



I SESSIONE
I SESSION

GEOLOGIA - PALEONTOLOGIA
GEOLOGY - PALAENTOLOGY

Chairman: F. ZARLENGA

La sinclinale di Morgantina quale sito archeologico ellenistico *Morgantina's syncline as archaeological ellenistic site*

SCHILIRÒ F. (*), BRUNO G. (**), CANNATA A. (*) & RENNA E. (***)

RIASSUNTO - È frequente riscontrare alcuni siti archeologici nei quali sorgono resti di antiche città e notare come la loro ubicazione sia stata il risultato delle conoscenze geomorfologiche e idrogeologiche del territorio; la città di Morgantina ci dà questa sensazione. Questa città è situata su alcune colline dei Monti Erei, a circa 650 m s.l.m., nei pressi della città di Aidone (Enna) e fu fondata nel VI secolo a.C. dai Calcidesi. L'espansione urbanistica di Morgantina testimonia che questo sito presentava in passato delle buone condizioni di stabilità geologica e morfologica.

Da un punto di vista geologico Morgantina si sviluppa in una sinclinale di sabbie e arenarie Plio-pleistoceniche poggianti su delle coeve argille marnose che costituiscono il substrato impermeabile della sovrastante falda idrica multistrato.

Durante il periodo greco furono realizzati importanti edifici privati e pubblici dei quali solo la *Stoa Ovest* rimase incompleta, probabilmente per motivi di instabilità dovuti all'esecuzione di uno scavo di circa 4 m eseguito al contatto tra le sabbie e le sottostanti argille marnose. Oggi il sito archeologico risulta minacciato da problemi di instabilità dovuti sia alle modalità di esecuzione degli scavi sia alle mutate condizioni morfostrutturali dell'area.

PAROLE CHIAVE: Archeologia, Geologia Strutturale, Modificazioni Climatiche, Stabilità Geomorfologica.

ABSTRACT - It is frequent to meet with some archaeological sites with the remains of old cities and observe how their ubication has been a result of hydrogeological and geomorphological knowledge of the places; Morgantina gives this sensation. This hellenistic city is situated on the hills of the Mt. Erei's system at 650 m a.s.l., near Aidone's town (Enna) and it was founded during VI century B.C. by a *graeo-calcidese* colony. Morgantina's urbanistic expansion proves

that in this place both geological and morfological stability conditions were good.

From a geological point of view, Morgantina is situated within a syncline of Plio-pleistocenic sand and sandstone lying on a substratum of supra-pleiocenic marly-clays forming an impermeable substratum for the water-bearing layers presents in this synclinalic structure.

In the greek period only a building-work (*West Stoa*) remained unfinished, probably for instability reasons, due to an excavation of about 4 meters carried out at contact between sands and marly clays. At the present the archeological area is threatened by instability problems due to both the archaeological excavations and the changed morphostructural conditions of the area.

KEY WORDS: Archaeology, Structural Geology, Climatic Changes, Geomorphological Stability.

1. – CONTESTO STORICO E SVILUPPO URBANISTICO E DEMOGRAFICO

Per chi ha conoscenze umanistiche studiare l'archeologia della città di «Morgantina» sotto il profilo geologico-urbanistico rappresenta il modo più idoneo per rivisitare quelle civiltà analizzandone i comportamenti non nei loro momenti storici, politici o filosofici, studiati e conosciuti sui banchi di scuola, ma nella loro capacità di far sorgere città a misura d'uomo, opere in cui i coloni greci si dimostrarono maestri.

(*) Istituto di Geologia e Geofisica - Università di Catania (Catania - Italy)

(**) Istituto di Geologia Applicata e Geotecnica - Politecnico di Bari (Bari - Italy)

(***) Via S. Agata, 121 (Enna - Italy)

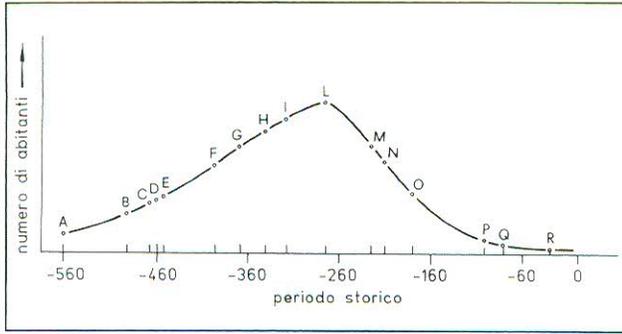
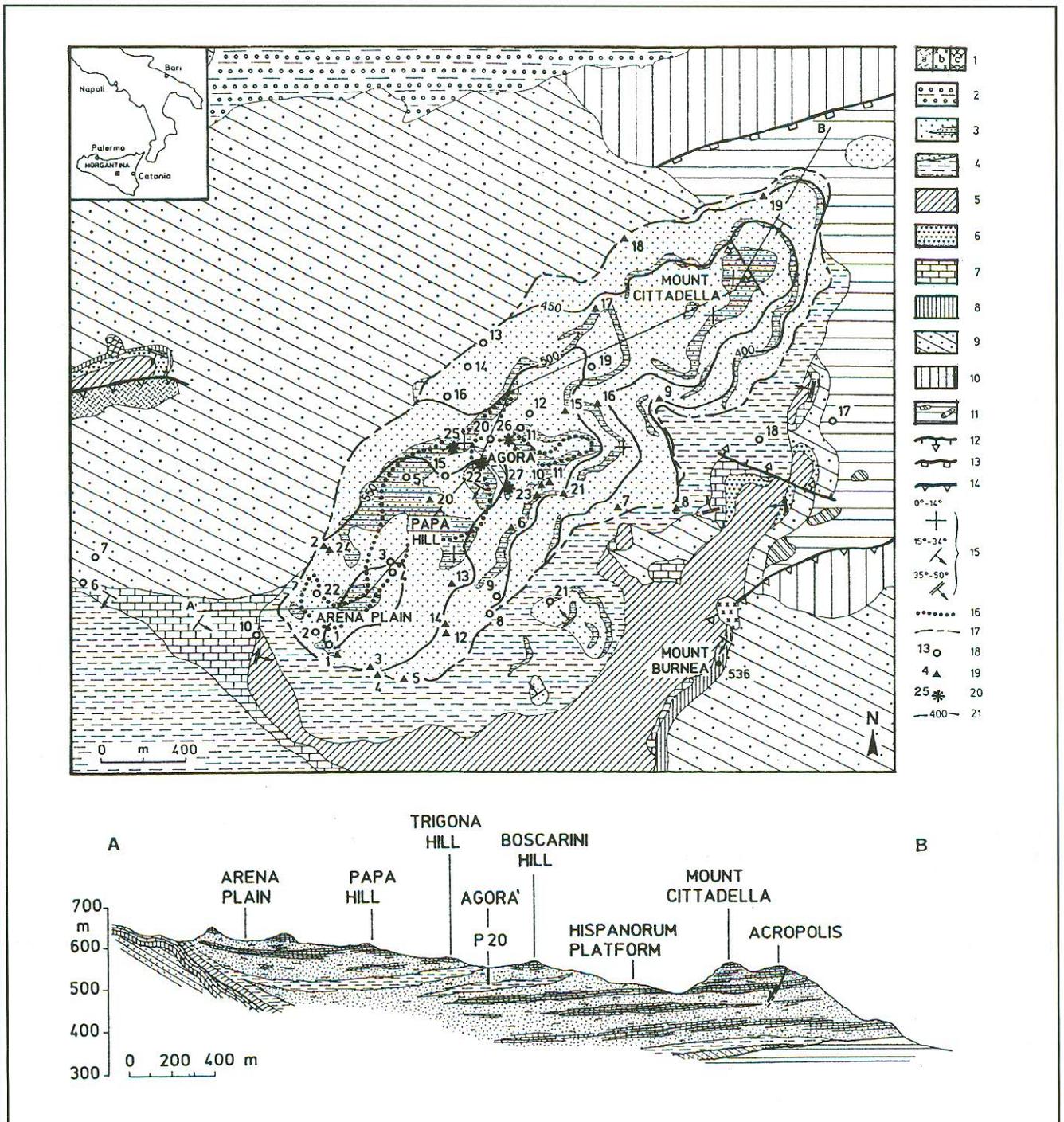


Fig. 1. – Schematizzazione dell'andamento della popolazione residente a Morgantina in relazione agli eventi storici.

– Trend of the population registered in Morgantina in relation of the historical events.

Fig. 2.



Le vicende storiche che hanno interessato l'insediamento ellenistico di Morgantina (RAFFIOTTA, 1991), dalla data della sua fondazione a quella del suo declino e abbandono trovano un ovvio riscontro nell'andamento demografico della popolazione residente. Il primo nucleo abitativo ellenistico fu realizzato circa nel 560 a.C. ad opera dei Calcidesi che risalirono la valle dell'allora navigabile F. Gornalunga e si insediarono sulle alture del M.te Cittadella. La popolazione residente dell'epoca può essere stimata in circa 1000 persone, quindi il numero di abitanti della città cresce sia pure con alterne vicende legate, prevalentemente, ad eventi bellici (fig. 1-A).

In particolare nel 490 a.C. (fig. 1-B), la Cittadella viene distrutta da Ippocrate quindi a partire dal 466 a.C. si ha una lenta ripresa socioeconomica e demografica testimoniata dall'istituzione nella città di una zecca (fig. 1-C). Nell'anno 459 a.C. i Siculi guidati da Ducezio conquistano la Cittadella e decidono di spostare l'insediamento in C.da Serra d'Orlando (fig. 1-D).

A partire da tale data Morgantina, in seguito alla contesa tra i Greci e i Siculi, subisce vicende alterne e finalmente nell'anno 396 a.C. (fig. 1-E,F) i Siracusani guidati da Dionisio riconquistano definitivamente la città che vive un periodo di tranquillità socioeconomica fino al 368 a.C. (fig. 1-G) data in cui, a seguito della morte di Dionisio, si verifica una crisi politica.

L'emissione di numerose monete databili intorno al 340 a.C. e la costruzione di numerosi edifici testimoniano una ripresa socioeconomica e demografica della città (fig. 1-H). Nel periodo compreso tra il 317 a.C. ed il 276 a.C. (fig. 1-I,L) la città viene liberata da Agatocle dalla borghesia agraria siracusana e vive il suo periodo di massimo splendore testimoniato da un forte incremento edilizio (costruzione dell'*Agorà* e della *fontana monumentale della Stoà Est*) e demografico (popolazione residente stimata da 10.000 a 30.000 persone).

Successivamente a tale periodo si cominciano ad avvertire i primi sintomi della crisi climatica calda che

determinò la riduzione della portata idrica delle sorgenti dell'area testimoniata dai lavori di riduzione dell'invaso della vasca della fontana monumentale (SANTAGATI, 1991), da 41 dm³ a 19.5 dm³ (fig. 1-M).

Nell'anno 211 a.C. la città viene conquistata dai Romani che la cedono ai loro mercenari Ispani (fig. 1-N); quindi intorno al 120 a.C. l'inasprirsi della crisi climatica determina l'esaurimento della sorgente che alimentava la *fontana monumentale della Stoà Est* che viene, quindi, rifornita d'acqua mediante una condotta d'adduzione (fig. 1-O). Intorno all'anno 104 a.C., in seguito alla ripresa delle attività belliche, la città viene conquistata dai ribelli di Salvio e l'andamento demografico subisce un forte calo (fig. 1-P).

La crisi climatica calda si fa sempre più marcata e intorno all'anno 70 a.C. viene interrata la vasca interna della *fontana monumentale*; a questo periodo si può ricondurre anche il probabile inizio della costruzione di un acquedotto che avrebbe dovuto portare l'acqua dalla vicina città di Aidone a Morgantina (fig. 1-Q). Infine, gli ultimi indizi abitativi della città risalgono all'incirca al 30 a.C. (fig. 1-R); oltre tale data non si hanno testimonianze storiche e archeologiche che attestino una frequentazione dell'area della sinclinale di Morgantina.

2. – CENNI GEOMORFOLOGICI

L'area in cui sorge l'insediamento archeologico ellenistico di Morgantina (Aidone, Sicilia) si colloca in una struttura geologica sinclinale (BRUNO & NICOSIA, 1994). Tale sinclinale, il cui asse longitudinale è allungato in direzione NE-SW, è costituita da un nucleo di sabbie e arenarie del Plio-Pleistocene cui seguono, verso il basso ed ai lati, diverse formazioni rocciose a prevalente composizione pelitica le cui età sono comprese tra il Cretaceo e il Plio-Pleistocene (fig. 2). Un'eccezione, in tal senso, è rappresentata dalle rocce

Fig. 2. – Carta idrogeologica e sezione geologica: 1a) Rosticci di miniera (Attuali); 1b) Detriti (Attuali); 1c) Frane (Attuali); 2) Alluvioni (Olocene); 3) Sabbie ed arenarie, Form. delle Sabbie Superiori (Plio-Pleistocene); 4) Argille marnoso-siltose, Form. Geracello (Pliocene sup.-Pleistocene); 5) Marne e calcari marnosi, Form. dei Trubi (Pliocene inf.); 6) Gessi, Serie Solfifera Siciliana (Messiniano); 7) Calcari, Form. dei Calcari di Base - Serie Solfifera Siciliana (Messiniano); 8) Marne silicee e diatomiti, Form. dei Tripoli (Messiniano); 9) Argille e argille marnoso-sabbiose, Form. Terravecchia (Tortoniano); 10) Argille e quarzareniti, Form. del Flysch Numidico (Oligocene-Miocene); 11) Argille con esotici di calcari marnosi (Form. Polizzi), Form. delle Argille Variegate (Cretaceo - Eocene); 12) Faglie normali; 13) Falde di ricoprimento; 14) Faglie inverse e sovrascorrimenti; 15) Giacitura degli strati; 16) Spartiacque idrografico; 17) Spartiacque idrogeologico; 18) Pozzi; 19) Sorgenti; 20) Sorgenti anidre; 21) Isopieze; 22) Ubicazione delle stazioni di misure geomeccaniche (da BRUNO & NICOSIA, 1994 - modificata).

– Hydrogeological map and geological section: 1a) Slag (present day); 1b) Talus (present day); 1c) Landslide (present day); 2) Alluviums (Holocene); 3) Sands and sandstones, Upper Sands Formation (Plio-Pleistocene); 4) Marly-silty clays, Geracello Formation (Upper Pliocene-Pleistocene); 5) Marls and marly limestones, Trubi Formation (Lower Pliocene); 6) Gypsums, Sicilian Evaporitic Series (Messinian); 7) Limestones, Calcari di Base, Sicilian Evaporitic Series (Messinian); 8) Siliceous marls and diatomites, Tripoli Formation (Messinian); 9) Clays and marly-sandy clays, Terravecchia Formation (Tortonian); 10) Clays and quartzitic sandstones, Numidic Flysch Formation (Oligocene-Miocene); 11) Clays with marly limestones (Polizzi Formation), Variegated Clays Formation (Cretaceous-Eocene); 12) Normal faults; 13) Overthrust nappes; 14) Thrust and reverse faults; 15) Strike and dip of strata; 16) Hydrographical watershed; 17) Hydrogeological watershed; 18) Wells; 19) Springs; 20) Dry springs; 21) Isopieze lines; 22) Location of the geomechanic stations (from BRUNO & NICOSIA, 1994 - modified).

della Serie Solfifera siciliana che, nella successione stratigrafica dell'area, si collocano tra le argille e marne sabbiose della tortoniana Formazione Terravecchia e l'alternanza marnoso-calcareo della Formazione dei Trubi del Pliocene inferiore.

Dal punto di vista morfologico, le vicende tettonico-strutturali hanno determinato un rilievo di tipo inverso. Infatti, la sinclinale di Morgantina non è morfologicamente depressa bensì costituisce una dorsale che si sviluppa ad una quota media di circa 600 m s.l.m..

Le colline che formano la dorsale e i margini della sinclinale sono costituite dalle rocce arenaceo-sabbiose che, per la loro minore erodibilità, determinano un sensibile gradino morfologico al passaggio con le sottostanti rocce argillose che costituiscono le pendici della dorsale. In particolare il fianco Nord-Ovest della sinclinale, prima di digradare dolcemente fino alla piana alluvionale del F. Gornalunga, è caratterizzato da un ripido salto morfologico ereditato, in qualche modo, dalla paleogeografia dell'area di sedimentazione delle sabbie Plio-pleistoceniche che lungo questo fianco sono in trasgressione direttamente sulla Serie Solfifera oltre che sulle argille delle formazioni Terravecchia e delle Argille Varicolori.

3. – ASPETTI IDROGEOLOGICI

L'idrogeologia dell'area di Morgantina è strettamente connessa al suo assetto litostratigrafico e strutturale. Infatti, la presenza di una struttura sinclinalica con al nucleo rocce sabbioso-arenacee ed alla base un substrato argilloso ha consentito l'instaurarsi di un acquifero.

L'acquifero, costituito dalle rocce sabbioso-arenacee, ospita una falda multistrato nella quale si possono distinguere due livelli idrici sovrapposti. La presenza di lenti eteropiche di argille marnose all'interno delle sabbie (vedi sezione geologica fig. 2) determina la presenza di un livello idrico sospeso presente sia nell'area a Sud-Ovest dell'*Agorà* sia nell'area di M.te Cittadella.

Tale livello idrico non è completamente separato da quello della sottostante falda principale; infatti, l'acqua del livello superiore si versa nella falda sottostante trascinando da una soglia sotterranea, ubicata lungo il lato Nord-Ovest dell'acquifero, dovuta alla chiusura a lente del livello eteropico delle argille marnose che fungono da substrato impermeabile del livello idrico superiore.

La presenza di un livello idrico superiore è testimoniata, inoltre, sia dalle numerose evidenze idrogeologi-

che riscontrate (stratigrafie di pozzi, sorgenti di soglia di permeabilità) sia da dati storico-archeologici quali ad esempio il ritrovamento di un pozzo scavato a mano, in epoca ellenistica, nella zona del M.te Cittadella e documentato nei «reports» degli scavi archeologici (CROUCH, 1984).

L'analisi del chimismo delle acque (BRUNO & NICOSIA, 1994), ha evidenziato una sostanziale omogeneità dei costituenti ionici principali, nei diversi punti acqua campionati, confermando così la marcata interconnessione esistente tra i due livelli idrici sovrapposti.

In particolare è risultato molto utile, ai fini geoarcheologici, il censimento e l'ubicazione delle sorgenti che attualmente sono anidre e che, in epoca ellenistica, fornivano una cospicua portata idrica. Tali sorgenti, indicate con i numeri d'ordine 22, 25, 26, 27, 28, 29, sono ubicate tutte ai margini dell'*Agorà* ad eccezione della n. 28 che si colloca a Sud-Est del M.te Cittadella e della n. 25 ubicata nei pressi del *Santuario Nord o di Demetra* (fig. 2).

L'ubicazione delle sorgenti anidre ha consentito di ricostruire l'andamento della superficie piezometrica del livello idrico superiore in epoca ellenistica. Per quanto riguarda, inoltre, il carico idraulico cui era sottoposto il muro di contenimento della *Stoa Ovest*, durante la sua costruzione rimasta incompleta è stato possibile stimarlo in circa 40 m.

Il rilievo dei reperti archeologici presenti nell'area residenziale di Morgantina (ATZORI *et alii*, 1995) congiuntamente alle notizie storico-bibliografiche hanno messo in evidenza l'esistenza di una estesa rete idrica verosimilmente caratterizzata da una gestione separata delle acque bianche da quelle reflue.

La rappresentazione diagrammatica delle direzioni degli elementi della rete idrica, distinti per tipologie costruttive, e delle fratture rilevate nelle arenarie affioranti nell'area (fig. 3), permette di asserire che i canali idrici realizzati nelle arenarie non sono stati impostati lungo le linee di fratturazione della roccia.

L'approvvigionamento idropotabile avveniva prevalentemente mediante le numerose sorgenti ancora oggi presenti nell'area, che in qualche caso (sorgente n. 26), venivano utilizzate per alimentare fontane pubbliche; tuttavia, a fronte di una popolazione residente che durante il periodo di massimo splendore (fig. 1) è stimabile intorno ai 10.000 ÷ 30.000 abitanti, si verifica una lenta diminuzione della disponibilità idrica della falda che determina intorno all'anno 30 a.C. l'abbandono dell'area.

Il depauperamento della falda è da mettere, probabilmente, in relazione con una scorretta gestione della

risorsa idrica da parte delle popolazioni subentrate ai greci a partire dal 211 a.C. e soprattutto alla crisi climatica calda verificatasi in questo periodo storico (NILSSON, 1983; PINNA, 1977).

4. – FENOMENI FRANOSI E INSTABILITÀ DEL SITO ARCHEOLOGICO

Per quanto riguarda la stabilità del territorio, Morgantina è attualmente interessata da processi di dissesto superficiale e mediamente profondo che si manifestano sotto forma di franamenti che, in qualche caso, coinvolgono il patrimonio archeologico ivi presente.

Le frane più significative rilevate all'interno della sinclinale ove sorge il sito archeologico sono state distinte e classificate in base al tipo di movimento e alla natura litologica delle rocce coinvolte. Nel versante di Sud-Est della collina Boscarini, in prossimità della cosiddetta *Casa di Ganimede* è stata rilevata una frana di crollo. Tale fenomeno, attualmente in evoluzione, interessa le arenarie quarzoso-calcaree che in quest'area sono interessate da un complesso sistema di faglie dirette.

Gli stress tettonici hanno determinato un intenso stato di fratturazione delle arenarie che, nelle stazioni di rilievo geostrutturale eseguite nei pressi dell'*Agorà*, presentano sistemi di joints di tipo K (lunghezza >1 m) con immersioni di 53° e 232°, inclinazioni di 88° e 83° e spaziature, rispettivamente, di 22 e 54 cm.

Il movimento franoso è stato innescato dalle sovrappressioni interstiziali, dovute alle copiose piogge verificatesi durante l'inverno '95; esse hanno determinato uno squilibrio delle forze resistenti lungo le fratture di un ammasso roccioso che oltre ad essere decompresso, a causa degli scavi archeologici condotti nell'area, è molto alterato e soggetto a fenomeni di scalzamento al piede per erosione differenziale delle sottostanti sabbie.

Poche decine di metri a N-W di quest'area, sempre a causa delle piogge e in seguito ad una risposta elastica dell'ammasso roccioso al suddetto franamento, si è verificato il crollo del muro perimetrale della *Grande Fornace*. Le spinte del terrapieno retrostanti i muri della *Grande Fornace* sono ancora attive infatti le opere di puntellamento eseguite dalla Soprintendenza ai BB.CC.AA. di Enna risultano attualmente instabili.

Nell'area sud-orientale dell'*Agorà*, è stato rilevato un esteso fenomeno pregresso di frana di tipo com-

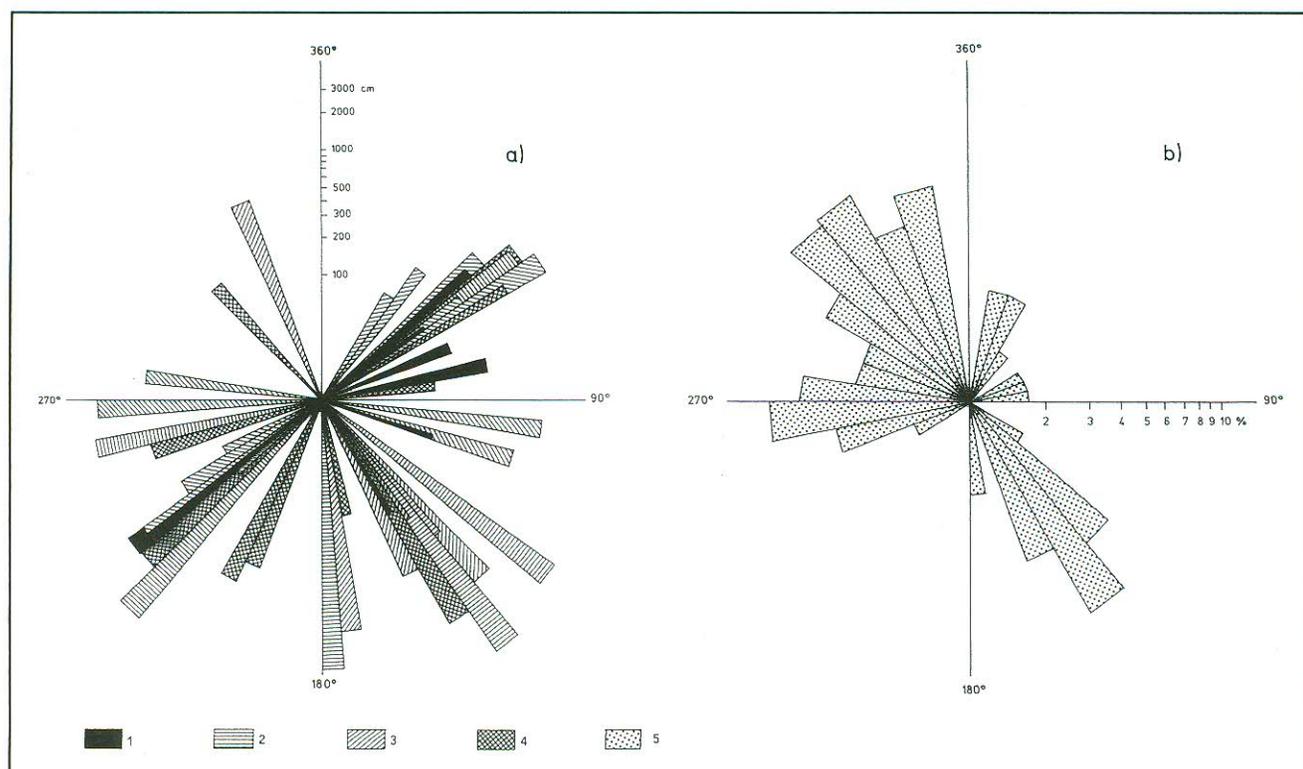


Fig. 3. – Diagrammi delle orientazioni degli elementi della rete idrica (a) e delle fratture presenti nelle arenarie (b):
 1) Canali in terracotta; 2) Canali in arenaria; 3) Condotte in terracotta con $\varnothing > 15$ cm; 4) Condotte in terracotta con $\varnothing 15$ cm;
 5) Direzione delle fratture rilevate nelle arenarie.

– Orientation diagrams of the water system elements (a) and of the fractures into the sandstones (b): 1) Pottery channels;
 2) Sandstone channels; 3) Pottery conduits with $\varnothing > 15$ cm; 4) Pottery conduits with $\varnothing 15$ cm; 5) Strikes of the fractures found into the sandstones.

plesso che interessa l'alternanza sabbioso-arenacea, la lente di argille marnose ivi presente e il materiale di risulta degli scavi. In particolare la porzione nord-orientale della frana è stata riattivata, di recente, da una frana di crollo che interessa le arenarie quarzoso-calcaree. A sinistra del coronamento della frana quiescente, più precisamente nei pressi della *Stoà Ovest*, il terreno sabbioso-argilloso è interessato da fenomeni di scoscendimento che provocano spinte attive sul muro perimetrale della *Stoà*. Le sabbie, presenti nell'area, si presentano allo stato sciolto con densità relativa $D_r = 40 \div 50\%$ e densità in situ che vanno da $d = 1.31$ g/cc a $d = 1.64$ g/cc rispettivamente nei livelli superiori ed inferiori della formazione.

La costruzione della *Stoà Ovest* era prevista su due piani, probabilmente per sfruttare il dislivello esistente lungo la pendice, e ciò comportò sicuramente l'esecuzione di un fronte di sbancamento di almeno 4 metri di altezza. I Greci che pure si accorsero dei problemi di instabilità del muro di contenimento della *Stoà Ovest* tentarono di porvi rimedio realizzando dei contrafforti e un muro molto più spesso di quelli delle altre *Stoà* senza tuttavia riuscire a portare a termine la costruzione.

La causa di tale insuccesso è da imputare alle elevate spinte agenti sul muro perimetrale di contenimento della *Stoà Ovest*, dovute sia alle elevate pressioni interstiziali, causate dalla presenza di acqua di falda, sia all'azione spingente delle argille marnose.

5. – CONCLUSIONI

Gli scavi condotti nell'area archeologica di Morgantina hanno portato alla luce un insediamento abitativo caratterizzato da edifici di notevole pregio architettonico oltre che di una estesa rete idrica che denota l'adozione di soluzioni tecniche di notevole ingegno.

La città sia pure con alterne vicende subì un forte incremento demografico raggiungendo, intorno alla metà del III sec. a.C., una popolazione residente stimata in 10.000 ÷ 30.000 abitanti. Tale notevole sviluppo dell'insediamento ellenistico fu possibile grazie alla elevata disponibilità idrica presente nell'area oltre che alla particolare collocazione geografica di Morgantina in relazione al contesto sociopolitico del tempo.

Gli studi a carattere idrogeologico condotti nell'area e le evidenze storico-archeologiche hanno evidenziato un sostanziale declino della città, a partire dalla fine del III sec. a.C., che in qualche modo coincise con le mutate condizioni sociopolitiche e, soprattutto, con l'inasprirsi di una crisi climatica calda che determinò

una forte diminuzione della disponibilità idrica nell'area.

A fronte delle pregevoli opere architettoniche realizzate in epoca ellenistica è da segnalare il mancato completamento della *Stoà Ovest* da imputare a localizzati problemi di instabilità idrogeologica.

I fenomeni di instabilità attualmente in corso lungo alcune pendici sono sostanzialmente del tipo movimento di massa; in particolare è stata rilevata una frana pregressa di tipo composito e delle frane di crollo.

Le cause dei dissesti sono da imputare oltre che all'assetto litostratigrafico e idrogeologico dell'area anche allo stato di fratturazione delle arenarie. In un tale contesto fenomeni imprevedibili come eventi piovosi eccezionali o sistematici quali i fenomeni di decompressione delle pendici dovuti all'esecuzione degli scavi archeologici possono innescare o riattivare fenomeni franosi che a volte coinvolgono il patrimonio archeologico.

Ringraziamenti

Gli autori desiderano ringraziare la SOPRINTENDENZA AI BENI CULTURALI ED AMBIENTALI DI ENNA per aver consentito le ricerche e la stampa dei risultati (autorizzazione n. 2782/III del 13-9-1995) e la signora MARIA ROSARIA PAIANO per le realizzazioni grafiche.

BIBLIOGRAFIA

- ATZORI P., BRUNO G., CROUCH D.P., MAZZOLENI P. & PEZZINO A. (1995) - *Hydrogeological, petrographical and geochemical characterization of Morgantina hydraulic network (Sicily - Italy)*. Proc. of 1st Intern. Congr. "Science and technology for the safeguard of cultural heritage in the mediterranean basin" Nov. 27 - Dec. 2, Catania - Siracusa (Italy) (*in stampa*).
- BRUNO G. & NICOSIA S. (1994) - *Caratteri geologici e idrogeologici dell'area archeologica di Morgantina (Sicilia Centrale)*. Atti del 2 Semin. Intern. "Il sistema uomo-ambiente tra passato e presente" 3-6 Giugno, Ravello (Italia) (*in stampa*).
- CROUCH D.P. (1984) - *The hellenistic water system of Morgantina, Sicily: contribution to history of urbanization*. AJA, **88**: 353-365, pl 46-47.
- NILSSON T. (1983) - *The pleistocene-geology and life in the quaternary ice age*. D. Reidel Publishing Company, Dordrecht.
- PINNA M. (1977) - *Climatologia*. pp., U.T.E.T., Torino.
- RAFFIOTTA S. (1991) - *C'era una volta Morgantina*. Banca Agricola Etnea, Catania (Italia).
- SANTAGATI M. (1991) - *Archeologia ed architettura*. «Demetra», Semestrale degli Architetti di Enna, n. 1.

Strutture geologiche e altri geotopi nella Media Valle Latina-Lazio meridionale, Italia

Geological structures and other geotopes in the central Latina valley-southern Latium, Italy

DI BERNARDO S. (*) & MARIUCCI M.T. (**)

RIASSUNTO – La Valle Latina è un'ampia valle a sud di Roma allungata in direzione NW-SE. La regione è caratterizzata da due diversi e contraddittori aspetti dell'ambiente: da una parte ci sono evidenti impatti causati dai recenti interventi antropici; dall'altra si deve ricordare che in questa valle sono presenti vari siti di interesse storico, artistico e archeologico e aree di alto valore naturalistico. In particolare vogliamo evidenziare la presenza di diverse strutture geologiche che illustrano i meccanismi di deformazione e le fasi collegati all'evoluzione tettonica dell'area. Il valore scientifico e culturale di questi geotopi dovrebbe essere accentuato, anche per divulgare la conoscenza geologica del nostro territorio, quindi proponiamo di includere gli affioramenti più interessanti in itinerari turistico-didattici.

PAROLA CHIAVE: Lazio, Valle Latina, geotopo, geologia strutturale.

ABSTRACT – The Latina Valley is a large valley south of Rome, NW-extended. The region is characterized by two different and contradictory aspects of the environment: on one hand there are evident impacts caused by recent anthropic interventions; on the other hand it must be reminded that in this valley there are several sites of historic, artistic and archaeological interest and areas of high naturalistic value. In particular we want to point out the presence of different geological structures which illustrate deformation mechanisms and phases connected to the tectonic evolution of the area. The scientific and cultural value of these geotopes should be emphasized, also to promote the geological knowledge of our land, then we suggest to include the most interesting outcrops in tourist-didactic itineraries.

KEY WORDS: Latium, Latina Valley, geotope, structural geology.

1. – INTRODUZIONE

Sotto il profilo ambientale la Media Valle Latina è caratterizzata da aspetti contraddittori. L'attività antropica ha spesso provocato effetti devastanti sul territorio: principalmente l'eccessivo e irrazionale uso del suolo, mediante un processo di industrializzazione molto spinto, la realizzazione di infrastrutture di interesse nazionale quali l'autostrada e la linea ferroviaria dell'Alta Velocità, l'attività estrattiva; poi il conseguente inquinamento del reticolo idrografico e delle falde superficiali, accentuato dall'eccessivo sfruttamento delle risorse idriche.

D'altronde occorre ricordare che la Valle Latina è ricca di numerosi valori di permanenza storica, di siti di elevato interesse archeologico (Fregellae, ad esempio) ed artistico (basti pensare ai centri di Anagni e Ferentino), di ambiti naturalistici pregiati di cui è sicuramente rappresentativa la «macchia di Anagni», uno degli ultimi lembi di foresta di fondovalle del corso superiore del fiume Sacco.

Accanto a queste valenze ambientali riconosciute ed apprezzate da tutti, nella Valle Latina si possono trovare numerose singolarità geologiche afferenti alle diverse discipline delle scienze della terra. A causa della mancanza di una cultura geologica, spesso tali geotopi non sono riconosciuti e apprezzati come elementi del patrimonio naturale e conseguentemente rischiano di essere distrutti.

(*) V. Selva Polledrara - Frosinone.

(**) I.N.G. - Roma.

In questa nota vengono descritti i siti e gli affioramenti principali che, per il valore scientifico di tutti, la buona esposizione, la facile accessibilità e gli aspetti paesaggistici di molti di essi, possono essere annoverati tra i «beni culturali di carattere geologico» (ARNOLDUS *et alii*, 1995). Si vuole porre l'attenzione sull'esistenza di numerose strutture geologiche alla mesoscala che rappresentano la testimonianza diretta dei differenti meccanismi e fasi di deformazione che hanno agito nell'area; inoltre spesso tali strutture hanno avuto un ruolo determinante nell'interpretazione e nella ricostruzione dell'assetto profondo della Media Valle Latina (DI BERNARDO, 1992; MARIUCCI, 1992).

2. - CENNI MORFOLOGICI E PAESAGGISTICI

A grande scala le morfostrutture principali dell'area risultano essere le catene carbonatiche dei Monti Lepini, a SW, le cui vette si collegano alla valle con pendii molto acclivi, e dei Monti Ernici, a NE, le cui propaggini digradano dolcemente verso le colline arrotondate, di natura flyschoida, che caratterizzano la riva sinistra del Fiume Sacco. Quest'ultimo, attraversando la valle longitudinalmente, è l'elemento idrografico principale; piccoli affluenti provengono quasi rettilinei dai Lepini altri, con andamento più movimentato, dagli Ernici.

Le aree montane sono caratterizzate da vegetazione boschiva, fitta sui versanti esposti a NE, più rada a SW, ancora intatta, specie sui M. Lepini dove gli la presenza umana si ferma a bassa quota. Il carsismo ha un ruolo fondamentale nel modellamento del paesaggio, favorito dall'umidità del clima e dalla notevole fratturazione delle rocce presenti, per cui sono comuni, ma sempre spettacolari, forme epigee e ipogee caratteristiche di dimensioni varie: doline (come quella che ospita il lago di Canterno), lapiez, karren, grotte, stalattiti e stalagmiti.

Il fondovalle è fittamente coltivato e nonostante qualche lembo di vegetazione autoctona ciò che prevale è l'impronta data dall'attività antropica: insediamenti sparsi, infrastrutture, cave, industrie.

3. - INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA

Le formazioni più antiche affioranti nell'area considerata (fig. 1) appartengono alla successione stratigrafica, in facies di piattaforma carbonatica, «laziale-

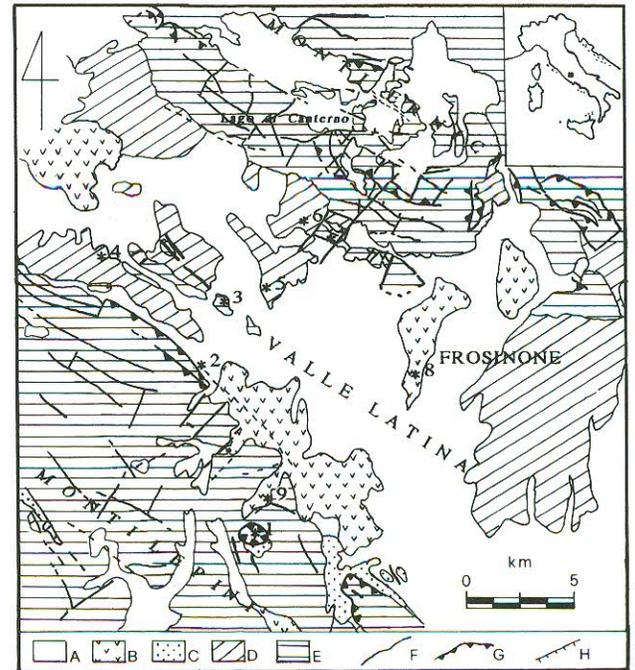


Fig. 1. - Schema geologico della Media Valle Latina con l'ubicazione dei principali geotopi. 1) M. Cacume. 2) Fronte di accavallamento dei M. Lepini. 3) Dorsale di Monticchio: strutture «duplex». 4) Marroni: pieghe nel flysch. 5) Colle Fatucchio: strati verticali nel flysch mostranti l'intera sequenza di Bouma e impronte di fondo. 6) S. Antonio: «fault propagation folding». 7) Ferentino: strutture sigmoidali. 8) Vulcano di Selva dei Muli. 9) Caldera di Patrica. A) Depositi Plio-Quaternari. B) Vulcaniti. C) Sicilidi. D) Formazione argilloso-arenacea (Miocene Superiore). E) Carbonati Meso-Cenozoici. F) Faglia. G) Sovrascorrimento. H) Faglia diretta.

- Geological sketch of central Latina Valley with the location of the main geotopes. 1) Mt Cacume. 2) Mt. Lepini thrust. 3) Monticchio ridge: «duplex» structures. 4) Marroni: folds in the flysch unit. 5) Colle Fatucchio: vertical bedding showing the whole Bouma's sequence and 'flute casts'. 6) S. Antonio: 'fault propagation folding'. 7) Ferentino: sigmoidal structures. 8) Selva dei Muli volcano. 9) Patrica 'caldera'. A) Plio-Quaternary units. B) Volcanic units. C) Sicilide complex. D) Turbiditic unit (Upper Miocene). E) Meso-Cenozoic carbonatic units. F) Fault. G) Thrust. H) Normal fault.

abruzzese» (ACCORDI *et alii*, 1967; ALBERTI *et alii*, 1975), hanno età dal Cretacico al Miocene inferiore e costituiscono le dorsali montuose dei Lepini, degli Ernici e quella minore di Monticchio. Ad esse segue il complesso torbiditico silico-clastico della media Valle Latina, di età tortoniana, che è riferibile ad una conoide sottomarina profonda. Tra i litotipi più recenti ricordiamo i travertini e le vulcaniti riferibili ai centri di emissione del vulcanismo areale della media Valle Latina (Tecchiena, Selva dei Muli, Patrica e Supino). Sono presenti inoltre lembi di materiale alloctono del «Complesso sicilide» («Argille scagliose», «Argille vari-colori» degli AA.).

L'evoluzione tettonica dell'area coincide con quella di tutta la catena appenninica (PAROTTO & PRATURLON, 1975) la cui strutturazione è avvenuta

principalmente a partire dal Miocene superiore attraverso più fasi tettoniche l'ultima delle quali, distensiva, ha caratterizzato maggiormente l'aspetto odierno della Valle Latina ed è stata responsabile del vulcanismo. L'assetto attuale è definito dagli assi delle strutture principali orientati NW-SE; la struttura profonda della valle è costituita da scaglie embricate, con piani di accavallamento a basso angolo e pendenze maggiori verso la superficie, sbloccate da faglie dirette di tipo listrico (MOSTARDINI & MERLINI, 1986).

4. – I GEOTOPPI

4.1. – IL «KLIPPE» DI MONTE CACUME

Il più famoso dei geotopi presenti nell'area è sicuramente M. Cacume un morfotipo che, dominando tutta la valle, può essere assunto a simbolo paesaggistico della zona (fig. 2). Geologicamente la struttura è un 'klippe' e rappresenta il residuo di una falda di calcare cretacico sovrascorsa su un lembo di «Argille caotiche» poste sopra le unità carbonatiche che costituiscono la dorsale dei Lepini (ANGELUCCI & DEVOTO, 1966). Il contatto tettonico è facilmente individuabile e sono visibili le notevoli deformazioni ad esso correlate. Il valore scientifico e didattico del geotopo è elevato per la sua unicità come struttura, relativamente all'area, per la sua ottima visibilità, la facile fruibilità e il buono stato di conservazione dell'affioramento. Inoltre non bisogna dimenticare le bellezze paesaggistiche dell'ambiente circostante. Tutta l'area del Cacume è zona protetta per la presenza di un ambiente naturale integro, che permette l'esistenza a varie specie faunistiche e floristiche anche rare, e di resti di interesse archeologico. Pertanto nell'area già esiste un itinerario storico-naturalistico nel quale va forse ulteriormente evidenziata l'importanza geologica del sito.

4.2. – IL «THRUST» DEI MONTI LEPINI A MOROLO

Sulle pendici dei Lepini, nei pressi di Morolo affiora quello che è stato interpretato come un «rejoining splay thrust» (McCLAY, 1992) e fa parte delle varie strutture geologiche collegate al sovrascorrimento della dorsale dei Lepini sopra le unità flyschoidi della Valle Latina. Un piano di thrust, con direzione N75°W immergente 55° a S, con movimento di tipo oblique-slip, mette in contatto calcari di età cretacica con «Marne ad Orbulina» mioceniche (fig. 3). Queste ulti-

me si presentano caratterizzate da un clivaggio di scistosità (con orientazione N64°W e immersione 70° a SW) e micropieghe con assi notevolmente inclinati (fig. 4), fino a 70° verso S, testimoni delle varie fasi deformative che hanno condotto all'attuale assetto tettonico. Il valore di questo geotopo è principalmente di tipo scientifico poiché lungo tutto il fronte dei M. Lepini gli affioramenti sono scarsi e poco significativi quindi il thrust è testimoniato perlopiù da evidenze morfologiche. Il luogo non è in buono stato poiché è situato lungo un sentiero ai limiti dell'abitato e quindi alcuni piccoli manufatti obliterano parte dell'affioramento e contribuiscono all'alterazione delle marne, che costituiscono il piano campagna.

4.3. – LE STRUTTURE «DUPLEX» SULLA DORSALE DI MONTICCHIO

All'interno di tutta la Valle Latina sono molto evidenti le strutture compressive che ne caratterizzano l'assetto. In alcune cave dismesse situate lungo la dorsale di Monticchio, che divide longitudinalmente la valle circa a metà, sono presenti interessanti strutture alla scala dell'affioramento. Negli strati di calcare cretacico si possono osservare chiari esempi di geometria «ramp-flat» e «duplex» (BUTLER, 1987) che danno un'idea di come il raddoppio tettonico sia avvenuto anche all'interno delle singole unità. I piani di «flat» spesso coincidono con la stratificazione, e hanno direzione media N60°W e pendenze di 30° verso SW, mentre le «ramp» hanno una pendenza maggiore, circa 60°: insieme costituiscono superfici curve a forma di «esse» sulle quali sono presenti strie e indicatori cinematici (fig. 5). Nonostante la sua importanza scientifica, specie a causa del numero limitato di affioramenti nella valle, il valore del geotopo è principalmente di tipo didattico. Il luogo è facilmente accessibile e le interessanti strutture sono ben visibili; inoltre sono ancora presenti vecchi edifici e impianti necessari alla coltivazione della cava che potrebbero trovare altre destinazioni d'uso, senza dimenticare quella passata, nell'ambito di un progetto di ripristino dell'area.

4.4. – COLLE FATUCCIO

Il sito è costituito da due cave dismesse nelle quali i terreni affioranti sono rappresentati dalle alternanze di argille grigie e arenarie giallastre tipiche della «Formazione argilloso-arenacea». I tagli, relativamente recenti, hanno portato alla luce diverse strutture geo-

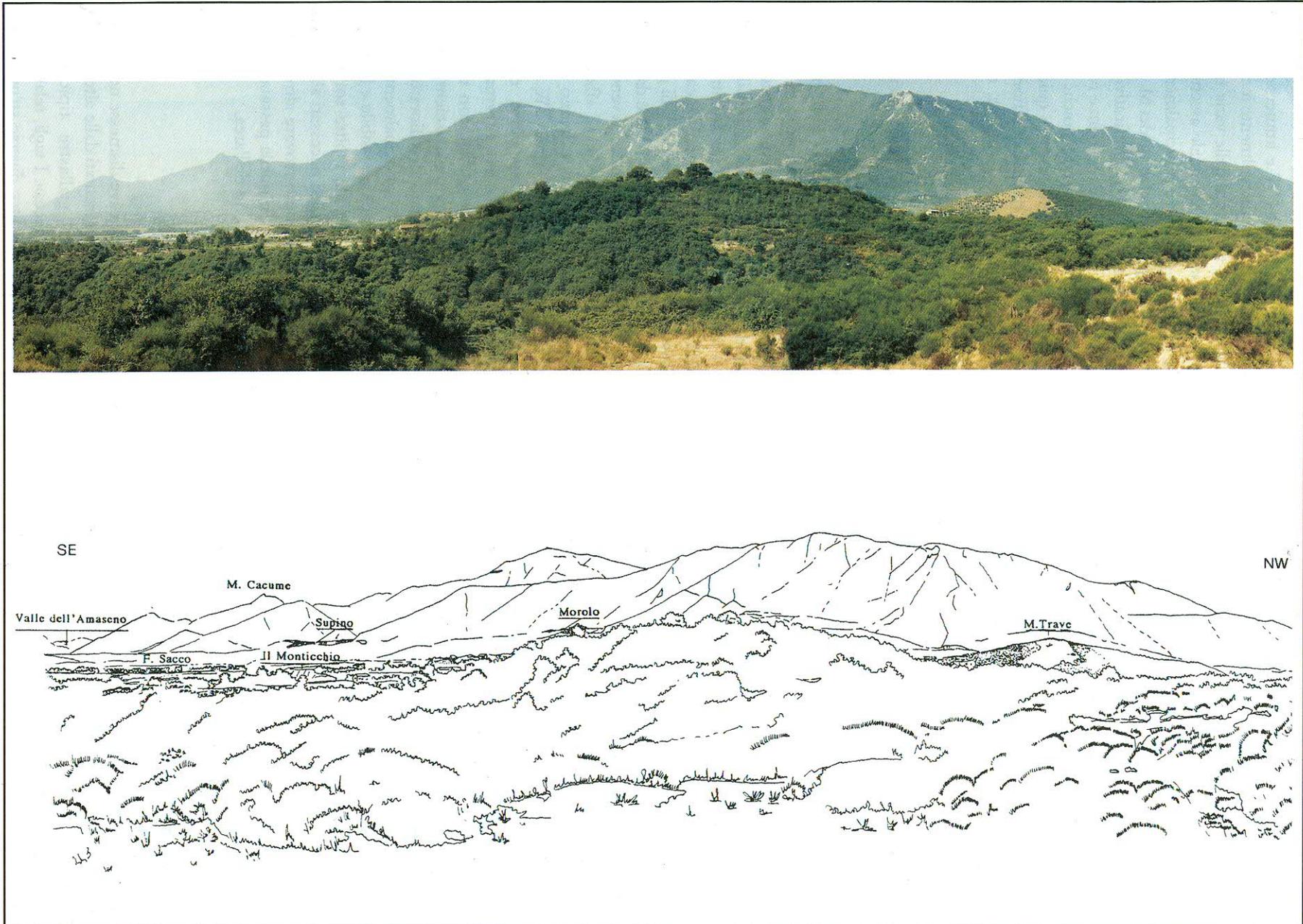


Fig. 2. – Veduta generale dell'area esaminata (da NE) – *General view of the investigated area (from NE).*



Fig. 3. – Particolare del sovrascorrimento dei calcari cretacei sulle marne mioceniche (Morolo).

– Detail of the cretaceous limestone overthrusting the miocenic marls (Morolo).



Fig. 4. – Particolare delle strutture deformative nelle «Marne a Orbulina» (Morolo).

– Detail of deformation structures in 'Marne a Orbulina' (Morolo).



Fig. 5. – Esempio di struttura «duplex» a piccola scala (dorsale di Monticchio, Ferentino).

– Example of small scale 'duplex' structure (Monticchio ridge, Ferentino).

logiche e sedimentarie che hanno rivelato la presenza di grandi e strette anticlinali rovescie, separate da ampie sinclinali, la cui genesi è legata alla presenza di «thrust ciechi» (MCCLAY, 1992) che si sviluppano lungo i nuclei delle anticlinali e che talora affiorano sfruttando i fianchi verticalizzati delle pieghe. Questi ultimi permettono inoltre di osservare l'intera «sequenza di Bouma» (MUTTI & RICCI LUCCHI, 1972) e impronte di fondo, di dimensioni decimetriche, di tipo «flute casts» (fig. 6). La varietà e l'unicità delle strutture descritte conferiscono un grande valore scientifico al sito; la facile accessibilità e la piacevolezza del paesaggio circostante lo rendono fruibile da un punto di vista turistico-culturale e didattico.



Fig. 6. – Unità torbiditica con stratificazione verticale: si possono riconoscere grandi impronte di fondo di tipo «flute-casts» (Colle Fatuccio, Ferentino).

– Turbiditic unit with vertical bedding: we can recognize large «flute-casts» (Colle Fatuccio, Ferentino).

4.5. – LA «FAULT PROPAGATION FOLDING» DI S. ANTONIO

Si tratta di un affioramento di piccole dimensioni in corrispondenza di uno sbancamento eseguito per l'apertura di una nuova strada (fig. 7). Questo, avendo una direzione N-S, ha offerto una sezione ideale per lo studio delle strutture presenti, dal momento che le taglia trasversalmente. La litologia affiorante è la «Formazione argilloso-arenacea» che qui si presenta in alternanze arenaceo-pelitiche sottilmente stratificate (5-15 cm). Il taglio stradale ha messo in luce una tipica struttura legata alla tettonica da thrust (direzione di accavallamento N-S) con caratteristica geometria «ramp-flat» a cui è collegato un fenomeno di «fault-propagation folding» (SUPPE, 1983; BUTLER, 1992). Il valore scientifico di tale geotopo è elevato sia per l'unicità di tale struttura, non ne affiorano altre nelle valle, sia per l'importanza che essa assume nella comprensione dello stile deformativo dell'area e del suo assetto strutturale profondo.

4.6. – FERENTINO

L'intero abitato di Ferentino può essere considerato uno dei «best sites» dell'area per la presenza di numerose strutture geologiche. All'interno del paese esistono diversi affioramenti di facile accessibilità che interessano il «calcare a losanghe» miocenico. Essi mettono in evidenza uno stile deformativo fragile-duttile rappresentato da un clivaggio di tipo sigmoidale i cui litoni, piuttosto regolari, sono distanziati di circa 10 cm (fig. 8). Sia i piani di clivaggio che i relativi piani di taglio confermano la fase compressiva con direzione N-S. La tettonica fragile è rappresentata da piani di faglia ben conservati,

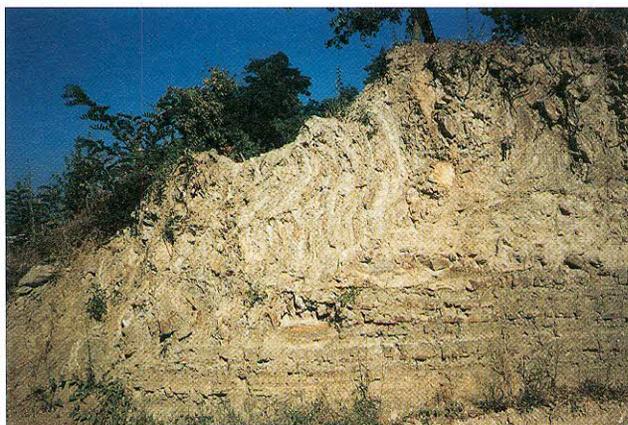


Fig. 7. – Geometria di «fault-propagation folding» (S. Antonio, Ferentino).

– «Fault-propagation folding» geometry (S. Antonio, Ferentino).



Fig. 8. – Esempio del clivaggio che interessa i calcari miocenici a Ferentino.

– Example of cleavage in miocenic limestones at Ferentino.

spesso riconducibili a sistemi coniugati, su cui sono evidenti gli elementi cinematici (fig. 9), indizi insostituibili nella ricostruzione cinematica delle deformazioni e quindi nella orientazione del tensore del campo di stress.

5. – CONCLUSIONI

I geotopi descritti in questa nota sono solo una parte dell'ampio e diversificato patrimonio geologico della Valle Latina che assume importanza di carattere regionale o locale a seconda dei casi. Essi potrebbero essere utilizzati, unitamente ai beni storico-archeologici e naturalistici, per lo sviluppo di un turismo culturale e la conseguente valorizzazione delle aree meno note, ma non per questo meno interessanti, della valle e dei suoi dintorni montani. In primo luogo si dovrebbe porre più attenzione al patrimonio geologico e farlo conoscere anche ai non addetti ai lavori (PANIZZA & PIACENTE, 1989). Questo potrebbe essere attuato mediante la rea-



Fig. 9. – Esempio di superficie di faglia con indicatori cinematici molto evidenti.

– Example of fault surface showing evident kinematic indicators.

lizzazione di guide specifiche (CASTO & ZARLENGA, 1996) e di guide interdisciplinari che descrivano le varie componenti del paesaggio e le loro relazioni reciproche. Inoltre si propone la realizzazione di itinerari turistico-didattici organizzati con più livelli di approfondimento degli argomenti e visite guidate a richiesta. Ciò renderebbe possibile un controllo capillare e continuo del territorio e delle zone di maggior interesse geologico nonché un ripristino delle aree in stato di degrado. Si realizzerebbero così gli obiettivi di una maggiore occupazione giovanile e divulgazione ad ampio raggio di una cultura geologica, spesso dimenticata, che è alla base di ogni approccio responsabile con il territorio. Le scuole di ogni ordine e grado potrebbero usufruire di questi servizi e avere a disposizione aree e itinerari per lezioni «sul campo».

Ringraziamenti

Si ringrazia la Dott.ssa P. MONTONE per gli utili consigli.

BIBLIOGRAFIA

- ACCORDI B., ANGELOCCI A. & SIRNA G. (1967) - Note illustrative della carta geologica d'Italia alla scala 1:100.000, foglio 159 Frosinone e foglio 160 Cassino. Serv. Geol. D'It., Roma.
- ALBERTI A.U., BERGOMI C., CATENACCI V., CENTAMORE E., CESTARI G., CHIOCCHINI M., CHIOCCHINI U., MANGANELLI V., MOLINARI-PAGANELLI V., PANSERI-CRESCENZI C., SALVATI L. & TILIA-ZUCCARI A. (1975) - Note illustrative della carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000, foglio 389 Anagni. Serv. Geol. D'It., Roma.
- ANGELOCCI A. & DEVOTO G. (1966) - *Geologia del Monte Caccume (Frosinone)*. Geol. Rom., **5**: 177-196.
- ARNOLDUS-HUYZENDVELD A., GISOTTI G., MASSOLI-NOVELLI R. & ZARLENGA F. (1995) - *I beni culturali a carattere geologico: i geotopi. Un approccio culturale al problema*. Geologia tecnica & ambientale, **4**: 35-47.
- BUTLER R.W.H. (1987) - *Thrust sequences*. Journal of the Geological Society, **144**: 619-634, London.
- BUTLER R.W.H. (1992) - *Structural evolution of the western Chartreuse Fold and thrust system, NW French Sudalpine chains*. Thrust tectonics, 287-298, London.
- CASTO L. & ZARLENGA F. (1996) - *I beni culturali a carattere geologico del Lazio. Il distretto vulcanico di Albano*. ENEA ed., pp. 143, Roma.
- DI BERNARDO S. (1992) - *Caratteri geologico-strutturali della Media Valle Latina nell'area compresa tra Ferentino e Frosinone (F. 389 Anagni)*. Tesi inedita, Roma.
- MARIUCCI M.T. (1992) - *Caratteri geologico-strutturali della Media Valle Latina nell'area compresa tra Sgurgola e Supino (F. 389 Anagni)*. Tesi inedita, Roma.
- MCCLAY K.R. (1992) - *Glossary of thrust tectonics term*. Thrust tectonics, 419-432, London.
- MOSTARDINI F. & MERLINI S. (1986) - *Appennino centro-meridionale. Sezioni geologiche e proposta di modello strutturale*. AGIP, Milano.
- Mutti E. & Ricci-Lucchi F. (1972) - *Le torbiditi dell'Appennino settentrionale: introduzione all'analisi di facies*. Mem. Soc. Geol. It., **11**, Pisa.
- PANIZZA M. & PIACENTE S. (1989) - *Cultura del paesaggio e offerta turistica*. Atti del Convegno internazionale "Turismo e Ambiente nella Società Post-industriale", Milano 9-10 marzo 1989, 839-844.
- PAROTTO M. & PRATURLON A. (1975) - *Geological Summary of the Central Apennines*. In: "Structural model of Italy", Quaderni della Ric. Scient. C.N.R., **90**: 257-311, Roma.
- SUPPE J. (1983) - *Geometry and kinematics of fault-bend folding*. Am. Journ. of Sc., **283**: 684-721.

Parte I. Studio geologico ambientale per il recupero e la valorizzazione di aree contaminate da coltivazioni minerarie dei giacimenti di Arenas e Tiny nella contea di Oridda (Sardegna sud-occidentale, Italia)

Part I. Environmental geological study for the remediation and enhancement of the contaminated area of Arenas and Tiny mines in Oridda county (south-western Sardinia, Italy)

GORGA R. (*)

RIASSUNTO – Nell'ambito degli studi ambientali, vengono presentati i caratteri mineralogici, petrografici e chimici delle indagini effettuate nelle aree appartenenti alle miniere abbandonate di Arenas e Tiny per il ripristino di terreni interessati da attività estrattive.

Lo scopo fondamentale della ricerca è finalizzato all'ipotesi di un eventuale, limitato, intervento di ripristino per il rilancio delle tematiche culturali di attività didattiche e di turismo naturalistico.

I risultati di questa ricerca, pongono in evidenza gli obiettivi di qualità, per il controllo del grado di inquinamento dei suoli, come principali linee guida per il recupero ambientale sufficientemente raggiungibili a garantire operazioni di bonifica.

In seguito si potrà effettuare un piano per l'interpretazione dei dati ambientali sulla vegetazione, le caratteristiche dei suoli, la previsione dei boschi, la produzione di pascoli e coltivi, lo schema idrogeologico e lo stato degli alvei.

PAROLA CHIAVE - Geologia Ambientale; Valorizzazione Suoli; Giacimenti Minerari; Arenas-Tiny; Sardegna SW.

ABSTRACT - In the contest of the environmental researches, the discussed mineralogical, petrographical and chemical features of the investigations have been carried out in the surrounding area of the abandoned Arenas and Tiny mines with the goal of remediating a zone affected by the extraction activities.

The aim of this research was to define a limited remediation scheme which would promote natural and cultural tourism. The research results define quality objectives, relative to controlling the level of pollution of the soil, water and air, as principle guide-lines for attainable and sufficient environmental recovery.

The continuation of the paper will be devoted to carry out a plan for the environmental data related to natural vegetation, pastures and cultivated field was interpreted in terms of soil characteristics, the prevision of the bushes, the production of the pasture and cultivated fields, the hydrogeological setting and the state of the river beds.

KEY WORDS: Environmental Geology, Soil Beneficiation; Ore deposits; Arenas-Tiny; SW Sardinia.

1. – PREMESSA

«Non è considerabile compiuto l'esame geografico di un fenomeno, se non si individuano le unità di paesaggio, ossia i geotopi, ad esso funzionali» (LO MONACO *et alii*, 1990).

In generale, le competenze richieste per una corretta politica relativa ai parchi naturali e alla conservazione del prezioso patrimonio biologico vanno

(*) Istituto per il Trattamento dei Minerali (CNR) - Via Bolognola, 7 - 00138 Roma (Italia)

dalle conoscenze chimico-fisiche, a quelle socio-economiche ed energetiche (ARNOLDUS HUIZENDVELD *et alii*, 1995; CARIA, 1990; CICCÙ *et alii*, 1987; DI GREGORIO & MASSOLI NOVELLI, 1988, 1992; MASSOLI NOVELLI, 1992; MARZOCCHI, 1996; RITCEY, 1989; ROSSI, 1973; SWAINBANK *et alii*, 1982; TYLECOTE *et alii*, 1984).

Sebbene tali conoscenze consentano, indubbiamente, la programmazione e la realizzazione di opere nel rispetto degli equilibri ambientali, i limiti fino ad oggi pubblicati nell'ambito delle scienze della Terra sono da ricercare nel linguaggio troppo specialistico e nella diffusione riservata ai ricercatori del settore peraltro con una carenza di confronti scientifici tra le diverse linee programmatiche di ricerca.

Vale la pena ricordare un pensiero di Kant «Se l'elaborazione delle conoscenze che sono di pertinenza della ragione segua o meno il sicuro cammino della scienza, si può giudicare facilmente dalla conclusione. Quando essa, dopo aver fatto numerosi apprestamenti e preparativi, appena giunge in prossimità dello scopo si arena, o deve nuovamente e ripetute volte ricominciare da capo, tentando altre vie; e, parimenti - quando non è possibile realizzare la concordia fra i diversi collaboratori intorno al modo in cui dev'esser condotto il lavoro comune - si può allora esser certi che l'impresa è ben lontana dal cammino sicuro della scienza, procedendo piuttosto incertamente a tastoni...».

Da qualche decennio, gli insediamenti antropici di alcuni luoghi con addensamenti e rarefazioni regionali, anche se hanno modificato i rapporti sociali ed economici, hanno però contribuito alla conservazione di importanti «siti» naturali dove l'insieme degli esseri viventi, in un ambiente caratterizzato da condizioni chimico-fisiche in equilibrio, hanno sviluppato interazioni reciproche.

La ricerca di una migliore qualità della vita e di un nuovo modello ottimale di sviluppo degli equilibri ecologici tra aree destinate al sempre più crescente stato di abbandono e quelle destinate alla pianificazione e rivalorizzazione di un patrimonio naturale costituiscono una vera e propria risorsa per l'espletamento delle attività culturali e di formazione professionale, la promozione e l'attivazione di iniziative a carattere turistico, agricolo, infrastrutturale e informativo da destinare allo sviluppo dell'economia reale per una nuova strategia occupazionale nella gestione dei beni e dei servizi essenziali.

Da questo ne deriva il ruolo fondamentale della ricerca scientifica e tecnologica per la conservazione dell'ambiente atta a dare un futuro al nostro pianeta.

2. – INTRODUZIONE

I depositi minerali di Arenas e Tiny, nella contea di Oridda, sono due importanti località minerarie interposte tra i distretti metalliferi dell'Iglesiente e dell'Arburese.

L'importanza giacimentologica di questa regione è stata tale che i primi insediamenti che si conoscono si fanno risalire al tempo dei Fenici ai quali fecero seguito Punici, Romani, Aragonesi e Pisani (BINAGHI, 1937).

A Tiny-S'Arenas, i caratteri giaciturali, mineralogici, petrografici e chimici, sono di notevole rilevanza scientifica per il «grandioso e originale fenomeno di 'ossidazione', unico al mondo nel suo genere» (CAVINATO, 1948).

La zona mineraria, soggetta a bonifica, è compresa nella tavoletta III-SW del foglio 225 «S. Benedetto» della Carta d'Italia (I.G.M) e nel foglio 224-225 della Carta geologica 1:100.000 «Capo Pecora-Guspini» (ZUFFARDI *et alii*, 1971).

Le due mineralizzazioni si trovano nei terreni sedimentari delle successioni cambro-ordoviciane coinvolti in una ingente attività metasomatica a spese dell'intrusione granitica di Monte Tiny e alle vicende tettoniche dell'orogenesi ercinica.

Le sezioni geologiche che attraversano i due giacimenti evidenziano una formazione di quarzo filoniano (URAS, 1957) compresa entro i calcari granatiferi a muro e gli scisti argillosi a tetto (DI COLBERTALDO, 1958; ZUFFARDI *et alii*, 1971).

Il minerale (GORGA & LINI, 1993), intensamente ossidato si trova nei marmi saccaroidi, nelle granatiti, negli scisti arenacei, nei filoni di quarzo e nelle terre argillose entro il quarzo stesso (URAS, 1957).

La parte superficiale del territorio, che è stata oggetto di coltivazione, rappresenta la zona di profonda alterazione dove le preesistenti fasi primarie: galena e sfalerite sono state sottoposte ad intensi processi di trasformazione con mobilitazione di elementi che hanno prodotto concentrazioni di minerali ossidati come cerussite, anglesite, piromorfite, smithsonite, idrozincite, emimorfite, ai quali, si associano calcopirite, pirrotina, pirite, ossidi e idrossidi di ferro. L'argento sembra essere concentrato principalmente nella galena, tetraedrite e freibergite (tab. 1). La ganga è costituita da baritina, fluorite, quarzo, gesso, minerali argillosi e silicati vari.

L'impianto di Arenas, entrato in servizio nel 1948, era in grado di trattare 250 T/giorno di «tout venant» quarzatico per la produzione di 10-15 tonnellate di concentrato di piombo. Il grezzo, nell'impianto aveva tenori medi compresi tra il 3%-4,5% in Pb, 1%-1,5%

TAB. 1 – Analisi alla microsonda elettronica. Rocce mineralizzate di Arenas: composizione chimica di galena (ga), pirite (pi), sfalerite (sf), calcopirite (ca), arsenopirite (ar), mimetite (mi), tetraedrite (te), freibergite (fr). I valori rappresentano le medie di numerosi punti di 12 campioni. Analizzati, ma al limite di rilevabilità: Mn, Bi, Au.

– *Electronic micro-probe analysis. Arenas mineralized rock: chemical composition of galena (ga), pyrite (pi), sphalerite (sf), chalcopyrite (ca), arsenopyrite (ar), mimetite (mi), tetrahedrite (te), freibergite (fr). The values are the means of numerous points of 12 samples. Mn, Bi, and Au below limits of detectability. Chemical Analysis.*

Elementi	ga	pi	sf	ca	ar	mi	te	fr
Fe	–	46,13	4,28	28,57	32,78	0,12	2,43	1,27
Zn	–	–	65,76	0,53	0,66	–	4,23	4,48
Pb	86,05	–	–	3,48	1,44	31,27	5,80	3,96
Cu	–	0,16	0,18	32,67	0,32	0,97	36,35	27,65
Ag	0,14	0,06	–	–	–	–	0,18	15,08
S	13,57	52,28	29,06	33,26	19,44	10,76	27,47	21,89
As	–	0,46	–	–	46,33	12,74	–	–
Cd	–	–	–	–	0,18	–	–	–
Hg	–	–	–	–	–	–	0,86	tr.
Co	–	0,07	0,06	–	0,09	–	tr.	tr.
Ni	–	–	–	–	–	–	tr.	tr.
Sb	–	–	–	–	–	0,14	22,48	25,28
Totali	99,76	99,20	99,34	98,51	99,24	56,00	99,80	99,61

di Zn, 10%-15% in Fe e un prodotto concentrato contenente da 300 a 400 g/T di Ag. Gli sterili, a granulometria molto minuta (20-25 µm), collocati in appositi bacini di sedimentazione, risultano costituiti da calcari granatiferi, quarzo, scisti argillosi, nei quali, si riscontrano tenori residui di 1,5%-2,0% in Pb + frazioni di specie mineralogiche non flottabili.

Il «grezzo di miniera» di Tiny aveva tenori medi di 3,5%-5% in Pb, e veniva trattato «in situ» mediante l'installazione di un impianto di trattamento a ciclo continuo, con medie giornaliere di 140 T/giorno e 6 tonnellate di prodotto concentrato di Pb al 60%.

3. – LINEAMENTI GEOLOGICI E STRUTTURALI

Sviluppati per spessori di migliaia di metri, questi terreni, hanno dato luogo a imponenti formazioni che durante i non meno 350 milioni di anni dell'Era paleozoica, sono stati teatro di numerosi eventi geologici tra i quali una intensa attività magmatica passata attraverso l'orogenesi caledonica ed ercinica.

I motivi geologici e strutturali delle successioni cambro-ordoviciane (COCOZZA *et alii*, 1974), ad Arenas-Tiny sono la testimonianza dei più affascinanti e misteriosi episodi della storia geologica evolutiva del nostro pianeta nei quali sono aperti ancora numerosi problemi stratigrafici e cronologici (BRUSCA *et alii*, 1965; CAVINATO, 1948; COCOZZA *et alii*, 1967; FENOGLIO, 1932; PELLOUX, 1930a, 1930b, 1930c; PIOVAN & VIOLO, 1965; VARDABASSO, 1950).



Fig. 1. – Le miniere di Arenas - Tiny.

– Arenas - Tiny Mine.

Arenas-Tiny, insieme ad altri corpi mineralizzati adiacenti, sono dislocati lungo la discordanza di una successione di terreni cambro-ordoviciani diretta approssimativamente nord-sud ed immersa ad ovest.

Lo stile tettonico mostra una serie di fasce orientate all'incirca NS, costituite, per la massima parte, da lenti e sacche di corpi mineralizzati piombiferi nei filoni di quarzo, nei calcari saccaroidi, nelle granatiti e negli scisti delle formazioni cambriche.

La regione mineraria di Arenas-Tiny gode di un rigoglioso paesaggio boschivo, nella quale, si contrappone una struttura paesaggistica tipicamente lunare che ne fanno un suggestivo paesaggio naturale se non fosse per la presenza di numerosi scavi a cielo aperto e discariche abbandonate (fig. 1) nei quali hanno trovato una vasta eco le secolari attività dei minatori da circa duemila anni.

L'altimetria media della zona è di circa 600 m, ma, proprio intorno ai giacimenti si svolge un sistema di rilievi quali Schina de M. Serrau (m 683) e P. S'Arcu de Genu Carru (m 635) a nord, P. Pilocca (m 702), P. Pitzianti (m 704) e M. Genna Suergiu (m 746) ad ovest, P. de Tinni (m 793) e C. Medau Arenas (m 381) ad est.

Tra i rilievi e le zone pianeggianti del territorio, il valore della temperatura media annua oscilla intorno ai 14°C, mentre la temperatura media di gennaio, che è il mese più freddo, si aggira intorno agli 8-10°C.

Il clima, in questa remota località mineraria, come in altre regioni del bacino occidentale del Mediterraneo, è quello delle zone temperate boreali e quindi gode di temperature piuttosto alte, mitigate dalla insularità che modera il calore estivo ed attenua il freddo invernale.

La distribuzione delle precipitazioni annue degli ultimi trent'anni nella zona tra l'Arburese e l'Iglesiente, oscillano tra i 1100 mm a 1000 mm.

4. – ITINERARIO PALEONTOLOGICO

I limiti della cronostratigrafia del Paleozoico sardo tra l'Ordoviciano e il Cambriano sono determinati dalla presenza di faune pelagiche: cefalopodi, conodonti, graptoliti e trilobiti e dalla litologia in un contatto trasgressivo di arenarie quarzose (2), mica-scisti arenacei (3) e scisti variegati basali di sedimenti conglomerati ad elementi angolosi e smussati (puddinghe) con cemento scistoso-arenaceo (4) che ricoprono tutti i termini della sottostante successione cambriana.

Riferibili alla «Formazione di Cabitza» (COCOZZA *et alii*, 1974), compaiono scisti argillosi filladici (5) cristallini, grigio plumbei o giallastri, rossicci o verdastri ove

si rinvengono brachiopodi, trilobiti, impronte di alghe, piste di anellidi e crostacei. Essi sono intensamente stratificati e minutamente pieghettati presentano marcata fratturazione o «scistosità trasversale» con venette di quarzo bianco; a luoghi mostrano, impronte fisiche sedimentarie dovute a probabili increspature di fondo di tipo «ripple-marks».

Graduale è il passaggio litologico nella sottostante «Formazione del metallifero» (COCOZZA *et alii*, 1974), nella quale, sono visibili in affioramento, i seguenti litotipi:

– «calcare ceroide» (6), a grana molto fina, compatto, molto puro, di colore bianco-ceruleo fino a grigio-bluastro (macroscopicamente si potrebbe definire come micrite); compare spesso una «dolomia massiva», grigia, cristallina, a grana minuta, priva di stratificazione, a volte brecciata;

– «dolomia rigata» (7), così chiamata per la presenza di una marcata alternanza di laminazione fino a centimetrica di letti chiari e scuri dovuti alla deposizione biogenica di alghe stromatolitiche e di dolomia primaria nelle quali sono incluse lenti di breccie intraformazionali e noduli di selce.

Il limite inferiore del Cambriano è visibile in affioramento con alcune intercalazioni lenticolari di calcari (8), riferite al «Membro superiore di Punta Manna di Nebida» della «Formazione delle arenarie» (COCOZZA *et alii*, 1974), ove si rinvengono archeociatidi, alghe, trilobiti, spugne silicee e strutture stromatolitiche di vario tipo con resti di filamenti algali. Queste intercalazioni calcaree sfumano verso l'alto lasciando il posto alle intercalazioni dolomitiche della sovrastante «Formazione del metallifero».

5. – ITINERARIO PETROGRAFICO E MINERALOGICO

Ampia è la letteratura prodotta sulle mineralizzazioni del Paleozoico sardo dalle numerose pregevoli ricerche svolte ad opera di valenti studiosi (BENZ, 1965; CASTELLI, 1924; DI COLBERTALDO, 1958, 1967; ROSSETTI, 1950; SALVADORI *et alii*, 1982; URAS, 1957; ZUFFARDI, 1952, 1953a, 1953b, 1962, 1968, 1970).

La zona mineraria è dotata di una rete stradale a corsia stretta a fondo naturale con rivestimento duro o leggero con la quale è possibile accedere agli affioramenti dei vari tipi petrografici; mentre le carrarecce e la rete di sentieri più interne, sono percorribili per la ricerca mineralogica sia sui fronti delle coltivazioni a cielo aperto sia nelle numerose discariche (fig. 2).

La litologia è costituita prevalentemente da rocce di origine intrusiva e sedimentaria mentre le facies termometamorfiche, conseguenti alla messa in posto della cupola granitica ercinica di M. Tiny, sono nettamente subordinate.

Nelle facies termometamorfiche dell'aureola di contatto del granito di M. Tiny gli elementi calcarei sono ovunque trasformati in marmi saccaroidi (9) e granatiti (10) mineralizzati. Tra i calcari e gli scisti arenacei affiora del quarzo filoniano (11), localmente noto come

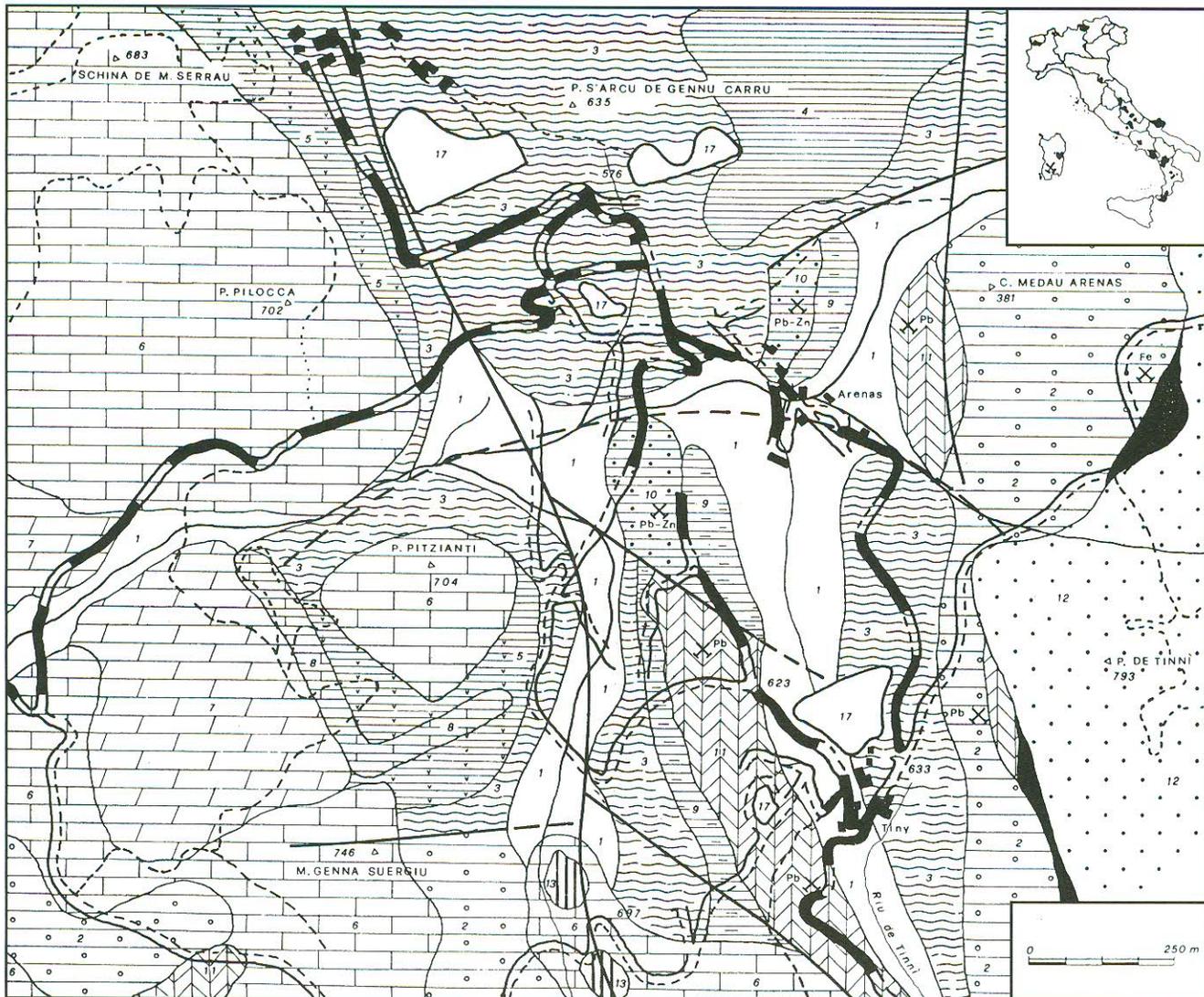


Fig. 2. - Carta geologico-strutturale della zona mineraria con l'ubicazione dei giacimenti di Arenas - Tiny (Sardegna sud-occidentale). 1. - Detriti di alluvioni recenti e antiche, materiali di frana (Quaternario). 2. - Arenarie quarzose mineralizzate (Ordoviciano medio-superiore). 3. - Micascisti arenacei (Ordoviciano medio-superiore). 4. - Scisti rossi e verdi, arenarie, calcari e calcari dolomitici, conglomerati, puddinghe (Ordoviciano medio-superiore). 5. - Argilloscisti, filladi (Cambriano medio). Formazione del Metallifero: 6. - Calcari e dolomie (Cambriano inferiore); 7. - Dolomie massive, calcari dolomitici, breccie calcaree e dolomitiche (Cambriano inferiore). Formazione delle Arenarie: 8. Lenti calcaree (Cambriano inferiore). 9. - Calcari e marmi saccaroidi mineralizzati. 10. - Granatiti a Pb, Ag, Zn, Fe con Ca, Ba, Mo, Sn, W, Co, Ni, As. 11. - Quarzo filoniano a Pb, Ag, Zn, Fe, Cu, con ganghe di barite, fluorite. 12. - Granito di M. Tiny. 13. - Lenti di minerali ossidati di Pb e Zn con ossidi e idrossidi di Fe. 14. - Impianti; 15. - Carrarecce; 16. - Corpi minerari. 17. - Collocazione sterili. 18. - Magnetite.

- Geological-structural map with the ubication of the Arenas - Tiny Mine (Prov. Sardinia SW). 1. Alluvium and slump materials (Quaternary). 2. - Mineralized quartzose sandstones (Middle - Upper Ordovician). 3. - Arenaceous mica schists (Middle - Upper Ordovician). 4. Red and green schists, arenites, limestones, dolomitic limestones, conglomerates, puddingstones (Middle - Upper Ordovician). Cabitza formation: 5. - Slates and phyllites (Middle Cambrian). Metalliferous formation: 6. - Limestones and dolomites (Lower Cambrian); 7. - Massive dolomites, dolomites limestones, dolomites limestones breccias (Lower Cambrian). Arenites formations: 8. - Calcareous lens (Lower Cambrian). 9. Mineralized saccharoidel marbles and limestones. 10. - Granatites with the Pb, Ag, Zn, Fe and Mo, Sn, W, Co, Ni, As and gangue minerals of barite and fluorite. 11. - Dyke quartz with the Pb, Ag, Zn, Fe and Cu with the gangue minerals of barite and fluorite. 12. - Tiny mountain granite. 13. - Pb and Zn oxidized minerals lentils, Fe minerals oxides and hydroxydes. 14. Plants 15. - Cart-roads. 16. - Orebody. 17. - Stock tailings basin. 18. - Magnetite.



Fig. 3. – Bacino degli sterili.
– *Basin of the tailings.*

«quarzite», che costituisce la parte più importante della mineralizzazione dell'area mineraria di Arenas e Tiny.

Il minerale piombifero di Arenas e Tiny è concentrato prevalentemente in quattro tipi petrografici: a) nei calcari di marmi saccaroidi; b) nelle granatiti; c) nei filoni di quarzo; d) negli scisti arenacei.

La mineralizzazione si colloca in un ambiente caratterizzato da un accentuato fenomeno di «ossidazione» da preesistenti minerali primari: galena, sfalerite, jamesonite, solfoarseniuri e solfoantimoniuri di Pb, Bi e Sn. Manifestazioni di fenomeni ossidanti e disgreganti hanno portato a concentrazioni notevoli di minerali di Pb a cerussite ($PbCO_3$), anglesite ($PbSO_4$), piromorfite ($Pb_5[Cl(PO_4)_3]$) e mimetite ($Pb_5[Cl(AsO_4)_3]$); a prodotti accessori calaminari come smithsonite ($ZnCO_3$), idrozincite ($Zn_5[(OH)_3CO_3]$) ed emimorfite ($Zn_4[(OH)_2SiO_7] \cdot H_2O$) + tetraedrite e freibergite. I minerali di ganga sono barite, fluorite, prodotti argillosi, quarzo, gesso e silicati vari.

Altre specie mineralogiche presenti ad Arenas-Tiny sono: andradite, argento nativo, arsenopirite, auricalcite, azzurrite, bindheimite, bornite, bournonite, brochantite, calcantite, calcedonio, calcocite, calcopirite, caledonite, caolinite, clorite, connellite, covellite, crisocolla, cuprite, dufrenite, ematite, epidoto, goethite, grossularia, jarosite, langite, leadhillite, limonite, linarite, litargirio, malachite, massicotite, pirite, pirrotite, plancheite, plattnerite, plumbojarosite, spangolite, traversoite, vesuvianite, wollastonite, zolfo.

6. – RECUPERO E VALORIZZAZIONE

La carenza di normative nei confronti del nostro patrimonio ambientale da parte della legislazione italiana è dovuta al fatto che la nostra Costituzione non prevede interventi di tutela.

L'ultima vigente legislazione mineraria risale al R.D.L. 1443/1927 e non prevede il riassetto e il recupero di aree soggette ad attività estrattive a meno che non vi siano presenti nella mineralizzazione fasi mineralogiche considerate di prima categoria.

Malgrado la mancanza di una regolamentazione giuridica relativa alla riconversione dei suoli interessati da attività mineraria estrattiva esistono alcune importanti innovazioni propositive (DE ANGELIS, 1992; SANDRONE *et alii*, 1995) di progetti di legge-quadro che prevedono:

- un albo dei cavaatori istituito presso organi centrali dello Stato quali la Presidenza del Consiglio dei Ministri, o il Ministero dell'industria del commercio e dell'artigianato con la gestione diretta o l'istituzione da parte di direttive regionali;
- il ristabilirsi dell'equilibrio degli ecosistemi nelle aree dove si è svolta l'attività estrattiva mediante la riutilizzo degli scarti o sterili di lavorazione delle materie prime considerate secondarie;
- il recupero dei siti dismessi dei quali il Ministero dell'ambiente ha formulato alcune indicazioni a tale proposito.

La possibilità di recuperare e rivalorizzare il territorio di Arenas-Tiny potrebbe divenire una realtà se i politici e gli amministratori delegati richiedessero al mondo della ricerca contributi scientifici adeguati a risolvere le complesse problematiche ambientali, sia generali sia di dimensioni locali.

Malgrado l'acquisizione dei dati richiedano indagini sperimentali complesse ed onerose e necessitino di tempi di analisi prolungati nel tempo, una adeguata programmazione nella quale sia possibile il confronto, la verifica tra le diverse linee programmatiche di ricerca dei principali elementi geologici ed ingegneristici potrebbero facilitare lo svolgimento dei lavori di controllo del territorio, la realizzazione di infrastrutture, l'elaborazione e la realizzazione di mappe tematiche ambientali.

Nelle parti successive che faranno seguito a questa prima nota si svilupperanno gli aspetti culturali del patrimonio geologico e la loro protezione e conservazione (CASTO & ZARLENGA, 1991; CASTO & ZARLENGA 1992) secondo il programma:

- ricerca bibliografica preliminare del sito ove nel passato è stata svolta l'attività estrattiva;
- ricerca sulla toponomastica locale (effettuata possibilmente da geologi e ingegneri minerari) per il controllo delle informazioni tratte dalle notizie bibliografiche e storiche;

- lavoro geologico di base in dettaglio degli affioramenti per le correlazioni con le strutture e la tettonica;
- individuazione dei punti di sicuro intervento nei quali possono immediatamente seguire ricerche geochimiche di base;
- elaborazione dei dati e stesura di carte tematiche ambientali per un progetto propositivo di pianificazione del geotopo.

Solo in seguito si potrà dare l'avvio al processo di recupero e di separazione dei minerali metallici utili da quelli delle ganghe o sterili tra i quali i materiali argillosi che potrebbero essere impiegati per le coperture impermeabilizzanti dei suoli stessi.

Processi di trattamento fisico ambientale, potrebbero essere realizzati mediante l'impiego di «classificatori centrifughi o cicloni», apparecchi sperimentati con successo nei laboratori e negli impianti delle laverie di tutto il mondo dove operano separazioni con dimensioni granulometriche anche di qualche micron.

Il ciclone appare oggi come una delle macchine più ricche di possibilità di impiego in tutte quelle industrie ove i sistemi in elaborazione prevedono il trattamento di particelle solide finissime in fase liquida costituite da minerali complessi come la barite associata a calcari, quarzo, fluorite e galena (CARTA *et alii*, 1965; DEL FÀ & PLANTA, 1965).

Nuove tecniche di separazione gravimetrica dei fini sono state proposte e sperimentate con successo negli Istituti di Arte Mineraria e di Preparazione dei Minerali dell'Università di Cagliari, in particolare, l'elaborazione e la messa a punto del separatore idraulico «Multidune» che opera in base ai fenomeni di trasporto differenziato di particelle solide di diversa granulometria in corrente fluida (DEL FÀ & FERRARA, 1965).

Anche i tradizionali crivelli o le tavole a scosse apparecchiature che hanno reso grandi servizi nella preparazione dei minerali.

Sebbene tali processi hanno ceduto il passo alla flottazione inquinante, essi sono ancora di grande utilità nelle piccole miniere che trattano minerali pesanti particolari.

Nell'indagine analitica di questa prima nota, si pongono in evidenza alcuni tra i molteplici obiettivi finalizzati alla rivalorizzazione ambientale del geotopo di Arenas-Tiny come base di partenza per il recupero di materie prime secondarie e la verifica del grado di inquinamento dei suoli.

BIBLIOGRAFIA

- ARNOLDUS HUYZENDVELD A., GISOTTI G., MASSOLI NOVELLI R. & ZARLENGA F. (1995). *I beni culturali a carattere geologico: i geotopi*. Un approccio culturale al problema. *Geologia Tecnica & Ambientale*, 4: 35-47.
- BENZ J. P. (1965). *Nouvelles observations sur le gisement d'Arenas*. In: Ass. Min. Sarda. (Eds) «Atti Symp. Problemi Geomin. Sardi». Ass. Miner. Sarda (1965): 331-342, 2 figg., Cagliari - Iglesias.
- BINAGHI R. (1937). *La metallurgia in età romana in Sardegna*. Res. Ass. Min. Sarda, 42, Cagliari.
- BRUSCA C., DESSAU G. & JENSEN M. L. (1965). *The bearing of sulphur isotopes on the origin of the zinc and lead deposits of the Iglesias area in Sardinia*. In: Ass. Min. Sarda. (Eds) «Atti Symp. Problemi Geomin. Sardi». Ass. Miner. Sarda: 325-330, 1 figg., 1 tabb., Cagliari - Iglesias.
- CARIA G. (1990). *Impatto ambientale degli sterili minerari della zona di Inuriosu - Naracauli (Sardegna SW)*. Tesi di laurea, Univ. Cagliari.
- CARTA M., FERRARA G., DEL FÀ C. & PLANTA L. (1965). *L'applicazione di processi a mezzo denso in campo centrifugo nel trattamento dei minerali baritici sardi*. In: Ass. Min. Sarda. (Eds) «Atti Symp. Problemi Geomin. Sardi». Ass. Miner. Sarda: 767-780, 4 figg., 13 tabb., Cagliari - Iglesias.
- CARTA GEOLOGICA D'ITALIA, 1971. Foglio 224-225 «Capo Pecora - Guspini alla scala 1:100.000. Rilevazioni di P. Zuffardi et alii, Servizio Geologico d'It., Roma.
- CASTELLI G. (1924). La miniera di Tiny in Sardegna. *Rass. Miner.* 41.
- CASTO L. & ZARLENGA F. (1991). *Protezione ambientale: beni geologici. Energia e Innovazione*, 1-2: 64-69.
- CASTO L. & ZARLENGA F. (1995). *I beni culturali a carattere geologico nella Media Valle del Tevere*. 165 pp., ENEA.
- CAVINATO A. (1948). *Cenno preliminare sulla miniera di S'Arenas*. In: Ass. Min. Sarda. (Eds) «Atti del Congresso Minerario Italiano». Ass. Miner. Sarda: 117-126, Iglesias.
- CICCU R., DI GREGORIO F., MASSACCI P., MANCA P.P. & MASSOLI NOVELLI (1987). *I bacini di contenimento degli sterili di flottazione in Sardegna: problemi di sicurezza ed interventi necessari*. Mem. Soc. Geol. It., Atti del Convegno «Le Scienze della Terra nella Pianificazione Territoriale», Chieti, 37: 63-70.
- COCOZZA T., MAXIA C. & PALMERINI V. (1967). *Il «calcare ceroide» del Cambrico sardo osservato al microscopio elettronico*. *Boll. Soc. Geol. It.*, 86: 725-731, Roma.
- COCOZZA T., JACOBACCI A., NARDI R. & SALVADORI I. (1974). *Schema stratigrafico-strutturale del massiccio sardo-corso e minerogenesi della Sardegna*. Mem. Soc. Geol. It., 13: 85-186, 76 figg., 1 carta geologica, scala 1:750.000, Roma.
- DE ANGELIS L. (1992). *Attività estrattive: la legislazione regionale senza legge quadro... Ambiente*, 1: 47-54.
- DEL FÀ C. & FERRARA G. (1965). *Trattamento ad umido di minerali pesanti con il separatore «Multidune»*. In: Ass. Min. Sarda. (Eds) «Atti Symp. Problemi Geomin. Sardi». Ass. Miner. Sarda: 793-801, 5 figg., 7 tabb. Cagliari - Iglesias.

- DEL FÀ C. & PLANTA L. (1965). *Sul ciclone cilindrico idraulico. Studio teorico e sperimentale del ciclone come classificatore*. In: Ass. Min. Sarda. (Eds) «Atti Symp. Problemi Geomin. Sardi». Ass. Miner. Sarda: 781-792, 8 figg., 4 tabb. Cagliari-Iglesias.
- DI COLBERTALDO D. (1958). *Il giacimento piombo-zincifero di Arenas nell'Iglesiente*. Rend. Soc. Min. It., **14**: 173-203, 17 figg., 3 tavv., Milano.
- DI COLBERTALDO, D. (1967). *Giacimenti minerari*. **1**, pp. 383, CEDAM, Padova.
- DI GREGORIO F. & MASSOLI NOVELLI R. (1988). *Impatto ambientale delle attività minerarie in Sardegna*. Boll. Soc. Sarda Sc. Nat., **26**: 17-42.
- DI GREGORIO F. & MASSOLI NOVELLI R. (1992). *Geological impact of some tailings dams in Sardinia (Italy)*. Environmental Geology, **19**: 147-153.
- FENOGLIO M. (1932). *Sulla linarite di Arenas*. Per. di Mineralogia., **3**: 4-14, 4 tabb., 2 tavv., Roma.
- GORGA R. & LINI M. (1993). *Sulla galena e mimetite di una mineralizzazione ossidati di Pb-Zn del giacimento di S'Arenas (Sardegna sud-occidentale)*. «Il Cercapietre», **20**: 2-14, Roma.
- LO MONACO M., PREZIOSO M., SCARPELLI L. & SPINELLI G. (1990). *Ricorsi di aggregazione e dissoluzione degli «habitat» nella provincia di Rieti*. Ed. Kappa, 162 pp., Roma.
- MARZOCCHI G. (1996). *Archeologia mineraria, prospettive, riutilizzo*. L'Ind. Mineraria, 1-2: 19-23.
- PELLOUX A. (1908). *Plancheite di Arenas (Sardegna)*. Bull. Min. Soc., **31**: 250.
- PELLOUX A. (1930). *Caledonite e leadhillite della miniera di Tiny nella valle di Oridda (Domusnovas) Sardegna*. Per. di Mineralogia., **1**: 201-207, 1 tabb., 1 figg., Roma.
- PIOVAN U. & VIOLO M. (1965). *Contributo alla conoscenza delle «Quarziti» della zona di Iglesias (Sardegna)*. In: Ass. Min. Sarda. (Eds) «Atti Symp. Problemi Geomin. Sardi». Ass. Miner. Sarda: 231-253, 27 figg., 5 tabb., 5 tavv., Cagliari - Iglesias.
- RITCEY G.M. (1989). *Tailings management*. Elsevier, 970 pp., Amsterdam.
- ROSSETTI V. (1950). *Minerali di piombo nelle granatiti di Oridda (Sardegna sud-occidentale)*. Res. Ass. Min. Sarda, **55**: 5-9, Cagliari.
- ROSSI G. (1973). *I bacini di decantazione dei rifiuti degli impianti di trattamento dei minerali*. L'Ind. Mineraria, **10**: 465-480; **11**: 525-545.
- SALVADORI I., URAS I. & ZUFFARDI P. (1982). *I giacimenti minerari nel Paleozoico sardo*. In: L. Carmignani, T. COCCOZZA, C. GHEZZO, P.C. PERTUSATI & A. RICCI (Eds): «Guida alla geologia del Paleozoico sardo». Soc. Geol. It. **71**: 55-63, 2 tabb., Cagliari.
- SANDRONE et alii (1995). *Legge quadro in materia di cave e torbiere. Proposta di legge d'iniziativa dei deputati Sandrone et alii*. L'Ind. Mineraria, **2**: 1-7.
- SWAINBANK I.G., SHEPHERD T.J., CABOI R. & MASSOLI NOVELLI R. (1982). *Lead isotopic composition of some galena ores from Sardinia*. Per. Mineralogia, **51**: 275-286, Roma.
- TYLECOTE R.F., BALMUTH M.S. & MASSOLI NOVELLI R. (1984). *Studies in Sardinia Archaeology*. Copper and Bronze Metallurgy, Univ. Michigan, p. 115-162.
- URAS I. (1957). *Il giacimento piombifero di Tiny - Arenas*. Res. Ass. Min. Sarda, **61**: 1-32, Cagliari.
- VARDABASSO S. (1950). *Il problema stratigrafico del Cambriano sardo*. Rend. Accad. Naz. Linei, **9**: 312-319, Roma.
- ZUFFARDI P. (1952). *Il giacimento piombo-zincifero di Monte Agruciau. Contributo allo studio dei giacimenti a ossidati dell'Iglesiente*, L'Ind. Mineraria: 1-12, Roma.
- ZUFFARDI P. (1953a). *Alcune caratteristiche dei giacimenti minerari sardi in relazione ai problemi della loro coltivazione e della meccanizzazione del lavoro*. Atti del Conv. di St. per l'Ind. della Sardegna, **2**: 177-216, Cagliari.
- ZUFFARDI P. (1962). *Contributo alla conoscenza delle mineralizzazioni del cambriaco sardo*. Nota introduttiva. Res. Ass. Min. Sarda, **67**: 7-25, Cagliari.
- ZUFFARDI P. (1968). *Transformism in the ore deposits: examples from sardinian lead - zinc deposits*. XXIII Int. Geol. Congress, **7**: 137-149, Praga.
- ZUFFARDI P. (1970). *La metallogénese du plomb, du zinc et du barium en Sardaigneun exemple de permanence, de polygenetisme et de transformisme*. Boll. Soc. Geol. Belgique, **92**: 321-344, Bruxelles.

Geotopi a carattere giacimentologico in pericolo di scomparsa nella Sardegna sud-occidentale

Seriously endangered ore deposits geotopes in south-western Sardinia

BONI M. (*), PINTUS E. (**) & SARRITZU R. (***)

RIASSUNTO – Nell'Iglesiente (Sardegna SW) sono presenti molte mineralizzazioni classiche a metalli di base. I giacimenti (Pb-Zn-Ba-Fe-F-Cu) sono in parte stratabound nel Cambriano e nell'Ordoviciano (Sedex e MVT) ed in parte associati a *skarn*, e riempimenti di vene e *paleokarst* di età da tardo- a post-Ercinica. Le mineralizzazioni più tipiche, come anche le loro relazioni con le rocce incassanti, sono ben esposte sia in affioramento, che nelle poche miniere in sotterraneo ancora in attività. Esse sono, tuttavia suscettibili di scomparire in breve tempo, a seguito della chiusura delle operazioni minerarie, o di semplice degrado degli affioramenti, o di riutilizzo (pianificato o no) dei vecchi siti minerari. Esempi di affioramenti di valore giacimentologico sono i seguenti:

- 1) Lo scavo abbandonato di Genna Luas (Iglesias) (solfuri massicci *stratabound*);
- 2) Le «blende gialle» *stratabound* della miniera di San Giovanni (Iglesias);
- 3) Le Bariti nella «Quarzite» di Monte Segarino (Buggerru);
- 4) La miniera di Arenas-Tiny (San Benedetto): mineralizzazioni *stratabound* metamorfosate;
- 5) I paleokarst del tipo «Ricchi Argento» e barite di Monte San Giovanni e Barega (Gonnesa-Carbonia);
- 6) Il reticolo di vene idrotermali a barite di Barbusi (Carbonia).

Tutte le località menzionate, come molte altre nell'intera area, dovrebbero essere riguardate secondo un nuovo concetto di rivalutazione del territorio, che tenga conto anche del valore scientifico di tali affioramenti, perchè possano essere preservati per le generazioni future.

PAROLE CHIAVE: Mineralizzazioni; Sardegna SW; Geotopi.

ABSTRACT – In the Iglesias district (SW Sardinia), are hosted many classical types of base metal ore deposits. The ores (Pb-Zn-Ba-Fe-F-Cu) are partly stratabound in the Cambrian and Ordovician (Sedex and MVT) and partly in form of *skarn*, vein- and paleokarst fillings of late - to post-Hercynian age. The most important ore types, as well as their relationships with the host rocks, are well exposed in many small open pits, as well as in the few, still operating, underground mines. They are, however, endangered by (planned and unplanned) misuse of the old exploitation sites (e.g. waste disposal or limestone quarry). Good examples of ore deposits geotopes are:

- 1) The abandoned Genna Luas (Iglesias) open pit (*stratabound* massive sulfides);
- 2) The stratabound “Yellow Sphalerites” of the San Giovanni mine (Iglesias);
- 3) The barites in the “Quarzite” at Mount Segarino (Buggerru);
- 4) The Arenas-Tiny mine (San Benedetto): metamorphic stratabound ores;
- 5) The “Ricchi Argento” and barite paleokarst fillings on the San Giovanni Mount and Barega (Gonnesa-Carbonia);
- 6) The barite-hosting hydrothermal network at Barbusi (Carbonia).

All the mentioned sites, as many others in the whole area, should be looked along the lines of a new concept of re-evaluation of the territory, which takes care also of the scientific worth of these outcrops to be preserved for future generations.

KEY WORDS: Ore Deposits; SW Sardinia; Geotopes.

(*) Dipartimento di Scienze della Terra Università di Napoli - Largo S. Marcellino 10 - 80138 Napoli

(**) Bariosarda S.p.A. - Via Cattaneo - 09016 Iglesias

(***) Miniere Iglesiente S.p.A. - Uffici Miniera Campo Pisano - 09016 Iglesias

1. – INTRODUZIONE

Il distretto minerario dell'Iglesiente, nella Sardegna sudoccidentale, con una superficie superiore ai 400 Km², è costituito geologicamente da litotipi silico-clastici di età Cambrica ed Ordoviciano, intrusi localmente da graniti Ercinici.

Oltre alle sue località paleontologiche famose nel mondo (soprattutto per la stratigrafia dei trilobiti), nel distretto iglesiente sono presenti delle classiche mineralizzazioni a metalli di base (Zn-Pb-Ag-Ba-Fe-Cu-F), uniche in Europa sia per la loro articolata situazione geologica, che per l'ottimo stato (fino ad ora) di conservazione e di affioramento.

Purtroppo, infatti, con il progressivo abbandono dell'attività estrattiva e con la rinuncia, da parte delle Società minerarie, alle concessioni ed ai vincoli di territorio ad esse connessi, gran parte dei siti minerari d'interesse geologico-giacimentologico rischiano non solo di essere resi non-fruibili per qualsiasi attività di didattica e di ricerca, ma anche di scomparire completamente.

Nel corso degli ultimi anni, in previsione di tale pericolo, abbiamo iniziato una classificazione dei siti minerari di notevole significato scientifico e didattico del distretto dell'Iglesiente e del Sulcis settentrionale (BONI *et alii*, 1996), che in un eventuale futuro assetto del territorio, dovrebbero essere senz'altro preservati, a meno di non voler consentire scientemente la scomparsa totale di testimonianze tali che hanno permesso che questa zona della Sardegna fosse meta di visitatori ed esperti in metalli di base provenienti da tutto il mondo. Tra i siti giacimentologicamente importanti, vogliamo illustrare qui alcuni esempi, che riteniamo assolutamente insostituibili ed, almeno alcuni di essi, in imminente pericolo di distruzione totale.

I siti a cui facciamo riferimento (fig. 1) sono i seguenti:

- (1) I solfuri massicci dello scavo di Genna Luas (Iglesias);
- (2) Le Blende Gialle della miniera di San Giovanni (Iglesias);
- (3) Le Bariti nella «Quarzite» di Monte Segarino (Buggerru);
- (4) Lo scavo della miniera di Arenas-Tiny (San Benedetto): mineralizzazioni *stratabound* metamorfosate;
- (5) I paleokarst a Ricchi Argento e Barite degli altopiani di San Giovanni (Gonnesa) e Barega (Carbonia);
- (6) Il reticolo di vene a Barite di Barbusi (Carbonia).

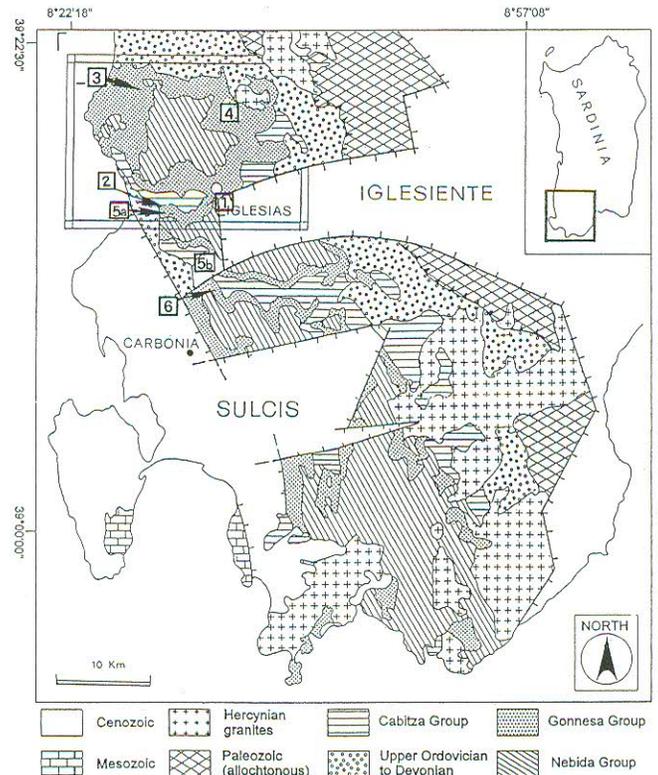


Fig. 1. – Carta geologica dell'Iglesiente-Sulcis; nel riquadro in alto a sinistra è evidenziata l'area di maggiore importanza mineraria. I geotipi da preservare sono indicati con i seguenti numeri: (1) Solfuri massicci di Genna Luas, (2) Blende Gialle della miniera San Giovanni, (3) Bariti nella «Quarzite» di Monte Segarino, (4) Mineralizzazioni metamorfosate a Tiny-Arenas, (5a) Ricchi Argento dell'altopiano di San Giovanni, (5b) Bariti dell'altopiano di Barega; (6) Reticolato a Barite di Barbusi (da BONI *et alii*, in stampa, modificato).

– Geological map of the Iglesias-Sulcis region; in the frame upper-left is shown the area with the highest concentration of ore deposits. The geotypes to be preserved are the following: (1) Stratabound massive sulfides at Genna Luas; (2) "Yellow Sphalerites" of the San Giovanni mine; (3) Barites in the "Quarzite" at Mount Segarino; (4) Metamorphic stratabound ores in the Arenas-Tiny mine; (5a) "Ricchi Argento" paleokarst fillings on the San Giovanni Mount; (5b) Barites on Barega Mount; (6) Barite-hosting hydrothermal network at Barbusi, (from BONI *et alii*, in press, modified).

Per l'interpretazione geologica del Cambro-Ordoviciano dell'Iglesiente, si rimanda ai lavori comprensivi di BECHSTÄDT & BONI (1994) e CARMIGNANI *et alii* (1994) e bibliografia contenuta, mentre per le mineralizzazioni si fa riferimento, oltre che all'importante contributo di BRUSCA & DESSAU (1968), ancora a BECHSTÄDT & BONI (1994) ed a BONI *et alii* (1992; in stampa) con le loro bibliografie.

Le mineralizzazioni possono essere suddivise in due categorie principali: 1) pre-Erciniche (*stratabound* e/o stratiformi), e 2) da tardo- a post-Erciniche (*skarn*, filoni e riempimenti di paleokarst). Il contenuto in metalli, nonché il potenziale economico, variano notevolmente tra questi due gruppi, tutto a vantaggio dei

depositi pre-Ercinici. I giacimenti post-Ercinici contengono in genere una maggiore varietà di elementi metallici (inclusi F, Cu, Sb, Bi, W) e tenori localmente più alti di Ag.

Tra le mineralizzazioni elencate come geotopi da preservare, i tipi da (1) a (3) sono pre-Ercinici, i tipi (5) e (6) sono post-Ercinici ed il tipo (4) si situa tra le due categorie, essendo costituito da mineralizzazioni in parte pre-Erciniche, poi modificate ed arricchite in epoca posteriore.

1.1. – GENNA LUAS

La mineralizzazione a pirite prevalente di Genna Luas, in prossimità di Iglesias (fig. 1), è situata lungo la linea tettonica di Funtana Perda. Alcune delle caratteristiche della mineralizzazione possono essere osservate, insieme a quelle delle rocce incassanti, in uno scavo attualmente abbandonato (fig. 2) che taglia parzialmente anche i vecchi lavori minerari in sotterraneo della miniera di Funtana Perda.

Le concentrazioni sono a solfuri massicci e localizzate in un orizzonte irregolare di dolomie nere silicizzate, intercalato ai litotipi appartenenti alla parte alta della Fm di Punta Manna (Mbr di Cuccu Aspu, BECHSTÄDT & BONI, 1994). L'orizzonte mineralizzato è stato deformato più volte da diversi episodi tettonici Ercinici: le rocce contenenti la mineralizzazione sono state fratturate in maniera fragile ed hanno costituito un nocciolo più rigido all'interno di litofacies a comportamento plastico. Ciò è valido sia per le dolomie silicizzate che per i solfuri massicci; entrambi questi litotipi costituiscono una scaglia tettonica che immerge verso est ed è intercalata a sedimenti clastici; essa è anche stata sottoposta nel suo interno a vari ordini di piegamento.

I solfuri sono costituiti generalmente da pirite-melnikovite con poca marcasite, talora con strutture gradate, *slumping* e brecce. Sono state rinvenute anche minori percentuali di blenda; la galena è estremamente rara e sono presenti anche tracce di calcopirite, cinabro e barite. Le tessiture della mineralizzazione sono generalmente pseudo-colloidali, con la pirite che forma concrezioni sferoidali, talora frammentate.

Fra i fenomeni che possono essere considerati di notevole importanza per la genesi della mineralizzazione di Genna Luas, si possono annoverare: 1) la silicizzazione pervasiva dei carbonati e delle arenarie siltose, 2) la deformazione plastica dei solfuri. Questi processi di alterazione idrotermale e di deformazione di sedimenti mineralizzati ancora allo stato plastico,

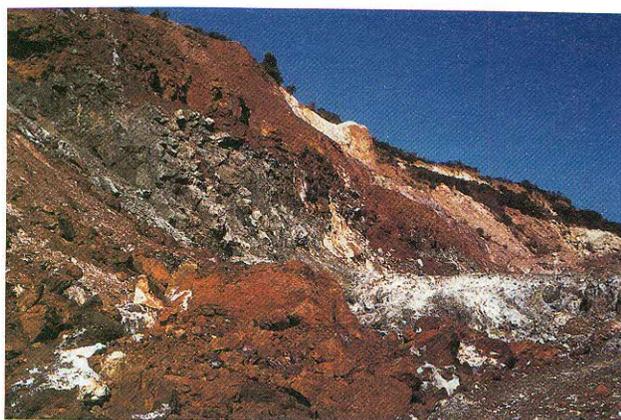


Fig. 2. – Lo scavo di Genna Luas (Iglesias) visto da sud: i solfuri massicci al centro passano verso l'alto ad un'ampia zona di ossidazione. Si noti l'avanzato stato di degrado dello scavo.

– *View of the Genna Luas (Iglesias) open pit from south; the massive sulfides are oxidated in their upper parts. It is evident the state of degradation of the pit.*

oltre agli alti quantitativi in solfuri massicci, possono essere indicativi della deposizione di mineralizzazioni di tipo esalativo (SEDEX sensu LARGE, 1981), in un ambiente estremamente instabile dal punto di vista tettonico. La mineralizzazione di Genna Luas, pertanto, potrebbe essersi formata in seguito all'emissione di fluidi idrotermali (*discharge*) in sedimenti depositatisi in una piccola depressione, in zone controllate da lineamenti tettonici, durante la deposizione della parte più alta della Formazione di Nebida o della base di quella di Santa Barbara.

Le esposizioni mineralizzate presenti nello scavo di Genna Luas vengono oggi in parte coltivate per ossidati, in parte ricoperte da detriti di discariche non controllate, in parte, infine, franano miseramente (fig. 2). Considerando che questi tipi di mineralizzazioni hanno i loro equivalenti in Europa solo in Irlanda e nella Spagna settentrionale, ma non sono mai così bene esposti in superficie, nè poco interessati da metamorfismo come in quest'area dell'Iglesiente, è di notevole importanza che esse vengano preservate.

1.2. – LE BLENDE GIALLE DI SAN GIOVANNI

La miniera di San Giovanni (BRUSCA & DESSAU, 1968) si localizza nella parte meridionale della sinclinale di Iglesias (fig. 1). Vi sono raggruppati diversi tipi di mineralizzazioni a Zn-Pb, situate in zone stratigraficamente distinte del Gruppo di Gonnese. Qui l'attività mineraria è proseguita quasi ininterrottamente dall'epoca dei Fenici e dei Romani, entrambi prevalentemente interessati alla galena argentifera (i Ricchi Argento).



Fig. 3. – Miniera di San Giovanni, Massa Pozzo, 3 liv.+6: blenda gialla tagliata da fasce di blenda grigia e coccarde con blenda rossa e calcite.

– San Giovanni Mine, Massa Pozzo 3, liv.+6: yellow sphalerite cut by bands of grey sphalerite and cockades of red sphalerite and sparry calcite.

Dalla fine del secolo diciannovesimo, comunque, inizia lo sfruttamento industriale di San Giovanni, ad opera di Società inizialmente private.

Nella miniera sono presenti, fra gli altri, corpi *stratabound* a Zn prevalente e minore Pb (il cosiddetto «Blendoso»), ossidati dalla superficie sino a profondità variabili, e concentrati generalmente in tre maggiori orizzonti stratigrafici situati a vari intervalli nella Fm di San Giovanni (Calcare Ceroidi). La parte più caratteristica del «Blendoso» di San Giovanni consiste di impregnazioni *stratabound* di blenda gialla chiara), diffuse in una facies di *mudstone* calcareo a peloidi. Questa mineralizzazione sembra essere abbastanza precoce dal punto di vista diagenetico.

A San Giovanni era stata fatta una generale suddivisione di queste mineralizzazioni in corpi mineralizzati singoli, o «Masse Pozzo 1, 2, 3», in cui le concentrazioni con valore economico (fino ad un max del 7% Zn+Pb) sono localizzate all'interferenza tra la direzione

stratigrafica, ad andamento generalmente E-W delle litologie carbonatiche e delle mineralizzazioni *stratabound*, con la direzione della scistosità principale Ercinica (N 30–40°E).

Attualmente ottimi esempi delle Blende Gialle con struttura peloidale, spesso con ulteriori generazioni di blende scure più tardive (fig. 3), sono visibili sulle pareti delle gallerie del liv. +6, in cui affiorano i resti delle Masse Pozzo 2 e 3. Sono affioramenti unici in Europa (qualcosa di simile è stato ritrovato solo nella miniera di Reocin nella Spagna settentrionale) e, per ora, ancora facilmente raggiungibili tramite la rampa di accesso della miniera di San Giovanni.

1.3. – MONTE SEGARINO

A Monte Segarino (Buggerru), il contatto stratigrafico tra il conglomerato dell'Ordoviciano sup., seguito da scisti marini con una ricca fauna Caradociana-Ashgilliana, e le dolomie scure del Gruppo di Gonnese è in discordanza angolare. Le successioni conglomeratiche, a differenza di quelle della «Puddinga» classica di Nebida, sono state interpretate (BECHSTÄDT & BONI, 1994) come depositi di *braided river*, di età probabilmente più recente rispetto a quest'ultima.

Entrambi i litotipi lungo la discordanza mostrano una silicizzazione pervasiva piuttosto intensa, la cui evidenza morfologica è costituita da un orizzonte quarzoso a spessore variabile (la cosiddetta «Quarzite»). All'interno di detto orizzonte, ma anche delle dolomie di letto fratturate e brecciate, sono presenti mineralizzazioni a barite sia micro- che macrocristallina, con tenori variabili di $BaSO_4 + SrSO_4$ dal 30 al 60%. Sia la barite che il quarzo associato sono di origine idrotermale, probabilmente legati a circolazione di fluidi caldi successivi all'Ordoviciano superiore, e deformati in seguito alla tettonogenesi ercinica.

1.4. – ARENAS - TINY

La miniera abbandonata di Arenas-Tiny (fig. 1) si può raggiungere sia dalla vecchia strada che da S. Benedetto posta alla valle di Malacalzetta, che da quella di Domusnovas, dopo aver attraversato la grotta carsica di S. Giovanni e le aree boschive dell'Oridda.

I corpi mineralari sono localizzati in un'area tettonicamente molto complessa, che è stata anche soggetta a fenomeni di metamorfismo di contatto, indotti dalle intrusioni dei graniti tardo-ercinici. Per quanto la posizione delle mineralizzazioni principali lungo la discor-

danza inter-Ordovician, come già nel caso di Monte Segarino, sia indubbia, tuttavia, a causa dei susseguenti processi di ricircolazione idrotermale ad alta temperatura, le paragenesi originarie sono state notevolmente modificate, tali da rendere gli scavi di Arenas e Tiny uno dei paradisi sardi dei cercatori di minerali rari.

In entrambe le località il letto della mineralizzazione corrisponde al Calcere Ceroide marmificato, localmente silicizzato e carsificato. Le maggiori concentrazioni in minerali metallici non alterati, consistenti in barite e pirite, si rinvennero nella parte bassa della «Quarzite», mentre nei calcari metamorfosati sono localmente concentrate vene di galena macrocristallina «alchifolio». Quantitativi notevoli di mineralizzazioni ossidate a $Pb > Zn$ con cerussite prevalente erano contenute in un reticolo di cavità carsiche sottostanti alla «Quarzite»: tali concentrazioni, corrispondenti alle «Terre Cerussitiche» di BENZ (1963) erano state interpretate come accumuli paleocarsici supergenici anteriori (!) all'orogenesi ed al metamorfismo ercinici.

Nella parte più meridionale dello scavo di Arenas, in direzione di Tiny, affiorano delle belle successioni di conglomerati ferriferi a clasti di barite con effetti metamorfici abbastanza evidenti (sostituzione ad opera di minerali metamorfici e fluorite), che rappresenterebbero gli equivalenti stratigrafici della quarzite più settentrionale (BECHSTÄDT & BONI, 1994).

1.5. – I «RICCHI ARGENTO» E LE BARITI DEGLI ALTOPIANI DI SAN GIOVANNI E BAREGA

Nelle zone degli altopiani di San Giovanni e di Barega affiorano delle mineralizzazioni uniche per gran parte dell'Europa occidentale, che possono essere comunque geneticamente confrontate con molte altre relative alle fasi metallogenetiche coeve presenti nella Francia meridionale, in Spagna ed in Germania (BONI *et alii*, 1992). Si tratta di concentrazioni, in vene ed in paleokarst, di galena argentifera con ganga di quarzo, calcite e dolomite ferrifera-ankerite. Nelle zone più superficiali alla galena si associa la barite, che a Barega diventa preponderante. I «Ricchi Argento» sono stati oggetto di sfruttamento preferenziale dal tempo dei Fenici fino alla prima metà di questo secolo. I primi scopritori di questo tipo di mineralizzazioni erano interessati, come anche più tardi i Pisani nel Medio Evo, alla galena argentifera (contenente fino a 10 kg Ag per tonnellata di concentrato di galena, in genere sottoforma di solfosali) delle vene e dei paleokarst tardo-Ercinici che tagliano ortogonalmente i carbonati da molto inclinati a verticali della Fm di



Fig. 4. – Miniera di San Giovanni, Massa Peloggio: pilastro con mineralizzazione «Ricchi Argento» a coccarde con calcite, barite, quarzo e galena argentifera.

– San Giovanni Mine, Massa Peloggio: mineralized pillar with calcite, barite, quartz and argentiferous galena in cockade structures.

Gonnesa. Resti delle antiche coltivazioni, costituite da pozzetti e brevi gallerie (con ritrovamenti archeologici) sono stati localizzati sul penepiano di erosione al top di Monte San Giovanni e sulle colline circostanti (concessioni di San Giovanni e San Giorgio). In genere il livello più profondo delle coltivazioni era il +150, anche se alcune evidenze di Ricchi Argento sono state rinvenute anche al liv. +6 (Massa 47).

Le mineralizzazioni si rinvennero in un esteso reticolo di cavità paleocarsiche profonde (BONI *et alii*, 1992), in genere nel cemento di breccie di collasso multigenerazionali (fig. 4) e, più raramente, in sostituzione sia della matrice che del cemento dei sedimenti interni ai paleokarst. Al momento, l'ipotesi più accreditata per tali tipi di mineralizzazioni è quella della deposizione dei minerali metallici e di ganga da fluidi idrotermali, a temperature massime di 150-180 °C, nel reticolo di vene e cavità create dal paleocarsismo e dalla tettonica disgiuntiva post-Ercinica.



Fig. 5. – Monte Barega: tipica mineralizzazione con struttura «zebrata» a dolomite e barite.

– Monte Barega: typical “Zebra Ore” with dolomite and barite.

Associati alle zone mineralizzate a barite e solfuri, si rinvencono interessanti affioramenti di Dolomia Geodica (BRUSCA & DESSAU, 1968; BONI *et alii*, 1992), spesso ossidata in «Dolomia Gialla», che può essere considerata una delle alterazioni idrotermali post-Erciniche del calcare Cambriano.

Attualmente, rimane ben poco delle spettacolari esposizioni dei «Ricchi Argento», ancora visibili negli anni '80. Qualcosa è ancora preservabile nei vecchi scavi a cielo aperto di Grotta Grande e Scavo S. Maria, oltre a qualche evidenza in sotterraneo in brevi gallerie che si dipartono dal versante di Monte San Giovanni che dà su Gonnessa. Per quello che riguarda le bariti, è ancora visibile sulla sommità di Monte Barega qualche resto ancora visibile di strutture a coccarda e del tipico «Zebra Ore» (fig. 5). Ovviamente, data la particolare natura delle vecchie coltivazioni, una messa in sicurezza degli scavi è la premessa indispensabile per qualsiasi fruizione scientifica o didattica.

1.6. – IL RETICOLATO A BARITE DI BARBUSI

Una ulteriore località di notevole interesse geologico che è stata finora preservata soprattutto perché un po' lontana dalle classiche zone minerarie della valle di Iglesias, è rappresentata dalla vecchia coltivazione a barite di Barbusi (fig. 6), situata in prossimità del villaggio omonimo, sul lato sud della valle del Cixerri. In quest'ultima località si rinviene uno scavo di grandi dimensioni, quasi totalmente in sotterraneo, in cui alcuni residui della struttura mineralizzata sono stati lasciati in posto sia per la non convenienza di un ulteriore sfruttamento, che per un'eventuale futura utilizzazione della cavità.



Fig. 6. – Miniera di Barbusi: pilastri mineralizzati a barite che sostengono la volta della grande camera sotterranea.

– Barbusi Mine: barite-hosting pillars in the great cavity.

La struttura mineralizzata consiste qui essenzialmente di una interessante breccia di collasso a clasti di calcare Ceroide, con dissoluzione e progressivo allargamento di cavità paleocarsiche post-Erciniche. Tale breccia, messa in posto alla convergenza di due zone di frattura principali, è cementata da diverse generazioni di barite, calcite, dolomite ferrifera e, in minori percentuali, da quarzo. Sono presenti varie zone di sedimenti interni di paleokarst, alcune mineralizzate, altre con sedimenti sterili.

2. – CONCLUSIONI

Tutte le località menzionate, come molte altre in cui un'opera di conservazione è forse ancora possibile, dovrebbero essere riguardate secondo un nuovo concetto di rivalutazione del patrimonio del territorio Iglesiente, in cui non venga considerato solo il valore storico ed estetico dei vecchi edifici minerari o degli antichi scavi aperti tipo il Cungiaus di Monteponi o il Malfidano di Buggerru (che fra l'altro è al momento in uno stadio avanzato di sistematica distruzione), ma venga riguardato anche il valore scientifico e didattico degli affioramenti a carattere giacimentologico, che sono in gran parte in pericolo di rapida scomparsa.

Solo preservando le località geologicamente e minerariamente «storiche» dell'Iglesiente, si potrà così trasmettere nella sua interezza alle generazioni future il patrimonio metallogenico che ha reso questa regione famosa nel mondo e la fa considerare dagli addetti ai lavori assimilabile ad altri famosi distretti minerari d'Europa, come la Cornovaglia o l'Erzgebirge.

BIBLIOGRAFIA

- BECHSTÄDT T. & BONI M. eds. (1994) - *Sedimentological, stratigraphical and ore deposits field guide of the autochthonous Cambro - Ordovician of Southwestern Sardinia*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., **48** (1994), Servizio Geologico Nazionale: pp. 434, 300 figg., Roma.
- BENZ J.P. (1963) - *Le gisement plombo-zincifère d'Arenas (Sardaigne)*. Trav. du Lab. de Sciences de la Terre: 126 pp, Nancy.
- BONI M., IANNACE A., KÖPPEL V., HANSMANN W., & FRÜH-GREEN G. (1992) - *Late- to post-Hercynian hydrothermal activity and mineralization in southwestern Sardinia: a reappraisal*. Economic Geology, **87** (1992): 2113-2137, 8 tabb., 10 figg., El Paso, Texas.
- BONI M., IANNACE A. & BALASSONE G. (1996) - *Base metal ores in the Lower Palaeozoic of South-West ern Sardinia*. Econ. Geol. Spec. Publ., n. **4**, in corso di stampa.
- BONI M., OTTELLI L., PINTUS E. & SARRITZU R. (1996) - *Geotopi a carattere giacimentologico - minerario: oggetti da preservare nella Sardegna sudoccidentale*. Ass. Min.Sarda, Congresso del Centenario 1896-1996, sessione **IV**: 115-124, 3 figg., Iglesias.
- BRUSCA C. & DESSAU G. (1968) - *I giacimenti piombo-zinciferi di S. Giovanni (Iglesias) nel quadro della geologia del Cambrico sardo*. Industria Miner., **19** (9): 470-494, **19** (10): 533-556, **19** (11): 597-609, 3 tabb., 6 figg., Roma.
- CARMIGNANI L., OGGIANO G. & PERTUSATI P.C. (1994) - *Geological outlines of the Hercynian basement of Sardinia*. In: Petrology, geology and ore deposits of the Paleozoic basement of Sardinia, Guidebook to the B3 Field excursion, 16th General Meeting of the International Mineralogical Association (1994): 9-20, 3 figg., Pisa.
- LARGE D.E. (1981) - *Sediment-hosted submarine exhalative lead-zinc deposits. A review of their geological characteristics and genesis*. In: Handbook of stratabound and stratiform ore deposits (ed. by K.H. Wolf), **9**: 469-507, Elsevier, Amsterdam.