

COMUNE DI SIROLO

PROVINCIA DI ANCONA



VARIANTE GENERALE AL PRG

IN ADEGUAMENTO AL PIANO DEL PARCO DEL CONERO

IL SINDACO
Dott. Filippo Moschella

IL SEGRETARIO COMUNALE
Dott. Alessio Maria D'Angelo

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO
Ing. Corrado Francinella

TECNICO ISTRUTTORE
Geom. Luca Ippoliti

ELABORATO: **A3**

MICROZONIZZAZIONE SISMICA – RELAZIONE ILLUSTRATIVA

DATA: Dicembre 2023

PROGETTISTI
Arch. Sergio Agostinelli (progettista incaricato)

COLLABORATORI
*Ing. Paola Caimmi
Ing. Marika Fucili
Geom. Fabrizio Braccini
Arch. Pierpaolo Pieromaldi*

ARCHEOLOGIA:
Dott. Maurizio Bilò

GEOMORFOLOGIA:
Dott. Geol. Stefano Giuliani



Attuazione dell'articolo 11 della legge 24 giugno 2009, n.77
OPCM 4007/2012
PROGRAMMA REGIONALE DEGLI STUDI E INDAGINI DI MICROZONAZIONE SISMICA. ANNUALITA' 2011

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione illustrativa

Regione Marche Comune di Sirolo



Regione



Soggetto realizzatore:

Dott. Geol. Domenico Venanzini
GEOEQUIPE Studio Tecnico Associato

Collaboratore:

Dott. Geol. Franco Pontoni

Altre collaborazioni:

Dott. Geol. Fabrizio Pontoni

Dott. Geol. Angelo Beano

Dott. Geol. Giovanna Cagliani

Data

Settembre 2013

INDICE

1 - PREMESSA E METODOLOGIA DI INDAGINE	3
2 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE.....	6
3 - INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	19
4 - SISMICITA' STORICA.....	32
5 - ELABORATI CARTOGRAFICI.....	36
5.1 - CARTA DELLE INDAGINI	36
5.2 - CARTA GEOLOGICO-TECNICA	38
5.3 - CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA (MOPS).....	46
6 - DATI GEOTECNICI E GEOFISICI	55
6.1 - DATI GEOTECNICI.....	55
6.2 - DATI GEOFISICI	57
7 - CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	65
8 - BIBLIOGRAFIA.....	67

1 - PREMESSA E METODOLOGIA DI INDAGINE

Su incarico dell'Amministrazione Comunale di Sirolo (AN) sono state svolte le indagini finalizzate alla microzonazione sismica di 1° livello del territorio comunale in attuazione della O.P.C.M. 29 febbraio 2012 n°4007 e della D.G.R. 23 ottobre 2012 n°1470.

Lo studio di microzonazione sismica (MS) di 1° livello è consistito nella raccolta ed elaborazione dei dati esistenti di natura geologica, geomorfologica, idrogeologica, geotecnica e sismica al fine di pervenire ad una prima suddivisione del territorio comunale studiato in zone omogenee dal punto di vista del comportamento sismico. Il 1° livello risulta pertanto propedeutico e di indirizzo per gli studi di approfondimento successivi (2° e 3° livello) finalizzati alla valutazione della pericolosità sismica, guidando le scelte di pianificazione urbanistica nell'ottica di perseguire ed assicurare la riduzione del rischio sismico.

Per lo svolgimento delle indagini e la stesura degli elaborati di sintesi sono state utilizzate le indicazioni e gli standard di rappresentazione contenuti nei seguenti documenti tecnici di riferimento:

- ⇒ "Indirizzi e criteri per la Microzonazione Sismica (ICMS)" redatti dal Dipartimento della Protezione Civile ed approvati il 13 novembre 2008 dalla Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome;
- ⇒ Contributi per l'aggiornamento degli ICMS (AA.VV. in Supplemento alla Rivista "Ingegneria Sismica", Anno XXVIII - n.2 - 2011);
- ⇒ "Microzonazione sismica - Standard di rappresentazione e archiviazione informatica" (vers.2.0-giugno2012), redatti dalla Commissione Tecnica per la Microzonazione sismica;
- ⇒ note tecniche esplicative ed indicazioni fornite dalla Commissione Tecnica Regionale nel corso degli incontri periodici tenutisi durante lo svolgimento delle indagini.

L'area oggetto delle indagini di MZS di 1° livello è stata individuata in relazione alla conformazione morfologica del territorio comunale di Sirolo e soprattutto tenendo conto dell'articolazione urbanistica dell'edificato esistente e di quello di previsione.



Fig. 1.1 - Foto aerea con indicazione dell'area di indagine (tratta da: google earth)

Pertanto, vista la particolare concentrazione dell'edificato esistente e di progetto in prossimità della costa e secondo un unico allineamento est-ovest, è stata delineata un'unica area di indagine avente una estensione areale di circa 8,3 Km² su un totale del territorio comunale pari a 16,68 Km² (fig. 1.1). L'area d'indagine è stata, inoltre, estesa ad un intorno significativo delle aree edificate o di futura espansione, sufficiente a fornire una migliore comprensione del locale contesto morfo-stratigrafico. In tale ottica, nell'area oggetto di studio è stata inserita la zona del versante sud del M.te Conero anche se rientrante nei casi di esclusione dalla MZS previsti all'art.5 della O.P.C.M. 4007/2012 (area SIC-ZPS). Un'altra eccezione ai casi di esclusione previsti è rappresentata da due piccole aree classificate R4 dal P.A.I. - Piano Assetto Idrogeologico della Regione Marche (area a rischio frana molto elevato F-13-0196, F-13-0008), in quanto intercluse o marginali ad aree urbanizzate.

Come indicato dalla Commissione Tecnica Regionale, per la redazione delle cartografie è stata utilizzata la base C.T.R. della Regione Marche in scala 1:10.000 (sez. 293080-293120), mentre nel corso dello studio sono stati utilizzati anche i dati derivanti dalle basi cartografiche comunali di maggior dettaglio (scala 1:2.000). Per quanto riguarda, invece, gli elaborati grafici previsti, in considerazione della relativa estensione dell'area di indagine è stata scelta una scala 1:5.000 per la rappresentazione planimetrica e 1:2.000 per le sezioni geologico-stratigrafiche.

In sintesi lo studio è stato così articolato:

- inquadramento generale dell'area nel contesto geologico-stratigrafico, strutturale e geomorfologico sulla base degli studi e delle pubblicazioni scientifiche attualmente disponibili;
- acquisizione presso l'Ufficio Tecnico Comunale dei dati esistenti a carattere geologico, geomorfologico, idrogeologico, geotecnico e geofisico derivanti da precedenti indagini realizzate a corredo degli strumenti di pianificazione urbanistica (P.R.G.) o per l'esecuzione di opere pubbliche e private (sondaggi geognostici, prove penetrometriche, prove geotecniche di laboratorio, indagini geofisiche, ecc...);

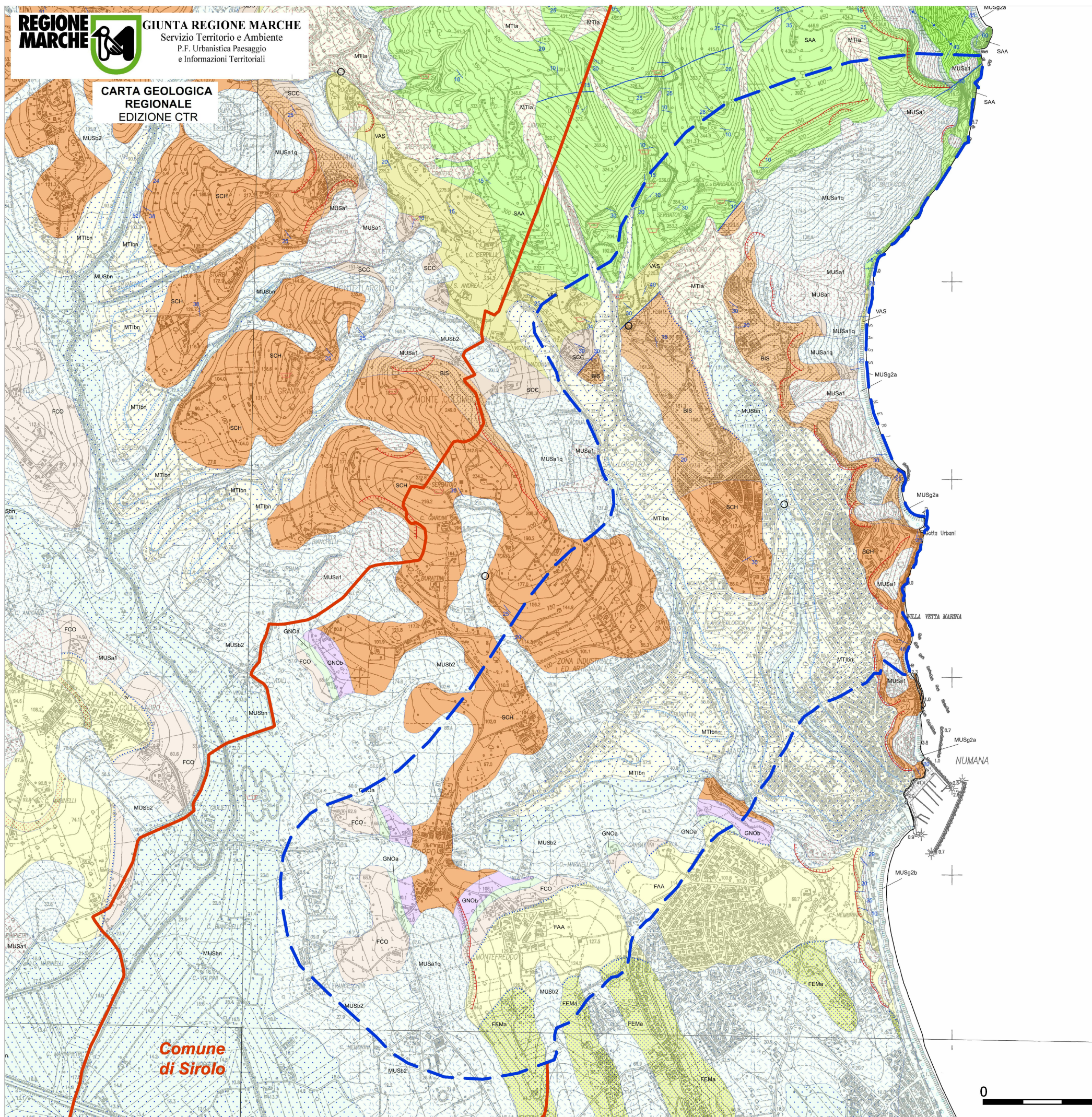
- definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento (sismicità storica);
- esecuzione di indagini sismiche (MASW – HVSR) per la definizione delle velocità delle onde S (Rayleigh) e delle frequenze di risonanza nelle zone ritenute più significative;
- analisi e sintesi di tutti i dati raccolti, attraverso la selezione e omogeneizzazione delle informazioni utili ai fini del presente studio, sintetizzate nella "Carta delle indagini";
- definizione del modello di sottosuolo dell'area di indagine, esplicitato nella "Carta geologico-tecnica" corredata da sezioni geologico-tecniche esemplificative del locale assetto geologico-stratigrafico;
- sintesi di tutti i dati e stesura della "Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica" (M.O.P.S) sulla base di tutti gli elementi geologico-stratigrafici e geomorfologici predisponenti alle amplificazioni sismiche ed alle instabilità individuati nella "Carta geologico-tecnica".

2 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE

Per l'inquadramento geologico generale dell'area investigata sono stati utilizzati i dati di riferimento del progetto C.A.R.G. ed in particolare del Foglio 293 "Osimo" attualmente in corso di stampa e pubblicato sul web (<http://www.isprambiente.gov.it>). E' stata inoltre utilizzata la Carta Geologica Regionale recentemente pubblicata in scala 1:10.000 (sez. 293080-293120) oltre ai dati derivanti dalle indagini geologiche redatte dallo scrivente a corredo di alcune Varianti del P.R.G. del Comune di Sirolo.

In fig. 2.1 si riporta uno stralcio della Carta Geologica Regionale che è stata assunta come base per la definizione delle unità litostratigrafiche recentemente revisionate nel progetto CARG seguendo il criterio litostratigrafico e dell'analisi di facies, al fine del riconoscimento dei paleoambienti e della loro evoluzione spazio-

**CARTA GEOLOGICA
REGIONALE
EDIZIONE CTR**



LEGENDA GEOLOGICA

DEPOSITI CONTINENTALI QUATERNARI

SINTEMA DEL MUSONE (OLOCENE)

	MUSa1	Frane in evoluzione
	MUSa1q	Frane senza indizi di evoluzione
	MUSb2	Depositi eluvio-colluviali
	MUSbn	Depositi alluvionali terrazzati sabbie, sabbie ghiaiose
	MUSg2a	Depositi di spiaggia attuale ghiaie, ghiaie sabbiose
	MUSg2b	Depositi di spiaggia antica ghiaie, ghiaie sabbiose

SINTEMA DI MATELICA
(PLEISTOCENE SUPERIORE)

	MT1a	Depositi di versante
	MT1bn	Depositi alluvionali terrazzati sabbie, sabbie ghiaiose

SUCCESSIONE UMBRO-MARCHIGIANO-ROMAGNOLA

	FEMa	FORMAZIONE DI FERMO Litofacies arenaceo-conglomeratica Pleistocene inferiore(?) - Medio
SUCCESSIONE PLIOCENICA		
	FAA	ARGILLE AZZURRE Pliocene inferiore p.p.(Zancleano) - Pleistocene inferiore-Medio(?)

SUCCESSIONE CALCAREO E/O MARNOSA CRETACICO MIOGENICA

	FCO	FORMAZIONE A COLOMBACCI Miocene superiore (Messiniano)
	GNOa	FORMAZIONE DI SAPIGNO Argille gessose e gessareniti alternati a gessi cristallini salentini Miocene superiore (Messiniano)
	GNOb	FORMAZIONEDI SAPIGNO Argille gessose e gessareniti alternati a peliti scure con sottili intervalli ricchi di materia organica. Miocene superiore (Messiniano)
	SCH	SCHLIER Miocene inferiore(Burdigalianop.p.) - Miocene superiore(Messinianop.p.)
	BIS	BISCIARO Miocene inferiore(Aquitiano p.p. - Burdigalianop.p.)
	SCC	SCAGLIA CINEREA Eocene superiore p.p.(Priaboniano) - Oligocene superiore(Chatthiano)
	VAS	SCAGLIA VARIEGATA Eocene medio p.p.(Luteziano p.p.) - Eocene superiore (Priaboniano)
	SAA	SCAGLIA ROSSA Cretaceo superiore (Turoniano) - Eocene medio (Luteziano p.p.)
	FUC	MARNE A FUCOIDI Cretacico inferiore (Aptiano - Albiano)
	MAI	MAIOLICA Cretacico Inferiore (Hauterviano- Barremiano)

	Deposito antropico / struttura antropica
	Contatto stratigrafico o litologico
	Contatto stratigrafico inconforme
	Faglia
	Faglia diretta
	Orlo di scarpata di frana
	Orlo di terrazzo fluviale
	Traccia di superficie assiale di anticlinale
	Stratificazione dritta
	Stratificazione orizzontale dritta
	Cava inattiva
	Sorgente
	Area oggetto di indagine di microzonazione sismica di I livello

Fig. 2.1: Stralcio Carta Geologica Regionale
(sezioni 293040-293070-293080-293110-293120)

temporale. La recente revisione critica delle unità litostratigrafiche note in letteratura che ne è derivata ha portato in alcuni casi all'istituzione di nuove unità. Anche per quanto riguarda i depositi quaternari continentali è stata adottata una nuova suddivisione in sintemi, ispirati a cicli identificabili nei sedimenti alluvionali.

Nell'area studiata sono presenti, dall'alto verso il basso, le seguenti unità litostratigrafiche:

UNITA' DELLA COPERTURA (DEPOSITI CONTINENTALI QUATERNARI)

SINTEMA DEL F. MUSONE (*Olocene*)

- Depositi di spiaggia attuali (*MUSg2a*), che costituiscono gli attuali depositi litorali a granulometria prevalentemente ghiaioso-sabbiosa. Essendo la costa caratterizzata da una alta falesia attiva e in relazione alla scarsità di apporti clastici nell'area di indagine le spiagge attuali occupano baie di estensione variabile che interrompono la continuità della falesia stessa (Urbani, Sassi Neri-S. Michele). La consistenza e l'estensione delle spiagge attuali è stata anche notevolmente condizionata dall'attività antropica (ripascimenti).
- Depositi eluvio-colluviali (*MUSb2*), costituiti principalmente da argille limose e limoso-sabbiose, limi argilloso-sabbiosi con ghiaie sparse e percentuali variabili di detriti angolosi o subangolosi marnoso-calcarei provenienti dalle unità più antiche del substrato. Ricoprono diffusamente i versanti con spessori molto variabili e massimi che possono superare anche i 20 m.
- Depositi alluvionali terrazzati (*MUSbn*), prevalentemente sabbioso-limosi o sabbioso-ghiaiosi, occupano i tratti medio-bassi delle principali incisioni vallive che drenano direttamente al mare in direzione N-S (fosso dei Molini, ecc.) con diramazioni anche W-E.
- Frane, distinte tra attive ("in evoluzione" - *MUSa1*) e quiescenti ("senza indizi di evoluzione"-*MUSa1q*), che interessano soprattutto il versante e la falesia costiera coinvolgendo, con spessori anche considerevoli, sia le unità della

copertura che del substrato. Tali depositi risultano pertanto litologicamente e tessituralmente molto eterogenei in relazione alla natura dei terreni coinvolti.

SINTEMA DI MATELICA (*Pleistocene superiore*)

Depositi di versante (MTIa), costituiti principalmente da ghiaie eterometriche a spigoli vivi e scarsamente elaborate in matrice limoso-sabbiosa in percentuale variabile. Tali depositi sono stati rilevati nelle vallecole e sul versante S-SE del M.te Conero modellato nel substrato prevalentemente calcareo e calcareo-marnoso. Lo spessore di tali depositi risulta variabile con massimi dell'ordine dei 20m.

Depositi alluvionali terrazzati (MTIbn), granulometricamente e tessituralmente eterogenei sono costituiti da ghiaie in matrice limoso-sabbiosa, sabbie limose e/ limi sabbiosi. Tali depositi sono particolarmente sviluppati nella parte centrale dell'area di indagine e lungo le due incisioni vallive che la solcano verso nord (f.so dei Molini, ecc..) e presentano spessori variabili con massimi anche superiori ai 20m.

UNITA' DEL SUBSTRATO GEOLOGICO

- Formazione di Fermo - litofacies arenaceo-conglomeratica (FEM - Pleistocene inferiore-medio?), delimitata alla base da una superficie di discontinuità a carattere regionale che marca un importante trasgressione, con un contatto erosivo e discordante sui terreni più antichi sottostanti. Di estensione molto limitata, tale formazione è presente all'estremità meridionale dell'area di indagine al confine con il Comune di Numana. La litofacies è generalmente costituita da una alternanza di sabbie con diverso grado di cementazione in strati da sottili a spessi, spesso con geometrie lenticolari. Sono inoltre presenti livelli ghiaiosi e più sottili intercalazioni o lenti argillose. Le strutture di sedimentazione evidenziano un ambiente deposizionale situato sul fronte di un

apparato deltizio fortemente alimentato, con transizione da spiaggia sottomarina (*hummocky cross stratification*), a spiaggia emersa, fino a continentale. L'assetto morfostratigrafico dei depositi di spiaggia suggerisce nel Pleistocene inf-medio una paleolinea di costa orientata circa E-O a contornare le propaggini meridionali del M.te Conero che costituiva probabilmente un'isola prospiciente la costa adriatica.

- Formazione delle Argille azzurre (FAA - Pleistocene inf.-med.), caratterizzata nell'area dalla predominanza di facies argilloso-siltose. L'associazione litologica è costituita prevalentemente da peliti di colore grigio-azzurro e grigio-avana con sottili e sottilissime intercalazioni di sabbie gialle o grigie fini e finissime che evidenziano una stratificazione sottile, anche se localmente l'aspetto può essere massivo a causa di fenomeni di bioturbazione. Gli affioramenti di tale unità, che presenta spessori superiori ai 200 m, risultano molto limitati e scarsamente significativi a causa della facile erodibilità della stessa e della presenza di estese coperture detritiche continentali. L'ambiente deposizionale è riconducibile a quello marino di piattaforma continentale, posto cioè al di sotto della profondità media alla quale si esplica l'azione delle onde. Il contatto con le sottostanti Argille a Colombacci (FCO) è marcata da una discordanza con un contatto di tipo inconforme.
- Formazione a Colombacci (FCO - Messiniano.), costituita da marne argillose, argille marnose e argille siltose di colore da grigio a nerastro, in strati da sottili a medi, con intercalazioni di sottili livelli di calcari micritici biancastri di origine chimica ("Colombacci"). Lo spessore risulta dell'ordine dei 100-150m. L'ambiente deposizionale è caratterizzato da variazioni cicliche di sedimentazione legate verosimilmente a fluttuazioni di natura climatica nel rapporto alcalinità/acidità delle acque o variazioni di batimetria in quel particolare contesto bacinale denominato di "lago-mare" che si viene ad

instaurare dopo la crisi di salinità messiniana. La sedimentazione della formazione a Colombacci prelude, a scala regionale, all'inizio del nuovo ciclo sedimentario pilo-pleistocenico.

- Formazione di Sapigno (GNO -Messiniano), appartenente alla formazione gessoso-solfifera, è presente nella parte meridionale dell'area di indagine con affioramenti molto limitati e scarsamente significativi, mentre risulta ben osservabile in affioramenti posti a nord del M.te Conero. La formazione è costituita da un'alternanza di argille scure bituminose, diatomiti, gessi cristallini, gessareniti cristalline e calcari soliferi. Si distinguono generalmente due associazioni litologiche principali: una litofacies inferiore, prevalentemente pelitica (GNOb), predominante, ed una litofacies superiore contenente gessi cristallini e gessareniti (GNOa). Lo spessore complessivo della Formazione di Sapigno può anche raggiungere i 40-50 m. La predominanza della litofacies pelitica denota un ambiente deposizionale di piattaforma interna a profondità variabile ma modesta, in un contesto di bacini ristretti e confinati a circolazione molto limitata. Il gesso presente nella formazione, sotto forma di cristalli disseminati e gessareniti, testimonia la rideposizione di sedimenti deposti in ambienti limitrofi sottoposti ad episodi di ipersalinità.
- Schlier (SCH - Burdigaliano p.p.-Messiniano p.p.), costituito da marne argillose, marne calcaree e argille di colore variabile dal bianco all'avana-grigiastro affioranti in grossi banchi in maniera diffusa lungo la falesia costiera. A luoghi si rinvenivano litofacies finemente detritiche e calcarenitiche in strati lenticolari e discontinui. Nell'area di indagine lo Schlier presenta con una facies prevalentemente marnoso-argillosa con caratteristiche di consistenza atipiche rispetto a quelle dell'unità formazionale affiorante nel bacino marchigiano interno. Lo spessore risulta molto variabile con massimi nella zona del foglio Osimo anche superiori ai 350m. Nell'area di studio lo Schlier passa

superiormente alla Formazione gessoso-solfifera e termina di depositarsi al passaggio Messiniano inf.-Messiniano medio. L'ambiente deposizionale risulta quello emipelagico di piattaforma esterna con una componente carbonatica pelagica molto variabile.

- Bisciaro (BIS - Aquitaniano p.p.-Burdigaliano p.p.), costituito generalmente da calcari marnosi e siliceo-marnosi, calcareniti, marne calcaree e marne di colore variabile dall'avana al grigio scuro, ricche di frustoli carboniosi, noduli di pirite limonitizzata e sottili lamine vulcanoclastiche (cineriti). Nell'area di indagine tuttavia anche il Bisciaro presenta una facies atipica molto simile a quella descritta per lo Schlier, tanto che la loro distinzione sul terreno risulta difficoltosa. Caratteristici in questo caso sono la presenza di spessi orizzonti caotici riconducibili a "slumping" intraformazionali, ben visibili ad esempio in corrispondenza della falesia costiera (Loc. Punta Giacchetta). Nell'area studiata tale formazione affiora soltanto nella porzione settentrionale dell'area di indagine con uno spessore non superiore ai 70-80 m, mentre il bacino deposizionale corrisponde a quello batiale superiore, la cui articolazione morfologica risulta responsabile dei citati fenomeni gravitativi sinsedimentari ("slumping"). L'inizio della deposizione del Bisciaro è inoltre accompagnato dall'intensificarsi del vulcanesimo alcalino (cineriti).
- Scaglia cinerea (SCC - Eocene sup. p.p.-Oligocene sup. p.p.), nella sua litofacies più tipica affiorante nell'area del M.te Conero è costituita da alternanze in strati da sottili a medi di marne calcaree, marne, marne argillose e subordinatamente di calcari marnosi, intensamente clivati e scagliosi, di colore grigio cenere o grigio verdastro. Nella porzione inferiore, al passaggio con la sottostante Scaglia Variegata, si ritrovano frequentemente toni policromi tra il grigio ed il rosato, rendendo sovente problematica la determinazione del limite tra le due formazioni. Lo spessore totale della formazione risulta generalmente dell'ordine

dei 70-80 m. Nell'area di indagine la Scaglia cinerea affiora in corrispondenza della falesia costiera a nord di Punta Giacchetta e nella zona compresa tra M.te Colombo e S. Lorenzo. Per quanto riguarda l'ambiente deposizionale, tale formazione costituisce una tipica emipelagite batiale ad alimentazione mista argilloso-terrigena e carbonatica biogenica.

- Scaglia variegata (VAS - Eocene medio. p.p.- Eocene sup. p.p.), costituita da alternanze di marne argillose intensamente clivate, marne calcaree e calcari marnosi in strati da sottili a medi, localmente disturbati da pieghe e deformazioni sinsedimentarie ("slumping"). Il colore varia dal rosato al violaceo e al grigio-verdastro con fiamme varicolori, mentre lo spessore non supera i 50m. Il passaggio con la sottostante Scaglia Rossa è graduale e marcato da un progressivo aumento degli strati calcareo-marnosi e dalla comparsa della selce in prossimità del limite tra le due formazioni. L'ambiente deposizionale è il medesimo di quello della Scaglia cinerea.
- Scaglia rossa (SAA - Cretaceo sup. - Eocene medio. p.p.), rappresenta il termine più antico affiorante nell'area di indagine in corrispondenza del versante sud del M.te Conero. Tale formazione è costituita in prevalenza da calcari micritici e detritici rosati e biancastri, in strati da spessi a molto spessi, con sottilissimi interstrati di argille nerastre e selce rossastra in liste e noduli. Lo spessore osservabile nel foglio 293 "Osimo" è dell'ordine di 100-150m, molto ridotto rispetto a quanto osservato in altri settori appenninici. La formazione della scaglia rossa è riferibile ad un ambiente pelagico, con il bacino in via di compartimentazione per effetto dei prodromi dell'orogenesi alpina.

A titolo esemplificativo si riporta di seguito (fig. 2.2) uno schema cronostratigrafico delle unità del substrato affioranti nel foglio 293 - Osimo, in corso di stampa.

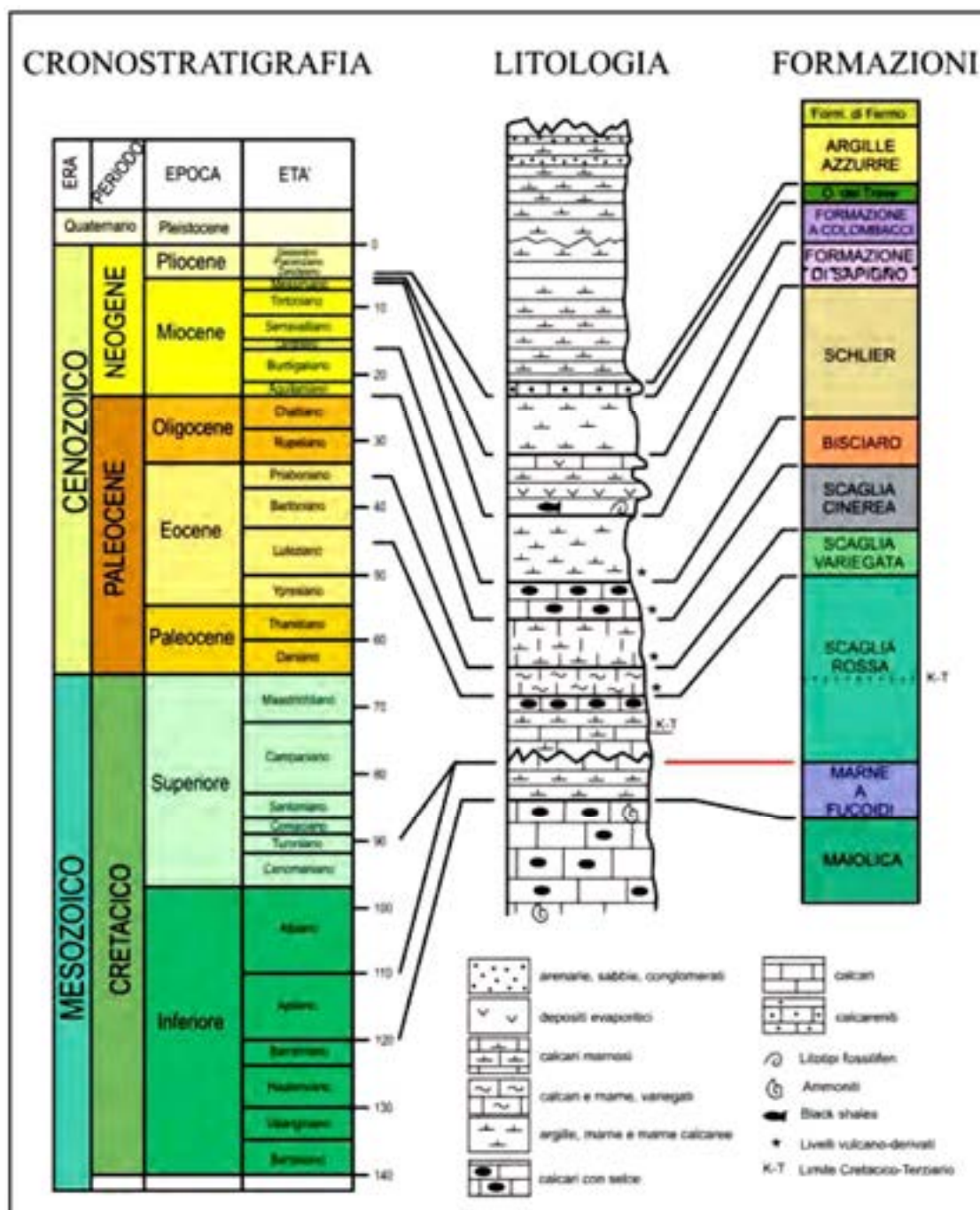


Fig. 2.2 - Schema cronostratigrafico delle unità del substrato
(tratto da: Carta Geologica d'Italia scal 1:50.000 - Note illustrative al Foglio 293 - Osimo - ISPRA-Serv.Geol.It. 2011)

Per quanto riguarda l'evoluzione tettonico-sedimentaria, l'area di indagine appartiene al settore centrale dell'Appennino umbro-marchigiano, una catena a pieghe e sovrascorrimenti che costituisce la parte meridionale più esterna dell'Appennino settentrionale. La successione sedimentaria affiorante in questo settore dell'Appennino è rappresentata dalle unità della serie umbro-marchigiana, pressoché continua dal Trias superiore al Neogene. Tali successioni si sono sviluppate su una parte del margine continentale africano in continua evoluzione dal Triassico al Pleistocene; la tettonica sinsedimentaria ha condizionato in maniera determinante gli ambienti di sedimentazione (fig.2.3).

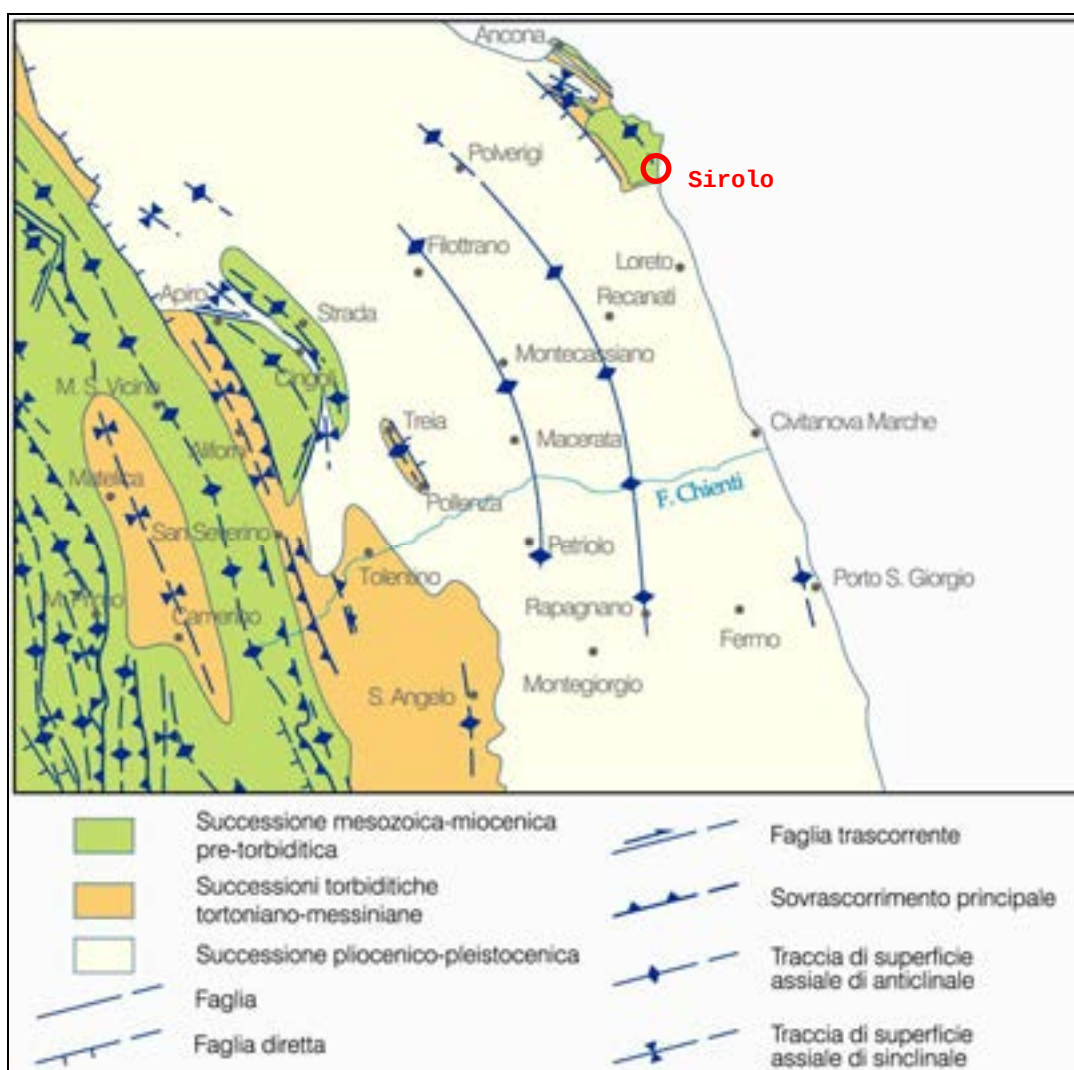


Fig. 2.3 - Schema di inquadramento geologico regionale
(tratto da: Carta Geologica d'Italia scal 1:50.000 - Note illustrative al Foglio 304
Civitanova Marche - ISPRA-Serv.Geol.It. 2011 - modificato)

Per questa ragione le suddette successioni presentano notevoli variazioni di facies e di spessori, che riflettono tale evoluzione nel tempo e nello spazio. La sedimentazione essenzialmente calcarea, che caratterizza pressoché tutto l'intervallo Triassico-Eocene, a partire dall'Oligocene diviene di tipo prevalentemente terrigeno. Nel corso del Miocene il bacino umbro-marchigiano è raggiunto dalle compressioni che, in rapida progressione da ovest a est, modificano continuamente la morfologia del fondo (sistema catena-avanfossa-avampaese). Tale bacino assume via via i caratteri di un'avanfossa torbidity migrante verso est a spese dell'avampaese (bacino umbro, bacino marchigiano interno e bacino marchigiano esterno) e ubicata sul fronte della catena appenninica in evoluzione (BOCCALETTI, 1986). Le torbiditi che colmano le avanfosse poggiano su emipelagiti di età sempre più recente verso l'esterno e segnano la progressiva migrazione della deformazione compressiva. Il bacino marchigiano esterno, ove ricade l'area in esame, assume nel Messiniano i caratteri di un'avanfossa torbidity, colmata dalla potente successione silicoclastica della Formazione della Laga, mentre al passaggio Messiniano-Pliocene viene coinvolto nella strutturazione del sistema a thrust appenninico. La sedimentazione marina continua con la deposizione delle Argille Azzurre (Pliocene-Pleistocene inferiore) di ambiente variabile da scarpata a piattaforma continentale, chiusa dai depositi litorali della Formazione di Fermo (Pleistocene inferiore) con evidente discontinuità (*unconformity*). Durante il Pliocene-Pleistocene inferiore, l'attività tettonica ha condizionato l'assetto morfologico del bacino marchigiano esterno che, pur mantenendo una sua unitarietà d'insieme, si è articolato in settori caratterizzati da una diversa evoluzione (fig.2.4). Nel settore anconetano (quello più rialzato) si hanno in generale minori tassi di sedimentazione con lacune sedimentarie estese nel tempo e marcate discordanze angolari tra i vari termini della successione depositatasi in un generale ambiente di piattaforma. In questo settore si realizzava anche l'emersione di una porzione di dorsale sottomarina rappresentata dall'attuale rilievo del Monte Conero.

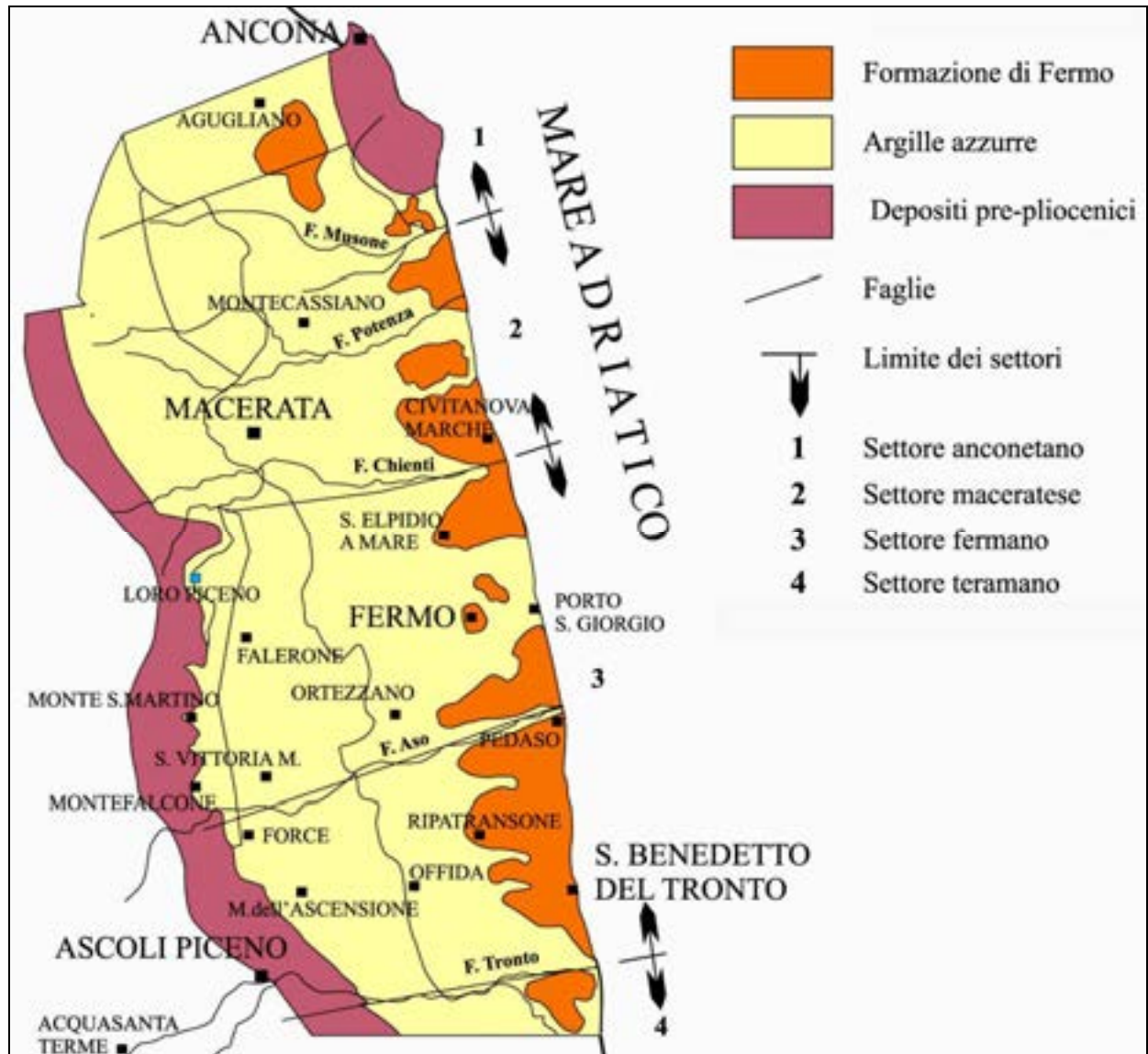


Fig. 2.4 - Schema geologico del bacino periadriatico marchigiano centro-meridionale.

(tratto da: Carta Geologica d'Italia scal 1:50.000 - Note illustrative al Foglio 304
Civitanova Marche - ISPRA-Serv.Geol.It. 2011 - modificato)

Con la fine del Pleistocene inferiore tutta la fascia periadriatica marchigiano-abruzzese emergeva per effetto di un fenomeno di sollevamento generalizzato.

Più nel dettaglio (fig. 2.5) per quanto riguarda l'assetto strutturale dell'area del M.te Conero, in tale settore affiorano i terreni più antichi della successione umbro-marchigiana, interessati da una serie di pieghe e sovrascorrimenti con direzione appenninica che individuano uno stile analogo a quello delle altre dorsali poste più a ovest.

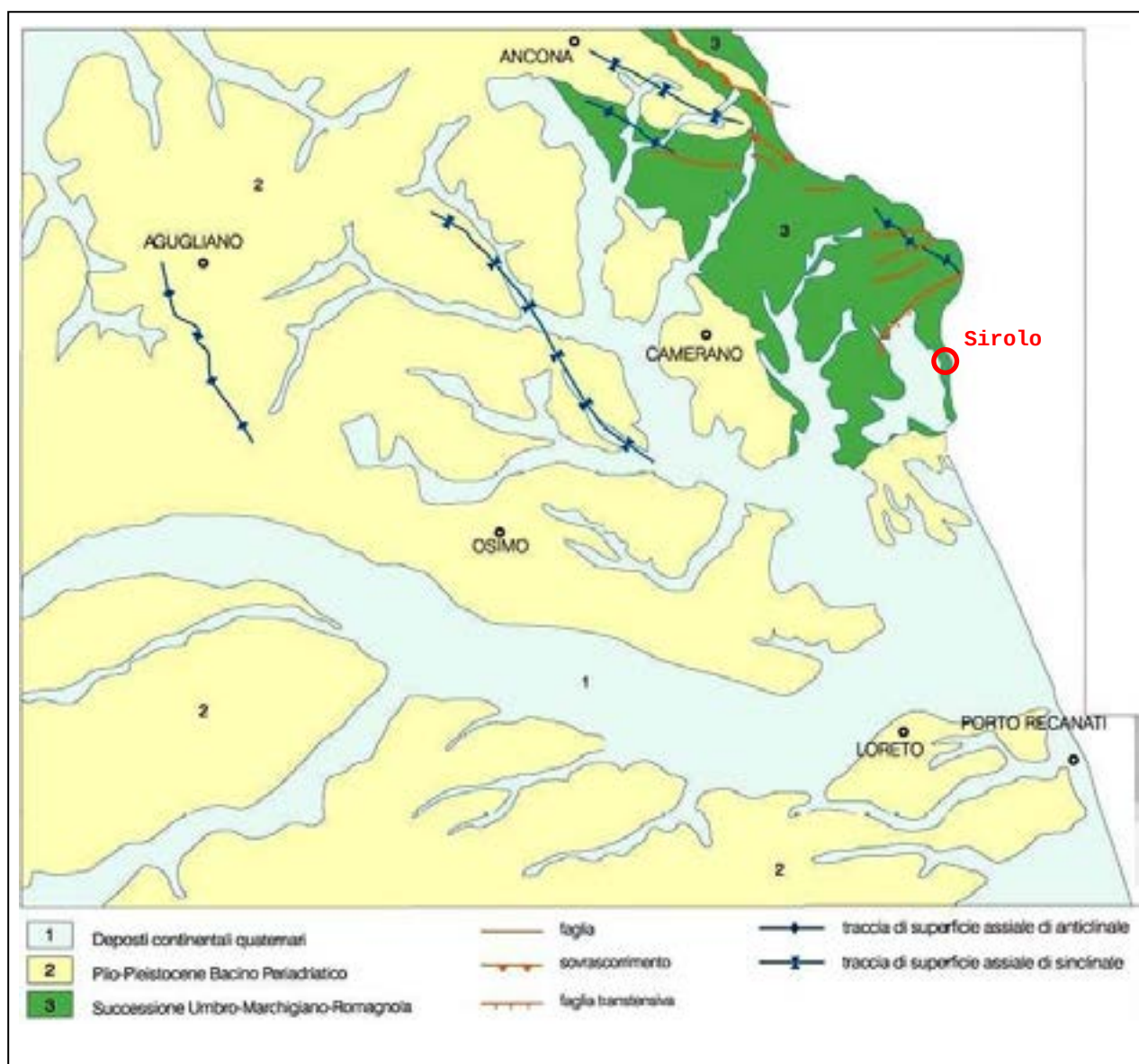


Fig. 2.5 - Schema tettonico generale dell'area del M.te Conero.
(tratto da: Carta Geologica d'Italia scal 1:50.000 - Foglio 293 Osimo - ISPRA-Serv.Geol.It. 2011)

Il M.te Conero costituisce una anticlinale asimmetrica a nucleo di Maiolica e con asse immergente a sud-est. Il fianco orientale della struttura è fortemente piegato e inclinato (fino a 80°), mentre quello occidentale è meno acclive (inclinazione media 25°). Tale struttura è ben schematizzata nella sezione geologica del Foglio 293 "Osimo" tracciata in direzione SW-NE sul limite settentrionale dell'area di indagine (fig. 2.6).

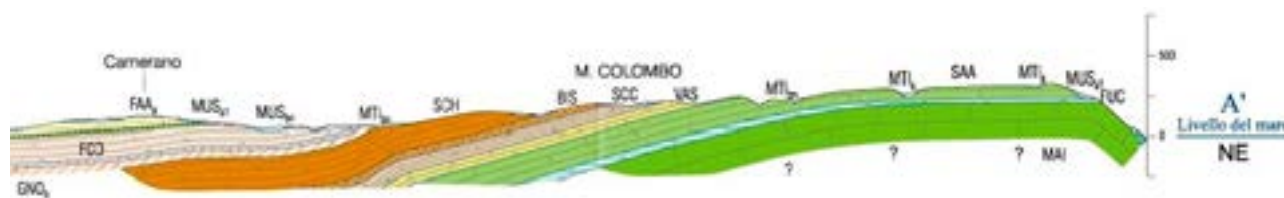


Fig. 2.6 - Sezione geologica dell'anticlinale del M.te Conero.
(tratto da: Carta Geologica d'Italia scal 1:50.000 - Foglio 293 Osimo - ISPRA-Serv.Geol.It. 2011)

La terminazione meridionale di tale struttura è delimitata da una dislocazione tettonica di direzione antiappenninica che interessa l'estremità settentrionale dell'area di indagine e che mette a contatto le unità calcareo-marnose cretacico-oligoceniche (scaglia) con quelle marnoso-argillose emipelagiche mioceniche (bisciaro-Schlier). Allo stato attuale tale dislocazione è caratterizzata da un meccanismo del tipo faglia diretta anche se in letteratura è stata anche interpretata sia come transtensiva che come estesa superficie di sviluppo a geometria listrica associata ad un grande movimento gravitativo profondo.

Nell'area, nel corso dei rilievi geologici eseguiti dallo scrivente, non sono state rilevate altre dislocazioni tettoniche importanti. A puro titolo indicativo nella carta di sintesi geologico-tecnica sono state tuttavia indicate alcune probabili lineazioni secondarie, principalmente di direzione NW-SE, cartografate sulla base di criteri puramente morfologici (allineamenti di forme, ecc...).

3 - INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

La morfologia dell'area studiata è marcata da forti contrasti di rilievo in corrispondenza della linea di costa, direttamente connessi al locale assetto geologico-stratigrafico, strutturale ed alle caratteristiche dei litotipi presenti. La linea di costa è caratterizzata infatti da una falesia di erosione marina attiva con tratti anche verticali e subverticali intestata nelle unità marnoso-calcaree cretacico-mioceniche della successione umbro marchigiana. Tali unità sono responsabili, unitamente ai processi erosivi costieri, della notevole acclività dei versanti. Inoltre il M.te Conero delimita una delle variazioni morfologiche più significative dell'appennino e cioè la "virgazione" della penisola corrispondente anche a quella dell'arco appenninico.

Allontanandosi dalla costa la morfologia diviene progressivamente più dolce in cui si rinvencono le unità più recenti prevalentemente argillose più facilmente erodibili. Dal punto di vista morfostrutturale l'area di indagine più prossima alla costa è caratterizzata da un assetto monoclinale degradante verso S-SE, con quote variabili dai 400 m fino al livello del mare. L'estremità centro-occidentale dell'area di indagine presenta invece un assetto morfostrutturale con vergenza verso SW corrispondente a quello generale della dorsale del M.te Conero della fig. 2.6.



Fig. 3.1 - Panoramica dell'area di indagine da sud.

Nell'area studiata sono individuabili forme, depositi e processi morfogenetici legati all'azione della gravità e delle acque correnti superficiali.

A causa dell'elevata energia del rilievo e dei processi erosivi marini lungo il versante costiero sono presenti movimenti franosi a geometria complessa, anche arealmente molto estesi e con tipologia fortemente condizionata dalla litologia affiorante. Procedendo da N verso S, infatti si passa da estesi movimenti franosi di tipo complesso, con prevalenza del tipo scorrimento che interessano gran parte del versante SE del M.te Conero (fig. 3.2) ed i litotipi prevalentemente argilloso-marnosi della scaglia cinerea, le cui superfici di scorrimento principali risultano anche "sospese" rispetto all'attuale livello del mare. Verso sud sono presenti fenomeni di tipo colamento che raggiungono invece la spiaggia.

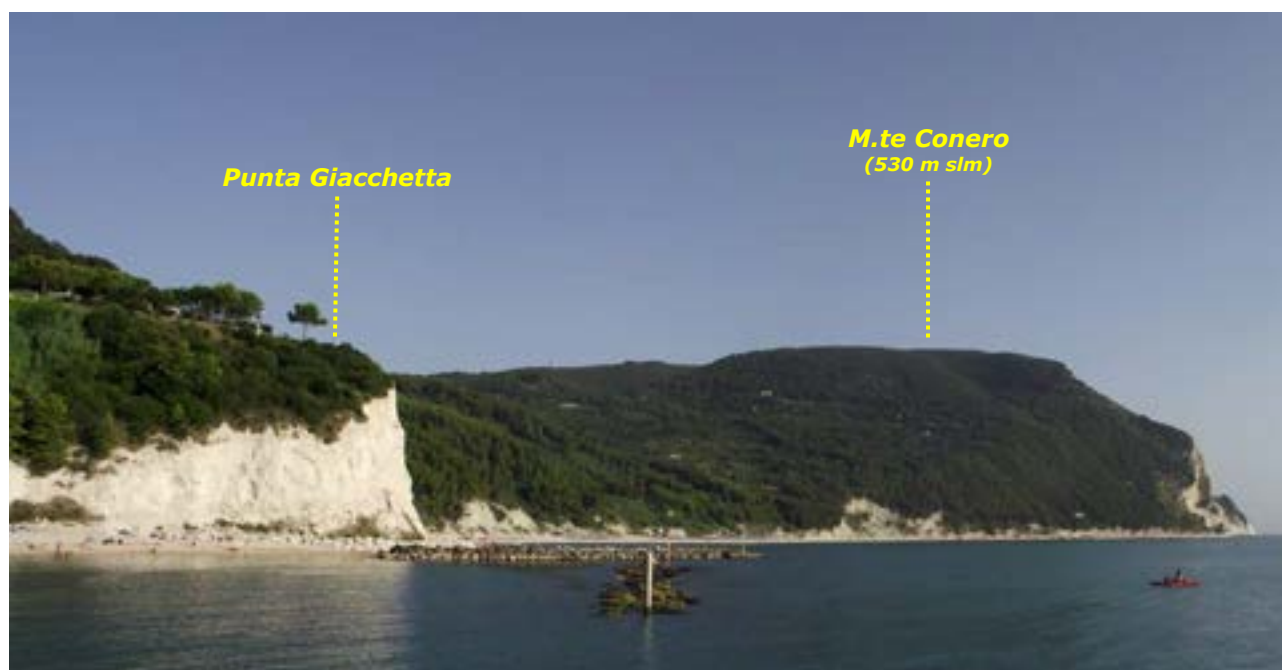


Fig. 3.2 - Panoramica del versante costiero a nord di Punta Giacchetta.

A partire da Punta Giacchetta verso sud (fig. 3.3) la falesia è intestata prevalentemente nelle unità marnoso-calcaree mioceniche (Bisciaro-Schlier) che

originano alte scarpate sub-verticali, anche direttamente aggettanti sul mare (falesia a sud di Grotta Urbani - fig. 3.4). Tali condizioni morfologiche favoriscono l'instaurarsi di fenomeni di instabilità con prevalenza del tipo ribaltamento e crollo di blocchi lapidei.



Fig. 3.3 - Veduta area della falesia costiera di Sirolo.



Fig. 3.4 - Particolare della falesia costiera a sud della grotta Urbani.

Per quanto riguarda lo stato di attività di tali fenomeni, questi sono sia "quiescenti" che attivi, seppur a lenta evoluzione.

Particolarmente documentati sono i fenomeni di instabilità che interessano l'abitato di Sirolo. Il rilievo su cui sorge l'abitato è costituito prevalentemente dalla formazione dello Schlier, che localmente si presenta in strati o banchi di marne calcaree, marne argillose e calcari marnosi ad assetto monoclinale immergente a S-SE con inclinazioni di 20°-30°, interessata da numerosi sistemi di fratturazione ad andamento prevalentemente sub verticale (fig. 3.5).



Fig. 3.5 - Inquadramento geomorfologico dell'area dell'abitato di Sirolo.
(tratto da: Angeli, 1998)

Dato che ripide scarpate contornano il fianco orientale della monoclinale, possono crearsi le condizioni perché grandi blocchi (o cunei) di roccia, svincolati dalla restante in posto ad opera dei detti sistemi di giunti, tendano a scorrere sui piani di giacitura degli strati, non necessariamente secondo la massima pendenza dei piani di giacitura.

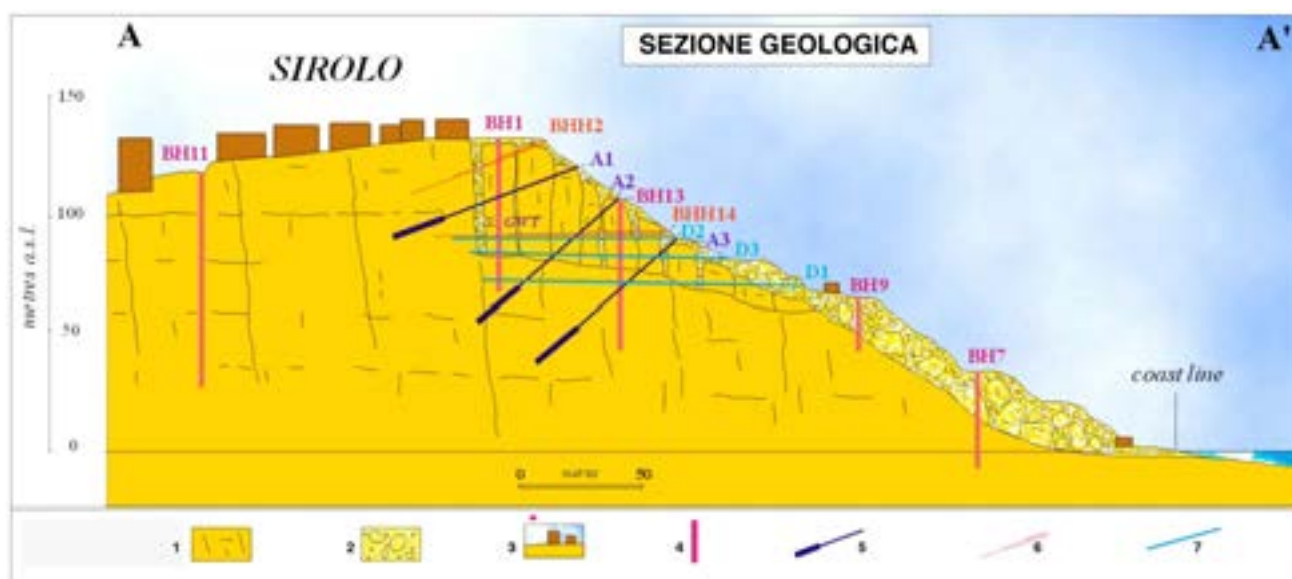


Fig. 3.6 - Sezione schematica del corpo di frana.
(tratto da: Angeli, 1998)

Nella sezione di fig. 3.6 viene schematizzata tale condizione con riferimento alla zona della piazza del centro storico. In tale quadro il centro abitato di Sirolo, situato alla sommità di una ripida falesia ad una quota di circa 125 metri, è da sempre interessato da complessi fenomeni di instabilità che hanno causato la perdita di edifici ed il restringimento dell'area urbana storica. Nella fig. 3.7 sono evidenziati alcuni edifici riportati nella mappa del catasto Gregoriano risalente al 1850 che attualmente non sono più presenti. Per questo, già dal 1936, fù inserito tra i centri da consolidare a cura e spese dello Stato ai sensi della Legge n°445/1908 e successivamente, nel 1958, fù addirittura dichiarato da trasferire.



Fig. 3.7 - Edifici del centro storico demoliti dopo il 1850.

A causa di tali fenomeni di instabilità fin dal 1990 l'Amministrazione Comunale ha approntato una rete di monitoraggio per meglio definire il modello geomeccanico dei fenomeni franosi ed ottenere i parametri necessari per una corretta progettazione delle opere di consolidamento e per verificare la loro efficacia.

Parallelamente sono stati eseguiti interventi di consolidamento realizzati gradualmente nel tempo per stralci funzionali (fig. 3.8).

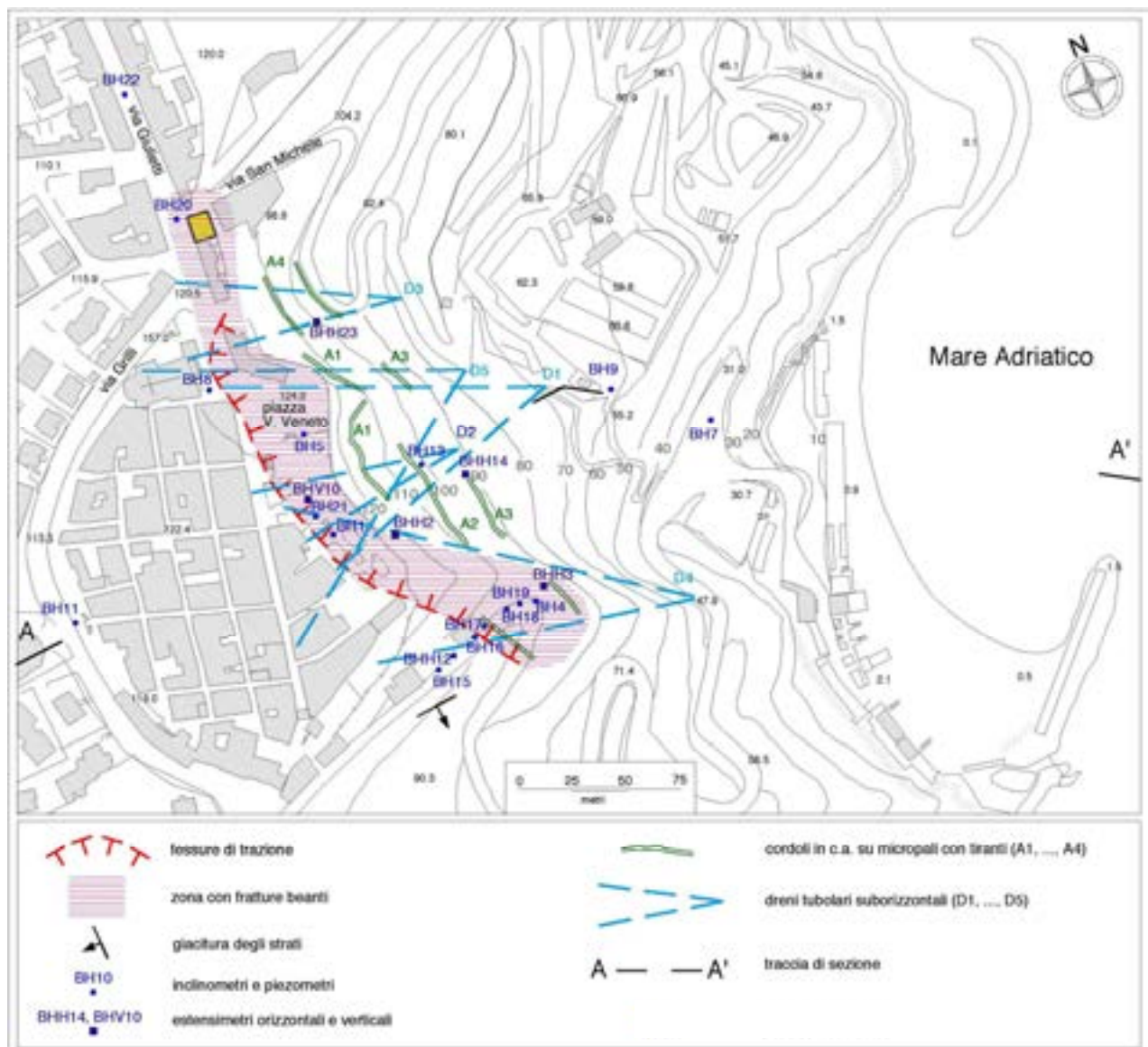


Fig. 3.8 - Planimetria dell'area in frana con indicazione della rete di monitoraggio e degli interventi di stabilizzazione realizzati

Gradualmente nel tempo sono stati realizzati piezometri, inclinometri, estensimetri, pluviometro, associati in alcuni casi a trasduttori di pressione e di spostamento per l'acquisizione automatica dei dati. Le informazioni più significative hanno riguardato, oltre alla ricostruzione del locale assetto geologico-strutturale, la ricostruzione della locale circolazione idrica profonda e dei meccanismi di frana. In particolare sono risultate estremamente significative le correlazioni tra gli spostamenti rilevati negli estensimetri orizzontali e le variazioni dei livelli piezometrici (fig. 3.9).

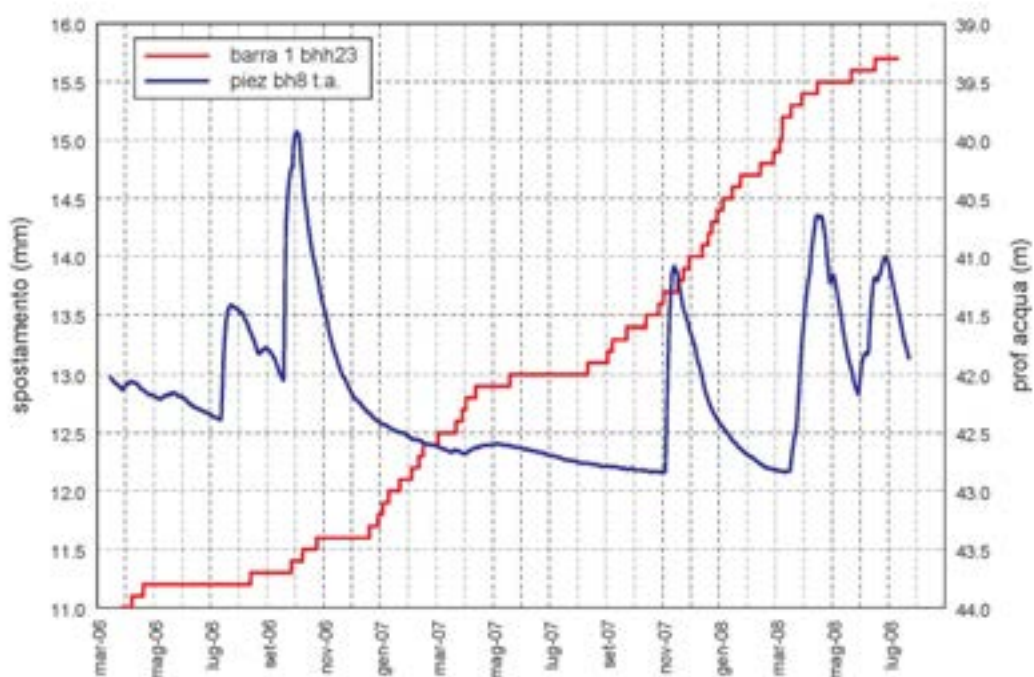


Fig. 3.9 - Correlazione tra gli spostamenti dell'estensimetro BHH23 e le variazioni piezometriche (BH8)

Attualmente questa rete di monitoraggio è gestita dall'Istituto per la Protezione Idrogeologica del Consiglio Nazionale delle Ricerche di Perugia (IRPI). Lo studio dei fenomeni d'instabilità dell'abitato di Sirolo ha avuto, anche, una certa rilevanza sotto

l'aspetto scientifico; a questo proposito occorre ricordare che il caso di Sirolo è stato oggetto di alcune memorie scientifiche presentate in sedi nazionali ed internazionali e di un progetto "LIFE" (1997-2000) finanziato dalla Comunità Europea (ved. bibliografia).

Il modello di frana dell'abitato di Sirolo è schematizzato nella sezione di fig. 3.2: la porzione più esterna dell'ammasso roccioso con spessori fino a circa 50m, estremamente fratturata, risulta in lentissimo movimento verso est, presumibilmente su piani di giacitura con pendenze estremamente modeste, favorito dalla presenza di sottili interstrati argilloso-marnosi. Tale movimento, seppur di modestissima entità (pochi millimetri/anno), si registra esclusivamente in corrispondenza della nicchia principale di distacco (fig. 3.9), dove si manifesta con fessure di trazione ed un modesto abbassamento del lato in frana (come visibile nella recente pavimentazione della piazza). Nella restante porzione dell'ammasso roccioso in frana, nonostante la presenza di numerosi sistemi di fratture, anche aperte (beanti), non si registrano attualmente movimenti differenziali, bensì limitati cedimenti del suolo.

Le condizioni idrauliche dell'ammasso roccioso sono caratterizzate da una circolazione idrica sotterranea fortemente condizionata dall'andamento delle fratture aperte disposte parallelamente al versante, con livelli estremamente variabili. Tali livelli tendono a crescere rapidamente in concomitanza di eventi meteorici particolarmente intensi, anche a causa delle notevoli perdite dei sistemi fognari, determinando incrementi nelle spinte idrauliche e quindi nei movimenti di frana. Rispetto a queste problematiche la realizzazione di sistemi di dreni tubolari a diverse profondità e posizioni nell'ammasso roccioso in frana ha permesso di drenare in maniera molto efficiente lo stesso ammasso e di evitare pericolose risalite nei livelli idrici. Ciò ha comportato un sostanziale rallentamento dei movimenti di frana che è stato possibile registrare a mezzo della rete di monitoraggio installata.

Le condizioni di instabilità sopra descritte hanno condizionato fortemente nel tempo l'assetto urbanistico del centro storico con perdita progressiva di edifici sul lato mare in corrispondenza delle attuali piazza V. Veneto e piazzale Marino. Gli ultimi

edifici demoliti sono indicati nella fig. 3.7 e tra questi era presente anche la vecchia sede municipale. Questi ultimi furono probabilmente demoliti a seguito dei gravi danni riportati durante il violento terremoto del 30 ottobre 1930 che lesionò numerosi edifici.

A tale proposito occorre considerare che la presenza di un ammasso roccioso particolarmente fratturato e sconnesso (con fessure beanti), localmente in lento movimento, costituisce un scenario di maggiore pericolosità sismica locale che può contribuire ad enfatizzare gli effetti al suolo del sisma. In effetti da ricerche condotte sulla distribuzione dei danni degli edifici del centro storico di Sirolo a causa del terremoto del 1930, è emerso che gli edifici posti in prossimità del versante costiero hanno subito maggiori e severi danni.

I fenomeni di instabilità e di dissesto idrogeologico presenti nell'area di indagine sono stati anche censiti e cartografati sia nel PAI - Piano di Assetto Idrogeologico della Regione Marche (Fig. 3.10) che nel Progetto IFFI (Fig.3.11). Nel PAI le frane costiere precedentemente descritte vengono classificate a rischio variabile da medio (R2) a molto elevato (R4) ed a pericolosità variabile da media (P2) a molto elevata (P4). Nella restante area di indagine collinare, le frane vengono classificate a rischio variabile da basso (R1) a medio (R2) ed a pericolosità variabile da bassa (P1) a elevata (P3).

Per quanto riguarda l'azione delle acque correnti superficiali, nell'area di indagine sono presenti alcune incisioni vallive principali con scarpate di erosione fluvio-torrentizia di altezza variabile e anche superiore ai 10 mt (fosso dei Molini, ecc..).

L'azione di erosione da parte del mare si manifesta attualmente sulla linea di costa priva di difese. La falesia costiera è in gran parte bordata da orli di scarpate poligeniche in gran parte attive in relazione all'elevata altezza e acclività, all'erosione marina al piede, ma soprattutto per fenomeni di arretramento nella parte sommitale (crolli e ribaltamenti).

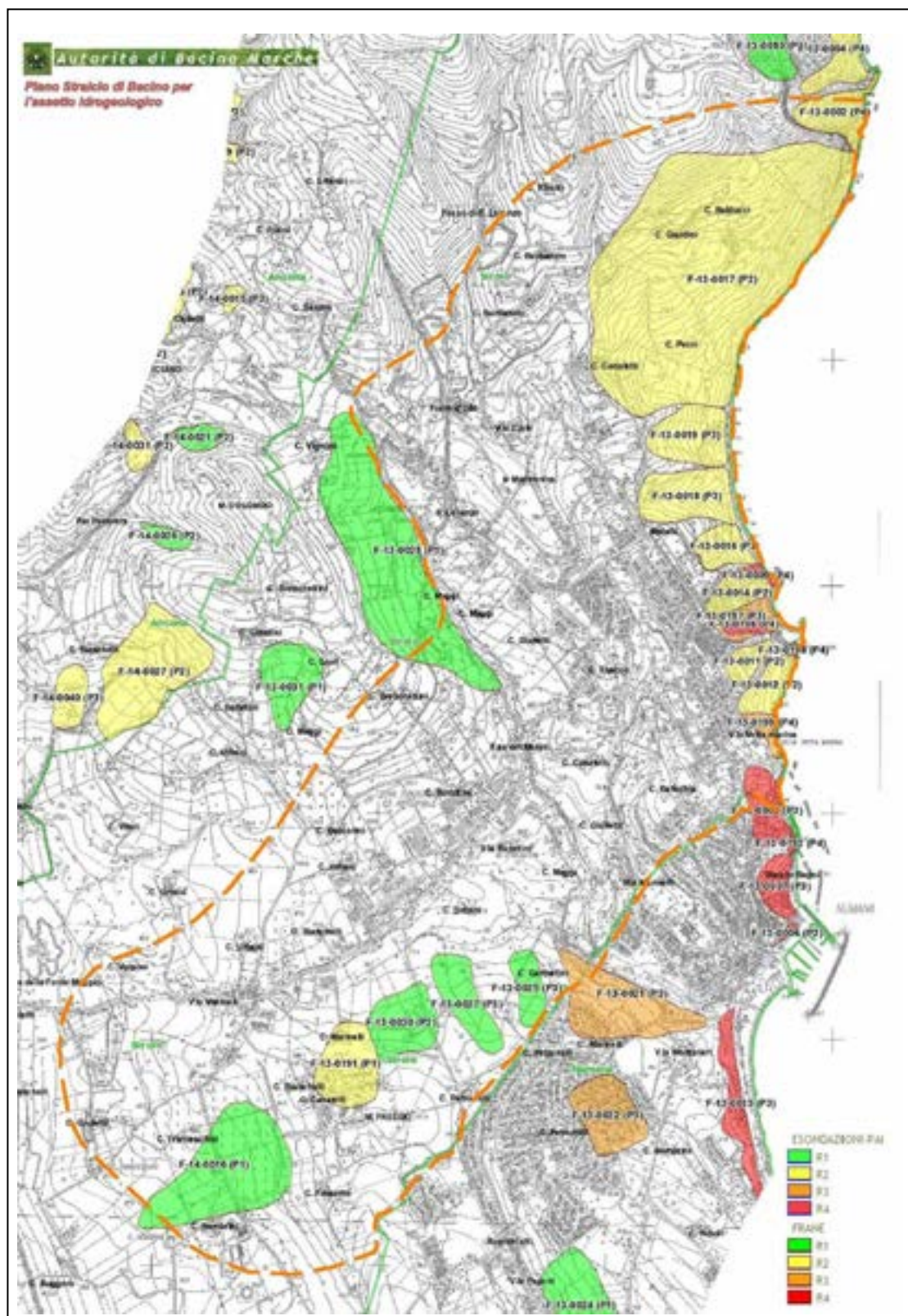


Fig. 3.10 - Stralcio PAI - Piano di Assetto Idrogeologico della Regione Marche
(tratta da <http://webgispcn.autoritabacino.marche.it>)



Fig. 3.11 - Stralcio Progetto IFFI
(tratta da <http://www.progettoiffi.isprambiente.it>)

4 - SISMICITA' STORICA

Per quanto riguarda la macrozonazione sismica del territorio nazionale, il Comune di Sirolo, ai sensi della D.G.R. n.1046 del 29/07/2003 *"Indirizzi generali per la prima applicazione dell'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3274/2003 – Individuazione e formazione dell'elenco delle zone sismiche nella Regione Marche"*, risulta classificato in zona 2, che rappresenta la *"pericolosità sismica di base"* del sito in questione.

Secondo la recente Zonazione sismogenetica ZS9 (C. Meletti e G. Valensise - marzo 2004) l'area di Sirolo ricade nella zona 917 longitudinale rispetto all'asse della catena appenninica e che ricomprende tutta la zona costiera marchigiana. Tale zona sismogenetica rappresenta la porzione più esterna della fascia in compressione dell'arco appenninico umbro-marchigiano e include le sorgenti sismogenetiche principali della fascia appenninica esterna, cui è possibile associare la sismicità della costa marchigiana (Valensise e Pantosti, 2001). La sismicità è riconducibile ad un regime tettonico debolmente compressivo in atto con strutture (prevalentemente thrust) allineate lungo la costa o a breve distanza da essa. Gli eventi sismici di riferimento per la zona 917 sono caratterizzati da una magnitudo massima di 4.9, da una classe di profondità di 5-8 Km e da una profondità efficace di 7 Km.

Nel Database Macrosismico Italiano versione DBMI11 (a cura di M. Locati, R. Camassi e M. Stucchi) per il Comune di Sirolo sono presenti 20 osservazioni (fig. 4.1), di cui soltanto una di intensità macrosismica superiore a 5 (terremoto del 1882).

Sono presenti 20 osservazioni, di cui soltanto due di grado pari o superiore a 8 MCS. Una di queste corrisponde all'evento del 1930 con epicentro a Senigallia di Magnitudo 5.8, di cui si riporta di seguito lo schema con i dati macrosismici (fig. 4.2).

Storia sismica di Sirolo [43.521, 13.620]

Numero di eventi: 20

Effetti		In occasione del terremoto del:		
I [MCS]	Data	Az	Np	Io Mw
8-9	1690 12 23 00:20	Anconetano	17	5.56 ±0.19
6	1897 09 21	ADRIATICO CENT.	44	7 5.46 ±0.27
6	1917 11 05 22:47	NUMANA	26	6 5.07 ±0.25
3	1919 06 29 15:0	Mugello	566	10 6.29 ±0.09
4	1922 06 08 07:47	CALDAROLA	52	6 4.89 ±0.19
5	1924 01 02 08:5	Medio Adriatico	76	7-8 5.36 ±0.16
3	1928 05 30 20:01	Adriatico centrale	17	5 4.88 ±0.28
2	1930 07 23 00:0	Irpinia	547	10 6.62 ±0.09
0	1930 10 30 07:1	SENIGALLIA	263	0 5.81 ±0.09
6	1972 02 04 02:4	Medio Adriatico	75	4.86 ±0.29
6	1972 02 04 09:1	Medio Adriatico	56	4.58 ±0.29
4	1979 09 19 21:3	Valnerina	694	8-9 5.86 ±0.09
4	1980 11 23 18:3	Irpinia-Basilicata	1394	10 6.89 ±0.09
NF	1986 10 13 05:1	Appennino umbro-marchigiano	322	5-6 4.65 ±0.09
4-5	1997 09 26 00:3	Appennino umbro-marchigiano	760	5.70 ±0.09
4-5	1997 09 26 09:4	Appennino umbro-marchigiano	869	8-9 6.01 ±0.09
4-5	1997 10 03 08:5	Appennino umbro-marchigiano	490	5.25 ±0.09
4-5	1997 10 06 23:2	Appennino umbro-marchigiano	437	5.46 ±0.09
4	1997 10 14 15:2	Appennino umbro-marchigiano	786	7-8 5.65 ±0.09
4-5	2006 04 10 19:0	Maceratese	211	5 4.51 ±0.10

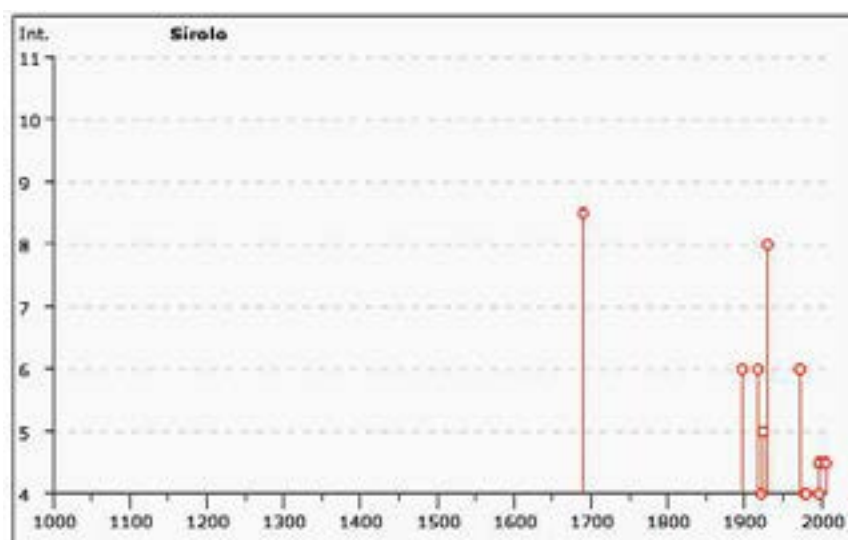


Fig. 4.1 - Sismicità storica del comune di Sirolo
(tratta da Database Macrosismico Italiano versione DBMI11 (a cura di M. Locati, R. Camassi e M. Stucchi))

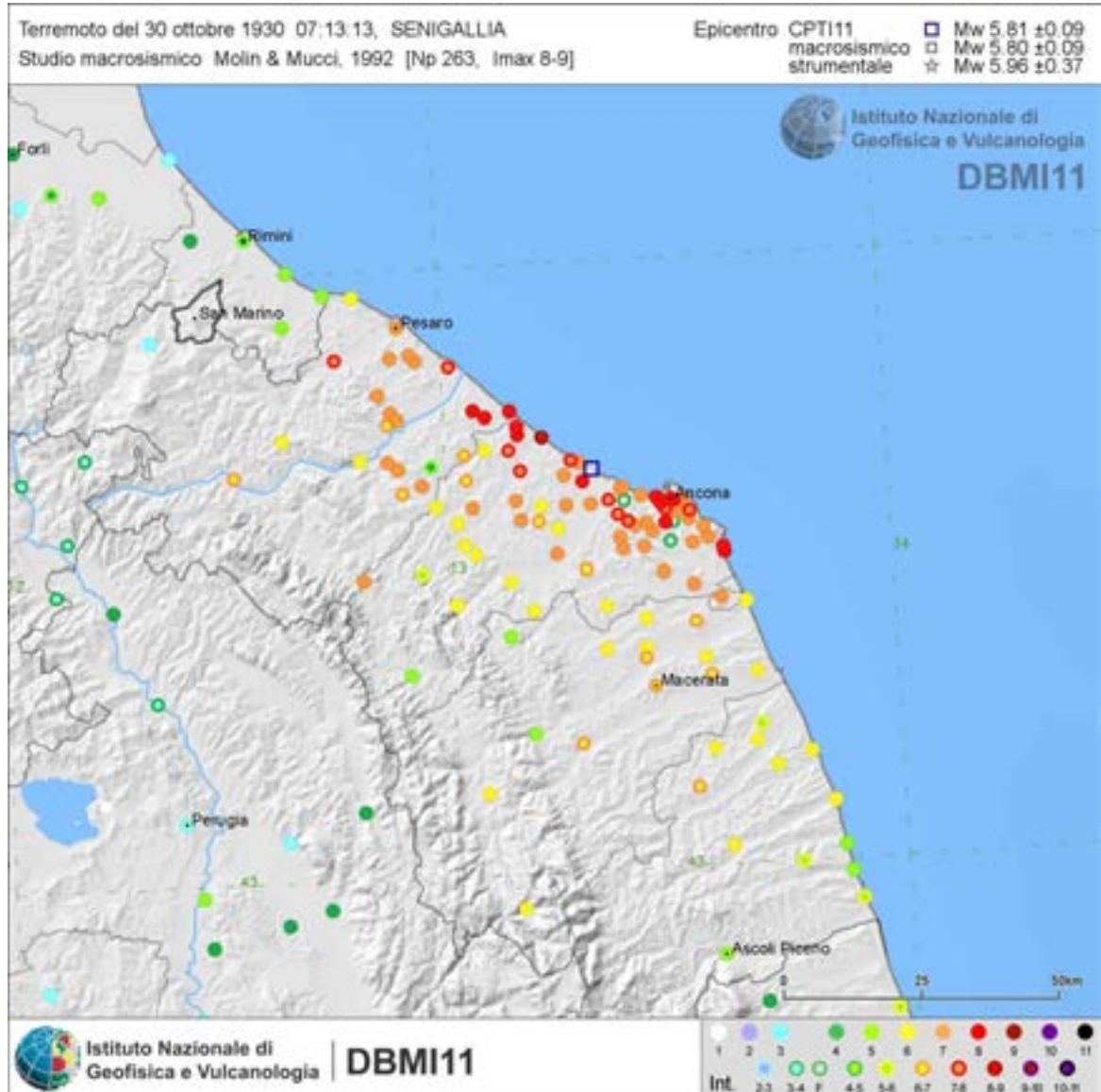


Fig. 4.2 - Carta macrosismica del terremoto di Senigallia del 30 ottobre 1930
(tratta da Database Macrosismico Italiano versione DBMI11 (a cura di M. Locati, R. Camassi e M. Stucchi))

L'evento sismico del 1930 ha causato numerosi e gravi danni soprattutto agli edifici posti in prossimità del versante costiero e caratterizzati da un substrato particolarmente fratturato e sconnesso (con fessure beanti), localmente in lento movimento. Dalle informazioni reperite si è potuto osservare inoltre che i maggiori danni interessarono soprattutto i piani più alti degli edifici (fig. 4.3).



Fig. 4.3 - Effetti del terremoto di Senigallia del 30 ottobre 1930 su alcuni edifici ubicati a Sirolo in via Giulietti

5 - ELABORATI CARTOGRAFICI

5.1 - Carta delle indagini

Per la ricostruzione del modello del sottosuolo sono stati acquisiti presso l'ufficio tecnico comunale tutte le indagini geognostiche e geofisiche disponibili per l'area di studio derivanti da precedenti studi realizzati a corredo degli strumenti di pianificazione urbanistica (P.R.G.) o per l'esecuzione di opere pubbliche e private (sondaggi geognostici, prove penetrometriche, prove geotecniche di laboratorio, indagini geofisiche, ecc...).

Tutto il materiale raccolto è stato inizialmente selezionato in relazione alla significatività ed al grado di attendibilità dei dati ed alla loro distribuzione areale. I dati selezionati sono stati successivamente raccolti nel database a corredo del presente studio utilizzando l'apposito software per l'archiviazione dei dati ("SoftMS - ver 1.0").

Tali informazioni sono state cartografate nella carta delle indagini in scala 1:5.000, che rappresenta il primo passo per la definizione del modello del sottosuolo. La carta comprende:

- la localizzazione;
- la suddivisione per tipologia ed eventuale strumentazione;
- la delimitazione dell'area oggetto delle indagini di MZS di 1° livello.

I punti di indagine complessivi risultano pari a 146, mentre per ciascun punto possono essere presenti diverse tipologie di indagine e informazioni codificate secondo lo standard di archiviazione. Tutte le indagini codificate vengono riassunte nella tabella seguente per tipologia.

INDAGINI PUNTUALI			
Simbolo	Tipologia	Sigla	N°
	Sondaggio a carotaggio continuo	S	9
	Sondaggio a carotaggio continuo che intercetta il substrato	SS	87
	Sondaggio da cui sono stati prelevati campioni	SC	12
	Sondaggio con inclinometro	SI	8
	Sondaggio con piezometro	SP	16
	Prova penetrometrica in foro (SPT)	SPT	6
	Trincea o pozzetto esplorativo	T	20
	Prova scissometrica o vane test	VT	7
	Prova penetrometrica statica	CPT	2
	Prova penetrometrica dinamica pesante	DP	4
	Stazione microtremore a stazione singola	HVSR	23

INDAGINI LINEARI			
Simbolo	Tipologia	Sigla	N°
	Multi-channel Analysis of Surface Waves – MASW	MW	13

Nel complesso la distribuzione areale delle indagini reperite risulta non omogenea con concentrazioni inevitabili nelle zone maggiormente urbanizzate. Zone carenti da questo punto di vista sono risultate la zona del nucleo storico dell'abitato e la zona industriale e artigianale.

Per quanto riguarda i dati di tipo stratigrafico, si precisa che inevitabilmente le criticità principali nella loro interpretazione riguardano l'elevata eterogeneità e soggettività delle descrizioni litologiche e tessiturali, soprattutto per i terreni copertura ed anche per indagini molto vicine. In tali casi si è cercato il più possibile di omogeneizzare i dati in prospettiva della redazione della carta geologico-tecnica

basandosi soprattutto sulle conoscenze dell'area da parte dello scrivente. Le indagini geofisiche reperite sono risultate in numero molto limitato e sono concentrate nella zona sud-ovest del territorio comunale.

5.2 - Carta geologico-tecnica

La carta geologico-tecnica è stata realizzata facendo riferimento ai contenuti degli ICMS e degli standard di rappresentazione redatti dalla Commissione Tecnica per la Microzonazione sismica (vers. 2.0 - 2012).

Tale elaborato è stato redatto a partire dai dati di base costituiti dalla cartografia CARG, dai rilievi geologici e geomorfologici eseguiti dallo scrivente a corredo delle Varianti al PRG e dai controlli diretti sul terreno. I limiti litologici sono stati adeguati ai dati derivanti dalle indagini reperite nel corso della presente indagine.

Sulla base di tutti i dati disponibili sono state pertanto individuate delle unità geologico-tecniche omogenee dal punto di vista litologico, tessiturale, genetico-deposizionale e della propagazione delle onde sismiche, distinguendo tra unità della copertura e unità del substrato geologico.

Per quanto riguarda le unità della copertura, le difficoltà principali nella definizione di unità geologico-tecniche rappresentative sono derivate dalla loro variabilità granulometrica e tessiturale, sia in senso areale che verticale. Tale problematica è risultata particolarmente importante nel caso dei depositi alluvionali, tipicamente caratterizzati da orizzonti lenticolari limoso-sabbioso-ghiaiosi con frequenti interdigitazioni e brusche variazioni di spessore e di granulometria sia in senso laterale che verticale. In questi casi la difficoltà principale è risultata la necessità di rappresentare arealmente un deposito eterogeneo in senso verticale e di conseguenza la scelta della categoria in cui ricomprendere lo stesso sulla base della legenda tipo disponibile (classificazione ASTM, 1985). Il criterio adottato nella redazione della carta geologico-tecnica è stato pertanto quello della "prevalenza" sulla verticale delle indagini disponibili a prescindere dallo spessore relativo dei vari litotipi e della loro

posizione stratigrafica. Oltre al codice relativo alla composizione granulometrica prevalente (GW, ML, ecc.), ciascuna unità della copertura è stata distinta anche in base all'ambiente genetico-deposizionale.

Per quanto riguarda, invece, le unità del substrato geologico, la distinzione principale in prospettiva sismica riguarda la velocità di propagazione delle onde S (V_s):

- substrato non rigido, caratterizzato da V_s minori di 800 m/s
- substrato rigido, caratterizzato da V_s maggiori o uguali di 800 m/s.

Dai dati disponibili è risultato che gran parte delle unità del substrato presenti nell'area investigata sono caratterizzate da V_s inferiori agli 800 m/s, come anche confermato dalle indagini geofisiche integrative eseguite nel corso della presente indagine. Tali unità, corrispondenti alle formazioni prevalentemente marnoso-calcaree-argillose comprese tra la parte medio-alta della Scaglia cinerea e la Formazione di Fermo, sono state pertanto ricomprese nella categoria "**non rigido - NR**". Inoltre, come indicato nella nota esplicativa redatta dalla Commissione Tecnica Regionale, anche se non previsto negli standard di rappresentazione, il substrato non rigido è stato a sua volta distinto in base alla litologia, grado di consistenza-cementazione e stratificazione.

Il substrato classificabile come "**rigido**", è presente soltanto all'estremità settentrionale dell'area studiata e corrisponde alle unità prevalentemente calcaree e calcareo-marnose della Scaglia cinerea, variegata e rossa. Per tali formazioni, in mancanza di specifiche indagini geofisiche per il sito in oggetto, per la loro caratterizzazione dal punto di vista della propagazione delle onde S si è fatto riferimento a dati bibliografici.

Per l'area di indagine sono state pertanto distinte le seguenti unità geologico-tecniche e genetico deposizionali, per le quali viene anche indicata la relativa corrispondenza con quelle della cartografia CARG.

UNITA' DEL SUBSTRATO GEOLOGICO RIGIDO ($V_s > 800$ m/s)

⇒ **LPS - Lapideo stratificato**

corrispondente alla formazione delle scaglia rossa (SAA - Cretaceo sup.-Eocene medio), costituita prevalentemente da calcari micritici e detritici rosati e biancastri, in strati da spessi a molto spessi, con sottilissimi interstrati di argille nerastre e selce rossastra in liste e noduli. Tale unità affiora diffusamente in corrispondenza del versante sud del M.te Conero all'estremità settentrionale dell'area studiata. Dai dati bibliografici è possibile associare a tale unità uno spessore complessivo dell'ordine dei 100-150m.

⇒ **ALS - Alternanza di litotipi stratificato**

corrispondente alla formazione delle scaglia variegata (VAS - Eocene medio-superiore) ed alla porzione basale della scaglia cinerea (SCC - Eocene superiore - Oligocene), costituita prevalentemente da alternanze di marne argillose intensamente clivate, marne calcaree e calcari marnosi in strati da sottili a medi. Tale unità affiora in continuità stratigrafica con la precedente in corrispondenza del versante sud del M.te Conero (zona Fonte d'olio-Madonnina) e sulla costa (estremità nord spiaggia Sassi Neri). Dai dati bibliografici è possibile associare a tale unità uno spessore complessivo massimo dell'ordine dei 70-80m.

UNITA' DEL SUBSTRATO GEOLOGICO NON RIGIDO ($V_s < 800$ m/s)

⇒ **NR-CO - Coesivo sovraconsolidato**

corrispondente alle formazioni del Bisciario (BIS - Miocene inf. p.p.) e dello Schlier (SCH - Miocene inf. p.p. - Miocene sup.), costituita prevalentemente da marne argillose, marne calcaree e subordinatamente calcari marnosi e siliceo-marnosi, calcareniti, con stratificazione poco significativa alla scala. A luoghi si rinvencono litofacies finemente detritiche e calcarenitiche in strati lenticolari e discontinui. Come già indicato in precedenza, nell'area di indagine sia il Bisciario che lo Schlier

si presentano in una facies prevalentemente marnoso-argillosa con caratteristiche di consistenza atipiche rispetto a quelle delle unità formazionali affioranti nel bacino marchigiano interno. Lo spessore complessivo risulta molto variabile in funzione del locale assetto morfo-stratigrafico con massimi anche superiori agli 80 m. Tale unità occupa gran parte dell'area di indagine, costituendo quella arealmente più diffusa.

⇒ **NR-COS - Coesivo sovraconsolidato stratificato**

che raggruppa le seguenti formazioni:

-Scaglia cinerea (SCC - Eocene superiore - Oligocene), limitatamente alla porzione medio superiore prevalentemente marnoso-argillosa.

-Argille a colombacci (FCO - Messiniano.), costituita da marne argillose, argille marnose e argille siltose di colore da grigio a nerastro, in strati da sottili a medi con intercalazioni di sottili livelli di calcari micritici biancastri di origine chimica ("Colombacci").

-Argille azzurre (FAA - Pleistocene inf.-med.), costituita prevalentemente da peliti di colore grigio-azzurro e grigio-avana con sottili e sottilissime intercalazioni di sabbie gialle o grigie fini e finissime che evidenziano una stratificazione generalmente sottile.

Lo spessore complessivo risulta molto variabile in funzione del locale assetto morfo-stratigrafico con massimi anche superiori ai 150-200m. Tale unità è presente principalmente nella porzione sud-occidentale dell'area di indagine (Formazione a Colombacci e Argille azzurre), oltre che in corrispondenza del versante costiero a nord di Punta Giacchetta (scaglia cinerea marnoso-argillosa).

⇒ **NR-ALS - Alternanza di litotipi stratificato**

corrispondente alla formazione di Sapigno (GNOa/b - Messiniano) costituita da alternanze di argille scure bituminose, diatomiti, gessi e gessareniti cristallini e

calcarei solfiferi. Lo spessore complessivo dell'unità può raggiungere anche i 40-50m.

⇒ **NR-GRS - Granulare cementato stratificato**

corrispondente alla Formazione di Fermo - litofacies arenaceo-conglomeratica (FEM - Pleistocene inferiore-medio?), generalmente costituita da una alternanza di sabbie con diverso grado di cementazione in strati da sottili a spessi, spesso con geometrie lenticolari. Sono inoltre presenti livelli ghiaiosi e più sottili intercalazioni o lenti argillose.

UNITA' DELLA COPERTURA ($V_s < 800$ m/s)

Ambiente genetico-deposizionale di versante

ec - eluvi/colluvi

⇒ **CL - argille inorganiche di media- bassa plasticità argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre**

corrispondente ai depositi eluvio-colluviali (MUSb2 - Olocene) costituiti prevalentemente da argille limose e limoso-sabbiose, limi argilloso-sabbiosi con ghiaie sparse e percentuali variabili di detriti angolosi o subangolosi marnoso-calcarei provenienti dalle unità più antiche del substrato. Ricoprono diffusamente i versanti con spessori molto variabili e massimi che possono superare anche i 20 m.

fd - falda detritica

⇒ **GM - ghiaie limose, miscele di ghiaia, sabbia e limo**

corrispondente ai depositi di versante del Sintema di Matelica (MTIa - Pleistocene superiore) costituiti principalmente da ghiaie eterometriche a spigoli vivi e scarsamente elaborate in matrice limoso-sabbiosa in percentuale variabile. Tale unità è stata rilevata nelle vallecole e sul versante S-SE del M.te

Conero modellato nel substrato prevalentemente calcareo e calcareo-marnoso. Lo spessore di tali depositi risulta variabile con massimi dell'ordine dei 20m.

Ambiente genetico-deposizionale fluvio-lacustre

Le unità associate a tale ambiente deposizionale corrispondono in gran parte ai depositi alluvionali terrazzati del sistema di Matelica (MTIbn - Pleistocene superiore) molto estesi arealmente in corrispondenza delle principali incisioni vallive (fosso dei Molini, ecc.). Purtroppo per tali depositi i dati geognostici disponibili risultano molto scarsi e non sufficientemente distribuiti in modo tale da fornire un quadro esaustivo circa gli spessori ed i rapporti stratigrafici laterali tra depositi a diversa granulometria. Per quanto riguarda l'ambiente genetico, in relazione alla loro estensione ed al loro assetto morfostratigrafico, tali depositi sono stati inseriti in un più generale contesto di conoide alluvionale (ca) progradante verso S-SE. Tale conoide ricopriva diffusamente il versante meridionale del M.te Conero, probabilmente associato ad una paleo-linea di costa del Pleistocene superiore diversa dall'attuale. Allo stato attuale tali depositi occupano le principali depressioni vallive che dal confine con il Comune di Numana si sviluppano verso nord dividendosi in due rami principali paralleli alla costa (fosso dei Molini, ecc.). Per quanto riguarda invece l'esteso deposito che colma l'ampia valle che si dirama verso SW dal fosso dei Molini (zona industriale e artigianale), le caratteristiche granulometriche del deposito (prevalentemente limoso-argillose) e la presenza a varie profondità di sottili orizzonti grigio scuro-brunastri con resti vegetali (paleosuoli) fanno ipotizzare un ambiente di tipo lacustre (lc). La prevalenza di tale ambiente potrebbe essere ricondotta ad un probabile sbarramento ricorrente dell'incisione valliva a causa di fenomeni di sovralluvionamento operati dai depositi di conoide posti più ad est

ca - conoide alluvionale

⇒ ***ML - limi inorganici, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità***

costituita prevalentemente da limi sabbiosi debolmente argillosi e sabbie limose con frammenti marnoso-calcarei eterometrici. Tale unità, di spessore molto variabile e con massimi dell'ordine dei 27 m, è stata cartografata in corrispondenza della porzione centro-settentrionale dell'ampia vallecchia che borda sul lato E il nucleo più antico di Sirolo.

⇒ ***GM - ghiaie limose, miscele di ghiaia, sabbia e limo***

costituita principalmente da ghiaie in matrice sabbiosa prevalenti, alternate a sabbie limose e limi argilloso-sabbiosi. Lo spessore di tali depositi risulta variabile con massimi dell'ordine dei 30m.

lc - lacustre

⇒ ***CL - argille inorganiche di media- bassa plasticità argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre***

costituita prevalentemente da argille limose e limi argillosi con sabbia e ghiaie sparse, con intercalazioni subordinate di ghiaie sabbiose con limo. Lo spessore di tale unità può anche raggiungere i 29 m.

Per quanto riguarda i depositi di spiaggia attuali (spiaggia Urbani e S.Michele-Sassi Neri), il loro spessore risulta generalmente molto limitato con massimi raramente superiori ai 3,0 m in quanto non sono direttamente alimentati da un sistema fluviale e la superficie di abrasione marina del substrato risulta molto prossima al livello del mare. Per tali depositi non è stata pertanto distinta una unità geologico-tecnica.

Tra gli elementi tettonico-strutturali, nell'area studiata sono state individuate e cartografate le principali dislocazioni tettoniche costituite da faglie di tipo diretto. Inoltre, sulla base dei dati scientifici disponibili nell'area costiera di Sirolo, non viene segnalata la presenza di faglie attive e capaci. Sono state inoltre cartografate le

giaciture degli strati del substrato geologico con immersione prevalente verso S-SE per la zona costiera e centrale dell'area studiata, passante a W-SW all'estremità occidentale. L'inclinazione risulta generalmente variabile tra 10° e 30°.

Tra gli elementi geologici ed idrogeologici sono stati distinti e cartografati i sondaggi che non hanno raggiunto o meno il substrato rigido. Per quanto riguarda la tematica dell'instabilità di versante sono state cartografate tutte le aree instabili o potenzialmente instabili distinguendo ove possibile la tipologia prevalente e lo stato di attività. Per la definizione delle aree instabili come dato di partenza è stata utilizzata la cartografia geomorfologica redatta dallo scrivente in precedenti studi, integrata con i dati del PAI e del progetto IFFI oltre che delle informazioni derivanti dalle pubblicazioni scientifiche. Per la delimitazione delle aree è stata operata una sovrapposizione tra tutte le informazioni disponibili per cui il limite cartografato costituisce la massima estensione dell'area con indizi di instabilità, ricomprendendo pertanto tipologie di instabilità molto diverse e zone marginali potenzialmente coinvolgibili. Le grandi frane che interessano il versante costiero sono state pertanto cartografate come complesse. In tali aree la tipologia prevalente è di tipo scorrimento roto-traslazionale mentre verso l'alto, in corrispondenza della scarpata di frana sommitale possono verificarsi anche fenomeni di crollo e ribaltamento. I fenomeni di instabilità più superficiali sono invece riconducibili ad una tipologia prevalente di colamento. Le frane che interessano le zone più esterne collinari, sono state invece cartografate come scorrimenti. Per quanto riguarda lo stato di attività, le frane cartografate sono state indicate sia come quiescenti che attive, seppur a lenta evoluzione come anche confermato dai risultati delle reti di monitoraggio installate.

Per quanto riguarda le forme di superficie e sepolte, sono stati cartografati i seguenti elementi:

- orli di scarpata morfologica (10-20m/>20m), corrispondenti a quella poligenica sommitale della scarpata costiera e delle incisioni vallive dei corsi d'acqua principali (f.so dei Molini, ecc.); le altre scarpate presenti nell'area di indagine e connesse principalmente alla morfogenesi fluviale risultano generalmente inferiori ai 10 m;

- valle sepolta larga ($C < 0,25$), individuata in corrispondenza delle principali vallecicole, sia a fondo concavo che re-incise dal corso d'acqua che solcano l'area di indagine. Tali forme sono state cartografate soltanto nelle zone con sufficienti dati stratigrafici e con evidenze morfo-stratigrafiche.

Per favorire la comprensione del modello del sottosuolo dell'area indagata sono state tracciate n. 3 sezioni geologico-tecniche raggruppate in un'apposito elaborato in scala 1:2.000 (A-A', B-B' e C-C') che illustrano l'assetto morfostratigrafico dell'area di indagine.

5.3 - Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)

La carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica costituisce il risultato finale delle indagini di 1° livello, derivante dalla sintesi di tutti i dati raccolti ed esplicitati negli elaborati precedentemente descritti. La carta si prefigge la finalità di suddividere il territorio studiato in unità omogenee dal punto di vista delle caratteristiche geologico-stratigrafico-geomorfologiche e geotecnico-geomeccaniche per le quali è possibile ipotizzare un'analoga suscettibilità a fenomeni di amplificazione locale indotti dal sisma (amplificazione del moto, induzione e riattivazione di frane e altri dissesti, liquefazioni dei terreni, cedimenti differenziali, ecc.).

In generale le informazioni rappresentabili nella carta delle MOPS possono essere così distinte:

- ⇒ zone stabili,
- ⇒ zone stabili suscettibili di amplificazioni locali,
- ⇒ zone suscettibili di instabilità,
- ⇒ faglie attive e capaci,
- ⇒ forme di superficie e sepolte,
- ⇒ tracce di sezione per gli approfondimenti delle amplificazioni topografiche.

Le “**zone stabili**” sono quelle caratterizzate da un substrato geologico “rigido” ($V_s \geq 800$ m/s) affiorante o con copertura superficiale $< 3,0$ m. Nell’area di indagine sono state distinte le seguenti zone sulla base delle caratteristiche dell’ammasso:

- lapideo stratificato: calcari micritici e detritici rosati e biancastri, in strati da spessi a molto spessi, con sottilissimi interstrati di argille nerastre e selce rossastra in liste e noduli. Corrisponde all’unità geologico-tecnica LPS affiorante diffusamente in corrispondenza del versante sud del M.te Conero all’estremità settentrionale dell’area studiata.
- alternanze litologiche stratificate: alternanze di marne argillose intensamente clivate, marne calcaree e calcari marnosi in strati da sottili a medi. Corrisponde all’unità geologico-tecnica ALS ed affiora in continuità stratigrafica con la precedente in corrispondenza del versante sud del M.te Conero (zona Fonte d’Olio-Madonnina) e sulla costa (estremità nord spiaggia Sassi Neri).

Per quanto riguarda le “**zone stabili suscettibili di amplificazione locale**”, sono state complessivamente distinte n. 18 MOPS di seguito descritte ed i cui rapporti litostratigrafici più significativi vengono schematizzati nella fig. 5.3.1.

ZONA 1: depositi di conoide alluvionale (ca) costituiti da alternanze di limi sabbiosi debolmente argillosi e sabbie limose con frammenti marnosi (ML), di spessore complessivo variabile tra 0 e 27 mt. Il substrato geologico è inizialmente costituito da marne, marne argillose e marne calcaree sovraconsolidate (NR-CO - $V_s < 800$ m/s) passanti verso il basso a litotipi simili ma stratificati (NR-COS - $V_s < 800$ m/s). Tale zona corrisponde alla porzione settentrionale della vallecchia che borda verso W l’abitato di Sirolo.

ZONA 2: depositi fluvio-lacustri (lc) costituiti dall’alto verso il basso da:

- argille limose e/o limi argillosi con sabbia (CL) per uno spessore variabile da 0 a 7,5 m,
- ghiaie sabbiose con limo (GM) di spessore variabile tra 1,0 e 7,5 m,

ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI: Stratigrafie di riferimento

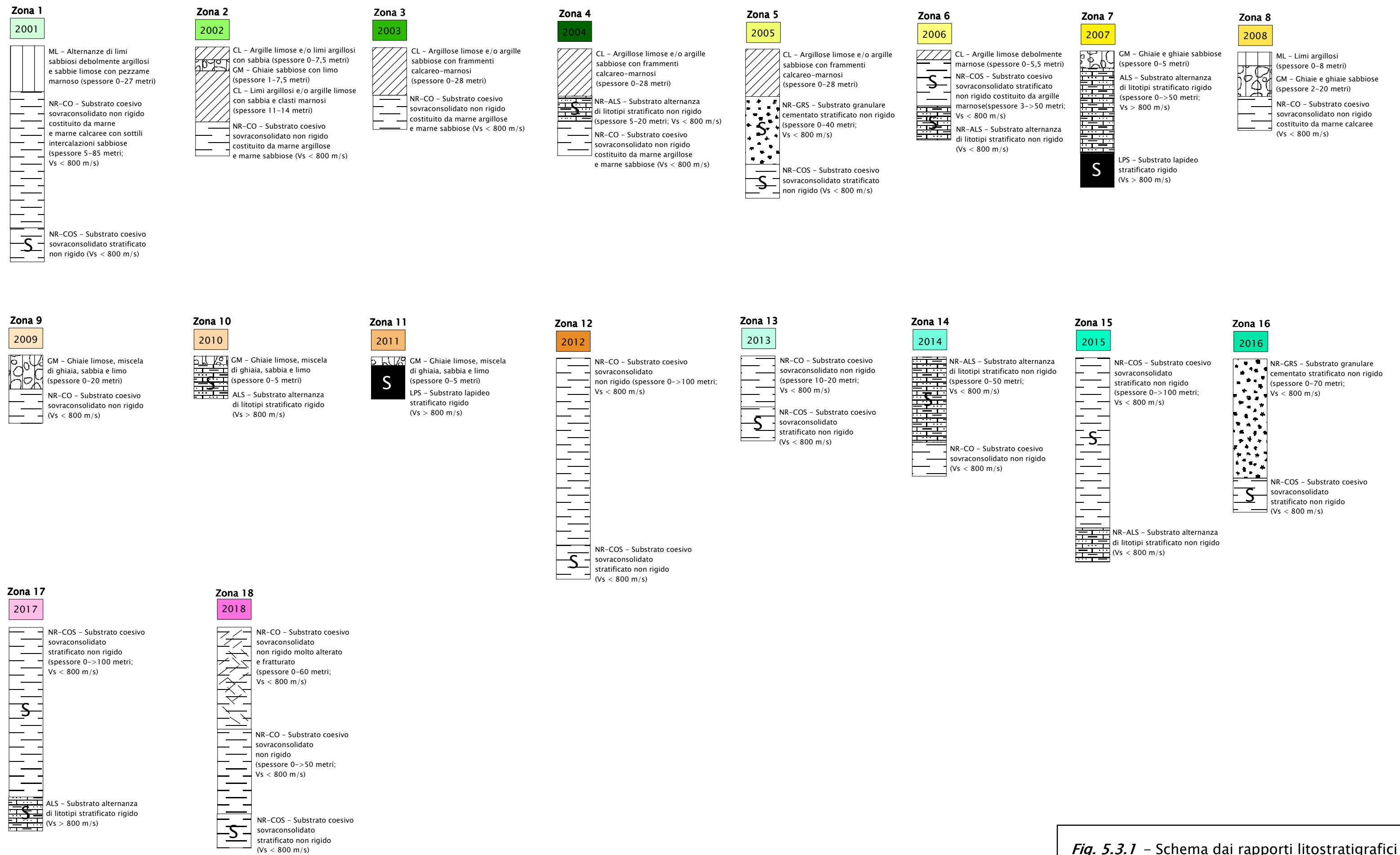


Fig. 5.3.1 – Schema dai rapporti litostratigrafici più significativi

- limi argillosi e/o argille limose con sabbia e frammenti calcareo-marnosi sparsi (CL) di spessore compreso tra 11 e 14 m. Il substrato geologico è costituito da marne, marne argillose e marne calcaree sovraconsolidate (NR-CO - $V_s < 800$ m/s). Tali depositi sono concentrati in un'unica zona ubicata in corrispondenza ed a SE dell'area industriale ed artigianale.

ZONA 3: depositi eluvio-colluviali (ec) costituiti da argille limose e/o argille sabbiose con frammenti calcareo-marnosi eterometrici (CL) per uno spessore variabile da 0 a 28 m. Il substrato geologico è costituito da marne, marne argillose e marne calcaree sovraconsolidate (NR-CO - $V_s < 800$ m/s). Tali depositi sono distribuiti in varie zone dell'area di indagine come coperture delle formazioni del Bisciario e dello Schlier.

ZONA 4: depositi eluvio-colluviali (ec) costituiti da argille limose e/o argille sabbiose con frammenti calcareo-marnosi eterometrici (CL) per uno spessore variabile da 0 a 28 m. Il substrato geologico è inizialmente costituito da alternanze di argille scure bituminose, diatomiti, gessi e gessareniti cristallini e calcari solfiferi (NR-ALS - $V_s < 800$ m/s) passanti verso il basso a marne, marne argillose e marne calcaree sovraconsolidate (NR-CO - $V_s < 800$ m/s). Tali zone sono concentrate nell'area occidentale di indagine tra i nuclei abitati del Coppo e di Montefreddo.

ZONA 5: depositi eluvio-colluviali (ec) costituiti da argille limose e/o argille sabbiose con frammenti calcareo-marnosi eterometrici (CL) per uno spessore variabile da 0 a 28 m. Il substrato geologico è inizialmente costituito da alternanze di sabbie con diverso grado di cementazione in strati da sottili a spessi, spesso con geometrie lenticolari con subordinati livelli ghiaiosi e più sottili intercalazioni o lenti argillose. (NR-GRS - $V_s < 800$ m/s) passanti verso il basso a marne argillose, argille marnose e argille siltose, in strati da sottili a medi con intercalazioni di sottili livelli di calcari micritici biancastri di origine chimica ("Colombacci") o di sabbie gialle o

grigie fini e finissime (NR-COS - $V_s < 800$ m/s). Tali zone sono presenti soltanto all'estremità meridionale dell'area di indagine.

ZONA 6: depositi eluvio-colluviali (ec) costituiti da argille limose e/o argille sabbiose con frammenti calcareo-marnosi eterometrici (CL) per uno spessore variabile da 0 a 5,5 m. Il substrato geologico è inizialmente costituito marne argillose, argille marnose e argille siltose, in strati da sottili a medi con intercalazioni di sottili livelli di calcari micritici biancastri di origine chimica ("Colombacci") o di sabbie gialle o grigie fini e finissime (NR-COS - $V_s < 800$ m/s) passanti verso il basso ad alternanze di argille scure bituminose, diatomiti, gessi e gessareniti cristallini e calcari solfiferi (NR-ALS - $V_s < 800$ m/s). Tali zone sono concentrate nell'area occidentale di indagine.

ZONA 7: depositi detritici di versante (fd) costituiti ghiaie e ghiaie sabbiose (GM) di spessore variabile tra 0 e 5 m. Tali depositi poggiano su un substrato "rigido" ($V_s > 800$ m/s) costituito inizialmente da alternanze litologiche stratificate (ALS) passanti a lapideo stratificato (LPS). Queste zone sono ubicate nel versante sud del M.te Conero in località Madonnina.

ZONA 8: depositi alluvionali di conoide (ca) costituiti inizialmente da un orizzonte di limi argillosi (ML) di spessore 0-8m, passante a ghiaie e ghiaie sabbiose (GM) di spessore variabile tra 2 e 20 m. Tali depositi poggiano su un substrato costituito da marne, marne argillose e marne calcaree sovraconsolidate (NR-CO - $V_s < 800$ m/s). Rappresenta un'unica zona arealmente estesa che occupa gran parte dell'area centrale di indagine compresa tra l'abitato di S. Lorenzo, il nucleo storico di Sirolo ed il confine comunale con Numana.

ZONA 9: depositi di versante (fd) ed alluvionali di conoide (ca) costituiti inizialmente da ghiaie e ghiaie sabbiose (GM) di spessore variabile tra 0 e 20 m.

Tali depositi poggiano su un substrato costituito da marne, marne argillose e marne calcaree sovraconsolidate (NR-CO - $V_s < 800$ m/s). E' presente in due aree del versante sud del M.te Conero tra le località Capodacqua e Fonte d'Olio.

ZONA 10: depositi detritici di versante (fd) costituiti da ghiaie e ghiaie sabbiose (GM) di spessore variabile tra 0 e 5 m. Tali depositi poggiano su un substrato "rigido" ($V_s > 800$ m/s) costituito da alternanze litologiche stratificate (ALS). Costituisce un'unica zona posta a monte della località Fonte d'Olio.

ZONA 11: depositi detritici di versante (fd) costituiti ghiaie e ghiaie sabbiose (GM) di spessore variabile tra 0 e 5 m. Tali depositi poggiano su un substrato "rigido" ($V_s > 800$ m/s) lapideo stratificato (LPS). Sono ubicate in corrispondenza in corrispondenza delle incisioni vallive che dissecano il versante S del M.te Conero.

ZONA 12: substrato geologico affiorante o con copertura $\leq 3,0$ m costituito da marne, marne argillose e marne calcaree sovraconsolidate (NR-CO - $V_s < 800$ m/s) di spessore variabile da 0 a > 100 m, passanti verso il basso a litotipi simili ma stratificati (NR-COS - $V_s < 800$ m/s). Tali zone presentano una elevata estensione areale corrispondente all'affioramento delle formazioni del Bisciario e Schlier.

ZONA 13: substrato geologico affiorante o con copertura $\leq 3,0$ m costituito da marne, marne argillose e marne calcaree sovraconsolidate (NR-CO - $V_s < 800$ m/s) di spessore variabile da 10 a 20m, passanti verso il basso a litotipi simili ma stratificati (NR-COS - $V_s < 800$ m/s). Costituisce un'unica zona ubicata in corrispondenza del cimitero comunale.

ZONA 14: substrato geologico affiorante o con copertura $\leq 3,0$ m costituito da alternanze di argille scure bituminose, diatomiti, gessi e gessareniti cristallini e calcari solfiferi (NR-ALS - $V_s < 800$ m/s) di spessore variabile tra 0 e 50m, passanti

verso il basso a marne, marne argillose e marne calcaree sovraconsolidate (NR-CO - $V_s < 800$ m/s). Tali zone sono principalmente concentrate in piccoli lembi in prossimità degli abitati del Coppo e Montefreddo.

ZONA 15: substrato geologico affiorante o con copertura $\leq 3,0$ m costituito da marne argillose, argille marnose e argille siltose, in strati da sottili a medi con intercalazioni di sottili livelli di calcari micritici biancastri di origine chimica ("Colombacci") o di sabbie gialle o grigie fini e finissime (NR-COS - $V_s < 800$ m/s), passanti verso il basso ad alternanze di argille scure bituminose, diatomiti, gessi e gessareniti cristallini e calcari solfiferi (NR-ALS - $V_s < 800$ m/s). Tali zone sono principalmente concentrate in piccoli lembi in prossimità degli abitati del Coppo e Montefreddo.

ZONA 16: substrato geologico affiorante o con copertura $\leq 3,0$ m costituito da alternanze di sabbie con diverso grado di cementazione in strati da sottili a spessi, spesso con geometrie lenticolari con subordinati livelli ghiaiosi e più sottili intercalazioni o lenti argillose (NR-GRS - $V_s < 800$ m/s) passanti verso il basso a marne argillose, argille marnose e argille siltose, in strati da sottili a medi con intercalazioni di sottili livelli di calcari micritici biancastri di origine chimica ("Colombacci") o di sabbie gialle o grigie fini e finissime (NR-COS - $V_s < 800$ m/s). Tali zone sono presenti soltanto all'estremità meridionale dell'area di indagine.

ZONA 17: substrato geologico affiorante o con copertura $\leq 3,0$ m costituito da marne, marne argillose e marne calcaree sovraconsolidate e stratificate (NR-COS - $V_s < 800$ m/s) di spessore variabile da 0 a 100m passanti verso il basso ad un substrato "rigido" ($V_s > 800$ m/s) costituito da alternanze litologiche stratificate (ALS). Tali zone sono ubicate in corrispondenza del versante costiero immediatamente a nord di Punta Giacchetta.

ZONA 18: substrato geologico affiorante o con copertura $\leq 3,0\text{m}$ costituito da marne, marne argillose e marne calcaree sovraconsolidate (NR-CO - $V_s < 800 \text{ m/s}$) di spessore variabile da 0 a $>100\text{m}$, superficialmente molto fratturata e decompressa per uno spessore massimo di 60m, passanti verso il basso a litotipi simili ma stratificati (NR-COS - $V_s < 800 \text{ m/s}$). Costituisce un'unica zona costituente la fascia dell'abitato di Sirolo più prossima alla scarpata costiera in cui sia i dati stratigrafici e geofisici disponibili e le evidenze di superficie indicano un'elevato grado di fratturazione e decompressione della porzione più fratturata dell'ammasso, anche con fratture beanti di direzione NW-SE. L'esistenza di quest'ultime è stata anche osservata e documentata nel corso di scavi eseguiti dagli scriventi nell'abitato e direttamente all'interno dei fabbricati stessi (fig. 5.3.2). La frattura documentata nella foto presenta un'apertura di almeno 1m.



Fig. 5.3.2 - Frattura beante ubicata in corrispondenza del piano seminterrato di un edificio sito in via Giulietti

Per quanto riguarda le “**zone suscettibili di instabilità**”, sono state distinte:

- instabilità di versante attiva, riguardanti i fenomeni di scorrimento ubicati all’interno delle frane complesse che coinvolgono il versante costiero a nord di Punta Giacchetta, oltre ai fenomeni più superficiali di colamento. In tali zone sono state

anche inserite le scarpate più acclivi interessate da fenomeni di ribaltamento e crollo sottostanti l'abitato.

- instabilità di versante quiescente, in cui ricadono le frane principalmente classificate come complesse che interessano sempre tutto il versante costiero dell'area di indagine oltre a quelli che coinvolgono i versanti collinari più interni.

Nella carta delle MOPS sono state inoltre cartografate le "**forme di superficie e sepolte**", le cui caratteristiche ed ubicazione sono state già descritte nel paragrafo 5.2:

- orlo di scarpata morfologica (10-20m;>20m),
- valle sepolta larga ($C < 0,25$)

Per quanto riguarda le **amplificazioni topografiche** nella carta sono state cartografate n. 3 tracce di sezione che individuano altrettante zone meritevoli di approfondimento. Tali zone corrispondono infatti alla alta scarpata costiera morfologicamente continua da nord a sud. Tale scarpata poligenica borda tutto l'abitato e presenta una altezza considerevole (generalmente > di 50 m), risultando molto prossima all'edificato.

6 - DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

6.1 - Dati geotecnici

Nel corso dell'indagine sono stati reperiti pochi dati geotecnici relativi a prove di laboratorio; i dati più completi disponibili riguardano quelli a corredo delle indagini geologico-tecniche svolte dallo scrivente per la redazione del PRG. Tali dati vengono riassunti nella tabella seguente per quanto possibile raggruppati per unità geologico-tecniche omogenee. In tale tabella sono state anche inseriti i dati relativi alle prove in sito (penetrometriche, SPT, ecc.).

		Depositi eluvio- colluviali (ec)	Depositi alluvionali di conoide (ca)	Depositi fluvio- lacustri (lc)	Substrato (NR-COS)	Substrato (NR-CO)
		CL	ML	CL		
	peso volume (t/mc)	1,65-1,97	1,78-1,81	1,96	1,93-1,99	
	peso volume granuli solidi (t/mc)	2,63	2,64			
	indice dei vuoti	0,64-1,07			0,73	
	limite liquido (%)	44,4-62	38,9			
	limite plastico (%)	24,4-31,6	24,8			
	indice plasticità (%)	16,7-37	11,3-15,7	20	31	
	indice consistenza	0,72-1,03	0,79			
	ghiaia (%)	0	0,4-1,2		0	
	sabbia (%)	1,7	15,7-19,9		1,3	
	limo (%)	36,3	79,7-83,1		42,1	
	argilla (%)	62			56,6	
	angolo resist. taglio di picco (°)	24,4-26,1	26,9	25,4	24	
	coesione drenata di picco (Kg/cm ²)	0,14-0,24	0,27	0,23	0,39	
	coesione non drenata (Kg/cm ²)	0,76-2,32	0,71-0,93	0,4-1		
	modulo edometrico (Kg/cm ²)	28,16-82,32				
Prove in sito (SPT)	<i>NSPT</i>	38-48	8-18	14-27		>50

In fig. 6.1.1 si riporta uno schema rappresentativo delle caratteristiche litotecniche della formazione dello Schlier (NR-CO - $V_s < 800$ m/s).

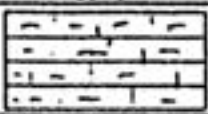
	FRESH ROCK	CRUSHED ROCK	WEATHERED ROCK	RESIDUAL SOIL
ISRM Class of weathering	I & II	III	IV-V	VI
Type of weathering	Disintegration			Decomposition
RQD in bedding direction	60-95	20-50		
General Aspect				
CALCAREOUS MARL CoCO ₃ = 60 - 75 % CF = < 40 % γ = 19-21 Gs = 2.72	Medium strong rock Intact Rock UCS (MPa): 18-53 Is (MPa): 0.8-2.2 Ia (MPa): 1-1.5 Joints JCS (MPa): 18-53 JRC (MPa): 8-10 φ _b (°): 29-31 φ _r (°): 26-27	Heavily fractured rock UCS (MPa): 4-24 Is (MPa): 0.15-1 Ia (MPa): 1.3-2.1 wo (%): 6-16	Structurally complex assemblage of strong particles in silty matrix UCS (MPa): 1-6 wo (%): 10-22	NC clayey silt Low plasticity (CL-CM) Turbulent shear UCS (MPa): 0-2 LL (%): 30-50 LP (%): 5-25 wo (%): 10-30 φ _p (°): 31-37 c' (kPa): 30-50 φ _{cv} (°): 28-31 φ _r (°): 25-29
MARL CoCO ₃ = 35 - 60 % CF > 40 % γ (kN/m ³) = 20-21 Gs = 2.74	Weak rock Intact Rock UCS (MPa): 4-25 Is (MPa): 0.2-0.9 Ia (MPa): 1.3-1.4 Joints JCS (MPa) JRC (MPa): 8-10 φ _b (°): 25-26 φ _r (°): 23-27	Heavily fractured rock with slickensided clayey shear zones UCS (MPa): 2-14 Is (MPa): 0.05-0.6 Ia (MPa): 1.6-2.8 wo (%): 6-16	Structurally complex assemblage of weak particles in clayey matrix UCS (MPa): 0.5-5 wo (%): 12-25	NC silty clay High plasticity (CH) Transitional shear UCS (MPa): 0-1.2 LL (%): 45-55 LP (%): 15-40 wo (%): 20-35 φ _p (°): 26-33 c' (kPa): 10-30 φ _{cv} (°): 25-31 φ _r (°): 19-24

Fig. 6.1.1 - Unità litotecniche e principali caratteristiche geotecniche della Formazione dello Schlier nella zona tra Sirolo e Numana (tratta da: CASAGLI ed Altri, 1995)

6.2 - Dati geofisici

Le indagini geofisiche reperite sono in numero molto limitato e sono concentrate nella zona sud-ovest del territorio comunale; più precisamente sono state reperite n. 3 misure sismiche passive a stazione singola (HVSr) e n. 2 prove sismiche attive di superficie (tecnica Masw). Il loro numero molto limitato non consente la caratterizzazione di tutti i litotipi presenti nel sottosuolo del Comune di Sirolo. Data l'insufficienza dei dati disponibili è stata, quindi, programmata una specifica campagna di prospezioni geofisiche finalizzata alla caratterizzazione sismica preliminare delle formazioni presenti nell'area di studio mediante la determinazione delle velocità delle onde S (V_s) e le frequenze fondamentali di risonanza. Sono state eseguite n. 11 prove sismiche attive di superficie con tecnica Masw e n. 20 misure sismiche passive a stazione singola (HVSr).

Le velocità delle onde S (Rayleigh) calcolate dalle prove sismiche attive con tecnica Masw eseguite ad hoc risultano variabili e comprese in intervalli di valori abbastanza ampi indice di un diverso grado di compattazione e/o addensamento da zona a zona.

Da sottolineare che l'unità CO (substrato non rigido) presenta velocità anomale (basse) nelle aree adiacenti alla falesia ed in particolare, vista la relativa abbondanza di informazioni, nel centro abitato di Sirolo. Tale difformità dipende innanzi tutto dalla diversa composizione litologica delle Formazioni (Bisciaro e Schlier) molto più marnose rispetto alle facies tipiche rintracciabili nell'Appennino Umbro-marchigiano, ma anche per l'elevato grado di fratturazione.

Le prospezioni reperite sono elaborate secondo specifiche e software differenti, inoltre, la ricostruzione sismostratigrafica sembra forzata per l'individuazione di orizzonti fino a circa 30 m (per il calcolo delle V_{s30} previsto dalle vigenti normative). Per tali motivazioni si ritiene siano da ritenersi puramente indicativi i valori delle velocità dei sismostrati più profondi.

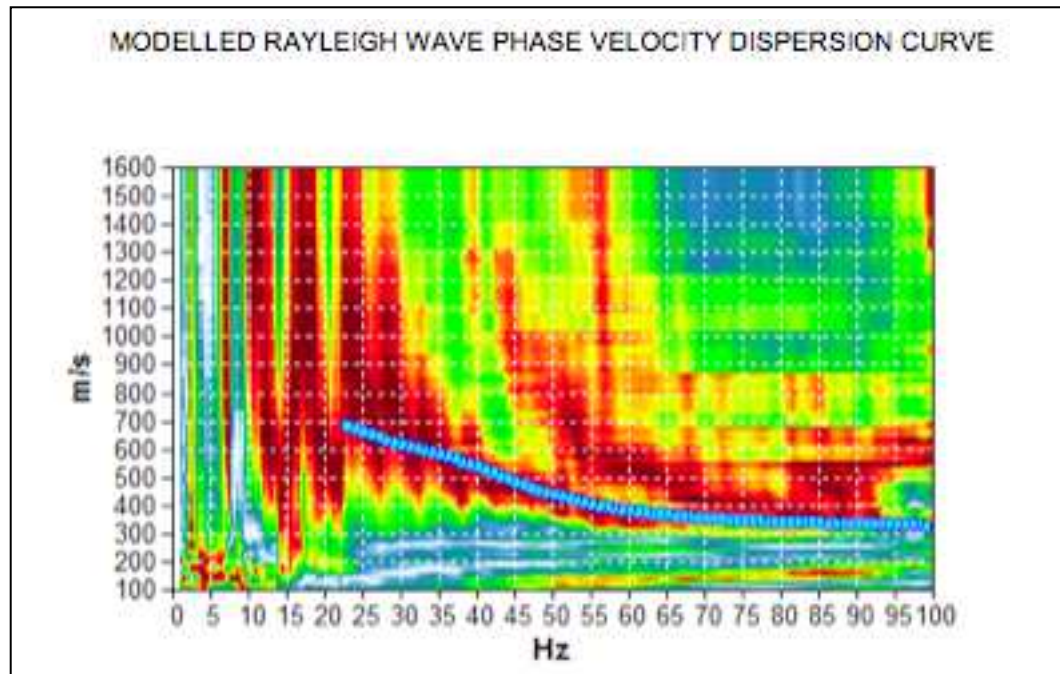


Fig. 6.2.1- Esempio di spettro delle velocità Vs ottenuto tramite prove sismiche attive con tecnica Masw eseguite su substrato rigido ($V_s > 800$ m/s)

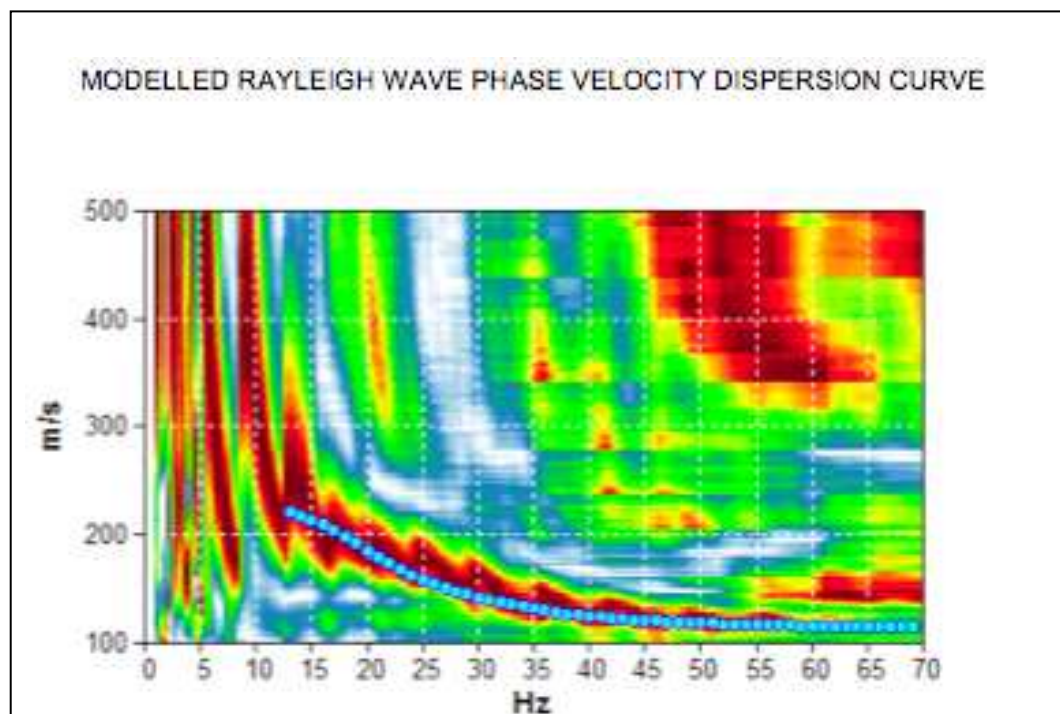


Fig. 6.2.2- Esempio di spettro delle velocità Vs ottenuto tramite prove sismiche attive con tecnica Masw eseguite su terreni di copertura ($V_s < 800$ m/s)

La misura della frequenza di risonanza, tramite le prove sismiche passive a stazione singola (HVSR), è di facile e veloce acquisizione ed è particolarmente interessante ai fini della zonazione in prospettiva sismica in quanto il rischio di danno sulle strutture è tanto più elevato quanto più la frequenza del terreno è prossima alla frequenza propria del manufatto (risonanza).

Delle prove sismiche passive a stazione singola (HVSR) reperite vengono considerati solamente i dati relativi alle frequenze di picco ed il loro relativo valore H/V. Queste prove sono indirette e come tali sono sistemi sottodeterminati con più incognite che equazioni, presentano quindi infinite soluzioni. Per eliminare questa ambiguità è necessario vincolarle ovvero introdurre delle conoscenze ulteriori come la profondità di un riflettore (contrasto di impedenza) o una misura stimata della velocità V_s (anche solamente per i sismostrati più superficiali) operazione non effettuata nei casi reperiti. Inoltre, nella ricostruzione della sismostratigrafia sono stati indicati numerosi sismostrati con spessori esigui e minimi incrementi delle velocità, quindi, non hanno tenuto conto del "*principio del rasoio di Occam*" ovvero, il modello deve contenere il minor numero di parametri (strati) in grado di spiegare la stessa evidenza sperimentale. L'elaborazione finalizzata alla determinazione della sismostratigrafia ovvero della velocità V_s , pertanto è stata ignorata.

Tutte le nuove prove sono state elaborate con un software che fa riferimento alle specifiche del Progetto di Ricerca "SESAME"; in alcuni casi i criteri relativi alla "chiarezza del picco H/V" sono disattesi in quanto sono assenti contrasti di impedenza (prodotto della velocità x densità) ovvero la velocità delle onde S (Rayleigh) è costante e/o varia gradualmente con la profondità.

Viene di seguito riportata la tabella con i dati relativi alle prove sismiche passive a stazione singola (HVSR) reperite:

pkey_spu	Ubicazione	Frequenza di picco f0 (Hz)	Valore picco H/V
84	Via Levante-Loc. Montefreddo	0,56	3,86
103	Via San Michele	3,56	2,67
104	Via San Michele	3,44	3,78

Di seguito è riportata la tabella con i dati relativi alle prove sismiche passive a stazione singola (HVSr) eseguite ad hoc:

pkey_spu	Ubicazione	Frequenza di picco f0 (Hz)	Valore picco H/V
127	Via R. Sanzio	2,75	3,50
128	Via S. Antonio-Via A. Vivaldi	2,81	3,91
129	Parco pubblico Via A. Giulietti	8,25	3,70
130	Via le Vigne	7,63	4,20
131	P.le Marino	3,94	3,95
132	Via La Forma (S.P. 2)	3,13	2,31
133	Via La Forma (S.P. 2)	1,81	3,10
134	Via Montefreddo - Fraz. Coppo	34,38	3,09
135	Via Mortarolo	5,47	3,09
136	Loc. Saletto	4,31	6,00
137	Via Scirocco - Via Montefreddo	0,56	2,31
138	Via Piani d'Aspio	1,84	2,39
139	Via Betellico	4,38	3,51

pkey_spu	Ubicazione	Frequenza di picco f0 (Hz)	Valore picco H/V
140	Via Montegrappa	59,16	2,51
141	Via Cave	73,75	3,05
142	Via Ancarano	0,97	1,66
143	Via Coppo - Fraz. Coppo	7,16	3,22
144	Via Montefreddo (serbatoio idrico)	46,25	2,90
145	Via Montefreddo	0,63	1,90
146	Via Molini II (zona archeologica)	41,81	2,33

Nel territorio del Comune di Sirolo le velocità delle onde S (Rayleigh) raggiungono al massimo in corrispondenza del substrato rigido 900m/s, nel substrato non rigido 700 m/s e nei terreni di copertura 400-500 m/s.

Le prove sismiche passive a stazione singola (HVSr) hanno evidenziato varie frequenze di risonanza concentrate, soprattutto, nell'intervallo tra 2 Hz e 12 Hz che è il "range" tipico del primo modo di vibrare delle strutture standard in cemento armato. Eccezioni sono i "Pkey_spu" nn. 134, 140, 141, 144 e 146 in cui le frequenze di risonanza sono molto superiori al sopra citato intervallo indice di contrasti generati da orizzonti molto superficiali (1-2m); mentre nei "Pkey_spu" nn. 84, 133, 137, 138, 142 e 145 i valori sono inferiori a 2 Hz indice di contrasti profondi (>30-40m). Le zone con frequenze di risonanza elevate (contrastati superficiali) dovrebbero avere un'estensione areale minima in quanto generate dalle coltri di terreno superficiale in cui variano molto rapidamente caratteristiche meccaniche (velocità Vs) e spessore.

In alcune zone le frequenze di risonanza hanno ampiezze (rapporto H/V) inferiori a 2-3, tale valore è ritenuto da alcuni autori il limite al di sopra del quale il contrasto di impedenza è significativo e quindi degno di attenzione.

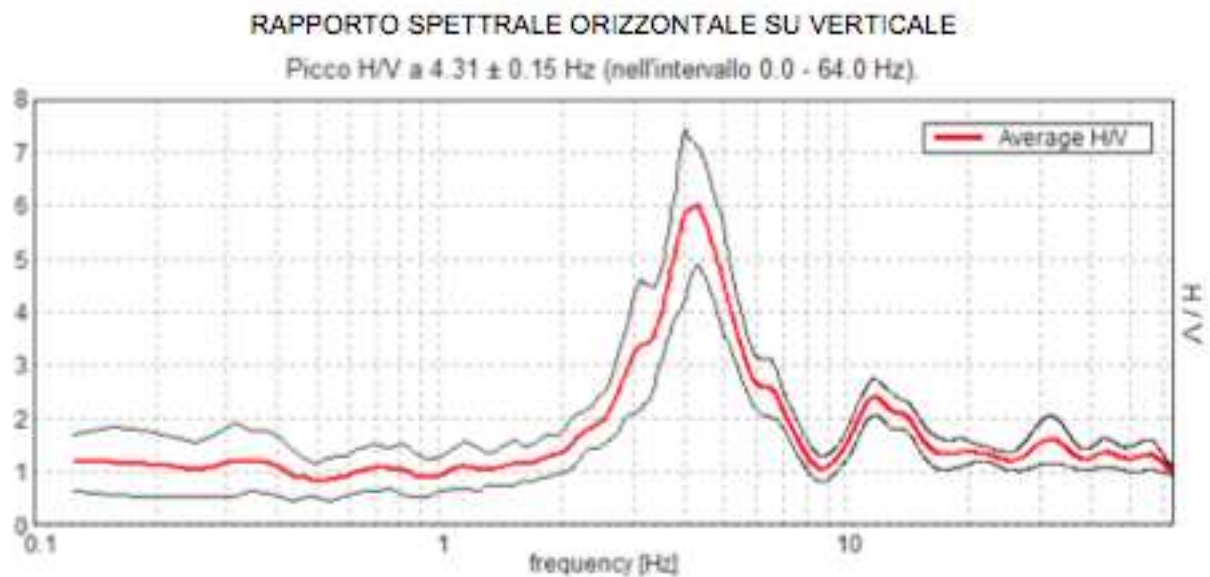


Fig. 6.2.3- Esempio di spettro del rapporto H/V con un forte contrasto di impedenza ottenuto tramite prova sismica passiva a stazione singola (HVSR)

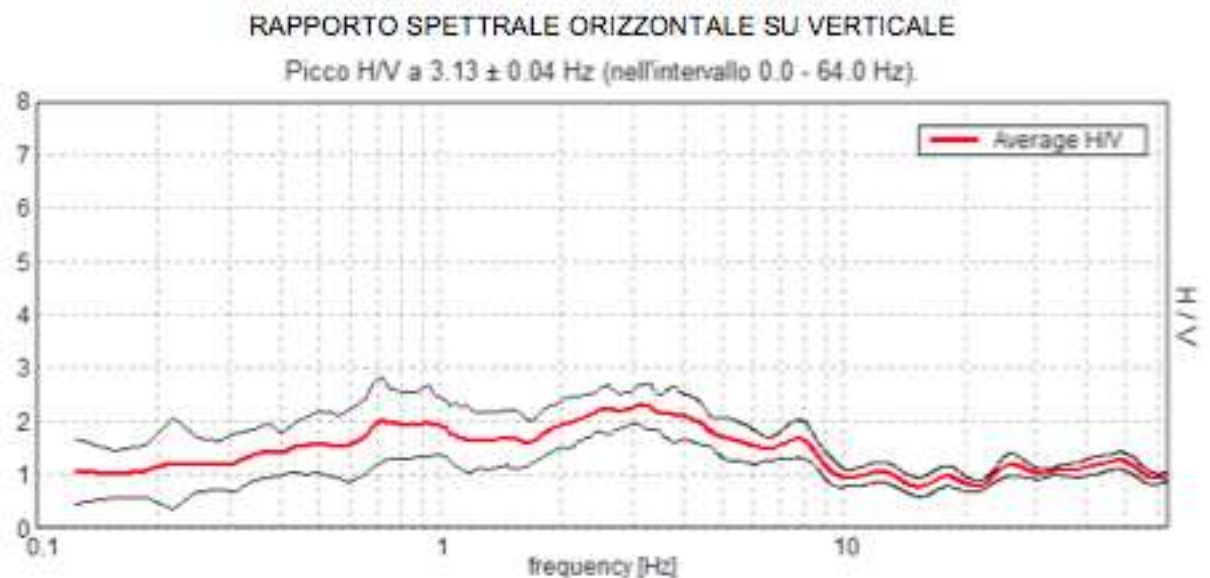


Fig. 6.2.4- Esempio di spettro del rapporto H/V relativamente uniforme senza significativi contrasti di impedenza ottenuto tramite prova sismica passiva a stazione singola (HVSR)

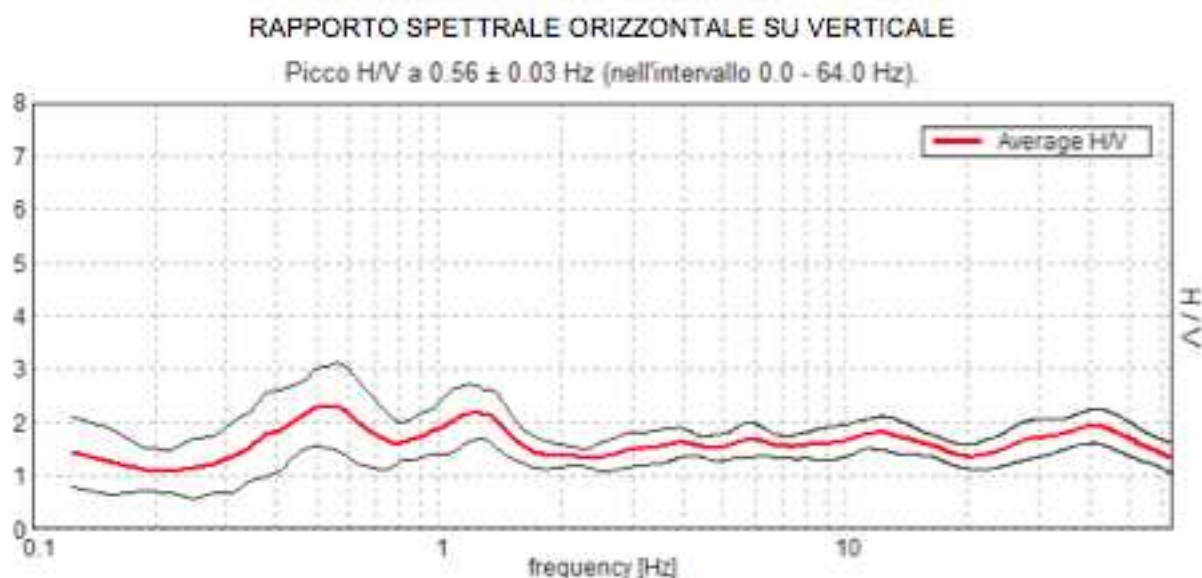


Fig. 6.2.5- Esempio di spettro del rapporto H/V relativamente uniforme con contrasti di impedenza degni di nota alle basse frequenze ottenuto tramite prova sismica passiva a stazione singola (HVSR)

Per una sintetica, facile e chiara lettura dei valori delle velocità delle onde S relativamente alle unità descritte nei paragrafi precedenti, si riporta la sottostante tabella redatta sia sulla base dei dati ottenuti, sia da notizie bibliografiche relative ad omologhe formazioni. Tali velocità si devono intendere come informazioni preliminari e non esaustive di tutti le situazioni litostratigrafiche dei terreni presenti nel territorio comunale.

UNITA'	VELOCITA' ONDE S (Rayleigh) in m/s
Substrato geologico rigido	
LPS	>800**
ALS	700÷900
Substrato geologico non rigido	
CO	250÷630
COS	220÷700**
GRS	180÷260
Terreni di copertura	
CL-lc	200÷400**
CL-ec	220÷500
ML-ca	250÷290
GM-ca	230÷380

**** da bibliografia**

7 - CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Sulla base di quanto descritto e argomentato nei paragrafi precedenti si formulano le seguenti valutazioni e considerazioni conclusive.

Le principali criticità e difficoltà incontrate nell'analisi ed elaborazione dei dati geologico-stratigrafici, geomorfologici, geotecnici e geofisici esistenti e che hanno pertanto condizionato lo svolgimento delle indagini di microzonazione, vengono di seguito riassunte:

- la scarsità e disomogenea distribuzione areale delle indagini con zone totalmente carenti;

- l'eterogeneità e soggettività delle descrizioni litologiche e tessiturali, soprattutto per i terreni di copertura ed anche per indagini molto vicine. In tali casi si è cercato il più possibile di omogeneizzare i dati in prospettiva della redazione della carta geologico-tecnica basandosi soprattutto sulle conoscenze dell'area da parte dello scrivente;

- la carenza di dati geofisici significativi ai fini del presente studio ed in particolare quelli derivanti da prove in foro (Down Hole), totalmente mancanti. Per quanto possibile si è cercato di integrare i dati esistenti mediante l'esecuzione di una campagna di prospezioni geofisiche (MASW e HVSR) che hanno consentito comunque di fornire una caratterizzazione preliminare del sito di indagine;

Sulla base dei dati geofisici disponibili è risultato che il territorio di di Sirolo è caratterizzato in prevalenza da un substrato geologico "**non rigido**" con velocità delle onde Vs <800m/s. Le aree stabili con substrato geologico "**rigido**", risultano pertanto molto limitate e per la gran parte non interessate da edificazione.

Di conseguenza nell'area di indagine le aree stabili risultano per la maggior parte "**suscettibili di amplificazione locale**", distinte in 18 zone (MOPS) con caratteristiche geologico-stratigrafiche, granulometriche e tessiturali omogenee, di cui

12 riguardano principalmente i depositi di copertura e 6 il substrato geologico "non rigido" affiorante o con copertura <3,0m.

Tra quelle che riguardano il substrato si segnala in particolare la n. 18 costituente la fascia dell'abitato di Sirolo più prossima alla scarpata costiera in cui sia i dati stratigrafici e geofisici disponibili, che le evidenze di superficie indicano un'elevato grado di fratturazione e decompressione della porzione più fratturata dell'ammasso (fino alla prof. Di 50-60m), anche con fratture beanti di direzione NW-SE. Tale zona risulta a nostro avviso meritevole di approfondimento anche in considerazione che dai dati reperiti la stessa sembrerebbe essere stata la più danneggiata dagli eventi sismici più severi, come ad esempio il terremoto del 1930 di Senigallia.

Le zone suscettibili di instabilità riguardano principalmente le frane costiere, sia attive che quiescenti, che in alcuni casi rivestono una particolare importanza in quanto coinvolgono anche zone densamente abitate e infrastrutture e risultano pertanto meritevoli di un approfondimento per una corretta valutazione del rischio connesso a tali fenomeni in prospettiva sismica.

In corrispondenza delle principali incisioni vallive dell'area di indagine i dati stratigrafici disponibili, ma soprattutto valutazioni di carattere morfostratigrafico hanno consentito di delineare l'esistenza di una articolazione morfologica del passaggio stratigrafico coperture/substrato connessa a fenomeni di erosione e approfondimento operati dal corso d'acqua precedentemente alla formazione del deposito superficiale, costituendo pertanto una "valle sepolta".

Per quanto riguarda le applicazioni topografiche sono state segnalate tre zone corrispondenti alla scarpata costiera che borda l'abitato di Sirolo, risultando pertanto meritevoli di approfondimento.

8 - BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. (1986) - *"La geologia delle Marche"* - Studi Geologici Camerti - Numero Speciale.
- AA.VV. (1991) - *"L'ambiente Fisico delle Marche - Geologia, Geomorfologia, Idrogeologia"* - Regione Marche Ass. Urbanistica e Ambiente - SELCA ediz.
- AA.VV. (2011) - Supplemento alla Rivista Trimestrale *"Ingegneria Sismica"* - Anno XXVIII n.2.
- ALBARELLO ed Altri (2010). *"The contribution of the ambient vibration prospecting in seismic microzoning: an example for the area damaged by the 26th April 2009 l'Aquila (Italy) earthquake"* – Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata.
- ANGELI M.-G., BARBARELLA M., DRAMIS F., GARZONIO C. A., PONTONI F. *"A Monitoring Project for the Definition of the Geostructural Model of Sirolo Landslide (Italy)"*. ALPS 90, 6th ICFL, Università degli Studi di Milano, Conference Proceedings, pp. 175-186, Milano, 12th September 1990.
- ANGELI M.G., BARBARELLA M. & PONTONI F. (1992) - *'Instability of a sea cliff: Sirolo landslide, Italy'*. Proc. of the Sixth Int. Symposium 10-14 February 1992, Christchurch New Zealand.
- ANGELI M.-G., PONTONI F. *"Il monitoraggio e gli interventi di stabilizzazione in una falesia di roccia fratturata"* Atti del XIX Convegno Nazionale di Geotecnica, Pavia, 19-21 Settembre 1995.
- ANGELI M.G., PONTONI F. & GASPARETTO P. (1996) - *'Long-term monitoring and remedial measures in a coastal landslide (Central Italy) '*. Proc. of the Seventh Int. Symposium on Landslide, 17 - 21 June 1996, Trondheim, Norway.
- ANGELI M.G. (1998) - *'An Example of the Observational Method: Control Works in a Coastal Landslide (Central Italy)'*. Proc. of the Second Int. Conference on Environmental Management (ICEM2), Australia, 10-13 Feb. 1998.
- ANGELI M.G., GASPARETTO P., MARABINI F., PONTONI F. & SILVANO S. (2008) - *"Urban risk analysis and assessment of the Sirolo landslide, Adriatic coast, Central*

Italy". Extended abstract - International Disaster and Risk Conference - IDRC Davos 2008.

BIGI ed Altri (1996) - *"La fascia periadriatica marchigiano-abruzzese dal Pliocene ai tempi attuali: evoluzione tettonico-sedimentaria e geomorfologica"* - Studi Geologici Camerti - Vol. Spec. 1995/1 Geodinamica e tettonica del sistema tirreno-appennino.

BRAMERINI ed Altri (2008) - *"Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica"* - Dipartimento della Protezione Civile.

BRAMERINI ed Altri (2012) - *"Microzonazione sismica - Standard di rappresentazione e archiviazione informatica"* - Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica.

CANTALAMESSA G. (2011) - *"Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 - Foglio 304 Civitanova Marche"* - ISPRA - Servizio Geologico d'Italia.

CASAGLI N., GARZONIO C.A. & NANNI T. (1995) - *"Geomechanical characterization and slope instability of the marly sea cliffs of Ancona, Italy"*.

CASTELLARO S. ed Altri (2005) - *"Stratigrafia sismica passiva: una nuova tecnica accurata, rapida ed economica"* - Geologia Tecnica e Ambientale, Vol. 3.

CASTELLARO S. ed Altri (2009a) - *"Vs30 estimates using constrained H/V measurements"* - Bull. Seism. Soc. Am., 98.

CASTELLARO S. ed Altri (2009b) - *"The effect of velocity inversion on H/V"* - Pure Appl. Geophys., 166.

DRAMIS F., GARZONIO C.A., LEOPERDI S., NANNI T., PONTONI F. & RAINONE M.L. - (1988) - *"Damage due to landslide in the ancient village of Sirolo (Marche, Italy); preliminary analysis of risk mitigation on the historical site"*. Proc. Int. Symp. I.A.E.G., Athens, 19-23 settembre, vol. 1.

GABELLI A. ed Altri (2007) - *"Validazione e confronto di metodi di prospezione sismica masw e remi per la determinazione della velocità delle onde di taglio con applicazione ad alcuni siti selezionati"* - GNGTS 2007, Sessione 2,2.

MUCCIARELLI M. ed Altri (2001) - *"A critical review of 10 years of microtremor HVSr technique"* - Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata, 42.

MUCCIARELLI M. ed Altri (2006) - *"Comparison between Vs30 and other estimates of site amplification in Italy"* – Conf. Eartq. Eng. And Seismol. Geneva, 3-8 Sept. 2006, no. 270.

NAKAMURA Y. (1989) - "A method for dynamic characteristics estimates of subsurface using microtremor on the round surface" – QR of RTRI, 30.

SARTI M. ed altri (2011) - *"Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 - Foglio 293 Osimo"* - ISPRA - Servizio Geologico d'Italia.

SESAME Project, (2004) - *"Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations, Measurements, processing and interpretation"*

SESAME European project WP12-Deliverable D23.12, http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr/Papers/HV_User_Guidelines.pdf.