

## AUTOSTRADA (A14) : BOLOGNA-BARI-TARANTO

### AMPLIAMENTO ALLA TERZA CORSIA DEL TRATTO RIMINI NORD-PEDASO

TRATTO: SENIGALLIA – ANCONA NORD

## PROGETTO ESECUTIVO

### DOCUMENTAZIONE GENERALE

### RELAZIONE GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA

 <b>ingegneria europea</b>	<b>IL PROJECT ENGINEER:</b> Ing. Michele Pastorino Ord. Ingg. Savona N.1104	<b>IL DIRETTORE TECNICO :</b> Ing. Maurizio Torresi Ord. Ingg. Milano N.16492
	<b>RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE</b>	<b>RESPONSABILE FUNZIONE "STUDI E PROGETTI"</b>

WBS – Rif. elaborato	DIRETTORIO		FILE		DATA: GIUGNO 2008	REVISIONE							
	codice	commessa	N.Prog.	unita'	n. progressivo	n.	data						
–	1	1	1	4	2	3	0	2	GEI	001	–		
–	1	1	1	4	2	3	0	2	GEO	001	–		

ELABORAZIONE GRAFICA A CURA DI :		CONSULENZA:	
ELABORAZIONE PROGETTUALE A CURA DI :		COORDINATORE GEOINGEGNERIA:	Ing. Tiziano COLLOTTA – O.I. Lecco N. 122
		RESPONSABILE PROG. SPECIALISTICA:	Dott. Vittorio BOERIO – O.G. Lombardia N. 794

VISTO DELLA COMMITTENTE

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA.....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOGRAFICO .....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>CENNI IDROGRAFICI.....</b>	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE.....</b>	<b>11</b>
4.1	L'APPENNINO UMBRO-MARCHIGIANO.....	12
4.2	L'AVANFOSSA MARCHIGIANA.....	14
<b>5</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO .....</b>	<b>20</b>
5.1	FASCIA MONTANA .....	20
5.2	FASCIA PEDEMONTANA .....	20
5.3	LE PIANURE .....	22
5.4	FASCIA COSTIERA.....	23
<b>6</b>	<b>ELEMENTI DI SISMICA GENERALE.....</b>	<b>26</b>
6.1	ZONAZIONE SISMOTETTONICA BIBLIOGRAFICA .....	26
<b>7</b>	<b>CARTOGRAFIA TEMATICA E LEGENDA GEOLOGICA .....</b>	<b>32</b>
7.1	SUCCESSIONI CONTINENTALI QUATERNARIE .....	32
7.1.1	<i>Depositi alluvionali attuali (a2).....</i>	<i>33</i>
7.1.2	<i>Depositi eluvio-colluviali (ec).....</i>	<i>33</i>
7.1.3	<i>Depositi alluvionali terrazzati (a1) .....</i>	<i>33</i>
7.1.4	<i>Depositi di ambiente litoraneo antichi (Q) .....</i>	<i>34</i>
7.2	SUCCESSIONI MARINE PLIO-QUATERNARIE .....	34
7.2.1	<i>Depositi prevalentemente argilloso - limosi (Qa) .....</i>	<i>35</i>
7.2.2	<i>Depositi prevalentemente argillosi (Pa).....</i>	<i>35</i>
7.2.3	<i>Depositi prevalentemente argilloso-limosi ed argillosi (Qa/Pa).....</i>	<i>35</i>

<b>8</b>	<b>CARTOGRAFIA TEMATICA RIFERITA ALLA GALLERIA CAVALLO.....</b>	<b>37</b>
<b>9</b>	<b>CARTOGRAFIA E LEGENDA GEOMORFOLOGICA .....</b>	<b>38</b>
9.1	FORME STRUTTURALI .....	39
9.2	FORME DI VERSANTE DOVUTE ALLA GRAVITÀ .....	39
9.2.1	<i>Forme di denudazione.....</i>	<i>39</i>
9.2.2	<i>Forme di accumulo .....</i>	<i>40</i>
9.3	FORME FLUVIALI DOVUTE AL DILAVAMENTO.....	41
9.3.1	<i>Forme di erosione.....</i>	<i>41</i>
9.3.2	<i>Forme di accumulo e relativi depositi.....</i>	<i>42</i>
9.4	FORME ED ELEMENTI DI ORIGINE MARINA.....	42
9.5	FORME ANTROPICHE.....	42
<b>10</b>	<b>INDAGINI GEOGNOSTICHE .....</b>	<b>43</b>
10.1	INDAGINI GEOGNOSTICHE DI FASE A.....	43
10.2	INDAGINI GEOGNOSTICHE DI FASE B.....	44
10.3	INDAGINI GEOGNOSTICHE DI FASE E.....	44
10.4	INDAGINI GEOGNOSTICHE GALLERIA CAVALLO.....	46
<b>11</b>	<b>ELEMENTI DI INTERESSE INGEGNERISTICO .....</b>	<b>48</b>
11.1	GEOLOGIA .....	48
11.1.1	<i>Tratto compreso tra il km 194+800 ed il km 203+000.....</i>	<i>49</i>
11.1.2	<i>Tratto compreso tra il km 203+000 ed il km 206+850.....</i>	<i>50</i>
11.1.3	<i>Tratto compreso tra il km 206+850 ed il km 213+800.....</i>	<i>50</i>
11.2	GEOMORFOLOGIA.....	51
11.2.1	<i>Tratto compreso tra il km 194+700 ed il km 194+900.....</i>	<i>54</i>
11.2.2	<i>Area imbocco sud galleria Cavallo .....</i>	<i>56</i>
11.2.3	<i>Tratto compreso tra il km 197+800 e il km 199+100.....</i>	<i>57</i>

11.2.4 <i>Tratto compreso tra il km 199+200 ed il km 201+500</i> .....	59
11.2.5 <i>Tratto compreso tra il km 202+200 e il km 205+800</i> .....	60
<b>12 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI</b> .....	<b>62</b>

## **1 PREMESSA**

La presente relazione riguarda la porzione di territorio attraversata dall'Autostrada Bologna – Bari – Taranto (A14), nell'ambito del progetto di ampliamento alla terza corsia Rimini nord - Pedaso; in particolare viene preso in considerazione il tratto Senigallia – Ancona nord.

L'intera fascia di territorio oggetto di approfondimenti ricade completamente nel territorio provinciale di Ancona e si estende per una lunghezza totale di progetto pari a 18,94 Km e per un'ampiezza media di 1.5 km a cavallo dell'attuale tracciato autostradale.

Lo scopo del lavoro consiste nell'illustrare gli elementi geologico strutturali e geomorfologici utili ad individuare i principali aspetti progettuali riconducibili alla natura ed alle caratteristiche dei terreni attraversati dal tracciato oggetto di studio.

## 2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il tratto autostradale della A14 oggetto di ampliamento è compreso tra il casello di Senigallia posto a sud del fiume Misa e il casello di Ancona nord posto immediatamente a nord di località Grancetta.

Il tracciato in quest'area si sviluppa, con direzione all'incirca appenninica (NW-SE), poco distante dalla linea di spiaggia adriatica, con andamento rettilineo e circa parallelo alla linea di costa stessa. Solo a sud, nei pressi di località Marina di Montemarçiano, prima di attraversare il F. Esino, si sposta verso l'interno con direzione N-S per una lunghezza di circa 4÷5 km fino al casello di Ancona N.



Fig. 1 Tracciato autostradale della A14 e individuazione del tratto in esame (tratto da Atlante stradale De Agostini, ridisegnato).

Le Marche costituiscono la parte meridionale più esterna dell'Appennino settentrionale. L'aspetto orografico di questa regione è molto peculiare e diversificato e può suddividersi in tre fasce longitudinali, che da ovest ad est possono essere definite secondo il seguente schema:

a. fascia pre - appenninica, di modesta estensione, ubicata nell'estrema porzione nord occidentale, da Castel d'Elci a nord fino alla Serra di Burano a sud. Le quote più elevate sono quelle di M. Sodo Pulito (1.125 m s.l.m.) e Pian della Serra (1.020 m s.l.m.).

b. fascia appenninica propriamente detta, rappresentata essenzialmente da due dorsali montuose pressoché parallele orientate in direzione NW-SE nella loro porzione settentrionale ed in direzione circa N-S in quella meridionale; questi rilievi, insieme al limitrofo Appennino umbro, danno origine alla nota forma arcuata dell'Appennino Umbro-Marchigiano. Le due dorsali in esame (i cui rilievi superano mediamente i 1.000 m, con la quota massima relativa al M. Catria, 1.701 m s.l.m.), sono separate fra loro da una fascia collinare sviluppata da Visso ad Acqualagna, (quote che raramente superano i 600 m). In corrispondenza dei Monti Sibillini le diverse unità orografiche si saldano tra loro, originando un'unica unità contraddistinta da rilievo mediamente più elevato (quota massima del M. Vettore pari a 2.476 m s.l.m.).

c. fascia sub - appenninica, estesa ad oriente fino al litorale Adriatico, essenzialmente collinare, fatta eccezione per la parte pedemontana che da Cingoli si spinge fino ai M.ti della Laga, dove si raggiungono quote elevate fino ai 1.954 m s.l.m. in corrispondenza di Colle la Tana. Locali aree più elevate, quali i M.ti della Cesana, il M. Conero, la dorsale di Cingoli, la dorsale di Acquasanta, interrompono l'uniformità del paesaggio collinare di questa fascia.

Nell'estrema porzione settentrionale, a nord della Valle del Foglia, è presente un elemento morfologico ad andamento trasversale (SW-NE), caratterizzato da un paesaggio collinare nel quale spiccano i rilievi di M. Carpegna (1.415 m s.l.m.), Sasso Simone (1.221 m s.l.m.), M. San Paolo (864 m s.l.m.).



### 3 CENNI IDROGRAFICI

I maggiori corsi d'acqua della Regione Marche (Foglia, Metauro, Cesano, Esino, Musone, Potenza, Chienti, Tenna, Aso e Tronto) attraversano da ovest ad est la fascia appenninica e quella sub - appenninica, con valli strette e profonde nella prima e più aperte nella seconda (AA.VV., 1990).

In conseguenza dell'assetto orografico delle Marche, caratterizzato in prima approssimazione da una pressoché costante diminuzione di quote procedendo dal margine occidentale della regione verso il litorale, la quasi totalità dei corsi d'acqua presenti nella regione drena nel Mare Adriatico; fa eccezione il Fiume Nera, che nasce in territorio marchigiano e, dopo alcuni chilometri, supera il confine con l'Umbria per poi andare a confluire nel Fiume Tevere e sfociare quindi nel Mare Tirreno.

Solo una minima parte dei bacini di tali reticoli idrografici ricade al di fuori del bordo occidentale marchigiano, dato che il confine con l'Umbria segue con buona approssimazione l'andamento del displuvio appenninico.

I fiumi che interessano il settore di studio sono elencati nella Tabella 1 (ordinati da nord verso sud).

<b>CORSO D'ACQUA</b>	<b>LOCALITA' FOCE</b>
FOSSO RUBIANO	Marina di Montemarciano
FIUME ESINO	Falconara Marittima (Nord)

Tabella 1 Tabella riepilogativa dei maggiori corsi d'acqua attraversati dal tratto autostradale A14 in esame (Senigallia – Ancona nord).

Tra le caratteristiche comuni di questi corsi d'acqua possiamo ricordare il loro regime torrentizio, la loro ridotta lunghezza ed il profilo trasversale asimmetrico delle valli.

Per quanto riguarda il carattere torrentizio, può essere ben evidenziato osservando l'andamento nel tempo delle portate, caratterizzate da piene sproporzionatamente grandi rispetto alle medie ed alle magre. Questo andamento può essere ricondotto al clima presente nell'area, caratterizzato da estati secche e da piogge concentrate nel periodo autunnale ed invernale; inoltre è possibile affermare che il regime delle portate sia favorito dalla diffusa presenza di acquiferi calcarei, che restituiscono ai fiumi le acque piovane in tempi piuttosto brevi, non omogeneizzando quindi le portate.



Fig. 3 Schema della Regione Marche mostrante l'andamento dei principali fiumi e bacini fluviali (tratto da Molinari et alii, 1971; ridisegnata).

L'andamento ed il regime dei corsi d'acqua ha determinato la presenza di alvei ghiaiosi piuttosto ampi entro cui, tranne che in brevi periodi di maggior portata, le acque divagano nell'ambito di alvei di magra assai ridotti.

I corsi d'acqua presenti nell'area di studio sono caratterizzati da un continuo approfondimento del loro alveo; questa tendenza ha avuto inizio assai recentemente e sembra essere collegata anche a fattori antropici, quali edificazione di sbarramenti lungo i fiumi, uso del suolo ed estrazione di inerti in alveo (Gentili & Pambianchi, 1988), che riducono la portata solida dei corsi d'acqua conferendo agli stessi rinnovata energia erosiva.

Nel suo complesso il reticolo idrografico risulta fortemente condizionato da due fattori principali: il gradiente regionale e la presenza di dislocazioni tettoniche; in particolare il controllo tettonico ha influenzato i tracciati dei reticoli del drenaggio superficiale, determinando l'orientamento di molte valli fluviali.

L'andamento prevalente dei fiumi e la disposizione del rilievo consentono la distinzione delle medesime zone omogenee precedentemente individuate per l'orografia; in particolare nella prima zona, in cui ricade la struttura dei Monti Sibillini, hanno origine quasi tutti i principali fiumi marchigiani del tratto in esame.

#### 4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

Nel territorio marchigiano centrale si individuano due ambiti geologici principali: il Bacino Umbro-Marchigiano, in cui affiorano alcune tra le formazioni più antiche che si rinvengono nella catena appenninica, e l'Avanfossa Marchigiana.

Il primo ambito è espressione di un ambiente paleo geografico che, a partire dal Giurassico si è differenziato dalla Piattaforma carbonatica laziale - abruzzese in seguito all'azione di una importante fase di tettonica distensiva.

Il secondo, suddivisibile in Bacino Marchigiano Interno e Bacino Marchigiano esterno, si è formato in seguito alle prime fasi di corrugamento del miocene, che hanno determinato la formazione dei bacini di avanfossa, soggetti a progressivo spostamento verso est (avampaese).

In particolare la fase tettonica compressiva iniziata nel Tortoniano ha determinato notevoli raccorciamenti ed ispessimenti in corrispondenza della catena appenninica, formando complessi edifici a *thrust* a vergenza orientale; tali strutture compressive, accompagnate dalla formazione di bacini di avanfossa, si sono progressivamente spostate nel tempo da W verso E ed oggi si ritrovano, sepolte sotto i sedimenti marini, al largo della costa.

La fase compressiva, terminata nel Pliocene inferiore nella porzione interna della catena (Calamita et alii, 1990) ed ancora attiva lungo la costa adriatica (Dramis et alii, 2002), è seguita da una fase tettonica distensiva, che ha determinato lo sviluppo di faglie normali di notevole rigetto, a principale direzione appenninica e ribassanti verso W.

Durante il Pleistocene inferiore un generale sollevamento ha determinato un forte approfondimento dei sistemi idrografici (Conti et alii, 1983; Gentili & Pambianchi, 1987).

Infine nel Quaternario domina la morfogenesi da parte degli agenti esogeni, che si sovrappone ai processi tettonici e sedimentari (Passeri, 1994).

Di seguito saranno descritte le principali unità geologico - strutturali, corrispondenti all'Appennino Umbro-Marchigiano e all'Avanfossa Marchigiana.

#### **4.1 L'APPENNINO UMBRO-MARCHIGIANO**

L'Appennino Umbro-Marchigiano, compreso tra il dominio umbro interno a W e l'Avanfossa marchigiana a E, corrisponde all'area di catena in cui dominano i rilievi carbonatici (fig. 4); si tratta di un settore non attraversato dal tracciato autostradale.

Dal punto di vista litologico, l'Appennino Umbro-Marchigiano è caratterizzato da una parte basale della serie riferibile ad ambienti sedimentari di acqua bassa e da una porzione superiore che risulta essere espressione di un ambiente pelagico ed emipelagico.

In particolare i sedimenti di acqua bassa sono ascrivibili al Trias superiore - Liassico inferiore e sono rappresentati da evaporiti (Anidridi di Burano), calcari e marne (Fm. del Monte Cetona), che giacciono al di sotto dei calcari appartenenti alla formazione del Calcare Massiccio.

La parte superiore, espressione di un ambiente pelagico ed emipelagico, risulta costituita dai sedimenti calcareo - marnosi ed argillosi del Giurassico-Paleogene (formazione di Corniola, Marne del M. Serrone, Rosso Ammonitico, Calcari e Marne a Posidonia, Calcari Diasprigni, Calcare a Saccocoma ed Aptici, Bugarone, Maiolica, Marne a Fucoidi, Scaglia Bianca, Scaglia Rossa, Scaglia Variegata e Scaglia Cinerea [Passeri, 1994]).

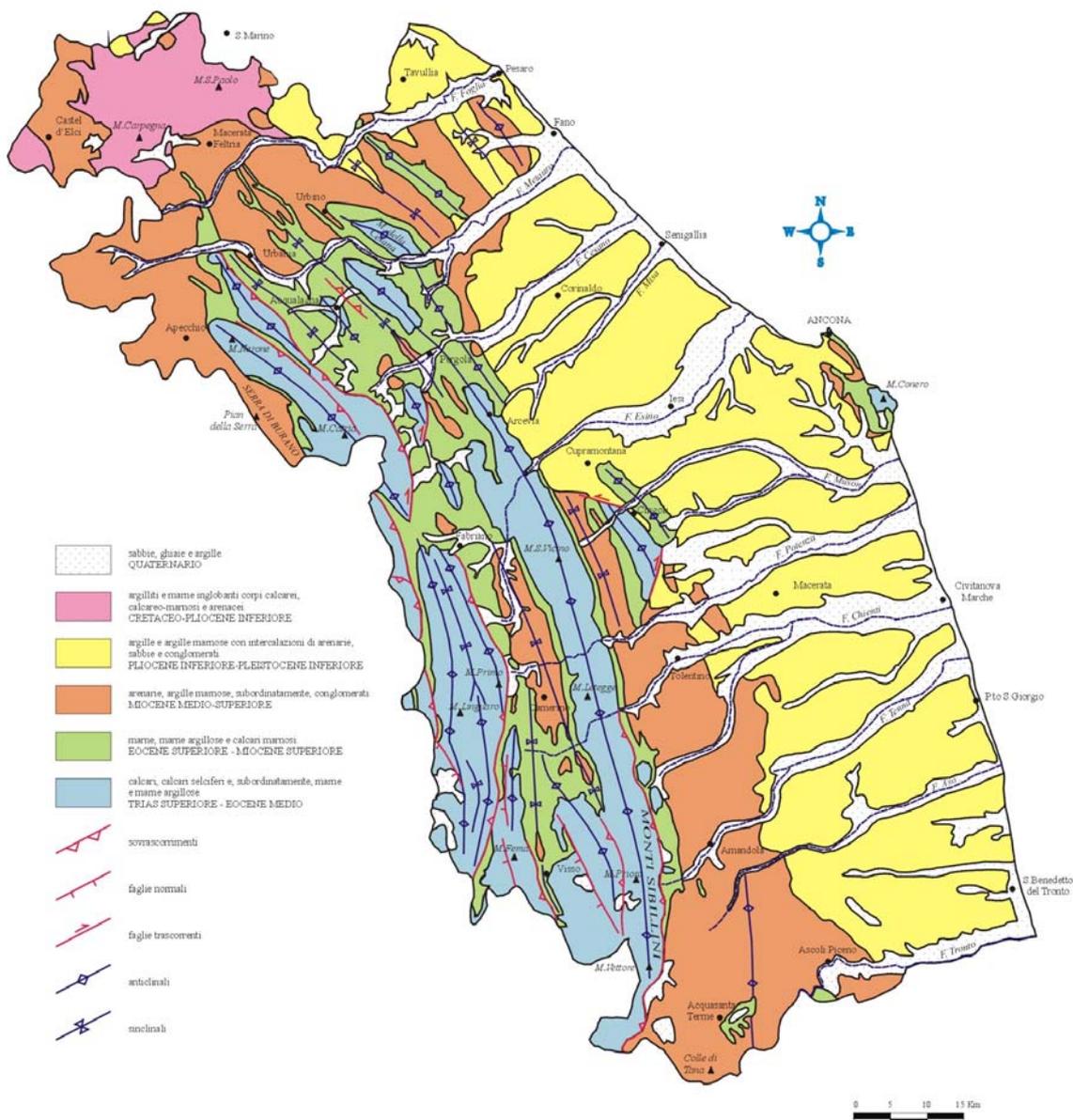


Fig. 4 Carta geologica schematica delle Marche (tratta da Deiana & Pambianchi, 2002).

Dal punto di vista tettonico, l'Appennino Umbro-Marchigiano è caratterizzato da domini strutturali con forma arcuata e convessità orientale formatisi durante le fasi tettoniche compressive e disarticolati durante le fasi distensive; lo stile tettonico è principalmente a pieghe e sovrascorrimenti, subordinatamente a faglie inverse, trascorrenti e traspressive (Fig. 5).

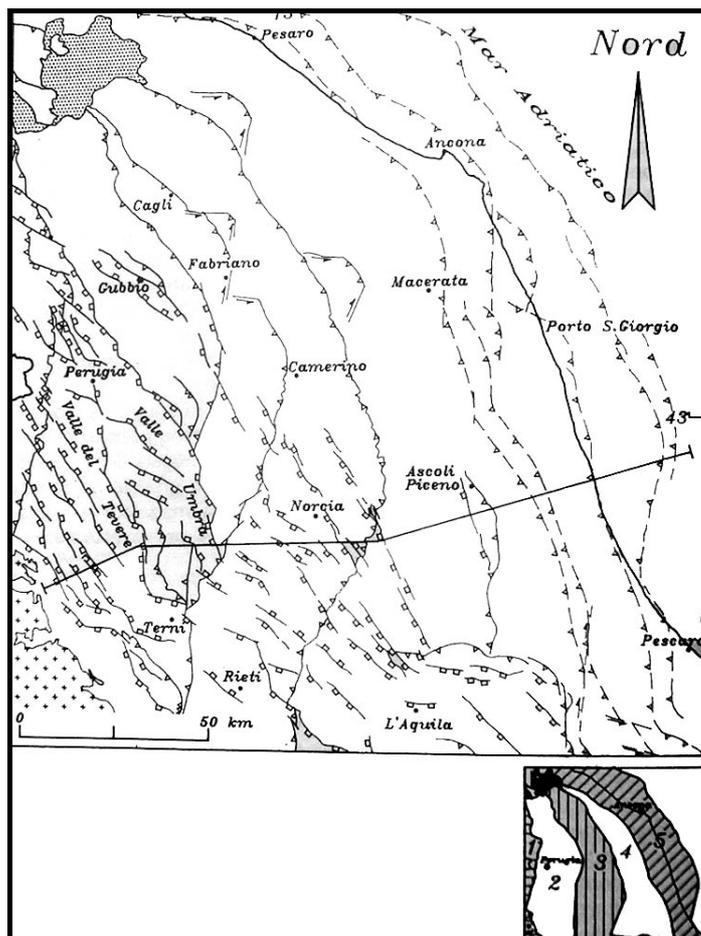


Fig. 5 Carta strutturale dell'area umbro-marchigiana (tratto da Passeri, 1994). 1) vulcaniti pleistoceniche (Vulsini); 2) colata della Val Marecchia; 3) sovrascorrimenti, faglie inverse e trasgressive; 4) sovrascorrimenti sepolti dall'avanfossa marchigiana ed adriatica; 5) faglie dirette e transtensive. In basso a destra, schema dei domini strutturali compressivi, deformati e traslati verso E nel tempo: 1) dominio della falda del Cervarola; 2) dominio umbro interno; 3) catena carbonatica appenninica; 4) avanfossa marchigiana deformata; 5) avanfossa adriatica deformata.

## 4.2 L'AVANFOSSA MARCHIGIANA

L'Avanfossa Marchigiana è un tratto dell'avanfossa appenninica che si segue ininterrottamente dalla regione padana fino alla Sicilia (Selli, 1967); è suddivisa in Bacino Marchigiano Interno e Bacino Marchigiano Esterno (o Bacino Periadriatico Auct.) ed è limitata a SE dalla Catena Appenninica Marchigiana, di cui si è precedentemente fatto cenno, ed a NW dalla Colata gravitativa della Val Marecchia (Ruggieri, 1958).

L'Avanfossa Marchigiana è una vasta depressione a forte subsidenza venutasi a creare, unitamente al Bacino Umbro-Romagnolo, in seguito alla migrazione verso E dell'avampaese appenninico (Passeri, 1994) che ha controllato la sedimentazione miocenica (Boccaletti et alii, 1986) ed ha determinato la perdita di uniformità del dominio umbro - marchigiano (Calamita et alii, 1986).

Dal punto di vista litologico, l'Avanfossa Marchigiana è caratterizzata da una successione terrigena, costituita da sedimenti marnosi e calcareo - siliceo - marnosi, appartenenti alla Formazione del Bisciario, seguiti da formazioni marnose e marnoso - calcareo - argillose tra loro eteropiche, rappresentate dallo Schlier, dalle Marne con Cerroigna e dalle Marne a Pteropodi (Passeri, 1994). Superiormente tale successione terrigena assume caratteristiche torbiditiche in facies prevalentemente pelitico - arenacea ed arenacea.

In particolare, il **Bacino Marchigiano Esterno** è costituito dalla Formazione Marnoso Arenacea "urbinata" e dalla Formazione di S. Donato nella parte settentrionale, e dalla Formazione della Laga nel settore meridionale. Inoltre, sono ben rappresentati anche i depositi evaporitici messiniani appartenenti alla Formazione Gessoso - Solfifera, seguiti da argille e marne con intercalazioni calcaree di origine chimica, appartenenti invece alla Formazione delle Argille a Colombacci.

I sedimenti marini del Plio – Pleistocene, nei quali si sviluppa il tracciato autostradale, segnano il passaggio da ambiente marino a quello continentale (Passeri, 1994), essi affiorano unicamente nel Bacino Marchigiano Esterno e sono caratterizzati da una continuità di sedimentazione nelle zone più profonde e nelle aree più distali del bacino, mentre negli alti strutturali e nelle zone marginali sono presenti lacune sedimentarie e superfici di discontinuità angolari, che consentono di individuare 5 principali sequenze deposizionali marine (Mithcum et alii, 1977).

I depositi continentali quaternari che interessano l'Avanfossa Marchigiana sono costituiti principalmente da depositi alluvionali, da depositi di versante e da coperture pedologiche. I depositi alluvionali, costituiti da ghiaie, provenienti dall'entroterra calcareo marchigiano (Fancelli & Radrizzani, 1964), ghiaie sabbiose e sabbioso-argillose ed argille limose, spesso contenenti prodotti di rimaneggiamento dei depositi di versante (Nesci & Savelli, 1986), si distinguono in attuali e terrazzati. Questi ultimi sono organizzati in diversi ordini di terrazzi poligenici (Passeri, 1994), di cui si osservano numerosi lembi discontinui nei tratti alto-collinari e fasce larghe anche fino a qualche chilometro nei tratti medio collinari e costieri (Coltorti et alii, 1995); essi sono posti a quote variabili fino a 200 metri sugli attuali fondovalle (Passeri, 1994) e generalmente in sinistra idrografica, mentre quelli recenti affiorano

unicamente in destra idrografica (Cantalamessa et alii, 1986); tuttavia, il numero dei terrazzi può localmente aumentare per effetto dell'attività neotettonica (Dramis & Bisci, 1986; Coltorti & Nanni, 1987) o per il verificarsi di più fasi di terrazzamento (Coltorti et alii, 1995).

I depositi di versante, derivanti principalmente da movimenti di massa e da coperture eluvio-colluviali, bordano i blandi rilievi che si spingono fino alla costa adriatica.

Dal punto di vista tettonico, l'Avanfossa Marchigiana è caratterizzata da ampie sinclinali, interessate da movimenti di subsidenza più marcati (Bartolini et alii, 1982), separate da anticlinali molto strette, orientate NW-SE ed interessate da faglie longitudinali (Carloni et alii, 1971).

Il suo assetto morfostrutturale è controllato da un'intensa attività tettonica plio - quaternaria che, unitamente alle variazioni climatiche ed eustatiche, ne ha condizionato la deposizione marina e continentale (Bigi et alii, 1997).

I depositi marini plio - pleistocenici sono disposti secondo una struttura monoclinale debolmente immergente verso E, in quanto basculati in seguito al sollevamento regionale estremamente differenziato tra catena appenninica ed area adriatica (Bigi et alii, 1995).

In particolare, nell'Avanfossa Marchigiana si distinguono tre dei cinque settori in cui l'avanfossa adriatica può essere suddivisa mediante faglie normali trasversali a modesto rigetto, impostatesi spesso su discontinuità tettoniche più antiche aventi un cinematismo variabile nel tempo: settori anconetano, fermano e maceratese (Bigi et alii, 1995) (Fig. 6).

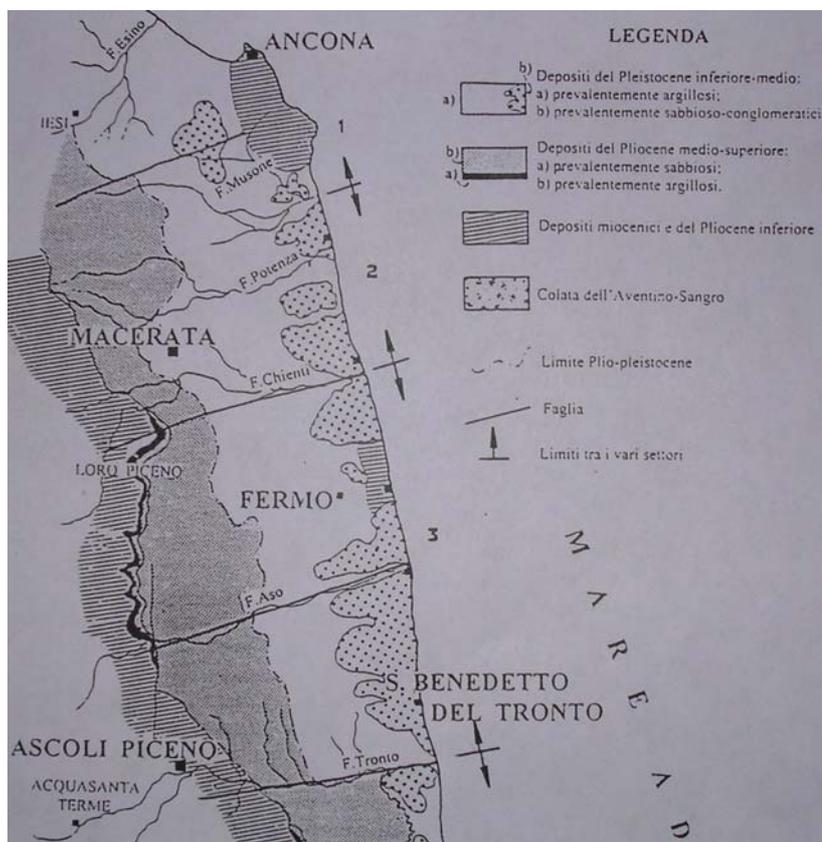


Fig. 6 Carta geologica schematica del bacino periadriatico (tratto da BIGI et alii, 1995). 1) Settore anconetano; 2) settore maceratese; 3) settore fermano.

Tali settori sono caratterizzati da una diversa evoluzione tettonica quaternaria; infatti, un'inversione di tendenza dei movimenti verticali ha determinato una maggiore elevazione del settore anconetano rispetto a quello maceratese con la conseguente emersione di M.te Conero, mentre quello fermano ha subito un sollevamento importante, dando luogo alla dorsale costiera di Porto S. Giorgio, svincolata per effetto di faglie trasversali trascorrenti (Bigi et alii, 1995) (Fig. 7).

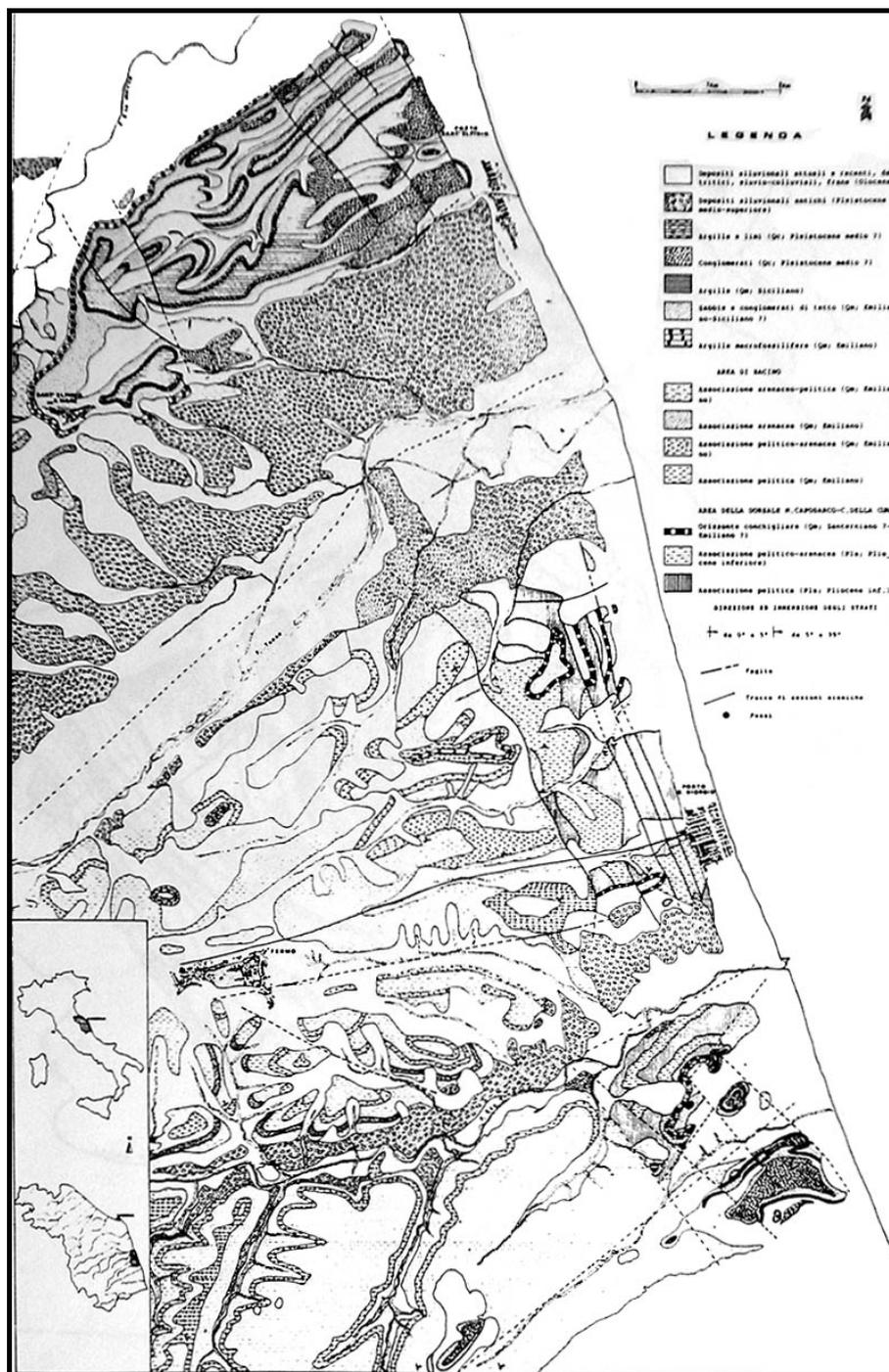


Fig. 7 Carta geologica schematica dell'area di Porto S. Giorgio (tratta da CANTALAMESSA et alii, 1987).

L'attività tettonica quaternaria è anche testimoniata dall'andamento del reticolo idrografico, dalla presenza di numerose paleofrane e di deformazioni gravitative profonde, dalla genesi di faccette triangolari e trapezoidali ed infine dalla concentrazione di fluidi gassosi e vulcanelli di fango lungo le dislocazioni tettoniche più recenti (Bigi et alii, 1997).

La figura 8 mostra le principali unità morfo - strutturali presenti nel settore adriatico dell'Appennino centrale.

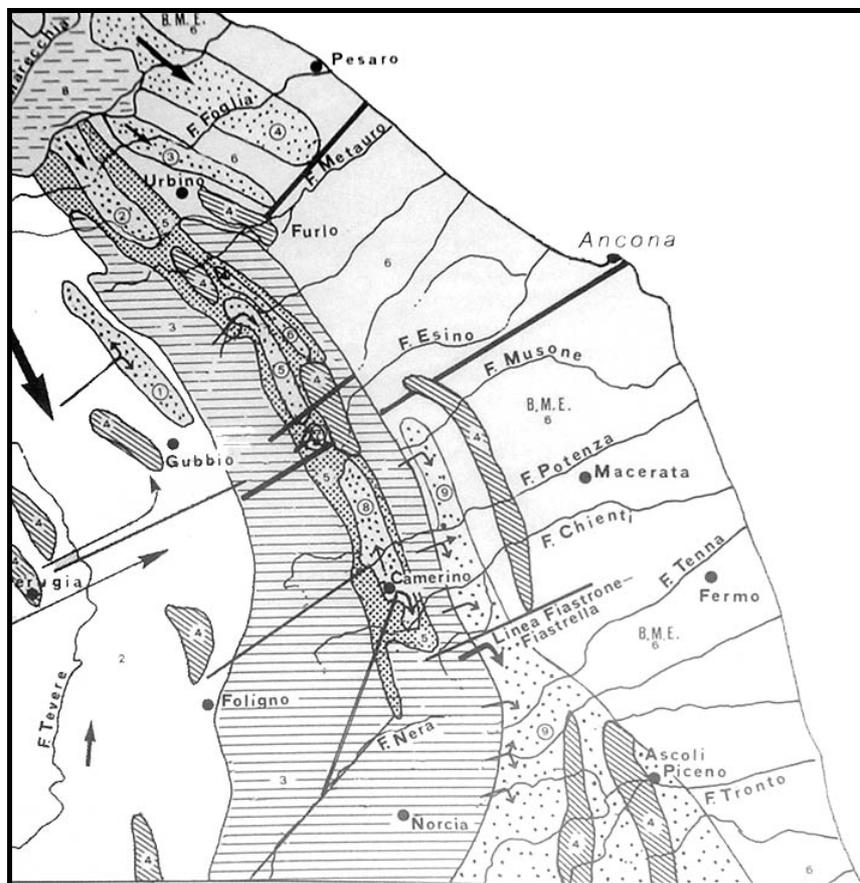


Fig. 8 Distribuzione delle principali unità morfostutturali nell'Appennino umbro-marchigiano (tratta da AA.VV., 1990).

## **5 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO**

Il paesaggio del settore marchigiano deriva dai processi di modellamento che si sono succeduti dal Pleistocene superiore ai giorni nostri; in particolare è possibile distinguere quattro settori fondamentali:

- fascia montana;
- fascia pedemontana;
- pianure;
- costa.

### **5.1 FASCIA MONTANA**

Le due catene principali della fascia montana marchigiana corrispondono ad altrettante strutture aventi assetto anticlinalico:

la Dorsale Umbro-Marchigiana ad ovest, e la Dorsale Marchigiana ad est; caratterizzate da quote comprese tra circa 750 e 2.476 m s.l.m. (la quota più elevata nella regione Marche risulta il Monte Vettore con 2.476 m s.l.m.).

La rete idrografica marchigiana è caratterizzata dalla presenza di tratti vallivi trasversali alle dorsali, spesso profondamente incisi. L'approfondimento dei corsi d'acqua ha dato luogo ad un paesaggio abbastanza aspro, caratterizzato da rilievi con ripidi versanti, solcati da valli molto strette. Le valli generalmente sono prive di depositi alluvionali e diventano vere e proprie forre in corrispondenza delle litologie più competenti.

### **5.2 FASCIA PEDEMONTANA**

Ad oriente della Dorsale Marchigiana affiora una stretta fascia prevalentemente torbiditica, che funge da raccordo con la fascia pianeggiante e costiera; quest'area presenta terreni più recenti e generalmente più teneri; verso nord ha origine nei

pressi di Urbino e prosegue senza soluzione di continuità fino alla valle del Fiume Misa, per poi riprendere in corrispondenza della confluenza con la valle del Fiume Esinante (affluente di destra del Fiume Esino); di qui prosegue senza ulteriori interruzioni fino a fondersi a sud nella struttura litologicamente affine dei Monti della Laga.

Il paesaggio caratteristico di questa fascia di raccordo è prevalentemente collinare, degradante dolcemente verso mare, con valori medio - bassi dell'acclività e dell'energia di rilievo e spessori notevoli dei depositi superficiali. Esso è modellato prevalentemente sui terreni pelitici ed arenacei plio-pleistocenici appartenenti alla monoclinale che forma il Bacino Marchigiano Esterno. Questa zona è fortemente dissecata da corsi d'acqua, prevalentemente disposti perpendicolarmente alla linea di costa.

Nella fascia pedemontana le valli fluviali si presentano più larghe e con pendii longitudinali e trasversali caratterizzati da minori acclività. Tale zona è limitata ad est da falesie attive (Conero e San Bartolo) e/o inattive (Grottammare - Cupramarittima).

Il più antico elemento morfologico dell'area collinare è rappresentato dalla "paleo superficie sommitale": si tratta di lembi di un paesaggio a debole energia di rilievo, il cui modellamento è iniziato con ogni probabilità già durante le prime emersioni, per effetto di prevalenti processi areali ed è proseguito fino a quando, per effetto del sollevamento regionale generalizzato, la stessa non è stata profondamente incisa e frammentata dalle valli fluviali. Nonostante la generale prevalenza di processi di spianamento, in condizioni climatiche favorevoli la "paleo superficie sommitale" è stata interessata anche dall'erosione fluviale.

### 5.3 LE PIANURE

Le piane alluvionali della Regione Marche sono in genere poco sviluppate, tranne che nei tratti più prossimi alla foce dove, tuttavia, non si raggiungono sezioni trasversali superiori a qualche chilometro (Dramis & Bisci, 1986).

Nell'area si riconoscono tre ordini principali di terrazzi alluvionali, posti a varie altezze rispetto al fondovalle, con quote progressivamente decrescenti procedendo dall'entroterra verso la costa e con energia di rilievo molto bassa, generalmente di poche decine di metri. I terrazzi principali, sovrastati in molti casi da terrazzi orografici privi di depositi di copertura e incastrati nelle superfici di chiusura del Pleistocene marino, sono ben conservati in sinistra idrografica, mentre in destra idrografica risultano essere incompleti o assenti (Coltorti et alii, 1991) (Fig. 9).

Lungo i corsi fluviali principali è possibile rilevare 4 ordini di terrazzi.

I terrazzi del I ordine affiorano in lembi con sviluppo areale modesto, anche se talora presentano spessori elevati (fino ad alcune decine di metri), e risultano fortemente alterati in superficie da paleo suoli; più spesso appaiono troncati dall'erosione, che li ha ridotti a sottili livelli ciottolosi.

Le quote di affioramento variano da alcune decine di metri fino ad oltre i 100 m sul fondovalle attuale, per effetto soprattutto di sollevamenti tettonici differenziali.

Le alluvioni del II e III ordine si presentano in lembi più estesi e continui, con spessori fino a 20-30 metri.

Le superfici sommitali dei depositi alluvionali del IV ordine rappresentano a luoghi il letto di esondazione attuale dei fiumi (Gentili & Pambianchi, 1987).

Nei tratti medio - terminali dei fiumi i depositi alluvionali del IV ordine e quelli del III ordine ospitano ricche falde acquifere (Coltorti & Nanni, 1987).

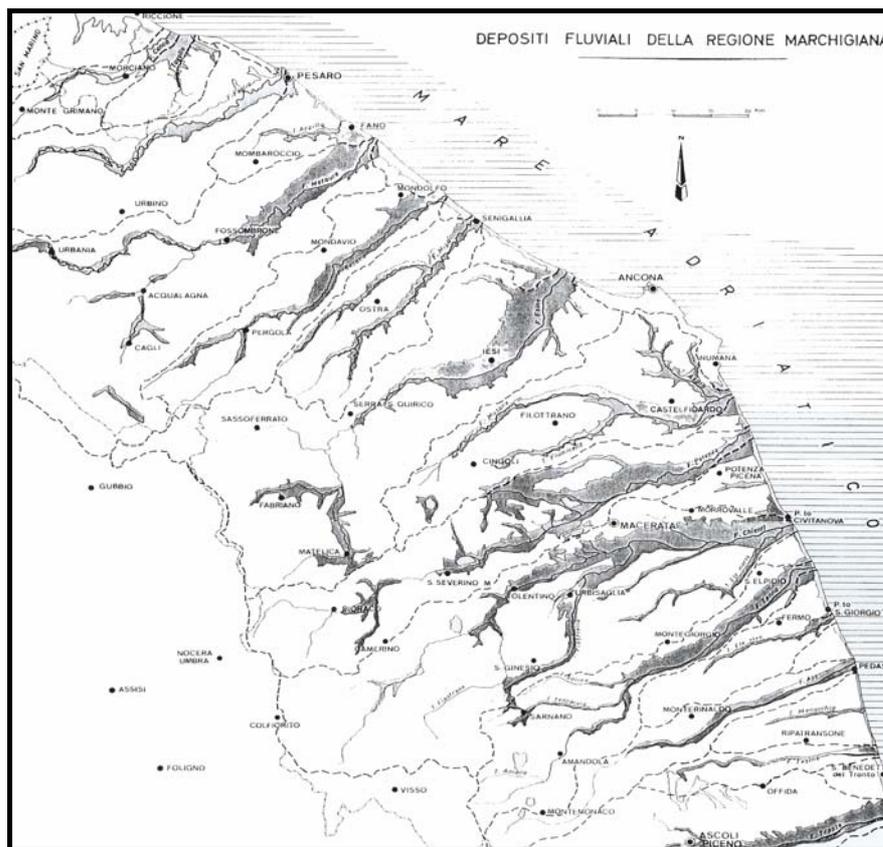


Fig. 9 Estensione dei depositi alluvionali dei corsi d'acqua delle Marche (tratto da Carloni et alii, 1975).

#### 5.4 FASCIA COSTIERA

Il litorale marchigiano è costituito da un sedimento sabbioso e/o ciottoloso che generalmente si estende per poche decine di metri verso l'entroterra, proseguendo senza bruschi cambiamenti entro le acque del Mare Adriatico, dove generalmente si hanno fondali bassi (Curzi, 1986).

In tutta la parte meridionale della regione, dal Conero fino al Fiume Tronto e oltre, si ripetono i caratteri del litorale più settentrionale compreso tra la foce del Fiume Foglia ad Ancona; in particolare si tratta di uno stretto litorale sviluppatosi lungo il margine esterno di una serie di rilievi interrotti da torrenti che scendono al mare.

Numerosi esempi di frane sono storicamente documentati lungo la costa adriatica; inoltre, altre vecchie aree di frana (paleofrane) sono rese riconoscibili da evidenze topografiche e geomorfologiche.

Una rappresentazione delle principali aree franose, o almeno delle più evidenti, è riportata in Figura 10 (Cancelli et alii, 1984).

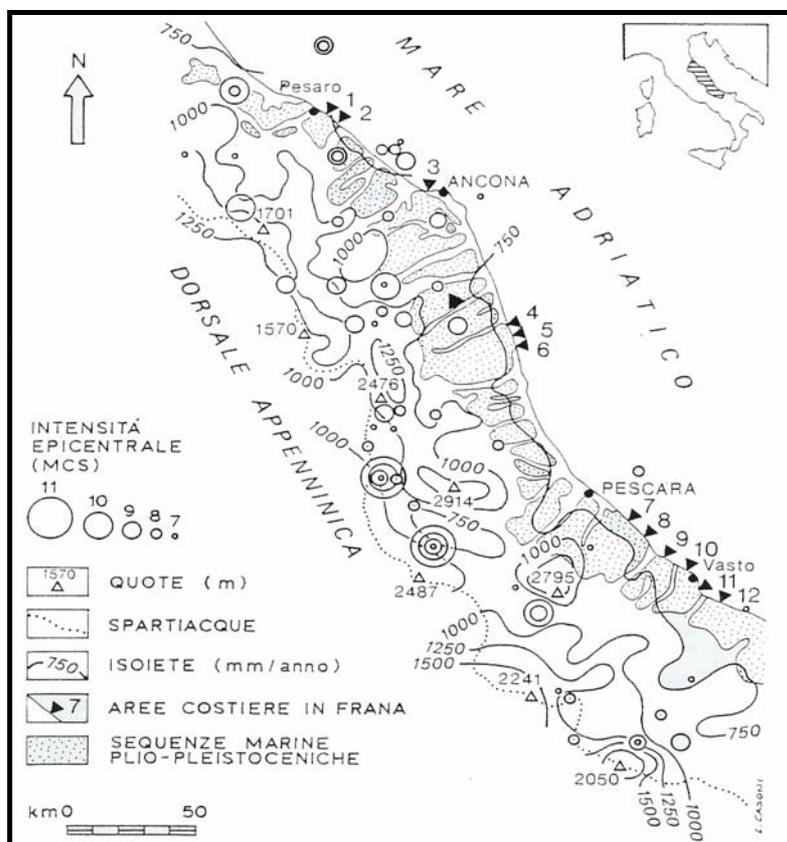


Fig. 10 La regione marchigiano-abruzzese: distribuzione delle formazioni plio-pleistoceniche marine, frane studiate, isoiete e volumi focali (tratta da Cancelli et alii, 1984).

Lo studio geomorfologico mirato alla progettazione del tratto autostradale in ampliamento ha consentito di acquisire una serie di elementi utili per la configurazione degli scenari naturali entro i quali collocare gli interventi; ciò attraverso un’attenta analisi di campagna, una minuziosa ricostruzione degli assetti geometrici dei corpi geologici, il confronto dei risultati delle analisi geomorfologiche condotte anche in tempi diversi con l’ausilio delle stereocopie aeree e l’analisi dei risultati strumentali disponibili (campagne di monitoraggio inclinometrico eseguite con il fine di evidenziare gli aspetti evolutivi di fasce di versante già riconosciute come instabili o in condizioni di equilibrio limite).

Il confronto “incrociato” ha consentito di redigere una cartografia geologica e geomorfologica coerente con le risultanze geognostiche, decisamente orientata verso un utilizzo applicativo piuttosto che litostratigrafico.

## **6 ELEMENTI DI SISMICA GENERALE**

Sia in tempi storici che attuali le Marche sono state interessate da una diffusa e frequente attività sismica; nell'ambito del presente capitolo si introduce l'argomento in termini descrittivi, rimandando gli aspetti ingegneristici della questione alle specifiche relazioni tecniche di progetto.

La distribuzione e le caratteristiche della sismicità sono ben conosciute sia sulla base delle ricerche condotte all'inizio del secolo da Baratta, sia grazie ai dati raccolti nel Catalogo dei Terremoti, elaborato nell'ambito del Progetto Finalizzato Geodinamica, integrati con quelli provenienti dalla Rete Sismica Nazionale dell'Istituto Nazionale di Geofisica e dalla Rete Sismometrica Marchigiana; questi dati sono anche stati rivisti in base agli studi di sismicità storica dell'Osservatorio Geofisico Sperimentale di Macerata e della Regione Umbria.

La massima intensità sismica ( $I_0$ ) osservata nell'area umbro-marchigiana è pari al X grado della scala Mercalli, che corrisponde ad una percentuale di distruzione pari a circa il 75%. La massima magnitudo mai registrata, espressa secondo la scala Richter, è circa 6.5.

L'attività sismica è concentrata prevalentemente nella crosta terrestre, a profondità inferiore a 15 km; infatti circa il 95% degli eventi con magnitudo  $>3$ , avvenuti tra il 1983 e il 1990, si sono verificati al di sopra di questa profondità, all'interno di uno strato definibile sismogenetico; la restante percentuale è distribuita nella crosta inferiore e nel sottostante mantello litosferico.

### **6.1 ZONAZIONE SISMOTETTONICA BIBLIOGRAFICA**

L'impatto dell'evento sismico sul tessuto antropico, valutato in gradi della scala Mercalli per gli effetti sugli edifici, è funzione delle tecniche costruttive e della qualità dei materiali impiegati nelle costruzioni.

Nella zona in esame sono avvenuti terremoti valutati del X grado della scala Mercalli (zona di Predappio).

La suddivisione territoriale è stata fatta conferendo il grado sismico all'area amministrativa dei Comuni nei quali sono avvenuti i terremoti, allo scopo di applicare i "Provvedimenti per l'edilizia con particolari prescrizioni per le zone sismiche" (legge n° 1684 del 25 novembre 1962). Nessuna zona è stata inclusa nella prima categoria, essendo tutte le aree del territorio assegnate alla seconda categoria, che prevede particolari prescrizioni costruttive antisismiche (Lipparini, 1969).

I terremoti che colpiscono periodicamente l'area umbro-marchigiana sono espressione di un campo di sforzi tettonici ancora attivo, le cui caratteristiche possono essere desunte dall'analisi dei meccanismi focali.

Meccanismi focali di tipo distensivo, con asse di massima distensione (asse-T) in direzione SW-NE, caratterizzano l'area del pre - Appennino umbro e dell'Appennino umbro-marchigiano, mentre meccanismi focali di tipo compressivo e trascorrente con asse di massima compressione (asse-P) in direzione SW-NE sono tipici dell'area pede - appenninica e peri - adriatica. Il limite in superficie tra il settore attualmente in distensione e quello in compressione è localizzato in corrispondenza di un allineamento di faglie dirette di età Pliocene superiore – Pleistocene, che si sviluppa in direzione NW-SE da Gubbio a Norcia.

Anche il limite orientale della zona in compressione corre lungo un importante elemento strutturale, essendo localizzato lungo la zona di emersione del fronte compressivo plio-pleistocenico romagnolo - adriatico - marchigiano.

Sulla base delle caratteristiche del campo degli sforzi oggi attivo e della geometria delle deformazioni geologiche è possibile definire tre zone sismotettoniche di primo ordine.

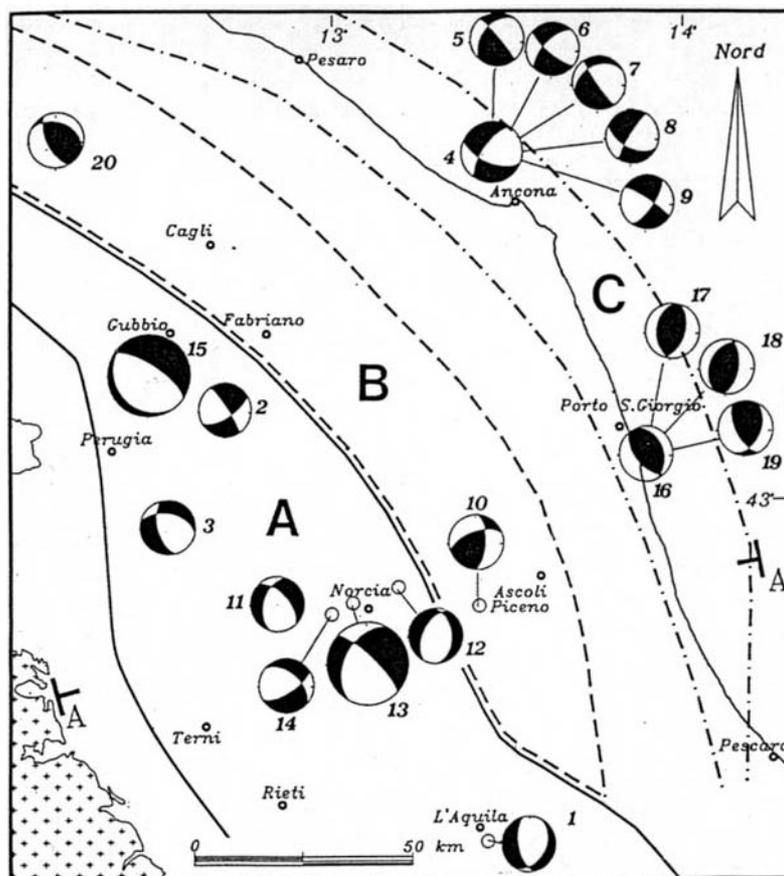


Fig. 11 Zonazione sismotettonica (A: zona interna, B: zona intermedia, C: zona esterna) e meccanismi focali (tratto da Passeri, 1994).

La Zona Interna corrisponde alla fascia pre - appenninica ed appenninica attualmente in distensione, presenta il livello più alto di sismicità e l'attività sismogenetica principale avviene sopra i 10 km.

La Zona Intermedia corrisponde alla fascia del pede - Appennino marchigiano, caratterizzato da deformazioni di tipo compressivo a profondità comprese fra 15 e 25 km e di tipo distensivo più superficiali (<10 km).

La Zona Esterna corrisponde alla fascia peri - adriatica, in cui l'attività sismica è esclusivamente associata a deformazioni di tipo compressivo e trascorrente ed è più superficiale (<10 km). Il limite tra la Zona Intermedia e quella Esterna è marcato da una sottile fascia quasi completamente asismica.

I terremoti, quindi, non avvengono con la stessa frequenza ed intensità su tutta l'area, ma sono concentrati in alcune fasce ben definite.

Nell'area del pede - Appennino marchigiano (Zona Intermedia), si individua la presenza di una fascia con frequente e diffusa, seppur blanda, attività sismica, compresa tra Arcevia - Sassoferrato e Affida - Ascoli Piceno; in questa zona cadono gli eventi sismici di Montemonaco e del Montefeltro ed al suo limite sono localizzati gli eventi del 1741 di Fabriano e del 1943 di Castignano.

Nell'area peri - adriatica, (Zona Esterna), si osserva una fascia sismica con attività generalmente moderata che si estende da Senigallia - Rimini ad Ancona-Porto San Giorgio.

Per quanto riguarda le cause della sismicità dell'area (C.N.R.-G.N.D.T. - Regione Marche, 1986), esse risultano strettamente connesse con l'attività tettonica distensiva, essendo entrambe conseguenze dirette dell'instabilità geodinamica che caratterizza la penisola italiana. Tra le conseguenze di questa attività sismo - tettonica ricordiamo la creazione, o più frequentemente la riattivazione, di deformazioni fragili (fratture e faglie di superficie) in occasione degli eventi di maggiore intensità (Fig. 12 e 13). Tali movimenti sembrano essere dovuti sia a deformazioni gravitative esaltate dal fenomeno sismico, sia a scuotimento differenziale in condizioni di anisotropia del substrato, sia a differenze modulari tra gli sforzi comuni ai fattori precedenti.

Si rileva che i massimi effetti morfogenetici della sismicità avvengono in conseguenza dell'effetto scatenante che i terremoti hanno sui dissesti gravitativi. Il ruolo delle scosse sismiche come fattore di innesco di movimenti gravitativi è ben noto da tempo: esistono infatti numerose testimonianze storiche e tradizionali di movimenti gravitativi, talora di enormi dimensioni, attivati in concomitanza con forti terremoti ed è alquanto probabile che molti dei fenomeni franosi di grandi dimensioni attualmente quiescenti, oltre che la maggior parte delle deformazioni gravitative profonde (specialmente quelle che interessano versanti ad energia del rilievo non troppo elevata), siano da riferire a questo fattore (Dramis, 1984).

Numerosissime osservazioni effettuate in occasione di eventi sismici hanno messo in evidenza come praticamente in tutti i casi vengano attivati, o quantomeno riattivati, movimenti gravitativi di dimensioni e tipologie diverse in funzione dell'intensità

dell'evento e delle caratteristiche geologiche e geomorfologiche dei versanti (litologia, assetto strutturale, materiali di copertura, forme).

Questi fenomeni vengono indotti dal terremoto attraverso meccanismi diversi, quali le accelerazioni orientate che, sia pure per minime frazioni di tempo, possono far variare i pesi delle masse sui versanti, le deformazioni permanenti o temporanee delle geometrie superficiali, i fenomeni di liquefazione prodotti nei materiali fini saturi di acqua per effetto delle brusche variazioni delle pressioni interstiziali dovute alle onde sismiche (Fig. 13).

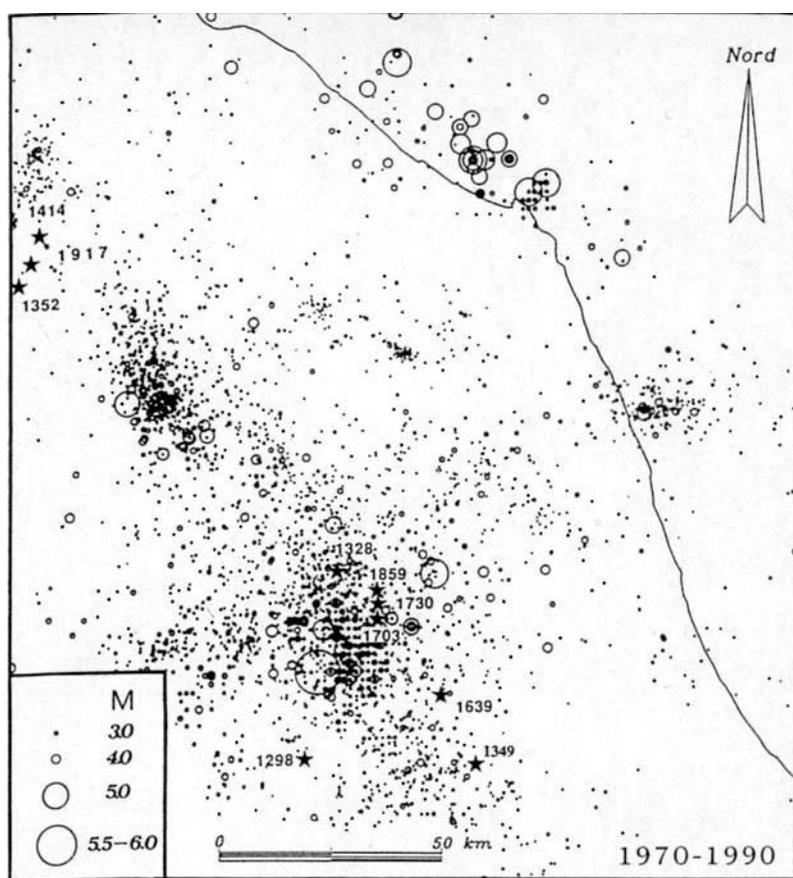


Fig. 12 Epicentri dei terremoti con magnitudo  $M \geq 3$  dal 1970 al 1990 e dei terremoti catastrofici (asterischi) con  $I_0 = X$  o  $IX-X$ , dell'ultimo se-colo (tratto da Passeri, 1994).

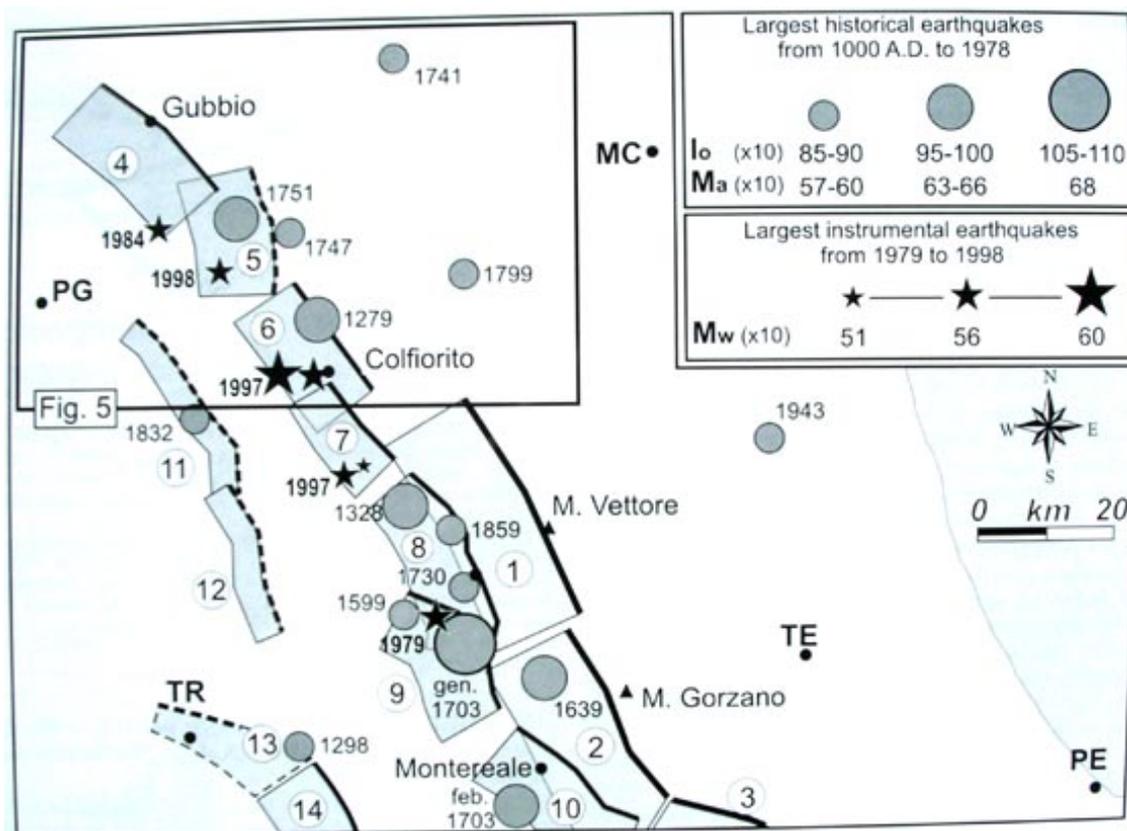


Fig. 13 Mappa delle scatole sismogenetiche dell'area appenninica umbro-marchigiana con epicentri dei terremoti storici ed epicentri dei maggiori terremoti strumentali del periodo 1979-1997. (tratto da LAVECCHIA et alii, 2002).

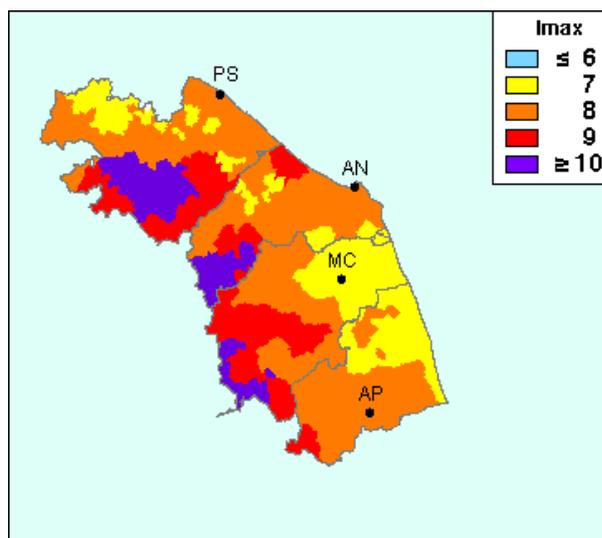


Fig. 14 Massime intensità macrosismiche osservate nella regione Marche (tratto da INGV, 2002).

## **7 CARTOGRAFIA TEMATICA E LEGENDA GEOLOGICA**

I dati relativi alle caratteristiche litologiche e strutturali dei litotipi affioranti nell'area in esame nella fase di progettazione preliminare sono stati acquisiti dall'analisi bibliografica, per essere sviluppati nelle successive fasi di studio attraverso il rilevamento geologico diretto sul terreno e l'analisi litostratigrafica e di facies eseguita sulle carote prelevate durante le campagne di indagini geognostiche.

Fenomeni gravitativi, frane s.s. soliflussi e creep sono stati rappresentati mediante un'unica simbologia (la differenziazione è invece riportata nell'ambito delle carte geomorfologiche); inoltre sono state evidenziate le aree di affioramento secondo il criterio cromatico esposto in legenda.

I simboli stratigrafici e tettonici sono stati indicati con linea continua o tratteggiata in funzione delle evidenze di campagna; la geometria degli strati (giacitura) è stata indicata con apposita simbologia.

Nell'area di studio sono stati identificati depositi appartenenti a successioni marine e continentali, di età compresa tra il Pliocene e l'Olocene; tali sedimenti sono ulteriormente suddivisibili in funzione delle loro caratteristiche litotecniche (la sigla indicata tra parentesi a fianco di ogni deposito fa riferimento alla legenda della carta geologica).

In particolare procedendo dai sedimenti più recenti ai più antichi si distinguono:

### **7.1 SUCCESSIONI CONTINENTALI QUATERNARIE**

Le successioni quaternarie si distinguono in depositi alluvionali attuali (a2), depositi eluvio - colluviali (ec), depositi alluvionali terrazzati (a1) e depositi di ambiente litoraneo antichi (Q).

### **7.1.1 Depositi alluvionali attuali (a2)**

Ghiaie e sabbie prevalenti con intercalazioni, talvolta molto spesse, di limi-sabbiosi, di limi e di argille. Nelle argille e nei limi si ritrovano clasti calcarei di dimensioni variabili da centimetriche a decimetriche, da sub-angolosi a sub-arrotondati, isolati o in lenti. I vari depositi si alternano irregolarmente e si ritrovano con rapporti laterali e verticali di tipo eteropico (Olocene).

Localmente si può osservare la predominanza dei litotipi Limoso - argillosi.

I depositi alluvionali attuali si rinvengono generalmente fino ad una quota di 15 m al di sopra dei fondovalle dei principali corsi d'acqua; essi interessano prevalentemente gli alvei fluviali e le relative piane alluvionali.

### **7.1.2 Depositi eluvio-colluviali (ec)**

Si tratta di depositi residuali derivanti dall'alterazione "in sito" delle litologie del substrato che hanno subito trasporto trascurabile fino alla zona di accumulo. Sono costituiti per lo più da terriccio e materiale argilloso - limoso e sabbioso bruno - rossastro. A luoghi si individuano orizzonti di suolo (Olocene).

Sono presenti prevalentemente sui ripiani o sui versanti con debole pendenza e nelle zone di raccordo con il fondovalle.

### **7.1.3 Depositi alluvionali terrazzati (a1)**

Depositi limoso – argillosi generalmente alternati a ghiaie in strati e lenti di vario spessore. Le ghiaie, se presenti, sono costituite da elementi prevalentemente calcarei da arrotondati a sub-arrotondati; i depositi terrazzati intercettati dall'ampliamento in oggetto sono correlabili a valle secondarie impostate in litotipi prevalentemente limoso - argillosi pertanto la componente granulare non appare rappresentata, sono in genere caratterizzati da scarsa consistenza (Pleistocene-Olocene).

Questi depositi si presentano generalmente sciolti o poco addensati, a tratti poco cementati. La loro geometria appare spesso lenticolare e di conseguenza non hanno continuità laterale.

L'irregolare ripetizione dei termini a diversa composizione granulometrica non permette una ricostruzione dell'andamento dei corpi sedimentari in assenza di dati puntuali.

I terrazzi alluvionali si rinvengono principalmente in ampie fasce sub-pianeggianti o in lembi disposti fino a 30 – 40 m al di sopra del fondo valle dei corsi d'acqua principali.

#### **7.1.4 Depositi di ambiente litoraneo antichi (Q)**

Si tratta di depositi di transizione tra ambiente continentale e marino; sono costituiti da limi – argillosi e sabbie in alternanza con depositi argillosi marini. Si rinvengono lenti di materiale torboso, torbe e livelli di paleo suolo.

I rapporti tra i differenti depositi sono di tipo eteropico. Le caratteristiche dei sedimenti permettono di attribuire la formazione ad un ambiente continentale di transizione al marino ed in particolare sono associabili a piccole paludi o stagni litorali (Pleistocene-Olocene).

## **7.2 SUCCESSIONI MARINE PLIO-QUATERNARIE**

Le successioni marine plio-quadernarie comprendono i depositi plio-pleistocenici dell'avanfossa adriatica; in particolare sono stati distinti i depositi riferibili all'ambiente di avanfossa in senso stretto da quelli, relativamente più giovani, appartenenti al ciclo di chiusura della stessa e alla facies di transizione ai depositi continentali.

I depositi del ciclo di chiusura sono costituiti da depositi prevalentemente argilloso - limosi (Qa) in facies *offshore s.l.* i depositi di avanfossa s.s. comprendono invece unicamente sedimenti argilloso-limosi (Pa).

E' stato inoltre introdotto un deposito in facies indistinta a componente argilloso-limoso (Qa/Pa), cronologicamente attribuibile ad un range temporale compreso tra il Pliocene medio ed il Pleistocene.

### **7.2.1 Depositi prevalentemente argilloso - limosi (Qa)**

Argille e argille limose nocciola e grigie, con livelletti di sabbia medio – fine; limi e limi argillosi ocra e nocciola, che nell'ambito delle carote di sondaggio evidenziano screziature senape e verdastre.

La frazione sabbiosa intercalata alle argille ed ai limi è variabile da zona a zona e non presenta regolarità. Talora si rinvencono livelli millimetrici e centimetrici di gesso in cristalli.

Sono stati ritrovati resti di macrofossili di *Buccinum gibbum* e *Venus gallina* che indicano una età Pliocene superiore – Pleistocene.

### **7.2.2 Depositi prevalentemente argillosi (Pa)**

Argille e argille limose grigie e verdastre, plastiche, con intercalazioni di lenti e strati di sabbia fine e finissima grigia; lo spessore delle intercalazioni sabbiose supera raramente il decimetro. Talora si rinvencono livelli millimetrici e centimetrici di gesso in cristalli.

In alcune aree si rinvencono abbondanti resti di malacofauna, rappresentata da *Macra triangua* e *Spinula subtruncata* che indicano una età Pliocene medio - Pleistocene inferiore.

### **7.2.3 Depositi prevalentemente argilloso-limosi ed argillosi (Qa/Pa)**

E' stato introdotto un deposito in facies indistinta rappresentativo dei termini litologici prevalentemente argilloso limosi e/o limoso argillosi, per quelle facies litologiche intercettate la cui attribuzione cronostratigrafica risulta dubbia e difficilmente definibile

sulla scorta delle sole analisi macroscopiche effettuate sia durante i rilievi di campagna sia sui testimoni integri dei carotaggi. Il range cronologico rappresentativo di tale deposito risulta, dunque, comprensivo di quelli relativi ai depositi denominati Pa e Qa (Pliocene medio – Pleistocene).

## 8 CARTOGRAFIA TEMATICA RIFERITA ALLA GALLERIA CAVALLO

La galleria si inserisce all'interno di una zona sub-pianeggiante, o comunque a morfologia poco articolata, compresa tra Fano ed Ancona. In questo settore il tracciato autostradale corre per lo più lungo la costa o nelle ampie valli alluvionali dei maggiori fiumi che attraversano l'area disponendosi in allineamenti paralleli a direzione SW-NE (F. Metauro, F. Cesano, F. Misa e F. Esino).

La galleria Cavallo si trova in un'area a morfologia collinare posta a SE di Senigallia, in un tratto in cui l'autostrada si sposta nell'entroterra per evitare l'interferenza diretta con il centro abitato.

Gli studi condotti attraverso rilievi diretti e fotointerpretazione, in un'ampia fascia di contorno dell'area della galleria, hanno consentito di individuare in affioramento termini litologici prevalentemente argilloso - limosi pliocenici. Si tratta di argille e argille limose grigio-azzurre variamente alterate; l'osservazione diretta dei caratteri litologici e tessiturali in affioramento è resa difficoltosa dall'intensa attività agricola che maschera le formazioni di base.

Lungo i fianchi dei rilievi collinari e nelle aree impluviali sono presenti abbondanti depositi colluviali, ben riconoscibili in campagna grazie al contrasto cromatico con le argille color grigio e ocra; infatti i depositi colluviali si presentano con colorazioni prevalentemente bruno-marrone, a causa dell'accumulo di sostanza organica e dell'ossidazione dei minerali argillosi.

Verso valle i depositi colluviali sfumano gradualmente lasciando il posto ai depositi alluvionali, ben riconoscibili dalla morfologia sub-pianeggiante, più che dai caratteri stratigrafici, data la sostanziale omogeneità litologica dei depositi e del substrato da cui traggono origine.

## 9 CARTOGRAFIA E LEGENDA GEOMORFOLOGICA

La morfologia sostanzialmente regolare e blandamente collinare è rotta dalla pianura alluvionale del F. Esino, che si sviluppa con andamento all'incirca antiappennico (NE-SW) dimostrando un forte controllo di tipo tettonico. Si tratta, nella fascia di studio, di un' asta fluviale con andamento circa rettilineo o debolmente meandriforme, con piana alluvionale moderatamente sviluppata (ampiezza fino a 2÷2.5 km).

L'analisi geomorfologica dell'area è stata finalizzata alla definizione dei caratteri morfo-evolutivi di maggiore rilievo in relazione al progetto stradale in oggetto.

Lo studio pone le sue basi di partenza sulle conoscenze acquisite in fase di progettazione preliminare sia attraverso la raccolta di dati bibliografici e studi precedenti di carattere geomorfologico realizzati nell'area, sia nello studio foto-interpretativo condotto su un set di foto aeree appositamente realizzate nell'ambito delle prime fasi progettuali; inoltre lo studio delle aree di dissesto ha previsto la verifica accurata di tutte le aree di pericolosità definite nell'ambito del Piano di Assetto Idrogeologico (PAI).

Ad integrazione delle conoscenze già acquisite è stata condotta una campagna di rilevamento geomorfologico nel periodo compreso tra ottobre e dicembre 2004, estesa su una fascia di territorio di almeno 1.5 km a cavallo del tracciato autostradale, seguita da un'ulteriore verifica fotointerpretativa.

Particolare attenzione è stata rivolta all'individuazione delle aree caratterizzate da fenomenologie di dissesto di tipo gravitativo che interferiscono con la fascia di interesse progettuale.

L'analisi critica e l'integrazione delle informazioni e delle conoscenze acquisite nell'ambito delle diverse fasi progettuali ha consentito la redazione di una carta geomorfologica in scala 1:5.000.

La scelta della simbologia da adottare è stata guidata dalle indicazioni fornite nei Quaderni del Servizio Geologico Nazionale, serie III, volume 4; nonché da quelle proposte dal Gruppo Nazionale Geografia Fisica e Geomorfologia; il che ha reso

possibile un immediato confronto dei nostri elaborati con la maggior parte delle pubblicazioni.

Le principali forme individuate nell'area di studio sono sintetizzabili nelle seguenti categorie:

## **9.1 FORME STRUTTURALI**

Cresta: si tratta di una forma lineare di origine strutturale, la cui individuazione è di particolare importanza in prossimità dell'asse autostradale, in quanto rappresenta un indizio di controllo strutturale legato sia alle caratteristiche litologiche che giaciture.

Sella: si tratta di una forma puntuale che, nell'area di studio, è legata principalmente ad un'origine tettonica.

## **9.2 FORME DI VERSANTE DOVUTE ALLA GRAVITÀ**

Sono molto numerose nell'area esaminata e sono state trattate con particolare attenzione in quanto la loro individuazione risulta particolarmente importante in relazione alla progettazione di opere infrastrutturali. Si distinguono forme di denudazione e forme di accumulo:

### **9.2.1 Forme di denudazione**

Nicchia di frana: si tratta di una morfologia lineare che indica la fascia del versante dalla quale si è mobilitato il materiale coinvolto nel movimento; se ne individuano diverse tipologie, distinguibili sia in base al comportamento meccanico delle litologie interessate dal movimento franoso, che in base alla superficie di scorrimento ed in relazione allo stato di attività

- nicchia di frana di scorrimento, molto numerose nell'area di studio, interessano principalmente litologie sabbiose e sabbioso - argillose;

- nicchia di frana di colamento, si formano in prevalenza in corrispondenza di litotipi argilloso - limosi;
- nicchia di frana inattiva, caratterizzate da una morfologia poco distinguibile a causa dello stato di attività; spesso sono interessate dalla sovrapposizione di altri processi che ne hanno parzialmente modificato e mascherato le caratteristiche.

Contropendenza: si tratta di una forma puntuale originatasi in seguito al diverso comportamento del materiale in movimento; si riconosce dalla morfologia sub-pianeggiante all'interno del corpo di frana.

Area interessata da dissesti delle coltri (soliflusso e creep): porzione di versante più o meno vasta, interessata da movimenti viscosi della coltre superficiale 1÷3 m di spessore (*creeping*), che talora può interessare spessori di terreno superiore es. fino a 5÷10 m (*creep*). Si tratta di deformazioni sia continue che discontinue, da lente a estremamente lente, che determinano la formazione di aree caratterizzate da ondulazioni, gibbosità, terrazzetti ed aree di svuotamento.

Generalmente questi fenomeni non vengono classificati come frane vere e proprie, ma in alcuni casi possono evolvere in movimenti franosi s.s..

### 9.2.2 Forme di accumulo

Corpo di frana: è la forma di accumulo di tipo areale derivante dai processi gravitativi franosi; nell'area di studio si individuano corpi di frana di diversa tipologia, distinti in base al tipo di movimento; in particolare si riconoscono corpi di frana di scorrimento con cinematismo di tipo scivolamento rotazionale e/o traslativo, caratterizzati da velocità del movimento generalmente lenta e profondità variabile da qualche metro fino 10÷15 m dal piano campagna; corpi di frana di colamento in terra (earthflow), caratterizzati da velocità del movimento variabili da molto lenta a lenta e profondità variabile da qualche metro fino 7÷10 m dal piano campagna; corpo di frana di genesi complessa caratterizzati dalla combinazione di due o più tipi di movimento distribuiti in sequenza temporale.

Nell'area di studio i fenomeni di frana di scorrimento frequentemente evolvono in colate in terra.

E' stata inoltre tentata un'ulteriore caratterizzazione dei fenomeni, basata sullo stato di attività: come attivo è stato considerato un fenomeno attualmente in evoluzione o che comunque, sulla base delle evidenze morfologiche o delle informazioni raccolte si sia deformato negli ultimi due cicli stagionali. Come quiescente è stato considerato un fenomeno che non risulta aver subito evoluzione, ma che può presumibilmente subire riattivazioni ad opera delle medesime cause che lo hanno generato.

### **9.3 FORME FLUVIALI DOVUTE AL DILAVAMENTO**

#### **9.3.1 Forme di erosione**

Solco di ruscellamento concentrato: si tratta di una forma di erosione lineare molto diffusa nell'area di studio, determinata dall'approfondimento di rivoli prodotti dal riunirsi di filetti idrici secondo linee di scorrimento preferenziali.

Vallecola a V: è una forma di erosione lineare, anch'essa molto diffusa nell'area di studio, derivante dall'approfondimento dei solchi da ruscellamento concentrato, di cui si è parlato in precedenza. Si tratta di un solco inciso, simmetrico o asimmetrico a seconda delle modalità di azione dei processi erosivi, che sono i principali responsabili di tale morfologia.

Vallecola a fondo piatto: si tratta di una forma di erosione lineare caratterizzata da un alveo a morfologia piatta, derivante dall'evoluzione della vallecola a V in conseguenza della combinazione dei processi geomorfologici di erosione, trasporto e sedimentazione. Nell'area di studio tale morfologia si individua principalmente in corrispondenza dei corsi d'acqua maggiori che scorrono in aree sub-pianeggianti.

Orlo di scarpata di erosione o di terrazzo fluviale: si tratta di una forma lineare, che si determina in seguito all'erosione dovuta all'azione delle acque di ruscellamento e/o in seguito all'approfondimento dell'alveo fluviale.

### 9.3.2 Forme di accumulo e relativi depositi

Barra di foce fluviale e lagunare: si tratta di una forma di accumulo che si rinviene, nell'area di studio, all'interno dell'alveo fluviale del F. Esino del quale occupa la parte centrale o laterale; si tratta una morfologia che indica deposizione e trasporto e, di conseguenza, la mobilità dell'alveo in cui si rinvengono.

## 9.4 FORME ED ELEMENTI DI ORIGINE MARINA

Linea di riva: rappresenta la linea di separazione tra la spiaggia propriamente detta ed il mare; essa può essere in avanzamento o in arretramento (in erosione) a seconda che i prelievi siano rispettivamente minori o maggiori degli apporti di materiale, o anche stabile se il bilancio degli apporti e dei prelievi risulta in equilibrio. Per la redazione delle carte geomorfologiche sono state considerate le indicazioni presenti nell'Atlante delle Spiagge Italiane (AA.VV.-C.N.R., 1985). Inoltre, considerando il tracciato della linea di riva, si evidenzia come tutta l'area in esame sia caratterizzata da una costa di tipo rettilineo.

## 9.5 FORME ANTROPICHE

Aree urbanizzate ed aree industriali: l'area in esame è caratterizzata dalla presenza di numerose aree antropizzate, soprattutto a causa della morfologia sub-pianeggiante, che ne facilita l'ubicazione. Sulle carte geomorfologiche, tuttavia, sono state considerate unicamente le aree urbanizzate ed industriali ubicate in prossimità dell'asse autostradale.

Specchi d'acqua antropici: si tratta di laghi di origine antropica, generalmente di piccole dimensioni, molto diffusi in tutta l'area analizzata.

Argine: si tratta di rilevati che, nell'area di studio, sono stati realizzati sia nella zona di esondazione che sul letto di magra; tali opere sono ben visibili dall'analisi delle fotografie aeree.

## **10 INDAGINI GEOGNOSTICHE**

Per l'intero tratto autostradale, del quale fa parte il lotto oggetto di studio, è stata predisposta una campagna di indagini geognostiche (indagini in sito e prove di laboratorio), articolata in tre fasi distinte, di cui la prima (fase A) è stata condotta durante i primi mesi del 2003, la seconda nell'inverno 2004-2005 (fase B) e l'ultima (fase E) nel primo semestre 2006.

Nei paragrafi seguenti si sintetizza brevemente la tipologia delle indagini effettuate, con particolare riguardo a quelle in sito.

### **10.1 INDAGINI GEOGNOSTICHE DI FASE A**

Sono costituite da:

- n. 13 sondaggi geognostici verticali, di cui 9 eseguiti a carotaggio continuo e 4 a distruzione di nucleo, spinti a profondità variabili (fino 45 m da p.c.), con esecuzione di prove in foro tipo SPT e prelievo di campioni indisturbati e rimaneggiati; realizzazione di sismica in foro tipo Cross-Hole (6 sondaggi sono stati attrezzati con tubo in pvc per la realizzazione di 3 prove in foro), 4 sondaggi sono stati attrezzati con inclinometro e 3 risultano attrezzati con piezometro (Norton e Casagrande);
- n. 18 prove penetrometriche statiche con punta elettrica CPT-E, spinte a profondità variabili fino a 20 m da p.c.;
- n. 10 pozzetti esplorativi superficiali, spinti fino ad un massimo di 4 m da p.c., con prelievo di campioni rimaneggiati ed esecuzione di prove di carico su piastra;
- n. 10 stendimenti sismici a rifrazione, per un totale di oltre 3045 m di allineamenti, con interpretazione dei dati con tecnica tomografica;
- n. 3 prove sismiche in foro tipo Cross-Hole all'interno di coppie di fori di sondaggio appositamente strumentati;
- prove geotecniche di laboratorio eseguite sui campioni prelevati dai sondaggi geognostici e dai pozzetti esplorativi, costituite da prove di caratterizzazione fisica

(granulometrie e limiti) e prove meccaniche con determinazione delle caratteristiche di resistenza e deformabilità.

## **10.2 INDAGINI GEOGNOSTICHE DI FASE B**

Sono costituite da:

- n. 16 sondaggi geognostici verticali eseguiti a carotaggio continuo, spinti a profondità variabili fino a 45 m da p.c., con esecuzione di prove in foro tipo SPT prove di permeabilità di tipo Lefranc, prove pressiometriche di tipo Menard, prelievo di campioni indisturbati e rimaneggiati; installazione di strumentazione piezometrica. Dei 16 sondaggi, 1 risulta non attrezzato e 15 risultano attrezzati con piezometro (Norton e Casagrande);
- n. 2 prove penetrometriche statiche con piezocono CPT-U, spinte a profondità variabili fino a 17.70 m da p.c.;
- n. 2 prove penetrometriche con esecuzione di prospezione sismica tipo Down-Hole S-CPT, spinte a profondità variabili fino a 21.67 m da p.c.;
- n. 8 pozzetti esplorativi superficiali, spinti a profondità variabile fino a 4 m da p.c., con prelievo di campioni rimaneggiati ed esecuzione di prove di carico su piastra e misura della densità in sito. Prelievo di campioni di grosso volume da sottoporre a prove di laboratorio finalizzate a studiare la riutilizzabilità dei terreni mediante trattamento o stabilizzazione;
- prove geotecniche di laboratorio sui campioni prelevati dai sondaggi geognostici e dai pozzetti esplorativi, costituite da prove di caratterizzazione fisica (granulometrie e limiti) e da prove meccaniche con determinazione delle caratteristiche di resistenza e deformabilità.

## **10.3 INDAGINI GEOGNOSTICHE DI FASE E**

sono costituite da:

- n. 44 sondaggi geognostici verticali, di cui 42 eseguiti a carotaggio continuo e 2 a distruzione di nucleo, spinti a profondità variabili fino a 40 m da p.c., con

esecuzione di prove in foro tipo SPT, prove di permeabilità di tipo Lefranc, prove pressiometriche di tipo Menard, prelievo di campioni indisturbati e rimaneggiati; installazione di strumentazione piezometrica e di strumentazione per la prospezione sismica in foro tipo Down-Hole. Dei 44 sondaggi, 1 è attrezzato con tubo in pvc per la realizzazione di sismica in foro, 8 sono attrezzati con inclinometro, 2 non risultano attrezzati (di cui 1 realizzato in sede autostradale) e 33 sono attrezzati con piezometro (tubo aperto e Casagrande);

- n. 8 prove penetrometriche statiche con piezocono (CPT-U), spinte a profondità variabili fino a 22.85 m dal p.c.;
- n. 14 prove con dilatometro piatto (DMT), spinte a profondità variabili fino a 15 m dal p.c.;
- n. 8 prove penetrometriche dinamiche (DPSH) eseguite dalla sede autostradale, spinte a profondità variabili fino a 17.80 m da p.c.;
- n. 14 pozzetti esplorativi superficiali, spinti a profondità variabile fino a 4 m da p.c., con esecuzione di prove di carico su piastra, determinazioni della densità in sito e prelievo di campioni rimaneggiati;
- n. 8 pozzetti esplorativi superficiali, spinti a profondità variabile fino ad 1 m dal p.c. con prelievo di campioni rimaneggiati da sottoporre a prove di caratterizzazione fisica (granulometrie e limiti);
- n. 9 stendimenti sismici a rifrazione, per un totale di 1035 m di allineamento, con interpretazione dei dati con tecnica tomografica;
- n. 1 prove sismiche in foro tipo Down-Hole all'interno di fori di sondaggio appositamente strumentati;
- prove geotecniche di laboratorio sui campioni prelevati dai sondaggi geognostici e dai pozzetti esplorativi, costituite da prove di caratterizzazione fisica (granulometrie e limiti) e prove meccaniche con determinazione delle caratteristiche di resistenza;
- sono state inoltre realizzate analisi chimico-ambientali su campioni di terreno e calcestruzzo prelevati in più punti lungo il corpo autostradale esistente. Le analisi sono state finalizzate alla verifica della rispondenza dei terreni in ottemperanza a

quanto prescritto dal Testo Unico Ambientale (colonne A e B Dlgs. 152/2006, Allegato 5 Tabella 1). Nel complesso sono stati analizzati 9 campioni di cui 6 prelevati in corrispondenza di pozzetti superficiali scavati a mano, 2 dai sondaggi geognostici ed 1 in corrispondenza di un'opera da demolire (campione in calcestruzzo).

Alle indagini geognostiche suddette si affiancano le indagini geognostiche bibliografiche, realizzate in periodi differenti per conto di Autostrade, lungo diversi punti del tracciato ed in relazione a differenti scopi (progetto Anidro, ampliamenti, opere di manutenzione, consolidamenti; ecc.).

Tutte le indagini geognostiche disponibili sono state riportate negli elaborati cartografici geologici in scala 1:5000 secondo la loro reale ubicazione plano-altimetrica (planimetria di ubicazione delle indagini geognostiche, elaborati GEO 020-022) con simbologia differente in relazione al tipo di indagine ed al tipo di strumentazione installata.

Negli elaborati GEO023-GEO062 sono contenute tutte le risultanze delle indagini in sito e delle prove di laboratorio effettuate nelle diverse fasi di indagine (indagini bibliografiche, Fase A, fase B e FASE E).

#### **10.4 INDAGINI GEOGNOSTICHE GALLERIA CAVALLO**

Ad integrazione delle indagini geognostiche descritte nel precedente paragrafo, nel corso della primavera 2006 è stata eseguita una campagna di indagine all'interno della galleria esistente, finalizzata al rilievo della geometria della galleria e dei rivestimenti, nonché all'osservazione delle caratteristiche geotecniche dei terreni nell'intorno del cavo.

Nello specifico le indagini eseguite sono consistite in:

- n. 5 prove con martinetto piatto (eseguite in carreggiata sud);
- n. 24 prospezioni georadar (di cui 12 in carreggiata sud ed 12 in carreggiata nord), per una lunghezza complessiva degli stendimenti pari a 923.8 m;

- n. 26 profili Amberg (di cui 14 in carreggiata sud e 12 in carreggiata nord);
- n. 5 sondaggi geognostici eseguiti a carotaggio continuo in corrispondenza della calotta (carreggiata sud) spinti fino a 6 m di profondità con prelievo di campioni indisturbati e rimaneggiati ed esecuzione di prove pressiometriche di tipo Menard;
- N. 7 sondaggi geognostici eseguiti a carotaggio continuo in corrispondenza della muretta spinti fino a 2.5 m di profondità (di cui 3 in carreggiata sud e 4 in carreggiata nord);
- Prove geotecniche di laboratorio sui campioni prelevati dai sondaggi geognostici costituite da prove di caratterizzazione fisica (granulometrie e limiti) e da prove meccaniche con determinazione delle caratteristiche di resistenza.

## **11 ELEMENTI DI INTERESSE INGEGNERISTICO**

Nelle pagine che seguono vengono descritti gli elementi emersi dallo studio che sono stati giudicati di maggiore interesse ingegneristico; secondo uno schema che prevede il commento differenziato degli elementi geologici rispetto a quelli geomorfologici, procedendo ordinatamente secondo la progressivazione chilometrica.

### **11.1 GEOLOGIA**

Nel territorio marchigiano centrale si individuano due ambiti geologici principali: il Bacino Umbro-Marchigiano, in cui affiorano alcune tra le formazioni più antiche che si rinvengono nella catena appenninica, e l'Avanfossa Marchigiana.

Molto spesso le litologie presenti nell'area sono giustapposte secondo contatti eteropici, ciò può determinare forti variabilità orizzontali e verticali di spessore. I depositi marini plio-pleistocenici sono disposti secondo una struttura monoclinale debolmente immergente verso E in quanto basculati a causa del sollevamento regionale differenziato esistente tra catena appenninica ed area adriatica (Bigi et alii, 1995).

L'attività tettonica quaternaria è testimoniata dall'andamento del reticolo idrografico, caratterizzato dalla presenza di catture fluviali o variazioni di direzione dei corsi d'acqua, dalla presenza di frane inattive (paleo frane) e dalla genesi di faccette triangolari e trapezoidali (Bigi et alii, 1997).

Dal punto di vista sismico, i terremoti che colpiscono periodicamente l'area umbro-marchigiana ed emiliana sono espressione di un campo di sforzi tettonici ancora attivo, le cui caratteristiche possono essere desunte dall'analisi dei meccanismi focali.

#### **11.1.1 Tratto compreso tra il km 194+800 ed il km 203+000**

In questo settore il tracciato autostradale attraversa in genere litologie riferibili al substrato sedimentario marino plio-pleistocenico e in particolare ai depositi argillosi di avanfossa adriatica (Pa). Si tratta di litologie prevalentemente argillose con intercalazioni di sabbia finissima di spessore da millimetrico a decimetrico. In alcuni tratti il tracciato attraversa ampie fasce di terreni interessati da movimenti gravitativi di vario genere.

Le aree di fondovalle sono spesso occupate da coperture eluvio - colluviali (ec), il cui spessore è variabile e raggiunge in alcuni punti alcuni metri, e da depositi alluvionali attuali (a2) e terrazzati (a1) con spessori anche superiori ai 10 metri.

Gli ambiti di maggiore interesse di questo settore sono rappresentati da:

Galleria Cavallo: entrambe le canne della galleria Cavallo (1 - ampliamento e 2 - nuova realizzazione), interessano termini litologici di natura argilloso - limosa di avanfossa adriatica (Pa). L'analisi dei terreni recuperati nel corso dei sondaggi a carotaggio continuo ha consentito di definire un assetto stratigrafico caratterizzato dalla presenza esclusiva di termini argillosi, con rarissime e sottili intercalazioni di sabbia fine. L'imbocco sud è lambito da due vallecole poco incise interessate da movimenti gravitativi superficiali (soliflussi).

Viadotto Morignano (Km 197+220): il viadotto attraversa una zona depressa piuttosto ampia, incisa nel substrato argilloso (Pa). Nel fondovalle sono presenti depositi alluvionali attuali (a2) che in sondaggio raggiungono spessori prossimi ai 15 metri (cfr. sondaggio E4-S6).

Km 197+900: a partire da questa progressiva chilometrica il tracciato, che si sviluppa a mezza-costa su un versante costituito dai depositi argillosi plio-pleistocenici (Pa), attraversa per un lungo tratto una fascia interessata da dissesti di varia natura, responsabili della presenza di aree di accumulo di materiale mobilitato dal versante (vedi criticità geomorfologiche). In sondaggio lo spessore dei dissesti, che si estendono fino al km 201+400, è risultato variabile tra i 3 e i 15 metri.

Viadotto La Gabriella (Km 198+661): il viadotto in questione attraversa una piccola incisione displuviale e si colloca in una zona interessata da fenomeni

gravitativi. Nel fondovalle lo spessore del dissesto (cfr. sondaggio B5-S3Nbis ed E4-S14) è di circa 8-9 metri. Il substrato è costituito dai termini argilloso – limosi pliocenici (Pa).

### **11.1.2 Tratto compreso tra il km 203+000 ed il km 206+850**

A partire dal chilometro 203+000 il tracciato autostradale si sviluppa all'interno dei depositi prevalentemente argilloso - limosi plio – pleistocenici di facies indistinta (Qa/Pa). Il limite con la sottostante formazione Pa è stratigrafico e risulta debolmente immergente verso Sud-Est. In base alle risultanze del sondaggio E4-S19 lo spessore di tali depositi risulta superiore ai 35 metri.

Tutto il tratto è caratterizzato da morfologie leggermente più rilevate rispetto al tratto precedente e con una incidenza relativamente minore dei fenomeni gravitativi, che risultano pur sempre presenti ed interferenti con il nastro autostradale.

In questo tratto non sono presenti opere maggiori.

### **11.1.3 Tratto compreso tra il km 206+850 ed il km 213+800**

A partire dalla progressiva 206+850 il tracciato autostradale abbandona i terreni argilloso - limosi (Qa/Pa) per entrare nei depositi alluvionali attuali (a2) presenti nell'area di fondovalle. Si tratta dei depositi riferibili alla piana alluvionale del Fiume Esino.

I sondaggi geognostici e le prove in situ effettuate lungo il tracciato in questo intervallo chilometrico hanno evidenziato la presenza dominante di depositi alluvionali in facies prevalentemente grossolana, rappresentati da ghiaie e ciottoli, spesso dispersi in matrice sabbioso-limosa, che a tratti è risultata prevalente. Localmente si rinvencono, soprattutto verso il bordo settentrionale della pianura alluvionale, lenti e/o livelli di spessore metrico di sabbie e limi argilloso – sabbiosi.

La potenza massima rilevata in sondaggio (cfr. sondaggio E4-S24, E4-S25, E4-S26), per questi depositi, è di circa 26 metri. Inoltre, sulla scorta delle evidenze

litostratigrafiche, i sondaggi hanno evidenziato la presenza costante dei depositi argilloso - limosi (Qa/Pa) al disotto dei depositi alluvionali (a2) a profondità variabili (cfr. profilo geologico).

Viadotto Derobbino (Km 206+898) : il viadotto, che attraversa un piccolo canale, s'impone sui depositi alluvionali attuali (a2) in facies prevalentemente argilloso - sabbiosa. È stato ritrovato in sondaggio (L5\_3-B12) un sottile orizzonte ghiaioso a circa 20 m di profondità con potenza di circa 1.5 m, in prossimità del passaggio stratigrafico con i depositi del substrato argilloso – limoso plio – pleistocenico in facies indistinta (Qa/Pa).

Viadotto Esino (Km 210+485): il viadotto in oggetto attraversa il Fiume Esino e s'impone sui depositi alluvionali (a2) in facies prevalentemente grossolana. Si tratta di depositi ghiaiosi, organizzati in orizzonti e lenti di spessore anche superiore a 10 m, intercalati da sottili livelli argilloso – limosi e sabbioso limosi. Il substrato risulta costituito dai depositi marini argilloso – limosi in facies indistinta (Qa/Pa) ed è stato intercettato a profondità di poco superiori ai 26 m dal piano campagna (cfr. sondaggi B5-S9 e E4-S28).

## 11.2 GEOMORFOLOGIA

Dal punto di vista geomorfologico il rilevamento di campagna e l'analisi fotogeologica hanno messo in luce la presenza di numerose tipologie di forme, più o meno evolute, a testimonianza di una complessità geomorfologica legata a diversi processi morfogenetici. Nell'area di studio si individuano cinque gruppi di morfologie, distinguibili come forme areali, lineari e puntuali.

Particolare attenzione è stata dedicata alle forme legate a processi gravitativi, cartografando con accuratezza le aree interessate da dissesti di versante (frane propriamente dette e movimenti più o meno superficiali quali soliflussi e *creep*).

Di seguito vengono tabulati i dati statistici relativi alle aree in dissesto individuate:

Tipologia di dissesto	Numero areali censiti		Superficie areali censiti (m <sup>2</sup> )	
	Stato attivo	Stato quiescente	Stato attivo	Stato quiescente
Scorrimento	5		142.202	
Colamento	6	1	84.464	22.576
Complessa		2		107.684
Soliflusso/creep	36		3.540.870	

Tabella 2 Distribuzione per classi tipologiche dei fenomeni franosi censiti durante le attività di studio.

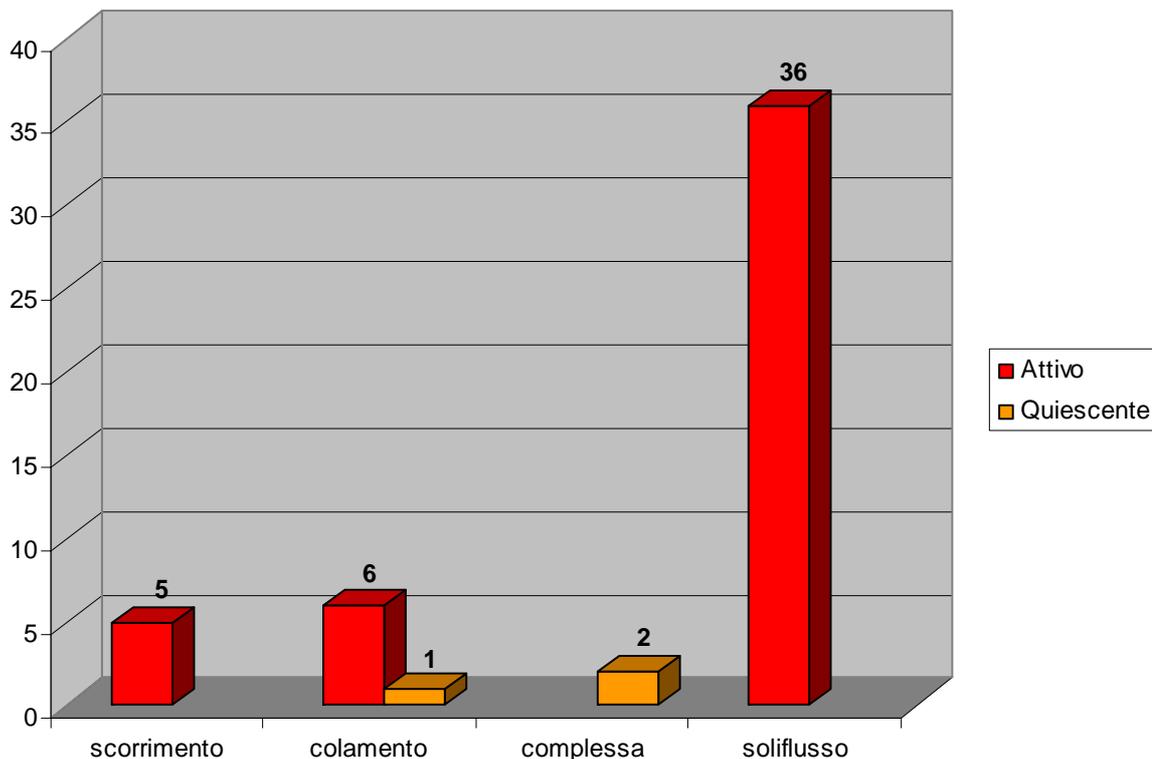


Fig. 15 Istogramma relativo alla distribuzione delle diverse tipologie di fenomeni franosi presenti nell'area di studio. Sulle ordinate è riportato il valore numerico delle diverse frane individuate, sulle ascisse la tipologia di dissesto.

La Figura 15 descrive la frequenza delle differenti tipologie di movimento franoso individuate nell'area di studio. Dal suo esame si nota che tra esse le più

rappresentate sono i movimenti gravitativi lenti (*soliflusso/creep*), individuabili con grande frequenza tra le chilometriche 197+800÷201+400 e 202+200 e 205+800. Seguono, percentualmente, le frane per colamento e quelle per scorrimento mentre i fenomeni franosi a distribuzione complessa sono i meno rappresentati. Non sono presenti, infine, frane per crollo.

Il predominare dell'una o dell'altra tipologia di movimento franoso risulta connessa con la tipologia litologica affiorante e dunque, con il comportamento meccanico dei terreni, che qui sono costituiti prevalentemente da coperture argilloso - limose e secondariamente da depositi argilloso - sabbiosi.

Sono stati censiti e perimetrati nel dettaglio 36 areali caratterizzati dalla presenza di soliflussi e/o *creep*; si tratta di deformazioni in linea di principio più superficiali delle frane s.s. con velocità di movimento variabile da estremamente lenta a lenta (max 10÷20 centimetri/anno) e con spessori delle masse di terreno mobilizzate generalmente modesti.

Nel caso specifico le misure eseguite mediante gli inclinometri hanno frequentemente mostrato spessori dei dissesti nell'ordine dei 5÷12 m.; questo è relazionabile oltre che alle litologie coinvolte, anche all'assetto idrogeologico locale ed alla modesta acclività dei versanti. In particolare si assiste a fenomeni deformativi molto lenti (tipo *creep*), ma di spessore rilevante proprio perché in corrispondenza di versanti a bassa acclività (pendenze inferiori ai 12° e talora agli 8°÷10°) non è disponibile sufficiente energia di rilievo per dar luogo a dissesti con elevate velocità deformative (frane s.s.). Questa particolare tipologia di dissesto mostra evidenze morfologiche superficiali caratterizzate da blande ondulazioni su versanti a modesta inclinazione.

Sono state inoltre rilevate e censite fenomenologie di frana s.s. ed in particolare n. 5 areali interessati da frane per scorrimento con stato attivo, n. 6 areali interessati da frane tipo colata in terra con stato attivo, n. 1 areale interessato da frane tipo colata in terra con stato quiescente e n. 2 areali interessati da frane di genesi complessa con stato quiescente, in cui è stato possibile riconoscere un primo movimento di tipo scivolamento rotazionale e successiva evoluzione verso valle per colamento.

Genericamente si tratta di fenomenologie di dissesto con velocità del movimento variabile da molto lenta a lenta e sulla scorta dei dati di monitoraggio inclinometrico e delle evidenze morfologiche di superficie, è possibile stimare lo spessore delle coltri di terreno mobilizzate come variabile tra 4÷12 m; in assenza di strumentazione “storica” gli spessori indicati sono stati ipotizzati su base puramente geometrica e pertanto l’esatta definizione degli spessori potrà essere definita con maggiore precisione a valle delle misure strumentali, che saranno eseguite negli inclinometri di più recente installazione.

Di seguito vengono individuati gli areali di particolare rilievo in relazione alle caratteristiche di criticità geomorfologica rilevate in funzione della progettazione stradale.

Si tratta di aree contraddistinte dalla presenza di dissesti che insistono o interferiscono direttamente sia con il tracciato autostradale attuale, sia con le opere in progetto; viceversa potrebbero interferire con queste in relazione al trend evolutivo dei fenomeni.

#### **11.2.1 Tratto compreso tra il km 194+700 ed il km 194+900**

In questo intervallo chilometrico il tracciato autostradale attraversa la fascia medio bassa di un versante immergente a nord-est e caratterizzato da pendenze comprese mediamente tra 8° e 12°.

Dal punto di vista geologico, l’area risulta interessata dalla presenza di litologie argilloso-limose ascrivibili ai depositi di avanfossa di età Pliocenica (formazione Pa della carta geologica).



Foto 1 Vista da NE – Villa Sbriscia

Nelle immediate vicinanze del tracciato è stato censito un corpo di frana classificabile come frana di colamento. L'area perimetrata ha una superficie di circa 2.2 [ha] con larghezza massima di circa 95 m e lunghezza di circa 290 m.

Allo stato attuale, sulla scorta dei rilievi diretti e sulla base dei risultati delle indagini geognostiche effettuate, il movimento franoso è classificabile come quiescente con una tendenza evolutiva verso forme di dissesto a minore intensità del tipo creep con cinematica da molto lenta a estremamente lenta.

In particolare si evidenzia che l'intera porzione a monte del dissesto, in parte boscata, è stata oggetto di sistemazione da parte della proprietà dei fondi; pertanto il rilevamento geomorfologico non ha potuto individuare elementi tali da lasciare prevedere una possibile riattivazione del corpo di frana che allo stato attuale sembra aver raggiunto un profilo di equilibrio.

Le indagini geognostiche condotte nell'area (sondaggio E3-S21) consentono di stimare lo spessore delle masse mobilizzate nell'ordine degli 8-15 m dal piano campagna.

L'area in dissesto interferisce direttamente sia con l'autostrada esistente che con le opere in progetto che prevedono in questo tratto un ampliamento simmetrico delle carreggiate.

### **11.2.2 Area imbocco sud galleria Cavallo**

Il versante su cui insiste l'imbocco meridionale della galleria Cavallo risulta caratterizzato da pendenze mediamente comprese tra 8° e 12° con picchi fino a 15°.

L'area risulta caratterizzata dalla presenza di litologie argilloso - limose ascrivibili ai depositi di avanfossa di età Pliocenica (formazione Pa della carta geologica).



Foto 2 Vista da SW dell'imbocco sud della galleria Cavallo, il versante è caratterizzato dalla presenza di dissesti superficiali, alcune piante di ulivo risultano inclinate a testimonianza della presenza di deformazioni di tipo gravitativo.

E' stata individuata e perimetrata un'ampia fascia di versante che si sviluppa in prossimità del tracciato caratterizzata dalla presenza di dissesti superficiali tipo soliflusso e, procedendo verso est, da un ampio fenomeno di frana classificabile come complesso con stato quiescente.

Allo stato attuale le aree individuate non interessano direttamente le opere stradali esistenti ma lambiscono l'imbocco sud della galleria in variante (vedi profilo 35 m dx). Si tratta ad ogni modo di dissesti tipo soliflusso/*creep* che coinvolgono le porzioni più superficiali di terreno con spessori delle masse mobilizzate stimabili, sulla scorta delle evidenze morfologiche, nell'ordine di 2.0÷5.0 m da p.c. Allo stato attuale l'area evidenzia caratteri morfologici tipici di fasce di versante interessate da dissesti superficiali di tipo gravitativo poco intensi, pendenze blande e deboli ondulazioni, che non lasciano prevedere un'evoluzione accelerata dei fenomeni. Tali considerazioni andranno comunque tenute in debita considerazione in relazione all'importanza degli interventi in progetto.

### **11.2.3 Tratto compreso tra il km 197+800 e il km 199+100**

In questo intervallo chilometrico il tracciato attraversa nella fascia medio bassa un ampio versante rivolto a est nord-est, caratterizzato dall'affioramento di litologie argilloso - limose con pendenze mediamente comprese tra 8° e 12°.

I caratteri distintivi dell'area sono le ondulazioni, le gibbosità e le aree parzialmente svuotate, tutti elementi morfologici tipici di aree interessate da fenomenologie di dissesto di tipo gravitativo.

Il rilevamento geomorfologico fino al Km 198+600 non ha consentito di rilevare i caratteri distintivi e i parametri morfologici tipici di fenomenologie di frana s.s. e dunque il primo tratto di questo settore è stato definito come interessato esclusivamente da dissesti tipo *creep*, caratterizzati da cinematismi da estremamente lenti a molto lenti (entità del movimento variabile  $10^{-1}$  e 10 cm/anno). Nel tratto successivo sono state rilevate anche alcune fenomenologie di frana s.s. classificabili come colate in terra con cinematismo molto lento e stato attivo.

Le indagini geognostiche condotte e la campagna di monitoraggio strumentale consentono di quantificare gli spessori delle masse mobilizzate come generalmente variabili tra 4.0 e 6.0 m dal piano campagna, con profondità massime localizzate fino a circa 10÷12 m al km 198+375 (cfr. misure inclinometriche indagini bibliografiche e profilo geologico).

In relazione alle condizioni morfologiche evidenziate ed ai dati scaturiti dal monitoraggio strumentale si può ipotizzare una diretta interferenza sia delle opere infrastrutturali esistenti sia di quelle in progetto con l'area in dissesto.



Foto 3 Vista da NW del versante che insiste sul tracciato autostradale esistente al km 198+800. Il versante è caratterizzato da ondulazioni e porzioni debolmente svuotate tipiche di aree caratterizzate da una evoluzione morfologica condizionata da dissesti di tipo gravitativo.

#### 11.2.4 Tratto compreso tra il km 199+200 ed il km 201+500

Si tratta di un ampio settore, esteso per oltre 2 km, contraddistinto dall'affioramento di termini litologici prevalentemente argilloso - limosi, con versanti poco o moderatamente acclivi (pendenza variabile 6° e 12°). Il rilevamento di campagna ha consentito d'individuare le forme classiche di aree soggette a fenomeni di dissesto tipo *creep*, mammelloni, ondulazioni, aree parzialmente svuotate e blande scarpate o salti morfologici. Si tratta di forme di dissesto caratterizzate da cinematismi classificabili da estremamente lenti a molto lenti, dunque con velocità del movimento variabile tra  $10^{-1}$  e 10 cm/anno. Sulla scorta delle indagini geognostiche e in particolare sulla base delle risultanze del monitoraggio effettuato in questo tratto, è possibile stimare lo spessore delle masse mobilizzate lungo il versante come mediamente variabile tra 5.0 e 10.0 m dal piano campagna, con locali approfondimenti fino a circa 12.0÷15.0 m (cfr. profilo geologico e sezioni geologiche).



Foto 4 Vista dall'alto del versante che insiste sul tracciato autostradale al km 199+300.

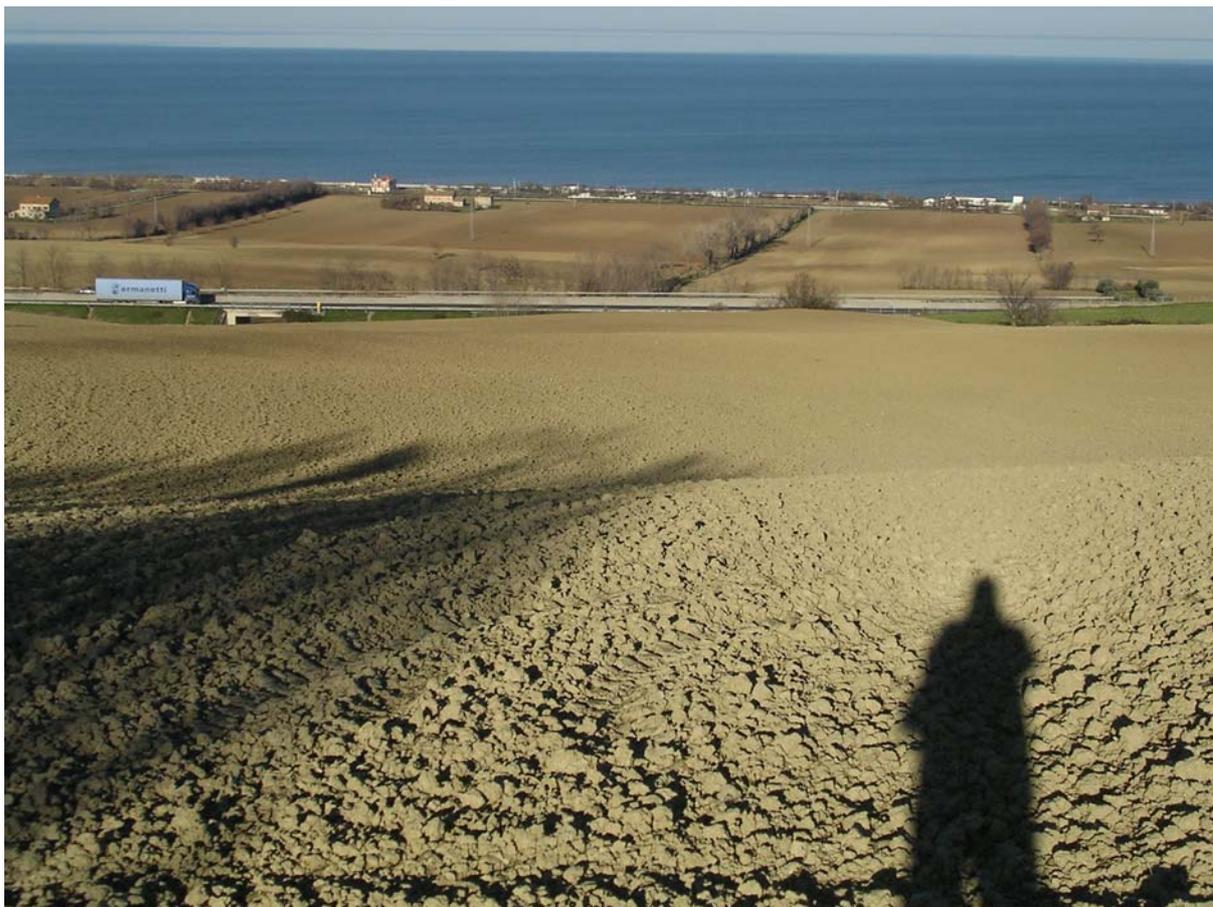


Foto 5 Vista da SW del versante che insiste sul tracciato autostradale esistente al km 200+200. Il versante è caratterizzato da ondulazioni, salti morfologici e cambi di pendenza tipici di aree caratterizzate da una evoluzione morfologica condizionata da dissesti di tipo gravitativo.

### **11.2.5 Tratto compreso tra il km 202+200 e il km 205+800**

Il tracciato autostradale impegna le fasce medio basse di versanti poco acclivi, pendenze mediamente comprese tra 5° e 10°, esposti a est nord-est, che si estendono per oltre 3 km in maniera continua, separati da impluvi poco o scarsamente approfonditi. In questo settore sono stati individuati in affioramento termini prevalentemente argilloso - limosi ascritti ai depositi marini plio – pleistocenici in facies indistinta (Qa/Pa). Il rilevamento di campagna ha consentito d'individuare le forme tipiche di aree soggette a fenomeni di dissesto tipo soliflusso e *creep*, come mammelloni, ondulazioni, aree parzialmente svuotate e blande scarpate o salti morfologici e la fotointerpretazione ha permesso di individuare forme arcuate e svuotate attribuite a scarpate di frana inattive e degradate.



Foto 6 Vista da N del versante che insiste sul tracciato autostradale esistente al km 205+500.

Le evidenze morfologiche descritte consentono di delineare uno scenario morfo - evolutivo caratterizzato dalla presenza di vecchi corpi di frana inattivi, di cui attualmente sono riconoscibili parzialmente solo le nicchie di distacco nelle fasce medio - alte dei versanti, mentre le porzioni medio - basse mostrano una marcata evoluzione verso fenomenologie di frana ad intensità bassa o moderata tipo soliflussi e *creep*.

Si tratta di dissesti caratterizzati da cinematismi da estremamente lenti a molto lenti con velocità del movimento variabile tra  $10^{-1}$  e 10 cm/anno. Sulla scorta delle indagini geognostiche ed in particolare sulla base delle risultanze del monitoraggio effettuato sui numerosi inclinometri presenti lungo il tracciato autostradale in questo intervallo chilometrico, è possibile stimare lo spessore delle masse mobilizzate lungo il versante come variabile tra 2.0 e 5.0 m dal piano campagna attuale, mentre solo il dissesto evidenziato alla km 203+300÷203+900 è stata determinata una profondità massima delle coltri mobilizzate prossima 15-16 m.

## 12 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

1. AA. VV. (1990) - *Ambiente fisico delle Marche. Geologia, Geomorfologia, Idrogeologia*. Regione Marche, S.EL.CA., Firenze.
2. BARTOLINI C., BERNINI M., CARLONI G. C., ARMANDO C., FEDERICI P. R., GASPERI G., LAZZAROTTO A., MARCHETTI G., MAZZANTI R., PAPANI G., PRANZINI G., RAU A., SANDRELLI F., VERCESI P. L., CASTALDINI D. & FRANCAVILLA F. (1982) – *Carta neotettonica dell'Appennino Settentrionale. Note illustrative*. Estratto da: Boll. Soc. Geol. It., 101, pp. 523-549; 3 ff.; 4 tavv., Roma.
3. BIGI S., CALAMITA F., CELLO G., CENTAMORE E., DEIANA G., PALTRINIERI W. & RIDOLFI M. (1995) - Evoluzione Messiniano-Pliocenica del sistema Catena-Avanfossa nell'area marchigiano-abruzzese esterna. Studi Geologici Camerti, volume speciale 1995/1, 29-35, Camerino.
4. BIGI S., CANTALAMESSA G., CENTAMORE E., DIDASKALU P., DRAMIS F., FARABOLLINI P., GENTILI B., INVERNIZZI C., MICARELLI A., NISIO S., PAMBIANCHI G. & POTETTI M. (1995) – *La fascia periadriatica marchigiano-abruzzese dal Pliocene medio ai tempi attuali: evoluzione tettonico-sedimentaria e geomorfologica*. Studi Geologici Camerti, volume speciale 1995/1, 37-49, Camerino.
5. BIGI S., CENTAMORE E. & NISIO S. (1997) – *Caratteri geologico-strutturali dell'area pedeappenninica marchigiano-abruzzese durante il Pleistocene*. Studi Geologici Camerti, 14, 193-200, Camerino.
6. BIGI S., CENTAMORE E. & NISIO S. (1997) – *Elementi di tettonica quaternaria nell'area pedemontana marchigiano-abruzzese*. Il Quaternario, 10(2), 359-362, Verona.
7. BOCCALETTI M., CALAMITA F., CENTAMORE E., CHIOCCHINI U., DEIANA G., MORATTI G., MICARELLI A. & POTETTI M. (1986a) – *Evoluzione tettonica e paleogeografia neogenica del settore tosco – umbro – marchigiano*

- (Appennino settentrionale): rapporti spazio – temporali tra eventi distensivi e compressivi.* Giornale di Geologia, 48 (1), Bologna.
8. BOCCALETTI M., CALAMITA F., CENTAMORE E., CHIOCCHINI U., DEIANA G., MORATTI G., MICARELLI A. & POTETTI M. (1986B) – *Evoluzione dell'Appennino tosco – umbro – marchigiano durante il Neogene.* Giornale di Geologia, 48 (1).
  9. C.N.R. – AA. VV. (1985) – *Atlante delle spiagge italiane, Fogli 101 (Rimini), 109 (Pesaro), 110 (Senigallia), 115 (Fermo), 117-118 (Jesi-Ancona).* Progetto Finalizzato Conservazione del Suolo, Sottoprogetto: Dinamica dei litorali. S.E.L.C.A. Firenze, scala 1:100.000.
  10. C.N.R.-G.N.D.T. - REGIONE MARCHE (1986) - *Attività nel settore della difesa dai terremoti.* SAGRAF, Castelferretti, 38 p.
  11. CALAMITA F., CELLO G., INVERNIZZI C. & PALTRINIERI W. (1990) – *Stile strutturale e cronologia delle deformazioni lungo la traversa M.S. Vicino – Polveri (Appennino marchigiano esterno).* Studi Geologici Camerti, Vol. Spec, “Neogene thrust Tectonics”, 69-86, Camerino.
  12. CALAMITA F., CENTAMORE E., DEIANA G. & MICARELLI A. (1986) – *Evoluzione tettonico-sedimentaria dell'area umbro-marchigiana dal Trias al Pleistocene.* Studi Geologici Camerti, volume speciale “La Geologia delle Marche”, 89-90, Camerino.
  13. CANCELLI A., PELLEGRINI M. & TONNETTI G. (1984) - *Geological features of landslides along the Adriatic coast (Central Italy).* In: IV International Symposium on Landslides, vol. 2, Toronto
  14. CANTALAMESSA G., CENTAMORE E., CHIOCCHINI U., COLALONGO M. L., MICARELLI A., NANNI T., PASINI G., POTETTI M. & RICCI LUCCHI F. (1986a) - *Il Plio-Pleistocene delle Marche.* In: Centamore E. & Deiana G. - *La Geologia delle Marche.* Studi Geologici Camerti, Vol. Spec.73° Congresso Soc. Geol. It., 61-81.

15. CANTALAMESSA G., CENTAMORE E., CHIOCCHINI U., COLALONGO M. L., MICARELLI A., NANNI T., PASINI G., POTETTI M. & RICCI LUCCHI F. (1986B) - *Il Plio-Pleistocene delle Marche. In: Il Plio-Pleistocene marchigiano-abruzzese*. Guida all'escursione del 73° Congresso della S.G.I., 7-10/10/1986, pp 5-10, Camerino.
16. CANTALAMESSA G., CENTAMORE E., CHIOCCHINI U., DI LORITO L., MICARELLI A. & POTETTI M. (1986) – *I depositi terrigeni neogenico – quaternari affioranti tra il F. Potenza e il F. Tronto*. Studi Geologici Camerti, Numero Speciale, Riun. del Gruppo di Sedim. del C.N.R., 26-29 settembre 1983, Camerino – S. Benedetto del Tronto.
17. CANTALAMESSA G., CENTAMORE E., CHIOCCHINI U., MICARELLI A., POTETTI M. & DI LORETO L. (1986) – *Il miocene delle Marche. Studi Geologici Camerti*. Vol. Spec. “La geologia delle Marche”, Camerino.
18. CANTALAMESSA G., CENTAMORE E., CRISTALLINI C., INVERNIZZI C., MATTEUCCI R., MICARELLI A., PICCINI M., PONTONI F. & POTETTI M. (1990) – *Nuovi dati sulla geologia dell'area di Porto San Giorgio (Marche meridionali)*. *Geologica Romana*, 26 (1987), 359-369, Roma.
19. CARLONI G.C., COLANTONI P., CREMONINI G., D'ONOFRIO S. & SELLI R. (1971) – *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia, scala 1:100.000, Fogli 109 “Pesaro”, 110 “Senigallia” e 117 “Jesi”*. Serv. Geol. d'Italia, 62 pp., Roma.
20. CARLONI G.C., FRANCAVILLA F. & TONI G. (1975) – *Considerazioni geomorfologiche sui terrazzi fluviali dell'Aso e del Tenna (Marche meridionali)*. *L'Ateneo Parmense-Acta Naturalia*, 11(4), 649-660.
21. CILLA G., COLTORTI M. & DRAMIS F. (1994) – *Holocene fluvial dynamics in mountain areas: the case of the Esino river*. *Geogr. Fis. Dinam. Quat.*, 17, 163-174, Torino.

22. COLTORTI M., CONSOLI M., DRAMIS F., GENTILI B. & PAMBIANCHI G. (1991) - *“Evoluzione geomorfologica delle piane alluvionali delle Marche centro-meridionali”*. Geogr. Fis. e Din. Quat., 14(1), 87-100, Torino.
23. COLTORTI M., GENTILI B. & PAMBIANCHI G. (1995) – *Evoluzione geomorfologica ed impatto antropico nei sistemi idrografici delle Marche: riflessi sull’ambiente fisico*. Estratto da: “Assetto fisico e problemi ambientali delle pianure italiane”. Mem. Soc. Geogr. It., LIII, 271-292, Roma.
24. COLTORTI M. & NANNI T. (1987A) – *La bassa valle del Fiume Esino: geomorfologia, idrogeologia e neotettonica*. Boll. Soc. Geol. It., 106, 35-51, Roma.
25. COLTORTI M. & NANNI T. (1987B) – *La pericolosità geologica in un’area in rapido sviluppo urbanistico: il tratto di costa tra Ancona ed il fiume Esino*. Mem. Soc. Geol. It., 37, 519-531, 5 ff., 3 tavv., Roma.
26. CONTI A., DI EUSEBIO L., DRAMIS F. & GENTILI B. (1983) - *Evoluzione geomorfologica recente e processi in atto nell’alveo del Tenna (Marche meridionali)*. Atti XXIII Congresso Geografico Italiano, 2 (3), 53-66, Catania.
27. CURZI P. V. (1986) – *Cenni di Geologia dell’Adriatico nel tratto marchigiano*. Studi Geol. Camerti, Vol. Spec. “La geologia delle Marche”, Camerino.
28. DEIANA G. & PAMBIANCHI G. (2002) - *Il paesaggio geologico delle Marche: studiosi, studi, avvenimenti*. Atti del XXXVI Convegno di Studi Maceratesi, Abbazia di Fiastra (Tolentino), 17-18 novembre 2000, 341-395.
29. DRAMIS F. (1984) - *Aspetti geomorfologici del territorio marchigiano*. Studi Geologici Camerti, Vol. Spec. 73a Riunione estiva SGI, 30/9-4/10 1986 Roma.
30. DRAMIS F. & BISI C. (1986) - *Aspetti geomorfologici del territorio marchigiano*. Studi Geologici Camerti, Volume Speciale “La Geologia delle Marche”, 99-104, Camerino.

31. DRAMIS F., FARABOLLINI P., GENTILI B. & PAMBIANCHI G. (2002) - *Neotectonics and large-scale gravitational phenomena in the Umbria-Marche Apennines, Italy. In: Comerci V. (Ed.) - Seismically induced ground ruptures and large scale mass movements. Atti APAT, Italian Agency for Environment Protection and Technical Services, 4, 17-30.*
32. FANCELLI R. & RADRIZZANI S. (1964) – *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia, scala 1:100.000, Foglio 118 "Ancona" Serv. Geol. d'Italia, 42 pp., Roma.*
33. GENTILI B. & PAMBIANCHI G. (1987) - *Morfogenesi fluviale e attività antropica nelle Marche centro-meridionali. Geogr. Fis. e Din. Quat., 10(1), 204-217. Torino.*
34. GENTILI B. & PAMBIANCHI G. (1988) – *Segnalazione di alcuni episodi fluvio-lacustri nelle Marche centro-me/ridionali. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 2(1), 59-60.*
35. LAVECCHIA G., BONCIO P., BROZZETTI F., STUCCHI M. & LESCHIUTTA I. (2002) – *New criteria for seismotectonic zoning in Central Italy: insights from the Umbria-Marche Apennines. Boll. Soc. Geol. It., Vol. Spec. n° 1, 881-890, Roma.*
36. LIPPARINI T. (1969) – *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia, scala 1:100.000, Foglio 100 "Forlì" e 101 "Rimini". Serv. Geol. d'Italia, 74 pp., Roma.*
37. MITHCUM R.M., VAIL P.R. & THOMPSON S. (1977) – *The depositional sequence as a basic unit for stratigraphic analysis. In: Seismic stratigraphy applications to hydrocarbon exploration, A.A.P.G. Mem., 25.*
38. MOLINARI C., LIPPARINI T. & BASSI G. (1971) – *Risorse idriche delle Marche. Ente Sviluppo Marche.*
39. NESCI O. & SAVELLI D. (1986) - *Cicli continentali tardo-quadernari lungo i tratti vallivi mediani delle Marche settentrionali. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 9, 192-211, 18 figg., Torino.*

40. PASSERI L. (a cura di) (1994) - *Guide Geologiche Regionali: Appennino Umbro-Marchigiano*. Società Geologica Italiana & BE-MA editrice, Roma.
41. RUGGIERI G. (1958) – *Gli esotici neogenici della colata gravitativa della Val Marecchia*. Att. Acc. Sc. Lett. Arti, 18 (4), Palermo.
42. SELLI R. (1967) - *Cenni geologici generali sull'Appennino Emiliano-Romagnolo fra Bologna e Rimini*. In Selli R. (ed.), Com. Neog. Medit., IV Congr., Guida alle escursioni, 88-97, Bologna.
43. SELLI R. (1967) – *Cenni sul Neogene dell'avanfossa marchigiana*. In “Guida alle escursioni”, IV Congr. Neog. Medit., Bologna.
44. VENERI F. (1986) – *La colata gravitativa della Val Marecchia*. Studi Geologici Camerti, Vol. spec. “La geologia delle Marche”, 83-87, Camerino.