

Riv. It. Paleont. Strat.	v. 96	n. 4	pp. 407-426	Febbraio 1991
--------------------------	-------	------	-------------	---------------

IL CARNICO DI LIERNA (COMO): STRATIGRAFIA E PALEOGEOGRAFIA

EDUARDO GARZANTI & MARCO PAGNI FRETTE

Key-words: Stratigraphy, Paleogeography, Upper Triassic, Sandstone Petrography, Cyclic sedimentation, Ferruginous ooids.

Abstract. The Carnian sedimentary succession of the Lierna area, more than 400 m thick and belonging to the Coltignone tectonic unit (Grigne Group), has considerable paleogeographic significance, for it documents the western termination of the delta-lagoon-carbonate platform depositional system of the Lombard Prealps.

The Carnian succession, directly overlying basinal (Perledo-Varenna Formation) to shallow-marine (Lierna Formation) carbonates of Ladinian age, is characterized by deltaic terrigenous deposits (Val Sabbia Sandstone), progressively replaced by lagoonal (Gorno Formation) to peritidal (Breno Formation) limestones. In the studied stratigraphic sections these three lithofacies alternate vertically at decametric scale, and are each characterized by different types of cyclothem at metric scale. High-frequency "punctuated aggradational cycles" (PAC) are best recognized at the top of the Val Sabbia clastic body, where the final transition to the Gorno lagoon is marked by arenite layers containing ferruginous ooids. Grains of this type have not been previously reported from Southalpine arenites.

The petrographic composition of the Val Sabbia Sandstone points to provenance from an active volcanic chain, but abundance of quartzose detritus and occurrence of perthitic K-feldspar and sedimentary rock fragments suggest extensive erosion of the Hercynian basement and Upper Carboniferous to Ladinian sedimentary cover. These peculiar characteristics confirm the existence of a small "Lierna lobe" separated from the deltaic systems of central Lombardy, and fed by a basement-high located southwest of Como Lake.

Introduzione.

Il presente lavoro, che si inquadra nell'ambito di una serie di studi sedimentologici e stratigrafici sulle unità carniche affioranti in Lombardia svolti nell'ultimo decennio dai ricercatori dell'Università di Milano (Garzanti & Jadoul, 1985; Gnaccolini, 1983, 1986, 1987; Gnaccolini & Jadoul, 1988, 1990), ha come oggetto la successione di età carnica esposta sulla sponda orientale del Lago di Como, a oriente dell'abitato di Lierna (Fig. 1).

La successione di Lierna appartiene all'unità tettonica Coltignone (Laubscher, 1985; Jadoul & Gaetani, 1987), l'unità strutturalmente più bassa dell'edificio delle Grigne. La fascia di affioramento si estende fino a 650-700 m di altitudine, dove le unità carniche, troncate dai sovrascorrimenti della Grigna Settentrionale e Meridionale, scompaiono al di sotto del Calcere di Esino (Fig. 1).

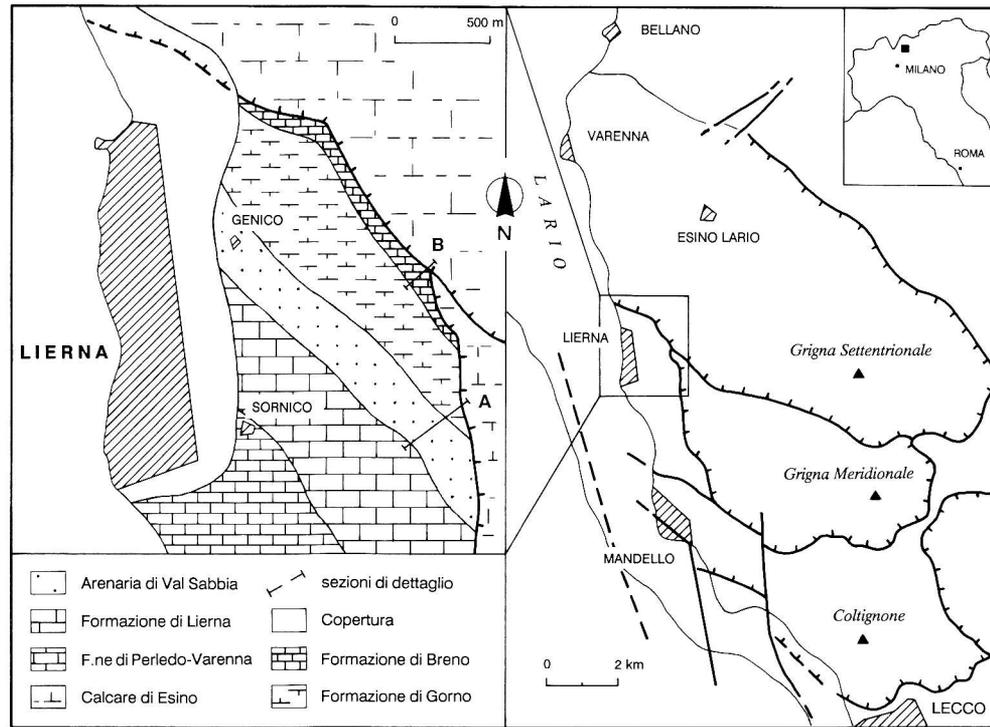


Fig. 1 - Inquadramento geografico, geologico e strutturale dell'area studiata (mod. da Jadoul & Gaetani, 1987). A) Sezione di Grino; B) sezione di Val Rosino. La carta geologica non considera le estese coperture quaternarie. Le indentazioni tra le tre unità carniche (Val Sabbia, Gorno e Breno) non sono rappresentabili in dettaglio a questa scala.

Gli studi geologici in quest'area risalgono a Philippi (1895) e a Trümpy (1930), che avevano però attribuito le unità terrigene di Lierna al Werfeniano. Redini (1934) per primo avanzò l'ipotesi che questa successione potesse essere di età raibliana. De Sitter & De Sitter Koomans (1949) tuttavia attribuirono ancora la successione al Servino, tracciando alla sua base il sovrascorrimento della Grigna Settentrionale nella piana di Lierna. Solo nel 1958 la determinazione di alcune specie di Bivalvi permise a Radrizzani di attribuire correttamente al "Raibliano" (Carnico) le unità terrigene affioranti nella zona di Lierna, come accertato anche dagli studi più recenti (Gaetani et al., 1987, 1990).

Stratigrafia.

Il "Carnico di Lierna" è rappresentato da tre unità litostratigrafiche: l'Arenaria di Val Sabbia, la Formazione di Gorno e la Formazione di Breno (Fig. 2). Le unità carniche seguono in continuità stratigrafica una successione di età ladinica e di ambiente marino, da bacinale (Formazione di Perledo-Varenna) fino a peritidale (Formazione di Lierna; Gaetani et al., 1990). Nella parte sommitale di quest'ultima unità, potente circa 130 metri, è stata rinvenuta una palinoflora ancora ad affinità ladinica (Gaetani et al., 1990).

La parte basale della successione carnica è costituita dalla Arenaria di Val Sabbia, seguita da depositi di ambiente lagunare (Formazione di Gorno) e da carbonati peritidali riferibili alla Formazione di Breno. La Formazione di San Giovanni Bianco, che in Lombardia centrale rappresenta la parte superiore del Carnico, è mancante. Nella zona esaminata le tre unità carniche mostrano rapporti laterali di eteropia, testimoniati in successione verticale da alternanze di intervalli potenti qualche decina di metri e caratterizzati da litofacies differenti, e da limiti di formazione prevalentemente transizionali (Fig. 2). Queste indentazioni testimoniano la migrazione degli ambienti deposizionali in relazione alle oscillazioni del livello del mare e alla variazione negli apporti terrigeni legati alla episodicità della attività vulcanica e tettonica.

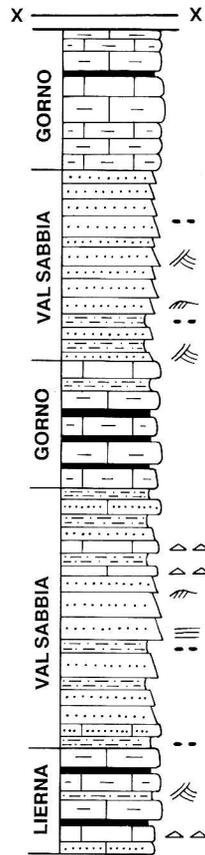
Arenaria di Val Sabbia.

L'unità è costituita da arenarie fini e molto fini, di colore da rossastro a grigio-verde, in strati spessi fino a 20-30 cm e con base talvolta erosiva, che si alternano a siltiti grigio-verdi o rosso-vinate in strati spessi fino a 50 cm, con giunti pelitici decimetrici di colore grigio scuro. Sono inoltre presenti marne, calcari marnosi, talora con cavità di dissoluzione, e areniti ibride di colore grigio e grigio-verdastro. Tra le strutture sedimentarie prevalgono le laminazioni parallele o oblique a basso angolo e i ripples da corrente. L'inclinazione delle lamine indica una direzione di trasporto prevalente verso nord-est. Diffusissimi sono i clasti molli pelitici, più frequentemente di colore scuro, e i noduli calcarei di origine pedogenetica ("caliche").

Nella sezione di Grino sono attribuibili all'unità due diversi intervalli, separati da una lingua dello spessore di 20 metri appartenente alla Formazione di Gorno. L'intervallo inferiore, potente 39 m, è costituito da arenarie fini e siltiti grigie e grigio-verdi, e contiene nella parte alta calcari con cavità di dissoluzione. Questo intervallo è attribuibile ad ambienti di piana deltizia inferiore o prodelta. Nell'intervallo superiore, dello spessore di 30 m, prevalgono invece i sedimenti di colore rossastro, con depositi di canale a base erosiva caratterizzati da arenarie a laminazione obliqua a basso angolo, depositi di argine fluviale con ripples, e arenarie fini o siltiti di piana alluvionale. Queste litofacies sono in buona parte riferibili a un ambiente di piana deltizia subaerea.

I due intervalli di Arenaria di Val Sabbia presenti nella sezione di Grino sono litologicamente paragonabili al Membro verde inferiore e al Membro rosso centrale riconosciuti in Val Brembana (Garzanti & Jadoul, 1985). Tale correlazione presuppone la presenza di una lacuna alla base della serie carnica, corrispondente alla Fase 1 di Gnaccolini

SEZIONE DI GRINO



SEZIONE DI VAL ROSINO

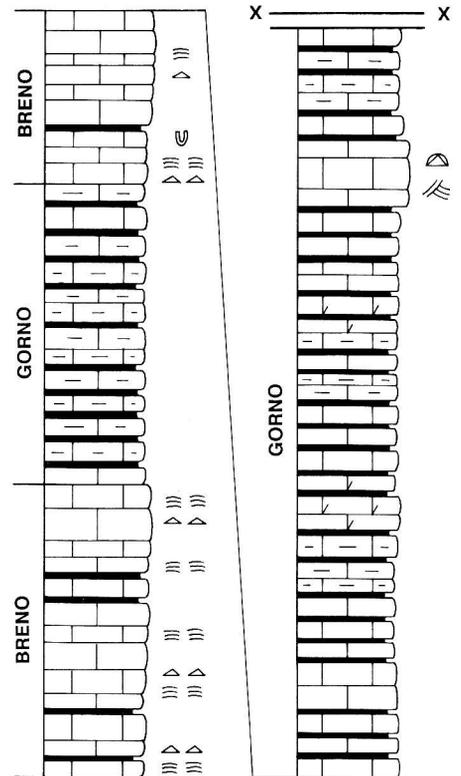


Fig. 2 - Colonne stratigrafiche relative alle sezioni di Grino (Arenaria di Val Sabbia e Formazione di Gorno) e Val Rosino (Formazioni di Gorno e Breno). La parte alta delle sezioni è troncata dai sovrascorri-menti della Grigna Settentrionale (Val Rosino) e Meridionale (Grino).

& Jadoul (1988). E' però anche possibile che solo l'intervallo arenaceo superiore sia equivalente alla Arenaria di Val Sabbia brembana. In tal caso l'intercalazione della Formazione di Gorno sarebbe attribuibile alla "Lingua basale" dell'unità, e l'intervallo arenaceo inferiore rappresenterebbe le facies più prossimali corrispondenti al Calcare Metallifero Bergamasco (vedi anche Gnaccolini & Jadoul, 1988, 1990).

Formazione di Gorno.

L'unità è costituita da calcari, calcari marnosi e marne con subordinate areniti e siltiti calcaree (Fig. 3). Gli strati calcarei sono prevalentemente piano-paralleli, hanno spessore variabile da 5 a 50 cm e colore grigio scuro alla frattura fresca. Essi sono in genere separati da giunti pelitici o da interstrati marnosi giallastri o grigio-verdi, di spessore centimetrico. Gli strati marnosi sono potenti fino a 20-30 cm, mentre gli strati di siltite grigia o grigio-verdastra hanno spessori fino a 10 cm. Alcuni livelli di arenarie calcaree a granulometria molto fine presentano laminazioni parallele o oblique. Sono presenti anche calcareniti con frammenti di grossi Crinoidi e laminazioni oblique, che testimoniano la presenza di barre sabbiose all'interno della laguna. Nella parte alta della formazione sono localmente intercalati strati arenacei spessi fino a 1 metro.

Le microfacies più comuni sono:

A) mudstone e wackestone con resti di Lamellibranchi, Ostracodi, Crinoidi e con subordinati intraclasti e peloidi. Sono spesso presenti minuti cristalli di quarzo autigeno;

B) packstone oolitici, intraclastici e bioclastici (Lamellibranchi, Foraminiferi). Sono presenti oncoliti riferibili ad Alghe blu-verdi;

C) grainstone oolitici (Fig. 3B). Gli ooidi sono spesso cresciuti attorno a extraclasti (quarzo, plagioclasti, litici vulcanici) e sono talora silicizzati. Sono presenti anche peloidi, aggregati e bioclasti (Lamellibranchi, Gasteropodi, Crinoidi talora al nucleo di ooidi superficiali, Ostracodi).

Queste litofacies indicano un ambiente lagunare (A), con energia localmente più elevata (B, C).

Lo spessore complessivo delle unità carbonatiche (Formazioni di Gorno e Breno), non misurabile direttamente a causa delle estese coperture, sembra valutabile attorno ai 300 m, ma raggiungerebbe i 400 m se si ipotizza una giacitura regolare e la assenza di ripetizioni tettoniche.

Formazione di Breno.

L'unità è costituita da calcari grigi compatti con stratificazione piano-parallela. Gli strati, talvolta separati da giunti argillosi, presentano spessore variabile da 10 cm fino a 1 m e sono organizzati in ciclotemi peritidali potenti da 0,5 a 3 m (Fig. 4). I cicli presentano un intervallo subtidale prevalente su quello inter/sopratidale e sono formati da:

A) un orizzonte centimetrico di argille di colore da grigio a marroncino;

B) un primo intervallo subtidale costituito da wackestone e packstone bio-intraclastici con Gasteropodi, Foraminiferi (*Nodosariidae*), Ostracodi e frammenti di Alghe, in strati da 20 cm fino a 1 metro;

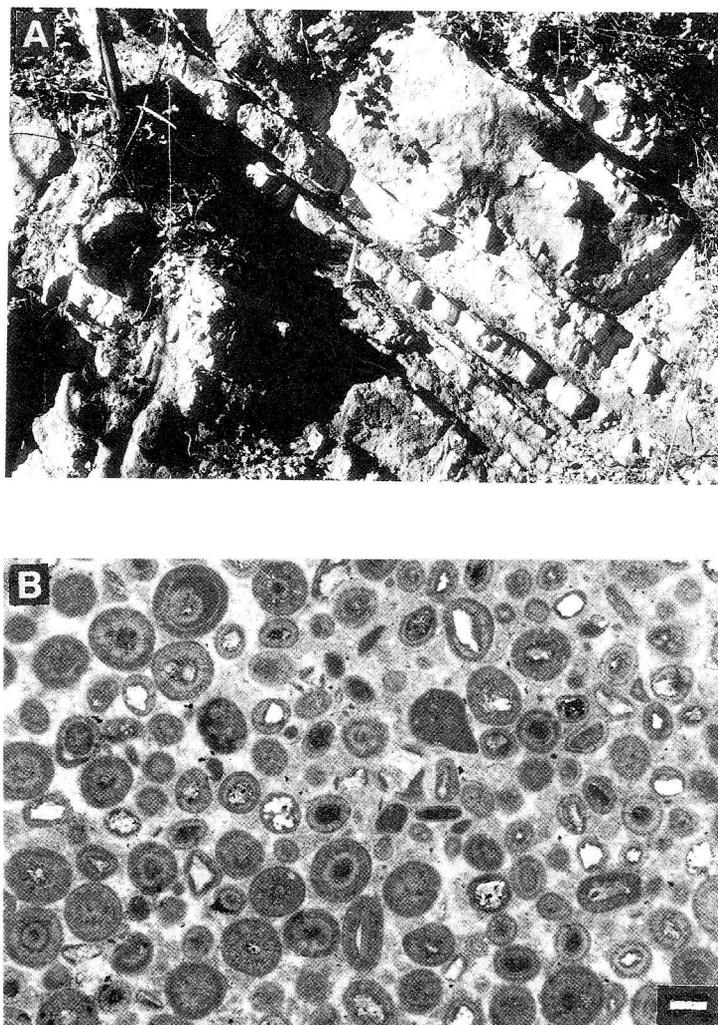


Fig. 3 - Facies e microfacies della Formazione di Gorno. A) Ciclotemi lagunari "shoaling-upward" nella sezione di Val Rosino; B) grainstone oolitico con ooidi superficiali spesso cresciuti attorno a silicoclasti. La barra corrisponde a una lunghezza di 250 micron.

C) un secondo intervallo subtidale costituito da mudstone e wackestone bio-intraclastici con Ostracodi e Foraminiferi, in strati con spessore anche superiore al metro e contenenti piccole "fenestrae" irregolari con riempimenti geopetali;

D) un intervallo inter/sopratidale formato da bindstone stromatolitici alternati a sottili livelli di wackestone e packstone intraclastici a "fenestrae", potente da 20 cm fino a 1 metro.

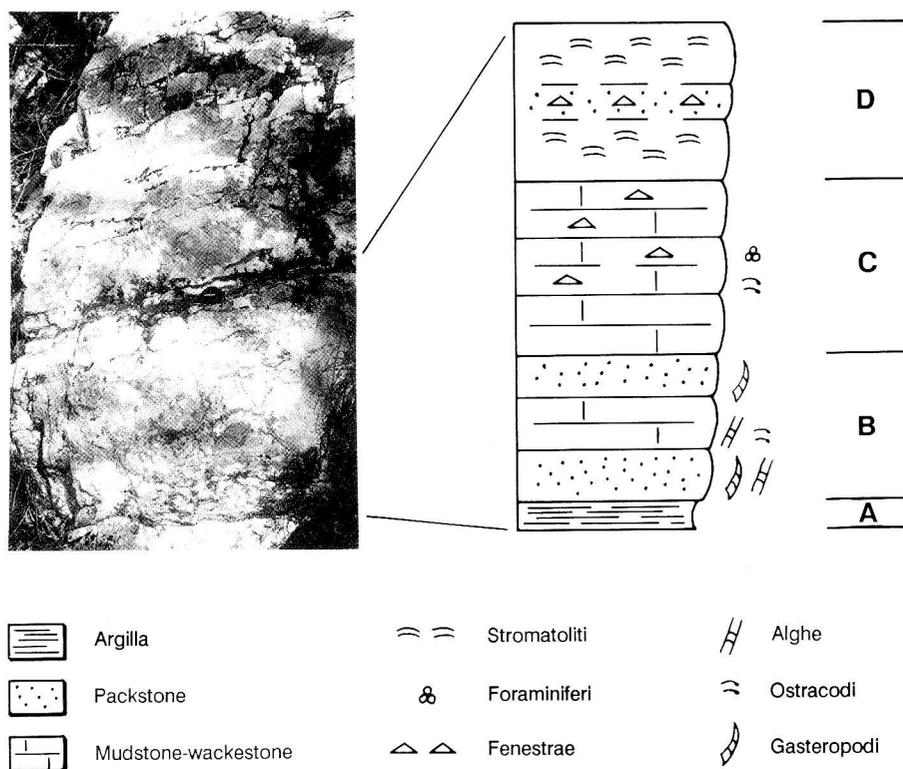


Fig. 4 - Cicli carbonatici peritidali ad alta frequenza nella Formazione di Breno (parte inferiore della sezione di Val Rosino). Gli orizzonti A, B, C e D sono descritti in dettaglio nel testo. Il tappo dell'obiettivo, che dà la scala, segna l'inizio del ciclo successivo.

Queste litofacies testimoniano un ambiente di piattaforma carbonatica a minima profondità, al margine della laguna del Gorno.

Petrografia delle arenarie.

Su una ventina di campioni arenacei raccolti è stata svolta una analisi semiquantitativa delle proprietà tessiturali (metodo descritto in Garzanti, 1986). Lo studio quantitativo della composizione mineralogica è stato condotto mediante conteggio al microscopio ottico di almeno 300 punti per ciascuno degli 11 campioni selezionati. Ogni sezione sottile è stata ricontata una o più volte per controllare la validità dei dati. I criteri adottati hanno consentito di ricalcolare i risultati ottenuti secondo il metodo Gazzi-Dickinson (QFL; Dickinson, 1970; Ingersoll et al., 1984), in cui si considerano come litici solo i frammenti di roccia a grana inferiore ai 62 micron, mentre i frammenti a grana più grossolana vengono conteggiati a seconda del minerale che cade sotto l'incrocio dei fili del reticolo.

Sono state distinte le seguenti categorie di granuli:

A) componenti principali (quarzo monocristallino, quarzo policristallino, feldspato alcalino, plagioclasio, litici vulcanici, litici metamorfici, litici sedimentari);

B) componenti accessori (minerali pesanti, miche, clasti intrabacinali);

C) componenti interstiziali (matrice, cemento, altri minerali autigeni).

Tessiture.

La granulometria delle arenarie di Val Sabbia è prevalentemente fine ($2 \div 2,5 \Phi$; Tab. 1); arenarie a grana media sono presenti solo alla base dell'unità ($1,5 \div 2 \Phi$; MPF 19; CR 25 e 26). Un campione di arenaria molto fine ($3,5 \Phi$; MPF 18) è stato ritrovato anche alla sommità della Formazione di Lierna, dove lutiti e areniti hanno spesso un contenuto significativo di silicoclasti (MPF 17, 30 e 31). Nella Formazione di Gorno sono presenti arenarie fini (CR 19 e 22) e areniti ibride con extraclasti ($2,5 \Phi$; CR 17 e 21).

In entrambi gli intervalli attribuiti alla Arenaria di Val Sabbia la selezione tende a crescere verso l'alto. Essa è prevalentemente moderata nei campioni stratigraficamente più bassi ($\sigma = 0,6 \div 0,9 \Phi$; Folk, 1980; MPF da 19 a 22; MPF da 25 a 28; CR 25 e 26), caratterizzati dalla presenza di veli di pelite e clasti molli anche di grandi dimensioni. Diviene poi moderata/buona nella parte alta ($\sigma = 0,5 \div 0,7 \Phi$; MPF 23, 24 e 29), dove veli di pelite e clasti molli diventano rari o assenti e si trovano spesso lamine a minerali pesanti con abbondanti opachi. Al passaggio con la Formazione di Gorno infine la selezione diviene buona ($\sigma = 0,4 \div 0,6 \Phi$; CR 16 e 22), e compaiono granuli non-carbonatici intrabacinali di origine marina (Garzanti, 1991).

I silicoclasti extrabacinali sono angolosi e subangolosi (Folk, 1980).

Composizione mineralogica.

Nelle arenarie carniche di Lierna, il quarzo ha una distribuzione in percentuale, sul totale della roccia, compresa tra il 15 e il 60% (Tab. 1). I granuli monocristallini mostrano estinzione sia "rapida" che ondulata e

Campioni	GSZ	SRT	Pts	Qz	Fd	FR	MP	I	Mat	Cem	Aut	Q	F	L	C/Q	P/F	V/L	f	v	m	FRM	FRS	FRI	I	Aut	
Grino																										
MPF 29	200	0.6	622	38	28	16	2	3	2	2	9	46	34	20	11	100	99	30	5	65	Filladi		Subvulcanici	Caliche		
MPF 24	200	0.7	485	37	25	12	1	6	2	1	16	49	33	18	14	100	98	49	6	45	Filladi		Subvulcanici	Caliche		
MPF 23	190	0.5	618	36	22	10	8	1	1	1	21	51	32	17	12	100	97	59	9	32	Filladi		Subvulcanici	Caliche		
MPF 22	220	0.6	633	28	30	18	2	6	2	2	11	37	40	23	18	100	98	49	6	46	Filladi		Subvulcanici			
MPF 20	180	0.6	512	35	24	13	2	7	2	1	15	47	32	21	8	100	97	59	2	39	Filladi			Caliche		
MPF 19	260	0.8	636	27	26	14	0	12	1	1	19	41	39	21	18	100	97	64	4	32	Filladi			Caliche		
Prà di Ner																										
CR 25	300	0.9	911	19	31	22	2	7	3	2	14	27	43	30	12	99	99	28	8	64		Selce	Pertiti	Caliche		
CR 26	280	0.7	965	15	30	24	2	13	1	2	13	22	44	34	8	100	100	28	11	61			Subvulcanici	Caliche		
Brentalona																										
CR 19	140	0.8	939	49	13	17	2	8	2	1	8	63	16	21	18	75	90	51	24	26	Filladi	Selce	Pert., granof.		Dolomite	
CR 22	180	0.6	921	54	6	9	1	6	3	5	17	78	9	13	14	35	90	64	18	18	Filladi	Selce	Granofirici	Fe-oidi	Dolomite, KF	
CR 16	230	0.4	905	60	2	10	0	7	1	13	7	83	3	14	18	90	90	63	23	14	Filladi	Selce		Fe-oidi	Dolomite	
Media	216	0.7	Tot	36	22	15	2	7	2	3	14	49	30	21	14	91	96	49	11	40						
Dev. St.	48	0.1	8147	14	10	5	2	3	1	4	5	19	14	6	4	20	4	14	8	18						

Tab. 1 - Tessiture e composizione mineralogica delle arenarie carniche di Lierna. GSZ = granulometria (in micron); SRT = selezione (espressa come deviazione standard in unità ϕ); Pts = punti contati; Qz = quarzo; Fd = feldspati; FR = frammenti di roccia (FRM = metamorfici; FRS = sedimentari; FRI = ignei); MP = miche e minerali pesanti; I = granuli intrabacinali; Mat = "matrice"; Cem = cemento; Aut = minerali autigeni. Parametri secondo Dickinson (1970): Q = quarzo totale; C = quarzo policristallino; F = feldspati totali; P = plagioclasti; L = totale litici a grana fine; V = litici di origine vulcanica (f = felsitici; v = vitrici; m = microlitici). Sigle MPF = sezione di Grino (da MPF 19 a 24 = A. di Val Sabbia inferiore; da MPF 25 a 29 = A. di Val Sabbia superiore). Sigle CR = campioni raccolti in Val Brentalona a nordest di Genico (CR 16 = limite tra A. di Val Sabbia e Fm. di Gorno; da CR 17 a 22 = arenarie intercalate nella parte alta della Fm. di Gorno), e a Prà di Ner a nordest di Sornico (CR 25 e 26 = base della A. di Val Sabbia; vedi Fig. 1 per l'ubicazione).

presentano talvolta baie di riassorbimento, forme bipiramidali o inclusioni di clorite vermicolare. I granuli policristallini sono subordinati (dall'8 al 18% sul totale del quarzo detritico; Fig. 5A).

Tra i feldspati (dal 2 al 31% sul totale della roccia), predominano i plagioclasti. Geminazioni polisintetiche o zonature sono spesso obliterate per intensa albitizzazione, per alterazione in sericite o avanzata sostituzione da parte di calcite tardiva. Alcuni campioni contengono K-feldspato, talvolta pertitico (Fig. 5B). Questo minerale non è mai stato segnalato nelle arenarie carniche affioranti in Val Brembana (Casati & Pace, 1968; Garzanti, 1985a).

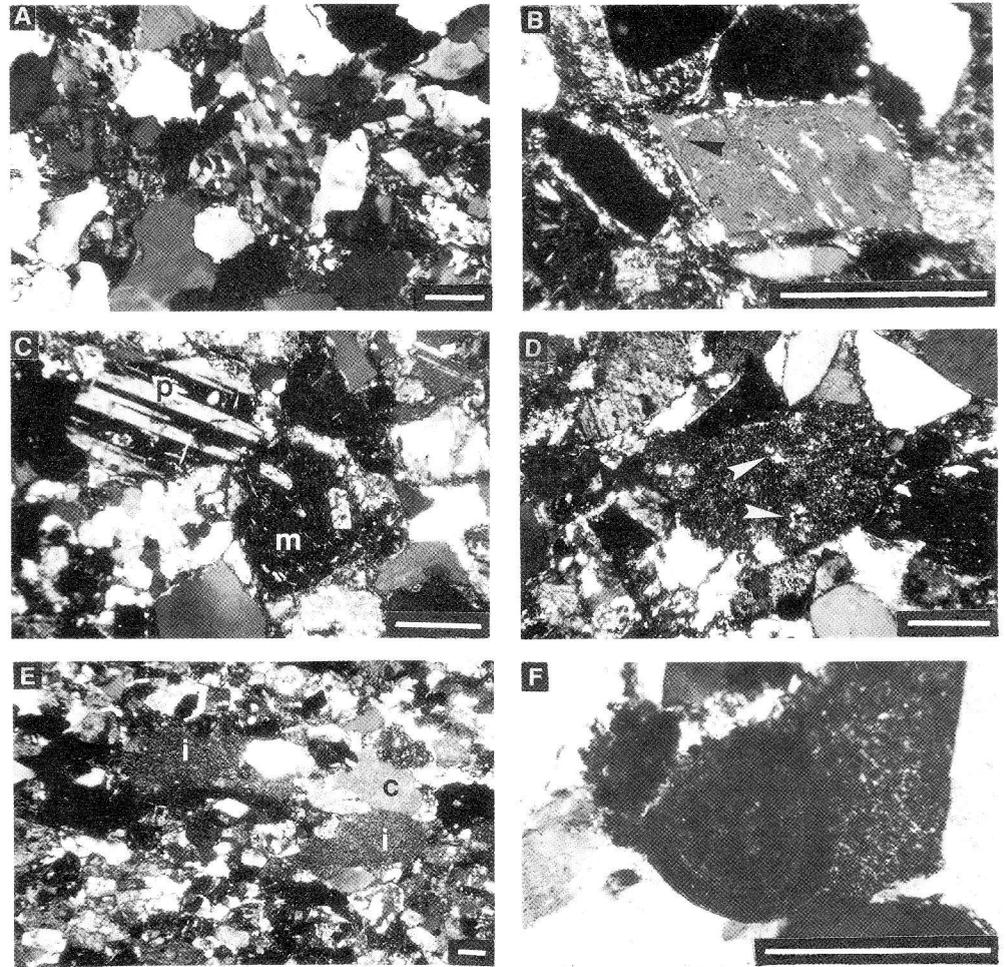


Fig. 5 - Caratteristiche petrografiche delle arenarie di Lierna. A) Il quarzo (mono e policristallino) prevale su feldspati e litici (CR 16); B) feldspato potassico pertitico con orli autigeni sintassiali, indicati dalla freccia (CR 19); C) detrito di origine vulcanica, formato da litici microlitici (m) e plagioclasio geminato (p) (CR 22); D) frammento di selce a Radiolari, indicati dalle frecce (CR 25); E) clasti pelitici intraformazionali (i) e caliche (c) (CR 26); F) ooidi ferrifero (CR 16). Tutte le foto sono a nicol incrociati e la barra indica sempre una lunghezza di 250 micron.

I frammenti di roccia hanno abbondanza variabile dal 9% al 24%, e sono quasi sempre subordinati al quarzo. Tra i litici vulcanici, largamente dominanti (Fig. 5C), i tipi felsitici spesso prevalgono sui tipi microlitici, vitrici (talvolta pomicei), e subvulcanici (olocristallini a grana minuta, granofirici). I frammenti vulcanici sono frequentemente alterati in fillosilicati e minerali opachi o sostituiti da carbonati.

Tra i litici sedimentari sono presenti clasti di selce a Radiolari (Fig. 5D) (già segnalati in Val Brembana; Garzanti, 1985a, p. 7), oltre a possibili frammenti di rocce carbonatiche (difficili da distinguere in presenza di calcite autigena e clasti di caliche), di peliti e di siltiti e arenarie quarzose. In molti campioni sono presenti in piccole quantità ($\leq 1\%$ della roccia) frammenti di filladi.

Tra i minerali pesanti (fino all' 8% della roccia) sono presenti tormalina, zircone, apatite e soprattutto opachi, spesso concentrati in lamine. Più rare sono le miche (muscovite e biotite).

I granuli intrabacinali, spesso riconoscibili per le dimensioni maggiori rispetto ai silicoclasti extrabacinali, rappresentano fino al 13% del totale della roccia (Fig. 5E). Tutti i campioni di Arenaria di Val Sabbia contengono intraclasti argillosi o siliosi e frammenti di calcite microcristallina derivati da croste pedogenetiche (caliche), con dimensioni fino a oltre 3 mm. Più rari sono i frammenti di suoli ricchi di pigmenti ematitici. Al tetto dell'intervallo inferiore dell'Arenaria di Val Sabbia sono presenti rari granuli di fillosilicati verdi (celadonite?); già segnalati in Val Brembana; Garzanti, 1985a, p. 10), mentre il passaggio definitivo alla Fm. di Gorno è caratterizzato dalla presenza di ooidi feriferi, intraclasti chamositici e peloidi silicatici (Fig. 5F; Garzanti, 1991).

La "matrice" è poco abbondante (fino al 3% della roccia). Questa categoria operativa comprende sia la "coda" fine dei campioni a grana minore e peggio selezionati (matrice detritica), sia veli pelitici, sia plaghe di colore scuro dovute alla attività organica (fango di bioturbazione), sia fillosilicati interstiziali ricristallizzati durante la diagenesi profonda in clorite e soprattutto illite ("epimatrice" di Dickinson, 1970).

Diagenesi.

Durante i primi stadi del seppellimento, la crescente pressione litostatica ha determinato lo schiacciamento dei frammenti vulcanici alterati e soprattutto dei clasti molli intraformazionali fra i silicoclasti più resistenti, producendo notevoli quantità di "pseudomatrice" di origine sia extrabacinale che intrabacinale. Questo ha notevolmente ridotto la porosità primaria, occlusa poi da piccole quantità di cementi quarzosi e feldspatici di accrescimento sintassiale su nuclei detritici (al massimo 13% della roccia).

Durante la diagenesi tardiva, l'aumento della temperatura ha favorito l'alterazione e la soluzione dei granuli chimicamente più instabili (feldspati e litici vulcanici), con crescita di fillosilicati, formazione di porosità secondaria e precipitazione di calcite tardiva (fino al 21% della roccia). Dolomite autigena, spesso ferriera, e talvolta K-feldspato autigeno sono diffusi nelle arenarie intercalate nella Fm. di Gorno.

I processi post-deposizionali hanno raggiunto la massima intensità nel Terziario durante la deformazione polifasica alpina (Garzanti, 1985a), con temperature non inferiori ai 200°C, suggerite da una incipiente migrazione dei limiti tra i cristalli di quarzo (Fig. 5A). Tale conclusione è consistente con gli indici di cristallinità dell'illite (I.C. = $6,5 \div 7,7$) e di riflettanza della vitrinite ($R_o = 1,8 \div 2,0$) che caratterizzano i carbonati ladinici sottostanti (Gaetani et al., 1990).

Variazioni mineralogiche nel tempo e in relazione ai processi sedimentari e diagenetici.

La Arenaria di Val Sabbia di Lierna è costituita da arkose litiche. La variabilità composizionale è almeno parzialmente imputabile a modificazioni diagenetiche, con sostituzione selettiva dei componenti instabili e conseguente arricchimento in quarzo, soprattutto nei campioni provenienti dalla sezione di Grino (sigle MPF; Tab. 1). Non si osserva alcuna concentrazione di feldspati nei campioni a granulometria più fine.

Le arenarie intercalate nella Formazione di Gorno sono sublitareniti e areniti vulcaniche feldspatiche ricche in quarzo, facilmente distinguibili dalle arenarie di Val Sabbia anche per la maggiore abbondanza di K-feldspato, selce, litici granofirici e vitrici, oltre che per la presenza di clasti chamositici e di dolomite autigena (Tab. 1). In questi sedimenti a influenza lagunare, il forte arricchimento in quarzo e l'impoverimento dei feldspati, anche rispetto ai litici e crescente con la granulometria, è attribuito alla azione di correnti marine ad elevata energia.

La composizione delle arenarie di Lierna dipende dunque sia dalla evoluzione nel tempo delle rocce sorgenti che dai processi deposizionali. Tali relazioni sono però differenti rispetto a quanto riscontrato nella successione brembana, dove i feldspati sono concentrati nelle arenarie fluvio-deltizie più fini, mentre il rapporto quarzo/feldspati rimane invariato nelle arenite ibride lagunari (Garzanti, 1986), documentando una diversità sia nelle aree di origine del detrito che nei processi di erosione, trasporto e deposizione.

Sedimentazione e ciclicità.

La presenza di ciclotemi deltizi, lagunari e di piattaforma carbonatica nelle unità carniche lombarde era nota già da tempo (Fig. 3, 4 e 6; Assereto et al., 1977). Il loro significato sedimentologico è stato recentemente studiato da Gnaccolini (1983, 1986, 1987), che ha descritto in dettaglio le sequenze di facies che caratterizzano il sistema delta-laguna testimoniato dalla Arenaria di Val Sabbia e dalla Formazione di Gorno. L'esistenza di motivi ciclici è stata rigorosamente dimostrata con l'utilizzo di strumenti statistici ("Catene di Markov" e "Analisi di sostituibilità"; Garzanti & Jadoul, 1985), mentre

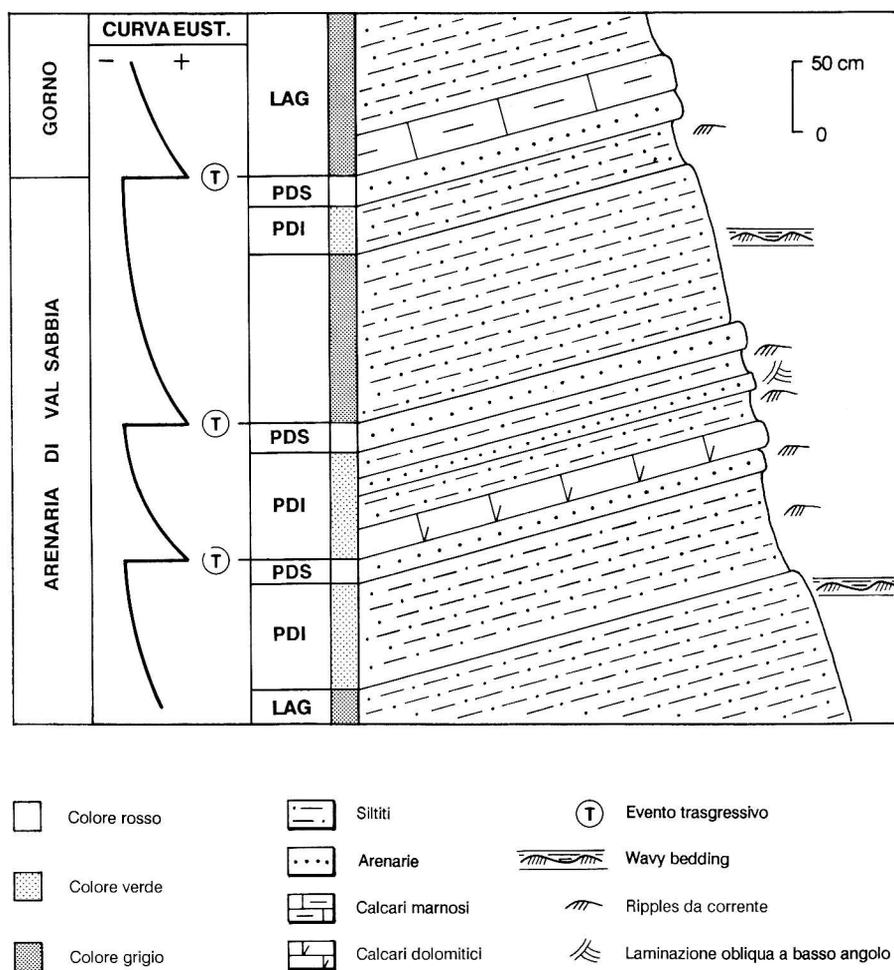


Fig. 6 - Cicli deltizi peritidali ad alta frequenza al passaggio tra Arenaria di Val Sabbia e Formazione di Gorno lungo la nuova S.S.36 presso Genico (mod. da Vetri & Garzanti, 1986). LAG) laguna; PDI) piana deltizia inferiore; PDS) piana deltizia superiore.

Garzanti (1986, 1988) ha sottolineato il significato paleogeografico delle differenze tessiture e composizionali tra le litofacies che compongono i cicli.

L'affermarsi dei moderni concetti di stratigrafia sequenziale nel corso degli anni '80 ha fornito un nuovo strumento per affinare l'indagine stratigrafica delle successioni carniche lombarde. Dapprima Vetri & Garzanti (1986) hanno riconosciuto la presenza di cicli ad alta frequenza ("Punctuated aggradational cycles" o PAC; Goodwin & Anderson, 1985) proprio nella successione carnica di Lierna, e hanno ipotizzato che tali cicli potessero essere correlabili tra i diversi ambienti sedimentari e alla scala del bacino. Una analisi dettagliata della successione della Val Camonica ha poi mostrato l'equivalenza laterale tra sequenze fluvio-deltizie "fining-upward" e sequenze lagunari e peritidali "shoaling-upward" (Gnaccolini & Jadoul, 1988, 1990). Applicando con successo i criteri della stratigrafia fisica, questi ultimi autori hanno suddiviso la successione sedimentaria carnica in sequenze deposizionali e "system tracts" (Van Wagoner et al., 1988), riconoscendo la testimonianza di due cicli eustatici globali (Haq et al., 1988).

Nella zona di Lierna, la presenza di ciclotemi deltizi ad alta frequenza (PAC) è particolarmente evidente al limite tra Arenaria di Val Sabbia e Formazione di Gorno, dove i singoli cicli, potenti da 1 a 3 metri, sono rappresentati da sequenze regressive separate da superfici di annegamento sempre più marcate (Fig. 6). Ogni ciclotema si è formato in seguito a un rapido innalzamento relativo del livello del mare ("evento trasgressivo"), seguito da una fase di stasi relativa ("stillstand"), caratterizzata dalla deposizione di una sequenza regressiva ("fase di aggradazione"). La durata di ognuno di questi minicicli eustatici può essere stimata nell'ordine delle decine di migliaia di anni, ed è dunque confrontabile con quella dei cicli orbitali di Milankovitch (Goodwin et al., 1986).

La presenza di ooidi ferriferi in almeno due orizzonti arenacei a base erosiva testimonia una fase di sedimentazione rallentata durante una rapida ingressione marina (Fig. 5F; Garzanti, 1991), e segna il definitivo annegamento del sistema deltizio rappresentato dalla Arenaria di Val Sabbia e la sua sostituzione da parte della laguna corrispondente alla Formazione di Gorno. Anche la buona selezione e la grande abbondanza di quarzo in questi livelli (CR 16 e 22; Tab. 1) suggerisce l'importanza della azione del moto ondoso durante una marcata fase trasgressiva.

Tali osservazioni confermano che l'Arenaria di Val Sabbia e la Formazione di Gorno sono due unità tempo-equivalenti, deposte durante una tendenza generalizzata alla risalita del livello del mare ("transgressive system tract" all'interno del ciclo UAA-3.1; Haq et al., 1988). Se questa conclusione è corretta, il limite tra le due formazioni, diacrono alla scala del bacino anche se costituito da una serie di superfici isocrone (limite tra i PAC), sarebbe correlabile nelle aree più prossimali con la "maximum flooding surface" a 229.5 My della curva di Haq et al. (1988) e diverrebbe via via più antico verso il centro del bacino (Gnaccolini & Jadoul, 1990). La definitiva trasgressione degli strati lagunari sull'apparato deltizio è da mettere in relazione non solo con un innalzamento eustatico globale, ma anche con la progressiva diminuzione degli apporti vulcanoclastici al termine dell'evento magmatico medio-triassico (Jadoul & Rossi, 1982; Garzanti & Jadoul, 1985).

Provenienza.

Le arenarie carniche lombarde, caratterizzate ovunque dalla abbondanza di detrito vulcanico, sono mineralogicamente e chimicamente paragonabili alle sabbie che si rinven- gono attualmente in bacini di avanti-arco e retro-arco associati a margini attivi di tipo Pacifico (Maynard et al., 1982; Dickinson, 1985).

Le mode detritiche delle arenarie di Lierna non sono tuttavia in tutto assimilabili a quelle dei due lobi deltaici della Lombardia centrale (lecchese-brembano e bresciano; Assereto & Casati, 1965; Garzanti, 1985a, b; Crepaldi & Garzanti, dati inediti) (Fig. 7). In particolare, l'abbondanza molto maggiore di quarzo monocristallino e policristallino, la presenza di inclusioni di clorite vermicolare, di litici granofirici e di feldspato potassico indicano una derivazione diretta o indiretta da rocce metamorfiche e granitoidi del basamento ercinico. La relativa abbondanza di litici felsitici e vitrici e la presenza di frammenti di radiolariti suggeriscono inoltre un contributo significativo da parte di unità selcifere e di vulcanoclastiti felsiche, probabilmente di età ladinica, soprattutto nella parte alta della Formazione di Gorno (Tab. 1).

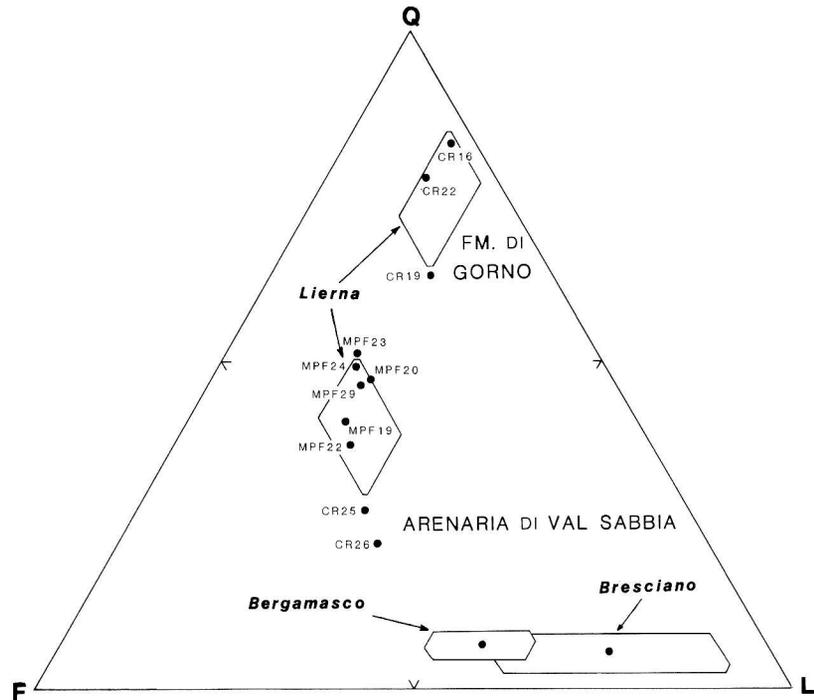


Fig. 7 - Il diagramma QFL (Dickinson, 1970) mostra le significative differenze tra le arenarie della conoide lariana, più ricche in quarzo e povere in litici vulcanici, rispetto alla Arenaria di Val Sabbia dei sistemi deltizi bergamasco (Garzanti, 1985a) e bresciano (Garzanti, dati inediti). Si noti anche l'evoluzione delle mode detritiche tra Val Sabbia e Gorno. La dimensione dei poligoni è pari alla deviazione standard.

Le osservazioni petrografiche non consentono di valutare con sicurezza l'incidenza della erosione di corpi terrigeni più antichi (arenarie carbonifere, Verrucano, Servino, Formazione di Bellano), anche se in diversi campioni clasti di quarzo arrotondato, di presunta origine policiclica, si associano a silicoclasti angolosi di primo ciclo. L'ipotesi

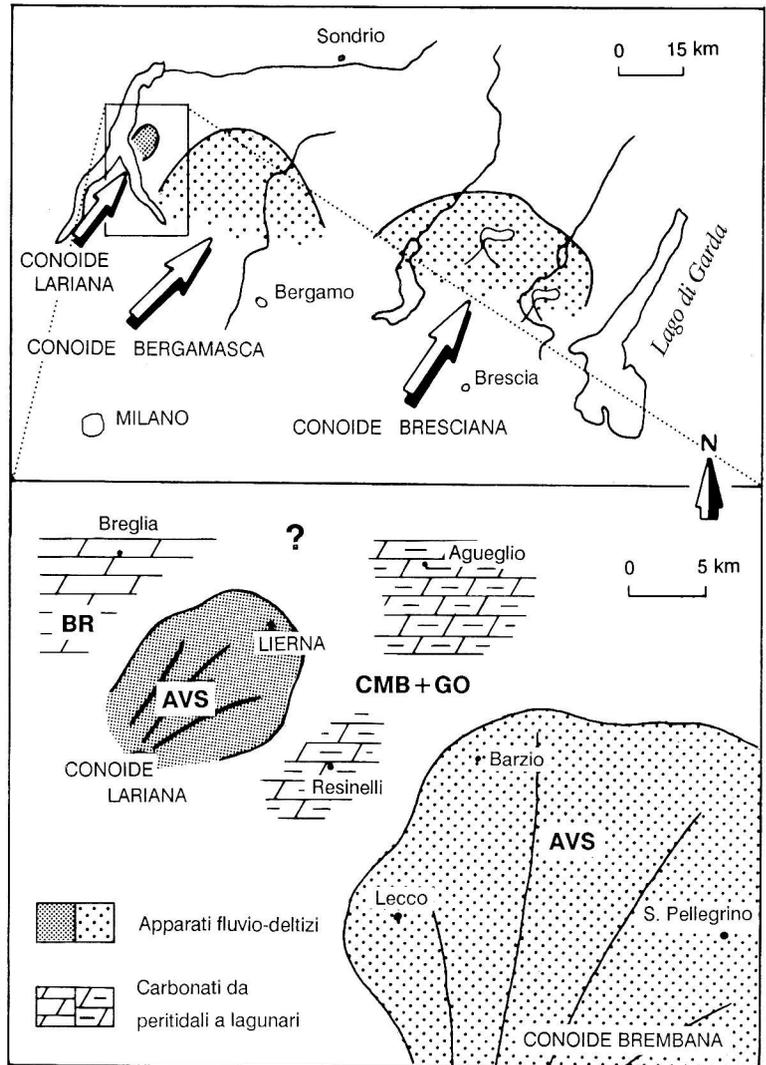


Fig. 8 - Ricostruzione paleogeografica per la parte inferiore del Carnico lombardo, che mostra la presenza delle tre conoidi deltizie lariana, bergamasca o brembana, e bresciana (mod. da Assereto & Casati, 1965; Gaetani et al., 1987). Si noti come la piccola conoide di Lierna sia compresa tra facies di piattaforma carbonatica peritidale a nord-ovest (BR = Fm. di Breno) e da peritidali a lagunari a est (CMB+GO = Calcari Metalliferi Bergamaschi e Fm. di Gorno).

di una provenienza in parte indiretta dal basamento è rafforzata dalla presenza di alcuni frammenti di rocce terrigene e dalla scarsità di litici metamorfici e miche.

La composizione mineralogica particolare delle arenarie di Lierna, che ha portato a ipotizzare l'esistenza di una conoide "lariana" indipendente (Gaetani et al., 1987) (Fig. 8), sembra imputabile a un livello più profondo raggiunto dall'erosione. Il detrito proveniva da un'area emersa situata con ogni probabilità a sud-ovest, come indicano le direzioni delle paleocorrenti. In questa zona di alto le coperture vulcaniche erano ridotte e già nella parte inferiore del Carnico erano in erosione il basamento e le coperture sedimentarie post-erciniche. In seguito al progressivo smantellamento dei coni vulcanici e al graduale approfondimento dell'erosione testimoniata dalla successione brembana (Garzanti, 1985b; Garzanti & Jadoul, 1985), le differenze nelle aree sorgenti andarono progressivamente attenuandosi nel corso del Carnico, fino a quando la deposizione della Dolomia Principale suturò la paleotopografia del ciclo medio-triassico.

Paleogeografia.

Il modello paleogeografico proposto da Brusca et al. (1982) per il Ladinico e il Carnico riconosce due settori paralleli e allungati in senso est-ovest nel dominio Sudalpino: una "Fascia Mobile Meridionale", sede di intenso vulcanismo e caratterizzata da basamento cristallino parzialmente in erosione; e una "Zona centro-settentrionale", dove il gioco della subsidenza differenziale dava luogo a piattaforme carbonatiche e a bacini relativamente profondi, soprattutto durante il Ladinico. Questi solchi, allungati anch'essi in senso est-ovest e separati da piattaforme carbonatiche o altofondi, sono stati colmati dalla progradazione verso nord degli apparati deltizi carnici, alimentati dalla erosione della "Fascia Mobile Meridionale".

Tale modello è stato successivamente affinato in base alla analisi di facies, che ha documentato l'evoluzione durante il Carnico di un sistema deposizionale delta-laguna, limitato verso nord da una piattaforma carbonatica peritidale (Formazione di Breno) (Assereto & Casati, 1965; Gnaccolini, 1987; Gnaccolini & Jadoul, 1988). Il prisma clastico (Arenaria di Val Sabbia) era alimentato da un'area vulcanica attiva, situata poche decine di chilometri più a sud (Garzanti, 1986). Questa catena, caratterizzata da un vulcanismo più felsico nel Ladinico, raggiunse il massimo sviluppo nella parte inferiore del Carnico, per venire poi smantellata quasi completamente in un paio di milioni di anni soltanto (Garzanti & Jadoul, 1985; Garzanti, 1988).

La peculiarità della composizione delle arenarie di Lierna, ben distinguibili da quelle del Bresciano, del Bergamasco e del Lecchese, testimonia l'importanza paleogeografica di questa successione, che documenta la terminazione occidentale dei litosomi carnici della Lombardia centrale. Sulla sponda occidentale del Lago di Como, infatti, carbonati peritidali attribuibili alla Formazione di Breno sono seguiti da dolomie, marne e gessi, con una potenza stimata vicina ai duecento metri e già paragonabili alle unità del luganese (Gaeta, Breglia, Nobiallo, Limonta; Gaetani et al., 1987). Del resto già la parte alta della successione ladinica lariana (parte sommitale della Formazione di Perle-

do-Varenna e Formazione di Lierna) mostra notevoli affinità con le successioni del Luganese e del Varesotto ("Kalkschieferzone" al tetto del Calcare di Meride e Formazione di Cunardo; Gaetani et al., 1987; Gianotti & Tannoia, 1988).

Più ad ovest, le unità carniche sono ridotte a pochi metri di spessore. All'Alpe Logone (Ponti, 1986), arenarie contenenti pollini carnici mostrano una composizione confrontabile con le arenarie di Lierna, con presenza di abbondante quarzo, litici vulcanici e K-feldspato pertitico. Lungo la Linea della Grona (Val Rezzo, Pairolo, Denti della Vecchia; Rubiliani, 1988), unità terrigene discontinue, con spessori limitati ed età da Carbonifero superiore a Triassico, separano la Dolomia Principale dal basamento cristallino. Lungo la Linea di Lugano (Arogno; Crippa, 1989) affiorano altri lembi di unità carniche associate a gessi e contenenti orizzonti di breccie a clasti carbonatici con frammenti di calciche, litici vulcanici microlitici e rari clasti di selce, che rappresentano l'estremità occidentale del litosoma vulcanoclastico carnico. A occidente del Lago di Lugano infatti le arenarie scompaiono interamente, e gli apporti clastici sono limitati alle frazioni più fini o localmente a breccie dolomitiche comprese entro la Marna del Pizzella (Allasinaz, 1968).

La riduzione degli orizzonti triassici tra il Lago di Como e il Lago di Lugano, con ampie lacune e addirittura sovrapposizione diretta della Dolomia Principale sul basamento cristallino (Reposi, 1904; Lehner, 1952; Gianotti, 1985), non sembra interamente spiegabile con elisioni tettoniche lungo la Linea della Grona (Laubscher, 1985) ed è attribuita alla presenza di una zona di soglia di probabile eredità ercinica e attivata a più riprese durante il ciclo medio-triassico (Gianotti & Tannoia, 1986; Gaetani & Jadoul, 1987). Seguendo questa ipotesi, il basamento cristallino lungo gli alti della sponda occidentale del Lago di Como fu ricoperto dal mare solo con la grande trasgressione norica, analogamente a quanto avvenne in buona parte della "Fascia Mobile Meridionale" fino all'attuale Adriatico (Brusca et al., 1982). Soltanto in aree limitate del Sudalpino la presenza di elementi cristallini nelle breccie alla base della Dolomia Principale indica la persistenza di alti del basamento (De Zanche & Mietto, 1984).

Una interpretazione diversa è stata avanzata da Bertotti (1990), che ha ripreso studi precedenti sul bacino del Monte Generoso e sulla Linea di Lugano (Bernoulli, 1964), e ha correlato quest'ultima con le linee tettoniche della Grona, della Val Grande e di Musso. Questa grande faglia normale listrica si sarebbe formata durante la fase distensiva, che nel Giurassico inferiore accompagnò l'apertura della Neotetide, e sarebbe responsabile del contatto diretto tra basamento e lembi di unità terrigene carniche, subito seguite dalla Dolomia Principale. A questo proposito si può notare che la corrispondenza tra tale lineamento e le caratteristiche litologiche, geometriche e petrografiche dei sedimenti triassici lariani (transizioni di facies, variazioni di spessore, presenza di gessi e di arenarie derivate da paleoalti) indicherebbe comunque un legame con la storia geologica precedente (Gaetani & Jadoul, 1987). Lo stato attuale delle conoscenze e le condizioni di affioramento non sempre ottimali non sembrano sufficienti per ricostruire, senza fondarsi su ipotesi largamente speculative, le complesse interconnessioni tra eredità erciniche, evoluzione tettono-sedimentaria permo-mesozoica e deformazione polifasica alpina.

Conclusioni.

Il presente lavoro sottolinea l'importanza paleogeografica della successione carnica lariana, che testimonia il passaggio tra le unità della Lombardia centrale e quelle della Lombardia occidentale. In particolare vengono descritte le peculiari caratteristiche petrografiche della Arenaria di Val Sabbia della zona di Lierna, e viene confermato che questi apparati deltizi si estendono più a occidente di quanto indicato dalla passata letteratura geologica (Assereto & Casati, 1965; Desio, 1973).

La successione carnica di Lierna, potente più di 400 metri e in continuità stratigrafica con le sottostanti unità ladiniche, si è impostata in corrispondenza di un'area a precedente vocazione bacinale (Calcere di Perledo-Varenna). La velocità di sedimentazione media durante il Carnico è stata piuttosto elevata (attorno a 70 m/My), circa la metà di quella della Bergamasca, ma fino a dieci volte superiore rispetto a quella della Lombardia occidentale.

La successione carnica inizia con depositi deltizi (Arenaria di Val Sabbia), progredienti in una laguna carbonatica poco profonda (Formazione di Gorno) prima durante il progressivo sviluppo degli apparati vulcanici e poi durante il loro rapido smantellamento. La deposizione del prisma clastico avviene in una fase di innalzamento eustatico, culminata in una serie di eventi trasgressivi sempre più marcati, che hanno infine portato alla sovrapposizione generalizzata dei depositi lagunari sulla conoide deltizia. In questi orizzonti viene qui segnalata per la prima volta la presenza di ooidi ferriferi nei sedimenti triassici delle Alpi Meridionali.

In seguito alla riduzione degli apporti terrigeni, si assiste a una indentazione tra facies lagunari e di piattaforma carbonatica peritidale, che testimonia la terminazione occidentale della laguna di Gorno e il suo passaggio laterale alla Formazione di Breno, non dissimilmente da quanto osservato all'estremità opposta delle Alpi Orobie (Assereto & Casati, 1965; Gnaccolini & Jadoul, 1988).

L'analisi petrografica delle arenarie carniche della zona di Lierna conferma l'esistenza di una piccola "conoide lariana" dell'Arenaria di Val Sabbia, distinguibile dai due lobi principali della Lombardia centrale (lecchese-brembano e bresciano). L'abbondanza in quarzo e litici vulcanici e la presenza di feldspato potassico e litici sedimentari indicano una provenienza mista da una catena vulcanica attiva e da zone di alto, dove durante il Carnico venivano erosi il basamento ercinico e le sue coperture sedimentarie di età da carbonifera superiore a ladinica. Queste coperture sono oggi conservate solo in lembi discontinui tra il Lago di Como e il Lago di Lugano.

Ringraziamenti.

Il presente lavoro è in parte il risultato delle tesi di laurea di Enrico Vetri, Davide Ponti, Nicola Rubiliani, Fausto Crippa e, ultima, di Marco Pagni Frette (1990), tutte assegnate e supervisionate da Maurizio Gaetani, a cui siamo grati per i numerosi consigli e per la guida costante nelle successive fasi del lavoro. Un grazie anche a Flavio Jadoul e alla Prof.ssa Carla Rossi Ronchetti per l'attenta revisione critica, e a Luca Crepaldi per il valido aiuto durante l'analisi petrografica.

La ricerca sul terreno è stata completata e finanziata nell'ambito di un progetto di ricerca comune tra Università di Milano e AGIP SpA sulla Formazione di Perledo-Varenna, coordinato da Maurizio Gaetani e Giuseppe Poliani e realizzato grazie all'aiuto di Luigi Mattavelli.

Il lavoro è stato pubblicato con il contributo MPI 40% "Analisi di un bacino a sedimentazione continentale e transizionale (Carnico, Lombardia)", responsabile Mario Gnaccolini.

BIBLIOGRAFIA

- Allasinaz A. (1968) - Il Carnico nella Lombardia occidentale. *Riv. It. Paleont. Strat.*, v. 74, n. 4, pp. 1007-1056, 11 fig., Milano.
- Assereto R. & Casati P. (1965) - Revisione della stratigrafia permo-triassica della Val Camonica meridionale (Lombardia). *Riv. It. Paleont. Strat.*, v. 71, n. 4, pp. 999-1097, 31 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., 1 tab., Milano.
- Bernoulli D. (1964) - Zur Geologie des Monte Generoso (Lombardischen Alpen). Ein Beitrag zur Kenntniss der südalpiner Sedimente. *Mater. Carta Geol. Svizzera*, n. 5, v. 118, 134 pp., 2 tav., 51 fig., 2 tab., Bern.
- Bertotti G. (1990) - The deep structure of the Monte Generoso Basin: an extensional basin in the South-Alpine Mesozoic passive continental margin. In Deep structures of the Alps. *Soc. Geol. It.*, n. 155, pp. 290-303, 6 fig., Roma.
- 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, 5 fig., Roma.
- Casati P. & Pace F. (1968) - Alcune caratteristiche petrografiche e sedimentologiche dell'Arenaria di Val Sabbia (Carnico) in Val Brembana. *Rend. Ist. Lomb. Sc. Lett.*, s.A, v. 102, pp. 557-574, 3 tav., 7 fig., Milano.
- Crippa F. (1989) - Geologia dei dintorni di Lugano (Canton Ticino). Tesi di Laurea inedita. V. di 188 pp., Univ. di Milano.
- Desio A. (1973) - Geologia dell'Italia. V. di 1081 pp., UTET, Torino.
- De Sitter L. U. & De Sitter Koomans C. M. (1949) - The Geology of the Bergamasc Alps, Lombardia, Italy. *Leidsch. Geol. Med.*, v. 14b, 257 pp., 2 carte geol. al 50.000, 2 carte profili, Leiden.
- De Zanche V. & Mietto P. (1984) - Testimonianze di attività tettonica tardotriassica nelle Prealpi Vicentine. *Riv. It. Paleont. Strat.*, v. 89 (1983), n. 3, pp. 335-342, 5 fig., Milano.
- Dickinson W. R. (1970) - Interpreting detrital modes of greywacke and arkose. *Journ. Sedim. Petrol.*, v. 40, pp. 695-707, 2 fig., 4 tab., Tulsa.
- Dickinson W. R. (1985) - Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstones. In Zuffa G. G. (Ed.) - Provenance of arenites. *Nato ASI Series*, v. 148, pp. 333-361, 4 fig., 7 tab., Reidel, Dordrecht.
- Folk R. L. (1980) - Petrology of sedimentary rocks. V. di 182 pp., Hemphill's, Austin.
- Gaetani M., Gianotti R., Jadoul F., Ciarapica G., Cirilli S., Lualdi A., Passeri L., Pellegrini M. & Tannoia B. (1987) - Carbonifero superiore, Permiano e Triassico nell'area lariana. *Mem. Soc. Geol. It.*, v. 32 (1986), pp. 5-48, 3 tav., 18 fig., Roma.
- Gaetani M., Gnaccolini M., Poliani G., Grignani D., Gorza M. & Martellini L. (1990) - An anoxic intraplateau basin in the Middle Triassic of Lombardy (Southern Alps, Italy): anatomy of a

- hydrocarbon source. *Eur. Ass. Petrol. Geol.*, Proc. II Meeting Copenhagen, 15 fig. (in stampa).
- Gaetani M. & Jadoul F. (1987) - Controllo ancestrale sui principali lineamenti strutturali delle prealpi lombarde centrali. *Rend. Soc. Geol. It.*, v. 10, pp. 21-24, 1 fig., Roma.
- Garzanti E. (1985a) - Petrography and diagenesis of Upper Triassic volcanic arenites (S. Giovanni Bianco, Gorno and Val Sabbia Formations, Bergamasc Alps). *Boll. Soc. Geol. It.*, v. 104, n. 1, pp. 3-20, 8 fig., 1 tab., Roma.
- Garzanti E. (1985b) - The sandstone memory of the evolution of a Triassic volcanic arc in the Southern Alps, Italy. *Sedimentology*, v. 32, n. 3, pp. 423-433, 8 fig., 1 tab., Oxford.
- Garzanti E. (1986) - Source rock versus sedimentary control on the mineralogy of deltaic volcanic arenites (Upper Triassic, Northern Italy). *Journ. Sedim. Petrol.*, v. 56, n. 2, pp. 267-275, 5 fig., 4 tab., Tulsa.
- Garzanti E. (1988) - Ambienti deltaici fluvio-deltizi e composizione petrografica: le arenarie del Trias superiore lombardo. In Ori G. G. & Cremona M. (Eds.) - I depositi continentali. *Giorn. Geol.*, v. 50, n. 1-2, pp. 163-175, Bologna.
- Garzanti E. (1991) - Non-carbonate intrabasinal grains in arenites: their recognition, significance and relationships with eustatic cycles and geodynamic setting. *Journ. Sedim. Petrol.*, 8 fig., Tulsa (in stampa).
- Garzanti E. & Jadoul F. (1985) - Stratigrafia e paleogeografia del Carnico lombardo (Sondaggio S. Gallo, Valle Brembana). *Riv. It. Paleont. Strat.*, v. 91, n. 3, pp. 295-320, 7 fig., 5 tab., Milano.
- Gianotti R. (1985) - Evoluzione sedimentaria e tettonica post-ercinica dell'area Lariana. *Mem. Soc. Geol. It.*, v. 30, pp. 311-312, Roma.
- Gianotti R. & Tannoia G. (1986) - Osservazioni in merito alla linea della Grona. *Conv. di Geologia Lariana*, Guida all'escursione, pp. 136-138, Varenna.
- Gianotti R. & Tannoia G. (1988) - Elementi per una revisione stratigrafico-paleontologica del Trias medio-superiore della regione compresa tra il Lario e il Ceresio. *Atti Tic. Sc. Terra*, v. 31, pp. 434-445, 3 fig., Pavia.
- Gnaccolini M. (1983) - Un apparato deltizio triassico nelle Prealpi Bergamasche. *Riv. It. Paleont. Strat.*, v. 88 (1982), n. 4, pp. 599-612, 4 fig., Milano.
- Gnaccolini M. (1986) - La Formazione di Gorno nei dintorni di Dossena e di Gorno (Prealpi Bergamasche): analisi di una laguna triassica. *Riv. It. Paleont. Strat.*, v. 92, n. 1, pp. 3-32, 9 fig., Milano.
- Gnaccolini M. (1987) - Arenaria di Val Sabbia e Formazione di Gorno: un sistema deposizionale delta-laguna nel Trias superiore delle Prealpi Bergamasche. *Riv. It. Paleont. Strat.*, v. 93, n. 3, pp. 329-336, 3 fig., Milano.
- Gnaccolini M. & Jadoul F. (1988) - Un sistema deposizionale delta-laguna-piattaforma carbonatica nel Carnico lombardo (Triassico superiore, Alpi Meridionali, Italia). *Riv. It. Paleont. Strat.*, v. 93 (1987), n. 4, pp. 447-468, 11 fig., Milano.
- Gnaccolini M. & Jadoul F. (1990) - Carbonate platform, lagoon and delta "high-frequency" cycles from the Carnian of Lombardy (Southern Alps, Italy). *Sedim. Geol.*, v. 67, pp. 143-159, 11 fig., Amsterdam.
- Goodwin P. W. & Anderson E. J. (1985) - Punctuated aggradational cycles: a general hypothesis of episodic stratigraphic accumulation. *Journ. Geol.*, v. 93, n. 5, pp. 515-533, 12 fig., Chicago.
- Goodwin P. W., Anderson E. J., Goodman W. M. & Saraka L. J. (1986) - Punctuated aggradational cycles: implications for stratigraphic analysis. *Paleoceanography*, v. 1, n. 4, pp. 417-429, 3 fig., Washington.

- Haq B. U., Hardenbol J. & Vail P. R. (1988) - Mesozoic and Cenozoic chronostratigraphy and eustatic cycles. In Wilgus C. K. et al. (Eds.) - Sea-level changes: an integrated approach. *Soc. Econ. Paleont. Min.*, Spec. Publ. 42, pp. 285-288, 15 fig., Tulsa.
- Ingersoll R. V., Bullard T. F., Ford R. L., Grimm J. P., Pickle J. D. & Sares S. W. (1984) - The effect of grain size on detrital modes: a test of the Gazzi-Dickinson point-counting method. *Journ. Sedim. Petrol.*, v. 54, n. 1, pp. 103-116, 6 fig., 3 tab., Tulsa.
- Jadoul F. & Gaetani M. (1987) - L'assetto strutturale del settore lariano centro-meridionale. *Mem. Soc. Geol. It.*, v. 32 (1986), pp. 123-131, 3 fig., Roma.
- Jadoul F. & Rossi P.M. (1982) - Evoluzione paleogeografico-strutturale e vulcanismo triassico nella Lombardia centro-occidentale. In Castellarin A. & Vai G. B. (Eds.) - Guida alla geologia del Sudalpino centro-orientale. *Guide Geol. Region. S.G.I.*, pp. 143-155, 3 fig., Bologna.
- Laubscher H. P. (1985) - Large-scale, thin-skinned thrusting in the Southern Alps: Kinematic models. *Geol. Soc. Am. Bull.*, v. 96, pp. 710-718, 8 fig., Boulder.
- Lehner P. (1952) - Zur Geologie des Gebietes der Denti della Vecchia, des M. Broglia, des M. Brè und des M. San Salvatore bei Lugano. *Ecl. Geol. Helv.*, v. 45, pp. 85-159, Basel.
- Maynard J. B., Valloni R. & Yu H. (1982) - Composition of modern deep sea sands from arc-related basins. *Geol. Soc. London*, Spec. Publ. 10, pp. 551-561, 11 fig., 4 tab., London.
- Pagni Frette M. (1990) - Geologia della Grigna settentrionale tra Esino Lario e Lierna. Tesi di Laurea inedita. V. di 193 pp., Univ. di Milano.
- Philippi E. (1895) - Beitrag zur Kenntnis des Aufbaues und der Schichtfolge im Grignagebirge. *Zeit. Deutsch. Geol. Ges.*, v. 47, n. 4, pp. 665-734, 2 tav., 1 carta al 25.000, Berlin.
- Ponti D. (1986) - Geologia della Grigna (Menaggio, Como). Tesi di Laurea inedita. V. di 146 pp., Univ. di Milano.
- Radrizzani S. (1958) - Note sulla stratigrafia del Gruppo delle Grigne. *Atti Soc. It. Sc. Nat.*, v. 97, pp. 147-162, Milano.
- Redini R. (1934) - Notizie geologiche sul Gruppo delle Grigne. Nota preliminare. *Boll. Soc. Geol. It.*, v. 53, n. 1, pp. 134-146, Roma.
- Reposi R. (1904) - Osservazioni geologiche e petrografiche sui dintorni di Musso (Lago di Como). *Atti Soc. It. Sc. Nat.*, v. 43, n. 3, pp. 261-303, 2 tav., Milano.
- Rubiliani N. (1988) - Geologia delle formazioni sedimentarie della Val Cavargna (CO) e dintorni. Tesi di laurea inedita. V. di 164 pp., Univ. di Milano.
- Trümpy E. (1930) - Beitrag zur Geologie der Grignagruppe am Comersee (Lombardei). *Ecl. Geol. Helv.*, v. 23, n. 2, pp. 379-487, 3 tav., 3 fig., 1 carta geol. al 25.000, Basel.
- Van Wagoner J. C., Posamentier H. W., Mitchum R. M., Vail P. R., Sarg J. F., Loutit T. S. & Hardenbol J. (1988) - An overview of the fundamentals of sequence stratigraphy and key definitions. In Wilgus C. K. et al. (Eds.) - Sea-level changes: an integrated approach. *Soc. Econ. Paleont. Min.*, Spec. Publ. 42, pp. 40-45, 3 fig., Tulsa.
- Vetri E. & Garzanti E. (1986) - Ciclotemi deltizi peritidali nel Carnico lariano. *Conv. di Geologia Lariana*, poster abstract, Varenna.