



Regione  
Abruzzo

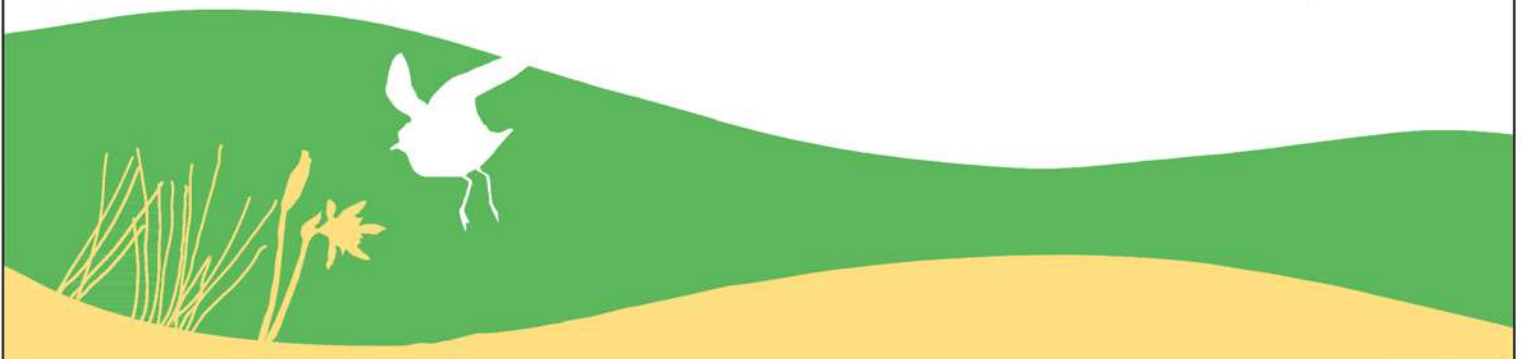


Comune di  
Roseto degli Abruzzi

Piano di Assetto Naturalistico  
della  
*RISERVA NATURALE GUIDATA "BORSACCHIO"*

Relazione sul Sistema Fisico

Progetto e coordinamento  
Dott. Arch. Fabrizio de Gregoriis



## Sommario

1	PREMESSA .....	3
2	GEOLOGIA .....	5
2.1	Il paesaggio fisico .....	5
1.2.	Inquadramento geologico regionale .....	7
1.3.	Caratteri litostratigrafici .....	8
1.4.	Assetto tettonico .....	13
1.5.	Storia geologica .....	14
2.	GEOMORFOLOGIA .....	17
2.1.	Condizioni climatiche ed idrologiche.....	17
2.2.	Fenomeni gravitativi.....	22
2.3.	La morfogenesi calanchiva: stato delle conoscenze.....	28
2.4.	Caratterizzazione fisica e mineralogica del substrato pelitico-sabbioso .....	31
2.5.	Genesi e sviluppo dei calanchi della Riserva del Borsacchio .....	34
3.	IL SISTEMA COSTIERO .....	40
3.2.	L'unità fisiografica foce Tordino - foce Vomano e l'apporto solido dei corsi d'acqua 41	
3.3.	Caratteri morfologici e sedimentologici del litorale.....	42
3.4.	Condizioni meteomarine e dinamica sedimentaria .....	44
3.5.	Variazioni storiche della linea di riva e processi erosivi .....	47

## 1 PREMESSA

Gli studi e le ricerche a carattere geologico e geomorfologico, estesi a tutto il territorio della Riserva Naturale Regionale del Borsacchio, hanno avuto essenzialmente l'obiettivo di fornire un adeguato quadro conoscitivo indispensabile per:

- verificare le potenzialità d'uso sostenibile del territorio e delle georisorse della Riserva, ed operare quindi scelte corrette di pianificazione territoriale;
- individuare le situazioni di potenziale rischio geologico e geomorfologico-ambientale che possono condizionare le scelte di assetto del territorio;
- analizzare le criticità presenti e quindi le possibilità di interventi di recupero e di riqualificazione ambientale;
- individuare l'eventuale presenza di beni a carattere geologico e geomorfologico (*Geological Heritage*) che nell'ambito del Piano di Assetto Naturalistico meritano un'attenta azione di tutela, di valorizzazione e di promozione anche attraverso l'inserimento nei più vasti circuiti del turismo culturale.

Qui di seguito, nella prima parte dello studio viene presentato un quadro conoscitivo dell'ambiente fisico della Riserva del Borsacchio, elaborato sulla base dei risultati dell'attività di ricerca, di rilevamento in situ e di analisi, la quale è stata articolata nelle seguenti fasi principali:

1. Ricerca bibliografica e cartografica con raccolta ed analisi di tutti i dati geologici, geomorfologici, idrologici, relativi al territorio in esame, tratti sia dalla letteratura scientifica che da studi inediti. A tale proposito si precisa che le carte tematiche redatte nell'ambito dello "*Studio geologico, geomorfologico ed idrogeologico del territorio comunale di Roseto degli Abruzzi*" (ADAMOLI *et alii*, 2001), finalizzate alla redazione della Variante Generale al PRG del Comune di Roseto degli Abruzzi, hanno rappresentato il necessario riferimento per l'elaborazione delle carte geotematiche previste dal presente studio.
2. Rilevamento geologico e geomorfologico esteso a tutto il territorio della Riserva, finalizzato all'elaborazione di un'adeguata ed aggiornata

documentazione cartografica alla scala 1:8.000.

3. Analisi delle variazioni della linea di riva, osservazioni morfologiche ed analisi sedimentologiche in situ lungo la fascia costiera della Riserva.
4. Interpretazione ed elaborazione di tutti i dati raccolti, stesura delle carte geotematiche e predisposizione del quadro conoscitivo.

Nella seconda parte dello studio, ai fini della conservazione, valorizzazione e gestione sostenibile delle georisorse presenti nel territorio della Riserva del Borsacchio, vengono avanzate, sulla base del quadro conoscitivo, delle proposte di intervento integrato per:

- il riequilibrio, il recupero naturalistico e la conservazione del sistema costiero, finalizzati ad un'efficace difesa dall'erosione marina e ad un miglioramento del livello di godibilità paesaggistica ed ambientale;
- l'incremento della sicurezza idraulica e la riqualificazione ambientale e naturalistica del tratto terminale del Torrente Borsacchio;
- l'organizzazione di un "*Osservatorio del Sistema Costiero*" con finalità di formazione culturale e di educazione ambientale, di ricerca e di documentazione scientifica, di monitoraggio ambientale e di presidio del territorio;
- la realizzazione dell'*Itinerario Geomorfologico di Colle Quatrino*, di particolare interesse scientifico e didattico e con significativi valori estetico-paesaggistici di interesse turistico.

In riferimento al sistema fisico vengono infine predisposte, alla luce del quadro conoscitivo geologico e geomorfologico della Riserva, ed in particolare delle potenziali condizioni di rischio connesse alle dinamiche naturali in atto sui versanti collinari e lungo la fascia costiera, le Norme di Attuazione del PAN (Piano di Assetto Naturalistico), le quali si integrano con le Norme di Attuazione del P.A.I. (Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico "Fenomeni Gravitativi e Processi Erosivi"), approvato il 29.01.08 con Deliberazione del Consiglio Regionale d'Abruzzo n. 94/7, e con le Norme di Attuazione del P.S.D.A.(Piano Stralcio Difesa Alluvioni), approvato anch'esso il 29.01.08 con Deliberazione del Consiglio Regionale d'Abruzzo n. 94/5. I due Piani Stralcio sono stati pubblicati sul Bollettino Ufficiale della Regione Abruzzo, n. 12 Speciale, del 1.02.2008.

## 2 GEOLOGIA

### 2.1 Il paesaggio fisico

- Il territorio della Riserva Naturale Regionale del Borsacchio, ubicato nella fascia collinare e costiera dell'Abruzzo adriatico, è sostanzialmente caratterizzato dai seguenti elementi morfologici principali:
- L'area collinare, che raggiunge la quota massima di circa 200 m s.l.m. nei pressi dell'abitato di Cologna Paese, con una configurazione morfologica caratterizzata da dorsali collinari abbastanza strette ed allungate, talora di minore estensione, dai fianchi debolmente acclivi, solo a tratti piuttosto ripidi, modellati su terreni argilloso-sabbiosi (Fig. 1).
- Alcuni bacini minori di corsi d'acqua (Torrente Borsacchio, Fosso della Macciotta, Fosso San Martino) di ridotta lunghezza, con un profilo trasversale delle loro valli spesso asimmetrico (Fig. 2) e con una relativa omogeneità dei caratteri morfometrici, da mettere in relazione al fatto che i bacini stessi si sviluppano in aree caratterizzate da analoghe condizioni lito-strutturali.
- Il tratto terminale della pianura alluvionale di fondovalle e l'apparato di foce del F. Tordino.
- La piana costiera, larga circa 500 - 600 m, bassa e sabbiosa, talora sabbioso- ciottolosa.
- La spiaggia emersa attuale, la cui larghezza varia dai 5 ai 40 metri, bassa e prevalentemente sabbiosa, a tratti sabbioso-ciottolosa, fino a diventare prevalentemente ghiaiosa in corrispondenza dell'apparato deltizio del fiume Tordino.



Fig. 1 - Configurazione morfologica dell'area collinare caratterizzata da versanti debolmente acclivi, modellati su terreni argilloso-sabbiosi.



Fig. 2 - Parte alta del bacino idrografico del Torrente Borsacchio, con evidente asimmetria del profilo trasversale della valle.

## 2.2 Inquadramento geologico regionale

L'area della Riserva del Borsacchio fa parte del settore più orientale e recente dell'edificio tettonico dell'Appennino centrale, strutturatosi essenzialmente nel Miocene superiore - Pleistocene inferiore, in seguito all'evoluzione del sistema orogenico catena - avanfossa - avampaese, con migrazione delle deformazioni compressive dalle aree occidentali più interne verso quelle orientali adriatiche; su tale sistema si sovrappone, a partire dal Pleistocene basale, la tettonica distensiva.

In particolare, il settore più orientale, noto in letteratura come bacino periadriatico, si è impostato a partire dalla fine del Pliocene inferiore quando, con la strutturazione in catena del più occidentale ed antico bacino del Cellino, si è avuta la formazione di un "bacino satellite" lungo la fascia periadriatica e dell'avanfossa adriatica nel settore esterno più orientale.

Al di sopra delle torbiditi silicoclastiche di avanfossa della *Formazione Cellino* del Pliocene inferiore, pertanto, affiora in trasgressione e con una netta discordanza angolare, la *Formazione Mutignano*, depositatasi nel suddetto "bacino satellite" nell'intervallo Pliocene medio p.p. - Pleistocene inferiore p.p.. Il fondale di tale bacino era articolato sia per la presenza di due dorsali longitudinali (Bellante - Cellino Attanasio e Campomare - Montesilvano), localizzate sul fronte di altrettanti sovrascorrimenti originatisi durante l'acme della fase orogenica del Pliocene inferiore, sia per la presenza di sistemi di faglie trasversali ed oblique che frammentavano il bacino marino stesso in una serie di depressioni minori caratterizzate da subsidenza differenziata (CASNEDI, 1986; 1991; CASNEDI & SERAFINI, 1994; CENTAMORE *et alii*, 1990; 1993; 1997; ORI *et alii*, 1991).

Relativamente all'area più orientale del "bacino satellite", cioè quella di più stretto interesse per il presente studio, il progressivo basculamento verso ENE della fascia periadriatica ha condizionato non solo la fisiografia del bacino, ma anche la dinamica deposizionale, come dimostrano inequivocabilmente i dati del rilevamento geologico di campagna. La *Formazione Mutignano*, infatti, esaminata in dettaglio, mostra al suo interno variazioni di facies e di spessore, e sequenze sedimentarie caratterizzate da frequenti discordanze angolari più o meno marcate e da lacune sedimentarie, legate essenzialmente alla tettonica sinsedimentaria.

La successione marina della *Formazione Mutignano*, di diverse centinaia di metri di spessore, è costituita da prevalenti peliti di piattaforma, con sottili intercalazioni sabbiose che

aumentano progressivamente di numero e di spessore verso l'alto, dove talora assumono una geometria lenticolare. Verso la base, sono presenti intercalazioni di corpi lenticolari amalgamati, molto spessi, costituiti da ortoconglomerati prevalentemente calcarei a granulometria variabile ed in matrice sabbiosa. I depositi di chiusura del ciclo sedimentario presenti al tetto di questa successione marina danno origine a corpi tabulari debolmente immergenti verso ENE, e sono costituiti da sabbie e conglomerati riferibili ad un ambiente di transizione da marino a continentale (CANTALAMESSA *et alii*, 1986; BIGI *et alii*, 1995; 1996).

- I depositi terrigeni tardo-orogenici della *Formazione Mutignano* sono inoltre in parte ricoperti da sedimenti continentali quaternari costituiti essenzialmente da: sedimenti alluvionali recenti e terrazzati antichi, depositi fluvio-deltizi, sedimenti recenti ed attuali della piana costiera, depositi vari di copertura.
- I lineamenti tettonici regionali, infine, sono caratterizzati da un generale assetto a monoclinale dei depositi della *Formazione Mutignano*, con blande immersioni verso E e NE, e costituiscono il risultato di eventi deformativi che si sono succeduti a partire dal Pliocene inferiore.

Le deformazioni tettoniche hanno portato prima alla costruzione delle catene montuose interne fino alla più orientale struttura costiera (dorsale Campomare - Montesilvano), nota in letteratura come *Struttura Costiera Thrust Front*, che si estende nel sottosuolo e rappresenta pertanto il fronte esterno della catena, e poi, particolarmente nel Pleistocene inferiore, al sollevamento ed al progressivo e continuo basculamento verso ENE della fascia periadriatica, ed allo sviluppo di sistemi di faglie che suddividono la fascia stessa in un insieme di blocchi caratterizzati da prevalenti movimenti verticali differenziati.

Il sollevamento regionale del Quaternario è responsabile dell'alto tasso di erosione dell'area periadriatica, e gli associati sistemi di faglie hanno condizionato notevolmente l'andamento del reticolo idrografico ed in molti casi, l'attività recente di molte di esse, assieme alle variazioni climatiche ed alle oscillazioni eustatiche, hanno favorito l'innescio di fenomeni gravitativi (BIGI *et alii*, 1996; 1997).

### **2.3** Caratteri litostratigrafici

Il territorio di stretto interesse è litologicamente caratterizzato dalla presenza di ampi e ben esposti affioramenti della successione marina Plio-pleistocenica, costituita da prevalenti peliti di piattaforma con al tetto sedimenti sabbioso-conglomeratici di chiusura



del ciclo sedimentario, la quale è in parte ricoperta da sedimenti continentali quaternari costituiti essenzialmente da depositi detritici e coltri colluviali, depositi alluvionali e deltizi recenti ed attuali, sedimenti recenti della piana costiera e sedimenti di spiaggia attuali.

Sulla base dei dati provenienti dal rilevamento geologico di campagna eseguito alla scala 1:8.000 (vedere Carta Geologica allegata), dei dati stratigrafici relativi ai terreni attraversati dal pozzo per ricerche di idrocarburi (prof. 1300 m dal p.c.) eseguito nel passato nell'area della Riserva in località Frischia, e naturalmente dei dati di letteratura (ADAMOLI, 1998; CASNEDI, 1986; 1992; CASNEDI *et alii*, 1982; 1986; CENTAMORE *et alii*, 1990; 1992; 1993; 1997; MOLINAROLI, 1984), saranno analizzati in dettaglio, qui di seguito, i caratteri litostratigrafici dei citati depositi, a partire dai terreni più antichi.

### **2.3.1 Depositi marini del Plio-pleistocene**

I depositi marini presenti nell'area in esame sono riferibili alla *Formazione Mutignano* (Pliocene superiore – Pleistocene inferiore p.p.), all'interno della quale sono stati distinti, dal basso verso l'alto, i seguenti 3 membri:

- Associazione pelitica (FMTa). Non presente in affioramento, è stata Individuata in
- località Frischio dal pozzo per ricerche di idrocarburi "Montepagano 1" dai 400 ai 766 m di profondità; affiora comunque ad ovest dell'area in studio. La litofacies è caratterizzata da argille marnose grigio-azzurre con stratificazione spesso indistinta, laminate, e con rare intercalazioni sabbiose di spessore millimetrico o centimetrico. Nella parte sommitale, poco al di sotto della discordanza che separa questo membro da quello sovrastante, è presente un sottile orizzonte vulcanoclastico datato a 2,1 MA (milioni di anni). Lo spessore è di circa 350 m e l'età è riferibile al Pliocene superiore (biozona a *Globorotalia inflata*).
- Associazione pelitico-sabbiosa (FMTc). Visibile in affioramento in gran parte della Riserva (vedere Carta Geologica allegata), soprattutto nelle aree dove i processi erosivi areali e lineari hanno smantellato la coltre eluvio-colluviale, oltrechè in corrispondenza di scarpate artificiali, questo membro è caratterizzato da argille marnose grigie ben stratificate, internamente laminate, con frequenti intercalazioni di sottilissimi livelli sabbiosi, raramente a geometria lentiforme, sempre più frequenti verso l'alto (Figg. 3, 4). Il progressivo aumento del tenore di sabbia e limo verso l'alto è marcato da una variazione cromatica dal grigio al beige al giallastro. La giacitura della stratificazione rispecchia quella regionale, con un'immersione degli strati rivolta tra E e NE ed

inclinazione generalmente variabile dai 10° ai 20°. Sempre nelle argille sabbiose è inoltre intercalato un sottile livello di circa 3 cm di spessore, probabilmente vulcanoclastico come quello presente nel membro sottostante, non cementato e con abbondante contenuto micaceo di colore grigiastro con sfumature violacee, e della granulometria delle sabbie finissime. Tale interessante livello è visibile in affioramento appena a monte della Fornace Diodoro, alla base di Colle Quatrino, dove tra l'altro sono state rilevate numerose discontinuità di sedimentazione e discordanze angolari anche di notevole entità. Lo spessore complessivo dell'Associazione pelitico-sabbiosa, che costituisce il substrato sul quale appoggiano i vari depositi continentali quaternari, è di circa 400 metri (dati di pozzo), mentre l'età è riferibile al Pleistocene inferiore p.p. (biozona a *Globigerina cariacensis*).

- Associazione sabbioso-conglomeratica (FMTd). Costituiscono i depositi di chiusura del ciclo sedimentario marino, con una facies variabile da litorale a fluvio-deltizia. Tali depositi, nell'area della Riserva, sono stati smantellati dai più recenti processi di modellamento del paesaggio e restano, come unica placca residua, solo sulla sommità della stretta dorsale su cui sorge l'abitato di Montepagano. La litofacies sabbioso-conglomeratica giace a tetto della successione pelitico-sabbiosa, con contatto erosivo e discordante. Alla base prevalgono le sabbie gialle medio-fini, frequentemente bioturbate, in strati medi e sottili con intercalazioni di livelli lentiformi di ghiaie, mentre verso l'alto prevalgono i conglomerati debolmente cementati, costituiti da ciottoli ben arrotondati, talora appiattiti, di natura calcarea e subordinatamente arenacea, fortemente eterometrici (da 0,5 a circa 80 cm) ed immersi in un'abbondante matrice fine sabbiosa di colore giallastro. A luoghi i conglomerati presentano una scarsa matrice fine e risultano più cementati. L'età è riferibile al Pleistocene inferiore p.p. (biozona a *Globigerina cariacensis*).



Fig. 3 - Membro pelitico-sabbioso della *Formazione Mutignano* sulla sinistra idrografica del Fosso S. Martino



Fig. 4 - Affioramento del membro pelitico-sabbioso sulla sommità di Colle Quatrino.

I membri della *Formazione Mutignano* sono riferibili ad ambienti marini che vanno dall'*offshore* allo *shoreface* (Fig. 5) e la loro organizzazione verticale (Fig. 6) testimonia chiaramente la fase di progradazione degli ambienti deposizionali verso le aree bacinali, con tendenza al colmamento del depocentro plio-pleistocenico.

### 2.3.2 Depositi continentali del Quaternario

- In discordanza sul basamento pelitico-sabbioso della *Formazione Mutignano* sono stati inoltre rilevati (Carta Geologica allegata) i seguenti depositi continentali quaternari riferibili a meccanismi genetici e ad ambienti deposizionali diversi.
- Coltri eluvio-colluviali (Olocene). Il substrato pelitico-sabbioso è frequentemente ricoperto da coltri colluviali piuttosto estese sui versanti meno acclivi. Le modalità di

sedimentazione possono essere riferite, a seconda delle contestuali condizioni climatiche, o ad un deposito "grano a grano" di tipo eolico, oppure ad un accumulo sui pendii e nelle aree di compluvio ad opera delle acque di ruscellamento superficiale che trasportano i materiali a grana fine e finissima provenienti dal progressivo smantellamento superficiale dei versanti stessi. Appare verosimile che le coltri colluviali, soprattutto quelle più estese e di maggiore spessore, si siano accumulate in fasi successive, intervallate da periodi di stasi e di relativa pedogenesi. Lo spessore delle coltri, in relazione alle vicende e modalità deposizionali e naturalmente alla configurazione morfologica della superficie del substrato, può variare da alcuni metri fino ad oltre 20 metri. La litologia è caratterizzata da limi argillosi e limi sabbiosi di colore da avana a bruno che possono talora inglobare piccoli frammenti relitti delle rocce pelitiche del basamento e noduli concrezionari calcitici. Nella Carta Geologica allegata sono state cartografate solo le coltri colluviali che, sulla base del rilevamento geologico e dei dati disponibili di sondaggi geognostici, superano verosimilmente lo spessore di 3-4 metri.

- Depositi detritici di versante (Olocene). Sulle pendici nord-orientali di Montepagano (limite meridionale della Riserva) è presente una coltre detritica di versante originatasi per l'accumulo, al di sopra del substrato pelitico-sabbioso morfologicamente caratterizzato da una forte irregolarità, e forse in più fasi deposizionali, di materiale detritico proveniente dal progressivo smantellamento della placca costituita dai depositi sabbioso-conglomeratici di chiusura del ciclo sedimentario marino, presente sulla sommità della stretta dorsale su cui sorge l'abitato di Montepagano. La litologia del deposito è caratterizzata da una matrice essenzialmente sabbioso-limosa in cui sono immersi ciottoli eterometrici calcarei e, subordinatamente, arenacei. In alcune sezioni artificiali è stato possibile osservare che il deposito sabbioso-ciottoloso passa lateralmente a limi argillosi grigio-chiari, notevolmente alterati, con superfici ossidate, materiale organico e rari inclusi ciottoli calcarei anche di 15-20 cm di diametro. Questi corpi limoso-argillosi alterati possono essere verosimilmente interpretati come antichi corpi di frana, attualmente stabilizzati, riferibili ad antichi lenti fenomeni di scorrimenti traslativi che hanno coinvolto la parte più superficiale ed alterata del basamento pelitico-sabbioso, e successivamente ricoperti dal materiale sabbioso-ciottoloso proveniente dalla demolizione della placca sovrastante.
- Depositi alluvionali recenti ed attuali e depositi deltizi (Olocene). I sedimenti alluvionali recenti ed attuali ed i depositi deltizi sono presenti nel tratto terminale dell'area golenale del F. Tordino e naturalmente nell'apparato di foce. Litologicamente sono

costituiti da ciottoli eterometrici (da ghiaie sottili fino a blocchi) di natura prevalentemente calcarea, subordinatamente arenacea e conglomeratica, tra i quali s'interpone una frazione più fina a grana sabbiosa. Depositi alluvionali recenti ed attuali, di estensione e spessore poco significativi, sono presenti anche nel basso corso del T. Borsacchio. In prossimità delle foci fluviali, ai materiali essenzialmente ghiaiosi e ghiaioso-sabbiosi, si intercalano strati e corpi lentiformi più o meno spessi ed estesi di sabbie e limi.

- Sedimenti attuali e recenti della piana costiera (Olocene). La stretta fascia costiera è costituita da sedimenti prevalentemente sabbiosi a tratti ghiaioso-sabbiosi o ghiaiosi della spiaggia attuale, ai quali in profondità si intercalano livelli e lenti di limi sabbiosi e/o argillosi, e da sabbie a grana fina in corrispondenza delle aree dove un tempo erano presenti le dune costiere. Tra la spiaggia attuale e la base dei retrostanti versanti collinari, i sedimenti sono essenzialmente sabbiosi e sabbioso-limosi, con a luoghi depositi limoso-sabbiosi e/o limoso-argillosi, verosimilmente riferibili ad ambienti di paludi costiere.

#### **1.4. Assetto tettonico**

L'area della Riserva è caratterizzata, come già accennato, da un generale assetto tettonico a monoclinale del basamento pelitico-sabbioso della *Formazione Mutignano*, con immersione degli strati tra E e NE ed inclinazioni variabili dai 10° ai 20°.

L'assetto strutturale è il risultato della tettonica polifasica che ha agito fino al Pleistocene superiore, la quale ha progressivamente e continuamente basculato verso ENE la fascia periadriatica, della quale l'area in studio fa parte, ed ha dato origine a sistemi di faglie che suddividono la fascia stessa in un insieme di blocchi caratterizzati da prevalenti movimenti verticali.

Sono stati individuati tre sistemi principali di faglie distensive quaternarie con direttrici all'incirca N-S, NW-SE ed E-W (Carta Geologica allegata). I piani di faglia non sono direttamente osservabili sul terreno ed il loro carattere cinematico può essere tentativamente ricostruito solo su basi stratimetriche e morfostrutturali.

- Il primo sistema a direzione all'incirca nord-sud, collegato alla dorsale Campomare che corrisponde alla piega frontale di un thrust profondo (*Struttura Costiera Thrust Front*), borda la piana costiera ed è ubicato alla base del versante collinare, dove ha favorito nel passato l'innescio di fenomeni gravitativi.
- Il sistema ad andamento appenninico (all'incirca NW-SE) è stato ipotizzato lungo gli

allineamenti Montepagano – Cologna, sulla base della probabile corrispondenza tra creste e sistemi di faglie e fratturazioni. Le creste collinari allungate fra Montepagano e Cologna dovrebbero cioè coincidere con la direzione del sistema di fratturazione parallelo al versante.

- Il sistema ad andamento all'incirca est-ovest, infine, è stato rilevato lungo alcuni tratti del Fosso della Macciotta, del T. Borsacchio e del fosso di Colle Quatrino.
- Un dato di sicuro interesse, che è emerso dal rilevamento di campagna, è che le faglie dei sistemi ad andamento appenninico ed est-ovest hanno verosimilmente condizionato l'andamento del reticolo idrografico dei corsi d'acqua principali e risultano pertanto paralleli alla direzione dei versanti interessati da morfologie calanchive, presenti sulla sinistra idrografica esposta a meridione.

Ai vari sistemi di faglie dirette, infine, sono da attribuire i sistemi di fratturazione diversamente orientati, con superfici frequentemente ossidate, osservati nel basamento pelitico-sabbioso.

### **1.5. Storia geologica**

- L'esame dei dati di letteratura relativi alle formazioni geologiche affioranti nella fascia periadriatica, ed in particolare l'analisi stratigrafica e strutturale della successione plio-pleistocenica presente nell'area in studio, consente la ricostruzione dell'evoluzione morfodinamica del territorio della Riserva, le cui tappe fondamentali, inquadrabili nel più generale fenomeno della migrazione verso oriente del sistema orogenico catena-avanfossa-avampaese, possono essere così brevemente schematizzate.
- Alla fine del Pliocene inferiore, nel quadro della progressiva migrazione verso l'adriatico delle deformazioni tettoniche compressive, a seguito della strutturazione in catena del più occidentale ed antico bacino del Cellino, lungo la fascia periadriatica si ha la formazione di un "bacino satellite" e dell'avanfossa adriatica nel settore esterno più orientale. Al di sopra delle torbiditi silicoclastiche di avanfossa della *Formazione Cellino* del Pliocene inferiore, si ha pertanto la trasgressione e la sedimentazione, nel suddetto "bacino satellite", della successione pelitico-sabbiosa della *Formazione Mutignano*, nell'intervallo Pliocene medio/superiore - Pleistocene basale. La fisiografia del bacino è piuttosto articolata a causa della presenza di sistemi di faglie diversamente orientate che frammentano il bacino stesso in una serie di depressioni minori caratterizzate da subsidenza differenziata. La tettonica sinsedimentaria condiziona non solo la fisiografia del bacino ma anche la dinamica deposizionale, come testimoniano la

presenza, nella *Formazione Mutignano*, di variazioni di facies e di spessore, nonché di discordanze angolari nelle sequenze sedimentarie, queste ultime evidenziate anche dal rilevamento geologico.

- Nel Pliocene superiore - Pleistocene basale inizia la regressione del mare verso oriente, e continua la graduale colmatazione del “bacino satellite” con la deposizione dei membri pelitico (FMTa) e pelitico-sabbioso (FMTc) della *Formazione Mutignano*, che si completa alla fine del Pleistocene inferiore con la sedimentazione del deposito sabbioso-conglomeratico (FMTd), di chiara natura regressiva e riferibile ad un ambiente ormai francamente costiero. Come già accennato, infatti, i membri della *Formazione Mutignano* sono riferibili ad ambienti marini che vanno da quello neritico (*offshore*) all’ambiente litorale (*shoreface*) e la loro organizzazione verticale testimonia inequivocabilmente la fase di progradazione dell’ambiente deposizionale verso l’area bacinale, con tendenza al colmamento del depocentro plio-pleistocenico (Figg. 5 e 6).
- A partire dal Pleistocene basale, l’attività tettonica polifasica, che si esplica fino al Pleistocene superiore sia con la riattivazione in senso normale di sistemi di discontinuità più antichi sia con faglie dirette di neoformazione, determina il progressivo e continuo basculamento verso ENE della fascia periadriatica, e quindi dell’area di interesse, ed origina sistemi di faglie che suddividono la fascia stessa in un insieme di blocchi interessati da prevalenti movimenti verticali a differente tasso di sollevamento, caratterizzati quindi da una diversa energia del rilievo.
- A partire dal Pleistocene medio, l’area in esame emerge definitivamente, continuano i movimenti di sollevamento che innalzano i depositi costieri di chiusura della successione sedimentaria marina fino alla quota di oltre 200 metri s.l.m., si hanno varie fasi erosive e fenomeni gravitativi in relazione all’alternarsi delle fasi climatiche, e la paleolinea di costa, sempre in generale regressione verso oriente, tende a migrare verso la posizione attuale.
- Dopo le ultime fasi fredde del Pleistocene superiore, infine, le mutate condizioni climatiche favoriscono una nuova fase erosiva che porta prima allo smantellamento di gran parte dei depositi sabbioso-conglomeratici di tetto, che permangono solo sulla stretta dorsale di Montepagano sul limite meridionale della Riserva, e dopo, quando affiora il substrato pelitico-sabbioso maggiormente erodibile, si ha un rapido approfondimento per erosione lineare di tutto il sistema idrografico ed inizia la prima incisione dei reticoli calanchivi. Anche la linea di riva, la cui dinamica è sempre condizionata dalla complessa interazione tra sollevamento tettonico, variazioni eustatiche del livello marino e variazioni di portata solida dei corsi d’acqua, queste ultime

connesse alle oscillazioni climatiche, dopo alterne fasi di erosione e deposito, cioè di arretramento e di avanzamento, raggiunge una posizione prossima a quella attuale.

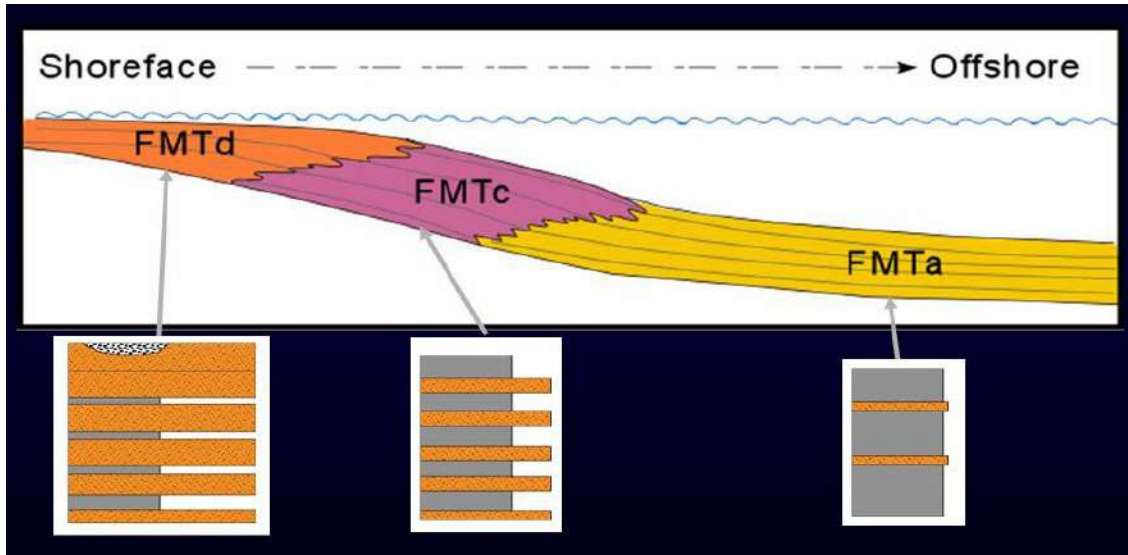


Fig. 5 – Sezione schematica di un sistema deposizionale progradante verso il bacino, applicabile all'area in studio. I membri della *Formazione Mutignano* (FMTd, FMTc, FMTa) sono riferibili ad un ambiente marino variabile da *shoreface* ad *offshore*.

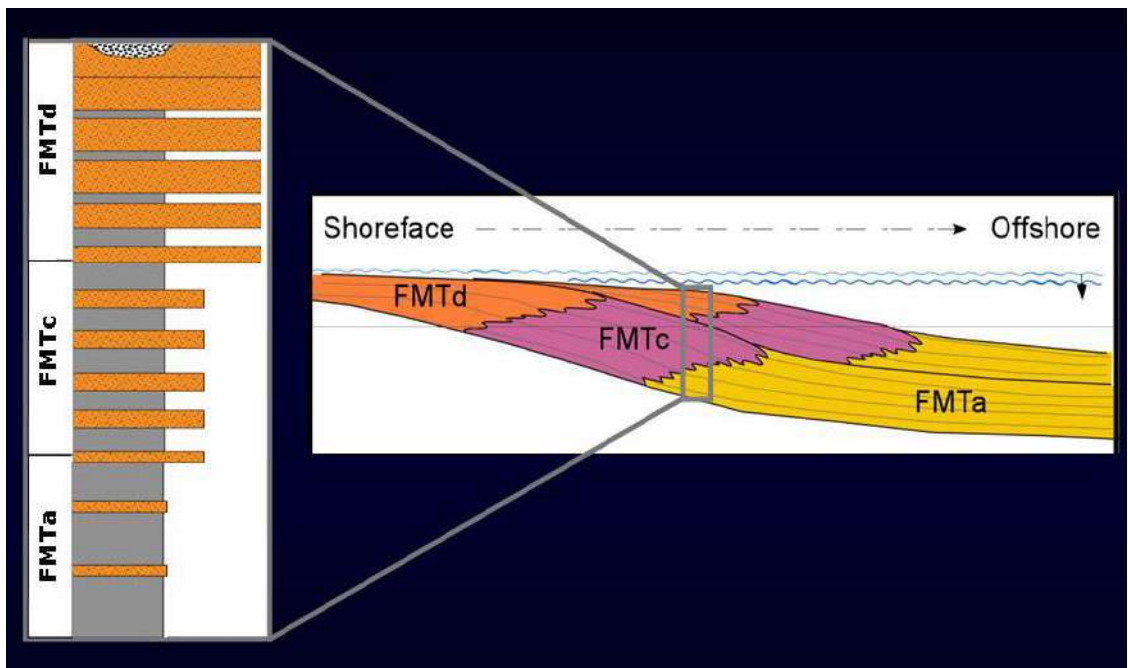


Fig. 6 – L'organizzazione verticale dei membri della *Formazione Mutignano* (FMTa, FMTc, FMTd) indica un trend interpretabile come una fase plio-pleistocenica di progradazione dell'ambiente deposizionale verso l'area bacinale.



## **2. GEOMORFOLOGIA**

Il paesaggio geomorfologico della Riserva Naturale del Borsacchio, caratterizzato da scenari di notevole bellezza e di sicuro interesse turistico, è il risultato dell'azione erosiva delle acque di ruscellamento superficiale che, dopo l'emersione ed il sollevamento tettonico pleistocenico dei depositi marini, favorita da una certa energia del rilievo e da condizioni climatiche più umide rispetto a quelle precedenti più aride, ha iniziato a modellare gli originari rilievi collinari pelitico-sabbiosi e sabbioso-conglomeratici plio-pleistocenici, dando luogo nel tempo, assieme ai fenomeni gravitativi, alle attuali spettacolari forme del paesaggio.

Qui di seguito, dopo una breve sintesi delle condizioni climatiche ed idrologiche dell'area in studio, saranno analizzati i principali processi morfogenetici in atto, con particolare riferimento ai fenomeni franosi. Quindi, dopo una breve illustrazione dello stato delle conoscenze scientifiche sulla morfogenesi calanchiva, sulla base della caratterizzazione fisica e mineralogica del basamento pelitico-sabbioso e delle conoscenze lito-strutturali acquisite, saranno individuati i fattori principali che hanno determinato e determinano tuttora la formazione e lo sviluppo dei calanchi della Riserva.

### **2.1. Condizioni climatiche ed idrologiche**

- L'area in studio è caratterizzata da un clima mediterraneo con temperature invernali leggermente più rigide rispetto a quelle osservabili sul versante tirrenico, alla stessa latitudine: la temperatura media del trimestre più freddo è di circa 7°, mentre quella del trimestre estivo è di circa 24°.
- Le acque meteoriche di deflusso superficiale alimentano quasi esclusivamente i piccoli bacini che si sviluppano per intero nel territorio della Riserva, quali il bacino del Torrente Borsacchio e quello del Fosso S. Martino. Solo due porzioni di territorio di modestissima estensione, poste agli estremi della Riserva, alimentano il F.Tordino a nord ed il Fosso Padune, ai piedi di Colle Quatrino, a sud.
- I principali parametri idrologici del territorio in esame, fondamentali per stimare la quantità d'acqua meteorica che va a costituire il deflusso idrico superficiale e l'alimentazione naturale dei corpi idrici sotterranei, sono stati definiti sulla base dei dati desunti dagli annali idrografici editi dal Servizio Idrografico dello Stato, sezione di Pescara. I dati pluviometrici, relativi al periodo 1946 – 2000, si riferiscono alla stazione pluviometrica ubicata in località Solagne, proprio nell'area

della Riserva del Borsacchio.

- I parametri definiti possono essere così brevemente sintetizzati:
- Il valore medio delle precipitazioni (P), relativo al periodo 1946 – 2000, risulta di 680 mm annui.
- La temperatura media annua (T), calcolata dal gradiente termico della zona, è di 16,3 °C.
- Il valore dell'evapotraspirazione reale media (ET), calcolata con il metodo di Turc, risulta di 570 mm.
- Il valore medio annuo della Precipitazione efficace (PE), calcolata come differenza tra il valore di precipitazione P e quello di evapotraspirazione ET, è di 110 mm.
- Il regime delle precipitazioni è caratterizzato da una piovosità di 680 mm annui distribuiti in 70 giorni piovosi, e quindi con un'intensità media di quasi 10 mm per giorno piovoso.
- Le precipitazioni sono concentrate nel semestre autunnale - invernale, con massimi nei mesi di ottobre (79 mm) e di dicembre (75 mm).
- La stagione secca estiva mostra valori di precipitazione media di 35 mm (30 mm a luglio e 40 mm ad agosto).

Le condizioni climatiche e pluviometriche descritte, in particolare la presenza di una lunga stagione secca, favoriscono l'aridità del suolo ed il conseguente fenomeno della fessurazione superficiale dei terreni argilloso-sabbiosi, in particolare di quelli esposti verso i quadranti meridionali e quindi sottoposti a maggiore insolazione. La fessurazione, che in genere non sembra superare la profondità di 70 -100 cm dal piano di campagna, facilita i processi erosivi superficiali da parte delle acque di ruscellamento.

### **2.3.3 I laghetti collinari**

Il naturale reticolo idrografico della Riserva del Borsacchio, e quindi l'originario deflusso delle acque meteoriche, è stato nel tempo significativamente modificato dagli interventi antropici, in particolare dalla realizzazione di numerosi (circa una decina) laghetti collinari quasi esclusivamente nel bacino del Torrente Borsacchio ed in particolare nei suoi affluenti di destra. Alcuni interventi edificatori ed infrastrutturali realizzati in corrispondenza dei compluvi naturali, inoltre, non sempre sono stati accompagnati da adeguate opere di raccolta e smaltimento delle acque di deflusso superficiale.

Gli invasi artificiali presenti nel bacino del Borsacchio (5 ubicati in destra e 2 in sinistra idrografica) e l'invaso di Fosso Padune alla base del versante meridionale di Colle Quatrino (Fig. 7), presentano uno sbarramento alto, in genere, una decina di metri ed il

volume degli invasi si aggira intorno ai 40.000 – 50.000 m<sup>3</sup>.



Fig. 7 – Ubicazione degli invasi artificiali nel bacino del Torrente Borsacchio (dal n. 1 al n. 7) e sul Fosso Padune, ai piedi del versante meridionale di Colle Quatrino (invaso n. 8).

- Tali dati fanno riferimento ai progetti depositati negli anni '50 – '60 del secolo scorso presso l'ex Genio Civile di Teramo; solo qualche vaso manca di progetto.
- I laghetti collinari, tutti di proprietà privata, appartengono alla categoria di invasi minori (altezza dello sbarramento non superiore a 15 m ed invaso non superiore a 1.000.000 di m<sup>3</sup>) e verosimilmente sono ancora di competenza della Regione Abruzzo, anche se è in fase di perfezionamento la delega di trasferimento di tale competenza amministrativa dalla Regione alle Province. I suddetti invasi artificiali, almeno a quanto risulta allo scrivente, non sono mai stati collaudati.

Adottando una metodologia già sperimentata in alcune altre regioni italiane, la quale attraverso l'applicazione di una matrice di incrocio dei dati relativi alla volumetria degli invasi artificiali ed alla presenza a valle degli sbarramenti di aree con elementi in situazioni di rischio potenziale (agglomerati urbani, edifici residenziali, insediamenti produttivi, infrastrutture a rete o puntuali, altre opere di interesse pubblico, attività agricole, ecc.) attribuisce ad ogni singolo vaso, in caso di un eventuale collasso dello sbarramento, una potenziale classe di rischio (nullo, moderato, elevato, molto elevato), si ha, in riferimento agli invasi collinari in esame, una situazione di "rischio molto elevato" nel caso dell'invaso n. 1 (Fig. 7), e situazioni di "rischio moderato" nel caso degli invasi n. 3, 4, 5, 6, 7, 8 (Fig. 7).

Nel caso n. 1 (Fig. 8), e cioè quello relativo all'invaso artificiale di proprietà De Benedictis – Sorgentone, caratterizzato da un'altezza dello sbarramento pari a 10 m e da un volume d'acqua di circa 40.000 m<sup>3</sup>, gli elementi esposti al rischio sarebbero soprattutto edifici residenziali ed infrastrutture ubicati appena a valle dello sbarramento, negli altri casi, invece, il principale elemento a rischio è rappresentato essenzialmente dall'attività agricola.

Emerge con evidenza, da quanto appena detto, la necessità di affrontare il problema della sicurezza idrologica nell'area della Riserva del Borsacchio, così come andrebbe fatto nelle analoghe situazioni presenti nella restante fascia collinare abruzzese, attraverso una verifica delle condizioni di stabilità dell'insieme terreno di imposta – opera di sbarramento ed un'indagine sulle sezioni di sbarramento per il controllo della tenuta idraulica.

E' il caso di ricordare, infatti, che un'errata valutazione della permeabilità dei terreni di imposta e/o un inadeguato intervento di impermeabilizzazione possono determinare la rovina dell'opera con conseguenze catastrofiche. Le acque che s'infiltrano attraverso il terreno di fondazione di uno sbarramento possono provocare il crollo dello stesso sia per effetto delle sottopressioni sia in conseguenza dell'erosione progressiva per dilavamento delle fratture e dei pori presenti nel terreno.



Fig. 8 – Invaso collinare n. 1, il più vicino alla fascia costiera, con altezza dello sbarramento pari a 10 m e volume d'acqua di circa 40.000 m<sup>3</sup>.

## 2.4 Fenomeni gravitativi

- I processi morfogenetici in atto nel territorio della Riserva del Borsacchio (vedere Carta Geomorfologica allegata) sono essenzialmente riconducibili a fenomeni gravitativi antichi, quiescenti o ancora in atto, ed a processi erosivi dovuti alle acque correnti superficiali le quali, attraverso azioni di dilavamento diffuso e/o concentrato, hanno prodotto numerosi fossi più o meno incisi, ed il reticolo idrografico, a causa della scarsa permeabilità e della facile erodibilità del substrato argilloso-sabbioso, si presenta abbastanza fitto e gerarchizzato.
- La morfogenesi calanchiva, che sarà adeguatamente esaminata più avanti, rappresenta senz'altro il processo erosivo in atto maggiormente sviluppato e di interesse paesaggistico.
- Nel territorio in esame sono presenti fenomeni franosi di diversa tipologia ed estensione, avvenuti nel passato e tuttora in atto sui pendii, che costituiscono diffuse condizioni di rischio geologico. La loro distribuzione è strettamente legata alle condizioni litologiche e morfologiche dei versanti, allo stadio di evoluzione

geomorfologica raggiunto nelle diverse zone, e talora agli interventi antropici.

- Le principali tipologie dei fenomeni franosi rilevati sono qui di seguito illustrate.

#### **2.4.1 Deformazioni lente di versante**

Presenti su aree piuttosto estese e continue sui versanti meno acclivi, questi fenomeni gravitativi, molto diffusi nell'area della Riserva, impercettibili all'osservazione diretta, e non accertabili in tempi brevi, sono noti in letteratura come *Deformazioni lente di versante*.

- Consistono in particolari, lentissimi movimenti traslativi di coltri eluvio-colluviali di natura limoso-argillosa, che ricoprono il basamento pleistocenico pelitico-sabbioso con spessori generalmente variabili da alcuni metri fino ad oltre 20 metri. Queste coltri presentano sottili livelli interpretabili come paleosuoli, testimoniando fasi successive di accumulo intervallate da periodi di stasi e di relativa pedogenesi.
- I movimenti interessano generalmente ampi tratti di versante, senza confini precisi e senza le tipiche evidenze morfologiche che di solito accompagnano i movimenti franosi sui pendii argilloso-sabbiosi quali: nicchie di distacco, fessure di trazione, contropendenze del versante. Unica manifestazione sul pendio sono le ampie e blande ondulazioni, allungate perpendicolarmente alla linea di massima pendenza, non sempre facilmente interpretabili.
- Le coltri colluviali si muovono sul basamento pelitico verso il fondovalle con velocità molto lente (circa 1-2 cm/anno) e la superficie di scorrimento si sviluppa verosimilmente all'interno della porzione più alterata del substrato, in genere poco al di sotto del letto della coltre colluviale. Lo spessore della massa in movimento varia quindi da alcuni metri fino ad oltre 20 metri.
- I movimenti, governati dai valori residui della resistenza al taglio dei terreni e dalle variazioni delle pressioni neutre nel sottosuolo, hanno carattere di stagionalità e sono in diretto rapporto con le variazioni del livello piezometrico della falda idrica presente nel sottosuolo e quindi con l'andamento delle precipitazioni meteoriche. Essi si arrestano totalmente anche per lunghi periodi di tempo (anche oltre un anno), e si verificano presumibilmente in occasione di periodi di prolungata piovosità e quasi mai in occasione di piogge intense ma di breve durata.
- L'esistenza di tali particolari fenomeni gravitativi può essere accertata, con sicurezza, solo con specifiche e lunghe indagini strumentali in situ. Essendo stata però riconosciuta, in studi compiuti in bacini limitrofi all'area in esame (BERTINI, 1987;

BERTINI *et alii*, 1980; 1984a; 1984b; 1986; 1987), una costante correlazione tra l'esistenza dei movimenti lenti ed i particolari caratteri geomorfologici dei bacini, poiché questi nel territorio collinare della Riserva del Borsacchio si ripetono con una certa frequenza, appare allora possibile ipotizzare la presenza di *deformazioni lente di versante* e quindi di situazioni di rischio geologico, anche in quei bacini che presentano caratteristiche geomorfologiche simili.

Tali caratteri, ben riconoscibili, possono essere così sintetizzati:

- I bacini hanno in genere una superficie inferiore ai 10 km<sup>2</sup> ed i relativi corsi d'acqua presentano una pendenza d'asta abbastanza elevata.
- La sezione trasversale delle valli presenta una marcata asimmetria.
- I versanti rivolti ad ENE ed a NE, quelli cioè costituiti dalle coltri colluviali e su cui hanno sede i movimenti lenti, sono generalmente continui, uniformi ed a debole inclinazione (10°-15°).
- I versanti opposti rivolti ad WSW ed a SW, dove affiora direttamente il basamento argilloso-sabbioso, presentano invece inclinazioni piuttosto accentuate (circa 30° - 35°) e sono spesso interessati da vistose forme calanchive.
- Nella Carta Geomorfologica allegata, inoltre, le aree che, pur non possedendo tutti i caratteri geomorfologici sopra descritti, sono tuttavia interessate da coltri colluviali e da ondulazioni del versante che fanno temere la presenza di movimenti lenti, pur con limiti incerti, sono state cartografate come "*Aree interessate da possibili deformazioni lente di versante*".
- Mentre nel passato, data la velocità estremamente bassa, le *deformazioni lente di versante* non hanno mai veramente condizionato l'attività antropica, che comunque in queste zone della Riserva è essenzialmente agricola, oggi tuttavia, tali fenomeni non possono essere sottovalutati nell'ambito della pianificazione territoriale, in quanto il perdurare nel tempo dei movimenti può significativamente compromettere la stabilità di infrastrutture ed edifici.

Un deciso aumento del coefficiente di sicurezza di un versante interessato da tali particolari fenomeni gravitativi, d'altronde, rappresenta un obiettivo molto difficile da conseguire sia per l'elevato volume della singola coltre colluviale sia per le difficoltà di intervenire in modo non empirico sul regime delle pressioni neutre a causa della complessità e quindi della non facile accertabilità del regime idraulico del sottosuolo (BERTINI *et alii*, 1986).



## **2.4.2 Scorrimenti traslativi e scorrimenti rotazionali**

Queste tipologie di fenomeni franosi risultano, nel territorio in esame, non molto diffuse e generalmente di contenute dimensioni areali; talora, addirittura, per le ridottissime dimensioni non sono cartografabili.

Gli *scorrimenti traslativi (rock-slide)* consistono in uno scivolamento del materiale coinvolto lungo una superficie di discontinuità tra la coltre detritica ed il basamento oppure lungo una superficie di contatto posta tra il substrato pelitico integro e la porzione alterata e degradata della formazione stessa. Il movimento avviene generalmente con velocità da lenta a moderata e nella direzione della linea di massima pendenza.

I fenomeni di *scorrimento rotazionale (rock-slump)*, invece, consistono in movimenti rotazionali lungo superfici di forma arcuata e con la concavità rivolta verso l'alto, che interessano il substrato argilloso-marnoso a prevalente comportamento plastico. Talora si manifestano con la retrogressione di un singolo fenomeno e si compongono di più blocchi caratterizzati da superfici di scorrimento, sempre curve e concave verso l'alto, raccordantisi in profondità ed anch'esse sviluppate all'interno della parte più alterata e degradata del basamento pelitico.

I fenomeni gravitativi rilevati presentano: scarpate di distacco arcuate, in genere moderatamente ampie e profonde, talora originate dalla coalescenza di più scarpate contigue e con fessure di trazione a monte delle scarpate stesse, cumuli di frana alle quote più basse, ancora in lento movimento lungo i pendii e spesso interessati da ondulazioni più o meno ampie e profonde. Lo spessore di terreno coinvolto è variabile, e in ogni caso non supera verosimilmente la decina di metri.

Le cause determinanti tali fenomeni franosi sono da ricercare essenzialmente nelle acque di infiltrazione di origine meteorica e, talora, negli interventi antropici sui versanti che determinano improvvisi incrementi degli sforzi di taglio quali: scavi di trincee, sbancamenti, appesantimenti dei versanti. Il primo movimento si verifica nelle argille marnose basali sovraconsolidate e si sviluppa poi verso monte con meccanismi di rottura progressiva, provocando movimenti anche nella parte superiore del versante.

### **2.2.1. Colamenti**

Consistono in colate plastico-fluide di limo sabbioso saturo (*wet silt flow*), a carattere superficiale, piuttosto rare nell'area in esame, nonché di ridottissime dimensioni e quindi non cartografabili. Sono osservabili all'interno di alcuni stretti ed allungati solchi calanchivi, ed in pochissime altre zone dell'area studiata.

Sulle pendici nord-orientali di Montepagano, nell'estremo settore

meridionale della Riserva, inoltre, è presente un'area costituita da depositi detritici di versante, rappresentata nella Carta Geomorfologica allegata come "*Area interessata in passato da probabili lenti scorrimenti traslativi della coltre detritica, attualmente stabile*".

Alcuni elementi morfologici appena riconoscibili (antiche nicchie di distacco, ripiani, deboli ondulazioni, ecc.) e l'assetto litologico del deposito, infatti, fanno ritenere che in epoche passate tale versante, oggi apparentemente stabile, sia stato sottoposto a fenomeni gravitativi. La segnalazione di tale area si è resa necessaria in quanto, nonostante l'assenza di indizi di movimenti in atto e le apparenti condizioni di stabilità, tuttavia la storia geomorfologica del versante, le rilevate variazioni laterali della litologia e la complessità del regime idraulico del sottosuolo (profondità della superficie piezometrica della falda variabile da -1,5 a - 18 m dal p.c.), consigliano, in caso di intervento in tale area, un'approfondita ed adeguata indagine geognostica e geotecnica.

### **2.2.2. Deformazione Gravitativa Profonda di Versante**

I dati geologici e geomorfologici disponibili consentono di ipotizzare la presenza, nell'area di Colle Quatrino (settore sud-orientale della Riserva), di un fenomeno franoso profondo e di vaste dimensioni, riferibile ad una *Deformazione Gravitativa Profonda di Versante* (DGPV).

In questa zona, lungo il Fosso Padune, alla base del calanco di Colle Quatrino, appena a monte della Fornace Diodoro, affiora il substrato pelitico pleistocenico con giacitura degli strati ad immersione verso NE ed inclinazione di circa 10°; poco a valle, verso est, la giacitura degli strati assume bruscamente un'immersione verso SW ed un'inclinazione intorno a 50°.

Lungo la superficie di taglio che separa le due zone sono presenti fratturazioni con evidenti superfici levigate ed ossidate, aventi direzione N-S ed immersione ad est con inclinazione di circa 80°, verosimilmente legate al sistema di faglie distensive quaternarie ad andamento meridiano.

Sulla dorsale di Colle Quatrino, infine, si possono osservare alcune morfologie tipo ripiani, verosimilmente riferibili a trincee parallele alla costa, di cui una abbastanza evidente ed ancora parzialmente aperta, proprio sulla sommità del Colle (Fig. 9).

Il quadro geologico e geomorfologico d'insieme, in particolare la presenza di trincee a monte, la evidente, decisa rotazione, nella parte basale del versante, di grosse porzioni del basamento pelitico, ed il ritrovamento in due sondaggi geognostici profondi lungo la fascia

costiera dell'abitato di Roseto, di sedimenti marini ghiaioso-sabbiosi recenti al di sotto del basamento pelitico pleistocenico, consentono di attribuire, l'attuale assetto morfologico strutturale di questa zona, ad un vasto e profondo movimento franoso che in epoche remote avrebbe interessato questo settore collinare costiero.

Tutta la zona collinare di Colle Quatrino appare comunque oggi in condizioni di stabilità, ad eccezione di alcuni tratti interessati attualmente da *deformazioni lente di versante*, riferibili alla più recente evoluzione geomorfologica dei pendii.

Un'altra area, ancora più vasta ed anch'essa probabilmente interessata da una DGPV, è posta immediatamente a sud di Colle Quatrino, al di fuori dell'area della Riserva, e comprende l'ampio anfiteatro morfologico, esteso in lunghezza circa 2 km, che da appena ad est di Montepagano digrada verso la piana costiera.

Le cause, che verosimilmente hanno favorito nel passato l'insorgere della *Deformazione Gravitativa Profonda di Versante*, possono essere così riassunte.

- Il recente sollevamento tettonico della dorsale di Campomare, che ha determinato la frammentazione in blocchi del basamento pelitico pleistocenico ad opera delle faglie distensive legate al sollevamento, ed ha portato ad un aumento dell'energia del rilievo con conseguente rapido approfondimento del reticolo idrografico.
- L'assetto strutturale, caratterizzato dal complessivo andamento a monoclinale del substrato, con immersione degli strati verso l'adriatico, e dal sistema di faglie dirette recenti ad andamento meridiano che bordano la piana costiera.
- Le caratteristiche litotecniche del substrato, e cioè la tendenza del basamento argilloso-marnoso sovraconsolidato alla rottura progressiva.
- Le variazioni climatiche ed eustatiche tardo-quadernarie, che in determinate epoche hanno favorito attivi processi di erosione marina costiera.
- La sismicità dell'area legata alla tettonica recente.

In conclusione, quindi, l'attività tettonica recente, verosimilmente in concomitanza con situazioni marine soggette alle note variazioni legate al glacialismo tardo-quadernario, ha probabilmente innescato e controllato lo sviluppo della *Deformazione Gravitativa Profonda di Versante*, favorita dai fattori litologici e strutturali.



Fig. 9 – Trincea aperta, parallela alla fascia costiera, sulla sommità di Colle Quatrino.

## 2.5 La morfogenesi calanchiva: stato delle conoscenze

I paesaggi calanchivi ben conservati possono costituire, dove il processo morfogenetico è molto sviluppato, dei “geomorfositi” di notevole interesse scientifico e didattico ma anche di richiamo turistico per la loro componente scenica.

Le morfologie calanchive, modellate essenzialmente sui terreni argilloso-sabbiosi plio-pleistocenici, costituiscono, per la loro notevole estensione (oltre 3 milioni di ettari, pari al 10% del territorio italiano), l’elemento morfologico-ambientale dominante la gran parte del sistema collinare argilloso subappenninico.

Nel nostro Paese esse risultano massimamente sviluppate sul margine appenninico padano-adriatico dall’Emilia Romagna fino al Gargano, oltrechè in Lucania ed in Toscana. In quest’ultima regione, in particolare nella provincia di Siena, interessanti e particolari forme di erosione caratterizzano il paesaggio collinare, laddove le argille presentano un bassissimo contenuto sabbioso ma sono ricche in sali. Si tratta delle cosiddette “biancane”, costituite da un insieme di collinette di forma mammellonare, alte solo alcuni metri e pressoché prive di vegetazione, le quali nei periodi asciutti, per effetto della capillarità, portano in superficie i sali contenuti negli strati argillosi più profondi, assumendo così un tipico aspetto biancastro.

Per quanto riguarda il problema dell’origine dei calanchi, vari Autori hanno individuato nel tempo, sulla base di indagini diverse (geografiche, geomorfologiche,

geologico-strutturali, geotecniche e mineralogiche), una molteplicità di fattori predisponenti o determinanti il fenomeno calanchivo, che possono essere così brevemente sintetizzati:

- presenza di un substrato argilloso con un discreto contenuto di sedimenti sabbioso-siltosi e con ben definiti caratteri mineralogici e fisico-meccanici;
- presenza di discontinuità strutturali (faglie e fratture) nel complesso formazionale, che favoriscono la genesi di pendii ripidi e quindi di un rapido deflusso con conseguente impostazione del reticolo di drenaggio;
- assetto giaciturale a reggipoggio degli strati della formazione argilloso-sabbiosa (versanti di testata di strato);
- versanti piuttosto ripidi preferenzialmente esposti verso i quadranti meridionali più soleggiati;
- condizioni climatiche caratterizzate da un lungo periodo secco e da un forte contrasto stagionale (umido/arido);
- esistenza di orizzonti meno erodibili alla sommità dei pendii e mancanza (o quasi) della copertura vegetale naturale per cause antropiche.

Valutare l'importanza che ogni singolo fattore sopra descritto ha nell'innescare e nello sviluppo del fenomeno calanchivo e nel mantenimento delle forme, stabilire cioè una sorta di ordine di importanza, è particolarmente difficile, se non impossibile, e lo dimostra il fatto che tale problematica è ancora oggetto di discussione scientifica in letteratura.

GUERRICCHIO & VALENTINI (1975), per esempio, sostengono che la presenza di un livello più resistente alla sommità di un versante argilloso, ostacolando la diminuzione dell'angolo di pendio, determina una maggiore acclività e quindi una maggiore predisposizione all'erosione lineare.

VITTORINI (1977; 1979), invece, considera l'acclività del versante argilloso non un fattore predisponente la formazione dei calanchi, ma piuttosto una conseguenza, mentre CASTIGLIONI (1979) attribuisce importanza all'esposizione dei versanti all'insolazione (a meridione) e/o alla giacitura degli strati: le forme calanchive si imposterebbero sui versanti a reggipoggio, più inclinati e soggetti ad erosione lineare e più resistenti ai fenomeni franosi.

Altri A.A. (RODOLFI & FRASCATI, 1979; MAZZANTI & RODOLFI, 1989) interpretano i

calanchi come "morfologie residuali" riferibili a precedenti condizioni climatiche di tipo arido. In quelle condizioni i calanchi si sarebbero sviluppati su tutti i versanti, comunque orientati; successivamente, le attuali condizioni climatiche più umide avrebbero causato

l'obliterazione dei calanchi sui versanti esposti a nord ed il mantenimento delle morfologie calanchive sui pendii esposti a meridione.

Uno stretto rapporto tra formazione dei calanchi da una parte e tettonica recente e frane che determinano ripide scarpate di neoformazione dall'altra, è stato ipotizzato in numerosi lavori da GUERRICCHIO & MELIDORO (1979a, 1979b; 1982), i quali attribuiscono lo sviluppo asimmetrico dei calanchi non all'esposizione dei versanti (fattore quindi non determinante), ma all'assetto strutturale, ed interpretano la mancanza della copertura vegetale come una conseguenza dell'erosione calanchiva.

Ancora, DRAMIS *et alii* (1982), sottolineano la complessità della morfogenesi calanchiva, in quanto essa è condizionata da molteplici fattori che, nel tempo e nello spazio, assumono importanza prevalente l'uno rispetto agli altri; SDAO *et alii* (1984), osservano che i calanchi si formano anche su pendii poco ripidi ed attribuiscono la minore o maggiore acclività a vari fattori quali quello mineralogico, granulometrico, geotecnico e climatico, mentre FARABOLLINI *et alii* (1992), evidenziano l'importanza delle caratteristiche meso e microstrutturali del substrato roccioso quali fattori condizionanti la morfologia calanchiva: esiste cioè una effettiva corrispondenza tra le creste degli anfiteatri calanchivi ed i sistemi di fratturazione.

DEL PRETE *et alii* (1994), infine, rilevano l'importanza della composizione granulometrica dei terreni interessati dalla morfogenesi calanchiva. Sarebbe cioè necessaria sia una notevole quantità di materiale finissimo, che può stare in sospensione anche se l'acqua ha una modesta capacità di trasporto, sia la presenza di materiale sabbioso-limoso che conferisce una certa capacità di abrasione.

## 2.6 Caratterizzazione fisica e mineralogica del substrato pelitico-sabbioso

Le conoscenze relative alle caratteristiche mineralogiche e fisiche del membro pelitico-sabbioso pleistocenico della *Formazione Mutignano* affiorante nel territorio della Riserva, qui di seguito brevemente sintetizzate, sono riferite essenzialmente ai dati di letteratura (ANSELMINI *et alii*, 1994; NISIO *et alii*, 1997) ed a numerosi dati provenienti da indagini geotecniche in situ e prove di laboratorio, eseguite nell'ambito di lavori professionali nel territorio comunale di Roseto degli Abruzzi.

### 2.6.1 Caratteri mineralogici

Sulla base dei risultati delle analisi di ANSELMINI *et alii* (1994), eseguite su campioni prelevati dal substrato pelitico-sabbioso plio-pleistocenico della *Formazione Mutignano* nei dintorni dell'abitato di Atri, e quindi significativi anche per l'area in studio, i caratteri mineralogici possono essere così sintetizzati (Tabella 1).

<i>Formazione Mutignano</i>	Calcite	Dolomite	Quarzo	Feldspati	Min. pesanti	Min. argillosi
Membro pelitico-sabbioso	32	13,2	13,2	4,3	3,8	33,5

Tabella 1 - Stima del contenuto (%) mineralogico di campioni argilloso-sabbiosi riferibili al membro pelitico-sabbioso della *Formazione Mutignano* provenienti dai dintorni dell'abitato di Atri (dai dati di Anselmi *et alii*, 1994).

Il quantitativo medio dei minerali inerti (66,5%) supera sempre quello dei minerali argillosi attivi (33,5%). Tra i minerali inerti prevale nettamente la calcite (32%), seguita, in ordine di abbondanza, dalla dolomite (13,2%) e dal quarzo (13,2%), quindi dai feldspati (4,3%) e dai minerali pesanti (3,8%).

Tra i minerali argillosi prevalgono le argille micacee a reticolo non espandibile: la illite (18,5%), infatti, risulta più abbondante della smectite (10%), mentre meno frequenti sono la clorite (2,8%) e la caolinite (2,2%).

La illite, a reticolo non espandibile e con un modesto grado di attività dovuta ad una limitata capacità di scambio ionico, si forma per alterazione delle miche e dei feldspati alcalini in ambiente alcalino; le smectiti invece, essenzialmente rappresentate dalle montmorilloniti (argille espandibili in quanto possono assumere o cedere acqua aumentando lo spessore del minerale da circa 10 a 18 angstrom), hanno un'alta capacità di scambio cationico e si formano sempre in ambiente alcalino per alterazione di rocce silicatiche basiche ricche di Ca e Mg e con un basso contenuto in K.

La clorite non è espandibile e la capacità di scambio cationico è pressoché uguale a

quella delle illiti, mentre la caolinite non contiene cationi interscambiabili e si forma per degradazione dei feldspati alcalini in ambiente acido.

Anche le analisi mineralogiche e chimiche di NISIO *et alii*, 1997, eseguite sui campioni pelitico-sabbiosi provenienti dalla *Formazione Mutignano* e riferibili alle varie tipologie di calanchi (calanchi di *tipo A*, di *tipo B*, e di *tipo C*, come si vedrà in seguito) danno risultati più o meno simili. Nella Tabella 2 sono riportati i dati mineralogici relativi ai calanchi di *tipo A* e di *tipo B* che sono quelli presenti nell'area in studio.

Calanco	Calcite	Dolomite	Quarzo	Feldspati	Min. pesanti	Min. argillosi
<i>tipo A</i>	26,9	14,8	13,1	3,6	2,0	39,6
<i>tipo B</i>	23,9	13,3	13,7	3,3	2,2	43,6

Tabella 2 - Stima del contenuto mineralogico di campioni argilloso-sabbiosi provenienti dai calanchi di *tipo A* e di *tipo B*, impostatisi sul membro pelitico-sabbioso della *Formazione Mutignano* (dai dati di Nisio *et alii*, 1997).

Ancora una volta si rileva che il quantitativo medio dei minerali inerti (60,4 % e 56,4%) supera sempre quello dei minerali argillosi attivi (rispettivamente 39,6% e 43,6%), e tra i primi prevale sempre la calcite (variabile dal 23,9% al 26,9 %).

Il contenuto in minerali argillosi aumenta nei calanchi di *tipo B*, contrariamente al contenuto in carbonati che è maggiore nei calanchi di *tipo A*. Tra i minerali argillosi prevalgono sempre l'illite e la smectite, mentre meno frequenti sono la clorite e la caolinite.

## 2.6.2 Caratteristiche fisiche

Le caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni in esame sono legate in parte alla natura e costituzione della successione pleistocenica originaria, in parte alle modifiche subite per effetto degli agenti atmosferici e dello scarico dello stato di coazione, testimoniate sia dalla presenza di discontinuità indotte (fratture e fessure) variamente aperte e spaziate sia dal vario grado di ammorbidimento e di alterazione del substrato pelitico-sabbioso.

Per quanto riguarda la definizione quantitativa delle caratteristiche fisiche, vengono sintetizzati qui di seguito (Tabella 3) alcuni risultati (ANSELMINI *et alii*, 1994) delle analisi di laboratorio eseguite su campioni provenienti dai dintorni di Atri e riferibili sempre al membro pelitico-sabbioso della *Formazione Mutignano*.

La composizione granulometrica indica una costante prevalenza della frazione limosa su quella argillosa, mentre la frazione sabbiosa appare generalmente piuttosto



modesta. In base al diagramma di Shepard, pertanto, i terreni in studio risultano caratterizzati come limi argillosi debolmente sabbiosi.

Sulla base dei dati relativi alle proprietà indici, nonché di quelli mineralogici già esaminati, i terreni in esame, in linea generale, possono essere definiti limi argillosi debolmente sabbiosi inorganici di media-bassa plasticità, non attivi, con un contenuto naturale d'acqua piuttosto basso (compatibile con i caratteri e l'esposizione dei terreni in studio) e dotati di buona consistenza, quest'ultima attribuibile sia ad un certo grado di diagenesi che alla significativa presenza di sedimenti sabbiosi ed alla natura marnosa dei terreni.

Frazione sabbiosa (> 63 $\mu$ )	4,2 %
Frazione siltosa (2 - 63 $\mu$ )	59,3 %
Frazione argillosa (< 2 $\mu$ )	36,5 %
Peso specifico della parte solida	2,8 g/cm <sup>3</sup>
Peso specifico secco ( $\gamma_d$ )	1,9 g/cm <sup>3</sup>
Peso specifico allo stato naturale ( $\gamma_w$ )	2,2 g/cm <sup>3</sup>
Contenuto naturale d'acqua (W)	15,2 %
Indice naturale dei vuoti (E)	47 %
Grado di saturazione (Sr)	89,4 %
Limite di liquidità (LL)	41,2 %
Limite di plasticità (LP)	22,4 %
Indice di plasticità (IP)	18,8 %
Indice di consistenza (IC)	1,7
Pressione di preconsolidazione (PC)	30 kg/cm <sup>2</sup>

Tabella 3 – Valori medi delle caratteristiche fisiche (dai dati di Anselmi *et alii*, 1994).

L'indice di consistenza piuttosto elevato e la scarsa compressibilità di questi terreni costituiscono il risultato della storia geologica del deposito, il quale è stato verosimilmente sovraconsolidato sotto carichi elevati, in seguito ridotti per erosione.

A risultati più o meno simili pervengono anche le analisi di laboratorio di NISIO *et alii*, 1997, eseguite su campioni provenienti sempre dallo stesso membro della *Formazione Mutignano* e riferibili alle varie tipologie di calanchi.

Nella Tabella 4 vengono riportati i valori medi delle caratteristiche fisiche relative ai calanchi di *tipo A* e di *tipo B*, presenti nell'area in studio.

Calanco	LL %	LP %	IP %	attività	$\gamma_s$ g/cm <sup>3</sup>	sabbia % (>63 $\mu$ )	limo % (2-63 $\mu$ )	argilla % (<2 $\mu$ )
<i>tipo A</i>	40,9	23,6	15,8	0,50	2,75	6,8	62,8	30,4

<i>tipo B</i>	44,6	26,0	19,2	0,49	2,75	4,1	57,1	38,8
---------------	------	------	------	------	------	-----	------	------

Tabella 4 – Valori medi dei principali parametri riguardanti i caratteri fisici (dai dati di Nisio *et alii*, 1997).

Si osserva un maggior contenuto della frazione sabbioso-limosa nei calanchi di *tipo A*, e di conseguenza nei calanchi di *tipo B* il maggior contenuto argilloso comporta un aumento dell'indice di plasticità IP.

Sempre a risultati più o meno simili pervengono infine anche le numerose prove di laboratorio relative ancora al membro pelitico-sabbioso della *Formazione Mutignano*, eseguite nell'ambito di lavori professionali condotti nel territorio comunale di Roseto degli Abruzzi.

A titolo puramente indicativo, nella Tabella 5 sono riportati i valori medi relativi alle caratteristiche granulometriche ed alle principali proprietà indici del substrato pelitico-sabbioso.

Frazione sabbiosa (> 63 $\mu\text{m}$ )	16 %
Frazione siltosa (2 - 63 $\mu\text{m}$ )	48 %
Frazione argillosa (< 2 $\mu\text{m}$ )	36 %
Peso specifico della parte solida	2,7 g/cm <sup>3</sup>
Peso di volume secco ( $\gamma_d$ )	1,7 g/cm <sup>3</sup>
Peso di volume naturale ( $\gamma_\bullet$ )	2,1 g/cm <sup>3</sup>
Contenuto naturale d'acqua (W)	20 %
Indice naturale dei vuoti (E)	50 %
Porosità (n)	38 %
Limite liquido (LL)	42 %
Limite plastico (LP)	22 %
Indice di plasticità (IP)	23 %
Indice di consistenza (IC)	1,2

Tabella 5 – Valori medi delle caratteristiche fisiche.

La composizione granulometrica indica sempre la prevalenza della frazione limosa su quella argillosa, mentre la frazione sabbiosa, presente sotto forma di veli e sottili laminazioni, anche se quantitativamente più significativa, è sempre abbastanza modesta.

Anche le proprietà indici confermano un contenuto naturale d'acqua relativamente basso ed un carattere di media plasticità e di discreta consistenza.

## 2.7 Genesi e sviluppo dei calanchi della Riserva del Borsacchio

Lungo i più ripidi versanti pelitico-sabbiosi del territorio della Riserva, i processi erosivi hanno dato luogo, soprattutto lungo la valle del Torrente Borsacchio, nella parte

terminale del Fosso della Macciotta e sul versante meridionale di Colle Quatrino, a sistemi calanchivi abbastanza estesi e con effetti scenici alquanto spettacolari (Figg. 10, 11, 12, 13).

Il rilevamento geologico e geomorfologico, ed in particolare l'analisi della morfologia e della distribuzione degli apparati calanchivi, ha messo chiaramente in evidenza alcuni aspetti fondamentali che possono essere così brevemente sintetizzati.

- I terreni interessati dall'erosione calanchiva sono riferibili al membro pelitico-sabbioso della *Formazione Mutignano* del Pleistocene inferiore p.p.
- La distribuzione dei sistemi calanchivi attivi prevale nettamente sui versanti esposti verso i quadranti meridionali. In particolare, data l'asimmetria morfologica del profilo trasversale del Borsacchio e del Fosso della Macciotta, e l'andamento degli assi vallivi, gli apparati calanchivi risultano distribuiti sul versante di sinistra più acclive e caratterizzato da un maggiore dislivello rispetto al fondovalle, e quindi con esposizioni verso sud e sud-ovest.
- Le tipologie calanchive, essenzialmente legate all'azione erosiva delle acque di ruscellamento concentrato, parzialmente incrementata dai fenomeni gravitativi, sono caratterizzate da solchi acclivi e profondi separati da creste sottilissime con pendenze che superano i 40°, e possono essere riferite, secondo la classificazione di RODOLFI & FRASCATI (1979), ai *calanchi di tipo A*. La testata di queste morfologie calanchive si presenta generalmente piana e non concava, ed il profilo trasversale ha una tipica forma a "V" che testimonia la continua incisione da parte delle acque dilavanti. Questi calanchi si sono formati soprattutto sui versanti dove abbondante è la frazione limosa, ed in corrispondenza degli orizzonti che sembrano possedere una maggiore percentuale sabbiosa si hanno dei tratti con pareti più ripide che interrompono la continuità morfologica dei calanchi stessi. Solo in alcune limitate zone, sono invece osservabili i *calanchi di tipo B*, *sensu* RODOLFI & FRASCATI (1979), scolpiti sui litotipi in cui la frazione argillosa sembra aumentare e caratterizzati da vallecole un pò più ampie ed a fondo concavo, con displuvi dal profilo non molto affilato, il cui meccanismo genetico è verosimilmente legato anche a fenomeni gravitativi tipo scorrimenti rotazionali. I *calanchi di tipo C* (pareti sub-verticali e sottili creste affilate in terreni maggiormente sabbiosi) non sono presenti nell'area della Riserva.



Fig. 10 – *Calanco di tipo A* nella parte alta del bacino idrografico del Torrente Borsacchio



Fig. 11 – Apparato calanchivo lungo la valle del torrente Borsacchio.



Fig. 12 – Sempre *calanco di tipo A* lungo il torrente Borsacchio.



Fig. 13 – Particolare del calanco di Fig. 12.

Esaminando più in particolare l'origine e lo sviluppo della morfogenesi calanchiva si osserva che essa è verosimilmente iniziata con la formazione di rivoli (*rill erosion*), il cui progressivo approfondimento ha determinato il graduale aumento della concentrazione delle acque meteoriche entro queste linee preferenziali e quindi un incremento del potere erosivo delle acque di ruscellamento.

Si è così prodotta una primitiva incisione a solchi (*gully erosion*) dei versanti (essenzialmente costituiti da ripidi pendii di testata di strato esposti verso i quadranti meridionali) la quale, una volta innescata, a causa della scarsa resistenza all'erosione del substrato pelitico-sabbioso, si è evoluta rapidamente approfondendosi, ramificandosi ed estendendosi arealmente con un progressivo arretramento delle testate delle incisioni.

Si sono così formati gli attuali, spettacolari apparati calanchivi, tuttora "attivi" e con pochissima vegetazione, con un reticolo di drenaggio molto fitto, determinato da un insieme di ripide vallecole scavate da fossi molto ramificati e separate da creste sottilissime a forma di lame molto affilate, talora alte anche diversi metri.

La tendenza all'espansione verso le aree limitrofe, in particolare il progressivo arretramento delle testate degli apparati calanchivi, ha portato, a luoghi, il margine dei calanchi fino a poche decine di metri dalle infrastrutture antropiche.

Se appare abbastanza agevole individuare i molteplici fattori predisponenti o determinanti la genesi degli apparati calanchivi, piuttosto difficile risulta invece il tentativo di valutare la maggiore o minore importanza che ogni singolo fattore può aver avuto nell'innescare e nello sviluppo del fenomeno erosivo e nel mantenimento delle forme calanchive.

Nell'area in esame, sulla base dei dati fin qui esposti, possono essere individuati i seguenti principali elementi, che in un modo o nell'altro hanno concorso alla formazione del sistema calanchivo.

- Affioramento di una successione pelitico-sabbiosa sottesa da depositi conglomeratico-sabbiosi di tetto. La presenza di orizzonti più resistenti al tetto del versante argilloso-marnoso (attualmente nell'area della Riserva completamente smantellati), determinando una protezione in sommità nei confronti degli agenti atmosferici, ha favorito l'incremento della pendenza del versante e di conseguenza una più elevata predisposizione all'erosione lineare.
- Presenza di un substrato pelitico-sabbioso così caratterizzato: alto contenuto di sedimenti siltoso-sabbiosi, prevalenza di minerali inerti (carbonati, quarzo e feldspati) rispetto a quelli argillosi attivi, predominanza di minerali argillosi a reticolo non espandibile (illite) rispetto a quelli dotati di più alta capacità di rigonfiamento

(smectite), media plasticità, modesto contenuto naturale d'acqua, buona consistenza. Tali caratteri litologico-tessiturali, mineralogici e fisici hanno consentito alla morfogenesi calanchiva di evolvere verso forme esasperate ed hanno altresì favorito il mantenimento dell'impalcatura calanchiva (ANSELMINI *et alii*, 1994).

- Presenza di pendii ripidi con discontinuità strutturali (faglie e fratture) e con generale assetto giaciturale a reggipoggio del complesso formazionale argilloso-sabbioso (versanti di testata di strato), geneticamente legati all'attività neotettonica (sollevamento pleistocenico della fascia costiera). Va osservato che, prevalendo nell'area in studio (come in tutta la fascia periadriatica abruzzese) una struttura monoclinale con generale immersione degli strati verso ENE ed inclinazione variabile da 10° a 20°, l'esposizione preferenziale dei versanti calanchivi a sud e sud-ovest appare un fatto consequenziale e non quindi un fattore determinante.
- Condizioni climatiche caratterizzate da un lungo periodo secco e da un forte contrasto stagionale (umido/arido), che favoriscono la fessurazione sub-superficiale del substrato marnoso-argilloso, con formazione di fessure beanti fino al metro di profondità, particolarmente accentuate sui quadranti meridionali.
- Mancanza (o quasi), sui pendii, della copertura vegetale naturale per cause essenzialmente antropiche. La mancanza del manto vegetale facilita il rapido modellamento del versante con tassi di erosione medi, in occasione di eventi meteorici particolarmente intensi, valutabili intorno alle decine di millimetri l'anno.

I calanchi della Riserva Naturale del Borsacchio, che testimoniano la fragilità idrogeomorfologica del territorio, rappresentano, in conclusione, uno spettacolare ed interessante geomorfosito, la cui valenza scientifica, didattica e paesaggistica, nota a pochi addetti ai lavori, non è invece ancora percepita dalla collettività che generalmente continua a considerare queste aree come un vincolo per lo sviluppo territoriale.

L'inserimento dei Calanchi del Borsacchio tra i geositi riconosciuti a livello nazionale (Progetto di "Conservazione del Patrimonio Geologico Italiano", D'ANDREA, 2000), sarebbe un primo ed importante passo per la tutela di un ambiente naturale fragile, e consentirebbe la valorizzazione e corretta gestione di una georisorsa che deve essere assolutamente salvaguardata.

### 3 IL SISTEMA COSTIERO

#### 3.1 Considerazioni introduttive

Il sistema costiero rappresenta un delicatissimo ambiente di transizione, una delle aree più fragili e “sensibili” del territorio in quanto costituisce il luogo di interazione dinamica fra molteplici fattori naturali, tra loro strettamente interconnessi, che giorno dopo giorno, stagione dopo stagione, anno dopo anno, ne modellano e ne modificano la forma.

L’uso dello spazio costiero, pertanto, deve essere attentamente valutato e preceduto da un’approfondita conoscenza delle varie componenti fisiche e delle dinamiche in atto sia nel retroterra (analisi dei bacini idrografici che gravitano su un determinato litorale) che in una fascia più o meno ampia della piattaforma continentale. In particolare è necessaria un’analisi puntuale delle condizioni meteomarine, morfologiche, sedimentologiche ed idrodinamiche del litorale, nonché della storia passata e della tendenza evolutiva in atto della linea di riva.

Purtroppo nei decenni passati il litorale è stato generalmente considerato, da parte di chi ha avuto ai vari livelli responsabilità di governo del territorio, un’entità morfologica statica, immutabile nel tempo, da poter utilizzare senza condizioni. La conseguenza è stata che lo spazio costiero è stato aggredito ed “irrigidito” da un’urbanizzazione selvaggia che ha continuamente sottratto, nel tempo, porzioni di territorio di competenza della spiaggia, ha impedito la libera evoluzione naturale del sistema costiero ed ha spianato e/o sfondato i cordoni dunali che costituivano importanti riserve di sedimenti sabbiosi durante le violente mareggiate invernali.

In particolare, la costruzione di strade litoranee, edifici e strutture varie fino a pochi metri dalla linea di riva, spesso in zone già interessate dai processi erosivi, ha creato le condizioni perché eventi del tutto naturali, come per esempio le mareggiate invernali, assumessero, in quanto andavano a colpire direttamente le opere antropiche, i connotati della “calamità naturale”.

Si è allora innescato un processo perverso in quanto, la conservazione di tali opere, ha imposto la necessità di interventi di difesa con scogliere frangiflutti e pennelli che hanno completamente “irrigidito” i litorali facendo perdere loro ogni flessibilità e possibilità di arretramento



### 3.2 L'unità fisiografica foce Tordino - foce Vomano e l'apporto solido dei corsi d'acqua

L'analisi della morfodinamica di un tratto costiero non può prescindere dall'esame dell'intera unità fisiografica della quale quel determinato litorale fa parte, intendendo per unità fisiografica un segmento litoraneo in cui i movimenti lungo riva dei sedimenti avvengono all'interno dell'unità stessa.

Il litorale della Riserva del Borsacchio fa parte dell'unità fisiografica compresa fra il F.Tordino a nord ed il F.Vomano a sud, i cui apparati di foce costituiscono delle zone di divergenza dei sedimenti. Oltre al Tordino ed al Vomano, altri due corsi d'acqua minori, come già visto, sfociano in questo tratto di litorale quali, da nord verso sud, il piccolo Fosso S.Martino, il cui bacino raggiunge uno sviluppo di circa  $3 \text{ km}^2$ , ed il T. Borsacchio, appena a sud, il cui bacino presenta una superficie di circa  $17 \text{ km}^2$ .

I materiali prodotti dai processi di demolizione, erosivi e gravitativi, delle varie formazioni carbonatiche e terrigene marine nonché dei depositi continentali del Quaternario, affioranti nei bacini idrografici dei suddetti corsi d'acqua, presentano caratteristiche petrografiche e granulometriche relativamente differenti.

Per quanto riguarda l'apporto di sedimenti sabbiosi da parte dei corsi d'acqua che sfociano in questa unità fisiografica, che dovrebbe garantire il ripascimento naturale e quindi l'equilibrio dinamico di questo tratto costiero, esso risulta sensibilmente ridotto a causa di tutta una serie di opere ed interventi realizzati nel passato sia nel bacino idrografico del Tordino che in quello del Vomano, i quali hanno notevolmente limitato il trasporto solido a mare. Del tutto trascurabile è l'apporto del Fosso S.Martino, mentre poco significativo può essere considerato l'apporto sedimentario del T.Borsacchio.

Una valutazione approssimativa del trasporto solido di fondo potenziale dei corsi d'acqua, e quindi dell'apporto sedimentario minimo e massimo alla costa, costituito essenzialmente da limi, sabbie e ghiaie medio-fini, viene riportata nella Tabella 6, i cui valori (stima AQUATER,1982) derivano dall'utilizzo di criteri di valutazione noti in letteratura, e dalla presa in esame dei fattori antropici limitanti l'apporto solido (rimboschimenti ed opere di sistemazioni idraulico-forestali dei versanti, presenza di opere idrauliche e di laghi artificiali, attività di estrazione degli inerti dagli alvei fluviali) che hanno consentito la stima della percentuale di riduzione del trasporto di fondo.

<b>Corso d'acqua</b> (superficie bacino)	<b>Ablazione totale</b> (mc/anno)	<b>Trasporto solido di fondo potenziale</b> (mc/anno)	<b>Apporto solido a mare</b> (mc/anno)
Tordino (446 Km <sup>2</sup> )	180.000 - 390.000	40.000 - 70.000	25.000 - 55.000
Borsacchio (17 Km <sup>2</sup> )	15.000 - 20.000	3.000 - 5.000	3.000 - 5.000
Vomano (782 Km <sup>2</sup> )	230.000 - 420.000	55.000 - 100.000	30.000 - 60.000

Tabella 6 – Stima dei valori minimi e massimi del trasporto solido di fondo e dell'apporto solido a mare

Va evidenziato fin da adesso che, la presenza di numerose e varie opere di difesa costiera presenti non solo a ridosso degli apparati di foce ma anche, come si vedrà più avanti, in tutto il litorale di Roseto degli Abruzzi, rende praticamente trascurabile, o quasi, il contributo in termini di apporti solidi di questi corsi d'acqua al bilancio sedimentario dell'unità fisiografica in esame.

### 3.3 Caratteri morfologici e sedimentologici del litorale

Il sistema costiero in esame, si caratterizza per un andamento generale pressoché rettilineo molto approssimativamente assimilabile ad un arco a debolissima curvatura ed orientato all'incirca NNW-SSE.

La spiaggia emersa, bassa e prevalentemente sabbiosa, presenta, almeno per la maggior parte della sua estensione, una pendenza debole e la sua ampiezza, piuttosto ridotta, varia all'incirca dai 5 ai 40 metri.

Nel tratto di litorale corrispondente alla Riserva, non ancora antropizzato, sono appena percepibili, a tratti, piccoli lembi residuali della vegetazione tipica dell'ambiente dunale.

Il fondale marino, dalla battigia all'isobata di 5 metri, presenta una pendenza media dello 0,7% (desunta dalla cartografia dell'I.I.M.) e la sua morfologia è caratterizzata, solo nel tratto compreso all'incirca fra parco Mazzarosa e Villa Rossi, dalla presenza di due - tre ordini di barre sabbiose sottomarine all'incirca parallele alla linea di costa, le cui creste, a partire dalla linea di battigia, presentano un gradiente di approfondimento piuttosto basso.

Relativamente ai caratteri sedimentologici, Il diametro medio delle sabbie è stato stimato visivamente per confronto con granuli predisposti su un comparatore e suddivisi in

classi dimensionali secondo la scala di Udden-Wentworth. Tale metodo speditivo, sebbene possa comportare significativi errori insiti nella stima soggettiva, tuttavia avendo consentito di effettuare numerose determinazioni, ha fornito un quadro statistico sicuramente significativo.

Le analisi granulometriche speditive, eseguite sulla spiaggia emersa nel tratto costiero compreso entro i confini della Riserva, hanno consentito di accertare la presenza, procedendo da sud verso nord, delle seguenti classi granulometriche:

- Nel primo tratto di circa 500 m, la classe granulometrica prevalente è quella compresa fra 0,062 e 0,125 mm, con scarsa incidenza della classe granulometrica immediatamente più grossolana (0,125 - 0,250 mm); si tratta quindi in definitiva di una sabbia prevalentemente finissima tendente a fine.
- Nel secondo tratto (circa 200 m), la classe granulometrica prevalente è sempre quella compresa fra 0,062 e 0,125 mm, ma con significativa incidenza della classe granulometrica immediatamente più grossolana (0,125 - 0,250 mm).
- Nel terzo tratto di circa 500 m, la classe granulometrica prevalente è quella compresa fra 0,125 e 0,250 mm; si tratta quindi in definitiva di una sabbia essenzialmente fine con, a luoghi, ciottoli prevalentemente appiattiti sparsi sulla superficie sabbiosa, che gradualmente passa ad una mescolanza di sabbie e ghiaie medio-fini.

Per quanto riguarda, invece, i fondali marini, dalla battigia fino all'isobata di 10 metri, il diametro medio dei sedimenti tende a diminuire gradualmente verso il largo, per il ridursi dell'energia del moto ondoso. Nel litorale in esame è presente, infatti, una sabbia pelitica, dalla linea di riva all'isobata di 8 m, ed una pelite sabbiosa, dall'isobata di 8 m all'isobata di 10 m.

Il diametro medio dei sedimenti sabbiosi oscilla entro un intervallo dimensionale alquanto ristretto (0,18 - 0,09 mm), ed in particolare, fino all'isobata di 5 metri, ovvero nella fascia larga qualche centinaio di metri (massimo 600-700 m), compresa fra la battigia e la linea dei frangenti, la sabbia ha un diametro medio compreso tra 0,18 e 0,13 mm.

Per quanto concerne infine le caratteristiche composizionali delle sabbie presenti nel litorale in esame, che risente solo delle fonti locali di apporto (foci fluviali ed erosione di antichi depositi costieri), va sottolineato che i sedimenti che alimentano la spiaggia provengono dalla stessa "provincia petrografico-sedimentaria", in quanto fra i bacini idrografici esistono strette analogie geolitologiche.

Per la composizione mineralogica si può fare riferimento ad alcuni dati di letteratura relativi ad uno studio tessiturale composizionale effettuato da MOLINAROLI, 1984 su campioni di sabbie della spiaggia attuale prelevati nei pressi del F. Vomano (Tabella 7).

Quarzo	28,7
Feldspati	10,7
Fr. ignee	0,8
Fr. metamorfiche	1,2
Fr. micrite	38,7
Fr. spatite	19,3
Minerali pesanti	1,0

Tabella 7 – Composizione mineralogica principale relativa a campioni di sabbia provenienti dalla spiaggia sita in prossimità del F. Vomano (dai dati di MOLINAROLI, 1984).

Dallo studio emerge che i sedimenti analizzati sono classificabili come sabbie litiche. Il quarzo ed i feldspati sono, quasi sempre, al di sotto del 50%, mentre i carbonati sono largamente dominanti su tutti gli altri frammenti litici (ignei, metamorfici e silicoclastici). Tra i minerali pesanti prevalgono i granati ed in subordine zirconi e pirosseni, mentre le miche sono piuttosto rare e del tipo muscovite.

La netta prevalenza di frammenti litici carbonatici (58%) è da attribuire non soltanto al fatto che i bacini idrografici si estendono in buona parte anche nei rilievi calcarei, ma verosimilmente anche al fatto che le arenarie della *Formazione della Laga*, che affiorano estesamente nei bacini teramani, presentano, dal punto di vista petrografico, un'elevata componente carbonatica.

La presenza di costituenti meno stabili chimicamente e meno resistenti meccanicamente, quali soprattutto i frammenti di rocce carbonatiche ed i feldspati, indica una scarsa *maturità compositiva* dei sedimenti sabbiosi in esame, la quale è verosimilmente da mettere in relazione al trasporto breve e piuttosto veloce fra l'*area di provenienza* e la fascia costiera.

## 2.2. Condizioni meteomarine e dinamica sedimentaria

I parametri meteomarini che interessano un determinato tratto costiero (variazioni del livello medio del mare dovute sia alle maree meteorologiche che alle maree astronomiche, i parametri meteorologici, le caratteristiche del moto ondoso, ecc.), costituiscono le principali forzanti idrodinamiche che controllano il movimento dei sedimenti lungocosta.

Per la stima delle oscillazioni della marea astronomica nel paraggio in esame risulta, dall'analisi dei dati disponibili, un andamento temporale di tipo semidiurno con due

alte maree e due basse maree al giorno di ampiezza diversa ed una escursione di marea caratterizzata da una periodicità bisettimanale distinta nelle fasi di sizigie e di quadratura. Nel primo caso (periodi sizigiali) si verificano i massimi dislivelli (positivi e negativi) che raggiungono valori di 0,20 m rispetto al livello medio del mare, nelle fasi di quadratura l'escursione è limitata a 0,10 m s.l.m.

Per quanto riguarda la marea meteorologica, stimata con qualche approssimazione, il sovrizzo barico raggiunge il valore massimo di circa 0,30 m, mentre il sovrizzo di vento (innalzamento del livello sottocosta indotto dall'azione dei venti foranei spiranti verso il litorale in esame) raggiunge un valore massimo lungo la linea di riva pari a circa 0,20 m.

Nella zona più prossima alla riva si verifica, inoltre, un'ulteriore variazione del livello marino associata alla propagazione e frangimento dell'onda. Lungo la fascia costiera compresa tra la linea dei frangenti e la linea di riva (*surf-zone*), infatti, si registra un abbassamento del livello marino nella zona di frangimento delle onde (*wave set-down*) ed un successivo innalzamento verso riva (*wave set-up*). Nel tratto litoraneo in esame, il sovrizzo dovuto a *wave set-up* è di circa 0,60 m s.l.m., con 5 anni di tempo di ritorno.

La limitata escursione dei livelli di marea astronomica non consente, nel settore costiero in studio, la formazione di significative correnti di marea e le correnti superficiali di gradiente al largo dei frangenti, dirette da nord verso sud, hanno effetti irrilevanti sulla dinamica sedimentaria litoranea, dominata invece dalle correnti lungocosta indotte dal moto ondoso frangente.

Per quanto concerne l'esposizione ai venti del litorale in esame, le condizioni meteomarine al largo sono localmente dominate dai venti di tramontana (NNW) e dai venti di scirocco (SE) che investono l'asse principale di questo settore dell'Adriatico avente direzione NNW-SSE. Facendo riferimento ai dati della stazione meteorologica di Colonnella si evidenzia, infatti, la prevalenza dei venti dai settori NNW e SSE; meno frequenti sono i mari di bora e di levante.

Per quanto riguarda inoltre il regime del moto ondoso (altezza d'onda significativa, periodo d'onda e direzione di propagazione), dall'analisi dei quadri riassuntivi della stazione della Marina Militare di Colonnella si possono trarre le seguenti indicazioni di carattere generale: gli stati di mare annualmente più frequenti sono quelli con mare forza 2-3 (altezza d'onda significativa  $H_s = 1-1,25$  m); gli eventi estremi con mare forza 6-8 ( $H_s > 4,0$  m) sono molto rari, concentrati nel periodo autunnale-invernale e provenienti dal settore di traversia compreso tra nord e nord-ovest per il periodo da novembre a gennaio e da est sud-est per il periodo da febbraio a marzo.

Il paraggio in esame è quindi contraddistinto da un clima d'onda di tipo bidirezionale, caratterizzato cioè da:

- un settore di traversia principale ricadente tra le direzioni 330°N e 50°N, dove rientrano gli stati di mare provenienti da maestrale fino a grecale, generati in mare aperto e caratterizzati dalle massime altezze d'onda significative;
- un settore di traversia secondario ricadente tra le direzioni 50°N e 140°N, dove rientrano gli stati di mare provenienti da levante e scirocco, generati anch'essi in mare aperto e caratterizzati da altezze d'onda significative minori.

Questi ultimi, anche se presenti con una frequenza minore e con altezze d'onda mediamente più contenute, investono la costa con fronti d'onda più inclinati rispetto alla linea di riva e quindi presentano una capacità di trasporto solido spesso superiore a quella riferibile agli stati di mare provenienti dai quadranti settentrionali.

Dai dati fin qui esposti risulta infine che, in concomitanza di eventi meteomarini estremi (difficilmente si verifica comunque la piena concomitanza per i sovralti di carattere astronomico e meteorologico), il sovralto totale del livello medio del mare lungoriva, che deriva dalla somma del sovralto di marea + sovralto barico + sovralto di vento + sovralto dovuto al moto ondoso frangente, può raggiungere un valore massimo di circa 1,30 metri.

In riferimento alla dinamica sedimentaria, va sottolineato che la direzione del trasporto netto dei sedimenti lungoriva è deducibile non solo dal clima meteomarino ma anche dall'analisi morfo-sedimentaria e dagli effetti delle opere marittime sulla spiaggia.

Nel litorale in esame il transito sedimentario, piuttosto debole e in massima parte interrotto dalle opere di difesa presenti, risulta diretto verso nord, con punti di divergenza in corrispondenza delle foci fluviali del Tordino e del Vomano. Solo appena a sud dell'abitato di Cologna Spiaggia, in prossimità di Villa Rossi (vedere Carta Geomorfologica allegata), vi è un'area di convergenza con trasporto sedimentario presumibilmente nullo.

I limiti della fascia costiera (emersa e sommersa) interessata dal trasporto sedimentario possono essere definiti dall'altezza di "swash", ovvero la massima risalita "attiva" dell'onda sulla spiaggia emersa, e dalla cosiddetta "profondità di chiusura"  $D_c$  al largo, oltre la quale sono trascurabili le modifiche del profilo trasversale dovute all'azione del moto ondoso ed al trasporto sedimentario.

L'analisi dei dati meteomarini consente di ricavare un'altezza d'onda significativa di 3,25 m cui corrisponde una "profondità di chiusura" al largo di -5,2 m, mentre verso terra, l'altezza di "swash" corrisponde al valore estremo del sovralto totale del livello del mare a riva che, come già visto, raggiunge un valore massimo di circa 1,30 m. Tenendo presente la

pendenza media del litorale in esame, si può concludere che l'altezza di *swash* può determinare una risalita "attiva" massima dell'onda su di una fascia di spiaggia emersa di larghezza dell'ordine di 50 – 60 metri.

### 3.4 Variazioni storiche della linea di riva e processi erosivi

Per quanto riguarda le variazioni della linea di riva, l'analisi comparativa della documentazione cartografica disponibile (carte topografiche dell'I.G.M. di vari periodi, fogli di mappa catastali in scala 1:2.000 rilevati negli anni 1935-1940 e 1965-1970, rilievi aerofotogrammetrici, foto aeree e cartografie in possesso di Enti vari), che abbraccia un ampio intervallo di tempo che va dal 1894 ad oggi, mette in evidenza che nel litorale in esame, gli attuali processi erosivi hanno iniziato a manifestarsi già negli anni '40 del secolo scorso, a partire dagli apparati di foce, e si sono successivamente estesi, probabilmente ad iniziare dalla fine degli anni '60, agli spazi interfociali, interessando gradualmente tutta la spiaggia di Roseto degli Abruzzi ed assumendo nel tempo dimensioni ed intensità sempre più preoccupanti (ADAMOLI, 1979a; 1979b; 1991; 1994; DAL CIN, 1989; DAL CIN *et alii*, 1985; GIORGI *et alii*, 1984; 1987; GIRARDI, 1981; PAREA, 1978; CNR, 1985; SIMEONI, 1989).

In particolare nella spiaggia di Cologna, attualmente di modesta larghezza (mediamente circa 30 m), si è avuto dal 1940 al 1970, a partire dalla foce del Tordino verso sud per un tratto di circa 3600 m, un arretramento medio della linea di riva pari a circa 40 m, di intensità decrescente verso sud e con valori massimi di erosione di 60 m (ADAMOLI, 1979a). Nello stesso tratto costiero, nel periodo 1994-2000 è stato registrato un arretramento medio della linea di riva pari a circa 10 m con valori massimi di 25 metri.

Per tentare di arrestare l'erosione del litorale sono state realizzate nel tempo numerose opere di difesa sia longitudinali (scogliere aderenti, barriere emergenti e barriere soffolte) che trasversali (pennelli), le quali hanno creato problemi di impatto con il delicato e complesso ambiente costiero.

La realizzazione delle strutture rigide di difesa, infatti, limitatamente al segmento costiero protetto ha determinato (non sempre completamente) il locale arresto dell'erosione con, a luoghi, l'avanzamento della spiaggia ma, a causa della completa interruzione del pur debole transito sedimentario, ha innescato processi erosivi nelle spiagge stabili sottovento, cioè nella direzione di trasporto dei sedimenti, il cui controllo ha richiesto nuove scogliere e così via, fino alla situazione attuale nella quale tutto il litorale in esame risulta interessato da barriere emerse e sommerse, ad eccezione di un tratto di circa 1,5 km a nord del parco Mazzarosa, interessato solo da 3 pennelli trasversali.

Nel segmento costiero relativo alla Riserva, privo di protezioni a mare, il fenomeno erosivo ha determinato, a tratti, la formazione di un evidente “gradino di erosione” di altezza variabile da 20 a 50 cm (Figg. 14, 15, 16) ed ha causato una notevole riduzione dell’arenile, la cui ampiezza, per un lungo tratto di circa 800 m è attualmente ridotta a circa 5 - 10 m.



Fig. 14 - Recente gradino di erosione sui sedimenti sabbiosi nei pressi del parco Mazzarosa.





Fig. 15 - Gradino di erosione nei pressi del vecchio casale posto poco a sud della foce del Fosso S. Martino.



Fig. 16 – Gradino di erosione nei sedimenti ghiaioso-sabbiosi nel tratto a sud di Villa Rossi.