

Valutazione dello spessore dei corpi di frana tramite sismica passiva tomografica: confronto con stratigrafia a carotaggio continuo

Federico Sciascia

Laureato in Geoscienze applicate, Università di Bologna,
 secondo a pari merito del Premio di Laurea "Gianfranco Bruzzi" – edizione 2011

1. INTRODUZIONE

1.1 Scopo del lavoro

Le indagini a sismica passiva hanno iniziato ad essere largamente utilizzate dato il loro basso costo e le informazioni che restituiscono. Da alcuni anni a questa parte, il Tromino® si è dimostrato un semplice ed economico strumento finalizzato ad eseguire misure veloci e precise per caratterizzare dal punto di vista sismico il terreno. Dato il suo basso costo e la semplicità di utilizzo, si è voluto applicare questo strumento per studiare i fenomeni franosi dell'Appennino Settentrionale. Lo scopo di questa tesi è verificare la funzionalità di questo strumento applicato a undici frane in terra dell'Alta Media Valle del Reno e cinque frane in roccia avvenute nella Formazione Mamosa Arenacea in Romagna, in particolare si è provato a:

- ricostruire la stratigrafia derivata da centotrentadue sondaggi a carotaggio continuo analizzando le misure con il software Grilla fornito con Tromino®;
- caratterizzare dal punto di vista sismico le unità litotecniche che compongono i corpi franosi;
- identificare le tracce secondo un grado di difficoltà di analisi e correlare il dato alla tipologia di corpo su cui è stata eseguita ogni misura.

Per poter eseguire questo lavoro, sono state raccolte ed analisi le descrizioni stratigrafiche di tutti i sondaggi effettuati sulle sedici frane campione, fornite dalla Comunità Montana Alta Media Valle del Reno e dal Dipartimento Di Scienze della Terra e Geologico – Ambientale dell'Università di Bologna. Nel presente articolo saranno descritte le metodologie utilizzate facendo riferimento solamente due fenomeni franosi: la frana della Maranina (Vergato, Bo) in terra e la frana di Roncosole (Borgotossignano, Bo) in roccia.



Figura 1 – Schema geologico semplificato dell'Appennino settentrionale nel quale vengono indicati i principali protagonisti della struttura geologica del territorio emiliano-romagnolo. Le linee più spesse indicano i contatti tettonici importanti (da Mutti et.al. 1975, semplificata).

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

La successione stratigrafica affiorante nell'area dello studio è rappresentata dai termini del Dominio Ligure, Epiligure e dai termini della successione Umbro-Marchigiana-Romagnola (Figura 1). La successione si estende, temporalmente, dal Giurassico sino all'Eocene Medio (Argille a Palombini, Formazione Mamosa Arenacea, ecc.).

3. DESCRIZIONE DELLE FRANE CAMPIONE

Al fine di valutare l'efficacia della sismica passiva tomografica nella determinazione dello spessore dei corpi di frana, si è reso necessario identificare una serie di movimenti franosi, già oggetto di studio da parte di vari enti (Comunità Montana della Media e Alta Valle del Reno, Servizio Tecnico di Bacino, Università degli Studi di Bologna), nei quali fossero disponibili dati geognostici di dettaglio. Altro fattore fondamentale per la scelta delle frane campione è stata la quantità di dati disponibili per ogni singolo movimento franoso. Si è preferito scegliere frane che presentassero il maggior numero di dati in termini di stratigrafia da sondaggi a carotaggio continuo e dati inclinometrici.

3.1 Le frane campione

Nella Tabella 1 viene riportato l'elenco dei fenomeni studiati, divisi secondo il materiale coinvolto (terra o roccia). Le frane in terra sono situate nell'Alta Valle del Reno e nei bacini dei suoi affluenti, in Provincia di Bologna, all'interno delle complessive figure, e consistono di scorrimenti rototraslativi che evolvono in colata. Le frane in roccia sono situate nella Valle del Bidente e nella Valle del Senio (Provincia di Forlì - Cesena e Ravenna), all'interno delle Unità Umbro - Marchigiane, e sono classificate come scorrimenti traslativi su piano di strato.

Materiale	Tipo Frana	Comune	Altezza (m)	Superficie (m ²)
Terra	Bogno	Comazzo - BO	25200	25200
	Biancillo	Castel del Piano - BO	25200	25200
	Clivio (alto)	Castel del Piano - BO	25200	25200 - 25200 - 25200
	Coffano	Vergato - BO	25200	25200
	Costa Mare	Castel del Piano - BO	25200	25200
	Costa Verde	Comazzo - BO	25200	25200
	Magnano	Vergato - BO	25200	25200
	Morino	Vergato - BO	25200	25200
	Morino	Comazzo - BO	25200	25200 - 25200 - 25200
	Bocca Pradon	Vergato - BO	25200	25200
Roccia	Albi	Castel del Piano - BO	25200	25200
	Castel	Castel del Piano - BO	25200	25200
	Castel	Castel del Piano - BO	25200	25200
	Castel	Castel del Piano - BO	25200	25200
	Castel	Castel del Piano - BO	25200	25200

Tabella 1 - Elenco delle frane campione



Figura 2 - Legenda della cartografia utilizzata per i corpi di frana e i punti di misura

Nelle sezioni seguenti, per le frane in esame del seguente articolo, è riportata una descrizione della geomorfologia, del cinematisimo e dei dati geognostici disponibili. È inoltre allegata una cartografia che riporta le formazioni geologiche dell'area, i limiti del corpo di frana e i punti nei quali sono state eseguite le misure la cui legenda è riportata in Figura 2.

I corpi di frana sono stati distinti in frana attiva e frana quiescente basandosi sulla cartografia delle frane della regione Emilia Romagna, in più è stata distinta la zona di ultima riattivazione basandosi sulla tesi del Dott. Dalla Pozza (Dalla Pozza, 2008).

3.1.1 Maranina

Ubicazione geografica: la frana ricade nell'elemento 237133 della CTR in scala 1:5.000 della Regione Emilia Romagna, sui versanti in sinistra idrografica del Fiume Reno nel comune di Gaggio Montano.

Geologia e geomorfologia: la frana coinvolge terreni appartenenti alla F.ne delle Argille a Palombini (APA) come riportato in Figura 3.

Il movimento che ha riguardato la zona a monte del centro abitato di Maranina, considerata la morfologia della zona di nicchia e il tipo di espansione della zona di deposito, è ascrivibile ad una frana complessa in terra, costituita da scorrimenti roto-traslativi che evolvono in colata.

L'area in questione è posta su di un versante dove nella parte mediana si nota la presenza di un leggero spartiacque, sede dell'abitato di Palazzina, che separa due zone: una attiva verso S dove si hanno i movimenti più intensi e una inattiva verso N dove è presente un deposito di frana ormai quiescente da tempo.

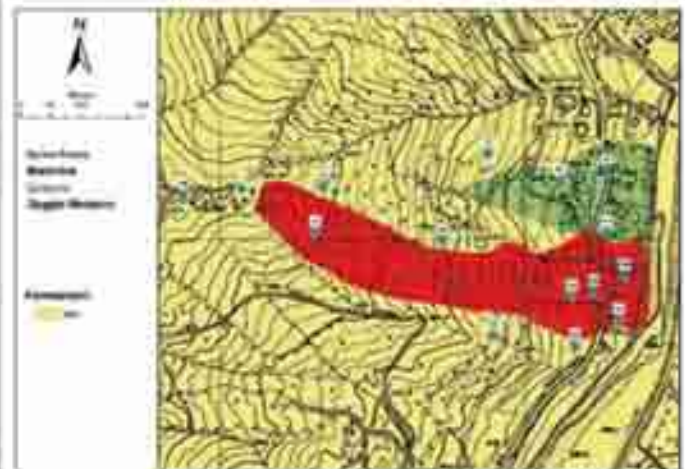


Figura 3 - Carta geologica e geomorfologica della frana Maranina

A fianco di questo corpo, è cartografata una frana quiescente che interessa l'abitato di Maranina che non presenta segni evidenti di movimento.

Ultima riattivazione: nel 1996 la frana ha avuto il suo evento parossistico, che in soli sei giorni ha raggiunto il fondo valle e interessato il fiume Reno, distruggendo cinque edifici tra case e annessi agricoli e lambendone due e distruggendo circa 200 m della SS64 "Porrettana" (Carboni R., Catani F., Iotti A., Monti L., 2001).

Indagini disponibili: sono disponibili quindici sondaggi a carotaggio continuo, dieci dei quali hanno installato il tubo inclinometrico, mentre gli altri cinque montano tubo piezometrico.

Dai dati inclinometrici si ricavano profondità di movimento comprese tra 15 m e 20 m dal piano campagna, ma pochi tubi inclinometrici hanno fornito dati utili poiché le misure non sono state eseguite in modo corretto e la maggior parte di esse presenta grafici che non mostrano superfici di scorrimento nette.

3.1.2 Roncosole

Ubicazione geografica: La frana è situata a NO di Casola Valsenio (RA) in destra idrografica del fiume Santerno e ricade nell'elemento 238164 della CTR della Regione Emilia Romagna, all'interno del territorio del comune di Borgo Tossignano (BO).

Geologia e geomorfologia: il movimento è avvenuto all'interno della Formazione Marnoso Arenacea (FMA12 e FMA14) in assetto strutturale è a franapoggio, inclinato di 10° come il versante. Si tratta di un imponente scorrimento traslativo in roccia con direzione di movimento NNO, al di sopra di un piano di stratificazione costituito da roccia marnosa (vedi Figura 4).

Il fenomeno ha creato una nicchia di distacco di grandi dimensioni (450 metri di lunghezza e 15 metri di altezza), lasciando uno spazio di circa 80 metri tra se e il blocco franato delle dimensioni areali di circa 15-18 ettari, per un volume di circa 2.000.000 di metri cubi di roccia.

Il deposito, scendendo verso valle, si è arrestato nei pressi delle case di località Roccolo, generando, appena a monte di queste, una grossa cresta di pressione, vale a dire una zona in cui il blocco si rialza rispetto alla morfologia circostante.

Ultima riattivazione: per la frana di Roncosole non si parla di riattivazioni ma di primo innesco datato 11 aprile 2005; da allora la frana non ha mostrato nuovi segni di attività.

Indagini disponibili: non sono stati eseguiti sondaggi, in quanto la stratigrafia è ben visibile lungo tutto il perime-

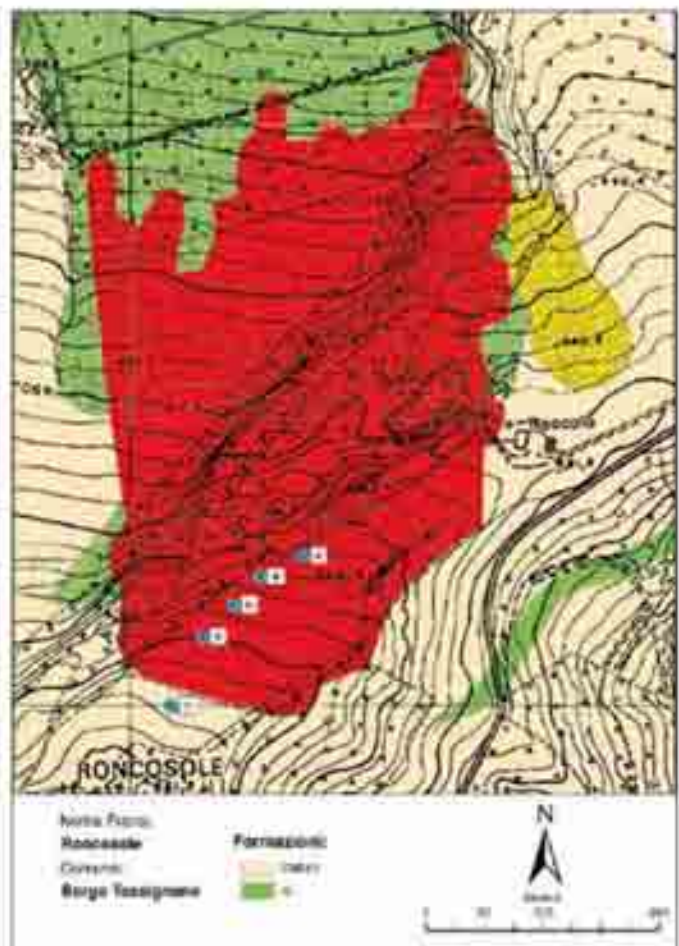


Figura 4 - Carta geologica e geomorfologica della frana di Roncosole

tro della frana.

Nota: tutti i punti indicano la posizione delle misure effettuate con il Tromino® nella quale non è presente alcun sondaggio.

4. INTERPRETAZIONE DEI SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUO

È stata eseguita l'analisi di centoventisei sondaggi a carotaggio continuo allo scopo di definire, per ognuno di essi, le unità geotecniche di riferimento, caratterizzate da struttura interna, colore e parametri geotecnici tipici (Pocket Penetrometer, Torvane e SPT).

Per quanto riguarda le frane in terra sono stati analizzati centosei sondaggi riconoscendo in essi otto unità, di cui cinque molto frequenti e quattro caratteristiche di alcuni casi particolari. Per le frane in roccia sono stati analizzati diciannove sondaggi, riconoscendo tre unità.

Di seguito sarà riportata la descrizione delle varie unità utilizzate per l'analisi dei sondaggi.

4.1.1 Frane in terra:

UNITÀ 1 Costituita da suolo areato di superficie, con abbondante componente organica e color marrone scuro. Terreno agricolo o di riporto, tipicamente detritico, di composizione sabbiosa-limosa, caratterizzato dall'alta variabilità del contenuto d'acqua (essiccamento estivo). Ha uno spessore solitamente inferiore al metro. I dati di Pocket Penetrometer mostrano valori di resistenza alla penetrazione inferiori a 3 kg/cm^2 .

UNITÀ 2 Unità composta solitamente da argilla limosa o limo argilloso di color nocciola, bruno o bruno rossastro.

Questa unità corrisponde allo spessore nel quale si verificano le variazioni della falda (spessore vadoso). La prova con il Pocket Penetrometer mostra valori intorno a 3 Kg/cm^2 , mentre il Torvane fornisce valori compresi tra 1 e $1,5 \text{ Kg/cm}^2$. Il numero dei colpi della prova in foro SPT risultano mediamente bassi.

UNITÀ 2a Questa unità presenta le medesime caratteristiche della precedente ma, in aggiunta, viene descritta come detritica.

UNITÀ 3 Argilla limosa, limo argilloso di color grigio, grigio scuro, grigio nerastro con tessitura caotica, tipicamente descritta come compatta. Sono spesso presenti inclusi di varia natura. Questa unità corrisponde ad un bedrock alterato, nel quale non sono più visibile le scaglie tipiche del substrato argillitico. La superficie di scorrimento solitamente si trova all'interno di questa unità. I valori delle prove Pocket Penetrometer e Torvane sono elevati e spesso arrivano a rifiuto. La prova SPT, invece, mostra un numero di coli molto elevato ma non sempre a rifiuto.

UNITÀ 4 Argillite di color grigio-nero a tessitura scagliosa, composta da scaglie centimetriche con superfici labdroscenti. Descritta solitamente come "asciutta". Sono presenti inclusi di varia natura e pezzatura. Tutte le prove in sito vanno a rifiuto.

UNITÀ 5 Ghiaia con ciottoli eterogenei (solitamente calcarei), centimetrici e rotondeggianti in matrice sabbiosa, a tratti limoso sabbiosa, di color grigio-marrone, grigio-verde, attribuiti a depositi di terrazzo fluviale. I pochi dati disponibili non rendono possibile la classificazione su base meccanica.

UNITÀ FL1 Alternanza di strati, da decimetrici a metrici, di arenaria e argilla. Questa unità corrisponde alla porzione alterata di un flysch.

Le caratteristiche fisiche della roccia mostrano bassi va-

lori di Pocket Penetrometer e di Torvane. Il numero dei colpi delle prove SPT è generalmente basso.

UNITÀ FL2 Formazione flyschide non alterata, costituita da un alternanza di livelli arenacei cementati e argille mariose. Le prove in sito mostrano valori alla penetrazione e alla torsione elevati, spesso fuori scala.

4.1.2 Frane in roccia:

UNITÀ 1 Coltre sabbiosa-limosa detritica, costituita da terreno di riporto o agricolo. Di color grigio giallastro, è ricca in materia organica.

Spessore inferiore al metro. Risente molto delle variazioni di umidità. La prova con il Pocket Penetrometer mostra valori medi tra 3 Kg/cm^2 e $4,5 \text{ Kg/cm}^2$, mentre il Torvane fornisce valori compresi tra 1 e $1,5 \text{ Kg/cm}^2$.

UNITÀ 2 Alternanza decimetrica e centimetrica di argilla mamosa di color grigio-marrone, e sabbia di color grigio-giallastro.

L'unità costituisce la parte alterata del bedrock. Solitamente l'R.Q.D. ha valori inferiori al 25%. È una roccia molto fratturata.

UNITÀ 3 Alternanza decimetrica di argille mamose, di color grigio, molto compatte, e arenarie silteose, di color grigio-giallastro, cementate.

La roccia si presenta compatta e con valori di R.Q.D. solitamente maggiori del 75%.

4.2 La stratigrafia delle frane

Di seguito viene riportata una restituzione grafica dei sondaggi effettuati su ogni corpo di frana (Figura 5 e Figura 6). Le colonne stratigrafiche sono affiancate tra di loro. I colori utilizzati per l'individuazione delle unità litostratigrafiche sono le medesime utilizzate per la descrizione delle stesse. La linea rossa indica, se presente e netta, la superficie di scorrimento.

4.2.1 Maranina

La frana Maranina presenta un elevato spessore di coltre nella zona a valle, dove i depositi di frana si sono accumulati al di sopra del terrazzo fluviale del fiume Reno. A monte, invece, la coltre ha spessori non superiori a 8 - 10 metri. L'analisi dei dati inclinometrici confrontata con i dati stratigrafici mostra movimenti profondi, posizionati all'interno del substrato o alla tetto del terrazzo.

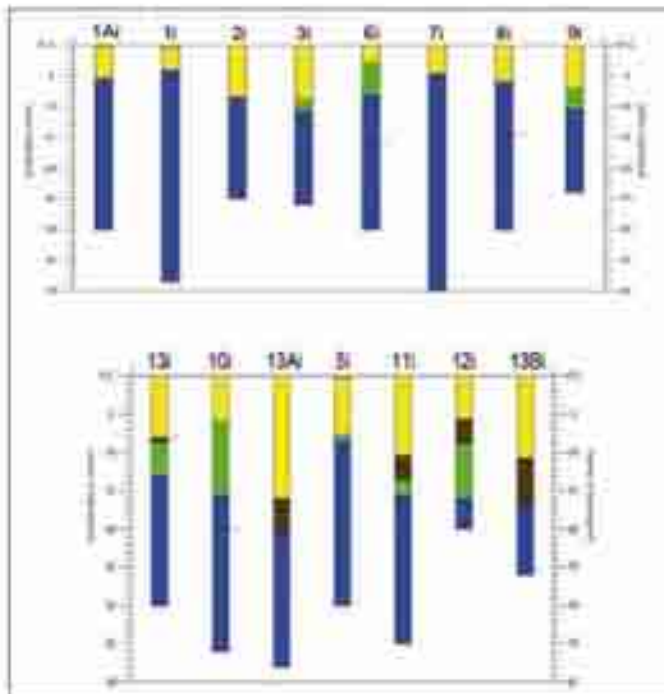


Figura 5 - Restituzione grafica dei sondaggi. La colorazione è analoga alla legenda descrittiva delle unità. Con la linea rossa è indicata la superficie di scorrimento estrapolata dai dati inclinometrici.

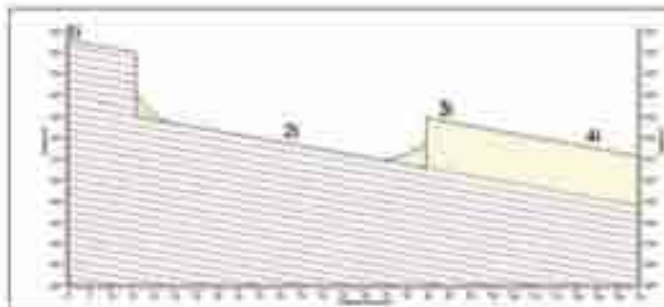


Figura 6 - Sezione schematica della frana di Roncosole con ubicazione dei punti di misura. La campitura blu indica il substrato, mentre la gialla il corpo di frana. L'inclinazione delle linee corrisponde a quella degli strati.

4.2.2 Roncosole

Non sono stati eseguiti sondaggi in quanto la stratigrafia della frana è ben visibile dal rilievo di campagna.

La scarpata della frana ha un'altezza di 15 metri, mentre il corpo franato ha uno spessore di circa 12 metri (Figura 6).

5. CAMPAGNA DI INDAGINI CON SISMICA PASSIVA TROMOGRAFICA

Nei mesi di maggio e giugno 2009, è stata eseguita una campagna di indagini tromografiche nelle sedici frane campione effettuando centosei misure tromografiche nelle frane in terra e trentasette nelle frane in roccia, per un totale di centoquarantatre acquisizioni. Di queste

centoquarantatre acquisizioni, quarantuno sono state eseguite su corpi di frana attivi, cinquantatre su corpi di frana quiescenti, ventuno su corpi di frana di ultima riattivazione e ventotto fuori dal corpo di frana. Tutte le registrazioni dei microtremori sono state effettuate con il tromografo Tromino® che è un registratore disegnato specificatamente per le acquisizioni del rumore sismico. Le interpretazioni delle misure sono state svolte tramite il software dedicato, Grilla, il quale implementa il metodo di Nakamura H/V.

Ogni misura è stata svolta posizionando lo strumento nelle immediate vicinanze del chiusino di ciascuno dei centoventicinque sondaggi; in questo modo è possibile avere un confronto tra le misure acquisite e la stratigrafia reale del punto. Nei casi in cui non è stato trovato il sondaggio, si è cercato di posizionare lo strumento nel punto indicato dalla cartografia fornita dalla Comunità Montana Aita e Media Valle del Reno, dal Servizio Tecnico Bacino Reno e dall'Università di Bologna.

5.1.1 Maranina

Sono state eseguite quindici misure di cui cinque nell'area attiva, tre nell'area quiescente e sette fuori frana. Sono stati trovati tutti i sondaggi a parte l'1°1, il 3i e il 13Bi. Lo strumento è stato posizionato con un angolo di 180°N.

5.1.2 Roncosole

A Roncosole non sono stati eseguiti sondaggi; le misure sono state effettuate in alcuni punti salienti della frana. La prima (1i) a monte della corona, la seconda (2i) sulla superficie di scivolamento del blocco in frana, e le altre tre sul blocco di roccia franato. Lo strumento è stato posizionato con un angolo di 270°N.

6. USO DEL TROMINO® PER LA MISURA DELLO SPESSORE DEI CORPI DI FRANA

6.1 Analisi delle misure tromografiche

Nel seguente capitolo viene eseguita l'analisi di tutte le verticali tromografiche eseguite nella totalità delle frane campione, confrontando i dati stratigrafici dei sondaggi (cap. 3) al fine di verificare l'applicabilità della tecnica per la stima dello spessore dei corpi di frana.

Il punto fondamentale di questa analisi consiste nell'individuare il picco di frequenza del passaggio tra coltre e bedrock, che si è visto corrispondere di norma con la

base del corpo di frana (cap. 3). Per fare questo, vi sono diversi criteri che aiutano a determinare il picco giusto:

- il picco a maggior impedenza (nel grafico H/V);
- il picco a minor frequenza (nel grafico H/V);
- la frequenza in cui la componente Up-Down presenta un minimo individuando il relativo picco nel grafico H/V.

Una volta individuato il picco del passaggio coltre-bedrock, sono stati inseriti in Grilla tutti gli strati individuati nel carotaggio continuo con il loro spessore reale cercando di fittare la curva sperimentale H/V cambiando i valori di Vs dei vari strati. Quando questo non è risultato possibile (non si riusciva a fittare la curva con valori realistici di Vs) sono stati leggermente modificati gli spessori degli strati o inseriti nuovi livelli senza variare lo spessore totale della coltre. I risultati di questa analisi sono riportati in appendice al lavoro completo.

6.2 Caratterizzazione delle unità lito-tecniche

Una volta eseguita l'analisi di tutte le tracce, è stata caratterizzata ogni unità lito-technica, in termini di velocità delle onde S, che è stato necessario attribuire per riprodurre la curva sperimentale H/V.

Facendo riferimento alla Tabella 2, per le frane in terra della Valle Del Reno, l'unità 1 presenta le velocità minori poiché si tratta tipicamente del terreno detensionato più superficiale mentre l'unità 3 presenta le velocità più elevate trattandosi dello strato più profondo e simile al bedrock. L'unità 2 l'unità 2d sono state accorpate in quanto, dal punto di vista sismico, non mostrano differenze significative. L'unità 5, indicante terrazzi alluvionali, presenta alte velocità dovute alle profondità elevate in cui si trovano (al di sotto di potenti depositi di frana); i pochi dati disponibili non permettono però una caratterizzazione accurata. In fine, il flysh alterato FL1 compare unicamente in due siti per cui, sebbene il risultato sia identico per entrambi, non ci sono abbastanza dati per poterlo caratterizzare in maniera significativa.

Materiale	Unità	Numero dati	Vs media [m/s]	Deviazione standard
Terra	1	49	90	30,7
	2-2d	102	183	66,7
	3	75	282	112
	5	7	400	121,5
	FL1	2	220	0
Roccia	R1	36	220	137,9
	R2	8	400	110,6

Tabella 2 - Riepilogo delle velocità delle onde S associate alle unità geotecniche

Per quanto riguarda le frane in roccia, è possibile notare che la Vs_{media} di 220 m/s per l'unità R1, attribuita a terreni sabbiosi, rientra nel campo dei valori attesi per quel terreno mentre la Vs_{media} di 400 m/s dell'unità R2 rientra nel campo di valori attesi per una roccia tenace.

6.3 Classificazione della bontà delle misure

Ogni verticale sismica presenta una differente facilità di interpretazione (da curve H/V con picchi singoli o ben definiti a curve con vari picchi sovrapposti difficilmente distinguibili) e un differente grado di affidabilità in termini di velocità delle onde sismiche S dei vari strati (valori di Vs realistici o meno).

Per questo motivo, ad ogni misura è stato assegnato un valore così definito:

- Classe 1: misure che presentano uno o più picchi riproducibili in modo oggettivo la stratigrafia della verticale apportando, se necessario, lievi modifiche allo spessore degli strati. Sono misure interpretabili senza una stratigrafia ben definita.
- Classe 2: misure che presentano diversi picchi, difficilmente interpretabili senza una stratigrafia dettagliata e che talvolta necessitano il confronto con altre misure eseguite nella medesima zona per poter essere interpretate correttamente. È inoltre necessario osservare l'andamento della componente up-down per poter modellare il grafico H/V.
- Classe 0: misure che per essere interpretate necessitano di velocità inammissibili per i terreni indagati.

Una volta classificate tutte le verticali, è stata definita la percentuale di misure che ricadono nelle diverse classi (Tabella 3).

I risultati, ricapitolati nella tabella 3, mostrano che, per le frane in terra, nel 3 % dei casi le misure non forniscono Vs ammissibili per i siti studiati. Nel 59% dei casi le misure risultano di facile interpretazione e sono in grado di riprodurre la stratigrafia osservata mentre il 38%, pur essendo in grado di riprodurre la stratigrafia osservata sono molto difficili da interpretare e, senza una stratigrafia di riferimento, potrebbero portare a risultati fuorvianti.

Materiale	Classificazione	Numero dati	Totale dati	Percentuale totale
Terra	0	3	106	3
	1	63		59
	2	40		38
Roccia	1	19	26	73
	2	7		27

Tabella 3 - Riepilogo dell'analisi sulla difficoltà di interpretazione.

Per quanto riguarda le frane in roccia, il 71% dei casi risulta essere di facile interpretazione mentre il restante 29% dei casi risulta essere di difficile interpretazione senza il supporto di un sondaggio di riferimento. Per le frane in roccia sono stati considerati unicamente le misure affiancate a sondaggi a carotaggio continuo o in cui sia visibile in campagna la stratigrafia.

Successivamente a questa analisi, ne è stata eseguita un'altra per valutare se esiste un legame tra di significatività delle tracce (0,1 e 2) e la tipologia dei corpi in frana descritti nel capitolo 3.2. Ci si potrebbe attendere, infatti, che un corpo di frana di recente attivazione mostri una curva H/V con un picco ben definito e comunque più facilmente interpretabile di una curva H/V rilevata su una frana quiescente da lungo tempo.

Una volta classificati tutti i dati disponibili, è stata eseguita un'analisi di correlazione tra la significatività della misura e stato di attività nel punto di indagine.

Relativamente alle frane in terra, questa ulteriore analisi ha permesso di mettere in evidenza che il 29% delle misure sono state eseguite su corpi di frana definiti come attivi, che il 26% delle misure sono state eseguite su corpi di frana definiti come quiescenti, che il 25% delle misure sono state eseguite su corpi definiti di recente riattivazione e che il 20% delle misure sono state eseguite fuori dal corpo di frana.

Escludendo le misure classificate con il numero 0 visto il numero molto ridotto, è possibile notare alcune apparenti correlazioni tra la classificazione della misura l'attività del sito su cui è stata eseguita (Tabella 4).

Ad esempio, la maggior parte delle misure di tipo 1 (tracce significative facilmente interpretabili) ricade all'interno dei corpi di frana (A, frane attive, Q, frane quiescenti, e R, frane di recente riattivazione), con valori massimi nella classe "R" (73% di tipo 1 e 27% di tipo 2). In accordo con questo risultato, la maggior parte delle misure di difficile interpretazione ricade nella classe "F", ovvero fuori frana, (38% di tipo 1 e 57% di tipo 2) probabilmente perché fuori frana il contrasto sismico tra le varie unità lito-tecniche è meno marcato.

Posizione	Numero dati	Percentuale relativa ad ogni tipologia di sito			
		A	Q	R	F
0	2	0	0	0	100
1	36	25	19	6	50
2	35	6	0	12	82
Totale	73	31	19	18	32

Tabella 4 - Riepilogo della correlazione tra tipo di misura e tipo di corpo su cui è stata eseguita per le frane in terra.

Per quanto riguarda le frane in roccia, dato l'esiguo numero di dati questa analisi non è stata effettuata.

Sulla base di tutte le osservazioni effettuate, si conclude che:

- nel 59% dei casi, le misure eseguite con Tromino® risultano facilmente interpretabili ed utilizzando Vs realistiche riproducono la stratigrafia mentre nel 38% dei casi le misure risultano difficilmente interpretabili senza l'ausilio di uno studio approfondito ma che comunque riproducono la stratigrafia utilizzando delle Vs realistiche. Solo nel 3% dei casi le misure non si riescono ad interpretare utilizzando delle Vs ragionevoli per i terreni indagati.
- apparentemente le misure facilmente interpretabili sono attribuite a fenomeni di recente attivazione mentre le misure di maggior difficoltà di interpretazione sono localizzate fuori frana.

7. CONCLUSIONI

Il lavoro illustrato in questa tesi ha riguardato la caratterizzazione in termini di velocità delle onde S dei terreni di sedici frane di cui undici, in materiale terroso, situate nell'Alta Valle del Reno, e cinque, in materiale roccioso, situate nel territorio romagnolo utilizzando come indagine la sismica passiva e come strumento Tromino®, concesso in uso dalla Regione Emilia-Romagna.

Sono state analizzate le frane dal punto di vista geomorfologico e sono state raccolte le stratigrafie dei sondaggi a carotaggio continuo eseguiti su di esse.

Ogni stratigrafia, fornita dalla Comunità Montana Alta Media Valle del Reno e dal Dipartimento Di Scienze della Terra e Geologico - Ambientale dell'Università di Bologna, è stata analizzata e reinterpretata per crearne una che divide la colonna stratigrafica in unità geologico-tecniche.

Sono state eseguite centoquarantatre misure a sismica passiva utilizzando Tromino®; tale strumento è parso di semplice utilizzo e di rapida installazione. Le misure sono state eseguite nel medesimo punto in cui sono stati effettuati i sondaggi a carotaggio continuo; per le frane di Collina, Pezzolo e Renzuno sono state eseguite ulteriori misure, che in fase di analisi sono state riferite ai sondaggi effettuati nel corpo di frana. Per la frana di Roncosole sono state eseguite misure in punti ben precisi in cui è possibile osservare la stratigrafia affiorante. Sono state interpretate le misure a sismica passiva utilizzando la tecnica HVSR utilizzando il software Grilla fornito con Tromino®.

Ad ogni traccia prodotta con Grilla è stata associata la

stratigrafia semplificata estrapolando la V_s di ogni unità geotecnica. L'analisi ha fornito il valore medio di velocità delle onde S riferito ad ogni unità.

Per le frane in terra è risultato che l'unità di suolo, definita con il numero "1", presenta una $V_{s_{media}}$ di 90 m/s, che l'unità argillosa della coltre, definita con il numero "2" e "2d", presenta una $V_{s_{media}}$ di 183 m/s, che l'unità di substrato alterato, definita con il numero "3", presenta una $V_{s_{media}}$ di 282 m/s. Le unità di flysh alterato e di terrazzi alluvionali presentano una $V_{s_{media}}$ rispettivamente di 220 m/s e di 400 m/s anche se i dati a disposizione sono troppo esigui per poter definire queste velocità come caratteristiche delle due unità.

Per le frane in roccia è risultato che la $V_{s_{media}}$ della coltre detritica, definita con il numero "1", sia di 220 m/s e che la $V_{s_{media}}$ della roccia molto frattura, definita con il numero "2", sia di 400 m/s.

È stata poi eseguita un'ulteriore analisi che indica la difficoltà di interpretazione delle misure definendo tre classi:

- Misure di facile interpretazione, indicate con il numero "1";
- Misure di difficile interpretazione, indicate con il numero "2";
- Misure di impossibile interpretazione, indicate con il numero "0";

Il risultato di questa analisi mostra che per le frane in terra nel 59.4% dei casi le misure sono di facile interpretazione, che nel 37.7% dei casi le misure sono di difficile interpretazione e che solo nel 2.9% dei casi le misure sono di impossibile interpretazione. Per le frane in roccia è risultato che nel 73% dei casi le misure sono di facile interpretazione e che nel 27% dei casi le misure sono di difficile interpretazione.

In fine, si è cercata una correlazione tra lo stato di attività dei corpi franosi e la difficoltà di interpretazione e l'analisi ha mostrato che non esiste una correlazione tra la difficoltà di interpretazione e lo stato di attività dei corpi franosi.

9. BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

- CASTELLARO S., MULARGIA F., BIANCONI L. (2005): *Passive seismic stratigraphy: a new efficient, fast and economic technique*, J. of Geotechnical and J. Environmental Geology, Vol.3.
- COLI M. (1992) - *Tettonica estensiva dell'Appennino Settentrionale: spunti e problemi*, Studi Geologici Canerti, vol. spec. CROP 1-1A, pp.203-209.
- DALLA POZZA S. (2008) - *Dinamica di frane quiescenti tramite analisi di dati inclinometrici*, Tesi di laurea specialistica in Geoscienze Applicate, Università di Bologna.
- ELTER P. (1960) - *I lineamenti tettonici dell'Appennino a NW delle Apuane*, Boll. Soc. Geol. It., 60, 273-312.
- NAKAMURA Y. (1989): *A method for dynamic characteristics estimates of subsurface using microtremor on the round surface*, QR of RTRI, Vol. 30, pp. 25-33.
- NOGOSHI M E IGARASHI T. (1970): *On the propagation characteristics of microtremors*, J. Seism. Soc. Japan, Vol. 23, pp. 264-280.
- REUTER K.J. & GROSCURTH J. (1978) - *The pile of nappes in the Northern Apennines*. In: Clors H. et al. (Eds.) "Alps, Apennines, Hellenides", schweizerbart'sche, Stuttgart: 234-243.
- RICCI LUCCHI F. E ORI G. G. (1985) - *Field excursion D: syn-orogenic deposits of a migrating basin system in the NW Adriatic Foreland*. In: P. H. Allen, P. Homewood e G. Williams (Eds.) "Excursion Guidebook", Foreland Basins Symposium, Fribourg, 137-176.
- RICCI LUCCHI F. (1988) - *The foreland basin system of the Northern Apennines and related clastic wedges: a preliminary outline*, Giornale di Geol., ser. 3, 48 (1), 165-185, Bologna.
- VAIG. B., MARTINI P., (1992) - *Anatomy of an Orogen. The Apennines and Adjacent Mediterranean Basins*, Kluwer Academic Publisher.