

**L'intervento di messa in sicurezza
"Comune di Frassinoro, strada fondovalle Dolo.
Ripristino con viadotto del collegamento
stradale interrotto - emergenza frana dei Boschi
di Valoria" - OPCM 3510/2006**

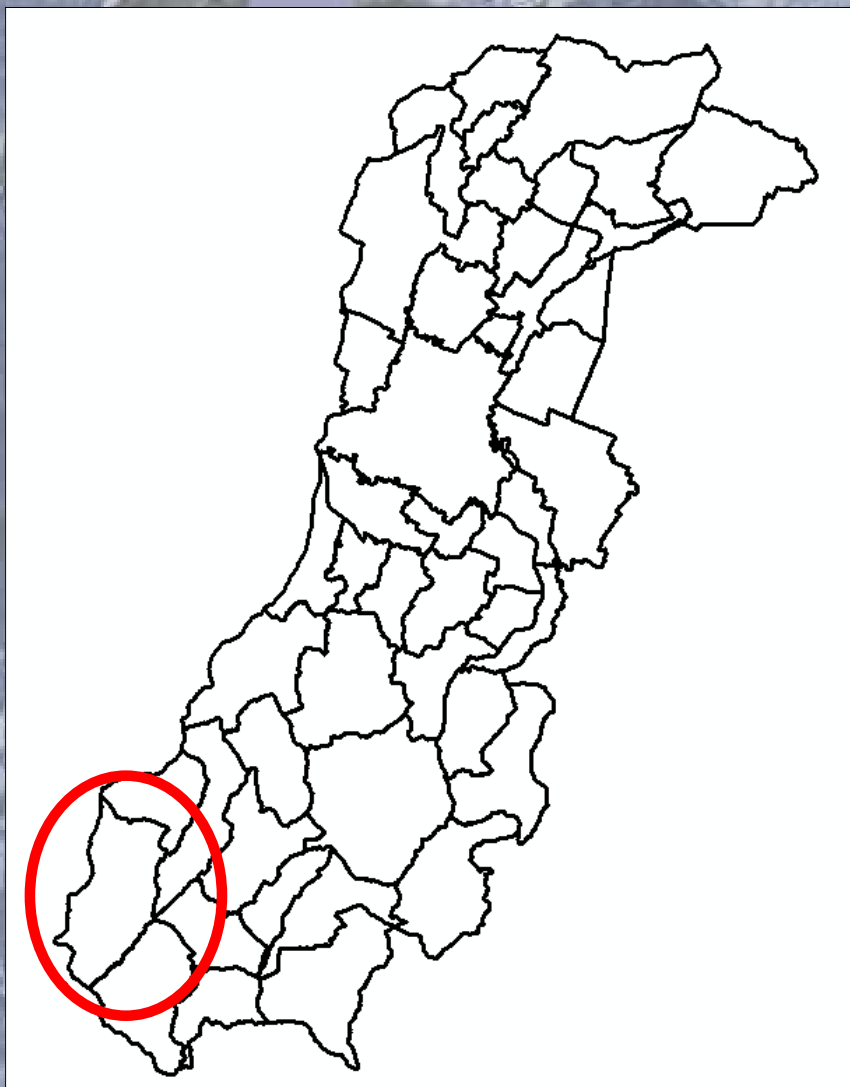
Dott. Ivano Campagnoli

Auditorium Fondazione Marco Biagi

Inquadramento generale



PROVINCIA DI MODENA
Servizio Geologico



Provincia di Modena



Comune di Frassinoro

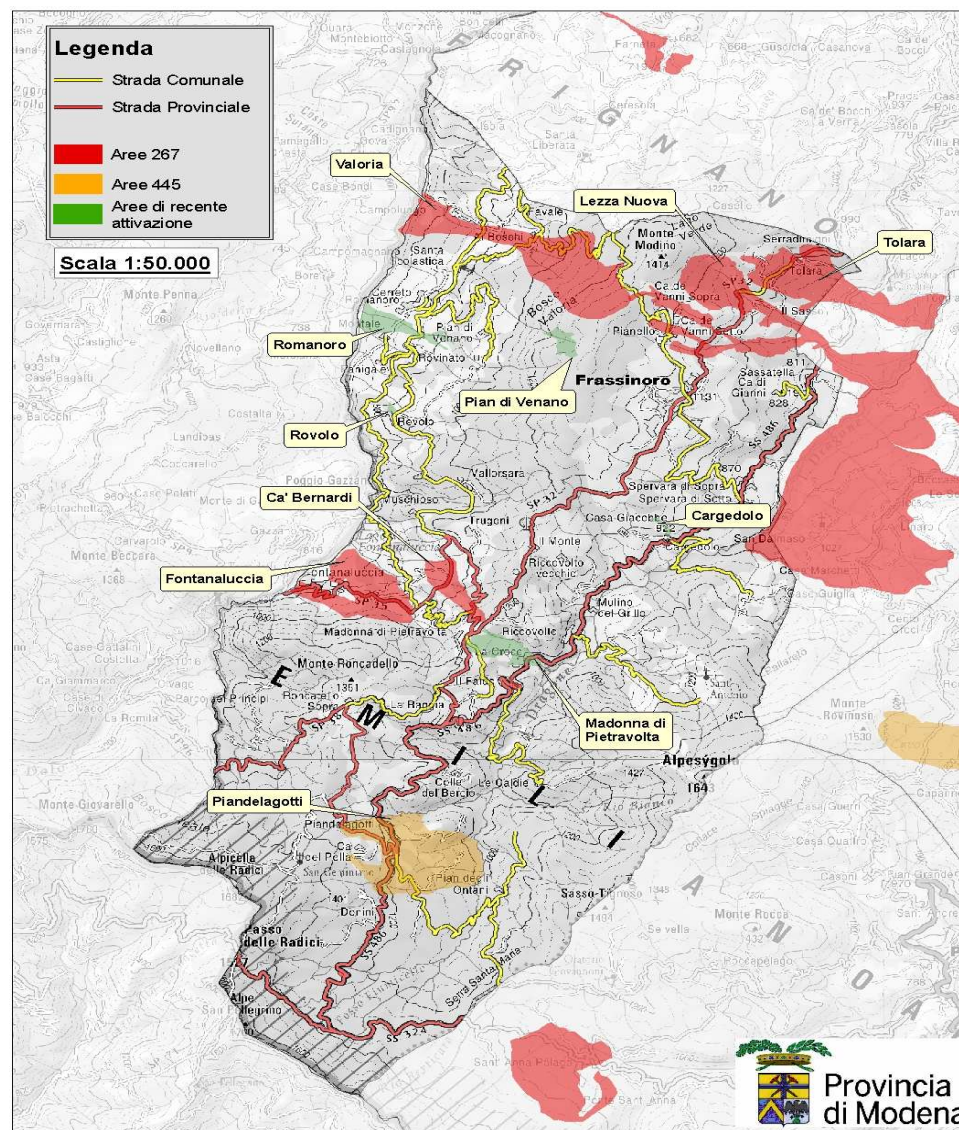
Dott. Ivano Campagnoli

Inquadramento generale



PROVINCIA DI MODENA
Servizio Geologico

- **40% DEL TERRITORIO È SU FRANA ATTIVA O QUIESCENTE**
- **5 FRANE PERIMETRATE "267"**
L. 3 Agosto 1998, n.267 e successive
- **2 ABITATI DICHIARATI "DA CONSOLIDARE O DA TRASFERIRE"**
L.445/1908



Inquadramento generale



PROVINCIA DI MODENA
Servizio Geologico

Torrente Dolo

S.C. "Fondovalle Dolo"

Monte Modino 1414 m

Tolara

S.P. 32

S.P. 486

Boschi di Valoria

Lezza Nuova

Torrente Dragone

Puntatore 44°19'12.50" N 10°34'14.89" E elev 1361 m

Image © 2008 DigitalGlobe
Streaming 100%

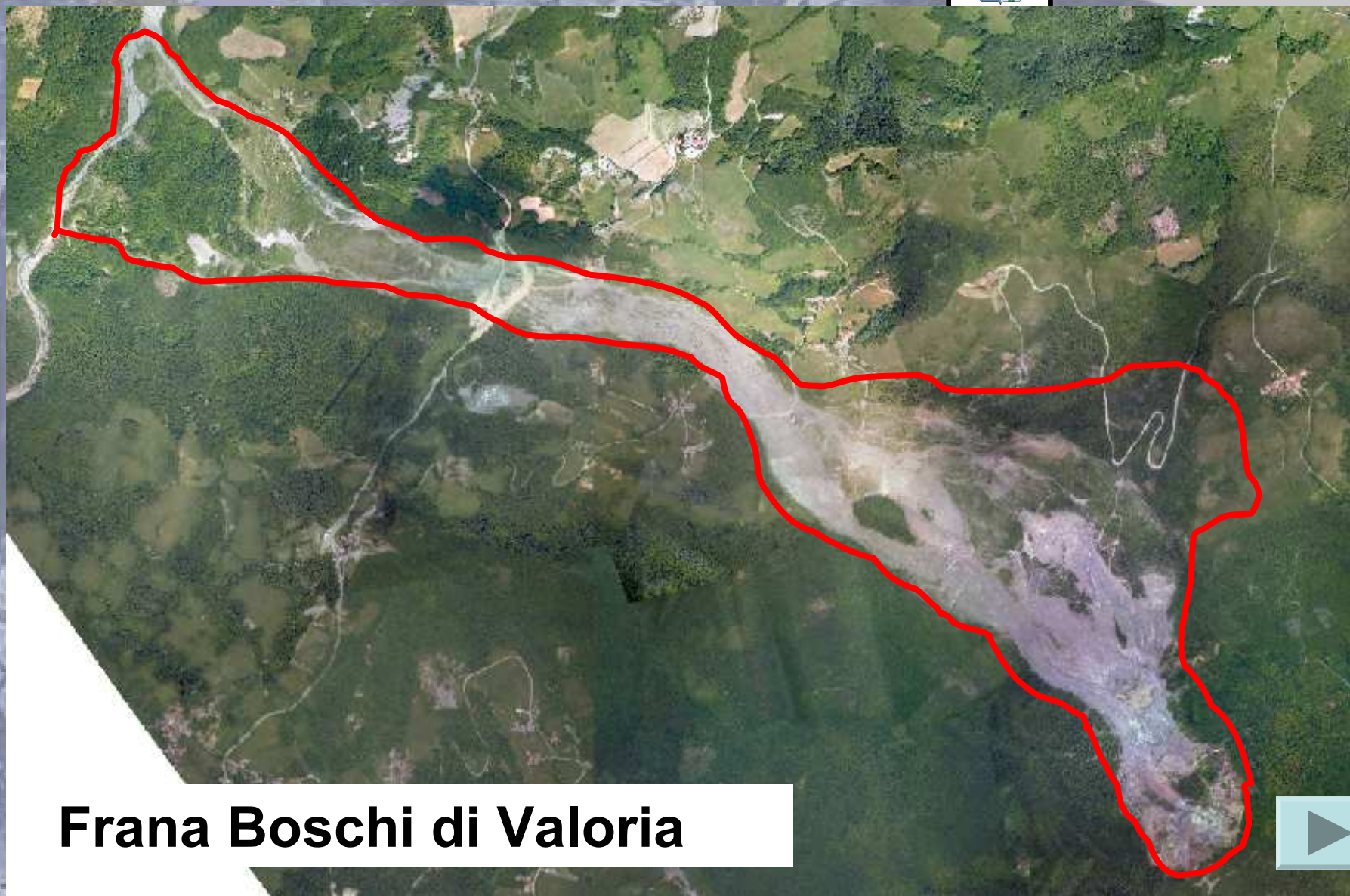
Alt 7.60 km

Dott. Ivano Campagnoli

Inquadramento generale



PROVINCIA DI MODENA
Servizio Geologico



Frana Boschi di Valoria



Dott. Ivano Campagnoli

Inquadramento generale



PROVINCIA DI MODENA
Servizio Geologico



Frana Lezza Nuova e Tolara

Dott. Ivano Campagnoli



1. Insediamenti Abitativi

Frazioni con Residenti e Seconde Case

2. Reti di Servizi

Zone di Captazione a scopi acquedottistici, Gasdotto

3. Viabilità

- Allungamento degli ordinari Percorsi Stradali

Lavoratori Pendolari, Trasporto Pubblico e di Emergenza

Attività Turistiche ed Attività Produttive: difficoltà nel trasporto merci – materie prime

- Rischio di Isolamento per il Comune

Dott. Ivano Campagnoli

La Scelta progettuale



PROVINCIA DI MODENA
Servizio Geologico

- Caratteristiche dei fenomeni franosi

Tutte le frane citate hanno costituito, e costituiscono tuttora, elemento di grave criticità territoriale in quanto hanno a più riprese interrotto infrastrutture viarie strategiche quali la strada comunale Fondovalle Dolo (frana Boschi di Valoria) e la strada Provinciale SP 32 e SP 486 (frana Lezza Nuova e Tolara).

Contrariamente alle frane che interessano il versante opposto del Monte Modino (frana Lezza Nuova e frana di Tolara), la frana dei Boschi di Valoria rappresenta un fenomeno in forte evoluzione, con ampio bacino di alimentazione che induce ricorrenti ed intense attivazioni dei movimenti. Per di più questa frana rispetto alle altre menzionate presenta una zona di accumulo (piede della frana) molto più limitata, fattore indicativo di una maggiore tendenza evolutiva del fenomeno (sensibile squilibrio di masse tra zona di alimentazione e zona di accumulo). In effetti il continuo trasporto di materiale al piede fa sì che questo non eserciti alcuna funzione di stabilizzazione delle masse in gioco.

A differenza di quanto sin'ora verificatosi in relazione alle frane di Tolara e Lezza Nuova, la frana Boschi di Valoria per le considerazioni sopra esposte, produce effetti di rottura della sede stradale non ripristinabili a breve termine, bensì perduranti per periodi di tempo assai lunghi (anche mesi), in pendenza del ristabilirsi di condizioni sufficientemente favorevoli alla realizzazione di un'opera di ripristino a carattere provvisoria.

- Alti costi per il mantenimento della viabilità provvisoria

Dott. Ivano Campagnoli

Le caratteristiche del movimento franoso



PROVINCIA DI MODENA
Servizio Geologico

Frana di tipo complesso, caratterizzata da scivolamenti rotazionali in roccia e terra nella zona di coronamento, che evolvono rapidamente in scivolamenti – colate di terra nella parte media ed inferiore del versante.

Rotational/Translational slide – earth flow Cruden & Varnes 1996

La frana dei Boschi di Valoria rappresenta un fenomeno in forte evoluzione, con ampio bacino di alimentazione che induce ricorrenti ed intense attivazioni dei movimenti. La zona di accumulo (piede della frana) è molto più limitata, fattore indicativo di una maggiore tendenza evolutiva del fenomeno (sensibile squilibrio di masse tra zona di alimentazione e zona di accumulo). In effetti la continua asportazione da parte del torrente Dolo di materiale in una porzione del piede fa sì che questi non eserciti una significativa funzione di stabilizzazione delle masse in gioco.

Dott. Ivano Campagnoli

Le caratteristiche del movimento franoso



PROVINCIA DI MODENA
Servizio Geologico

Frana Boschi

Morfometria

Pendenza media

Dislivello

Quota corona

Quota unghia

Lunghezza massima

Larghezza massima

Profondità

Attività frana (WP/W)

Stato di attività: ri

Stile di Attività: compless

Distribuzione dell'attività

Classificazione frana (Cruden)

Scivolamento rotazionale in roccia – s



Dott. Ivano Campagnoli

La progettazione geologica - geotecnica



PROVINCIA DI MODENA
Servizio Geologico

1. Premessa

2. Inquadramento geografico-amministrativo

3. Modellazione geologica del sito

3.1. Premessa

3.2. Caratterizzazione climatica

- 3.2.1. Inquadramento generale
- 3.2.2. Analisi della termometria
- 3.2.3. Analisi idrologica
 - 3.2.3.1. Caratteri pluviometrici e correlazioni con le riattivazioni della frana "Boschi di Valoria"
- 3.2.4. Considerazioni conclusive

3.3. Caratterizzazione geologica e stratigrafica

- 3.3.1. Premessa
- 3.3.2. La geologia dell'area
- 3.3.3. Le formazioni geologiche presenti
 - 3.3.3.1. Successione del M. Cervarola
 - 3.3.3.2. Unità Modino - Sotto-Unità Ventasso
 - 3.3.3.3. Unità epilitorica della Val Bogazza
 - 3.3.3.4. Unità Venano
 - 3.3.3.5. Unità Monghidoro
- 3.3.4. Caratteristiche litostatigrafiche locali
 - 3.3.4.1. Premessa
 - 3.3.4.2. I dati utilizzati
 - 3.3.4.3. Le sezioni geologiche e stratigrafiche
 - 3.3.4.3.1. Sezione A-A'
 - 3.3.4.3.2. Sezione B-B'
 - 3.3.4.3.3. Sezione C-C'
 - 3.3.4.3.4. Sezione D-D'
 - 3.3.4.3.5. Sezione E-E'
 - 3.3.4.4. Considerazioni conclusive
- 3.3.5. Elementi strutturali
 - 3.3.5.1. Premessa
 - 3.3.5.2. Le superfici strutturali dell'area
 - 3.3.5.2.1. Lineamenti tettonici delle Unità Toscane
 - 3.3.5.2.2. Le strutture riconoscibili nella Sotto-Unità Ventasso
 - 3.3.5.3. Lineamenti tettonici delle Unità Liguri
 - 3.3.5.3. Le strutture tardive ad alto angolo

3.4. Caratterizzazione idrogeologica

- 3.4.1. Caratteristiche idrogeologiche generali
 - 3.4.1.1. Complessi idrogeologici di tipo "A"
 - 3.4.1.2. Complessi idrogeologici di tipo "B"
 - 3.4.1.3. Complessi idrogeologici di tipo "C"
 - 3.4.1.4. Complessi idrogeologici di tipo "D"
- 3.4.2. Schema idrogeologico dell'area del Monte Modino
- 3.4.3. Le sorgenti censite ed il monitoraggio idrogeologico
 - 3.4.3.1. Monitoraggio fisico delle acque di opere drenanti e delle sorgenti

- 3.4.3.2. Monitoraggio chimico delle acque di opere drenanti e delle sorgenti
- 3.4.4. Analisi preliminare della circolazione idrica nel corpo di frana "Boschi di Valoria"
 - 3.4.4.1. Analisi dati piezometrici
 - a) Dati piezometrici del corpo di frana
 - b) Dati piezometrici in prossimità dell'infrastruttura
 - 3.4.4.2. Analisi dati opere drenanti e sorgenti
- 3.4.5. Considerazioni conclusive

3.5. Caratterizzazione geomorfologica

- 3.5.1. Premessa
- 3.5.2. Le notizie storiche sulle frane del Monte Modino
- 3.5.3. La Frana "Boschi di Valoria"
 - 3.5.3.1. Premessa
 - 3.5.3.2. La ricostruzione storica del movimento franoso
 - 3.5.3.2.1. Analisi della riattivazione antecedente il 2001
 - 3.5.3.2.2. Analisi della riattivazione dal 2001 - 2006
 - 3.5.3.3. L'evoluzione geomorfologica attuale
 - 3.5.3.3.1. Descrizione del fenomeno
 - 3.5.3.3.2. Morfologia e cinematisma della frana
- 3.5.4. Interferenze tra il fenomeno franoso e l'infrastruttura in progetto
- 3.5.4.1. Premessa
- 3.5.4.2. Modello evolutivo del canale di frana ed interferenze con l'infrastruttura in progetto

3.6. Caratterizzazione sismica

- 3.6.1. Sismicità dell'area di interesse
- 3.6.2. Sismicità storica dell'area

3.7. Pericolosità geologica del sito

- 3.7.1. Premessa
- 3.7.2. Definizione di pericolosità geologica
 - 3.7.2.1. Le fonti consultate
 - 3.7.2.2. Evento franoso di riferimento
- 3.7.3. Stima della pericolosità geologica del sito
 - 3.7.3.1. Il cinematisma del corpo di frana
 - 3.7.3.2. Analisi degli eventi pregressi
 - 3.7.3.3. I modelli di evento
- 3.7.4. Conclusioni

4. Modellazione geotecnica del sito

4.1. Premessa

4.2. Indagini e caratterizzazione geotecnica del sito

- 4.2.1. Premessa
- 4.2.2. Indagini realizzate
 - 4.2.2.1. Indagini geofisiche
 - 4.2.2.1.1. I dati ottenuti
 - 4.2.2.1.2. Interpretazione delle indagini geofisiche
 - 4.2.2.2. Indagini geognostiche
 - 4.2.2.2.1. I dati ottenuti
 - 4.2.2.2.2. Interpretazioni delle indagini geognostiche

- 4.2.3. Caratterizzazione geotecnica del sito
 - 4.2.3.1. Consistenza dei dataset a disposizione
 - 4.2.3.2. Caratteristiche fisico-meccaniche
 - 4.2.3.2.1. Grammetrie
 - 4.2.3.2.2. Limiti di plasticità
 - 4.2.3.2.3. Contenuto d'acqua naturale
 - 4.2.3.2.4. Parametri di resistenza al taglio in condizioni drenate
 - a. Resistenza di picco
 - b. Resistenza residua
 - 4.2.3.2.5. Parametri di resistenza al taglio in condizioni non drenate
 - a. Resistenza a compressione uniaxiale
 - b. Coesione non drenata
 - 4.2.4. Considerazioni sulle resistenze disponibili nell'area di intervento

4.3. Modello geotecnico del sottosuolo

- 4.3.1. Premessa
- 4.3.2. Il modello geologico-tecnico
 - 4.3.2.1. Caratterizzazione litotecnica dell'area di intervento
 - 4.3.2.2. Caratterizzazione sismica dei terreni di fondazione

4.4. Verifiche di sicurezza

- 4.4.1. Scopo delle verifiche
- 4.4.2. Le sezioni ritenute più significative
- 4.4.3. Analisi all'equilibrio limite
 - 4.4.3.1. Stabilità globale del pendio; definizione delle problematiche
 - 4.4.3.1.1. Fase 1: Analisi a ritroso
 - 4.4.3.1.1.1. Analisi a ritroso del canale centrale di frana
 - 4.4.3.1.1.2. Analisi a ritroso delle sezioni interferenti con l'infrastruttura
 - 4.4.3.1.2. Fase 2: Analisi delle sezioni interferenti con l'infrastruttura
 - 4.4.3.1.2.1. Verifica in condizioni statiche
 - 4.4.3.1.2.2. Verifica in condizioni sismiche
 - 4.4.4. Considerazioni conclusive

Caratterizzazione geologica del sito
Caratterizzazione sismica del sito
Ricostruzione del modello geologico-tecnico
Modellazione geotecnica

Ai sensi del D.M. 14/09/2005

"Norme Tecniche sulle Costruzioni (NTC05)"

Dott. Ivano Campagnoli



Indagini conoscitive

ZONA DI INTERVENTO

- 16 sondaggi a carotaggio continuo, per un totale di 453,5 m di perforazione nella zona d'intervento;
- 14 profili sismici a rifrazione per un totale di 1842 m lineari di stendimenti nella zona d'intervento;
- 7 profili sismici con tecnica Re.Mi. per un totale di 594 m lineari di stendimenti nella zona d'intervento;
- 2 Prove sismiche in foro di sondaggio Down-hole per la misurazione delle Vs e delle Vp nella zona d'intervento;

CORPO DI FRANA

- 8 sondaggi a carotaggio continuo, per un totale di 359,5 m di perforazione nelle restanti zone del corpo di frana;
- 7 sondaggi a distruzione di nucleo, per un totale di 230 m di perforazione nelle restanti zone del corpo di frana;
- 76 profili sismici a rifrazione per un totale di 8740 m lineari di stendimenti nelle restanti zone del corpo di frana;
- 4 Prove sismiche in foro di sondaggio Down-hole per la misurazione delle Vp nelle restanti zone del corpo di frana;

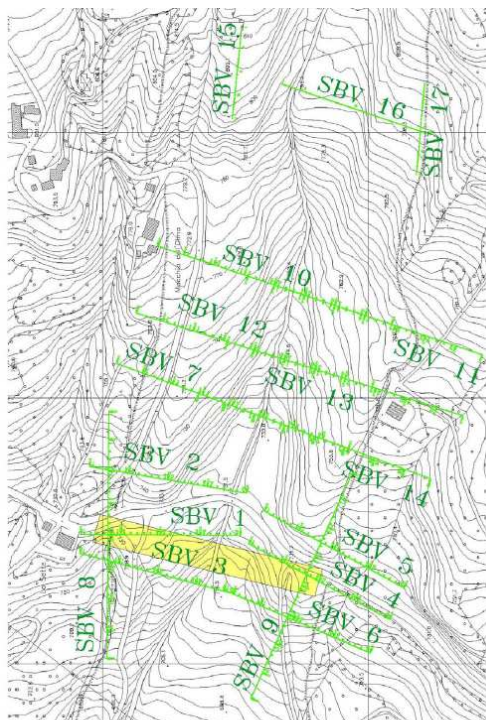
Dott. Ivano Campagnoli

La progettazione geologica - geotecnica

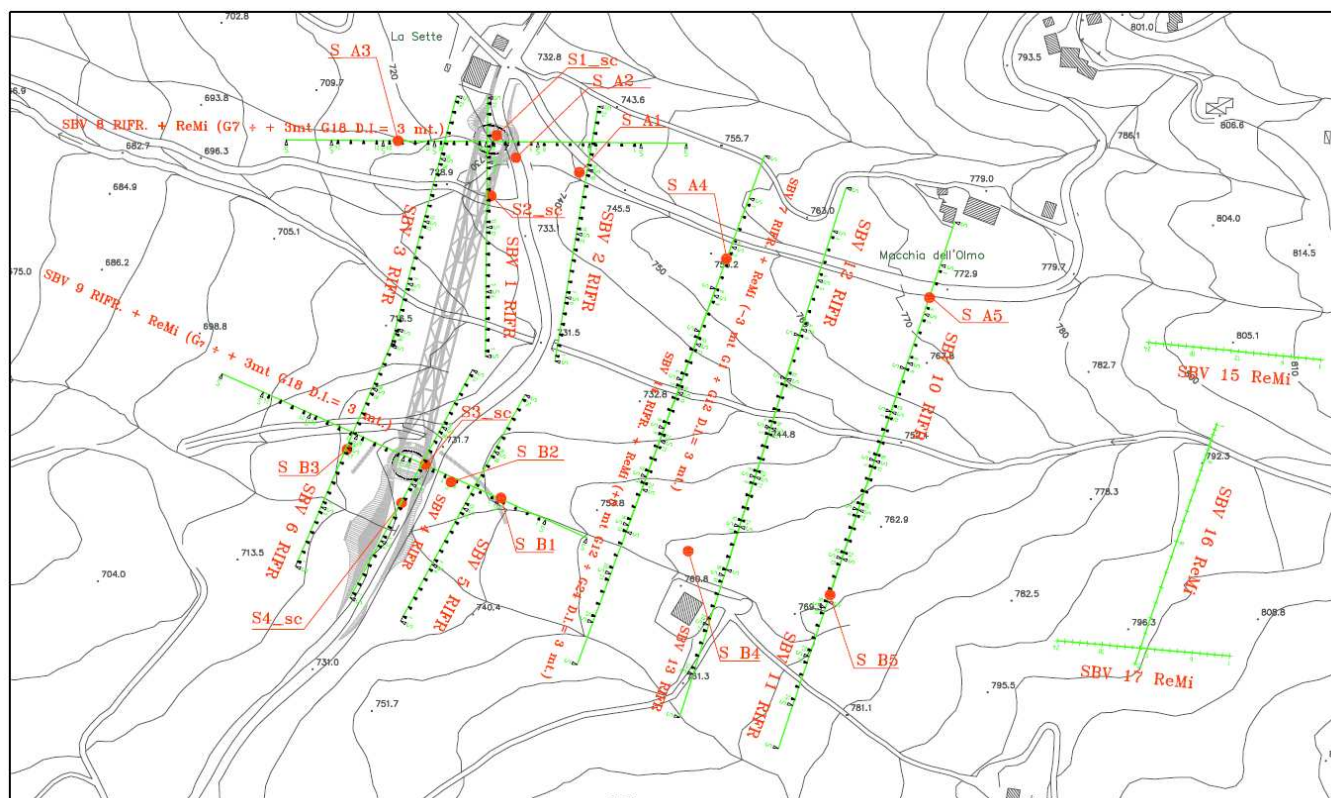


PROVINCIA DI MODENA
Servizio Geologico

Indagini conoscitive



Planimetria sondaggi geotecnici realizzati nell'area di intervento (Scala 1:2000)



SCALA 1:2,000

Planimetria generale indagini geofisiche nel corpo di frana (2005/2006)

Dott. Ivano Campagnoli



Risultati di sintesi

MODELLO GEOLOGICO - TECNICO

SEZIONE LITOTECNICA D-D' (Asse ponte)

Unità Litotecnica D1: detrito con matrice limo-argillosa e clasti spigolosi di dimensioni variabili da centimetrici a decimetrici; sono presenti inoltre trovanti di dimensioni metriche costituiti da arenarie e calcari molto compatti. Questa unità caratterizza il materiale presente all'interno del canale attivo della frana su cui sono state effettuate numerose indagini geofisiche. Quest'ultime forniscono per l'U.L. D1 valori di $V_s = 140 - 200$ m/s e di $V_p = 300 - 1000$ m/s. La consistenza dell'unità risulta essere da soffice a plastico;

Unità Litotecnica D2: detrito con matrice limo-argillosa e clasti di dimensioni variabili da centimetrici a decimetrici come per la precedente Unità Litotecnica; sono presenti inoltre trovanti di dimensioni metriche costituiti da arenarie e calcari molto compatti. Dalle correlazioni SPT e dalle analisi di laboratorio, l'unità risulta possedere una consistenza da plastica a dura. Le indagini geofisiche forniscono per l'U.L. D2 valori di $V_s = 200 - 270$ m/s e di $V_p = 500 - 1800$ m/s;

Unità Litotecnica D3: detrito con matrice limo-argillosa e clasti di dimensioni variabili da centimetrici a decimetrici spigolosi. La consistenza dell'unità è stimata da plastica a dura. Le indagini geofisiche forniscono per l'U.L. D3 valori di $V_s = 220 - 250$ m/s e di $V_p = 500 - 1100$ m/s;

Unità Litotecnica D4: detrito con matrice argilloso-limosa, di colore talvolta grigia, nocciola o marrone, e clasti eterogenei ed eterometrici spigolosi; sono presenti inoltre trovanti di dimensioni metriche costituiti da arenarie, calcari molto compatti e rari blocchi ofiolitici. Dalle correlazioni SPT e dalle analisi di laboratorio, la consistenza dell'unità risulta essere da molto dura a durissima. Le indagini geofisiche forniscono per l'U.L. D4 valori di $V_s = 300 - 420$ m/s e di $V_p = 1100 - 1800$ m/s;

Unità Litotecnica D5: detrito con matrice argillosa, di colore grigio scura, e clasti di dimensioni variabili da centimetrici a decimetrici; sono presenti inoltre trovanti di dimensioni metriche costituiti da arenarie, calcari molto compatti, rari blocchi ofiolitici ed elementi legnosi di piccole dimensioni. Dalle correlazioni SPT e dalle analisi di laboratorio, la consistenza dell'unità è definita da durissima a semi-lapidea. Le indagini geofisiche forniscono per l'U.L. D5 valori di $V_s = 400 - 490$ m/s e di $V_p = 1800 - 2600$ m/s;

Unità Litotecnica S1: substrato alterato costituito da marne argillose intensamente fratturate di colore grigio; probabile facies di alterazione della sottostante U.L. D2 in conseguenza a stress deformativi. Dalle correlazioni SPT e dalle analisi di laboratorio, l'unità risulta avere un comportamento semi-lapideo. Le indagini geofisiche forniscono per l'U.L. S1 valori di $V_s = 800 - 900$ m/s e di $V_p = 2600 - 3000$ m/s;

Unità Litotecnica S2: substrato costituito da marne argillose intensamente fratturate di colore grigio, con intercalazioni da centimetriche a decimetriche di materiale grossolano più cementato. Dalle correlazioni SPT e dalle analisi di laboratorio, l'unità risulta avere un comportamento semilapideo. Le indagini geofisiche forniscono per l'U.L. S2 valori di $V_s = 850 - 1100$ m/s e di $V_p > 3000$ m/s.

Dott. Ivano Campagnoli

La progettazione geologica - geotecnica



PROVINCIA DI MODENA
Servizio Geologico

Risultati di sintesi

MODELLO GEOLOGICO - TECNICO

**Caratterizzazione sismica del
suolo di fondazione tramite V_{s30}**

DOWN-HOLE

ReMI

Dott. Ivano Campagnoli

Monitoraggio



PROVINCIA DI MODENA
Servizio Geologico

Monitoraggio PRE-OPERA

Monitoraggio del corpo di frana

Monitoraggio della zona di intervento

Monitoraggio POST-OPERA

Monitoraggio del corpo di frana

Monitoraggio della zona di intervento

Monitoraggio dell'infrastruttura

Dott. Ivano Campagnoli

Monitoraggio



PROVINCIA DI MODENA
Servizio Geologico

Monitoraggio PRE-OPERA

Monitoraggio del corpo di frana

STB degli affluenti del Po - sede di Modena - Regione Emilia-Romagna
Servizio Geologico Sismico e dei Suoli - Regione Emilia-Romagna
Provincia di Modena - Servizio Geologico

Monitoraggio della zona di intervento

Provincia di Modena - Servizio Geologico

- *strumenti di tipo automatico con trasmissione dei dati in remoto;*
- *strumenti di tipo automatico con datalogger incorporato senza trasmissione dei dati in remoto;*
- *strumenti di tipo manuale.*

Dott. Ivano Campagnoli

Monitoraggio



PROVINCIA DI MODENA
Servizio Geologico

Monitoraggio PRE-OPERA

STRUMENTI PER MISURE DI SPOSTAMENTO

MOVIMENTI SUPERFICIALI

MOVIMENTI PROFONDI

STRUMENTI PER GRANDEZZE IDROGEOLOGICHE

ACQUE PROFONDE

ACQUE SUPERFICIALI

Dott. Ivano Campagnoli

Monitoraggio



PROVINCIA DI MODENA
Servizio Geologico

Monitoraggio PRE-OPERA

STRUMENTI PER MISURE DI SPOSTAMENTO

MOVIMENTI SUPERFICIALI

Estensimetri a filo

Stazione totale automatizzata (GEOROBOT)

GPS (in continuo e periodico)

Laser scanner

MOVIMENTI PROFONDI

Sonde Inclino metriche

Cavi TDR

Dott. Ivano Campagnoli

Monitoraggio

Monitoraggio PRE-OPERA



PROVINCIA DI MODENA
Servizio Geologico

GPS



a cura di
Regione Emilia-Romagna
Servizio Geologico

con la collaborazione di
Provincia di Modena
Servizio Geologico

Stilista: ortofoto 2008 - da Portale Cartografico Nazionale (<http://www.pcn.miamambiente.it/>)

Dott. Ivano Campagnoli

Monitoraggio



PROVINCIA DI MODENA
Servizio Geologico

Monitoraggio POST-OPERA

Monitoraggio del corpo di frana

Viene mantenuto quello attualmente esistente

Monitoraggio della zona di intervento

**Viene mantenuto quello attualmente esistente +
vengono aggiunti ulteriori strumenti con trasmissione
dati in automatico**

Monitoraggio dell'infrastruttura

Dott. Ivano Campagnoli