

PARTE II

PROGETTO MICROZONAZIONE SISMICA UMBRIA-MARCHE

Responsabile del progetto
A. Marcellini ⁽¹⁾

Responsabile per le registrazioni strumentali
P. Marsan ⁽²⁾

Responsabile per la geologia
G. Valentini ⁽³⁾

Responsabile per la valutazione del danneggiamento
M. Dolce ⁽⁴⁾

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

(2) Servizio Sismico Nazionale, Roma

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

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

Premessa

A seguito della crisi sismica iniziata il 26 Settembre 1997, che ha colpito Umbria e Marche, il Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti e il Servizio Sismico Nazionale, su richiesta del Sottosegretario alla Protezione Civile Franco Barberi, hanno individuato 3 località (Nocera, Sellano e Fabriano) sulle quali effettuare indagini di microzonazione sismica di dettaglio.

I risultati ottenuti per Fabriano sono presentati nel volume “La Microzonazione Sismica di Fabriano” *.

Nel presente volume sono riportati i risultati riguardanti la microzonazione di Nocera Umbra e Nocera Scalo nonché le frazioni di Isola, Le Molina, La Costa e Pascigliano e di Sellano capoluogo.

Le ricerche sono state condotte avendo come riferimento le esigenze connesse all'avvio della ricostruzione.

Per quanto riguarda Nocera, le zone individuate si presentavano molto differenziate da un punto di vista geologico. Si va da Nocera Umbra dove affiora la Scaglia Rossa a zone quali Isola e le Molina dove gli edifici poggiano su depositi alluvionali recenti.

I risultati ottenuti sono basati sulla elaborazione di un numero consistente di registrazioni di aftershocks, su diverse prove geofisiche e geotecniche e sono state corroborate dalle evidenze dei danni riportati a seguito del sisma.

Sellano si è presentato come uno dei casi più difficili da indagare: l'elevato grado di danneggiamento in presenza di un terremoto relativamente modesto non si accordava con i risultati della campagna di registrazione di aftershocks né con le prime informazioni geologiche e geomorfologiche. E' stato necessario effettuare un supplemento di indagini rivolte sia a una conoscenza dettagliata dei terreni di fondazione sia alla definizione di dettaglio della immagine tridimensionale della struttura geologica di Sellano. Per quest'ultimo obiettivo si è resa necessaria la pianificazione e esecuzione di una apposita indagine geofisica (esperimento TOMOSEL). I risultati ottenuti sono stati presentati e discussi in riunioni con la Regione Umbria e i Comuni di Nocera Umbra e Sellano.

* Marcellini A. e P. Tiberi (a cura di). “La Microzonazione Sismica di Fabriano”. Biemmegraf, Piediripa di Macerata, Febbraio 2000.

Microzonazione di Nocera Umbra

A cura di: F. Bozzano⁽¹⁾, A. Tento⁽²⁾, A. Larotonda⁽³⁾

Hanno collaborato:

R. Bardotti⁽⁴⁾, G. Boniolo⁽²⁾, C. Carducci, G. Chimera⁽⁵⁾, A. Corsi⁽²⁾, T. Crespellani⁽⁴⁾, R. Daminelli⁽²⁾, R. de Franco⁽²⁾, M. Dolce⁽³⁾, G.L. Franceschina⁽⁶⁾, C. Madiari⁽⁴⁾, M. Maistrello⁽²⁾, A. Marcellini⁽²⁾, P. Marsan⁽⁷⁾, G. Milana⁽⁷⁾, A. Morrone⁽²⁾, M. Natale⁽⁸⁾, C. Nunziata⁽⁸⁾, M. Pagani⁽²⁾, L. Peruzza⁽⁹⁾, P. Pierantoni, F. Ponziani⁽¹⁰⁾, A. Sica⁽⁸⁾, G. Simoni⁽⁴⁾, P. Suhadolc⁽⁵⁾, P. Traversa⁽¹⁾, G. Valentini⁽¹⁾

(1) Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi “La Sapienza”, Roma

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

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

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

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

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

(7) Servizio Sismico Nazionale, Roma

(8) Dipartimento di Geofisica e Vulcanologia, Università “Federico II”, Napoli

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

(10) Regione Umbria, Servizio Geologico, Perugia

1.0 SISMICITÀ DI RIFERIMENTO

1.1 Caratteristiche dei terremoti che interessano Nocera Umbra

Tabella 1.1.1: Storia sismica di Nocera Umbra.

Ye	Mo	Da	Ho	Mi	Is (MCS)	Area epicentrale	Ix	Ms
1279	4	30	18			90 CAMERINO	100	67
1747	4	17				90 FIUMINATA	90	62
1751	7	27	3			80 GUALDO TADINO	100	67
1741	4	24	9	20		70 FABRIANESE	90	62
1979	9	19	21	35		60 NORCIA	85	59
1915	1	13	6	52		50 AVEZZANO	110	70
1915	3	26	23	37		50 ASSISI	70	47
1950	9	5	4	8		50 GRAN SASSO	80	56
1930	10	30	7	13		40 SENIGALLIA	85	60
1961	3	23	1	1		35 GUBBIO	70	33
1703	1	14	18		F	NORCIA	100	67
1730	5	12	4	45	F	NORCIA	90	59
1914	10	27	9	22		30 GARFAGNANA	70	58
1902	10	23	8	51	NF	REATINO	65	44
1904	11	17	5	2	NF	PISTOIESE	70	50
1909	8	25		22	NF	MURLO	75	51
1911	2	19	7	18	NF	FORLIVESE	75	52
1964	8	2	10	40	NF	PRECI	70	54
1980	11	23	18	34	NF	IRPINIA-LUCANIA	100	69

Nocera Umbra è stata ripetutamente colpita nel passato da forti terremoti, come si evidenzia dalla Tabella 1.1.1. In particolare si osserva che Nocera è stata interessata da terremoti che hanno liberato un'energia di un centinaio di volte più grande rispetto a quello della crisi sismica del Settembre 1997. Ad esempio per il terremoto del 1279 con epicentro a Camerino 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 1.1.1 e 1.1.2 evidenziano le principali caratteristiche dello scuotimento registrato a Nocera in occasione del terremoto di Settembre; esse possono essere riassunte in 2 punti:

- 1) accelerazioni di picco (PGA) molto elevate, superiori a 0.5 g;
- 2) frequenze predominanti altrettanto elevate (attorno ai 6-8 Hz), il che vuole anche dire spostamenti relativamente modesti.

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 in Nocera 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, Nocera possa essere colpita da terremoti di magnitudo ben superiore.

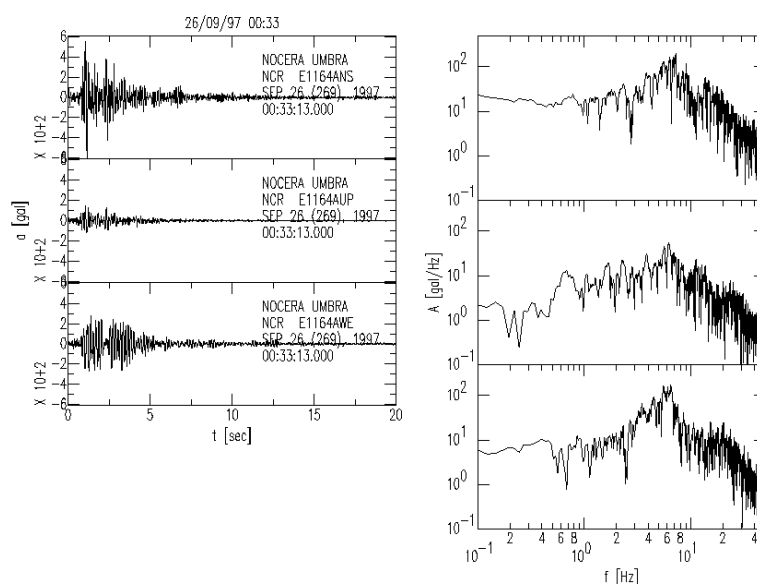


Figura 1.1.1 - Accelerogramma registrato a Nocera Umbra relativo all'evento 26/09/97 00:33 ($M_S=5.5$, distanza epicentrale = 13.5 km). Per ciascuna delle tre componenti vengono mostrate le storie temporali e i corrispondenti spettri di Fourier (componente Nord-Sud, Verticale ed Est-Ovest rispettivamente).

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 impegnato 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.

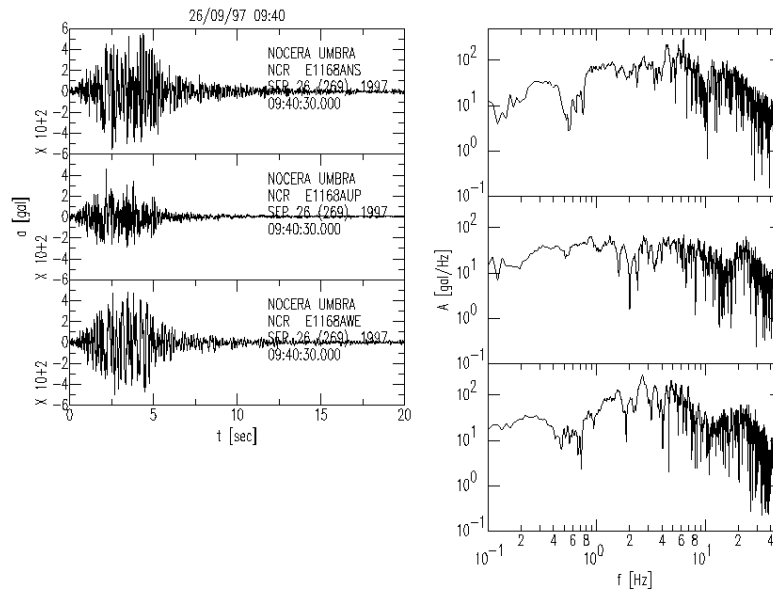


Figura 1.1.2 - Accelerogramma registrato a Nocera Umbra relativo all'evento 26/09/97 09:40 ($M_s=5.9$, distanza epicentrale = 10.0 km). Per ciascuna delle tre componenti vengono mostrate le storie temporali e i corrispondenti spettri di Fourier (componente Nord-Sud, Verticale ed Est-Ovest rispettivamente).

I risultati dell'analisi, per un periodo di ritorno di 474 anni, evidenziano un valore di PGA di 0.246 g, usando la legge di attenuazione di Ambraseys (1996), e di 0.238g, 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.

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, 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 (Figura 1.2.1) e lo spettro del terremoto di Settembre.

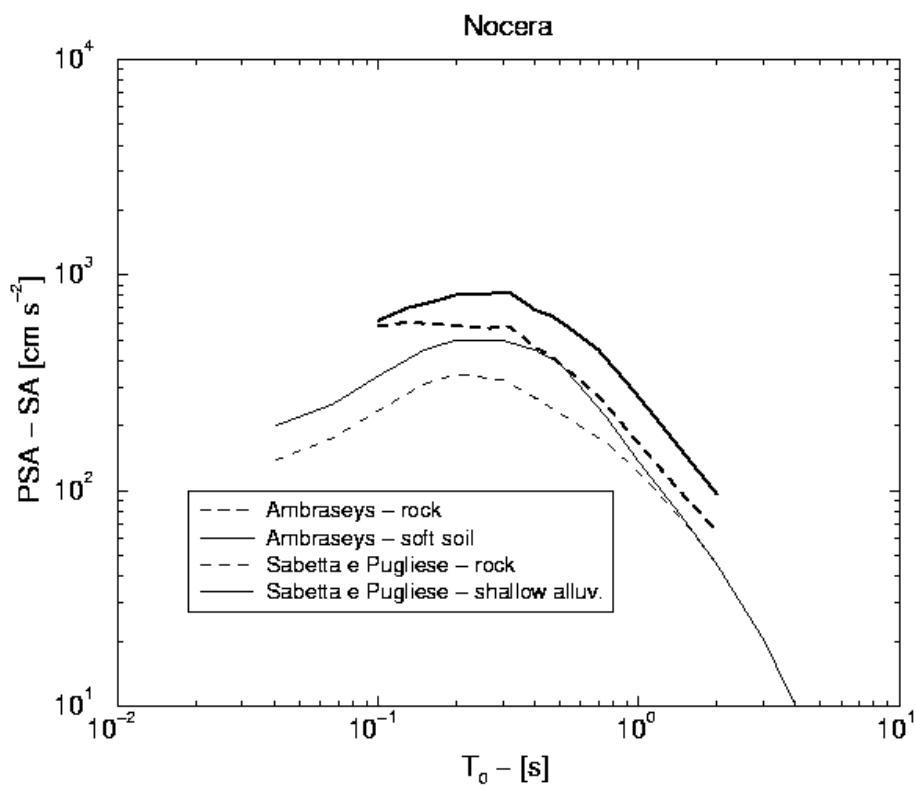


Figura 1.2.1 - Spettri di risposta equiprobabilistici ottenuti impiegando diverse leggi di attenuazione.

2.0 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

Sulla base dei rilievi geologici e geomorfologici condotti, delle informazioni litostratigrafiche deducibili dai numerosi sondaggi terebrati nell'area e dell'interpretazione di fotografie aeree, sono state approntate:

- 1) carte geologiche in scala 1:5000 relative rispettivamente all'area tra Nocera e Nocera scalo (Figura 2.1) e a quella comprendente Isola, Le Molina e La Costa (Figura 2.2). Su di esse è stata riportata anche l'ubicazione delle stazioni velocimetriche, le ubicazioni di sondaggi svolti sia nell'ambito della microzonazione sismica sia acquisiti da indagini di altra natura ed infine le tracce delle sezioni geologiche;
- 2) sezioni geologiche (Figura 2.3);
- 3) carte geomorfologiche in scala 1:5000 relative rispettivamente all'area tra Nocera e Nocera scalo e a quella comprendente Isola, Le Molina e La Costa (Figure 2.4 e 2.5).

In questo paragrafo sono riportate alcune note relative alla sopra elencata cartografia. Nella stesura di queste note ci si è avvalsi anche di informazioni provenienti dalla vasta letteratura a carattere generale esistente nella specifica bibliografia.

2.1 Successione litostratigrafica

Di seguito è riportata una descrizione sintetica delle principali caratteristiche delle formazioni e dei litotipi distinti sulla cartografia geologica; a riguardo dei rispettivi spessori i dati possono essere desunti dalle sezioni geologiche.

Scaglia rossa

Calcari, calcari marnosi e marne calcaree rosate con selce rossa in liste e noduli. Stratificazione netta con strati da medi a spessi (Turoniano sup. - Eocene medio).

Scaglia variegata

Alternanza di calcari, calcari marnosi e marne policrome (colore dal rosa al grigio - verde) in strati medi e sottili (Eocene medio - Eocene sup.). Il limite con la Scaglia rossa è molto graduale e pertanto di difficile individuazione ed esatto posizionamento.

Scaglia cinerea

Alternanza di marne calcaree, calcari marnosi, marne e marne argillose di colore grigio - verdastro (Eocene sup. - Oligocene). Caratteristica peculiare è il diffuso clivaggio.

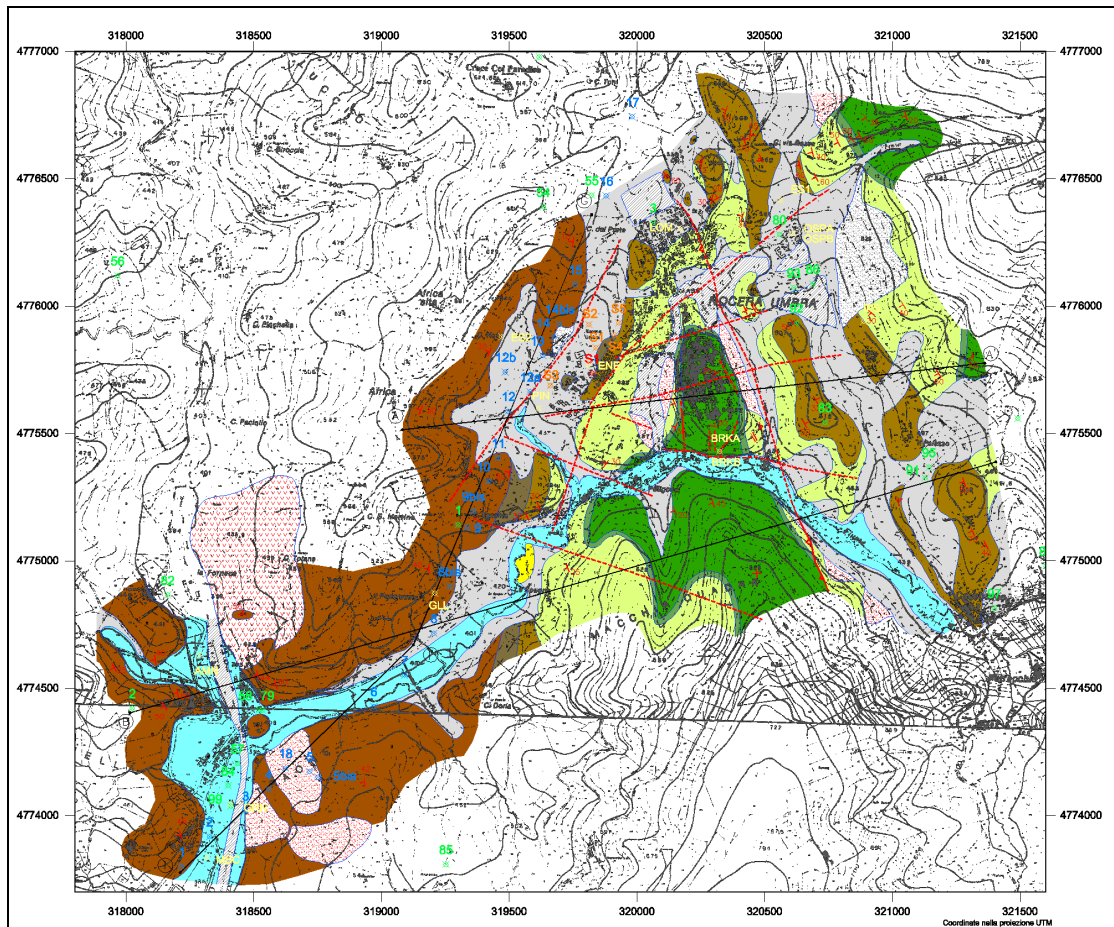


Figura 2.1 - Carta geologica di Nocera Umbra e Nocera scalo.

Bisciario

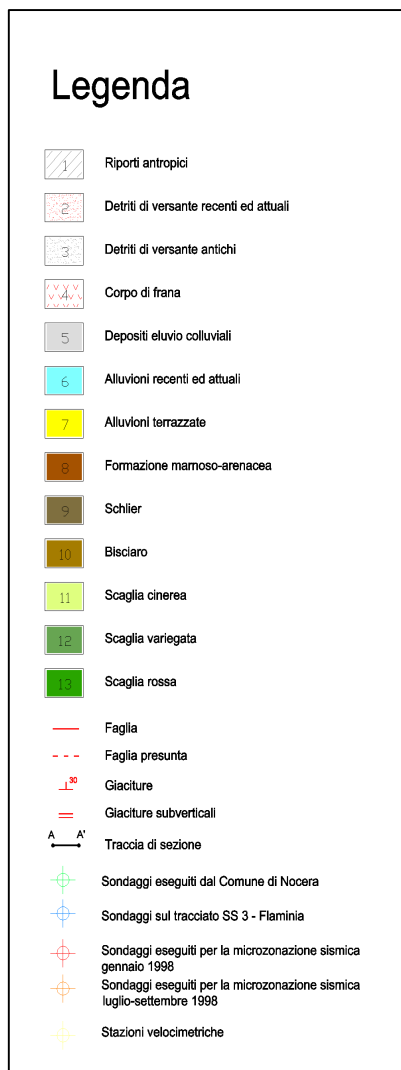
Alternanze di calcari marnosi scuri, marne, marne calcaree e marne argillose grigie, oppure di colore ocraceo quando alterate, in strati di spessore medio. Caratteristica è la presenza di livelli vulcanoclastici (Aquitaniiano - Burdigaliano).

Schlier

Alternanza di marne, marne calcaree, marne argillose grigie e subordinatamente calcari marnosi biancastri in strati di spessore medio - sottile. Anche in questa formazione è diffuso il clivaggio (Burdigaliano - Langhiano).

Marnoso - arenacea

Si presenta nell'area in due associazioni di facies. La prima e più frequente nell'area è quella pelitico - arenacea con strati da sottili a medi fino a spessi; la seconda è quella arenaceo pelitica (Langhiano - Tortoniano). I rapporti con la sottostante formazione sono sia di sovrapposizione stratigrafica sia di eteropia laterale.



Alluvioni terrazzate

Depositi limoso argillosi con ciottoli dispersi e depositi sabbioso - ghiaiosi con ciottoli arrotondati oppure non elaborati come nel caso della conoide di Isola, ove inoltre il deposito si presenta massivo.

Alluvioni recenti ed attuali

Depositi argilloso - limosi e sabbioso ghiaiosi.

Depositi eluviali e colluviali

Depositi prevalentemente limoso-argillosi con elementi di ghiaia sparsa all'interno.

Corpi di frana

Corpi a varia costituzione in funzione della litologia di provenienza.

Detriti di versante antichi

Detriti di versante costituiti prevalentemente da pezzame proveniente dalla Scaglia Rossa immerso in matrice limoso-sabbiosa. Grado di cementazione da scarso ad elevato.

Detriti di versante recenti ed attuali

Detriti di versante costituiti prevalentemente da una matrice argilloso - limosa e sabbiosa con più o meno abbondante presenza di clasti di varia dimensione. Sui pendii occidentale ed orientale di Nocera Umbra in questo detrito si confonde anche materiale di origine antropica.

Riporti antropici

2.2 Assetto geologico

L'area è caratterizzata dall'affioramento di formazioni ascritte alla serie umbro-marchigiana, dalla Scaglia rossa alla Marnoso-Arenacea. Queste caratterizzano quasi interamente il settore Nocera Umbra - Nocera scalo e il versante su cui sorge l'abitato di La Costa, mentre nel settore settentrionale di Isola - le Molina, la successione umbro-marchigiana è coperta da sedimenti recenti legati all'evoluzione della conca fluvio - lacustre nota nella letteratura geologica come conca di Costacciaro - Gualdo Tadino.

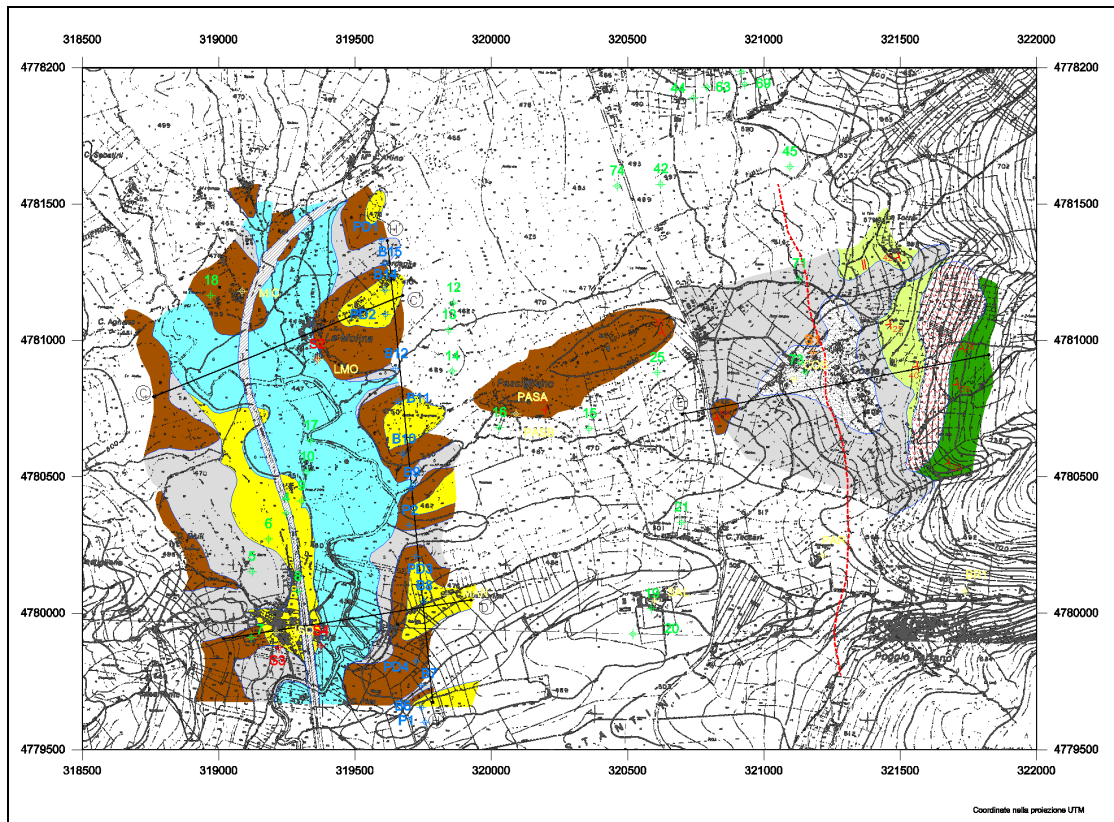


Figura 2.2 - Carta geologica per le frazioni di Le Molina e Costa (vedi legenda Figura 2.1).

Zona Nocera Umbra - Nocera scalo

L'assetto strutturale del settore di Nocera Umbra è condizionato principalmente dalla presenza di una stretta anticlinale a direzione circa N-S con nucleo affiorante di Scaglia rossa, su cui poggia l'insediamento antico, e con terminazione assiale settentrionale. Il fianco orientale della piega è costituito dalle formazioni della Scaglia rossa, Scaglia variegata, Scaglia cinerea e tende a rovesciarsi in profondità; alla base di questo versante è ipotizzabile la presenza di un motivo di sovrascorrimento a vergenza orientale. Ad est di tale elemento tettonico le formazioni della Scaglia cinerea e del Bisciaro risultano disposte secondo un motivo sinclinalico con pieghe di ordine minore all'interno che producono notevoli variazioni nella giacitura degli strati con presenza anche di strati contorti. Ancora più ad est l'assetto risulta localmente monoclinale con immersione verso SW.

Il fianco occidentale della piega è invece costituito dalla Scaglia rossa, Scaglia variegata, Scaglia cinerea, Bisciaro, Schlier e Marnoso-arenacea, formazione questa i cui affioramenti proseguono verso SW anche oltre Nocera scalo in assetto monoclinale con immersione mediamente verso SW.

Elementi tettonici a direzione NE-SW, E-W, NW-SE e N-S dislocano la struttura secondo varie geometrie e con spostamenti talvolta difficilmente ponderabili; sulla base di alcune osservazioni puntuali condotte durante i rilievi geomeccanici, per alcuni degli elementi tettonici riportati sulla carta geologica è possibile ipotizzare un movimento prevalentemente di trascorrenza.

Coperture eluviali e colluviali caratterizzano l'impluvio sul cui fianco sinistro è localizzato il cimitero di Nocera Umbra e le blande vallecicole ad est dell'abitato; esse si trovano in particolare al di sopra delle formazioni con più abbondante componente marnosa (Scaglia cinerea, Bisciario, Schlier e Marnoso - arenacea). A riguardo dello spessore di questa coltre, alcuni dati nell'area del cimitero nonché alcune osservazioni condotte in zone limitrofe fanno ipotizzare valori che puntualmente arrivano anche a 10 metri. Diversamente per la parte ad est della collina di Nocera, i dati a disposizione non consentono una stima dello spessore.

I pendii occidentale ed orientale della collina di Nocera Umbra risultano ammantati di detriti di versante a cui si sovrappongono riporti antropici anche di notevole spessore che vanno parzialmente a confondersi con il detrito di versante. I massimi spessori complessivi determinati localmente superano anche i 10, 12 metri. Da segnalare la presenza in alcune limitate aree (zona del porticato e della chiesa di S. Filippo ad esempio) di ingenti spessori di riporti antropici alle spalle delle mura urbane, laddove in particolare queste oggi hanno assunto funzione di muro di sostegno.

L'abitato di Nocera scalo, sito alla confluenza tra il T. Caldognola ed il F. Topino, poggia su depositi alluvionali recenti. Sulla base dei dati a disposizione, la potenza di questi depositi può arrivare a 13 metri e, secondo alcune ipotesi, anche a 20 metri.

Spessori significativi (oltre 15 metri) di detriti di versante si trovano anche sul versante sinistro del F. Topino all'altezza di Nocera scalo.

Zona di Isola - Le Molina e La Costa

Sul versante orientale della depressione di Costacciaro - Gualdo Tadino, a metà pendio è ubicato l'abitato di La Costa che vede come proprio substrato le formazioni dalla Scaglia cinerea alla Marnoso-Arenacea in assetto monoclinale (giacitura media verso ovest tra 30° e 40°). Un importante lineamento tettonico, una faglia diretta con ribassamento del blocco occidentale, attraversa il centro abitato. Anche alla presenza di questa faglia sono da imputare i depositi di versante antichi a vario grado di cementazione ivi presenti il cui spessore, determinato sulla base di un sondaggio, arriva circa a 10 metri.

Nella zona di Isola e Le Molina nella valle del F. Caldognola, alla Marnosa Arenacea si sovrappongono depositi fluviali terrazzati e depositi alluvionali recenti di spessore variabile (spessore massimo rispettivamente 14 e 9 metri); nei primi sono stati inseriti, per semplicità di rappresentazione, anche i depositi di conoide sui quali poggia l'abitato di Isola. Al rilievo topografico di questa conoide contribuiscono spessori significativi di riporti antropici poggiati al di sopra di essa.

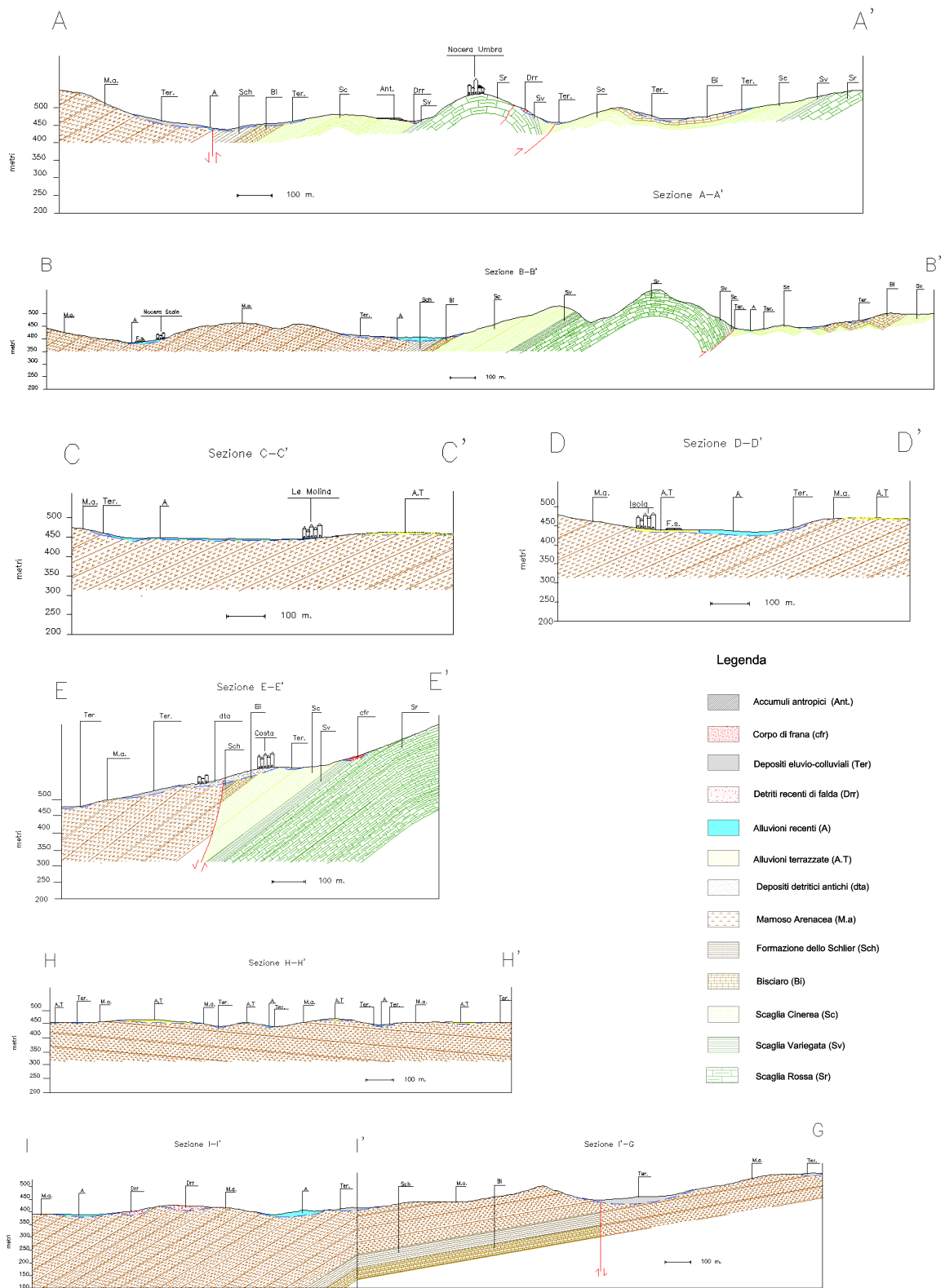


Figura 2.3 - Sezioni geologiche.

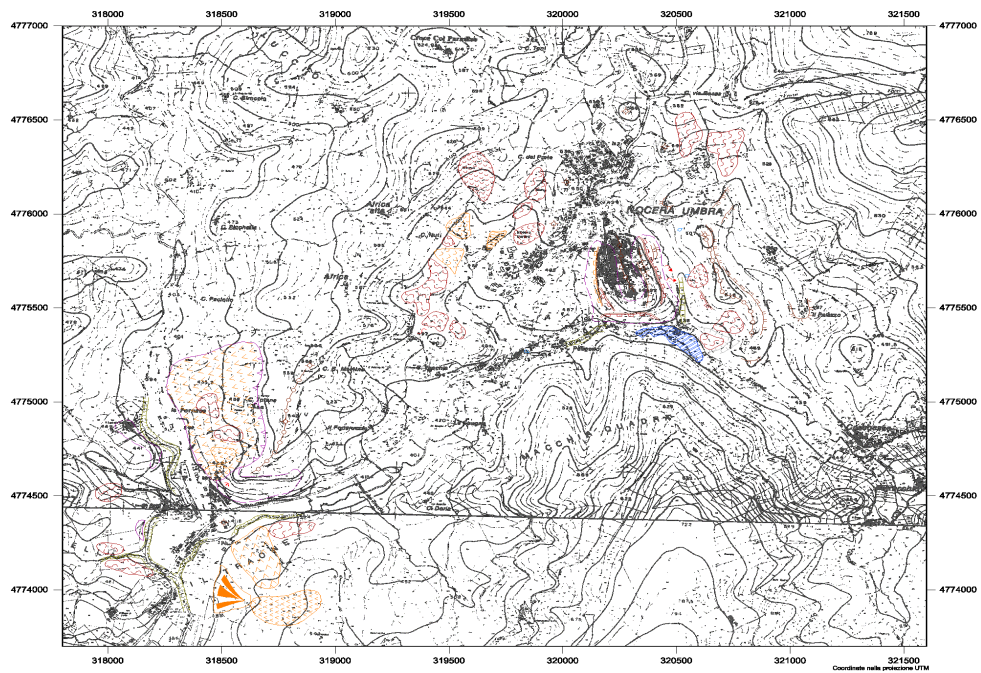


Figura 2.4 - Carta Geomorfologica per la zona di Nocera Umbra e Nocera scalo (legenda a pag. 86).

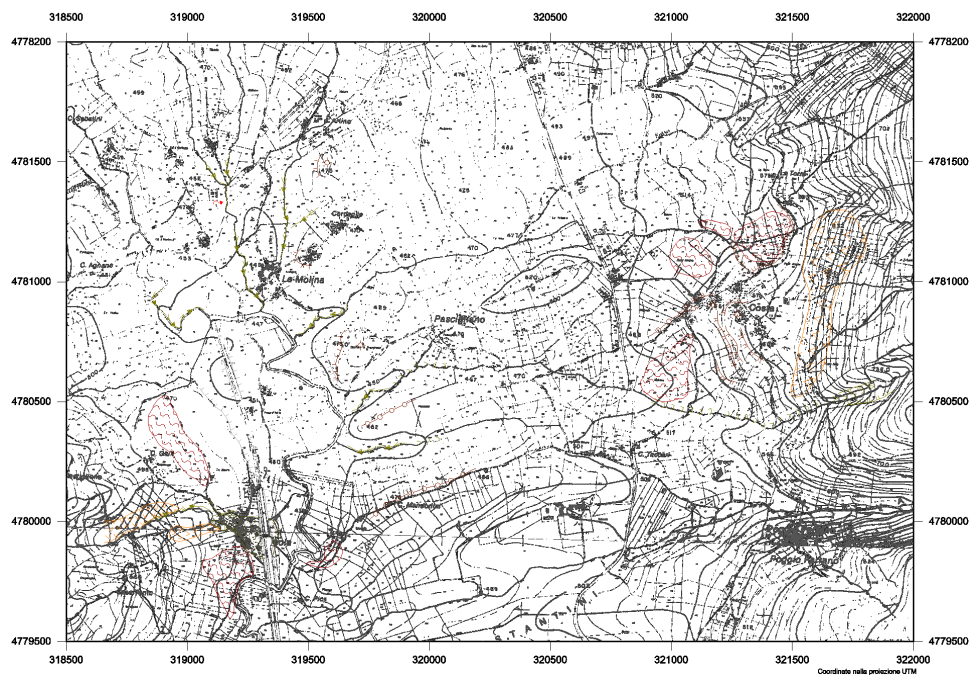


Figura 2.5 - Carta Geomorfologica per la zona comprendente le frazioni di Le Molina e Costa (legenda a pag. 86).

Legenda			
ELEMENTI GEOMORFOLOGICI			
attivi	quiescenti	non attivi	
			Dorsale stretta ed allungata
			Picco isolato e/o cocuzzolo
			Orlo di scarpata poligenica (a <5m; b 5-10m; c >10m)
			Orlo di scarpata poligenica interessata da oroli o caduta di detrito (a <5m; b 5-10m; c >10m)
			Corona di frana
			Accumulo di frana: colata
			Accumulo di frana: scorrimento
			Area con acclività $\geq 40\%$ (21.8°) a copertura eterogenea detritica o ad ammasso roccioso con giacitura sfavorevole degli strati e/o intensa fratturazione
			Deformazioni plastiche
			Falda detritica
			Cono detritico
			Orlo di scarpata fluviale (a <5m; b 5-10m; c >10m)
			Conoide alluvionale
			Orlo di scarpata artificiale (a <5m; b 5-10m; c >10m)
ALTRI ELEMENTI GEOMORFOLOGICI			
attivi	quiescenti	non attivi	
			Frana non cartografabile
			Replezione
			Fosso di erosione concentrata
			Vallecchia (a- fondo concavo; b- a V; c- a fondo piatto)
			Canale artificiale
			Area esondabile
			Manifestazione sorgentizia

Per quanto attiene invece all'abitato di Le Molina, si consideri che la propaggine occidentale dell'insediamento si trova nella piana alluvionale del T. Caldognola e che, sebbene al sito del sondaggio S2 sia stato riscontrato uno spessore del deposito alluvionale recente praticamente nullo, non è da escludere, sulla base di dati raccolti in altre parti della piana alluvionale recente del F. Caldognola, che gli spessori possano variare lateralmente in maniera repentina raggiungendo valori sino a 10 metri. La restante parte dell'abitato poggia direttamente sulla formazione Marnoso - arenacea e sui depositi alluvionali terrazzati.

2.3 Assetto geomorfologico

Alla complessa articolazione geologico - strutturale dell'area è di riscontro un quadro geomorfologico e della rete idrografica anch'esso complesso, frutto in parte della recente evoluzione tettonica.

Zona di Nocera Umbra - Nocera scalo

La collina del centro storico di Nocera Umbra è caratterizzata dalla presenza sul versante orientale, occidentale e meridionale da pendii piuttosto acclivi con presenza di scarpate di varia origine di cui in particolare quelle sul versante meridionale, in cui era ubicata una cava, sono soggette a crollo di massi.

Le zone poste rispettivamente ad est ed ovest della collina, laddove risultano presenti depositi eluviali e colluviali e le formazioni della Scaglia cinerea, del Bisciario e dello Schlier e più limitatamente quelle della Marnoso -arenacea, sono stati riconosciuti movimenti di versante per colamento e deformazioni plastiche superficiali con vario grado di attività. La zona del cimitero di Nocera Umbra in occasione del terremoto del settembre 1997 è stata sede della riattivazione di un preesistente movimento di frana. Diversamente, sui versanti limitrofi all'area di Nocera scalo in cui risulta in affioramento la formazione Marnoso - arenacea, sono stati riconosciuti movimenti di versante per scorrimento particolarmente lungo i pendii in cui la giacitura degli strati risulta a franapoggio. In occasione del terremoto del 1997 non sono state segnalate riattivazioni dei suddetti, ma nel successivo periodo invernale si è avuto modo di registrare l'accadimento di alcuni modesti movimenti per scorrimento traslativo. Localmente, anche in quest'area, la copertura superficiale della formazione è soggetta a deformazioni plastiche superficiali.

Zona di Isola - Le Molina e La Costa

Il centro abitato di La Costa risulta attraversato da alcune scarpate ritenute in parte scarpate di faglia; all'intorno dell'abitato le coltri eluviali e colluviali, anche in questo caso poggianti sulle formazioni dalla Scaglia cinerea alla Marnoso - arenacea, mostrano chiari indizi di deformazioni plastiche superficiali. Ad ovest della frazione, lungo un versante piuttosto acclive, è presente inoltre un'area in cui, soprattutto sulla base degli assetti geologici, è stata ipotizzata la presenza di un movimento di versante classificato allo stato attuale come scorrimento ma la cui interpretazione necessita ulteriori indagini ed approfondimenti.

Anche nella zona ad ovest dell'abitato di Isola, nella zona di affioramento della formazione Marnoso - arenacea e dei depositi eluviali e colluviali, sono state riconosciute forme attive e quiescenti indicative di deformazioni plastiche della coltre superficiale e di movimenti di versante del tipo scorrimenti.

3.0 CARATTERISTICHE GEOLOGICO - TECNICHE

L'analisi delle caratteristiche geologico - tecniche delle formazioni e dei depositi presenti nell'area si è avvalsa di:

- 1) rilievi geomeccanici originalmente eseguiti su fronti naturali, di cava ed in alcuni scantinati all'interno del centro storico di Nocera Umbra;
- 2) raccolta ed interpretazione di dati relativi a prove in sito e a prove di laboratorio condotte per conto di alcuni Enti e Società sia precedentemente sia successivamente al terremoto del settembre 1997;
- 3) indagini in sito ed indagini di laboratorio condotte nell'ambito degli studi di microzonazione sismica.

Nelle successive righe è riportata una breve sintesi del complesso di questi dati, organizzati secondo le suddivisioni in formazioni e tipologia di depositi esposte nell'inquadramento geologico e geomorfologico. I dati numerici da cui tale sintesi è stata tratta sono contenuti in un data-base.

Sulla base dei caratteri macroscopici di queste formazioni e depositi riportati nell'inquadramento geologico e geomorfologico, le formazioni della Scaglia Rossa, della Scaglia variegata, della Scaglia cinerea, del Bisciario, dello Schlier e della Marnoso - Arenacea possono essere considerate rocce e rocce strutturalmente complesse la cui complessità deriva dalla presenza di alternanze di strati a differente litologia e di un reticolo di discontinuità. Diversamente, le alluvioni terrazzate, quelle recenti ed attuali, i depositi eluviali e colluviali e le coltri di alterazione delle formazioni dalla Scaglia cinerea alla Marnoso - arenacea, i detriti di versante recenti ed attuali ed in alcuni casi anche quelli antichi possono essere considerati come "terre".

Scaglia rossa

L'applicazione della Classificazione Geomeccanica di Bieniawski (RMR, Rock Mass Rating), eseguita sulla base dei rilievi geomeccanici condotti sulla collina di Nocera Umbra, descrive questa formazione tra le classi IV (Roccia scadente) e III (Roccia discreta). Si constata tuttavia che localmente, in prossimità delle discontinuità tettoniche principali segnalate sulla carta, la qualità della roccia è molto scadente.

Il valore di RQD (Rock Quality Designation) ricavato da alcune carote di sondaggio è compreso tra il 14% e il 35% (Roccia molto scadente e Roccia scadente). La resistenza a compressione semplice della roccia intatta è dell'ordine di 150 MPa, mentre lungo le fratture di 65 MPa.

Scaglia variegata

I rilievi geomeccanici eseguiti su due affioramenti indicano anche per questa formazione la presenza di uno stato di fratturazione che, dai dati a disposizione, può essere sintetizzato da un valore di RQD minore del 60% (Roccia Discreta). La

resistenza a compressione semplice lungo le fratture è di circa 70 MPa, mentre quella della roccia intatta non è determinabile.

Scaglia cinerea

Non si hanno dati puntuali a disposizione. La presenza di una significativa componente marnosa nonché l'intenso stato di tettonizzazione dimostrato dalla presenza diffusa di clivaggio danno luogo ad un disfacimento superficiale della formazione a cui è possibile associare qualitativamente uno scadimento delle caratteristiche meccaniche con progressivo recupero in profondità.

Bisciario

I rilievi geomeccanici eseguiti su due affioramenti e le osservazioni macroscopiche testimoniano da un lato lo stato di fratturazione della roccia ($RQD < 75\%$, Roccia discreta), dall'altro, vista anche la componente marnosa, la presenza di una coltre di alterazione. La resistenza a compressione della roccia intatta è dell'ordine di 160 MPa (valore riferito agli strati calcareo - marnosi), mentre lungo le fratture è di circa 90 MPa. A riguardo della coltre di alterazione di questa formazione un unico dato penetrometrico (N_{spt}) riferito all'area del cimitero fornisce un valore N_2+N_3 pari a 36 (stato di consistenza "duro").

Schlier

La prevalente componente marnosa e l'intenso stato di tettonizzazione producono anche per questa formazione un accentuato disfacimento superficiale. Le analisi di laboratorio su alcuni campioni della parte alterata mostrano una composizione granulometrica prevalentemente limoso - argillosa con scarse quantità di sabbia ed una plasticità bassa; un valore rappresentativi della c_u ricavato da prove eseguite sulle carote di sondaggio fornisce un valore di 170 kPa.

Marnoso - arenacea

Questa formazione può presentarsi alterata, fratturata e compatta (RQD compreso tra 21 e 45%, qualità "scadente"). I dati a disposizione mostrano un contenuto d'acqua inferiore al 10% con escursioni significative soprattutto nella parte alterata ed un peso dell'unità di volume naturale compreso tra 22 e 23 kN/m^3 . Per questa formazione è documentata, similmente a quella del Bisciario, Scaglia cinerea e soprattutto Schlier, la presenza di una fascia di alterazione ("marna alterata") la cui resistenza alla penetrazione da prove SPT risulta avere un valore medio di 60 (stato di consistenza "duro"), valore questo che potrebbe rispecchiare l'essiccamento che la parte più superficiale subisce nel semestre estivo.

Alluvioni terrazzate

Laddove questi depositi sono prevalentemente limoso-argillosi è stata riscontrata una plasticità da bassa ad alta, una consistenza solido-plastica, una umidità superiore al 20%, un peso dell'unità di volume naturale di circa 19.5 kN/m^3 , valori di c_u compresi tra 80 e 170 kPa e resistenza alla penetrazione tipica di

uno stato di consistenza “duro” ($N_{spt} = 45$), probabilmente anche questo effetto di essiccamento superficiale.

Non si hanno dati significativi a riguardo delle alluvioni terrazzate costituite prevalentemente da ciottoli e ghiaie immersi in matrice limoso - sabbiosa, qual è il caso, ad esempio, dei depositi di conoide sui quali è parzialmente edificato l'abitato di Isola.

Alluvioni recenti

Le alluvioni recenti del T. Caldognola e del F. Topino risultano essere prevalentemente argilloso - limose, sabbiose e subordinatamente ghiaiose. Per quanto riguarda le prime, che caratterizzano la zona di Isola e, con le precisazioni esposte nell'inquadramento geologico, anche la zona di le Molina, esse risultano avere uno stato di normal - consolidazione o di sovraconsolidazione per effetto di essiccamento; lo stato di consistenza determinato da prove SPT è da compatto a molto compatto (peso dell'unità di volume naturale circa 19.2 kN/m^3), mentre i valori di IC sono tipici di consistenza solido - plastica. La c_u è dell'ordine di 30 - 50 kPa.

Di particolare significato è la presenza di alluvioni prevalentemente sabbiose lungo il corso del F. Topino, nel tratto tra Nocera e Nocera scalo. Infatti, all'interno di un deposito alluvionale di spessore massimo che varia tra 13 m e 20 m, i valori di N_{spt} sino ad almeno 5 m di profondità dal p.c. sono risultati dimostrativi di una sabbia sciolta.

Depositi eluviali e colluviali

Le coperture eluviali e colluviali riscontrate nell'area sono risultate essere costituite da una matrice argilloso-limosa a cui in alcuni siti si aggiunge pezzame lapideo disperso. Lo stato di consistenza determinato da prove SPT è “duro”; i valori di c_u variano tra 50 e 130 kPa circa mentre l'angolo di resistenza al taglio in condizioni di picco è pari a circa 14° con coesione espressa in termini di pressioni efficaci estremamente ridotta.

Di particolare significato è la presenza di questi depositi in prossimità dell'accelerometro ENEL all'interno dell'impianto in cui è localizzato anche il cimitero di Nocera Umbra; qui lo spessore di questi depositi può raggiungere localmente i 10 metri e i valori di SPT sono significativi di consistenza da compatto a molto compatto (N_{spt} da 13 a 28).

Detriti di versante antichi

Dato di rilievo è costituito dallo spessore di questi nel centro abitato di La Costa, ove essi sono presenti sino a 9.5 m di profondità (ghiaia in matrice limoso-argillosa). L'unico valore di N_{spt} ad essi riferito è di 24 colpi.

Detriti di versante recenti

Questi depositi nei versanti orientale ed occidentale di Nocera Umbra sono costituiti da ghiaia con frazione fine abbondante (probabilmente sottostimata a causa dell'asportazione durante il carotaggio). Lo spessore di questi depositi, a cui localmente si sovrappongono e probabilmente mischiano anche i riporti antropici può

superare i 10 metri; dai dati a disposizione questi materiali risultano avere una densità relativa media.

Detriti di versante recenti si trovano anche in destra idrografica del F. Topino all'altezza di Nocera scalo. Qui, essi si presentano come limi sabbiosi sciolti, talvolta con abbondanti trovanti di arenaria.

Riporti antropici

Sui pendii orientale ed occidentale di Nocera Umbra essi sono chiaramente presenti con spessore che può raggiungere anche 6 metri. Granulometricamente essi risultano costituiti da frazione fine sabbioso-limosa e argillosa con pezzame di varia natura che talvolta raggiunge percentuali anche superiori al 50%. Dai dati delle prove SPT questi risultano essere materiali sciolti.

4.0 CARATTERIZZAZIONE IN CAMPO DINAMICO DEI TERRENI DI ALCUNI SITI DI NOCERA UMBRA

4.1 Siti esaminati

La campagna di prove dinamiche effettuata dal Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Firenze ha interessato alcuni siti, precedentemente esplorati con perforazioni di sondaggio nel gennaio 1998 su commissione della Regione Umbria, e precisamente:

- a) il sito dove è installata la postazione accelerometrica del Servizio Sismico Nazionale (ex – stazione ENEL), in seguito denominato sito 1, posto a circa 25 m dalla suddetta stazione e a circa 600 m dal centro storico; in tale sito è stata collocata, per la registrazione degli aftershocks, la stazione velocimetrica dell'IRRS denominata ENE ed è stato effettuato, nella campagna di perforazioni condotta per conto della Regione Umbria nel gennaio 1998, il sondaggio S1; tale sondaggio, dopo aver attraversato per una profondità di 4 m la coltre eluviale limo-argillosa, ha incontrato la formazione delle marne calcaree, alterate nella parte più superficiale a contatto con la coltre, ed è stato spinto fino alla profondità di 15.5 m;
- b) il sito, posto nella frazione di ISOLA e in seguito denominato sito 2, dove è stata collocata la stazione velocimetrica ISO dell'IRRS per la registrazione degli aftershocks; tale sito era stato esplorato nella suddetta campagna di indagine con i sondaggi S3 ed S4; in tali sondaggi, spinti fino alla profondità di 12.5 m, era stata evidenziata in entrambi i fori la presenza, al di sopra della formazione marnosa di una coltre eluvio-colluviale di differente spessore nei due fori (e precisamente 4.6 m nel sondaggio S3 e 8.5 m nel sondaggio S4).

4.2 Indagini svolte

Nella campagna di sondaggi condotta per conto della Regione Umbria, al termine delle operazioni di perforazione i tre fori S1, S3, S4 erano stati predisposti per l'esecuzione di misure downhole (DH). In tale occasione furono anche prelevati, e inviati al laboratorio Geotecnico dell'Università di Firenze nel luglio 1998, i seguenti campioni:

Sondaggio	Campione	Profondità di estrazione
S3	C1	4.00 – 4.60 m
S4	C1	1.50 – 2.10 m

Le indagini condotte dal Dipartimento di Ingegneria Civile di Firenze per la caratterizzazione del comportamento in campo dinamico dei terreni dei siti 1 e 2 hanno quindi compreso:

- a) Prove in sito per la misura della velocità delle onde sismiche nei tre fori S1, S3 ed S4 con la tecnica DH
- b) Prove in laboratorio:
 - prove di classificazione e determinazione delle proprietà fisiche;
 - N. 1 prova edometrica (EDO);
 - N. 1 prove di colonna risonante (RC).

4.3 Prove in sito

Per la misura della velocità delle onde sismiche con la tecnica DH è stata utilizzata un'apparecchiatura di prova composta da:

- un sistema di trasmissione dell'energia costituito da un profilato UNP200 della lunghezza di 2.50, con piastre saldate all'estremità per l'energizzazione orizzontale, fissato alla superficie libera del terreno mediante un mezzo pesante, e una piastra d'acciaio per l'energizzazione verticale anch'essa a contatto della superficie del suolo;
- un sistema di energizzazione a martello del peso di 5 Kg munito di trasduttore inerziale fungente da trigger;
- un sistema di ricezione composto da due coppie di geofoni triassiali da pozzo modello 1462 della Bison Instruments di diametro pari a 64 mm, con frequenza di risonanza di 8 Hz, distanti fra loro 2 metri e collegati in modo da impedire le rotazioni relative e da mantenere costante l'orientamento relativo;
- un sistema di acquisizione digitale multicanale BISON 5012 a 12 canali in grado di memorizzare in binario su PC i segnali dei trasduttori di velocità e con possibilità di filtrare già in sede di acquisizione dati il segnale registrato in modo da eliminare i disturbi ambientali.

Le registrazioni sismiche ottenute sono state interpretate con i seguenti metodi:

- a) metodo diretto;
- b) metodo delle velocità di intervallo;
- c) metodo di inversione delle velocità (Mok, 1987).

Tali procedure sono state applicate alla misura delle onde S nell'ipotesi, desunta dalla osservazione delle stratigrafie dei sondaggi, di modello di terreno a 6 strati. I risultati ottenuti per il sito 1 e per il sito 2 sono riportati nelle Figure 4.3.1, 4.3.2 e 4.3.3.

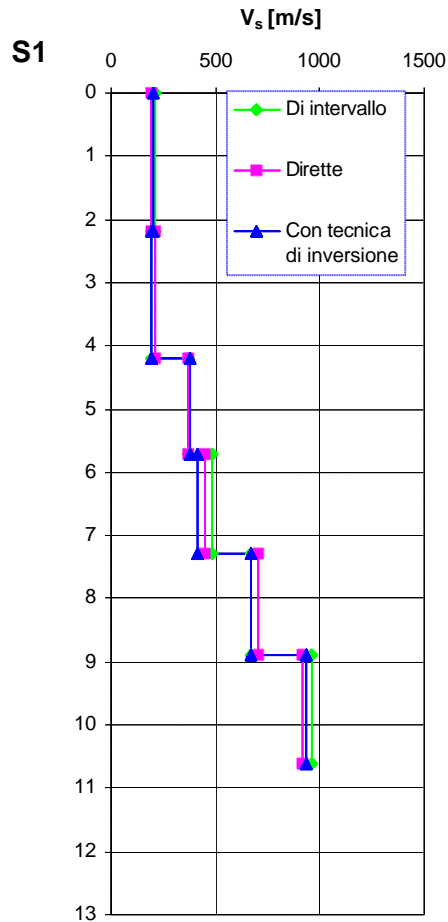


Figura 4.3.1 - Velocità delle onde S nel Sondaggio S1.

Come si può osservare, vi è un evidente contrasto di impedenza fra le coltri eluvio-colluviali e le sottostanti marne intatte, anche se vi è un passaggio graduale dovuto all'alterazione superficiale dei materiali di substrato. In tutti e tre i fori la velocità delle onde S nelle coltri è intorno ai 200 m/s (con valori anche più bassi e pari 170 m/s nel sondaggio S4) mentre quella della formazione marnosa è uguale o superiore ai 900 m/s nella parte non alterata, e superiore a 400 m/s nella parte alterata. Nel sondaggio S4 è da notare la presenza, tra la coltre limo-argillosa e le marne, di uno strato alluvionale recente di ghiaia la cui velocità varia in funzione della profondità fra 300 e 600 m/s.

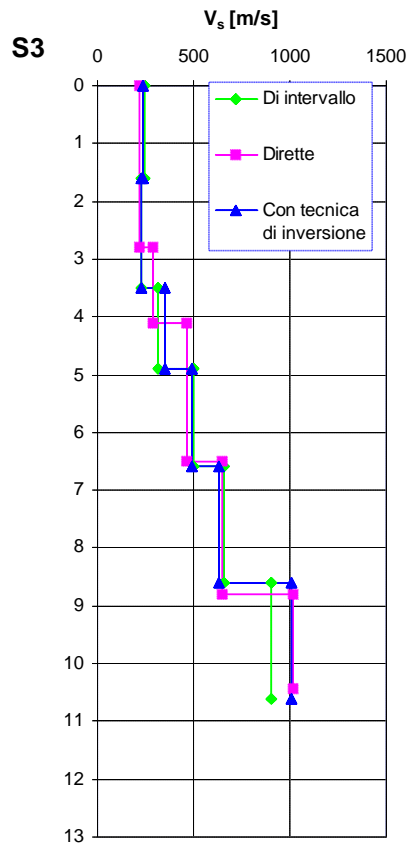


Figura 4.3.2 - Velocità delle onde S nel Sondaggio S3.

4.4 Prove di laboratorio

Dei due campioni indisturbati pervenuti al Laboratorio Geotecnico dell'Università di Firenze quello relativo al sondaggio S4 è apparso il più significativo ai fini della caratterizzazione dei materiali dei terreni alluvionali superficiali con prove dinamiche di laboratorio. Il campione prelevato dal sondaggio S3, prelevato in corrispondenza del contatto con il substrato è risultato inoltre di lunghezza insufficiente per condurre tutte le prove indispensabili per la caratterizzazione geotecnica. Sulla base dei risultati delle prove DH, il campione C1 del sondaggio S4 appare abbastanza rappresentativo anche dei materiali superficiali delle coltri eluvio-colluviali incontrati nei fori di sondaggio S1 ed S3.

I risultati ottenuti sono riportati di seguito.

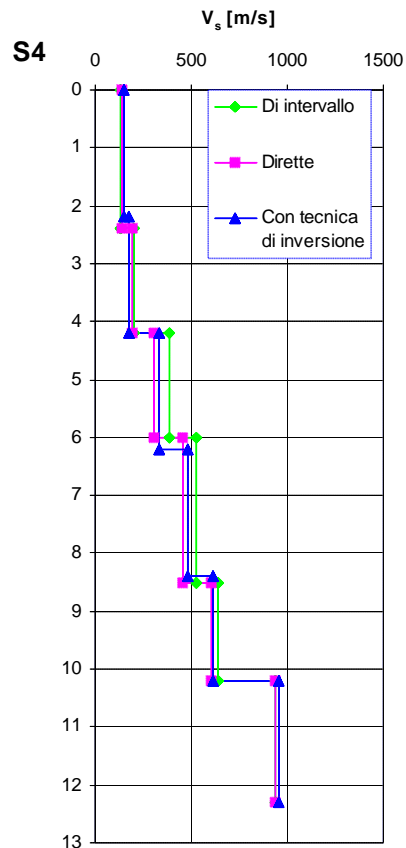


Figura 4.3.3 - Velocità delle onde S nel Sondaggio S4.

4.4.1 Proprietà fisiche

Nella Tabella 4.4.1.1 sono riportati i valori delle proprietà indice e dei parametri fisici che caratterizzano il materiale in esame.

Dalla classificazione U.S.C.S. il materiale risulta appartenente alla classe CL, ossia alle argille inorganiche di media plasticità (vedi Figura 4.4.1.1).

In accordo con la descrizione visiva preliminare, la curva granulometrica evidenzia (vedi Figura 4.4.1.2) la presenza di una percentuale di sabbia.

4.4.2 Proprietà meccaniche in prove statiche

Parametri di resistenza al taglio con tests speditivi

Non essendo possibile, per mancanza di materiale ricavare dei provini per eseguire una prova triassiale o ad espansione laterale libera, i parametri di resistenza al taglio sono stati misurati con tests speditivi con il penetrometro tascabile e con lo scissometro. Nella Tabella 4.4.2.1 sono indicati i valori ottenuti.

Tabella 4.4.1.1: Valori delle proprietà indice e dei parametri fisici.

PROPRIETA'		PROVE STANDARD	EDO	RC	Valori medi
Contenuto naturale in acqua	w [%]	24.8 parte alta 22.2 parte bassa	20.7	21.51	22.30
Peso di volume	γ [kN/m ³]	20.20	20.20	20.68	20.36
Peso specifico dei costituenti solidi	γ_s [kN/m ³]	26.71	-	27.23	26.97
Indice dei vuoti	e_o	-	0.575	0.585	0.58
Limiti di Atterberg	w_L [%]	38	-	-	38
	w_p [%]	20	-	-	20
	I_p [%]	18	-	-	18
Composizione granulometrica	Sabbia [%]	32	-	-	32
	Limo e argilla [%]	68	53.2	-	68

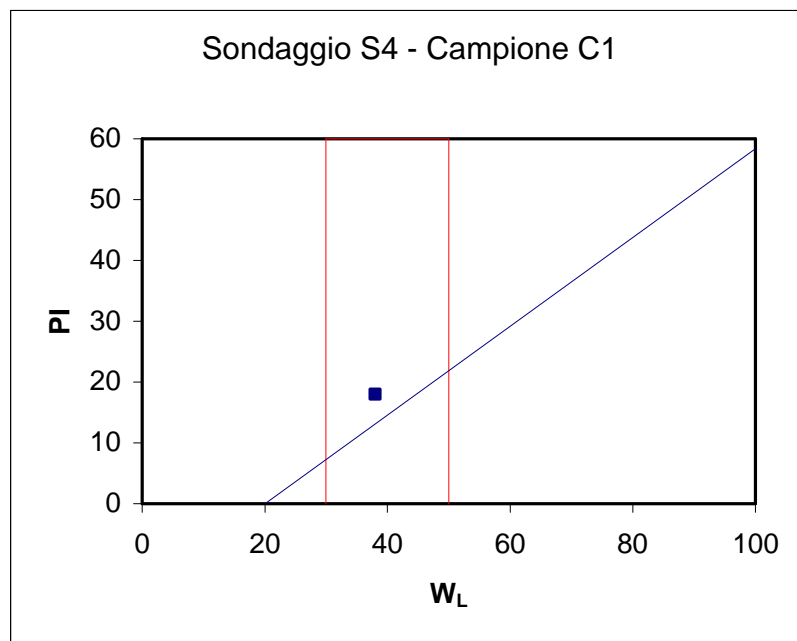


Figura 4.4.1.1 - Carta di plasticità di Casagrande.

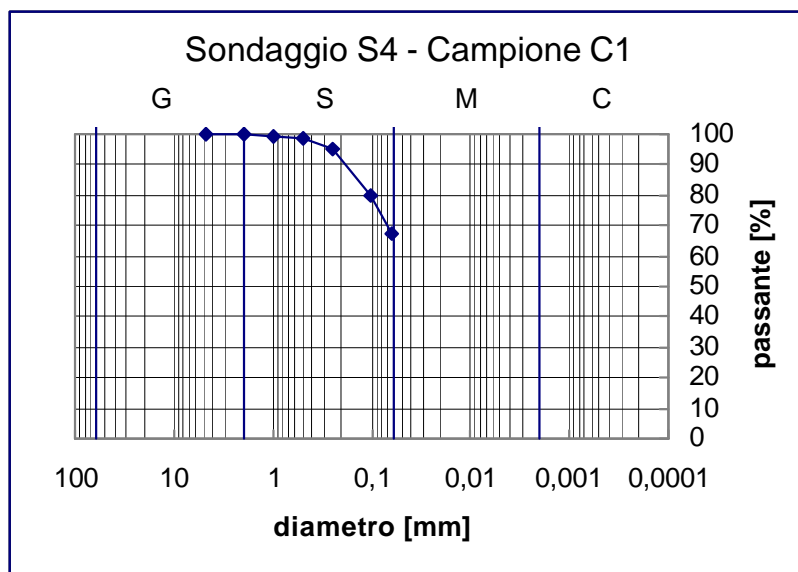


Figura 4.4.1.2 - Curva granulometrica.

Tabella 4.4.2.1: Valori della resistenza al taglio da tests speditivi.

Penetrometro tascabile	P.P [kPa]	80 parte alta 70 parte bassa
Scissometro tascabile	T.V. [kPa]	45 parte alta 25 parte bassa

Parametri di deformabilità

La prova edometrica è stata condotta con 15 gradini di carico, a rapporto incrementale pari a 1, ciascuno della durata di un giorno, ad eccezione del 4° che è durato 3 giorni e del 1° che è durato 2 giorni. Il programma di carico ha previsto un ciclo di scarico ricarico alla tensione verticale efficace σ_v' di 396 kPa. La curva ottenuta è riportata in Fig. 4.4.2.1 e sono stati determinati i parametri che definiscono le caratteristiche di deformabilità del terreno riportati in Tabella 4.4.2.2

Tabella 4.4.2.2: Parametri di deformabilità e pressione di preconsolidazione.

C_r	C_c	σ'_p [kPa]
0.022	0.21	140

C_r Indice di Ricomprensione

C_c Indice di Compressione

σ'_p Pressione di preconsolidazione

Come si può notare, la curva sperimentale di compressione edometrica non rivela in maniera evidente il passaggio dal tratto di ricomprensione a quello di compressione vergine; ciò è essenzialmente dovuto alla qualità del campione che presenta inevitabilmente un certo grado di disturbo. Dalla difficoltà di individuare con precisione il punto di ginocchio consegue un'incertezza nella stima del valore della pressione di preconsolidazione, che si può ritenere intorno 140 kPa. A questo valore corrisponde, alla profondità di estrazione del campione, un valore del grado di sovraconsolidazione pari a 4.3 in base al quale è possibile affermare che il materiale in esame risulta sovraconsolidato.

4.4.3 Proprietà meccaniche in prove dinamiche

Le prove dinamiche e cicliche eseguite sul campione con l'apparecchio di colonna risonante sono state finalizzate alla determinazione del modulo di taglio iniziale G_0 e delle leggi di variazione della rigidezza e del rapporto di smorzamento D con l'ampiezza della deformazione di taglio γ , rispettivamente $G(\gamma)$ e $D(\gamma)$.

La prova è stata eseguita con l'apparecchio di Stokoe di tipo fixed-free, con modalità MSCT (Multistage consolidation test) in modo da ricavare due valori diversi del modulo di taglio iniziale G_0 in corrispondenza di due diversi valori della pressione efficace di consolidazione (0.035 MPa, 0.070 MPa).

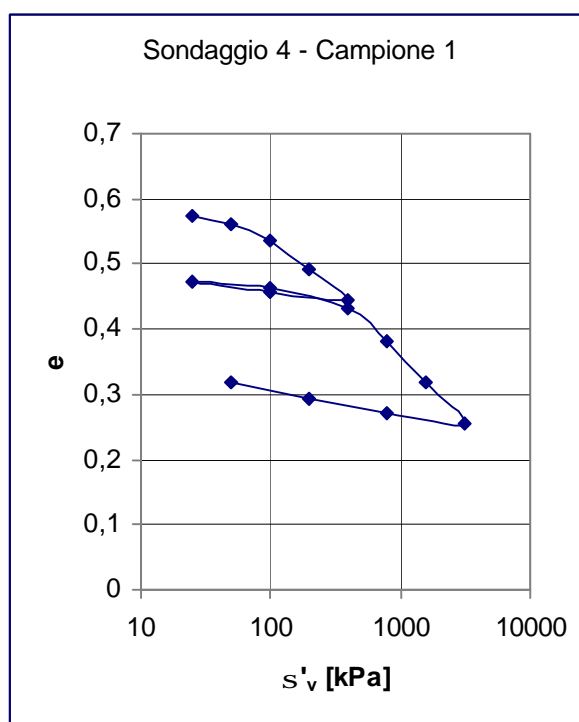


Figura 4.4.2.1 - Curva di compressione edometrica.

I risultati delle prove sono di seguito singolarmente illustrati.

Modulo di taglio

MODULO DI TAGLIO INIZIALE G_0

Nella Tabella 4.4.3.1 sono indicati i valori di G_0 determinati sperimentalmente.

Tabella 4.4.3.1: Valori sperimentali di G_0

σ'_0 [kPa]	G_0 [MPa]
0.035	45.4
0.070	66.0

CURVA DI DECADIMENTO: $\frac{G}{G_0}(g)$

Nel grafico di Figura 4.4.3.1 sono riportati i valori del modulo di taglio equivalente in funzione dell'ampiezza della deformazione a taglio γ . L'intervallo di deformazione indagato è compreso tra valori dell'ordine di 10^{-4} % e 10^{-1} %. I valori ottenuti per le soglie lineare e volumetrica sono i seguenti:

- γ_l [%] = 0.002
- γ_v [%] = 0.02

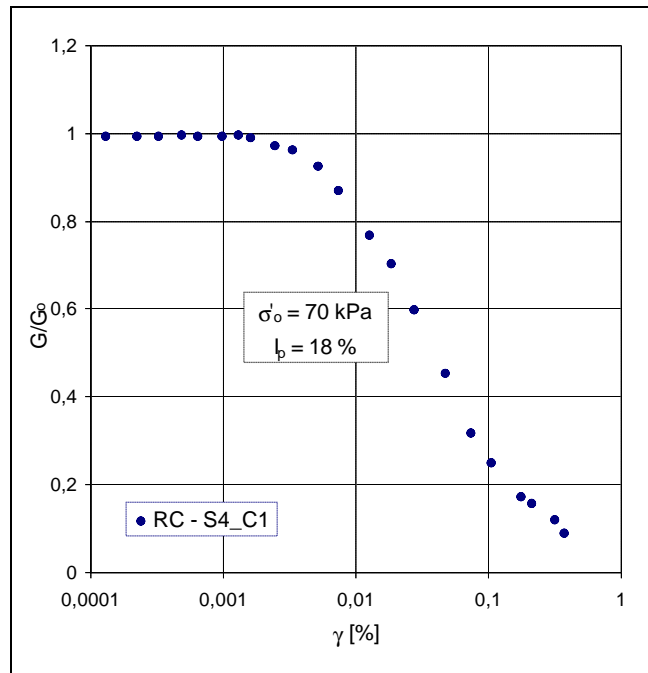


Figura 4.4.3.1 - Valori sperimentali del modulo di taglio G in funzione del livello di deformazione g

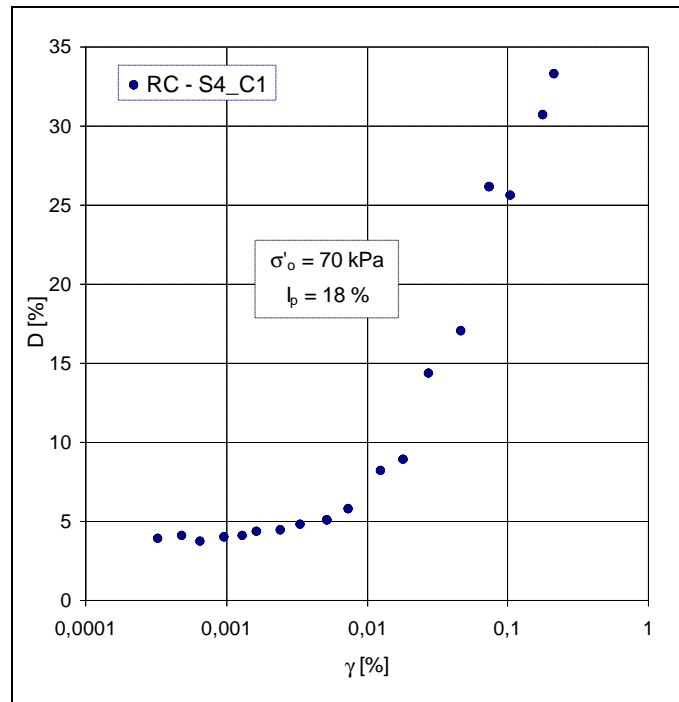


Figura 4.4.3.2 - Valori sperimentali del rapporto di smorzamento in funzione del livello deformativo.

RAPPORTO DI SMORZAMENTO D

Il rapporto di smorzamento è stato determinato con il metodo dell'incremento logaritmico (Amplitud Decay Method).

L'andamento del rapporto di smorzamento in funzione dell'ampiezza della deformazione a taglio γ è riportato in Figura 4.4.3.2, dalla quale è possibile inoltre osservare che il rapporto di smorzamento iniziale (fino a deformazioni dell'ordine dello 0,001%) è pari a circa il 4% .

4.5 Sintesi dei risultati

Dalle misure sperimentali condotte in sito e in laboratorio si possono dedurre le seguenti conclusioni:

1. i materiali limo-argillosi che costituiscono la parte più superficiale delle alluvioni, sia antiche che recenti, hanno velocità delle onde S intorno a valori di 200 m/s, mentre gli strati ghiaiosi inferiori presentano valori superiori, compresi fra 300 e 600 m/s;
2. le velocità delle onde S nelle formazioni marnose sono superiori a quelli della coltre eluvio-colluviale e variabili in rapporto al grado di alterazione

(a sua volta variabile con la profondità), con valori che passano da 400 m/s a 900 m/s;

3. il materiale esaminato in laboratorio, classificabile come CL secondo la classifica USCS, di media consistenza, sovraconsolidato, mediamente deformabile, presenta valori di G_0 , e quindi di V_S , congruenti con i valori delle velocità misurati in sito (tenendo conto che i valori di V_S misurati in sito e quelli ottenuti in laboratorio presentano rapporti variabili tra 1.5 e 2.5, che concordano pienamente con i valori incontrati in letteratura). Il suo comportamento osservato in prove dinamiche e cicliche evidenzia una soglia lineare e una soglia volumetrica comparabili con quella di argille sovraconsolidate (vedi Figura 4.5.1), e un decadimento del modulo di taglio, G , con l'ampiezza della deformazione di taglio, che sebbene più graduale che in altre argille, lascia supporre che, in presenza di carichi sismici elevati si possa passare in modo rapido dal regime elastico al regime non lineare.

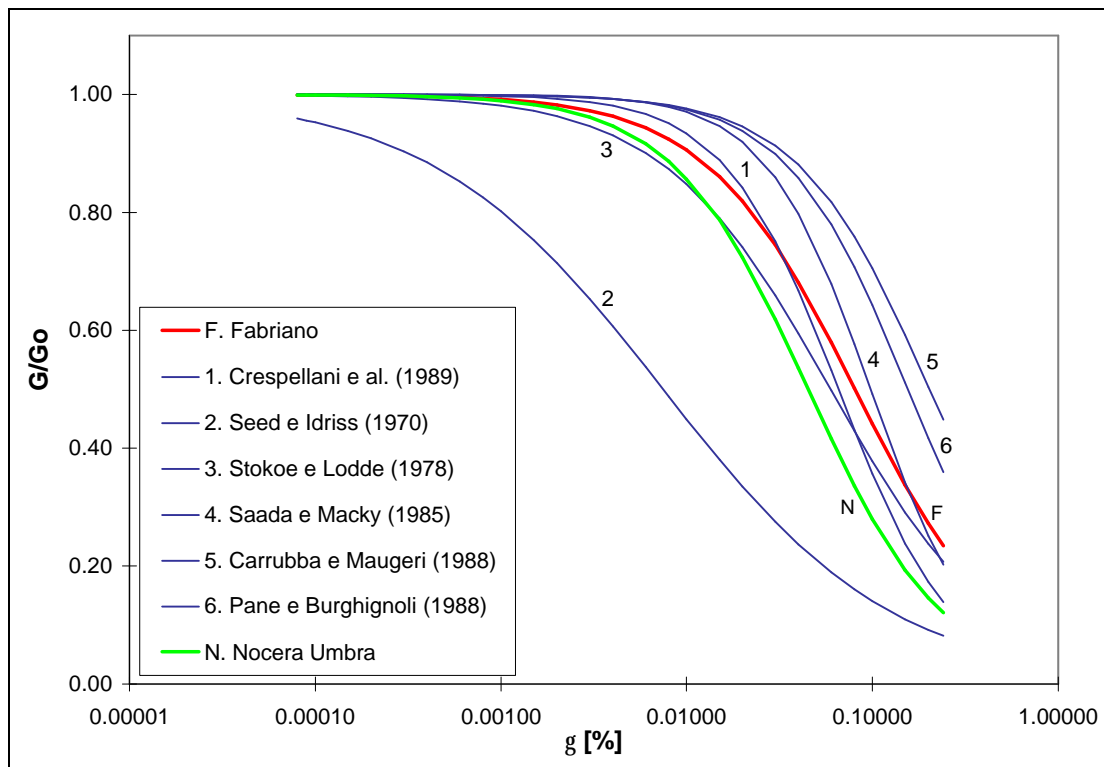


Figura 4.5.1 - Confronto fra curve di decadimento del modulo di taglio con il livello deformativo ottenute da diversi Autori.

5.0 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEI TERRENI SUPERFICIALI

Modelli sismo-stratigrafici sono stati ottenuti in alcuni siti di Nocera Umbra e 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.

I siti analizzati sono i seguenti:

COMUNE	LOCALITA'	NUMERO SONDAGGIO
Nocera Umbra	Cimitero-Staz. Accel. SSN	S1
Nocera Umbra	Le Molina	S2
Nocera Umbra	Isola	S3
Nocera Umbra	Isola	S4

I sondaggi sono stati effettuati per la microzonazione di Nocera Umbra nella campagna 1998.

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. E' 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. L'insieme dei modelli per i quali queste differenze sono comprese entro gli errori di misura costituisce la soluzione del problema

Sono state effettuate inoltre 2 prove sismiche in foro down-hole.

Misure sismiche sono state effettuate nelle località Isola, Le Molina e nei pressi del cimitero, dove è stata posizionata la stazione accelerometrica ENEL-SSN.

Le misure sismiche sono state effettuate nelle vicinanze di sondaggi geognostici, allestiti anche per prove down-hole.

Nel territorio comunale di Nocera Umbra si presentano due distinte situazioni geologiche: quella del centro storico, fondato su uno sperone di calcari marnosi piegati, fittamente stratificati e fratturati (appartenenti alla formazione della “Scaglia rossa”) e quella degli abitati di Isola e Le Molina, situate lungo il fondovalle del Torrente Caldognola, poste, nel caso di Isola, al contatto tra una conoide e le alluvioni terrazzate e, nel caso di Le Molina, al contatto tra le alluvioni recenti e la formazione Marnoso - Arenacea.

Tabella 5.1.1: Dispersione media ed incertezza per analisi sito S1.

Periodo (s)	Velocità di gruppo (km/s)	Errore (km/s)
0.04	0.15	0.04
0.05	0.15	0.04
0.06	0.16	0.03
0.07	0.16	0.04
0.08	0.17	0.04
0.09	0.18	0.04
0.10	0.19	0.04
0.11	0.21	0.05
0.12	0.23	0.05
0.13	0.25	0.06
0.14	0.28	0.06

5.1 Risultati al sito S1

Stendimenti sismici sono stati effettuati a distanza di qualche metro dal sondaggio, verso il cimitero. I risultati dell’analisi FTAN su vari segnali di questo sito, presentano dispersioni molto simili nello stesso intervallo di periodi. La dispersione media e l’incertezza sono riassunte nella Tabella 5.1.1.

A partire da questi valori di dispersione si sono potuti invertire i primi 10 metri di profondità. Sono state fissate le interfacce geologiche, note dal sondaggio e sono state variate le velocità delle onde S. Le soluzioni ottenute dall’inversione Hedgehog sono caratterizzate da un primo strato, spesso 2 metri, con una velocità delle onde di taglio tra 120 e 200m/s, e da un secondo strato, di 8 m di spessore, con velocità crescenti da 200m/s a 450m/s. Il profilo di velocità con la profondità ottenuto dall’inversione della curva di dispersione SASW è in buon accordo con le soluzioni ottenute dall’inversione della curva di dispersione delle velocità di gruppo FTAN (Figura 5.1.1).

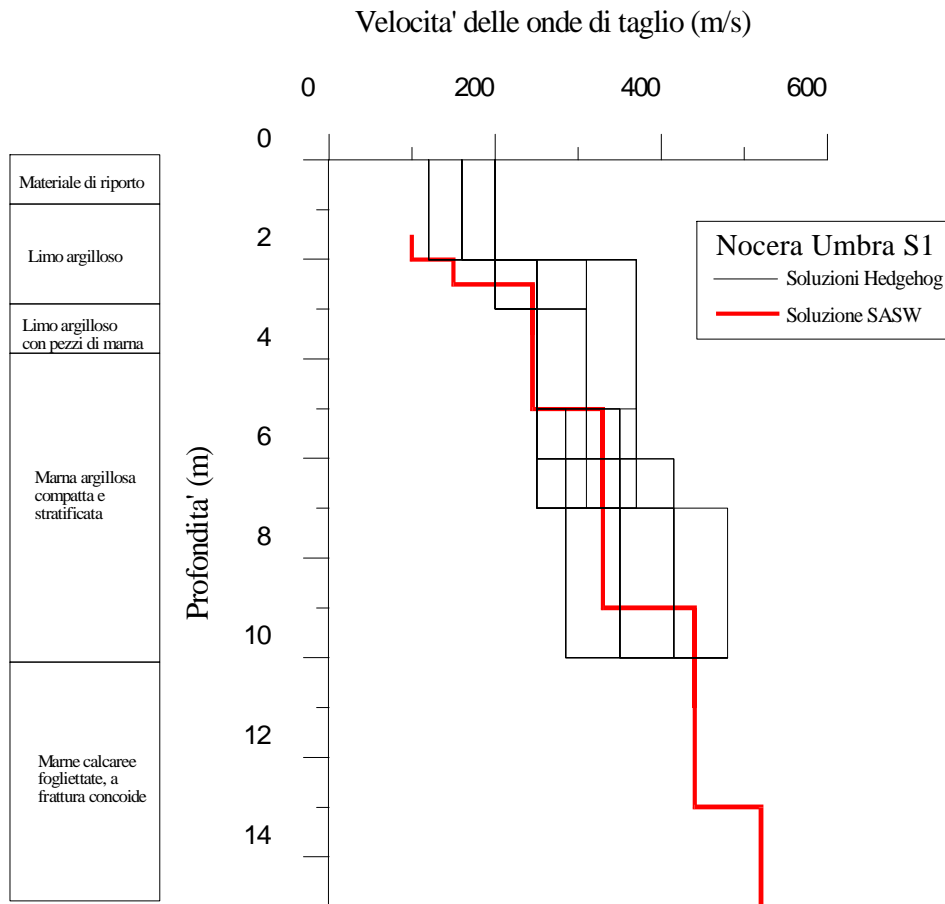


Figura 5.1.1 - Confronto tra i modelli Hedgehog ottenuti dall'inversione della curva di dispersione media delle velocità di gruppo (FTAN) ed il modello ottenuto dall'inversione della curva di dispersione media delle velocità di fase (SASW).

5.2 Risultati al sito S2

Misure down-hole sono state eseguite nel sondaggio S2 la cui profondità è di 10 m dal piano campagna (Figura 5.2.1). L'intervallo di profondità di indagine, per l'esecuzione delle misure, va da 1.64 a 10 metri. La sorgente è stata collocata a 2 metri dall'asse del perforo.

I tempi di arrivo delle onde P e S sono stati verticalizzati e graficati per costruire le dromocrone. Dalla dromocrona delle onde longitudinali sono stati individuati 2 sismostrati, le cui velocità sono: per il primo strato 520 m/s, fino a una profondità di 1.64 metri dove si rinviene l'argilla limosa compatta; per il secondo 920 m/s, da 1.64 metri a 8 metri tra l'argilla limosa compatta e la marna grigio scuro compatta, con livelli a componenti limoso-sabbiosa più rilevante. Dalla dromocrona

delle onde trasversali invece sono stati individuati tre sismostrati, le cui velocità risultano essere: per il primo strato 195m/s, fino a 2.64 metri tra l'argilla limosa e la marna grigio scuro; per il secondo 295m/s, da 2.64 a 6 metri; per il terzo e ultimo 430m/s, da 6 a 10 metri. Il secondo e il terzo sismostrato caratterizzano la marna grigio scuro. I tempi di arrivo delle onde P ed S sono stati anche invertiti per un modello a strati piano-paralleli. I modelli ottenuti dall'inversione sono in ottimo accordo con quelli dedotti dalle pendenze delle dromocroni (Figura 5.2.1).

I risultati dell'analisi FTAN su vari segnali di questo sito, presentano dispersioni molto simili nello stesso intervallo di periodi, la dispersione media e l'incertezza sono riassunte di seguito:

Periodo (s)	Velocità di gruppo (km/s)	Errore (km/s)
0.03	0.16	0.04
0.04	0.16	0.04
0.05	0.17	0.03
0.06	0.18	0.03
0.07	0.20	0.04
0.08	0.23	0.04
0.09	0.25	0.04
0.10	0.26	0.05
0.11	0.28	0.05
0.12	0.29	0.06
0.13	0.31	0.07
0.14	0.31	0.07
0.15	0.32	0.06
0.17	0.33	0.06

A partire da questi valori di dispersione si sono potuti invertire i primi 10 metri di profondità. Sono state fissate le interfacce geologiche, note dal sondaggio, sono state variate le velocità delle onde S dei primi 3 strati e il rapporto tra velocità delle onde P e delle onde S è stato fissato a 3, come noto dal down-hole.

Il primo strato costituito da argilla limosa e profondo 3 metri è risultato possedere una velocità delle onde di taglio tra 190 e 220m/s, il secondo strato, di 3 m di spessore e composto da marna compatta, presenta una velocità delle onde S tra 250 e 310m/s, mentre il terzo strato, spesso 4 m e geologicamente simile al precedente, tra 350 e 400m/s.

Le soluzioni Hedgehog sono in ottimo accordo con il profilo Vs del down-hole e in buon accordo con il modello ottenuto dall'inversione SASW (Figura 5.2.1).

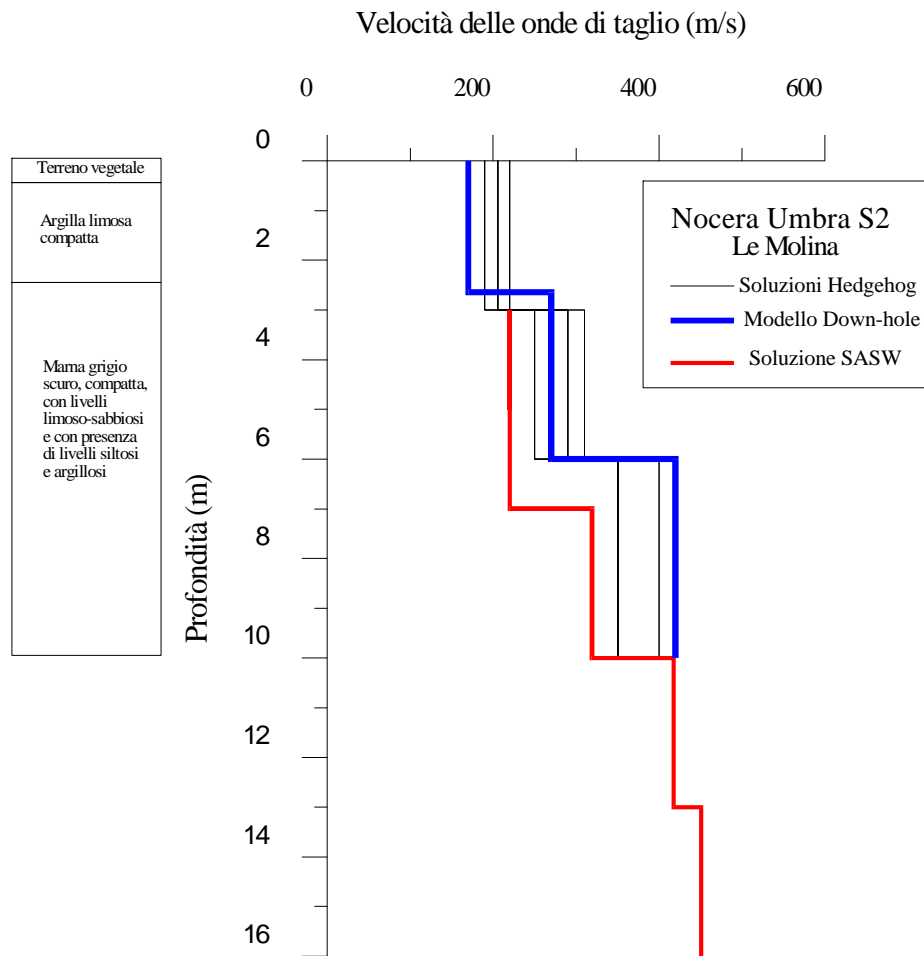


Figura 5.2.1 - Confronto tra i modelli Hedgehog ottenuti dall'inversione della curva di dispersione media delle velocità di gruppo (FTAN), il modello ottenuto dall'inversione dei tempi di arrivo delle fasi S nella prova down-hole ed il modello ottenuto dall'inversione della curva di dispersione media delle velocità di fase (SASW).

5.3 Risultati al sito S3

Stendimenti sismici sono stati effettuati sui depositi di conoide, per uno spessore di circa 10m, dell'abitato di Isola. Il sondaggio è situato alla base di detti prodotti.

La dispersione media e l'incertezza dell'analisi FTAN sono riassunte di seguito:

Periodo (s)	Velocità di gruppo (km/s)	Errore (km/s)
0.03	0.170	0.014
0.04	0.172	0.010
0.05	0.17	0.03
0.06	0.17	0.04
0.07	0.16	0.04
0.08	0.16	0.03
0.09	0.16	0.03

A partire da questi valori di dispersione si sono potuti invertire i primi 12 metri di profondità (Figura 5.3.1). Sugli stessi segnali è stata effettuata anche l'analisi SASW e il modello risultante è in buon accordo con le soluzioni Hedgehog. Gli ultimi 2-3m sono probabilmente costituiti da marne argillose.

5.4 Risultati al sito S4

Misure down-hole sono state eseguite nel sondaggio S4 Ponte Ferroviario la cui profondità dal piano campagna è di 13 m.

Dai tempi di arrivo verticalizzati delle onde P e S sono state costruite le dromocrone che hanno reso possibile il calcolo delle velocità di propagazione delle onde P ed S. Risultano due sismostrati. Il primo strato, comprendente limi argillosi ed argilla limosa, ha una velocità V_p di 405 m/s fino a una profondità di 4 metri; il secondo strato, costituito da ghiaia grossolana e da marna di colore grigio scuro, ha una velocità V_p di 1410 m/s, da 4 a 12 metri. Dalle informazioni del sondaggio risulta che a una profondità di 5 metri si trova la falda acquifera, la cui presenza è confermata dalle velocità delle onde P, confinata nell'orizzonte ghiaioso e limitata verso il basso dal substrato impermeabile, costituito dalla formazione Marnoso - Arenacea.

Dalla dromocrona delle onde S il primo strato ha una velocità di 145m/s fino a 4 metri, il secondo 290m/s da 4 a 13 metri. I tempi di arrivo letti sono stati invertiti e i modelli risultanti sono compatibili con quelli ottenuti dalle pendenze delle dromocrone. Il modello sismostratigrafico presenta due strati: il primo strato ha una velocità V_p di 340m/s e V_s di 160m/s fino a una profondità di 6 metri; il secondo strato ha una velocità V_p di 1450 m/s e V_s di 345m/s da 6m fino a 13m di profondità (Figura 5.4.1).

Nel sito S4 sono state eseguiti anche stendimenti SASW e FTAN.

La dispersione media e l'incertezza dell'analisi FTAN sono riassunte di seguito:

Periodo (s)	Velocità di gruppo (km/s)	Errore (km/s)
0.04	0.12	0.03
0.05	0.12	0.02
0.06	0.13	0.02
0.07	0.13	0.02
0.08	0.14	0.02
0.09	0.17	0.03
0.10	0.19	0.04
0.11	0.22	0.06
0.12	0.24	0.08

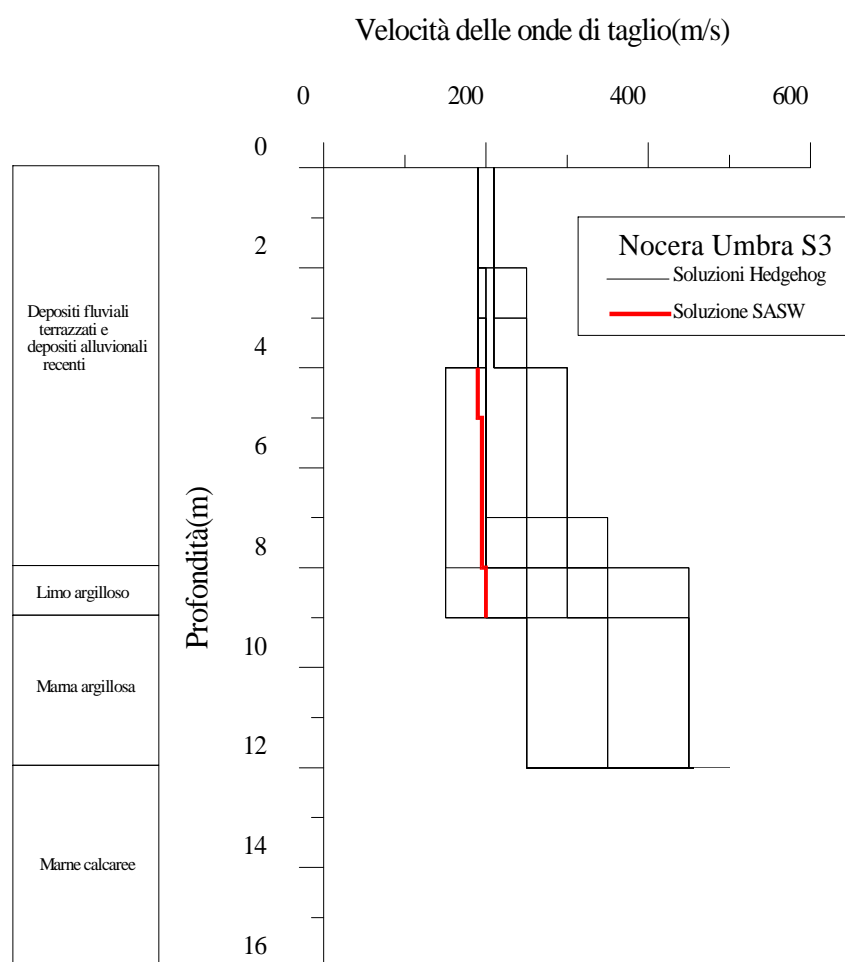


Figura 5.3.1 - Confronto tra i modelli Hedgehog ottenuti dall'inversione della curva di dispersione media delle velocità di gruppo (FTAN) ed il modello ottenuto dall'inversione della curva di dispersione media delle velocità di fase (SASW).

A partire da questi valori di dispersione si sono potuti invertire i primi 10 metri di profondità. Sono state fissate le interfacce geologiche note dal sondaggio e sono state variate le velocità delle onde S. Il primo strato composto da limo e ghiaie e profondo 6 metri è risultato possedere una velocità delle onde di taglio tra 200 e 220m/s, mentre il secondo strato, di 4 m di spessore e composto da marna, presenta una velocità delle onde S tra 340 e 430m/s. Risulta un ottimo accordo tra i modelli SASW e FTAN (Figura 5.4.1).

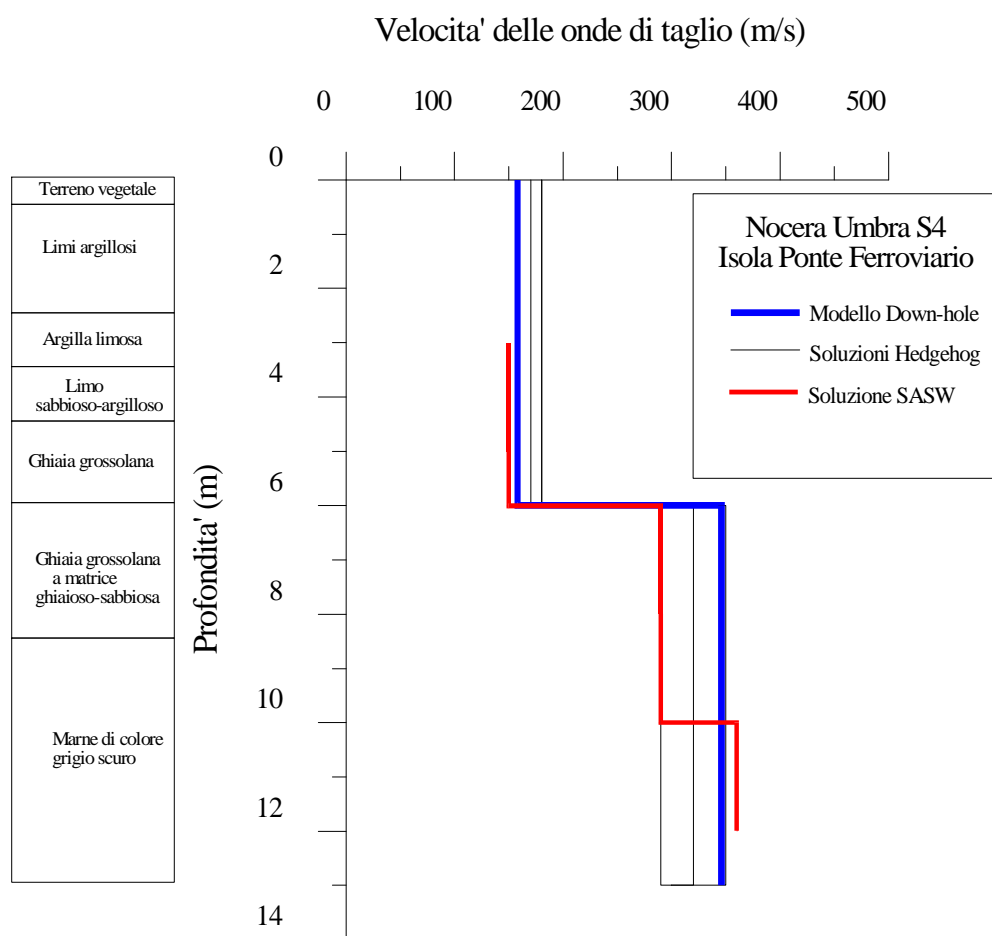


Figura 5.4.1 - Confronto tra i modelli Hedgehog ottenuti dall'inversione della curva di dispersione media delle velocità di gruppo (FTAN), il modello ottenuto dall'inversione dei tempi di arrivo delle fasi S nella prova down-hole ed il modello ottenuto dall'inversione della curva di dispersione media delle velocità di fase (SASW).

6.0 REGISTRAZIONI VELOCIMETRICHE

Nel periodo 28 ottobre – 5 novembre 1997, nel territorio comunale di Nocera Umbra, sono state installate quattro micro reti sismometriche temporanee per la registrazione delle repliche del terremoto del 26 settembre 1997 ai fini della valutazione sperimentale degli effetti di sito.

L'acquisizione è stata effettuata con stazioni mobili digitali a 16 bit Lennartz Mars88-FD equipaggiate con sensori tridimensionali velocimetrici di periodo 1 s Mark L4C/3D. È stata utilizzata una frequenza di campionamento di 62.5 Hz che garantisce una banda passante utile fra 0 e 25 Hz. Per ogni sottorete sono stati individuati uno o più siti considerabili come riferimento, ovvero privi di effetti di sito, nelle successive analisi. Questi siti sono posizionati sugli affioramenti delle formazioni della successione Umbro-Marchigiana.

Per le successive analisi, fra gli eventi registrati con un buon rapporto segnale – disturbo, sono stati selezionati quelli con distanza ipocentrale sufficientemente elevata per minimizzare le differenze nel campo d'onda incidente alla base di ogni stazione della micro rete, causate sia dalla radiazione della sorgente che dal tragitto effettuato dalle onde. La distanza ipocentrale è stata stimata dai tempi S-P rilevati sulle stazioni di riferimento. La magnitudo degli eventi registrati, disponibile solo in alcuni casi, varia fra 2 e 3.5.

Le situazioni monitorate, definite in collaborazione con i tecnici della Regione Umbria, sono sintetizzate come segue.

6.1 Nocera Umbra

E' stata studiata l'area urbana attorno al centro storico che era stato precedentemente monitorato nell'ambito di altre iniziative. Nel periodo 1 novembre-5 novembre 1997 sono state installate 8 stazioni di registrazione.

Stazione BRK. Essa è stata ubicata in corrispondenza della formazione della Scaglia Rossa, in prossimità di un affioramento a cui i dati geomeccanici qui direttamente rilevati consentono di attribuire una classe IV secondo la Classificazione Geomeccanica di Bieniawski (RMR pari a 35, "Roccia Scadente"). Le informazioni a nostra disposizione concordano nel ritenere questo sito come sito di riferimento ovvero come "bedrock" per l'area di Nocera Umbra.

Stazioni ES2 e IPS. La stazione ES2 è ubicata sulla formazione Marnoso - arenacea. Le caratteristiche di questa formazione possono essere a grandi linee approssimate a quelle della Scaglia variegata, della Scaglia cinerea, del Bisciario e dello Schlier. Tuttavia, è stato constatato che nella zona circostante l'ospedale di Nocera Umbra, in cui è ubicata la stazione IPS, le formazioni della Scaglia cinerea e del Bisciario si presentano intensamente tettonizzate e clivaggiate e, presumibilmente, con uno spessore notevole della porzione superficiale alterata.

Stazioni LOM e PIN. Queste stazioni sono ubicate al di sopra di depositi eluviali e colluviali poggianti al di sopra di formazioni dal Bisciario alla Marnoso - arenacea. È da ritenersi che lo spessore di questi sia inferiore rispetto a quello del gruppo di stazioni ENE, ES1, OSP.

Stazioni ENE, ES1, OSP. Questo gruppo di stazioni è ubicato su depositi eluviali e colluviali che, per ragioni diverse, possono raggiungere spessori elevati. In prossimità del velocimetro ENE (posizionato a circa 10 m. dalla postazione accelerometrica della Rete Nazionale del Servizio Sismico Nazionale, che ha registrato gli eventi principali della sequenza iniziata il 26 settembre 1997) è stato ubicato il sondaggio S1 che evidenzia 5 metri di depositi colluviali poggianti su un substrato alterato. Tuttavia, le numerose indagini svolte in aree adiacenti (SASW, sondaggi al cimitero di Nocera umbra, osservazioni in sito) consentono di supporre che lo spessore di questi depositi, caratterizzati da valori di V_s intorno a 200 m/s, aumenti significativamente nelle immediate adiacenze del sito del velocimetro ENE.

Fra gli eventi selezionati da questa micro rete, sono stati selezionati quelli con S-P superiore a 1.3 s corrispondenti a distanze ipocentrali superiori a circa 9 Km. Il numero delle registrazioni utilizzate per le elaborazioni è riportato nella seguente tabella.

BRK	ENE	IPS	LOM	PIN	ES1	ES2	OSP
38	37	37	17	18	10	9	10

La fig. 6.1 mostra le componenti N-S di un evento del 3 novembre 1997 registrato da tutte le stazioni.

6.2 Scalo

E' stata indagata l'area urbanizzata relativa alle alluvioni recenti del fiume Topino. Nel periodo 1 novembre – 5 novembre 1997 sono state installate 5 stazioni di registrazione.

Stazioni GLL e VTT(quest'ultima non ubicata in carta). Queste stazioni sono ubicate sulla formazione Marnoso - arenacea. Le caratteristiche di questa formazione possono essere a grandi linee approssimate a quelle della Scaglia variegata, della Scaglia cinerea, del Bisciario e dello Schlier. La stazione GLL è stata considerata come riferimento per questa micro rete essendo BRK (stazione di riferimento della micro rete Nocera) troppo distante rispetto alle altre stazioni di questa sottorete per gran parte degli eventi registrati. Per alcuni eventi è stato comunque possibile confrontare la risposta di GLL rispetto a BRK.

Stazioni MSC e AMN. Queste stazioni sono ubicate al di sopra dei depositi alluvionali recenti del T. Caldognola - F. Topino a loro volta poggianti sulla

formazione Marnoso - arenacea. Lo spessore di questi depositi varia tra 5 e 15 metri; in prossimità della stazione velocimetrica MSC al di sopra della Marnoso -arenacea sono stati rinvenuti circa 8 metri di spessore di depositi alluvionali. A queste stazioni velocimetriche si può fare riferimento per l'abitato di Nocera scalo poggiante analogamente su depositi alluvionali recenti che in questo sito raggiungono potenze di 15 metri.

Stazione GRN. Questa stazione è ubicata nella zona di contatto tra i depositi alluvionali recenti ed un accumulo di detriti di versante il cui spessore da dati di sondaggio è stato valutato intorno a 20 metri e il cui stato di addensamento è risultato estremamente basso ($N_{spt} = 8$).

Fra gli eventi registrati dalla micro rete, in questo caso sono stati selezionati quelli con S-P superiore a 1.3 s corrispondenti a distanze ipocentrali superiori a circa 9 Km. Il numero delle registrazioni utilizzate per le elaborazioni è riportato nella seguente tabella.

GLL	AMN	GRN	MSC	VTT
27	22	17	21	14

La fig. 6.2 mostra le componenti N-S di un evento del 2 novembre 1997 registrato da tutte le stazioni.

6.3 Isola

Si tratta di una sezione approssimativamente in direzione E-O del fondovalle del torrente Caldagnola comprendente le frazioni di Costa, Pascigliano, Le Molina e Isola. Nel periodo 28 ottobre – 1 novembre 1997 sono state installate 10 stazioni di registrazione.

Stazione BR1. Essa è ubicata su affioramenti che dalla letteratura geologica risultano ascritti alla formazione della Maiolica. Le caratteristiche geomeccaniche di questa formazione giustificano ampiamente la scelta di questo sito come riferimento.

Stazioni PAS, BR2, SAL, MAN. Questo gruppo di stazioni, di cui quella siglata BR2, non è ubicata sulla cartografia allegata, si trova sulla formazione Marnoso - arenacea, in alcuni casi (SAL, MAN) con copertura dell'ordine di 1-2 metri di depositi alluvionali terrazzati. La stazione BR2 presenta caratteristiche analoghe a GLL (micro rete Scalo) ovvero può essere considerata come sito di riferimento relativo alla formazione Marnoso – arenacea.

Stazioni COS e PAR. Questi due siti stazione sono caratterizzati da detriti di versante antichi. Soltanto nel primo caso è possibile definire esattamente lo spessore (circa 10 metri), mentre nel secondo caso è ipotizzabile che la stazione possa essere

considerata rappresentativa della zona di appoggio del detrito di versante sul substrato.

Stazioni ISO e LMO. Esse si trovano rispettivamente a margine della conoide di Isola e nella piana alluvionale del T. Caldognola. La notevole variabilità laterale di potenza e caratteristiche litologiche di questi depositi rende di limitata rappresentatività i dati dei sondaggi S3 ed S2 condotti in prossimità dei suddetti velocimetri.

Per questa micro rete sono stati selezionati gli eventi con S-P superiore a 1.6 s corrispondenti a distanze ipocentrali superiori a circa 12 Km. Il numero delle registrazioni utilizzate per le elaborazioni è riportato nella seguente tabella.

BR1	BR2	COS	ISO	LMO	MAN	MIC	PAR	PAS	SAL
26	19	13	23	14	20	17	13	19	24

La fig. 6.3 mostra le componenti N-S di un evento del 31 ottobre 1997 registrato da tutte le stazioni.

6.4 Bagni

In questo caso è stata indagata la risposta sismica della placca di travertino utilizzando due stazioni di registrazione SCL e STR nel periodo 31 ottobre – 5 novembre 1997.

SCL è localizzata sull'affioramento della Scaglia Rossa e costituisce quindi la stazione di riferimento, STR è invece ubicata su una placca di Travertino terroso.

Sono stati selezionati gli eventi con S-P superiore a 0.8 s corrispondenti a distanze ipocentrali superiori a circa 6 Km e sono state utilizzate circa 90 registrazioni.

Un esempio di registrazione è riportato in fig. 6.4.

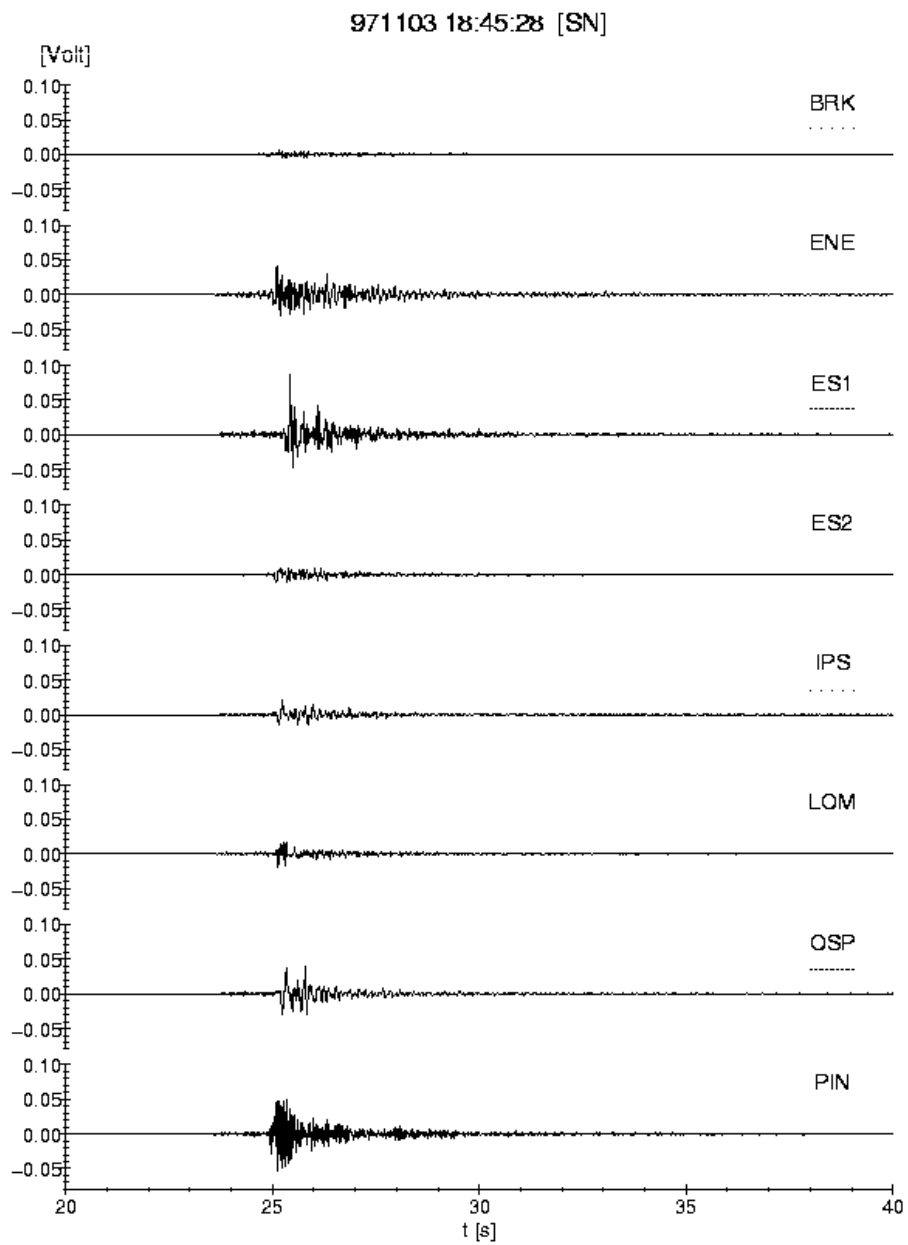


Figura 6.1 - Micro rete di Nocera: registrazioni di un evento; componente N-S.

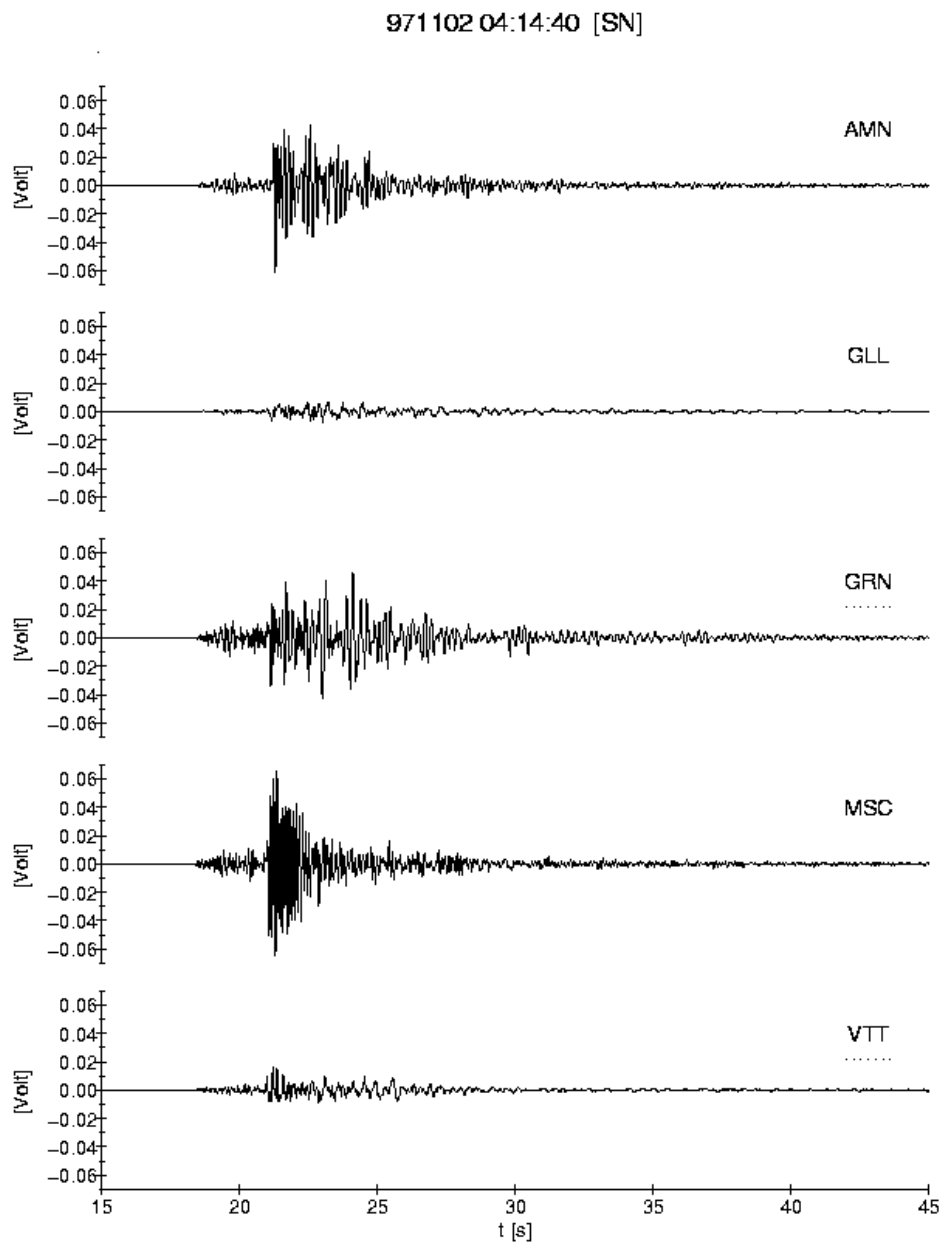


Figura 6.2 - Micro rete di Scalo: registrazioni di un evento; componente N-S.

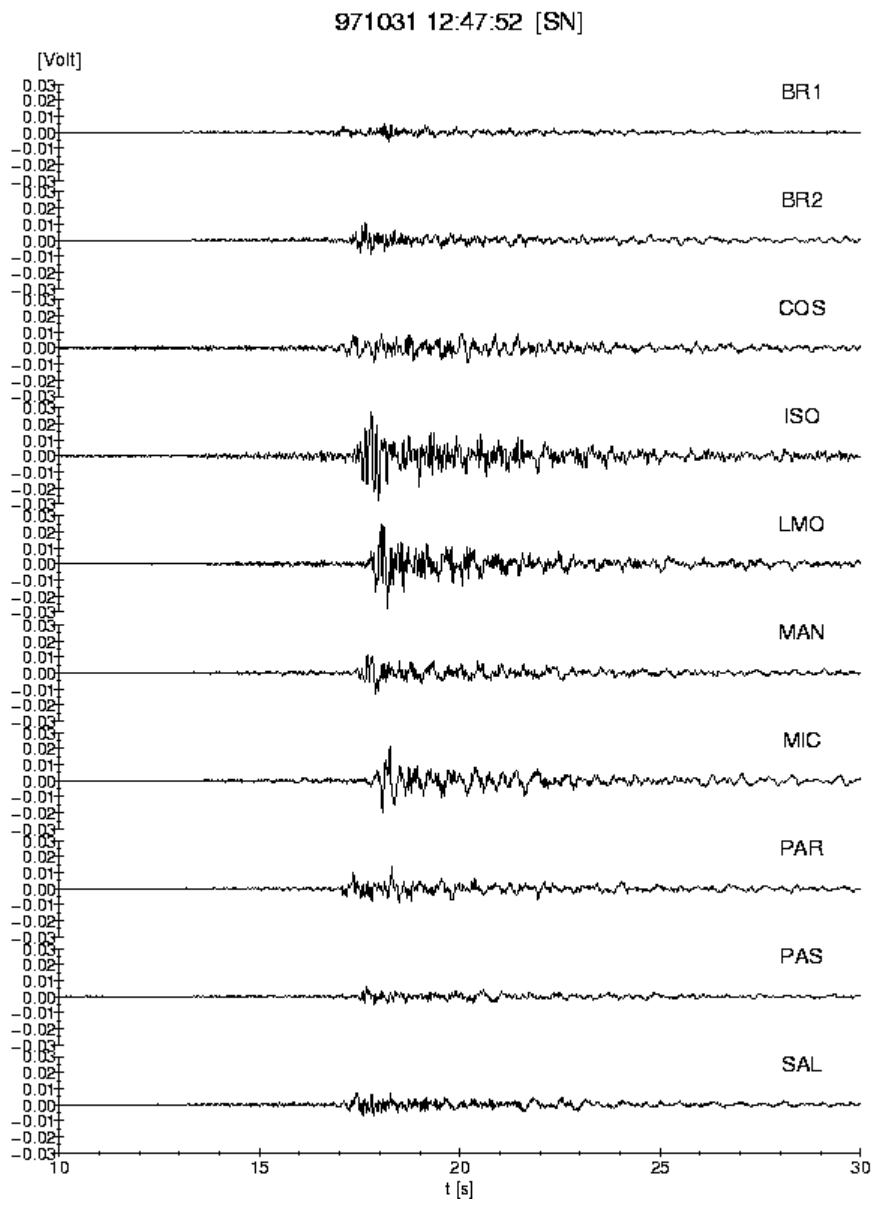


Figura 6.3 - Micro rete di Isola: registrazioni di un evento; componente N-S.

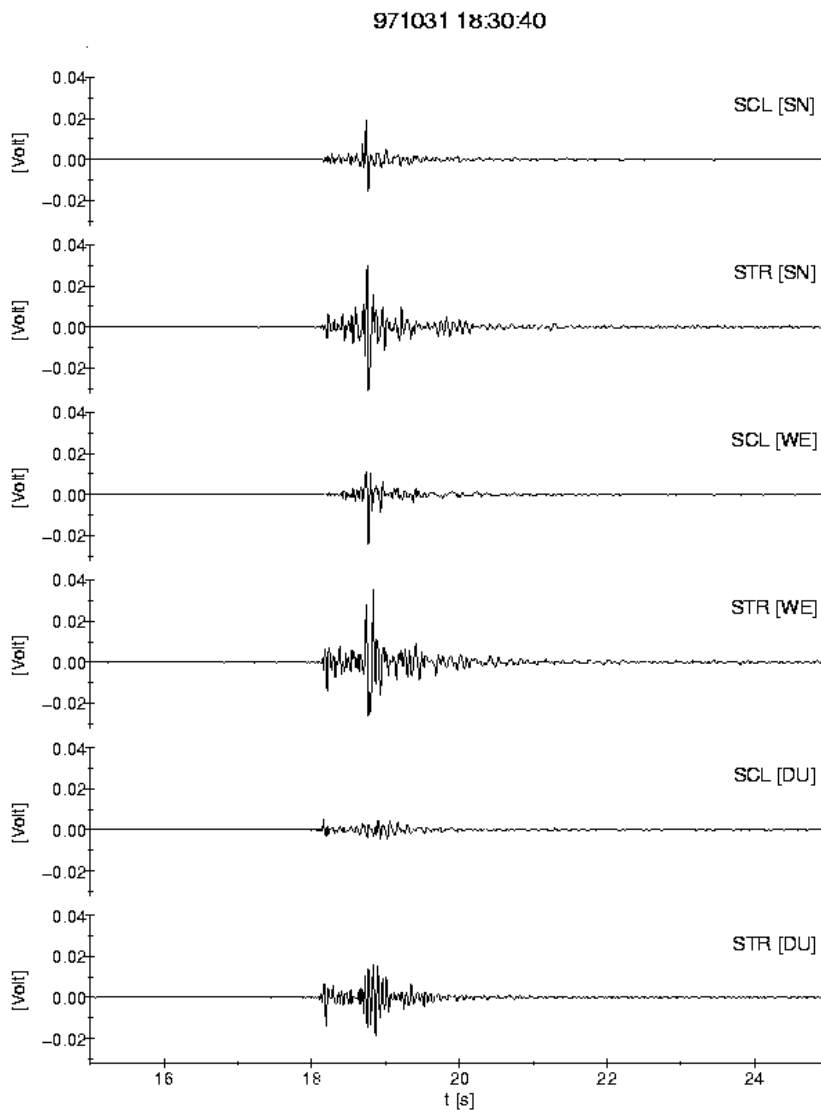


Figura 6.4 - Bagni: registrazioni di un evento.

7.0 EFFETTI DI SITO

La stima degli effetti di sito è stata effettuata utilizzando le registrazioni velocimetriche con il metodo dei rapporti spettrali. Questa tecnica richiede l'individuazione di una stazione di riferimento priva di effetti di sito dove viene registrato il segnale sismico corrispondente al moto sismico al bedrock di ogni sito indagato. È quindi necessario che la distanza fra la stazione di riferimento e i siti analizzati sia relativamente piccola rispetto alla distanza dalla sorgente sismica. Per ogni registrazione è stata selezionata una finestra che inizia 0.5 s prima dell'arrivo delle onde S e di durata variabile fra 5 e 20 s in funzione del tipo di evento e del rumore di fondo della registrazione. Lo spettro di Fourier ottenuto da tale finestra e quello ricavato da una finestra analoga per la registrazione dello stesso evento sulla stazione di riferimento, sono stati impiegati per calcolare il rapporto spettrale. La media geometrica dei rapporti spettrali così ottenuti per tutti gli eventi registrati simultaneamente dal sito di interesse e dalla stazione di riferimento, costituisce la stima della funzione di trasferimento. Per illustrare la variabilità dei risultati ottenuti, in fig. 7.1 sono riportati l'intervallo di confidenza al 95 % del valore medio e l'intervallo relativo a ± 1 deviazione standard dei rapporti spettrali di due stazioni per le quali si dispone di un numero alquanto differente di registrazioni: 37 per ENE e 9 per ES2. Si ipotizza una distribuzione log-normale.

Le funzioni di trasferimento così ottenute sono state poi utilizzate per esprimere gli effetti di sito in un formato più direttamente utilizzabile in sede applicativa. A questo scopo è stata impiegata la procedura di seguito descritta. Dalla banca dati accelerometrica italiana sono state selezionate dieci registrazioni il cui spettro di risposta ha una forma simile allo spettro di risposta a probabilità uniforme ottenuto per l'area di Nocera Umbra dalle analisi di pericolosità sismica descritte nel capitolo 1. In questo contesto, ogni registrazione accelerometrica viene considerata come moto di input ed è stata utilizzata per ottenere, mediante la funzione di trasferimento ricavata dai dati velocimetrici, il rapporto fra lo spettro di risposta del sito considerato e quello al bedrock.

La stima dell'amplificazione dello spettro di risposta in accelerazione con smorzamento 5% (RSA) è stata ricavata come media dei rapporti degli spettri di risposta ottenuti da ciascun accelerogramma selezionato. Con la stessa procedura è stata stimata l'amplificazione dell'intensità di Housner (RSI), ovvero dell'integrale del pseudo spettro di risposta in velocità, con smorzamento 5 %, calcolato, analogamente agli studi per le microzonazioni sismiche, per periodi fra 0.1 e 0.5 s. RSA e RSI così ottenuti sono validi nell'ambito di un comportamento lineare dei terreni.

In fig. 7.2 è riportato un test della procedura utilizzata. L'evento del 14 ottobre 1997, $M_S=5.5$, è stato registrato sia dalla stazione accelerometrica di Nocera, a cui corrisponde il sito velocimetrico ENE, sia da una stazione accelerometrica temporanea installata dal Servizio Sismico Nazionale in località Salmata a cui corrisponde il sito velocimetrico SAL. Le distanze ipocentrali sono simili per le due

stazioni, 24 e 28 Km rispettivamente. In figura viene confrontato il rapporto degli spettri di risposta di queste registrazioni accelerometriche con quello stimato con le registrazioni velocimetriche. In particolare quest'ultimo è stato ricavato con RSA di ENE e SAL che sono relativi a due differenti stazioni di riferimento, BRK e BR1. Nel valutare il risultato positivo di questo confronto bisogna considerare che l'evento del 14 ottobre 1997 ha approssimativamente lo stesso back-azimuth degli aftershocks e che l'amplificazione alla stazione ENE è in un range di frequenze ben risolto dal contenuto spettrale degli aftershocks.

Nei paragrafi successivi vengono illustrati i risultati relativi alle quattro micro reti espressi in termini di rapporti spettrali, RSA e RSI e viene inoltre verificata la consistenza fra le diverse stazioni di riferimento. Bisogna sottolineare che i risultati presentati, essendo ricavati da registrazioni di moto debole, sono validi nel campo delle basse deformazioni e quindi implicano un comportamento lineare dei vari litotipi sotto sollecitazione sismica.

7.1 Nocera Umbra

La fig. 7.3 riporta i rapporti spettrali della micro rete di Nocera evidenziando una considerevole variabilità degli effetti di sito. In particolare la stazione ENE mostra una notevole amplificazione, maggiore di 10, fra 5 e 8 Hz mentre i siti vicini, PIN e ES2, non superano l'amplificazione 4 per frequenze fino a 12 Hz. Altri due siti, ES1 e OSP evidenziano amplificazioni analoghe a ENE ma solo per la componente N-S. In fig. 7.4 vengono riportati gli RSA che indicano amplificazioni di PGA fino a 8 volte per ENE, ES1 e OSP, e, sempre negli stessi siti, periodi predominati compresi fra 0.15 e 0.3 s. La tabella seguente riporta i valori di RSI.

BRK		ENE		IPS		LOM		PIN		ES1		ES2		OSP	
n-s	e-w	n-s	e-w	n-s	e-w	n-s	e-w	n-s	e-w	n-s	e-w	n-s	e-w	n-s	e-w
1.0	1.0	6.2	4.7	3.9	2.6	2.7	1.8	2.8	2.4	10.0	3.6	2.3	1.2	8.0	2.5

7.2 Scalo

In fig. 7.5 vengono riportati i rapporti spettrali relativi alla micro rete di Scalo. La stazione di riferimento considerata è GLL posta sulla formazione Marnoso - Arenacea. Con 17 eventi relativamente distanti (S-P maggiore di 1.5) è stato possibile calcolare il rapporto spettrale fra GLL e BRK. GLL evidenzia una amplificazione di circa 2 attorno a 4 Hz per la componente N-S e una deamplificazione della stessa entità per frequenze superiori a 10 Hz per la componente E-W. I rapporti spettrali delle altre stazioni mostrano amplificazioni significative, ad esclusione di VTT. In particolare, la frequenza corrispondente alla massima amplificazione è differente per ogni stazione:

5 Hz per GRN, 6 Hz per AMN e 9 Hz per MSC. Dalla fig. 7.6, dove sono riportati gli RSA, si osserva che GLL rispetto a BRK amplifica di un fattore, approssimativamente costante, di 1.6 per la componente N-S e di 1.3 per quella E-W. Gli RSA delle altre stazioni dovrebbero essere corretti per questi valori. Le informazioni riguardanti la forma rimarrebbero comunque sostanzialmente immutate. Anche in questo caso si osservano amplificazioni di PGA elevate, da 4 a più di 6 per le stazioni poste sui depositi alluvionali. La tabella seguente riporta i valori di RSI.

n-s GLL(*) e-w	n-s AMN e-w	n-s GRN e-w	n-s MSC e-w	n-s VTT e-w
1.6 1.3	3.7 2.9	5.9 5.0	3.0 1.6	1.6 1.2

(*) GLL/BRK

7.3 Isola

In fig. 7.7 sono riportati i rapporti spettrali calcolati rispetto alla stazione BR1. Le stazioni BR2, PAS e SAL non mostrano amplificazioni significative mentre MAN e PAR evidenziano amplificazioni intermedie, infine COS ha un picco di amplificazione significativo a 5 Hz. La stazione ISO evidenzia, per la componente N-S, un'amplificazione notevole per frequenze relativamente elevate, da 7 a 13 Hz mentre le stazioni MIC e LMO hanno amplificazioni minori ma relative ad un più ampio intervallo di frequenza. La fig. 7.8 riporta i grafici di RSA e conferma le indicazioni ottenute dai rapporti spettrali. Inoltre è possibile osservare amplificazioni di PGA fino 4.5 nel caso di ISO e amplificazioni all'incirca costanti attorno a valori di $3 \div 4$ fino a periodi relativamente elevati, $0.6 \div 0.7$ s, nei casi di MIC e LMO. La tabella seguente riporta i valori di RSI. È interessante osservare che, a causa dell'amplificazione elevata ma relativa ai bassi periodi, i valori di RSI di ISO sono simili a quelli di MIC e inferiori a quelli di LMO.

BR1 n-s e-w	BR2 n-s e-w	COS n-s e-w	ISO n-s e-w	LMO n-s e-w	MAN n-s e-w	MIC n-s e-w	PAR n-s e-w	PAS n-s e-w	SAL n-s e-w
1.0 1.0	1.7 1.7	3.6 2.8	3.6 3.2	3.9 4.3	2.7 1.9	3.5 3.5	2.5 2.3	1.4 1.7	1.7 1.5

Per problemi logistici non si dispone di registrazioni simultanee di BR1 e BRK, mentre si dispone di 6 registrazioni, con S-P maggiore di 2.3s su BR1, simultanee fra BR1 e ENE.

Si sono confrontati i rapporti spettrali fra ENE e BR1 e fra ENE e BRK e i corrispondenti RSA.

I risultati sono riportati in fig. 7.9 ed indicano una sostanziale similitudine fra i siti di riferimento, BR1 e BRK, delle due micro reti. I risultati di Isola, illustrati nelle figure 7.7 e 7.8 e nella tabella precedente, sono quindi direttamente confrontabili con quelli di Nocera.

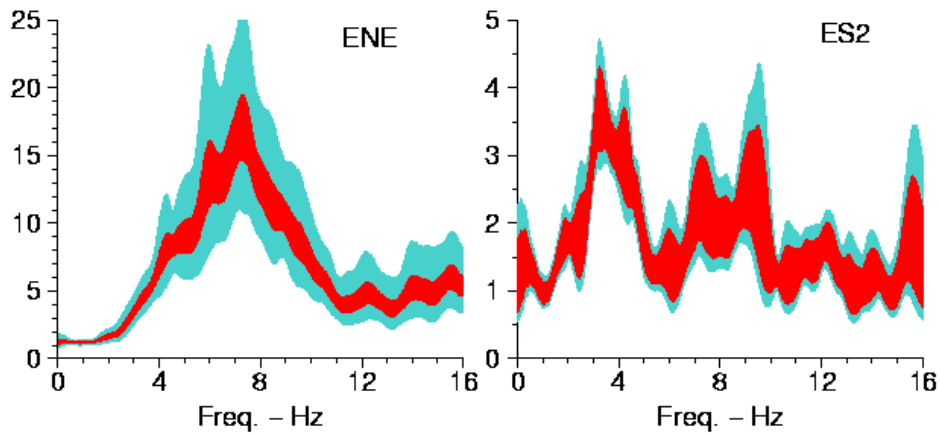


Figura 7.1 - Intervallo di confidenza al 95 % del valore medio e l'intervallo relativo a ± 1 deviazione standard dei rapporti spettrali della componente E-W di ENE e ES2..

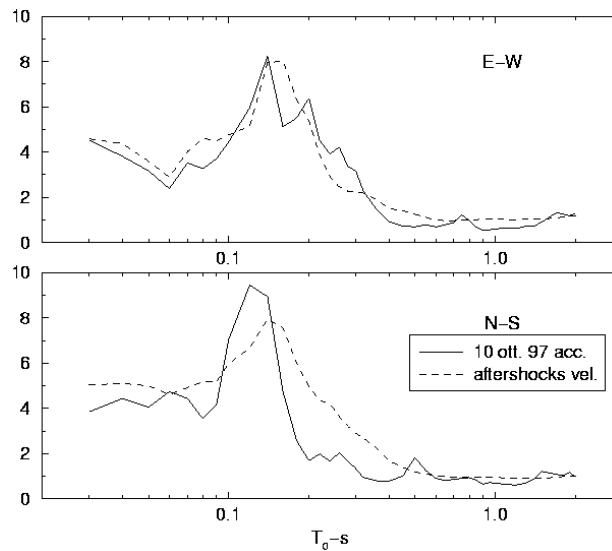


Figura 7.2 - Confronto fra il rapporto degli spettri di risposta degli accelerogrammi registrati a Nocera Umbra e Salmata e il rapporto ricavato dalle analisi effettuate utilizzando le registrazioni velocimetriche degli aftershocks.

7.4 Bagni

I risultati sono sintetizzati in fig. 7.10. Si osserva una significativa amplificazione della stazione STR, posta sulla placca di travertino terroso, per frequenze superiori a 8 Hz. I corrispondenti RSA mostrano un picco di

amplificazione di 4 a 0.08 s e una amplificazione di PGA di circa 2.5. RSI della stazione STR è 1.9 per la componente N-S e 2.0 per quella E-W.

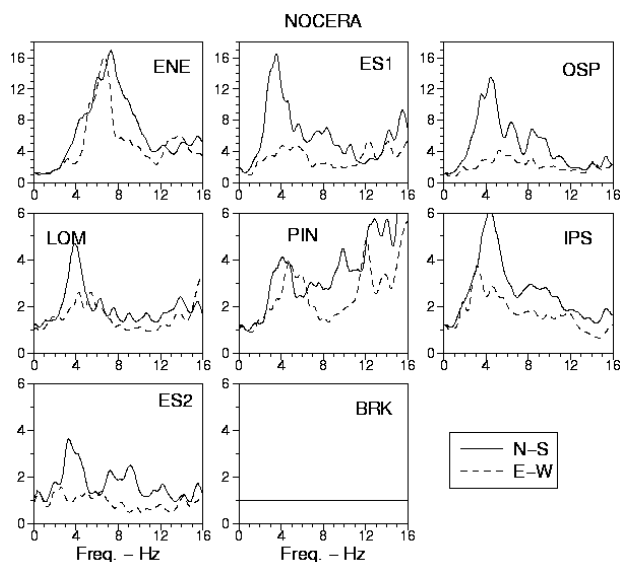


Figura 7.3 - Micro rete di Nocera: rapporti spettrali.

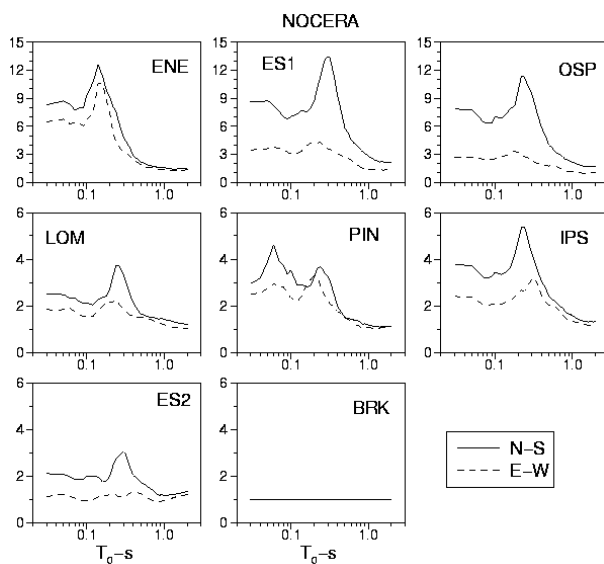


Figura 7.4 - Micro rete di Nocera: RSA.

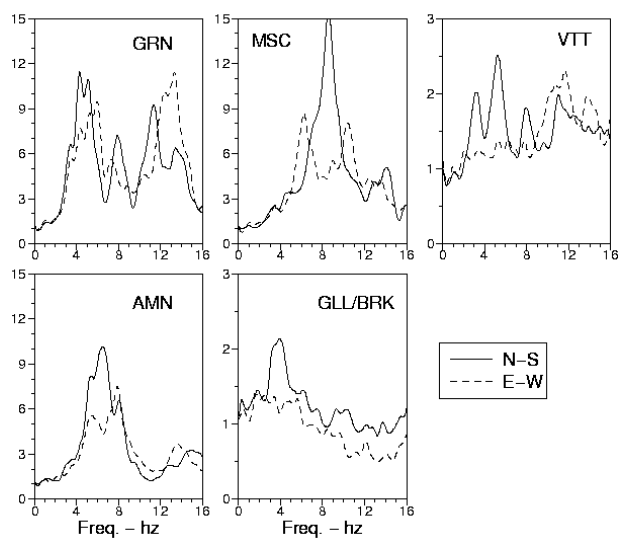


Figura 7.5 – Micro rete di Scalo: rapporti spettrali.

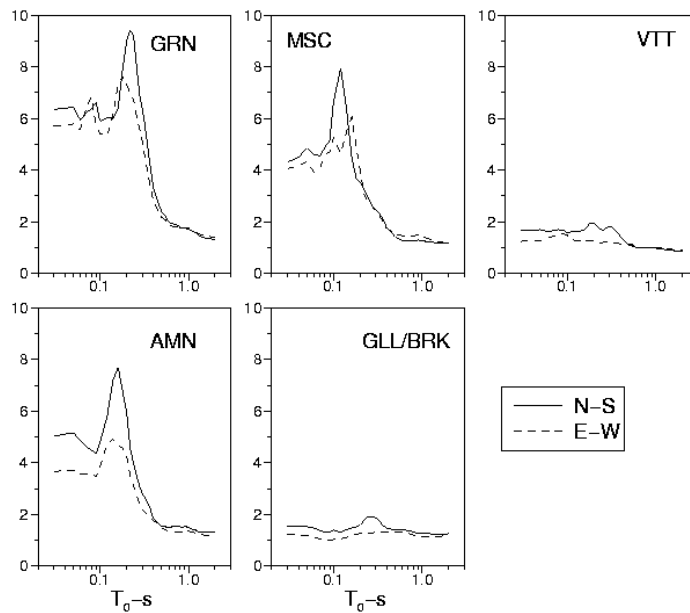


Figura 7.6 - Micro rete di Scalo: RSA.

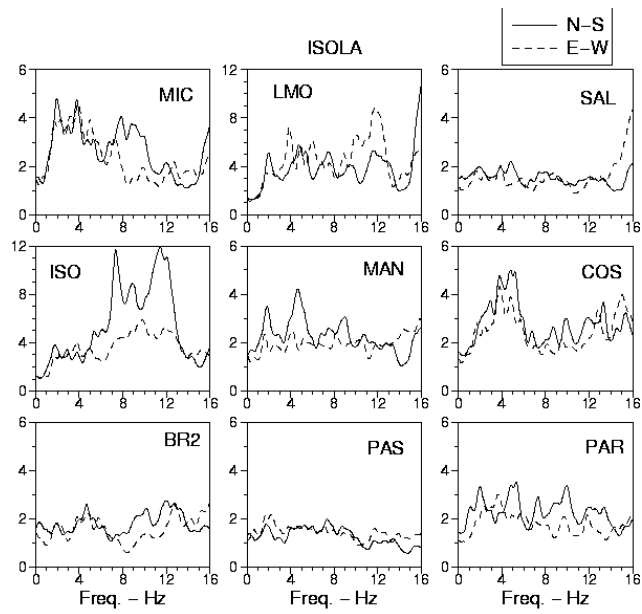


Figura 7.7 - Micro rete di Isola: rapporti spettrali.

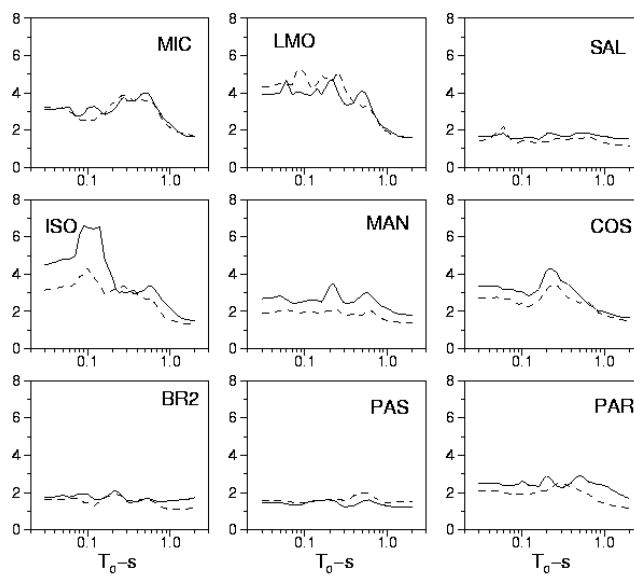


Figura 7.8 - Micro rete di Isola: RSA.

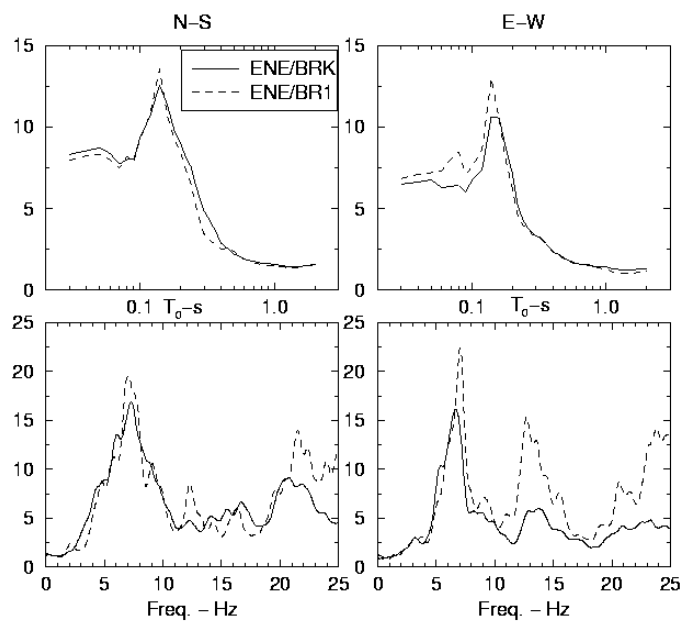


Figura 7.9 - Rapporti spettrali fra ENE e BRK e fra ENE e BR1. RSA corrispondenti.

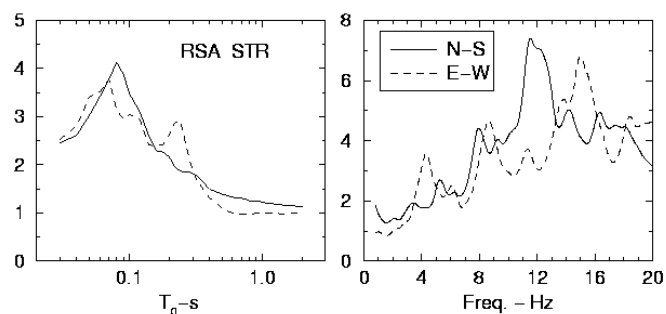


Figura 7.10 - Bagni: rapporti spettrali e RSA della stazione STR rispetto a SCL.

7.5 Centro storico di Nocera Umbra

La risposta sismica del centro storico di Nocera Umbra è stata indagata nell'ambito di due interventi effettuati nei primi giorni di ottobre 1997 dal Servizio Sismico Nazionale e dall'Istituto Nazionale di Geofisica.

7.5.1 Servizio Sismico Nazionale

L'intervento effettuato a Nocera Umbra, per quanto riguarda l'area del centro storico, si è svolto nei giorni 2-3 e 4 ottobre 1997, periodo caratterizzato ancora da una attività sismica molto intensa.

Sono state installate 5 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, sulla collina di Nocera Umbra, per ottenere l'obiettivo fissato si è installata una stazione esternamente al centro storico in prossimità dell'Istituto tecnico situato ad est del centro storico sulla strada che conduce verso Stravignano (staz. SCUOLA). Le restanti quattro stazioni sono state installate rispettivamente sulla sommità della collina di Nocera in prossimità della torre medioevale (staz. TORRE), sulla piazza della cattedrale (staz. PIAZZA), a mezza costa sul lato orientale (staz. P.EST) della collina, a mezza costa sul lato occidentale della collina (staz. P.OVEST).

La fase di selezione ha portato all'individuazione di 45 eventi comuni a tutte le stazioni sui quali si sono calcolati separatamente i rapporti H/V per le due componenti orizzontali utilizzando solamente una finestra di segnale di 6 s di durata con inizio a circa mezzo secondo prima dell'arrivo delle onde S. Per la stazione situata in prossimità della torre la procedura sopra descritta è stata applicata soltanto a 18 eventi a causa del più breve funzionamento della stazione stessa.

Gli spettri così calcolati sono stati lisciati con una 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.

Le analisi effettuate non presentano valori significativi di amplificazione in nessuno dei siti esaminati come può essere facilmente desunto dalle figure 7.5.1.1 e 7.5.1.2, risulta infatti come i valori dei rapporti medi H/V si mantengono sempre al di sotto di 3.

7.5.2 Istituto Nazionale di Geofisica (ora Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia)

L'intervento e i relativi risultati sono illustrati in Rovelli et al., 1998. In particolare, i rapporti spettrali, ottenuti rispetto a una stazione di riferimento che era localizzata in prossimità del sito BRK, indicano una limitata amplificazione, di circa 2.5 fra 2 e 5 Hz, per le due stazioni installate nel centro storico di Nocera Umbra. Viceversa, una notevole amplificazione, di circa 20, è stata evidenziata dalla stazione installata a mezza costa per frequenze comprese fra 10 e 20 Hz.

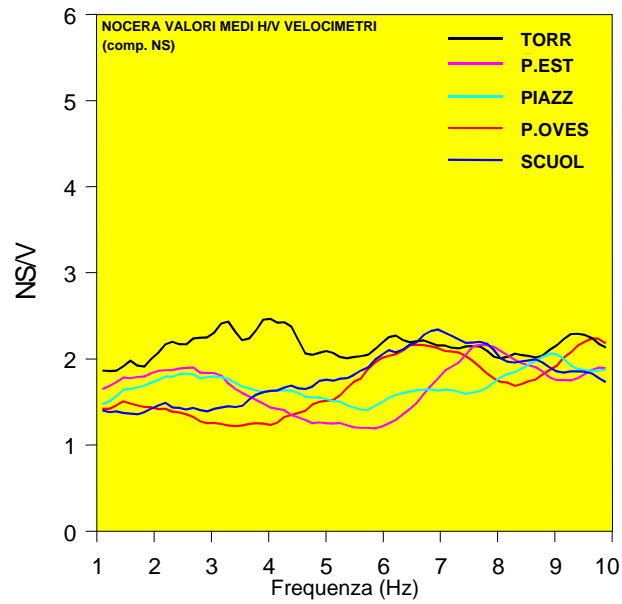


Fig. 7.5.1.1 - Rapporto medio H/V per la componente NS ottenuto per le stazioni di Nocera Umbra.

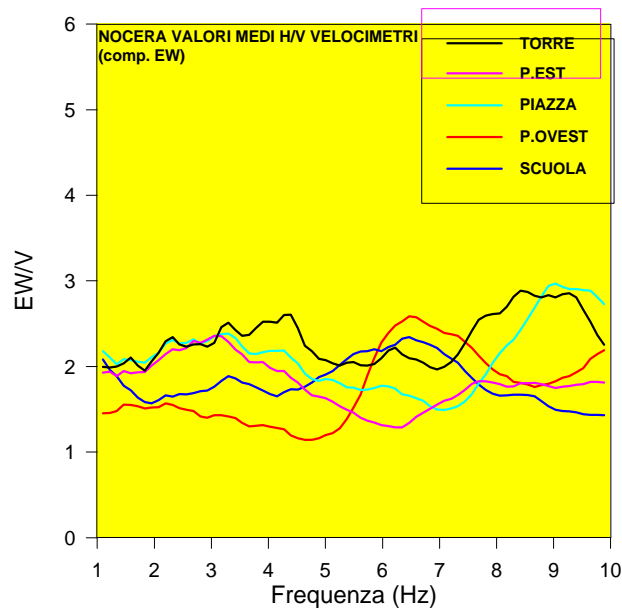


Fig. 7.5.1.2 - Rapporto medio H/V per la componente EW ottenuto per le stazioni di Nocera Umbra.

8.0 DANNEGGIAMENTO

8.1 Descrizione del danneggiamento nel comprensorio di Nocera Umbra

Il comune di Nocera Umbra presenta una notevole estensione territoriale con numerose frazioni densamente abitate.

L'attenzione, oltre che sul centro storico, si è pertanto appuntata su alcune di esse dove erano posizionate le stazioni per la registrazione degli aftershocks. Il rilievo del danneggiamento ha pertanto riguardato le frazioni di Nocera scalo, Bagni, Stravignano, Isola, Le Molina, Pascigliano, La Costa.

Il patrimonio edilizio esistente è rappresentato quasi interamente da edifici in muratura, spesso non adeguati al sisma. La maggior parte degli interventi operati sugli edifici ha riguardato, infatti, il rifacimento degli intonaci, la stilatura delle murature faccia a vista e la riparazione dei tetti o la loro sostituzione con strutture in laterocemento, a volte dotate di cordoli e spesso di tipo spingente. Le nuove costruzioni, realizzate nelle zone di espansione del capoluogo, a ridosso del centro storico, presentano invece struttura in c.a.

Il centro storico sorge su una collina allungata in direzione N-S e conserva interessanti monumenti risalenti al XI e al XIV secolo ed alcuni notevoli edifici civili e case risalenti al XIII secolo.

Esso, presenta un grado di danneggiamento piuttosto elevato ma anche la quasi totale assenza di crolli, anche parziali, ad eccezione della torre civica e di pochissimi altri edifici (Figura 8.1). A questo proposito occorre sottolineare, però, come il grado di vulnerabilità degli edifici al sisma fosse piuttosto elevato. Bisogna, tuttavia, distinguere tra gli edifici della parte mediana della collina che, grazie alla presenza diffusa delle catene hanno evidenziato un buon comportamento dei pannelli murari al di fuori del proprio piano e un discreto comportamento scatolare delle varie celle murarie o dell'intero edificio, e gli edifici ricadenti sulle pendici della collina stessa. Questi ultimi sono stati interessati dai danni più gravi.

Il quadro del danneggiamento è senz'altro influenzato anche dalle diverse tipologie fondali utilizzate e dalle caratteristiche dei terreni di fondazione. E' da segnalare, infatti, che gli edifici ricadenti sulle pendici della collina risultano in parte fondati sulle antiche mura urbane, di cui i pannelli murari sovrastanti costituiscono ideale prosecuzione, ed in parte sul retrostante terrapieno sostenuto dalle mura stesse e presentano, inoltre, terreni di fondazione caratterizzati dalla presenza di coltri detritiche e riporti antropici superficiali che talvolta raggiungono notevoli spessori. Tale assetto fondale e geotecnico è stato senz'altro responsabile di molti danni da cedimento fondale differenziale che, accompagnatisi ad una sfavorevole vulnerabilità di base, ha prodotto situazioni particolarmente critiche quali il distacco di intere facciate.

Una citazione a parte merita, invece, lo stato di danno rilevato nelle chiese che, per la loro particolare concezione strutturale (muri molto alti e spesso snelli scollegati o mal collegati tra loro e con gli orizzontamenti, coperture di tipo

spingente o a volta), risultano comunque particolarmente vulnerabili alle azioni sismiche.

Per quanto riguarda le frazioni, in generale, quasi tutte quelle visitate hanno evidenziato danni gravi o gravissimi che hanno determinato un'inagibilità diffusa ed estesa a quasi tutti gli edifici.

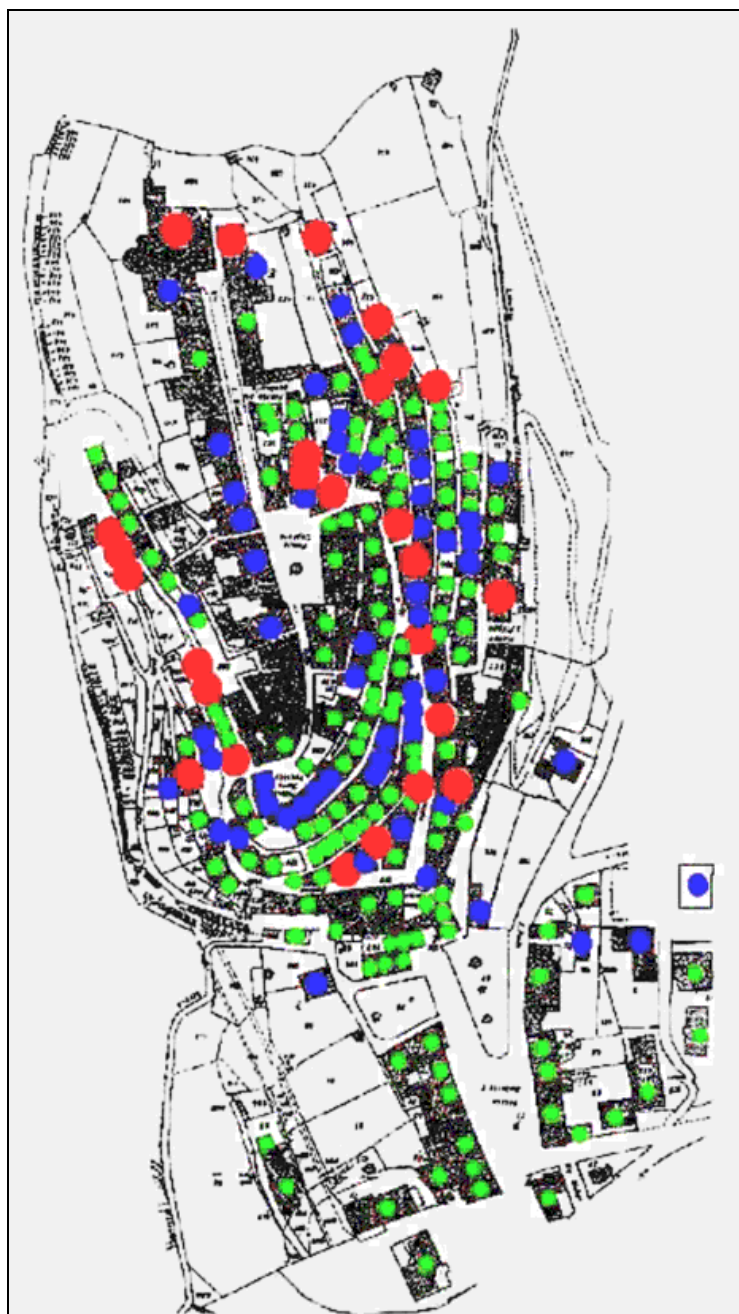


Figura 8.1 - Terremoto dell'Umbria-Marche del 1997: carta del danneggiamento del centro storico di Nocera Umbra.

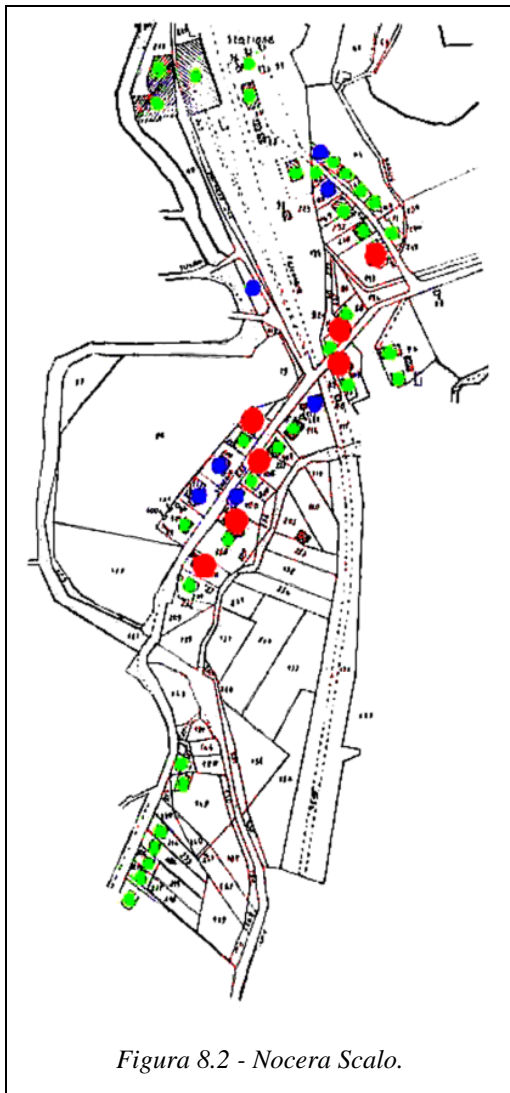


Figura 8.2 - Nocera Scalo.

Nel dettaglio, Nocera scalo (Figura 8.2), il cui abitato ricade nelle alluvioni del Topino, presenta un livello di danno medio non particolarmente elevato, ma significativi sono stati i danni prodottisi ad alcuni edifici in muratura, tra cui una chiesa in cui si è avuto il distacco a tutt'altezza della facciata principale. Emblematico, invece, di una non felice filosofia progettuale antisismica di base è stato il danneggiamento osservato su un edificio in c.a. di recente costruzione, progettato per resistere ad azioni sismiche da zone di seconda categoria, in cui, una non corretta distribuzione delle rigidezze, ha prodotto la rottura per taglio in testa a tutti i pilastri perimetrali di uno stesso lato dell'edificio con rottura delle staffe ed espulsione del copriferro.

Le frazioni più colpite, con danni estesi mediamente gravi e gravissimi, sono risultate Isola, Le Molina, Pascigliano e La Costa.

Tra queste, Isola, che presenta danni gravissimi estesi a tutto l'edificato con molti crolli totali e parziali, aveva subito, peraltro, degli interventi di adeguamento sismico evidentemente non correttamente progettati e/o eseguiti (Figura 8.3).

I danni osservati a Le Molina (Figura 8.4), Pascigliano (Figura 8.5) e La Costa

(Figura 8.6) sono anch'essi mediamente gravi e/o gravissimi ma investono edifici non adeguati al sisma e con un grado di vulnerabilità particolarmente elevato. A riprova di quanto affermato giova ricordare che gli edifici che non hanno presentato alcun danno o hanno avuto danni lievi, siano essi in c.a. o in muratura, erano stati correttamente costruiti o avevano subito interventi di ristrutturazione adeguati.

Infine per quanto riguarda le frazioni di Bagni (Figura 8.7) e Stravignano (Figura 8.8) si sono avuti danni di media intensità che hanno interessato edifici non adeguati al sisma caratterizzati da un grado di vulnerabilità piuttosto elevato.

In definitiva, il quadro complessivo, che risulta dall'analisi del danneggiamento, mostra una situazione abbastanza critica con una inagibilità quasi totale e, soprattutto, evidenzia carenze strutturali di base spesso dovute, e questo è l'aspetto più preoccupante, a un non felice approccio alle problematiche progettuali proprie della zona sismica.

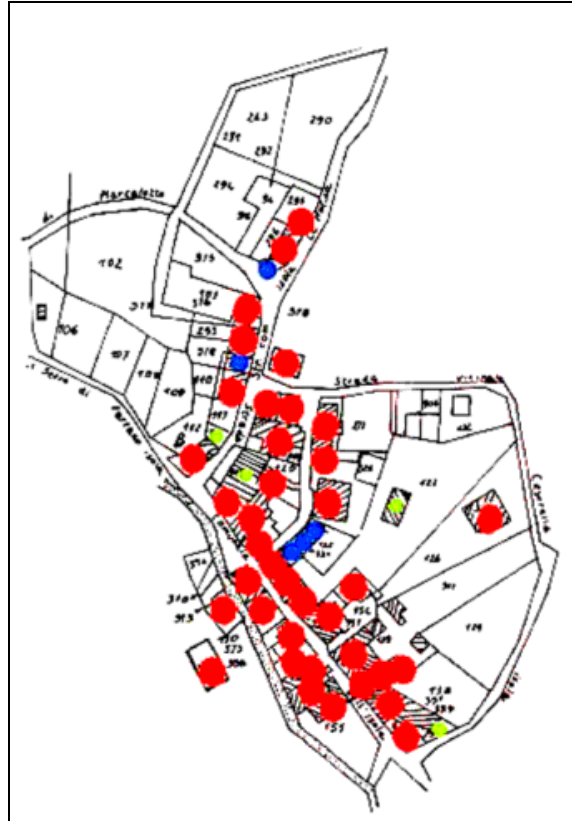


Figura 8.3 - Isola.

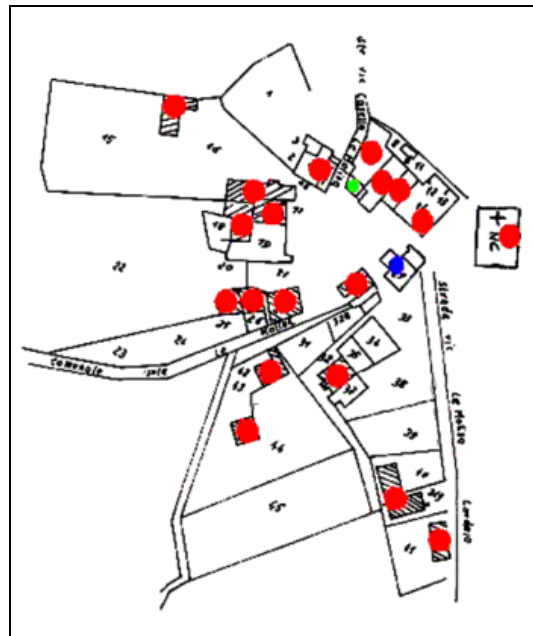


Figura 8.4 - Le Molina.

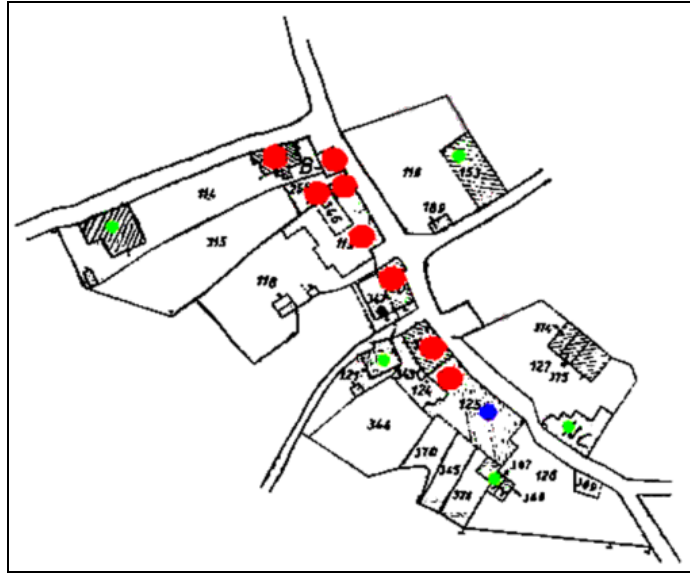


Figura 8.5 - Pascigliano.



Figura 8.6 - La Costa.



Figura 8.7 - Bagni.



Figura 8.8 - Stravignano.

9.0 SINTESI DEI RISULTATI E ZONAZIONE

Questo capitolo riguarda la caratterizzazione da un punto di vista del comportamento sismico dei suoli delle varie zone del territorio preso in esame. Gli elementi presi in esame sono:

1. rilevamento geologico di dettaglio condotto in scala 1:5.000; caratteristiche litotecniche dei suoli valutate con l'ausilio di sondaggi nonché di alcune prove down-hole e SASW;
2. analisi di registrazioni di aftershocks. In particolare sono stati presi in considerazione i rapporti spettrali di spettri di risposta con smorzamento al 5% (RSA) e rapporti di intensità di Housner (PSV) calcolati tra 0.1 e 0.5 s (RSI);
3. valutazioni di danneggiamento a seguito di quest'ultimo terremoto;
4. valutazione della pericolosità sismica della zona;
5. registrazioni accelerometriche.

9.1 Nocera Umbra e Nocera scalo

Zona 0: questa zona comprende la formazione della Scaglia Rossa. Su questa formazione è stata installata la stazione velocimetrica BRK, assunta come stazione di riferimento. Le caratteristiche della roccia, secondo la classificazione di Bieniawski, ricadono tra la "Roccia discreta" e la "Roccia scadente".

Zona 1: comprende le formazioni che vanno dalla Scaglia variegata alla Marnoso - arenacea. Queste formazioni presentano caratteristiche litologiche simili. Le prove down-hole hanno evidenziato per la parte alterata valori di V_s tra 400 e 600 m/s; a profondità maggiori di 8 metri sono stati riscontrati valori compresi tra 700 e 950 m/s. Su queste formazioni erano poste le stazioni velocimetriche ES2, GLL, VTT che hanno evidenziato rapporti spettrali con ampiezze mediamente di 1.5 e rapporti di S.I. mediamente pari a 1.5.

Comportamento differente ha mostrato la stazione IPS per la quale sono risultati valori di RSI di 3.5 e RSA di 4 tra 0.2 e 0.3 s.

Zona 2: in essa erano state installate le stazioni velocimetriche LOM, PIN. Esse si trovano su depositi eluviali e colluviali le cui V_s sono intorno a valori di 200 m/s. Queste hanno dato RSI di 2.5 e rapporti spettrali con picchi che raggiungono il valore di 4 tra 0.2 e 0.3 s.

Zona 3: in essa erano state installate le stazioni MSC e AMN. Esse si trovano su depositi alluvionali recenti. Queste hanno dato valori di RSI fino a 3.5 e RSA con picchi fino a 8 per periodi relativamente bassi.

Nella zona di Nocera scalo, posta su depositi alluvionali recenti, la distribuzione del danneggiamento è all'incirca omogenea e si attesta su livelli medio-bassi; di particolare interesse risultano i casi di un edificio in muratura che ha subito danni particolarmente gravi sebbene il suo grado di vulnerabilità fosse piuttosto basso e quello di un edificio in calcestruzzo armato progettato con criteri antisismici di II categoria che ha subito danni alle strutture verticali.

Zona 4: in essa erano state installate le stazioni ENE, ES1, OSP. Anche esse si trovano su depositi eluviali e colluviali per i quali la prova down-hole condotta in un foro adiacente alla stazione ENE (S1) ha dato valori di 200 m/s confermati dalla SASW. I valori di RSI sono risultati compresi tra 5 e 6 e quelli di RSA con picchi che arrivano a 12, 13 per periodi variabili tra 0.1 e 0.3. In ES1 e OSP si osserva una amplificazione maggiore lungo la componente N-S rispetto a quella E-W. In corrispondenza di ENE si trova la postazione accelerometrica che ha fatto registrare per i terremoti del 26/09/97 accelerazioni di picco superiori a 0.5 g con frequenze predominanti tra 6 e 8 Hz.

Zona 5: in essa era stata installata la stazione GRN posta su detriti di versante. I valori di RSI sono risultati di 5.5 e di RSA fino a 9 tra 0.2 e 0.3 s. C'è da notare che detriti di versante sono presenti anche sui versanti occidentale ed orientali della collina di Nocera Umbra dove sono stati misurati valori di N_{spt} pari a 19; ad essi, nelle zone retrostanti alle mura urbane, si sovrappongono riporti antropici con valori di $N_{spt} < 10$.

Per quanto attiene in particolare all'area del centro storico di Nocera Umbra si osserva una distribuzione del danno tale che, indipendentemente dalle caratteristiche di vulnerabilità degli organismi strutturali, le pendici, poste in parte su detriti di versante e riporti antropici, evidenziano il maggior grado di danneggiamento. La restante parte, posta su Scaglia Rossa, con organismi strutturali che presentano comunque caratteristiche portanti migliori per effetto di un utilizzo diffuso degli incatenamenti orizzontali, è interessata da un danno di media entità, eccettuata la Torre campanaria che ha riportato danni gravissimi. Una stazione posta in prossimità della piazza principale di Nocera ha evidenziato amplificazioni spettrali con picco di circa 3 tra 2 e 5 Hz.

9.2 Isola - Le Molina - La Costa - Pascigliano

Come stazione di riferimento è stata presa BR1, posta sulla formazione della Maiolica con caratteristiche grosso modo paragonabili a quelle della Scaglia Rossa.

Zona 6: comprende la formazione della Marnoso - arenacea in alcuni casi coperta da depositi fluviali e lacustri di spessore massimo di 3 - 4 metri. In essa sono state installate le stazioni di PAS, BR2, SAL, MAN dalle quali risulta un RSI tra 1.5

e 2.5 (MAN) e i valori di RSA non evidenziano particolari picchi. Pascigliano ha fatto registrare un danneggiamento grave a fronte però di un contesto edilizio di elevata vulnerabilità; due edifici con grado di vulnerabilità basso, infatti, non hanno riportato alcun danno.

Un comportamento alquanto differente ha mostrato la stazione MIC, posta anch'essa sulla Marnoso - arenacea, ma con RSI di 3.5 e valori di RSA di 3.5 per periodi tra 0.25 e 0.8 s.

Zona 7: in essa sono state installate le stazioni di COS e PAR, la prima su detrito di versante mediamente cementato e di spessore sino a 10 metri e la seconda tra il detrito di versante e la roccia di appoggio. I valori di RSI sono risultati rispettivamente di 3.2 e 2.4 con valori di RSA di 3.5 per un periodo di 0.2 s per COS e indipendenti da periodo per PAR.

Il livello di danneggiamento a La Costa è risultato medio con picchi di danno che hanno interessato le strutture meno resistenti alle azioni sismiche.

Zona 8: si trova in corrispondenza dei depositi alluvionali recenti e terrazzati di spessore variabile in destra orografica del T. Caldognola. Dai due profili esplorati con la prova down-hole risultano valori di V_s compresi tra 180 e 210 m/s laddove sono prevalenti le frazioni fini mentre i materiali sottostanti più grossolani tra 300 e 500 m/s. La curva di decadimento elaborata per questi materiali ha rilevato un campo molto ristretto tra la soglia lineare (0.002%) e la soglia volumetrica (0.02%). In essa sono state poste le stazioni di ISO e LMO. Il valore di RSI per ISO è 3.4 e per LMO è 4. Per ISO inoltre si osserva una amplificazione preponderante in direzione N-S con un picco fino a 6.5 tra 0.08 e 0.12 s mentre per LMO l'RSA comprende una banda più larga.

Per quanto riguarda il danneggiamento Isola presenta danni gravissimi imputabili al non ottimale approccio progettuale adottato negli interventi di adeguamento realizzati.

Le Molina ha fatto registrare un danneggiamento grave a fronte di un contesto edilizio caratterizzato da elevata vulnerabilità.

10.0 RACCOMANDAZIONI

In base alle sintesi esposte nel paragrafo precedente le zone sopra descritte possono essere raggruppate secondo i seguenti coefficienti di amplificazione:

- coefficiente di amplificazione $FA= 1$: Zona 0 ad esclusione delle zone di cresta del centro storico di Nocera Umbra;
- coefficiente di amplificazione 1.1: cresta del centro storico di Nocera Umbra; Zona 1 ad esclusione dell'area all'intorno della stazione velocimetrica IPS; Zona 6 ad esclusione dell'area all'intorno della stazione velocimetrica MIC;
- coefficiente di amplificazione 1.3: Zona 7, Zona 2, la collina su cui è posizionata la stazione velocimetrica MIC, l'area intorno alla stazione velocimetrica IPS;
- coefficiente di amplificazione 1.4: Zona 3, Zona 8, corrispondenti ai depositi alluvionali recenti e terrazzati del T. Topino e del T. Caldognola in destra idrografica nell'area di Isola;
- coefficiente di amplificazione 1.5: Zona 4, Zona 5 alla quale può essere associata la situazione dei pendii orientale ed occidentale della collina di Nocera Umbra laddove i riporti antropici ed i detriti di versante hanno spessore superiore a 3-4 metri.

L'area delle stazioni velocimetriche ES1, OSP, IPS si trova all'interno di un impluvio i cui versanti sono caratterizzati dalle formazioni del Bisciario e della Scaglia Cinerea con coperture di depositi eluviali e colluviali e detriti di versante di diversa potenza; alla parte a monte di questo impluvio corrisponde un coefficiente di amplificazione pari a 1.5 mentre alla parte a valle un coefficiente di 1.3.

Per quanto attiene all'area del cimitero posto in prossimità della stazione velocimetrica ENE caratterizzata da depositi eluviali e colluviali, ad essa è attribuito un coefficiente di amplificazione di 1.5. A questi stessi depositi nella parte a valle della S.S. Flaminia è stato attribuito un valore del coefficiente di amplificazione pari a 1.3 così come a quella a monte del cimitero che si trova invece su una sella e sul versante che dalla sella guarda verso sud-est in un'area di recente costruzione.

Aggiungiamo infine tre osservazioni che ci paiono particolarmente rilevanti:

- 1) La non totale corrispondenza tra carta geologica e fenomeni di amplificazione o tra carta morfologica e fenomeni di amplificazione non deve meravigliare, in quanto lo scuotimento può dipendere anche da altri fattori (effetti di direttività, effetti bidimensionali dovuti a particolari morfologie, caratteristiche della sorgente sismica quali la durata e il contenuto in frequenza). D'altra parte ogni terremoto supporta questa osservazione.

- 2) Non si è volutamente prodotta una carta finale anche sulla base di esigenze espresse dai Servizi Tecnici della regione Umbria, lasciando alla Regione e alle amministrazioni locali il compito di decidere dove mettere il confine esatto tra le varie zone sopra descritte.
- 3) In particolare nel centro storico di Nocera si sono rilevate: a) chiare evidenze di danni imputabili ai terreni di fondazione, b) indizi di instabilità e dissesti del terreno nel versante occidentale e nel versante orientale, c) presenza di riporti e di coltri detritiche di scarsa consistenza, di spessore incerto e dai confini areali non definiti, d) esistenza di costruzioni fondate su terreni di caratteristiche meccaniche molto diverse.

La specificità di tale situazione suggerisce l'opportunità, ai fini di una corretta progettazione degli interventi di recupero e di rafforzamento delle costruzioni, di accertamenti diretti per le singole situazioni fondali, per identificare con i consueti metodi della geotecnica, la eventuale presenza di movimenti in atto del terreno circostante, la natura dei terreni di fondazione (in particolare caratteristiche stratigrafiche e proprietà geotecniche), le caratteristiche delle strutture di fondazione così da poterne verificare l'idoneità a sopportare le azioni di progetto, o, in caso di esito negativo, studiarne il rafforzamento con le procedure più idonee.

Bibliografia

- Ambraseys, N.N., K.A. Simpson e J.J Bommer (1996). Prediction of horizontal response spectra in 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.
- 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>
- Dziewonski, A., S. Bloch e M. Landisman (1969). A Technique for the Analysis of Transient Seismic Signals. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 59, pp.427-444.
- Levshin A., V.F. Pisarenko e G.A. Pogrebinsky (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.
- Rovelli A., A. Caserta, B. Palombo, F. Bellucci, G. Cultrera, F. Marra, G. Mele, S. Donati (1998). Amplification of ground motion due to topography and sedimentary filling in the Nocera Umbra area (Central Italy). *Proceedings of the Second International Symposium on The Effects of Surface Geology on Seismic Motion*. Yokohama, Japan, 1-3 December, 1998.
- 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., V.I. Keylis-Borok and A.L. Levshin (1968). Determination of the velocity profile of the upper mantle in Europe *Nauk SSSR*, Vol.185, No.8, pp.564-567.