

**Atti della XIII Riunione del
Gruppo Nazionale di Coordinamento per gli studi di
Ingegneria Geotecnica**

CNR - CNSIA
Roma, 23-24 gennaio 1997

Tema n. 10 : Dinamica dei terreni e delle rocce

ANALISI COMPARATA TRA TECNICHE DI PROCESSAMENTO
DI SEGNALI SISMICI PER LE APPLICAZIONI GEOTECNICHE

Johann Facciorusso, Stefano Gori^o

^oDipartimento di Ingegneria Civile - Università di Firenze

ANALISI COMPARATA TRA TECNICHE DI PROCESSAMENTO DI SEGNALI SISMICI PER LE APPLICAZIONI GEOTECNICHE

Johann Facciorusso, Stefano Gori^o

^oDipartimento di Ingegneria Civile - Università di Firenze

1. INTRODUZIONE

Per molte applicazioni geotecniche, ed in particolare per la valutazione della stabilità dei pendii con il metodo degli spostamenti, è necessario disporre di un accelerogramma che rappresenti il più fedelmente possibile il moto sismico del terreno, soprattutto se dall'accelerogramma devono essere desunti per integrazione altri parametri del moto (Simonelli *et al.*, 1995). Le registrazioni che invece vengono comunemente utilizzate sono in grado di riprodurre solo in un campo di frequenza limitato l'esatta accelerazione del sito in cui è posizionato lo strumento; infatti tale accelerazione, $a(t)$, viene sottoposta, prima di essere disponibile nella forma non corretta, a delle trasformazioni legate al tipo di strumento utilizzato ed alle condizioni del sito. Nel caso di strumenti analogici (ENEL-ENEA), la prima trasformazione si verifica nell'accelerografo, quando l'accelerazione reale $a(t)$ viene convertita in una registrazione analogica della risposta dello strumento, $R(t)$, mentre la seconda trasformazione avviene durante la digitalizzazione. In Fig.1 si riporta il caso di un segnale di ingresso con spettro di ampiezza costante nella banda $[0, f_i]$, con $f_i \gg f_n$, f_n è la frequenza naturale dello strumento. I principali tipi di errori a lungo periodo, che rendono irrecuperabile il contenuto a bassa frequenza del segnale originario ($f < f_L$), sono principalmente legati al processo di digitalizzazione e possono essere classificati come segue: 1) errori causati da una lettura obliqua del film nel meccanismo di lettura; 2) errori dovuti alle distorsioni del film e al contatto del cursore; 3) errori dovuti alle imperfezioni del meccanismo reticolare, sistematici nel caso di digitalizzazione automatica e aleatori nel caso di digitalizzazione ottico-meccanica. I principali tipi di errore ad alta frequenza (imputabili ad entrambe le fasi) sono: 1) errori legati alla frequenza naturale dell'oscillatore che comportano una modificazione dell'ampiezza ed una traslazione della fase nello spettro; 2) errori dovuti alle imperfezioni dell'oscillatore; 3) errori aleatori di digitalizzazione ed effetti di filtraggio PB nei processi di digitalizzazione ottico-meccanici; 4) Errori dovuti alla risoluzione inadeguata dell'apparecchiatura di digitalizzazione.

Nella presente nota si confrontano due tecniche per la correzione degli accelerogrammi ed i differenti risultati ottenuti in termini di parametri caratteristici del segnale e di spostamenti del blocco rigido di Newmark.

2. PROCEDURE IMPIEGATE

Sono state scelte in particolare due procedure di correzione: una già esistente ed utilizzata dall'Ist. di Ricerca sul Rischio Sismico di Milano (CALTECH), l'altra realizzata utilizzando il programma PITSA (disponibile presso il Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Firenze). Mentre CALTECH è una procedura di correzione vera e propria che, seguendo una serie di passi successivi, effettua una correzione in maniera automatica e fornisce un dato accettabile (eliminando ad esempio quei problemi di derive che si incontrano integrando il dato accelerometrico), PITSA è un programma per l'analisi degli accelerogrammi

non finalizzato specificamente alla loro correzione, che comunque può essere effettuata con una serie di operazioni spesso laboriose e soggettive. Anche la procedura CALTECH introduce un elemento di discrezionalità nella definizione delle frequenze di taglio, ma il dato che si ottiene è comunque poco sensibile alla loro variazione. Inoltre con PITSA ci sono difficoltà di elaborazione dovute al limite di configurazione (non modificabile) del numero dei punti che è possibile processare simultaneamente (8192 punti). In Fig.2 è riportato un esempio di segnali non corretti e corretti con le due procedure.

PROCEDURA CALTECH - Si analizzano i passi fondamentali:

1. Si effettua la correzione strumentale dell'accelerogramma non corretto $a_u(t)$ consistente nella differenziazione dell'equazione dell'oscillatore, preceduta, per eliminare eventuali amplificazioni degli errori di digitalizzazione ad alta frequenza, dall'applicazione di un filtro digitale passa-basso (Ormsby) nella banda $[f_c, f_T]$;
2. L'accelerazione così corretta, $a_c(t)$, definita per un intervallo di tempo finito, al fine di garantire la continuità agli estremi, viene incrementata, in entrambi i versi, adottando una funzione esponenziale.
3. Quindi si determinano col metodo dei minimi quadrati i coefficienti della retta che meglio approssima la linea dello 0 e dalla differenza con quest'ultima si ricava il nuovo accelerogramma $a^{(0)}(t)$
4. Si ricava per integrazione di $a^{(0)}(t)$, ponendo zero la velocità iniziale, il velocigramma $v(t)$ e la sua linea dello 0, $v_0 + a_0 t$, come nel passo precedente, che sottratta a $v(t)$ fornisce il velocigramma corretto $v^{(0)}(t)$; il coefficiente v_0 rappresenta la velocità iniziale che avevamo supposto nulla, mentre a_0 il trend lineare che la velocità acquisisce dall'integrazione, nonché il valore medio dell'accelerazione, che sottratto ad $a_0(t)$ fornisce $a^{(1)}(t)$
5. Applicando ad $a^{(1)}(t)$ un filtro PB di Ormsby con banda di transizione $[f_c', f_T']$ e sottraendo l'accelerazione così filtrata $a^{(1)}_L(t)$ a quella iniziale $a^{(1)}(t)$ (ottenendo un filtro PA) si ottiene $a^{(2)}(t)$, si riapplicano i passi 3 e 4, ottenendo così un nuovo valore per l'accelerazione, $a^{(3)}(t)$, e per la velocità, $v^{(1)}(t)$
6. Si filtra $v^{(1)}(t)$ in bassa frequenza, $[f_T', f_c']$, secondo il criterio adottato nel passo precedente e si ottiene la velocità corretta definitiva $v^{(2)}(t)$; la velocità filtrata col filtro PB, viene utilizzata per ricavare, mediante derivazione, un nuovo valore per $a^{(1)}_L(t)$, calcolata al passo 5, indicato con $a^{(3)}_L(t)$ e che sottratta ad $a^{(3)}(t)$, mi fornisce l'accelerazione corretta definitiva $a^{(4)}(t)$
7. Si determina lo spostamento $d(t)$ integrando la velocità $v^{(2)}(t)$ ed assumendo il valore iniziale uguale a 0, si calcola la linea dello 0, sempre col metodo dei minimi quadrati, che sottratta allo spostamento $d(t)$ fornisce lo spostamento corretto $d^{(0)}(t)$ e si applica, come nei passi precedenti, un filtro PA alla banda $[f_T', f_c']$, ottenendo così lo spostamento corretto definitivo $d^{(1)}(t)$

Per la scelta delle frequenze da adottare per la correzione strumentale (f_c, f_T) e per la correzione della linea di base (f_T', f_c') si possono seguire le indicazioni fornite da D. Petrovski(1979) e A.G. Brady(1978) legate alla frequenza di registrazione, alle proprietà dello strumento utilizzato, alla lunghezza della registrazione e della sua fase forte e all'ampiezza della banda di transizione. In questo lavoro sono state adottate le frequenze ricavate dall'ENEA da un'analisi comparata dello spettro del segnale e del rumore (ottenuto dalla traccia fissa dello strumento). Nei casi in cui è stata osservata la presenza di disturbi evidenti, si è ritenuto opportuno traslare la banda di transizione adottata per il filtraggio alle basse frequenze (senza però modificarne l'ampiezza e cercando di non superare 1 Hz).

PROCEDURA PITSA - La correzione degli accelerogrammi è stata inoltre effettuata usando il programma di calcolo PITSA, 1992, che propone i filtri Butterworth, Gaussian e Notch, ma consente anche di definire un generico filtro IIR assegnandone i poli e gli zeri oppure definendo i coefficienti dell'equazione alle differenze finite che lo caratterizza. Il Gaussian ed il Notch sono filtri passa-banda ed elimina-banda da utilizzare su piccole bande di frequenza. Il filtro più indicato per la correzione è pertanto il Butterworth, definito dalla risposta in frequenza $|H(\omega)|=1/[1+(j\omega/j\omega_c)^{2n}]$, dove n (non superiore a 9 in PITSA) è il numero di poli e ω_c è la frequenza di taglio. Per aumentare la selettività del filtro, in aggiunta al filtraggio passa-banda in $[f_a-f_b]$ l'accelerogramma è stato sottoposto al notch filter alle B.F. (alle A.F. il filtro non è applicabile per l'aliasing); il notch è stato centrato in $f_a/2$ con ampiezza $f_a/2$. Dall'accelerogramma così corretto il velocigramma e il sismogramma sono stati ottenuti con successive integrazioni. Prima di ciascuna integrazione si è reso necessario effettuare la correzione della linea di base rimuovendo dalla traccia la retta ottenuta per regressione lineare.

Le frequenze di taglio f_a e f_b , non disponendo di migliori informazioni sul rumore, sono state valutate considerando la "coda" della traccia e cercando di individuare, a partire dall'ultimo punto della registrazione e procedendo a ritroso, una finestra con ampiezza di segnale così piccola da poter essere considerata rappresentativa. Per tutte le tracce analizzate si è scelto un limite di ampiezza di 0.006g. La determinazione di f_a e f_b si basa sulla rappresentabilità del disturbo, pur considerato nella sua casualità, a partire da questa finestra, che risulta definita su una banda temporale sufficientemente ampia. L'individuazione delle frequenze di taglio può essere pertanto eseguita confrontando quantitativamente lo spettro della traccia e lo spettro del rumore. Si pone così f_a uguale a quella frequenza per la quale lo spettro della traccia supera lo spettro del rumore e f_b come quel limite oltre il quale lo spettro della traccia si ripete in maniera apparentemente casuale, con piccole oscillazioni al di sopra dello zero che sono in ampiezza analoghe a quelle compiute dallo spettro del rumore.

3. RISULTATI DEL CONFRONTO

Le due procedure precedentemente descritte sono state applicate ad alcuni accelerogrammi non corretti forniti dall'ENEL-ENEA e registrati durante gli eventi del 11/09/1976, h.16.31.10 (131) e h.16.35.01 (138) e del 23/11/1980, h.18.34.52 (621). Sono stati ricavati gli accelerogrammi corretti nelle tre componenti, dai quali sono stati ricavati alcuni parametri caratteristici del moto (Tab.1a): picco di accelerazione positivo e negativo (PGA+ e PGA-), picco di velocità positivo e negativo (PGV+ e PGV-), zero-crossing (V_0), intensità di Arias (I_a), periodo dominante (T_0), potenziale distruttivo (P_d). Inoltre è stato calcolato, mediante integrazione numerica, lo spostamento orizzontale del blocco rigido di Newmark corrispondente a ciascuna delle due componenti orizzontali dell'accelerogramma, assumendo i valori del coefficiente sismico K_c indicati in Tab.1b e considerando entrambi i possibili versi di spostamento, anche se nella Tab.2 viene riportato solo il valore massimo). Dalle Tab.1a e 1b possiamo osservare come il filtraggio influisca poco sui parametri descrittivi del moto e sugli spostamenti, diversamente da quanto ci si attendeva date le scelte discrezionali delle procedure di filtraggio. In realtà, si osservano delle differenze più sensibili per l'evento dell'Irpinia, soprattutto in termini di

spostamento; queste differenze si potrebbero imputare sia ad una migliore qualità dei dati non corretti del Friuli rispetto agli altri, sia all'influenza della durata. In generale si può concludere che non esiste un criterio unico per la correzione né un modo per stimarne l'effettiva efficienza. La procedura più corretta sotto il profilo ingegneristico è quella di partire da un accelerogramma non corretto ed effettuare una correzione finalizzata al tipo di utilizzo del dato.

Bibliografia

- BRADY A.G. & BASILI M.(1978) - Low frequency filtering and selection of limits for accelerogram corrections. VI European Conference on Earthquake Engineering, Dubrovnik, Yugoslavia
- PETROVSKI D.& NAUMOVSKI N. (1979) - Processing of strong motion accelerograms. Publication No.66, IEEEES; University of Skopje, Yugoslavia.
- SCHERBAUM F.& JOHNSON J. (1992) - Programmable Interactive Toolbox for Seismological Analysis - International Ass. of Seismology and Physics of the Earth's Interior, UNESCO, Seism. Society of America. El Cerrito, USA.
- SIMONELLI A.L.& VIGGIANI C. (1995) - Effects of seismic motion characteristics on earth slope behaviour. First International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, Tokio

PITSA CALTECH	PGA (±) [g]	PGV (±) [m/s]	V _o [1/s]	I _a [cm/s]	P _a [10 ⁻⁴ gs ³]	T _o [s]
131- NS	0.081\0.099	0.042\0.027	11.1	5.03	0.42	0.37
	0.079\0.097	0.042\0.027	11.1	4.65	0.38	0.38
131-WE	0.115\0.088	0.038\0.026	10.6	5.38	0.48	0.25
	0.113\0.086	0.037\0.025	10.0	5.15	0.52	0.25
131-UP	0.049\0.051	0.013\0.013	13.7	1.78	0.10	0.19
	0.048\0.049	0.012\0.012	14.4	1.72	0.08	0.19
138-NS	0.110\0.133	0.094\0.055	12.0	12.10	0.85	0.44
	0.107\0.129	0.092\0.054	11.9	11.43	0.82	0.44
138-WE	0.201\0.238	0.121\0.107	11.5	38.52	2.97	0.35
	0.196\0.232	0.118\0.105	11.7	36.73	2.72	0.35
138-UP	0.090\0.121	0.031\0.039	16.1	5.75	0.23	0.22
	0.090\0.117	0.035\0.033	17.0	5.44	0.19	0.22
621-NS	0.134\0.125	0.213\0.129	9.1	36.80	4.49	1.15
	0.132\0.124	0.197\0.138	8.5	35.63	5.07	1.16
621-WE	0.193\0.150	0.210\0.354	7.9	45.60	7.45	1.16
	0.188\0.145	0.214\0.334	7.8	44.93	7.42	1.16
621-UP	0.106\0.085	0.107\0.157	9.0	18.65	2.35	0.67
	0.104\0.087	0.094\0.150	8.9	18.27	2.36	0.67

Tab.1a - Confronto tra parametri deducibili dagli accelerogrammi

PITSA CALTECH	K _c				
	0.005	0.01	0.02	0.05	0.1
131-NS	5.062	3.058	1.173	0.105	/
	4.961	2.988	1.139	0.097	/
131-WE	4.976	2.892	1.160	0.137	0.00384
	4.919	2.840	1.113	0.127	0.00280
138-NS	15.490	9.118	4.912	1.166	0.0451
	14.960	8.758	4.692	1.077	0.0338
138-WE	23.420	16.810	11.700	6.366	1.898
	22.550	16.240	11.290	6.070	1.747
621-NS	106.700	55.410	25.960	6.001	0.231
	98.620	52.330	24.960	6.035	0.202
621-WE	182.600	112.800	62.250	20.860	3.068
	172.800	106.200	59.190	19.460	2.656

Tab.1b - Confronto tra gli spostamenti (in cm)