Il sondaggio ha definito con maggior dettaglio la successione stratigrafica e consentito una prima determinazione distributiva del materiale antropico (Fig. 4), per il quale si riscontra una particolare concentrazione nel livello basale (US 5), direttamente impostato sul substrato travertinoso del deposito (Fig. 5).

Attualmente lo scavo stratigrafico è ancora in corso e si ipotizza il suo completamento nel corso del 2007.

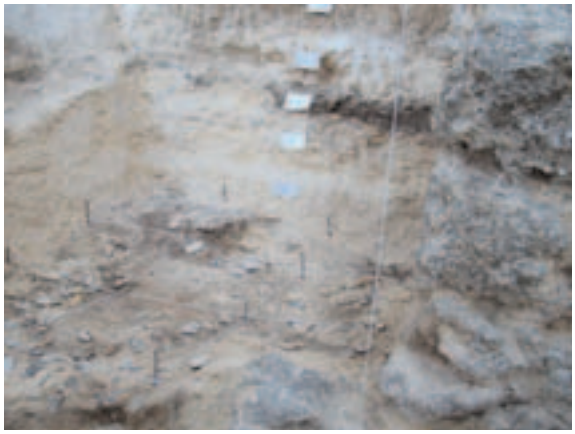

Fig. 3 – Grotta Reali; particolare del sondaggio del 2005 (*Foto G. Lembo*)

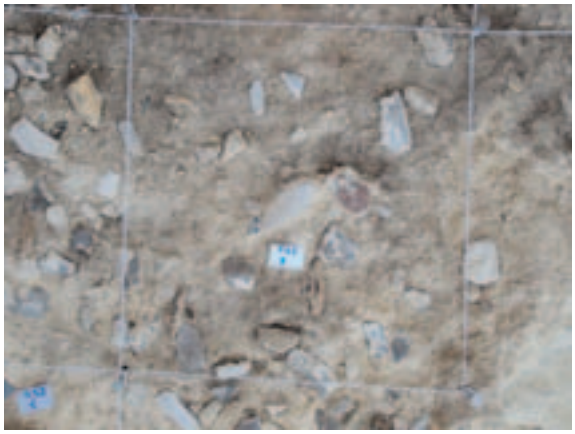

Fig. 5 – Grotta Reali; particolare del q. F12, US 5 (*Foto G. Lembo*)

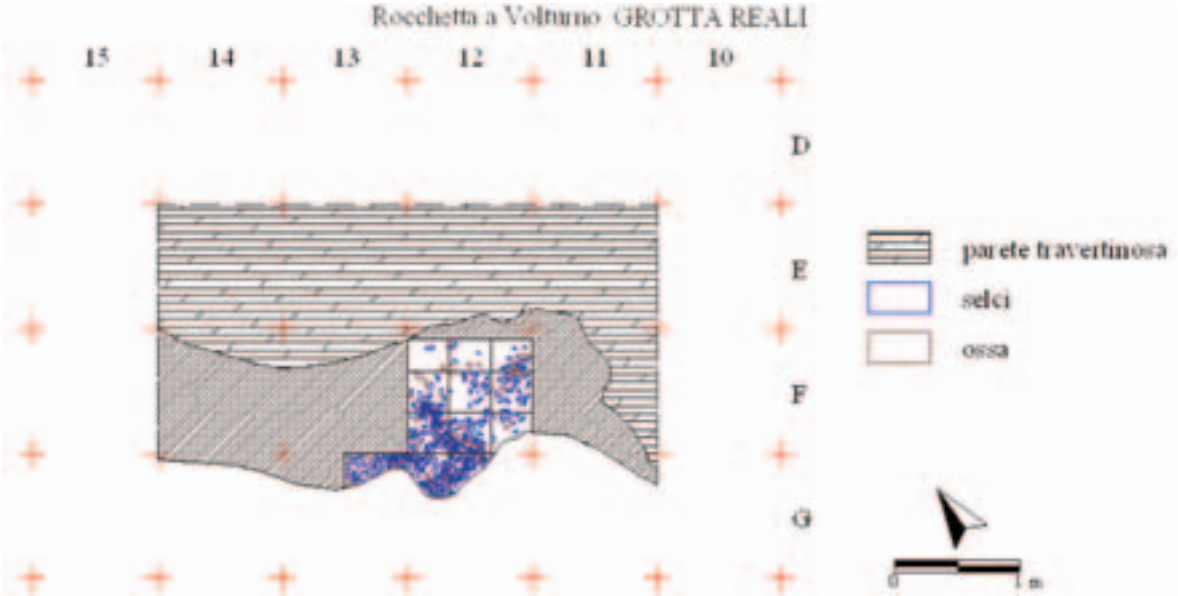

Fig. 4 – Grotta Reali; planimetria di una porzione (qq. F12-G12, US 5) dell'area indagata (*Elaborazione grafica G. Lembo*)

2.3.2 Geoarcheologia dell'insediamento musteriano di "Grotta Reali" ed evoluzione delle sorgenti del Volturno

M. Coltorti, S. Ravani, P. Pieruccini[1]

Introduzione

Nell'area di Rocchetta al Volturno, ubicata alle sorgenti del Fiume Volturno (Isernia, Molise) è presente una estesa "placca travertinosa", che si estende all'incirca per 10 km^2, nota attraverso studi di dettaglio sia dei sedimenti che del contesto geocro-

1. M. Coltorti e S. Ravani hanno curato la parte geomorfologica e stratigrafica, P. Pieruccini si è occupato dell'analisi micromorfologica

nologico in cui si è originata (Brancaccio *et al.,* 1988; Violante *et al.,* 1994). Sul lato meridionale di questo esteso deposito sono stati recentemente rinvenuti alcuni livelli insediativi del Paleolitico medio caratterizzati da una industria Musteriana (Arzarello *et al.*, 2004). Purtroppo il rinvenimento è stato effettuato all'interno di una parete di cava che aveva modificato la morfologia originaria. La presenza di un accenno di riparo alla sommità dei livelli archeologici ha condotto ad ipotizzare che gli stessi fossero ubicati all'interno di una grotta ("Grotta Reali") che era stata in larga parte asportata dai lavori di cava (Arzarello *et al.*, 2004). Il termine "travertino" ha recentemente assunto nella letteratura anglosassone connotazioni non univoche. Infatti, in Italia, i depositi travertinosi comprendono indifferentemente sedimenti sia deposti da acque di sorgenti fredde che idrotermali. Nel mondo anglosassone invece il termine "travertino" viene riservato per depositi carbonatici di origine idrotermale riferibili a sorgenti di acque calde, conosciuti anche come *hot water* o *thermogene travertine*. I depositi precipitati da acque a temperatura ambiente in sistemi di sorgente e fluvio–lacustri vengono invece denominati *calcareous tufa*, che deriva dalla parola latina "*tophus*", con cui Plinio indicava materiali lapidei da costruzione (calcarei o vulcanici). Il termine "tufo" con tale accezione è ancora oggi usato in molte aree italiane. I *calcareous tufa* sono anche noti come *ambient water* o *cold water* o *meteogene travertine* (Violante *et al.*, 1994; Pentecost, 1995 cum bib.; Minissale *et al.,* 2002). I depositi in formazione di entrambi i sistemi sono facilmente distinguibili sulla base tessiturale e genetica (Ford & Pedley, 1996; Hancock *et al.,* 1999, Capezzuoli & Gandin, 2004), ma esiste ogni tipo di gradazione tra i due tipi di rocce e dunque, nei depositi del passato una loro distinzione schematica è estremamente problematica. Infatti, allontanandosi dalla sorgente, anche acque di origine idrotermale con il variare delle condizioni chimico–fisiche possono originare *calcareous tufa*. I depositi di Rocchetta al Volturno, derivando da sorgenti normali rientrano tra i *calcareous tufa* e verranno così indicati.

Gli studi da noi condotti nell'area sono stati finalizzati a: 1, realizzazione di uno schema geomorfologico; 2, analisi di *facies* dei sedimenti contenenti i livelli archeologici per ricostruire i paleoambienti deposizionali durante la frequentazione antropica.; 3, analisi micromorfologica dei livelli più significativi del sito archeologico. Dall'analisi integrata di questi dati è emerso il contesto stratigrafico e paleo–ambientale del sito e le principali fasi dell'evoluzione del paesaggio sino ai tempi attuali. La cronologia del sito permette di stabilire che durante il *Marine Isotope Stage* 3 (MIS) l'area circostante le sorgenti era ricoperta di una vegetazione boschiva che impediva la degradazione dei versanti e l'arrivo sul fondovalle di importanti quantità di detrito.

Il contesto geologico e geomorfologico

Il sito, ubicato in prossimità della cava posta a sud–ovest del Casino Battiloro, in località Rocchetta Nuova (Figg. 6, 7); si trova sulla sinistra idrografica del Rio di Rocchetta, affluente di destra del Fiume Volturno. Il Rio di Rocchetta delimita verso sud il deposito che deve la sua origine alla precipitazione di $CaCO_3$ delle acque provenienti dalla sorgenti di Capo Volturno. Il Fiume Volturno nasce da una sorgente carsica ubicata alle pendici orientali del Monte Rocchetta e nel tratto iniziale scorre all'interno dei depositi da lui stesso generati. Il tracciato si presenta tortuoso dato che l'alveo è dapprima orientato verso est, poi compie una grande ansa verso ovest e successivamente verso nord e nord–ovest. Nelle vicinanze della località "La Cartiera" il fiume

devia nuovamente verso est finché si orienta definitivamente verso sud (Fig. 7). Come suggerito da Brancaccio *et al.*, (1988), queste anse sono la conseguenza dello sbarramento del corso operato dalla precipitazione carbonatica.

I *calcareous tufa* sono ubicati al contatto tra i calcari della successione pre–terrigena meso–cenozoica della Serie Laziale Abruzzese, in *facies* di scarpata piattaforma–bacino ed i depositi terrigeni del Flysch di Agnone (Vezzani *et al.*, 2004). I calcari e le dolomie hanno età comprese tra il Giurese e il Miocene inferiore. Il Flysch (Miocene superiore) è caratterizzato da arenarie, marne e argilliti, con intercalazioni di calcareniti e calciruditi talora con olistostromi. Le sorgenti di Capo Volturno sono alimentate sia dai terreni carbonatici sopra citati che dal più esteso affioramento di "Calcari dei Monti della Meta e del Matese", affioranti estesamente nel vicino massiccio delle Mainarde.

Le rocce terrigene, spesso caratterizzate da alternanze di sedimenti pelitici ed arenacei sono sede di estesi fenomeni franosi che interessano in modo diffuso i versanti. Le frane presentano dimensioni variabili, da poche decine di metri a vari chilometri quadrati e mostrano anche gradi di attività molto variabili. Numerosi sono anche i processi attivi che si individuano per i danni a strutture e manufatti. I movimenti più diffusi sono quelli complessi dato che frequentemente i movimenti di scivolamento rotazionale evolvono in colate, anche su roccia. I movimenti franosi, interessando i versanti opposti a quelli in passato sono stati interessati da sedimentazione carbonatica, costituiscono una sorta di cintura che li delimita. Una estesa frana è presente sulle pendici della collina immediatamente a NW di Cerro al Volturno, nella parte più settentrionale dell'area rilevata (Fig. 8).

Essa interessa sia i terreni arenaceo pelitici che le rocce carbonatiche affioranti per contatto tettonico al di sopra delle precedenti. Si tratta di una frana complessa di scivolamento–colata, in cui lo scivolamento interessa il corpo principale ma la parte superficiale evolve in colata. I movimenti sono attivi anche se suddivisi in porzioni che evolvono con diverso grado di velocità. Poco più ad est dell'abitato di Cerro al Volturno (Fig. 9) si sviluppa un altro gigantesco fenomeno franoso la cui corona è ubicata quasi alla sommità del versante. Si sviluppa al contatto tra i terreni carbonatici di un gigantesco olistostroma ed i terreni fliscioidi. Anche in questo caso le numerose trincee e le grandi ondulazioni che interessano il versante indicano che si tratta di un movimento

Fig. 6 – Grotta Reali; panoramica sul sito archeologico. I gradini morfologici corrispondono ad antiche cascate. Il ripiano sommitale ed intermedio ospitavano piccoli laghetti

Fig. 7 – Schema geomorfologico dell'area. Substrato: 1; Calcari, 2; Flysch. 3: scarpata di erosione fluviale, 4: depositi alluvionali (Olocene). "*Calcareous tufa*" (Pleistocene superiore-Olocene): 5; paleocascate, 6; facies di vasca, 7; facies di scarpata. 8: fossi di erosione concentrata, 9: antica direzione di scorrimento idrografico, 10: scarpata di frana, 11: trincea, 12: frana di scivolamento, 13: frana di colamento, 14: deformazione gravitativa profonda, 15: depositi pluvio-colluviali, 16: orlo di crinale, 17: picco isolato, 18: fratture o faglie, 19: sorgente, 20: idrografia. CA: località La Cartiera, CE: Cerro al Volturno, MR: Monte Rocchetta, SV: sorgenti del Volturno, RV: Rocchetta a Volturno, RN, Rocchetta Nuova, GR: Grotta Reali, CV: Colli a Volturno

complesso scivolamento–colata. Si tratta di un movimento che mostra indizi di attività solo locale ma per comprendere bene le sue dinamiche sarebbe necessario un accurato monitoraggio che esula dagli scopi del presente lavoro. Alla riattivazione di una porzione di questo fenomeno franoso è legata l'attivazione, poco a nord di Cerro al Volturno, di una estesa frana rotazionale che ha interessato ed interrotto la strada statale che conduce a Pescasseroli (Fig. 10). Frane simili sono comuni anche in altri versanti limitrofi all'area esaminata. I *calcareous tufa* generano un esteso pianoro posto circa a quota 550 slm (Fig. 7), che tramite una serie di scarpate e gradini più o meno estesi, si raccorda al fondovalle sia del Rio di Rocchetta che del Volturno. I depositi sono stati suddivisi da Brancaccio *et al*. (1988) e da Violante et al. (1994) sulla base delle caratteristiche macroscopiche che si sviluppano in funzione delle strette relazioni che legano le condizioni morfologiche con quelle biologiche. Gli autori prima citati, che ancora utilizzano il termine "travertino", hanno riconosciuto quattro principali associazioni di litofacies (Tabb. 1 – 3) (1) travertini microermali, stromatolitici e fitoclastici (*facies* di pendio), (2) travertini micro–fitoermali, travertini stromatolitici e sabbie travertinose (*Facies* di "gradinata di vasche", (3) travertini fitoermali e microermali (*facies* di cascata) e (4) sabbie travertinose con intercalazioni di travertini fitoclastici e micro–fitoermali (*facies* lacustre/palustre).

Fig. 8 – Panoramica della grande frana presente a NW di Cerro al Volturno, nella parte settentrionale dell'area rilevata

Fig. 9 – Panoramica della grande frana localizzata a SE dell'abitato di Cerro al Volturno

Fig. 10 – Estesa frana rotazionale poco a nord di Cerro al Volturno, che ha interessato ed interrotto la strada statale che conduce a Pescasseroli

I travertini clastici (Tab. 2) consistono di frammenti di piante (fitoclasti) incrostati di dimensioni variabili da arenitici (0,06–2mm) a ruditici (>2mm), spesso isorientati. Possono contenere quantità variabili di matrice calcarea sabbiosa e in base alla frazione di matrice si distinguono 4 gruppi di litofacies: travertini fitoclastici (0–10%), calcareniti/calciruditi fitoclastiche (10–50%), sabbie fitoclastiche (50–90%) e sabbie calcaree (90–100%).

I travertini autoctoni (Tab. 3), ovvero quelli derivati dalla precipitazione *in situ* per azione di organismi incrostanti (muschi, alghe), si distinguono sulla base del contenuto biologico e della dimensione degli organismi in tre gruppi di litofacies: travertini stromatolitici, microermali e fitoermali. Le *facies* osservate in corrispondenza dei ripiani permettono di stabilire, come anche descritto da Brancaccio *et al.* (1988) e Violante *et al.* (1994), che questi ospitavano laghetti delimitati verso l'esterno da dighe di travertino. All'interno di questi piccoli bacini si depositavano sedimenti fini e travertino fitoclastico.

Secondo lo schema di classificazione adottato da Ford & Pedley (1996), riportato anche da Capezzuoli & Gandin (2004), vengono invece distinti *micro detrital*, *macro detrital* e *phythoerm tufa* (Tab. 4).

Sono facilmente osservabili *facies* micro–fitoermali con intercalazioni di sabbie fitoclastiche. I *tufa* microemali sono organizzati in strutture a microtubuli che possono formare delle strutture a duomo caratterizzate da tessitura vacuolare a maglie irregolari: talvolta invece i microtubuli appaiono equidimensionati, più o meno isorientati e inclinati dando origine a strutture a laminazione centimetrica uniforme. In particolare le tessiture clastiche sono caratterizzate sia da alternanze sub–orizzontali di *tufa* microemali e fitoclastici sia da strati microermali inclinati

Associazione di litofacies	Ambiente sedimentario	
1. travertini microermali, stromatolitici e fitoclastici	*Facies* di pendio	
2. travertini microfitoermali, travertini stromatolitici e sabbie travertinose	*Facies* di "gradinata di vasche"	
3. travertini fitoermali e microermali	*Facies* di cascata	
4. sabbie travertinose con intercalazioni di travertini fitoclastici e microfitoermali	*Facies* lacustre/ palustre	

Tab. 1 – Principali associazioni di litofacies riconosciute da Brancaccio *et al.* (1986) e da Violante *et al.*, (1994) (*tab. modificata*)

Travertini autoctoni	
Facies	Organismi incrostanti
Travertini stromatolitici	Alghe Cianobatteri e batteri
Travertini microermali	Microfite (principalmente Briofite)
Travertini fitoermali	Macrofite (Briofite e Fanerogami)

Tab. 3 – Classificazione dei travertini autoctoni (*da Ferreri, 1985*)

Travertini clastici				
Fitoclasti (>2 mm) inferiori al 10%			**> 10%**	
Con matrice sabbiosa calcarea <= 2mm		Senza matrice di sabbia calcarea	Matrice sabbiosa calcarea tra 10% e 50%	Granulo-sostenuti
Matrice-sostenuti		Granulo-sostenuti		
Matrice calcarea >=50%	<50% > 10% <=10%			
Fitoclasti <10% >10%	Calcareniti fitoclastiche	Travertini fitoclastici (Grainstone)	Calciruditi fitoclastiche	Travertini fitoclastici (Rudstone)
Sabbie travertinose calcaree fitoclastiche				

Tab. 2 – Classificazione dei travertini clastici (*da Ferreri, 1985*)

con minori intercalazioni di sabbie fitoclastiche con geometria lentiforme (Fig. 11).

Lungo le scarpate sono invece ben conservate *facies* di cascata, sia microermali che fitoermali a generare archi e drappeggi, con stratificazione ad alto angolo sino a verticale. Le *facies* di cascata si sovrappongono talora a *facies* di pendio in cui sono evidenti *tufa* microermali, stromatolitici e fitoclastici.

Lungo la strada che sale verso la testata della valle, in località La Cartiera, all'incirca al km 23, è stato possibile osservare che i *calcareous tufa* si sovrappongono a livelli di ciottoli e blocchi calcarei eterogenei subarrotondati (Fig. 12).

Il diametro medio è di 5–6 cm mentre quello massimo è di 20–30 cm. Il passaggio tra le due litofacies è rapido e caratterizzato dal colmamento da parte di *tufa* fitoclastici e fitoermali di canali preesistenti o che si generavano ciclicamente. Alla base dei canali nel primo metro della sequenza sono ancora presenti depositi sabbiosi e ghiaiosi fini.

Il contatto con depositi ghiaiosi è stato osservato anche lungo la strada che conduce a Cerro al Volturno, in corrispondenza del Fiume del Morto. In questa località i sedimenti clastici sono anche più grossolani. La deposizione dei *calcareous tufa* è dunque avvenuta su un fondo valle approfondito nel Flysch e colmato di depositi alluvionali.

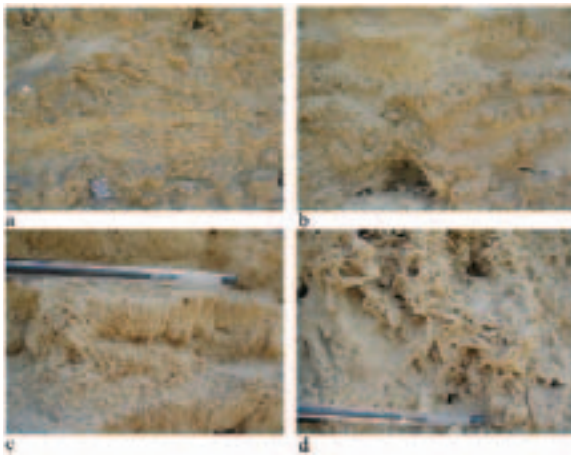

Fig. 11 – Grotta Reali; principali litofacies osservate nei *calcareous tufa* affioranti nella cava di Rocchetta Nuova. A, laminazione sub-orizzontale che passa verso l'alto a strutture duomiformi; B, strutture duomiformi caratterizzate dall'alternanza di depositi micro-fitoermali e sabbie fitoclastiche; C, microtubuli con direzione di crescita verticale; D, particolare della tessitura vacuolare tipica della crescita di microtubuli ramificati

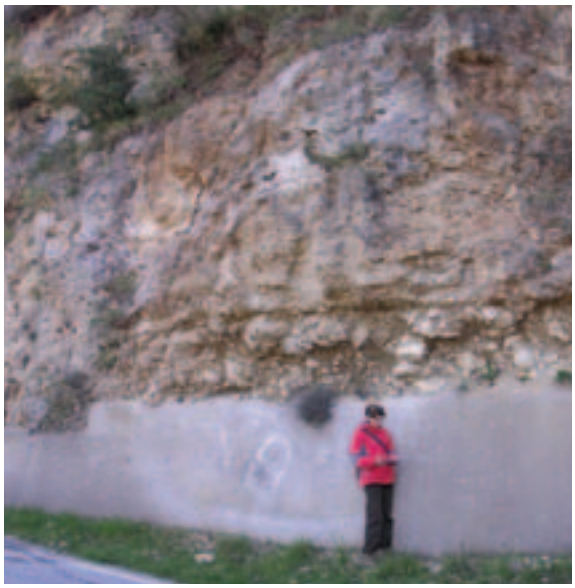

Fig. 12 – Livelli di ciottoli osservati alla base dei *calcareous tufa* lungo la strada che conduce verso la località La Cartiera, al Km 23

ALLOCHTONOUS			*AUTOCHTONOUS*
MICRO DETRITAL TUFA	*MACRO DETRITAL TUFA*		*PHYTHOERM TUFA*
MATRIX SUPPORTED	*GRAIN SUPPORTED*		*(a) Boundstone sheets of micrite and peloids (stromatolith – like bacterioherms)* *(b) Microherm shrobby framework of bacterial colonies* *(c) Framestone true "real" framework of macrophytes coated with mixed micritic and sparry fringe cements*
Micrite tufa	*Oncoidal and cyanolith tufa*		
Peloidal tufa	*Intraclast tufa*		
Sapropelitic tufa (organic rich)	*Phythoclast tufa*		
Lithoclast tufa (inorganic rich)	*Lithoclast tufa*		
Lime Mudstone	*Wackestone/packstone*	*Grainstone*	*Boundstones*

Tab. 4 – Schema di classificazione dei "*calcareous tufa*" in funzione della tessitura (*da Ford & Pedley, 1996*)

In alcuni canali sono stati osservati grandi blocchi di *calcareous tufa* in giacitura secondaria che suggeriscono il collasso di placche più antiche o quella di sedimenti di cascata posti poco più a monte. Sono però stati osservati anche grandi blocchi calcarei, fino ad oltre 1 m di diametro (Fig. 13) che suggeriscono come all'interno dell'alveo giungessero dalla sinistra idrografica i materiali interessati da un esteso fenomeno franoso già riconosciuto da Brancaccio *et al.* (1986) e tuttora in atto (Fig. 8). È possibile che i processi di frana siano stati attivati o accentuati dalla crescita della placca che avrebbe sospinto l'alveo del Fiume Volturno verso la base dei rilievi terziari miocenici, generando un esteso fenomeno di scalzamento al piede del versante sinistro.

Questi blocchi non sono stati più osservati nella parte alta della sequenza a suggerire come questo fenomeno caratterizzi un momento iniziale dell'evoluzione valliva, verosimilmente al passaggio da condizioni di rexistasia a quelle di biostasia, queste ultime documentate dalla crescita dei *calcareous tufa* stessi.

Al bordo del grande ripiano che caratterizzava la sommità deposizionale, erano presenti numerose dighe di *calcareous tufa* che delimitavano verso l'interno estesi specchi lacustri. Verso l'esterno le dighe originavano numerose scarpate che sono l'espressione di altrettante cascate, sempre caratterizzate da *tufa* fitoermali e microermali (*facies* di cascata, Tab. 1). I ripiani che si generavano in corrispondenza delle dighe donavano al versante un profilo a gradini. Questi ripiani sono ubicati a quote variabili sul fondo valle sebbene possano essersi formate quasi contemporaneamente. Le scarpate associate alle cascate principali sono in numero ridotto e caratterizzate da notevole altezza sul bordo meridionale della placca mentre di maggior numero e minore altezza su quello settentrionale (Fig. 14).

Fig. 13 –Grande blocco calcareo (lunghezza 180 cm) osservato all'interno di un canale al Km 23 della strada che conduce verso la loc. La Cartiera. E' evidente la clinostratificazione al di sopra del masso

Fig. 14 – Panoramica della placca di *calcareous tufa*. I depositi si sviluppano dal punto A al punto A', ubicato alle pendici del Monte Rocchetta. Sono ben evidenti sia il grande ripiano sommitale che le scarpate generate da altrettante antiche cascate

Le cascate ricalcano dunque i fronti di propagazione (*facies* di cascata) (Brancaccio *et al.,* 1988, Violante *et al.,* 1994). Una situazione simile si osserva in molti depositi sia italiani che stranieri (Boni & Colacicchi, 1966; D'Argenio *et al.,* 1983; Emeis *et al.*, 1987; Altunel *et al.*, 1993; Pentecost, 1995; Özkul *et al.*, 2002).

L'organizzazione e la distribuzione areale delle litofacies è condizionata dalle variazioni paleoambientali e segue un modello di sedimentazione correlabile con uno "*slope travertine system*", ovvero con un sistema deposizionale che rivela un'organizzazione interna a forma di cono, con apice orientato verso le sorgenti d'origine (Violante *et al.*, 1994). Sono state osservate strutture duomiformi che si sviluppano lungo i canali deposizionali. Esse sono il risultato di canali sospesi e di vasche (*facies* di pendio e *facies* di "gradinata di vasche") progradanti entrambi verso valle in relazione alla crescita contemporanea verso l'alto e alla migrazione laterale dei canali stessi. In pratica mentre il canale guadagna in altezza per accumulo di *calcareous tufa* nell'alveo, esso tende a terminare in una cascata inducendo la progradazione dell'intera struttura. All'interno delle vasche o pozze costruite a monte delle dighe di *calcareous tufa* si sviluppano *facies* lacustri o palustri. Il sistema è molto dinamico ed è controllato da diversi fattori tra i quali i più importanti risultano quelli idrodinamici, biologici ed il chimismo delle acque.

In sistemi di questo tipo si possono formare estesi corpi sedimentari sia tabulari che cuneiformi, in genere con maggior spessore nel tratto posto più a valle, sebbene quest'ultima caratteristica sia fortemente influenzata dalla morfologia della valle. I fattori che condizionano la precipitazione del carbonato in questi sistemi sorgentizi originatisi da acque fredde, di origine non termale, sono legati alle differenti condizioni di temperatura e pressione parziale che le acque sorgentizie incontrano nell'ambiente esterno. Infatti, si ha comunemente un rapida degassazione dell'anidride carbonica, soprattutto in corrispondenza di cascate e rapide che divengono il nucleo di origine delle dighe. Di estrema importanza è inoltre la precipitazione operata da muschi ed alghe (Golubic *et al.*, 1994; Pedley, 1994; Pentecost *et al.*, 1997; Pentecost, 2005). Questi ultimi non vivono se la torbidità delle acque aumenta e di conseguenza, con acque torbide la deposizione può cessare completamente.

Le datazioni radiometriche dei depositi di Rocchetta, mediante il metodo ^{230}Th e basate sui valori del rapporto ^{230}Th/^{232}Th, indicano tre principali fasi di deposizione comprese tra 75 e 23 ka, 17,6 ka e 12,5 ka e tra 8 e 4,5 ka (Brancaccio *et al.*, 1988). Secondo gli Autori queste fasi sarebbero separate da periodi di non deposizione in corrispondenza delle quali si svilupparono dei suoli, uno dei quali è stato rinvenuto in località Casale Battiloro nei pressi di "Grotta Reali", sepolto dalla crescita dei *calcareous tufa*. Si tratta di suoli poco evoluti a profilo A–C, fortemente arricchiti di materia organica fortemente calcarei. Dopo i 4,5 ka la deposizione sarebbe rallentata ed il Volturno avrebbe approfondito il proprio alveo sino alla posizione attuale (Brancaccio *et al.*, 1988).

Brancaccio *et al.* (1988) riportano i valori dei rapporti isotopici del Th e dell'U per ogni campione, in funzione del rapporto ^{230}Th/^{232}Th e vengono distinti campioni con 30/32 > 10 e < 10 nella frazione solubile. Questi valori vengono poi utilizzati per costruire la curva della variazione nel tempo dei rapporti suddetti e confrontare i dati ottenuti con quelli desunti da una curva paleoclimatica della variazione della composizione isotopica dell'ossigeno. Nel complesso i dati ottenuti sono alquanto frammentari e di difficile interpretazione ed, in generale tra le due curve sembra esistere scarsa corrispondenza, come anche parzialmente evidenziato dagli stessi Autori. Purtroppo, mancano le sezioni stratigrafiche e non sono indicate le relazioni laterali tra i vari campioni datati né i problemi radiometrici che, con così tante datazioni, si sono certamente presentati. Nei singoli livelli non è chiaro se sia stato

investigato un solo campione, impedendo così di comprendere la variabilità della composizione nei singoli strati. Si evidenzia, inoltre, come nella suddivisione delle fasi siano presenti contraddizioni. Per esempio non è chiaro se la sedimentazione olocenica sia avvenuta dopo i 4,5 ka o prima dei 4,5 ka e non vengono riportate date in questo intervallo cronologico. Questo rende problematico l'utilizzo delle informazioni cronologiche.

Ovviamente le datazioni riportate non sono esaustive dei vari problemi tuttora aperti. Incertezza nella datazione di sedimenti molto porosi possono essere facilmente introdotte da carbonati precipitati più recentemente in un'area che nell'intervallo di tempo considerato ha anche ricevuto sedimenti vulcanici. È inoltre plausibile che la parte più antica ed interna del deposito sia sepolta e non accessibile. Dato che la deposizione di *calcareous tufa* è favorita da una elevata presenza di CO_2 nelle acque e che la torbidità delle acque inibisce l'accumulo, in genere questi depositi caratterizzano i periodi Interglaciali e l'Olocene presenta numerosi esempi attualistici al riguardo (Cilla *et al.*, 1994, 1996; Goudie *et al.*, 1993; Coltorti, 1997). È dunque verosimile che la deposizione di *calcareous tufa* a Rocchetta sia iniziata per lo meno durante l'Ultimo Interglaciale e, se le datazioni prima riportate sono corrette, sia continuata durante la fase iniziale dell'Ultima Glaciazione (MIS –*Marine Isotope Stage* 5, 4 e 3) quando le condizioni climatiche erano ancora relativamente calde ed i versanti erano vegetati e non erano ancora interessati da importanti fenomeni di degradazione. A conferma di questa ipotesi sono le età ottenute per l'inizio della deposizione ed aggradazione fluviale nelle valli italiane che si raccordano a depositi di versante durante il Pleistocene superiore, in genere successive ai 45 ka (Coltorti & Dramis, 1995). Più problematico rimane il significato dei paleosuoli sepolti all'interno della sequenza. Trattandosi di suoli poco evoluti e non decarbonatati è possibile che si siano sviluppati durante fasi di migrazione della sedimentazione dei *calcareous tufa*, probabilmente sotto scarsa copertura vegetale e dunque che non siano legati a particolari Interstadiali come indicato dalla loro collocazione cronologica. Ad ogni modo, è stato osservato che uno dei periodi di interruzione della sedimentazione dei *tufa* e di pedogenesi coincide con l'Ultimo Massimo Glaciale (LGM). Ciò suggerisce che, contrariamente a quanto si registra solitamente, i paleosuoli si sarebbero quindi evoluti mentre nei limitrofi versanti vigevano condizioni di rexistasia. La degradazione dei versanti e la torbidità delle acque in queste condizioni avrebbero interrotto la sedimentazione dei *calcareous tufa*.

La deposizione dei *tufa*, come anche indicato da Brancaccio *et al.* (1988), si è di nuovo attivata durante l'Olocene antico. In particolare la genesi e crescita di *calcareous tufa* tra l'inizio dell'Olocene e ca. 4 ka è un fenomeno documentato in tutta Europa (Pentecost *et al.*, 1995; Goudie *et al.*, 1993). Alcuni Autori associano la progressiva interruzione della crescita dei *calcareous tufa* durante l'Olocene medio–recente alla degradazione dei versanti da parte dell'uomo che avrebbe abbattuto la quantità di CO_2 nelle acque di percolazione e soprattutto avrebbe indotto una notevole torbidità delle acque (Goudie *et al.*, 1993; Cilla *et al.*, 1994; Coltorti, 1997). Durante l'ultimo massimo Glaciale (LGM), tra circa 28 e 17 ka, le condizioni climatiche fredde ed aride e la notevole torbidità delle acque avrebbero interrotto la deposizione. Da questo quadro rimane problematica la fase intermedia individuata da Brancaccio *et al.* (1988) che è immediatamente successiva all'ultimo massimo glaciale (LGM). Se le date sono corrette questo indicherebbe che la vegetazione, subito dopo l'acme freddo ed arido, avrebbe immediatamente ricolonizzato i versanti. Non è però escluso che durante la fase fredda del Dryas recente, la deposizione si sia nuovamente interrotta.

La stratigrafia di "Grotta Reali"

L'analisi stratigrafica, condotta sui depositi affioranti per uno spessore di circa due metri (Figg. 15, 16, 17), ha portato al riconoscimento di due orizzonti di frequentazione antropica separati da livelli sterili. I due orizzonti antropici sono caratterizzati da abbondanti frammenti di manufatti litici, di resti faunistici e da tracce evidenti dell'utilizzo del fuoco (reperti ossei con segni di bruciatura, ceneri e frustoli carboniosi). I livelli sterili costituiscono un insieme di unità calcaree limoso–sabbiose associate ai processi connessi con l'azione delle acque della sorgente del Volturno.

La sequenza archeologica è suddivisa in 7 unità deposizionali (strati 1–7 dall'alto verso il basso) a stratificazione orizzontale e sub–orizzontale. Queste passano lateralmente e/o poggiano in discontinuità su unità fitostromali di cascata sottilmente laminate o massive deposte su piani verticali o subverticali. Queste unità comprendono anche livelli antropici collegati alle differenti fasi insediative (strato 4 e 6, rispettivamente Unità stratigrafica US 2β e 2α e US 5). Le Unità Stratigrafiche durante lo scavo sono state ulteriormente suddivise con tagli artificiali. I campioni[2] per l'analisi micromorfologica sono stati prelevati indisturbati e la loro descrizione è stata effettuata, dove possibile, secondo Bullock et al. (1986) e Stoops (2003), al fine di una migliore comprensione dei caratteri paleoambientali e delle dinamiche deposizionali.

STRATO 1 (US 1A–I), A1; 0–70/90 cm; limite superiore costituito dal piano campagna (livello di riferimento) che rappresenta la sommità dei depositi di riempimento del riparo generato ai piedi della cascata; il limite inferiore, chiaro e ondulato, è di natura erosiva, a spese delle unità sottostanti. L'unità è costituita da un'alternanza di livelli decimetrici con quantità di scheletro variabile da comune ad abbondante costituito da clasti eterometrici di calciruditi fitoclastiche e fitoermali e più raramente di *tufa* stromatolitico (Fig. 18); i livelli fitoclastici più fini, con meno scheletro e meno cementati, sono maggiormente alterati con aggregazione poliedrica subangolare fine scarsamente svilup-

Fig. 15 – Grotta Reali; ubicazione dello scavo all'interno della cava di Rocchetta

Fig. 16 – Grotta Reali; particolare della sezione dello scavo visibile in affioramento. Con i cartellini bianchi sono indicate le Unità stratigrafiche (US1-US4)

2. Preparati presso il laboratorio di Massimo Sbrana di Piombino (Via A. Costa, 7, 57025 Piombino (LI))

pata e pori fini scarsi. Da quest' ultimo è stato prelevato un campione per l'analisi micromorfologica.

Micromorfologie

Campione 1

Microstruttura: debole, complessa tendente ad *intergrain*

c/f *limit* 60 µm c/f *ratio* 4

Related distribution: *Gefuric* tendente a porfirica

Frazione grossolana: costituita per il 90% da calcite sparitica sia in granuli monominerali sia addensati (concrezioni), frammenti di selce (3%), pirosseni piccoli alterati (2%, Fig. 19a), granuli monominerali di quarzo (2%, Foto 37), feldspati piccoli alterati (2%), biotite piccola molto alterata (1%).

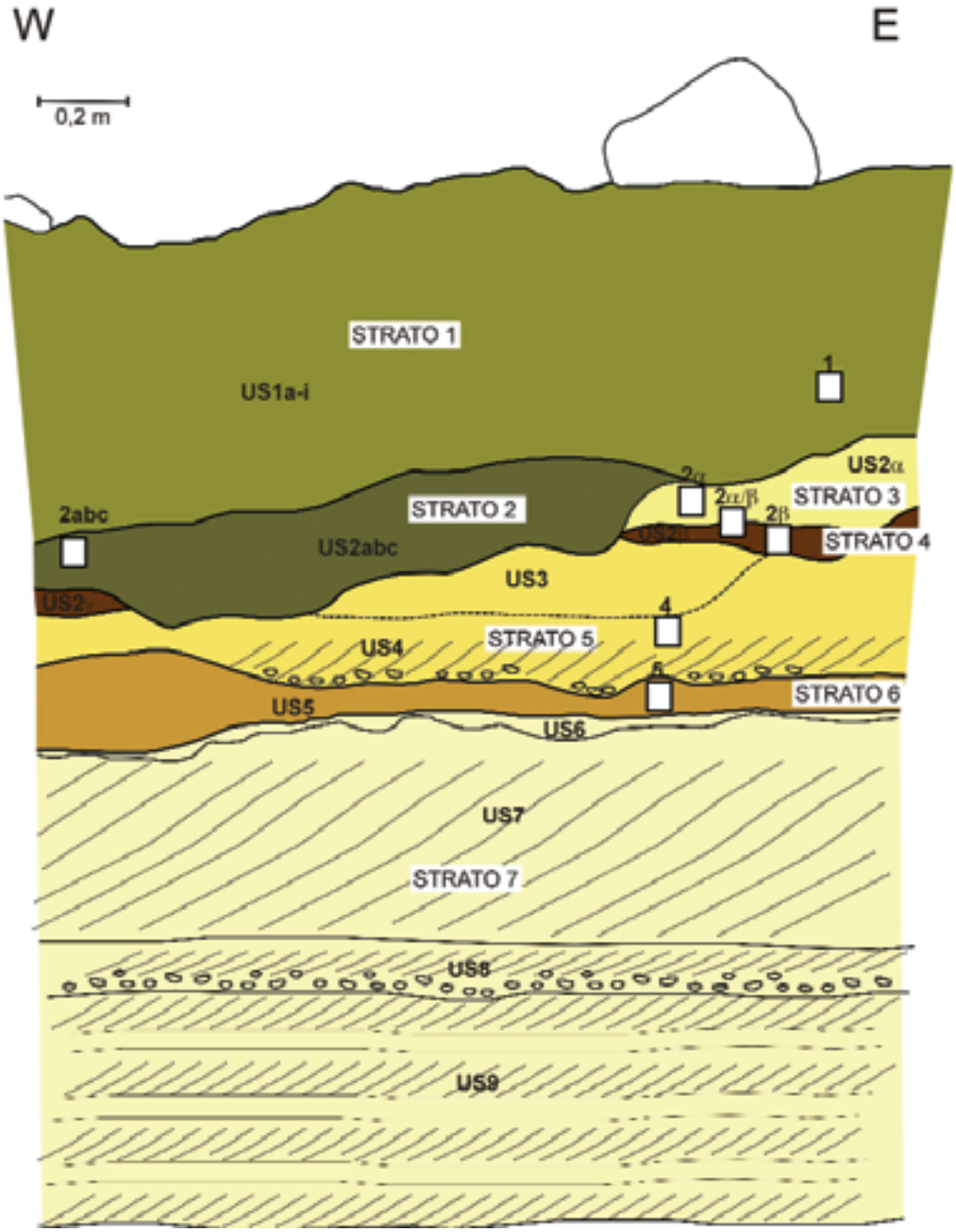

Fig. 17 – Grotta Reali; ricostruzione stratigrafica della sequenza deposizionale di Grotta Reali. Per ogni strato sono indicate le unità stratigrafiche (US) di riferimento. È inoltre indicata la posizione dei campioni prelevati per le analisi micromorfologiche (rettangoli bianchi)

Massa di fondo: scarsi minerali argillosi frammisti a micrite pigmentata da materia organica.

Costituenti organici: frammenti di osso (ca. 30%), di dimensioni variabili da 2 mm (Fig. 19b) a 150 µm, subarrotondati, alterati; rari frammenti di gusci di molluschi continentali, rare fibre vegetali.

Figure pedogenetiche: *a*) rivestimenti e riempimenti di calcite molto comuni prevalentemente su vuoti di origine biologica. Rivestimenti micritici interessano anche i pedorelitti sotto. I riempimenti indicano la presenza di diverse fasi di precipitazione di $CaCO_3$ con alternanza di calcite sparitica e micritica, quest'ultima spesso molto "sporca", caratterizzata cioè dalla presenza di materia organica finissima (Fig. 19c). Sono inoltre presenti rari noduli di calcite sparitica; *b*) pedorelitti scarsi, fino alle dimensioni di 1 mm, costituiti da masse sub–arrotondate con una maggiore quantità di minerali argillosi e una frazione grossolana più selezionata generalmente quarzosa (Fig. 19d). È stata osservato anche un frammento di crosta carbonatica, micritica, ricca di materia organica, con bolle d'aria conservate, rotta e ruotata all'interno della massa; *c*) i costituenti grossolani, i frammenti di ossa i pedorelitti e alcune figure pedogenetiche mostrano spesso dei rivestimenti costituiti dalla massa di fondo; *d*) figure escrementali sono comuni sia dispersi nella massa di fondo sia all'interno dei vuoti di origine biologica e vegetale.

STRATO 2 (US 2ABC): 0–25 cm; colore 10YR 7/2 *light gray*, geometria lenticolare con base canalizzata (elemento di canale CH; Miall, 1985; 1996); limite inferiore erosivo che tronca le US 2α, 2β, 2γ, 3, 4. È caratterizzato da sottili livelli e lenti di sabbie siltose calcaree fitoclastiche laminate a cui si associano localmente piccoli accumuli di *tufa* fitoermale (US 2 a, b, c). Questi livelli si alternano a sabbie siltose massive più ricche di materia organica con frammenti di ossa e di selci verosimilmente associati a frequentazione antropica.

Fig. 18 – Grotta Reali; strato 1, US 1a-i: è possibile osservare clasti grossolani di *tufa* fitoclastici e fitoermali (cerchi in rosso)

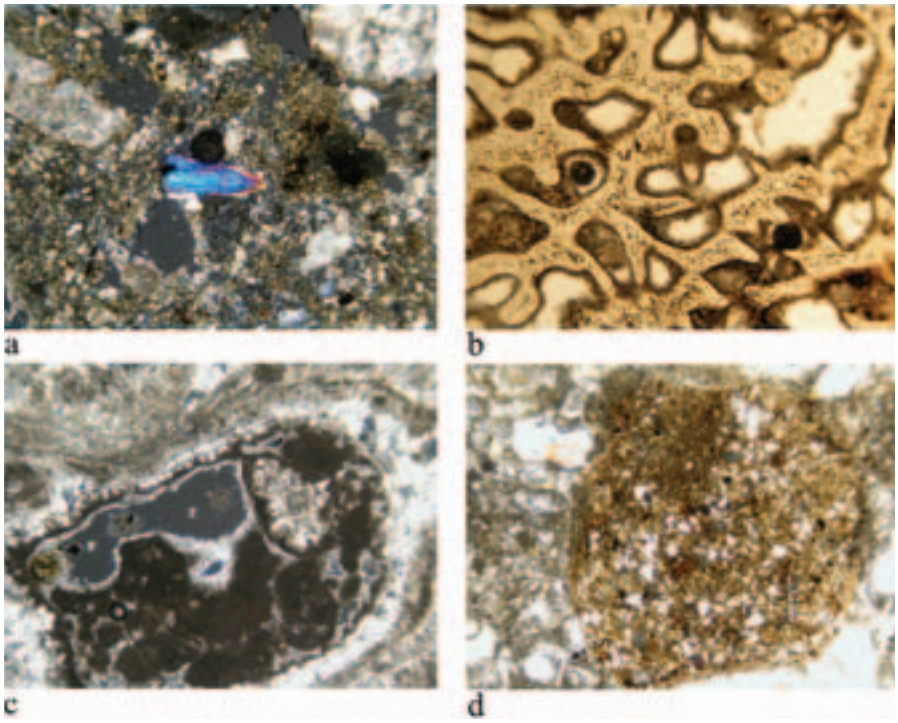

Fig. 19 – Grotta Reali; a: (XPL, *frame* 1 mm) – Pirosseno parzialmente alterato immerso in una massa in cui si riconoscono abbondanti granuli monominerali di calcite; b: (PPL, *frame* 1 mm) – Frammento vacuolare di osso dove si riconoscono i canali haversiani. I vacuoli presentano rivestimenti di calcite; c: (XPL, *frame* 1 mm) – Riempimento di un vuoto caratterizzato dalla sovrapposizione di calcite sparitica (sul bordo esterno e all'interno) e di figure escrementali di natura micritica ricche di materia organica (masse scure); d: (PPL, *frame* 1 mm) – Pedorelitto di forma arrotondata costituito da una massa relativamente ricca di minerali argillosi (di colore giallo) e da uno scheletro molto fine prevalentemente costituito da quarzo

Micromorfologie

CAMPIONE 2abc. Nel complesso la sezione è composta per oltre il 40% di frammenti di concrezioni di calcite sparitica e da frammenti di ossa di dimensioni variabili da 2mm a 100 µm (ca. 40%), in genere sub–arrotondati. Sono inoltre presenti numerosi litorelitti di calcari micritici e frammenti di selce.

Microstruttura: debole tendenzialmente complessa.

c/f *limit 70* µm c/f *ratio* 2

Related distibution: tendente al *porphyric* dove prevale la massa di fondo micritica. Vuoti costituiti da pori circolari di origine vegetale e rari canali di origine animale.

Frazione grossolana: frammenti di concrezioni di calcite sparitica (40%), granuli monominerali di calcite sparitica (40%), litorelitti di calcari micritici (10%), frammenti di selce (5%), granuli monominerali di quarzo (150 µm, 5%).

Massa di fondo: calcite micritica di colore grigio–brunastra pigmentata da materia organica e resti fosfatici di colore bruno–giallastro (Fig. 20a) provenienti dall'alterazione dei frammenti di ossa.

Costituenti organici: frammenti di ossa di dimensioni variabili 2mm a 100 µm (ca. 40%), in genere sub–arrotondati, molto abbbondanti. Rari frammenti di gusci di molluschi e di carboni. Frammenti di materia organica monomorfica e polimorfica comuni. Rari resti di fibre vegetali.

Figure pedogenetiche: *a*) rivestimenti e, più raramente, riempimenti di argille, comuni nella parte bassa della sezione, di colore bruno–giallastro e di aspetto opaco, con puntuazioni nere. I rivestimenti e i riempimenti sono a spese dei granuli di calcite sparitica che fanno parte di frammenti di concrezioni parzialmente disaggregati; *b*) rivestimenti e ipo–rivestimenti micritici e sparitici molto comuni. Rivestimenti micritici sono presenti sulle fibre vegetali e sui vuoti di origine vegetale. Sono presenti inoltre spessi rivestimenti sparitici sovrapposti e intercalati a rivestimenti micritici contenenti pigmentazioni organiche e rivestimenti micritici sulle pareti di canali di passaggio animale. Nella massa di fondo sono presenti inoltre impregnazioni micritiche e sparitiche che localmente interessano le figure di precipitazione di argille (Fig. 20b). Raramente si osservano noduli di calcite molto grandi (1 mm) caratterizzati da rivestimenti micritici sulle pareti esterne; *c*) sono presenti comuni figure escrementali, come riempimenti dispersi a spese delle fibre vegetali o all'interno di canali di passaggio animale.

STRATO 3 (US 2α): 0–15 cm; colore 10YR 8/3 *very pale brown*; geometria lenticolare con base erosiva (CH); nella porzione settentrionale della sezione questo strato non

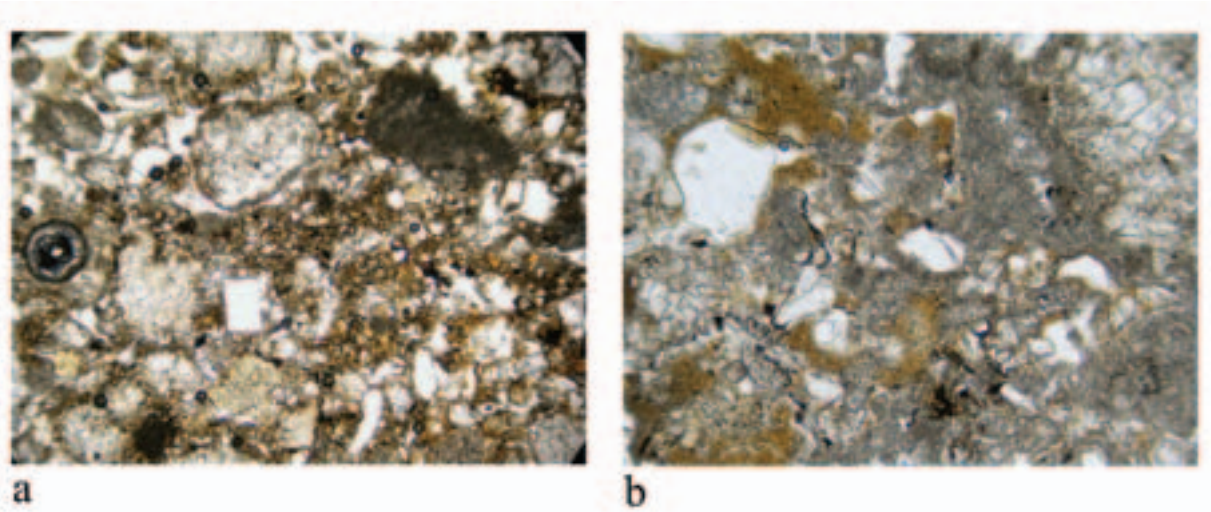

Fig. 20 – Grotta Reali; a: (PPL, *frame* 1,5 mm) – Aspetto generale della massa costituita da frammenti di concrezioni calcitiche, quarzo e da abbondanti frammenti di ossa, molto alterati e sub-arrotondati, dalla cui alterazione provengono i composti fossatici di colore giallastro; b: (PPL, *frame* 1,5 mm) – Figure di precipitazione di calcite che impregnano la massa precedentemente formatasi e ricca di minerali argillosi

è presente perché verosimilmente è stato completamente asportato dall'evento erosivo antecedente alla deposizione dello strato 2. Lo strato 3 è caratterizzato da sabbie calcaree fitoclastiche di aspetto massivo, alla cui base sono localmente presenti frammenti trasportati di travertino fitoclastico che rappresentano veri e propri ciottoli. Questi clasti hanno dimensioni centimetriche, e sono sepolti da ulteriore travertino fitoclastico laminato. Limite inferiore ondulato e debolmente erosivo sul primo livello di frequentazione antropica (US 2 e 2). Di particolare rilevanza è stato il riconoscimento, nella parte più orientale della sezione stratigrafica di un livello di discreto spessore di origine fitostromale: nella parte più alta della sezione tale livello si dispone verticalmente tendendo poi a disporsi orizzontalmente al contatto con il livello sottostante, ad individuare una crescita in atto dei depositi di cascata (Fig. 22).

Micromorfologie

CAMPIONE 2α. La sezione è costituita esclusivamente da calcite sparitica,con cristalli da molto a scarsamente aggregati. Sono completamente assenti altri costituenti minerali e frammenti di materia organica. Le uniche evidenze di attività biologica sono costituite da rari pori circolari di oorigine vegetale e da un singolo canale di passaggio animale. È presente una sottile crosta (Fig. 21) caratterizzata dallla presenza di calcite micritica e da una sottile lamina pigmentata con materia organica,che indica una breve fase di essiccazione. L'ambiente deposizionale doveva essere caratterizzato dalla presenza di acque pulite, senza apporto di materia organica o di materiali più grossolani dall'esterno.

STRATO 4 (US 2α e 2β): orizzonte di frequentazione antropica; spessore variabile da 0 cm a 6 cm; colore 10YR 5/2 *grayish brown*; dovuto all'abbondanza di materia organica (frustoli carboniosi, ceneri) che nel tratto della sezione esami-

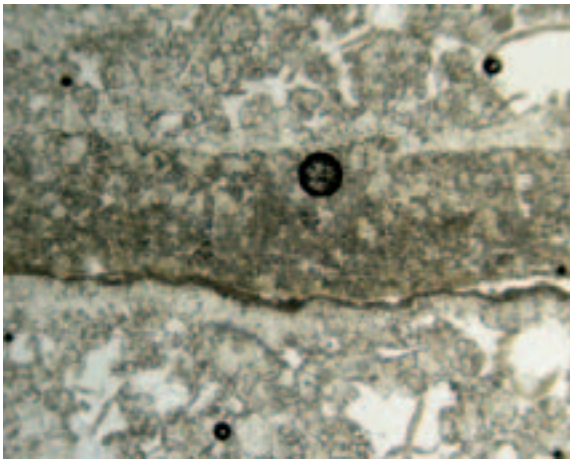

Fig. 21 – Grotta Reali; (PPL, *frame* 1 mm) – Crosta carbonatica con abbondante cemento micritico finemente pigmentato con materia organica. In basso e in alto si osserva calcite sparitica

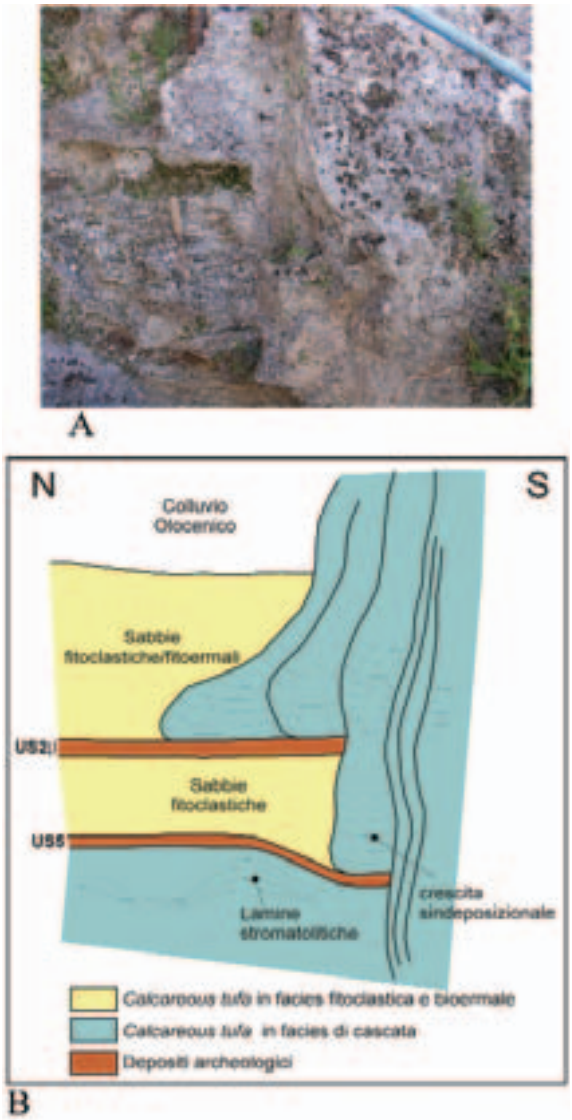

Fig. 22 – Grotta Reali; A - Evidenze della crescita di *calcareous tufa* durante la frequentazione antropica; B -Schema evolutivo e interstratificazione con i depositi del riparo

nata è maggiormente concentrata nella parte superiore. Quest'unità è lateralmente discontinua perché troncata dalla superficie erosiva che delimita la base dello strato 2. Da questo livello provengono resti di industrie litiche musteriane e frammenti ossei di animali (cfr. Cap. 2.3.4).

Micromorfologie

CAMPIONE 2α/β. La sezione proviene dal contatto tra la US 2β (livello antropico) e la sovrastante US 2α. Si osservano quindi due principali *facies* che si caratterizzano per il diverso contenuto di materiali di origine antropica, di sostanza organica e di figure di precipitazione carbonatiche. La distribuzione delle *facies* è irregolare ma nella parte bassa della sezione prevale la *Facies* A (US 2β) mentre nella parte alta è presente esclusivamente la *Facies* B (US 2α).

Facies A: È caratterizzata da scarsa aggregazione, con una massa di fondo costituita prevalentemente da calcite. La frazione grossolana è costituita da granuli monominerali di calcite sparitica (80%), frammenti di osso (10%), frammenti di selce angolosi (10%) e da un litorelitto di calcare micritico. Non sono presenti quarzo o minerali di origine vulcanica. Si osservano scarsi *cappings* sparitici su frammenti di ossa. La massa è costituita da calcite micritica, opaca, con molta materia organica in forma sia di frammenti monomorfici e polimorfici sia di puntuazioni. Sono presenti inoltre abbondanti figure escrementali di forma ellittica, di colore molto scuro e rari fitoliti di colore grigio-verdastro. I vuoti di origine vegetale presentano rivestimenti e ipo-rivestimenti di calcite. Il carattere dominante della *facies* è costituito dalla presenza di abbon-

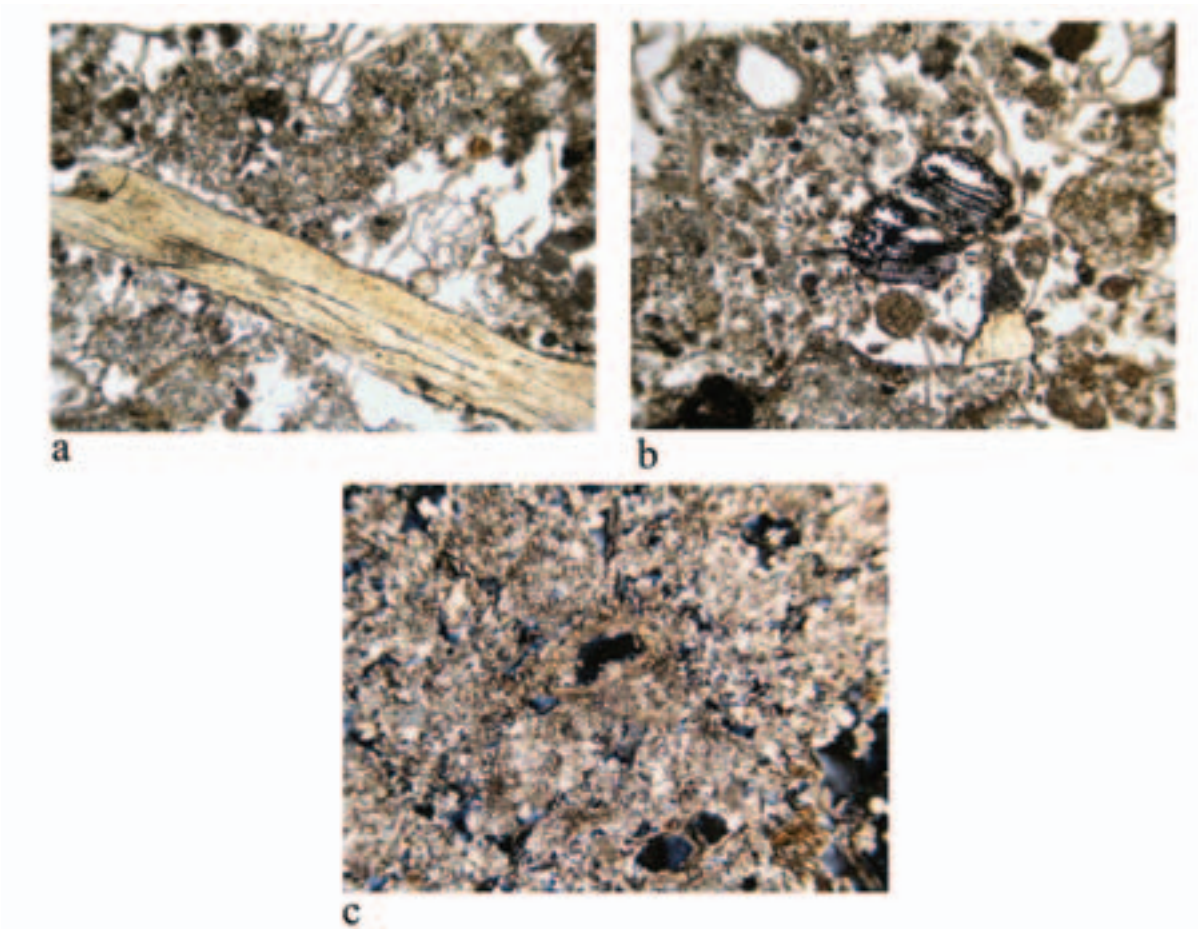

Fig. 23 – Grotta Reali; a: (PPL, *frame* 1,5 mm) – *Facies* A. Frammento di osso con in evidenza i canali haversiani. La massa circostante è costituita prevalentemente da abbondanti figure escrementali e granuli monominerali di calcite; b: (PPL, *frame* 1,5 mm) – *Facies* A. Frammento carbonioso con celle vegetali ancora riconoscibili. In basso, d colore giallastro, è presente un frammento osseo all'interno di una massa costituita quasi esclusivamente di figure escrementali; c: (XPL, *frame* 1,5 mm) – Aspetto generale della *Facies* B, costituita da calcite sparitica scarsamente aggregata con scarsi pori di origine vegetale con ipo-rivestimenti micritici più scuri.

danti frammenti di ossa, in parte con evidenze di bruciatura, frammentati e molto alterati (Fig. 23a), di frammenti di carboni (Fig. 23b) e di selce.

Facies B: Questa *facies* è dominata da una massa di fondo costituita da calcite sparitica con scarsi pori di origine vegetale con ipo-rivestimenti di micrite di colore più bruno (Fig. 23c). In basso, in prossimità del contatto con la sottostante *Facies* A aumenta la quantità di materia organica, sono presenti scarse figure escrementali e frammenti di osso di piccole dimensioni attorno ai quali si concentrano abbondanti vuoti di origine vegetale con rivestimenti micritici.

Campione 2β. La sezione è caratterizzata dalla presenza di 5 diverse *facies* (Fig. 24a), che si distinguono sulla base sia della composizione mineralogica della massa di fondo sia per la presenza o meno di alcune figure pedologiche. La lettura va dal basso verso l'alto.

A: è caratterizzata da calcite sparitica in granuli monominerali e dall'assenza di altri costituenti minerali. La calcite non è addensata e solo localmente è presente della micrite come agen-

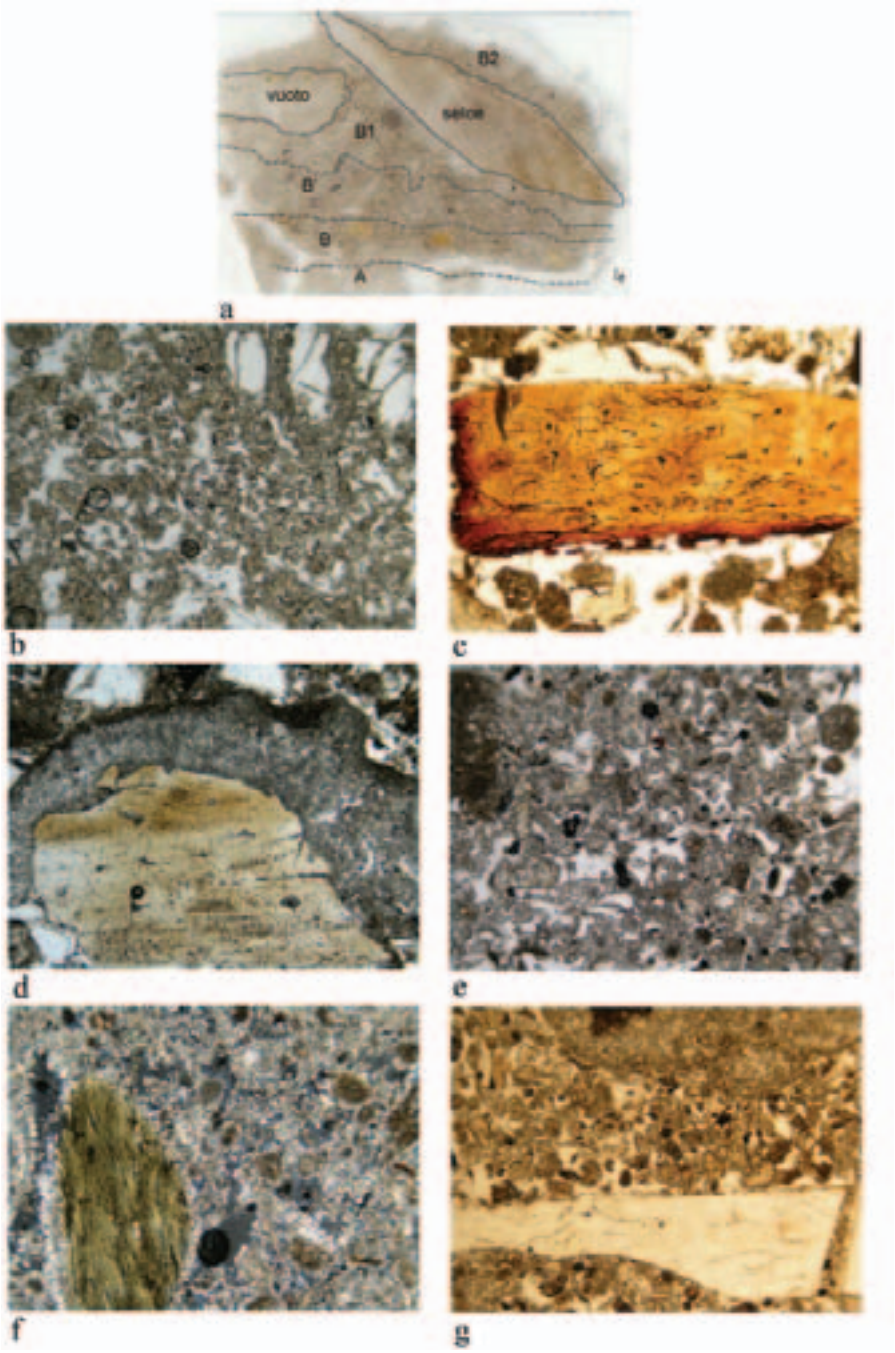

Fig. 24 – Grotta Reali; a: vetro della sezione sottile. In evidenza le diverse *facies* riconosciute e la loro distribuzione; b: (PPL, *frame* 1,5 mm) – La massa è costituita da figure escrementali di forma ellittica e rotondeggiante poco addensate. In alto a destra sono presenti vuoti di origine vegetale con iporivestimenti di calcite; c: (PPL, *frame* 1,5 mm) - Frammento di osso parzialmente bruciato disposto parallelamente alla superficie. In basso si osservano figure escrementali rotondeggianti con rivestimenti micritici; d: (PPL, *frame* 1 mm) – *Capping* calcitico su un frammento osseo. La concrezione sparitica, più limpida, è rivestita da materia organica amorfa finemente frammista a micrite; e: (PPL, *frame* 1,5 mm) – Massa di fondo costituita quasi esclusivamente da forme ellittiche e sferoidali tipiche di figure escrementali di natura calcitica; f: (XPL, *frame* 1,5 mm) – Frammento di osso sub-arrotondato e verticalizzato con rivestimento di calcite. La massa circostante è costituita da figure escrementali opaco e da calcite sparitica; g: (PPL, *frame* 1,5 mm) – Le abbondanti figure escrementali associate ai frammenti ossei

te cementante. La materia organica è molto scarsa e presente solo in forma di frammenti polimorfici e puntuazioni. I rari vuoti circolari di origine vegetale sono caratterizzati da rivestimenti e ipo–rivestimenti micritici. Comunemente la calcite si presenta in forma sub–arrotondata probabilmente di origine escrementale (Fig. 24b).

B: questa *facies* è caratterizzata dalla presenza di frammenti di osso molto abbondanti, anche molto grandi (2 mm) e che costituiscono circa l'80% della frazione grossolana, la maggior parte iso–orientati lungo piani paralleli al contatto con la sottostante *Facies* A. Parte dei frammenti ossei mostrano segni di parziale bruciatura (Fig. 24c). Sono inoltre presenti abbondanti figure arrotondate e sub–arrotondate costituite da micrite ricca di materia organica finissima di probabile origine escrementale, rari frammenti carboniosi e rari granuli monominerali di quarzo. Molti frammenti ossei presentano *cappings* di calcite sparitica e micritica (Fig. 24d). Sono inoltre presenti comuni figure escrementali disperse nella massa.

B': questa *facies* si distingue dalla precedente per l'aumento delle figure escrementali (Fig. 24e), da una porosità più abbondante dovuta alla minore aggregazione per la presenza di abbondanti croste micritiche frammentate e disperse. Inoltre i frammenti ossei sono disposti casualmente.

B1: questa *facies* è caratterizzata dalla presenza di un grande vuoto di origine biologica con un riempimento caotico, discontinuo, costituito da escrementi a composizione carbonatica e da frammenti di osso (Fig. 24). Inoltre si osserva l'aumento della frazione micritica, di aspetto molto opaco a causa dell'aumento della frazione organica, e la brusca diminuzione della quantità dei frammenti di osso, ora scarsi o molto più piccoli. Sono presenti abbondanti vuoti di origine vegetale con rivestimenti di calcite micritica. Alla sommità di questa *facies* è inoltre presente un grande frammento di selce, disposto obliquamente e sub–arrotondato.

B2: sopra il frammento di selce la sezione è caotica, con escrementi micritici molto abbondanti (Fig. 24g), frammenti di osso, carboni e abbondanti vuoti di origine vegetale con rivestimenti e ipo–rivestimenti di calcite sparitica e micritica.

STRATO 5 (US 3, US 4): spessore variabile da 6 a 30 cm; colore 10YR 8/3 *very pale brown*; livello fitoclastico sabbioso con laminazione incrociata a truogolo e piano parallela, caratterizzata dalla presenza di croste calcaree indurite di dimensione centimetriche, di forma lenticolare e concordanti con la laminazione. Il passaggio tra l'US3 e 4 è graduale. L'US 4 corrisponde ad un livello fitoermale generato da alghe incrostanti piccoli cuscini di vegetazione (muschi e essenze erbacee); localmente sono presenti piccoli canali riempiti di sedimenti ghiaioso–sabbiosi e rari clasti carbonatici, di dimensioni centimetriche, immersi in matrice sabbiosa calcarea. Il limite inferiore, di natura erosiva, è netto ed ondulato e corrisponde alla base di un canale scavato all'interno dei sedimenti appartenenti allo strato 6. Anche nello strato 5, nella parte più orientale della sezione stratigrafica, è presente un livello di origine fitostromale che da una disposizione verticale nella parte più alta della sezione si dispone orizzontalmente al contatto con il livello antropico. Questa geometria indica la crescita dei depositi di cascata che avveniva durante la frequentazione antropica.

Micromorfologie

CAMPIONE 4. La sezione è costituita nella sua totalità da un deposito di precipitazione di calcite; non sono presenti né minerali né litorelitti di altra natura, la materia organica è molto scarsa e limitata a pigmentazioni della micrite e non sono presenti evidenze di attività biologica, fatta eccezione per rari vuoti di origine vegetale. Si riconoscono tre *facies* principali di precipitazione di calcite. La prima *facies* è costituita da calcite sparitica fortemente addensata, in cui i cristalli di

calcite si accomodano strettamente uno all'altro (Fig. 25a) con scarso cemento micritico. La seconda *facies,* sempre costituita da calcite micritica, è costituita da cristalli di maggiori dimensioni, meno addensati, cha danno luogo a caratteristiche forme a "rosellina", con ampi vuoti tra una forma e l'altra (Fig. 25b). La terza *facies* da forme cristalline simili alla precedenti con abbondante matrice micritica a riempimento dei vuoti, pigmentata da materia organica fine (Fig. 25c). In corrispondenza di questa *facies* sono presenti i rari vuoti circolari sub–circolari di probabile origine vegetale (vegetazione erbacea) con rivestimenti e ipo–rivestimenti di calcite micritica.

STRATO 6 (US 5): spessore variabile da 5 a 20 cm; livello antropico lateralmente continuo. Anche in questo livello sono stati rinvenuti resti di manufatti litici musteriani e frammenti ossei di animali (Fig. 26). I resti archeologici erano immersi in una matrice sabbioso siltosa, localmente con abbondante materia organica di origine antropica (frustoli carboniosi, cebere, frammenti ossei, ecc.). Limite inferiore netto ed ondulato.

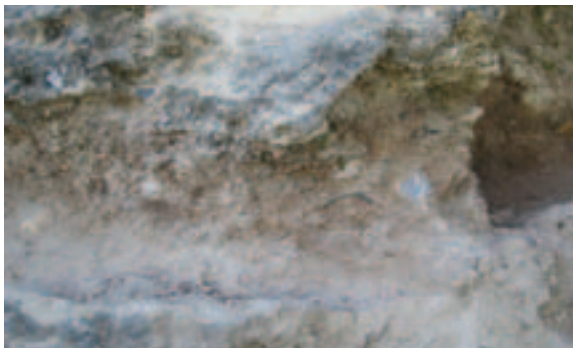

Fig. 26 – Grotta Reali; particolare dello strato Strato 6 (US5). Al centro della foto è possibile osservare due grossi frammenti di selce

Micromorfologie

CAMPIONE 5. La sezione si presenta relativamente uniforme e caratterizzata da una massa di fondo costituita da calcite micritica opaca, localmente ricca di materia organica fine, e da masse irregolari di colore giallo scuro

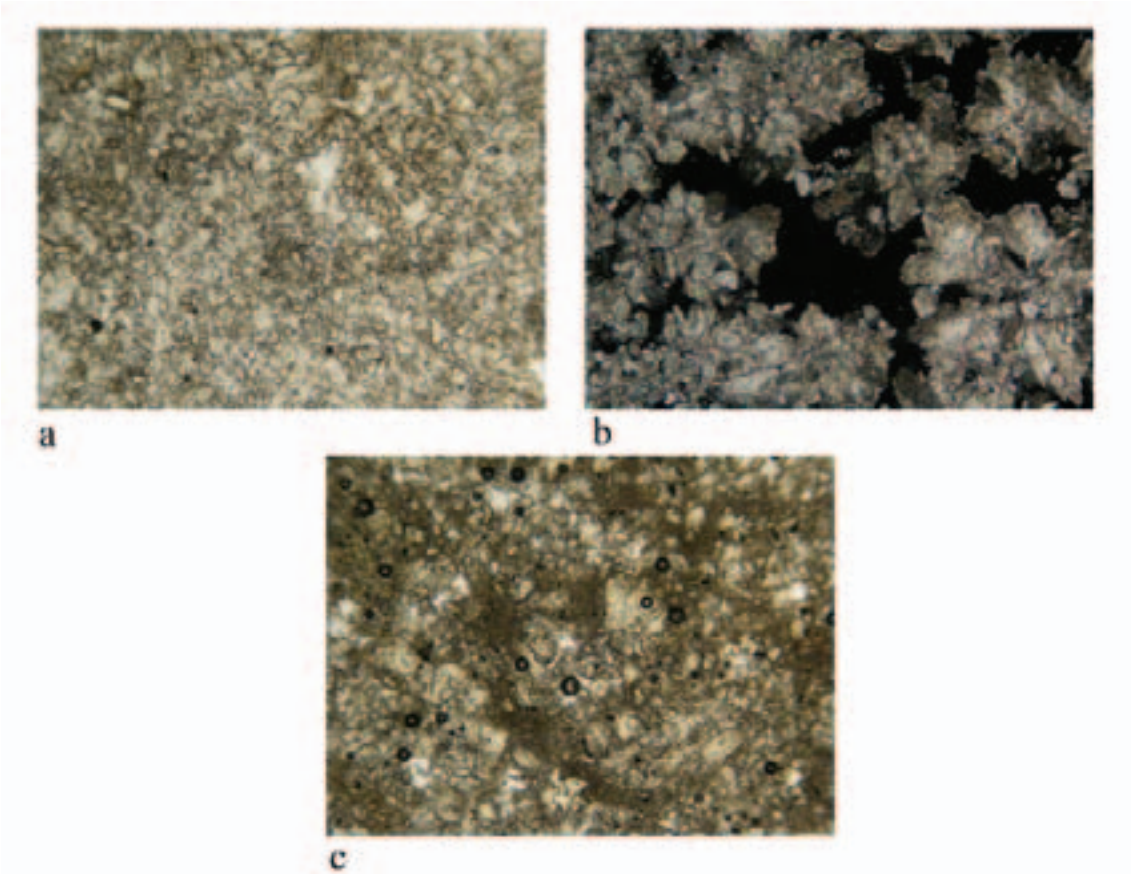

Fig. 25 – Grotta Reali; a: (PPL, *frame* 1,5 mm) – Calcite sparitica addensata con scarso cemento micritico e rari vuoti; b: (XPL, *frame* 1,5 mm) – Figure di precipitazione di calcite scarsamente addensate; c: le figure di precipitazione di calcite sparitica con abbondante cemento micritico di colore più scuro a causa del contenuto di materia organica fine

poco limpide costituite dai prodotti dell'alterazione dei frammenti di osso, molto abbondanti. La massa di fondo costituisce il 20% della massa totale. La frazione grossolana è costituita da granuli monominerali di calcite (70%), frammenti di concrezioni di calcite sparitica (20%), litorelitti di calcari micritici organogeni molto alterati (5%), quarzo (2%), frammenti di selci molto alterati (2%, Fig. 27a), pirosseni piccoli molto alterati (1%). La frazione organica è composta da frammenti di ossa (Fig. 27b), raramente parzialmente carbonizzati, sia di forma allungata sia sub–arrotondata che costituiscono una percentuale elevata (ca. 20%) dell'intera massa. Le ossa sono in gran parte molto alterate. Sono inoltre presenti abbondanti gusci di molluschi (10%, Fig. 27c), rari frammenti carboniosi e tessuti vegetali indecomposti. Le figure pedogenetiche più significative sono costituite da rivestimenti e ipo–rivestimenti di calcite intorno ai vuoti di origine vegetale.

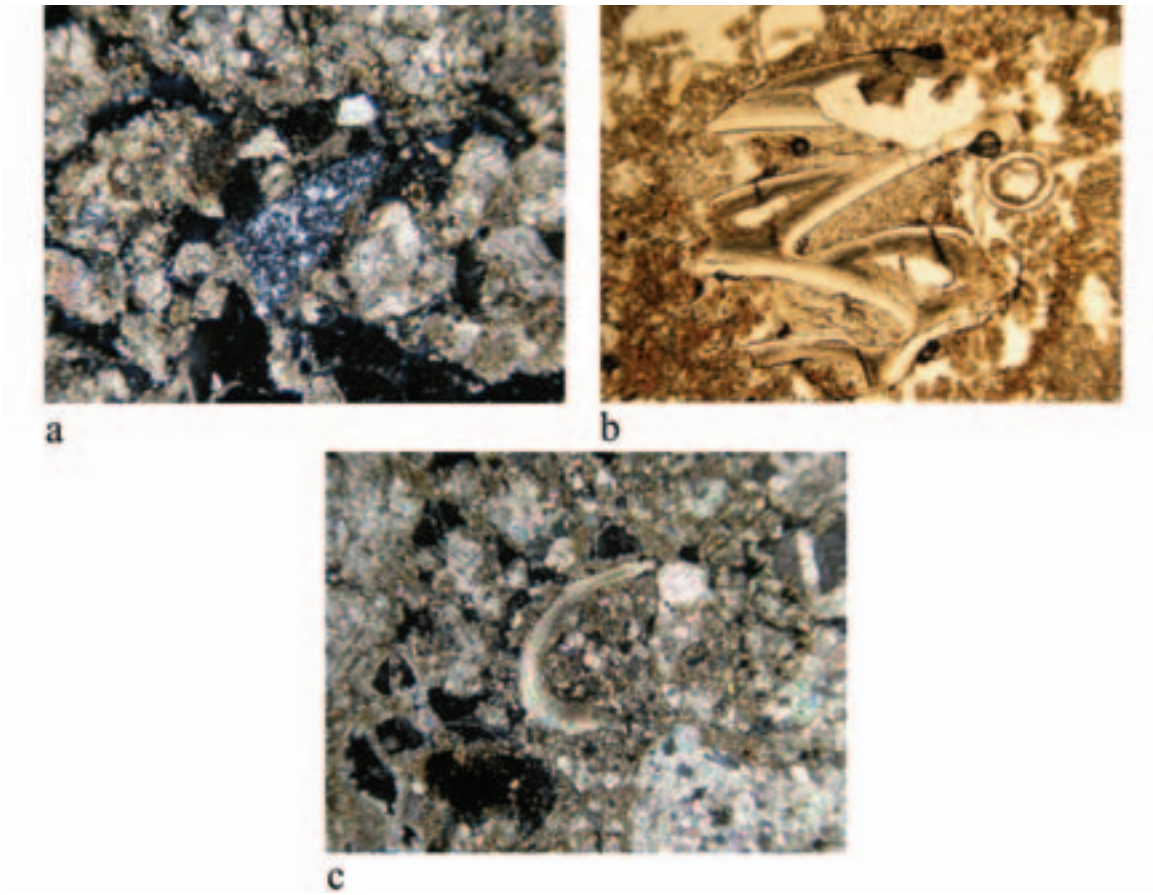

Fig. 27 – Grotta Reali; a: (XPL; *frame* 1,5 mm) – Frammento di selce in una massa costituita da granuli monominerali o da masse frammentate di calcite sparitica; b: (PPL, *frame* 1,5 mm) – Frammento di osso. La massa circostante è caratterizzata da abbondanti figure escrementali; c: (XPL, *frame* 1 mm) – Frammento di guscio di mollusco. In basso a destra si osserva un frammento di concrezione calcitica fortemente addensata

STRATO 7 (US 6–9): La parte sommitale di questo strato è caratterizzato da un sottile livello fitoclastico (spessore 1–4 cm) che delimita il passaggio tra la US 6 e US 7. Quest'ultima corrisponde ad un ulteriore livello di sabbie calcaree fitoclastiche (spessore 30–40 cm) con laminazione piano–parallela o incrociata a basso angolo. L'US 8 rappresenta un livello di ghiaie calcaree e frammenti di *calcareous tufa* fitoclastico a laminazione parallela e incrociata, dello spessore di circa 10 cm, con elementi di dimensioni centimetriche subarrotondati e appiattiti, in matrice sabbiosa calcarea. È possibile osservare una debole gradazione verso l'alto. Il contatto con le sabbie sottostanti (US 9) è ondulato o debolmente erosivo. Quest'unità basale corrisponde ad un ulteriore livello di sabbie calcaree fitoclastiche laminate, spesse all'incirca 40–50 cm.

Conclusioni

Il sito di "Grotta Reali" è ubicato all'interno di un esteso accumulo di *calcareous tufa* che sbarrava l'alta valle del Volturno durante la parte iniziale del Pleistocene superiore, verosimilmente sin dall'Ultimo Interglaciale. È però possibile, data l'estensione e lo spessore dei depositi, che i sedimenti più interni sepolti appartengano a cicli ancora più antichi. Si tratta di depositi carbonatici legati a risorgenze di acque non mineralizzate la cui precipitazione è solitamente associata all'elevata quantità di CO_2 di origine biologica presente nelle acque di percolazione. Essi testimoniano dunque periodi più o meno lunghi in cui i versanti del bacino del Volturno, che si estende fino ai Monti delle Mainarde, erano ricoperti da una fitta vegetazione. Tali condizioni in genere si verificavano durante periodi Interglaciali e/o Interstadiali. Le datazioni dei *calcareous tufa* effettuate in passato (Brancaccio *et al.*, 1988 cum bib.) ed i rinvenimenti effettuali nel sito di "Grotta Reali" confermano che la sedimentazione è sicuramente avvenuta durante le fasi iniziali dell'Ultima Glaciazione (MIS 4 e/o 3). Tuttavia è possibile che la sedimentazione si sia interrotta durante il MIS 4, associato ad uno Stadiale, durante il quale sul versante adriatico il clima era caratterizzato da una forte aridità con deposizione di sedimenti eolici (Cremaschi, 1991; Chiesa *et al.*,1990). In tal caso i depositi di Rocchetta al Volturno documenterebbero la fase di miglioramento climatico del MIS 3 iniziata intorno ai 40 ka, corrispondente alla parte finale del Paleolitico medio. Dato però che durante la fase più fredda del Pleistocene superiore (MIS 2) nel versante tirrenico meridionale è stata ipotizzata, sulla base di rinvenimenti faunistici, la presenza di zone rifugio per la vegetazione boschiva (Sala, 1983; Boscato *et al.*, 1997), non è escluso che la deposizione sia continuata anche durante parte del MIS 4.

Nel settore di "Grotta Reali", sul bordo meridionale dei depositi, malgrado i lavori di estrazione, è però stato possibile appurare che la sedimentazione cessa dopo il Musteriano, dato che i livelli contenenti le industrie sono gli ultimi a depositarsi. Data l'estensione della placca è anche possibile che dopo questo momento la sedimentazione si sia spostata in settori diversi ma si tratta di una coincidenza alquanto anomala. Si ricorda, infatti, che durante l'Ultimo Massimo Glaciale, quando i versanti erano denudati e le acque ricche di sedimenti clastici, la sedimentazione si è interrotta.

Le unità individuate mostrano *facies* estremamente variabili ma tutte generate in un contesto di sorgente, verosimilmente molto diversa dalla situazione attuale e più simile ai grandi complessi sorgentizi come quelli di Pamukkale (Turchia) (Altunel & Hancock, 1993; Özkul, *et al.*, 2002) o di Plitvice (Emeis *et al.* 1987). Contesti simili nell'Olocene antico erano estremamente diffusi anche nelle aree di sorgente italiane. Oggi a causa delle mutate condizioni ambientali e della scomparsa di gran parte della copertura forestale, la deposizione di *calcareous tufa* è estremamente limitata anche nell'area più prospiciente la sorgente. In passato le acque limpide generavano una moltitudine di laghi di dimensioni variabili sul cui bordo si generavano delle cascate modellando un versante con profilo a gradini. Le acque localmente si incanalavano generando piccoli canali erosivi al cui interno si potevano accumulare clasti delle dimensioni delle ghiaie, probabilmente durante i principali eventi meteorici. La deposizione è interrotta da due livelli di frequentazione antropica.

Il livello più antico (strato 6) è caratterizzato dalla presenza di abbondanti frammenti di ossa, anche di dimensioni molto piccole (30 μm) che indicano l'importanza dell'apporto di elementi di origine antropica, probabilmente resti di caccia e/o di cibo. Tuttavia, l'analisi micromorfologica non rivela evidenze di stabilità della superficie. Infatti sia i frammenti di ossa sia i litorelitti di forma allungata sono disposti casualmente, indicando l'assenza di processi di compattazione e calpestio prolungati. Anche la materia organica è nel complesso scarsa come i vuoti di origine vegetale mentre le figure pedogenetiche molto scarse sono

costituite solo da precipitazione di calcite. Sono presenti inoltre frammenti di concrezioni carbonatiche che suggeriscono la rielaborazione di livelli fitoclastici più antichi. Queste fasi di relativa breve stabilità sono interrotte da periodi di sedimentazione con alternanza di deposizione di livelli fitoclastici (strato 5) e di depositi caratterizzati da precipitazione di calcite sparitica e micritica "impura" con materia organica e frazione siltosa. Tali variazioni possono essere associate alla variazione stagionale di apporto di acque meteoriche.

Il livello di frequentazione più recente (strato 4) è costituito da una massa di fondo esclusivamente di calcite sparitica, la maggior parte della quale di probabile origine escrementale, che indica quindi la presenza di attività biologica a spese di un sedimento di precipitazione chimica precedentemente formatosi. Verso l'alto si osservano le figure tipiche di un livello di frequentazione, con abbondanti e grandi frammenti di osso, in parte bruciati, allineati secondo piani sub–orizzontali, paralleli alla superficie. Successivamente si osserva un aumento dell'attività biologica, con abbondanti residui escrementali, che rielaborano il livello di frequentazione arricchito in materia organica con una graduale ma sensibile diminuzione del materiale di origine antropica. Questa diminuzione è associata ad un aumento della precipitazione di micrite e di presenza di figure di origine vegetale, probabilmente in conseguenza di una fase di relativa stabilità con colonizzazione della superficie da parte di vegetazione erbacea. La presenza infine di frammenti di selce di forma sub–arrotondata potrebbe indicare il periodico arrivo di sedimenti rielaborati da flussi idrici associati alle dinamiche fluviali e torrentizie dell'ambiente circostante. Il livello di frequentazione è infine interrotto e sepolto da depositi caratteristici di ambienti con acque limpide e scarso apporto di materia organica o di sedimenti dall'ambiente esterno.

La sommità dell'unità è nuovamente caratterizzata dalla deposizione di sedimenti ricchi di carbonati (strato 2 e 3). Nello strato 2 tuttavia sono presenti evidenze di frequentazione testimoniata dall'apporto di materiali di origine antropica prevalentemente costituiti dai frammenti di osso. Nello strato 1 livelli simili si alternano a fasi di debole erosione che generano una superficie di discontinuità molto evidente che taglia gli strati precedentemente deposti. Anche all'interno di questa US sono presenti evidenze di frequentazione. Il deposito originariamente era costituito da livelli di calcite sparitica e sottili croste, probabilmente formatesi in concomitanza con brevi fasi di essiccazione. Successivamente si osserva una fase di stabilità prolungata, probabilmente sotto copertura vegetale, che ha condotto alla formazione della frazione argillosa della massa di fondo, unitamente all'arrivo di materiali vulcanici. Una fase di disturbo successiva è testimoniata dalla presenza dei pedorelitti contemporaneamente all'apporto di materiali di origine antropica prevalentemente costituiti dai frammenti di osso. Questi sono molto abbondanti, con indizi di bruciatura, rimaneggiati e localmente molto alterati. A questa fase di disturbo, corrispondono anche le figure di origine biologica sia animale (canali e escrementi) sia vegetale. I fluidi circolanti sono comunque ricchi di $CaCO_3$ come indicato dalla precipitazione dei carbonati all'interno dei vuoti.

Per concludere, l'interstratificazione tra *facies* di cascata, *facies* fitoclastiche e bioermali e livelli di occupazione antropica, indica che la frequentazione è avvenuta all'interno di un riparo generato dalla crescita di cascate concrezionali. Ai piedi della cascata erano presenti piccole depressioni che venivano riempite di materiale clastico proveniente dai processi di erosione, che pur in maniera ridotta, interessavano le pareti delle cascate. La crescita di sedimenti fitostromali sulle pareti del riparo indica che questo settore era interessato da un velo d'acqua e che dunque il riparo era caratterizzato da una estrema umidità. Ciò sembrerebbe negare la possibilità che si tratti di un'area insediativa stabile ma che fosse verosimilmente connessa ad attività specifiche, probabilmente la caccia, dato che le sorgenti dovevano comunque attrarre una quantità notevole di fauna.