

Microzonazione di Sellano

A cura di: F. M. Guadagno⁽¹⁾, A. La Rotonda⁽²⁾, A. Michelini⁽³⁾

Hanno collaborato:

M. Cattaneo⁽⁴⁾, G. Chimera⁽⁵⁾, T. Crespellani⁽⁶⁾, R. Daminelli⁽⁷⁾, R. de Franco⁽⁷⁾, M. Dolce⁽²⁾, G.L. Franceschina⁽⁸⁾, A. Govoni⁽³⁾, S. Magaldi⁽¹⁾, A. Marcellini⁽⁷⁾, P. Marsan⁽⁹⁾, G. Milana⁽⁹⁾, M. Natale⁽¹⁰⁾, C. Nunziata⁽¹⁰⁾, M. Pagani⁽⁷⁾, L. Peruzza⁽¹¹⁾, E. Priolo⁽³⁾, A. Sica⁽¹⁰⁾, L. Sirovich⁽³⁾, G. Valentini⁽¹²⁾

(1) Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali, Università del Sannio, Paduli (BN)

(2) Dipartimento di Strutture, Geotecnica e Geologia Applicata all'Ingegneria, Università della Basilicata, Potenza

(3) Osservatorio Geofisico Sperimentale, Trieste, attualmente Istituto di Oceanografia e Geofisica Sperimentale, Trieste

(4) Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Genova, attualmente INGV, Roma

(5) Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Trieste

(6) Dipartimento di Ingegneria Civile, Università degli Studi di Firenze

(7) Istituto di Ricerca sul Rischio Sismico, CNR, Milano, attualmente CNR-IDPA, Milano

(8) Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, presso CNR-IRRS, Milano, attualmente INGV-Sezione di Milano

(9) Servizio Sismico Nazionale, Roma

(10) Dipartimento di Geofisica e Vulcanologia, Università "Federico II", Napoli

(11) Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti presso OGS, Trieste, attualmente INGV-GNDT presso Istituto di Oceanografia e Geofisica Sperimentale, Trieste

(12) Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi "La Sapienza", Roma

1.0 SISMICITÀ DI RIFERIMENTO

1.1 Caratteristiche dei terremoti che interessano Sellano

Tabella 1.1: Storia sismica di Sellano.

Ye	Mo	Da	Ho	Mi	Is (MCS)	Area epicentrale	Ix	Ms
1703	1	14	18			90 NORCIA	100	67
1838	2	14				80 VALNERINA	80	55
1979	9	19	21	35		70 NORCIA	85	59
1941	3	10	8			55 SELLANO	55	42
1898	8	25				50 VISSO	70	50
1915	1	13	6	52		50 AVEZZANO	110	70
1927	8	16		53		50 CASTEL SANT'ANGELO	60	37
1898	6	27	23	38		40 RIETI	80	52
1917	4	26	9	35		35 MONTERCHI-CITERNA	95	56
1915	3	26	23	37		30 ASSISI	70	47
1917	5	12	15	34		30 TERNANO	80	47
1918	4	14	1	56		30 GIANO DELL'UMBRIA	65	47
1892	1	22				20 COLLI ALBANI	70	47
1980	11	23	18	34	NF	IRPINIA-LUCANIA	100	69

Sellano è stata ripetutamente colpita nel passato da forti terremoti, come si evidenzia dalla Tabella 1.1. In particolare si osserva che Sellano è stata interessata da terremoti che hanno liberato un'energia un centinaio di volte più grande rispetto a quello della crisi sismica del Settembre 1997. Ad esempio per il terremoto del 1703 con epicentro a Norcia è stata stimata una magnitudo (M_S) pari a 6.7. Vi è da rilevare che la conoscenza della sismicità della zona è di fondamentale importanza in una microzonazione sismica perché serve a inquadrare correttamente le informazioni derivanti dall'ultimo terremoto. Le Figure da 1.1 ad 1.4 mostrano le principali caratteristiche dello scuotimento registrato in occasione del terremoto di Settembre 1997. Si osservano valori di accelerazioni di picco (PGA) altamente variabili, con valori superiori a 0.45 g (Colfiorito) e 0.55 g (Norcia); frequenze particolarmente elevate sono ben evidenziate dalle registrazioni di Colfiorito e Nocera.

La tipologia del danneggiamento è ovviamente dipendente dalle caratteristiche dello scuotimento. Ora, un terremoto che si origina con epicentro più lontano, rispetto a quello del 1997, ma con magnitudo superiore a 6.5, produrrebbe a Sellano uno scuotimento con una PGA magari inferiore, ma con frequenze predominanti più basse e con durata maggiore. La conseguenza sarebbe un pattern di danneggiamento profondamente diverso. Quindi nel pianificare la ricostruzione bisogna tenere conto

della possibilità che, accanto a sismi di relativamente modesta magnitudo che si originano nelle vicinanze, tipo quello del 1997, Sellano possa essere colpita da terremoti di magnitudo ben superiore.

1.2 Pericolosità sismica

La pericolosità sismica è stata valutata impiegando l'approccio probabilistico classico (approccio "Cornell") che prevede la definizione della sismicità attraverso zone sorgenti e l'assunzione del modello Poissoniano per descriverne le caratteristiche temporali; tale approccio viene considerato uno standard mondiale per la valutazione della pericolosità.

Nel presente caso è stato impiegato il codice di calcolo SEISRISK III (Bender e Perkins, 1987); per le zone sorgenti si è adottata la zonazione proposta da Scandone (1992); per il catalogo si è usato NT4.1 (Camassi e Stucchi, 1996) e sono state impiegate diverse leggi di attenuazione.

Considerando un periodo di ritorno di 474 anni, i risultati dell'analisi evidenziano un valore di PGA di 0.315 g, usando la legge di attenuazione di Ambraseys (1996), e di 0.296 g, usando la relazione Sabetta e Pugliese (1987). In entrambi i casi è stata considerata la legge di attenuazione per suolo tipo 'rock'. I valori segnalano una pericolosità di tipo medio-alto rispetto agli altri comuni italiani classificati in seconda categoria. Si può anche osservare che Sellano presenta una pericolosità sismica discretamente superiore a Nocera.

Un tipo di rappresentazione dello scuotimento più significativo rispetto al PGA è rappresentato dallo spettro di risposta.

Nella Figura 1.2.1 sono riportati gli spettri a pericolosità uniforme per un periodo di ritorno di 474 anni e con uno smorzamento del 5%, ottenuti usando rispettivamente le leggi di attenuazione di Ambraseys (1996) e di Sabetta e Pugliese (1987). Si può notare la notevole influenza, in entrambe le figure, del tipo di suolo considerato nella legge di attenuazione; va inoltre evidenziata la significativa differenza in contenuto di frequenze tra gli spettri di risposta (Figure 1.2.1) e gli spettri delle registrazioni accelerometriche del terremoto di Settembre 1997 effettuate dalle stazioni più prossime a Sellano.

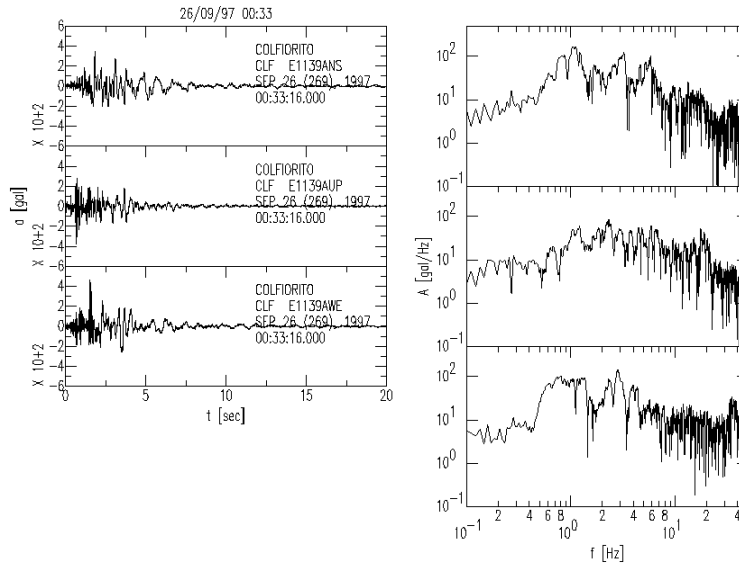


Figura 1.1 - Accelerogramma registrato a Colfiorito relativo all'evento 26/09/97 00:33 ($M_S=5.5$). Per ciascuna delle tre componenti vengono mostrate le storie temporali e i corrispondenti spettri di Fourier (componente Nord-Sud, Verticale ed Est-Ovest rispettivamente).

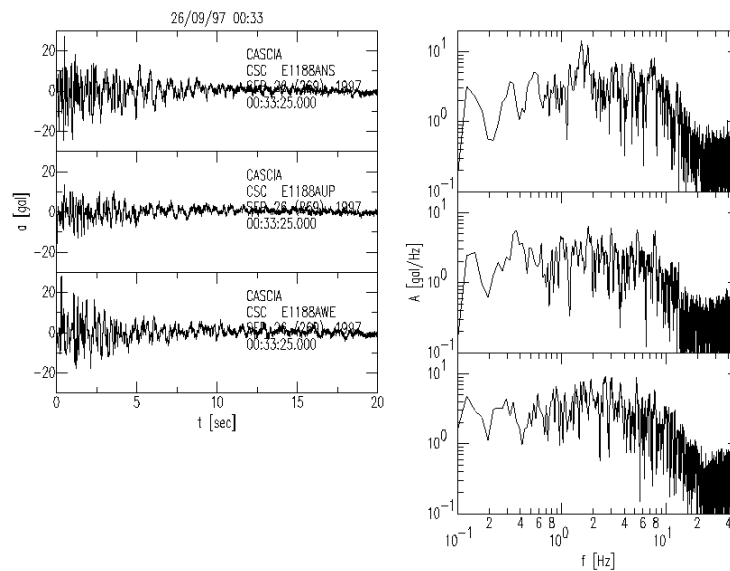


Figura 1.2 - Accelerogramma registrato a Cascia relativo all'evento 26/09/97 00:33 ($M_S=5.5$). Per ciascuna delle tre componenti vengono mostrate le storie temporali e i corrispondenti spettri di Fourier (componente Nord-Sud, Verticale ed Est-Ovest rispettivamente).

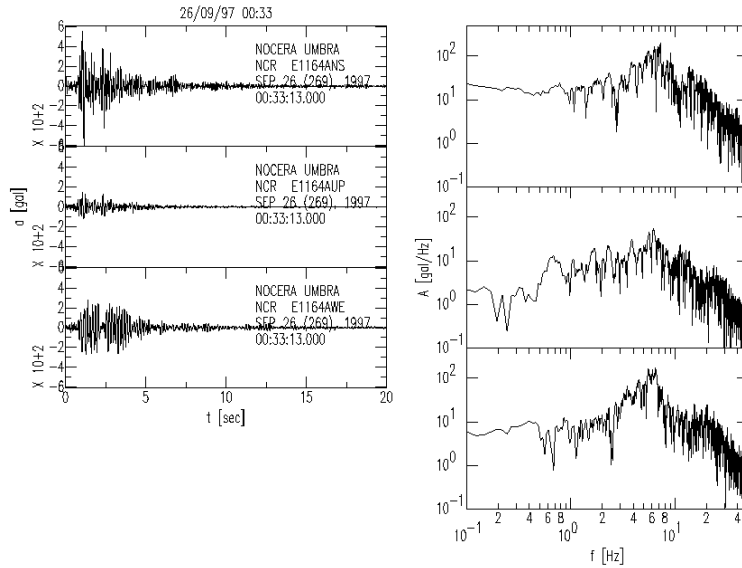


Figura 1.3 - Accelerogramma registrato a Nocera Umbra relativo all'evento 26/09/97 00:33 ($M_S=5.5$). Per ciascuna delle tre componenti vengono mostrate le storie temporali e i corrispondenti spettri di Fourier (componente Nord-Sud, Verticale ed Est-Ovest rispettivamente).

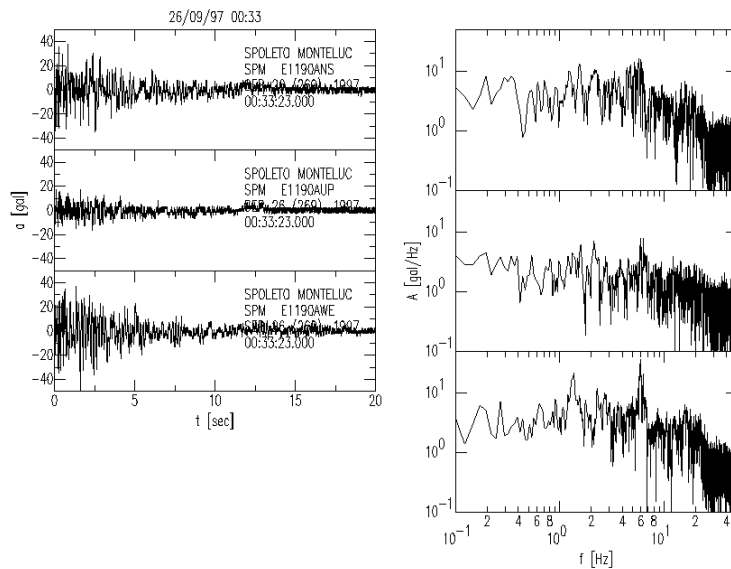


Figura 1.4 - Accelerogramma registrato a Spoleto Monteluco relativo all'evento 26/09/97 00:33 ($M_S=5.5$). Per ciascuna delle tre componenti vengono mostrate le storie temporali e i corrispondenti spettri di Fourier (componente Nord-Sud, Verticale ed Est-Ovest rispettivamente).

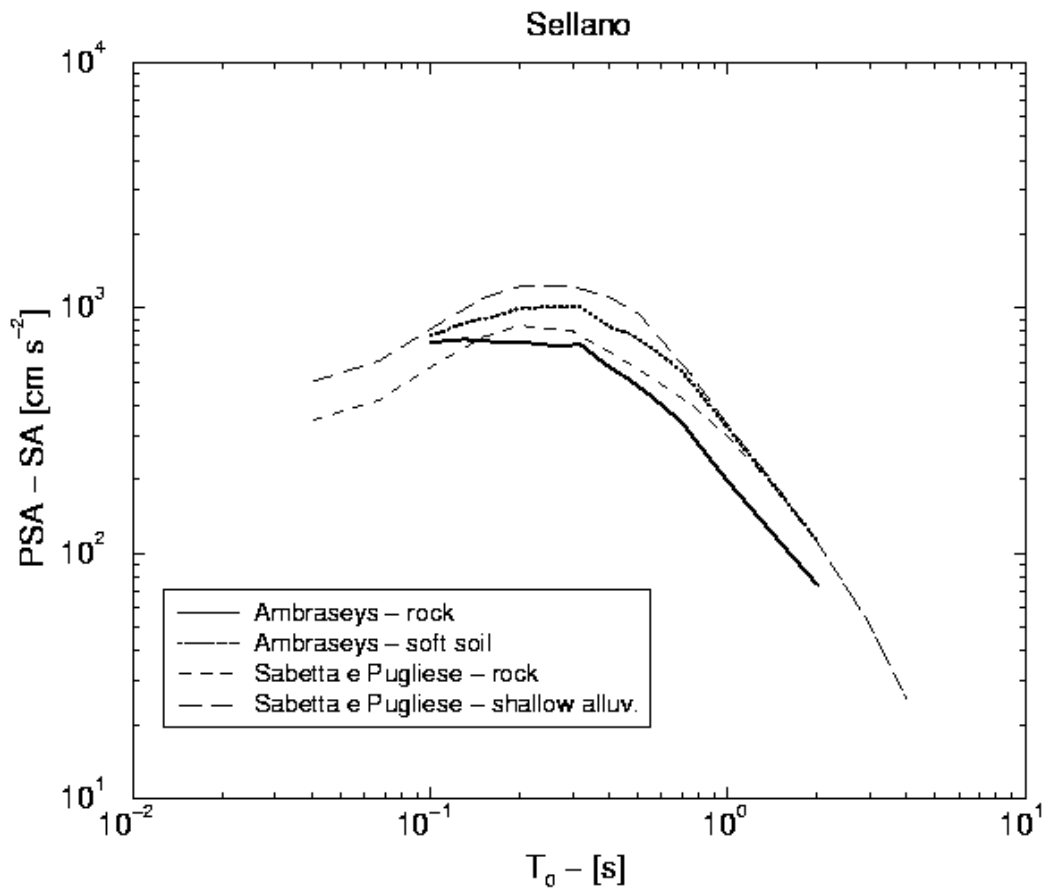


Figura 1.2.1 - Spettri di risposta equiprobabilistici ottenuti impiegando diverse leggi di attenuazione.

2.0 ASSETTO GEOLOGICO E GEOLOGICO-TECNICO

2.1 Inquadramento geologico - strutturale

Il centro abitato di Sellano capoluogo ricade su di una dorsale collinare, allungata in senso antiappenninico, che raggiunge la quota di circa 640 m s.l.m. (Figura 2.1.1). In particolare, se il nucleo antico dell'abitato, che in epoca medioevale costituiva uno dei "Castelli" della Val Nerina, si colloca all'estremità più orientale di tale rilievo, le aree di più recente sviluppo urbanistico (dall'ottocento in poi) hanno interessato le zone esterne alle mura, generalmente in posizione di colmo della dorsale stessa. Ne risulta quindi una pianta caratteristicamente a forma di Y obliqua.

Il rilevamento di dettaglio della dorsale collinare ha confermato la presenza di terreni ascrivibili alle successioni pelagiche dell'Appennino Umbro-Marchigiano (Cretacico-Paleogene), deformate in un complesso assetto strutturale, così come è osservabile dalla carta geologica di Figura 2.1.2.

Il termine più antico è rappresentato dall'unità delle Marne a fucoidi (Aptiano inf.-Albiano sup.), affiorante nell'area occidentale del territorio di Sellano col suo membro superiore, costituito da alternanze di calcari e calcari marnosi di colore biancastro, o verdolino nei livelli più marnosi, con liste e noduli di selce policroma verso la parte alta.

La formazione descritta è sottoposta stratigraficamente all'unità della Scaglia (Albiano sup.-Aquitano inf.), ripartita in quattro sottunità la Bianca, la Rossa, la Variegata ed infine la Cinerea. Segue sempre in continuità stratigrafica la formazione del Bisciario (Aquitano sup.-Burdigaliano).

Anche per l'area di specifico interesse si evidenzia che tali formazioni differiscono tra di loro non solo per il colore, ma soprattutto per i loro caratteri litologici: così, mentre la Scaglia Bianca e quella Rossa sono caratterizzate da una natura prevalentemente calcarea, in quanto costituite da calcari micritici con rare intercalazioni di calcareniti fini, nelle Scaglia Variegata ed in quella Cinerea la componente marnoso-argillosa rappresenta l'elemento predominante con alternanze di livelli da calcareo-marnosi a marnoso-argillosi.

Inoltre, sia la Scaglia Bianca che la Rossa presentano una stratificazione netta con potenze degli strati comprese tra 35 e 50 centimetri fino ad un massimo di 80, mentre gli strati della Scaglia Variegata e della Cinerea non superano generalmente 15 centimetri di spessore.

Come ben noto (Calamita & Deiana, 1986; Calamita e Pizzi, 1992; Cencetti, 1993; Centamore et al., 1986; Lavecchia, 1985), nell'area gli elementi strutturali più significativi sono rappresentati dai sovrascorrimenti che coinvolgono la successione sedimentaria descritta ai cui termini possono essere assegnate differenti competenze. Di conseguenza, associate a queste strutture principali, possono riconoscersi pieghe parallele asimmetriche, aventi l'andamento assiale parallelo alla direzione dei sovrascorrimenti. Queste complesse strutture sono, inoltre, dislocate da faglie

normali, organizzate in fasci, con una distribuzione “en-echelon” che mostrano un andamento obliquo rispetto ai sovrascorrimenti (NNW-SSE). Se le strutture deformative compressive devono essere attribuite alle fasi tettoniche che hanno interessato l’Appennino umbro dal Miocene sup. al Pliocene inf., le strutture distensive sono state indotte dalla più recente tettonica pleistocenica.

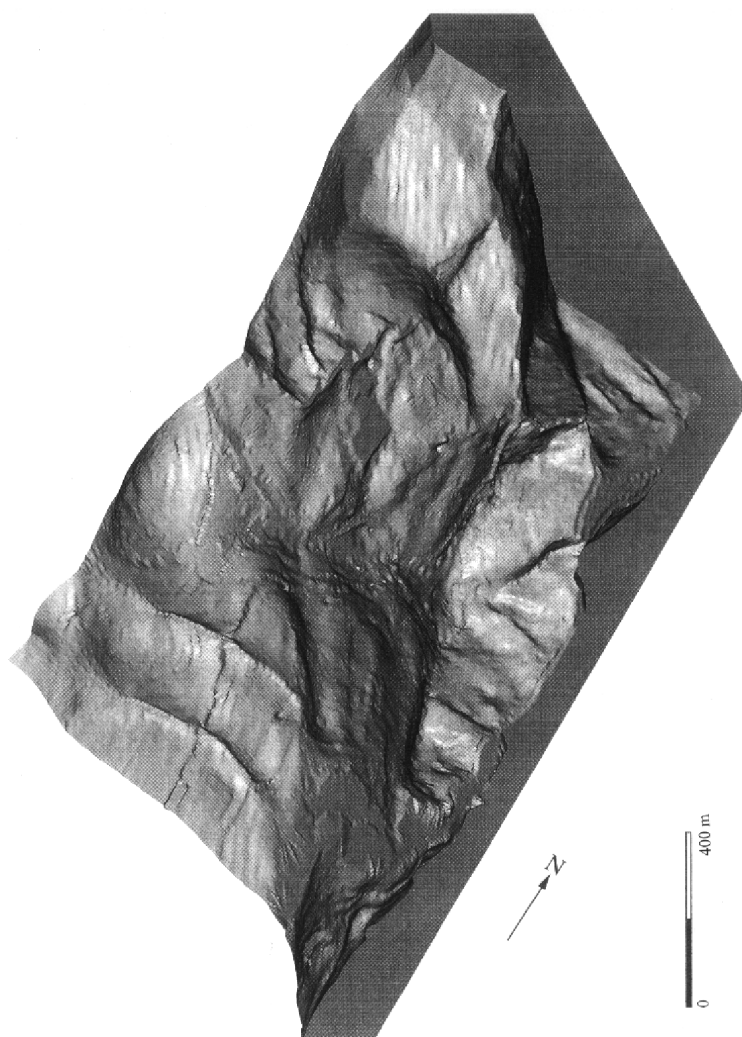


Figura 2.1.1 - Modello DTM del rilievo di Sellano ed aree limitrofe.

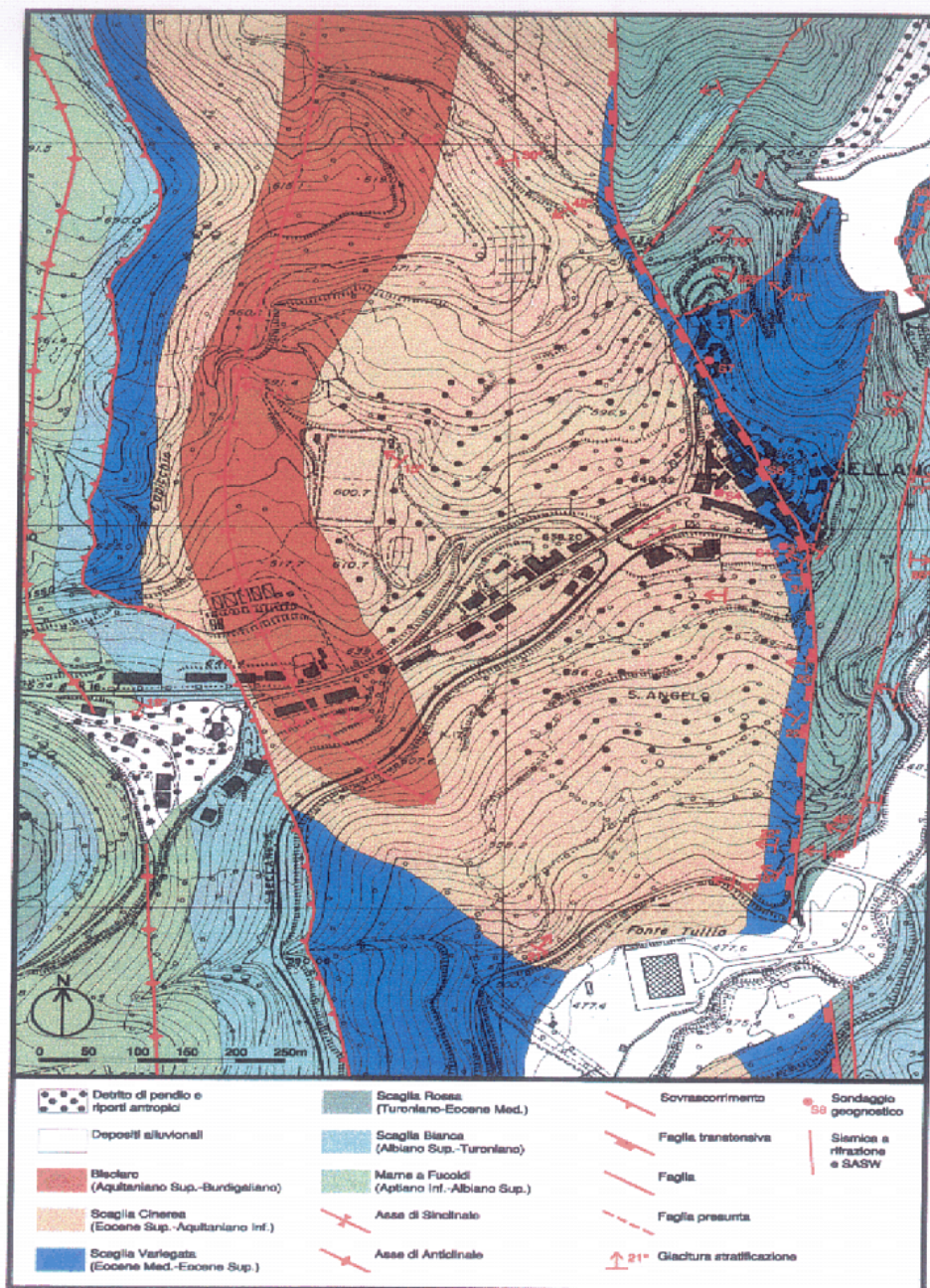


Figura 2.1.2 - Carta geologica con ubicazione delle indagini.

2.2 Il sottosuolo di Sellano

Facendo riferimento agli elementi di conoscenza generale descritti, se l'ossatura della parte più occidentale del rilievo di Sellano è costituita dalla sequenza della Scaglia Variegata e Cinerea deformate a costituire una piega sinclinalica aperta con fianchi inclinati tra 30 e 50°, le propaggini più orientali sono caratterizzate dall'affioramento di porzioni delle sequenze della Scaglia Variegata, Rossa e Bianca, deformate ed in contatti sia stratigrafici che tettonici (Guadagno et al., 1998).

Nello specifico la struttura plicativa, il cui asse arcuato è prevalentemente disposto N-S, è troncata da una faglia subverticale a carattere transtensivo orientata N 256°/50° che la mette a contatto con una successione di pieghe costituite dai vari termini della Scaglia, interessate a loro volta da faglie a carattere transpressivo che ne hanno significativamente modificato gli spessori in affioramento.

Da quanto descritto, oltre ad essere evidente un quadro di particolare complessità strutturale, emerge il controllo litostrutturale sulla descritta forma del rilievo di Sellano, il cui substrato è formato da litotipi la cui risposta ai fenomeni erosivi è stata profondamente diversa. È inoltre da evidenziare che il nucleo abitato, così come hanno anche confermato i risultati delle indagini profonde effettuate nell'area sotto la direzione di tecnici incaricati dall'Amministrazione comunale, trova un substrato differenziato sia in termini di litologie (Scaglia cinerea e variegata prevalentemente) che di grado di fratturazione. In realtà connesso al descritto assetto è la presenza di varie strutture mesoscopiche costituite principalmente da pieghe, piani di fratturazione e zone cataclastiche (Lavecchia et al., 1986).

Tralasciando gli aspetti propriamente d'interpretazione strutturale, la presenza di disomogeneità meccaniche influenza in modo determinante i comportamenti degli ammassi. Le analisi dei dati sulle discontinuità meccaniche misurate in affioramenti prossimi all'abitato, evidenziano famiglie con orientazioni congruenti con le strutture tettoniche principali e con le caratteristiche geometriche, in termini di spaziatura, apertura e persistenza, variabili principalmente in connessione alla costituzione del litotipo e la presenza di pieghe ospitate nella struttura plicativa principale. Sono state, infatti, riscontrate strutture plicative minori con lunghezze d'onda da pochi decimetri a qualche metro, distribuite all'interno di pieghe ospiti. Tali mesopieghe sono sviluppate sia in corrispondenza dei livelli marnoso-argillosi sia in quelli più calcarei.

Due principali sistemi di clivaggio tra di loro sub-perpendicolari, uno con direzione appenninica, l'altro con direzione antiappenninica, interessano gli ammassi rocciosi. Tali fratture, molto persistenti, appaiono ben chiuse sui tagli freschi mentre, in specifici contesti morfologici, risultano aperte e talvolta con superfici degradate.

È inoltre da osservare che, in modo diffuso nelle aree d'affioramento della Scaglia Cinerea, sono stati definiti significativi spessori di materiali detritici costituiti da una matrice limo-sabbiosa a luoghi argillosa, con litorelitti lapidei dispersi nella massa. Queste coperture, la cui origine è da connettere alla degradazione della formazione più marnosa, sono state determinate a luoghi da riporti antropici. La superficie degli accumuli detritici è localmente caratterizzata da evidenze

morfologiche, quali mammellonature o piccole depressioni, che indicano possibili movimenti plastici a carattere molto superficiale (creep).

Come anche parzialmente evidenziato dai sondaggi geognostici eseguiti, accumuli detritici sono presenti nell'area dell'abitato di Sellano ed in particolare in quella del Centro antico, per lo più contenuti da opere di sostegno o dagli stessi edifici (Guadagno et al., 1998). In realtà per la comprensione dell'attuale assetto topografico, morfologico e litologico della specifica area di Sellano capoluogo, non si può non fare riferimento anche ad alcune notazioni di carattere storico che possono quindi fornire più adeguati elementi di riferimento.

È da premettere che come in tutti i centri storici, sono sensibili gli effetti delle attività di antropizzazione (Crespellani et al., 1997), avvenute in due millenni di storia e che si sono esplicate, ad esempio, in escavazione e riporti che hanno modificato le originarie configurazioni morfologiche (Guadagno et al., 1998). Sellano, infatti, sembra essere stata fondata nell'81 a.C. da Lucio Silla, da cui sembra prendere il nome, anche se allo stato attuale non sono evidenti significative testimonianze d'epoca romana, se si esclude l'orientamento del reticolo viario, che mostra una chiara struttura ippodamea.

In epoca medievale, Sellano costituì un importante Castello dell'area spoletina, trovandosi al centro o partecipando alle lotte per la giurisdizione dei territori della zona. Come tutti i "Castelli" dell'Appennino umbro, anche quello di Sellano si colloca in posizione di colmo collinare secondo un schema difensivo che prevedeva una cinta muraria di forma grosso modo triangolare, e torri ubicate in posizioni strategiche. Se la cinta muraria era ben sviluppata sui lati occidentali del perimetro triangolare essa sembra essere meno significativa su quello orientale, anche per la presenza dell'acclive versante sul fiume Vigi, naturale presidio difensivo (AA.VV., 1998).

Nell'area quindi delimitata dall'attuale residuo del perimetro murario, testimonianza della fortificazione del XV secolo che costituisce l'ultima fase delle costruzioni difensive medievali, si è quindi sviluppata, come di consueto, la vita e l'evoluzione edilizia dell'abitato. È da sottolineare che come riportato dalle cronache storiche relative alla ribellione del 1522 attuata contro Spoleto, la fortificazione del Castello costrinse a notevoli riporti e costruzioni di opere supplementari sia nella zona esterna che in quella interna. Queste hanno indotto ulteriori movimenti di terra e di conchi di pietra.

Di conseguenza in quest'area si rinvengono tracce profonde dell'importante attività antropica attuata attraverso la formazione di tagli, riporti e scavi in sotterraneo. D'altronde gli stessi materiali utilizzati nella costruzione delle opere murarie sono da attribuire ad affioramenti presenti in quest'area, prevalentemente costituiti dalla scaglia variegata, e più limitatamente da quella rossa.

L'attuale assetto urbanistico, oltre a seguire in grandi linee l'originaria disposizione strutturale risente quindi dell'organizzazione degli spazi del "Castello", anche se gli edifici più significativi sono da attribuire per la gran parte ai secoli XVI e XVII (oratorio, chiesa di S. Maria Assunta, palazzo comunale, convento dei padri Conventuali). La mappa catastale del censimento gregoriano (1831) riportata in

Figura 2.2.1, fornisce quindi un'idea accurata della situazione urbanistica dell'epoca. L'attuale configurazione deriva quindi dalle significative modifiche attuate in modo particolare nelle zone esterne alle mura ed effettuate a partire dalla seconda metà dell'ottocento.

Quanto detto evidenzia quindi la possibilità che l'area del Centro antico sia caratterizzata da un sottosuolo sostanzialmente complesso, ove possono rinvenirsi considerevoli accumuli detritici, per potenze anche maggiori di 10 metri. In realtà i sondaggi geognostici effettuati, di cui si riportano le stratigrafie schematiche (Figura 2.2.2), e le osservazioni sull'andamento topografico e morfologico che ha condotto all'individuazione di tagli e riporti antropici (Figura 2.2.3), evidenziano la presenza di masse detritiche, distribuite con un assetto "a macchia di leopardo", che talora formano i terreni di fondazione degli edifici stessi. Le osservazioni sia su affioramenti che sulle stesse carote estratte evidenziano che i detriti sono costituiti da veri e propri "melanges", in cui possono rinvenirsi elementi ciottolosi o frammenti di conci rocciosi, formati prevalentemente dalla scaglia variegata e rossa, immersi in una matrice limo sabbiosa, talvolta argillosa.

Nello specifico, a situazioni ove le strutture di fondazione sono disposte direttamente sul substrato roccioso sono da contrapporre quegli assetti che vedono le masse detritiche costituire, in toto o parzialmente, i terreni di fondazione degli edifici. A queste situazioni sono ancora da aggiungere quelle specifiche condizioni che hanno condotto all'utilizzo di antiche opere murarie quali elementi fondali. È questo il caso degli edifici addossati alla murazione le cui strutture in elevazione sono state impostate, almeno per un lato, sull'antica edificazione, mentre quelle dei rimanenti lati trovano fondazioni nella parte interna che, come detto, fu fortemente antropizzata.

Dallo schematico quadro riportato, se ne deduce una complessità dell'assetto del sottosuolo per le profondità d'interesse ingegneristico, che rende inattendibile qualsiasi schematizzazione delle condizioni dei terreni effettivamente presenti al di sotto delle opere murarie.

A quanto detto va poi aggiunto che le analisi delle stratigrafie dei sondaggi effettuati nell'area del Centro antico hanno evidenziato la presenza, per spessori anche significativi, di rocce degradate ed alterate.

Ad integrazione delle osservazioni sulla natura dei depositi e dei litotipi presenti, si aggiungono i dati preliminari dedotti da indagini geofisiche effettuate sia in superficie che in profondità. In particolare, l'effettuazione di prove geofisiche tipo "Sismica a rifrazione" e SASW ubicate in particolari siti ove si riteneva certa la presenza di masse detritiche poggianti sul substrato roccioso, ha consentito di ottenere informazioni sia sulle caratteristiche geometriche delle masse che su quelle dinamiche. In realtà se per i litotipi detritici, trovati di spessore anche maggiori di 8 metri, sono state definite velocità delle onde di taglio (V_S) comprese tra 200 e 300 m/s, per il substrato roccioso sono state definite V_S anche superiori ai 600 m/s.

Questi dati sono stati confermati anche dall'analisi dei dati relativi ad alcune prove "down-hole" effettuate nell'ambito delle indagini d'accompagnamento al

programma di recupero. In effetti per i livelli detritici più superficiali queste le prove sismiche hanno evidenziato valori delle V_s inferiori ai 200 m/s.

Quanto riportato evidenzia ancor più la complessità del sottosuolo dell'area di Sellano, ove le disomogenee masse detritiche presenti, in modo non uniforme possono presentare stati di addensamento modesti o molto modesti e, di conseguenza, caratteristiche meccaniche e dinamiche scadenti.

In effetti come verrà anche evidenziato nella successiva disanima del danneggiamento, una consistente percentuale dei danni sono da correlare a generiche instabilità dei terreni di fondazione. Nello specifico nella Figura 2.2.4 sono indicati quegli edifici che, allo stato attuale delle analisi, si ritiene siano stati interessati sia da instabilità delle masse detritiche lungo i versanti sia da cedimenti indotti da fenomeni di densificazione degli stessi.

Solo locali rilievi ed indagini potranno evidentemente definire in modo completo e circostanziato gli assetti e le condizioni geometriche e litologiche che hanno indotto lo sviluppo di tali fenomenologie.

In realtà si ritiene, per quanto prima detto e riportato, che le indagini sugli assetti fondali dovrebbero essere estese in modo dettagliato a tutti gli edifici, al fine di comprendere non solo le geometrie e la costituzione geologica ma anche la stessa costituzione e stato delle opere fondazionali.

Sarebbe inoltre opportuno, al fine di evidenziare l'evoluzione storico-urbanistica del centro storico l'effettuazione di scavi areali nelle aree attualmente libere. Questi potrebbero porre in evidenza i rapporti tra le strutture, la possibile loro evoluzione nonché i criteri di riutilizzo delle stesse opere, oltre che a definire i litotipi presenti nell'immediato sottosuolo e le loro caratteristiche.



Figura 2.2.1 - Planimetria Catastale Gregoriana.

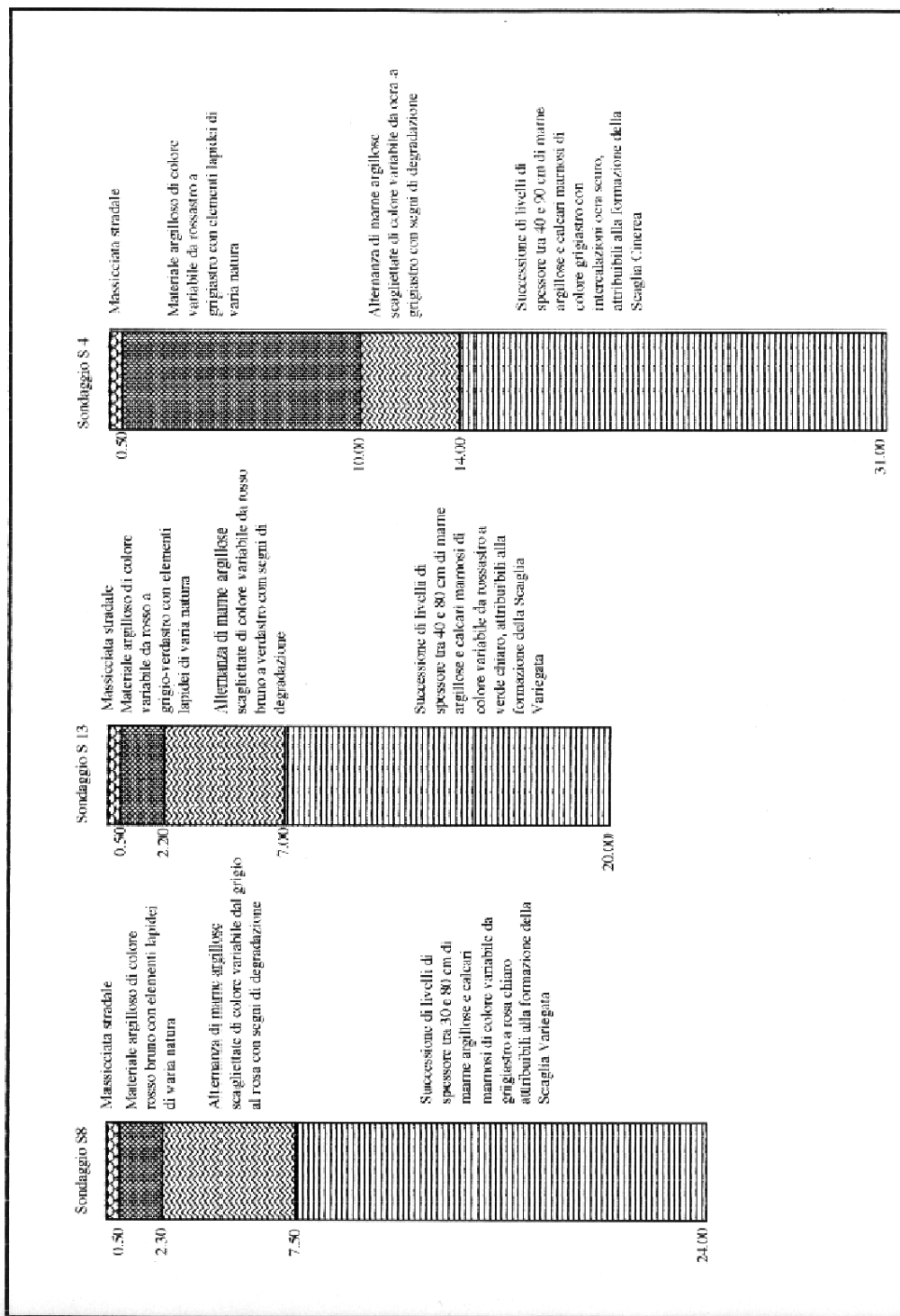


Figura 2.2.2 - Stratigrafie schematiche dei sondaggi S4, S8 ed S13.

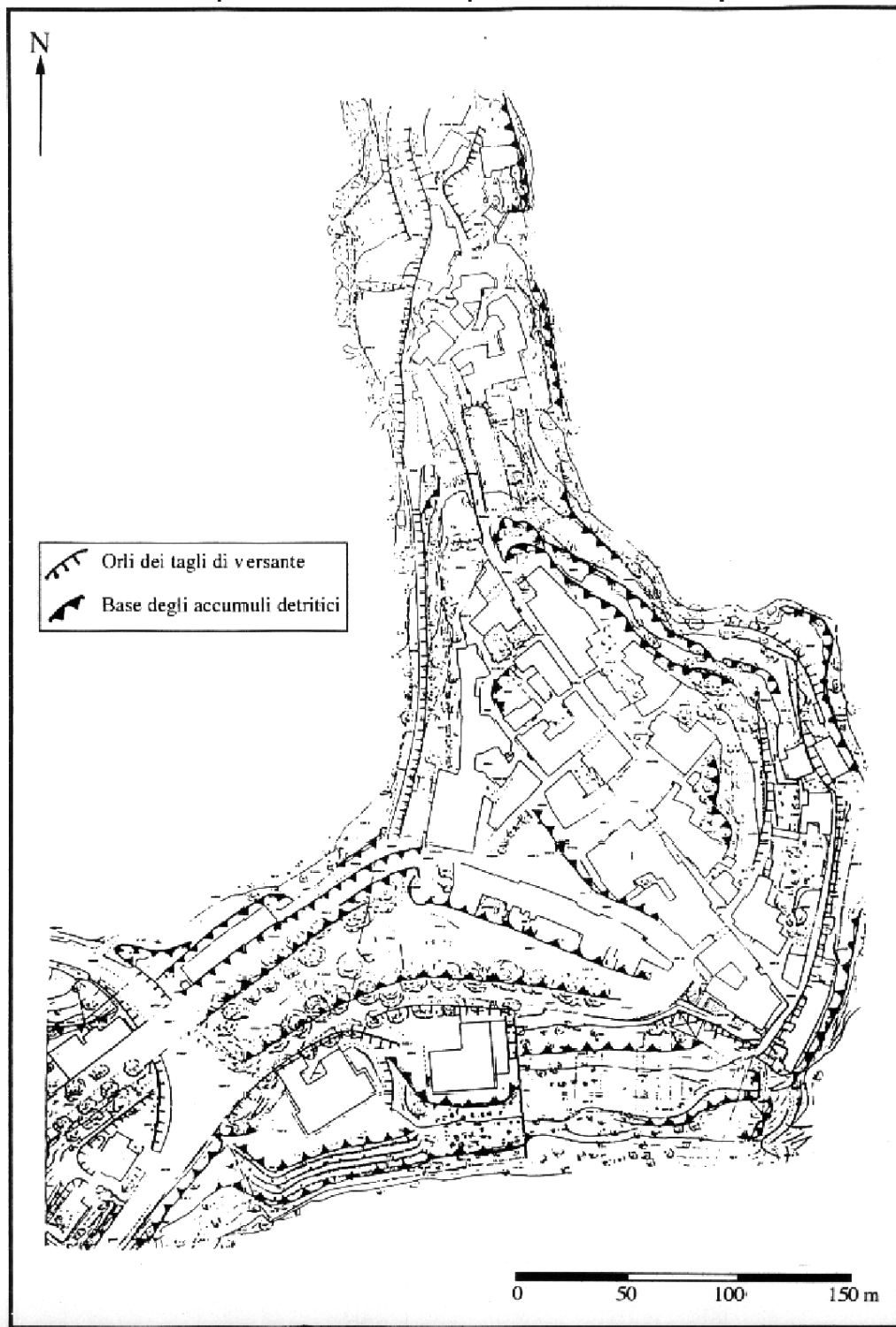


Figura 2.2.3 - Orli e basi dei tagli e dei riporti principali.

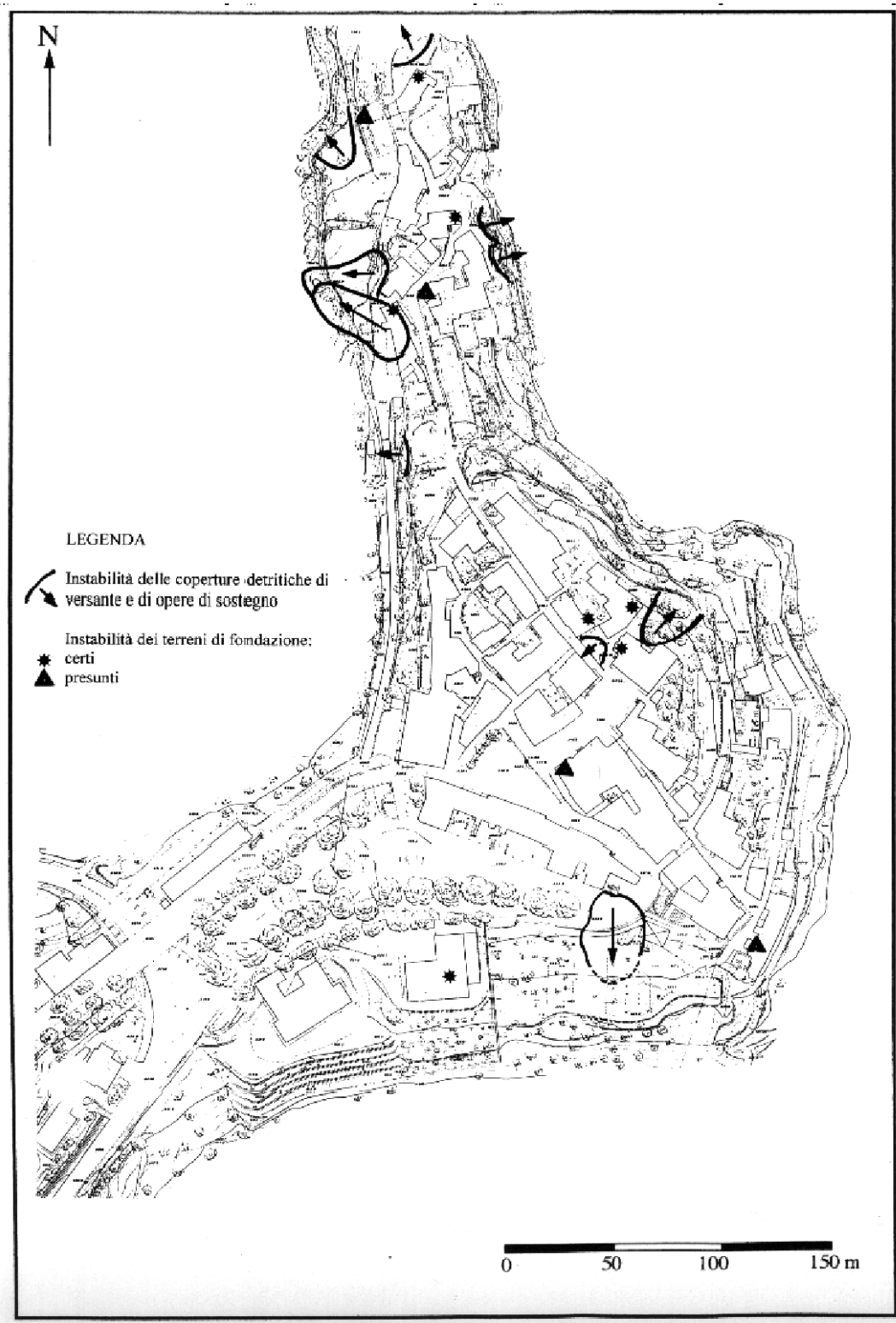


Figura 2.2.4 - Carta delle instabilità di pendio e dei terreni di fondazione.

3.0 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEI TERRENI SUPERFICIALI

Modelli sismo-stratigrafici sono stati ottenuti in alcuni siti dall'inversione della curva di dispersione delle onde superficiali di Rayleigh generate artificialmente con una massa battente di 20kg. Sono stati utilizzati geofoni di 4.5 Hz, smorzamento 70%, e di 1Hz, smorzamento 70%, per le distanze maggiori.

Le misure sono state analizzate con le tecniche SASW e FTAN.

Il metodo SASW è basato sullo studio della funzione di coerenza tra i segnali acquisiti da due ricevitori verticali e sul calcolo della curva di dispersione dalla differenza di fase tra i due segnali, nell'intervallo di frequenze in cui sono coerenti, nota la distanza intergeofonica. I ricevitori possono essere posti a distanza crescente rispetto ad un centro immaginario per investigare strati via via più profondi. L'inversione della curva di dispersione viene effettuata tramite la matrice di Thomson-Haskell.

Il metodo FTAN (Dziewonski et al., 1969; Levshin et al., 1972) si basa sull'analisi bidimensionale tempo-frequenza del segnale e permette la separazione dei singoli modi di propagazione partendo dal segnale completo. Grazie all'introduzione di un filtraggio aggiuntivo "floating point filtering" si rende più facile la selezione del segnale. L'analisi è bidimensionale dato che la curva di dispersione è funzione di due variabili: tempo e frequenza. È possibile interpretare un segnale in termini di curve di dispersione di più modi rappresentando le ampiezze spettrali istantanee in funzione del periodo e della velocità di gruppo. Per l'inversione viene utilizzato un metodo non lineare (Valyus et al., 1968; Panza, 1981). Il modello strutturale, che non è noto, è caratterizzato da un insieme di parametri e la sua determinazione si ottiene attribuendo dei valori numerici ai parametri. Oltre ai parametri vengono forniti anche i limiti entro i quali si può operare, per cui per ogni modello si calcolano i valori teorici e le differenze con quelli osservati

La caratterizzazione sismica dei terreni di Sellano è stata effettuata nei pressi della Caserma dei Carabinieri, nella Chiesa ad essa vicina e nel campo sportivo. I terreni studiati sono diversi tipi di scaglie. Sono stati effettuati stendimenti sismici per lo studio della dispersione con i metodi SASW e FTAN. Nel giardino annesso alla chiesa vicina alla caserma dei carabinieri sono stati effettuati anche stendimenti per la sismica a rifrazione.

3.1 Risultati preliminari per Chiesa

Le misure sono state effettuate lungo due profili distanti qualche decina di metri. Lo stendimento Chiesa1 è più vicino alla chiesa, mentre Chiesa2 è più lontano, vicino ad un muretto che affaccia sulla strada sottostante. L'interpretazione delle dromocrone fornisce dei modelli di velocità delle onde P con morfologia variabile. È da notare che al di sopra delle scaglie si ritrova del materiale con qualità dinamiche

scadenti e con spessori variabili (Figure 3.1.1 e 3.1.2). È stata inoltre effettuata l'analisi SASW lungo lo stendimento Chiesa1 (Fig. 3.1.3).

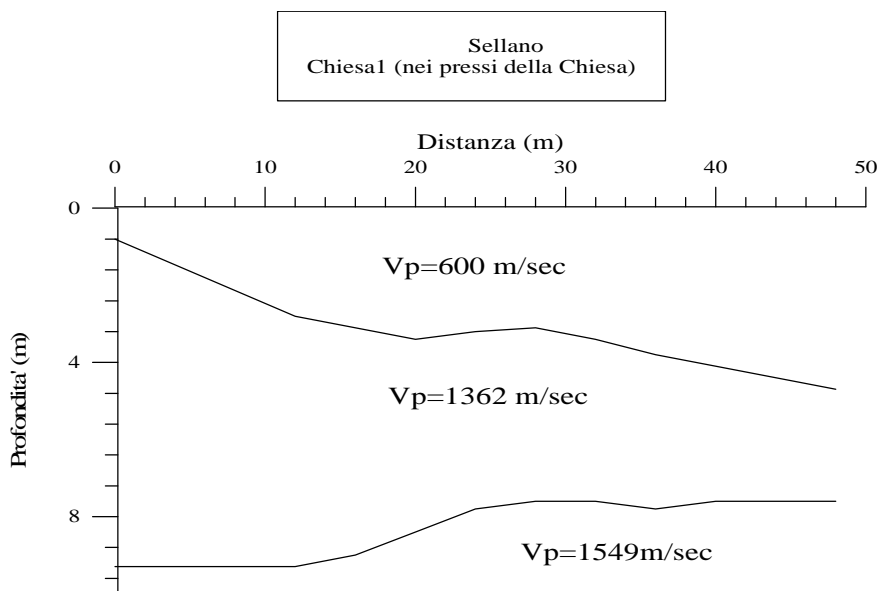


Figura 3.1.1 - Modello sismostratigrafico ottenuto da stendimenti di sismica a rifrazione nei pressi della Chiesa.

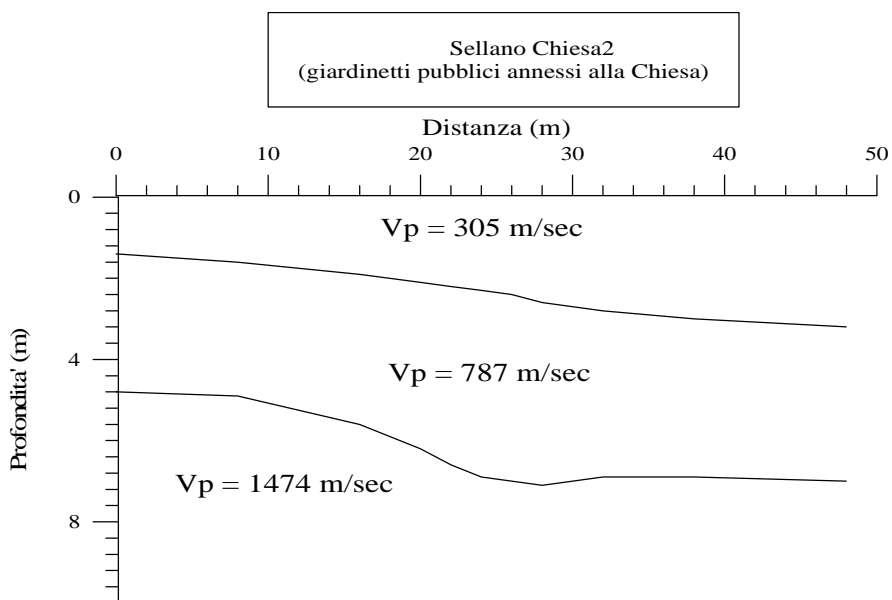


Figura 3.1.2 - Modello sismostratigrafico ottenuto da stendimenti di sismica a rifrazione nei giardinetti pubblici annessi alla Chiesa.

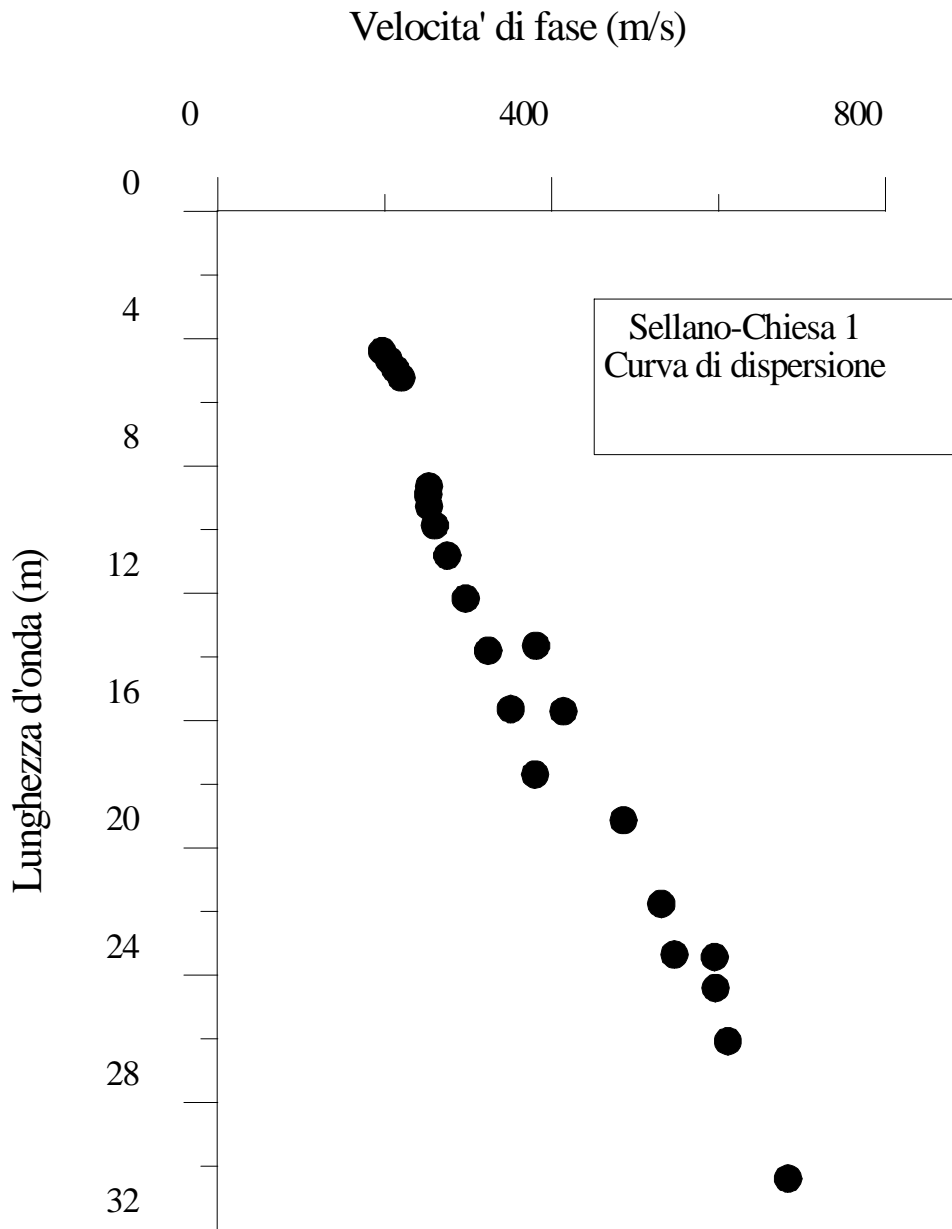


Figura 3.1.3 - Curva di dispersione SASW ottenuta nei pressi della Chiesa (Chiesa1).

4.0 EFFETTI DI SITO

4.1 Intervento strumentale del 29-31 Ottobre 1997

L'intervento effettuato a Sellano, per quanto riguarda l'area del centro storico, si è svolto nei giorni 29-31 ottobre 1997, periodo caratterizzato sfortunatamente da una attività sismica molto ridotta.

Sono state installate 4 stazioni digitali Lennartz Marslite equipaggiate con sensori a tre componenti Lennartz LE3D-5S programmate in modalità a registrazione continua con un passo di campionamento di 125 Hz.

La geometria adottata era mirata alla individuazione di eventuali effetti di sito, particolarmente topografici, nel centro storico di Sellano. Per ottenere l'obiettivo fissato si è installata una stazione esternamente al centro storico nel cortile della caserma dei carabinieri sulla formazione della scaglia cinerea (staz. V1), le restanti tre stazioni sono state installate rispettivamente sul margine orientale del centro storico in prossimità di un albergo (staz. V2), nelle vicinanze dell'edificio comunale, in particolare nel passaggio posta sulla sinistra del vicolo che corre sul lato sinistro dell'edificio comunale (staz. V3), sul lato nord del centro storico al centro della piazzetta posta nelle vicinanze della porta di accesso al paese a mezza costa sul lato orientale (staz. V4).

Tutte le stazioni hanno registrato durante l'intero periodo senza alcun tipo di problema.

Una volta recuperati i dati si è effettuata una ricerca degli eventi più significativi registrati durante la finestra di acquisizione che non avessero causato la saturazione della registrazione stessa.

La fase di selezione ha portato all'individuazione di circa 50 eventi comuni a tutte le stazioni sui quali si sono calcolati separatamente i sia i rapporti H/V per le due componenti orizzontali sia i rapporti spettrali rispetto alla stazione N.°1 utilizzando solamente una finestra di segnale di 6 secondi di durata con inizio a circa mezzo secondo prima dell'arrivo delle onde S.

Gli spettri così calcolati sono stati "smoothati" con finestra rettangolare mobile, al fine di eliminare rapide fluttuazioni nei rapporti spettrali, dopo di che si è calcolato il rapporto tra le componenti orizzontali e verticale per ogni evento ed infine la media dei rapporti.

Per quanto riguarda i rapporti spettrali relativi alla stazione V1 non si evidenziano particolari effetti su nessuna delle due componenti orizzontali (Figure 4.1.1 e 4.1.2).

Per quanto riguarda invece i rapporti H/V mentre non si evidenziano effetti sulle componenti orizzontali un evidente picco di amplificazione nel range 3-5 Hz è presente al sito V4 evidenziando effetti bidimensionali nel comportamento della collina di Sellano (Figure 4.1.3 e 4.1.4).

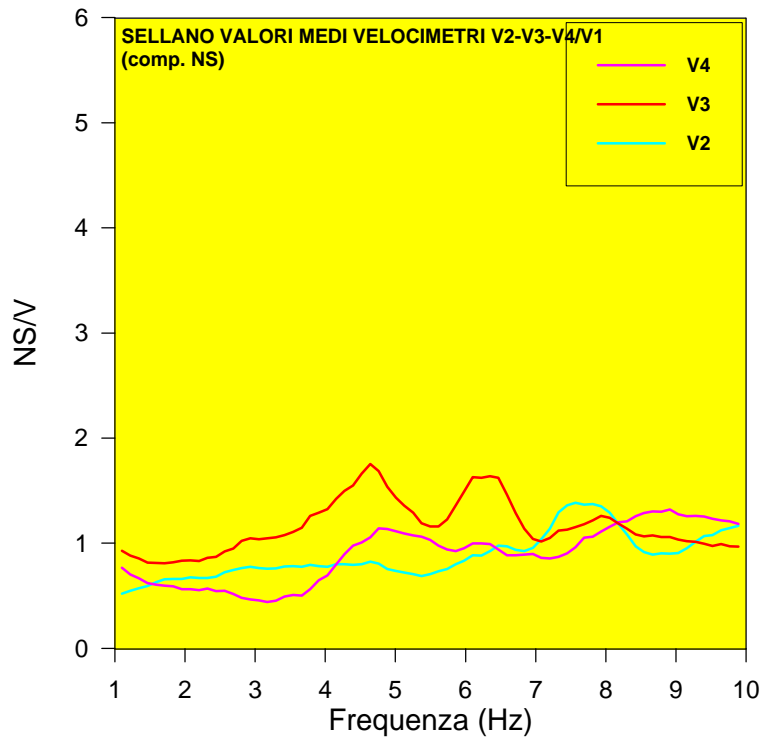


Figura 4.1.1 - Rapporti spettrali rispetto alla stazione V1 componente NS.

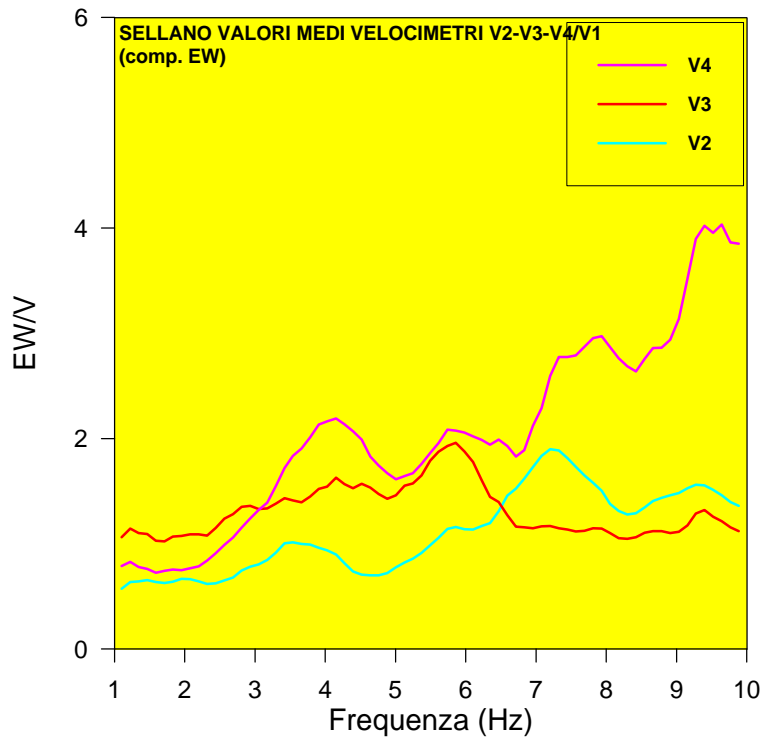


Figura 4.1.2 - Rapporti spettrali rispetto alla stazione V1 componente EW.

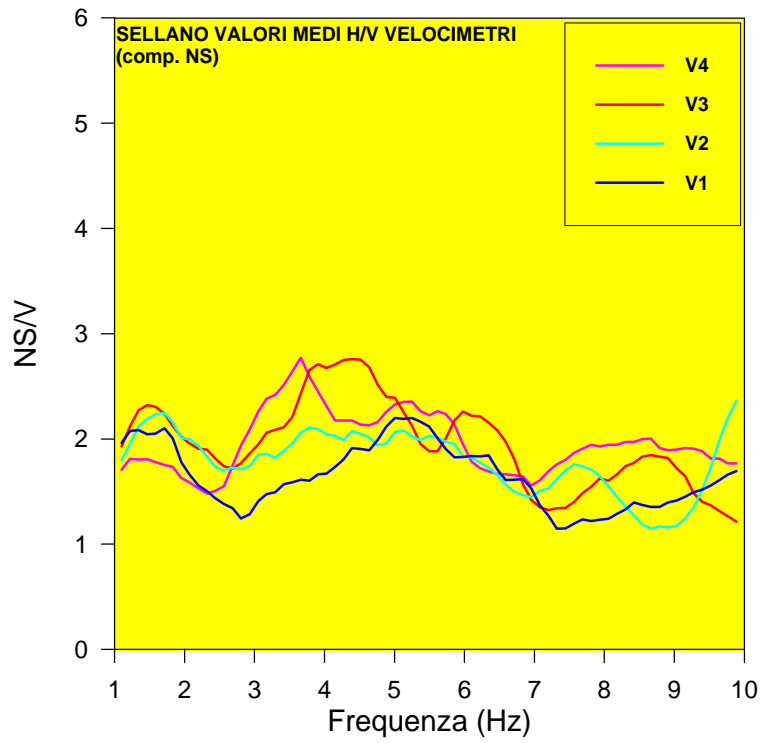


Figura 4.1.3 - Rapporti H/V da dati velocimetrici componente NS.

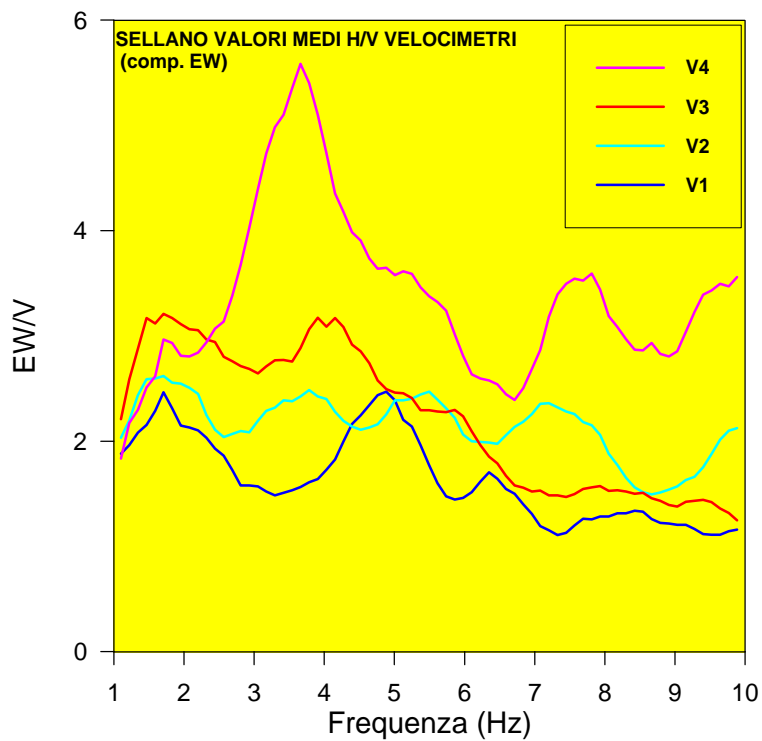


Figura 4.1.4 - Rapporti H/V da dati velocimetrici componente NS.

Un secondo tipo di analisi è stato effettuato utilizzando i dati provenienti dalle due stazioni accelerometriche installate a Sellano dal S.S.N. e dall'ENEL dopo il 18 ottobre 1997. Le stazioni in oggetto sono basate su strumentazione digitale modello Kinematics ETNA, dotata di convertitore A/D a 18 bits e sono installate nell'edificio comunale e nella cabina ENEL fondata sulla formazione del Bisciaro sita al di fuori del centro storico sul lato occidentale di Sellano. le coordinate delle stazioni sono riportate nella Tabella 4.1.1.

Tabella 4.1.1

Località	St. N.	Lon.	Lat.
Comune	458	12°55'32''	42°53'20''
Cabina ENEL	460	12°55'24''	42°53'11''

Le stazioni accelerometriche hanno fornito nei mesi successivi all'installazione 17 registrazioni in contemporanea relative ad eventi di magnitudo compresa tra 3.4 e 5.6, nella tabella seguente sono riportate le localizzazioni ed alcune caratteristiche di tali eventi. Come si può facilmente notare dalla Tabella 4.1.2 e dalla Figura 4.1.5 successiva i tempi s-p indicano una maggioranza di eventi locali a distanza dell'ordine di 10-15 Km., per quanto riguarda la provenienza degli eventi stessi si può notare come essi siano fundamentalmente separati in due raggruppamenti posti a nord ed a sud-est di Sellano, due eventi provenienti dalla zona di Gualdo Tadino, un evento proveniente da nord-ovest con distanza di circa 30 km., ed infine l'evento profondo del 26 marzo 1998 proveniente anch'esso da nord con distanza di circa 35 Km.

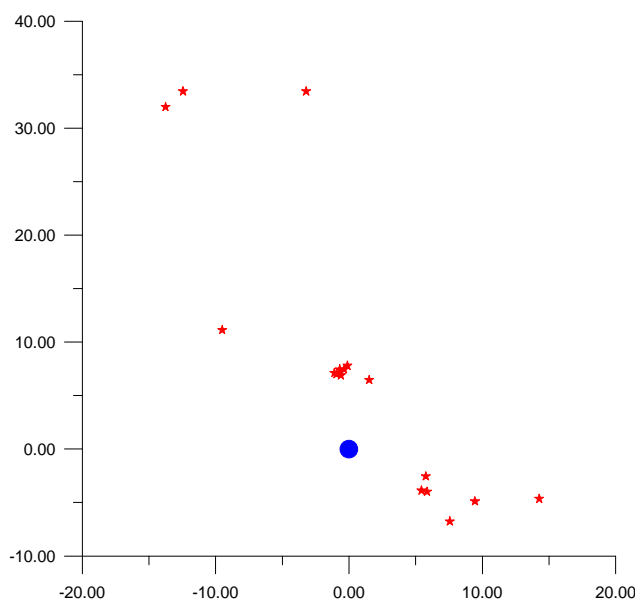


Figura 4.1.5 - Distribuzione degli eventi registrati dalla strumentazione strong motion rispetto a Sellano.

Tabella 4.1.2

COIN.	DATA	ORA	Lon.	Lat.	Mag.	s-p time (s)
01	08/11/97	15:31:42	12 59 45.6	42 51 57.6	4.5	1.0-1.5
02	30/11/97	11:24:30	13 6 0	42 50 49.2	4.4	1.5-1.8
03	01/12/97	22:36:52	12 59 31.2	42 51 14.4	3.9	1.5
04	02/12/97	09:20:34	12 59 49.2	42 51 10.8	3.8	1.5
05	07/02/98	00:59:37	12 48 32.4	42 59 20.4	4.6	3.0-3.5
06	16/02/98	13:45:09	13 2 27.6	42 50 42	3.8	1.8-2.0
07	24/02/98	12:32:03	13 1 4.8	42 49 40.8	3.8	1.8
08	21/03/98	16:44:56	12 5450.4	42 57 7.2	4.6	1.5-1.8
09	21/03/98	16:58:41	125515.6	42 57 21.6	3.4	1.5
10	21/03/98	17:57:39	12 55 4.8	42 57 3.6	4.1	1.8
11	22/03/98	13:02:11	12 54 43.2	42 57 10.8	4.0	1.5-1.8
12	23/03/98	04:30:41	12 55 26.4	42 57 32.4	3.9	1.8
13	23/03/98	09:24:00	12 55 1.2	42 57 21.6	3.9	6.5
14	26/03/98	16:26:11	12 53 9.6	43 11 24	5.6	4.5
15	03/04/98	07:26:34	12 45 25.2	43 10 37.2	5.0	4.5
16	05/04/98	15:52:18	12 46 22.8	43 11 24	4.7	4.5
17	19/04/98	11:27:31	12 56 38.4	42 56 49.2	4.0	1.5

Per questi eventi sono stati calcolati sia i rapporti spettrali tra le componenti orizzontali della stazione 458 e della stazione 460 sia i rapporti H/V per le componenti orizzontali separate considerando simultaneamente tutti gli eventi e gli eventi divisi per cluster per evidenziare eventuali fenomeni bidimensionali.

Per quanto riguarda i rapporti spettrali si può notare come la stazione 458 mostri un effetto di amplificazione non elevatissimo ma comunque statisticamente significativo rispetto alla stazione 460 a frequenza di 4-5 hz, tale effetto risente sensibilmente della direzione di provenienza degli eventi mettendo in evidenza effetti bidimensionali soprattutto sulla componente EW.

Per quanto riguarda i rapporti H/V per il sito del palazzo comunale si evidenzia un picco centrato intorno a 3 Hz sulla componente EW analogo a quello ricavato dai dati velocimetrici sulla stazione V4, mentre non si notano effetti particolari sulla componente NS.

Per quanto riguarda i rapporti H/V per il sito della cabina ENEL si evidenzia un picco centrato intorno a 8 Hz sulla componente NS mentre a frequenze più basse entrambe le componenti non mostrano effetti di amplificazione sensibile.

In conclusione sembra possibile affermare la presenza di effetti di amplificazione chiari, anche se non elevatissimi, a frequenze intorno ai 3 Hz sulle componenti EW dei siti posti nella parte nord del centro storico di Sellano, per quanto riguarda i rapporti tra le due stazioni accelerometriche sembra anche in questo caso chiaro un effetto di amplificazione, seppur debole, intorno a 4-5 Hz che pare tuttavia legato alla direzione di provenienza degli eventi.

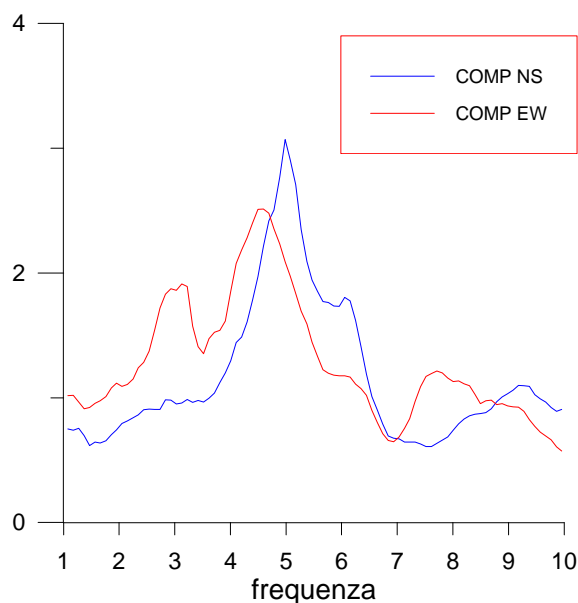


Figura 4.1.6 - Rapporti spettrali 458/460 per tutti gli eventi

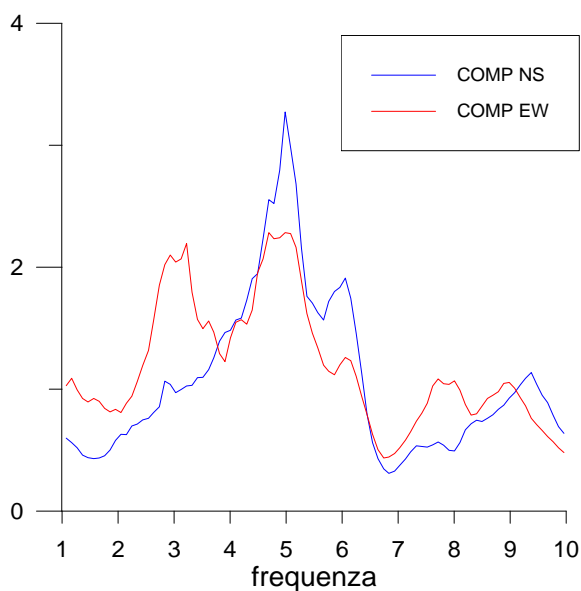


Figura 4.1.7 - Rapporti spettrali 458/460 per eventi provenienti da nord.

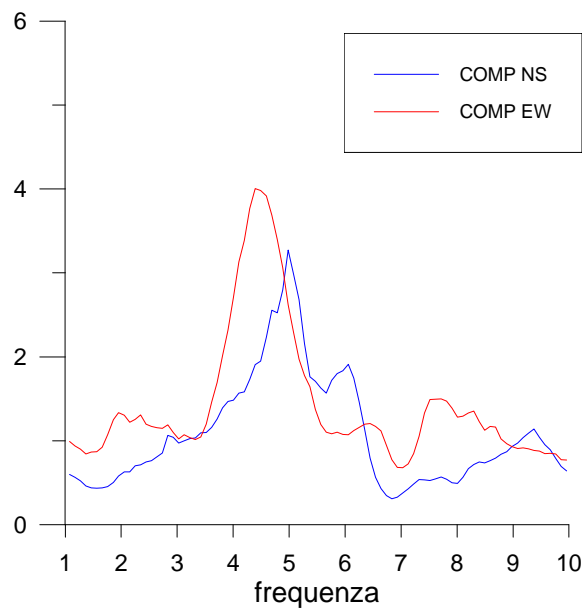


Figura 4.1.8 - Rapporti spettrali 458/460 per eventi provenienti da sud-est.

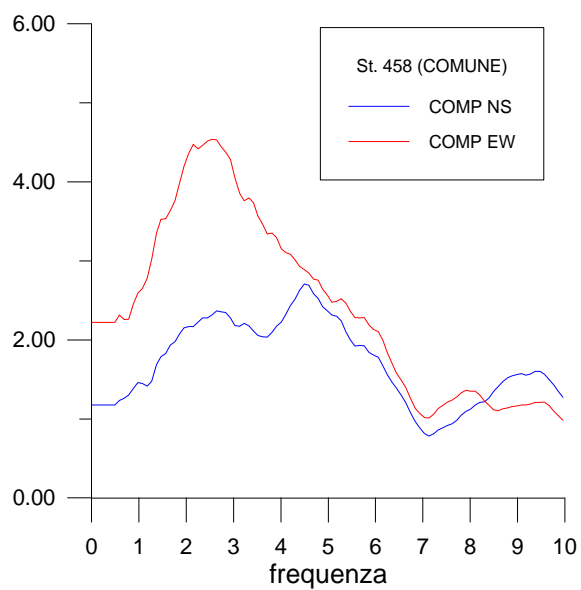


Figura 4.1.9 - Rapporto H/V per la stazione 458.

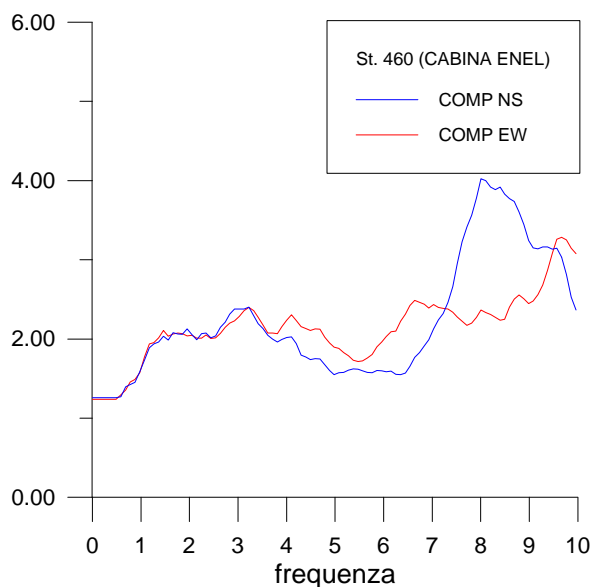


Figura 4.1.10 - Rapporto H/V per la stazione 460.

4.2 L'esperimento TOMOSEL

4.2.1 Introduzione

Nell'ambito del progetto di microzonazione Umbria-Marche, commissionato dalla Protezione Civile al GNDT ed al SSN, si è svolta, nel periodo 15-22 gennaio, 1999, una campagna di acquisizione di dati sismici presso Sellano (PG). Sellano risultò gravemente danneggiata da alcuni degli eventi maggiori della sequenza umbro-marchigiana del 1997 ed, in particolare, i terremoti con $M_L > 5$ del 12 e 14 ottobre (Cattaneo et al., 1998) produssero danni particolarmente ingenti al nucleo storico. Poiché il paese giace in cima ad una collina/crinale si è ipotizzato che il rilievo topografico e la peculiare situazione geologica possano aver originato amplificazioni locali del moto del suolo. Quindi, il fine principale di questa acquisizione è stato di ottenere un'immagine dettagliata tri-dimensionale della struttura geologica del sito di Sellano atta a dare delle indicazioni sugli effetti di sito indotti da eventi sismici locali.

L'esperimento ha mutuato tecniche di acquisizione proprie della sismica di esplorazione con metodologie comunemente in uso per la valutazione degli effetti di sito. In pratica, l'esperimento di acquisizione si è prefisso, da un lato, di ottenere dei dati "sulle modalità di propagazione" per poter svolgere delle indagini tomografiche atte a ricostruire la struttura interna e più profonda della collina/crinale su cui è posto il nucleo storico mentre, dall'altro, si è desiderato ottenere dei dati "di ampiezza" tali da permettere delle correlazioni tra la struttura geologica e le amplificazioni di sito

osservate. Pertanto, nella configurazione delle strumentazioni si è cercato di complementare questi due obiettivi.

4.2.2 Unità di ricerca partecipanti

All'acquisizione hanno partecipato il Dipartimento Scienze della Terra dell'Università di Genova (UNIGE), l'Istituto di Ricerca sul Rischio Sismico del CNR (IRRS) di Milano, il Servizio Sismico Nazionale (SSN) e l'Osservatorio Geofisico Sperimentale di Trieste (OGS). Un totale di 35 persone tra ricercatori, tecnici e studenti universitari hanno preso parte nell'acquisizione dei dati.

4.2.3 Strumentazione

La strumentazione disponibile comprendeva sia stazioni mobili che acquisitori multicanali. In pratica si disponeva di un totale di 34 stazioni mobili, due acquisitori a 48 canali ed un acquisitore a 24 canali (Tabella 4.2.3.1).

Tabella 4.2.3.1

ENTE	ACQUISITORE	GEOFONI
IRRS	Geometrics 48 ch.	20 Hz
IRRS	10 MARS88	1 Hz 3C
SSN	7 MarsLite	1 Hz 3C
UNIGE	7 MarsLite	5 s 3C
UNIGE	Geometrics 12 ch (non usato)	
OGS	7 Orion	4.5 Hz 3C
OGS	3 MarsLite	2 x 1 Hz 3C e 1 a 5s 3C
OGS	Geometrics 24 ch.	100 Hz
OGS	Oyo 48 ch.	20 Hz

Per quanto riguarda l'energizzazione, si è noleggiato un HydraPulse che consiste in una massa da 900 kg azionata da un pistone idraulico che viene montata su un trattore. L'energia che produce l'Hydrapulse è dell'ordine di circa 20000 Joule. Per i profili a rifrazione svolti con i multicanale si è anche fatto largo uso di cannoncini.

4.2.4 Descrizione dell'esperimento

La Figura 4.2.4.1 riassume le geometrie di acquisizione che sono state effettuate durante l'esperimento.

Stazioni mobili

Le stazioni mobili sono state disposte in maniera uniforme sia sui versanti della collina/crinale di Sellano che all'interno del centro storico. La spaziatura inter-stazione sui versanti è stata scelta in funzione del minimo passo di campionamento temporale ottenibile con gli acquisitori di cui si disponeva. (Le MarsLite hanno un

minimo passo di campionamento 4 ms, le Mars88 di 2 ms e le Orion della Nanometrics arrivano fino a 1 ms). Per quanto riguarda la disposizione delle stazioni nel centro storico, che avevano il duplice scopo di registrare l'Hydrapulse ed eventuali terremoti locali, si è cercato di coniugare nella scelta dei siti le informazioni geologiche e di danno fornite dal Prof. Francesco Guadagno e dalla Dr.^{ssa} Stefania Magaldi, con a) una geometria quanto più arealmente uniforme e b) con la qualità dei sensori di registrazione. Per questo motivo, nel centro storico sono state disposte tutte le stazioni con i sensori a 5 s di periodo proprio fornite dall'UNIGE.

Tutte le stazioni mobili hanno registrato in continuo a campionamenti di 250 Hz (500 Hz le Orion) durante le ore diurne in cui si svolgevano le energizzazioni. Durante le ore notturne (all'incirca dalle 18 alle 8) le MarsLite venivano poste a 125 Hz, le Mars88 venivano poste in registrazione a trigger mentre le Orion non subivano alcun cambiamento e continuavano a registrare in continuo a 500 Hz.

Acquisitori multicanale

Durante le giornate dell'esperimento, i tre acquisitori multicanale sono stati posti secondo due geometrie (Figura 4.2.4.1). Tutti i multicanale hanno acquisito con un passo di campionamento di 500 Hz.

Nella prima geometria (contrassegnata in blu in Figura 4.2.4.1), i 48 canali forniti dall'IRRS e dall'OGS sono stati disposti rispettivamente lungo le linee SEL01 e SEL02. I due stendimenti si incrociavano sul versante S del crinale in modo da avere un punto in comune per poter effettuare delle correlazioni in fase di interpretazione dei profili a rifrazione. Per motivi analoghi, il 24 canali OGS era posizionato lungo la linea SEL05 sul versante NW del crinale ed intersecava i due stendimenti a 48 canali.

Nella seconda geometria (in verde in Figura 4.2.4.1), il 48 canali dell'IRRS veniva disposto lungo l'asse NW-SE e, sul versante S del crinale, correva pressappoco parallelo alle case gravemente danneggiate che si affacciano al parco giochi per poi terminare sullo sperone a S del centro storico. Il 48 canali OGS veniva invece spostato per metà e lo stendimento S veniva disposto in maniera da attraversare il centro storico lungo la congiungente SW-NE e terminava all'estremo NE in prossimità del comune. Per quanto riguarda il 24 canali, veniva acquisita la linea SELGE sul versante S lungo la strada sterrata che porta al depuratore. Questo stendimento intersecava le linee a 48 canali della prima geometria e terminava nella sua parte orientale sullo sperone S di Sellano vicino alla terminazione dello stendimento a 48 canali dell'IRRS.

Sincronizzazione tempo GPS

Non disponendo di un «teleblaster» che permettesse l'attivazione sincrona di tutti i multicanale, si è scelto di acquisire su una traccia di tutti i multicanale il tempo GPS. Al punto di energizzazione era invece posta una delle stazioni mobili Orion la quale era connessa all'uscita dell'accelerometro montato sull'Hydrapulse. Questa stazione era sincronizzata con il suo GPS interno per cui, da un'analisi della traccia

dell'accelerometro si può ricavare il tempo assoluto di battuta. Per ogni piazzola di energizzazione, le battute venivano effettuate a distanze temporali di un minuto ed al minuto pieno in modo da permettere di decodificare il segnale senza ambiguità.

Siti di energizzazione

Le energizzazioni con l'Hydrapulse sono state effettuate in una quarantina di piazzole scelte in base alla copertura che ci si era prefissati ed in base alla logistica (strade di accesso nelle quali poteva passare il trattore su cui era installato l'Hydrapulse). In Figura 4.2.4.1, i cerchi con le stelle indicano i punti di energizzazione effettuati. Per ogni sito, venivano effettuate un minimo di sei battute con l'eccezione dell'acquisizione secondo la seconda geometria dei multicanali in cui sono state svolte un minimo di quattro battute. Per quanto riguarda la prima geometria di acquisizione dei multicanali, sono state effettuate le energizzazioni in tutte le piazzole (stelle rosse in cerchio bianco) mentre per la seconda geometria (per mancanza di tempo) sono state ripetute le energizzazioni nei siti contrassegnati da una stella blu in cerchio bianco e cioè grosso modo lungo la congiungente degli off-end dei profili.

Nel periodo di tempo intercorso nello spostamento tra la prima e la seconda geometria, l'Hydrapulse è stato utilizzato per svolgere delle energizzazioni aggiuntive (stelle piccole nere in cerchio bianco) tra le piazzole 15 e 20 e a ridosso del campo sportivo sul versante N del crinale. Per il teorema della reciprocità, detta acquisizione equivale ad una linea di ricevitori posta tra le piazzole 15 e 20 anzidette e ad una serie di energizzazioni effettuate in ogni singola stazione.

4.2.5 Risultati preliminari

Terremoti

Durante il periodo in cui si è svolto l'esperimento si sono registrati un totale di 78 terremoti locali (Tabella 4.2.5.1). A titolo di esempio e per dare un'idea di massima, in Figura 4.2.5.1 vengono rappresentate le tracce registrate dalla maggior parte delle stazioni poste all'interno del centro storico di Sellano per uno dei terremoti di magnitudo maggiore (19 Gennaio, alle 23.26). Risulta evidente che le stazioni 02 (T002) e 09 (G709) (la prima posta nel parco giochi quasi di fronte all'edificio il cui tetto è sprofondato sul piano inferiore, edificio 99, mentre la seconda era posta in via Garibaldi in prossimità dell'edificio 40) erano state poste su siti in cui l'amplificazione locale del campo d'onda è notevolmente maggiore rispetto agli altri. In Figura 4.2.5.1 si nota inoltre una notevole amplificazione per il sito 07 che è sito all'estremo N del centro storico. I siti 08, 05 e 12 sono invece quelli in cui l'amplificazione locale del campo d'onda è stata particolarmente modesta.

In Figura 4.2.5.2, vengono presentati i rapporti spettrali singola-stazione tra le componenti orizzontali (N-S ed E-W) con la componente verticale ("receiver function") per ciascun sito. Per il calcolo di questi rapporti spettrali ci si è avvalsi di 60 terremoti ed i plots in Figura 4.2.5.2 rappresentano le medie. Si individuano le seguenti similitudini:

- 1) le stazioni 06 07 (G306 e G507: i primi due caratteri individuano il numero di stazione interno a ciascun Ente mentre gli ultimi due indicano il numero di stazione della Figura 4.2.4.1) poste nella parte nord di Sellano presentano nella banda di frequenza 2-15 Hz alte amplificazioni per le componenti EW;
- 2) le stazioni 02 03 05 08 09 10 12 disposte nel centro storico di Sellano presentano nella banda 1-6 Hz per il rapporto EW/V delle modeste amplificazioni che sono riscontrabili, sebbene con entità inferiore, anche sui rapporti NS/V. Di queste, le stazioni 02 e 09 mostrano rilevanti amplificazioni anche alle alte frequenze (>5 Hz) soprattutto sulla componente NS.

Si sottolinea che queste sono solamente delle indicazioni preliminari e altamente incomplete per elaborazioni (solo receiver function) e che uno studio dettagliato e completo in cui verranno analizzati tutti i siti verrà svolto non appena il data set sarà assemblato completamente. A tal fine, sulla base delle indicazioni geologiche e dall'evidenza delle registrazioni, verranno identificati una serie di siti di riferimento e verranno calcolati i rapporti spettrali in modo da fornire un quadro più significativo delle amplificazioni indotte localmente.

Sorgente

Come si è anticipato, lo studio prevedeva l'energizzazione mediante Hydrapulse, un tipo di sorgente comunemente utilizzata in studi di sismica di esplorazione. In Tabella 4.2.5.2 si presenta una lista completa di tutte le energizzazioni svolte. Un fattore determinante per l'analisi tomografica è la conoscenza del tempo assoluto dell'energizzazione (T0). A questo riguardo, è stata sviluppata una routine automatica che permette di determinare il T0 e che allo stesso tempo permette di avere un controllo visivo su come viene determinato il T0. La routine si basa essenzialmente sui valori della derivata della prima rampa dell'impulso. In Figura 4.2.5.3, si presenta un esempio del T0 determinato automaticamente per la piazzola di energizzazione n. 35. Si noti come sia possibile ricavare il T0 con un'incertezza dell'ordine del passo di campionamento.

Registrazione dell'Hydrapulse dalle stazioni mobili

In Figura 4.2.5.4, si presenta un esempio di registrazione della sorgente Hydrapulse da parte dell'array di stazioni mobili. In particolare, la figura mostra la registrazione di una serie di energizzazioni durante l'arco di tempo di un'ora il giorno 21-1-99 alla stazione 25 posta sul versante S del crinale. Si noti l'ovvia coerenza nelle forme d'onda per le energizzazioni alla stessa piazzola che permetterà un'ottimale stacking dei dati per ridurre il rapporto segnale/rumore.

Registrazione dell'Hydrapulse dai multicanale

Nelle Figure 4.2.5.5 e 4.2.5.6 si presentano degli esempi di registrazione ottenute dal 48 canali IRRS e dal 24 canali OGS.

4.2.6 Elaborazioni in programma

Per un'ottimale utilizzo dei dati raccolti si intende procedere con il seguente programma di base per l'elaborazione dei dati:

Calibrazione

Prima dell'inizio dell'esperimento si è fatta un'acquisizione a cluster di stazioni posizionata nel medesimo sito. Il fine era di poter ottenere dei dati con cui poter confrontare le registrazioni ed ottenere delle funzioni di trasferimento tra i vari sistemi di acquisizione.

Database geologico di sito

In collaborazione con il Prof. Guadagno e la Dr.^{ssa} Magaldi verrà preparata un database geologico di sito in modo poter effettuare eventuali correlazioni tra il campo d'onda registrato e la conformazione geologica superficiale.

Dati Terremoti:

- 1) formazione di un database di forme d'onda (già in avanzato stato di completamento);
- 2) calcolo dei rapporti spettrali rispetto ad un sito (o serie di siti) di riferimento;
- 3) calcolo dei rapporti spettrali H/V sulle registrazioni di rumore (metodo di Nakamura);
- 4) calcolo dei rapporti spettrali H/V sulle registrazioni di terremoti (già in parte svolto).

Dati Hydrapulse stazioni mobili

- 1) formazione di un database di forme d'onda (già in avanzato stato di completamento);
- 2) stacking delle forme d'onda in base a cross-correlazione;
- 3) lettura dei primi arrivi sulle forme d'onda;
- 4) assemblaggio di un database di tempi di tragitto per fini tomografici;
- 5) indagine tomografica;
- 6) utilizzo delle forme d'onda relative alle energizzazioni interstazione (la linea di energizzazioni tra la piazzola 15 e la 20) per studi specifici sulle variazioni laterali della struttura.

Dati Hydrapulse multicanali

- 1) formazione di un database di forme d'onda (già in avanzato stato di completamento);
- 2) analisi standard a rifrazione per le energizzazioni in-line mediante hydrapulse e per le energizzazioni mediante cannoncino;
- 3) picking dei dati per l'indagine tomografica.

4.3 Conclusioni

Come si è anticipato, l'esperimento si prefissava di ottenere un set di dati che permettesse di ottenere indicazioni utili alla microzonazione sismica di Sellano. A tal fine, l'aver coniugato tecniche di acquisizione proprie della valutazione delle amplificazioni di sito (registrazioni di terremoti) con tecniche di esplorazione sismica (energizzazioni artificiali e registrazioni mediante sistemi multicanale) permetterà di ottenere un quadro dettagliato delle relazioni causa-effetto che sono alla base per studi quantitativi di microzonazione. In questo senso, i dati che sono stati acquisiti durante la campagna offrono molteplici e complementari possibilità di analisi in quanto il data set, o meglio i data set, che si hanno ora a disposizione permettono di dare delle indicazioni sulla conformazione geologica più profonda della collina e, di conseguenza, di fornire quella informazione di dettaglio indispensabile per fare della modellistica sismica che sia anche realistica. Tutto ciò rende l'esperimento di interesse non solo per quanto riguarda il fine della microzonazione di Sellano ma anche come tipo di indagine da ripetere eventualmente per altre località e da presentare come «caso» a livello internazionale.

Ringraziamenti

L'esperimento si è svolto in un periodo dell'anno particolarmente infelice dal punto di vista climatico ma, fortunatamente, non è stato avversato dalle condizioni meteorologiche che di lì a poco si sarebbero particolarmente deteriorate e quindi un primo ringraziamento dovrebbe essere rivolto al cielo. Durante l'operazione, tutti si sono prodigati affinché tutto funzionasse al meglio e si è potuto riscontrare un pressoché continuo travaso di esperienze ed aiuto tra i diversi gruppi. Pertanto, si desidera ringraziare tutti coloro che hanno partecipato all'acquisizione di campagna e che, senza di loro, l'esperimento non sarebbe potuto portare a compimento.

ACQUISITION GEOMETRY

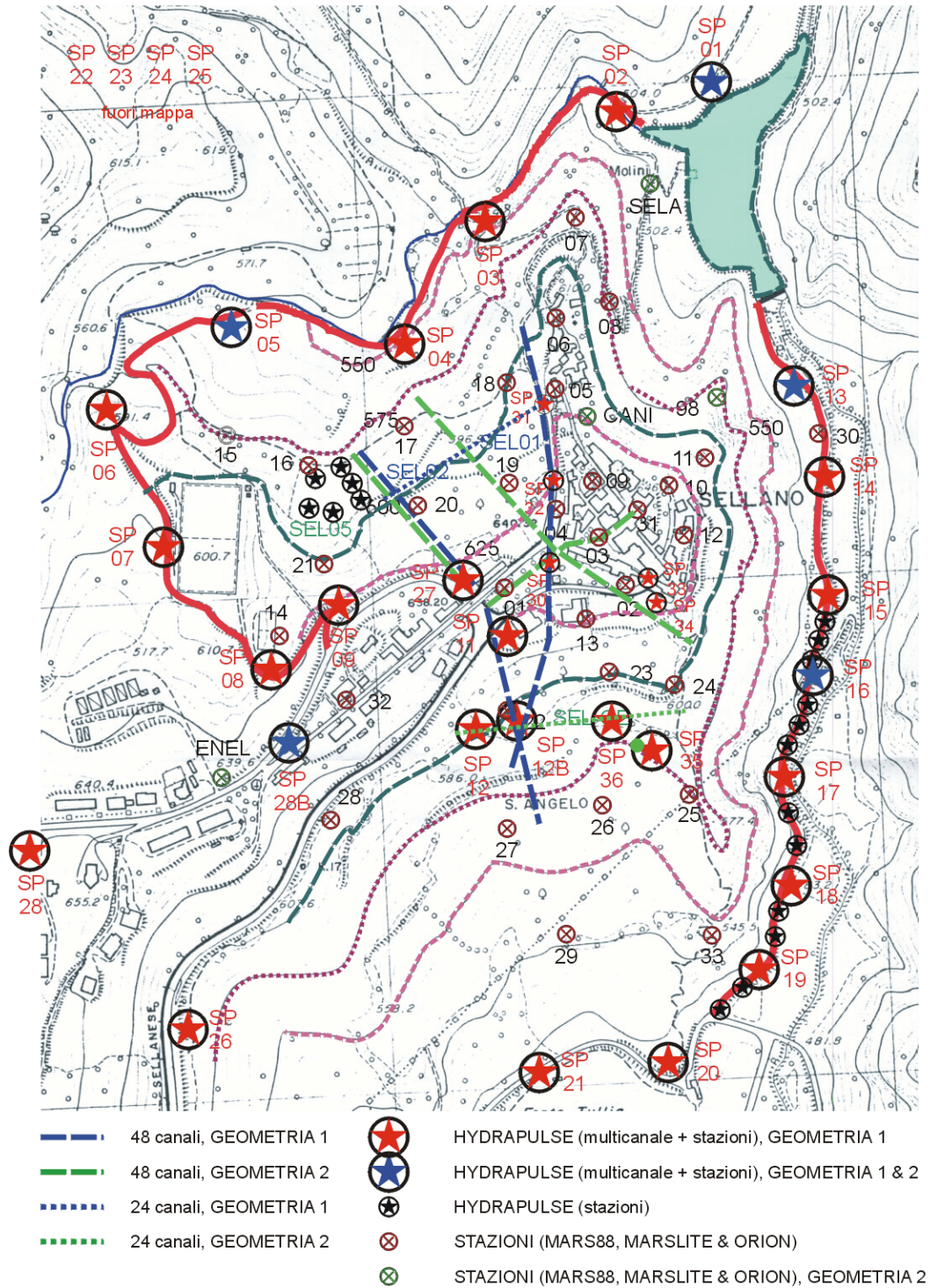


Figura 4.2.4.1 - Mappa che riassume l'acquisizione.

Tabella 4.2.5.1: Lista dei terremoti registrati.

#START-TIME	Duration (s)		
1999-01-18-18-42-22	90	1999-01-20-16-21-36	90
1999-01-18-19-19-10	90	1999-01-20-20-16-42	90
1999-01-18-20-08-22	90	1999-01-20-20-26-02	90
1999-01-18-20-11-34	90	1999-01-20-20-40-10	90
1999-01-18-21-18-42	90	1999-01-20-21-46-06	90
1999-01-18-21-42-26	90	1999-01-20-22-42-50	90
1999-01-18-22-37-42	90	1999-01-20-23-09-02	90
1999-01-19-00-24-54	90	1999-01-20-23-54-42	90
1999-01-19-01-30-18	90	1999-01-21-00-00-30	90
1999-01-19-01-33-22	90	1999-01-21-00-30-46	90
1999-01-19-02-08-30	90	1999-01-21-00-47-02	90
1999-01-19-03-03-10	90	1999-01-21-01-24-54	90
1999-01-19-10-26-46	90	1999-01-21-02-06-34	90
1999-01-19-12-26-06	90	1999-01-21-04-53-22	90
1999-01-19-14-28-02	90	1999-01-21-04-53-22	90
1999-01-19-15-54-12	90	1999-01-21-05-03-34	90
1999-01-19-17-09-14	90	1999-01-21-07-40-16	90
1999-01-19-18-06-46	90	1999-01-21-08-33-44	90
1999-01-19-19-41-30	90	1999-01-21-09-00-06	90
1999-01-19-19-49-02	90	1999-01-21-15-18-22	90
1999-01-19-19-53-58	90	1999-01-21-15-22-56	90
1999-01-19-21-04-50	90	1999-01-21-18-23-10	90
1999-01-19-22-25-14	90	1999-01-21-19-23-02	90
1999-01-19-22-34-10	90	1999-01-21-19-31-14	90
1999-01-19-22-52-54	90	1999-01-21-20-17-42	90
1999-01-19-23-25-46	90	1999-01-21-20-42-34	90
1999-01-19-23-27-30	90	1999-01-21-20-52-38	90
1999-01-19-23-29-34	90	1999-01-21-21-11-42	90
1999-01-20-00-43-50	90	1999-01-21-22-27-46	90
1999-01-20-01-48-02	90	1999-01-22-00-13-02	90
1999-01-20-04-00-02	90	1999-01-22-00-37-42	90
1999-01-20-05-04-58	90	1999-01-22-00-39-26	90
1999-01-20-06-29-22	90	1999-01-22-01-17-06	90
1999-01-20-07-33-50	90	1999-01-22-04-06-26	90
1999-01-20-12-56-34	90	1999-01-22-04-40-50	90
1999-01-20-13-05-18	90	1999-01-22-05-41-34	90
1999-01-20-13-47-32	90	1999-01-22-05-48-26	90
1999-01-20-14-27-14	90	1999-01-22-06-03-18	90
1999-01-20-15-35-12	90	1999-01-22-08-36-42	90
		1999-01-22-09-03-54	90

Tabella 4.2.5.2: Lista completa delle energizzazioni Hydrapulse. P indica la piazzola e R indica la ripetizione alla piazzola.

Start Time	P	R						
1999 01 19 11 36 00	1	1	1999 01 19 12 35 00	6	1	1999 01 19 13 36 00	28b	1
1999 01 19 11 38 00	1	2	1999 01 19 12 36 00	6	2	1999 01 19 13 38 00	28b	2
1999 01 19 11 40 00	1	3	1999 01 19 12 37 00	6	3	1999 01 19 13 39 00	28b	3
1999 01 19 11 42 00	1	4	1999 01 19 12 38 00	6	4	1999 01 19 13 40 00	28b	4
1999 01 19 11 44 00	1	5	1999 01 19 12 39 00	6	5	1999 01 19 13 41 00	28b	5
1999 01 19 11 46 00	1	6	1999 01 19 12 40 00	6	6	1999 01 19 13 42 00	28b	6
1999 01 19 11 54 00	2	1	1999 01 19 12 41 00	6	7	1999 01 19 13 55 00	11	1
1999 01 19 11 55 00	2	2	1999 01 19 12 46 00	7	1	1999 01 19 13 56 00	11	2
1999 01 19 11 56 00	2	3	1999 01 19 12 47 00	7	2	1999 01 19 13 57 00	11	3
1999 01 19 11 57 00	2	4	1999 01 19 12 48 00	7	3	1999 01 19 13 58 00	11	4
1999 01 19 11 58 00	2	5	1999 01 19 12 49 00	7	4	1999 01 19 13 59 00	11	5
1999 01 19 11 59 00	2	6	1999 01 19 12 50 00	7	5	1999 01 19 14 00 00	11	6
1999 01 19 12 06 00	3	1	1999 01 19 12 51 00	7	6	1999 01 19 14 06 00	12	1
1999 01 19 12 07 00	3	2	1999 01 19 12 55 00	8	1	1999 01 19 14 07 00	12	2
1999 01 19 12 08 00	3	3	1999 01 19 12 56 00	8	2	1999 01 19 14 08 00	12	3
1999 01 19 12 09 00	3	4	1999 01 19 12 57 00	8	3	1999 01 19 14 09 00	12	4
1999 01 19 12 10 00	3	5	1999 01 19 12 58 00	8	4	1999 01 19 14 10 00	12	5
1999 01 19 12 11 00	3	6	1999 01 19 12 59 00	8	5	1999 01 19 14 11 00	12	6
1999 01 19 12 15 00	4	1	1999 01 19 13 00 00	8	6	1999 01 19 14 17 00	12b	1
1999 01 19 12 16 00	4	2	1999 01 19 13 07 00	9	1	1999 01 19 14 18 00	12b	2
1999 01 19 12 17 00	4	3	1999 01 19 13 08 00	9	2	1999 01 19 14 19 00	12b	3
1999 01 19 12 18 00	4	4	1999 01 19 13 09 00	9	3	1999 01 19 14 20 00	12b	4
1999 01 19 12 19 00	4	5	1999 01 19 13 10 00	9	4	1999 01 19 14 21 00	12b	5
1999 01 19 12 20 00	4	6	1999 01 19 13 11 00	9	5	1999 01 19 14 22 00	12b	6
1999 01 19 12 25 00	5	1	1999 01 19 13 12 00	9	6	1999 01 19 14 51 00	13	1
1999 01 19 12 26 00	5	2	1999 01 19 13 19 00	28	1	1999 01 19 14 52 00	13	2
1999 01 19 12 27 00	5	3	1999 01 19 13 21 00	28	2	1999 01 19 14 53 00	13	3
1999 01 19 12 28 00	5	4	1999 01 19 13 22 00	28	3	1999 01 19 14 54 00	13	4
1999 01 19 12 29 00	5	5	1999 01 19 13 23 00	28	4	1999 01 19 14 55 00	13	5
1999 01 19 12 30 00	5	6	1999 01 19 13 24 00	28	5	1999 01 19 14 56 00	13	6
			1999 01 19 13 25 00	28	6	1999 01 19 15 14 00	14	1

1999	01	19	15	16	00	14	2	1999	01	20	11	31	00	20	1	1999	01	21	10	00	00	8	3
1999	01	19	15	17	00	14	3	1999	01	20	11	33	00	20	2	1999	01	21	10	01	00	8	4
1999	01	19	15	18	00	14	4	1999	01	20	11	34	00	20	3	1999	01	21	10	02	00	8	5
1999	01	19	15	19	00	14	5	1999	01	20	11	35	00	20	4	1999	01	21	10	03	00	8	6
1999	01	19	15	20	00	14	6	1999	01	20	11	36	00	20	5	1999	01	21	10	09	00	9	1
1999	01	19	15	21	00	14	7	1999	01	20	11	37	00	20	6	1999	01	21	10	10	00	9	2
1999	01	19	15	24	00	15	1	1999	01	20	11	44	00	21	1	1999	01	21	10	11	00	9	3
1999	01	19	15	25	00	15	2	1999	01	20	11	45	00	21	2	1999	01	21	10	12	00	9	4
1999	01	19	15	26	00	15	3	1999	01	20	11	47	00	21	3	1999	01	21	10	13	00	9	5
1999	01	19	15	27	00	15	4	1999	01	20	11	48	00	21	4	1999	01	21	10	14	00	9	6
1999	01	19	15	28	00	15	5	1999	01	20	11	49	00	21	5	1999	01	21	10	15	00	9	7
1999	01	19	15	29	00	15	6	1999	01	20	11	50	00	21	6	1999	01	21	10	27	00	28	1
1999	01	19	15	42	00	15	7	1999	01	20	11	57	00	22	1	1999	01	21	10	28	00	28	2
1999	01	19	15	43	00	15	8	1999	01	20	11	59	00	22	2	1999	01	21	10	29	00	28	3
1999	01	19	15	48	00	16	1	1999	01	20	12	00	00	22	3	1999	01	21	10	30	00	28	4
1999	01	19	15	49	00	16	2	1999	01	20	12	01	00	22	4	1999	01	21	10	33	00	28	5
1999	01	19	15	50	00	16	3	1999	01	20	12	02	00	22	5	1999	01	21	10	34	00	28	6
1999	01	19	15	51	00	16	4	1999	01	20	12	24	00	24	1	1999	01	21	10	48	00	28b	1
1999	01	19	15	52	00	16	5	1999	01	20	12	25	00	24	2	1999	01	21	10	49	00	28b	2
1999	01	19	15	53	00	16	6	1999	01	20	12	26	00	24	3	1999	01	21	10	50	00	28b	3
1999	01	19	15	56	00	17	1	1999	01	20	12	27	00	24	4	1999	01	21	10	51	00	28b	4
1999	01	19	15	57	00	17	2	1999	01	20	12	28	00	24	5	1999	01	21	10	52	00	28b	5
1999	01	19	15	58	00	17	3	1999	01	20	12	30	00	24	6	1999	01	21	10	58	00	28b	6
1999	01	19	15	59	00	17	4	1999	01	20	12	40	00	25	1	1999	01	21	11	18	00	35	1
1999	01	19	16	00	00	17	5	1999	01	20	12	41	00	25	2	1999	01	21	11	19	00	35	2
1999	01	19	16	01	00	17	6	1999	01	20	12	42	00	25	3	1999	01	21	11	20	00	35	3
1999	01	19	16	05	00	18	1	1999	01	20	12	43	00	25	4	1999	01	21	11	21	00	35	4
1999	01	19	16	06	00	18	2	1999	01	20	12	44	00	25	5	1999	01	21	11	22	00	35	5
1999	01	19	16	07	00	18	3	1999	01	20	12	46	00	25	6	1999	01	21	11	23	00	35	6
1999	01	19	16	08	00	18	4	1999	01	20	13	35	00	26	1	1999	01	21	11	54	00	13	1
1999	01	19	16	09	00	18	5	1999	01	20	13	36	00	26	2	1999	01	21	11	55	00	13	2
1999	01	19	16	10	00	18	6	1999	01	20	13	37	00	26	3	1999	01	21	11	56	00	13	3
1999	01	19	16	11	00	18	7	1999	01	20	13	38	00	26	4	1999	01	21	11	58	00	13	4
1999	01	19	16	14	00	19	1	1999	01	20	13	39	00	26	5	1999	01	21	11	59	00	13	5
1999	01	19	16	15	00	19	2	1999	01	20	13	40	00	26	6	1999	01	21	12	00	00	13	6
1999	01	19	16	16	00	19	3	1999	01	20	13	42	00	26	7	1999	01	21	12	13	00	14	1
1999	01	19	16	17	00	19	4	1999	01	20	15	27	00	1	1	1999	01	21	12	35	00	14	2
1999	01	19	16	18	00	19	5	1999	01	20	15	28	00	1	2	1999	01	21	12	36	00	14	3
1999	01	19	16	19	00	19	6	1999	01	20	15	29	00	1	3	1999	01	21	12	37	00	14	4
1999	01	20	08	27	00	30	1	1999	01	20	15	30	00	1	4	1999	01	21	12	38	00	14	5
1999	01	20	08	28	00	30	2	1999	01	20	15	31	00	1	5	1999	01	21	12	39	00	14	6
1999	01	20	08	29	00	30	3	1999	01	20	15	32	00	1	6	1999	01	21	12	40	00	14	7
1999	01	20	08	30	00	30	4	1999	01	20	15	37	00	2	1	1999	01	21	12	43	00	14	8
1999	01	20	08	31	00	30	5	1999	01	20	15	38	00	2	2	1999	01	21	15	28	00	1	1
1999	01	20	08	32	00	30	6	1999	01	20	15	39	00	2	3	1999	01	21	15	29	00	1	2
1999	01	20	08	42	00	31	1	1999	01	20	15	40	00	2	4	1999	01	21	15	30	00	1	3
1999	01	20	08	43	00	31	2	1999	01	20	15	41	00	2	5	1999	01	21	15	31	00	1	4
1999	01	20	08	50	00	31	3	1999	01	20	15	48	00	3	1	1999	01	21	15	34	00	1	5
1999	01	20	08	51	00	31	4	1999	01	20	15	49	00	3	2	1999	01	21	15	42	00	5	1
1999	01	20	08	52	00	31	5	1999	01	20	15	51	00	3	3	1999	01	21	15	43	00	5	2
1999	01	20	08	54	00	31	6	1999	01	20	15	52	00	3	4	1999	01	21	15	44	00	5	3
1999	01	20	08	55	00	31	7	1999	01	20	15	55	00	3	5	1999	01	21	15	45	00	5	4
1999	01	20	08	56	00	31	8	1999	01	20	15	56	00	3	6	1999	01	21	15	57	00	28b	1
1999	01	20	08	58	00	31	9	1999	01	20	16	03	00	4	1	1999	01	21	15	58	00	28b	2
1999	01	20	09	08	00	32	1	1999	01	20	16	04	00	4	2	1999	01	21	15	59	00	28b	3
1999	01	20	09	09	00	32	2	1999	01	20	16	05	00	4	3	1999	01	21	16	00	00	28b	4
1999	01	20	09	10	00	32	3	1999	01	20	16	06	00	4	4	1999	01	21	16	01	00	28b	5
1999	01	20	09	12	00	32	4	1999	01	20	16	07	00	4	5	1999	01	21	16	19	00	13	1
1999	01	20	09	34	00	33	1	1999	01	20	16	08	00	4	6	1999	01	21	16	20	00	13	2
1999	01	20	09	35	00	33	2	1999	01	20	16	10	00	4	7	1999	01	21	16	21	00	13	3
1999	01	20	09	36	00	33	3	1999	01	20	16	11	00	4	8	1999	01	21	16	22	00	13	4
1999	01	20	09	37	00	33	4	1999	01	20	16	13	00	4	9	1999	01	21	16	23	00	13	5
1999	01	20	09	38	00	33	5	1999	01	20	16	23	00	5	1	1999	01	21	16	24	00	13	6
1999	01	20	09	39	00	33	6	1999	01	20	16	24	00	5	2	1999	01	21	16	34	00	16	1
1999	01	20	09	51	00	34	1	1999	01	20	16	25	00	5	3	1999	01	21	16	35	00	16	2
1999	01	20	09	52	00	34	2	1999	01	20	16	26	00	5	4	1999	01	21	16	37	00	16	3
1999	01	20	09	53	00	34	3	1999	01	20	16	27	00	5	5	1999	01	21	16	38	00	16	4
1999	01	20	09	54	00	34	4	1999	01	20	16	28	00	5	6	1999	01	21	16	40	00	16	5
1999	01	20	09	55	00	34	5	1999	01	21	09	35	00	6	1								
1999	01	20	09	56	00	34	6	1999	01	21	09	36	00	6	2								
1999	01	20	10	29	00	35	1	1999	01	21	09	37	00	6	3	</							

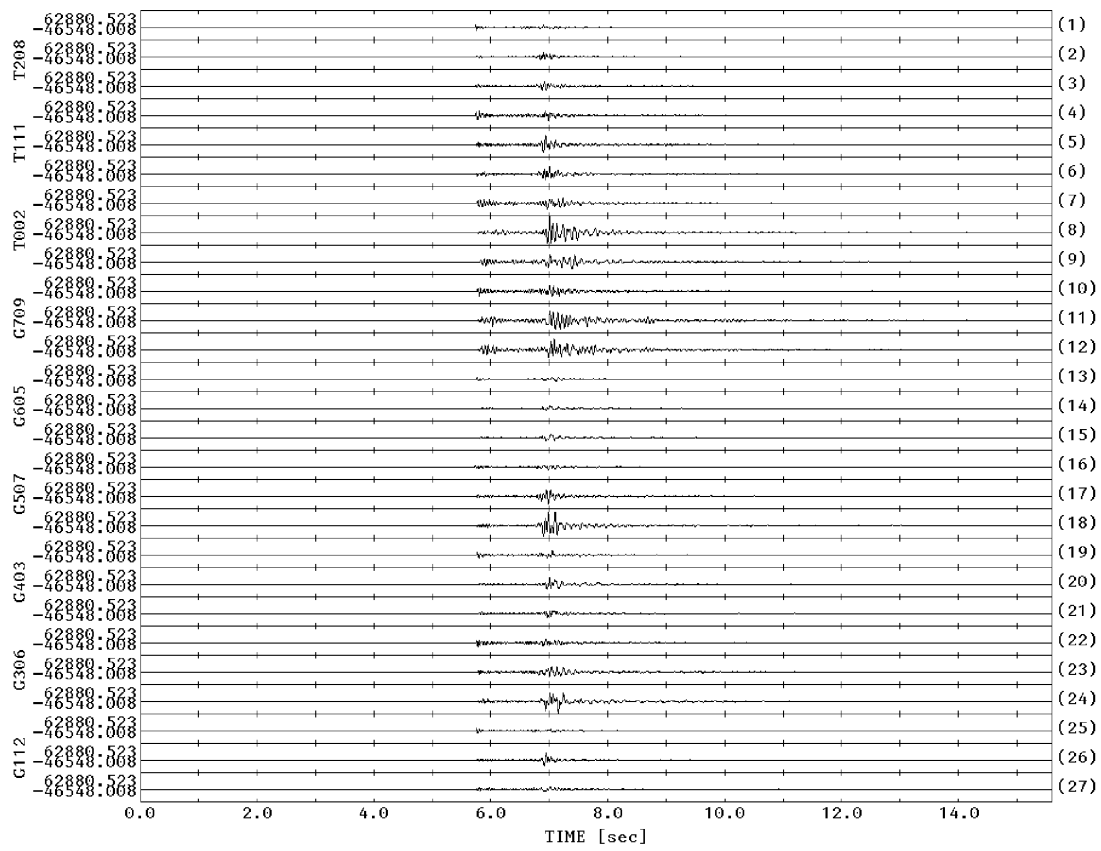


Figura 4.2.5.1 - Terremoti registrati dalla maggior parte delle stazioni mobili poste nel centro storico di Sellano.

CENTRO STORICO SELLANO RAPPORTI SPETTRALI H/V /NS/V & EW/V)

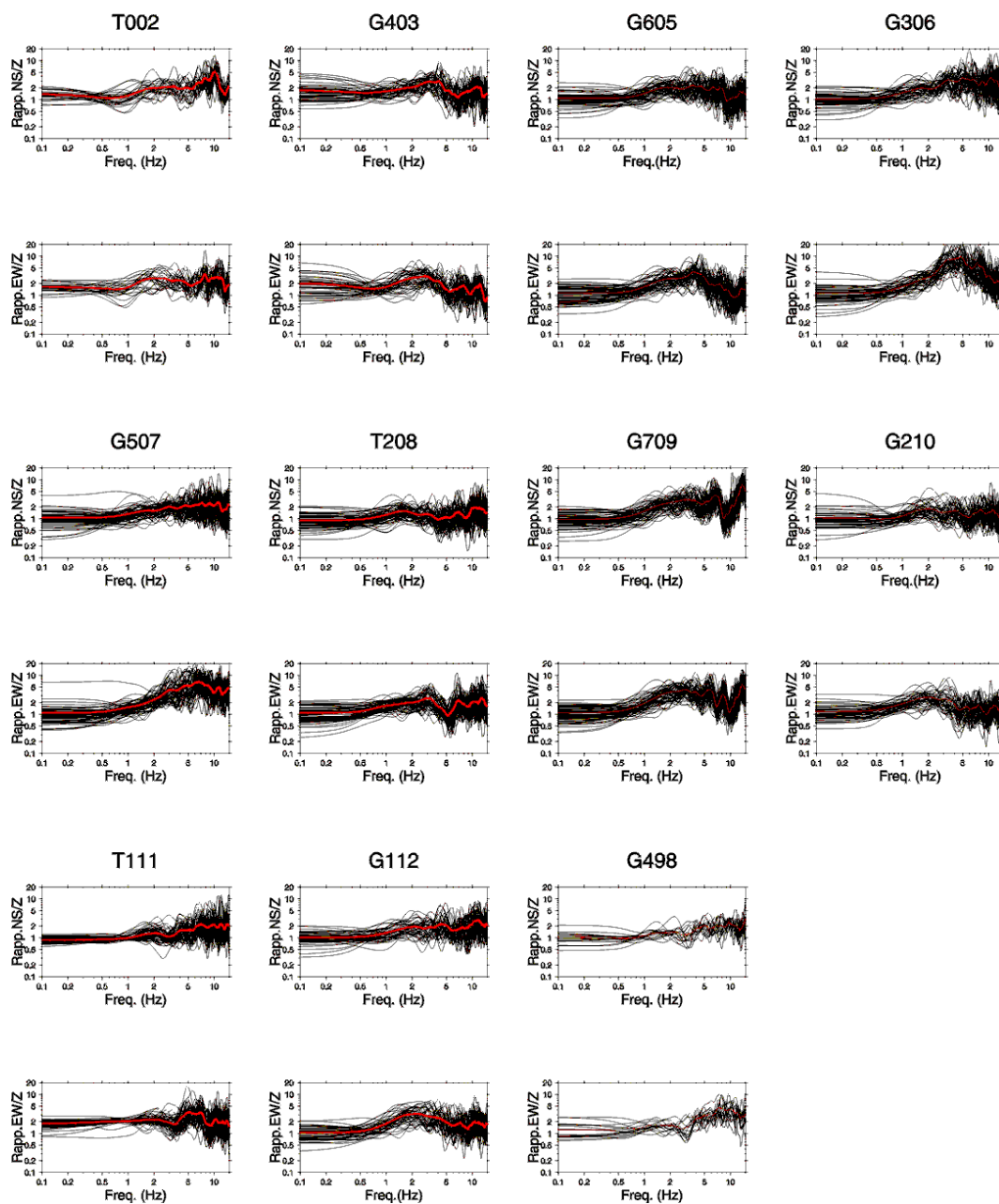


Figura 4.2.5.2 - Rapporti spettrali medi delle NS/V e EW/V determinati da un set di 60 terremoti usando finestre di 10 s a partire dall'arrivo della fase S.

PIAZZOLA N. 35

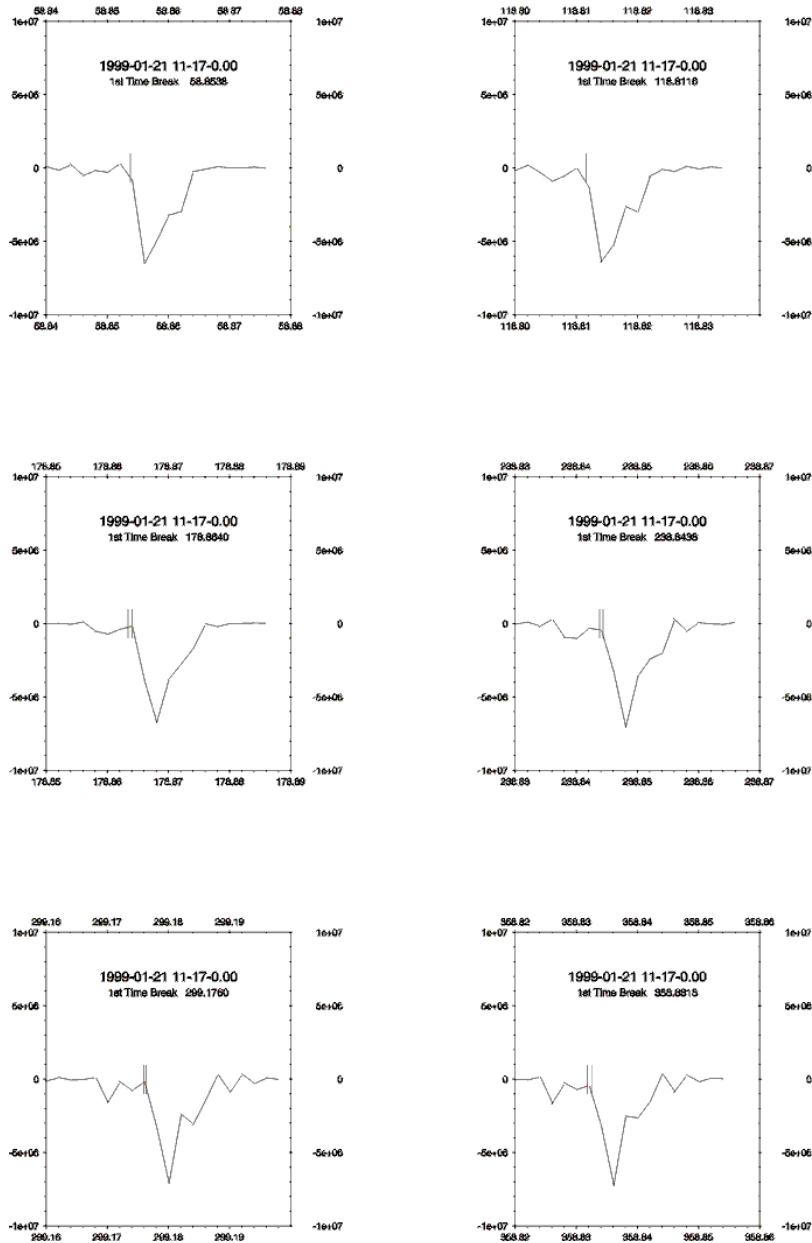


Figura 4.2.5.3 - Esempio di picking automatico dei TO dai dati forniti dall'accelerometro posizionato sull'Hydrapulse. Il picking automatico è indicato mediante la linea rossa e, quando i criteri di picking automatico selezionano più di un TO, quello utile ai fini dell'esperimento viene scelto in base all'ispezione visiva.

Stazione 25, registrazioni Hydrapulse II

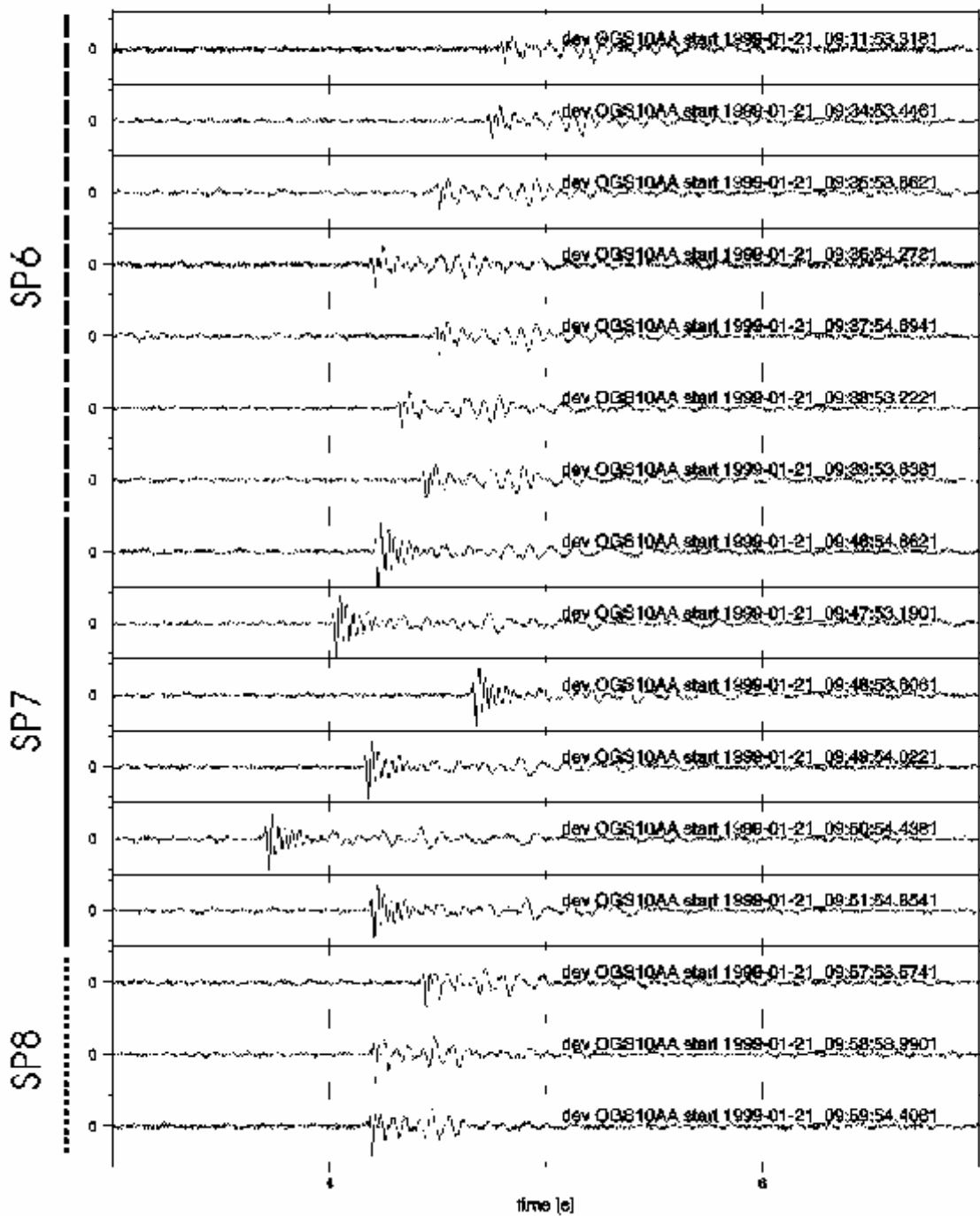


Figura 4.2.5.4 - Esempio di registrazione dell'Hydrapulse alla stazione 25 tra le 09 e le 10 UTC del 21-01-99.

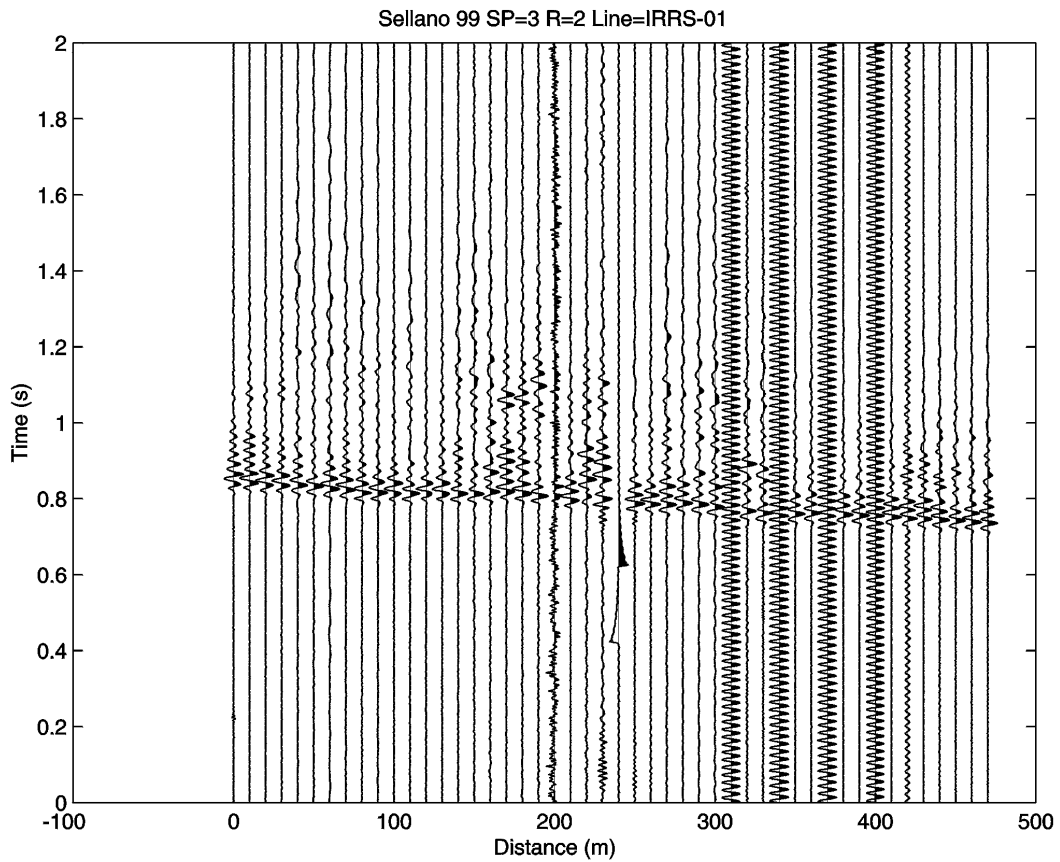


Figura 4.2.5.5 - Esempio di registrazione di Hydrapulse fornita dal 48 canali dell'IRRS.

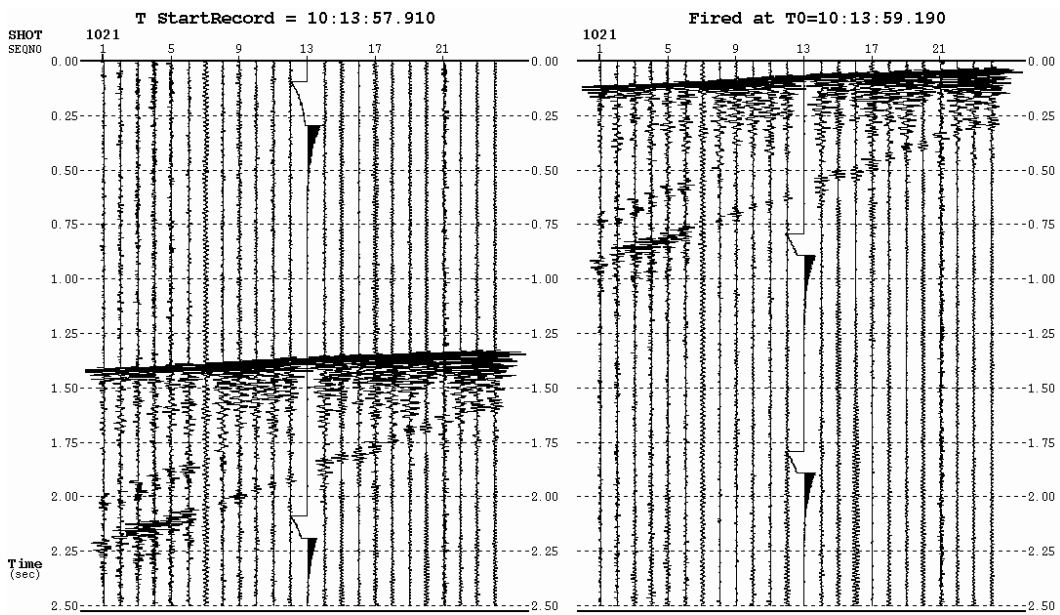


Figura 4.2.5.6 - Esempio di registrazione di Hydrapulse fornita dal 24 canali dell'OGS.

5.0 DESCRIZIONE DEL DANNEGGIAMENTO

5.1 Descrizione del danneggiamento nel centro storico di Sellano

Le costruzioni hanno origini che risalgono al 1200, ma gran parte di esse hanno subito pesanti ristrutturazioni nel 600 - 700.

Si tratta, in genere, di edifici in muratura di pietrame a doppio paramento o a sacco con paramenti esterni in conci rozzamente squadri e malta di pessima qualità. Gli orizzontamenti originari erano costituiti da volte in mattoni, solai in legno o in putrelle di acciaio e tetti in legno.

Gli interventi di ricostruzione, effettuati dopo il terremoto del 1979 e in gran parte terminati entro il 1986, hanno comportato l'adeguamento sismico degli edifici, ed in particolare, si è proceduto alla consolidazione delle volte ed alla sostituzione dei tetti e dei solai deformabili con strutture in laterocemento dotate di cordoli in breccia. Inoltre, sono stati effettuati interventi anche sulle murature che, spesso, si sono limitati al rifacimento degli intonaci ed alle stilature dei paramenti a vista e, solo in alcuni casi, sono state effettuate iniezioni non armate. Complessivamente, quindi, gli edifici del centro storico di Sellano, considerando anche quelli di costruzione più recente, presentavano una buona resistenza al sisma ma vi erano anche alcuni edifici ancora in ristrutturazione ed altri non interessati da alcun tipo di intervento post-terremoto.

Dal punto di vista geotecnico la parte più superficiale dei terreni di fondazione presenta coltri detritiche e riporti antropici che sono stati responsabili di parecchi dissesti localizzati.

Lo stato degli edifici adeguati, a seguito delle scosse del 26 settembre e fino al 14 ottobre, era da ritenersi soddisfacente, infatti, tutti risultavano agibili, eccetto quello situato nella particella 21. In quest'ultimo si era già manifestato il distacco dello spigolo NW, propiziato dal cedimento del terreno di fondazione ricollegabile ad un assestamento del terreno stesso nella parte di valle e ad una traslazione dei muri di sostegno della strada prospiciente.

La scossa del 14.10 ha, invece, prodotto un radicale cambiamento delle condizioni di dissesto (cfr. Figura 5.1); si sono manifestati, infatti, danni gravi e gravissimi a quasi tutti gli edifici del centro storico, eccettuati alcuni situati su via Cavour, a mezza costa sul versante Est.

Negli edifici non ristrutturati si sono verificati molti crolli totali o parziali mentre, negli edifici ricostruiti si sono evidenziati soprattutto dissesti alle murature portanti, quasi tutte di pietrame a sacco; due soli di essi hanno subito, invece, crolli parziali. I due casi citati, inoltre, riguardano edifici non ancora completati ed uno di essi si trovava in una fase particolarmente delicata per l'assenza di una scala, in corso di ricostruzione, che rendeva temporaneamente molto snello un muro portante.

I dissesti sono sembrati generalmente ricollegabili a due tipi di cause:

- la carenza di resistenza intrinseca delle murature, sia ad azioni nel piano sia ad azioni verticali e fuori dal piano, dovuta soprattutto alla pessima qualità della malta ed allo scollegamento pressoché totale fra i due paramenti murari esterni ed il sacco interno;
- la presenza di cedimenti nei terreni di fondazione propiziati dall'acclività del pendio e da rilassamento dei rilevati sostenuti da muri di sostegno.

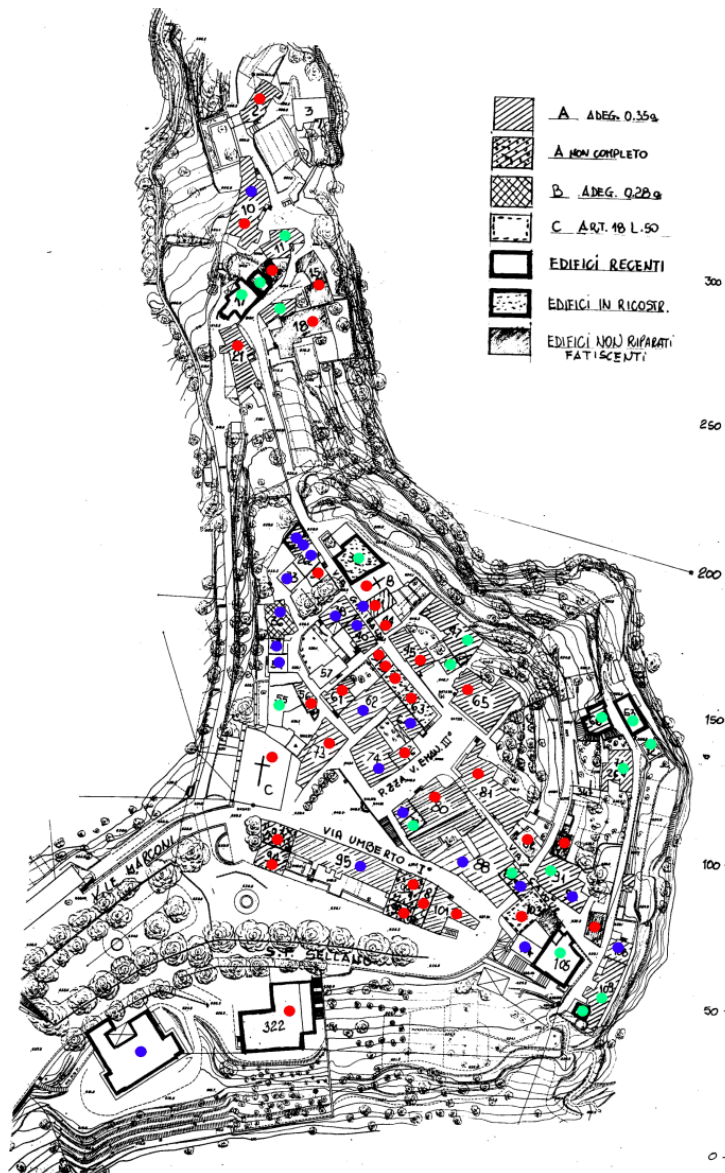


Figura 5.1

In entrambi i casi la presenza di interventi quali la sostituzione dei solai e tetti originali con quelli in laterocemento e l'inserimento di cordoli in breccia ha limitato o evitato il distacco fra le pareti garantendo un corretto comportamento scatolare degli edifici, ma non ha potuto evitare il danno legato al superamento della resistenza locale delle murature. Si sono peraltro osservati diversi casi in cui porzioni consistenti di edificio si sono separate dal resto senza che si siano verificati crolli, proprio grazie all'insorgere di una resistenza di insieme che, in assenza di interventi, sarebbe stata probabilmente non disponibile. Emblematico, da questo punto di vista, il caso del municipio, nel quale sono risultati particolarmente ben eseguiti sia gli interventi sugli orizzontamenti, con cordoli ad intero spessore e solai in lamiera grecata e cls, sia le iniezioni delle murature, che hanno consentito di evitare crolli anche nell'ala Nord, dove uno sperone ha subito un abbassamento di diversi centimetri, per effetto del cedimento e dell'instabilizzazione del sottostante terreno di fondazione. Nello stesso edificio, peraltro, si è avuto il crollo della torre, la cui resistenza non è stata probabilmente adeguata al pari del resto del fabbricato.

Certamente si è manifestata anche, in molti casi, l'incapacità degli interventi effettuati di limitare il distacco fra i due paramenti murari esterni ed il sacco interno, causa prima di alcuni crolli parziali e di molti danni gravi. In questo senso l'adozione di cordoli in breccia estesi al solo spessore del paramento interno e privi di innesti a coda di rondine, può essere stata una scelta infelice. Infatti, tale scelta ha fatto sì che mancasse il collegamento tra i due paramenti murari lasciandoli molto snelli, ed attribuendo, così, al solo paramento esterno l'intero peso della muratura lasciando, invece, al paramento interno il solo peso dei solai.

In pochi casi si sono evidenziate separazioni di parti di edifici realizzate in epoche successive e non adeguatamente collegate al corpo principale, neppure a seguito degli interventi di adeguamento: è questo il caso, ad esempio, del porticato su via Cavour appartenente alla particella 88 e di una espansione della part. 73.

Le due scuole di nuova costruzione situate a SSO del centro storico, su un rilevato realizzato su un pendio molto acclive hanno avuto danni in parte ricollegabili a cedimenti delle fondazioni ed in particolare una di esse ha avuto danni gravissimi con crolli parziali.

Ancora a cedimenti del terreno, propiziati dal definitivo crollo di alcuni ruderi di una vecchia chiesa, hanno probabilmente causato il dissesto di un arco nell'antica cinta muraria del borgo, che a sua volta ha danneggiato una costruzione adiacente (part. 2).

In definitiva è possibile riassumere quanto sopra detto discriminando in base al diverso grado di vulnerabilità che gli edifici presentavano al momento del sisma:

- Edifici con adeguamento ormai completato: il comportamento è risultato in media quello prevedibile e corretto. Le frequenti lesioni diagonali e ad X, infatti, sono tipiche di pareti sollecitate prevalentemente nel loro piano grazie a un buon collegamento con le altre pareti e con gli orizzontamenti. L'eccessiva ampiezza delle lesioni è da attribuirsi alla scarsa resistenza delle murature, alla mancanza di collegamento fra i paramenti esterni ed il sacco

interno, non risolto dai cordoli in breccia, alla cattiva esecuzione del consolidamento mediante iniezioni, ad alcuni casi di cedimenti del terreno di fondazione.

- Edifici con adeguamento ancora in corso: quelli con interventi quasi completi si sono comportati correttamente, altri hanno avuto danni anche gravissimi riconducibili ad una momentanea situazione di alta vulnerabilità o al non completo consolidamento delle murature.
- Edifici di nuova costruzione non antisismici: quasi nessuno ha avuto crolli, e il danno più diffuso può definirsi lieve o medio. Evidentemente la costruzione con materiali di migliore qualità e l'assenza di danni preesistenti hanno consentito buone prestazioni. A questi fa eccezione una delle due nuove scuole in cui il danno è risultato gravissimo, accompagnandosi a crolli parziali e a dissesti fondazionali.
- Edifici non adeguati e di vecchia costruzione: trattandosi di edifici ad alta vulnerabilità, spesso già danneggiati, si è avuta una forte percentuale di crolli totali o parziali determinati sia dalla scarsa resistenza delle murature che dalla sostanziale assenza di efficaci collegamenti.

6.0 SINTESI DEI RISULTATI E RACCOMANDAZIONI

L'oggetto dell'indagine è individuato in Sellano capoluogo, centro di colmo di un rilievo collinare costituito da tipiche formazioni dell'Appennino umbro. Queste sono, in particolare, costituite dalle formazioni litoide della Scaglia Bianca, Rossa, Variegata e Cinerea, nonché dalla formazione del Bisciario profondamente deformate dalla tettonica compressiva e distensiva che ha interessato l'area suddetta. A luoghi sono presenti accumuli detritici naturali ed antropici che, come dimostrato dalle indagini profonde effettuate, possono raggiungere spessori significativi (> 10 m).

L'antico centro di Sellano occupa la porzione nord orientale della dorsale collinare estendendosi in direzione NS; l'espansione urbanistica ottocentesca ha riguardato la zona di sella che si estende in direzione NE-SW. Attualmente quindi Sellano capoluogo si allunga per circa 500 m ai lati di un asse viario cittadino che sovrappassa la strada statale. Questo separa la parte antica da quella di edificazione più recente tra cui si segnalano due edifici in c.a.

Gli edifici del nucleo originario avevano subito interventi di adeguamento sismico che, se da un lato, ha preservato le strutture verticali da crolli e ribaltamenti anche parziali, dall'altro, ha evidenziato carenze per comportamento nel piano delle strutture murarie. Tali carenze sono state responsabili di un'elevata percentuale di danno alle strutture spesso accompagnandosi a danni imputabili a cedimenti ed instabilità dei terreni di fondazione.

Gli epicentri degli eventi più significativi che hanno colpito Sellano ed in particolare quelli del 26 settembre sono stati localizzati nella zona di Colfiorito, ad un a decina di km a nord di Sellano. Alcune registrazioni della rete accelerometrica nazionale posta in vicinanza dell'epicentro hanno evidenziato elevati valori di accelerazioni di picco ed elevati contenuti in frequenza. Le stazioni velocimetriche installate a seguito del terremoto del settembre 1997, e posizionate sia nel centro storico sia nell'edificato recente non hanno evidenziato differenze significative dei valori di scuotimento. In particolare, i rapporti spettrali non evidenziano sostanziali diversità tra un sito e l'altro.

Le cause di un danneggiamento così elevato in presenza di un terremoto relativamente modesto non sono risultate immediatamente chiare. Potrebbero, infatti, essersi sommati e combinati effetti di near-field del terremoto (nonostante l'assenza di registrazioni dell'evento principale in Sellano, è comunque ragionevole presumere che anche a Sellano si sia verificato uno scuotimento caratterizzato da forti picchi di accelerazione e da prevalente contenuto spettrale ad elevate frequenze), effetti particolari di direttività, in parte anche amplificazioni dovute alle caratteristiche topografiche del rilievo. È tuttavia molto probabile che la causa più importante, se escludiamo caratteristiche strutturali, sia la presenza di accumuli detritici che si è potuto constatare costituiscono terreno di fondazione in alcuni dei casi esaminati in dettaglio. In realtà le caratteristiche topografiche e morfologiche fanno ritenere che i terreni costituenti i piani di fondazione possano essere costituiti da litotipi diversificati in termine di costituzione o di grado di alterazione e degradazione.

Come noto l'obiettivo di una microzonazione sismica è quella di fornire prescrizioni atte a evitare danneggiamenti per un futuro terremoto. La valutazione della pericolosità sismica mostra valori di accelerazioni di picco, per un periodo di ritorno di 475 anni, abbastanza elevate, vale a dire superiori alla media degli altri comuni italiani classificati in seconda categoria. Ad esempio, è stato calcolato per Sellano un valore di 0.31 g, utilizzando la legge di attenuazione di Ambraseys et al. (1996). Si nota che questo risultato è superiore a quello riscontrato ad esempio a Nocera Umbra con lo stesso metodo (0.25 g). Sellano è stata più volte colpita da terremoti distruttivi negli ultimi mille anni; per alcuni di questi terremoti, risentiti a Sellano con un intensità superiore a 8, è stato calcolato un valore di magnitudo di 6.7.

In base a questi fattori, ossia la presenza di un'elevata pericolosità sismica, la possibilità di terremoti di elevata magnitudo in grado di produrre danni significativi a Sellano, la situazione topografica dell'abitato di Sellano, e la presenza di accumuli antropici in grado di causare significative amplificazioni di onde sismiche e di indurre comportamenti non elastici del suolo, si consiglia l'adozione di un coefficiente di amplificazione FA uguale 1.3 per tutto Sellano capoluogo. Si rileva infine che la forma allungata a Y espone il centro abitato ai fenomeni tipici dei versanti e dei bordi di ciglio, che anche quando non interessati da fenomeni franosi aggravano le condizioni dell'edificio rispetto al caso di fondazione su piano orizzontale in quanto riducono la sua capacità portante, peraltro già ridotta dalla insorgenza di forze inerziali orizzontali nel terreno e nella struttura. In considerazione di tale situazione, appare opportuno per la progettazione dei singoli interventi l'accertamento diretto delle condizioni generali dei terreni circostanti il manufatto, e in particolare delle caratteristiche stratigrafiche e geotecniche, nonché l'identificazione delle caratteristiche strutturali e dei materiali costituenti le opere di fondazione, così da poterne verificare l'idoneità e eventualmente procedere, in caso contrario, al loro rafforzamento.

Bibliografia

- AA.VV. (1998). *Castelli, terre, gente della montagna*. Archivio di Stato di Perugia.
- Ambraseys, N.N., K.A. Simpson e J.J Bommer (1996). Prediction of horizontal response spectra. *Europe. Earth. Eng. Struct. Dyn.*, 25:371-400.
- Bender, B. e D.M. Perkins (1987). SEISRISK III: a computer program for seismic hazard estimation. *USGS Bulletin*, 1772:1-48.
- Calamita F. e Deiana G. (1986). Geodinamica dell'Appennino Umbro-Marchigiano. *Mem. Soc. Geol. It.* 35, pp. 311-316.
- Calamita F. e Pizzi A. (1992). Tettonica quaternaria nella dorsale appenninica umbro-marchigiana e bacini intrappenninici associati. *Studi Geol. Camerti, vol. spec. pp. 17-25*.
- Camassi, R. e M. Stucchi (1996). *NT4.1 un catalogo parametrico di terremoti di area italiana al di sopra della soglia di danno*. GNDT (ultimo aggiornamento marzo 1998). <http://www.emidius.itim.mi.cnr.it/GNDT/home.html>
- M. Cattaneo, P. Augliera, G. De Luca, A. Gorini, A. Govoni, S. Marcucci, A. Michelini, G. Monachesi, D. Spallarossa, L. Trojani and XGUMS (1998). The 1997 Umbria-Marche (Italy) earthquake sequence: analysis of the data recorded by the local and temporary networks, sottomesso per la pubblicazione al *Journal of Seismology*.
- Cencetti C. (1993). Morfotettonica ed evoluzione plio-pleistocenica del paesaggio nell'area appenninica compresa tra i Monti di Foligno e la Val Nerina (Umbria centro-orientale). *Boll. Soc. Geol. It.* 112, pp. 235-250.
- Centamore E., Deiana G., Micarelli A. e Potetti M. (1986). Il Trias-Paleogene delle Marche. *Studi Geol. Camerti, vol.spec. pp.9-33*.
- Crespellani T., Garzonio C.A., Madiari C., Vannucchi G. (1997). A methodology for the seismic microzonation of historical nuclei in Central Italy. *Europ Earthquake Eng.* : 46-60.
- Del Prete M., Guadagno F.M., Scarascia Mugnozza G. (1998). Earthquake induced damage in an historical area: the September-October 1997 seismic sequence which affected Assisi, Central Italy. *Bull. Eng. Geol. Env.* 57: 101-109.
- Dziewonski A., Bloch S. and Landisman M. (1969). A Technique for the Analysis of Transient Seismic Signals. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 59, pp.427-444.
- Guadagno F.M., Valentini G., Focareta M., Magaldi S., Verga A.(1998). *Studi geologico-tecnici per la microzonazione sismica di Sellano (PG)*. Rapporto sull'attività al 15/2/98 - Progetto GNDT Microzonazione sismica Umbria-Marche.
- Lavecchia G., Minelli G. & Piali G. (1986). Strutture plicative minori dell'Appennino Umbro-Marchigiano. *Boll. Soc. Geol. It.* 102, pp. 95-112.
- Lavecchia G. (1985). Il sovrascorrimento dei Monti Sibillini. *Boll. Soc. Geol. It.* 104, pp.161-194.
- Levshin A., Pisarenko V.F. and Pogrebinsky G.A. (1972). On a frequency-time analysis of oscillations. *Ann. Geophys.*, t.28, fasc.2, pp.211-218.
- Panza G.F. (1981). The Resolving Power of Seismic Surface Waves with respect to Crust and Upper Mantle Structural Models. In: *The solution of the inverse problem in geophysical interpretation*. Cassinis R. Ed. Plenum Publishing Corporation.
- Sabetta, F. e A. Pugliese (1987). Attenuation of peak horizontal acceleration and velocity from Italian strong-motion records. *Bull. Seism. Soc. Am.* 77, 1491-1513.

Scandone, P., E. Patacca, C. Meletti, M. Bellatalla, N. Perilli, U. Santini (1990). Struttura geologica, evoluzione cinematica e schema sismotettonico della penisola italiana. *Atti del Convegno annuale del Gruppo Nazionale per la Difesa dai terremoti*, 1:119-135.

Valyus V.P., Keylis-Borok V.I. and Levshin A.L. (1968). Determination of the velocity profile of the upper mantle in Europe *Nauk SSSR*, Vol.185, No.8, pp.564-567.