

STRATIGRAFIA E PALEO GEOGRAFIA DEL CARNICO LOMBARDO (SONDAGGIO S. GALLO, VALLE BREMBANA)

EDUARDO GARZANTI* & FLAVIO JADOUL*

Key-words: Stratigraphy, Paleogeography, Upper Triassic, Deltaic sandstones, Lagoonal and peritidal carbonates, Metallogenesis, Transition matrix statistics.

Abstract. Studies on the most southern and complete Carnian sequence of the Bergamasco Alps (S. Gallo well) and of several exposed stratigraphic sections throw new light on the paleogeographic evolution and the metallogenesis of the Pb-Zn-Fluorite-Barite Gorno district. In the Early Carnian (Calcare Metallifero Bergamasco and Basal Tongue of the Gorno Fm.), an open lagoon with mixed calcareous-terrigenous sedimentation passed northward to carbonate tidal flats and was fringed by karstified carbonate paleo-highs. Next, the great supply of terrigenous detritus from a southern volcanic belt brought about the progradation of a fluviodeltaic body (Val Sabbia Sandstone) and confined carbonate sedimentation to an outer zone. Three types of fining-upward cycles, characterizing upper, lower and subaqueous delta plain environments, were recognized through Markov chain and substitutability analysis. Their alternation makes up the progradation megasequence of the Val Sabbia Sandstone. The mineralogy, geometry and evolution of terrigenous bodies compare favourably with volcanoclastic sediments deposited at convergent plate margins dominated by extensional tectonics. According to this geodynamic framework, the mineralizations of the Southalpine Triassic can be related to "Kuroko"-type sulphide ores. The great thickness of Early-Middle Carnian units in the S. Gallo well (more than twice as thick as the known exposed sections) has other metallogenic implications, and it demonstrates that the lagoonal lithosome was large enough to account for the whole amount of the metal ions contained in the mineralizations of the Gorno district. The metal ions, leached from the volcanic source rocks and transported to the lagoon by adsorption on clay particles, were stocked mainly in the prodelta muds deposited close to the northern paleo-highs. Compaction of the shales allowed migration and concentration of the mineralizations in the paleokarstic traps (economic ore bodies). An important role for "under cover" post-depositional dissolution of the carbonate mother rock and sulphide precipitation was played by evaporitic brines during a middle-temperature and relatively early diagenetic stage.

Introduzione.

Sin dal secolo scorso la successione carnica delle Prealpi Bergamasche (Fig. 1) è stata oggetto di numerosi studi geologico-giacimentologici finalizzati a comprendere la stratigrafia, le geometrie e la genesi dei corpi mineralari stratifor-

* Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Milano, via Mangiagalli 34, Milano.

— F. Jadoul ha curato l'analisi e l'inquadramento regionale delle unità carbonatiche; E. Garzanti lo studio delle unità terrigene.

— Lavoro eseguito nell'ambito dei programmi del Centro di Studio per la Stratigrafia e Petrografia delle Alpi Centrali e del programma CEE CREST 092-79-7 MPPI-SAMIM.

mi a Pb, Zn, fluorite e barite presenti alla base delle sequenze carniche. La disposizione degli affioramenti permette di osservare una zonazione delle mineralizzazioni in senso E-O, ma non consente di osservarne lo sviluppo in senso N-S, poichè verso meridione le unità incassanti scompaiono sotto le coperture noriche o più recenti. Per verificare la continuità dei corpi minerali era necessario raggiungere in sondaggio le formazioni che li ospitano (Metallifero Bergamasco, Fm. di Breno).

Già negli anni '60 le ricerche minerarie intraprese dai geologi della Fluormine e poi della R.I.M.I.N. avevano sottolineato l'utilità e la fattibilità di un sondaggio geognostico al nucleo dell'anticlinale di S. Gallo, struttura situata nel fondovalle brebano, 4.5 km a meridione del giacimento di Paglio Pignolino e circa 2 km a nord di S. Pellegrino Terme (Fig. 2). Tuttavia solo recentemente, nell'ambito del programma CEE (CREST 092-79-7 MPPI-SAMIM) è stato possibile finanziare il progetto.

La perforazione è stata eseguita nell'autunno 1981 dalla ditta Bardin, che ha operato con una sonda Longyear 250 in carotaggio continuo, raggiungendo una profondità di 542 m con diametro finale della carota di 5 cm. La profondità è stata superiore a quella preventivata a causa sia della progressiva accentuazione della asimmetria della piega, sia dello spessore più che doppio della Arenaria di Val Sabbia a S. Gallo rispetto alle successioni affioranti.

Lo studio dei campioni forniti dal sondaggio su una sequenza completa tra le più potenti e interessanti dell'intero Sudalpino, aggiunto al rilevamento di numerose sezioni stratigrafiche di superficie misurate in un decennio di ricerche e per lo più inedite (F. J.), ha permesso di disporre di una notevole quantità di informazioni sul Carnico inferiore-medio delle Alpi Bergamasche. Il presente lavoro si propone di offrire: a) la stratigrafia di dettaglio del sondaggio, con elaborazione statistica dei dati sedimentologici (catene di Markov e analisi di



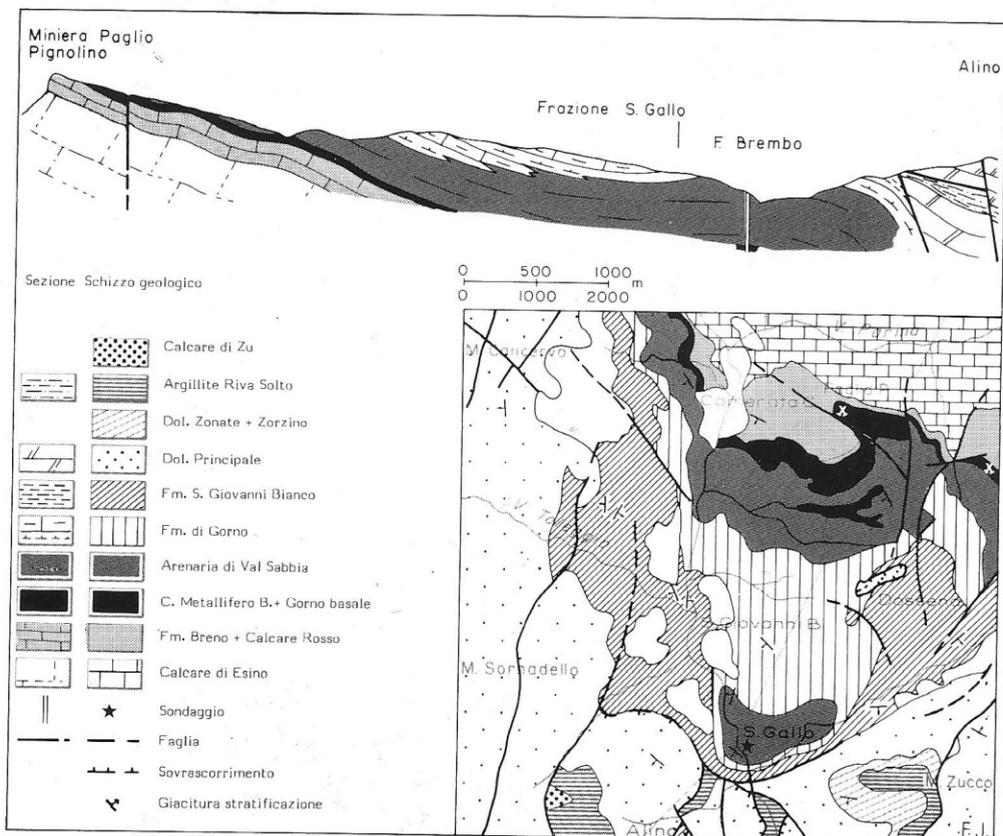
Fig. 1 — Localizzazione dell'area studiata. Le linee a tratteggio delimitano l'area cui si riferiscono le carte di facies raffigurate in Fig. 6.
Location map of the studied area.

sostituibilità; E. G.); b) informazioni sulla natura ed evoluzione nel tempo degli apparati vulcanici; c) nuove osservazioni sulla metallogenese delle mineralizzazioni del distretto di Gorno; d) una sintesi paleogeografica per il Carnico inferiore-medio.

Il sondaggio di S. Gallo.

Calcare Metallifero Bergamasco.

Questa unità calcarea peritidale poco potente chiude la sequenza carbonatica regressiva di età Ladinico-Carnico inferiore (Fig. 3). Essa contiene, come la sottostante Fm. di Breno, diffuse mineralizzazioni «strata bound» a solfuri di Pb e Zn, fluorite e barite (Assereto et al., 1977; Omenetto & Vailati, 1977). La successione calcarea attraversata dal sondaggio dalla progressiva 461 fino a



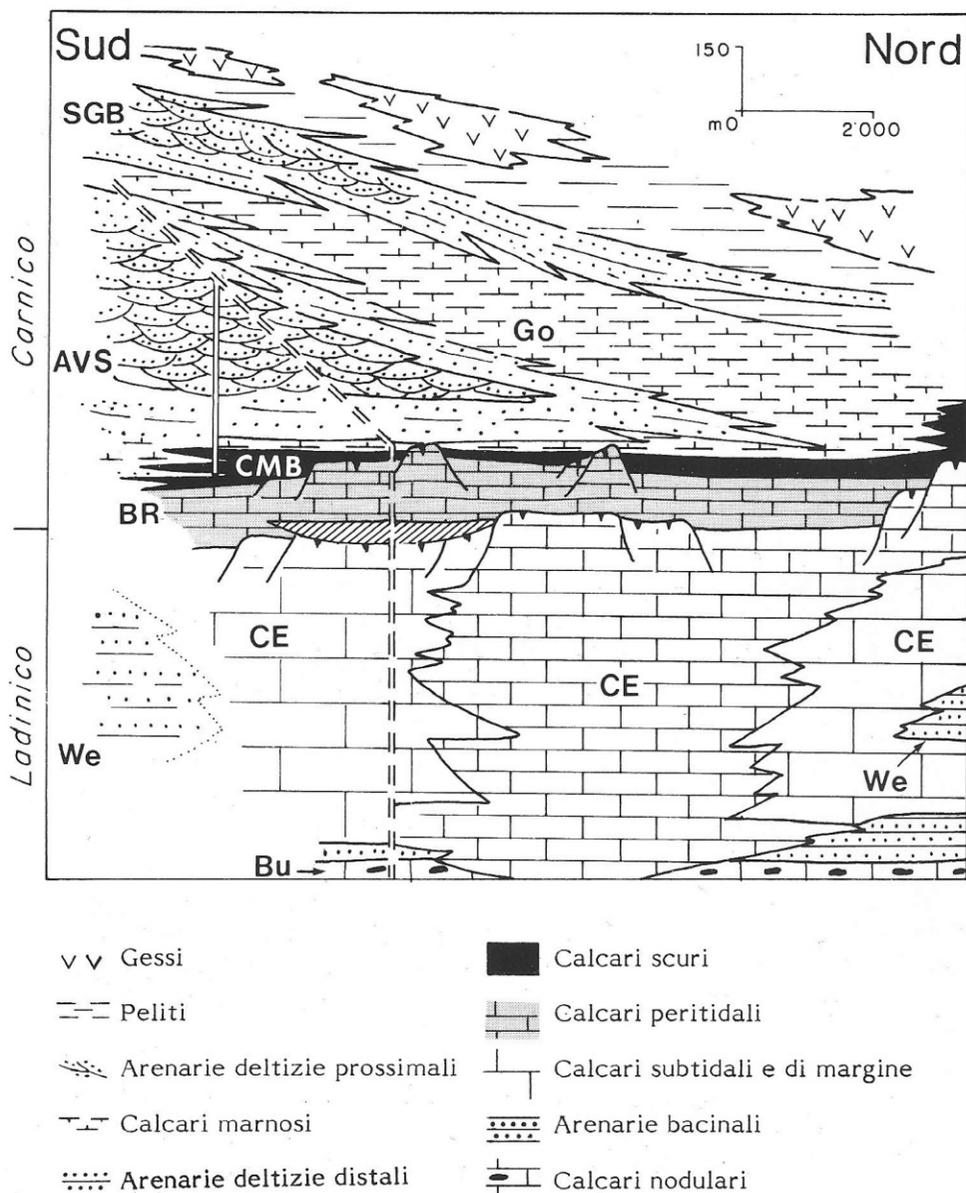


Fig. 3 — Schema dei rapporti stratigrafici per il Ladinico—Carnico delle Alpi Bergamasche. SGB = Fm. di S. Giovanni Bianco; Go = Fm. di Gorno; AVS = Arenaria di Val Sabbia; CMB = Calcare Metallifero Bergamasco; BR = Fm. di Breno; CE = Calcare di Esino; We = Fm. di Wengen; Bu = Fm. di Buchenstein. La barra verticale indica il sondaggio S. Gallo. La linea doppia tratteggiata delimita la parte affiorante (a nord).

Stratigraphic framework for Ladinian and Carnian times. Bar indicates S. Gallo well. Double dashed line delimits exposed successions (to the right).

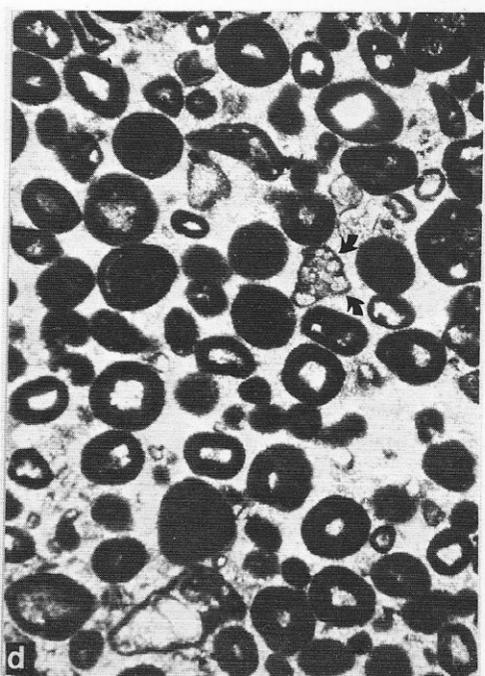
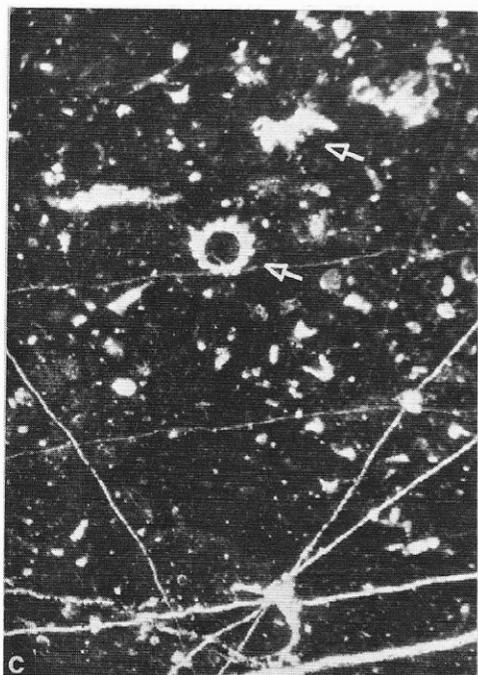
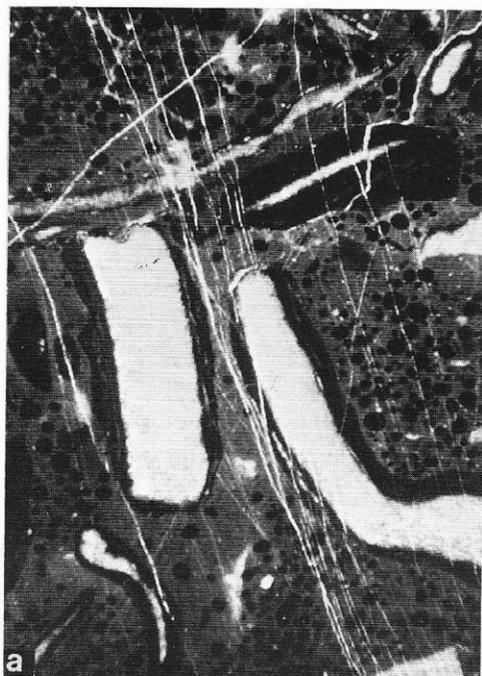
fondo foro, per circa 60 m stratigrafici, è attribuibile al Calcarea Metallifero Bergamasco, anche se si distingue dalle facies affioranti (carbonatiche di piana intertidale e laguna) per l'abbondante inquinamento terrigeno e per la quasi totale assenza dei ciclotemi peritidali. Nel sondaggio le litofacies prevalenti sono calcari arenacei e micriti bioturbate a Lamellibranchi, spesso con rivestimenti oncolitici (Fig. 4). Solo alla sommità e nella parte inferiore della formazione sono presenti calcari subtidali ad Alghe *Dasycladaceae* (*Clypeina besici* Pantic) e rare intercalazioni di carbonati intertidali a *fenestrae* e stromatoliti. Nella parte medio-inferiore sono anche diffusi grainstones oolitici e oo-bio-intraclastici. Ooidi si trovano anche nelle micriti fossilifere e possono contenere al nucleo bioclasti o extraclasti (quarzo, plagioclasio, litici vulcanici). A queste litofacies si intercalano, già nella porzione inferiore della successione, siltiti grigio-scure spesso bioturbate in livelli decimetrici talora gradati o con frustoli carboniosi, e arenarie molto fini con laminazione parallela o obliqua a basso angolo. In orizzonti di più alta energia (arenite ibride mature a grana fine) gli extraclasti sono oolitizzati e mescolati in varie proporzioni a ooidi e bioclasti (Echinoidi, Crinoidi e subordinati Lamellibranchi, Gasteropodi, Alghe *Ciano-phyceae*, oncoidi, Foraminiferi (*Trocholina* sp.), e Celenterati (*Hydrosclera plumosa* Gaetani & Fois).

Le arenarie sono litarenite vulcaniche plagioclastiche immature, o submature a cemento cloritico. Esse hanno granulometria inferiore a 100μ e alto tenore in carbonato (calcite e subordinata dolomite). La composizione (Q₆ F₄₅ L₄₉; parametri secondo Dickinson, 1970) è molto simile a quella della Arenaria di Val Sabbia, ma tra i frammenti di roccia vulcanici prevalgono i felsitici e possono essere diffusi i vitrici, confermando una fase vulcanica esplosiva penecontemporanea (Vaché, 1966). Parte del detrito potrebbe però derivare da ignimbriti riodacitiche ladiniche.

L'unità ha subito una diagenesi intensa e stiloliti e fenomeni di pressoluzione sono assai diffusi nelle micriti e nei calcari particellari, in cui non si è avuta una fase precoce di cementazione. Nei carbonati subtidali, al tetto della unità, sono state osservate rare mosche a solfuri di Pb e Zn in stiloliti argilloso-bituminose. L'esigua mineralizzazione, che comprende pure abbondante pirite in framboidi o piccoli agglomerati cristallini, interessa anche fratture subverticali di ampiezza centimetrica, cementate da calcite bituminosa e generalmente dislocate dalle fasi tardive della tettonica alpina.

Considerazioni ambientali.

La porzione medio-inferiore del Calcarea Metallifero Bergamasco, con presenza di barre arenitiche, lavate e selezionate, formate da ooidi, bioclasti differenziati ed extraclasti, denota condizioni di energia localmente elevata e una certa vicinanza tra gli ambienti a produttività carbonatica e la linea di costa.



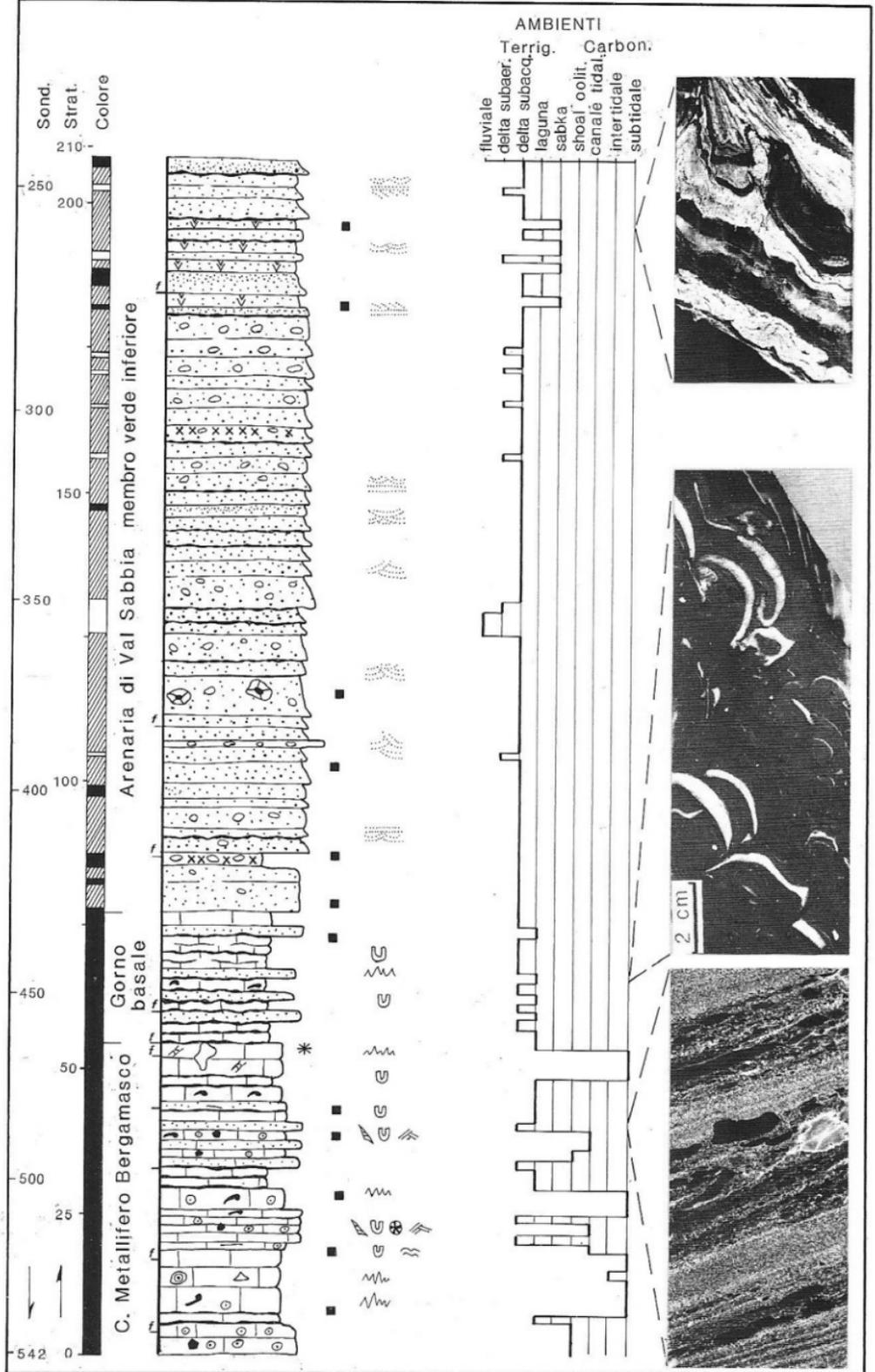
La paleogeografia era articolata, con una laguna carbonatica con barre oolitiche e isolotti affioranti, passante verso sud a una piana intertidale solcata da canali. In tale contesto ambientale carbonatico cominciava la progradazione degli apparati terrigeni fluvio-deltizi. Le microfacies prevalentemente pelitiche della parte superiore dell'unità testimoniano già il passaggio da una laguna aperta ma poco profonda e a salinità normale, a una laguna costiera a energia più ridotta e sempre più influenzata dagli apporti terrigeni (Fig. 6A). Le facies carbonatiche persistevano a sud solo in zone ristrette e protette dall'inquinamento terrigeno, mentre verso nord la laguna passava a piana tidale, con isole emerse e carsificate («carbonate mounds»; Dunham, 1969).

Lingua basale della Formazione di Gorno.

L'unità affiora in un'area limitata della Bergamasca centrale tra le località di Oltre il Colle e Camerata Cornello e in bassa Val Camonica presso Lovere (Assereto & Casati, 1965). Essa rappresenta la facies di transizione tra il Calcare Metallifero Bergamasco e l'Arenaria di Val Sabbia, con cui ha rapporti di parziale eteropia (Fig. 3). Calcari marnosi riferibili a questa unità sono stati attraversati dal sondaggio tra le progressive 429 e 461 (22 metri stratigrafici; Fig. 5). La parte inferiore è costituita da siltiti calcaree e calcari micritici ricchi in silt e argilla, pseudo-nodulari per l'intensa bioturbazione, stilolitizzati, con frustoli carboniosi e pirite diffusa. Sempre abbondanti sono grossi Lamellibranchi (*Myophoria* sp., *Pachycardia* sp.) per lo più con valve disarticolate e subordinati Echinodermi. Le microfacies (mudstones e floatstones bioclastici; Embry & Klován, 1971) mostrano diffusa micritizzazione e rivestimento dei bioclasti ad opera di Alghe *Spongiostromata* e più raramente di Foraminiferi sessili. Nella parte superiore dell'unità sono presenti anche sottili livelli di arenarie immature e molto fini ($Q_2 F_{42} L_{56}$), intercalate a siltiti calcaree. Il limite con l'Arenaria di Val Sabbia è netto. Il colore passa da nero a grigio-verde; aumenta l'abbondanza e la granulometria dei livelli terrigeni, mentre cala bruscamente il tenore in carbonato e scompaiono i calcari marnosi bioturbati a organismi marini bentonici della Fm. di Gorno.

Fig. 4 — Facies e microfacies del Calcare Metallifero Bergamasco. a) Floatstone bioclastico a Lamellibranchi rivestiti da involucri oncolitici; nella micrite di fondo sono dispersi piccoli oncoidi e ooidi micritizzati. Progr. 482.6; 10 X. b) Bioturbazione in siltiti carbonatiche. Progr. 480.9; 10 X. c) Wackestone bioclastico bioturbato con frammenti di Alghe *Dasycladaceae* (*Clypeina besici* Pantic, v. frecce). Progr. 462.8; 21 X. d) Grainstone oolitico. Ooidi micritizzati spesso con bioclasti o extraclasti al nucleo; presenti piccoli Gasteropodi e Foraminiferi (*Trocholina* sp., v. frecce). Progr. 483.7; 23 X.

Facies and microfacies of the Calcare Metallifero Bergamasco.



Considerazioni ambientali.

Le litofacies e le biofacies sono tipiche di una laguna carbonatico-terrigena a bassa energia. Tale ambiente paralico costituiva una articolata e discontinua zona di transizione tra la piana carbonatica peritidale a stromatoliti, persistente nei settori settentrionali (Metallifero superiore), e gli apparati fluvio-deltizi, che andavano assumendo una importanza sempre maggiore a meridione (Fig. 6B). La salinità delle acque variava da zona a zona e nel tempo, come mostrano le faune da strettamente stenoaline (Crinoidi, Lamellibranchi, oncoidi) a eurialine e probabilmente salmastre (associazioni oligotipiche a Lamellibranchi), fino a condizioni ipersaline (cristalli di gesso e intercalazioni di carnirole a Paglio Pignolino e Oltre il Colle-Val Vedra).

Arenaria di Val Sabbia.

La formazione è costituita da siltiti e arenarie da molto fini a medie. Clasti pelitici sono diffusi in tutti i litotipi con colore per lo più corrispondente a quello della roccia e possono formare sottili livelli di conglomerati intraformazionali. Il sondaggio ha attraversato la parte medio-inferiore dell'unità; lungo le rive del Brembo affiorano però ancora circa 130 m di peliti e arenarie rosse, oltre a 50 m di litofacies verdi. La prevalenza di queste ultime nelle porzioni inferiore (progressive 243-429) e sommitale dell'unità e delle litofacies rosse nella parte mediana consente di suddividere l'Arenaria di Val Sabbia in tre membri facilmente riconoscibili (Fig. 5). Nel membro verde inferiore sono stati incontrati livelli di argilliti tufacee indicanti una attività vulcanica penecontemporanea.

LITOFACIES G&J Gn Mi			LITOLOGIA	Rosse min. max.	GSZ min. max.	Verdi min. max.	STRUTTURE SEDIMENTARIE	Rosso min. max.	SPESSORE min. max.	Verde min. max.
A3Si	A3Si	Fm	Arenarie e peliti con noduli	— 250	μ —	100	Nessuna osservabile	10 1840	cm	15 650
A2	A2-3	Fl	Arenarie	— —	μ —	100	Ripples da corrente	— —	cm	35 500
Ag	—	—	»	— —	μ 100	175	Gradazione normale	— —	cm	30 135
A1	A1	St	»	125 250	μ 75	125	Laminazioni oblique	20 445	cm	15 420
C	C	Se	Conglomerati a clasti molli	200 275	μ 125	250	Gradazione normale	5 35	cm	5 20
P	P	—	Areniti e peliti nere	min. —	μ max.	100	Piccoli ripples	min. 20	cm	max. 120
E	—	—	Evaporiti (gessi)	—	—	—	Str. enterolitiche	min. 20	cm	max. 150

Tab. 1 — Litofacies riconosciute nella Arenaria di Val Sabbia attraversata dal sondaggio e granulometria (GSZ) della frazione extrabacinale per i membri rosso e verde. G&J = sigle adottate per il presente lavoro; Gn = Gnaccolini (1983); Mi = Miall (1981). Lithofacies of the Val Sabbia Sandstone with grain-size of the extrabasin fraction (GSZ) and thickness of the layers for the lower (green) and middle (red) members.

Analisi di facies.

In base a colore (R=rosso; V=verde), litologia e strutture sedimentarie sono state distinte diverse litofacies (Tab. 1). Oltre alle litofacies riconosciute in affioramento (Gnaccolini, 1983, cui si rimanda per una descrizione più dettagliata), è stata definita una litofacies AgV (costituita da arenarie gradate grigio-verdi spesso con ciottoli molli scuri), che non ha equivalenti nel membro centrale. La litofacies A2R, distinta in affioramento, non è invece stata ritrovata in sondaggio.

UNITA' STRATIGRAFICA	metri sond.	metri strat.	LITOFACIES												SEQUENZE			spess. canale		spess. piana			
			rosse:	C	A1	A2	Si	verdi:	C	A1	Ag	A2	Si	P	E	N.	min.	max.	med.	max.	med.	max.	med.
membro centrale	238.1	208	82%	2%	11%	—	69%	18%	—	1%	—	2%	15%	—	—	32	35	2200	650	445	90	2185	560
membro inferiore	185.2	132	16%	1%	3%	—	12%	78%	.2%	23%	5%	18%	32%	3%	3%	25	55	1340	525	420	150	1185	375
TOT. sondaggio	423.3	340	56%	2%	8%	—	46%	42%	.1%	10%	1%	8%	23%	1%	1%	57	35	2200	600	445	120	2185	480

Tab. 2 — Frequenze relative delle litofacies nell'Arenaria di Val Sabbia attraversata dal sondaggio S. Gallo (membro inferiore e parte inferiore del membro centrale) e caratteristiche delle sequenze sedimentarie. Le sequenze sono suddivise in una parte inferiore più grossolana (C e A1) deposta all'interno dei canali e in una parte superiore più fine di intercanale (A2 e Si; Allen, 1970). La litofacies Si comprende le arenarie massive associate (A3).

Frequency of lithofacies in the lower and middle members of the Val Sabbia Sandstone. Thickness of in-channel coarse member and overbank fine member of fining-upward sequences are indicated.

Catene di Markov.

Le frequenze delle litofacies riconosciute nella successione attraversata dal sondaggio sono indicate in Tab. 2. Le frequenze di transizione tra litofacies sono contenute nella matrice raffigurata in Tab. 3, che può essere facilmente trasformata in una matrice delle probabilità di transizione. Questa viene poi depurata, sottraendo a ciascuna probabilità osservata la corrispondente probabilità di transizione calcolata assumendo che le litofacies si succedano in modo casuale (e quindi che le probabilità di transizione siano solo funzione delle frequenze delle relative litofacies). In tal modo si ottiene la matrice delle differenze di probabilità di transizione, i cui elementi positivi indicano transizioni più frequenti di quanto possano rendere conto fattori casuali. Considerando le transizioni "più significative" è possibile costruire un diagramma che esprime le relazioni tra litofacies (Selley, 1970; Walker, 1979). Tale diagramma offre una chiave per individuare la struttura ideale della successione verticale e quindi le relazioni laterali tra ambienti e subambienti e la loro evoluzione nel tempo (Visher, 1965).

Le differenze tra probabilità di transizione reali e casuali possono però essere dovute al caso o variare nel tempo. E' dunque importante sottoporre i risultati a un test di significatività. Test statistici che utilizzano la funzione χ^2 sono stati elaborati da Billingsley e Anderson & Goodman (discussi da Krumbein, 1967, e Miall, 1973). Se i valori di χ^2 ottenuti sono superiori al valore critico per il livello di significatività (rischio di errore) scelto, la successione osservata costituisce una catena markoviana di primo ordine. Tabelle che riportano valori critici di χ^2 per diversi livelli di significatività sono facilmente reperibili (i.e. Davis, 1973, tab. 3 —16). Per l'Arenaria di Val Sabbia si può affermare con sicurezza (rischio di errore inferiore allo 0,5%; Tab. 3) che la presenza di una litofacies condiziona i caratteri della litofacies seguente.

FREQUENZE DI TRANSIZIONE

	SiV	A2V	AgV	A1V	CV	SiR	A2R	A1R	CR	B.E.	P	E	TOT.
SiV	■	5	-	12	-	28	1	1	-	9	2	-	58
A2V	4	■	1	4	-	5	-	-	-	1	1	-	16
AgV	1	2	■	2	-	1	-	-	-	-	-	-	6
A1V	19	3	1	■	-	4	-	-	-	9	-	7	43
CV	-	-	-	1	■	-	-	-	-	-	-	-	1
SiR	31	4	-	1	-	■	-	5	10	17	-	-	68
A2R	-	1	-	-	-	1	■	-	-	-	-	-	2
A1R	-	-	-	3	-	7	1	■	3	4	-	-	18
CR	-	-	-	2	-	21	-	9	■	3	-	-	35
B.E.	2	-	4	11	1	2	-	2	22	■	-	-	44
P	1	1	-	1	-	-	-	-	-	-	■	-	3
E	-	-	-	7	-	-	-	-	-	-	-	■	7
TOT.	58	16	6	44	1	69	2	17	35	43	3	7	301

DIFFERENZE DI PROBABILITA' DI TRANSIZIONE

	SiV	A2V	AgV	A1V	CV	SiR	A2R	A1R	CR	B.E.	P	E
SiV	■	+06	-11	+04	-10	+18	+16	-10	-18	-02	+25	-11
A2V	+02	■	+08	+06	-03	+04	-03	-06	-09	-07	+17	-04
AgV	-02	+19	■	+10	-01	-04	-01	-04	-07	-09	-02	-02
A1V	+18	+02	+01	■	-08	-15	-08	-11	-15	+04	-08	+49
CV	-10	-03	-01	+44	■	-12	-01	-03	-06	-08	-01	-01
SiR	+23	-00	-13	-21	-12	■	-12	+02	+01	+09	-12	-13
A2R	-10	+25	-01	-08	-01	+15	■	-03	-06	-08	-01	-02
A1R	-14	-06	-04	+01	-03	+09	+25	■	+03	+05	-03	-04
CR	-18	-09	-07	-10	-06	+25	-06	+30	■	-07	-06	-07
B.E.	-16	-11	+29	+08	+44	-19	-08	-03	+42	■	-08	-09
P	+07	+17	-02	+10	-01	-12	-01	-04	-06	-08	■	-02
E	-11	-04	-02	+49	-01	-13	-02	-04	-07	-09	-02	■

Gradi di libertà Livello di significatività χ^2 tabulato χ^2 calcolato

Billingsley	120	0.5%	164	340.2
Anderson & Goodman	109	0.5%	151	421.9

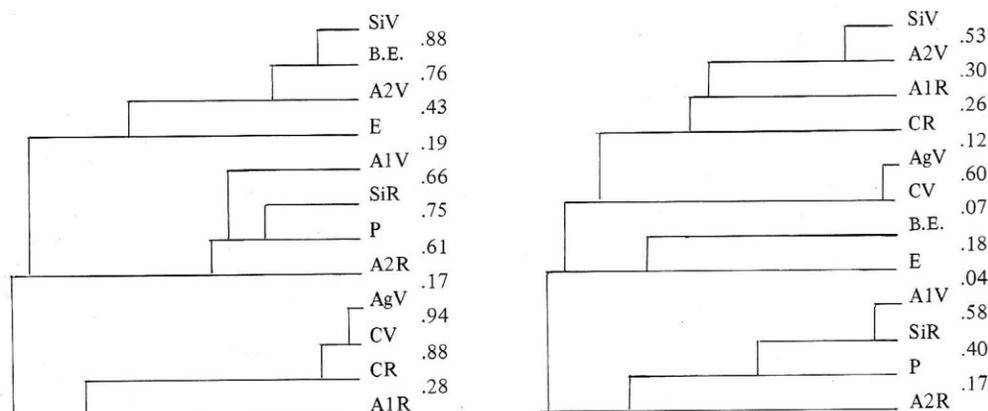
Tab. 3 — Matrice delle frequenze di transizione, matrice delle differenze di probabilità di transizione e test di significatività per l'Arenaria di Val Sabbia attraversata dal sondaggio. Si = A3Si. La base erosionale (B.E., trattata come litofacies indipendente) tende a essere seguita dalle litofacies CR, CV e AgV, che costituiscono la base delle tre sequenze cicliche ideali.

Transition count matrix and average observed—minus—random transition probabilities (Val Sabbia Sandstone, S. Gallo well). Scoured surfaces (B.E.) tend to pass upward to CR, CV and AgV lithofacies, which are the base of three different fining—upward sequences. χ^2 tests of significance show that the succession of lithofacies is a first—order Markov chain.

Analisi di sostituibilità.

In una sequenza, due termini sono sostituibili se tendono a seguire e/o precedere uno stesso elemento della successione (sostituibilità sinistra o «verso il basso» e destra o «verso l'alto»; la sostituibilità mutua è il prodotto delle due; Davis, 1973). Il metodo, la cui terminologia deriva dall'analisi del linguaggio, è stato applicato in numerose discipline, anche se raramente in campo geologico (Davis & Cocke, 1972). Esso consente di quantificare le relazioni di sostituibilità tra termini di una successione (valori compresi tra 0 = sostituibilità nulla e 1 = sostituibilità completa) e di rappresentarle graficamente tramite dendrogrammi, utilizzando una delle tecniche di «cluster analysis». Nel caso presente si è utilizzata come indice di sostituibilità la media aritmetica tra l'indice medio di termini già costituenti il «cluster» e l'indice di elementi via via aggiunti («unweighted pair—group method»).

L'analisi della successione attraversata dal sondaggio indica che sia il colore che le strutture sedimentarie sono elementi significativi, e che quindi il numero di litofacies non può essere ridotto senza perdita di informazioni. Il basso livello di connessione nei clusters tra litofacies con uguali strutture sedimentarie ma diverso colore (Tab. 4) dimostra infatti che la genesi del colore non è tardiva, ma è legata alle condizioni geochimiche dell'ambiente di deposizione (Berner, 1981). Al riguardo, l'analisi petrografica rivela che le rocce sono di norma



Tab. 4 — Sostituibilità verso il basso e mutua (rispettivamente a sinistra e a destra) per le litofacies dell'Arenaria di Val Sabbia (Sondaggio S. Gallo). La buona sostituibilità verso il basso tra litofacies CR, CV e AgV è dovuta alla comune tendenza ad essere precedute da una base erosionale.

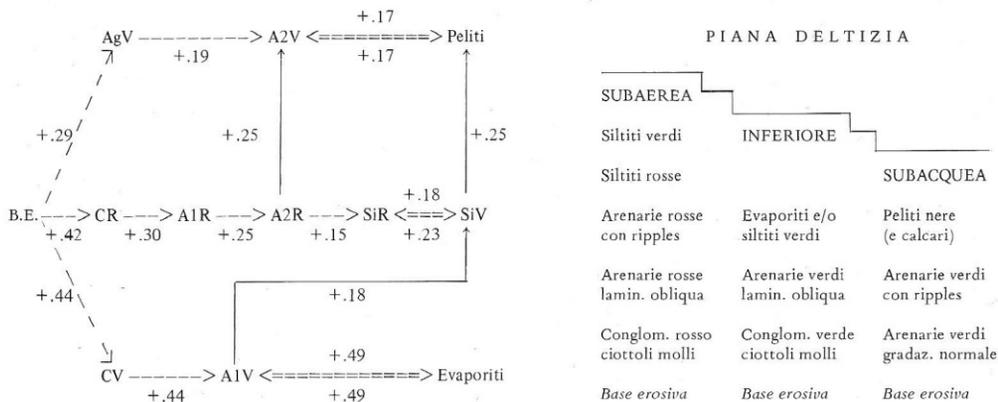
Underlying and mutual substitutabilities (Val Sabbia Sandstone). Low similarities between homologous red and green lithofacies point to an early origin of colour. Lithofacies CR, CV and AgV are left-substitutable, as they tend to be preceded by scoured base, but not right-substitutable, as they are the base of three different kinds of fining-upward sequences.

verdi (per la formazione diagenetica in tutti gli ambienti di clorite), se sono assenti o molto scarsi sia i pigmenti ematitici (sviluppatisi in condizioni sindiagenetiche ossidanti in sedimenti subaerei), che la materia organica (condizioni riducenti in ambienti lagunari).

Sequenze cicliche.

L'analisi di Markov e l'analisi di sostituibilità indicano che almeno tre sequenze cicliche positive fondamentali sono presenti e si alternano nel membro verde inferiore (Tab. 5). Le stesse sequenze caratterizzano anche il membro verde sommitale (nel test di stazionarietà non è possibile respingere l'ipotesi nulla nemmeno a un livello di significatività elevato; Harbaugh & Bonham-Carter, 1970). I red beds del membro centrale sono invece caratterizzati da un solo tipo di sequenza ideale «fining-upward», costituita da litofacies rosse, interpretate come prossimali a forte influenza fluviale (piana deltizia superiore; Coleman & Prior, 1982). Sequenze analoghe caratterizzano infatti sistemi fluviali attuali e fossili, sia «braided» che a meandri (Allen, 1970; Cant & Walker, 1976; Rust, 1978; Stewart, 1981).

Nel membro verde inferiore, le stesse sequenze di piana deltizia subaerea sono spesso incomplete e meno potenti. Prevalgono invece sequenze simili ma con colore verde e spesso chiuse da livelli di gessi, testimoniando ambienti



Tab. 5 — Diagramma delle relazioni tra litofacies (Arenaria di Val Sabbia, membro verde inferiore). Sono rappresentate solo le transizioni più significative (differenze di probabilità di transizione ≥ 0.15). A destra sono indicate le tre sequenze cicliche ideali di piana del delta subaerea, inferiore e subacquea ottenute con l'analisi di Markov e di sostituibilità, assumendo che un contatto erosivo indichi la fine di una sequenza sedimentaria e l'inizio della successiva. Le sequenze reali sono spesso troncate e incomplete o possono mostrare cicli interni di ordine minore (Gnaccolini, 1983, fig. 2, 3).

Facies relationship diagram for the lower member of the Val Sabbia Sandstone. Indicated values are the average of the observed—minus—random upward and downward transition probabilities (≥ 0.15). The ideal fining—upward sequences of upper, lower and subaqueous deltaic plain obtained through Markov and substitutability analysis are shown.

schizoalini di transizione, di piana del delta inferiore. Infine, le sequenze distali presentano alla base un orizzonte gradato e terminano con peliti grigio—scure ricche in materia organica, attestando condizioni subacquee di passaggio alla laguna (fronte del delta e prodelta). In posizione ancora più distale litofacies sono infatti associate a calcari lagunari e areniti ibride (Fm. di Gorno, Calcere Metallifero Bergamasco).

Il predominio di sequenze «fining—upward» in tutta la Arenaria di Val Sabbia è attribuito alla scarsa energia degli ambienti costieri, indicata dall'immaturità tessiturale dei sedimenti lagunari (Wright & Coleman, 1973; Leeder, 1982, p. 122); esso riflette la somiglianza tra canali fluviali e canali distributori, caratteristica dei delta altamente costruttivi (Oomkens, 1974; Turner, 1980, p. 133).

Il membro verde inferiore.

Le osservazioni sedimentologiche sul sondaggio di S. Gallo confortano la

interpretazione di Gnaccolini (1983), secondo la quale le arenarie di Val Sabbia si sono deposte in un ambiente deltizio dominato dalla corrente fluviale entrante. L'influenza marina è avvertibile in tutto il membro verde. Nella parte inferiore (progressive 360–429) predominano peliti e arenarie grigio-verdi più ricche in carbonati e materia organica e con diffuse mineralizzazioni a pirite; nella parte superiore, in cui litofacies rosse si alternano alle verdi, sono invece intercalati orizzonti di evaporiti con strutture enterolitiche (progressive 258–308; Fig. 5). Le litofacies del membro verde, di passaggio dai calcari marnosi lagunari di Gorno ai red beds del membro centrale, rappresentano dunque condizioni dapprima prevalentemente anossiche sulfidiche di fronte deltizia e poi localmente ossigenate di piana deltizia inferiore. Le litofacies CV e A1V sembrano rappresentare il risultato della deposizione da parte della corrente fluviale nei canali distributori della parte esterna della piana deltizia. Sequenze meno potenti e con base meno incisa sono imputabili a canali secondari. Le litofacies più fini (SiV) si depositavano in aree di intercanale temporaneamente soggette a pedogenesi. La litofacies AgV, in cui sono presenti intraclasti pelitici grigio-scuri, sembra invece testimoniare la deposizione in corrispondenza delle foci dei canali da parte della corrente entrante nella laguna. La brusca riduzione della velocità, con sedimentazione in massa, non consente la formazione di strutture trattive se non alla sommità, che spesso presenta laminazioni oblique a piccola scala (A2V). In nessun caso però si ha mescolanza tra siliciclasti extrabacinali e allochimici carbonatici prodotti nella laguna, e le arenite ibride sono confinate in posizione più esterna (Fm. di Gorno e Calcare Metallifero Bergamasco).

Il membro rosso centrale.

Il passaggio ai red beds è per alternanza di litofacies verdi e rosse (progressive 210–243). Siltiti e arenarie rosse molto fini diventano presto esclusive (progressive 120–200). La granulometria dei sedimenti riprende poi a crescere e raggiunge il massimo nella porzione affiorante dell'unità; qui sono presenti infatti arenarie fino a medie di colore rosso più intenso e con livelli canalizzati a noduli pedogenetici con frammenti di ossa di Vertebrati («conglomeratic cornstones» di Allen, 1960).

Secondo Gnaccolini (1983; cf. Allen, 1964), le arenarie rosse del membro centrale sono depositi di piana deltizia subaerea a forte influenza fluviale. La facies CR rappresenta il pavimento residuale e il riempimento iniziale dei canali in posizione distale del bacino di drenaggio, dove non è più disponibile ghiaia (Stewart, 1981). Il carico grossolano di fondo è quindi costituito da clasti intraformazionali, trasportati dalla corrente al riprendere improvviso delle piene fluviali durante la stagione umida. Essi sono prodotti localmente dall'erosione

degli argini, dei veli di fango frammentati per essiccazione all'interno dei canali durante la stagione secca e delle peliti di intercanale, contenenti abbondanti concrezioni calcaree.

Al tetto dei conglomerati intraformazionali possono essere presenti arenarie a laminazione parallela, testimonianti condizioni di flusso in regime superiore (Allen, 1963). La litofacies A1R è il prodotto della migrazione di barre all'interno di canali poco profondi (generalmente attorno al metro e fino forse a un massimo di 5 m, corrispondenti, in corsi a bassa sinuosità, a larghezze da pochi metri a qualche decina di metri; Leeder, 1973). Le siltiti (SiR) rappresentano depositi di piana di inondazione, mentre le arenarie finissime associate possono costituire depositi di «crevasse splay» (A3R) o di argine naturale (A2R). Le sequenze di piana deltizia superiore sono spesso chiuse da peliti verdi (SiV), che rappresentano aree mal drenate in cui il pigmento ematitico non si è sviluppato («backswamps»), o anche orizzonti decolorati e ridotti negli stadi più tardivi della storia post-deposizionale.

Le siltiti contengono diffusissimi noduli cloritico-carbonatici, che spesso si trovano risedimentati in pavimenti residuali al fondo dei canali, associati a grandi clasti molli ad essi idraulicamente equivalenti. Ciò dimostra la loro origine precoce e pedogenetica, anche se la mineralogia originaria è stata certamente modificata dalla diagenesi ed essi non di rado contengono epidoto formato nel corso dell'orogenesi alpina (Garzanti, 1985a). La presenza di «caliches» nodulari e la loro profondità di formazione rispetto alla paleosuperficie ($25 \div 80$ cm, desunta da osservazioni di terreno, corrette per fenomeni di erosione e compattazione) conferma il clima semiarido dell'area durante il Carnico, con precipitazioni stagionali dell'ordine di poche centinaia di millimetri annui (forse $500 \div 600$ mm; Blatt et al., 1980, fig. 7-11). La prevalenza di siltiti di intercanale nella successione e la mancanza di «calcretes» con profili molto sviluppati sono compatibili con gli alti tassi di sedimentazione e subsidenza (Leeder, 1975; Bridge & Leeder, 1979).

Petrografia.

Le arenarie di Val Sabbia sono litareniti vulcaniche plagioclastiche (talora arcose litiche nel membro inferiore), a grana fine e selezione moderata (Folk, 1980). La composizione è piuttosto costante nella porzione dell'unità attraversata dal sondaggio, e passa da $Q_5 F_{41} L_{54}$ nel membro verde inferiore a $Q_7 F_{42} L_{51}$ nei red beds. Lo scheletro è dominato da plagioclasti, concentrati in arenarie di intercanale, e da litici vulcanici microlitici, più abbondanti in depositi di canale. Litici sedimentari e metamorfici sono presenti solo in tracce (Garzanti, 1985a).

La petrografia della Arenaria di Val Sabbia indica una provenienza del de-

trito da un arco magmatico (Dickinson & Suczek, 1979), posto alcune decine di km a sud del luogo di deposizione (Garzanti, 1985 b,c). La comparsa dei primi litici ipoabissali e un aumento brusco di quarzo a estinzione ondulata e composita alla base del membro centrale sembrano poi indicare un sollevamento differenziale dell'area sorgente, connesso con il parossismo vulcanico carnico e con la messa in posto di corpi subvulcanici. In seguito, durante la deposizione dei red beds, l'erosione prevale sulla produzione magmatica e le coperture vulcaniche carniche vengono rapidamente smantellate.

Evoluzione paleogeografica.

Le informazioni sedimentologiche e petrografiche fornite dal sondaggio S. Gallo sulla successione carnica più meridionale e completa delle Prealpi lombarde hanno permesso di integrare i dati ottenuti dal rilevamento di numerose sezioni stratigrafiche e di elaborare e proporre un modello di evoluzione paleogeografica per il Carnico lombardo. Tale modello è meglio definito per il Carnico inferiore-medio, alcuni aspetti del quale possono essere confrontati con l'attuale cordigliera centro-americana (Belize: Purdy, 1974; o Guatemala: Kuenzi et al., 1979 e Vessel & Davies, 1981).

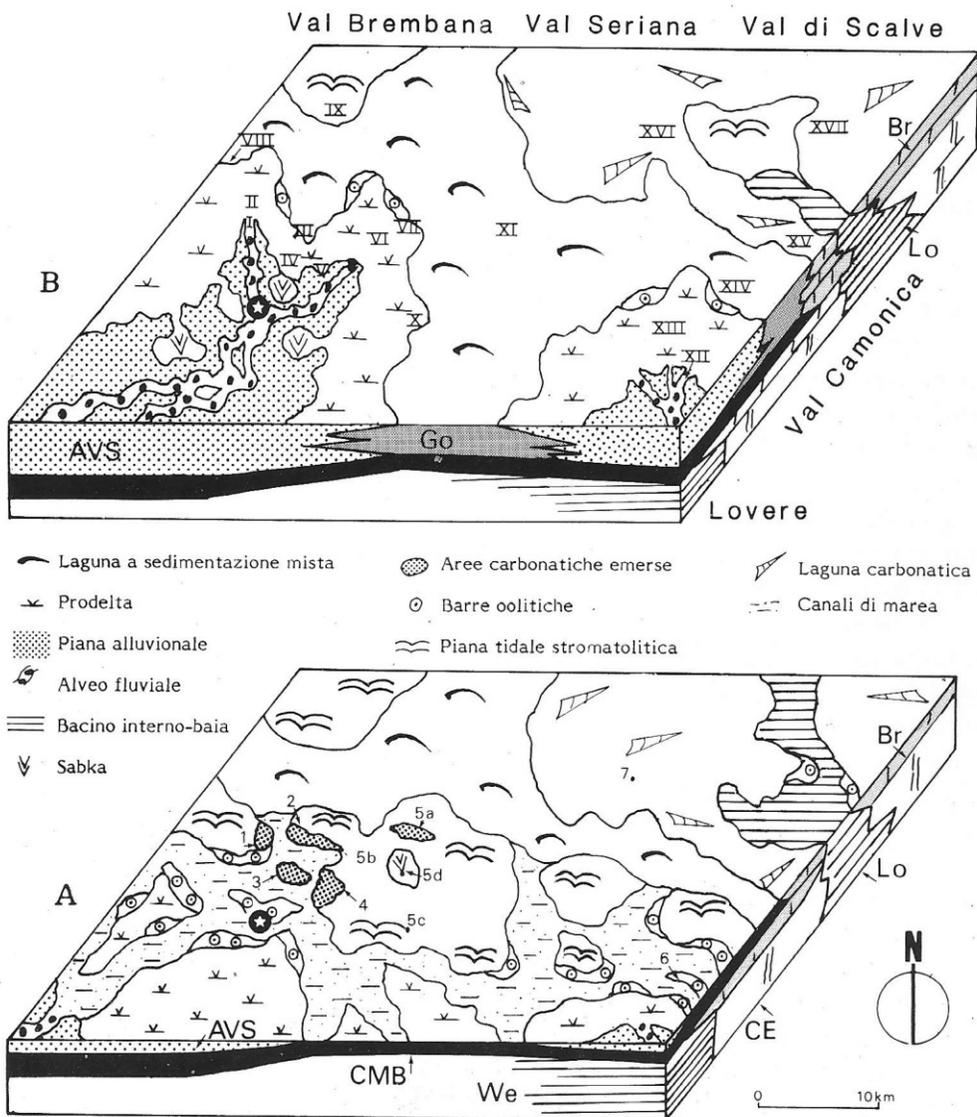
Durante la deposizione del Calcere Metallifero Bergamasco, aree vulcaniche emerse a meridione si raccordano ad una laguna aperta con sedimentazione mista carbonatico-terrigena, sviluppata in senso E-O ed estesa in senso N-S per circa 20 km (Fig. 6A). Più al largo la laguna è limitata da barriere carbonatiche, costituite da paleoalti carsificati (pleistocenici nel Belize; Purdy, 1974), o passa a piane tidali e lagune carbonatiche. Gli apporti vulcanoclastici aumentano poi progressivamente in seguito al vulcanismo esplosivo e al sollevamento in atto nella Fascia Mobile Meridionale (Brusca et al., 1982).

Il tasso di sedimentazione supera quello di subsidenza, determinando la avanzata verso nord degli apparati deltizi all'interno della laguna (Fig. 6B). Le potenze riscontrate nel sondaggio, già notevoli per il Calcere Metallifero (oltre 60 m, contro i 40-50 m del settore di Gorno. — Oltre il Colle e i 18 m di Paglio Pignolino) e per la lingua basale della Fm. di Gorno (22 m rispetto ai 5 ÷ 11 m delle successioni affioranti), diventano notevolissime per l'Arenaria di Val Sabbia (520 m contro i 220 m di Bruga, solo 4,5 km più a nord). Le faglie incontrate nel sondaggio possono rendere conto solo di una minima parte di tale ispessimento, poichè l'esame accurato della successione permette di escludere ripetizioni di orizzonti a scala superiore alla decina di metri.

L'andamento delle isopache testimonia dunque l'esistenza di un prisma sedimentario clastico con elevata subsidenza tettonica (Fig. 7). La zona a massimo accumulo di terrigeni è ubicata tra la stretta catena di fuoco emersa e le aree settentrionali più stabili a sedimentazione carbonatica persistente; essa coincide con il solco bacinale ladinico, anch'esso orientato in senso E-O

(Brusca et al., 1982). La composizione delle arenarie, le geometrie e l'evoluzione dei corpi sedimentari sono compatibili con ambienti geodinamici di interarco o retroarco, legati alla convergenza di placche litosferiche, ma dominati da regime distensivo o transtensivo (Maynard et al., 1982; MacDonald & Tanner, 1983; Mathisen & Vondra, 1983; in accordo con Marinelli et al., 1980).

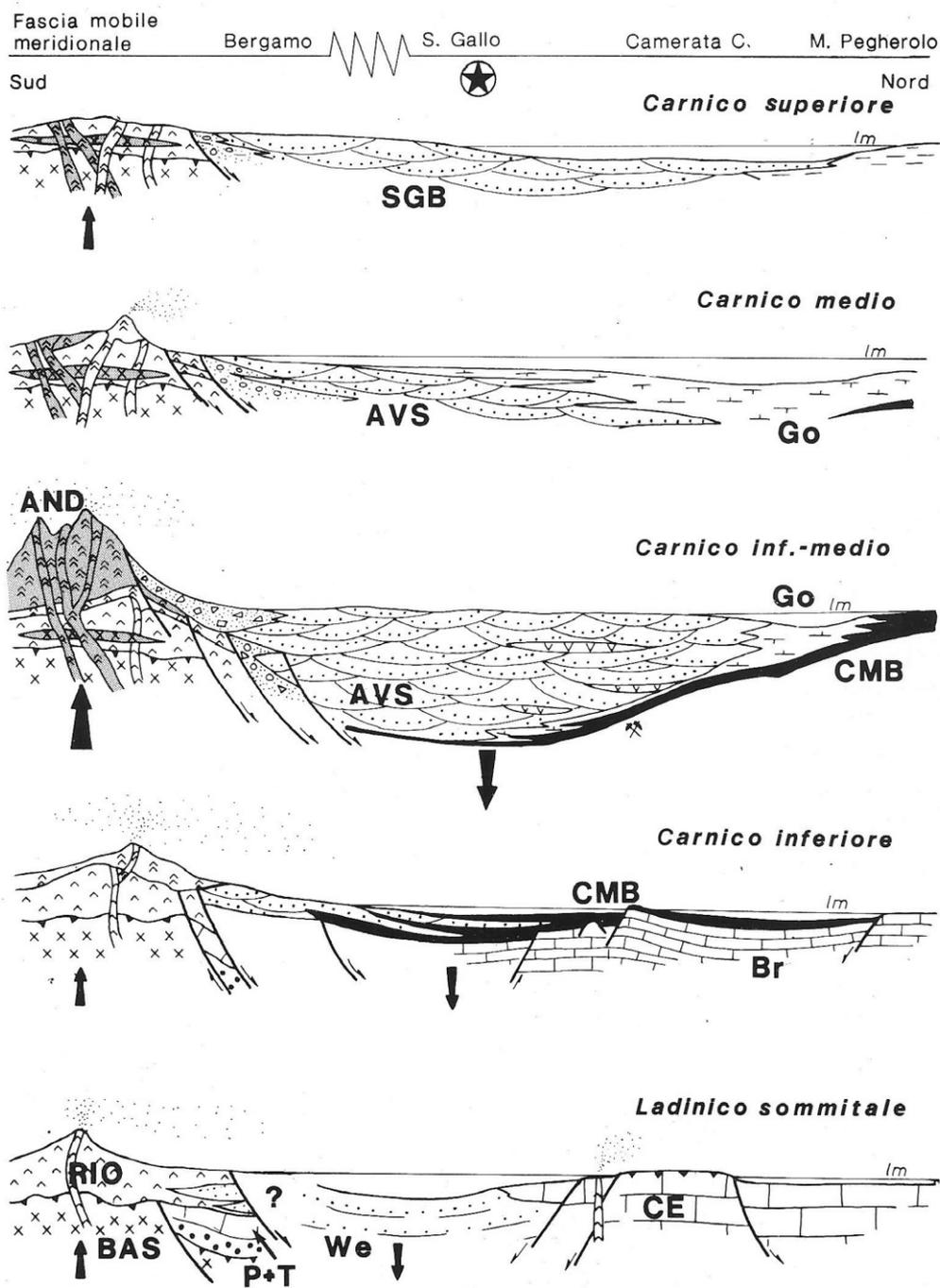
La successione attraversata dal sondaggio è nel complesso una megasequenza regressiva, con passaggio da facies di laguna (Gorno basale), a fronte del



delta (fino alla progressiva 360 circa), a piana deltizia inferiore (fino alla progressiva 210 circa) e infine a piana deltizia subaerea sempre più prossimale (cicli fluviali affioranti lungo il Fiume Brembo). Tale progradazione è sottolineata da un aumento progressivo della granulometria. Essa è riscontrabile anche nelle sezioni affioranti (Bruga e Dossena), dove però il membro centrale è ridotto a circa 50 m ed è costituito da alternanze di sequenze di piana deltizia inferiore e superiore. Più a nord-est l'unità veniva sostituita gradualmente per indentazione dalla Fm. di Gorno (Fig. 6B). Nel membro verde sommitale della Arenaria di Val Sabbia, affiorante presso S. Giovanni Bianco, la granulometria decresce poi rapidamente, testimoniando il rapido ritiro dell'apparato deltizio, dopo la fine dell'acme dell'attività tettonica e vulcanica carnica. La composizione delle arenarie al tetto della Formazione di Val Sabbia mostra infatti l'esaurimento delle coperture vulcaniche penecontemporanee e la tendenza dell'erosione a raggiungere più in profondità corpi subvulcanici carnici e ignimbriti felsiche ladiniche (Fig. 7; Garzanti, 1985b).

In seguito, i carbonati lagunari di Gorno, sempre meno spessi verso meridione (80 m a S. Gallo contro i 160 m di S. Giovanni Bianco), segnano una fase trasgressiva con apporti terrigeni ridotti (Jadoul & Rossi, 1982). Un abbassamento del livello di base dell'erosione determina poi un nuovo aumento del detrito siliciclastico e la conseguente progradazione verso nord-est dell'apparato deltizio di S. Giovanni Bianco. La forma tabulare di questa unità e le caratteristiche tessiturali e composizionali delle arenarie indicano un rilievo e tassi di subsidenza differenziale più modesti rispetto alla Arenaria di Val Sabbia (Garzanti, 1985c). Infine, un notevole innalzamento relativo del livello del mare, forse dovuto a subsidenza termica dopo il cessare dell'attività magmatica, consente la trasgressione della Dolomia Principale sulla catena vulcanica peneplanata.

Fig. 6 — Schema paleogeografico non palinspastico per le Alpi Bergamasche durante il Carnico inferiore (deposizione del Calcare Metallifero Bergamasco; 6A) e il Carnico inferiore-medio (massima espansione dell'Arenaria di Val Sabbia; 6B). In Fig. 6A è indicata con numeri arabi l'ubicazione delle mineralizzazioni a blenda, galena, fluorite e barite: 1) Cespedosio; 2) M. Ortighera; 3) Paglio P.; 4) M. Pedrozio—Vaccareggio; 5) Gorno, a) Val Vedra, b) M. Arera, c) Val Riso, d) M. Trevasco; 6) M. Pora—Valle dell'Orso; 7) Presolana. I numeri romani in Fig. 6B indicano le sezioni misurate in superficie a complemento dei dati del sondaggio S. Gallo (ubicazione indicata dalla stella): I) Bruga; II) Cespedosio; III) M. Ortighera; IV) Paglio P.; V) M. Pedrozio; VI) Val Vedra—Oltre il Colle; VII) M. Arera; VIII) Olmo; IX) M. Pegherolo; X) Gorno; XI) Ardesio; XII) Lovere—Val Supine; XIII) M. Pora; XIV) F. Dezzo; XV) Cagno—Annunciata; XVI) Presolana; XVII) Concarena. Abbreviazioni: Go = Fm. di Gorno; AVS = Arenaria di Val Sabbia; CMB = Calcare Metallifero Bergamasco e Fm. di Gorno basale; Br = Fm. di Breno; Lo = Argilliti di Lozio; CE = Calcare di Esino; We = Fm. di Wengen. Early Carnian (6A) and Early-Middle Carnian (6B) facies maps.



Aspetti metallogenici.

Il sondaggio S. Gallo ha fornito importanti elementi per completare il modello metallogenico per le mineralizzazioni carniche a solfuri proposto da Assereto et al. (1977) e da Brusca et al. (1982). In particolare si è avuta la conferma che le mineralizzazioni della Val Brembana sono disposte secondo una fascia E-O in corrispondenza degli alti carbonatici discontinui, che delimitavano verso settentrione la laguna del «Gorno» basale – «Metallifero». Le facies favorevoli alla concentrazione dei solfuri non sono state infatti ritrovate alla altezza di S. Gallo. Qui è documentata la transizione tra l'ambiente carbonatico e quello lagunare più ricco in terrigeni, tipico della soprastante Lingua basale della Fm. di Gorno.

Il fluoro, il bario e gli altri ioni metallo sono derivati dalla lisciviazione di vulcaniti, che costituiscono la quasi totalità delle rocce affioranti nell'area sorgente meridionale, e di mineralizzazioni primarie ad esse associate. E' plausibile anche un arricchimento dei magmi in metalli al passaggio attraverso il basamento metamorfico incassante (Garzanti, 1985b), come suggerito dai dati isotopici su galene (Köppel, 1983). L'influenza di una crosta continentale profonda è indicata anche per i depositi a solfuri giapponesi (tipo «Kuroko»). Questi giacimenti associati a margini attivi sono tipicamente messi in posto in uno stadio tardivo dell'attività magmatica e durante una fase di incipiente formazione di un bacino di interarco (Mitchell & Garson, 1976). Tali considerazioni e i nuovi dati sulla evoluzione delle aree vulcaniche sorgenti permettono di interpretare le mineralizzazioni triassiche delle Prealpi lombarde come depositi «strata-bound» legati a margini continentali attivi.

Il trasporto degli ioni all'interno della laguna, principalmente per adsorbi-

Fig. 7 – Profili paleogeologici interpretativi per il Ladinico superiore e il Carnico, dedotti da osservazioni di terreno e petrografiche (per l'interpretazione geodinamica confronta con Mathisen & Vondra, 1983, fig. 2, 14). Sfondo grigio: andesiti e daciti carniche (AND). Sfondo bianco: riodaciti ladiniche (simbolo semplice; RIO) e piroclastiti felsiche carniche (simbolo doppio); P+ T = unità clastiche e carbonatiche di età Permiano-Trias Medio; BAS = basamento metamorfico paleozoico. Il rapporto di diretta sovrapposizione tra vulcaniti e basamento è dedotto dalla stratigrafia del più vicino pozzo AGIP nella Pianura Padana (Monza I; Bongiorno et al., 1979). Solo la porzione affiorante del profilo (a nord di S. Gallo) è rappresentata in scala. La distanza dall'area sorgente meridionale era originariamente di alcune decine di Km. Simboli e abbreviazioni come in Fig. 3.

Tentative paleogeologic profiles for the Late Ladinian and Carnian. Carnian "andesites" and mainly Ladinian "rhyodacites" indicated by grey and white background respectively. Symbols as in Fig. 3. Left part of the profiles not to scale. The volcanic source area was in fact probably located in the Monza area (40 Km SE of S. Gallo), as indicated by the stratigraphy of the Monza I AGIP well (volcanics of probable Middle Triassic age directly overlying the crystalline basement) and by the paleocurrents (Casati & Pace, 1968) and mineralogy of the Carnian sandstones. As to geodynamic setting compare with Mathisen & Vondra (1983, Fig. 2, 14).

mento sulle particelle argillose, avrebbe determinato una prima fase di temporanea associazione dei metalli ai terrigeni fini. Una localizzata concentrazione primaria fu poi favorita dalla abbondanza di materia organica, dalla configurazione della laguna (ristretta in senso N-S) e dalla disposizione delle facies pelitiche in zone più distali a ridosso dei paleoalti carbonatici (mineralizzazioni sinsedimentarie, III mineralizzazione di Assereto et al., 1977). La principale fase di concentrazione sarebbe invece seguita alla compattazione delle peliti lagunari del Calcare Metallifero e della Fm. di Gorno basale, con migrazione verticale e soprattutto laterale degli ioni verso il bordo settentrionale del solco. Qui vi erano vari tipi di trappole sedimentarie nella serie carbonatica e sottostante, come paleokarst (Paglio P., M. Pedrozio-Vaccareggio, M. Arera, M. Ortighera), paleofaglie e strutture di dissoluzione sotto copertura (Gorno - Val Vedra, Val Riso). La possibilità di definire con maggior precisione l'estensione della laguna offerta dai dati del sondaggio (attuali spessori di $80 \div 90$ m ed estensione laterale delle facies in senso N-S per circa 20 km e in senso E-O di diverse decine di km) ha consentito di risolvere il problema della quantità di ioni metallo disponibili nelle peliti. L'area sorgente secondaria era infatti sufficientemente ampia per rendere interamente conto delle mineralizzazioni del distretto piombo-zincifero di Gorno. Riguardo ai processi di precipitazione della mineralizzazione principale, un ruolo importante può avere avuto la presenza di brine solfatiche provenienti dalle evaporiti, che si trovano intercalate nella Fm. di Gorno basale e nella Arenaria di Val Sabbia inferiore in prossimità dei giacimenti. Al proposito è interessante notare che la dissoluzione diagenetica di tetrasilicati e fillosilicati nei sedimenti carnici, forse riferibile al Giurassico, è più evidente al tetto della Arenaria di Val Sabbia inferiore, dove sono frequenti le intercalazioni di gessi (Garzanti, 1985a, fig. 7a, 7c e 8). Dati di paleotermometria su fluorite (Hein, 1982) confermano l'importanza della circolazione di fluidi durante una fase diagenetica a temperature di almeno 100°C , probabilmente raggiunte durante la fase distensiva liassica che aprì la storia della Tetide alpina.

Ringraziamenti.

Un ringraziamento particolare a Mario Gnaccolini per il continuo contributo durante lo svolgimento del lavoro e a Maurizio Gaetani per la lettura critica del manoscritto. M. Farina e A. Bigagnoli hanno collaborato alla raccolta dei dati. Siamo grati alla SAMIM, e particolarmente a G. Perna, che ci hanno permesso di realizzare il progetto.

BIBLIOGRAFIA

- Allen J.R.L. (1960) - Cornstone. *Geol. Mag.*, v. 97, pp. 43-48, London.
Allen J.R.L. (1963) - Henri Clifton Sorby and the sedimentary structures of sands and sandstones in relation to flow conditions. *Geol. en Mijnbouw*, v. 42, pp. 223-228, 4 fig., Leiden.

- Allen J.R.L. (1964) - Studies in fluvial sedimentation: six cyclothems from the Lower Old Red Sandstone, Anglo-Welsh Basin. *Sedimentology*, v. 3, pp. 163-198, 13 fig., Oxford.
- Allen J.R.L. (1970) - Studies in fluvial sedimentation: a comparison of fining-upwards cyclothems, with special reference to coarse-member composition and interpretation. *J. Sedim. Petrol.*, v. 40, pp. 298-323, 12 tav., 18 fig., Oxford.
- Assereto R. & Casati P. (1965) - Revisione della stratigrafia permio-triassica della Val Camonica meridionale (Lombardia). *Riv. It. Paleont. Strat.*, v. 71, n. 4, pp. 999-1097, 30 fig., Milano.
- Assereto R., Jadoul F. & Omenetto P. (1977) - Stratigrafia e metallogenese del settore occidentale del distretto a Pb, Zn, fluorite e barite di Gorno (Alpi Bergamasche). *Riv. It. Paleont. Strat.*, v. 83, n. 3, pp. 395-532, 69 fig., Milano.
- Berner R.A. (1981) - New geochemical classification of sedimentary environments. *J. Sedim. Petrol.*, v. 51, pp. 359-365, 1 tab., Tulsa.
- Blatt H., Middleton G. & Murray R. (1980) - Origin of sedimentary rocks. Prentice-Hall, v. di 782 pp., New Jersey.
- Bongiorni D., Marinelli M. & Pupilli M. (1979) - Italy. In Petroleum exploration and production in Europe in 1978. (R. King). *Am. Ass. Petr. Geol. Bull.*, v. 63, pp. 1922-1924, Tulsa.
- Bridge J.S. & Leeder M.R. (1979) - A simulation model of alluvial stratigraphy. *Sedimentology*, v. 26, pp. 617-644, 9 fig., Oxford.
- Brusca C., Gaetani M., Jadoul F. & Viel G. (1982) - Paleogeografia ladinico-carnica e metallogenese del Sudalpino. *Mem. Soc. Geol. It.*, v. 22, pp. 65-82, Roma.
- Cant D.J. & Walker R.G. (1976) - Development of a braided-fluvial facies model for the Devonian Battery Point Sandstone, Quebec. *Can. J. Earth Sci.*, v. 13, pp. 102-119, 5 tav., 16 fig., Ottawa.
- Casati P. & Pace F. (1968) - Alcune caratteristiche petrografiche e sedimentologiche dell'Arenaria di Val Sabbia (Carnico) in Val Brembana. *Ist. Lomb. Rend. Sc.*, s. A, v. 102, pp. 557-574, 3 tav., 7 fig., Milano.
- Coleman J.M. & Prior D.B. (1982) - Deltaic environments. In P.A. Scholle & D. Spearing eds. - Sandstone depositional environments. *Am. Ass. Petr. Geol.*, Memoir 31, pp. 139-178, 29 fig., Tulsa.
- Davis J.C. (1973) - Statistics and data analysis in geology. V. di 550 pp., Wiley, New York.
- Davis J.C. & Cocks J.M. (1972) - Interpretation of complex lithologic successions by substitutability analysis. In D. F. Merriam ed. - Mathematical models of sedimentary processes, pp. 27-52, Plenum Press, New York.
- Dickinson W.R. (1970) - Interpreting detrital modes of greywacke and arkose. *J. Sedim. Petrol.*, v. 40, pp. 695-707, Tulsa.
- Dickinson W. R. & Suczek C.A. (1979) - Plate tectonics and sandstone composition. *Am. Ass. Petr. Geol. Bull.*, v. 63, pp. 2164-2172, 7 fig., Tulsa.
- Dunham R.J. (1969) - Early vadose silt in Townsend Mound (Reef), New Mexico. In G.M. Friedman ed. - Depositional environments in carbonate rocks: a symposium. *Soc. Econ. Paleont. Min., Spec. Publ.*, v. 14, pp. 182-191, Tulsa.
- Embry A.F. & Klovan J.E. (1971) - A Late Devonian reef tract on northeastern Banks Island, Northwestern Territories. *Can. Petr. Geol. Bull.*, v. 19, pp. 730-781, Calgary.
- Folk R.L. (1980) - Petrology of sedimentary rocks. V. di 182 pp., Hemphill's. Austin.
- Garzanti E. (1985 a) - Petrography and diagenesis of Upper Triassic volcanic arenites (S. Giovanni Bianco, Gorno and Val Sabbia Formations; Bergamasca Alps). *Boll. Soc. Geol. It.*, v. 104, pp. 3-20, 8 fig., 1 tab., Roma.

- Garzanti E. (1985 b) - The sandstone memory of the evolution of a Triassic volcanic arc in the Southern Alps, Italy. *Sedimentology*, v. 32, pp. 423–433, 8 fig., Oxford.
- Garzanti E. (1985 c) - Source rock versus sedimentary control on the mineralogy of fluvio-deltaic volcanic arenites (Upper Triassic, Northern Italy). *J. Sedim. Petrol.*, in stampa.
- Gnaccolini M. (1983) - Un apparato deltizio triassico nelle Prealpi Bergamasche. *Riv. It. Paleont. Strat.*, v. 88, n. 4, pp. 599–612, 4 fig., Milano.
- Harbaugh J.W. & Bonham-Carter G. (1970) - Computer simulation in geology. Wiley, v. di 575 pp., New York.
- Hein U.F. (1982) - Rapporti tra anomalie di fluoro e geochimica delle fluoriti nell'ambito delle serie carbonatiche mineralizzate a Zn–Pb–F–Ba del Triassico alpino. *Mem. Soc. Geol. It.*, v. 22, pp. 83–99, 16 fig., Roma.
- Jadoul F. & Rossi P.M. (1982) - Evoluzione paleogeografico-strutturale e vulcanismo triassico nella Lombardia centro-occidentale. In A. Castellarin & G.B. Vai eds. - Guida alla geologia del Sudalpino centro-orientale, Guide geol. reg. S.G.I., pp. 143–155, Bologna.
- Köppel V. (1983) - Summary of lead isotope data from ore deposits of the Eastern and Southern Alps: Some metallogenic and geotectonic implications. In H.J. Schneider ed. - Mineral deposits of the Alps and the Alpine Epoch in Europe, Springer-Verlag, pp. 162–168, 2 fig., Heidelberg.
- Krumbein W.C. (1967) - Fortran IV computer programs for Markov Chain experiments in geology. *Computer Contrib.* 13, Kansas Geol. Survey, 38 pp., 11 tav., Lawrence.
- Kuenzi W.D., Horst O.H. & McGehee R.V. (1979) - Effect of volcanic activity on fluvial-deltaic sedimentation in a modern arc-trench gap, southwestern Guatemala. *Geol. Soc. Am. Bull.*, v. 90, pp. 827–838, Baltimore.
- Leeder M.R. (1973) - Fluvial fining-upward cycles and the magnitude of paleochannels. *Geol. Mag.*, v. 110, pp. 265–276, 5 fig., London.
- Leeder M.R. (1975) - Pedogenic carbonates and flood sediment accretion rates: a quantitative model for alluvial arid-zone lithofacies. *Geol. Mag.*, v. 112, pp. 257–270, 4 fig., London.
- Leeder M.R. (1982) - Sedimentology, Process and product. Allen & Unwin, v. di 344 pp., London.
- MacDonald D.I.M. & Tanner P.W.G. (1983) - Sediment dispersal patterns in part of a deformed Mesozoic back-arc basin on South Georgia, South Atlantic. *J. Sedim. Petrol.*, v. 53, pp. 83–104, Tulsa.
- Marinelli M., Viel G. & Farabegoli E. (1980) - Il Permo-Trias delle Alpi Meridionali: evoluzione tardo-ercinica di un bacino marginale di retroarco sialico. *L'Industria Mineraria*, v. 6, pp. 1–14, Roma.
- Mathisen M.E. & Vondra C.F. (1983) - The fluvial and pyroclastic deposits of the Cagayan Basin, Northern Luzon, Philippines - an example of non-marine volcanoclastic sedimentation in an interarc basin. *Sedimentology*, v. 30, pp. 369–392, Oxford.
- Maynard J.B., Valloni R. & Yu H. (1982) - Composition of modern deep sea sands from arc-related basins. *Spec. Publ. Geol. Soc. London*, v. 10, pp. 551–561, London.
- Miall A.D. (1973) - Markov chain analysis applied to an ancient alluvial plain succession. *Sedimentology*, v. 20, pp. 347–364, 6 fig., Oxford.
- Miall A.D. (1981) - Analysis of fluvial depositional systems. 75 pp., *Am. Ass. Petr. Geol.*, Ed. Course Note Series 20, Tulsa.
- Mitchell A.H.G. & Garson M.S. (1976) - Mineralization at plate boundaries. *Minerals Sci. Engng.*, v. 8, n. 2, pp. 129–169.
- Omenetto P. & Vailati G. (1977) - Ricerche geominerarie nel settore centrale del distretto a

- Pb, Zn, fluorite e barite di Gorno (Lombardia). *L'Industria Mineraria.*, v. 28, pp. 25–44, Roma.
- Oomkens E. (1974) - Lithofacies relations in the Late Quaternary Niger delta complex. *Sedimentology*, v. 21, pp. 195–222, 18 fig., Oxford.
- Purdy E.G. (1974) - Karst-determined facies patterns in British Honduras: Holocene carbonate sedimentation model. *Am. Ass. Petr. Geol. Bull.*, v. 58, pp. 825–855, 8 tav., 25 fig., Tulsa.
- Rust B.R. (1978) - Depositional models for braided alluvium. In A. Miall ed. - Fluvial sedimentology. *Can. Soc. Petr. Geol. Mem.* 5, pp. 187–198, Ottawa.
- Selley R.C. (1970) - Studies of sequence in sediments using a simple mathematical device. *Quart. J. Geol. Soc. London*, v. 125, pp. 557–581, 6 fig., London.
- Stewart D.J. (1981) - A meander-belt sandstone of the Lower Cretaceous of southern England. *Sedimentology*, v. 28, pp. 1–20, Oxford.
- Turner P. (1980) - Continental red beds. *Developments in Sedimentology*, n. 29, v. di 562 pp., 308 fig., Elsevier, Amsterdam.
- Vaché R. (1966) - Ricerche microstratigrafiche sul «Metallifero» di Gorno (Prealpi Bergamasche). *Riv. It. Paleont. Strat.*, v. 72, pp. 53–144, 6 tav., Milano.
- Vessel R.K. & Davies D.K. (1981) - Nonmarine sedimentation in an active fore-arc basin. In F. Ethridge & R. Flores eds. - Recent and ancient nonmarine depositional environments: models for exploration. *Soc. Econ. Paleont. Min., Spec. Publ.*, v. 31, pp. 31–45, Tulsa.
- Visher G.S. (1965) - Use of vertical profile in environmental reconstruction. *Am. Ass. Petr. Geol. Bull.*, v. 49, pp. 41–61, Tulsa.
- Walker R.G. (1979) - Facies models. *Geoscience Canada Reprint Series* n. 1, Geol. Ass. Canada, Waterloo, Ontario.
- Wright L.D. & Coleman J.M. (1973) - Variations in morphology of major river deltas as functions of ocean wave and river discharge regimes. *Am. Ass. Petr. Geol. Bull.*, v. 57, pp. 370–398, 4 tav., 18 fig., Tulsa.