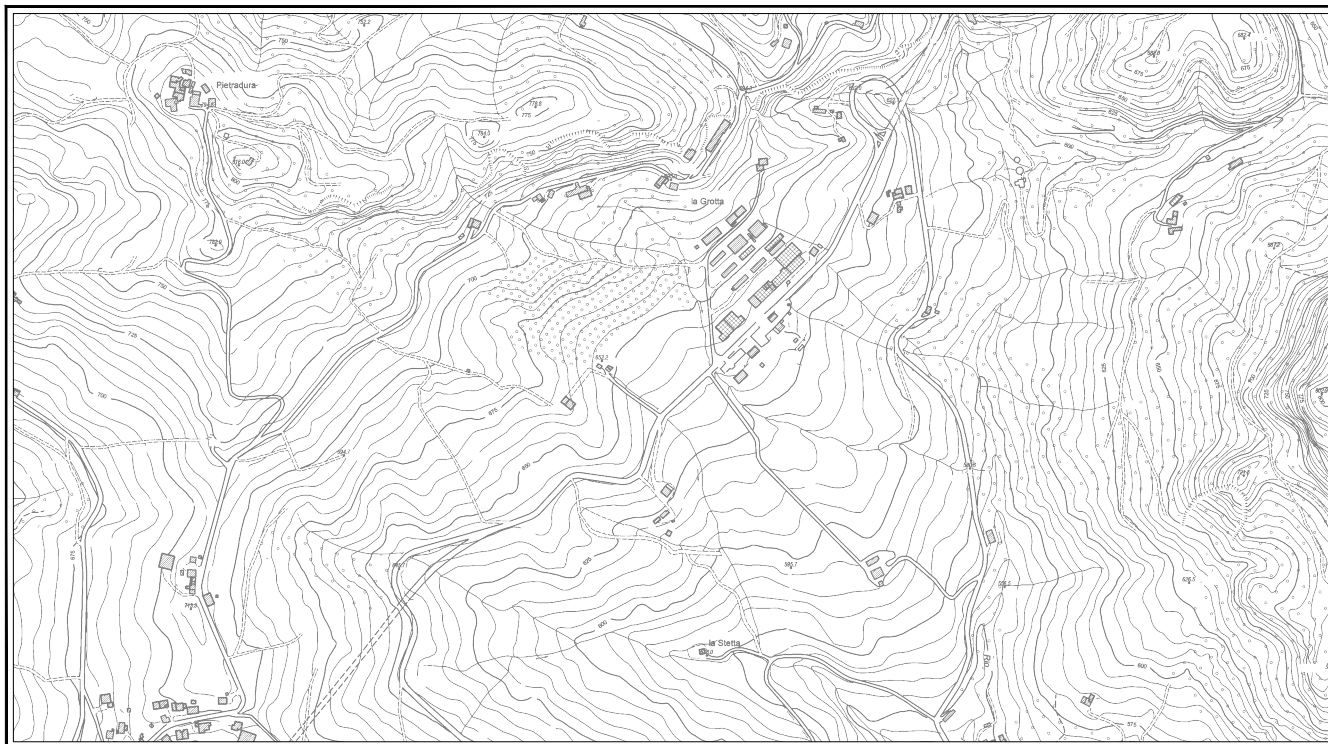


R. Emilia Romagna

Provincia di Reggio Emilia

Comune di CASTELNOVO NE' MONTI

**RICHIESTA DI VARIANTE ALLA TAVOLA DEL DISSESTO DEL PSC VIGENTE E
CONSEGUENTEMENTE ALLA CARTOGRAFIA INTERESSATA DALLA MODIFICA SIA DI PSC
CHE DI RUE RELATIVA AL TRATTO DI VERSANTE TRA LA SS63 E VIA BOARO IN PROPRIETA' DI
BERTOLETTI PIETRO - CORRADINI LILIANA, BOARO, CASTELNOVO NÉ MONTI**

Bertoletti Pietro - Corradini Liliana

**CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE
GEOLOGICO GEOTECNICA E SISMICA**

RELAZIONE TECNICA*Dr. Geol. GIAN PIETRO MAZZETTI**PER PRESA VISIONE E CONDIVISIONE*

REL.N°	REV.	DATA	NOTE	Verificato	Approvato
2042/18	1	Febbraio 2018		G.P. Mazzetti	G.P. Mazzetti

CENTROGEO SURVEY SNC

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

COMUNE DI CASTELNOVO NE' MONTI

**RICHIESTA DI VARIANTE ALLA TAVOLA DEL DISSESTO DEL PSC VIGENTE E
CONSEQUENTEMENTE ALLA CARTOGRAFIA INTERESSATA DALLA MODIFICA SIA
DI PSC CHE DI RUE RELATIVA AL TRATTO DI VERSANTE TRA LA SS N° 63
E VIA BOARO IN PROPRIETA' BERTOLETTI PIETRO – CORRADINI LILIANA,
BOARO, CASTELNOVO NÉ MONTI**

Bertoletti Pietro – Corradini Liliana

INDICE

INTRODUZIONE	1
INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO.....	1
METODOLOGIA DI INDAGINE	3
ASSETTO PLANIALTIMETRICO DEL VERSANTE SEDE DELL'AREA BOARO	5
INTERVENTI DI RIMODELLAMENTO E CONSOLIDAMENTO DEL VERSANTE	7
SCHEMA ESECUTIVO PARATIA ESISTENTE	8
INQUADRAMENTO GEOLOGICO	8
Serie Litostratigrafica	11
CARATTERISTICHE STRUTTURALI E SISMOTETTONICHE	14
Attività tettonica	15
CLASSIFICAZIONE SISMICA – PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE	16
Zonazione Sismica Di PSC.....	20
INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	21
Caratteristiche idrogeologiche.....	23
FORME E PROCESSI	25
Interventi sul tratto di versante al bordo nord orientale dell'area artigianale Boaro.....	28
PROSPEZIONI GEOFISICHE.....	31
Possibilità e limitazioni della prospezione sismica.....	32
Prospezioni basi in tomografia sismica.....	32
Analisi prospezioni in tomografia sismica	33
PROSPEZIONI TOMOGRAFIA ELETTRICA.....	37
Analisi prospezioni di tomografia elettrica.....	39
PROSPEZIONI SISMICHE ATTIVE / PASSIVE (MASW / Re.Mi.).....	42
MICROTREMORI CON LA TECNICA HVSR.....	45
PROSPEZIONE DOWN HOLE	46
ANALISI DI TERZO LIVELLO – MICROZONAZIONE SISMICA.....	49
Risposta sismica locale.....	49
Calcolo degli effetti di sito	50
Definizione dei coefficienti di amplificazione sismica.....	52
Spettrocompatibilità	53
Azione sismica.....	55
CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA.....	56
ANALISI DI LABORATORIO GEOTECNICO.....	58
Descrizione geotecnica all'apertura del campione.....	58
Granulometria.....	59
Proprietà indice	59
Parametri di resistenza al taglio	60
PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CORRELAZIONI.....	63
Prove Penetrometriche Dinamiche DPSH.....	63
Peso dell'unità di volume	64
Angolo di attrito	65
Densità relativa.....	65
Angolo attrito interno stato critico.....	65
Coesione.....	66
Deformabilità	66
Prove Penetrometriche Dinamiche DPM	67
Modello litotecnico locale	67
Susceptività di Liquefazione	78
VERIFICHE DI STABILITA' DEL VERSANTE	79
MODELLI GEOTECNICI NEI TRATTI DI VERSANTE SOTTESI DALLA PARATIA	83

Verifiche di stabilità - paratia	91
MONITORAGGIO DEL VERSANTE.....	92
Proposta di variante cartografica alla tavola del dissesto del PSC	93
CONCLUSIONI	94

TAVOLE ALLEGATE

<i>CARTA GEOMORFOLOGICA PSC.....</i>	<i>TAV. 1</i>
<i>CARTA DEL DISSESTO PTCP RE 2010</i>	<i>TAV. 2</i>
<i>PLANIMETRIA UBICAZIONE INDAGINI</i>	<i>TAV. 3</i>
<i>RILIEVO TOPOGRAFICO STATO DI FATTO.....</i>	<i>TAV. 4</i>
<i>SOVRAPPOSIZIONE RILIEVO STATO DI FATTO – STATO PRECEDENTE</i>	<i>TAV. 5</i>
<i>PROFILI TOPOGRAFICI STATO DI FATTO – STATO PRECEDENTE.....</i>	<i>TAV. 6</i>
<i>PROFILI SISMICI A RIFRAZIONE</i>	<i>TAV. 7</i>
<i>PROFILI GEOELETTRICI IN TOPOGRAFIA.....</i>	<i>TAV. 8</i>
<i>PLANIMETRIA TRINCEE DRENANTI</i>	<i>TAV. 9</i>
<i>SCHEMA ESECUTIVO PARATIA.....</i>	<i>TAV. 10</i>
<i>STATO DI VARIANTE ALLA CARTA DEL DISSESTO DEL PSC.....</i>	<i>TAV. 11</i>
<i>CARTA DEL DISSESTO VIGENTE</i>	<i>TAV. 12</i>

ALLEGATI:

- ALLEGATO 1 – INDAGINI GEOFISICHE – SONDAGGIO MECCANICO – PROVE PENETROMETRICHE
DINAMICHE – SONDAGGIO SISMICO DOWN HOLE – RILEVAZIONI INCLINOMETRICHE
- ALLEGATO 2 – VERIFICHE DI STABILITA'
- ALLEGATO 3 – ANALISI DI LABORATORIO GEOTECNICO

INTRODUZIONE

In riferimento all'Ordinanza n° 59 del 20/05/2015 del Comune di Castelnovo ne Monti: inerente alla movimentazione terreni ed occupazione degli stessi mediante deposito materiali, nuova costruzione di struttura dimostrativa ad uso autorimessa/ricovero attrezzi, delimitazione dell'area con recinzione in rete metallica plastificata supportata da pali in legno, relativi all'area sita in Strada Statale del Cerreto n° 63, identificata dai mappali n° 490 F°31, mapp. 556 sub 1 – sub 2 – sub 3 – sub 4 del F° n° 42 del NTC Comune di Castelnovo ne Monti, oggetto di lavori realizzati in assenza di titolo edilizio, è stata effettuata un'analisi di modellazione e caratterizzazione geologico geotecnica e sismica – pericolosità sismica di base, dell'assetto plani altimetrico dello stato di fatto e dello stato preesistente ai lavori di movimentazione terre.

Detta disamina è stata indirizzata alla valutazione delle condizioni di stabilità e di sicurezza degli assetti morfologici del versante conseguiti ai sopra citati lavori di consolidamento del versante sviluppata in rapporto allo stato di fatto preesistente che negli elaborati di PTCP (Tav. P6 218140) e PSC: Carta del Dissesto (Tav. P5 Sud Est), classificano frana attiva la striscia meridionale del sito utilizzato a deposito materiali e la fascia del bordo settentrionale dell'Area ad Uso Produttivo Boaro.

In funzione di quanto esposto sono state eseguite analisi geologico – geomorfologico tecniche, prospezioni geognostiche e geofisiche, geotecniche, rilievo topografico del sito con metodo GPS, esame delle foto aeree STB 2004 BN, scala 1:14.500 circa, Ortofotocarta AGEA 2006, misurazioni in tubo inclinometrico, finalizzati alla definizione delle caratteristiche litotecniche e di classificazione tipologica delle litozone che rivestono il tratto di pendio in oggetto e cronologia dei lavori.

L'analisi delle condizioni del settore di versante a monte della SS. n° 63 in località Boaro di Castelnovo ne Monti, eseguita su commissione di *Bertoletti Pietro – Corradini Liliana - Bertoletti Legnami srl* via Martiri di Legoreccio 9/D, Castelnovo né Monti, è stata redatta in ottemperanza ai dettati del DM 17/01/2018, DGR. ER 2193/2015, NA PTCP RE 2010, NA. PSC – RUE Castelnovo ne Monti 2015.

INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO

La zona in oggetto appartiene al versante meridionale del crinale secondario Le Grotte – Pietradura, presente circa 0,35 km a settentrione della SS. n° 63 e che a meridione di quest'ultima si estende sino all'incisione del Rio Spirola, affluente del F. Secchia, in Comune di Castelnovo né Monti.

La parte di territorio in esame ricade nel settore orientale settentrionale dell'elemento *CAMPOLUNGO RE* n° 218144 delle basi *C.T.R. E.R.* in scala 1:5.000, appartenente, per quanto riguarda la cartografia I.G.M., al foglio CASTELNOVO NE' MONTI n° 85, zona 32 T quadrato PQ.

I vertici delle coordinate *WGS84 fuso 32*, riferite al tratto di pendio sede dell'area nella quale sono stati asportati i terreni preesistenti, adiacente al lato nord del comparto ad uso Produttivo Boaro AP1, a settentrione della SS. n° 63 ed a valle della paratia, mappale n° 490 F° 31, sono:

615112 – 4922338

615158 – 4922426

615094 – 4922435

615063 – 4922362

I vertici delle coordinate relative all'area interessata dalle movimentazioni terra, riprofilature ed interventi di consolidamento, utilizzata come piazzale deposito materiali, zona a monte della paratia ed a sud di via Grotte, mappali n° 542-541-402, F° 31, sono:

615063 – 4922362

615094 – 4922435

615030 – 4922425

615015 – 4922396

Le quote della parte di versante in oggetto, nella zona settentrionale a monte della paratia precedentemente alle movimentazioni terre, erano comprese tra 645 e 670 m slm; nel settore a valle di detta opera di sostegno, sede dell'esistente piazzale, oscillavano tra 635 e 645 m slm.

Le pendenze nella zona a nord dell'area /paratia, pendio esterno alla zona oggetto dei movimenti terra/consolidamenti, corrispondevano a:

$$P = 12^{\circ} \div 19^{\circ}.$$

nel tratto orientale adiacente alla SS n° 63 a:

$$P = 15^{\circ} \div 26^{\circ}.$$

equivalenti pendenze presentava la parte occidentale ad 80/100 m di distanza dalla SS n° 63.

Nella fascia larga 30/40 m a monte della esistente paratia (lato ovest) le pendenze oscillavano tra:

$$P = 7^{\circ} \div 10^{\circ}$$

Nell'area sede dell'esistente piazzale le precedenti inclinazioni variavano mediamente tra:

$$P = 5^{\circ} \div 10^{\circ}$$

Successivamente ai movimenti terre e realizzazione di trincee drenanti sotterranee e di un'opera di sostegno (paratia di pali), i terrazzamenti a monte della paratia (lato ovest) sono stati riprofilati con pendenze medie di insieme corrispondenti a:

$$P = 14^{\circ} \div 16^{\circ}$$

A valle della sopracitata opera (lato est paratia) il profilo a gradoni ha conferito ai tratti di versante di raccordo alla pista di servizio ed al piazzale ad oriente della stessa (valle) assetti con pendenze equivalenti:

$$p = 28^{\circ} \div 30^{\circ}$$

ad eccezione della fascia larga 10 m sede della pista ad assetto sub orizzontale; considerando la presenza di quest'ultima la pendenza di insieme tra la paratia e la zona piazzale corrisponde a:

$$P = 17^{\circ} \div 18^{\circ}$$

Nell'area sede dell'esistente piazzale, tra la paratia e la SS n° 63, le pendenze conseguite agli sbancamenti equivalgono a:

$$P = 0,5 \div 2,0^{\circ}$$

La scarpata di raccordo tra il lato sud est del piazzale e la SS n° 63 è stata profilata con pendenze mediamente corrispondenti a:

$$P = 21^{\circ} \div 25^{\circ}$$

METODOLOGIA DI INDAGINE

L'analisi delle caratteristiche litologico tecniche d'insieme dei tipi di rocce e coperture che costituiscono il settore di territorio in esame, oltre alle rilevazioni geologico – geomorfologiche, è stata sviluppata in base a prospezioni geofisiche con metodo in tomografia 2D sia elettrica che sismica, indagini geognostiche, analisi di laboratorio geotecnico, esame delle foto aeree STB RE 2004/BN ed Ortofotocarta AGEA 2006, rilevazione planialtimetrica dell'area interessata dai movimenti terre, dei punti di prova e tracce degli stendimenti mediante strumentazione GPS, analisi di caratterizzazione geotecnica delle rocce argillitiche riscontrate nel sondaggio meccanico, esame della cartografia: IGM 1935, carte CTR E.R. in scala 1:5.000, del 1982 e 2012.

Per definire la sequenza litotecnica, l'assetto geometrico spaziale dei depositi/riporti e del substrato roccioso, disposizioni litostratigrafiche e caratteristiche tipologiche dei depositi, definizione dei parametri geotecnici dei materiali che costituiscono le coperture e dei tipi rocciosi che formano il substrato, cinematismo dei depositi, sono state direttamente eseguite le indagini di seguito descritte:

- **Sondaggio meccanico:** effettuato da *Ditta Parmageo srl*,
 - n°1 sondaggio meccanico a carotaggio continuo utilizzando un carotiere semplice per i terreni di copertura ed un carotiere doppio T6 per i litotipi rocciosi più consistenti, sino a -22.5 m pc;
 - Contestualmente alle perforazioni sono state eseguite prove di penetrazione codificata SPT (n°4), prelievo di campioni indisturbati con campionature a pareti sottili Shelby, misurazioni del livello idrico nel foro di sondaggio;
 - Sui tratti di carota recuperati sia delle coperture che delle argilliti, sono state determinate le classificazioni litologico granulometriche e 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 inclinometrico in alluminio biassiale, dotato di pozzetto in testa in cls, tappo di fondo, reso solidale al terreno mediante cementazione con iniezione in pressione di boiacca di cemento dal fondo.
- **Prove Penetrometriche dinamiche DPSH**
- n° 9 prove penetrometriche dinamiche superpesanti DPSH eseguite con penetrometro dinamico a funzionamento oleodinamico dotato di massa battente da 63,5 kgf, altezza di caduta costante 75 cm, punta con sezione da 20 cmq ad angolo di apertura della punta $\beta = 90^\circ$, mod. Pagani TG 63-200.
- **Prove penetrometriche dinamiche DPM:**
- n°7 prove penetrometriche dinamiche medie DPM eseguite con penetrometro dinamico a funzionamento oleodinamico dotato di massa battente da 31.2 kgf, altezza di caduta costante 20 cm, punta con sezione da 10 cmq ed angolo di apertura alla punta $\beta = 60^\circ$, mod. PSE11 Deep Drill.
- **Prospezioni geofisiche:**
- n° 4 *basi sismiche a rifrazione* con acquisizione dei valori delle velocità di propagazione delle onde sismiche di compressione V_p con geofoni verticali da 10 Hz e delle onde sismiche di taglio V_s con geofoni orizzontali da 4.5 Hz, registrate con tecnica per l'elaborazione e restituzione con metodo in tomografia sismica 2D;

- n° 4 prospezioni con doppia rilevazione mediante metodo integrato a rifrazione passiva Re. Mi. ed attiva con metodo MASW, elaborando i dati ottenuti con procedura integrata: passiva/attiva Re.Mi./MASW;
- n° 4 rilevazioni a stazione singola di microtremori ambientali con metodo Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr).;
- n°1 indagine sismica in foro di sondaggio con metodo Down Hole con sonda di acquisizione a doppia terna di geofoni ad interasse di 1 m.
- N°5 *profili con acquisizione dei valori di resistività elettrica* con tecnica per l'elaborazione e restituzione con metodo in tomografia elettrica 2D.
- *Analisi di laboratorio geotecnico effettuate da Sinergea srl. Laboratorio Certificato ai sensi dell'art. 59 del DPR 380/01:*
 - N°3 determinazioni delle caratteristiche fisiche generali;
 - N°3 analisi granulometriche per vagliatura e sedimentazione;
 - N°3 determinazioni dei Limiti di Atterberg;
 - N°3 prove di taglio diretto consolidato drenato con Scatola di Casagrande.

Le indagini geognostiche direttamente eseguite unitamente a quelle di laboratorio geotecnico ed alle prospezioni geofisiche, in funzione di un'analisi comparata, hanno consentito di definire i modelli litotecnici e geometrici e la caratterizzazione geotecnica dei materiali che rivestono il substrato roccioso del tratto di versante a nord – nord est dell'Area Artigianale Boaro; detta parte di pendio nella parte occidentale, zona di monte interessata dai movimenti terra (proprietà *EmmeGi*), è attualmente utilizzata come piazzale deposito materiali; nel tratto mediano per una fascia larga 13/22 m e lunga 48 m ad ovest dell'esistente paratia (proprietà *Ferri - Guglielmini*) è destinata ad uso agricolo per vivaio; il settore orientale, parte a valle della paratia (proprietà *Bertoletti - Corradini*) è utilizzato a piazzale e pista di servizio.

ASSETTO PLANIALTIMETRICO DEL VERSANTE SEDE DELL'AREA BOARO

Per quanto riguarda l'assetto planialtimetrico del versante precedente agli interventi di movimentazioni terre, eseguiti in economia dai proprietari senza l'esecuzione di rilievo topografico, si è fatto riferimento alla Carta Tecnica Regionale in scala 1: 5.000 elemento Campolungo N° 218144, con aggiornamenti al 1985.

Lo stato di fatto al 2015 è stato determinato mediante rilevazione con metodo GPS: strumento *HI Target V30* a risoluzione centimetrica, integrato con livellazioni dal

mezzo con autolivello GAL 24. Il rilievo è stato ancorato al caposaldo GPS. RER 653, del Raffittimento Primario a 7 Km della Rete Geodetica Fondamentale Nazionale IGM 95.

Stato Preesistente

La parte di pendio interna al limite dell'area artigianale AP1 al 1985 presentava assetto planialtimetrico a ripiani equivalente alle morfologie attuali ad eccezione di modeste modifiche nella zona sud est dove sono stati successivamente eseguiti interventi costruttivi.

Il settore di versante adiacente al limite nord orientale del comparto artigianale (area interessata dai movimenti terra/consolidamenti) nella fascia larga 30/50 m distante 50/60 m dal bordo ovest della SS n° 63, presentava morfologia sub pianeggiante con pendenza di 6°/9° declinante ad est – sud est; a valle di detta fascia per una striscia larga 30/50 m le pendenze variano tra 10° e 6° con diminuzione dell'acclività nella zona settentrionale; il settore adiacente alla SS n° 63, per una larghezza di 50 m dal lato ovest dalla stessa verso monte, era contraddistinta da pendenze di 14°/15° declinanti in direzione est – sud est.

Lo stato di fatto preesistente è visualizzato nell'allegata tav. 5 estratto di CTR.ER da elemento n° 218144 ingrandito alla scala 1:500 che riporta in sovrapposizione anche lo stato di fatto attuale.

Stato di fatto al 2015

Le morfologie conseguite alle movimentazioni terre e consolidamenti articolate in terrazzamenti per uso agricolo nella fascia di versante sita tra 60 e 100 m ad ovest della SS n° 63 (monte) ed a sbancamenti e riporti per la realizzazione di un piazzale deposito materiali nella zona adiacente alla SS n° 63 per una larghezza di 60 m, sono state rilevate con strumentazione GPS e gli assetti topografici di dette aree sono visualizzati nell'allegata Tav. 4 in scala 1:500.

INTERVENTI DI RIMODELLAMENTO E CONSOLIDAMENTO DEL VERSANTE

Gli interventi di consolidamento del versante sono stati articolati nell'esecuzione di trincee drenanti con fondo scavo attestato a -4,5/-4/-3 m pc, dotate di sezione filtrante in ghiaia con altezza di 1/1,2 m dalla base della trincea come visualizzato nell'allegata Tav. 9. Dette trincee che si sviluppano per lunghezze variabili tra 84/50 m e 33/23 m nel settore ovest: monte paratia, oscillanti tra 60/65 m e 67/79 m nella parte est del tratto di versante a valle della paratia, convogliano le acque ad un pozzo a sezione quadrata profondo 3,6 m sito immediatamente a valle di detta opera di sostegno nel lato nord dell'area di intervento; da tale punto di raccolta le acque sono vettorate, mediante trincea interrata dotata di tubazione, al settore nord est del piazzale (map. 490, F331) che scarica direttamente sul versante settentrionale di detta area, internamente all'area in proprietà, dalla quale le acque corrivano per deflusso naturale sui terreni al pozzetto acque bianche in fregio alla SS n° 63.

Un equivalente sistema di drenaggio idrico sotterraneo è stato messo in opera al lato adiacente il limite dell'area produttiva il Boaro (parte sud) che mediante condotta interrata scarica gli afflussi idrici direttamente sul versante al lato sud est del piazzale, in zona interna alla proprietà, dal quale le acque corrivano al sistema di raccolta ed allontanamento delle acque superficiali.

La disposizione planimetrica delle trincee drenanti è visualizzata nell'allegata Tav. 9 che riporta anche le geometrie esecutive delle stesse.

Successivamente alla realizzazione del sistema di drenaggio è stata costruita un'opera di sostegno mediante paratia di pali in cls armato tra loro collegati in testa da una trave con muro di contenimento in CA.

Le caratteristiche dell'opera di sostegno con pali sono visualizzate nell'allegata Tav. 10.

Alla realizzazione di detti manufatti sono seguiti gli sbancamenti nella parte di versante tra la paratia e la SS n° 63, che hanno ribassato il profilo topografico preesistente di 1/2,5/3,5 m.

Nella fascia larga 15 m adiacente alla SS n° 63 sono stati effettuati riporti con spessori da 0,5/1 a 2,5/3,2 m.

I materiali di risulta degli sbancamenti, oltre che in quest'ultima fascia, sono stati riportati nel settore di versante a monte della paratia formando un profilo gradonato a ripiani per una migliore conduzione agricola dei terreni; tali interventi hanno sopraelevato il piano campagna preesistente nel settore ad ovest della paratia (monte) per spessori variabili tra 1/2 e 2,5/3,5 m, che aumentano in direzione nord est.

SCHEMA ESECUTIVO PARATIA ESISTENTE

Le caratteristiche geometrico strutturali dell'esistente paratia (dalla documentazione della committenza realizzata nel 2003/2004) in base alla tavola di progetto fornito dalla proprietà, di seguito schematicamente descritta, sono visualizzate nell'allegata tav. 10.

La paratia di pali si sviluppa complessivamente per:

$$L = 58,2 \text{ m}$$

Detta opera di sostegno è costituita da pali in cls armato con diametro:

$$D = 60 \text{ cm}$$

con interasse, da rilievo diretto:

$$i = 86 \text{ cm}$$

che presentano profondità di incastro della punta rispetto all'esistente piano campagna come esposto nella seguente tabella, iniziando dal lato meridionale adiacente al limite nord del Comparto Produttivo Boaro AP1.

Distanza da inizio paratia m	Altezza/larghezza muro di collegamento m	Soletta muro di collegamento testa pali m	Lunghezza pali m	Profondità punta pali da pc m
0 – 24,10	1,05/0,30	0,4/1,0	7,0	7,4
24,10 – 35,25	1,05/0,3	04,1/1,0	10,0	10,4
35,25 – 45,60	1,05/0,30	0,4/1,0	7,0	7,4
45,60 – 58,20	1,7/0,30	0,4/1,0	7,0	7,4

Gli ulteriori 14.45 m in direzione nord del muro in cls armato sono costituiti da un manufatto senza valenza strutturale.

INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Le caratteristiche geologiche generali dell'area, cui appartiene il territorio di Castelnuovo né Monti, sono attribuibili ad uno stile di ricoprimento, con unità tettoniche sovrapposte.

Le formazioni appartenenti all'unità tettonica della Falda Toscana affiorano diffusamente in corrispondenza del crinale appenninico e ricoprono l'Autoctono Apuano, con vergenza verso NE.

Dette formazioni, a loro volta, si immergono al di sotto delle Unità Alloctone Sub-Liguri e Liguri, che costituiscono la parte media - medio alta dell'appennino reggiano, caratterizzato dall'affioramento di formazioni prevalentemente argillose, a varia colorazione, contenenti ofioliti ed estesi lembi di flysch calcarei ed arenacei notevolmente tettonizzati (età *Creta-Eocene*). Queste ultime sono coperte, in modo discontinuo, dalle sequenze della Successione Epiligure

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

- **Unità Quaternarie Continentali**
- **Successione Epiligure**
 - ***Gruppo Bismantova***
- **Dominio ligure**
 - ***Successione della Val Rossena***
 - ***Successioni della Val Tresinaro***
 - ***Successione della Val Parma***
 - ***Formazione Pre Flysch ad Elmintoidi ad unità affini***
- **Dominio subligure**
 - ***Formazione di Montestaffola***

Le unità quaternarie, sono rappresentate da depositi a litologia prevalentemente limoso argillosa che includono blocchi lapidei di varia dimensione che formano coltri con spessori variabili che rivestono i versanti; d'altra parte nelle zone di fondovalle tali orizzonti sono composti da ghiaie sabbiose e sabbie ghiaiose di deposizione fluviale.

Le unità del Dominio Sub Ligure, sono formate da sequenze litologiche prevalentemente argillose – argillitiche a medio basso – basso grado di resistenza meccanica alle quali si alternano successioni di torbidi arenaceo – arenaceo calcaree e marne - marne calcaree, torbiditi calcareo marnose, a grado di resistenza medio – medio basso e comportamento fragile.

A tali sequenze seguono le unità del Dominio Ligure costituite in prevalenza da alternanze di arenitico – arenacee – calcarenitiche, marne calcaree, peliti, frequentemente intensamente tettonizzate.

Sopra le unità Liguri e Sub Liguri, si è depositata la Serie Epiligure eo-oligomiocenica Ranzano – Bismantova, che comprende le Formazioni di Monte Piano, Ranzano, Antognola e Bismantova.

Queste ultime, che in netta prevalenza costituiscono il territorio di Castelnovo né Monti, sono principalmente formate, in percentuali pressoché equivalenti, da litozone ad alternanze arenacee – arenaceo calcaree e pelitiche, a grado di consistenza meccanica medio – medio elevato, ed unità prevalentemente marnose – marnoso argillose – argilloso marnose, subordinatamente arenacee, contraddistinte da grado di resistenza meccanica medio – medio basso, formazioni a brecce argillose con clasti calcarei a comportamento fragile.

Dette successioni generalmente presentano assetti strutturali complessi evidenziati dalla presenza di discordanze – discontinuità – erosioni, livelli caotici, variazioni composizionali e di facies sia orizzontali che verticali e formano frequentemente sinclinali più o meno asimmetriche.

Il territorio comunale è caratterizzato dalla presenza della Sinclinale di Scurano - Vetto – Carpineti che presenta asse orientato ovest est e si immerge in direttrice est – sud est.

L'area Boaro - Felina appartiene all'ala meridionale orientale di detta sinclinale che nella zona di Scurano – Vetto - Carpineti evidenzia assetti relativamente meno complessi rispetto ad altri settori dell'appennino e delle unità tettoniche del substrato ligure.

Le sequenze litologiche del territorio centro orientale meridionale di Castelnovo né Monti, del quale fanno parte il Boaro e Felina, sono generalmente costituite da livelli litostratigrafici caratterizzati da inclinazioni con direzione nord – nord est con angoli prevalentemente compresi tra 20°/35° che in prossimità/corrispondenza delle linee di faglia o sovrascorrimento giungono a 45°/75°.

I tipi rocciosi che formano la zona il Boaro sono coperti da materiali di riporto antropico con spessori da 1 a 3/4 m, che rivestono in modo discontinuo depositi di versante e di frana, con spessori che variano da 1,5 a 3 m; nella parte sud e ad est di detto comparto produttivo sono presenti accumuli di frana quiescenti ed attivi di diversa tipologia con prevalenza dei processi complessi e di colata.

Nei tratti di versante a settentrione dell'area produttiva Boaro il substrato roccioso affiorante è costituito dalle formazioni della Successione Epiligure (PAT 5 - 4 – CTG), mentre nel sottosuolo del comparto artigianale in oggetto, parti meridionali ed orientali del pendio, sono rinvenibili le unità argillitiche (AVV-APA) della Formazione Pre-Flysh sostituite in direzione est–sudest ed ovest–sudovest dalle alternanze marnoso calcaree (MCS) del Dominio Ligure.

La serie litostratigrafica della parte di territorio in oggetto è schematicamente riassumibile come di seguito descritto, dall'alto in basso in senso stratigrafico:

Serie Litostratigrafica**A) DEPOSITI QUATERNARI****DEPOSITI ANTROPICI (ATTUALE).**

Sono costituiti da materiali molto diversi come composizione e dimensioni che vanno dai limi argillosi alle ghiaie ai blocchi, non classati messi in opera per riempimenti, rimodellamenti/terrazzamenti dei versanti, sottofondi di piazzali e strade; presentano spessori ed estensioni areali molto differenti ed una distribuzione irregolare sul territorio; nell'area il Boaro sono presenti in forma di superfici a ripiani, realizzati sia per fini edificatori nel comparto artigianale AP1 che per utilizzo agricolo nel settore immediatamente a nord dello stesso e sono costituiti da limi argillosi – argille limose / rottame di roccia e ghiaie misti a limi argilloso sabbiosi.

DEPOSITI GRAVITATIVI IN MASSA, FRANE (OLOCENE ATTUALE E NON ATTUALE).

Presentano forme ed estensioni diverse e sono formati da materiali eterometrici non classati, non stratificati e generalmente inglobanti strati frizionati o intensamente fratturati.

I rapporti materiale fine / materiale grossolano sono estremamente variabili in relazione ai litotipi di substrato e di accumulo e presentano forme sia attive che non in evoluzione; si rinvencono al bordo settentrionale del comparto il Boaro 200 m più a nord del medesimo, dove sono classificate dalla Carta Geologica RER 1:10000 come frane attive di colata e scivolamento; ad ovest – sud ovest ed a meridione dell'area produttiva è presente un esteso accumulo di frana quiescente di tipo complesso che nella parte nord occidentale è classificato attivo; in prossimità del bordo nord est del comparto è individuato un corpo di frana quiescente di scivolamento; dette classificazioni e relative delimitazioni sono integralmente recepite e cartografate nella carta del dissesto del PTCP di RE.

A nord ovest del sopra citato accumulo di frana quiescente, nel settore di versante a sud ovest della falegnameria di via Grotte è presente un ammasso di frana attiva di scivolamento di modeste dimensioni.

DEPOSITI DETRITICI DI VERSANTE ELUVIALI E COLLUVIALI (OLOCENE NON ATTUALE ED ATTUALE).

Sono costituiti principalmente da materiali con granulometrie fini, prevalentemente limose - limoso sabbiose con subordinata presenza di clasti ghiaiosi, correlati ai tipi rocciosi che formano il substrato delle aree che ricoprono e/o di quelle ad esse prossime; assumono spessori mediamente compresi tra 1 e 3/4 m rinvencono nel settore sede del comparto Boaro e rivestono il tratto di versante compreso tra La Grotta ed il limite dell'area produttiva ed il pendio a valle della SS n° 63; nel settore sede del comparto artigianale detti depositi sono coperti da materiali di riporto prevalentemente fini (limi argilloso sabbiosi) con spessori che variano da 1 a 2/3 m ed a zone da materiali ghiaioso sabbiosi di sottofondo di piste e piazzali.

DEPOSITI DI GLACIS DA GELIFLUSSO (PLEISTOCENE).

Formano superfici debolmente inclinate ($P: 7^\circ \div 8^\circ/10^\circ$), a diverso grado di conservazione, che costituiscono ripiani blandamente inclinati, con quote tra loro correlabili. Sono diffusamente presenti nei versanti circostanti la Pietra di Bismantova e nelle aree a sud delle linee di crinale il Monte – M. Bagnolo e Pietra Dura – la Grotta – M. Gazzo; costituiscono lembi residui a bassa pendenza, attualmente in zone di spartiacque localmente con quote tra 650 e 700 m slm, che

formano superfici tra loro correlabili topograficamente, separate da incisioni; sono generalmente formati da materiali limoso argilloso sabbiosi ghiaiosi, con clasti lapidei ad assetto fluitato, caratterizzati dall'asse e superficie maggiore degli elementi lapidei orientati sub parallelamente alla inclinazione del versante o secondo le linee di massima pendenza dello stesso, e contraddistinti dall'assenza di disposizioni caotiche collegate a rotolamenti e/o movimenti in massa; le dimensioni dei clasti lapidei sono correlate alle caratteristiche e spessori degli strati arenitici – arenacei – calcarei dei versanti rocciosi soggetti ai processi di disaggregazione crioclastica.

Sono osservabili a sud – sud est della Pietra di Bismantova e nella zona a sud ovest del capoluogo a meridione della SS n° 63 nell'Area Artigianale Mapriana e nei settori di crinale secondario 200 m a sud est e 300 m ad est della stessa.

SUCCESSIONE EPILIGURE

GRUPPO BISMANTOVA

FORMAZIONE DI CIGRELLO CIGa (Lanlino p.p. - Serravaliano)

Localmente è costituito dalla litofaces ad alternanze di areniti e peliti in strati medi e spessi, con rapporto $A/P > 1$; presenta base erosiva con discordanza angolare su PAT; si riscontra 0,4/0,5 km a settentrione dell'Area Artigianale Boaro.

FORMAZIONE DI PANTANO - PAT (Burdigallano p.p. - Langhiano p.p.):

Areniti, areniti marnose e peliti sabbiose a stratificazione mal distinguibile per bioturbazione, con locali ricche presenze di malacofaune a Lamellibranchi, Gasteropodi, Coralli aermatipici. Parzialmente suddivisa nei membri basali di S. Maria, della Pietra e di M. Castellaro. Lo spessore è di oltre 400 m; il contatto inferiore è in discontinuità, localmente in discordanza angolare, su CTG e ANT1; si rinviene 0,4 ÷ 0,5 km a nord – nord ovest Comparto Il Boaro e si estende in direzione ovest nord ovest rispetto allo stesso.

Membro della Pietra di Bismantova PAT5 (Langhiano)

Biocalcareni, subordinatamente biocalciruditi, ad Echinoidi, Briozoi, foraminiferi bentonici, alghe coralline, molluschi e denti di pesci, massive, o in banchi con laminazione obliqua a grande scala o tabulare, con superfici di stilolitizzazione diagenetica; potenza massima di circa 100 m. Contatto discordante su CTG, localmente con interposti ciottoli di rocce cristalline. Affiora 0,2 km a nord dell'Area Artigianale Boaro e localmente è prevalentemente arenitica.

MEMBRO DI SANTA MARIA (PAT4) (Langhiano)

Areniti bioturbate a stratificazione mal distinguibile; intercalazioni di areniti in strati da sottili a spessi, risedimentati, sovente alla base dell'unità. Spessore variabile da qualche decina ad oltre cento metri. Contatto discordante su CTG; al tetto passaggio graduale alle areniti di PAT; si riscontra nel tratto di versante sub verticale 0,4 km a nord del Comparto il Boaro e si estende in direzione ovest - est.

FORMAZIONE DI CONTIGNACO – CTG (Acquitano Terminale – Burdigallano p.p.)

Marne a contenuto siliceo, in strati sottili e medi, di colore grigio-verdognolo con patine manganesifere di alterazione, a frattura scheggiata. Selce generalmente diffusa, localmente in noduli e liste; locali sottili livelli vulcanoclastici. Parzialmente suddivisa nei membri eteropici di

Carpineti CTG2 e Villaprara CTG1. Potenza variabile da qualche decina di metri a 300 m, passaggio inferiore graduale ad ANT. È presente nel settore di versante immediatamente a nord del Comparto Il Boaro, dove forma una fascia estesa sud ovest – nord est con larghezza variabile tra 100 e 500 m che si allarga in direzione orientale.

DOMINIO LIGURE

SUCCESSIONE DELLA VAL TRESINARO

FLYSCH DI MONTE CASSIO (MCS) (*Campaniano sup. - Maastrichtiano*)

Marne calcaree grigio giallastre con base di areniti calcilitiche, in strati spessi e banchi; subordinate le intercalazioni di pacchi di strati medi e sottili arenitico-pelitici (A/P minore o uguale a 1). Potenza di circa un migliaio di metri. Contatti tettonizzati con AVV; si rinviene 0,1 km a sud est e 0,2 km ad ovest del Comparto il Boaro.

FORMAZIONI PRE-FLYSCH AD ELMINTOIDI

ARGILLE VARICOLORI DI CASSIO (AVV) (*Cenomaniano – Campaniano sup.*)

Argilliti rosse e verdi sottilmente stratificate, caotiche per intensa tettonizzazione. Recano “boudins” di areniti tipo SCB e siltiti mangesifere; sono 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. Costituiscono il substrato sia nel sottosuolo che in affioramento dell'Area Artigianale il Boaro nel quale le prospezioni geofisiche eseguite indicano la sostituzione laterale con materiali più rigidi a -20/-30 m di profondità correlabili a MCS.

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

Argilliti grigio scure, tettonizzate, recanti “boudins” di calcilutiti biancastre, a luoghi silicizzate, pervasivamente fratturate. Potenza geometrica variabile da alcune decine ad alcune centinaia di metri. Contatti ovunque tettonici. Si rinvencono a profondità sottostanti -6 m dal piano campagna nella zona piazzale tra la SS n° 63 e la paratia di pali oggetto di movimentazione e asportazione terre.

CARATTERISTICHE STRUTTURALI E SISMOTETTONICHE

L'assetto strutturale delle unità litologiche presenti nel territorio di Castelnovo né Monti è relativamente meno scompaginato rispetto ai comuni a sud ed a nord dello stesso e le unità affioranti costituiscono la Sinclinale di Scurano - Vetto – Carpineti che presenta asse orientato ovest – est con immersione ad est.

I termini che formano detta struttura, appartengono alla Successione Epiligure: Formazione di Ranzano – Formazione di Antognola - Gruppo Bismantova, che nel settore orientale centro orientale e meridionale dell'area comunale costituiscono l'ala sud orientale della Sinclinale di Vetto – Carpineti, nella quale le formazioni presentano inclinazioni che si immergono a nord – nord ovest con angoli generalmente di 20° - 35°; l'ala nord, zone settentrionali dell'area comunale, è contraddistinta da immersioni orientate a sud – sud est con inclinazioni mediamente di 20° - 25°.

I principali elementi tettonici lineari che interessano il territorio di Castelnovo né Monti sono rappresentati:

- Zona meridionale – centro meridionale;
- *Linea del Secchia*: si estende in direttrice ovest sud ovest – est nord est, assecondando l'andamento del F. Secchia tra Talada e La Gatta e successivamente a quest'ultima flette in verso nord est in direzione di Iatica – Vesallo.
- *Linea Poggio Monzino – Casale – Spignana - Savognatica*: si estende in direzione sud ovest – est nord est nella fascia centro meridionale del territorio comunale.

Le linee tettoniche sopra descritte sono state interessate da processi deformativi in periodi pliocenico quaternari e denotano quindi caratteri neotettonici.

- Zona Centrale
- *Linea Vidiceto di Sotto – Mozzola – Felina – Cigarellino – Baiso*: è costituita da una faglia estesa in direzione ovest sud ovest – est nord est, interessa la fascia centrale dell'area comunale ed è rinvenibile 0,4/0,5 km a settentrione del comparto il Boaro.

- Zona sud occidentale
- *Linea Frassinedolo – Gazzano – Temporia – Moragnano*: faglia antiappenninica a componente trascorrente, che si estende in direzione sud est – nord ovest ed in pratica tronca la parte occidentale della sinclinale di Vetto – Carpineti; è rinvenibile 1 ÷ 1,3 km ad ovest di La Mapriana – Il Monte.

- Zona Settentrionale occidentale

- *Linea Bell'Essere – Rio Maillo – Monchio dell'Olle*: faglia normale antiappenninica che si estende in direzione sud nord dalle zone a nord est del capoluogo ed asseconda l'andamento del Rio Maillo sino alla sua affluenza al Rio Tassobbio e prosegue in direttrice nord verso Monchio dell'Olle.

- Zona Centrale

- *Linea Cantigalli – SS n° 513 per Vetto*:

Una linea di locale significato principale è rappresentata dalla faglia antiappenninica orientata sud sud est – nord nord ovest che si estende da Cantigalli ad area “ex macello” – “area Motti” e si prolunga in direzione nord assecondando l'andamento della SS n° 513 Castelnovo né Monti – Vetto; secondo tale faglia si sono verificati pronunciati effetti locali di incremento della sollecitazione sismica durante l'evento sismico del 21/06/2013, avvenuto nel distretto sismico della Garfagnana, con epicentro a circa 2 km da Fivizzano, in provincia di Massa Carrara e magnitudo locale pari a $M_w 5,2$.

Attività tettonica

Le analisi relative alle strutture profonde, individuate nell'ambito dell'elaborazione della *Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna (L. Martelli et Alii; 2016)*, indicano attività della linea del fronte di accavallamento della successione carbonatica meso – cenozoica, orientata ovest est circa secondo l'allineamento M. Ventasso – Villa Minozzo.

Nel medesimo elaborato è inoltre evidenziato un epicentro sismico tra Scurano e M. Castellaro con magnitudo: $M > 5.5$.

L'attività sismica nell'area in oggetto è prevalentemente correlata alla fascia deformativa dei fronti di accavallamento delle pieghe appenniniche, che si estende in direttrice ovest nordovest – est sudest.

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

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

Le principali linee di faglia classificate attive non capaci (*M. Boccaletti – L. Martelli; 2004*) nel settore di territorio in oggetto sono rappresentate da:

- Linea del Secchia
- Linea Poggio Monzino – Casale – Savognatica

- Linea Mozzola – Felina – Cigarello – Baiso.
- sono inoltre identificate come faglia trascorrente e diretta di età miopliocenica, successivamente riattivata, la linea estesa sud est – nord ovest rispettivamente da Frassineto – Gazzano – Temporia a Rio Maillo – Monchio dell’Olle.

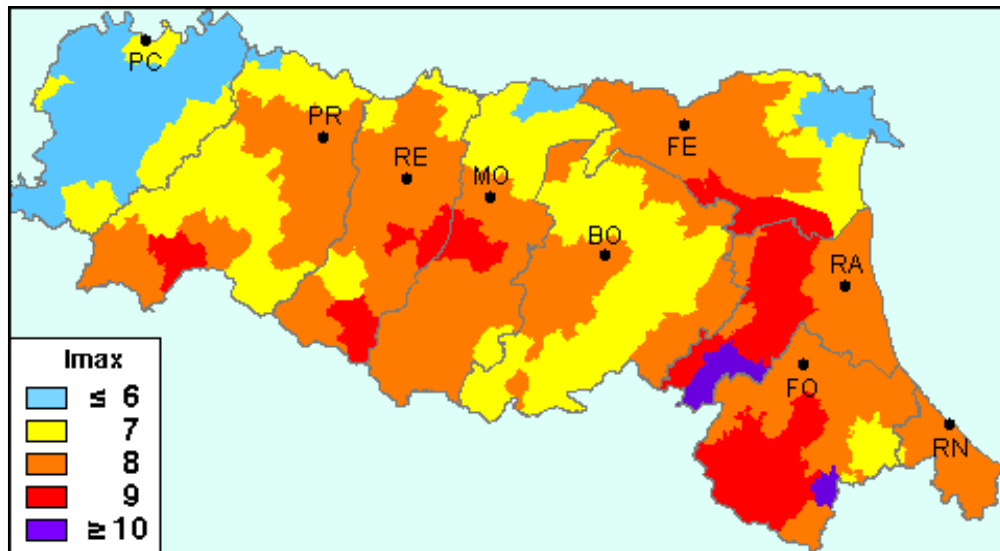
Assume importanza locale la faglia sud est – nord ovest Cantigalli - “Area Motti”, sulla cui fascia di estensione si sono verificati effetti locali di incremento della sollecitazione sismica, che hanno indotto danneggiamenti ad un fabbricato per effetti di doppia risonanza, in concomitanza del sisma del 26/06/2013.

Nella zona cui appartiene il territorio di Castelnovo né Monti, lo scuotimento sismico è correlato prevalentemente a processi compressivi, riconducibili a sorgenti focali superficiali (<15 km), generati da faglie inverse e transcompressive, ai quali si associa una sismicità di media intensità con media frequenza di accadimento.

CLASSIFICAZIONE SISMICA – PERICOLOSITA’ SISMICA DI BASE

Il territorio di Castelnovo né Monti, RE appartiene agli ambiti classificati in zona 2, OPCM 3274/2003, con caratteristiche di intensità sismica assimilabili alle precedenti classificazioni: zona S9.

Nell’ambito in cui ricade l’area comunale di Castelnovo né Monti (RE) il catalogo delle massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani, in base alla banca dati macrosismici del GNDT ed ai 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*), sono documentati eventi sismici giungenti al 7° – 8° grado della Scala *Mercalli - Cancani – Sieberg*, con intensità massima corrispondente ad $M = 5,0 \div 5,6$; le influenze connesse alla sismicità dell’area della Garfagnana sono correlate ad intensità comprese tra $M = 5,8 \div 6,48$ come evidenziato nella seguente figura.



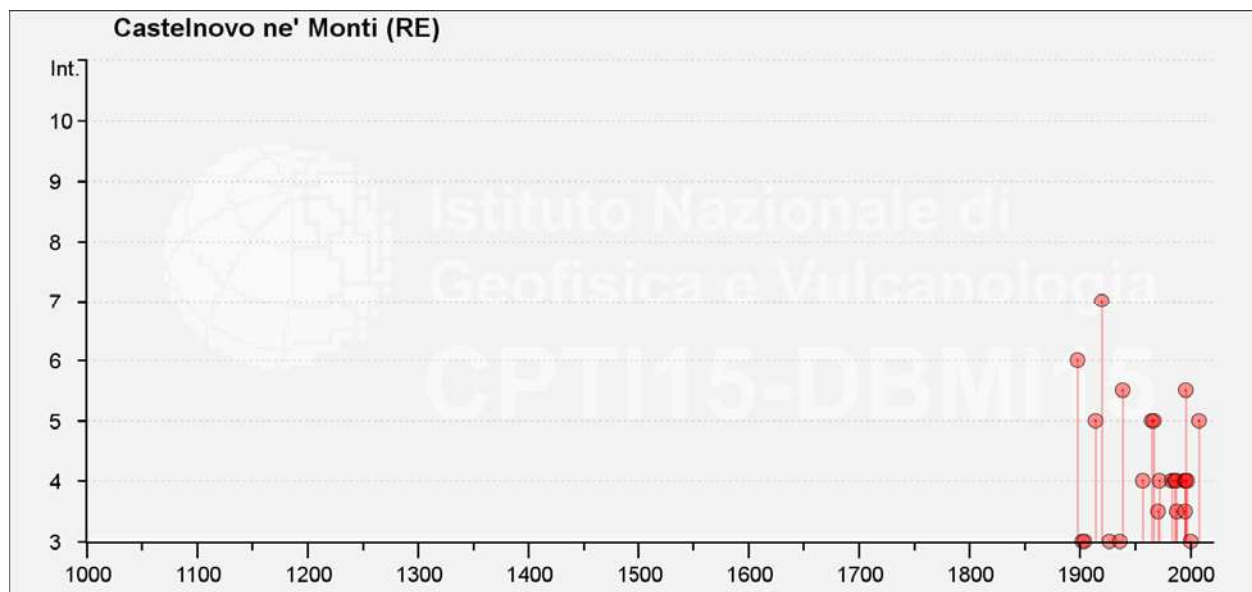
Nell'ambito a cui appartiene il territorio comunale di Castelnovo ne' Monti il Database Macrosismico DBMI15 utilizzato per la compilazione del catalogo parametrico CPTI15 (a cura di Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds), 2016. CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue 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 Castelnovo ne' Monti
Numero di eventi: 36

Effetti	In occasione del terremoto del				
Int.	Anno Me Gi Ho Mi Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
7	1920 09 07 05 55 4	Garfagnana	750	10	6.53
6	1898 03 04 21 05	Parmense	313	7-8	5.37
5-6	1939 10 15 14 05	Garfagnana	62	6-7	4.96
5-6	1996 10 15 09 55 5	Pianura emiliana	135	7	5.38
5	1914 10 27 09 22	Lucchesia	660	7	5.63
5	1965 11 09 15 35	Appennino reggiano	32	5	4.17
5	1967 05 15 10 03 3	Appennino reggiano	2	4	4.07
5	2008 12 23 15 24 2	Parmense	291	6-7	5.36
4	1957 10 25 23 02 0	Appennino reggiano	79	5-6	4.27
4	1972 10 25 21 56 1	Appennino settentrionale	198	5	4.87
4	1983 11 09 16 29 5	Parmense	850	6-7	5.04
4	1986 10 01 19 53 3	Lunigiana	68	5	4.46
4	1987 02 10 21 20 1	Lunigiana	54	5	4.09
4	1995 10 10 06 54 2	Lunigiana	341	7	4.82
4	1995 12 31 21 29 4	Appennino reggiano	96	4-5	4.51
4	1997 12 24 17 53 1	Garfagnana	98	5	4.33
F	1885 02 26 20 48	Pianura Padana	78	6	5.01
F	1909 03 18 02 51	Appennino reggiano	12	4-5	4.13
3-4	1971 07 15 01 33 2	Parmense	228	8	5.51

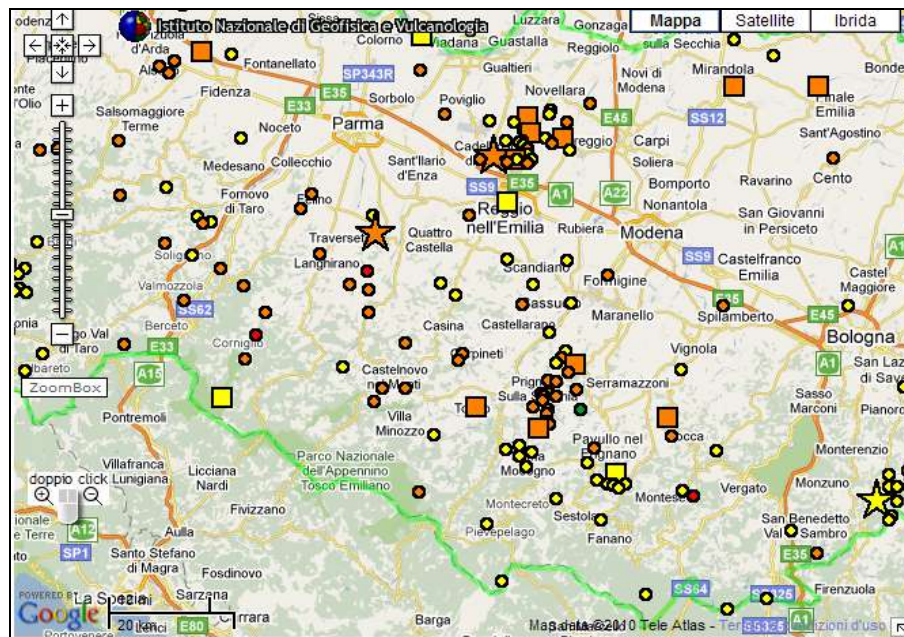
Effetti	In occasione del terremoto del				
Int.	Anno Me Gi Ho Mi Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
3-4	1988 02 08 11 24 4	Garfagnana	75	6	4.34
3-4	1995 08 24 17 27 3	Appennino pistoiese	56	6	4.45
3	1902 12 04 16 35 0	Lunigiana	36	5	4.35
3	1904 11 17 05 02	Pistoiese	204	7	5.10
3	1927 11 20 10 24 1	Appennino reggiano	16	5	4.29
3	1936 10 18 03 10	Alpago Cansiglio	269	9	6.06
3	2000 10 03 01 12 3	Frignano	62	5	4.22
2-3	2000 06 18 07 42 0	Pianura emiliana	304	5-6	4.40
2	1995 03 03 16 16 4	Lunigiana	43	5	4.20
NF	1899 06 26 23 17 2	Valle del Bisenzio	138	7	5.02
NF	1910 01 23 01 50	Piacentino	118	5	4.39
NF	1937 09 17 12 19 0	Parmense	34	7	4.77
NF	1980 11 23 18 34 5	Irpinia-Basilicata	1394	10	6.81
NF	1987 05 02 20 43 5	Reggiano	802	6	4.71
NF	1989 10 03 09 41 3	Appennino parmense	91	4	4.04
NF	2002 06 08 20 13 0	Frignano	115	4	4.23
NF	2002 06 18 22 23 3	Frignano	186	4	4.30

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



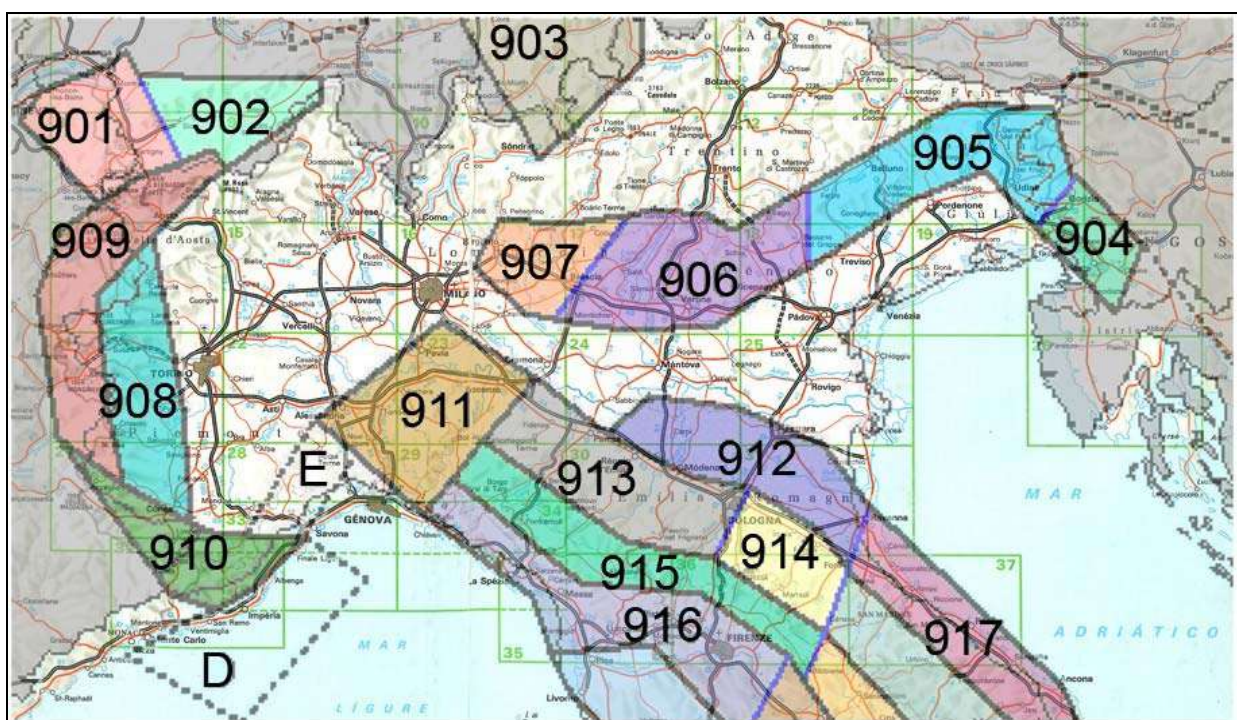
(tabella e grafico reperiti dall'archivio DBMI15, consultabile al sito internet <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>)

Gli epicentri sismici verificatisi nel territorio in analisi hanno origine, per la percentuale maggiore, nei primi 15 km del sottosuolo ed evidenziano la prevalenza di un'attività sismogenetica di tipo superficiale.



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)

Valori di riferimento DM 17/01/2018

In base alle indicazioni contenute nelle NTC di cui al D.M. 17/01/2018, considerando strutture di classe II (vita nominale $V_n = 50$ anni, coefficiente d'uso $C_u = 1$; $V_r = 50$ anni), per l'area in esame si hanno 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	0.056	2.486	0.246
SLD	50	0.070	2.480	0.260
SLV	475	0.160	2.522	0.290
SLC	975	0.201	2.530	0.299

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

Valori di riferimento DGR 2193/2015

Il valore della a_g di riferimento, con probabilità di eccedenza dell'evento sismico del 10% in 50 anni, indicati nell'allegato A4 della *DGR 2193/2015*, per il comune di Castelnovo ne' Monti, corrisponde a:

$$a_{refg} = 0,160 \text{ g}$$

Microzonazione sismica Castelnovo né Monti, 2004

Le analisi di microzonazione sismica del territorio comunale di Castelnovo né Monti R.E.: “*Castelnovo ne' Monti: analisi di pericolosità sismica*” – Marzo 2004 – *Rapporto illustrativo finale*, elaborate da A. Marcellini e M. Pagani, CNR (Istituto per la Dinamica dei Processi Ambientali), in collaborazione con Regione Emilia Romagna, Dr. L. Martelli, hanno determinato un'accelerazione di riferimento su substrato rigido per un tempo di ritorno di 475 anni (eccedenza del 10% in 50 anni), con valore corrispondente a:

$$a_{ref} = 0,153 \div 0,179 \text{ g}$$

Zonazione Sismica Di PSC

Le analisi di zonazione sismica redatte nel contesto del PSC 2003/2005 (CNR MI – RER – CENTROGEO) classificano la fascia di territorio cui appartiene il sito in esame come: area con presenza di depositi di versante con $V_s = 200/600$ m/sec su substrato competente (AC) relativamente al settore sede del comparto il Boaro; detta area è classificata zona con coperture di 3 – 5 m su substrato a bassa velocità BCC nella

fascia a settentrione dell'area artigianale; la parte sud occidentale del comparto artigianale è classificata come frana di colata quiescente con spessore maggiore di 10 - 15 m, BCE; tali zone sono soggette ad effetti di amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche, per la parte sede dell'area artigianale, soggette a potenziali cedimenti nella fascia nord e a potenziale instabilità per le zone sud occidentali.

Microzonazione 2013

L'analisi di Microzonazione 2013 (*Geodes srl*), classificano la fascia di versante a settentrione della SS n° 63 come zona stabile suscettibile di amplificazioni locali caratterizzata da substrato geologico non rigido argilloso – argillitico sito a -17 m di profondità con coperture argilloso limose (zona 8), alla quale appartiene il comparto il Boaro, con:

$$P.G.A. = 2,0 - 2,1;$$

$$FAIS 0,1 < T < 0,5 = 2,2 - 2,6;$$

$$FAIS 0,5 < T < 1,0 \text{ sec} = 1,7 - 1,4;$$

fanno eccezione la fascia al bordo nord est e la porzione sud ovest classificate come zone suscettibili di instabilità per instabilità di versante.

Tali classi di attribuzione di prima fase sono soggette ad adeguamenti e denotano una non corrispondenza con la classificazione del settore di versante nella parte utilizzata come piazzale stoccaggio materiali contraddistinto da pendenze $< 2^\circ$, substrato affiorante e caratterizzato da diversi valori di amplificazione sismica, ottenuti dall'analisi di risposta sismica locale descritti nei seguenti capitoli; analogamente non si ha corrispondenza per il tratto di pendio a monte del "piazzale", nel quale gli spessori dei riporti antropici e dei depositi di versante sono inferiori a 5 m e variano mediamente tra 2 e 4 m ad eccezione di una locale area di modesta estensione dove giungono a 6 m.

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, a zone, le forme naturali proprie del territorio in analisi.

Quest'ultimo, nel periodo wurmiano (85.000/15.000 anni b.p.) era collocato al di sotto del limite delle nevi persistenti (stimato prossimo circa a 1500 m slm) nella fascia a valle del margine dei ghiacciai che scendevano dal crinale appenninico (M. te Cusna e Alpe di Succiso).

L'aspetto tipico del paesaggio era in parte a prateria alpina ed in parte con vegetazione praticamente assente, caratteristico di ambiente morfoclimatico periglaciale.

I depositi formati in dette condizioni sono attualmente rappresentati dai relitti di una vasta superficie topografica di glacis, a bassa inclinazione: $P = 6^\circ/8^\circ$, costituita da materiali argilloso limosi, talora sabbiosi, contenenti clasti lapidei ad assetto fluitato; detti depositi si estendevano radialmente a partire dalla Pietra di Bismantova e colmavano le zone tra la stessa e le dorsali rocciose che la circoscrivevano; da queste ultime si sviluppano superfici con analoghe caratteristiche.

Successivamente al *Wurm*, e durante l'*Olocene antico*, il clima è progressivamente mutato verso condizioni dapprima Boreali e poi Atlantiche, con conseguente scioglimento dei ghiacci e formazione di corsi d'acqua sempre più impetuosi, che hanno progressivamente inciso i depositi wurmiani, suddividendo in lembi il glacis precedentemente formatosi che diventava sempre più terrazzato.

Nell'*Olocene antico e medio*, in condizioni climatiche diverse dalle attuali, si sono sviluppati imponenti fenomeni gravitativi, generati da fenomeni di rammollimento e plasticizzazione di litotipi essenzialmente argillosi - argilloso limosi, nelle zone di sorgenza per contatto.

Detti processi, influenzati con tutta probabilità anche da eventi sismici, ed attualmente totalmente o parzialmente stabilizzati, si rilevano generalmente al piede della Pietra di Bismantova.

Geomorfologia area Boaro

La zona tra la Grotta ed il Rio Spirola presenta caratteristiche geomorfologiche differenziate correlate ai diversi gradi di resistenza meccanica dei tipi litologici che la costituiscono.

La parte di pendio a settentrione di via Grotte (200/300 m a nord ovest – nord dell'area per attività produttive AP1) è formata da areniti – areniti marnose a stratificazione mal distinguibile o massive ad elevato grado di resistenza meccanica che generano scarpate strutturali con altezze 30/40 m e pendenze di $40^\circ/50^\circ$; queste ultime localmente presentano acclività anche maggiori $60^\circ/70^\circ$ conseguite ad escavazioni di materiali lapidei effettuate precedentemente al 1950/60.

Il tratto di versante tra via Grotte ed il limite nord ovest del comparto ad uso produttivo il Boaro, è formato da litotipi arenitico pelitici stratificati a grado di resistenza all'erosione relativo inferiore rispetto quello delle sovrastanti areniti, ed è contraddistinto da pendenze di $22^\circ/26^\circ$ declinanti in direzione sud est. Il settore di pendio sede dell'area per attività produttive Boaro, nel quale il sottosuolo è costituito da argilliti a basso grado di resistenza all'erosione, presenta pendenze di insieme di $12^\circ/14^\circ$ nella parte più settentrionale e di $10^\circ/12^\circ$ nella zona centrale e sud orientale;

tale clivometria in funzione degli interventi di urbanizzazione effettuati attualmente è conformata a ripiani.

Il tratto di versante a nord est del comparto artigianale Boaro adiacente alla SS. 63, sede dell'area piazzale deposito materiali, ha morfologia sub pianeggiante $1^{\circ}/2^{\circ}$ conseguita alle movimentazioni terre eseguite che hanno completamente asportato i terreni precedentemente presenti sino al raggiungimento del substrato argilloso argillitico; il settore di versante ad ovest – sud ovest della zona piazzale è profilato a ripiani con gradoni.

In funzione delle caratteristiche litotecniche dei materiali che formano il substrato e delle sue morfologie il tratto di versante sede dell'area per Attività Produttive AP1 è ascrivibile ad una superficie strutturale a blanda inclinazione correlata ai passati processi di modellazione del paesaggio.

Il settore di territorio a sud ovest del comparto in narrativa è costituito da accumuli di frana quiescenti ed attivi; analoghe caratteristiche con corpi di frana in evoluzione di dimensioni inferiori si osservano a sud est della SS n° 63.

Nel tratto di pendio a nord – nord est del comparto il Boaro gli elaborati di PTCP individuano la presenza di corpi di frana attivi e quiescenti classificabili di massa piccola (Fell, 1994: < 5.104 mc).

Caratteristiche idrogeologiche

Il versante che si estende in direzione sud est dal crinale secondario immediatamente a settentrione di Via Grotte, è caratterizzato da un assetto a monoclinale (fianco sud orientale della Sinclinale di Vetto – Carpineti) con disposizione a reggipoggio ed inclinazione delle unità litologiche di $20^{\circ}/35^{\circ}$ in direzione nord.

La successione dei tipi rocciosi di detta area nella zona di monte è costituita da areniti (PAT – PAT5 – PAT4) seguite da alternanze e marne silicee (CTG), alle quali soggiacciono litozone argillitiche – argillose (AVV-APA).

Le coperture quaternarie, sono costituite da depositi di versante eluvio colluviali di modesto spessore e riporti antropici ($1 \div 3/4$ m) e nelle zone a sud e sud est del comparto AP1 da accumuli di frana quiescenti ed attivi di spessore e dimensioni variabili.

Il complesso acquifero nella zona a settentrione di Via Grotte è costituito da rocce serbatoio (areniti) a permeabilità secondaria di grado medio basso ($K = 10^{-6} \div 10^{-7}$ m/sec); in tali rocce gli afflussi meteorici sul suolo si infiltrano attraverso i sistemi di frattura e defluiscono nel sottosuolo assecondando gli assetti dei giunti di stratificazione, in zona orientati in direttrice nord. A dette unità, soggiace la litozona

argillitica praticamente impermeabile, delle Argille Varicolori di Cassio – Argille a Palombini.

Le acque di infiltrazione nel sottosuolo che contribuiscono all'instaurazione di falda sotterranea defluiscono verso settentrione.

Ne consegue che nella zona a sud – sud est di via Grotte, area sede del Comparto Produttivo Boaro, la saturazione dei terreni è sostanzialmente correlata alle acque di precipitazione meteorica e ruscellamento superficiale.

Quanto esposto è in accordo con quanto riscontrato con l'assenza di acqua nei primi 5/7 m del sottosuolo nei fori di indagine geognostica eseguiti e con le forme dei corpi di frana riconducibili sostanzialmente a processi di rammollimento/colata che si sviluppano nei primi 2/4 m del sottosuolo.

FORME E PROCESSI

L'analisi delle morfologie preesistenti dell'area sede del Comparto Artigianale AP1, delimitato ad est - sudest della SS n° 63, ad ovest - nordovest da Via Grotte, è stata sviluppata in base all'esame delle basi cartografiche CTR.ER. scala 1:5.000 restituite in base ai fotogrammi del 1973 (CT Comunità Montana dell'Appennino Reggiano) con aggiornamenti al 1985 (CTR.ER.), fotogrammi STB RE BN/2004, Ortofotocarta AGEA¹ 2006, della Tavoletta IGM II° NE F°85 Castelnovo né Monti 1935 1:25.000, ingrandita alla scala 1:5.000 mediante processo digitale.

Dal confronto tra quest'ultima (scala 1:5.000), in considerazione della equidistanza: 25 m, del tipo di restituzione cartografica al 1935, delle modeste deformazioni per ingrandimento e del diverso dettaglio ed equidistanza tra la CTR e Tavoletta IGM, si evidenzia una sostanziale corrispondenza delle geometrie delle curve di livello del terreno tra le cartografie 1935 e del 1973 nel settore di versante interessato dai movimenti terra sito a nord del limite settentrionale dell'Area per Attività Produttive Boaro.

Da ciò si evince che la parte di pendio a nord di detto comparto, non è stata interessata da significative modificazioni della morfologia dal 1935 al 1985/2000.

L'assetto delle curve di livello nell'area ad uso produttivo AP1 è stato oggetto di modifiche morfologiche articolate in movimenti terre, effettuati prima del 1973, con la realizzazione di tratti di pendio a gradoni separati da ripiani, per la costruzione di fabbricati a uso agricolo, che hanno assecondato gli assetti topografici preesistenti.

La configurazione geometrica del settore di versante in oggetto è strettamente correlato alle caratteristiche litologiche delle rocce presenti tra Via Grotte e la SS 63.

La parte più settentrionale (via Grotte e zone a nord della stessa) è costituita dalle arenite della Formazione di Pantano che si contraddistinguono con morfologie a pendenze da 45° a sub verticali, conseguite ad attività estrattive pregresse di materiali lapidei, effettuate precedentemente al 1960, che originano vistose scarpate strutturali. Dette acclività diminuiscono rapidamente a 25°/27° a sud di via Grotte dove il substrato è costituito dalle marne silicee della Formazione di Contignaco. Queste ultime circa 60/70 m a sud est della sopracitata via sono sostituite dalle argilliti limose delle Argille Varicolori di Cassio, a minore grado relativo di resistenza all'erosione, che si caratterizzano con pendenze di 10°/12°.

Dette condizioni che generano deflussi delle acque di ruscellamento superficiale delle pendici arenitiche verso le litozone argillitiche hanno indotto

¹ www.agea.gov.it

processi di saturazione – rammollimento che hanno generato dissesti di frana di varia dimensione ed entità.

Nel versante a nord est dell'area artigianale, ai bordi della zona interessata dai movimenti terra, consolidamenti, la cartografia geologica RER e del dissesto del PTCP individuano due corpi di frana attiva di modesta entità e spessore e di tipo superficiale, che si estendono a monte della SS n° 63 per una lunghezza di 100/120 m e presentano larghezze di 15/20 m che si allargano a 40/50 m in corrispondenza di detta statale e si riducono a 20/30 m di larghezza a valle della stessa ed esauriscono 10/30 m più a sud.

I rilievi aereo fotogrammetrici STB RE 2004/BN, scala 1:14.500 circa, e l'Ortofotocarta AGEA 2006, evidenziano che a tali date erano già stati eseguiti i rimodellamenti del tratto di versante a nord – nordest del comparto artigianale AP1 evidenziati dall'esistenza del piazzale e della linea retta che identifica il muro di testa di collegamento dei pali, i terrazzamenti a monte di quest'ultima (proprietà: *Ferri – Emmegi*). Ne consegue che già precedentemente al 2004/2006 l'accumulo di frana attiva, adiacente al limite nord est del comparto Il Boaro, era assente. Nella fascia tra 20 e 40 m a monte della SS n° 63 detto dissesto non è più riconoscibile data la presenza di riporti antropici; analogamente nella striscia larga 25 m, tra 40 e 65 m a monte di detta SS i rimodellamenti ed opera di sostegno realizzata (paratia di pali), mascherano le morfologie preesistenti. Nel settore di pendio a monte del muro di sostegno/paratia l'accumulo di frana non più riconoscibile a seguito dei rimodellamenti/terrazzamenti antropici eseguiti.

Per quanto riguarda il corpo di frana attiva individuato 70/85 m a nord est del limite del comparto artigianale, ubicato in un settore di versante ad impluvio, le morfologie, pattern dei fotogrammi STB RE 2004/BN, le indagini geognostiche eseguite, evidenziano caratteristiche riconducibili a processi di tipo superficiale: primi 3/4 m del sottosuolo.

Le morfologie di insieme dell'area compresa tra SS n° 63 e via Grotte sono ascrivibili principalmente alle caratteristiche strutturali del pendio costituito da rocce a marcata diversità di resistenza all'erosione, disposte a reggipoggio rispetto alla sopracitata statale, ed ai diffusi accentuati interventi di rimodellamento antropico nel settore sede del Comparto Artigianale AP1 e fascia a nord dello stesso. Questi ultimi hanno assecondato le morfologie preesistenti realizzando superfici a ripiani sub orizzontali tra loro separati da scarpate con larghezza di 5/7 m e pendenze di 22°/26°, in brevi locali tratti 30°, che unitamente all'opera di sostegno (paratia) e trincee drenanti realizzati, hanno conferito condizioni di stabilità al versante in oggetto migliorative rispetto alle situazioni precedenti.



Interventi sul tratto di versante al bordo nord orientale dell'area artigianale Boaro**Stato di fatto**

Gli interventi di rimodellamento dei preesistenti profili topografici sono stati effettuati in una fascia a geometria sub trapezoidale estesa in direzione est ovest, iniziante al lato occidentale della SS n° 63, con lunghezza di 115 e 110 m rispetto ai lati sud e nord, larghezza di 100 m. al bordo est (lato adiacente alla SS n° 63) e di 65 m. al lato ovest (settore a monte della SS n° 63) (Tavv. 4/5).

La prima fase dei lavori si è articolata nella messa in opera di trincee drenanti, di seguito descritte più in dettaglio, nel tratto di versante a monte dell'esistente muro di sostegno, ubicato 60 ÷ 65 m ad ovest della SS n° 63 (Tav. 9).

Dette linee di drenaggio confluiscono ad un pozzetto di raccolta ubicato in corrispondenza dell'estremità nord est del sopracitato muro.

Da tale pozzetto le acque effluiscono mediante una trincea drenante allungata ovest est, sita al bordo settentrionale della proprietà Bertoletti, che raccoglie le acque di tre trincee drenanti con direzione sud nord realizzate nell'area sub pianeggiante utilizzata a piazzale deposito materiali.

La sopracitata linea drenante principale scarica le acque mediante tubazione libera nel settore di pendio al limite nord est dell'area piazzale (map. 490, F31) all'interno della proprietà, dal quale le acque corrono per deflusso naturale superficiale al pozzetto sito al bordo meridionale dell'opera di sostegno in gabbioni ubicato al lato ovest della SS n° 63.

Un'analoga linea drenante è stata realizzata al bordo sud della zona piazzale, in corrispondenza del limite del comparto il AP1, che scarica le acque mediante tubo libero, nel settore sud est dell'area piazzale (map 490, F31), all'interno della proprietà; da quest' ultimo le acque corrono per deflusso naturale sul terreno ad un pozzetto in fregio alla SS n° 63 sito a sud est del piazzale.

Successivamente alla realizzazione delle trincee drenanti è stata costruita una paratia di pali collegati in testa da trave e muro di sostegno (Tavv. 2-3-4), che si estende in direzione sud ovest - nord est con inizio dal bordo nord del comparto produttivo Boaro, a distanza di 60 m dalla SS n° 63, e che si prolunga per circa 73 m in verso nord est con termine nord che si attesta 65 m ad ovest della SS n° 63. Detta paratia (Tav. 10), di seguito descritta più in dettaglio, è costituita da pali in CLS armato realizzati in opera, con diametro medio reso di 60 cm ed interasse tra i centri delle teste di palo di 86 cm.

I pali hanno lunghezza di 7.0 m per un tratto di 24 m a partire dal bordo adiacente al limite nord del comparto AP1, nei successivi 11 m (sino a 35 m da inizio muro) le lunghezze dei pali corrispondono a 10.0 m, nei seguenti 23 m (sino a 58.2 m

da inizio muro) le lunghezze dei pali equivalgono a 7.0 m. Considerando lo spessore della trave di collegamento della testa dei pali le punte degli stessi sono attestate a -7,4 m e -10,4 m dal piano campagna.

Successivamente alla realizzazione delle trincee drenanti e della paratia di pali sono stati effettuati i riporti in terre limoso ghiaiose argillose con profilature in gradoni per un migliore utilizzo agricolo del settore di versante a monte della sopracitata paratia.

Tali interventi hanno conferito un assetto sub pianeggiante ripartito in due gradoni con larghezza di 7/8 m immediatamente a monte del muro e larghezza di 30/35 m da 15 m a 50 m a monte del medesimo. Detti ripiani sono raccordati da una scarpata con larghezza di 4/6 m, altezza di 2/2.5 m e pendenze di 23°/30°.

Il tratto di versante compreso tra il muro/paratia e la SS n° 63 è caratterizzato da una scarpata con pendenza di 25°/27° alta 2.5/3 m e larga 5/6 m, seguita da un ripiano largo 9/10 m utilizzato a pista, al quale fa seguito una scarpata con altezza di 3/4 m, larga 5/6 m, con pendenza 30°/32°.

La fascia che si estende da quest'ultima in direzione della SS n° 63 per una larghezza di 32/35 m. è sub pianeggiante 1°/2° ed è eseguita da una striscia larga 10 m con dislivello di 3.5/4 m e pendenza 20°/22° che raccorda l'area utilizzata a piazzale alla SS n° 63.

Il confronto tra l'assetto topografico del rilevamento con sistema GPS eseguito nel 2015 con quello dello stato precedente (Unico Disponibile CTR. ER 1:5.000, 1973/1985), è stato sviluppato assumendo come quote equivalenti quelle delle curve di livello dove non sono state apportate significative modifiche dell'assetto planimetrico: strade di accesso sud ovest dei capannoni dell'area per attività produttive AP1. Nella striscia orientale dell'area piazzale, larga 14/15 m, adiacente alla SS n° 63 sono stati effettuati riporti con spessore di circa 3.0/3.2 m che si assottigliano gradualmente a 2.0 – 1.0 – 0 con l'approssimarsi alla statale ed analogamente assumono valori nulli 25/30 m ad ovest della stessa. Nella fascia sud nord che si estende da 25/30 m a 45 m dalla statale in narrativa sono stati asportati terreni per uno spessore di 1 ÷ 2 / 2.5 m; simili condizioni si riscontrano nella zona sede della pista a valle del muro/paratia, dove il preesistente profilo topografico era sopraelevato di 0.5/1.0 m.

Nel settore di pendio a monte della sopracitata opera di sostegno l'assetto planimetrico è innalzato di 0.5/1.0/1.8 m rispetto ai precedenti assetti topografici per una fascia larga circa 10.0 m. A quest'ultima segue la scarpata di raccordo al ripiano più a monte che è stato realizzato riportando materiali per spessori che variano da 3/3.5 m a nella mezzeria della zona ovest a 1/1.2 m nella parte nord.

L'assetto planimetrico conseguito alla realizzazione delle trincee drenanti, paratia di pali, gradoni con ripiani sub orizzontali separati da scarpate con altezze di

2.0/2.5/3.5 m e pendenze 20°/25°/30°, evidenzia morfologie attuali del pendio in condizioni stabili e migliorative rispetto a quelle preesistenti gli interventi.

PROSPEZIONI GEOFISICHE

Per l'individuazione dell'assetto litostratigrafico e variazioni delle geometrie laterali e verticali delle unità litotecniche che costituiscono il settore di versante, largo 60/90 m adiacente al limite settentrionale del Comparto Artigianale AP1, sono state effettuate 5 prospezioni geofisiche elettriche, 4 basi sismiche a rifrazione, acquisite ed elaborate con metodo in tomografia 2D.

In tutti gli stendimenti dei profili sismici sono state generate sia onde sismiche di compressione (onde P) che di taglio (onde S).

Nel contesto di tali indagini, per definire le caratteristiche di risposta sismica dei litotipi che formano il versante, sono state effettuate 4 prospezioni a rifrazione con metodo integrato passivo/attivo Re.Mi/MASW, acquisizioni a stazione singola per determinare le frequenze proprie di vibrazione del sottosuolo ed individuare i principali contrasti di impedenza identificanti le diverse unità sismotecniche, con metodo Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr), prova sismica in foro di sondaggio con metodo Down Hole.

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 di 10 ed orizzontali da 4,5 Hz, disposti ad interassi di 4÷5 m, per lunghezza di indagine negli stendimenti variabili tra 100 m (Bs 1 – 3 - 4) e 120 m (Bs 2). L'energizzazione nel terreno si è effettuata con cannoncino esploditore ed una mazza da 10 kg battente su piastra lignea 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 ad 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*.

Le prospezioni geofisiche nei fori di sondaggio, attrezzati con tubo inclinometrico, sono state eseguite con metodo Down Hole con sistema di acquisizione a doppia terna con interasse dei geofoni di 1 m collegato al sismografo sopra descritto.

L'ubicazione delle indagini in sito è visualizzata nell'allegata Tav. 3 ed i risultati ottenuti dalle elaborazioni negli allegati profili in tomografia sismica, schede MASW/Re.Mi., HVSr, scheda 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, ovvero delle onde di compressione e dilatazione (onde P), che sono le più veloci tra le diverse onde elastiche che si propagano nel sottosuolo e delle 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, dalla densità e dal grado di saturazione dei materiali che influisce sulle onde P incrementandone i valori; detti effetti sono inoltre indotti 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 traveltime* – 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: BSp, BSs, da 1 a 4, 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 e di taglio V_s in funzione della profondità degli orizzonti sismotecnici dal piano campagna.

Analisi prospezioni in tomografia sismica

Profilo BS1 sud – nord – trasversale al versante

Il profilo sismico 2D eseguito a distanza di 15/25 m ad ovest (monte) dell'esistente paratia, evidenzia la presenza di una prima unità litotecnico/sismica con velocità di propagazione delle onde sismiche di compressione e di taglio, rispettivamente $V_p=400/600$ m/sec e $V_s = 200/250$ m/sec, correlabile a terreni a medio basso grado di addensamento e consistenza, con spessore variabile tra 3 e 5 m nel tratto sud orientale tra 1 e 2 m nella parte nord orientale.

Tali materiali attribuibili a terreni di riporto, depositi di versante, accumulo di frana, evidenziano gli spessori maggiori: 3/5 m nel settore di versante nel quale sono state effettuate le riprofilature del pendio e la messa in opera delle trincee drenanti, che si estende in direzione nord per una lunghezza di 60 m rispetto al limite settentrionale dell'Area Artigianale AP1; successivamente in direzione settentrionale si rinviene la scarpata con altezza di 2 m che separa la zona oggetto dei rimodellamenti del pendio da quella nei quali non sono stati effettuati.

In quest'ultima gli spessori di detta unità a basso grado di addensamento/consistenza corrispondono mediamente a 2 m e sono correlabili ai terreni della parte occidentale dell'accumulo di frana attiva visualizzato nella carta del dissesto PTCP/Inventario delle Frane RER (testa di frana).

Superati i primi 3/5 m pc nella parte sud ovest e 2 m pc nella parte nord est si riscontra un'unità litotecnica e sismica caratterizzata da $V_p = 600/1400$ m/sec e $V_s = 250/300$ m/sec, correlabile a litotipi di substrato argilloso – argillitico a medio -

medio elevato grado di addensamento e consistenza; tale orizzonte presenta moderata variabilità degli spessori che oscillano tra 3/4 m nella parte meridionale del profilo (zona oggetto del rimodellamento) a 2/3 m nella parte nord; è riscontrabile sino a -8/-9 m pc nella zona sud e 4/5 m pc nella parte nord.

Alle quote sottostanti si rileva un orizzonte caratterizzato da $V_p = 1400/2400$ m/sec e $V_s = 300/800$ m/sec, a pronunciata variabilità laterale in spessore che corrisponde a 14/16 m nella zona meridionale ed a 20/22 m nella parte settentrionale nella quale tra -15 e -21 m pc si riscontra un'inversione di velocità.

Tali litotipi sono correlabili a substrato argillitico consistente che si arricchisce in componenti argillose nella zona con presenza di inversione di velocità (zona nord est); si riscontrano sino a -19/-20 m pc nel settore meridionale e -24/-26 m pc nella zona settentrionale.

Alle profondità sottostanti sono presenti materiali con $V_p = 2400/4200$ m/sec e $V_s = 900/1200$ m/sec correlabili a substrato consistente attribuibile nella parte meridionale ($V_p = 3000/4200$ m/sec) alle alternanze marnoso calcaree del Flysch di Monte Cassio che per contatto tettonico passano in direzione settentrionale alla sequenza argillitiche.

Profili BS4 sud nord – trasversale al versante

Il profilo sismico 2D, eseguito a distanza di 4 m dal lato ovest dell'esistente paratia, è caratterizzato da un'unità sismica con $V_p = 400/800$ m/sec e $V_s = 200/250$ m/sec, correlabile a termini a medio basso – basso grado di addensamento e consistenza attribuibili a materiali di riporto – depositi di versante – argilliti detensionate; tale orizzonte è contraddistinto da pronunciata variabilità laterale in spessore che oscilla tra 1,5/2 m nella parte sud occidentale del profilo a 4/5 nella zona centrale a 2/3 m nella porzione nord orientale.

Successivamente è presente un'unità con $V_p = 900/1600$ m/sec e $V_s = 250/300$ m/sec, con assetto geometrico analogo a quella dell'orizzonte sovrastante, contraddistinta da spessori di 2/3 m nella parte sud occidentale del profilo, 3/4 m nella porzione centrale, 2/3 m nella zona settentrionale; tale substrato è correlabile a termini argillitici (AVV) a medio elevato grado di addensamento e consistenza con spessore variabile lateralmente; detto orizzonte è riscontrabile sino a -3/-4 m pc nella parte occidentale, a -6/-8 m pc nella zona centrale, a -5/-6 m pc nella porzione nord orientale.

Alle profondità sottostanti si riscontrano litotipi con $V_p = 1600/2400$ m/sec e $V_s = 300/500$ m/sec, a moderata variabilità laterale in spessore correlabili a materiali a medio – medio elevato grado di addensamento e consistenza attribuibili a substrato argillitico consistente (APA). Tale unità si rinviene sino a -12/-14 m pc.

Successivamente a detta profondità sono presenti litotipi con $V_s = 500 \div >1000$ m/sec attribuibili ad argilliti a medio elevato – elevato grado di addensamento e consistenza che alle profondità sottostanti 38/40 m pc sono con tutta probabilità correlabili al paesaggio alle alternanze calcareo marnose del Flysch di Monte Cassio.

Profilo BS3 sud nord – trasversale al versante-zona piazzale

Il profilo sismico 2D, eseguito 25/30 m ad est (valle) dell'esistente paratia e 35/40 m ad ovest della SS n° 63, è stato effettuato nella zona sede dell'esistente piazzale nella quale sono stati asportati i materiali precedentemente presenti.

La sezione in tomografia sismica evidenzia la presenza di un primo strato con spessore di 0,5/1,0 m con $V_p = 800/1000$ m/sec e $V_s < 200$ m/sec attribuibile a materiali ghiaioso sabbioso limosi di sottofondo piazzale.

Superati i primi 0,5/1,0 m del piano campagna è rinvenibile un'unità litotecnico/sismica contraddistinta da $V_p = 1000/1600 \div 1800$ m/sec e $V_s = 300/400$ m/sec correlabili a litotipi a medio elevato grado di addensamento e consistenza attribuibili a substrato argillitico a contenuto carbonatico (APA); gli spessori corrispondono a 2 m nella parte sud occidentale e centro occidentale del profilo sismico ed incrementano a 4/5 m nella zona centro orientale; tale unità si rinviene sino a -2,0/-3,5 m nel settore sud occidentale e centro occidentale e sino a -4,0/-6,0 m nella zona centro orientale e nord orientale.

Successivamente si riscontra un orizzonte a sensibile variabilità laterale delle velocità di propagazione delle onde sismiche contraddistinto da $V_p = 1600/2400$ m/sec e $V_s = 400/500 \div 600$ m/sec nel tratto lungo 20/25 m della parte occidentale del profilo e caratterizzato da $V_p = 1600/1800 \div 2000$ m/sec e $V_s = 400/600$ m/sec nella zona centrale e nord orientale dello stesso nella quale si riscontrano inversioni di velocità a profondità tra -7 e -10/-12 m pc. Tali valori sono correlabili a litotipi di substrato argillitico consistente a variabilità laterale delle componenti litologico composizionali.

Gli spessori variano tra 4 e 6 m nel settore sud occidentale centro occidentale ed incrementano a 6,0/10 m nella zona centro orientale – nord orientale; si rinviene rispettivamente sino a -8/-10 m pc ad ovest e -10/-12 m pc nella zona centrale e nord orientale.

Alle profondità sottostanti seguono litotipi con $V_s = 600/1000$ m/sec nella zona sud occidentale- centro occidentale e $V_s = 600/900$ m/sec nella parte centro orientale – nord orientale. Tali valori sono correlabili a litotipi di substrato argillitico carbonatico consistente.

Profilo BS2 ovest est longitudinale al pendio

Il profilo in tomografia sismica 2D è ubicato a distanza di 23/28 m dal limite settentrionale del Comparto Produttivo AP1 e si stende secondo la linea di massima pendenza del versante.

La sezione sismica evidenzia la presenza di una prima unità con $V_p=400/600\div800$ m/sec e $V_s = 200/400$ m/sec a marcata variabilità laterale in spessore che oscilla tra 3 e 5 m nella parte sud occidentale del profilo (zona ovest – monte dell'esistente paratia) e spessore medio di 2 m con zone nelle quali è inferiore a 0,5 m nella parte ad est (valle) della paratia. Nel primo tratto del profilo: settore occidentale, tali valori sono correlabili a materiali di riporto – depositi di versante – accumulo di frana a medio basso – medio grado di addensamento e consistenza, nella parte orientale (valle paratia – zona piazzale) sono attribuibili a materiali di riporto (spessore 1,5/2,0 m) e di sottofondo piazzale (spessore 0,5/1,0 m) a luoghi sostituiti dal substrato argillitico: $V_p = >800$ m/sec – $V_s = 350/400$ m/sec.

Successivamente si riscontra un orizzonte con $V_p = 800/2000$ m/sec e $V_s=360/500\div600$ m/sec a pronunciata variabilità laterale in spessore; quest'ultimo oscilla tra 8 e 12 m nella parte occidentale del profilo (monte della paratia) nella quale si riscontrano inversioni di velocità tra -9 e -15 m pc; nella zona centrale orientale ed orientale (valle paratia) gli spessori variano tra 4 e 6/7 m ed incrementano a 7/8 m all'estremità est del profilo. Tali valori sono correlabili a substrato argillitico a medio – medio elevato grado di addensamento e consistenza a variabilità laterale nelle componenti litologico composizionali; detto orizzonte si riscontra sino a -10/16 m pc nella zona occidentale (monte paratia) e sino a -6/-8 m pc nella parte centrale ed orientale (valle paratia - piazzale).

A tali profondità seguono litotipi con $V_p = 2000/3000\div3400$ m/sec e $V_s=500/800$ m/sec correlabili a substrato argillitico a medio elevato – elevato addensamento e grado di consistenza e ad alternanze marnoso calcaree per le unità di strato con $V_p >3000$ m/sec.

Tale orizzonte si riscontra sino a -16/-20 m pc ed i livelli marnoso calcarei a profondità sottostanti -20/-22 m pc nella zona occidentale ed a -15/-16 m pc nella parte centrale del profilo.

PROSPEZIONI TOMOGRAFIA ELETTRICA

Per esaminare l'assetto spaziale delle unità litotecniche ed il grado di saturazione dei terreni che formano i primi 15/20 m del sottosuolo, ad integrazione delle prospezioni di tomografia sismica, sono stati effettuati cinque profili con metodo geoelettrico con sistema di disposizione e acquisizione dei dati per elaborazione con procedura di tomografia elettrica verticale 2D (ERT).

La strumentazione utilizzata è costituita da un georesistivimetro a 256 canali di acquisizione per indagini di resistività e polarizzazione indotta, *SAS 4000 ABEM*, dotata di selettore *Lund ES 464* per acquisizione automatica multielettrodo. Gli stendimenti sono stati effettuati posizionando 64 elettrodi disposti ad interspazi di 1 m in ERT3 e di 2 m in ERT1 – ERT2 – ERT4 – ERT5, adottando la configurazione elettrica quadripolare *Wenner alfa*.

L'ubicazione dei profili di prospezione effettuati è visualizzata nell'allegata Tavola 3 – Planimetria Ubicazione Indagini.

Le lunghezze degli stendimenti, in funzione delle possibilità operative variano 87/108/110/126 m in ERT 1-2-4-5 e corrispondono a 47 nel profilo ERT 3, per un totale di 478 m di stendimento; tali indagini hanno consentito di individuare l'assetto geometrico delle alternanze degli orizzonti di riporto, limoso argilloso con clasti litici e delle zone nelle quali sono state realizzate le trincee drenanti, dei depositi eluvio-colluviali, delle unità argillitiche – argilloso limose di substrato sino a profondità di -16/-20 m pc in ERT 1-2-4-5 e di -7/-8 m in ERT 3.

Scala di resistività

Dal raffronto tra i valori di resistività evidenziati dalle prospezioni in tomografia elettrica con il sondaggio meccanico eseguito in sito, indagini penetrometriche, e l'analisi dei litotipi osservabili nelle scarpate dei gradoni, la scala di resistività dei materiali presenti nell'area in esame è schematicamente discretizzabile come di seguito esposto:

Resistività	Caratteri litologici
<i>12/18 ohm·m</i>	Termini prevalentemente limoso argillosi, limoso sabbioso argillosi, argilliti, talora con clasti calcarei – arenitico calcarei, sature, ghiaie sature.
<i>6/10 ohm·m</i>	Argille limose – limi argillosi con presenza di clasti calcarei – arenitico calcarei, con grado di saturazione $S_r = 80 - 85\%$, con presenza subordinata di blocchi arenitico siltosi.
<i>11/20 ohm·m</i>	Argille limose - argilliti con presenza di clasti calcarei, insature ($S_r < 80\%$).
<i>20/45 ohm·m</i>	Limi argilloso sabbiosi contenti clasti ghiaiosi areniti calcarei, argille limose – argilliti non sature con diffusa presenza di clasti e blocchi calcarei.
<i>>46 ohm·m</i>	Riporti limoso sabbiosi argillosi con diffusa presenza di clasti ghiaiosi da medio grossolani ai blocchi, insaturi.

Analisi prospezioni di tomografia elettrica

Profilo ERT TM1

La sezione tomografica ERT. 1, effettuata in corrispondenza del settore di versante adiacente il limite settentrionale dell'Area per Attività Produttive AP1, nel quale la carta del dissesto del PTCP visualizza la presenza di una frana attiva, è caratterizzata nei primi 1,5/2/3 m dal piano campagna del tratto sud occidentale e centrale: progressive 0/57, da pronunciata variabilità laterale dei valori di resistività che evidenziano la presenza di materiali di riporto limoso argilloso ghiaiosi che formano un cuneo che aumenta in spessore da 0/0,5 m in corrispondenza di DPSH 9 a 2,7/3 m in prossimità della DPSH 8; successivamente superata la scarpata dei riporti antropici (progressive 59/63) e sino al muro di testa della paratia i valori di resistività medio bassi $\rho = 13/20/30 \text{ ohm}\cdot\text{m}$ dei primi 0,5/1,0 m dal piano campagna denotano un ridotto spessore dei riporti e la prossimità al piano campagna del substrato argillitico.

Il settore del profilo a valle del muro/paratia, dalla progressiva 77 alla 87, contraddistinto da $\rho = 8/13 \text{ ohm}\cdot\text{m}$, evidenzia condizioni di substrato argillitico non saturo sub affiorante conseguito all'asporto dei terreni preesistenti per uno spessore di 1/2,5 m

I valori di resistività prevalentemente corrispondenti a $\rho = 6/13 \text{ ohm}\cdot\text{m}$ alle quote di -1/-3 m, sottostanti l'unità costituita dai riporti sopra descritti, riscontrabili sino a -4/-6 m pc, sono ascrivibili al substrato argillitico non saturo. In tale orizzonte i bassi valori di $\rho = 3/4 \text{ ohm}\cdot\text{m}$, osservabili tra le progressive 38/39 a profondità di -3/-4 m dal piano campagna esistente, sono correlati alla presenza di una trincea drenante sotterranea realizzata precedentemente alla messa in opera dei riporti. I prevalenti bassi valori di resistività $\rho = 8/13 \text{ ohm}\cdot\text{m}$ riscontrati alle profondità sottostanti -3/-4 m pc e sino a -16/-20 m pc, sono attribuibili al substrato argillitico; in tale unità si distinguono i bassi valori di $\rho = 3/4 \text{ ohm}\cdot\text{m}$ tra le progressive 71/76, riscontrati a profondità sottostanti -3/-3,5 m pc, correlati ad incremento del grado di saturazione delle argilliti connesso alla limitazione delle possibilità di deflusso idrico nel sottosuolo indotto dai pali della paratia.

Profilo ERT TM2

I valori medio elevati di resistività $\rho = 30/40 \div 100 \text{ ohm}\cdot\text{m}$ del settore sud orientale e centrale della sezione: progressive 0/58, che caratterizzano i primi 2/3 \div 4 m del sottosuolo, descrivono la presenza di un orizzonte costituito da riporti antropici con spessore che aumenta da 2 a 3/ 4 m in direzione da sud ovest a nord est. Il tratto nord orientale del profilo: progressive 60/100, contraddistinto da quote più basse di

-4/-3 m rispetto al tratto sud occidentale, è caratterizzato nei primi 2/3 m del sottosuolo da valori di resistività medio bassi: $\rho = 8/13 \div 20 \text{ ohm}\cdot\text{m}$ ascrivibili a terreni limoso argillosi non saturi nel campo $20 \text{ ohm}\cdot\text{m}$ e parzialmente saturi per i valori di $\rho = 8/13 \text{ ohm}\cdot\text{m}$.

Fa eccezione a ciò l'anomalia con $\rho = 3/4 \text{ ohm}\cdot\text{m}$ riscontrata all'estremità sud est tra le progressive 6/7 che evidenzia la presenza di una trincea drenante tra -1/-2 m pc.

Alle profondità sottostanti -3/-4 m pc e sino a -15/-20 m pc i valori di resistività bassi: $\rho = 8/13 \text{ ohm}\cdot\text{m}$, progressive 60/110, e medio bassi: $\rho = 13/20 \text{ ohm}\cdot\text{m}$, progressive 0/58, ad eccezione dei minimi di $3/4 \text{ ohm}\cdot\text{m}$ alle progressive 12/14 e 54/56, evidenziano la presenza di substrato argillitico con grado di saturazione inferiore nel tratto sud occidentale e centrale.

I sopracitati valori di minimo alle progressive 12/14 e 54/56 rispettivamente alle profondità di -3/-4,5 m pc e di -3,5/-5 m pc sono correlati alla presenza di trincee drenanti sotterranee sature realizzate precedentemente alla messa in opera dei riporti.

Profilo ERT TM5

Il settore sud occidentale, progressive 0/25, contraddistinto da valori di resistività bassi $\rho = 8/13 \text{ ohm}\cdot\text{m}$, evidenzia nei primi 0,5/1 m dal piano campagna la presenza di riporti limoso argillosi di modesto spessore; questi ultimi aumentano in potenza a 1/1,2 m procedendo in direzione nord est, progressive 25/60, ed incrementano nei valori di resistività a $\rho = 13/20 \text{ ohm}\cdot\text{m}$ indicano l'arricchimento in componenti litiche dei riporti. Il tratto nord orientale della sezione, progressive 62/108 è caratterizzato da medi - medio elevati valori di resistività $\rho = 13/20/30 \text{ ohm}\cdot\text{m}$ evidenziando la presenza di litotipi limoso argillosi sabbiosi non saturi ed aerati nel primo metro dal piano campagna.

Alle profondità sottostanti sino a -10 ÷ -12/-18 m pc si riscontrano prevalentemente valori di resistività $\rho = 6/13 \text{ ohm}\cdot\text{m}$, attribuibili a substrato argillitico a basso grado di saturazione.

Fa eccezione la zona a resistività molto bassa $\rho = 3/4 \text{ ohm}\cdot\text{m}$ tra le progressive 26/37, che evidenzia locali condizioni di saturazione delle argilliti.

Profilo ERT TM4

I valori medi – medio elevati $\rho = 19/30 \text{ ohm}\cdot\text{m}$ che caratterizzano i primi 2,5/3,3 m del sottosuolo ad eccezione dei minimi di $3/4 \text{ ohm}\cdot\text{m}$ alle progressive 5/7 e 59/60, evidenziano la presenza di materiali di riporto limoso argilloso ghiaiosi non saturi; i sopracitati minimi alle progressive 59/60 presenti tra -2 e -3 m pc sono correlati alla presenza di trincee drenanti sotterranee.

L'orizzonte sottostante tra -2/-3 e -12/-16 m pc, caratterizzato da bassi valori di resistività $\rho = 6/12 \text{ ohm}\cdot\text{m}$, è attribuibile al substrato argillitico.

Profilo ERT TM3

Nel settore sud occidentale del profilo, zona di scarpata, ad eccezione della sommità e del piede, i valori di resistività medio bassi $\rho = 13/20 \text{ ohm}\cdot\text{m}$, evidenziano la presenza del substrato argillitico sub affiorante; analoghe caratteristiche si riscontrano dalla progressiva 7 alla 16. I valori di $\rho = 30/40 \text{ ohm}\cdot\text{m}$ in sommità alla scarpata: progressive 0/3, sono ascrivibili a riporti limoso argillosi ghiaiosi; i valori di $30/40 \text{ ohm}\cdot\text{m}$ al piede della scarpata occidentale: progressive 5/6 sono correlati alla presenza di una trincea drenante ghiaiosa superficiale, -0,5/-1 m p, non satura.

L'unità superficiale con spessore di 0,5/0,7 m del settore centrale e nord orientale della sezione: progressive 14/47, contraddistinta da elevati valori di resistività $\rho = 30/40 \div 100 \text{ ohm}\cdot\text{m}$, denota la presenza di materiali ghiaioso sabbioso limosi di riporto. Analoghe caratteristiche sono attribuibili ai materiali che formano l'orizzonte con spessore di 2/3 m che costituisce la scarpata nord orientale adiacente alla SS 63.

L'unità sottostante il primo metro dal piano campagna è prevalentemente caratterizzata da bassi valori di resistività $\rho = 6/13 \text{ ohm}\cdot\text{m}$ attribuibili al substrato argillitico ad eccezione delle zone con resistività molto bassa $\rho = 3/4 \text{ ohm}\cdot\text{m}$ tra le progressive 19/20, 24/26, 28/29, riscontrate a profondità tra -1 e -2/-2,5 m pc correlate alla presenza di trincee drenanti sotterranee sature. Fanno inoltre eccezione le zone con $\rho = 30 \text{ ohm}\cdot\text{m}$ tra le progressive 17/20 e 26/29 e con $\rho = 30/40/100 \text{ ohm}\cdot\text{m}$ tra le progressive 33/40, presenti tra -3/-4 e -8 m pc, correlabili a materiali prevalentemente litici inclusi nelle argilliti.

PROSPEZIONI SISMICHE ATTIVE / PASSIVE (MASW / Re.Mi.)

In corrispondenza degli stendimenti sismici a rifrazione sono state eseguite prospezioni geofisiche con metodo integrato attivo - passivo (MASW/Re.Mi.), per la rilevazione in profondità della velocità di propagazione delle onde di taglio Vs, finalizzata sia alla valutazione dell'azione sismica che all'individuazione dei contrasti di impedenza che si determinano al passaggio tra unità litotecniche a diverse caratteristiche di consistenza che al riconoscimento dell'unità che costituisce il substrato o bedrock sismico locale.

Dette 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 4-5 m per lunghezze totali di stendimento di 96-120 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 da ricevitori posti a distanza variabile in rapporto alla lunghezza dell'antenna di rilevazione.

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 30-80/100 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. per ciascun stendimento 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 V_s 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 per ciascun stendimento. Tali risultati sono sintetizzati, unitamente ai valori di V_s e $V_{s_{30}}$ nelle seguenti tabelle:

Re.Mi./MASW 1	
Profondità da p.c. (m)	Vs (m/sec)
0 ÷ 2,6	90
2,6 ÷ 10	400
10 ÷ 26	590
26 ÷ 33	610
33 ÷ INF	640
Vs30 = 370 m/sec	

Re.Mi./MASW 2	
Profondità da p.c. (m)	Vs (m/sec)
0 ÷ 4	190
4 ÷ 17	560
17 ÷ 26	
26 ÷ 71	1130
71 ÷ INF	1200
Vs30 = 525 m/sec	

Re.Mi./MASW 3	
Profondità da p.c. (m)	Vs (m/sec)
0 ÷ 2,8	210
2,8 ÷ 5	320
5 ÷ 17	590
17 ÷ 60	830
60 ÷ INF	1060
Vs30 = 534 m/sec	

Re.Mi./MASW 4	
Profondità da p.c. (m)	Vs (m/sec)
0 ÷ 3	110
3 ÷ 6	270
6 ÷ 10	460
10 ÷ 15	620
15 ÷ INF	680
Vs30 = 389 m/sec	

MICROTREMORI CON LA TECNICA HVSR

Nel tratto di versante in analisi sono state eseguite quattro acquisizioni di microtremori ambientali mediante un sismometro *SARA GeoBox* ad elevata dinamica (24 bits) attrezzato con geofono tridirezionale da 4,5 Hz di frequenza propria e sismometro *TROMINO* con caratteristiche equivalenti.

Le acquisizioni sono state effettuate campionando il segnale a 100 Hz per una durata di circa 30 minuti.

Le condizioni locali, presenza di assi viari principali: SS n° 63, area artigianale, contraddistinte da “rumori di fondo” ad ampiezza e frequenze variabili, hanno sensibilmente disturbato l’acquisizione dei segnali di microtremore; questi ultimi nelle successive fasi di elaborazione mediante adeguamento filtraggio hanno comunque consentito di individuare picchi di amplificazione significativi.

I dati registrati sono stati elaborati con la tecnica HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*). Il principio della metodologia è basato sulla condizione 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 coincidenza 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.

Dall’esame dei dati risultano picchi di amplificazione sia principali che di ordine inferiore con ampiezze A: $2,3 \div 4,9$, ai quali corrispondono frequenze come visualizzato nella tabella di seguito esposto:

HV n°	Frequenza principale f0	Frequenza 2° ordine f2	Frequenza 3° ordine f3
1	3,8 (3,6)	6,7 (2,7)	9,5 (2,6)
2	3,7 (4,5)	15 (3,8)	-
3	4,15 (2,3)	-	-
4	4,6 (4,9)	3,6 (4,5)	-

Picchi principali HV (tra parentesi il valore di ampiezza)

PROSPEZIONE DOWN HOLE

Per una più dettagliata analisi della verticale sismostratigrafica del sottosuolo, è stata effettuata una prospezione sismica con metodo Down-Hole nel foro del sondaggio, utilizzando un sistema a doppia terna di geofoni disposti ad interasse 1 m che consente di eliminare l'influenza dei segnali indotti dagli spessori degli strati di terreno tra la sorgente impulso e sisma di registrazione; quest'ultimo con ancoraggio pneumatico è stato utilizzato eseguendo misurazioni per avanzamenti di 1,0 m.

L'energizzazione in superficie si è attuata con impulsi laterali su piastra lignea, resa solidale al terreno, ed impulsi verticali su piastra in alluminio.

Le registrazioni dei segnali sono state effettuate mediante sismografo da 24 bit mod. *Geometrics Geode* le cui caratteristiche sono state precedentemente descritte.

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 litotecnico – meccanico e della risposta sismica.

Il metodo down hole (DH) utilizza la misurazione del tempo di percorso delle onde P ed S nel tragitto tra la sorgente sismica, posta in superficie, e i ricevitori, 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 verticale, pertanto la loro velocità apparente corrisponde a 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 sempre ad una certa distanza d (non trascurabile) 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:

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

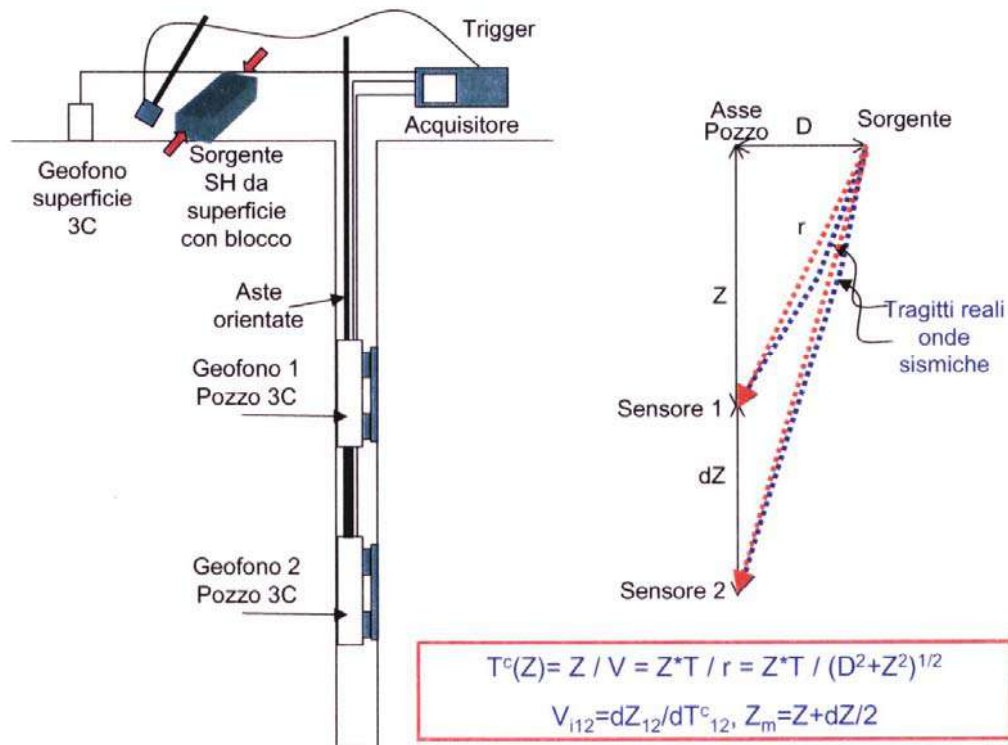
dove:

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

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 S1-2015

Profondità (m)	Vp (m/sec)	Vs (m/sec)
1	1318	293
2	1255	290
3	1409	268
4	2033	331
5	2221	366
6	2600	471
7	2337	363
8	2398	409
9	2426	357
10	2441	542
11	1971	445
12	2193	543
13	2465	802
14	2470	936
15	2203	606
16	2476	940
17	2479	654
18	1991	680
19	2485	850

ANALISI DI TERZO LIVELLO – MICROZONAZIONE SISMICA

Risposta sismica locale

La valutazione degli effetti di sito è stata desunta da analisi di risposta sismica locale facendo riferimento ai risultati della prospezione geofisica con metodo Down Hole (DH S1 2015 – zona a valle della paratia) e prospezione Re.Mi./MASW 4 (zona a monte della paratia).

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.

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.

Gli input sismici utilizzati corrispondono ai 3 accelerogrammi messi a disposizione dalla Regione Emilia Romagna <http://www.regione.emilia-romagna.it/wcm/geologia/canali/sismica.htm> integrati da ulteriori sette accelerogrammi selezionati nell'ambito degli studi di microzonazione del territorio comunale di Castelnovo ne' Monti ("*Castelnovo ne' Monti: analisi di pericolosità sismica*", CNR/RER Marzo 2004, a cura di Marco Pagani, Alberto Marcellini con la collaborazione di Rossella Daminelli, Luca Martelli RER, Gian Pietro Mazzetti Centrogeo).

Per le leggi di variazione normalizzata del modulo di taglio e del rapporto di smorzamento si è fatto riferimento, oltre alle curve di bibliografia, ai dati ottenuti dalle prove dinamiche su campioni indisturbati contenuti in: "Studio di microzonazione sismica relativo all'area di Castelnovo né Monti danneggiata dall'evento sismico in data 21/06/2013, in via Fontanaguidia" – Dr. Paolo Beretti, 2014, ed a quelli esaminati in : "Variante di Ponte Rosso in Comune di Castelnovo ne' Monti" – Progetto Esecutivo 1° Stralcio" – Analisi geologico-tecniche integrative – Geolog - Luglio 2012.

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 50 anni che per il comune di Castelnovo ne' Monti corrisponde a:

$$a/g = 0,165$$

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 da dati bibliografici per litotipi simili a quelli dei terreni 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.

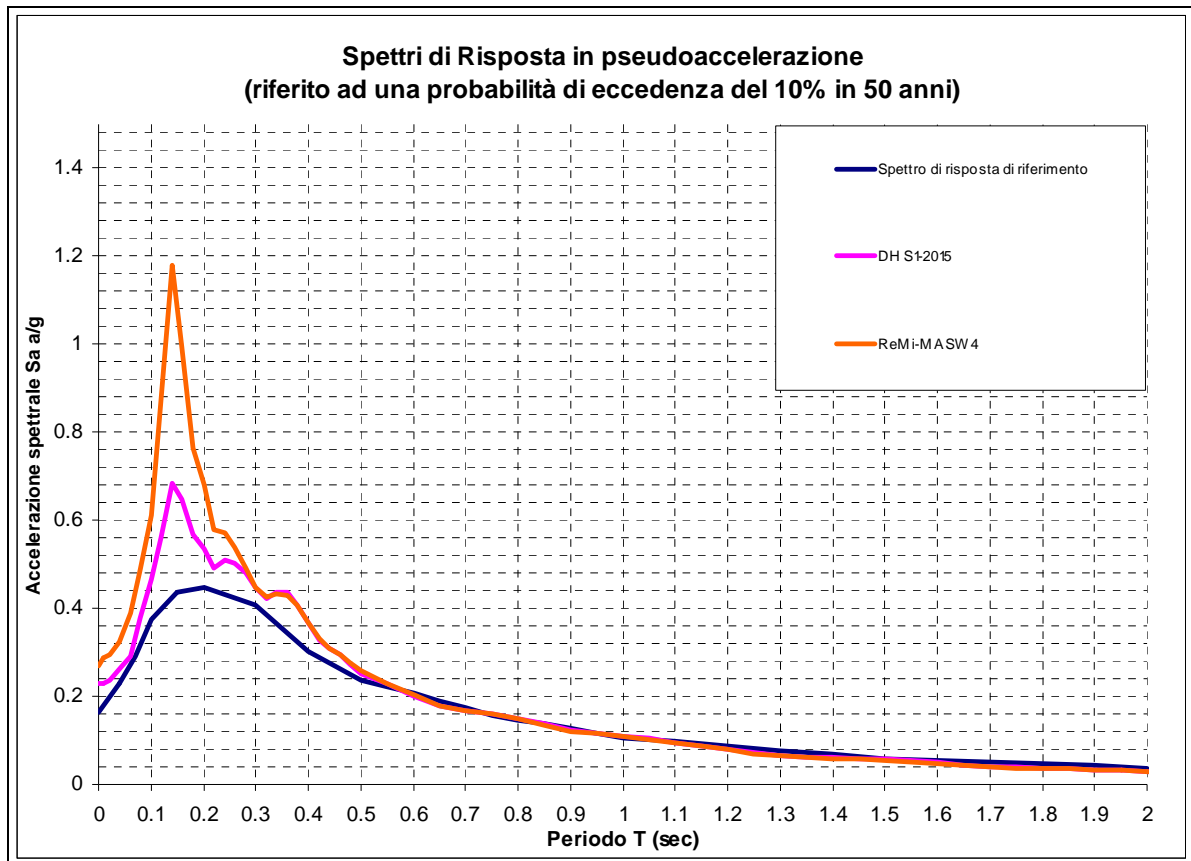
Le elaborazioni sono state effettuate per le successioni sismostratigrafiche identificate nel down-hole eseguito nel foro di sondaggio S1 (zona a valle della paratia) e nella successione identificata nella Re.Mi./MASW 4 eseguita a monte della paratia.

La profondità del bedrock sismico è stato definito dall'unità a velocità corrispondente a 680/750 m/sec.

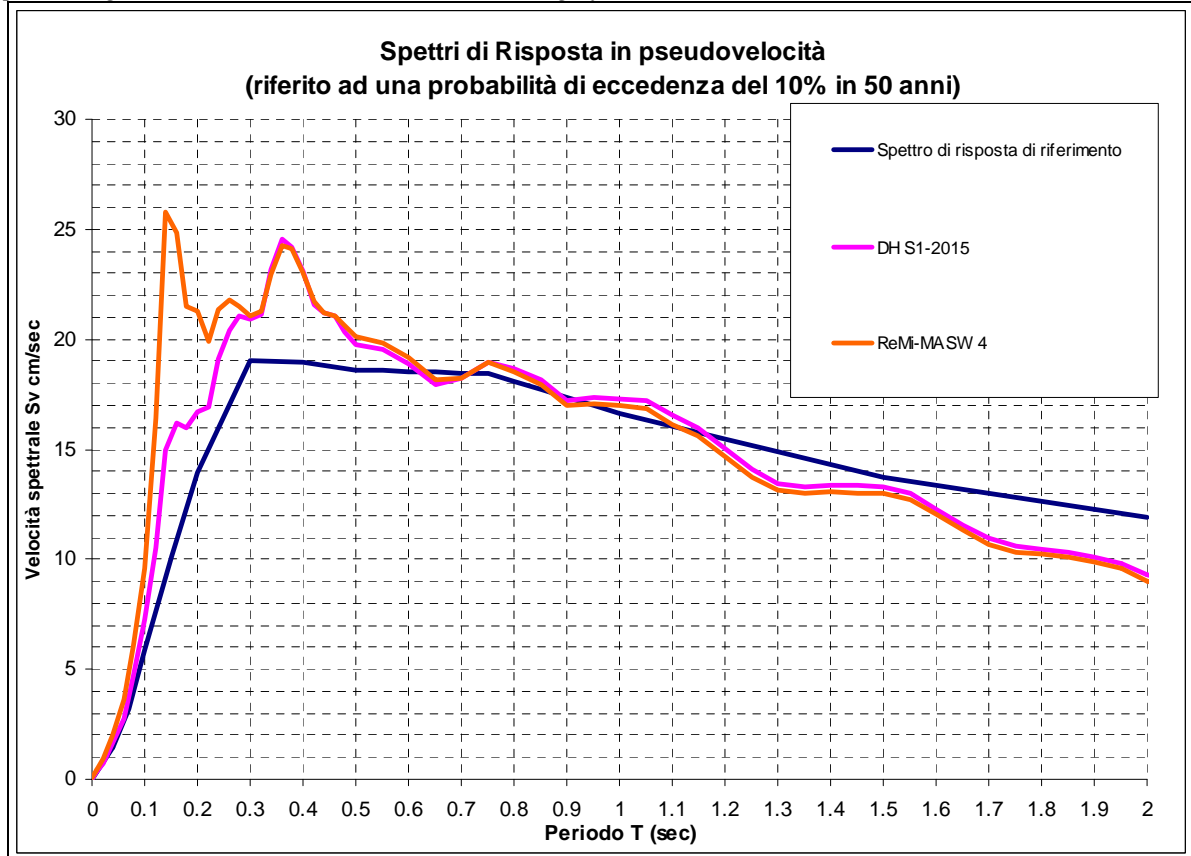
I risultati sono riassunti nei seguenti grafici in cui sono inserite le medie delle accelerazioni spettrali (pseudoaccelerazione) e velocità spettrali (pseudovelocità) relative alle 2 verticali analizzate.

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.



Spettri di risposta in superficie in termini di pseudoaccelerazione definiti 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%).

Il sito in esame risulta caratterizzato da un comportamento sismico differenziato tra la zona a monte e quella a valle della paratia, in funzione dello spessore di terreni che ricoprono il substrato sismico. Entrambe le zone presentano uno spettro di risposta in superficie con i valori di picco massimi in corrispondenza dei periodi $T = 0,1 - 0,2$ sec, con accelerazioni corrispondenti a $0,68$ g per la zona di valle (DH S1) e corrispondenti a $1,19$ g nella zona di monte (RM-MW 4). Detta differenza di accelerazione è correlata al maggiore spessore di terreni di riporto/deposito nel tratto di versante a monte della paratia. Differente comportamento in occasione di sollecitazione sismica si rileva anche nell'esame degli spettri in pseudovelocità, dove si osserva un picco massimo tra $0,3$ e $0,4$ sec, con valori corrispondenti a 24 cm/sec nella zona di valle (DH S1) ed un andamento bimodale con due picchi rispettivamente tra $0,1-0,2$ sec e $0,3-0,4$ sec con valori di pseudovelocità di 26 e 24 cm/sec in corrispondenza della zona di monte (RM-MW 4). Tale differenza di comportamento si traduce in una maggiore amplificazione sismica ai bassi periodi $T < 0,5$ sec, mentre per periodi superiori il comportamento in occasione di sollecitazione dinamica è pressoché identico.

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:

$$SI = \int_{T_1}^{T_2} PSV(T, \xi) dt$$

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

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

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

I risultati ottenuti sono riportati nelle seguenti tabelle.

Periodo T (sec)	FA IS/accelerazione spettrale (g)	
	DH S1-2015	RM-MW4
0 (FA PGA)	1.38/0,228	1.68/0,269
0,1 – 0,2	1.39/0,58	2.13/0,85
0,2 – 0,3	1.17/0,49	1.32/0,55
0,3 – 0,4	1.21/0,42	1.24/0,42
0,4 – 0,5	1.12/0,30	1.17/0,31
0,5 – 0,6	1.05/0,23	1.10/0,23
0,6 – 0,7	0.99/0,18	1.03/0,18
0,7 – 0,8	1.02/0,16	1.05/0,16
0,8 – 0,9	1.02/0,14	1.04/0,13
0,9 – 1,0	1.02/0,12	1.03/0,12
1,0 – 1,1	1.04/0,10	1.05/0,10
1,1 – 1,2	1.01/0,09	1.02/0,09
1,2 – 1,3	0.93/0,07	0.94/0,07
1,3 – 1,4	0.91/0,06	0.92/0,06
1,4 – 1,5	0.95/0,06	0.96/0,06

Periodo T (sec)	FA IS	
	DH S1-2015	RM-MW4
0 (FA PGA)	1.4	1.7
0,1 – 0,5	1.2	1.5
0,5 – 1,0	1.0	1.1

Spettrocompatibilità

Le analisi simiche di III livello hanno evidenziato i fattori di amplificazione massimi nella zona a monte della paratia, con valori, in funzione del periodo spettrale, corrispondenti a $S_s = 1,7$.

Detto fattore massimo di amplificazione risulta inferiore a quello del DM 2008 per la categoria di suolo D: corrispondente ad $S_s = 1,8$.

Pertanto, a favore della sicurezza, le verifiche di stabilità della paratia sono da eseguire considerando la categoria di suolo D, in quanto l'analisi di III livello evidenzia valori di sollecitazione sismica inferiori a quelle previste dalla norma per tale tipo di suolo di fondazione.

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

Analogamente per quanto riguarda la verifica del dimensionamento della paratia, in rapporto alla spettrocompatibilità, è da utilizzare, a favore della sicurezza, il fattore di amplificazione per la categoria di suolo D.

Azione sismica

In rapporto alla pericolosità sismica di base, ed in funzione delle condizioni litostratigrafiche locali, delle forme e dei processi presenti nel settore di territorio tra Le Grotte e la SS. 63, in conformità a quanto previsto dalla DAL 2193/2015, l'azione sismica è stata determinata con metodo approfondito mediante codice di calcolo, adottando un coefficiente di smorzamento del 5%, tempo di ritorno 475 anni, la cui metodologia di calcolo e risultati sono descritti nei precedenti paragrafi.

Le analisi della risposta sismica locale hanno evidenziato fattori di amplificazione differenziati tra i settori di pendio monte ed a valle della esistente paratia, riassunti nella tabella del precedente paragrafo.

In riferimento a detti parametri è stata determinata l'azione sismica orizzontale e verticale da utilizzarsi nelle verifiche di stabilità, in corrispondenza della testa dei pali.

Il fattore di amplificazione topografico corrisponde a:

$$St = 1,2$$

- Zona a valle della paratia – rif DH – S1/2015

$$\sigma_h = 0.055 \quad \sigma_v = 0.027$$

- Zona a monte della paratia – rif RM-MW 4

$$\sigma_h = 0.076 \quad \sigma_v = 0.038$$

Per le successive verifiche di stabilità del pendio si è utilizzata l'azione sismica determinata in corrispondenza della parte di versante monte della paratia, che ha evidenziato le condizioni di sollecitazione dinamica maggiori in corrispondenza delle teste dei pali dell'opera di sostegno.

CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA

Per la determinazione delle sequenze litotecniche sono stati effettuati rilevamenti diretti dei litotipi affioranti, nel versante al quale appartiene l'Area Produttiva AP1 e quella sede del sito oggetto degli interventi di movimento terre/consolidamento, implementati da indagini geognostiche articolate in 9 prove penetrometriche dinamiche superpesanti DPSH, 7 prove penetrometriche dinamiche medie DPM, 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 dotato di pozzetto in cls.

Le prove penetrometriche dinamiche superpesanti DPSH (Dr. P. Beretti), sono state eseguite con penetrometro a funzionamento oleodinamico, mod. Pagani TG 63-200, 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 $\beta = 90^\circ$.

Le prove penetrometriche dinamiche medie DPM (Centrogeo Survey), sono state eseguite con penetrometro a funzionamento oleodinamico, mod. PSE 11 Deep Drill, con massa battente da 31,2 kgf, altezza di caduta costante: $h = 20$ cm e dotando la prima asta di punta conica a sezione trasversale max di 10 cmq ed angolo di apertura alla punta $\beta = 60^\circ$.

Dette indagini hanno raggiunto profondità variabili in funzione della presenza di orizzonti con clasti litici grossolani.

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

Profondità (m):

- Numero colpi per avanzamento di 20 cm (DPSH), di 10 cm (DPM).
- 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 -3/-4 ÷ -5/-8,5 m p.c.; le prove penetrometriche DPM hanno esaminato i terreni sino a -2,5/-3 ÷ -4,5/-6,7 m pc.

Il sondaggio meccanico è stato eseguito con una sonda cingolata MTD 80V, a funzionamento oleodinamico ad avanzamento flottante per rotazione e pressione.

Per le perforazioni si è utilizzato un carotiere semplice T1 (conforme alle raccomandazioni AGI) a diametro $\phi = 101$ mm, un carotiere doppio T6 dove sono

stati riscontrati litotipi molto resistenti alla perforazione; il foro di sondaggio 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 standard, prelievo di campioni indisturbati, prove di determinazione dei parametri di resistenza al taglio, sui tratti di carota recuperati, mediante torvane da campo e pocket penetrometer, entrambi dotati di punte a diversa sezione intercambiabili, ed analisi speditive per la determinazione della granulometria.

Quest'ultima è stata effettuata con metodi speditivi: filo acciaio 0.04 mm, 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 indisturbati prelevati con campionature Shelby, sono stati assoggettati a prove di laboratorio geotecnico articolate in prove di taglio diretto consolidato drenato CD, determinazione delle caratteristiche fisiche generali, dei Limiti di Atterberg, curve granulometriche.

Le analisi di laboratorio geotecnico sono state effettuate dal laboratorio certificato (art 59, DPR 380/01): *SINERGEA* srl, Granarolo, BO.

Le colonne litostratigrafiche/litotecniche sono state rapportate alla verticale di prospezione geofisica DH che fornisce informazioni sulla consistenza delle unità di strato mettendo in risalto quelle meno addensate, alle prospezioni ReMi/MASW che identificano spessori di orizzonti sismotecnici a diverse caratteristiche di densità/consistenza al passaggio tra i contrasti di impedenza; per la valutazione delle geometrie: variabilità laterale e verticale degli orizzonti litotecnici, sono stati utilizzati i profili in tomografia sismica e tomografia elettrica eseguiti nel versante oggetto degli interventi di rimodellamento e consolidamento.

ANALISI DI LABORATORIO GEOTECNICO

Durante l'esecuzione del sondaggio a carotaggio continuo sono stati prelevati tre campioni indisturbati, successivamente assoggettati alle analisi di laboratorio geotecnico di seguito esposte:

- Apertura e descrizione dei campioni.
- Determinazione delle principali caratteristiche fisico meccaniche.
- Limiti di Atterberg
- Curve granulometriche mediante setacciatura e sedimentazione
- 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 di picco, in condizioni drenate, tensioni efficaci.

I campioni indisturbati prelevati, come visualizzato nell'allegata scheda sondaggio geognostico, sono stati recuperati a profondità variabili per analizzare in modo statisticamente significativo la successione litomeccanica presente nei primi 7 m del sottosuolo; alle profondità sottostanti l'elevato grado di consistenza dei litotipi presenti non ha consentito il prelievo di campioni indisturbati.

I campioni indisturbati sono stati conferiti al laboratorio certificato *SINERGEA s.r.l., Via Badini 6/6, Quarto Inferiore, Granarolo nell'Emilia (RE)*, ove si è proceduto all'esecuzione delle analisi di laboratorio geotecnico.

I parametri ottenuti, sono riportati nelle allegate certificazioni: *Analisi di Laboratorio Geotecnico e schematicamente riassunti nella allegata scheda caratteristiche fisiche generali.*

Descrizione geotecnica all'apertura del campione

I 3 campioni indisturbati, sono stati sottoposti ad una preliminare descrizione geotecnica, all'atto dell'apertura ed estrazione dalle fustelle di prelievo.

Sondaggio n°	Campione n°	Profondità (m p.c.)	Classificazione geotecnica
CAMPIONI INDISTURBATI			
S1	C1	1,50 – 1,80	Argilla con Limo ghiaioso Sabbiosa (argillite – AVV)
S1	C2	3,00 – 3,30	Limo e Argilla debolmente sabbioso (argillite – AVV)
S1	C3	6,00 – 6,30	Limo e argilla debolmente sabbioso (argillite – APA)

Granulometria

L'individuazione della distribuzione granulometrica dei terreni è stata effettuata mediante tre analisi granulometriche per vagliatura e sedimentazione, secondo i dettami della normativa di riferimento ASTM D422.

Per le particelle che presentano un diametro dei grani inferiore a 0,075 mm, le dimensioni dei grani sono determinate indirettamente misurandone il tempo di sedimentazione all'interno di un cilindro graduato in cui il materiale viene miscelato ad acqua distillata additivata con esametafosfato.

Le metodiche di prova sono di seguito descritte:

- Essiccazione in forno del materiale (110°).
- Setacciatura a secco con vaglio ASTM, N° 200, apertura 0,075 mm.
- Dispersione uniforme di una quantità di 40 g di campione in acqua distillata all'interno di un cilindro graduato da 1000 cm³.
- Effettuazione delle letture tramite densimetro dopo 30 sec, 1, 2, 3, 8, 15, 30, 60... 1440 min, ecc..

I parametri ottenuti sono riportati negli allegati certificati: *Analisi granulometrica per vagliatura e sedimentazione* e riassunti nella seguente tabella:

			Percentuali granulometriche			
Sondaggio n°	Campione n°	Profondità (m p.c.)	% ghiaia	% sabbia	% limo	% argilla
S1	C1	1,50 – 1,80	13	9,0	34,0	44,0
S1	C2	3,0 – 3,30	3,0	10,0	40,0	47,0
S1	C3	6,0 – 6,30	2,0	6,0	37,0	45,0

Proprietà indice

Per definire le proprietà indice dei terreni sono stati determinati i Limiti di Atterberg su tre campioni, secondo la procedura ASTM D 2488-84; adottando le seguenti procedure:

- Disgregazione dei terreni con pestello di gomma ed essiccazione in forno (110°)
- Setacciatura ad umido del materiale con vaglio ASTM, N° 40, apertura 0,425 mm.
- Esecuzione dei limiti di liquidità e plasticità sul passante mediante utilizzo di apparecchiatura di Casagrande completa (mod. T624) con strumento solcatore modello ASTM.

- Determinazione Limite Liquido (LL);
- Determinazione Limite Plastico (LP);
- Calcolo dell'Indice Plastico (IP).

Inoltre, sono stati ricavati i seguenti parametri fisici, durante le operazioni di realizzazione dei provini per le prove di natura meccanica:

- Contenuto in acqua (w);
- Determinazione del peso specifico naturale (γ).

I risultati sono contenuti negli allegati certificati e riassunti nella seguente tabella:

Sondaggio	S1		
Campione	C1	C2	C3
LL	45	49	52
LP	23	25	23
IP	22	24	29
w (%)	12.0	11.6	8.9

I campioni esaminati evidenziano valori di plasticità $IP = 22 \div 29 \%$; i valori dell'indice di consistenza evidenziano terreni molto consistenti a comportamento rigido.

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 di picco in termini di tensioni efficaci.

Le configurazioni delle curve sforzi deformazione relative ai valori delle tensioni verticali di prova $\sigma_1 - \sigma_2 - \sigma_3$, evidenziano comportamento di tipo rammollente ed un grado di sovraconsolidazione elevato.

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 di picco ed in condizioni di stato critico.

Taglio CD: Scatola di Casagrande

Le metodiche e strumentazioni di prova adottate sono conformi alle norme ASTM D 3080. I risultati sono contenuti nelle allegate schede “Prova di Taglio Diretto C.D.” e riassunti nella seguente tabella:

Sondaggio n°	Campione n°	Profondità (m p.c.)	Tensioni efficaci			
			Valori di picco		Valori di strato critico	
			C' (KN/mq)	ϕ' (°)	C' crt (KN/mq)	ϕ' crt (°)
S1	C1	1.5 – 1.8	0,00	33,28	0,00	28
S1	C2	3.0 – 3.5	34	28,2	20	26
S1	C3	6.0 – 6.3	21	34,9	15	26

I risultati ottenuti denotano valori discretamente differenziati di coesione drenata, c' , moderata diversità dell'angolo d'attrito interno in termini di tensioni efficaci, ϕ' .

I campioni C1 e C2, appartenenti al substrato argillitico AVV, denotano angoli di attrito di picco medio elevati ($\phi' = 28 \div 33^\circ$) coesione nulla ($c' = 0.0$ Kpa) nel campione più superficiale (1.5/1.8 m pc), coesione media ($c' = 34,0$ kPa) per il campione a profondità maggiore (-3,0/-3,5 m pc).

Il campione a componente argillitica a profondità sottostante: -6/-6.3 m pc (APA), evidenzia angolo d'attrito di picco elevato ($\phi' = 34,9^\circ$) e, coesione medio bassa ($c' = 21,0$ kPa) dovuta essenzialmente ad un comportamento rigido fragile delle argilliti. Detta considerazione è avvalorata dall'analisi delle curve sforzi deformazione; analoga caratteristica è attribuibile anche al campione C1.

62

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE 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 $D \leq 11,5 \text{ cm} = 1$

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 della strumentazione utilizzata nella presente indagine per le prove

DPSH $M_1 = 63,5 \text{ kg}$,

$M_2 = 63,5 \text{ kg}$,

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 kgf, altezza 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

$$N_{160}$$

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:

$$\gamma_n = (0.0011 \cdot N_{160}^3 - 0.0528 \cdot N_{160}^2 + 0.9464 \cdot N_{160} + 12.855) \leq 21,5 \text{ (kN/mc)}$$

(*A. Bruschi*, 2005) che fornisce valori di elevato grado di attendibilità per materiali con N_{160} 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 per le indagini DPSH si è determinato il valore dell'angolo d'attrito interno di stato critico mediante la relazione:

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

nella quale $\phi\delta$ 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:

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

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 presenza in componenti carbonatiche 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*.

$$c' = cu - \sigma' v \cdot \tan \phi'$$

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 *Strouud*:

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

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

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 mediamente la relazione di *Jamiolkowski*:

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

I parametri geotecnici ottenuti dalle relazioni sopra esposte sono di seguito descritti nel capitolo Modello Litotecnico Locale e schematicamente riassunti nelle tabelle unità di zona individuate.

Prove Penetrometriche Dinamiche DPM

Per quanto riguarda l'analisi geomeccanica dei dati ottenuti dalle prove penetrometriche dinamiche medie si sono determinati i valori di N_{spt} equivalenti, dal rapporto del bilancio energetico tra i penetrometri utilizzati e quello della prova SPT

$$cf = 2,0$$

e successivamente definiti i valori di resistenza alla punta statica equivalente, mediante la relazione di *Huizinga - Meyerhof*:

$$R_p = \alpha \cdot N_{spt}$$

Il parametro α oltre ai valori di letteratura scientifica in materia funzione delle dimensioni dei granuli, è stato definito in base al rapporto resistenza alla punta del penetrometro dinamico (equazione degli olandesi) per prove penetrometriche dinamiche effettuate con avanzamento accoppiato ad iniezione di fanghi tixotropici comparato con i valori di q_c del penetrometro statico relativi ad indagini eseguite dallo scrivente, con detti tipi di prospezione geognostica, effettuate a piccole distanze tra loro praticamente adiacenti, in terreni con caratteristiche granulometriche e grado di saturazione idrica equivalenti.

In rapporto a quanto esposto i valori ottenuti sono stati elaborati in parametri caratteristici ed in funzione di quest'ultimi si sono ricavati dalla coesione non drenata c_u , dalla relazione di *Begemann* e della relazione del *MIT*, l'angolo d'attrito interno in termini di tensioni efficaci Φ' dalla correlazione di *Sandven* e da quella di *Caquot*, la coesione in termini di tensioni efficaci dall'equazione di *Culomb* e dalla correlazione di *Merse*, il grado di consolidazione dalla relazione di *Kulhawy* e *Mayne*, la densità relativa dalla correlazione di *Jamiokowski*.

Come precedentemente descritto i parametri ottenuti da dette correlazioni, sono schematicamente riassunte nelle tabelle unità di zona individuate.

Modello litotecnico locale

Dalla comparazione delle verticali delle indagini penetrometriche dinamiche superpesanti DPSH e dinamiche medie DPM con il sondaggio meccanico effettuato è stata definita la sequenza litotecnica locale.

L'individuazione degli orizzonti a differente grado di consistenza è stata inoltre determinata rapportando i livelli litologici alle unità di strato sismotecniche identificate mediante la prova in foro di sondaggio con metodo Down Hole eseguita nel sondaggio S1 ed ai principali contrasti di impedenza evidenziati dalle prospezioni MASW/Re. Mi.

Da dette analisi si evince che la successione litotecnica dei primi 4/7 m del sottosuolo del versante che si estende per 120/140 m a monte della SS n° 63, interessato dagli interventi di rimodellamento e consolidamento, è nettamente

suddivisa in due zone una a monte dell'esistente paratia ed una a valle della stessa che si estende sino alla SS n°63. La prima di dette litozone è costituita da alternanze di orizzonti litologici a grado di consistenza sensibilmente variabile che formano una sequenza contraddistinta da pronunciata differenziazione sulla verticale dei parametri geotecnici e da variazioni in spessore in senso laterale. Il settore tra la paratia e la SS n°63, superati i primi 0,5/1,0 metri dal piano piazzale formati da materiali di riporto, è caratterizzato dalla presenza del substrato argillitico ad eccezione di una fascia larga 9/11 m. al bordo orientale del piazzale adiacente alla statale costituita da riporti (vds. profili tomografia sismica ed elettrica).

Nella zona a monte della paratia superati i 5/6/7 m dal piano campagna le prove DPSH e le prospezioni MASW/Re. Mi. ed HVSr, prova Down Hole nella zona paratia, hanno evidenziato la presenza di una litozona ad elevato grado di consistenza, formata dal substrato argillitico (AVV – APA).

Quest'ultimo nel settore di esecuzione del sondaggio meccanico, ubicato nella pista a valle della paratia ad 8 m di distanza della stessa, ha individuato la presenza del substrato argillitico consistente, attribuibile alle Argille Varicolori di Cassio (AVV), a -0,9/1,2 m dal piano campagna; tali litotipi proseguono in profondità sino a -6/-6,5 m pc ed a tale quota sono sostituiti dalle argilliti della formazione delle Argille a Palombini (APA) che hanno evidenziato un elevato grado di consistenza.

In funzione di quanto esposto la caratterizzazione litotecnico – geotecnica locale è stata distinta in quattro zone alle quali corrispondono altrettante sequenze geotecniche, come di seguito esposto:

- A: zona adiacente al limite nord est dell'area produttiva AP1
- B: zona mediana del versante da 31/33 m a 46/48 m dal limite nord est dell'area produttiva AP1
- C: zona nord est, da 48/49 m a 90/95 m dal limite nord est dell'area produttiva AP1
- D: zona est adiacente alla SS. n° 63 che si estende in direzione ovest sino a 90/95 m dal bordo occidentale della suddetta statale.

In quest'ultima, sede dell'area utilizzata a piazzale dalla Ditta Bertoletti Legnami, i lavori di sbancamento hanno asportato i preesistenti terreni sino al substrato argillitico rinvenibile a -0,6 ÷ 1,0 m dal piano piazzale immediatamente alle quote sottostanti il massetto ghiaioso sabbioso di sottofondo. Fa eccezione a tale condizione la fascia più orientale del piazzale con larghezza di 9/11 m, adiacente alla SS n° 63, nella quale sono stati effettuati riporti con spessori che aumentano da 0,5 a 3,2 m in direzione della statale.

Le caratteristiche geotecniche di detta litozona sono descritte nelle zone A-B-C.

L'ubicazione delle indagini eseguite è riportata nell'allegata planimetria ed i risultati ottenuti visualizzati negli allegati certificati: prova penetrometrica, sondaggio meccanico.

Le zone individuate, visualizzate in fig. 1, sono state discretizzate in senso verticale nelle unità di seguito descritte:

- Zona A

È caratterizzata da netta differenziazione litotecnica tra il settore di versante a monte della paratia e quello a valle della stessa; nell'area sede del piazzale tra la paratia e sino a 12/15 m dalla SS n° 63 non è presente la seconda unità asportata dalle movimentazioni terra effettuate precedentemente al 2003/2004.

La fascia, larga 12/15 m rispetto al limite ovest della SS n° 63 è costituita da riporti.

Orizzonte	Descrizione litotecnica	Parametri caratteristici
Unità 1 <i>Da piano campagna a -1/-2 m pc nel settore a monte della paratia da pc a -0,5/-1 m pc nella zona piazzale.</i>	Materiali di riporto limoso argillosi ghiaioso sabbiosi, eterometrici nel settore a monte della paratia, ghiaie sabbiose di sottofondo piazzale a nord della stessa.	$N_{20} = 4$ $N_{spt_{eqk}} = 6$ $c_{uk} = 0,2 \text{ kgf/cm}^2$ $c'_k = 0,05 \text{ kgf/cm}^2$ $\phi'_{kp} = 25^\circ$ $\phi'_{kc} = 22^\circ$ $\gamma_{kr} = 0,0019 \text{ kgf/cm}^3$ $E_{edk} = 48 \text{ kgf/cm}^2$
Unità 2 <i>Da -1/-2 m a -2/-3 m p.c. a monte della paratia, da -1 a -2,2 a valle della stessa, assente nella zona piazzale, -3/-3,2 m al bordo est piazzale adiacente alla SS 63</i>	Materiali rimaneggiati e/o di riporto, limoso argilloso sabbiosi, con ghiaie fini (1 – 2 cm),	$N_{20k} = 1,5$ $N_{spt_{eqk}} = 2,3$ $c_{uk} = 0,1 \text{ kgf/cm}^2$ $c'_k = 0,0 \text{ kgf/cm}^2$ $\phi'_{kp} = 18^\circ$ $\phi'_{kc} = 17^\circ$ $\gamma_k = 0,0018 \text{ kgf/cm}^3$ $E_{edk} = 25 \text{ kgf/cm}^2$
Unità 3 <i>Da -2/-3 a -2,5/-3,5 m p.c. a monte della paratia, da -0,5/-1,0 a -2 a valle della stessa, da -3/-3,2 a -3,5 m pc al bordo est piazzale adiacente alla SS 63, lentiforme; assente nella zona piazzale.</i>	Limi argilloso sabbiosi	$N_{20k} = 6$ $N_{spt_{eqk}} = 9$ $c_{uk} = 0,3 \text{ kgf/cm}^2$ $c'_k = 0,1 \text{ kgf/cm}^2$ $\phi'_{kp} = 24^\circ$ $\phi'_{kc} = 22^\circ$ $\gamma_k = 0,002 \text{ kgf/cm}^3$ $E_{edk} = 56 \text{ kgf/cm}^2$

Orizzonte	Descrizione litotecnica	Parametri caratteristici
Unità 4 Da -2/-3,5 m a -3,5/-5-6 m p.c. a monte della paratia, da -1,5/-2 m a -2,0/-3 m pc a valle della stessa, da -1,5 a -2,6 m nella zona piazzale, da -3,5 m a -3,8 m pc al bordo piazzale adiacente alla SS 63.	Argilla con limo con clasti ghiaiosi, argilliti grigie con venature rossastre e verdognole nella pista a valle della paratia e zona piazzale.	$N_{20k} = 7$ $N_{spt_{eqk}} = 10$ $c_{uk} = 0,35 \text{ kgf/cm}^2$ $c'_k = 0,12 \text{ kgf/cm}^2$ $\phi'_{kp} = 28^\circ$ $\phi'_{kc} = 24^\circ$ $\gamma_k = 0,00215 \text{ kgf/cm}^3$ $E_{edk} = 65 \text{ kgf/cm}^2$
Unità 5 Da -3,5/-4/-5-6 a -5/-7 m p.c. a monte della paratia: da -2,0/-3,0 m a -2,5/-3,5 ÷ -4,0/-5,0 m pc a valle della stessa, da -2,6 m a -5,6 m nella zona piazzale, da -3,6 m a -4,6 al bordo piazzale adiacente alla SS 63	Limi e argille ghiaiosi argilliti di colore grigio, con venature rossastre, contenenti concrezioni calcaree clasti calcareo – arenitico calcarei.	$N_{20k} = 13$ $N_{spt_{eqk}} = 19$ $c_{uk} = 0,7 \text{ kgf/cm}^2$ $c'_k = 0,2 \text{ kgf/cm}^2$ $\phi'_{kp} = 30^\circ$ $\phi'_{kc} = 25^\circ$ $\gamma_k = 0,0022 \text{ kgf/cm}^3$ $E_{edk} = 250 \text{ kgf/cm}^2$
Unità 6 Da -5/-7 m a -7/-8 m p.c. a monte della paratia, da -2,5/-3,5 ÷ -4,0/-5 m a -6/-8 m pc a valle della stessa, da -5,6 m a >-6,5 m pc nel piazzale ed al bordo dello stesso adiacente alla SS 63	Limi e argille debolmente ghiaiosi, argilliti di colore grigio, con venature rossastre, con presenza mediamente diffusa di clasti calcarei arenitico calcarei.	$N_{20k} = 19$ $N_{spt_{eqk}} = 29$ $c_{uk} = 0,8 \text{ kgf/cm}^2$ $c'_k = 0,21 \text{ kgf/cm}^2$ $\phi'_{kp} = 32^\circ$ $\phi'_{kc} = 26^\circ$ $\gamma_k = 0,00217 \text{ kgf/cm}^3$ $E_{edk} = 330 \text{ kgf/cm}^2$
Unità 7 Da -7/-8 m a -16/-23 m p.c. a monte della paratia, da -6/-8 a -15/-22 m pc a valle della stessa; a >-6,5 m pc zona piazzale ed al bordo dello stesso adiacente alla SS 63	Limi e argille debolmente sabbiosi argilliti consistenti, di colore grigio piombo con deboli venature verdastre e rossastre contenenti clasti calcarei.	$N_{20k} = 30$ $N_{spt} > 50$ $N_{spt_{eqk}} = 44$ $c_{uk} = 0,9 \text{ kgf/cm}^2$ $c'_k = 0,22 \text{ kgf/cm}^2$ $\phi'_{kp} = 34^\circ$ $\phi'_{kc} = 26^\circ/28^\circ$ $\gamma_k = 0,0022 \text{ kgf/cm}^3$ $E_{edk} = 350 \text{ kgf/cm}^2$
Unità 8 >-6,5 ÷ -20/-22 m p.c.	Argilliti consistenti grigio piombo	$N_{20k} = 30$ $N_{spt_{eqk}} = 44$ $c_{uk} = 0,9 \text{ kgf/cm}^2$ $c'_k = 0,22 \text{ kgf/cm}^2$ $\phi'_{kp} = 34^\circ$ $\phi'_{kc} = 26^\circ/28^\circ$ $\gamma_k = 0,0022 \text{ kgf/cm}^3$ $E_{edk} = 350 \text{ kgf/cm}^2$

Legenda dati: ϕ'_p = angolo di attrito interno di picco; ϕ'_c = angolo di attrito interno di stato critico; c' = coesione drenata; c_u = coesione non drenata; γ = peso di volume; E_{ed} = modulo edometrico.

- Zona B

È caratterizzata da una netta differenziazione litotecnica tra il settore di versante a monte della paratia sino alla pista immediatamente a valle della stessa e la zona piazzale sino alla fascia, al bordo dello stesso, larga 13/15 m ad iniziare dalla SS. 63.

Orizzonte	Descrizione litotecnica	Parametri caratteristici
Unità 1 Da piano campagna a -1,0 (-2 bordo ovest) m p.c. settore a monte della paratia, a -0,5/-0,8 m a valle della stessa	Materiali di riporto limoso argilloso ghiaioso sabbiosi, eterometrici a composizione arenitica e calcarea, nel settore piazzale ghiaie sabbiose di sottofondo.	$N_{20k} = 4$ $N_{spt_{eq}} = 6$ $c_{uk} = 0,2 \text{ kgf/cm}^2$ $c'_k = 0,05 \text{ kgf/cm}^2$ $\phi'_{kp} = 24^\circ$ $\phi'_{kc} = 22^\circ$ $\gamma_k = 0,0019 \text{ kgf/cm}^3$ $E_{edk} = 48 \text{ kgf/cm}^2$
Unità 2 Da -1/(-2 m ovest) m a -2 m p.c. a monte della paratia e -1,4 m nella pista a valle della stessa; assente nella zona piazzale; da -0,6 m a -3 m pc al bordo del piazzale adiacente alla SS 63 per una fascia larga 13/15 m	Limi argilloso sabbiosi, con ghiaie	$N_{20k} = 2/3$ $N_{spt_{eqk}} = 3/3,5$ $c_{uk} = 0,1 \text{ kgf/cm}^2$ $c'_k = 0,0 \text{ kgf/cm}^2$ $\phi'_{kp} = 19^\circ$ $\phi'_{kc} = 18^\circ$ $\gamma_k = 0,00185 \text{ kgf/cm}^3$ $E_{edk} = 38 \text{ kgf/cm}^2$
Unità 3 Da -2,0 m a -3,0 m p.c. a monte della paratia da -1,4 m a -2,2 m pc nella pista a valle della stessa; strato lentiforme assente nel settore 14 m a monte della paratia e zona a valle della pista della paratia	Limi argillosi a bassa consistenza	$N_{20k} = 1$ $N_{spt_{eqk}} = 1,5/2$ $c_{uk} = 0,05 \text{ kgf/cm}^2$ $c'_k = 0,0 \text{ kgf/cm}^2$ $\phi'_{kp} = 17^\circ$ $\phi'_{kc} = 16^\circ$ $\gamma_k = 0,0018 \text{ kgf/cm}^3$ $E_{edk} = 25 \text{ kgf/cm}^2$
Unità 4 Da -3 m a -5/-6 m p.c. a monte della paratia da -2,2 m a -2,6 m pc a valle della paratia; orizzonte lentiforme assente 20 m a monte della paratia ed a valle della pista paratia	Limi argillosi a media – medio bassa consistenza	$N_{20k} = 3,8$ $N_{spt_{eqk}} = 5$ $c_{uk} = \text{kgf/cm}^2$ $c'_k = 0,0 \text{ kgf/cm}^2$ $\phi'_{kp} = 22^\circ$ $\phi'_{kc} = 20^\circ$ $\gamma_k = 0,0019 \text{ kgf/cm}^3$ $E_{edk} = 52 \text{ kgf/cm}^2$
Unità 5 Da -5/-6 m a -6,4 m p.c. a monte della paratia ed assente pista a valle della stessa; da -0,3/0,6 m a -1,5 m pc nella zona piazzale; da -3 m a -3,5 m nella fascia larga 13/15 m al bordo piazzale adiacente alla SS 63	Limi argillosi a medio grado di consistenza	$N_{20k} = 6,5$ $N_{spt_{eqk}} = 8,5$ $c_{uk} = 0,15 \text{ kgf/cm}^2$ $c'_k = 0,0 \text{ kgf/cm}^2$ $\phi'_{kp} = 26^\circ$ $\phi'_{kc} = 22^\circ$ $\gamma_k = 0,0020 \text{ kgf/cm}^3$ $E_{edk} = 63 \text{ kgf/cm}^2$

Orizzonte	Descrizione litotecnica	Parametri caratteristici
Unità 6 Da -6,0/6,4 m a -7 m p.c. Nella zona a monte della paratia; assente nel settore paratia e pista a valle della stessa; da -1,5 m a -3/-4 m nella zona piazzale; da -3,5 m a -4 nella fascia larga 13/15 m al bordo piazzale adiacente alla SS 63	Limi e argille sabbiosi, argilliti grigie con venature rossastre e verdognole contenenti clasti calcarei, arenitico calcarei.	$N_{20k} = 7$ $N_{spt_{eqk}} = 10$ $c_{uk} = 0,35 \text{ kgf/cm}^2$ $c'_k = 0,12 \text{ kgf/cm}^2$ $\phi'_{kp} = 28^\circ$ $\phi'_{kc} = 24^\circ$ $\gamma_k = 0,00215 \text{ kgf/cm}^3$ $E_{edk} = 65 \text{ kgf/cm}^2$
Unità 7 Da -6,0/-6,4 m a -7/-7,5 m p.c. a monte della paratia; da -6 m a -7 m pc nella zona paratia e da -4 -6 nella pista a valle della stessa a -3/-4 a -6/-9 m pc a valle della stessa	Limi e argille sabbiosi, argilliti grigie con venature rossastre e verdognole contenenti clasti calcarei ed areniti calcarei.	$N_{20k} = 13$ $N_{spt_{eqk}} = 19$ $c_{uk} = 0,7 \text{ kgf/cm}^2$ $c'_k = 0,2 \text{ kgf/cm}^2$ $\phi'_{kp} = 30^\circ$ $\phi'_{kc} = 25^\circ$ $\gamma_k = 0,0022 \text{ kgf/cm}^3$ $E_{edk} = 250 \text{ kgf/cm}^2$
Unità 8 Da -7/-7,5 m a -8/-9 m p.c. nel settore a monte della paratia, da -4/-5 m a -5,5/-6 a valle della stessa; da -6/-9 a -6,5/-10 m pc nella zona piazzale	Limi e argille debolmente sabbiosi, argilliti di colore grigio piombo con deboli venature rossastre e verdognole contenenti clasti calcarei	$N_{20k} = 19$ $N_{spt_{eqk}} = 29$ $c_{uk} = 0,8 \text{ kgf/cm}^2$ $c'_k = 0,21 \text{ kgf/cm}^2$ $\phi'_{kp} = 32^\circ$ $\phi'_{kc} = 26^\circ$ $\gamma_k = 0,00217 \text{ kgf/cm}^3$ $E_{edk} = 330 \text{ kgf/cm}^2$
Unità 9 Da -8/-9 m settore a monte della paratia; da -5,5/-6 m a valle della stessa; da -6,5/-10 zona piazzale a -16/-22 m pc	Limi e argille debolmente sabbiosi, argilliti di colore grigio piombo con deboli venature rossastre e verdognole con presenza di clasti calcarei	$N_{20k} = 30$ $N_{spt_{eqk}} = 44$ $c_{uk} = 0,9 \text{ kgf/cm}^2$ $c'_k = 0,22 \text{ kgf/cm}^2$ $\phi'_{kp} = 34^\circ$ $\phi'_{kc} = 26^\circ/28^\circ$ $\gamma_k = 0,0022 \text{ kgf/cm}^3$ $E_{edk} = 350 \text{ kgf/cm}^2$
Unità 10 > -20/-22 m p.c.	Argilliti consistenti di colore grigio piombo	$N_{20k} = 30$ $N_{spt_{eqk}} = 44$ $c_{uk} = 0,9 \text{ kgf/cm}^2$ $c'_k = 0,22 \text{ kgf/cm}^2$ $\phi'_{kp} = 34^\circ$ $\phi'_{kc} = 26^\circ/28^\circ$ $\gamma_k = 0,0022 \text{ kgf/cm}^3$ $E_{edk} = 350 \text{ kgf/cm}^2$

Legenda dati: ϕ'_p = angolo di attrito interno di picco; ϕ'_c = angolo di attrito interno di stato critico; c' = coesione drenata; c_u = coesione non drenata; γ = peso di volume; E_{ed} = modulo edometrico.

- Zona C

È caratterizzata moderata differenziazione litotecnica tra il settore a monte della paratia e la pista a valle della stessa ed una differenziazione nella fascia del piazzale larga 12 m rispetto al limite ovest della SS. 63.

Orizzonte	Descrizione litotecnica	Parametri caratteristici
Unità 0 <i>Da piano campagna a -0,5/-0,7 m p.c. presenti esclusivamente nella zona piazzale e fascia larga 25/30 m a monte della paratia.</i>	Materiali di riporto limoso argillosi - ghiaioso sabbiosi, eterometrici a valle della paratia piazzale e 25/30 m a monte della stessa, ghiaie sabbiose di sottofondo nella zona piazzale.	$N_{20k} = 7$ $N_{spt_{eq}} = 9$ $c_{uk} = 0,75 \text{ kgf/cmq}$ $c'_k = 0,18 \text{ kgf/cmq}$ $\phi'_{kp} = 30^\circ$ $\phi'_{kc} = 28^\circ$ $\gamma_k = 0,0019 \text{ kgf/cmc}$ $E_{edk} = 42 \text{ kgf/cmq}$
Unità 1 <i>Da 0,0 a -0,5 m p.c. a monte della paratia assente valle della stessa</i>	Limi argilloso sabbiosi, con ghiaie, orizzonte lentiforme	$N_{10k} = 2,5$ $N_{spt_{eqk}} = 3,5$ $c_{uk} = 0,21 \text{ kgf/cmq}$ $c'_k = 0,05 \text{ kgf/cmq}$ $\phi'_{kp} = 23^\circ$ $\phi'_{kc} = 21^\circ$ $\gamma_k = 0,00185 \text{ kgf/cmc}$ $E_{edk} = 30 \text{ kgf/cmq}$
Unità 2 <i>Da -0,5 m a -0,7/-0,8 m p.c. a monte della paratia; da 0,0 m a -0,3/-0,4 m pc valle della stessa</i>	Limi argilloso sabbiosi, con ghiaie, orizzonte lentiforme	$N_{10k} = 3,5$ $N_{spt_{eqk}} = 4,5$ $c_{uk} = 0,38 \text{ kgf/cmq}$ $c'_k = 0,07 \text{ kgf/cmq}$ $\phi'_{kp} = 25^\circ$ $\phi'_{kc} = 23^\circ$ $\gamma_k = 0,00190 \text{ kgf/cmc}$ $E_{edk} = 38 \text{ kgf/cmq}$
Unità 3 <i>Da -0,7/-0,8 m a -1,8/-2 m p.c. a monte della paratia; da -0,3/-0,4 a -1,3/-1,5 m a valle della paratia</i>	Limi argillosi ghiaioso sabbiosi, consistenti	$N_{10k} = 8$ $N_{spt_{eqk}} = 11$ $c_{uk} = 0,7 \text{ kgf/cmq}$ $c'_k = 0,1 \text{ kgf/cmq}$ $\phi'_{kp} = 28^\circ$ $\phi'_{kc} = 25^\circ$ $\gamma_k = 0,00195 \text{ kgf/cmc}$ $E_{edk} = 54 \text{ kgf/cmq}$

Orizzonte	Descrizione litotecnica	Parametri caratteristici
Unità 4 Da -1,8/-2 a -2,3/-2,4 m p.c. nel settore a monte della paratia; da -1,3 a -1,5 m pc a valle della paratia; da -2 m a -2,5 m nella pista a valle della stessa; assente nella zona piazzale; lente da -0,6 a -1,0 m pc nella fascia larga 20 m al bordo piazzale adiacente la SS 63	Limi argillosi a media – medio bassa consistenza	$N_{10k} = 4$ $N_{spt_{eqk}} = 5,5$ $c_{uk} = 0,5 \text{ kgf/cm}^2$ $c'_k = 0,12 \text{ kgf/cm}^2$ $\phi'_{kp} = 25^\circ$ $\phi'_{kc} = 22^\circ$ $\gamma_k = 0,00198 \text{ kgf/cm}^3$ $E_{edk} = \text{kgf/cm}^2$
Unità 5 Da -2,3/-2,4 a -3,3/-3,6 m p.c. a monte della paratia, da -1,3/-1,5 m a -1,7/-2,7 m pc a valle della stessa; assente nella zona piazzale; da -0,5 a -1,7/-2 m pc nella fascia larga 12 al bordo del piazzale in adiacenza alla SS 63 zona con riporti	Limi argillosi debolmente sabbiosi a basso grado di consistenza	$N_{10k} = 2$ $N_{spt_{eqk}} = 3$ $c_{uk} = 0,1 \text{ kgf/cm}^2$ $c'_k = 0,0 \text{ kgf/cm}^2$ $\phi'_{kp} = 21^\circ$ $\phi'_{kc} = 19^\circ$ $\gamma_k = 0,0018 \text{ kgf/cm}^3$ $E_{edk} = 25 \text{ kgf/cm}^2$
Unità 6 Da -3,3/-3,6 m a -3,6/-3,8 m p.c. a monte della paratia; da -1,7/-2,7 m a -3 a valle della stessa; da -0,3/-0,7 m a -2 m pc nel settore piazzale; da -2 m a 2,5 m al bordo piazzale adiacente alla SS 63	Limi e argille sabbiosi, argilliti grigie con venature rossastre e verdognole (affioranti nella zona piazzale) con clasti calcarei, arenitico calcarei.	$N_{10k} = 8$ $N_{spt_{eqk}} = 11$ $c_{uk} = 0,7 \text{ kgf/cm}^2$ $c'_k = 0,17 \text{ kgf/cm}^2$ $\phi'_{kp} = 25^\circ$ $\phi'_{kc} = 22^\circ$ $\gamma_k = 0,00195 \text{ kgf/cm}^3$ $E_{edk} = 54 \text{ kgf/cm}^2$
Unità 7 Da -3,6/-3,8 m a -3,9/-4 m pc a monte della paratia, da -3 m a -3,3 m pc a valle della stessa; da -1/-2 m a -2/-3 m pc nella zona piazzale, da -2,5 m a -4 al bordo piazzale adiacente la SS 63.	Limi e argille sabbiosi, argilliti grigie con venature rossastre e verdognole contenenti clasti calcarei ed arenitico calcarei.	$N_{10k} = 9$ $N_{spt_{eqk}} = 12$ $c_{uk} = 0,6 \text{ kgf/cm}^2$ $c'_k = 0,20 \text{ kgf/cm}^2$ $\phi'_{kp} = 28^\circ$ $\phi'_{kc} = 25^\circ$ $\gamma_k = 2,1 \text{ kgf/cm}^3$ $E_{edk} = 250 \text{ kgf/cm}^2$
Unità 8 Da -4 m a -6/-7 m p.c. nel settore a monte della paratia; da -3,3 a -6 m pc a valle della stessa; da -2/-3 m a -4 m pc zona piazzale a -4,5 m pc al bordo piazzale adiacente la SS 63.	Limi e argille debolmente sabbiosi, argilliti di colore grigio piombo con deboli venature rossastre e verdognole contenenti clasti calcarei	$N_{10k} = 20$ $N_{spt_{eqk}} = 28$ $c_{uk} = 0,8 \text{ kgf/cm}^2$ $c'_k = 0,21 \text{ kgf/cm}^2$ $\phi'_{kp} = 32^\circ$ $\phi'_{kc} = 27^\circ$ $\gamma_k = 2,2 \text{ kgf/cm}^3$ $E_{edk} = 330 \text{ kgf/cm}^2$

<i>Orizzonte</i>	<i>Descrizione litotecnica</i>	<i>Parametri caratteristici</i>
Unità 9 > -20/-22 m p.c.	Argilliti consistenti di colore grigio piombo	$N_{20k} = 30$ $N_{spt_{eqk}} = 44$ $c_{uk} = 0,9 \text{ kgf/cm}^2$ $c'_{k} = 0,22 \text{ kgf/cm}^2$ $\phi'_{kp} = 34^\circ$ $\phi'_{kc} = 26^\circ/28^\circ$ $\gamma_k = 0,0022 \text{ kgf/cm}^3$ $E_{edk} = 350 \text{ kgf/cm}^2$

Legenda dati: ϕ'_p = angolo di attrito interno di picco; ϕ'_c = angolo di attrito interno di stato critico; c' = coesione drenata; c_u = coesione non drenata; γ = peso di volume; E_{ed} = modulo edometrico.

- Zona D

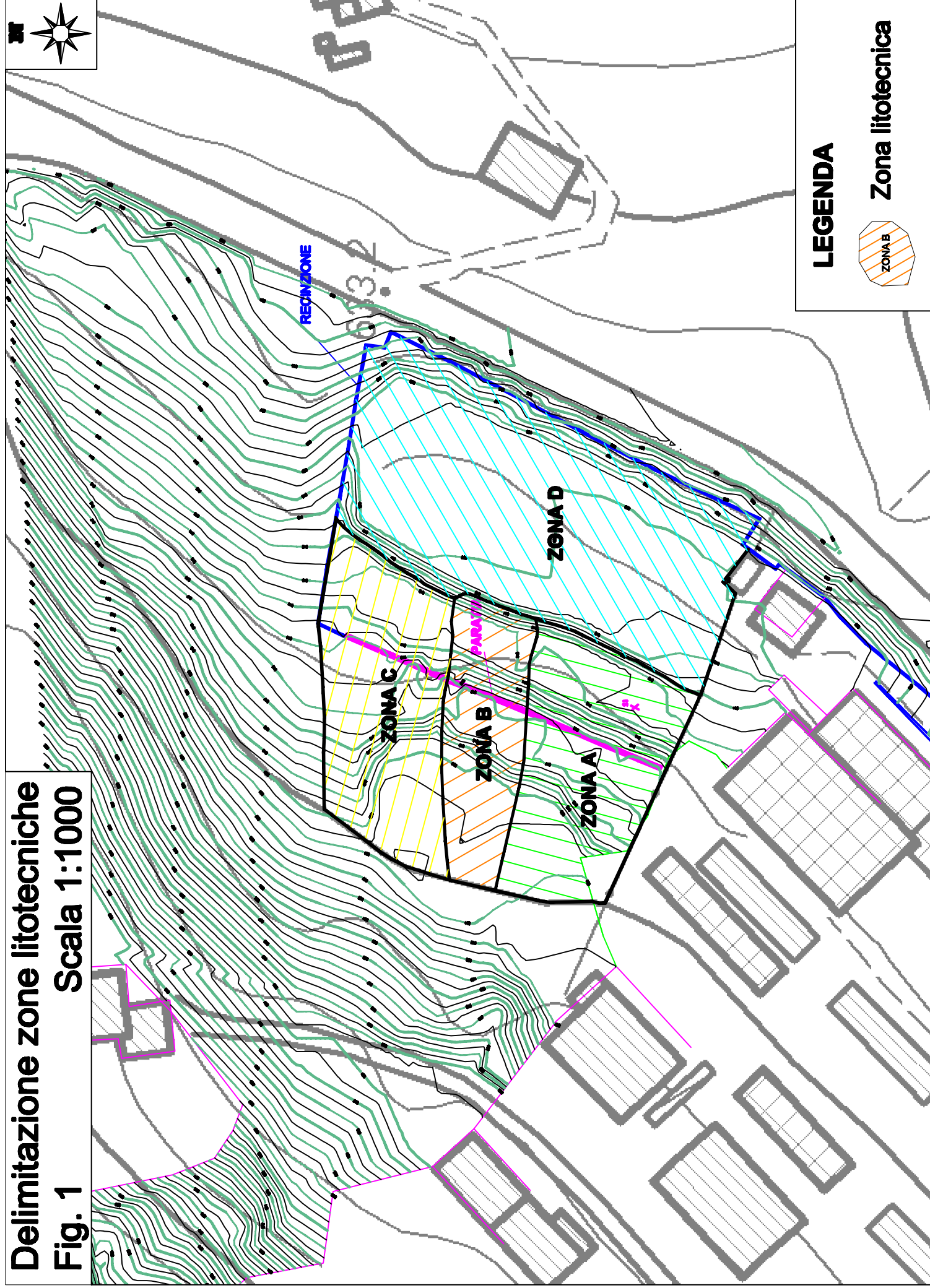
È contraddistinta da caratteristiche omogenee nel settore sede dell'area piazzale e differenziate nella fascia adiacente alla SS 63 con larghezza di 10/15 m dal bordo ovest della stessa.

Le caratteristiche sono di seguito descritte suddividendo in unità 1/2a 1/2bis rispettivamente riferite alla zona piazzale senza riporti e fascia adiacente alla SS 63 con presenza di riporti (bis).

Orizzonte	Descrizione litotecnica	Parametri caratteristici
Unità 1a Da piano campagna a -0,5/-1/-1.5 m pc (zona piazzale).	Materiali di riporto limoso argillosi ghiaioso sabbiosi, eterometrici costituiti da ghiaie sabbiose –sabbie ghiaioso limose di sottofondo piazzale	$N_{20} = 5$ $N_{spt_{eqk}} = 8$ $c_{uk} = 0,35 \text{ kgf/cmq}$ $c'_k = 0,12 \text{ kgf/cmq}$ $\phi'_{kp} = 25^\circ$ $\phi'_{kc} = 23^\circ$ $\gamma_{kr} = 0,0019 \text{ kgf/cmc}$ $E_{edk} = 64 \text{ kgf/cmq}$
Unità 2a Da -1/-1,5 m a -2/-3 > -6,5 m p.c. c (zona piazzale).	Argilliti grigie con venature rossastre e verdognole.	$N_{20k} = 7$ $N_{spt_{eqk}} = 10$ $c_{uk} = 0,35 \text{ kgf/cmq}$ $c'_k = 0,12 \text{ kgf/cmq}$ $\phi'_{kp} = 28^\circ$ $\phi'_{kc} = 24^\circ$ $\gamma_k = 0,00215 \text{ kgf/cmc}$ $E_{edk} = 65 \text{ kgf/cmq}$
Unità 1bis Da pc a -2,5/-3,2 m p.c. (fascia SS 63)	Materiali rimaneggiati e/o di riporto, limoso argilloso sabbiosi a zone sabbioso limose con ghiaie fini (1 – 2 cm).	$N_{20k} = 1,5$ $N_{spt_{eqk}} = 2,3$ $c_{uk} = 0,1 \text{ kgf/cmq}$ $c'_k = 0,0 \text{ kgf/cmq}$ $\phi'_{kp} = 18^\circ$ $\phi'_{kc} = 17^\circ$ $\gamma_k = 0,0018 \text{ kgf/cmc}$ $E_{edk} = 25 \text{ kgf/cmq}$
Unità 2bis Da -2,5/-3,2 a -4/-5 m p.c. (fascia SS 63)	Argilliti grigie con venature rossastre e verdognole.	$N_{20k} = 7$ $N_{spt_{eqk}} = 10$ $c_{uk} = 0,35 \text{ kgf/cmq}$ $c'_k = 0,12 \text{ kgf/cmq}$ $\phi'_{kp} = 28^\circ$ $\phi'_{kc} = 24^\circ$ $\gamma_k = 0,00215 \text{ kgf/cmc}$ $E_{edk} = 65 \text{ kgf/cmq}$

Legenda dati: ϕ'_p = angolo di attrito interno di picco; ϕ'_c = angolo di attrito interno di stato critico; c' = coesione drenata; c_u = coesione non drenata; γ = peso di volume; E_{ed} = modulo edometrico.

Delimitazione zone litotecniche
Fig. 1
Scala 1:1000



LEGENDA



Zona litotecnica

Suscettività di Liquefazione

La valutazione della pericolosità di liquefazione in considerazione della sostanziale equivalenza dei litotipi presenti nel sottosuolo è stata effettuata in base ai valori ottenuti dai Limiti di Atterberg ed analisi granulometriche.

I campioni esaminati (*Sinergea*) hanno fornito frazioni delle Componenti Fini (<0,0074 mm) corrispondenti a

$$FC = 78/87/82\%$$

e valori dell'Indice di Plasticità equivalenti a:

$$PI = 22/24/29\%$$

In base alle sopradescritte caratteristiche la probabilità di liquefazione è praticamente nulla (linee Guida AGI, 2005 – Allegato A3 A DGR 2193/2015).

VERIFICHE DI STABILITA' DEL VERSANTE

In rapporto alle condizioni dello stato di fatto del settore di versante oggetto degli interventi di rimodellamento e realizzazione di opere di consolidamento del pendio, ubicato immediatamente a nord est del Comparto Produttivo AP1, sono state effettuate le verifiche di stabilità sia locali che di insieme del versante nelle configurazioni piani altimetriche attuali.

Le analisi di stabilità sono state sviluppate in base ai parametri geotecnici ottenuti dalle analisi di laboratorio su campioni indisturbati (*SINERGEA*, 2015) rapportati a quelli conseguiti dall'analisi geomeccanica dei dati delle prove penetrometriche dinamiche eseguite, definendo i valori statisticamente più rappresentativi delle unità litotecniche individuate, precedentemente descritte nei paragrafi modello litotecnico locale per ogni singola zona.

Le verifiche di stabilità sono state eseguite con 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:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

dove:

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

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

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

$$\cos \alpha(i)$$

w = peso

d = lunghezza del lato

D = inclinazione del lato

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.

Nel contesto delle analisi di stabilità, per l'individuazione, delle superfici di potenziale deformazione – rottura si è fatto riferimento alle prospezioni in tomografia sismica ed elettrica, verticali Re.mi./MASW, prova in foro di sondaggio Down Hole, rapportando le unità sismotecniche individuate ai dati delle indagini geognostiche: sondaggi meccanici, prove penetrometriche dinamiche, analisi di laboratorio geotecnico direttamente eseguite, definendo le superfici di potenziale rottura deformazione cinematicamente possibili che non violano il principio di Mohr - Coulomb.

Le verifiche di stabilità, in rapporto alle geometrie del pendio, sono state effettuate secondo le linee di massima pendenza.

L'assetto plani altimetrico attuale dei profili di versante esaminati è stato determinato in base al rilevamento topografico effettuato sistema GPS.

Le superfici di potenziale deformazione rottura, nel rispetto del principio di Mohr – Coulomb, sono state individuate in base alle pendenze delle unità di strato definite in rapporto all'analisi comparata tra le indagini geognostiche e prospezioni geofisiche, raffrontando detta disamina alle variazioni di inclinazione del profilo topografico.

Le verifiche di stabilità sono state eseguite considerando sia l'assenza di saturazione idrica sotterranea come rilevato nel 07/2015 nei fori delle indagini geognostiche nelle quali non è stata riscontrata presenza di acqua nei primi 7,2 m del sottosuolo (SM – DPSH 6-7-8-9) che simulando l'ipotesi di saturazione dei terreni sino alle quote di base dei filtri ghiaiosi delle esistenti trincee drenanti (effettuate nel 2003/2004). Queste ultime individuate in una schematica planimetria fornita dalla committenza sono state confermate dai dati ottenuti dai profili 2D in tomografia elettrica in base ai quali sono state ubicate come nell'allegata planimetria (Tav. 9).

Le verifiche di stabilità sono state analizzate in termini di *tensioni efficaci*, sia in condizione di assenza di sollecitazione sismica che in presenza della stessa.

In dette disamine 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 che ha fornito valori praticamente corrispondenti alla categoria di sottosuolo D e leggermente minori degli stessi. Nelle verifiche effettuate sono stati adottati i criteri previsti dal DM 17/01/2018 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. 17/01/2018, sono stati determinati applicando il coefficiente

$$\beta = 0,24$$

ottenendo i valori σ_h e σ_v esposti nei successivi paragrafi: verifiche di stabilità.

Per quanto riguarda la valutazione delle condizioni di stabilità, 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 di stato critico, determinati in base ai grafici tensioni – deformazioni orizzontali, (*Sinergia*) – e dei modelli di analisi geomeccanica delle prove penetrometriche dinamiche DPSH e DPM, sono state eseguite in condizioni di assenza di sollecitazione sismica ed in presenza della stessa.

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 per pendenze minori di 15° corrisponde a $FT = 1$; 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 a monte della paratia, ottenuto in base ai dati della verticale RM/MV n°4, equivale:

$$\sigma_h = 0,076$$

$$\sigma_v = 0,038$$

Nelle zone a valle della paratia l'analisi con codice di calcolo, sviluppata per i dati acquisiti mediante la prova Down Hole nel foro di sondaggio che ha evidenziato la presenza del substrato argillitico (APA) a -1,0/-1,5 m pc, i coefficienti dell'azione sismica corrispondono a:

$$\sigma_h = 0,055$$

$$\sigma_v = 0,027$$

I coefficienti di stabilità ottenuti dalle verifiche effettuate per ogni singola simulazione sono riassunti nelle tabelle di sintesi di seguito esposte; le superfici di potenziale deformazione rottura delle condizioni sopra descritte, sono visualizzate negli allegati certificati *Verifica di stabilità*.

In riferimento ai modelli litotecnici dei primi 8/15/20 m del sottosuolo precedentemente descritti, nelle fasce di versante esaminate si sono assunti i valori di

angolo d'attrito interno di stato critico, per unità di strato discretizzate, in orizzonti assimilabili ad un continuo elastoplastico in campo lineare, come indicato nelle tabelle di seguito esposte nelle quali le unità sono elencate dall'alto verso il basso rispetto al piano campagna.

MODELLI GEOTECNICI NEI TRATTI DI VERSANTE SOTTESI DALLA PARATIA

In funzione delle geometrie lentiformi degli orizzonti litotecnici che costituiscono i primi 5/10 m del sottosuolo, alle quali consegue l'assenza o la presenza di unità a differenti caratteristiche litomeccaniche, sono stati discretizzati i modelli delle verticali geotecniche nei tratti di versante sottesi dalla paratia rapportati alle diverse zone geotecniche individuate: A – B – C.

I modelli geotecnici sono come di seguito esposto:

ZONA A Profilo 1 – 1'

<i>Litotipo n°</i>	<i>Profondità da m a m pc zona monte paratia</i>	<i>Spessore medio m zona monte paratia</i>	<i>Angolo inclinazione strato gradi</i>		<i>Peso di volume KN/mc</i>	<i>Angolo attrito interno gradi</i>	<i>Coesione efficace KN/mq</i>
			<i>Monte</i>	<i>Valle</i>			
2	0.0 – 2.5	2.5	16	13	18.0	17	0.0
4	2.5 – 3.1	0.6	18	16	21.5	28	0.0
5	3.1 – 3.9	0.8	17	18	22.0	25	20.0
6	3.9 – 7.9	4.0	12	11	21.7	26	15.0
7	7.9 – 22.0	14.1			21.7	26	15.0

ZONA B Profilo 2-2'

<i>Litotipo n°</i>	<i>Profondità da m a m pc zona monte paratia</i>	<i>Spessore medio m zona monte paratia</i>	<i>Angolo inclinazione strato gradi</i>		<i>Peso di volume KN/mc</i>	<i>Angolo attrito interno gradi</i>	<i>Coesione efficace KN/mq</i>
			<i>Monte</i>	<i>Valle</i>			
1	0.0 – 1.5	1.5	11	11	19.0	22	0.0
2	1.5 – 3.3	1.8	14	14	18.0	18	0.0
4	3.3 – 3.8	0.5	14	14	18.0	16	0.0
5	3.8 – 5.8	2.0	8	8	18.5	20	0.0
6-7	5.8 – 6.2	0.4	9	8	18.5	20	0.0
8	6.2 – 6.9	0.7	10	9	18.3	19	0.0
9	6.9 – 7.6	0.7	10	9	21.5	28	0.0
10	7.6 – 22.0	14.4			22	26	20.0

ZONA C Profilo 3 - 3' settore nord

Litotipo n°	Profondità da m a m pc zona monte paratia	Spessore medio m zona monte paratia	Angolo inclinazione strato gradi		Peso di volume KN/mc	Angolo attrito interno gradi	Coesione efficace KN/mq
			Monte	Valle			
3	0.0 – 0.5	0.5	4	-	19.0	28	0.0
4	0.5 – 1.5	1.0	6	-	19.5	26	0.0
5/6	1.5 – 2.2	0.7	5	5	20.0	22	0.0
7	2.2 – 2.7	0.5	5	5	18.0	17	0.0
8	2.7 – 3.2	0.5	5	5	21.5	24	0.0
9	3.2 – 3.9	0.7	5	5	21.5	28	0.0
10	3.9 – 6.1	2.2	5	5	22.0	26	0.0
11	15.9						20.0

ZONA C.1 Profilo 3 – 3': verticali DPM3/DPSH3 parte intermedia tra zona B (profilo 2 – 2') e zona C: settore nord (profilo 3 – 3') modello utilizzato per verifica dimensionamento paratia

Terreno n°	Profondità da m a m pc zona monte paratia	Spessore medio m zona monte paratia	Angolo inclinazione strato gradi		Peso di volume KN/mc	Angolo attrito interno gradi	Coesione efficace KN/mq
			Monte	Valle			
1	0.0 – 1.3	1.0	7	-	18.5	21	0.0
2	1.3 – 2.4	1.1	7	-	19.0	24	0.0
3	2.4 – 3.6	1.2	8	8	18.5	22	0.0
4	3.6 – 4.1	0.5	8	8	18.0	17	0.0
5	4.1 – 4.7	0.6	8	8	19.0	22	0.0
6	4.7 – 6.0	1.3	8	8	22.0	26	20.0
7	6.0 - 22	16.0			21.7	26	15.0

ZONA A**PROFILO P1 stato attuale**

Litotipo	Angolo d'attrito interno, ϕ°	Angolo d'attrito interno ridotto, ϕ°	Coesione efficace c' (kN/mq)	Coesione efficace ridotta c' (kN/mq)	γ_n (KN/mc)
1	22	17.9	0	0	19
2	17	13.7	0	0	18
3	22	17.9	0	0	20
4	28	23	0	0	21.5
5	25	20.5	20	16	22
6	26	21.3	15	12	21.7
7	26	21.3	15	12	21.7

Profilo P1 stato attuale – parametri interi condizione M1 – FS1,3

Codice verifica	Coefficienti di sicurezza minimi FS				Forza reagente max KN/ml
	Assenza Falda/sisma	Presenza Falda	Presenza Sisma	Presenza Falda-Sisma	
Sup 1	1,68	1,68	1,16	1,16	67
Sup 2	2,10	2,07	1,43	1,41	-
Sup 3	2,24	2,22	1,53	1,50	-
Sup 4	4,90	4,50	3,18	2,90	-
Tan1	1,03	1,03	0,82	0,82	41
Tan2	1,35	1,35	1,00	1,00	37

Profilo P1 stato attuale – parametri ridotti condizione M2 – FS1,1

Codice verifica	Coefficienti di sicurezza minimi FS				Forza reagente max KN/ml
	Assenza Falda/sisma	Presenza Falda	Presenza Sisma	Presenza Falda-Sisma	
Sup 1	1,33	1,33	0,92	0,92	99
Sup 2	1,67	1,65	1,14	1,12	-
Sup 3	1,78	1,76	1,21	1,20	-
Sup 4	3,92	3,60	2,53	2,32	-
Tan1	0,82	0,82	0,65	0,65	48
Tan2	1,08	1,08	0,79	0,79	44

Le verifiche effettuate per lo stato attuale nella zona A, settore di versante adiacente al limite nord est del comparto artigianale AP1 largo 31/33 m, evidenziano condizioni stabili in assenza di sollecitazione sismica e di falda idrica sotterranea nella combinazione A1+M1+R1, per le superfici di potenziale rottura – deformazione relativamente più profonde -5/-7 m pc: sup 2-3-4, fa eccezione tan 1 stabile non in sicurezza. Nella combinazione A2+M2+R2 la superficie tan 1 non è stabile mentre Tan 1 è stabile non in sicurezza ma con valori molto prossimi alla sicurezza in assenza di sisma.

In presenza di sisma e di falda alle quote di depressione del livello di falda esercitate dalle trincee drenanti, sussistano situazioni non stabili per Sup 1 e Tan 1 – Tan 2 per le quali la forza stabilizzante massima richiesta dalla sup.1 corrisponde a:

$$FR = 99 \text{ KN/ml}$$

Le forze reagenti fornite dalla paratia di pali precedentemente eseguita sono idonee e conferiscono valori di resistenza che garantiscono condizioni stabili in sicurezza al settore di versante della zona A.

ZONA B**PROFILO P2 stato attuale**

Litotipo	Angolo d'attrito interno, ϕ°	Angolo d'attrito interno ridotto, ϕ°	Coesione efficace c' (kN/mq)	Coesione efficace ridotta c' (kN/mq)	γ_n (KN/mc)
1	22	17.9	0	0	19
2	18	14.6	0	0	18
3	21	17.1	0	0	19
4	16	12.9	0	0	18
5	20	16.2	0	0	18.5
6	21	17.1	0	0	19
7	20	16.2	0	0	18.5
8	19	15.4	0	0	18.3
9	28	23	0	0	21.5
10	26	21.3	20	16	22

Profilo P2 stato attuale – parametri interi condizione M1 – FS1,3

Codice verifica	Coefficienti di sicurezza minimi FS				Forza reagente max KN/ml
	Assenza Falda/sisma	Presenza Falda	Presenza Sisma	Presenza Falda-Sisma	
Sup 1	1,89	1,89	1,30	1,26	21
Sup 2	2,22	1,97	1,48	1,31	-
Tan 1	1,26	1,25	0,93	0,93	142
Tan 2	1,70	1,53	1,22	1,10	127
Tan 3	1,64	1,59	1,17	1,13	77
Tan 4	2,09	2,09	1,37	1,37	-

Profilo P2 stato attuale – parametri ridotti condizione M2 – FS1,1

Codice verifica	Coefficienti di sicurezza minimi FS				Forza reagente max KN/ml
	Assenza Falda/sisma	Presenza Falda	Presenza Sisma	Presenza Falda-Sisma	
Sup 1	1,51	1,51	1,00	1,00	59
Sup 2	1,77	1,57	1,19	1,04	83
Tan 1	1,05	1,04	0,78	0,77	165
Tan 2	1,35	1,22	0,97	0,87	168
Tan 3	1,30	1,26	0,93	0,90	107
Tan 4	1,67	1,67	1,10	1,10	-

Le verifiche eseguite per il settore di versante centrale (zona B), con un fronte di circa 13/15 m, da 31/33 m a 46/48 m dal limite nord dell'area produttiva AP1, nella combinazione 1: A1+M1+R1; evidenziano condizioni stabili in sicurezza in assenza di falda e di sisma e presenza di falda.

In presenza di sisma e falda idrica sotterranea le situazioni sono stabili non in sicurezza o stabili ad eccezione di tan 1 non stabile; la forza reagente massima richiesta da tan 2 per la stabilità corrisponde a:

$$FR = 142 \text{ kN/ml}$$

Nella combinazione 2 – A2+M2+R2, le condizioni sono instabili per Tan 1 – 2 – 3 ed in funzione del livello idrico sotterraneo depresso dalle azioni esercitate dalle trincee drenanti, richiedono per le superfici Tan 1- Tan 2 forze reagenti per la stabilità equivalenti a:

$$FR = 165/168 \text{ kN/ml}$$

In assenza di sollecitazione sismica e presenza di falda le forze reagenti fornite dall' esistente paratia di pali garantiscono condizioni stabili in sicurezza.

In presenza di sollecitazione sismica le forze reagenti fornite dalla paratia già realizzata sono inferiori a quelle richieste e pertanto necessitano di adeguamenti strutturali.

In riferimento a quanto sopra esposto si specifica che il tratto di paratia che sottende la zona B è stato oggetto di Progetto in Sanatoria ed Opere Integrative di Adeguamento Strutturale già Autorizzato dal Servizio AREA AFFLUENTI PO, Reggio Emilia.

ZONA C**PROFILO P3 stato attuale**

Litotipo	Angolo d'attrito interno, ϕ°	Angolo d'attrito interno ridotto, ϕ°	Coesione efficace c' (kN/mq)	Coesione efficace ridotta c' (kN/mq)	γ_n (KN/mc)
1	24	19.6	0	0	19
2	17	13.7	0	0	18
3	28	23	0	0	19
4	26	21.3	0	0	19.5
5	22	17.9	0	0	20
6	22	17.9	0	0	20
7	17	13.7	0	0	18
8	24	19.6	0	0	21.5
9	28	23	0	0	21.5
10	26	21.3	20	16	22
11	26	21.3	15	12	21.7

Profilo P3 stato attuale – parametri interi condizione M1 – FS1,3

Codice verifica	Coefficienti di sicurezza minimi FS				Forza reagente max KN/ml
	Assenza Falda/sisma	Presenza Falda	Presenza Sisma	Presenza Falda-Sisma	
Sup 1	2.05	2.05	1.32	1.32	-
Sup 2	3.60	3.49	2.37	2.30	-
Tan 1	2.25	2.25	1.45	1.45	-
Tan 2	1.87	1.87	1.24	1.24	3

Profilo P3 stato attuale – parametri ridotti condizione M2 – FS1,1

Codice verifica	Coefficienti di sicurezza minimi FS				Forza reagente max KN/ml
	Assenza Falda/sisma	Presenza Falda	Presenza Sisma	Presenza Falda-Sisma	
Sup 1	1.63	1.63	1.06	1.06	17
Sup 2	2.88	2.79	1.89	1.84	-
Tan 1	1.80	1.80	1.16	1.16	-
Tan 2	1.49	1.49	0.99	0.99	6

Le verifiche del settore di versante che costituisce la parte più a nord dell'area interessata dai consolidamenti larga 28/35 m ed iniziante 48/50 m a nord del limite dell'area produttiva AP1, zona C, in condizioni di assenza di sisma e di falda e presenza di falda sono stabili in sicurezza sia per la combinazione 1 che combinazione 2.

In presenza di sisma e di falda idrica per la combinazione 1 (A1+M1+R1), le condizioni sono stabili in sicurezza ad eccezione della superficie Tan 2 stabile non in sicurezza, con coefficiente prossimo alla sicurezza, che richiede una forza stabilizzante reagente:

$$FR = 3 \text{ kN/ml}$$

Per la combinazione 2 (A2+M2+R2) le situazioni sono stabili per sup 2, Tan 2; stabili non in sicurezza ma con $f_s = 1,06$ quindi accettabile per sup 1, instabili per Tan 2, per la quale sono richieste forze reagenti necessarie alla stabilità equivalenti rispettivamente a:

$$FR = 17/6 \text{ kN/ml}$$

Le forze reagenti fornite dell'esistente paratia su pali sono idonee e conferiscono condizioni stabili in sicurezza al settore di versante della zona C.

Zona C1

Analoghe condizioni stabili insicurezza in funzione delle forze reagenti della paratia già realizzata sussistono anche per la zona C1, settore di versante intermedio tra la zona B e la zona C, come hanno evidenziato le verifiche di idoneità strutturale della paratia che hanno fornito esito positivo (vedi Rel. Ing. Vittorio Sabatini del 14/07/2017, Progetto per Sanatoria di Paratia Esistente ed Opere Integrative di Adeguamento strutturale della stessa).

Verifiche di stabilità - paratia

Le analisi di stabilità sviluppate considerando la presenza della paratia, hanno evidenziato che i primi 31,5 m della paratia: parte sud, hanno idonee caratteristiche per le condizioni di stabilità in sicurezza in rapporto all'interazione forze resistenti fornite dalla struttura/spinte dei terreni.

Nel tratto centrale mediano, da 31,5 a 48 m da inizio (lato sud), l'interazione tra le forze resistenti fornite dalla paratia e le spinte dei terreni in presenza di sollecitazione sismica e di falda evidenzia la necessità di adeguamento strutturale; quest' ultimo è da realizzare con un nuovo tratto di paratia con lunghezza di 18 m; tale parte di paratia in assenza di sollecitazione sismica e presenza di falda è in condizioni stabili ed in sicurezza come hanno evidenziato i monitoraggi inclinometrici effettuati di seguito descritti.

Il progetto per la sanatoria della paratia esistente ed opere integrative di adeguamento strutturale della stessa è stato autorizzato da *Servizio AREA AFFLUENTI PO* Reggio Emilia, Ing. Francesco Capuano, con determina n°3016 del 28/09/2017, trasmessa all'U.T. del Comune di Castelnuovo né Monti il 18/10/2017 con il PC/2017/45817.

I lavori di adeguamento sismico autorizzati è programmato siano eseguiti nel 2018.

La parte settentrionale della paratia da 48 m a 58,20 m da inizio (lato sud) ha caratteristiche idonee per le condizioni di stabilità in sicurezza in rapporto all'interazione forze resistenti fornite dall'opera di sostegno/spinte dei terreni.

MONITORAGGIO DEL VERSANTE

Nel settore di versante a nord-nord est del limite settentrionale dell'area per Attività Produttive AP1 il Boaro, nel quale la carta del dissesto del PTCP e quella di PSC adeguata alla stessa su prescrizione della Provincia di Reggio Emilia, individuano la presenza di un accumulo di frana attiva, è stato messo in opera un sistema di monitoraggio costituito da tubo inclinometrico biassiale in alluminio con base attestata a -22,2 m. pc.

Tale strumentazione è ubicata nella pista 8 m a valle della paratia che in rapporto alle geometrie del pendio ed agli elaborati cartografici del PTCP, rappresenta la zona nella quale è possibile si impostino superfici di deformazione/rottura.

Nell'agosto 2015 è stata effettuata la lettura dal momento zero. Nel successivo periodo dal 28/01/2016 al 19/01/2018 sono state effettuate misurazioni a cadenza di 5 mesi sino al 2016 e successivamente, in rapporto alla piovosità molto bassa nel 2017/2018 e quindi di variazione del grado di saturazione dei terreni praticamente nulli in tale periodo, con intervallo di 11-6 mesi.

Gli spostamenti registrati nel primo periodo: misura del 01/2016, corrispondenti ad 1,4 mm alla profondità di -0,5/1,0 m dal piano campagna coincidente con il piano della pista di servizio immediatamente a valle della paratia, sono correlabili a deformazioni per ritiro della boiacca di cemento all'intercapedine inclinometro/terreno ed agli assestamenti in detto spessore di sottosuolo costituito da massetto di fondazione della sopracitata pista correlato al percorso degli automezzi sulla stessa. Pertanto detto spostamento non è significativo per quanto riguarda le deformazioni del pendio e sue condizioni di stabilità; alle profondità sottostanti: le deformazioni sono inferiori a 0,5 mm.

Le misurazioni successive del 06/2016 al 01/2018 hanno evidenziato spostamenti massimi minori di:

$$\delta s < 0,5 \text{ mm}$$

alle profondità di -10,5 m e -13,0 m pc.

Tali valori: $0,4 \div 0,5$ mm, evidenziano che nel versante in oggetto sono assenti processi di deformazione che indichino condizioni evolutive in atto e pertanto il tratto di pendio tra via Martiri di Legoreccio 9 D – SS n° 63 e via Grotte è in condizioni stabili ed in sicurezza, conseguite agli eseguiti interventi di consolidamento precedentemente descritti.

In funzione di quanto esposto il settore di pendio in oggetto è area stabilizzata.

Proposta di variante cartografica alla tavola del dissesto del PSC

Le movimentazioni terre effettuate nell'area oggetto di richiesta di variante cartografica alla tavola del dissesto del PSC si sono articolati nell'asporto dei preesistenti terreni per la prevalente parte d'area: 68% della superficie totale, sino al raggiungimento del substrato argillitico nel mappale n° 490 F° n° 31 C.T. di Castelnovo né Monti, RE; nella rimanente parte di detto mappale corrispondente al 32%, le profilature in gradoni hanno determinato la presenza del substrato argillitico a profondità

$h = -1,4 \div -2,2$ m pc al lato ovest (paratia)

$h = -1,4 \div -2,8$ m pc al lato nord (confine proprietà)

$h = -2,8 \div -3,0$ m pc al lato est (SS n° 63)

e pertanto per coperture di riporto antropico con spessori

$$h = \leq 3,0 \text{ m}$$

sono considerabili come condizioni di substrato roccioso affiorante (DGR 2193/2015).

Nel settore occidentale del versante, zona a monte della paratia di pali, mappali 542-541 e particella n° 402, F° n° 31 C.T. Comune di Castelnovo né Monti, le nuove profilature – trincee drenanti – opera di sostegno, hanno consolidato il pendio conducendolo a condizioni stabili in sicurezza e pertanto la preesistente frana attiva adiacente al lato settentrionale dell'Area Attività Produttive AP1 è riclassificabile come frana stabilizzata.

Dette situazioni di stabilità in sicurezza sono confermate dal monitoraggio inclinometrico che nell'arco di tempo di 29 mesi, successivamente alla prima fase di assestamento per ritiro della boiaccia in cemento, ha evidenziato spostamenti inferiori a 0,5 mm.

La proposta di variante cartografica alla Tavola del dissesto del PSC è visualizzata nell'allegata Tav: VC1

CONCLUSIONI

In riferimento all'Ordinanza n° 59 del 20/05/2015 del Comune di Castelnovo né Monti: inerente alla movimentazione terreni ed occupazione degli stessi mediante deposito materiali, nuova costruzione di struttura dimostrativa ad uso autorimessa/ricovero attrezzi, delimitazione dell'area con recinzione in rete metallica plastificata supportata da pali in legno, relativi all'area sita in Strada Statale del Cerreto n° 63 identificata dai mappali n° 490 F° n° 31, mapp. n° 556 sub 1 – sub 2 – sub 3 – sub 4 del F° n° 42 del Catasto Terreni del Comune di Castelnovo ne Monti, oggetto di lavori realizzati in assenza di titolo edilizio, è stata effettuata un'analisi di modellazione e caratterizzazione geologico geotecnica e sismica e rilevazione dell'assetto plani altimetrico dello stato di fatto per il raffronto con la topografia preesistente ai lavori di movimentazione terre e realizzazione opere di consolidamento e trincee drenanti.

Detta disamina è stata indirizzata alla valutazione delle condizioni di stabilità e di sicurezza degli assetti morfologici del versante conseguiti ai sopra descritti lavori ed in rapporto allo stato preesistente che negli elaborati di PTCP e PSC: Carta del Dissesto (l'elaborato di PSC è stato adeguato a quello di PTCP su prescrizione della Provincia di R.E.), classificano la striscia meridionale occidentale del sito utilizzato a piazzale e la fascia al bordo settentrionale dell'Area ad Uso Produttivo AP1 come frana attiva.

In funzione di quanto esposto sono state eseguite analisi geologico – geomorfologico tecniche, prospezioni geognostiche e geofisiche, rilievo topografico del sito con metodo GPS, esame delle foto aeree STB. RE 2004/BN, scala 1:14.500 circa, Ortofoto AGEA 2006, finalizzati alla definizione delle caratteristiche litotecniche e di classificazione tipologica delle litozone che rivestono il sopradescritto tratto di pendio e cronologia degli interventi di rimodellamento/consolidamento.

L'analisi delle condizioni del settore di versante a monte della SS n° 63 in località Boaro di Castelnovo ne Monti, eseguita su commissione di *Bertoletti Pietro – Corradini Liliana - Bertoletti Legnami srl*, via Martiri di Legoreccio 9/D, Castelnovo né Monti, è stata redatta in ottemperanza ai dettati del DM 17/01/2018, DGR 2193/2015, NA PTCP RE 2010, NA. PSC – RUE Castelnovo né Monti 2015.

I rilevamenti effettuati hanno evidenziato che nel settore dell'area utilizzato a piazzale: mappale n° 490 F° n° 31, sono stati effettuati sbancamenti che hanno abbassato il preesistente profilo topografico di 1/3/3,5 m nella parte di pendio con larghezza di 30 – 35 m iniziante 12 m ad ovest della SS n° 63 m. Nel settore di pendio che inizia 60/65 m ad ovest della SS n° 63 e nella fascia larga 12 m adiacente a quest'ultima, il piano campagna è stato sopraelevato di 1/2,5/3,5 m.

Detti scavi e riporti come documentano le foto aeree STB RE. 2004/BN ed Ortofoto AGEA 2006 sono stati effettuati precedentemente al 2004/2006 ed in quest'ultimo anno risultano già eseguiti come certifica l'Ortofoto AGEA.

Ne consegue che a tale periodo l'accumulo di frana attiva al lato nord - nord est della Area ad uso Produttivo AP1 non era più riconoscibile nel settore a monte della paratia e non più presente nella parte d'area utilizzata a piazzale per una larghezza di 60/65 m rispetto al bordo ovest della SS n° 63.

Gli sbancamenti nella zona sede della paratia hanno determinato condizioni di substrato argillitico consistente sub affiorante: rinvenibile a -1/-1,5 m pc dal piano campagna; equivalente situazione di substrato a -0,6/1,0 m pc è conseguita anche agli scavi eseguiti a valle della suddetta paratia nella zona piazzale. Analoghe condizioni sono state raggiunte alle fasce ai bordi ovest nord – nord est nei quali i rimodellamenti hanno determinato la presenza del substrato argillitico a profondità variabilità tra -1,4 ÷ -2,2 ÷ -3,0 m pc e quindi considerabili aree con substrato roccioso affiorante. Pertanto al 2004/2006 in detta zona mappale n° 490 – F° n° 31 era già assente l'accumulo di frana e presente il substrato argillitico.

A monte del piazzale di detto mappale è stata realizzata un'opera di sostegno costituita da una paratia di pali in CA collegati in testa da trave e muro in CA. Tale manufatto è stato costruito successivamente alla realizzazione di trincee drenanti profonde -3/-4,5 m rispetto al piano campagna attuale; queste ultime convogliano le acque raccolte a pozzetti di raccolta ubicati ai bordi nord est e sud ovest dell'area piazzale dai quali le stesse corrivano per deflusso naturale sul terreno a pozzetti acque bianche in fregio alla SS n° 63. In seguito alla realizzazione di dette opere, nella parte occidentale del versante (zona a monte della paratia) sono stati riportati i materiali di risulta dai sopradescritti sbancamenti disponendoli in ripiani sub orizzontali separati da scarpate con altezza di 2,5/3 m ed angoli di 25°/30°, per un migliore utilizzo ai fini di uso agricolo.

Le analisi di caratterizzazione geotecnica dei terreni sono state effettuate mediante indagini geognostiche: sondaggio meccanico, prove penetrometriche dinamiche DPSH e DPM ed analisi di laboratorio geotecnico su campioni indisturbati. L'individuazione delle geometrie e disposizione spaziale delle unità litotecniche sono state eseguite in base a prospezioni in tomografia sismica ed elettrica 2D.

Queste ultime oltre a quanto esposto hanno consentito di individuare le zone in cui sono state realizzate le trincee drenanti e la loro profondità.

Le indagini ed analisi effettuate hanno evidenziato la suddivisione del versante in quattro diverse zone litotecniche, da sud a nord rispetto al limite nord del Comparto Produttivo AP1 e da ovest ad est relativamente alla SS n° 63; dette aree sono individuate come zona A, zona B, zona C, zona D, quest'ultima è sede del settore piazzale ad est della paratia/pista di servizio. Tali litozone sono a loro volta

nettamente differenziate in direzione est ovest, dalla SS n° 63 verso via Grotte; le suddivisioni definite caratterizzano l'area tra la paratia e la strada statale individuata dal mappale n° 490 F° N° 31, con condizioni di substrato roccioso argillitico affiorante, presente da -0,5 a -1,0/-1,5 ÷ -3,0 m pc. A monte della paratia i primi 1/3/3,5 m del sottosuolo sono costituiti da materiali di riporto che nel settore centrale del pendio sono seguiti da 2/3 m di depositi di versante o di preesistente frana, mentre ai lati ovest ed est rivestono le argilliti del substrato consistente.

Le verifiche di stabilità del versante, sviluppate in funzione dei modelli litotecnici individuati e del valore di accelerazione orizzontale determinato con codice di calcolo: III° livello di approfondimento, sono state effettuate analizzando le configurazioni dello stato attuale rimodellato/consolidato.

Le verifiche di stabilità hanno evidenziato che le condizioni di stabilità conseguite ai rimodellamenti ed interventi di consolidamento eseguiti, costituiti da trincee drenanti che evitano la presenza di battente idrico almeno nei primi 4/4,5 m dal piano campagna ed un'opera di sostegno formata da una paratia di pali in CA collegati in testa da trave e muro in CA, hanno conferito condizioni di stabilità in sicurezza al pendio.

Nel settore centrale dell'opera di sostegno, a distanza di 32/33 m da inizio lato sud paratia e per una successiva lunghezza di 13/15 m, le forze reagenti fornite dall'opera di sostegno sono adeguate in assenza di sollecitazione sismica e presenza di falda idrica sotterranea, sono inferiori a quelle necessarie in base alle norme: NTC 2018 in presenza di sollecitazione sismica e di falda. In funzione di ciò è stato eseguito un Progetto di Sanatoria con Opere Integrative di Adeguamento Strutturale: *Ing. Vittorio Sabatini, già autorizzato dal Servizio AREA AFFLUENTI PO, Reggio Emilia*, con determina n° 3016 del 28/08/2017 ed in programma di esecuzione – completamento nel 2018.

Nelle parti sud occidentali e nord occidentali della paratia le forze reagenti fornite dalla stessa sono adeguate e conferiscono nello stato attuale condizioni di stabilità in sicurezza al pendio.

Nel settore di versante nel quale la cartografia del dissesto del PTCP individua la presenza di una frana attiva, dal 2004/2006 non più presente, è stato messo in opera un tubo inclinometrico biassiale in alluminio con base attestata a -22,5 m pc.

Le letture effettuate dal 26/08/2015 al 19/01/2018 (29 mesi) hanno evidenziato uno spostamento massimo di 1,4 mm alla profondità di 0,5 m pc; alle quote sottostanti: -10,5/-13,0 m pc sono stati rilevati spostamenti massimi inferiori a 0,5 mm. Ne consegue che il versante monitorato è in condizioni stabili ed in sicurezza.

Pertanto la preesistente frana attiva a monte della paratia adiacente al bordo settentrionale dell'Area ad uso Produttivo AP1 è riclassificabile come frana

stabilizzata; la parte orientale del versante tra la paratia e la SS n° 63 è riclassificabile: area con substrato affiorante, come visualizzato nell'allegata Tav. 11.

In funzione di quanto esposto si propone di riclassificare la carta del dissesto di PSC come visualizzato in Tav. 11.

*Dr. Geol. **GIAN PIETRO MAZZETTI***