitigate dalle procedure di elaborazione con i metodi di inversione pseudo 2D ed elaborazione con tecnica WET.

Prospezioni basi in tomografia sismica

I sismogrammi registrati su memoria di massa, sono stati oggetto di picking, determinando i primi arrivi (ritardo tra il momento di energizzazione e l'arrivo del treno d'onda generato a ciascun geofono) con un'approssimazione soggettiva di ± 1 millisec.

Mediante la relazione tra il ritardo e la distanza tra la sorgente ed il singolo geofono, per ogni energizzazione effettuata, è stato definito il grafico delle dromocrone. Da queste, mediante l'ausilio di uno specifico software, basato sul metodo di inversione pseudo 2D denominato "*Delta-t-v method*" (*Gebrande e Miller, 1985*), è stata ottenuta una pseudosezione 2D velocità - profondità.

Il "*Delta-t-v method*" non richiede la mappatura dei rifrattori: i dati utilizzati sono i parametri sismici, la geometria dell'acquisizione ed il picking dei primi arrivi.

Successivamente i risultati sono stati elaborati con la tecnica WET (*wavepath eikonal travelttime* – *Schuster, 1993; Watanable, 1999*), che utilizza il concetto del "*volume di Fresnel*", definito come l'insieme delle onde che hanno tempi di percorso differenti per un massimo di mezzo periodo. In questo volume i tempi di percorso sono calcolati dalla sorgente al ricevitore e viceversa. Infatti avendo le onde sismiche una frequenza abbastanza definita, la loro propagazione è influenzata non solo dalle strutture attraversate ma anche da quelle circostanti il loro tragitto, che determinano effetti di diffrazione o formazione di zone d'ombra.

L'algoritmo per l'inversione WET opera come di seguito esposto:

- Utilizza un modello iniziale di velocità con risoluzione dell'*eikonal equation*, con il metodo alle differenze finite (al fine di determinare il ΔT residuale tra i tempi di primo arrivo osservati e quelli calcolati alle differenze finite).
- Definisce un fattore arbitrario "R" (funzione della frequenza della sorgente) in tutti i punti del mezzo analizzato in funzione delle varie posizioni delle sorgenti e dei ricevitori.
- Aggiorna il modello di velocità e ripete gli step precedentemente definiti, in maniera iterativa, fino alla convergenza tra i dati ottenuti e quelli rilevati.

I risultati ottenuti dalle elaborazioni dei dati acquisiti sono riportati negli allegati profili sismici: BS1 – BS2 – BS3, che visualizzano i valori e l'andamento sia sulla verticale che sull'orizzontale dei valori delle velocità di propagazione delle onde sismiche di compressione V_p in funzione della profondità degli orizzonti sismotecnici rispetto al piano campagna.

SUCCESSIONI GEOLOGICO TECNICHE -SISMICHE**Stendimento sismico BS1**

Lunghezza: 63 m, 24 geofoni con passo intergeofonico di 2,5 m

Direzione: sud est – nord ovest

Quota: 579,1 – 586,7 m slm

Rilevazione onde di compressione (Onde P)

Profondità	Successione sismostratigrafica
<i>Da piano campagna a -1,5/-2,0 ÷ -3,0/-4,0 m p.c.</i>	<p>Unità con velocità di propagazione delle onde sismiche di compressione compresa tra $V_p = 200$ e $400/500$ m/sec, correlabile a materiali a granuometria argilloso limosa cementati (calcarei marnosi - marne - peliti) a medio - medio basso grado di addensamento e ad elevato grado di fatturazione; costituisce l'orizzonte più superficiale detensionato a pronunciata variabilità laterale in spessore.</p> <p>La potenza maggiore, corrispondente a 3,5/4 m, si riscontra nella parte occidentale: progressive 0/13 e si assottiglia progressivamente in direzione est, attestandosi a 2,5/3 tra le progressive 14/24; successivamente procedendo in verso orientale diminuisce 1,5/2 m: progressive 25/63, mantenendo praticamente spessore costante. Presenta inclinazione ad ovest di $5^\circ/10^\circ$ nella parte orientale e centrale del profilo: prgr. 25/63, di $15^\circ/20^\circ$ nella zona centro occidentale: prgr. 24/13 e di $30^\circ/35^\circ$ nel settore prossimo alla scarpata al bordo ovest dell'area in esame: prgr.13/0. Gli aumenti in spessore e dell'inclinazione alla base sono correlabili a fratture di detensionamento sub verticali con angoli di $50^\circ/55^\circ$.</p>

Profondità	Successione sismostratigrafica
Da -1,5/-2,0 ÷ -3,0/-4,0 m a -5,0/-8,0 m pc	<p>Orizzonte con velocità delle onde di compressione compresa tra $V_p = 400/500$ m/sec e $600/700$ m/sec, correlabile materiali con granulometria limosa – limoso sabbioso fine – limoso argilloso (areniti siltose – marne) detensionati ed a medio grado di consistenza; tale unità è caratterizzata da pronunciata variabilità laterale in potenza ed in profondità.</p> <p>Gli spessori sono generalmente compresi tra 1,0 e 1,5 m nel tratto orientale e centrale: progressive 63/25 ed incrementano gradualmente a 2,5/3,0 m procedendo in direzione orientale: progressive 24/13; successivamente in verso nord ovest aumenta rapidamente a 5/8 m di spessore con i valori maggiori in prossimità della scarpata al bordo occidentale dell'area in esame: progressive 13/0. Si rinviene sino a profondità di -3/-3,5 m nella parte orientale progressive 63/24 dove assume inclinazione alla base di $5^\circ/7^\circ$ orientata ad ovest; dalla progressiva 23 alla 13 è rinvenibile a -5/-6 m pc. con inclinazione della base di $15^\circ/25^\circ$; successivamente in direzione occidentale giunge a -7/-8 m pc. assumendo inclinazione di $30^\circ/35^\circ$ ad ovest; gli incrementi in profondità a -6 m prgr. 24/13 e a -7/-8 m prgr. 13/0 sono correlabili a fratture di detensionamento.</p>
Da -5,0/-8,0 m a -8,0/-11,0 m p.c.	<p>Unità con velocità delle onde di compressione variabile tra $V_p = 600/700$ m/sec e $900/1000$ m/sec. contraddistinta da pronunciata variabilità laterale in spessore; è correlabile a materiali a granulometria limosa – limoso sabbiosa – sabbioso fine limosa (marne – areniti siltose) a media consistenza; gli spessori corrispondono mediamente a 2,0/3,0 m nella zona orientale, progressive 63/35, aumenta a 3/4 m in direttrice ovest tra le progressive 34/15; successivamente più ad ovest progressive (15/0) giunge a 5/6 m di spessore. Si riscontra sino a profondità di -5/-17 m pc nella zona orientale prgr. 63/35 dove presenta inclinazione alla base di $5^\circ/7^\circ$ ad ovest; dalla prgr. 34 alla 15 si rileva sino a -8/-9 m pc ad assume inclinazione di 15° ad ovest; dalla prgr. 15 alla 0 si attesta a -10/-11 m pc con inclinazione della base di $20^\circ/25^\circ$ ad ovest; tale orizzonte nel settore centro occidentale del profilo: progressive 15/30 si caratterizza con inversione di velocità, descritta nella successiva unità.</p>

Profondità	Successione sismostratigrafica
Da -5,0/-8,0 m a -13,0/-14,0 m pc settore sud est	Orizzonte a pronunciata variabilità della velocità delle onde di compressione compresa tra $V_p = 1000/1600$ m/sec, nella parte sud occidentale e tra $V_p = 800/1200$ m/sec nella zona nord occidentale; è correlabile a substrato ad alternanze a prevalentemente marnose e siltoso arenitiche fini detensionate nel tratto nord ovest: progressive 0/20 ÷ 30, è attribuibile ad alternanze arenitico pelitiche – pelitico marnose nella parte sud est: progressive 20 ÷ 30/63. Gli spessori variano in media tra 3 e 4 m nel tratto nord occidentale prossimo alla scarpata della nicchia di frana: progressive 0/20÷30; procedendo in direzione est aumenta a 5/7 m tra le progressive 20÷30/63. Si rinviene sino a profondità di -15/-16 m nel tratto nord occidentale prgr. 0/15÷30, dove presenta inclinazione alla base di 8°/15° ad ovest; tra le progressive 20/÷30 e 63 si rileva sino a -12/-14 m pc ed ha inclinazione alla base di 5°/8° ad ovest; tale inversione di velocità nel settore centrale – centro orientale: progressive 20/45 è correlabile ad una variazione litologica verticale della successione della Formazione di Monte Venere con arricchimenti nelle componenti pelitico marnose.
Da -13,0/-14,0 m a -18,0/-20,0 m p.c.	Orizzonte con velocità delle onde di compressione compresa tra $V_p = 1000/1400$ m/sec, correlabile a substrato marnoso – arenitico siltoso consistente a moderata variabilità laterale in componenti litologiche. Gli spessori variano tra 4,5/7 m; si riscontra sino a -20 m pc a nord est prgr. 23/63 e -18,0 m a nord ovest prgr. 0/20; evidenza inclinazione in direzione occidentale di 12°/15°.
Da -18,0/-20,0 m a -22/-24,0 m p.c.	Unità con velocità delle onde di compressione $V_p = 1400/1700$ m/sec correlabile a substrato arenitico fine pelitico – marnoso a medio – medio basso grado di fratturazione.

SUCCESSIONI GEOLOGICO TECNICHE -SISMICHE**Stendimento sismico BS2**

Lunghezza: 100 m, 24 geofoni con passo intergeofonico di 4 m

Direzione: sud ovest – nord est

Quota: 584,3 – 583,3 m slm

Rilevazione onde di compressione (Onde P)

Profondità	Successione sismostratigrafica
<i>Da piano campagna a -2,0/-3,0 m p.c.</i>	Unità con velocità di propagazione delle onde sismiche compresa tra $V_p = 200$ e $400/660$ m/sec a moderata variabilità laterale in spessore; è correlabile ai materiali di substrato a granulometria limoso argillosa (peliti siltose - marne) a grado di fratturazione medio elevato – elevato che costituiscono l'orizzonte più superficiale del substrato (MOV). Lo spessore varia tra 1,5/2 m con valori minimi nella parte centrale e meridionale progressive 30/100, che aumentano a 2,0/3,0 m nel tratto nord orientale progressive 0/30.
<i>Da -2,0/-3,0 m a -6,0/-8,0 m pc</i>	Orizzonte a moderata variabilità laterale sia della velocità delle onde di compressione che in spessore, con velocità comprese tra $V_p = 500/600$ m/sec, e $900/1000$ m/sec; è correlabile a materiali con granulometria limoso argillosa – sabbioso fine limosa debolmente cementati (peliti arenitiche – marne siltose) a medio grado di consistenza. Gli spessori maggiori compresi tra 4 e 6 m e si riscontrano nel tratto nord orientale: progressive 0/35 e si assottigliano a 2/3 m in direzione nord orientale: progressive 36/100; la potenza minima 1,5/2,0 m si rileva nel settore centrale: progressive 45/70. Si riscontra sino a profondità di -7/-8 m pc nel tratto nord orientale: prgr. 0/35 e risale a -4/-5 m pc nella parte centro meridionale: prgr. 36/100; in quest'ultimo tratto presenta un'immersione a sud est di $6^\circ/8^\circ$.

Profondità	Successione sismostratigrafica
Da -6,0/-8,0 m a -8,0/-10,0 m pc settore sud ovest a -12,0/-14,0 m pc settore nord est	<p>Orizzonte a pronunciata variabilità delle velocità delle onde di compressione compresa tra $V_p = 900/1000$ m/sec e $1700/1800$ m/sec. nella parte sud occidentale, tra $V_p = 900/1000$ m sec e $V_p = 1300/1400$ m/sec nella zona nord orientale; è correlabile a substrato ad alternanze a prevalente siltoso arenitiche – marnose caratterizzate da medio grado di fratturazione nel tratto sud ovest progressive 50/100; attribuibile ad alternanze marnose ed arenitico siltoso argillose a media fratturazione nella parte nord est: progressive 50/0.</p> <p>Gli spessori variano in media tra 4 e 5 m nel tratto sud occidentale: progressive 50/100 (zona sede del comparto ATR8); procedendo in direzione nord est aumenta a 6/8 m nella zona centro settentrionale: progressive 50/3, successivamente in verso nord est si assottiglia a 3/4 m.</p> <p>Si rinviene sino a profondità di -8/-10 m nel tratto sud occidentale: prgr. 50/100, dove presenta inclinazione alla base di 10° a sud ovest; tra le prgr. 50/35 si rileva sino a -13/-14 m pc e tra le prgr. 35/0 sino a -10/-12 m pc; tale inversione di velocità nel settore centrale: progressive 50/65, in rapporto all'inclinazione apparente degli strati, è correlabile ad una variazione litologica sulla verticale nella successione della Formazione di Monte Venere con arricchimenti nelle componenti marnose pelitiche.</p>
Da -8,0/-10,0 m ÷ -12,0/-14,0 m a -28,0/-32,0 m pc	<p>Unità a pronunciata variabilità delle velocità delle onde di compressione con valori compresi tra $V_p = 1700/1800$ m/sec $2600/2800$ m/sec nei settori nord orientali e sud occidentali, contraddistinta da $V_p = 1400/1800$ m sec nella zona centrale; per le velocità maggiori è correlabile ad alternanze prevalentemente arenitico fini siltose debolmente cementate ed alternanze siltose e marnose, a medio basso – basso grado di fratturazione. I valori di velocità maggiori compresi tra $1800/2600$ m/sec si riscontrano nei tratti nord orientali e sud orientali rispettivamente progressive 0/45 tra le quali le velocità sono comprese tra $1400/1600$ m/sec.</p> <p>Tale inversione di velocità in funzione dell'inclinazione apparente degli strati secondo la traccia del profilo sismico è correlabile ad una intercalazione litologica sulla verticale nella quale prevalgono le alternanze siltoso argillose e marnose della Formazione di Monte Venere.</p> <p>Si riscontra sino a -28/-32 m pc.</p>

SUCCESSIONI GEOLOGICO TECNICHE -SISMICHE**Stendimento sismico BS3**

Lunghezza: 100 m, 24 geofoni con passo intergeofonico di 4 m

Direzione: nord est – sud ovest

Quota: 582,7 – 578,5 m slm

Rilevazione onde di compressione (Onde P) e di taglio (onde S)

Profondità	Successione sismostratigrafica
<i>Da piano campagna a -3,0/-6,0 m p.c.</i>	<p>Unità con velocità di propagazione delle onde sismiche di compressione compresa tra $V_p = 200$ e $400/600$ m/sec; è correlabile a materiali con granulometria limoso argillosa cementati (siltiti pelitiche – marne calcaree) con medio – medio basso grado di addensamento e ad elevato grado di fatturazione; costituisce l'orizzonte più superficiale a moderata variabilità laterale in spessore.</p> <p>La potenza maggiore, corrispondente a 4/6 m, si riscontra nella parte nord occidentale - centrale: progressive 0/50; si assottiglia progressivamente a 3/2 m in direzione sud est.</p>
<i>Da -3,0/-6,0 m a - 9,0/-11,0 m pc</i>	<p>Orizzonte a pronunciata variabilità laterale in spessore con velocità delle onde di compressione compresa tra $V_p = 400/600$ e $1100/1200$ m/sec; è correlabile a materiali con granulometria limosa – limoso sabbioso fine – limoso argillosa detensionati a medio grado di consistenza.</p> <p>Gli spessori sono generalmente compresi tra 5/8 m nel tratto orientale settentrionale: progressive 0/50 e diminuiscono rapidamente a 4/3 m procedendo in direzione sud orientale progressive 50/100 con minimi all'estremità sud ovest.</p> <p>Si rinviene sino a profondità da -9/-11 m nella parte nord orientale: progressive 0/50; sino a -8/-7 m nel settore centrale occidentale: progressive 50/80 e sino a -5/-6 m all'estremità sud ovest: progressive 80/100.</p>

Profondità	Successione sismostratigrafica
Da -9,0/-11,0 m pc a -25,0/-28,0 m pc	<p>Unità a pronunciata variabilità laterale della velocità delle onde di compressione compresa tra $V_p = 1100/1200$ e $1700/1800$ m/sec. nella parte nord orientale e tra $V_p = 1100/1200$ m/sec e $V_p = 1800/2400$ m/sec nella zona sud occidentale; è correlabile a substrato ad alternanze prevalente marnose – siltoso argillose detensionate nel tratto nord est: progressive $0/65 \div 75$ e ad alternanze arenitico pelitiche marnose nella parte sud ovest: progressive $65 \div 75/100$, con arricchimento nelle componenti arenitiche e marnose in direzione sud est.</p> <p>Gli spessori variano in media tra 15/16 m nel tratto nord orientale: progressive $0/65 \div 75$ e procedendo in direzione sud ovest aumentano gradualmente a 18/22 m. Si rinviene sino a profondità di -26/-28 m nel tratto nord orientale e centrale: prgr. $0/15 \div 30$ dove presenta inclinazione alla base di $8^\circ/15^\circ$ a nord est tra le progressive $0/65 \div 75$; si rileva sino a -25/-26 m pc nella zona sud occidentale: progressive $65 \div 75/100$.</p> <p>Tale inversione di velocità nel settore centrale – centro occidentale: progressive $50/75$, in funzione dell'inclinazione apparente degli strati rispetto alla direzione dello stendimento, è correlabile ad una variazione litologica sulla verticale della successione della Formazione di Monte Venere con arricchimenti nelle componenti marnose e pelitiche.</p>
Da -26,0/-28,0 m a -40,0/-45,0 m p.c.	<p>Orizzonte con velocità delle onde di compressione compresa tra $V_p = 1800/2400$ m/sec e $2800/3300$ m/sec, prevalentemente arenitico; è correlabile a substrato arenitico siltoso – calcareo arenitico e marnoso calcareo consistente a moderata variabilità laterale in componenti litologiche.</p> <p>Gli spessori variano tra 10 e 15 m e si riscontra sino a -40/-45 m pc.</p>

Analisi di insieme prospezioni in Tomografia Sismica 2D

Le prospezioni evidenziano la presenza di una prima unità litotecnica a basso addensamento ed elevato grado di fratturazione, a spessore sensibilmente variabile in direzione nord est, contraddistinta da $V_p = 200/500 \div 600$ m/sec. Tale orizzonte assume gli spessori inferiori: 1/2 m nel settore sede del comparto ATR8 sino ad una distanza di 5/6 m rispetto al limite nord occidentale dello stesso.

Successivamente procedendo in direzione nord ovest aumenta dapprima a potenze di 4/5 m a distanza di circa 13/15 m a nord ovest del sopracitato limite e successivamente a 25/28 m di distanza dal medesimo, in prossimità della scarpata della nicchia di frana, incrementa a spessori di 6/7 m.

I rapidi aumenti in potenza di detta unità litotecnica nel settore centro occidentale ed occidentale della sezione sismica estesa secondo la linea di massima pendenza dell'area in esame (BS1), rispettivamente alle progressive 23/28 e 5/8, sono correlabili a fratture di tensione con inclinazioni di $55^\circ/60^\circ$ a nord ovest.

Quanto esposto concorda con i processi di detensionamento che tendono ad incrementare procedendo verso la scarpata della nicchia di frana.

La successione litotecnica, sottostante l'unità intensamente fratturata, costituita da alternanze arenitico siltose debolmente cementate - siltiti argillose – calcari marnosi - marne, caratterizzata dai valori di velocità relativa maggiori (1700/2400 m/sec), alla quale si intercalano sequenze siltitico argillose con livelli argillosi – argilloso limosi contraddistinti dalle velocità relative inferiori (1300/1800 m/sec), evidenzia il succedersi di orizzonti a diverse velocità che si caratterizzano con inversioni della stessa. Queste ultime (1300/1800 m/sec), nelle tracce dei profili estesi sud ovest - nord est (BS2 – BS3), presentano inclinazioni di $25^\circ/30^\circ$ in direzione sud ovest che concordano con le inclinazioni apparenti degli strati della sequenza torbiditica sopra descritta (MOV) rapportata alla direzione degli stendimenti dei profili sismici. Dette inversioni sono correlabili ad arricchimenti di strati prevalentemente siltoso argillosi e marnosi in mega sequenze con spessore di 10/15 m.

Analoga caratteristica si riscontra anche nel profilo orientato sud est – nord ovest (BS1) per l'inversione di velocità tra -13 e -20 m pc (900/1400 m/sec).

PROSPEZIONE SISMICA INTEGRATA ATTIVA - PASSIVA

In riferimento alla nuova classificazione sismica del territorio nazionale ed a quanto previsto dal D.M. 14/01/2008, per determinare la categoria del suolo di fondazione, sono state eseguite tre prospezioni geofisiche con metodo integrato passivo - attivo (Re.Mi./MASW), per la rilevazione della velocità di propagazione delle onde di taglio V_s , ubicate come da planimetria allegata.

Le prospezioni sono state effettuate con un sismografo digitale a 24 canali ad elevata dinamica *GEOMETRICS GEODE*, attrezzato con 24 geofoni verticali con frequenza propria di 4,5 Hz, disposti ad interasse di 2,5 m per la Re.Mi./MASW 1 e di 4 m per le Re.Mi./MASW 2 e 3, per lunghezze totali pari a $57,5 \div 92$ m.

Nella procedura del “metodo attivo” le onde superficiali sono generate mediante una sorgente impulsiva disposta a piano campagna e sono registrate da uno stendimento lineare costituito ricevitori posti a distanza costante.

Il procedimento del “metodo passivo” presenta caratteristiche geometriche dello stendimento uguali a quelle del sistema attivo ma i ricevitori non registrano le onde superficiali prodotte da una sorgente impulsiva, bensì il rumore di fondo (microtremore) prodotto da sorgenti naturali (vento) e antropiche (traffico, attività industriali).

Le due tecniche esaminano bande spettrali differenti: il metodo attivo consente di acquisire in modo dettagliato una curva di dispersione nel range di frequenza compreso tra 10 e 40 Hz e fornisce informazioni relative alla parte più superficiale del sottosuolo (fino a circa 10-20 m di profondità); il metodo passivo permette di determinare e definire una curva di dispersione nelle bande di frequenza tra 2 e 20 Hz e fornisce informazioni sugli strati più profondi.

La combinazione delle due tecniche consente di ottenere uno spettro completo nella banda di frequenza comprese tra 2 e 40 Hz e permette una dettagliata ricostruzione dell'andamento della velocità delle onde di taglio fino a circa 30-100 m di profondità, in funzione della lunghezza dello stendimento.

Nell'esecuzione della prova MASW (attiva) è stato utilizzato come sistema di energizzazione una mazza di 10 Kg battente su piattello metallico. Per aumentare il rapporto segnale/rumore si è proceduto alla somma di più energizzazioni (processo di stacking). La sorgente è stata posta ad una distanza di 6 e 10 m dal primo geofono (“Optimum Field Parameters of an MASW Survey”, *Park et al., 2005; Dal Moro, 2008*).

Per l'acquisizione dei microtremori ambientali sono state effettuate venti registrazioni della durata di 30 sec con una frequenza di campionamento di 500 Hz.

L'elaborazione del segnale consiste nell'operare, tramite un opportuno software, una trasformata bidimensionale “*slowness-frequency*” (*p-f*) che analizza l'energia di propagazione del rumore in entrambe le direzioni della linea sismica e nel rappresentare lo spettro di potenza su un grafico *p-f*. Gli spettri delle singole acquisizioni sono quindi mediati, escludendo eventualmente quelli che presentano una bassa coerenza.

In tale spettro mediato si evidenziano gli andamenti che possiedono sia una spiccata coerenza di fase che una potenza significativa, ed è possibile un riconoscimento visivo delle onde di superficie (che hanno carattere dispersivo), da quelle riconducibili

ad altri modi e tipi (onde di superficie di ordine superiore, onde di pressione, suono e rumore incoerente).

In funzione di quanto esposto è possibile effettuare un “*picking*”, attribuendo ad un certo numero di punti una o più *slowness* (p o $1/\text{velocità di fase}$) ed ottenere una “*curva di dispersione*”.

Quest’ultima è visualizzata su un diagramma in cui appare anche la curva di dispersione calcolata a partire da un modello di Vs che è modificabile in sede di elaborazione. Variando il numero di strati, la loro velocità e la densità, la curva di dispersione calcolata è adattata sino ad aderire il più possibile a quella sperimentale ottenuta con il picking.

I risultati ottenuti ed i relativi diagrammi di elaborazione sono visualizzati nelle allegate schede “*indagine MASW-Re.Mi.*”, riportanti lo spettro di potenza mediato, la curva di dispersione, sia sperimentale che calcolata, ed il relativo modello interpretativo, di seguito riassunti:

Stendimento sismico ReMi/MASW 1

Profondità da p.c. (m)	Vs (m/sec)
0 ÷ 5	260
5 ÷ 14	420
14 ÷ 26	370
26 ÷ 55	510
55 ÷ INF	540

Stendimento sismico ReMi/MASW 2

Profondità da p.c. (m)	Vs (m/sec)
0 ÷ 2,5	140
2,5 ÷ 9	400
9 ÷ 18	340
18 ÷ 51	530
51 ÷ INF	570

Stendimento sismico ReMi/MASW 3

Profondità da p.c. (m)	Vs (m/sec)
0 ÷ 2,5	150
2,5 ÷ 10	360
10 ÷ 22	310
22 ÷ 36	660
36 ÷ 60	540
60 ÷ INF	570

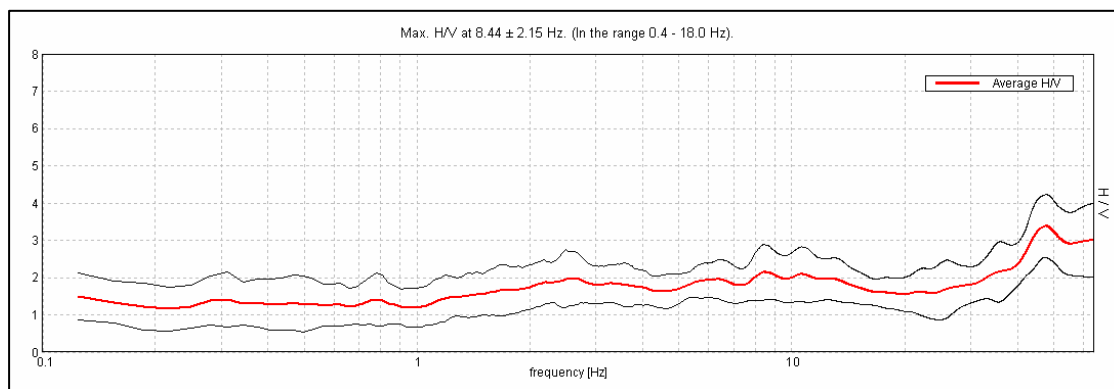
ANALISI DEI MICROTREMORI CON LA TECNICA HVSR

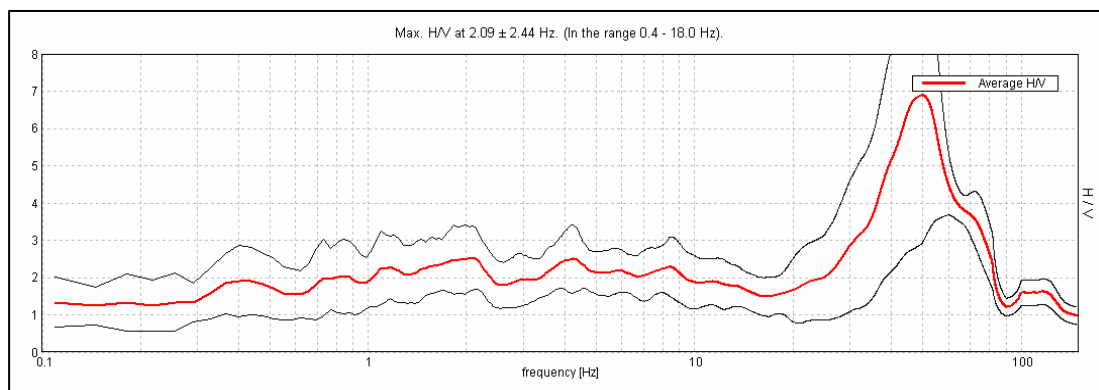
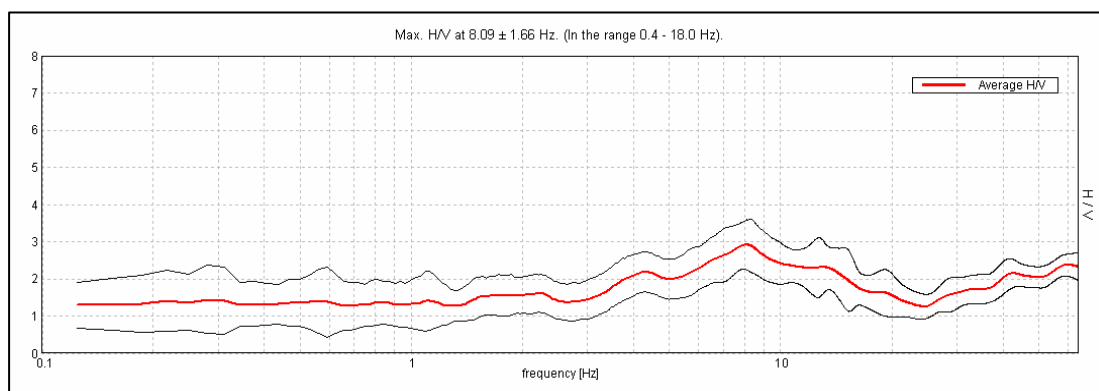
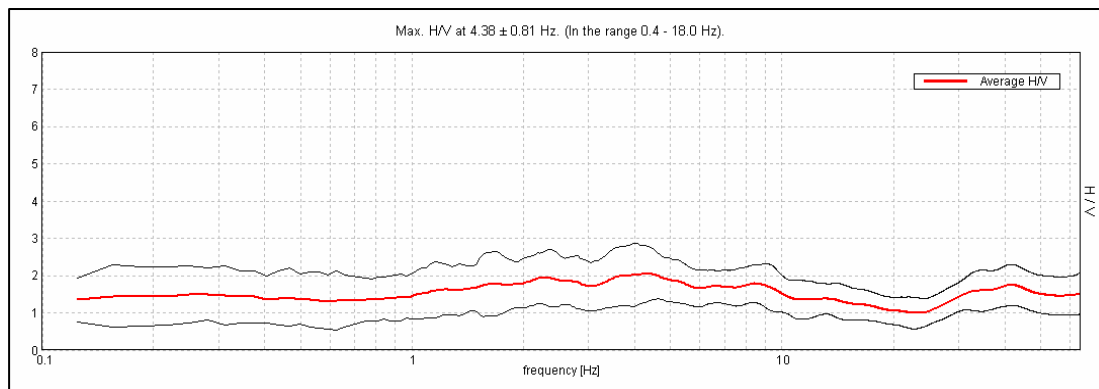
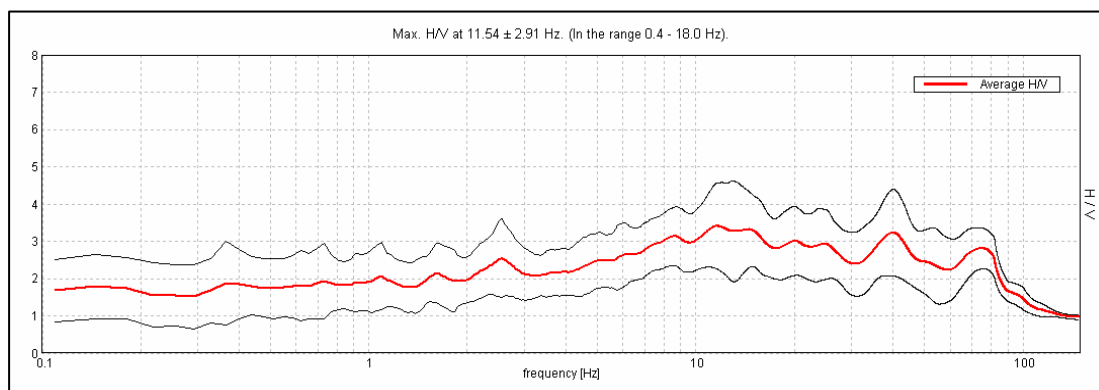
Nell'area in analisi sono state eseguite sette acquisizioni di microtremori ambientali mediante un sismometro Tromino campionando il segnale a 125 Hz per una durata di circa 30 minuti (per ogni singola acquisizione).

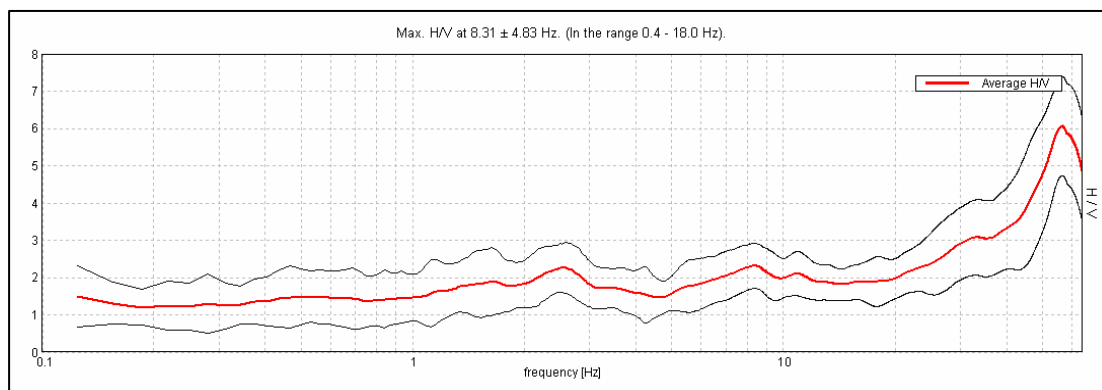
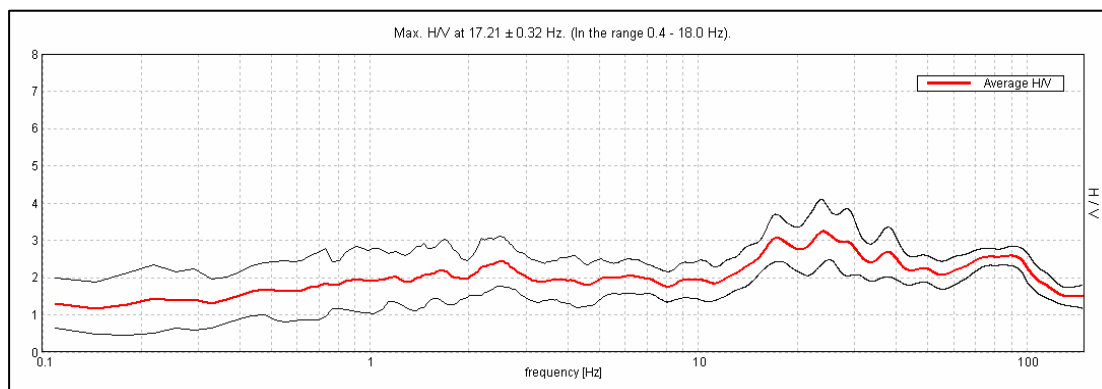
I dati registrati sono stati elaborati con la tecnica HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*). La metodologia è basata sul principio dei microtremori causati dalle onde di *Rayleigh* che, nella componente verticale del moto, non subiscono fenomeni di amplificazione in corrispondenza di marcati contrasti di impedenza sismica, mentre detto processo avviene per le componenti orizzontali, soprattutto in corrispondenza della frequenza fondamentale di risonanza (F_0) dei terreni indagati. Eseguendo quindi il rapporto tra le componenti degli spettri di frequenza orizzontale e verticale (H/V) si ottiene un grafico in cui si evidenziano le frequenze in cui si hanno i maggiori effetti di amplificazione locale.

L'elaborazione HVSR dei dati acquisiti ha evidenziato i risultati riportati nelle allegate schede "Indagine HVSR" nelle quali la linea rossa continua in grassetto evidenzia la media delle finestre di calcolo, mentre le linee sottili rappresentano l'intervallo di confidenza al 90% rispetto alla media calcolata, di seguito riportati in sintesi:

HVSR1



HVSR2**HVSR3****HVSR4****HVSR6**

HVSR7**HVSR8**

Elaborazioni HVSR dei microtremori rappresentate dalla media dei risultati ottenuti dalla componente N/Z ed E/Z

Dall'esame dei dati risultano picchi di amplificazione principali con ampiezze come visualizzato nella tabella di seguito esposta:

HV n°	Frequenza principale f_0	Ampiezza
1	8,44	2,1
2	2,1	2,5
3	8,1	2,9
4	4,38	2,0
6	11,5	3,4
7	8,3	2,3
8	17,2	3,0

Picchi principali

PROSPEZIONE DOWN HOLE

Per l'individuazione della verticale sismostratigrafica del sottosuolo, è stata effettuata una prospezione sismica con metodo Down-Hole nel foro del sondaggio numerato S1-DH in data 28-09-2017, utilizzando un sistema a doppia terna di geofoni disposti ad interasse di 1 m, con ancoraggio pneumatico, eseguendo misurazioni per avanzamenti di 1,0 m.

L'utilizzo della doppia terna geofonica annulla gli errori dovuti alla precisa determinazione del momento di energizzazione che si riscontrano con la classica indagine down-hole a singola terna, in quanto mediante tale strumentazione non è necessario determinare l'esatto momento dell'impulso sismico ma semplicemente il tempo di transito dell'onda sismica tra la prima e la seconda terna, la cui distanza rimane costante (1m)





Sistema Down-Hole a doppia terna tridirezionale utilizzato nell'indagine sismica

Le onde di compressione (onde P) sono state generate mediante massa battente in direzione verticale su piattello metallico solidale al terreno; le onde di taglio (onde S) sono state prodotte dall'impatto di massa battente su traverso ligneo sovraccaricato con automezzo al fine di renderlo solidale col terreno, generando impulsi in fase e controfase. La sorgente sismica è costituita da una massa battente del peso di 10kg.

Le registrazioni dei segnali sono state effettuate mediante sismografo da 24 bit *Geometrics mod. Geode* e memorizzate su pc portatile.

La prospezione sismica in foro consente la misura delle velocità di propagazione delle onde di compressione P e delle onde di taglio S. Tali grandezze sono indice delle proprietà meccaniche di rocce e terreni e permettono di caratterizzare le successioni litostratigrafiche dal punto di vista geotecnico e della risposta sismica.

Il metodo down hole (DH) utilizzato consiste nella misurazione del tempo di transito delle onde P ed S nel tratto tra la prima e la seconda terna di geofoni poste alle varie profondità di indagine. L'energizzazione avviene obbligatoriamente da superficie ed i ricevitori sono posti all'interno del foro di sondaggio.

I dati sismici ottenuti dalle prove sono riportati in diagrammi che visualizzano i tempi di tragitto, misurati lungo il percorso sorgente-ricevitore in funzione della profondità, determinando la velocità verticale dei litotipi incontrati nella perforazione.

Il calcolo della velocità media negli intervalli tra due posizioni geofoniche contigue è basato sul principio di propagazione delle onde quasi verticali, pertanto la loro velocità apparente sia dz/dt (dove dz è l'incremento infinitesimo di profondità e dt il corrispondente incremento dei tempi di arrivo).

Infatti il fronte d'onda ed il relativo raggio sismico non sono soggetti a variazioni in presenza di eventuali discontinuità solo nel caso di incidenza normale, cioè quando la sorgente è molto prossima al sondaggio, e quando le superfici di discontinuità sono perpendicolari all'asse della perforazione stessa.

Per evitare che l'onda elastica si trasmetta lungo il materiale di condizionamento del sondaggio, provocando fenomeni di disturbo ai segnali (onde di tubo), la sorgente si colloca ad una certa distanza d (non trascurabile e preferibilmente compresa tra 1,5 e 3 m) dal foro di prova; ne consegue che è necessario correggere i tempi di arrivo in modo da ottenere i valori che si riscontrerebbero se il percorso dei raggi fosse verticale.

Note le distanze ed i tempi, si calcolano i tempi corretti, cioè i tempi di propagazione dell'onda elastica secondo l'asse del foro, mediante la relazione:

$$t_c = t \cdot \frac{z}{\sqrt{(d^2 + z^2)}}$$

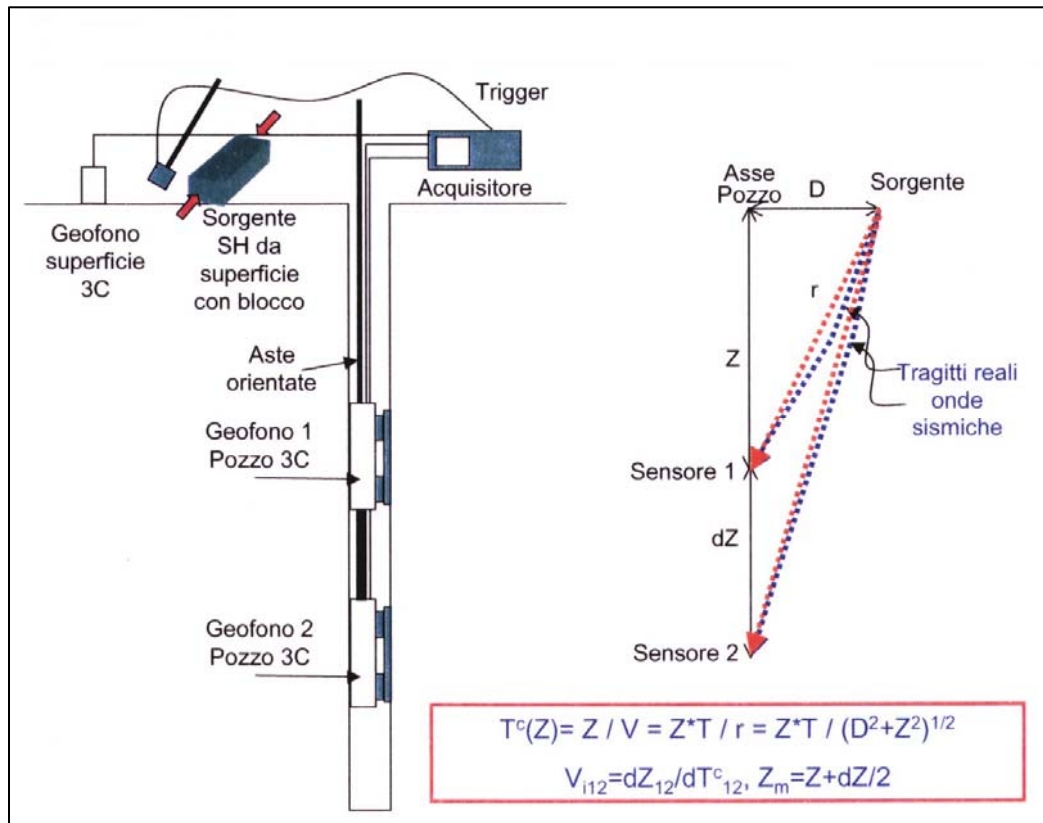
dove:

t_c = tempo corretto

t = tempo rilevato del primo impulso

d = distanza tra la sorgente e asse del foro

z = profondità del geofono.



Schema esecutivo prospezione Down Hole e tragitto reale delle onde sismiche

In funzione di detto parametro si determinano le velocità medie o d'intervallo delle onde P e delle onde S, da:

$$v_i = (z_2 - z_1) / (t_{c2} - t_{c1})$$

dove:

v_i = velocità intervallo

z_1 e z_2 = profondità di due posizioni successive del geofono

t_{c1} e t_{c2} = i rispettivi tempi corretti

I risultati, sia dei tempi corretti che delle velocità intervallo, sono quindi rappresentati mediante diagrammi in funzione della profondità, allo scopo di valutare il grado di disomogeneità degli strati riscontrati nella perforazione.

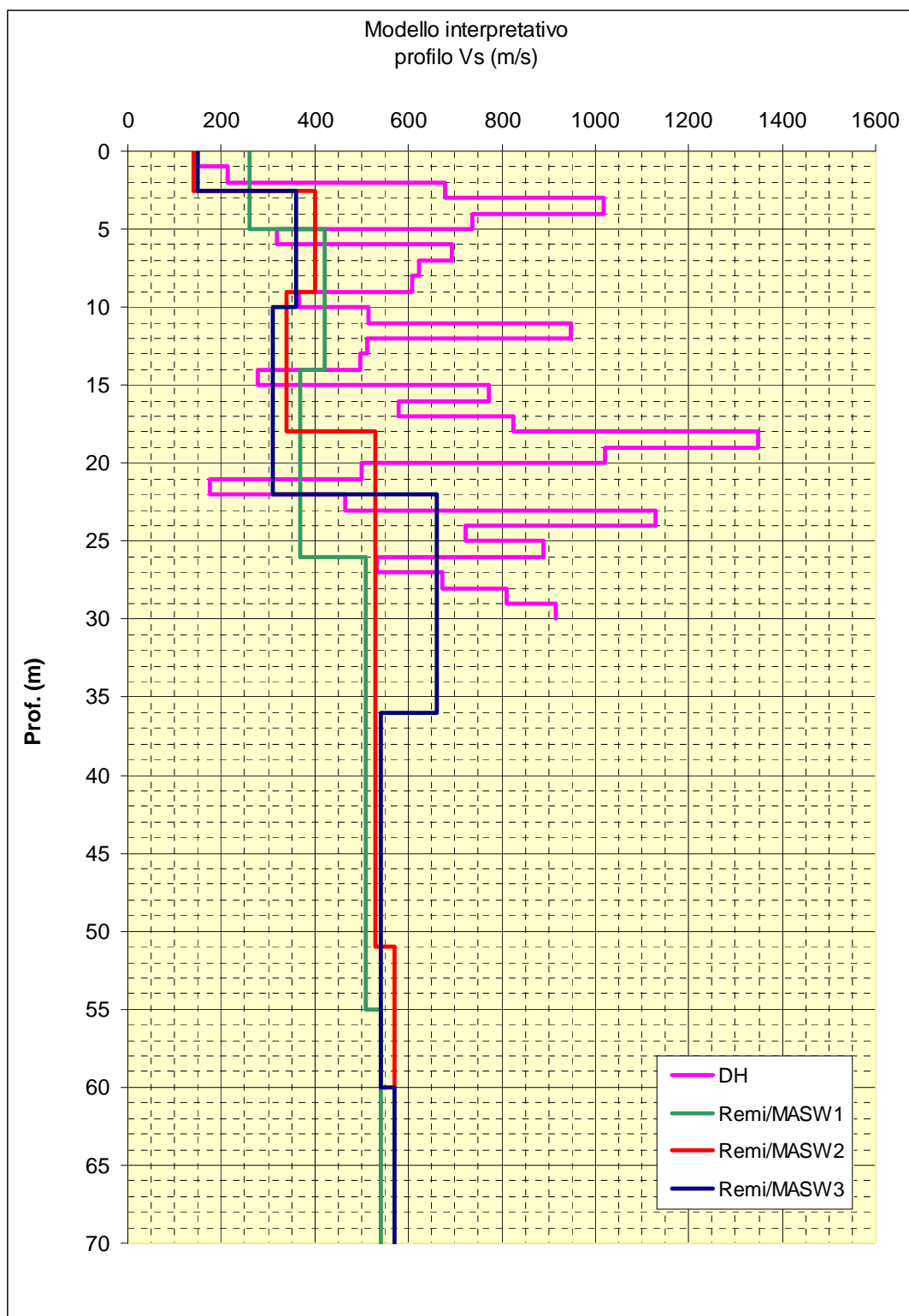
I dati ottenuti sono riassunti nella seguente tabella.

Indagine sismica Down Hole – sondaggio S1-2017

Profondità (m)	Vp (m/sec)	Vs (m/sec)
1	421	149
2	727	213
3	1183	680
4	1158	1019
5	1261	739
6	719	320
7	1007	693
8	735	622
9	961	608
10	924	365
11	1248	514
12	1955	948
13	1067	512
14	1180	497
15	661	278
16	1255	771
17	1878	581
18	1921	825
19	2006	1348
20	3248	1021
21	1974	501
22	1399	176
23	1803	466
24	1603	1128
25	1690	722
26	1186	889
27	1120	534
28	1605	674
29	1913	811
30	1716	915

Confronto andamenti successione sismostratigrafica

I risultati ottenuti dalle singole prospezioni sono stati unificati al fine di visualizzarne l'andamento d'insieme, ottenendo il seguente grafico:



Identificazione categoria suolo di fondazione

I dati acquisiti dalle rilevazioni effettuate denotano che i primi 30 m del sottosuolo sono contraddistinti da velocità di propagazione delle onde di taglio Vs, profondità e spessori, come riportato nelle seguenti tabelle:

Stendimento sismico ReMi/MASW 1

Orizzonte sismostratigrafico	Profondità da p.c. (m)	Spessore (m)	Vs (m/sec)
1	1,5 ÷ 5	3.5	260
2	5 ÷ 14	9	420
3	14 ÷ 26	12	370
4	26 ÷ 31,5	5.5	510

Stendimento sismico ReMi/MASW 2

Orizzonte sismostratigrafico	Profondità da p.c. (m)	Spessore (m)	Vs (m/sec)
1	1,5 ÷ 2,5	1	140
2	2,5 ÷ 9	6.5	400
3	9 ÷ 18	9	340
4	18 ÷ 31,5	13.5	530

Stendimento sismico ReMi/MASW 3

Orizzonte sismostratigrafico	Profondità da p.c. (m)	Spessore (m)	Vs (m/sec)
1	1,5 ÷ 2,5	1	150
2	2,5 ÷ 10	7.5	360
3	10 ÷ 22	12	310
4	22 ÷ 31,5	9.5	660

Indagine down-hole S1

Orizzonte sismostratigrafico	Profondità da p.c. (m)	Spessore (m)	Vs (m/sec)
1	1 ÷ 2	1	213
2	2 ÷ 3	1	680
3	3 ÷ 4	1	1019
4	4 ÷ 5	1	739
5	5 ÷ 6	1	320
6	6 ÷ 7	1	693
7	7 ÷ 8	1	622
8	8 ÷ 9	1	608
9	9 ÷ 10	1	365
10	10 ÷ 11	1	514
11	11 ÷ 12	1	948
12	12 ÷ 13	1	512
13	13 ÷ 14	1	497
14	14 ÷ 15	1	278
15	15 ÷ 16	1	771
16	16 ÷ 17	1	581
17	17 ÷ 18	1	825
18	18 ÷ 19	1	1348
19	19 ÷ 20	1	1021

Orizzonte sismostratigrafico	Profondità da p.c. (m)	Spessore (m)	Vs (m/sec)
20	20 ÷ 21	1	501
21	21 ÷ 22	1	176
22	22 ÷ 23	1	466
23	23 ÷ 24	1	1128
24	24 ÷ 25	1	722
25	25 ÷ 26	1	889
26	26 ÷ 27	1	534
27	27 ÷ 28	1	674
28	28 ÷ 29	1	811
29	29 ÷ 30	1	915
30	30 ÷ 31	1	915

La definizione del valore $V_{s_{30}}$, velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 m del sottosuolo, si è calcolata mediante la relazione:

$$V_{s_{30}} = \frac{30}{\sum_{i=1,n} \frac{h_i}{v_i}}$$

dove:

h_i = spessore dello strato i -esimo, m

v_i = velocità onde di taglio strato i -esimo, m/sec

ottenendo:

$$\text{Re.Mi./MASW 1 } V_{s_{30}} = 384 \text{ m/s}$$

$$\text{Re.Mi./MASW 2 } V_{s_{30}} = 398 \text{ m/s}$$

$$\text{Re.Mi./MASW 3 } V_{s_{30}} = 372 \text{ m/s}$$

$$\text{DH S1 } V_{s_{30}} = 540 \text{ m/s}$$

Dalle parametrizzazioni sopra esposte e dall'analisi della sequenza sismotecnica risulta che i litotipi che formano i primi 30 m del sottosuolo, sono attribuibili a:

- **Categoria B:** Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s_{30}}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

Fattore di amplificazione sismico locale

Fattore di amplificazione topografico

L'area si ubica in corrispondenza di un rilievo a poca distanza da una scarpata il cui versante presenta pendenza media superiore a 30°. L'area risulta quindi passibile di amplificazione per caratteristiche topografiche il cui coefficiente corrisponde a:

$$S_T = 1,4 \text{ (categoria T4)}$$

Fattore di amplificazione stratigrafico - D.G.R. 2193/2015

Sulla base delle indicazioni della Delibera della Giunta Regionale della Regione Emilia Romagna n° 2193 del 21/12/2015 – Allegato A2.1.2, si è determinato il coefficiente di amplificazione sismico locale.

Si è fatto quindi riferimento alle tabelle dell'allegato A2.1.1, caso con substrato marino caratterizzato da $V_s < 800$ m/s, con profondità corrispondente ad $H = 2 \div 4$ m.

La definizione del valore V_{sH} , velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio del sottosuolo, si è calcolata mediante la relazione:

$$V_{sH} = \frac{4}{\sum_{i=1,n} \frac{h_i}{v_i}}$$

ottenendo:

$$V_{sH} \approx 200 \text{ m/s}$$

In occasione di sollecitazione sismica, in funzione delle caratteristiche litostratigrafiche locali, la successione sismostratigrafica può essere interessata dai seguenti fattori di amplificazione (comprensivi dell'effetto di amplificazione topografica):

$$Fa_{PGA} \cdot S_T = 2,0 \cdot 1,4 = \mathbf{2,8}$$

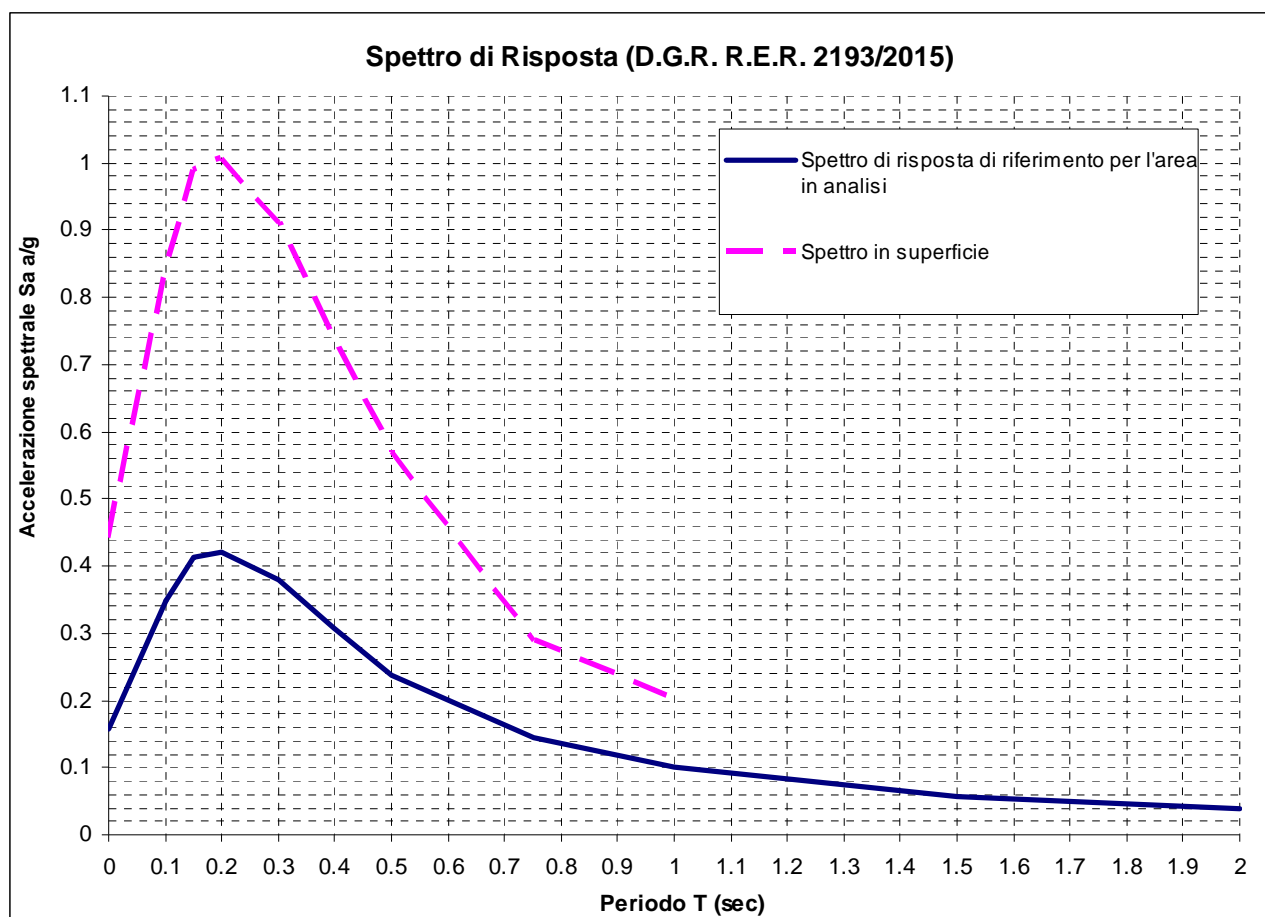
$$Fa_{SI1} (0,1 < T_0 < 0,5) \cdot S_T = 1,7 \cdot 1,4 = \mathbf{2,4}$$

$$Fa_{SI2} (0,5 < T_0 < 1) \cdot S_T = 1,4 \cdot 1,4 = \mathbf{2,0}$$

per un valore dell'accelerazione al suolo di riferimento pari a:

$$a_g = 0,158 \text{ g}$$

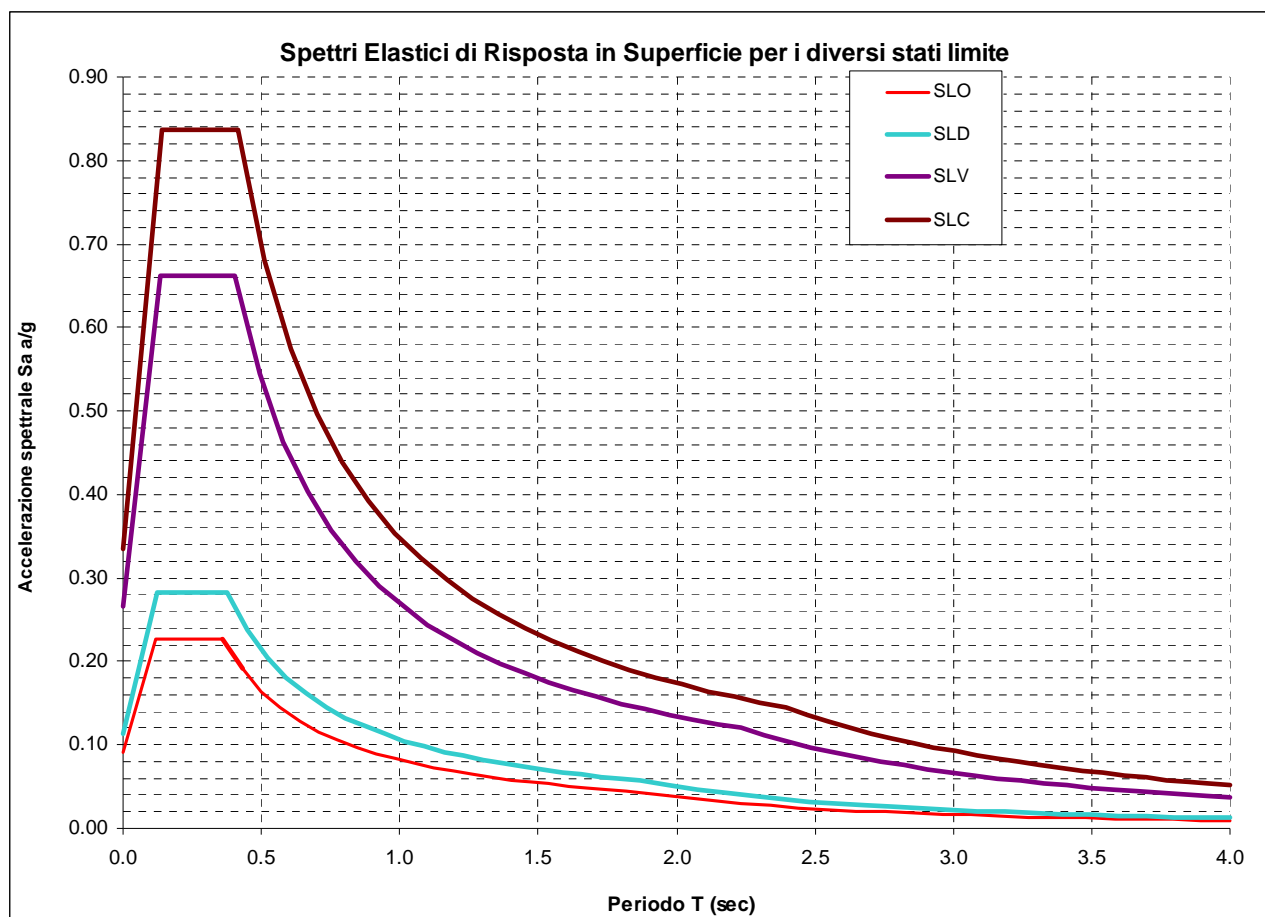
Lo spettro elastico di risposta del bedrock sismico o suolo A, di riferimento e lo spettro di risposta in superficie per i valori di FA sopra indicati, è visualizzato nella seguente figura.



Fattore di amplificazione stratigrafico - D.M. 14-01-2008

Sulla base delle indicazioni contenute nelle NTC di cui al D.M. 14/01/08, per l'area in esame, considerando strutture di classe II (vita nominale $V_n = 50$ anni, coefficiente d'uso $C_u = 1,0$; $V_r = 50$ anni), risultano, in funzione dei diversi stati limite considerati, i seguenti valori di amplificazione in superficie per la costruzione dei relativi spettri elastici di progetto in superficie (categoria suolo B – Fattore di amplificazione topografico 1,4):

STATO LIMITE	T_R (anni)	S_s (-)	S_t (-)	C_c (-)
SLO	30	1,2	1,4	1,454
SLD	50	1,2	1,4	1,438
SLV	475	1,2	1,4	1,411
SLC	975	1,2	1,4	1,403



dove:

SLO = Stato limite di operatività; Pvr = 81%

SLD = Stato limite di danno; Pvr = 63%

SLV = Stato limite di salvaguardia della vita; Pvr = 10%

SLC = Stato limite di prevenzione del collasso; Pvr = 5%

T_r = Tempo di ritorno

S_s = fattore di amplificazione stratigrafico

S_t = fattore di amplificazione topografico

C_c = coefficiente funzione della categoria di sottosuolo

ANALISI DI TERZO LIVELLO

Risposta sismica locale

Per determinare gli effetti della risposta sismica locale è stato utilizzato un modello di calcolo monodimensionale multistrato continuo, nel quale ogni sismostrato è considerato omogeneo ed isotropo con comportamento viscoelastico-lineare.

Il codice di calcolo 1D adottato: *Shake (Idriss and Sun, 1992)*, simula il modo di propagazione in direzione verticale delle onde sismiche di taglio SH, che si irradiano da un substrato sismico deformabile, orizzontale, ed attraversano livelli litologici stratificati orizzontalmente ed a spessore costante, sino al raggiungimento della superficie.

Tali condizioni, in rapporto all'energia generata dagli shock sismici ed alle lunghezze ed ampiezze d'onda originate dagli stessi, alle profondità del bed rock sismico rapportate alle distanze, sono soddisfatte dalle condizioni presenti nell'ambito territoriale in oggetto.

I dati di ingresso richiesti dal sopradDETTO codice di calcolo sono: numero degli strati, spessore, densità, modulo di taglio massimo iniziale (G_0), rapporto di smorzamento iniziale (D_0), legge di variazione normalizzata del modulo di taglio e del rapporto di smorzamento in funzione della deformazione di taglio, profondità del bedrock sismico e sue proprietà elastiche, accelerogrammi di riferimento.

Le valutazioni sono state eseguite in condizioni di assenza di manufatti (*free field*), ed i suddetti accelerogrammi sono stati scalati al valore di accelerazione massima corrispondente a quella di riferimento per un'eccedenza del 10% in 75 anni che per l'area in analisi corrisponde, in funzione dei vari stati limite a:

STATO LIMITE	a_g (g)
SLV	0.158

La definizione degli input sismici utilizzati per le simulazioni di scuotimento in superficie è stata effettuata confrontando lo spettro di risposta degli accelerogrammi selezionati opportunamente scalati, con quella dello spettro a probabilità uniforme determinato secondo le indicazioni della DGR 2193-2015, avendo cura di ottenere una congruenza rientrante nella forma normalizzata \pm la deviazione standard. Tale procedura ha portato alla selezione di 11 accelerogrammi di input, tre dei quali presenti nella banca dati approntata dalla regione Emilia Romagna, disponibili al sito internet <http://www.regione.emilia-romagna.it/wcm/geologia/canali/sismica.htm> (accelerogrammi 46, 126, 354), due ottenuti da selezione nel database internazionale "European strong-motion database" <http://www.isesd.hi.is/> (accelerogrammi 946, 1241) e sei derivati dalla definizione di

accelerogrammi di riferimento redatta da A.Marcellini, D.Albarello, D.Gerosa (accelerogrammi 55, 368,4675, 6239, 6275, 7059).

Calcolo degli effetti di sito

Per il calcolo dello scuotimento in superficie è stato utilizzato un modello numerico che simula la propagazione verticale di onde SH attraverso strati piano paralleli omogenei ed isotropi a partire da uno strato di riferimento rigido (bedrock sismico). Nell'analisi è stato considerato il comportamento di tipo non lineare dei terreni con il livello di deformazione, desumendo i parametri di decadimento sia dalla prova di colonna risonante effettuata sul campione recuperato tra 7,0 e 7,5 m pc, che da dati bibliografici per litotipi simili a quelli dell'area in analisi.

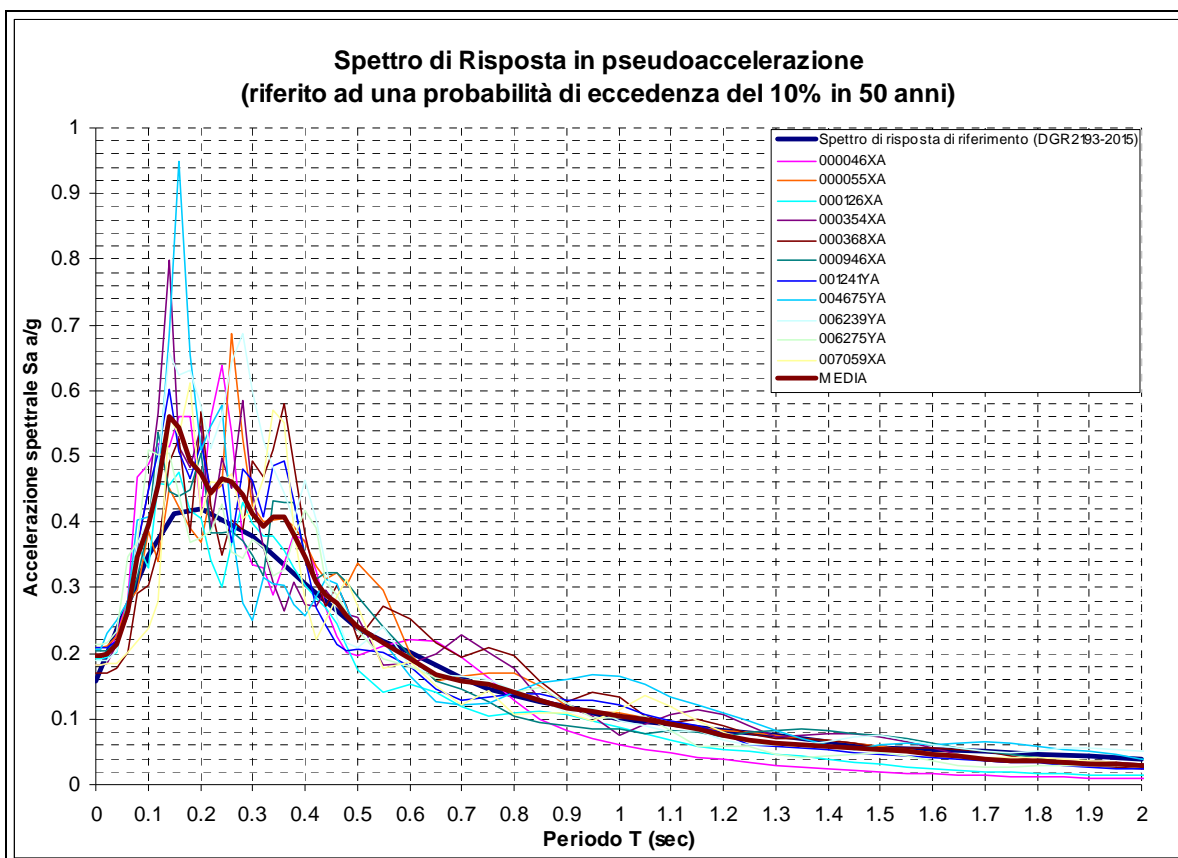
Il codice di calcolo utilizzato per le simulazioni di scuotimento in superficie è *Proshake* (*EduPro Civil System, Inc*) che si basa essenzialmente sul modello di calcolo di *Shake91* (*Idriss e Sun, 1992*)², modificandone l'interfaccia di immissione dati per un più facile utilizzo.

La verticale sismostratigrafica è stata determinata facendo riferimento alle risultanze dell'indagine sismica DH, per la parte più superficiale, mentre per le profondità intermedie ai profili ottenuti dalle prospezioni Re.Mi./MASW, ottenendo la verticale in onde S di seguito esposta:

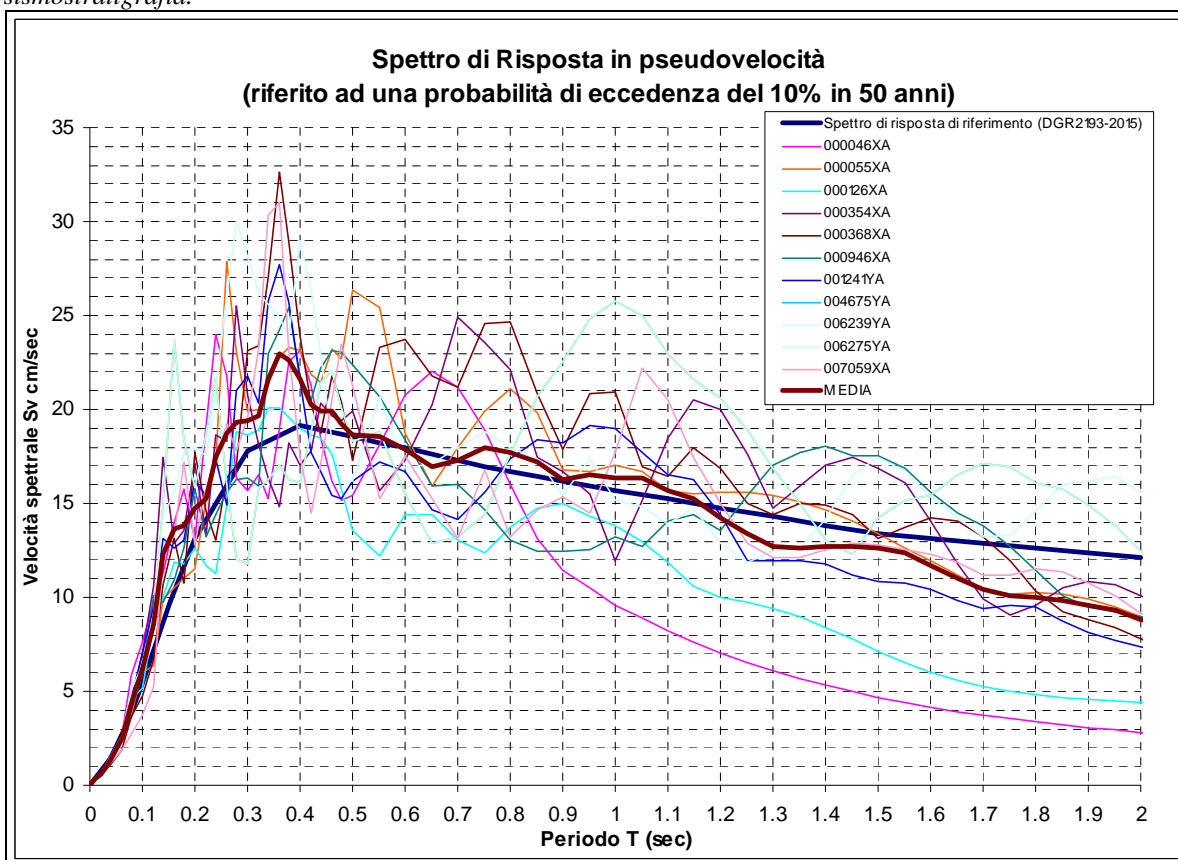
Orizzonte sismostratigrafico	Profondità da p.c. (m)	Vs (m/sec)
1	0 ÷ 2	200
2	2 ÷ 5	650
3	5 ÷ 6	320
4	6 ÷ 9	600
5	9 ÷ 10	365
6	10 ÷ 14	500
7	14 ÷ 15	280
8	15 ÷ 17	650
9	17 ÷ 20	850
10	20 ÷ 23	470
15	Oltre 23 (bedrock)	510

Dalle simulazioni effettuate si sono ottenuti gli spettri in pseudoaccelerazione e pseudovelocità di seguito riportati sia in forma grafica che tabellare.

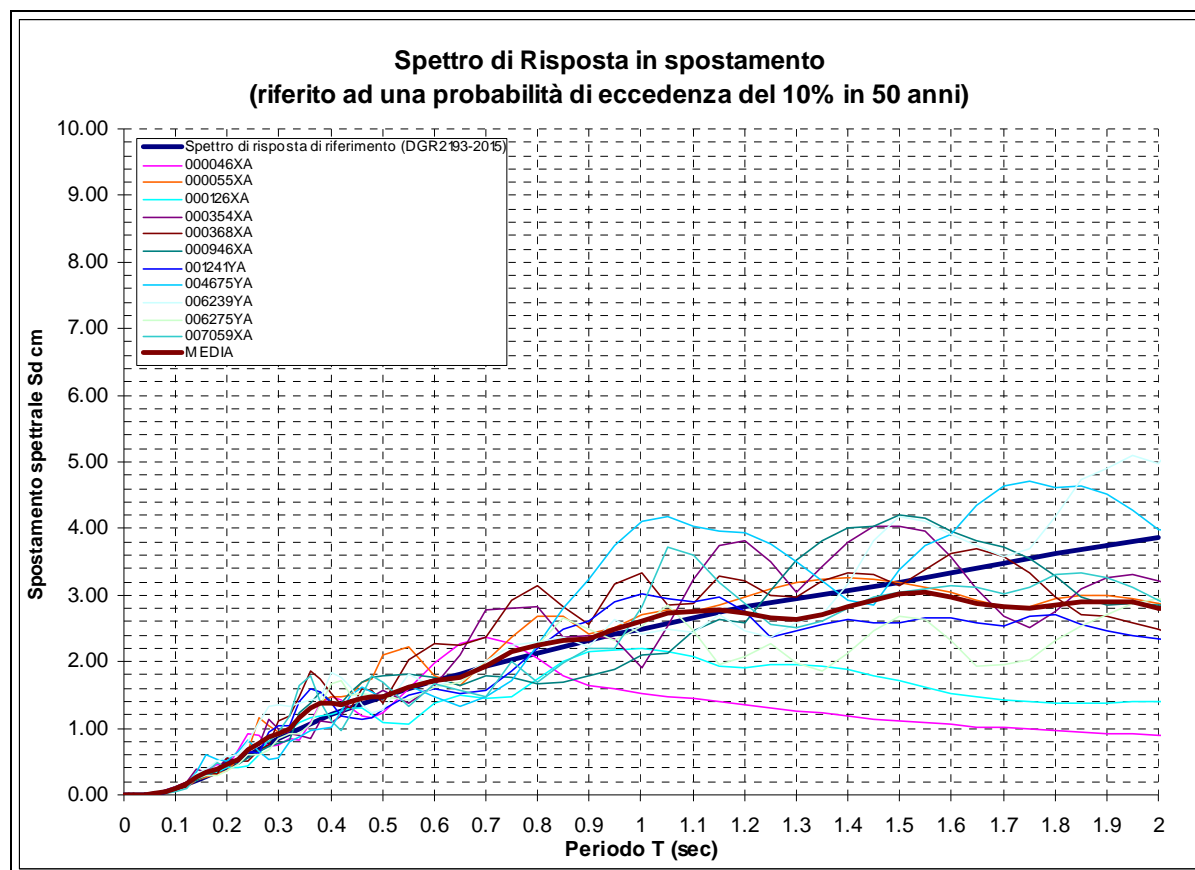
² Idriss, M. and Sun, J.I. (1992). "SHAKE91: A computer program for conducting equivalent linear seismic response analyses of horizontally layered soil deposits", *User's Guide*, University of California, Davis, California, 13 pp..



Spettro di risposta in superficie definito mediando i risultati degli spettri ottenuti applicando gli scuotimenti selezionati alla sismostratigrafia.



Spettro di risposta in superficie precedentemente visualizzato in termini di pseudovelocità (smorzamento 5%).



Spettro di risposta in superficie in termini di pseudospostamento (smorzamento 5%).

Definizione dei coefficienti di amplificazione sismica

La definizione dell'amplificazione del moto sismico tra bedrock sismico e superficie per ognuna delle zone identificate dai modelli precedentemente illustrati, è stata effettuata sia con la determinazione del rapporto di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA_0) che mediante la determinazione dell'intensità di Housner³ (o intensità dello spettro di risposta) SI/SI_0 , definita come:

$$SI = \int_{T1}^{T2} PSV(T, \xi) dt$$

dove PSV è lo spettro di risposta in pseudovelocità, T e ξ sono rispettivamente il periodo e lo smorzamento (considerato come convenzionalmente = 5%).

Dimensionalmente, l'intensità di Housner è uno spostamento (cm).

Il parametro risultante evidenzia la severità del moto sismico in relazione al danno potenziale atteso per effetto dei terremoti in esame.

I risultati ottenuti sono riportati nelle seguenti tabelle.

³ Housner G.W., 1952; Intensity of ground motion during strong earthquakes, California Institute of Technology, August.

Periodo T (sec)	FA IS	Sa media (g)
0 (FA PGA)	1.24	0.196
0,1 – 0,2	1.24	0.49
0,2 – 0,3	1.14	0.45
0,3 – 0,4	1.16	0.39
0,4 – 0,5	1.06	0.29
0,5 – 0,6	1.01	0.22
0,6 – 0,7	0.98	0.17
0,7 – 0,8	1.04	0.15
0,8 – 0,9	1.04	0.13
0,9 – 1,0	1.03	0.11
1,0 – 1,1	1.05	0.10
1,1 – 1,2	1.01	0.08
1,2 – 1,3	0.93	0.07
1,3 – 1,4	0.90	0.06
1,4 – 1,5	0.93	0.06

Periodo T (sec)	Fattore di amplificazione (FA – DGR 2193/15)	Fattore di amplificazione
0 (FA PGA)	2,0	1,24
0,1 - 0,5	1,7	1,14
0,5 - 1	1,4	1,02

Spettrocompatibilità

Le analisi sismiche di III livello hanno evidenziato fattori di amplificazione massimi con valori, in funzione del periodo spettrale, corrispondenti a $S_s = 1 \div 1,24$.

Detto fattore massimo di amplificazione risulta praticamente uguale a quello del DM 2008 per la categoria di suolo B: corrispondente ad $S_s = 1,2$.

Pertanto le verifiche di stabilità del versante sono state eseguite considerando l'accelerazione prevista dal DM 2008 per la categoria di suolo B.

Azione sismica

Le analisi della risposta sismica locale hanno evidenziato fattori di amplificazione di grado medio - basso per condizioni stratigrafiche ($S_s = 1 \div 1.2$) e di grado elevato per condizioni topografiche ($S_t = 1,4$ – cat. T4), riassunti nella tabella del precedente paragrafo.

L'analisi di risposta sismica locale fornisce parametri praticamente equivalenti a quelli che si ottengono con metodo semplificato per la categoria di suolo B (DM 2008), a cui va aggiunta l'amplificazione per caratteristiche stratigrafiche ($S_s \times 1,4$).

In riferimento a detti parametri è stata determinata l'azione sismica orizzontale e verticale da utilizzarsi nelle verifiche di stabilità.

Il fattore di amplificazione topografico corrisponde a:

$$S_t = 1,4$$

quello dell'amplificazione stratigrafica a:

$$S_s = 1,2$$

pertanto

$$a_{g_{\max}} = 0,158g \cdot 1,2 \cdot 1,4 = 0,265g$$

Le azioni sismiche orizzontale e verticale corrispondono a:

$$k_h = 0.064g \quad k_v = 0.032g$$

Detti coefficienti sono stati utilizzati per le successive verifiche di stabilità del pendio in condizioni sismiche.

CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA

Per la determinazione delle sequenze litotecniche sono stati effettuati rilevamenti diretti dei litotipi affioranti nel versante al quale appartiene comparto ATR8, indagini geognostiche articolate in 3 prove penetrometriche dinamiche superpesanti DPSH, 1 sondaggio meccanico a carotaggio continuo con prelievo di campioni indisturbati, prove di penetrazione codificata SPT, prove di resistenza alla penetrazione con *pocket penetrometer* e di resistenza al taglio con *tor vane* da campo; il sondaggio è stato successivamente attrezzato con tubo inclinometrico in alluminio a 4 vie con diametro di 75 mm, reso solidale al foro di perforazione con getto di boiacca di cemento e rivestito in testa con pozzetto in cls.

Le prove penetrometriche dinamiche superpesanti DPSH, sono state eseguite con penetrometro a funzionamento oleodinamico, mod. Pagani TG 63-100/200, con massa battente da 63,5 kgf, altezza di caduta costante: $h = 75$ cm e dotando la prima asta di punta conica a sezione trasversale max di 20 cmq ed angolo di apertura alla punta $\beta = 90^\circ$.

Dette indagini hanno raggiunto profondità variabili in funzione della presenza di orizzonti a basso grado di fratturazione ed in una verticale, DPSH2, la presenza di materiali molto consistenti ha impedito la prosecuzione a quote sottostanti -3,6 m pc.

Per quanto riguarda le prove penetrometriche dinamiche DPSH i certificati di prova riportano:

Profondità (m):

- Numero colpi per avanzamento di 20 cm
- Resistenza alla punta dinamica determinata con la relazione degli Olandesi:
 $q_d = \text{kgf/cm}^2$.

Le prove penetrometriche dinamiche DPSH hanno investigato i terreni sino a -6/-8,6 m p.c. ad eccezione della sopra indicata DPSH2 che si è arrestata a -3,6 m pc; le profondità maggiori: -8,6 m pc, sono state raggiunte nella verticale DPSH1 effettuata in prossimità (2/3 m) della scarpata della nicchia di frana; in tale indagine oltre alla profondità i valori del numero colpi confermano il maggiore spessore dei litotipi detensionati.

Il sondaggio meccanico è stato eseguito con una sonda cingolata *Casagrande mod. C4*, a funzionamento oleodinamico ad avanzamento flottante per rotazione e pressione con coppia torcente da 8200/12160 Nm, lunghezza sfilo 310 cm, forza di estrazione 50 kN.

Per le perforazioni si è utilizzato un carotiere semplice T1 (conforme alle raccomandazioni AGI) a diametro $\phi = 101$ mm ed attrezzando la colonna delle aste con carotiere doppio T2 dove sono stati riscontrati litotipi sufficientemente compatti per

effettuare il prelievo di campioni; il foro di perforazione è stato rivestito con camicie metalliche di diametro esterno equivalente a 127 mm.

Il carotaggio si è effettuato con avanzamento per pressione a secco e l'infissione del rivestimento a circolazione di acqua in assenza di fanghi bentonitici o tixotropici.

Contestualmente alle fasi di perforazione sono state eseguite prove di penetrazione codificata SPT utilizzando un'attrezzatura di battuta a sganciamento automatico e aste standard, prelievo di campioni indisturbati, prove di determinazione dei parametri di resistenza al taglio sui tratti di carota recuperati mediante tor vane da campo e pocket penetrometer, entrambi dotati di punte a diversa sezione intercambiabili, ed analisi speditive per la determinazione della granulometria.

Quest'ultima per i materiali fini è stata effettuata con il metodo a filo acciaio 0.04 mm, e più grossolani con calibro, doppio decimetro.

Le classi di riferimento utilizzate sono quelle della scala *Wentworth*, parzialmente modificata, che definisce i limiti dimensionali dei materiali come di seguito esposto

LITOTIPO	DIAMETRO PARTICELLE in mm
Ghiaie	> 2,0
Sabbia grossolana	2,0 ÷ 1,0 ÷ 0,5
Sabbia media	0,5 ÷ 0,25
Sabbia fine	0,25 ÷ 0,074
Limo	0,074 ÷ 0,0042
Argilla	< 0,0042

I campioni sufficientemente indisturbati, recuperati da tratti di carota prelevati con carotiere doppio T2, sono stati sigillati in tubi in PVC rivestito in polietilene; i campioni, in totale di n° 3 sono stati assoggettati a prove di laboratorio geotecnico articolate, nella determinazione delle caratteristiche fisiche generali, prova di taglio diretto consolidato drenato CD, prova di colonna risonante.

Le analisi di laboratorio geotecnico sono state effettuate dai laboratori certificati *GEOTEST sas*, Melfi, PZ e *SINERGEA srl*, Granarolo, BO.

Per la valutazione del grado di variabilità laterale e verticale degli orizzonti litotecnici sono stati utilizzati i profili in tomografia sismica integrati dalle verticali HVSR e prospezioni ReMi/MASW eseguiti nell'areale al quale appartiene il comparto oggetto di variante e di un suo significativo intorno.

ANALISI DI LABORATORIO GEOTECNICO

Sui campioni sufficientemente indisturbati, n° 3, prelevati mediante il sondaggio meccanico, sono state effettuate le analisi di laboratorio geotecnico di seguito descritte:

- Apertura e descrizione dei campioni;
- Determinazione delle caratteristiche fisico generali, peso di volume, umidità naturale, porosità, indice dei vuoti, grado di saturazione.
- Prove di taglio diretto consolidato drenato CD, su tre campioni, eseguite con Scatola di Casagrande, per l'individuazione del valore della coesione e dell'angolo d'attrito interno in condizioni drenate, tensioni efficaci;
- Prova di colonna risonante, su 1 campione, per la determinazione del modulo di taglio G/G_0 , rapporto di smorzamento.

I campioni prelevati, come visualizzato nell'allegata scheda sondaggio geognostico, sono stati recuperati a profondità variabili per analizzare in modo statisticamente significativo la successione litomeccanica dei materiali meno fratturati presenti nei primi 5/19 m del sottosuolo; alle profondità soprastanti -5/-7 m da p.c. l'elevato grado di fratturazione e dimensioni dei clasti dei litotipi presenti (tentativi effettuati n° 3) non hanno consentito il prelievo di campioni indisturbati con campionatore a pareti sottili e pertanto sono stati recuperati alle quote sottostanti con carotiere doppio.

I campioni sono stati conferiti ai laboratori certificati *GEOTEST sas, Melfi, PZ, SINERGEA s.r.l., Via Badini 6/6, Granarolo nell'Emilia (BO)*, che hanno eseguito le analisi di laboratorio geotecnico.

I parametri ottenuti, sono riportati nelle allegate certificazioni: *Analisi di Laboratorio Geotecnico* e schematicamente riassunti nell'allegata scheda *Sommario Caratteristiche Fisiche Generali*.

Descrizione geotecnica all'apertura del campione

I campioni sono stati sottoposti alla descrizione geotecnica preliminare, all'atto dell'apertura ed estrazione dalle fustelle di prelievo.

Sondaggio n°	Campione n°	Profondità (m p.c.)	Classificazione geotecnica preliminare
S1	C1	7,00 – 7,45	Argilla limosa
S1	CD2	17,00 – 17,30	Argilla limosa limoso sabbiosa
S1	CD3	18,80 – 19,20	Argilla limosa - argilla limoso sabbiosa

Parametri di resistenza al taglio

Sulle carote recuperate sono state eseguite prove di resistenza all'infissione con pocket penetrometer dotato di punta da 6 mm e prove di taglio con tor vane da campo; detti valori sono rappresentati nell'allegato: "sondaggio meccanico a carotaggio continuo".

I campioni indisturbati, in funzione delle loro caratteristiche litotecniche, hanno consentito di essere sottoposti a prove per la determinazione dei parametri di resistenza al taglio di seguito descritte.

- 3 prove di taglio diretto consolidato drenato (CD) con Scatola di Casagrande, che hanno individuato i valori di coesione ed angolo di attrito interno in termini di tensioni efficaci (*norma di riferimento: ASTM D 3080*).

Le configurazioni delle curve sforzi deformazione relative ai valori delle tensioni verticali di prova $\sigma_1 - \sigma_2 - \sigma_3$, evidenziano comportamento di tipo blandamente incrudente correlato ai legami costituiti dai materiali riscontrati: areniti fini siltose – siltiti argillose debolmente cementati.

In funzione di quanto esposto, in base ai certificati dei grafici: tensione orizzontale/deformazione orizzontale, sono stati determinati i valori dei parametri di resistenza al taglio in condizioni sia di picco che di stato critico.

I risultati sono contenuti nelle allegate schede "Prova di taglio diretto C.D.", e riassunti nella seguente tabella:

Tipologia prova	Campione	Profondità (m p.c.)	Tensioni efficaci			
			Valori di picco		Valori di stato critico	
			c' (kN/mq)	ϕ'_{crt} (kN/mq)	$c'_{c crt}$ (kN/mq)	ϕ'_r (°)
CD	S1 C1	7,00 – 7,45	38,1	25,4	30,6	24
CD	S1 CD2	17,00 – 17,30	23,0	27,4	22,0	26
CD	S1 CD3	18,80 – 19,20	20,6	29,2	17,3	28

I risultati ottenuti denotano valori moderatamente differenziati di coesione drenata, c' (coesione meccanica per cementazione) e dell'angolo d'attrito interno in tensioni efficaci, ϕ' .

Il campione degli orizzonti litologici più superficiali è contraddistinto da valori dell'angolo d'attrito interno e coesione praticamente equivalenti a quelli dei litotipi sottostanti.

I campioni CD2 e CD3, appartenenti alle alternanze di substrato arenitico siltose – siltoso argillose (MOV) denotano angoli di attrito di picco medio leggermente maggiori ($\phi'_p = 27^\circ - 29^\circ$) e di coesione drenata ($c'_p = 20/23 \text{ kN/mq}$) inferiori rispetto ai materiali sovrastanti nei quali sono percentualmente più rappresentate le componenti limoso argillose ($\phi' = 25^\circ$; $c' = 38,1 \text{ kN/mq}$).

L'andamento delle curve tensioni orizzontali - deformazioni orizzontali evidenzia comportamenti di tipo rigido fragile con blando decadimento dei parametri di resistenza al taglio superato il valore di picco. Dette caratteristiche concordano con i legami costitutivi: debole cementazione, che determinano un decadimento molto blando dei valori di resistenza al taglio come evidenziano le modeste differenze tra gli angoli di attrito e di coesione di picco e quelli di stato critico.

Prova di Colonna Risonante (RC)

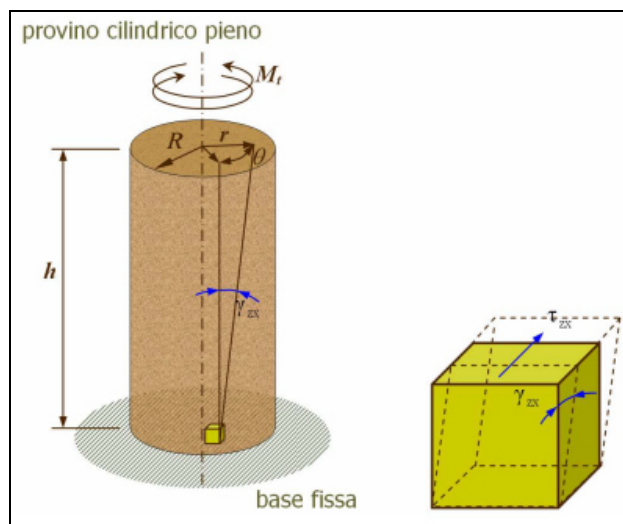
Sul campione prelevato tra -7 e -7,45 m da p.c. è stata eseguita una prova di Colonna Risonante al fine di determinare il decadimento dei parametri elastici del sottosuolo dell'area sede del comparto ATR8 in occasione di sollecitazione sismica.

Il test consiste nel sottoporre un provino cilindrico di terreno consolidato isotropicamente vincolato alla base sollecitandolo all'estremità libera (condizioni fixed – free) applicando un momento torcente ciclico a frequenze crescenti mediante oscillatore elettromagnetico.

La prova consente di determinare:

- Frequenza di risonanza
- Velocità delle onde di taglio V_s
- Modulo di taglio G
- Deformazione di taglio γ
- Rapporto di smorzamento D

Lo standard di riferimento per la prova con colonna risonante è la normativa ASTM D4015-2007.



Nelle prove di Colonna Risonante (RC) si applicano carichi variabili con legge sinusoidale e con frequenze elevate che modificano in progressione, in modo da raggiungere le condizioni di risonanza per l'insieme costituito dal provino di terreno e dal sistema per l'applicazione dei carichi.

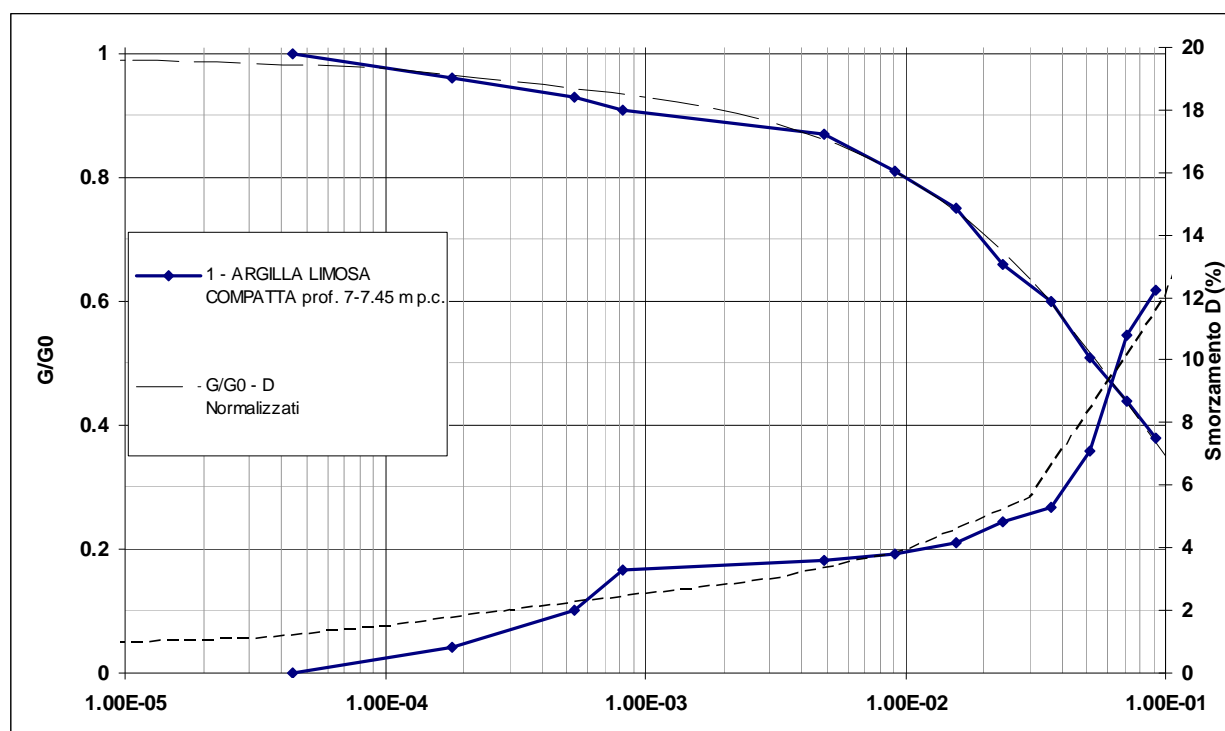
Dal valore della prima grandezza è possibile risalire alla velocità di propagazione delle onde di taglio e quindi al modulo di taglio G ; dalla misura delle deformazioni angolari del provino si ricava la deformazione tangenziale γ .

Il rapporto di smorzamento D è determinato con il procedimento del decremento logaritmico dell'ampiezza delle oscillazioni libere, che consiste nell'interrompere l'azione eccitante e nel rilevare la conseguente diminuzione di ampiezza tra cicli prefissati; di norma il numero dei picchi considerati è compreso tra 1 e 5.

Lo scopo delle prove RC non è quello di raggiungere la condizione di rottura: esse sono utilizzate per determinare le leggi di decadimento della rigidezza e d'incremento del fattore di smorzamento.

I risultati sono contenuti nell'allegata scheda "Prova di Colonna Risonante", e riassunti nella seguente tabella e grafico:

Test	Frequenza di risonanza (Hz)	Momento Torcente (Nm)	Deformazione di taglio max (%)	Modulo di taglio G (MPa)	G/G_0	Rapporto di smorz. D (%)
1	182	0,0006	$4,41 \cdot 10^{-5}$	68	1,00	0,00
2	178	0,0024	$1,81 \cdot 10^{-4}$	65	0,96	0,82
3	175	0,0090	$5,35 \cdot 10^{-4}$	63	0,93	2,01
4	175	0,0210	$8,18 \cdot 10^{-4}$	62	0,91	3,28
5	170	0,0960	$4,86 \cdot 10^{-3}$	59	0,87	3,62
6	164	0,1650	$9,18 \cdot 10^{-3}$	55	0,81	3,82
7	158	0,2700	$1,56 \cdot 10^{-2}$	51	0,75	4,16
8	149	0,3900	$2,38 \cdot 10^{-2}$	45	0,66	4,83
9	141	0,5700	$3,61 \cdot 10^{-2}$	41	0,60	5,27
10	131	0,8100	$5,15 \cdot 10^{-2}$	35	0,51	7,09
11	122	1,0800	$7,06 \cdot 10^{-2}$	30	0,44	10,82
12	113	1,3200	$9,15 \cdot 10^{-2}$	26	0,38	12,24



CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA CORRELAZIONI

Per quanto riguarda l'analisi geomeccanica dei dati ottenuti dalle indagini geognostiche effettuate è stata sviluppata in prima fase la standardizzazione dei dati ottenuti mediante la determinazione di N_{160} , e successivamente sono state utilizzate le relazioni di seguito descritte; queste ultime sono state individuate facendo riferimento alla comparazione tra i parametri ottenuti con quelli risultati dalle analisi di laboratorio geotecnico.

Determinazione N_{160}

Per il calcolo del valore normalizzato del numero colpi al fattore di rendimento energetico del 60% si è utilizzata la relazione

$$N_{160} = N_{spt} \cdot C_e \cdot C_b \cdot C_r \cdot C_s \cdot C_n$$

In cui

N_{spt} : numero colpi della resistenza in sito misurato

C_n : fattore di normalizzazione ad una pressione effettiva di 1 atm;

C_e : fattore funzione dell'energia trasmessa alle aste

C_b : fattore funzione del diametro del foro, per $D \leq 11,5$ cm = 1

C_r : fattore funzione della lunghezza delle aste

(0,75-0/4 m; 0,85-4/6 m; 0,95-6/10 m; 1,0>10m)

C_s : fattore funzione del metodo di campionamento,

(per punta conica diametro 5,08 cm: 0,75)

Il valore ottenuto deve essere rapportato al peso della massa battente utilizzata mediante la relazione

$$C_f = M_1/M_2 = 1$$

nella quale:

C_f = fattore di correzione

M_1 - M_2 = peso delle masse battenti;

nel caso delle strumentazioni utilizzate nella presente indagine $M_1 = 63,5$ kg,

$M_2 = 63,5$ kg,

e pertanto:

$$C_f = 1$$

Prove Penetrometriche Dinamiche DPSH

I dati ottenuti dalle prove penetrometriche dinamiche, eseguite con penetrometro dinamico super pesante a funzionamento idraulico con massa battente da 63,5 kg, altezze di caduta costante di 75 cm, punta da 20 cmq, angolo di apertura alla punta

$\beta = 90^\circ$, avanzamento 20 cm (*mod. Pagani TG 63-100/200*) sono stati normalizzati in funzione del rendimento energetico di detto strumento mediante la relazione

$$Cd = \frac{Ep}{0,60}$$

nella quale

Cd = fattore di correzione

Ep = rendimento energetico del penetrometro utilizzato, fornito dalla casa costruttrice: 0,73

e pertanto:

$$Cd = 1,217$$

In funzione dell'energia prodotta dal sistema utilizzato il valore

$$N\alpha = N_{20} \cdot Cd$$

è stato rapportato a quello N_{SPTeq} mediante la relazione proposta da *La Croix e Horn*:

$$N_{SPTeq} = \left(\frac{M \cdot H}{6,2 \cdot D^2 \cdot e} \right) N\alpha$$

nella quale

M = peso del maglio, kgf

H = altezza di caduta, cm

D^2 = diametro della punta, cm

e = avanzamento, cm

tale parametro è stato ricondotto al valore

$$N1_{60}$$

mediante la relazione precedentemente descritta:

I dati ottenuti dalle correlazioni sopra esposte sono stati elaborati mediante analisi statistica determinando i valori caratteristici per le unità di strato considerabili "omogenee" riscontrate nelle verticali delle indagini eseguite.

In funzione delle correlazioni e procedure descritti sono stati individuati i parametri geotecnici mediante le relazioni di seguito esposte.

Peso dell'unità di volume

Il peso dell'unità di volume è stato determinato mediante la relazione:

$$\gamma_n = (0.0011 \cdot N1_{60}^3 - 0.0528 \cdot N1_{60}^2 + 0.9464 \cdot N1_{60} + 12.855) \leq 21,5 \text{ (kN/mc)}$$

(A. Bruschi, 2005) che fornisce valori di elevato grado di attendibilità per materiali con $N1_{60}$ compresi tra 1 e 20.

Angolo di attrito

In base al valore del numero colpi corretto N_{160} è stato determinato il valore dell'angolo di attrito interno mediante la relazione di *De Mello*.

$$\phi' = 19 - 0,38 \sigma_v + 8,73 \log (N_{160})$$

e quella di *Hatanaka e Uchida*

$$\phi' = 20 + (15,4 \cdot N_{60})^{0,5}$$

La prima di dette relazioni fornisce un valore dell'angolo d'attrito con buona approssimazione correlabile a quello di stato critico, la seconda con equivalente affidabilità è riconducibile all'angolo d'attrito interno di picco.

Densità relativa

In funzione delle caratteristiche granulometriche dei materiali riscontrate nelle carote di sondaggio e del tipo di avanzamento del penetrometro dinamico, per la valutazione del grado di addensamento sono state utilizzate la relazione di *Skempton* per materiali fini:

$$Dr = \left\{ \frac{\left[2 / \left(1 + \frac{\sigma'_{vo}}{Pa} \right) \right] N_{160}}{60} \right\}^{0,5}$$

e la relazione di *Yoshida e Kokusho* per sabbie ghiaiose:

$$Dr = 0,18 \cdot N_{160}^{0,57} \cdot (100 \cdot \sigma'_{vo} / Pa)^{-0,14}$$

Angolo attrito interno stato critico

In riferimento ai parametri geotecnici ottenuti dalle analisi di laboratorio si è determinato il valore dell'angolo d'attrito interno di stato critico mediante la relazione:

$$\phi_{cr} = \phi_p - \phi_\delta$$

nella quale ϕ_δ è l'angolo di dilatanza.

Quest'ultimo è stato valutato mediante la relazione di *Horwart*, 2004:

$$\phi_\delta = 3 \cdot \left\{ \left\{ Dr \left[10 - \ln \left(\frac{100 \cdot \sigma' f}{Pa} \right) \right] \right\} - 1 \right\}$$

nella quale:

$$\sigma' f = \left[\sigma' v + 2 \left(0,30 \cdot q_{c_{eq}}^{0,22} \cdot \sigma' v^{0,69} \right) \right] / 3$$

nella quale la q_c statica equivalente è stata determinata mediante la relazione di *Kulhawy e Mayne*, 1990:

$$q_{c_{eq}} = 5,44 \cdot D_{50}^{0,26} \cdot N1_{60}$$

Coesione

In riferimento alle caratteristiche dei legami costitutivi dei litotipi presenti nel sottosuolo del sito in esame, che come hanno evidenziato le analisi di laboratorio geotecnico sviluppate mediante prove di taglio diretto consolidate drenate: CD, sono contraddistinti da componenti coesive di tipo meccanico, correlate a debole cementazione che conferisce ai materiali un comportamento rigido fragile, è stato determinato il valore della coesione in termini di tensioni efficaci mediante la relazione di *Coulomb*.

$$c' = cu \cdot \sigma'v \cdot tg\phi$$

Per quanto riguarda il valore della coesione non drenata: Cu , sono stati utilizzati i valori di resistenza al taglio determinati mediante prove in situ sui tratti di carota recuperati con pocket penetrometer e torvane da campo, privilegiando questi ultimi quando il comportamento fragile ne ha consentito la determinazione; tali parametri sono stati comparati al valore di coesione non drenata stimato in funzione del numero colpi caratteristico:

$N1_{60K}$ mediante la relazione di *Stroud*:

$$cu = \beta \cdot N1_{60}$$

nella quale β è un coefficiente funzione delle caratteristiche litologiche compreso tra 3,5 e 6,5 kPa.

I parametri geotecnici ottenuti dalle relazioni sopra esposte sono di seguito riassunti nella tabella Modello Geotecnico.

Deformabilità

In riferimento alle caratteristiche litologiche e granulometriche il modulo elastico operativo, che esprime il livello di deformazione del 25%: E_{25} , è stato determinato mediante la relazione di *Jamiolkowski*:

$$E_{25} = (10,5 - 3,5 \cdot DR) N1_{60}$$

MODELLO LITOTECNICO LOCALE

Dalla comparazione delle unità litotecniche individuate dalle verticali del sondaggio meccanico e delle prove penetrometriche DPSH, con gli orizzonti a differente grado di addensamento identificate dalle unità di strato sismotecniche dei profili in tomografia sismica 2D, dei principali contrasti di impedenza ottenuti dalle prospezioni MASW/ReMi e prova in foro di sondaggio Down Hole, dai principali picchi evidenziati dalle verticali di acquisizione microtremori a stazione singola con metodo HVSR, è stata definita la sequenza litotecnica locale.

Detta analisi ha evidenziato che i primi 8/30 m del sottosuolo che formano il versante sede del comparto ATR8 sono suddivisibili sulla verticale in tre orizzonti litotecnici a loro volta discretizzabili in otto sottounità geotecniche; di queste ultime quelle sottostanti -7/-8 m pc (n°4) sono caratterizzate da modeste differenze dei parametri di resistenza al taglio.

La prima di dette litozone costituisce i primi 2,0/2,5 m dal piano campagna sino alla fascia adiacente alla scarpata della nicchia di frana ed aumenta a spessori di 4,0/5,0 ÷ 8,0/10,0 m in corrispondenza di quest'ultima. Detta prima unità assume gli spessori inferiori: 1,5/2 m nel settore sud orientale dell'area esaminata, al quale appartiene il comparto ATR8, ed inizia ad aumentare in potenza: 2,0/2,5 m ad una distanza di 11/12 m dal limite nord occidentale dello stesso. Procedendo in direzione nord ovest gli spessori aumentano dapprima a 2,5/3,0 m e successivamente nella fascia circa in corrispondenza del ciglio della scarpata della nicchia di frana incrementano a 4/5 m e più a nord ovest a 7,0/8,0 m.

Tale orizzonte, superati i primi 0,4 ÷ 0,8 m dal piano campagna costituiti da terreno agrario, è formato da materiali limoso argillosi cementati (calcarei marnosi e marne calcaree, siltiti arenitico siltose) fratturati per processi di detensionamento.

Le unità litotecniche sottostanti sono formate da alternanze di strati limoso argillosi e sabbioso limosi ed argillosi debolmente cementati (marne – marne calcaree ed areniti siltose – peliti siltose) a grado di fratturazione variabile da medio basso – medio a medio elevato che aumenta procedendo in direzione nord ovest.

Con l'aumento della profondità già da -2,5/-5 m pc. il grado di fratturazione diminuisce come evidenziano sia i valori di velocità delle onde sismiche rilevati nelle prospezioni Re.Mi/MASW che i valori del numero colpi N_{20} ottenuti dalle prove penetrometriche DPSH; queste ultime denotano sulle verticali la presenza di intercalazioni di strati a resistenza relativa inferiore correlabili ad aumenti in percentuale rappresenta nelle componenti argillose – argilloso limose.

Il substrato roccioso a grado di consistenza maggiore si è riscontrato a profondità sottostanti -18/-22 ÷ -26 m pc; detto orizzonte litologico è più prossimo al piano

campagna nella zona sud orientale dell'area esaminata alla quale appartiene il comparto ATR8.

In quest'ultimo settore già dalle profondità di -10/-12 m dal piano campagna si riscontrano unità consistenti costituite da areniti siltose – siltiti argillose debolmente cementate.

Le unità che individuano i modelli geotecnici sopra descritti, definiti in funzione della correlazione tra gli orizzonti litotecnici individuati nelle prove penetrometriche DPSH e dal loro rapporto con i parametri geotecnici ottenuti dalle analisi di laboratorio, con le unità sismo tecniche dei profili in tomografia sismica 2D e verticali Re.Mi/MASW, visualizzate nella allegata tav. 5: sezione litotecnica, sono state discretizzate sulla verticale nelle unità di seguito esposte:

- Modello geotecnico

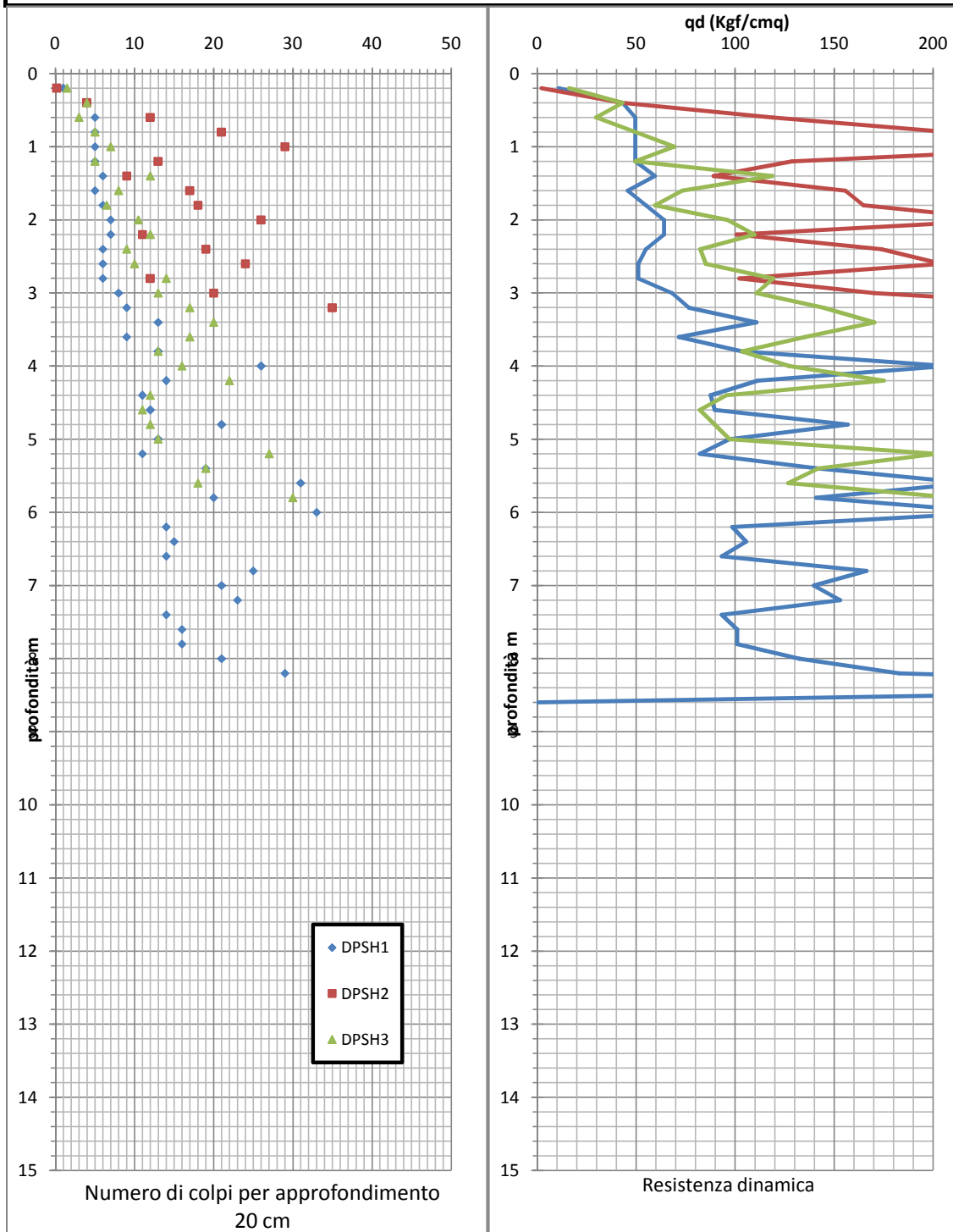
Orizzonte	Descrizione litotecnica	Parametri caratteristici
Unità 1 Da piano campagna a -1,5/-2,0 m p.c zona sud est; a -3,0/-3,5 pc zona nord ovest; a -5,0 m nella scarpata a nord ovest	Superato lo strato di terreno agrario argilloso limoso dello spessore di 0,4/0,6 m, si riscontrano limi argillosi cementati (calcari marnosi – marne calcaree) intensamente fratturali, di colore grigio con patine violacee sulle superfici di frattura.	$N_{20} = 5,0$ $N_{160K} = 7,5$ $N_{SPT} = 47$ $N_{60} = 26$ $D_r = 35\%$ $c_{u_k} = 0,35 \text{ kgf/cm}^2$ $c'_{kp} = 0,135 \text{ kgf/cm}^2$ $c'_{kcrit} = 0,12 \text{ kgf/cm}^2$ $\phi'_{kp} = 29^\circ$ $\phi_{kc} = 26^\circ$ $D_{rK} = 35\%$ $\gamma_k = 0,0018 \text{ kgf/cm}^3$ $E_{25dk} = 60 \text{ kgf/cm}^2$
Unità 2 Da -1,5/-2,0 m p.c. a -3,0 m pc -2/-3 zone sud est; a -4,0/-5,0 m pc zona nord ovest a -6,0/-7,0 m nella scarpata a nord ovest	Limi argillosi e sabbie fini limoso argillose (marne – areniti fini siltoso argillose) a medio – medio elevato grado di fratturazione con intercalati strati marnoso calcarei molto fratturati, di colore grigio.	$N_{20} = 12,0$ $N_{160K} = 14,0$ $D_{rK} = 40\%$ $c_{u_k} = 0,60 \text{ kgf/cm}^2$ $c'_{kp} = 0,08 \text{ kgf/cm}^2$ $c'_{kc} = 0,00 \text{ kgf/cm}^2$ $\phi'_{kp} = 31^\circ$ $\phi'_{kc} = 29^\circ$ $\gamma_k = 0,00187 \text{ kgf/cm}^3$ $E_{25k} = 125 \text{ kgf/cm}^2$

Orizzonte	Descrizione litotecnica	Parametri caratteristici
Unità 2bis Da -1,5 m a -3,4 m p.c. zona centrale (DPSH2)	Limi argillosi cementati (calcare marnoso – marne calcaree) a medio - medio elevato grado di fratturazione di colore grigio chiaro con patine violacee sulle superfici di frattura.	$N_{20k} = 18,0$ $N_{160K} = 18,5$ $D_{rk} = 55\%$ $cu_k = 0,27 \text{ kgf/cm}^2$ $c'_{kp} = 0,0 \text{ kgf/cm}^2$ $c'_{kc} = 0,0 \text{ kgf/cm}^2$ $\phi'_{kp} = 34^\circ$ $\phi'_{kc} = 31^\circ$ $\gamma_k = 0,00195 \text{ kgf/cm}^3$ $E_{25k} = 195 \text{ kgf/cm}^2$
Unità 3 Da -3,0 m p.c. a -5,0 pc zona sud est; a -6,0 m pc zona nord ovest; a -7,0/-8,0 nella scarpata a nord ovest	Limi argillosi e sabbie fini limoso argillose a grado di cementazione relativo maggiore rispetto agli strati soprastanti e sottostanti (marne calcaree – areniti siltoso argillose) di colore grigio – grigio chiaro.	$N_{20k} = 16$ $N_{160K} = 19,5$ $N_{SPT} = 29$ $N_{60} = 18,5$ $D_{rk} = 47\%$ $cu_k = 0,16 \text{ kgf/cm}^2$ $c'_{kp} = 0,0 \text{ kgf/cm}^2$ $c'_{kc} = 0,0 \text{ kgf/cm}^2$ $\phi'_{kp} = 33^\circ$ $\phi'_{kc} = 31^\circ$ $\gamma_k = 0,00193 \text{ kgf/cm}^3$ $E_{25k} = 165 \text{ kgf/cm}^2$
Unità 4 Da -5,0 m a -6,0 m p.c. zona sud est; a -8,0 m pc zona nord ovest; a -9,0 m pc nella scarpata a nord ovest	Limi argilloso sabbiosi – limi argillosi grigi con intercalati strati argillosi – argilloso limosi consistenti, di colore grigio scuro e nerastro (areniti – areniti pelitiche, marne – argille marnose).	$N_{20k} = 19,0$ $N_{160K} = 20,5$ $D_{RK} = 50\%$ $cu_k = 0,80 \text{ kgf/cm}^2$ $c'_k = 0,07 \text{ kgf/cm}^2$ $c'_{kc} = 0,00 \text{ kgf/cm}^2$ $\phi'_{kp} = 31^\circ$ $\phi'_{kc} = 28^\circ$ $\gamma_k = 0,00189 \text{ kgf/cm}^3$ $E_{25k} = 165 \text{ kgf/cm}^2$
Unità 5 Da -6,0 m a -12,0/-14,0 m p.c. zona sud est; a -12,0/-13,0 m pc zona nord ovest; assente nella scarpata	Alternanze di strati limoso sabbioso argillosi debolmente cementati grigio chiari e livelli argillosi – argilloso limosi grigio scuri compatti (areniti pelitiche – argille marnose).	$N_{20k} = 26$ $N_{160K} = 25,5$ $N_{SPT} = 53$ $N_{60} = 38$ $D_{rk} = 60\%$ $cu_k = 0,95 \text{ kgf/cm}^2$ $c'_k = 0,38 \text{ kgf/cm}^2$ $c'_{kc} = 0,30 \text{ kgf/cm}^2$ $\phi'_{kp} = 25^\circ$ $\phi'_{kc} = 24^\circ$ $\gamma_k = 0,00205 \text{ kgf/cm}^3$ $E_{25k} = 185 \text{ kgf/cm}^2$

Orizzonte	Descrizione litotecnica	Parametri caratteristici
Unità 5bis Da -12,0/-14,0 m a -13,0/-15,0 m p.c. solo zona nord ovest - scarpata	Strato lentiforme presente esclusivamente nel settore nord occidentale dell'area (zona a nord ovest del sondaggio: SM1) e nella scarpata dove si congiunge alla soprastante unità n°4; costituito da sabbie fini limose debolmente cementate di colore grigio – grigio nocciola con intercalati sottili strati argillosi – argilloso limosi compatti di colore grigio scuro (areniti pelitiche – argille marnose).	$N_{20k} = 19,0$ $N_{160K} = 20,5$ $D_{Rk} = 50\%$ $c_{uk} = 0,80 \text{ kgf/cmq}$ $c'_{kp} = 0,07 \text{ kgf/cmq}$ $c'_{kc} = 0,00 \text{ kgf/cmq}$ $\phi'_{kp} = 31^\circ$ $\phi'_{kc} = 28^\circ$ $\gamma_k = 0,00189 \text{ kgf/cm}$ $E_{25k} = 165 \text{ kgf/cm}$
Unità 6 Da -12,0/-14,0 m a -15,0/-16,0 ÷ -18,0 m p.c. zona nord est; a -14,0/-17,0 m pc zona nord ovest; a -11,0/-14,0 m pc nella scarpata nord ovest	Limi sabbioso fini e sabbie fini debolmente cementati di colore nocciola con intercalati livelli argillosi – argilloso limosi sabbioso fini grigio scuro compatti (areniti – areniti pelitiche, argille marnose).	$N_{20k} = 63$ $N_{60} = 45$ $D_r = 95\%$ $c_{uk} = 0,45 \text{ kgf/cm}$ $c'_{kp} = 0,23 \text{ kgf/cm}$ $c'_{kc} = 0,22 \text{ kgf/cm}$ $\phi'_{kp} = 27^\circ$ $\phi'_{kc} = 26^\circ$ $\gamma_k = 0,00187 \text{ kgf/cm}$ $E_{25k} = 500 \text{ kgf/cm}$
Unità 7 Da -15,0/-16,0 ÷ -18,0 m a -16,0/-22,0 ÷ -16,0 m p.c. zona nord est; a -24,0/-26,0 m pc zona nord est; a -18,0/-23,0 m pc nella scarpata a nord ovest	Alternanze di strati sabbioso fini – sabbioso limosi grigi debolmente cementati, con intercalati livelli argilloso limosi di colore grigio – grigio scuro. (areniti – areniti pelitiche, argille – argille marnose).	$N_1 = 50:4 \text{ cm}$ $N_{SPT} = >60$ $D_r = 95\%$ $c_{uk} = 0,40 \text{ kgf/cm}$ $c'_{kp} = 0,20 \text{ kgf/cm}$ $c'_{kc} = 0,173 \text{ kgf/cm}$ $\phi'_{kp} = 29^\circ$ $\phi'_{kc} = 28^\circ$ $\gamma_k = 0,00188 \text{ kgf/cm}$ $E_{25k} = 500 \text{ kgf/cm}$
Unità 8 Da -16,0/-22,0 ÷ -26,0 m a -30,0 m p.c. zona nord est; a -30,0 m pc zona nord ovest e scarpata a nord ovest	Alternanze di strati sabbiosi fini e limoso sabbiosi debolmente cementati, di colore grigio chiaro, con intercalati sottili livelli argillosi – argilloso limosi di colore grigio scuro talora con venature violacee e/o grigio verdi (areniti – arenitico siltose, argille marnose - marne).	$N_1 = 50:8 \text{ cm}$ $N_{SPT} = >60$ $D_r = 95\%$ $c_{uk} = 0,40 \text{ kgf/cm}$ $c'_{kp} = 0,23 \text{ kgf/cm}$ $c'_{kc} = 0,20 \text{ kgf/cm}$ $\phi'_{kp} = 33^\circ$ $\phi'_{kc} = 29^\circ$ $\gamma_k = 0,0020 \text{ kgf/cm}$ $E_{25k} = 500 \text{ kgf/cm}$

Legenda dati: D_r = densità relativa; ϕ'_p = angolo di attrito interno di picco; ϕ'_c = angolo di attrito interno di stato critico; ϕ'_{res} = angolo di attrito interno residuo; c' = coesione drenata; c_u = coesione non drenata; γ = peso di volume; E_{25} = modulo elastico operativo;

Analisi statistica dati penetrometrici - Dinamiche super pesanti DPSH



N₂₀

	Unità 1	Unità 2	Unità 2bis	Unità 3	Unità 4	Unità 4bis	Unità 5	
campioni	29	16	10	12	9	3	10	
Minimo	0,20	9,00	9,00	12,00	11,00	21,00	18,00	
Massimo	13,00	26,00	29,00	33,00	20,00	25,00	70,00	
Media	5,89	14,00	17,50	19,50	14,56	23,00	37,40	
Mediana	6,00	13,00	17,50	18,50	14,00	23,00	29,50	
Dev. Stand.	2,83	4,49	6,20	6,74	2,50	1,63	18,86	
Media tronc.	5,78	13,50	17,13	18,90	14,56	23,00	35,75	
t student	1,70	1,75	1,83	1,80	1,86	2,92	1,83	
N20k	4,98	11,97	13,71	15,85	12,91	19,63	25,87	

qd (kgf/cm²)

	Unità 1	Unità 2	Unità 2bis	Unità 3	Unità 4	Unità 4bis	Unità 5	
campioni	29	16	10	12	9	3	10	
Minimo	2,15	71,63	89,06	95,50	82,18	139,76	126,71	
Massimo	118,75	206,92	286,98	232,30	170,28	166,38	510,84	
Media	55,26	112,54	166,42	150,28	103,68	153,07	270,53	
Mediana	51,08	106,65	160,18	138,04	97,12	153,07	206,45	
Dev. Stand.	24,81	34,06	59,62	46,82	24,44	10,87	139,64	
Media tronc.	54,40	108,73	161,02	147,55	103,68	153,07	258,46	
t student	1,70	1,75	1,83	1,80	1,86	2,92	1,83	
qdk	47,28	97,13	129,99	124,92	87,61	130,63	185,20	

Suscettività di Liquefazione

In funzione delle caratteristiche dei litotipi presenti nel sottosuolo costituiti da marne ed alternanze arenitico pelitiche ed areniti siltose, la pericolosità di liquefazione in rapporto ai legami costitutivi di detti materiali, debole cementazione, è praticamente nulla; nel contesto di quanto esposto è inoltre da considerare che nei fori delle indagini geognostiche eseguite non si è rilevata presenza di falda idrica sotterranea.

A riscontro di quanto sopra esposto, nell'ipotesi che si instaurino temporanee condizioni di completa saturazione idrica nei primi 2/3/5 m del sottosuolo, è stata stimata la pericolosità di liquefazione in rapporto alla velocità delle onde sismiche di taglio normalizzata

$$V_{s1} = \left(\frac{Pa}{\sigma'_{vo}} \right)^{0,25} v$$

ottenendo:

Profondità	V _{s1} m/sec
0 – 2,0 m	192
2,5 – 5,0	306

In base al grafico di *Kayen*, in funzione del rapporto CSR ottenuto dalla relazione

$$CSR = 0,65 \cdot ag \max \cdot \frac{\sigma_0}{\sigma'_v} (1 - 0,015z) = 0,163$$

nella quale

CSR = domanda di resistenza

z = profondità dello strato, m

ag max = accelerazione orizzontale, g, da codice di calcolo

risulta che i primi 2,5 m del sottosuolo, caratterizzati dalla presenza in percentuale delle componenti fini maggiore del 30% (ottenuta dalla relazione di *Robertson*, 1990) sono contraddistinti da potenziale pericolosità del grado di liquefazione medio basso ($f_s = 1,06$).

Le unità litotecniche sottostanti -2,5 m pc e sino a -20 m pc, caratterizzate da:

$$V_{s1} > 300 \text{ m/sec}$$

appartengono al campo dei terreni non liquefacibili, Allegato A3 art. A1 DGR 2193/2015.

VERIFICHE DI STABILITA' DEL VERSANTE

In rapporto all'analisi geomeccanica dei dati delle prove penetrometriche dinamiche DPSH, di quelli del sondaggio meccanico, e quelli risultati dalle analisi di laboratorio geotecnico sui campioni prelevati (*Geotest – Sinergea*), precedentemente descritte al paragrafo modello litotecnico locale, sono state eseguite le verifiche di stabilità al quale appartiene l'ambito ATR8 mediante il metodo di *Sarma*, che ricerca il valore critico della stabilità del pendio, in riferimento ad un'accelerazione orizzontale uniforme oltre la quale si verifica la rottura ed il conseguente cedimento del versante. Tale metodo utilizza la seguente relazione:

$$K_c = \frac{AE}{PE}$$

in cui:

$$AE = a(n) + a(n-1) \cdot e(n) + a(n-2) \cdot e(n) \cdot e(n-1) + \dots + a(1) \cdot e(n) \cdot \dots \cdot e(2)$$

$$PE = p(n) + p(n-1) \cdot e(n) + p(n-2) \cdot e(n) \cdot e(n-1) + \dots + p(1) \cdot e(n) \cdot \dots \cdot e(2)$$

In cui:

n = numero dei conci

$$a(i) = q(i) \cdot (a_1 - a_2 + a_3 + a_4 - a_5)$$

$$p(i) = q(i) \cdot w(i) \cdot \cos[\phi_b(i) - \alpha(i)]$$

$$e(i) = q(i) \cdot \frac{\cos \phi_b(i) - \alpha(i) + \phi_s(i) - D(i)}{\cos \phi_s(i)}$$

$$q(i) = \frac{\cos \phi_s(i+1)}{\cos[\phi_b(i) - \alpha(i) + \phi_s(i+1) - D(i+1)]}$$

$$a_1 = w(i) + T_v(i) \cdot \sin[\phi_b(i) - \alpha(i)]$$

$$a_2 = T_h(i) \cdot \cos[\phi_b(i) - \alpha(i)]$$

$$a_3 = r(i) \cdot \cos \phi_b(i)$$

$$a_4 = s(i+1) \cdot \sin[\phi_b(i) - \alpha(i) - D(i+1)]$$

$$a_5 = s(i) \cdot \sin[\phi_b(i) - \alpha(i) - D(i)]$$

dove:

$$s(i) = c_s(i) \cdot d(i) - P_w(i) \cdot \tan \phi_s(i)$$

$$c_b(i) \cdot b(i)$$

$$r(i) = \frac{\cos \alpha(i)}{\cos \phi_b(i)} - u(i) \cdot \tan \phi_b(i)$$

w = peso

d = lunghezza del lato

D = inclinazione del alto

b = larghezza della base

α = inclinazione della base

c_b = coesione di base

ϕ_b = angolo di attrito di base

c_s = coesione laterale

ϕ_s = angolo di attrito laterale

u = spinta idraulica normale lungo la base

P_w = spinta idraulica normale lungo il lato

T_v = forza esterna verticale

T_h = forza esterna orizzontale

La soluzione dell'equazione $K_c(pr) = 0$ è ottenuta per via numerica attraverso un procedimento interattivo che assicura un'elevata velocità ed affidabilità. Tale procedura restituisce un valore del fattore di sicurezza con un errore per difetto contenuto entro 0,01.

Quindi il fattore di sicurezza coincide con il valore che assume un parametro riduttivo (pr) delle caratteristiche geotecniche reattive quando esse portano all'annullamento dell'accelerazione critica.

Oltre a detta relazione le verifiche di stabilità sono state sviluppate con l'equazione di *L. Borselli*, 2010.

Nel contesto delle analisi di stabilità, per l'individuazione, dell'assetto spaziale delle unità litotecniche discretizzate e delle superfici di potenziale deformazione –

rottura, si è fatto riferimento alle prospezioni in tomografia sismica, verticali Re.Mi./MASW, verticali HVSR, rapportando le unità sismotecniche dei principali contrasti di impedenza individuati ai dati delle indagini geognostiche: sondaggio meccanico, prove penetrometriche dinamiche, analisi di laboratorio geotecnico.

Le verifiche di stabilità, in rapporto alle attuali geometrie del versante, sono state effettuate secondo la linea di massima pendenza, utilizzando i dati ottenuti dal rilevamento diretto con sistema GPS (strumento Hi Target V30), integrati da livellazioni dal mezzo con autolivello GAL 24, nel settore esteso dalla zona di sedime degli esistenti fabbricati in via Collina alla scarpata della nicchia di frana e sino al piede della scarpata.

Le superfici di potenziale deformazione/rottura, sono state individuate in base alle pendenze delle unità di strato definite in funzione delle correlazioni tra le indagini geognostiche e prospezioni geofisiche raffrontate alle variazioni di inclinazione del profilo topografico e linee di frattura/di tensione osservate. Tali valutazioni sono state implementate dall'analisi delle superfici con fattore di sicurezza minimo cinematicamente possibili, che non violino il principio di Mohr – Coulomb in funzione dei parametri ϕ' e c' , mediante il software *SSAP* (L. Borselli, 2016) che opera con metodo LEM esaminando un numero di superfici random di deformazione/rottura che corrisponde a 5.000 campionature.

Detta analisi ha evidenziato che le fasce potenzialmente instabili, che interessano l'insieme del versante, in assenza di falda idrica sotterranea e di sisma coinvolgono uno spessore dei terreni equivalente a 6/7 m; tali superfici si sviluppano nella zona della scarpata di frana con fasce di tension crack potenziale in direzione sud est (monte) che possono giungere a 7/9 m dal ciglio della stessa e pertanto a distanza di 20/22 m dal limite nord occidentale del comparto ATR8.

In presenza di sollecitazione sismica e nell'ipotesi di occasionale instaurazione di temporanea presenza di falda idrica nei primi 2/5 dal piano campagna le simulazioni indicano zone di deformazione sino a profondità di -6,5/-7,5 m pc con possibili fasce di tension crack a 8/8,5 m da ciglio scarpata e quindi a distanza di 20/20,5 m dal limite nord ovest dell'ambito ATR8.

Le valutazioni delle condizioni di stabilità sono state sviluppate considerando l'assenza di sovraccarichi.

Le verifiche di stabilità sono state eseguite considerando sia l'assenza di saturazione idrica sotterranea, come rilevato nel 10/2017 nei fori delle indagini geognostiche DPSH nelle quali non è stata riscontrata presenza di acqua nei primi 8 m del sottosuolo e nel foro del sondaggio meccanico nel quale è stata rilevata assenza di falda idrica, che nell'ipotesi di temporanea completa saturazione della prima unità litotecnica: -2/-5 m pc.

Tale condizione è stata definita in rapporto a quanto rilevato nel contesto dell'esecuzione del sondaggio meccanico che alle profondità sottostanti -5/-7 m dal piano campagna ha evidenziato svuotamenti molto veloci della colonna d'acqua immessa nella perforazione per il rivestimento del foro con camicie metalliche; quanto esposto è ulteriormente confermato dal completo svuotamento del foro di sondaggio dalla fine delle operazioni giornaliere alla ripresa delle stesse la mattina seguente che evidenzia l'assenza di livelli/strati litologici a bassa permeabilità che permettono l'accumulo di acqua nel sottosuolo.

Le valutazioni delle condizioni di stabilità sono state sviluppate in termini di tensioni efficaci, che rappresentano le situazioni meno favorevoli, sia in assenza di sollecitazione sismica che in presenza della stessa.

In dette analisi sono stati utilizzati i coefficienti di incremento alle forze destabilizzanti in funzione dei valori di accelerazione orizzontale ottenuti dall'analisi di risposta sismica locale sviluppata con Codice di Calcolo *Proshake*.

Nelle verifiche effettuate sono stati adottati i criteri previsti dal DM 14/01/2008 e pertanto nelle simulazioni in presenza di sollecitazione sismica si è utilizzato l'Approccio 1, Combinazione 2:

$$A2 + M2 + R2$$

nella quale $R2 = 1,1$.

I valori di accelerazione sismica locale, secondo l'analisi di III° livello ed i dettami del D.M. 14/01/2008, sono stati determinati applicando il coefficiente

$$\beta = 0,24$$

ottenendo i valori σ_h e σ_v esposti nel paragrafo: *Azione sismica*.

Per quanto riguarda la valutazione delle condizioni di stabilità attuali, finalizzate a valutare l'affidabilità dei parametri geotecnici da adottare in assenza di sovraccarichi ("back analysis"), si è utilizzato l'approccio 1 combinazione 1:

$$A1 + M1 + R1$$

nella quale:

$$R1 = 1,3$$

Le valutazioni, effettuate adottando i parametri geotecnici sia di picco che di stato critico, determinati in base ai grafici tensioni – deformazioni orizzontali, (*Certificati Geotest - Sinergea*) e dei modelli di analisi geomeccanica delle prove penetrometriche dinamiche DPSH, sono state eseguite in condizioni di assenza di sollecitazione sismica ed in presenza della stessa in tensioni efficaci.

L'azione sismica è stata determinata in funzione dei fattori di incremento delle forze destabilizzanti ottenuti dall'analisi di III° livello: risposta sismica locale; il coefficiente per gli effetti della topografia definito in base agli Abachi ICMS per lunghezza di versante minore di 150 m e pendenze maggiori di 30° corrisponde a:

$$St = 1,4$$

Il coefficiente di riduzione dell'azione sismica: β_s (par.7.11.3.5.2 NTC 2008 – tab. 7.11.1 NTC 2008) per il tratto di pendio in esame, ottenuto dall'analisi di risposta sismica locale sviluppata in base ai dati della prova in foro di sondaggio Down Hole e delle verticali RM/MW, equivale a:

$$Kh = 0,064 \text{ g}$$

$$Kv = 0,032 \text{ g}$$

Le superfici di potenziale deformazione rottura delle condizioni sopra descritte, sono visualizzate negli allegati certificati *Verifica di stabilità*.

In riferimento al modello litotecnico dei primi 8/20÷30 m del sottosuolo, precedentemente descritto, si sono assunti i valori di angolo d'attrito interno e di coesione in termini di tensioni efficaci, di picco e di stato critico, per unità di strato discretizzate in orizzonti assimilabili ad un continuo elastoplastico in campo lineare, come indicato nella seguente tabella.

MODELLO GEOTECNICO (stato critico/picco)

Litotipo	Profondità da pc m	Descrizione litotecnica	Angolo di attrito interno di picco ϕ°	Coesione efficace c' (KN/mq)	Angolo d'attrito interno, stato critico ϕ°	Coesione efficace Stato critico c' (KN/mq)	Angolo d'attrito interno ridotto, ϕ° stato critico	Coesione efficace ridotta c' (KN/mq) stato critico	γ_n (KN/mq)
1	Da 0.0 a -2.0/-5.0	Limo argilloso	29°	13.5	26	12	21,3	9,6	18,0
2	Da 2.0/-5.0 a -3.0/-5.0 ÷ -7.0	Ghiaia limoso argillosa	31	0.0	29	0.0	23,9	0,0	18,7
3	Da -3.0/-5.0 ÷ -7.0 a -5.0/-6.0 ÷ -8.0	Limo con argilla	33	0.0	31	0,0	25,7	0,0	19,3
4	Da -5.0/-6.0 ÷ -8.0 a -8.0/-9.0	Argilla limosa e limo argilloso	31	0.0	28	0.0	23	0,0	18,9
5	Da -8.0/-9.0 ÷ -12.0 a -15	Argilla limosa	25	38	24	30.0	19,6	24,0	20,5
6	Da -12/-15 a -13/-15	Argilla limosa	31	0.0	28	0.0	23	0,0	18,9
7	Da -13/-15 a - 15/-18	Argilla limosa	27	23	26	22.0	21,3	17,6	18,7
8	Da -15/-18 a -18 ÷ -20/-23/ -27	Argilla limosa – argilla con limo	29	17,3	28	17.3	23	13,84	18,8
9	Da -18 ÷ -20/- 23/-27 a -30	Argilla limosa – limo argilloso	33	23,0	29	20.0	23,9	16,0	20,0

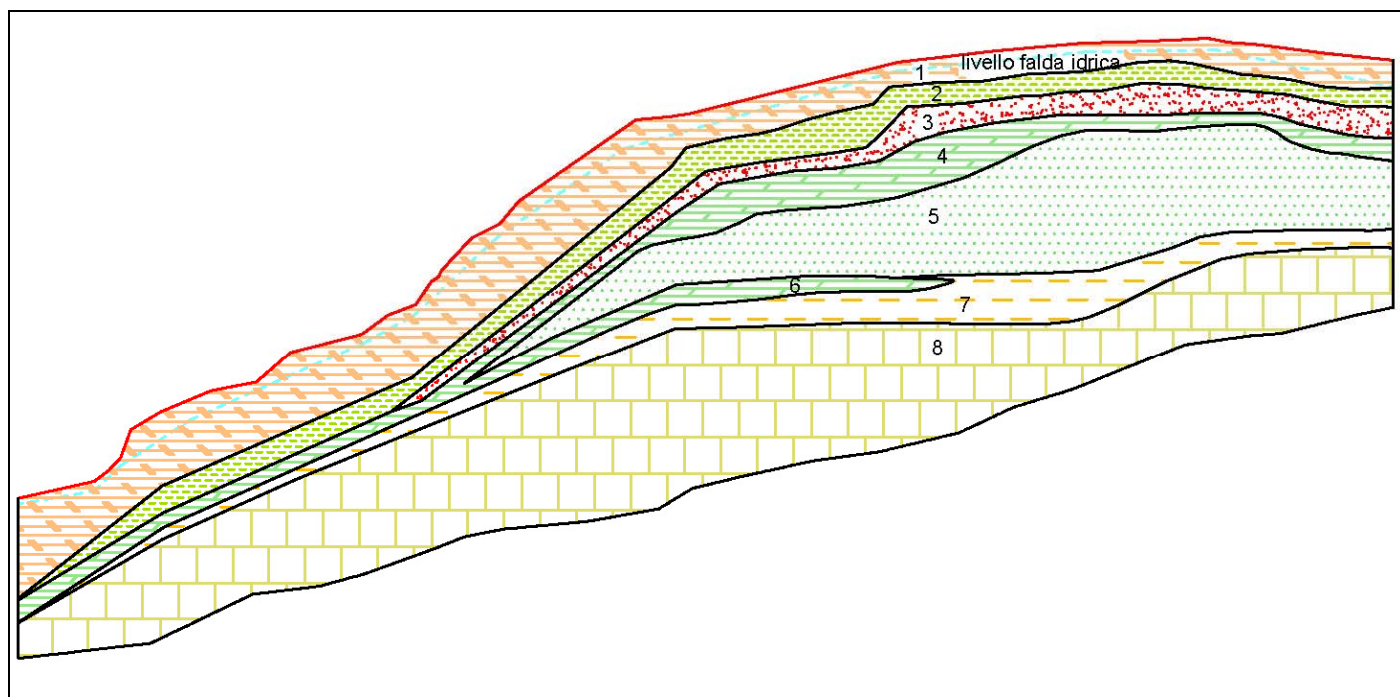


Fig. 1 - Modello geotecnico unità di strato

I valori dei coefficienti di sicurezza ottenuti dalle analisi di stabilità delle superfici di potenziale deformazione rottura esaminate che hanno evidenziato superfici con coefficiente di sicurezza minimo di versante (v) e di piede pendio (p) sono riassunti nelle tabelle di seguito esposte.

Parametri di picco - combinazione A1 + M1 + R1

NS - NF		S - NF		NS - F		S - F	
V	P	V	P	V	P	V	P
1,12	1,17	1,00	1,02	0,83	0,90	0,75	0,81

Parametri di stato critico - combinazione A1 + M1 + R1

NS - NF		S - NF		NS - F		S - F	
V	P	V	P	V	P	V	P
1,01	1,06	0,90	0,92	0,73	0,79	0,64	0,69

Parametri di stato critico - combinazione A2 + M2 + R2

NS - NF		S - NF		NS - F		S - F	
V	P	V	P	V	P	V	P
0,81	0,85	0,72	0,74	0,57	0,64	0,50	0,55

Legenda:

1,1-1-08 = fattore di sicurezza

NS = assenza sisma

NF = assenza falda idrica

S = presenza sollecitazione sismica

F = presenza falda idrica

V = superficie di versante

P = superficie di piede, insieme del versante

Le verifiche effettuate utilizzando i parametri di picco, sviluppate secondo l'approccio A1+M1+R1 per il quale il coefficiente di sicurezza minimo previsto dal DM 2008 corrisponde ad $f = 1,3$, evidenziano condizioni stabili non in sicurezza con coefficienti prossimi all'equilibrio limite in assenza di falda idrica di sisma e presenza di sisma ed assenza di falda idrica; in condizioni di saturazione sono instabili con valori prossimi all'equilibrio limite; in presenza di sisma e falda idrica le condizioni sono instabili.

Analoghe situazioni sussistono con l'utilizzo dei parametri di stato critico in assenza di falda idrica e di sisma. Nelle situazioni di presenza di sisma – assenza falda idrica, assenza sisma – presenza falda idrica, presenza di sisma e falda idrica, le condizioni sono instabili.

I valori dei coefficienti di sicurezza evidenziano corrispondenza con lo stato attuale della scarpata della nicchia di frana nella quale la falda idrica sotterranea è assente ed i processi di creeping indicano che prevalentemente i processi deformativi, di

tipo superficiale, sono quiescenti e periodicamente in corrispondenza dei periodi piovosi si attivano piccoli (<1 cm) spostamenti.

Le valutazioni di stabilità sviluppate secondo l'approccio A2+M2+R2 per il quale il coefficiente minimo previsto dal DM2008 corrisponde ad $f = 1,0$ evidenziano sempre condizioni non stabili.

Analisi Condizioni di stabilità – Ambito ATR8

Le superfici di potenziale deformazione/rottura ottenute dalle analisi sviluppate interessano la parte di area adiacente/prossima alla scarpata della nicchia di frana per una fascia che si sviluppa a monte della stessa in direzione sud est con larghezza di:

$$L = 2 \div 5,5 \text{ m}$$

e quindi a distanza dal limite nord occidentale del comparto ATR8 corrispondente a:

$$D = 24-20,4 \text{ m}$$

Ne consegue che l'ambito oggetto della variante al PSC non è interessato da possibili processi di dissesto.

Le linee di frattura di tensione potenziale che possono indurre detensionamenti, si svilupperebbero, rispetto al ciglio della scarpata di frana secondo una fascia con larghezza:

$$L_r = 5 \div 8,5 \text{ m}$$

e quindi a distanza dal limite nord occidentale dell'ambito ATR8 equivalente a:

$$D_r = 21-17,5 \text{ m}$$

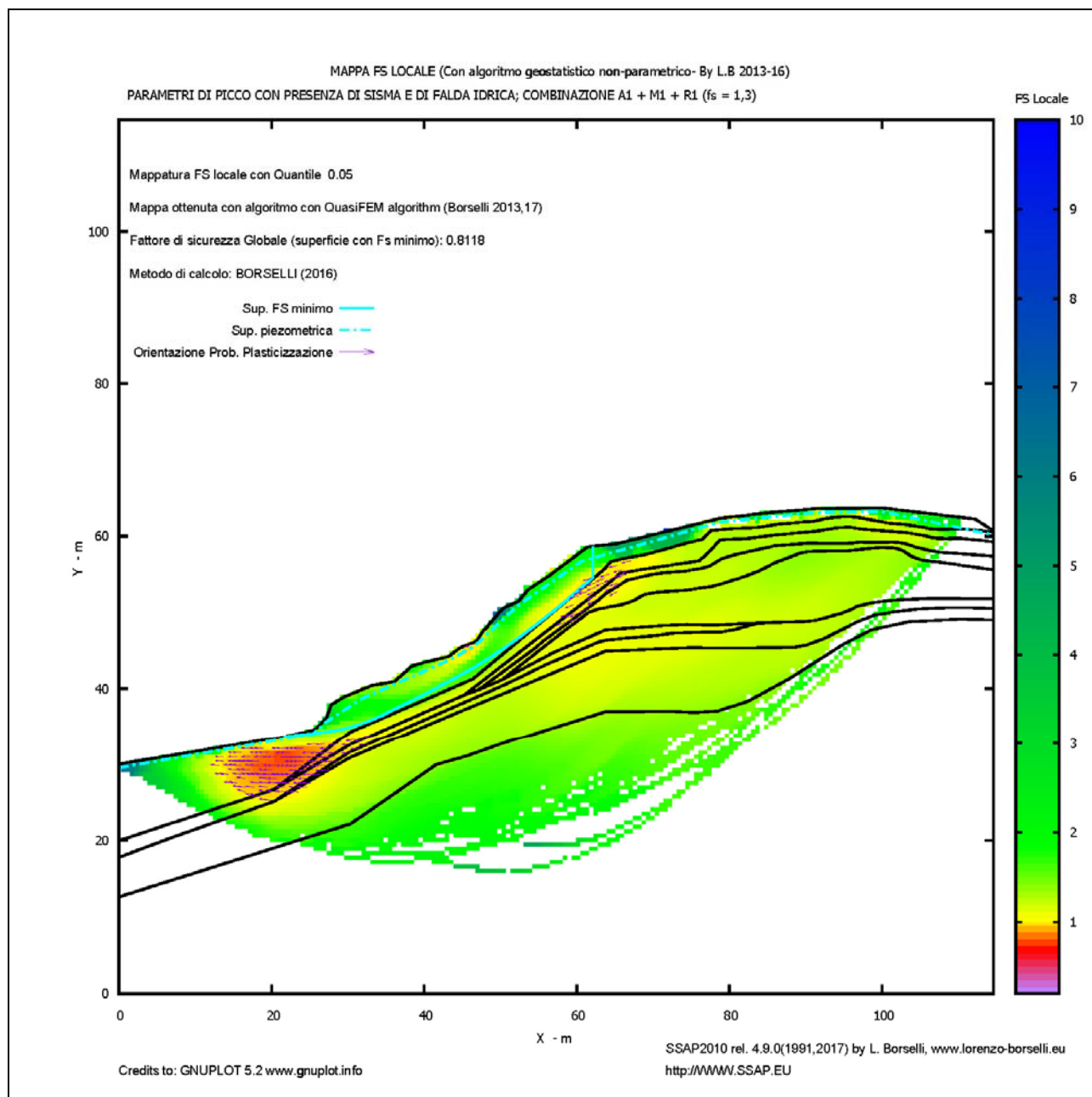
Pertanto il comparto oggetto della variante PSC non è interessato da possibili processi di deformazione per processi di detensionamento.

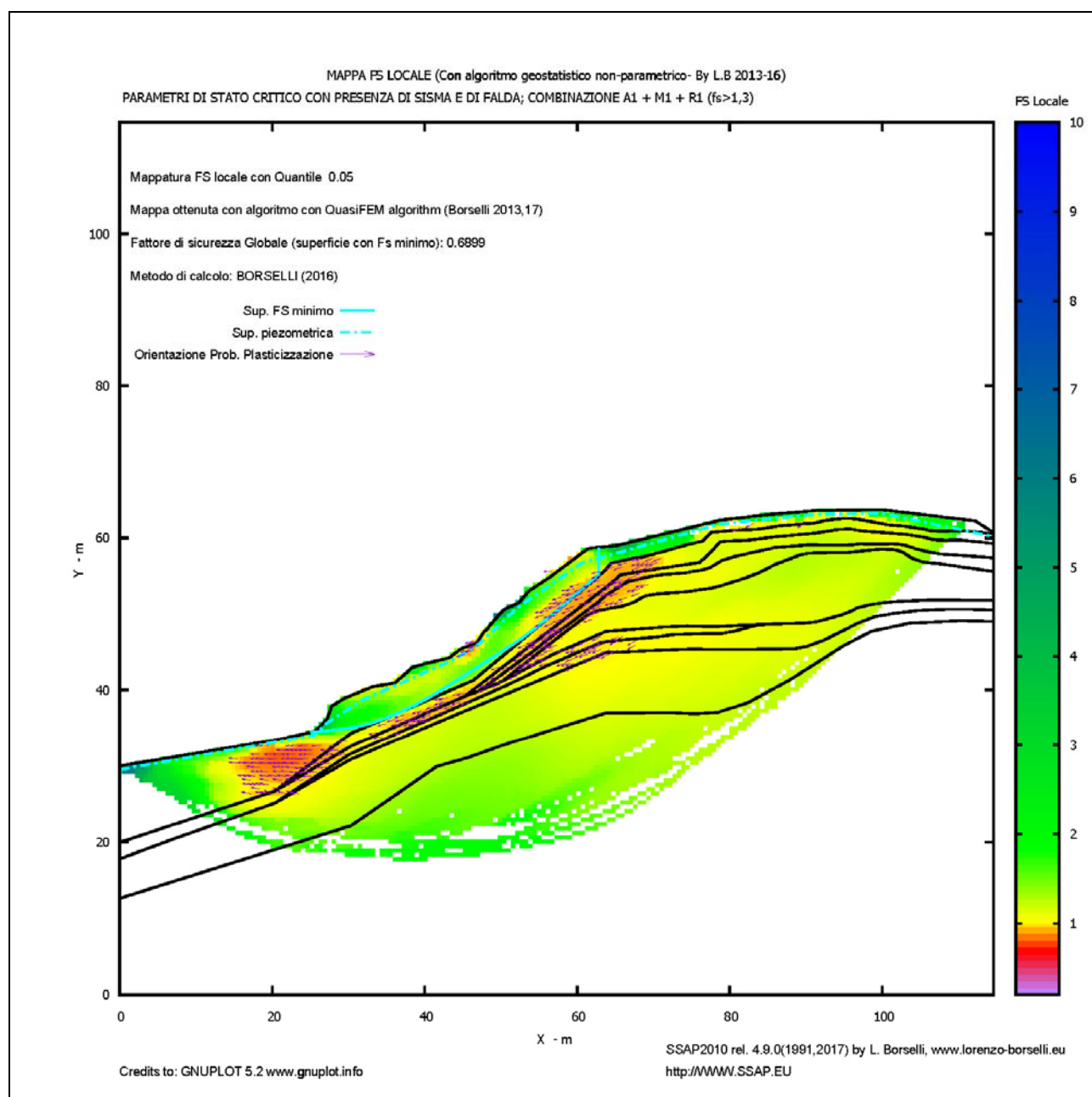
L'analisi delle condizioni degli stati tensionali nel sottosuolo dell'area esaminata, visualizzati dai vettori con coefficienti di sicurezza minima globale (Algoritmo quasi FEM, Borselli 2013/17), evidenziano che tali stati non interessano il comparto ATR8 e che esclusivamente in condizioni di contemporanea presenza di sisma e di falda idrica possano sussistere in prossimità del limite nord occidentale dell'ambito oggetto di variante al PSC.

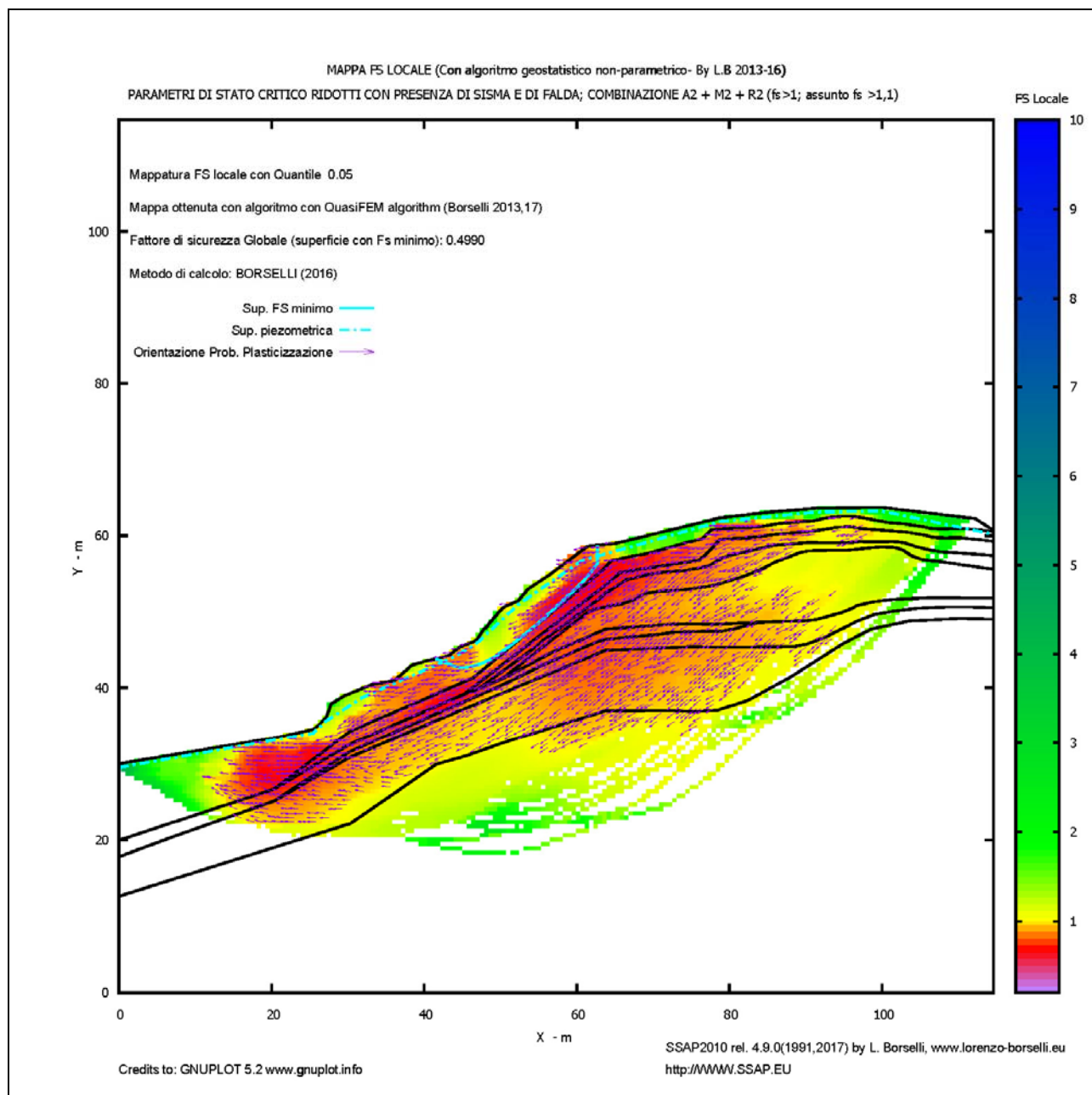
Da quanto esposto si evince che il tubo inclinometrico messo in opera è in una posizione ottimale rispetto al perimetro del comparto ATR8 per monitorare l'eventuale insorgere di futuri processi deformativi che si estendano in direzione sud est e quindi di realizzare interventi di messa in sicurezza prima che dette deformazioni possano coinvolgere l'area di impronta dell'ambito.

In riferimento alle attuali condizioni di stabilità dell'accumulo di frana e sua nicchia di frana, conseguite agli interventi di consolidamento mediante pozzi drenanti attuati da *STB RE* precedentemente allo 08/2005, che hanno conferito situazioni di stabilità (*SAAP 11/2016*) alla Frana di Collina, la probabilità di evoluzioni regressive del

complesso di frana sono di grado molto basso e comunque un monitoraggio in continuo nel tempo consente di prevenire eventuali condizioni di rischio di dissesto che possono interessare l'area esaminata.







Indirizzi di manutenzione del versante

In funzione dei processi di creeping sulla scarpata della nicchia di frana e della presenza di indizi di fratture di tensione nella fascia di pendio con larghezza di 10 m rispetto al ciglio della scarpata, sono da realizzare interventi di regimazione delle acque di ruscellamento superficiale che evitino condizioni di sovra saturazione nei primi 2/3 m del sottosuolo.

Le acque di ruscellamento superficiale raccolte ed allontanate con idonei fossi o trincee dovranno convogliare gli efflussi ad impluvi naturali o linee di drenaggio esistenti.

CONCLUSIONI

Nel contesto della Variante al PSC 11/2017 relativa all'Ambito Periurbano di Trasformazione per la Nuova Edificazione a Prevalente Funzione Residenziale: Ambito ATR8, in località Collina, Baiso, RE, appartenente all'area già oggetto di *Nuova Perimetrazione e Zonizzazione dell'Abitato di Baiso Capoluogo RE, ai sensi dell'art. 25 della L.R. n° 7/2004* redatta Dr. Geol. Giovanni Bertolini – Servizio Area Affluenti del Po Sede di Reggio Emilia, Novembre 2016, è stata sviluppata un'analisi di caratterizzazione e modellazione geologico – geotecnica e sismica del settore di versante sede del comparto ATR8. Tale esame è stato finalizzato all'individuazione dell'assetto geometrico e caratteristiche dei materiali che formano il sottosuolo del sito in narrativa per la valutazione delle condizioni di stabilità dell'areale al quale appartiene l'ambito oggetto della variante.

Lo studio, articolato in rilevamenti geologico - geomorfologici, integrati da indagini geognostiche, da prospezioni geofisiche ed analisi di laboratorio geotecnico, eseguito in ottemperanza ai dettati del DM 14/01/2008, DGR.ER. 2193/2015 e NA PTCP Reggio Emilia, microzonazione Sismica PSC di Baiso 2009, *Norme, della sopracitata Nuova Perimetrazione e Zonizzazione dell'Abitato di Baiso Capoluogo* (Dr. G. Bertolini, SAAP-Sede di RE) è stato eseguito su commissione dell'**Amministrazione Comunale di Baiso RE** nel contesto dell'incarico per l'*Analisi di Microzonazione sismica di 3° livello*, DGR 2188/2016 che recepisce l'ODPC. 09/05/2016, n° 344-annualità 2015.

Detta analisi è stata indirizzata all'individuazione delle caratteristiche litomeccaniche dei materiali che formano il sottosuolo e loro assetto geometrico, valutazione delle condizioni di stabilità del versante.

In funzione di quanto esposto sono state eseguite analisi geologico – geomorfologico tecniche, prospezioni geognostiche e geofisiche, rilievo topografico dell'area con metodo GPS e con livellazione del mezzo, esame delle foto aeree STB. RE 2004/BN, scala 1:14.500 circa.

Le analisi di caratterizzazione geotecnica dei terreni sono state articolate in indagini geognostiche: sondaggio meccanico, con prove SPT, misurazione dei parametri di resistenza alla punta ed al taglio sui tratti di carota, prove penetrometriche dinamiche DPSH, analisi di laboratorio geotecnico su campioni indisturbati. Le geometrie delle unità litotecniche sono state individuate in base a prospezioni in tomografia sismica 2D e verticali MASW/Re.Mi ed HVSR, prospezione in foro di sondaggio con metodo Down Hole.

Le indagini ed analisi effettuate hanno evidenziato che il tratto di versante in esame è costituito da alternanze marnose – marnoso calcaree ed arenitico siltose (MOV) che sono suddivisibili sulla verticale in tre unità litotecniche a moderata differenziazione dei

parametri di resistenza e deformabilità, tra il primo orizzonte presente sino a -6 m da piano campagna ed i due sottostanti detta profondità; questi ultimi a loro volta sono caratterizzati da differenze molto modeste dei parametri geotecnici che praticamente possono essere considerati equivalenti.

Geologia

Il territorio del comune di Baiso, RE, appartiene alla fascia delle strutture del medio Appennino e del margine Appenninico Emiliano Reggiano, costituito dalle formazioni prevalentemente argilloso argillitiche, marnoso argillose ed alternanze calcareo marnose ed arenitico pelitiche del Dominio Ligure e dalle sequenze arenaceo pelitiche, marnose – marnoso argillose ed argillitiche della Successione Epiligure. Le Unità Liguri, sono presenti nelle parti meridionali orientali e centro occidentali – centrali del territorio di Baiso; la zona centrale – centro settentrionale dello stesso è composta dalle formazioni della Successione Epiligure che costituiscono una sinclinale con asse ovest-est che si immerge in verso orientale.

Il settore di territorio al quale appartengono Collina e la parte centrale – centro settentrionale del capoluogo è costituito da alternanze di litozone prevalentemente calcareo marnose - marnose e sequenze di strati arenitici – arenitico siltosi debolmente cementati con subordinata presenza di livelli argillosi della Formazione di Monte Venere, in posizione dritta, che nelle zone circostanti Collina ed il capoluogo sono a contatto per faglia con le Breccie Argillose di Baiso.

L'assetto dei sismostrati rapportato a quello ottenuto dalle correlazioni con le giaciture degli strati arenitici e con quelle delle unità litotecniche individuate in base alle prove penetrometriche dinamiche DPSH, sondaggio geognostico, dei livelli identificati dalle verticali sismiche ReMi/MASW ed HVSR, quelli determinati nelle prospezioni in tomografia 2D nel versante al quale appartiene l'Ambito ATR8 ed a valle dello stesso, evidenzia geometrie con inclinazioni in direzione sud ovest, mediamente corrispondenti a 30°; detta analisi comparata ha evidenziato presenza di rapidi incrementi in spessore dell'unità litotecnica più superficiale, a caratteristiche geotecniche medie – medio basse, nella parte nord occidentale dell'area esaminata. Tali aumenti di potenza, sono correlabili a fasce di fratture di tensione che si accentuano con l'approssimarsi al ciglio della scarpata della nicchia di frana. Dette zone di frattura non interessano l'area di impronta dell'ambito ATR8. La fascia di frattura più prossima si rinviene a distanza di 10/11 m dal limite nord occidentale del comparto oggetto della Variante al PSC.

Geomorfologia

Le morfologie del rilievo, conseguite all'avvicinarsi delle diverse condizioni climatiche che hanno interessato il territorio di Baiso, in funzione delle caratteristiche di resistenza alla degradazione delle rocce che lo costituiscono, hanno generato forme del paesaggio differenziate.

Queste ultime, a luoghi, sono state sensibilmente modificate dall'azione dell'uomo che, talora, ha causato significativi dissesti.

Gli assetti morfo-paesaggistici derivati dalle locali condizioni geologico-strutturali, conseguono principalmente delle azioni modellanti esercitate dall'erosione delle acque sia incanalate che di infiltrazione superficiale e della gravità. Queste ultime hanno generato morfologie generalmente a moderata acclività, correlate al medio – medio basso grado di resistenza all'erosione dei litotipi presenti nell'area, che a zone assumono profili accentuati in corrispondenza di materiali meno degradabili di tipo marnoso calcareo alternati a strati arenitico pelitici ed arenitici rilevabili nel versante occidentale di Collina ed in quelli prevalentemente arenitici nella zona settentrionale del capoluogo sede di Montecchio.

Gli agenti e caratteristiche sopra descritti hanno inoltre generato nell'area comunale, prevalentemente costituita da litotipi argillosi ed argillitici, diffusi dissesti franosi di dimensioni da medie a rilevanti.

Il corpo di frana che si sviluppa sul versante ad occidente di Collina, ad una distanza di 110/115 m da via Collina e con nicchia distante 85/90 m della stessa, corrispondenti rispettivamente a 50/55 m ed a 26/27 m dal limite nord occidentale del comparto ATR8, è costituito da un ammasso di frana attivo censito nella Carta Inventario delle Frane RER come IFFI 350003301; detta frana non è stata soggetta ad aggiornamenti del perimetro successivamente ai rilievi di origine.

Tale corpo di frana è stato oggetto di interventi di consolidamento mediante pozzi drenanti effettuati su progetto di STB.RE precedentemente all'agosto 2005; i monitoraggi inclinometrici effettuati nei periodi successivi da STB e SAAP dal 08/2005 al 09/2007, hanno evidenziato l'assenza di spostamenti indicando nell'arco di tempo sopra indicato condizioni di stabilità.

Attualmente i processi evolutivi si manifestano esclusivamente nella scarpata di frana per deformazioni superficiali a velocità molto lenta per creeping, evidenziati dalle curvature alla base degli alberelli insediati sul versante.

Modellazione sismica

L'areale al quale appartiene il comune di Baiso è caratterizzato dalla presenza delle formazioni del Dominio Ligure nelle parti meridionali – orientali e centro occidentali del

territorio e da quelle della Successione Epiligure nelle zone centro settentrionali e settentrionali.

Dette litozone sono contraddistinte da risentimenti sismici correlati ai diversi assetti a strutturali, stile tettonico, del differenziato grado di consistenza delle unità litotecniche, spessori dei depositi quaternari.

Tali formazioni nei settori meridionali e centrali del territorio di Baiso costituiscono un assetto antiforme con affioramento nella fascia di asse strutturale delle Unità Liguri (MOV).

Nelle zone a settentrione del confine comunale ed all'estremità nord dello stesso, superata la linea di sovrascorrimento M. Duro – San Romano – Monte Baranzzone, la Successione Epiligure si caratterizza nella sinclinale di Viano, che è interessata da dislocazioni a direttrice antiappenninica.

Le principali strutture sismogenetiche nell'area in esame sono orientate in direzione appenninica (WNW-ESE), e sono presenti principalmente, nella fascia territoriale al bordo settentrionale dell'area 18/24 km a nord del capoluogo.

I principali elementi tettonici lineari che interessano l'areale al quale appartiene il territorio di Baiso sono: Linea San Polo d'Enza – Monte Cavolo – Albinea – Scandiano, Linea dei Gessi tra Cerenzano/Sedrignano e San Ruffino/Casalgrande, Linea San Polo d'Enza – Calvenzano – Castello di San Valentino, Linea Selvapiana – Monte Duro – San Romano – Monte Barazzzone, Linea Bettola – Broletto.

Di dette linee quelle relativamente meno recenti sono rappresentate dalla Linea Selvapiana – M.Duro – S.Romano e dalla Linea Bettola – Broletto, costituite da sovrascorrimenti di età pliocenica successivamente riattivatisi (M. Boccaletti, L. Martelli, 2004).

Risultano essere strutture attive nel quaternario la fascia delle linee S. Polo d'Enza – Pecorile – S.Valentino - Casalgrande e più a sud la Linea Sedrignano – Cavazzone – San Romano – S.Michele dei Mucchiotti costituita da Fronte di Accavallamento della Successione Carbonatica Meso – Cenozoica.

Un'influenza primaria sulla sismicità del territorio in esame è correlata all'attività di quest'ultimo fronte orientato ovest est circa secondo l'allineamento San Polo d'Enza – San Michele de Mucchiotti – Marano sul Panaro: *Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna* (M. Boccaletti, L. Martelli; 2004).

Detto elaborato evidenzia epicentri sismici nella zona di Rubiera e tra Fiorano e Maranello con $M_w > 5.5$; ad est del capoluogo 3,5/4,0 km circa tra Sassogattone e Roteaglia e 15 km a nord est (Casalgrande) sono individuati epicentri, con magnitudo: $5 < M < 5.5$.

L'attività sismica nell'area in oggetto è prevalentemente correlata alla fascia deformativa dei fronti di accavallamento delle pieghe pedeappenniniche che si estende

in direttrice ovest est secondo l'allineamento San Polo d'Enza – Sassuolo che generano una fascia con larghezza di 2/4 km.

Nel territorio in analisi la sismicità è principalmente connessa all'attività dei processi deformativi che interessano le strutture superficiali nei primi 15 km del sottosuolo, prevalentemente collegate a meccanismi focali compressivi e trascorrenti, in percentuale relativa inferiore è correlata alle deformazioni compressive delle strutture medio profonde (15 ÷ 25-30 km) e profonde (25-30 ÷ > 35 km).

Microzonazione sismica.

In rapporto alla pericolosità sismica di base e delle condizioni litostratigrafiche locali: presenza di depositi di versante di modesto spessore, accumulo di frana attiva con spessori variabili mediamente corrispondenti a 5/10/15 m differenziati lateralmente, presenza di contratto tettonico, pronunciata variabilità delle proprietà meccaniche con la profondità con marcato incremento dei valori di resistenza, in conformità a quanto previsto dalla DGR 2193/2015, dal DM. 14/01/2008, dalla Microzonazione Sismica del Comune di Baiso del PSC 2009, l'azione sismica è stata determinata con metodo approfondito: analisi di terzo livello, mediante codice di calcolo Proshake, adottando un coefficiente di smorzamento del 5%, tempo di ritorno 475 anni.

L'analisi della risposta sismica locale, ha evidenziato i fattori di amplificazione di seguito esposti:

<i>Periodo T (sec)</i>	<i>FA IS</i>	<i>Sa media (g)</i>
0 (FA PGA)	1.24	0.196
0,1 – 0,2	1.24	0.49
0,2 – 0,3	1.14	0.45
0,3 – 0,4	1.16	0.39
0,4 – 0,5	1.06	0.29
0,5 – 0,6	1.01	0.22
0,6 – 0,7	0.98	0.17
0,7 – 0,8	1.04	0.15
0,8 – 0,9	1.04	0.13
0,9 – 1,0	1.03	0.11
1,0 – 1,1	1.05	0.10
1,1 – 1,2	1.01	0.08
1,2 – 1,3	0.93	0.07
1,3 – 1,4	0.90	0.06
1,4 – 1,5	0.93	0.06

<i>Periodo T (sec)</i>	<i>Fattore di amplificazione (FA – DGR 2193/15)</i>	<i>Fattore di amplificazione</i>
0 (FA PGA)	2,0	1,24
0,1 - 0,5	1,7	1,14
0,5 - 1	1,4	1,02

Il fattore di amplificazione topografico del sito in esame corrisponde a:

$$St = 1.4$$

l'azione orizzontale compresa l'amplificazione per effetti della topografia equivale a:

$$K_h = 0.064g$$

l'azione verticale compresa l'amplificazione topografica corrisponde a:

$$K_v = 0.032g$$

Frequenza fondamentale dei terreni

Le elaborazioni delle acquisizioni di microtremori ambientali a stazione singola, hanno evidenziato picchi di amplificazione principali, ai quali competono le frequenze ed ampiezze di seguito riportati:

HV n°	Frequenza principale f_0	Ampiezza
1	4.0	1.9
2	3.44	2.2
3	3.44	2.2
4	0.5	1.2
6	2.81	2.2
7	3.6	1.9
8	3.6	2.5

Picchi principali

Idrogeologia

Il settore di versante al quale appartiene Collina, è costituito da alternanze marnose – marnoso calcaree ed arenitico siltose - arenitiche, contenenti subordinati sottili strati argillosi, a permeabilità secondaria bassa – molto bassa.

In detti terreni l'infiltrazione delle acque di pioggia nel sottosuolo è modesta e le stesse tendono a saturare i primi metri del piano campagna generando processi di rammollimento che inducono dissesti di scivolamento con intensa fratturazione dei materiali rocciosi e quindi aumento delle possibilità di infiltrazione/saturazione delle acque che si accumulano alla base dell'ammasso franato.

Dette condizioni in assenza di regimazione delle acque di superficie e sotterranee, unitamente all'azione della gravità, generano processi evolutivi di colata originando frane di tipo complesso.

Dinamica Frana di Collina

La frana di Collina (IFFI – 350001301, C.I.F. R.E.R.) con accumulo iniziante circa 110/115 m e nicchia di distacco a 85/90 m da via Collina, rispettivamente 50/55 m e 26/27 m dal limite nord ovest del comparto ATR8, è stata interessata in passato, dal 1885 al 1955 da processi evolutivi che hanno generato arretramenti della nicchia

approssimamene stimabili, in base alle curve di livello delle cartografie IGM 1° impianto: 1884, IGM 1935, RER 1974, in 120/130 m.

Detti processi, con cinematismi differenziati nel tempo, successivamente al 1954 si sono praticamente esauriti come documentano le analisi e rilevazioni effettuate da SAAP RE, G. Bertolini 11/2016.

In tale contesto hanno avuto un elevato grado di efficienza gli interventi di consolidamento della frana, eseguiti mediante la messa in opera di pozzi drenanti, attuati da STB RE precedentemente all'agosto 2005. Quanto esposto è comprovato dalle misurazioni nell'inclinometro COL1 (STB.RE) che nel periodo 08/2005 – 09/2007 ha evidenziato l'assenza di spostamenti: <5 mm.

Ne consegue che in detto periodo la frana è stata praticamente inattiva.

Le rilevazioni dirette in sito effettuate nel 2017 sostanzialmente confermano condizioni di inattività.

La scarpata della nicchia di frana, con inclinazione tra 35° e 40° è interessata da processi di deformazione della coltre più superficiale molto lenti per creeping, conseguenti oltre alla pendenza del versante e detensionamento della porzione superficiale dello stesso agli effetti delle acque di ruscellamento ed infiltrazione.

Ne consegue che per mitigare detti processi sono da realizzare interventi di regimazione delle acque di precipitazione meteorica mediante fossi di scolo, raccolta ed allontanamento acque convogliandole ad impluvi naturali.

Modello litotecnico locale

L'individuazione dell'assetto e delle caratteristiche spaziali delle unità litotecniche del settore di versante al quale appartiene Collina, è stata eseguita in base a prospezioni in tomografia sismica 2D, verticali ReMi/MASW, HVSr e Down Hole, sondaggio meccanico, prove penetrometriche DPSH, integrati da rilevamenti geologici diretti nel sito e rilievi topografici.

Le analisi sviluppate hanno evidenziato che il tratto di versante in esame è suddivisibile sulla verticale in tre orizzonti litotecnici a loro volta discretizzabili in 8 unità geotecniche delle quali quelle sottostanti -7/-8 m pc presentano modeste differenze dei parametri di resistenza al taglio.

La prima di dette unità, che costituisce i primi 1,5/2,0 m del sottosuolo nella parte di area sede del comparto ATR8 e che aumenta progressivamente a 2,5/3,0 a nord ovest dello stesso sino in prossimità della scarpata della nicchia di frana e successivamente incrementa a 5/6 m a valle della medesima, è costituita da alternanze di marne – marne calcaree ed areniti siltose debolmente cementata ad elevato grado di fratturazione. A questa segue un'unità, con uguali caratteristiche litologiche, a medio grado di fratturazione sino a -3/-3,5 m pc nella porzione sede dell'ambito ATR8, sino a -5 m pc

13/14 m a nord ovest dello stesso e fino alla scarpata della nicchia di frana, in quest'ultima incrementa a -6/-7 m pc.

Le unità sottostanti sono contraddistinte da medio – medio elevati parametri di resistenza al taglio sino a -18/20 m pc. A tale profondità soggiace il substrato roccioso marnoso calcareo – arenitico – arenitico siltoso consistente a medio basso grado di fratturazione sino a -22/-26 m pc e bassa fratturazione alle profondità sottostanti.

Caratterizzazione geotecnica/geomeccanica

La determinazione dei parametri di resistenza dei terreni che costituiscono il settore di versante di Collina, è stata effettuata in base alle analisi di laboratorio geotecnico su campioni indisturbati di terreni ed analisi geomeccanica dei dati delle prove penetrometriche DPSH, prove SPT in foro di sondaggio e prove di penetrazione con pocket penetrometer e di resistenza al taglio con torvane da campo su tratti di carota recuperati.

Dette disamine hanno evidenziato parametri geotecnici medi – medio scadenti dei materiali che costituiscono i primi 2/4 m del sottosuolo, ai quali segue un orizzonte a medi valori di resistenza sino a -5,0/-7.0 m pc. costituito da areniti – areniti siltose e livelli pelitici; successivamente sono presenti unità ad alternanze arenitiche – arenitico siltose con locali sottili strati argillosi sino a -17/-18 m. p.c. a medio – medio elevato grado di consistenza. A questi soggiacciono sequenze con le stesse caratteristiche litologiche dell'unità sopra descritta nella quale aumentano in spessore (20/30 cm) gli strati arenitici debolmente cementati e calcareo marnosi.

In base ai parametri geotecnici ottenuti dalle analisi di laboratorio sui materiali limoso argillosi – argilloso limosi, in funzione dei grafici tensione orizzontale – deformazione orizzontale, sono stati determinati i valori di angolo d'attrito interno e di coesione di picco e di stato critico in termini di tensione efficaci.

In base ai parametri ottenuti dall'analisi geomeccanica dei dati delle prove DPSH ed SPT sono stati determinati, mediante analisi comparata con i valori di resistenza al taglio di laboratorio geotecnico, i valori degli angoli di attrito interno e coesione efficace, sia di picco che di stato critico, degli orizzonti litotecnici individuati dalle indagini in sito.

Detti parametri sono schematicamente riassunti nelle allegate schede: sommario caratteristiche fisiche generali; tabulato Modello Geotecnico, Modello Geotecnico Unità di Strato: Fig1.

Pericolosità di liquefazione

I litotipi presenti nei primi 5/10 m del sottosuolo sono costituiti da alternanze di strati calcareo marnosi – marnosi e di areniti – areniti siltose a basso grado di

cementazione, contraddistinti nei primi 2/5 m dal piano campagna da elevato grado di fratturazione.

In funzione dei legami costitutivi: materiali cementati, detti litotipi non sono suscettibili di liquefazione. Considerato inoltre che nei fori delle indagini geognostiche non è stata riscontrata la presenza di falda idrica sotterranea il pericolo di liquefazione è assente.

Nell'ipotesi, a grado di probabilità molto basso, che si instaurino eventuali temporanee condizioni di completa saturazione dei primi 2/3 del sottosuolo, in base ai valori delle velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio normalizzate: V_{s1} ed alla domanda di resistenza alla liquefazione: CSR, i primi 2,5 m del sottosuolo sono contraddistinti da pericolosità di liquefazione di grado medio basso; per le sequenze litologiche sottostanti -2,5 m pc il rischio di liquefazione è assente (Allegato A3, art A1 DGR 2193/2015).

Analisi di stabilità – processi deformativi

Le analisi delle condizioni di stabilità, nello stato attuale del versante, sono state effettuate secondo la linea di massima pendenza ottenute da rilievo diretto con metodo GPS e con livellazione del mezzo.

Le superfici di potenziale deformazione/rottura, sono state definite in base alle inclinazioni delle unità di strato definite in rapporto alle correlazioni tra le indagini geognostiche, prospezioni geofisiche, raffrontate alle variazioni di pendenza del profilo topografico e linee di frattura osservate. Le zone del sottosuolo contenenti le superfici più critiche sono state individuate mediante il programma SSAP 2016, *L. Borselli*, che determina le fasce contenenti le superfici a coefficienti di stabilità minori mediante procedura random che ha esaminato almeno 5.000 potenziali superfici escludendo quelle cinematicamente non possibili in funzione del principio *Mhor-Coulomb*.

Le verifiche di stabilità sono state eseguite considerando sia l'assenza di saturazione idrica sotterranea come rilevato nel 10/2017 nei fori delle indagini DPSH e sondaggio meccanico 07/2017, che presenza del livello idrico che satura i primi 2,5 ÷ 5/6 m del sottosuolo nell'ipotesi di instaurazione di una temporanea falda idrica sospesa.

Dette simulazioni sono state sviluppate in termini di tensioni efficaci, sia in condizioni di assenza di sollecitazione sismica che in presenza della stessa, adottando i parametri geotecnici sia di picco che di stato critico.

Le analisi effettuate hanno evidenziato superfici di potenziale deformazione/rottura che interessano il settore di versante costituito dalla scarpata della nicchia di frana con presenza di fasce di possibile tension crack che giungono a distanze di 5 ÷ 8,5 m dal ciglio di scarpata corrispondenti a 17,5 ÷ 20,0 m dal limite nord occidentale dell'Ambito

ATR8. Ne consegue che quest'ultimo nelle attuali situazioni ed in quelle simulate non è interessato da zone di potenziale deformazione rottura.

Le verifiche eseguite hanno evidenziato che nelle condizioni in essere in assenza di sollecitazione sismica e di falda idrica nei primi $2,5 \div 5/6$ del sottosuolo (orizzonte marnoso – marnoso calcareo intensamente fratturato) e di presenza di sisma ad assenza di falda idrica, la fascia di versante della scarpata della nicchia di frana è in condizioni stabili non in sicurezza con valori dei fattori di sicurezza prossimi all'equilibrio limite: $f_s = 1,01 \div 1,17$ per parametri di resistenza al taglio dei terreni sia di picco che di stato critico per la combinazione A1 + M1 + R1. In tale simulazione in presenza di falda idrica sotterranea le condizioni sono instabili.

Le valutazioni effettuate sia con assenza che presenza di sollecitazione sismica e di falda, per i parametri di stato critico, nella combinazione A2 + M2 + R2 ($f_s = 1,1$) risultano instabili.

L'analisi degli stati tenso deformativi nel sottosuolo dell'area esaminata evidenzia che i vettori tensione che identificano i coefficienti di minima sicurezza globale del versante non interessano l'area di impronta del comparto ATR8 ed esclusivamente in contemporanea presenza di sollecitazione sismica e di falda idrica per parametri di stato critico ridotti: A2 + M2 + R2, possono sussistere in prossimità ed all'esterno del limite nord occidentale dell'ambito oggetto di variante.

Gli stati tenso deformativi del versante, come per quelle precedentemente descritte per quanto riguarda le superfici di potenziale rottura/deformazione – fasce di tension crack, non coinvolgono l'area di impronta dell'ambito ATR8.

Le valutazioni di stabilità sviluppate denotano corrispondenza con lo stato in essere del versante che risulta stabile non in sicurezza con presenza di processi superficiali molto lenti per creeping.

Riferimenti normativi – opere monitoraggio

L'area sede dell'ambito ATR8 in località Collina, nella nuova *Perimetrazione e zonizzazione dell'abitato di Baiso Capoluogo RE, ai sensi dell'art 25 della L.R. n° 7/2004* (SAAP – Dr. G. Bertolini, 11/2016) è classificata come zona 3a.

Per tale zona, nella quale è consentita l'edificabilità, oltre ai vincoli e prescrizioni degli art. 1,2,3 delle Norme della sopracitata nuova perimetrazione (G. Bertolini 11/2016), è richiesto che ogni nuovo intervento sia supportato da una relazione geologico-geotecnica di dettaglio del sito ed un suo significativo intorno, l'esecuzione di almeno un sondaggio geognostico allestito con tubo inclinometrico con profondità sottostante -20 m dal piano campagna, monitoraggio di detto inclinometro almeno per un completo ciclo stagionale e/o protratto in tempi più lunghi se necessario, per escludere l'esistenza di movimenti in atto.

In ottemperanza ai sopracitati articoli di norma, nel contesto delle analisi di fattibilità geologica di pianificazione è stato messo in opera un tubo inclinometrico spinto sino a profondità di -30 m rispetto al piano campagna, ubicato ad una distanza di 16 m circa dal ciglio di scarpata e di 10 m dal limite nord occidentale del comparto.

In riferimento al modello litotecnico individuato in base alle indagini geognostiche e geofisiche eseguiti, dell'analisi delle condizioni di stabilità, configurazione degli stati tenso deformativi individuati, il tubo inclinometrico è in posizione ottimale per esaminare eventuali evoluzioni di processi deformativi prima che gli stessi possano coinvolgere l'area sede del comparto ATR8.

In rapporto a tali aspetti si richiama quanto contenuto nelle documentazioni dello studio della nuova perimetrazione di SAAP, Dr. *G. Bertolini* 11/2017, che in base alle letture inclinometriche effettuate nel tubo COL1 dal 08/2005 al 19/2007, classificate con nessun movimento (<5 mm), la Frana di Collina è stata praticamente inattiva almeno in tale periodo. Dette rilevazioni denotano che gli interventi di consolidamento attuati da SAAP hanno portato a condizioni che possano essere ritenute stabili.

Indirizzi e prescrizioni

- In rapporto alla presenza dei processi deformativi superficiali molto lenti per creeping nel tratto di versante sede della scarpata, presente a distanza di 30 m a nord ovest del limite settentrionale occidentale dell'Ambito ATR8, sono da realizzare interventi di regimazione delle acque superficiali, mediante la messa in opera di un adeguata rete scolante a fossi e/o trincee, con pendenza minore del 5%, che raccolgano ed allontanino le acque convogliandole ad impluvi naturali o opere di drenaggio esistenti; tale rete drenante deve evitare dispersioni e saturazione dei terreni con particolare attenzione per la zona di scarpata 30 m a valle del limite nord ovest dell'Ambito ATR8.
- Per interventi di movimentazioni terre e/o sbancamenti che si approfondiscano a quote sottostanti 2 m dal profilo topografico al momento dei lavori, preliminarmente agli scavi dovranno essere determinate le pendenze dei profili di scavo in funzione delle caratteristiche geotecniche dei terreni per garantire condizioni di stabilità in sicurezza; qualora necessario saranno da realizzare opere provvisorie o di tipo permanente che garantiscano le condizioni di stabilità. Durante il periodo di apertura degli scavi dovranno essere evitati accumuli ed infiltrazioni di acque di origine meteoriche negli stessi.
- In funzione della presenza di materiali ad elevato grado di fratturazione nei primi 1/2 m del sottosuolo nell'area di impronta dell'Ambito ATR8, dovranno essere eseguite ulteriori indagini geognostiche per meglio valutare lo spessore e la variazione laterale e verticale dei litotipi presenti al fine di determinare il tipo

di fondazioni utilizzabili (dirette o profonde) e delle relative pressioni sul terreno e profondità di posa fondale utilizzabili.

- In rapporto alla presenza di litotipi a medio elevato – medio grado di fratturazione nei primi 5/15 m del sottosuolo, che consentono l'infiltrazione alle quote sottostanti gli stessi dei fluidi provenienti dalla superficie, le opere in sotterraneo dovranno essere realizzate con materiali a perfetta tenuta corredati da zone impermeabilizzate nei siti in cui sia eventualmente previsto lo stoccaggio di potenziali inquinanti.
- I monitoraggi del tubo inclinometrico dovranno essere effettuati almeno per un completo ciclo stagionale atto ad escludere la presenza di movimenti; qualora i tempi di misura non siano sufficienti a suffragare quanto esposto le rilevazioni dovranno essere protratte per un periodo adeguato per definire l'assenza di spostamenti.
- In funzione delle condizioni di stabilità della Frana di Collina, rinvenibile a distanza di 110-115 m dal limite nord ovest del comparto ATR8 e nicchia di distacco della stessa a 26/27 m dal sopracitato limite dell'ambito, conseguite agli interventi di consolidamento attuati da STB RE precedentemente allo 08/2005, che sono state praticamente inattive e che possono essere ritenute stabili, considerando l'eventuale possibilità, a grado di probabilità molto basso – praticamente trascurabile, di temporanee insufficienti efficienze del sistema di consolidamento, i monitoraggi nell' inclinometro messo in opera a distanza di 10 m dal limite nord ovest del comparto ATR8, dovranno essere continuati in tempi prolungati, congruenti con il tempo di vita dei manufatti che saranno realizzati, al fine di registrare l'assenza di spostamenti che indichino eventuali deformazioni in direzione sud est verso l'ambito oggetto di variante.
Qualora si riscontrassero tali eventualità, a grado di probabilità molto basso, dovranno essere tempestivamente realizzati interventi di consolidamento e messa in sicurezza del settore di versante a valle del comparto mediante la costruzione di paratia in pali collegati in testa da trave in CA e dotati di tiranti, idoneamente dimensionati, corredati di adeguati sistemi di drenaggio nel sottosuolo, atti ad evitare che i processi di deformazione/rottura giungano a coinvolgere i bordi dell'ambito ATR8.
- In riferimento a quanto esposto, a favore della sicurezza, è da adottare una fascia non utilizzabile per la realizzazione di significative opere in elevazione con larghezza di almeno 5 m rispetto al bordo interno del limite nord ovest del comparto ATR8.
- Nelle successive analisi progettuali l'azione sismica sarà da sviluppare in riferimento ai parametri di amplificazione dell'accelerazione di gravità e di

intensità sismica, determinati con metodo approfondito mediante codice di calcolo per la valutazione della risposta sismica locale, di seguito esposti

-

Periodo T (sec)	Risposta sismica Locale III° livello di approfondimento Fattore di amplificazione
0 (FA PGA)	1,24
0,1 - 0,5	1,14
0,5 - 1	1,02

- Tali parametri nel caso del sito in esame sono praticamente coincidenti con quelli della categoria del sottosuolo B della tab 3.2.II del DM 14/01/2008.
- Nelle successive fasi di analisi dovranno essere rivalutate le condizioni di stabilità del versante in funzione delle modifiche morfologiche che saranno effettuate e delle tensioni che saranno imposte al pendio sia in fase transitoria che definitiva.
- In subordine agli indirizzi e prescrizioni sopra descritti sussistono idonee condizioni di fattibilità geologico tecnica per l'utilizzo del sito sede dell'Ambito ATR8 ai fini edificatori.

Dr. Geol. **GIAN PIETRO MAZZETTI**