

Considerazioni sui tempi di primo arrivo nell'utilizzo della sismica a rifrazione: alcune case history nell'ambito della progettazione stradale

M. Siena (1), R. Di Francesco (1), A. Di Biagio (2), A. Valente (2)

(1) GEO&GEO Instruments®, research & development - Teramo (Italy); www.geoandgeo.com

(2) Provincia di Teramo, VI settore – viabilità e difesa del suolo

Negli ultimi anni lo sviluppo della tecnologia nella progettazione delle centraline di acquisizione dati per le prospezioni geofisiche ha fornito un forte impulso nella diffusione ed utilizzo delle indagini basate sulla “sismica a rifrazione” e “sismica a riflessione”. A ciò deve aggiungersi la creazione di modelli matematici che, implementati in software commerciali, hanno reso più agevole l'interpretazione dei dati registrati.

Nel caso particolare della “sismica a rifrazione”, metodologie di calcolo note come Delay Time e GRM consentono di tenere conto di topografie e di contatti coperture-substrato comunque variabili. È anche vero però che l'interpretazione classica basata sull'utilizzo dei tempi di primo arrivo, pensati come perturbazione dinamica delle condizioni di equilibrio, mostrano talora alcuni limiti nella risoluzione della geometria del sottosuolo. Di fatti il problema principale è insito nella considerazione che un singolo strato (o sismostrato) possa essere assimilato ad un corpo elastico omogeneo, le cui caratteristiche di densità non varino con la profondità. Al contrario in molti casi la caratterizzazione geotecnica di un sito ha evidenziato la presenza di una seppur minima variazione, in aumento, della densità dei terreni con la profondità, tale da complicare i segnali registrati dai singoli geofoni in funzione della presenza di pacchetti di onde parassite. In effetti partendo dalla considerazione che solo per $V_1 = V_2$ il raggio sismico si propaga in linea retta, è sufficiente una minima variazione di densità e quindi di velocità per generare un'onda rifratta. Estendendo il concetto ad un intero strato e pensando lo stesso come suddiviso in n sub-strati a velocità crescente con la profondità, diventa evidente come un segnale registrato sia la somma di rifrazione multiple, ovvero mostri l'ingresso di onde parassite nell'ambito della rifrazione concettualmente utile.

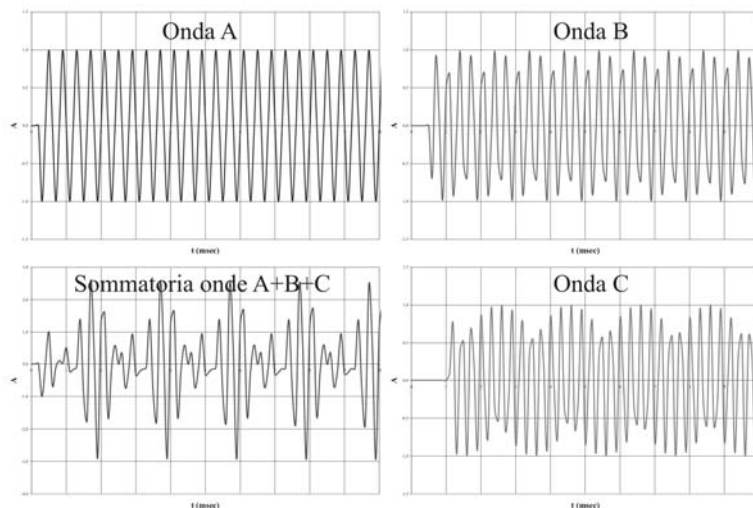


Fig. 1 – esempio di sommatoria di ipotetiche onde parassite (A e B) su onda rifratta (C) utile.

L'esperienza costruita in ambito di ricerca applicata alla progettazione stradale, eseguita congiuntamente tra la GEO&GEO Instruments® - research & development ed il VI Settore della Provincia di Teramo, ha mostrato come l'applicazione di alcune funzioni allo studio dei singoli sismogrammi consente di tenere conto degli effetti descritti. In altre parole, senza entrare nella trattazione matematica sviluppata, è possibile scindere gli effetti legati

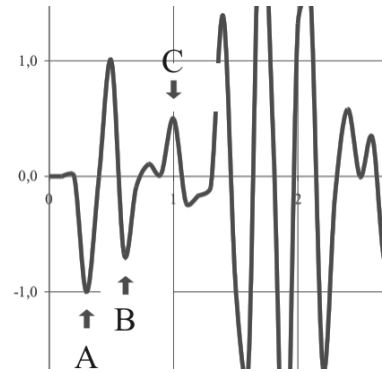
all'ingresso delle onde parassite ed individuare il *reale punto di primo arrivo* che non necessariamente coincide con l'inizio della perturbazione.

Le figure 1 e 2 presentano il caso semplice di uno strato suddivisibile in 3 sub-strati, laddove ad un onda rifratta alla base (C) si sono sommate due onde parassite derivanti da rifrazioni multiple al passaggio tra i sub-strati 1/2 e 2/3. Ciò implica che una corretta ricostruzione della geometria del sottosuolo deve passare per alcuni step fondamentali:

1. studio delle derivata prima di ogni singolo segnale registrato ai geofoni; in effetti, come mostrato in dettaglio nella figura 2 (segnale originale) l'ingresso di ogni pacchetto di onde, legate alle

- rifrazioni multiple, genera un picco, che in derivata prima corrisponde ad una variazione di pendenza;
2. studio della Trasformata di Fourier, che consente di restringere lo spettro delle frequenze utili;
 3. determinazione dei tempi di primo arrivo e costruzione delle dromocrone secondo uno step iterativo; in questo caso l'analisi della geometria di insieme delle dromocrone consente l'individuazione dei tempi di primo arrivo congrui e di quelli da ricalcolare, fino a convergenza dei dati.

Fig. 2 – particolare della parte iniziale del grafico “Sommatoria delle onde A+B+C” di cui alla figura 1.



Ovviamente tale metodologia richiede un onere computazionale notevole, dal momento che talora la convergenza viene ottenuta attraverso diverse iterazioni del passo 3. Nel caso di una prospezione a 24 canali e di una convergenza in 3 steps può rendersi necessario determinare anche fino a 50 tempi di primo arrivo.

I vantaggi derivanti da tale metodologia, evidenti soprattutto nel momento in cui sarà completato un software gestionale attualmente in fase di studio, vengono esposti in due case history riguardanti la ricostruzione della geometria di alcuni corpi di frana e dell'andamento della fratturazione del substrato interessato dal cinematismo gravitativo.

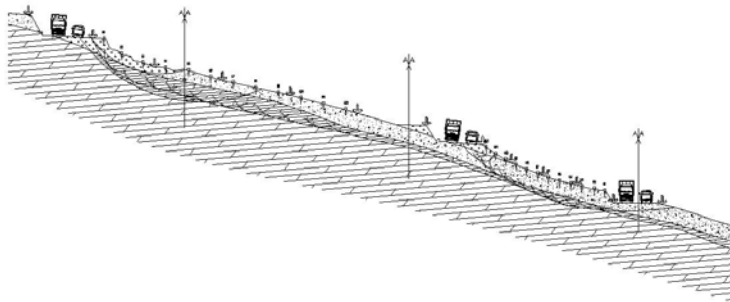


Fig. 3 – ricostruzione del contatto colluvioni-substrato, dei cinematismi di rottura e dello stato di fratturazione del substrato.

Nel caso rappresentato dalle figura 3 viene presentata una applicazione della metodologia proposta abbinata ai classici sondaggi a rotazione, utilizzati per completezza di indagini, caratterizzazione geotecnica e taratura delle

prospezioni. Esso riguarda la ricostruzione della geometria di alcuni corpi di frana con superficie di scorrimento estesa al substrato ed interessante una strada provinciale (di collegamento tra l'abitato collinare di Canzano e la S.S. 80 di fondovalle) ubicata lungo un pendio di media acclività caratterizzato dalla presenza di depositi colluviali limoso-argillosi interessati da deformazioni plastiche. Un periodo di intense precipitazioni atmosferiche ha comportato l'innescò di alcuni fenomeni gravitativi, tali da interessare anche il sottostante substrato e provocare il dissesto della sede stradale. L'esecuzione delle prospezioni sismiche, ovviamente integrate dai sondaggi, ha consentito la mappatura pressoché esatta del contatto colluvioni-substrato, dell'andamento delle superfici di scivolamento e dell'ampiezza in profondità dello stato di alterazione del bedrock.

L'applicazione successiva è inerente la porzione iniziale (di testata) di un corpo di frana complessa, di spessore medio di circa 14 m, interessante la S.P. 553 di collegamento tra l'abitato costiero di Pineto e quello collinare di Atri, in provincia di Teramo. Lo studio si è reso necessario in relazione ai movimenti storici del versante e quindi della sede stradale nonché ai lavori di ammodernamento ed ampliamento della strada provinciale in questione.

Nel caso particolare, l'ampliamento della sede stradale ha richiesto, in sede di progettazione esecutiva, la valutazione tecnico-economica di interventi strutturali eventuali capaci di arrestare il fenomeno deformativo, già ricostruito dai precedenti rilievi geomorfologici. Tale necessità ha dovuto di conseguenza tenere necessariamente conto delle dimensioni lineari della frana in questione, lunga diverse centinaia di metri, e di relazionarla alle dimensioni ristrette del problema in questione. In altre parole è risultato economicamente conveniente ed utile eseguire un solo sondaggio a carotaggio continuo, ubicato sull'asse stradale in ampliamento, abbinato però ad una prospezione tipo sismica a rifrazione, con il vantaggio di ottenere una sezione pressoché continua e sufficientemente estesa tale da consentire una corretta valutazione del problema di natura geotecnico.

Come è possibile osservare dalla figura 4, la prospezione sismica ha consentito di ottenere un elevato dettaglio della zona di testata del corpo di frana, nell'immediato dintorno della sede stradale. Nel dettaglio:

- a) la testata del corpo di frana interessa anche parte del sovrastante crinale, mentre dai rilievi geomorfologici l'evidenza del movimento era ritenuta limitata a pochi metri al di sopra della sede stradale;
- b) ad una profondità di circa 8-9 m dal piano di campagna è presente una superficie di scivolamento (indicata con tratteggio obliquo) che suddivide la frana in due porzioni a probabile velocità differenziata;
- c) in superficie è presente una coltre colluviale, di spessore di circa 3-5 m, in scivolamento al di sopra della frana stessa.

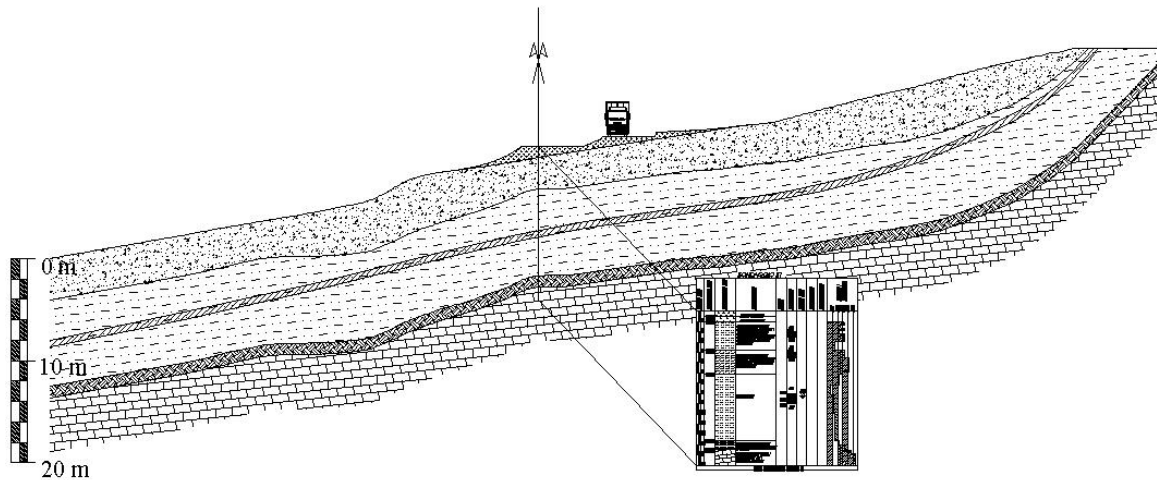


Fig. 4 – ricostruzione della geometria di un corpo di frana complessa interessante la S.P. 553 di collegamento Atri-Pineto (TE).

Tali evidenze hanno infine sconsigliato il ricorso ad interventi strutturali, dal momento che il campo di stress generato dalla frana è tale da richiedere un eccessivo dispendio economico. È stato preferibile agire sulla regimentazione delle acque di superficie e sull'intercettazione del livello piezometrico, ubicato all'incirca in prossimità della superficie di scivolamento descritta al precedente punto "b".

Bibliografia

- Carrara E., Rapolla A., Roberti N.; 1999: Le indagini geofisiche per lo studio del sottosuolo: metodi geoelettrici e sismici. Liguori Editori, Napoli.
- Sankar Kumar N., Hari Pada P., Shamsuddin S.; 2000: Geophysical Prospecting for Groundwater. A.A. Balkema, Rotterdam.
- Siena M, Di Francesco R., Pompili C., Labagnara R.; 2003: Il ruolo della sismica a rifrazione nelle indagini geognostiche: alcune case history basate su un nuovo modello interpretativo. 1° Congresso Nazionale AIGA, Chieti.