

## PRIME NOTE SUL RILEVAMENTO DELL'ANFITEATRO DEL GARDA: METODI E UNITÀ PROVVISORIE

Alfredo Bini & Luisa Zuccoli

Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Milano, via Mangiagalli 34, 20133 Milano;  
alfredo.bini@unimi.it

RIASSUNTO: Bini A. & Zuccoli L., *Prime note sul rilevamento dell'anfiteatro del Garda: metodi e unità provvisorie*. (IT ISSN 0394-3356, 2004).

L'Anfiteatro del Garda mostra alcuni caratteri peculiari, sia petrografici sia geomorfologici, diversi da quelli che si osservano negli altri apparati alpini, per cui è sempre risultato difficile separare le cerchie moreniche sulla base della classica suddivisione in glaciazioni del Quaternario alpino. Il principale problema di questo anfiteatro è quello della attribuzione delle diverse cerchie moreniche riguardo al quale le opinioni dei vari e numerosi autori sono contrastanti. I dati del presente rilevamento non sono direttamente confrontabili con quelli degli autori citati in quanto è diverso il linguaggio e non esiste alcun sistema per passare da uno all'altro senza equivoci ed incertezze. Il Würm degli autori precedenti non coincide con il concetto di LGM attualmente in uso. Il Würm degli autori comprende probabilmente più glaciazioni nel senso di Richmond (1986). In assenza di paleosuoli diffusi, i parametri che sono stati utilizzati per riconoscere le unità sono stati: l'alterazione e il colore del colluvio, lo spessore del calcrete, la geometria dei depositi. Benchè il colluvio sia costituito da depositi di colate che hanno spesso rimescolato il materiale originario proveniente da unità diverse esistono particolari situazioni, molto diffuse in anfiteatro, in cui il colluvio proviene solo da una unità, omogenea dal punto di vista sedimentologico, o, meglio, da una sola morena. Tenendo conto di queste situazioni esiste un "gradiente di caratteristiche" del colluvio andando dalle rive del lago (unità più recenti), alle unità più antiche. La presenza o l'assenza del calcrete sommitale, così come il suo spessore, sono parametri determinanti sul Garda. Il calcrete è presente su tutte le unità ad esclusione dell'unità più interna (Alloformazione del Garda) che ne è completamente priva e che perciò è lo LGM. Muovendosi verso l'esterno il calcrete aumenta rapidamente di spessore sino ad interessare l'intera massa dei depositi delle unità. Sono state così riconosciute varie unità allo- e litostratigrafiche, di cui otto sono costituite da till e rappresentano quindi glaciazioni distinte.

ABSTRACT: Bini A. & Zuccoli L., *Geological survey in the Garda moraine amphitheatre: methods and preliminary units* (IT ISSN 0394-3356, 2004).

*The Garda glacial Amphitheatre shows some peculiar geomorphological and petrographical features, which differ from those of the other alpine glacial amphitheatres. Therefore it has been always difficult to separate the end moraines based on the traditional classification of the Quaternary alpine glaciations. The most debated topic regarding the characterisation of the Garda Amphitheatre, is the correlation among the different end moraines, about which there is no agreement in literature. The results of the survey presented here are not comparable with the data by the previous authors, because different concepts and terminology are used and a conversion to older stratigraphic concepts is not available. For instance the term Würm is not coincident with the LGM concept, which is in use at present. The Würm Auct. includes probably more glaciations (sensu Richmond, 1986). If no widespread paleosoils are available, other parameters are used to identify the different units, such as weathering and colour of colluvium, thickness of calcretes, geometry of depositional units. The colluvial deposits derive from flows which often mix materials from different sources; nonetheless in a lot of situations, within one amphitheatre, colluvium derives from one single unit, with own sedimentological features, or from a single moraine. Taking into account these situations there is a continuum of variations of the features of colluvial deposits, moving from the youngest units (close to the lake shores) to the eldest ones. In the Garda Amphitheatre, presence or absence of calcrete, and its thickness, represent discriminant features. Calcretes are present above all the depositional units, but the most internal one (Garda Alloformation), which represents the LGM. Thickness of calcretes increases systematically moving towards the external sector of the Amphitheatre, whose units are therefore completely cemented. In this way several allo- and lithostratigraphic units could be recognised, eight of which are formed by tills and therefore represent different glaciations.*

Parole chiave: Anfiteatro morenico, Morene, Colluvio, Calcrete, Garda

Keywords: Moraine amphitheatre, Moraine, Colluvium, Calcrete, Garda

### INTRODUZIONE

L'Anfiteatro del Garda, sin dagli albori della teoria glaciale, è uno dei più noti al mondo; infatti, solo per fare un esempio, se si cerca la sottovoce *moraine amphitheatres* nella *Encyclopedia of Geomorphology* di R.W. Fairbridge edita da Dowden, Hutchinson & Ross Inc. del 1968 si trova citato come unico esempio il Garda e una carta dell'anfiteatro del Garda si trova alla voce laghi.

Non stupisce quindi che numerosi ricercatori si siano via via interessati al suo studio. Poichè questo anfiteatro mostra alcuni caratteri peculiari, sia petrogra-

fici sia geomorfologici, diversi da quelli che si osservano negli altri apparati alpini, è sempre risultato difficile separare le cerchie moreniche sulla base della classica suddivisione in glaciazioni del Quaternario alpino.

Dopo aver rilevato direttamente gli anfiteatri del Verbano, del Lario e dell'Inferno e discusso con coloro che hanno rilevato gli anfiteatri Tilaventino e di Rivoli torinese, appurato che la metodologia messa a punto in tutti questi anni è valida sia per la cartografia sia per la ricostruzione della storia geologica, si è iniziato il rilevamento dell'Anfiteatro del Garda con criteri moderni a partire dall'area occidentale all'incirca fra Salò e Esenta a Sud di Lonato (Fig. 1).

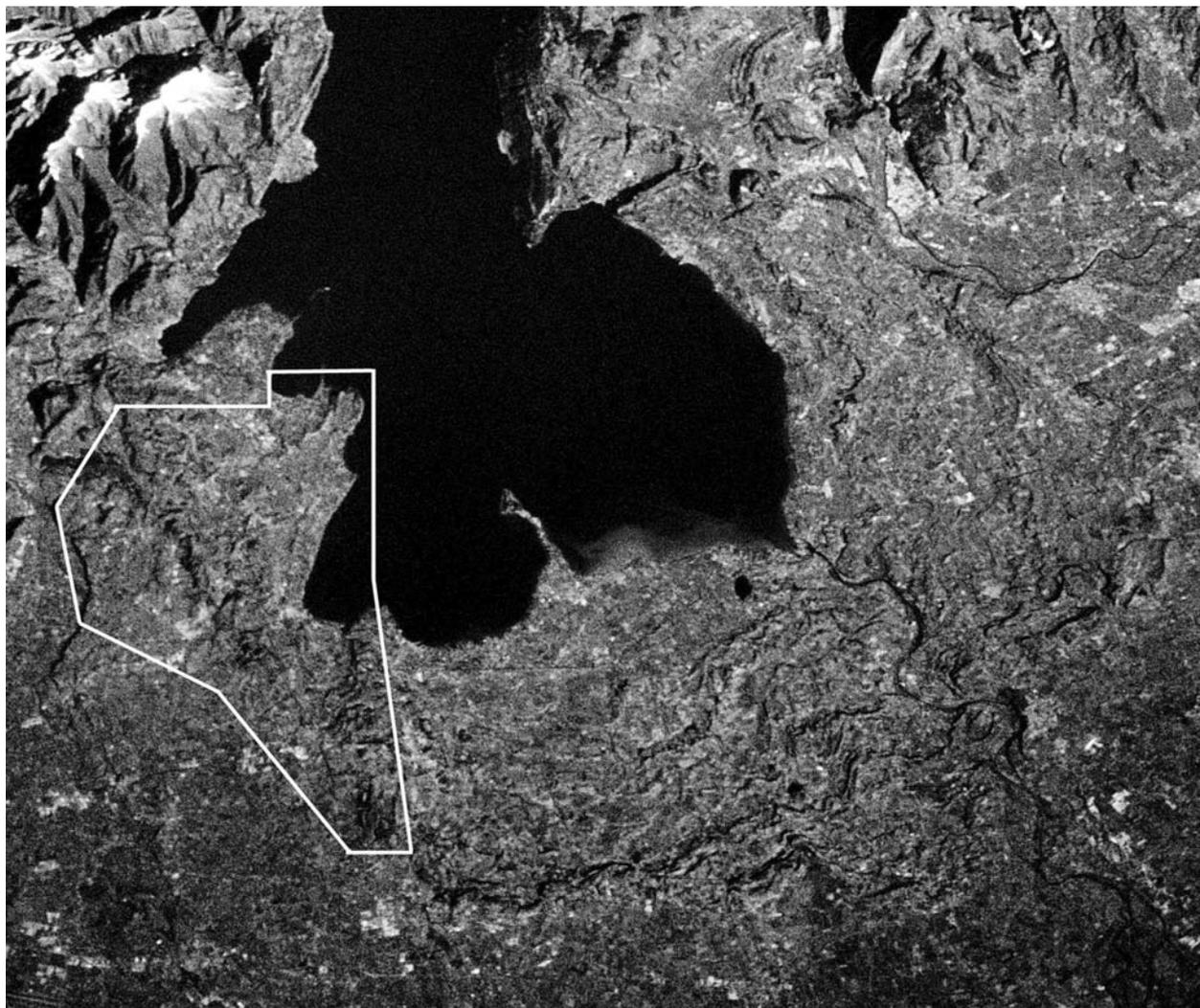


Fig. 1 - Foto da satellite dell'Anfiteatro del Garda e area interessata dallo studio.

*Satellite image of the Garda amphitatre and study area.*

## IL PROBLEMA DELL'ETÀ DELLE CERCHIE MORENICHE

Il principale problema dell'anfiteatro è quello dell'attribuzione delle diverse cerchie moreniche.

La letteratura abbonda di lavori eseguiti sulla base di osservazioni generali o di studi dettagliati di singole sezioni estrapolati a tutto l'anfiteatro. Gli unici rilevamenti geologici completi sono stati quelli di Cozzaglio (1933; 1934a; 1934b; 1939) e di Venzo (1957, 1961, 1965).

Quello che Penck e Bruckner (1909) hanno considerato Riss, viene considerato Mindel da Venzo e il Würm dei due autori transalpini, Riss da Venzo nel 1957 e Würm nel 1961 poi ancora Riss nel 1965 al termine dei rilevamenti.

Il Würm di Cozzaglio diviene Riss per Venzo (1957 e 1965): *Anche le numerose sovrapposizioni di Würm sul Riss, indicate da Cozzaglio sul suo Fo Peschiera, sono inesistenti. Si tratta del consueto fenomeno di erosione e dilavamento del paleosuolo rossiccio del Riss, cosicchè affiorano le sottostanti ghiaie bianche di aspetto würmiano, ma di età sempre rissiana, come*

*tutte le grandi cerchie. ... I grandi cordoni morenic del tratto orientale da S. Zeno di Montagna a Pastrengo, si presentano ghiaiosi, bianchi e con versanti piuttosto ripidi, a morfologia giovanile. I lembi di paleosuolo rossastro-bruno del Riss, giallastri se erosi del terreno più superficiale, sono ridotti ad esigui affioramenti solo all'esterno ed in basso ai cordoni.*

Basandosi sui lembi di paleosuolo in genere colluviati Venzo (1965) pone il Würm a ridosso del lago in posizione più interna rispetto al suo lavoro del 1957: *Di conseguenza il Würm, ancora più interno, risulta glaciazione oltremodo ridotta. Esso è testimoniato solo dalle ultime e più basse cerchie che orlano il lago; sbarrandolo verso sud. Lo stadio Würm III ... è probabilmente arretrato di qualche decina di chilometri entro il lago.*

*... L'esiguità della glaciazione wiirmiana rispetto alla rissiana, risulta fenomeno generale a sud delle Alpi...*

Habbe (1969) critica il metodo di Venzo e Cozzaglio e, su base puramente morfologica, attribuisce il Riss di Venzo (1957 e 1965) al Würm. Cremaschi (1987), sulla base dello studio di alcune sezioni in tutto l'anfiteatro,

considera Pleistocene superiore il Riss di Venzo.

Il problema centrale risiede nell'età della cerchia più evidente che, nell'area interessata dal presente lavoro, coincide con il Monte Forca - Monte Soffiano - Monte Nuvolo - Monte Malocco e che coincide con la cerchia di Solferino. Per Venzo è rissiana, per Habbe è würmiana, per Cremaschi è Pleistocene superiore. I dati del presente rilevamento non sono direttamente confrontabili con quelli degli autori citati in quanto è diverso il linguaggio e non esiste alcun sistema per passare da uno all'altro senza equivoci ed incertezze. In ogni caso, tale cerchia è compresa in un'alloformazione che con ogni probabilità è del Pleistocene medio e non del Pleistocene superiore.

Il presente lavoro si basa su un rilievo geologico, metro a metro, del territorio e di conseguenza si trova largamente in accordo con Venzo (soprattutto 1957).

E' stato osservato che all'interno delle cerchie rissiane di Venzo sono presenti depressioni occupate da piccoli laghi. Si è sostenuto che se i laghi sono ancora presenti le depressioni intermoreniche devono essere recenti e quindi da ascrivere al Würm. In realtà, il problema dell'origine delle depressioni va tenuto separato da quello dell'origine dei laghi. Non è sufficiente la presenza di una depressione per dare origine ad un lago; è necessario anche che il fondo della depressione sia impermeabile. Quindi una depressione intermorenica più antica può ospitare in periodi più recenti un lago che non era presente all'origine perchè il suo fondo è stato successivamente impermeabilizzato. L'impermeabilizzazione può avvenire per accumulo di colluvio proveniente da suoli evolutisi nel tempo sulle morene, oppure per deposizione di loess durante una successiva glaciazione. Non si ritiene pertanto che questa osservazione sia valida da un punto di vista geologico.

Un altro punto da considerare è che il Würm degli autori precedenti e dei loro epigoni non coincide con il concetto di LGM attualmente in uso.

A partire dai dati di terreno con metodi geologici o, al massimo, geocronometrici è possibile datare solo l'ultima espansione glaciale (LGM) che corrisponde secondo la definizione di Richmond (1986), riportata in Bini (1997) e in Bini *et al.* (2001)<sup>1</sup>, all'ultima glaciazione. Il Würm degli autori comprende probabilmente più glaciazioni nel senso di Richmond. Poichè non vi sono criteri per collocare nel tempo i depositi glaciali più antichi dell'ultima glaciazione, non è possibile stabilire se le unità riconosciute sul terreno e appena più antiche dello LGM cadano nell'intervallo tempo che gli autori attribuivano al Würm.

In quest'ottica l'Alloformazione del Garda è lo LGM; l'Alloformazione di Puegnago e l'Alloformazione di Monte San Pietro sono solo più vecchie dello LGM, ma non è possibile stabilire se rientrano, o no, nel periodo di tempo che gli autori attribuivano al Würm, poichè non esistono metodi oggettivi per datarle. Non ha senso

<sup>1</sup>"The term "glaciation" is applied here to a specific glacial advance and recession, the deposits of which are separable from those of other glaciations by evidence of extensive recession and downwasting of glaciers or by evidence of a warm climate as interpreted from pollen diagrams or weathering profiles. The terms "warm" and "cold" are used here in a very general sense to indicate broad differences in the climate of intervals separating glaciations."

quindi identificare il Würm degli autori con lo LGM.

Nonostante le critiche che gli sono state rivolte, Venzo è stato l'unico ad eseguire un rilievo geologico, che poteva essere condotto con maggior dettaglio già allora con la base cartografica a disposizione, ma che in ogni caso risponde a criteri geologici e non solamente geomorfologici. Venzo ha applicato il suo schema delle glaciazioni a priori e perciò non poteva giungere a risultati diversi, ma ha oggettivamente separato la cerchia morenica più interna a causa dei suoi caratteri ben differenti da tutte le altre dell'anfiteatro assegnandola al Würm. Osserva che mancano il Würm 2 e il Würm 3 che egli ritiene meno estesi e perciò coperti dal lago e osserva inoltre come l'alterazione aumenti nelle cerchie rissiane dalla più interna alla più esterna.

Ovvero le suddivisioni in unità operate in questo lavoro erano già state osservate da Venzo, ma lo schema a priori da lui utilizzato gli ha impedito di riconoscerle apertamente.

## METODO IMPIEGATO NEL RILEVAMENTO

La suddivisione dei depositi presenti in unità allostratigrafiche, negli anfiteatri del Verbano, del Lario e del Sebino, è stata possibile grazie alla presenza di paleosuoli; infatti l'unico modo per distinguere tra loro due corpi sovrapposti di depositi fluviali o glaciali, che abbiano lo stesso bacino di alimentazione, è la presenza di un suolo o comunque di un'alterazione a tetto dell'unità inferiore (Richmond, 1962; Bini, 1997; Bini *et al.*, 2001).

Nell'Anfiteatro del Garda i paleosuoli in posto sono rari, ma non del tutto assenti; il rilievo di dettaglio e l'attuale ampliamento dei vigneti hanno permesso, infatti, di osservarne un certo numero, anche se non è sufficiente a servire da marker per il riconoscimento di unità allostratigrafiche.

Solitamente si rinvengono spesse coltri di colluvio, sovrastanti depositi glaciali o fluvioglaciali che a tetto presentano un calcrete pedogenetico. Lo spessore del calcrete è variabile, ma aumenta muovendosi dalle unità più recenti alle unità più antiche.

Il colluvio è spesso fortemente arrossato, sino a 5YR delle tavole Munsell; presenta in molti casi inversione del profilo con la parte più arrossata in basso e quella meno arrossata in alto. Anche in questo caso l'arrossamento del colluvio aumenta verso le unità più antiche.

La differenza principale tra i depositi dell'Anfiteatro del Garda e quelli degli altri anfiteatri risiede nel fatto che sul Garda i depositi sono costituiti interamente da clasti e da matrice carbonatici, mentre i clasti cristallini sono molto rari. Nei suoli questo fatto comporta la formazione di spessi orizzonti calcici nelle unità più recenti e la completa cementazione delle unità più antiche.

Questi suoli si sono ovviamente formati in condizioni generali di biostasia. Quando si è passati a condizioni di resistasia sia per cause naturali, come l'approssimarsi di un ghiacciaio durante una nuova glaciazione, sia per cause antropiche, come il disboscamento, l'aratura o la preparazione del terreno per la coltivazione della vite, l'intero spessore dei suoli si è mosso lungo i versanti per soliflusso o per colate, andando a costituire le coltri colluviali che attualmente si osservano.

Lo scivolamento del suolo per aumento del contenuto in acqua in condizioni di resistasia è stato facilitato

ed è stato completo a causa della presenza del sottostante orizzonte calcico. Questi, infatti, oltre ad essere praticamente impermeabile e capace quindi di sostenere una falda locale, costituisce una superficie piana, sufficientemente liscia che sui versanti inclinati delle morene ha rappresentato la superficie preferenziale di scivolamento.

In assenza di paleosuoli diffusi, i parametri che sono stati utilizzati per riconoscere le unità sono stati:

- l'alterazione e il colore del colluvio
- lo spessore del calcrete
- la geometria dei depositi

Riguardo all'uso del colluvio come marker, che Venzo (1957, 1961, 1965) aveva già utilizzato, è necessario fare alcune precisazioni.

1) Il colluvio è costituito da depositi di colate che hanno spesso rimescolato e omogenizzato il materiale originario proveniente da unità diverse dal punto di vista stratigrafico. Considerare come marker il colluvio in genere può essere quindi errato. Esistono però parti-

colari situazioni, molto diffuse in ambiente di anfiteatro, in cui il colluvio proviene solo da una unità, omogenea dal punto di vista sedimentologico, o, meglio, da una sola morena.

La più chiara di queste situazioni, e una delle più diffuse, si ha quando il colluvio affiora pochi metri sotto la cresta di una morena, poichè in questo caso il colluvio può provenire solo dalla cresta. L'esempio tipico è a San Pietro sopra Polpenazze del Garda (Fig. 2) dove 2 o 3 metri sotto la cresta, si può descrivere il colluvio con inversione del profilo che rappresenta il suolo sommitale della morena di San Pietro.

Oppure quando si ha una successione di morene di unità diverse, come in Fig. 3 dove il colluvio compreso nella valle tra le unità A e B non è significativo, mentre lo è il colluvio sul lato interno della morena dell'unità B. L'insieme di numerose osservazioni di questo tipo, sulla cui validità non si può eccepire, associato alla geometria dei depositi consente di riconoscere e caratterizzare unità differenti.

Per quanto riguarda invece il colluvio presente sui depositi fluvioglaciali nei *sandur* si può essere sicuri della provenienza solo se il *sandur* era alimentato dal ghiacciaio relativo ad una singola unità, come, ad esempio, nella Fig. 4 che schematizza la piana di S. Tomaso-Brodona, a Sud di Lonato, completamente compresa tra morene dell'Alloformazione di San Pietro e ben separata dalle morene dell'Alloformazione del Monte Forca. In altri casi, dove l'alimentazione non è sicura, il colluvio su fluvioglaciale non è utilizzabile a fini stratigrafici.

2) Indipendentemente da queste considerazioni esiste una variazione graduale delle caratteristiche del colluvio andando dalle rive del lago, in corrispondenza dell'unità più recente, alle unità più antiche, che comprende: il contenuto in argilla, il colore, la presenza di patine e/o noduli di ferro-manganese, la presenza di screziature, la presenza di carbonati e di gusci di gasteropodi terrestri.

La presenza o l'assenza del *calcrete* sommitale, così come il suo spessore, sono parametri determinanti sul Garda.

Il *calcrete* è presente su tutte le unità ad esclusione dell'unità più interna (Alloformazione del Garda) che ne è completamente

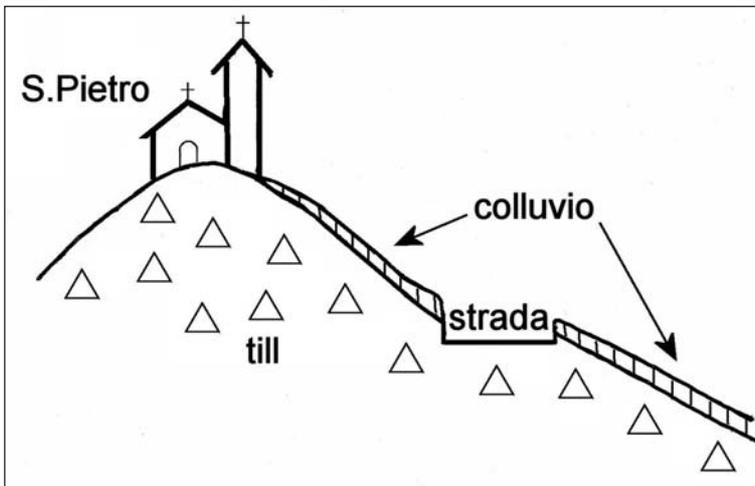


Fig. 2 - Sezione schematica della Morena di San Pietro. Il colluvio affiora pochi metri sotto la cresta della morena e può provenire solo dalla cresta stessa; rappresenta perciò il suolo sommitale della morena di San Pietro.

*Schematic cross section of the San Pietro moraine. Colluvial deposits crop out a few meters below the top of the moraine so that these deposits could only derive from that ridge. Consequently the colluvial deposits represent the soil at the top of the San Pietro moraine.*

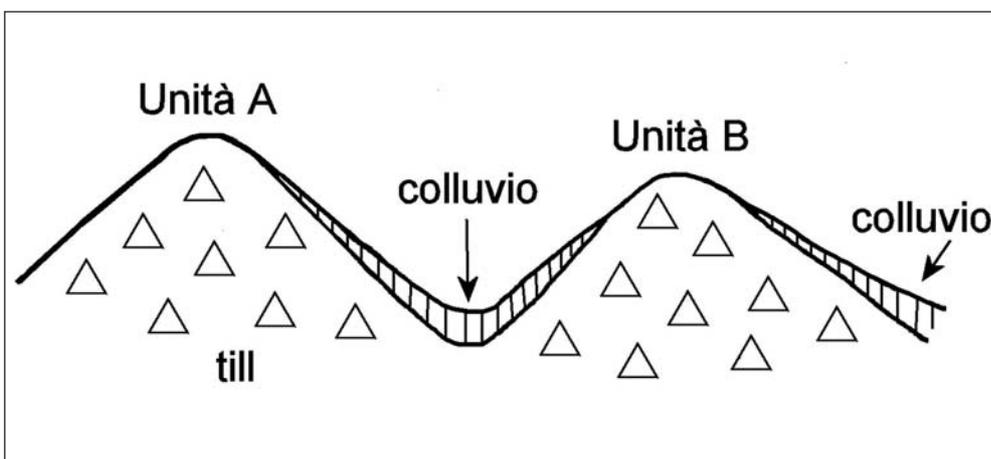


Fig. 3 - Sezione schematica che mostra una successione di morene di unità diverse. Il colluvio compreso nella valle tra le unità A e B non è significativo, mentre lo è il colluvio sul lato interno della morena dell'unità B.

*Schematic section showing a sequence of moraines belonging to different units. The meaning of the colluvial deposits which lie in the valley between units A and B is not clear, but is obvious for the colluvial deposits that lies on the inner side of the moraine belonging to the unit B.*

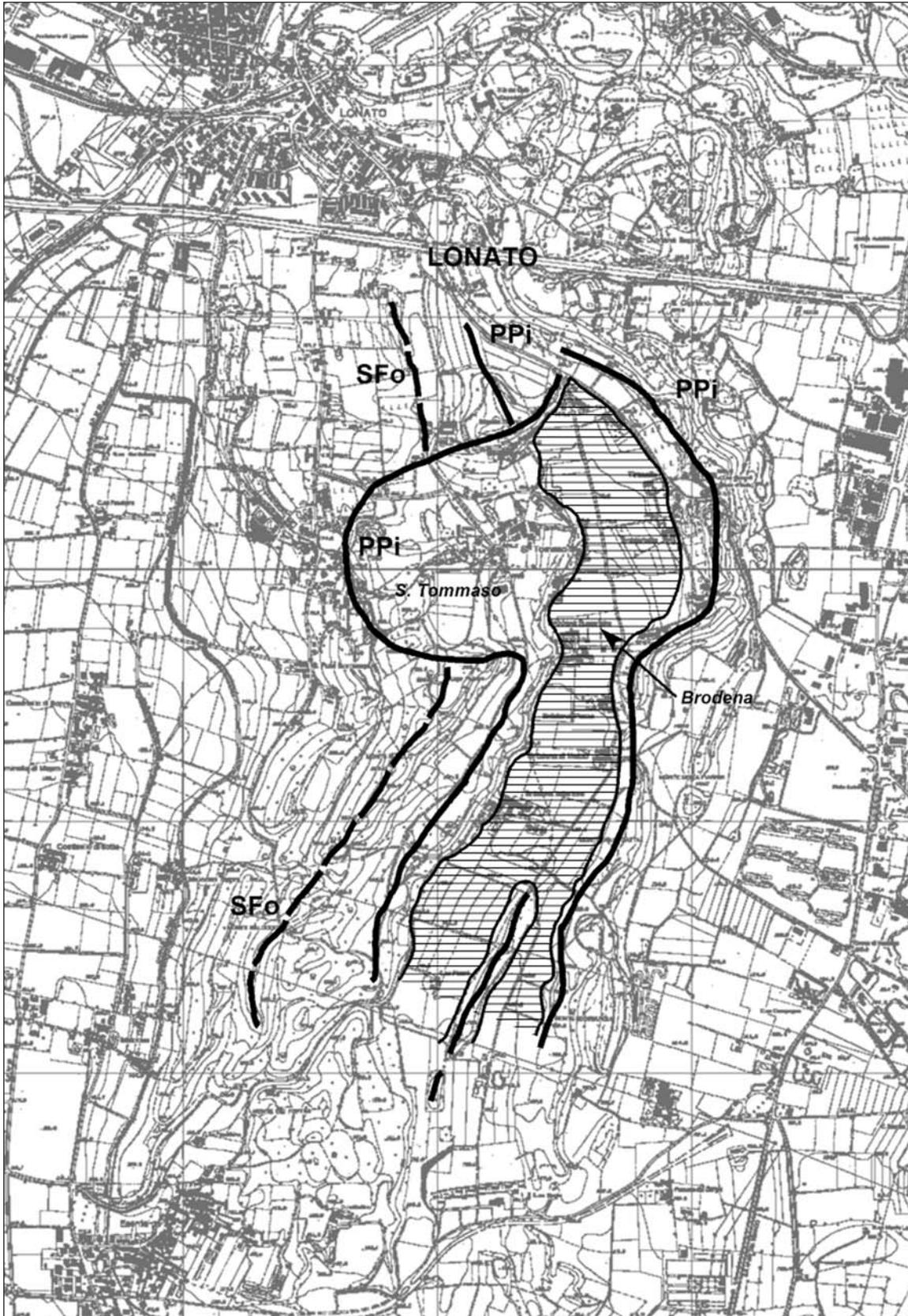


Fig. 4 - Carta schematica semplificata della piana fluvio-glaciale di S. Tomaso - Brodena, a Sud di Lonato, completamente compresa tra morene dell'Alloformazione di San Pietro e ben separata dalle morene dell'Alloformazione del Monte Forca. In figura la piana fluvio-glaciale è rappresentata dall'area a righe orizzontali.

*Simplified map of the sandur (horizontally ruled) near San Tomaso-Broderna, South of Lonato. All the sandur lies within the endmoraines of the Alloformazione di San Pietro and it is completely separated from the moraines of the Alloformazione di Monte Forca.*

priva. Poichè l'unità appena più esterna (Alloformazione di Puegnago) presenta sempre un *calcrete* centimetrico, l'unità priva di *calcrete*, quindi con un profilo di alterazione completamente diverso, è lo LGM. Muovendosi verso l'esterno il *calcrete* aumenta rapidamente di spessore sino ad interessare l'intera massa dei depositi delle unità.

I valori osservati sono qui di seguito riassunti:

<b>ALLOFORMAZIONE DEL GARDA</b>	assente
<b>ALLOFORMAZIONE DI PUEGNAGO</b>	centimetrico
<b>ALLOFORMAZIONE DI MONTE SAN PIETRO</b>	15 ÷ 30 cm
<b>ALLOFORMAZIONE DI MONTE FORCA</b>	≥ 1 m
<b>ALLOFORMAZIONE DI MONTE CERVO</b>	cementazione discontinua, localmente completa
<b>ALLOFORMAZIONE DI MONTE SERINA</b>	cementazione completa

Da ultimo, ma non per importanza, viene la geometria dei depositi. Ossia il mezzo di trasporto dei sedimenti, che sia acqua, ghiaccio o vento, depone i sedimenti con una geometria discreta. I depositi al margine di un ghiacciaio non possono avere qualunque andamento, ma riflettono quella che era la forma del ghiacciaio, la sua dinamica, comprendendo con questo termine sia le linee di flusso sia la distribuzione delle zone di ghiaccio stagnante, di ghiaccio caldo e di ghiaccio freddo, e la distribuzione delle acque al margine del ghiacciaio stesso. Nel ricostruire l'andamento delle morene e dei corpi geologici bisogna tener conto di queste considerazioni.

La geometria dei depositi è l'argomento che consente a Venzo (1965) di attribuire al Riss anche le morene che nel tratto orientale (1961) aveva attribuito al Würm a causa dei caratteri di alterazione.

Il fatto che i depositi cambino caratteristiche lungo una medesima morena o un medesimo gruppo di morene è un fatto che si è già presentato in altri anfiteatri, come quello del Verbano, dove le morene orientali sottendono depositi che hanno, per litologia, caratteristiche diverse da quelle dei depositi sottesi dalle morene occidentali. Probabilmente un fatto analogo avviene anche nell'Anfiteatro del Garda e ha tratto in inganno Venzo.

## UNITÀ PROVVISORIE

Nella parte di anfiteatro del Garda sinora rilevato, ossia dal Monte Luzzago a Nord di Puegnago sino a Esenta a Sud di Lonato, sono state riconosciute le seguenti unità (Fig. 5 e 6):

### Alloformazione del Garda (Ga)

L'unità è costituita da depositi glaciali, fluvioglaciali e lacustri. E' considerata come Würm-Moräne da Habbe (1969) e come Würm da Venzo (1957). La superficie limite superiore è caratterizzata da un suolo spesso circa 50 cm, di colore 2.5Y, privo di *calcrete*. Lateralmente alla morena il colluvio, quando presente, è

ricco di carbonati e di nicchi di gasteropodi terrestri ed è di colore 2.5Y. La superficie limite inferiore è una superficie di erosione.

### Allogruppo di Polpenazze (Pol)

L'allogruppo è stato istituito perchè in alcune aree con scarsità di affioramenti è difficile distinguere le alloformazioni che lo costituiscono (Alloformazione di Puegnago e Alloformazione di Monte San Pietro).

I depositi dell'Allogruppo sono considerati come Würm-Moräne da Habbe (1969) e come Riss da Venzo (1957). Il Riss di Venzo (1957) comprende l'Alloformazione di Monte Forca, l'Alloformazione di Monte Cervo e tutto l'Allogruppo di Polpenazze, tuttavia Venzo sottolinea come l'alterazione delle morene più esterne (M. Soffiano) sia maggiore di quelle più interne.

### Alloformazione di Puegnago (PPu)

Si tratta di depositi glaciali, fluvioglaciali e lacustri. La superficie limite superiore è costituita da una superficie di erosione che decapita l'unità della parte superiore pedogenizzata. La decapitazione avviene in corrispondenza del tetto degli orizzonti calcici del suolo per cui molti affioramenti si presentano cementati a tetto per spessori di alcuni centimetri. In alcuni affioramenti è visibile la porzione basale del suolo subito al di sopra dell'orizzonte calcico. I ciottoli, esclusivamente carbonatici, sono alterati e il colore è compreso nella pagina 10YR delle tavole Munsell.

Al di sotto dell'orizzonte calcico i clasti di natura cristallina sono arenizzati e il colore della matrice è compreso nella pagina 10YR delle tavole Munsell, più raramente nella pagina 7.5YR.

In alcuni affioramenti è presente, a tetto, loess limoso argilloso indurito con patine di ossidi di ferro e manganese di colore 10YR.

La superficie limite inferiore è una superficie di erosione che tronca i depositi dell'Alloformazione di Monte San Pietro.

### Alloformazione di Monte San Pietro (PPi)

E' costituita da depositi glaciali, fluvioglaciali, deltizi, lacustri e di versante tipo grèzes litées. La superficie limite superiore è caratterizzata da un suolo che nell'orizzonte Bt ha colore da 10YR a 7.5YR e, nell'orizzonte B/C, 10YR. Clasti cristallini alterati, parziale alterazione dei clasti carbonatici. Orizzonte calcico sempre presente. La presenza di un resto di paleosuolo in alcuni affioramenti, indice di clima caldo, consente di suddividere l'Allogruppo di Polpenazze nelle due Alloformazioni di Puegnago e di Monte San Pietro. Nella maggior parte degli affioramenti la superficie limite superiore è costituita da una superficie di erosione che decapita l'unità della parte superiore pedogenizzata. La decapitazione avviene in corrispondenza del tetto degli orizzonti calcici del suolo per cui molti affioramenti si presentano cementati a tetto per uno spessore che giunge sino a 30 cm. La superficie limite inferiore è una superficie di erosione.

### Alloformazione di Monte Forca (Sfo)

E' costituita da depositi glaciali e fluvioglaciali. E' considerata come come Riss II (Venzo, 1957; 1965) e come Würm da Habbe (1969). La superficie limite superiore è caratterizzata da un suolo in genere troncato che presenta un colore variabile tra 10YR e 7.5YR. I ciottoli

cristallini sono arenizzati. E' presente un orizzonte Cca ben sviluppato tanto da trasformare il diamicton sottostante in diamictite per spessori spesso superiori al metro. La decapitazione avviene in corrispondenza del

tetto degli orizzonti calcici del suolo per cui molti affioramenti si presentano cementati a tetto. La superficie limite inferiore è una superficie di erosione. L'Alloformazione di Monte Forca copre i diamicton del-

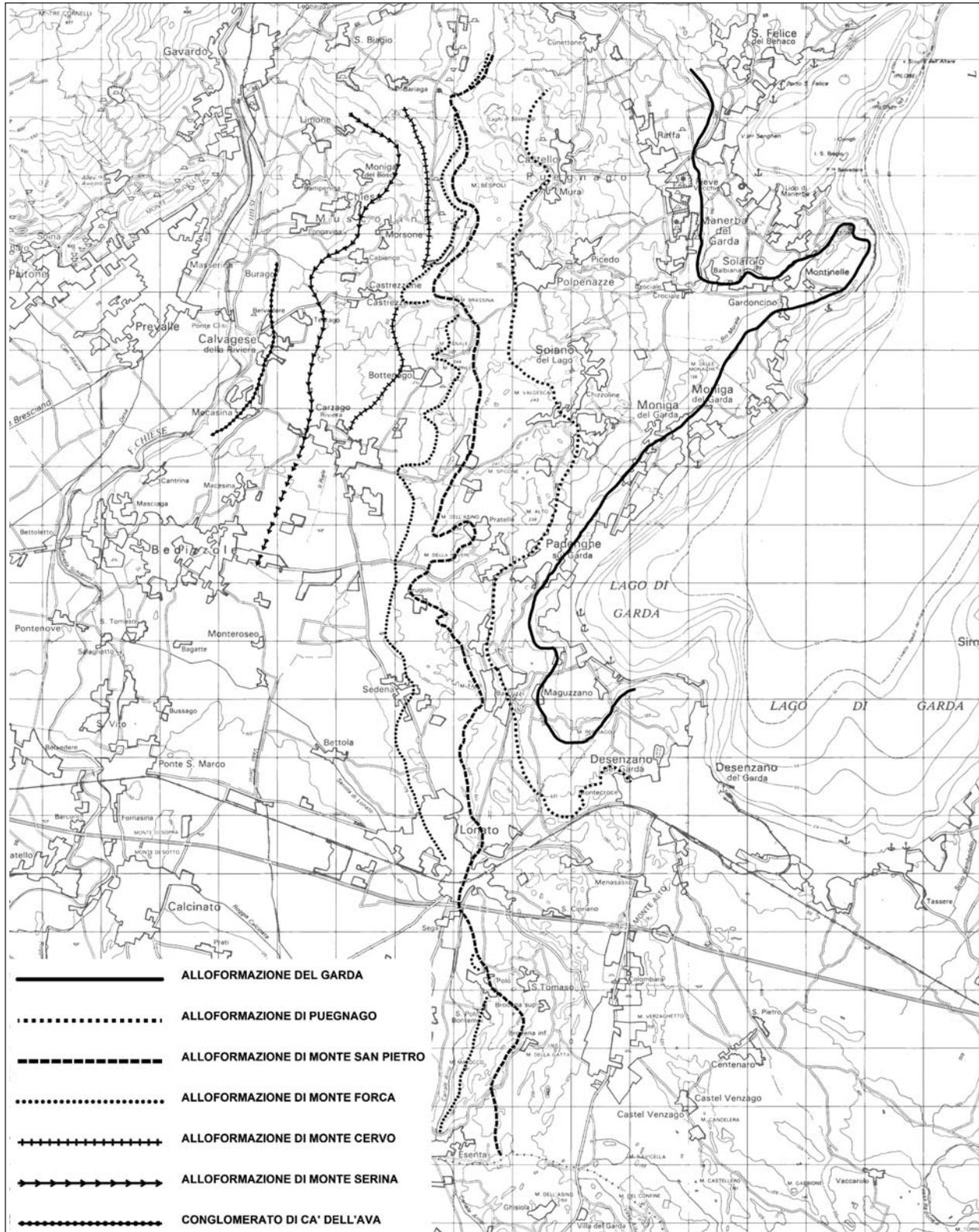


Fig. 5 - Carta schematica semplificata dell'area di anfiteatro studiata. E' riportata la massima estensione delle unità. Simplified map showing the maximum extension of the units in the portion of the Garda amphitheatre here studied.

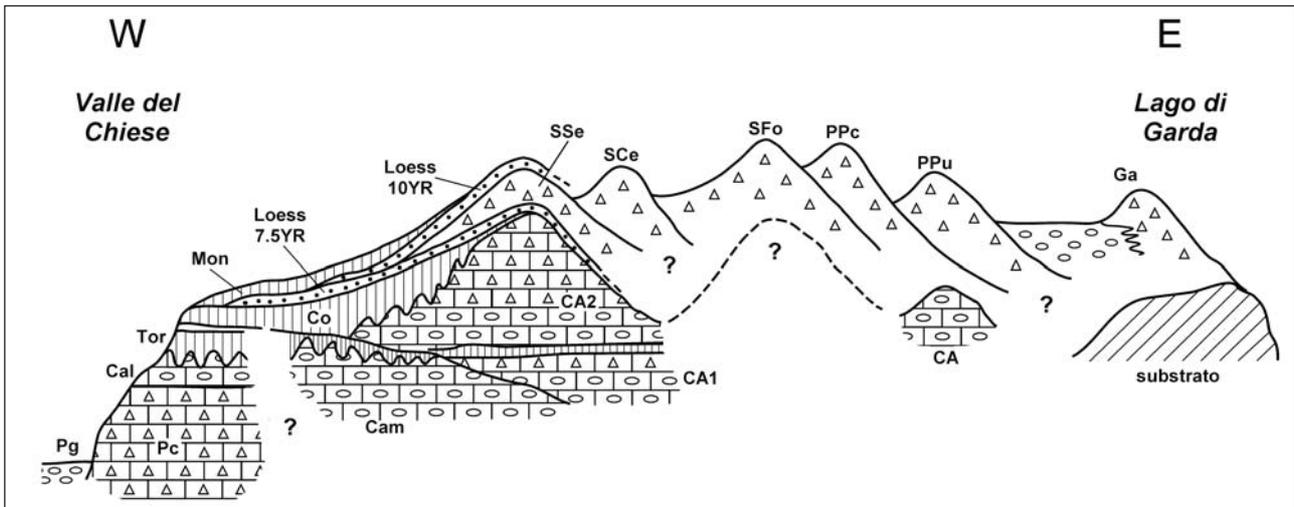


Fig. 6 - Schema dei rapporti stratigrafici nell'area di Anfiteatro del Garda studiato. Non sono compresi in questo schema l'Allogruppo di Rio Naviglio e il Conglomerato di Pisenze. La sigla PG si riferisce all'Unità Postglaciale.

*Stratigraphic framework in the portion of the amphiteatre here studied. Allogruppo di Rio Naviglio and Conglomerato di Pisenze are not included. PG refers to postglacial unit.*

L'Alloformazione di Monte Ceruo e i loess 7.5YR a tetto di quest'ultima unità. La presenza di un paleosuolo decapitato, ma ricoperto da loess e colluvi e successivamente da ghiaie, testimonia che tra la formazione delle morene di Monte Serina - Monte Ceruo e di Monte Soffiano si è avuta pedogenesi e quindi un interglaciale, ovvero le due unità, Alloformazione di Monte Ceruo e Alloformazione di Monte Forca sono due buone unità, hanno il rango di alloformazioni e rappresentano due distinte glaciazioni.

L'unità è coperta dai depositi dell'Allogruppo di Polpenazze e da colluvi di colore variabile da 10YR a 5YR. I colluvi sono osservabili già alcuni metri al di sotto della cresta della Morena di Monte Forca.

#### Alloformazione di Monte Ceruo (SCe)

Si tratta di depositi glaciali. E' considerata come Riss I (Venzo, 1957; 1965) e come Riss da Habbe (1969). La superficie limite superiore è una superficie di erosione che tronca il suolo originario. La decapitazione avviene in corrispondenza del tetto degli orizzonti calcici del suolo per cui molti affioramenti si presentano cementati a tetto. Lo spessore della cementazione è variabile da alcune decine di centimetri a discontinua che può interessare l'intero corpo osservabile ossia per alcuni metri.

Essa è coperta da loess e colluvi induriti, screziati di colore 7.5YR. L'unità copre in erosione l'Alloformazione di Monte Serina ed è coperta dall'Alloformazione di Monte Forca (condizioni visibili in affioramento). Quest'ultima unità copre anche i loess 7.5YR. La presenza di un paleosuolo decapitato, ma ricoperto da loess e colluvi e successivamente da ghiaie, testimonia che tra la formazione delle morene di Monte Serina - Monte Ceruo e di Monte Soffiano si è avuta pedogenesi e quindi un interglaciale, ovvero le due unità, Alloformazione di Monte Ceruo e Alloformazione di Monte Forca sono due buone unità, hanno il rango di alloformazioni e rappresentano due distinte glaciazioni.

I clasti cristallini sono alterati e la matrice presenta colore variabile tra 2.5Y e 5YR.

#### Alloformazione di Monte Serina (SSe)

L'unità è costituita da depositi glaciali e fluvioglaciali. E' considerata come come Mindel II (Venzo, 1957; 1965) e come Riss da Habbe (1969). La superficie limite superiore è costituita da una superficie di erosione che decapita l'unità della parte superiore pedogenizzata. La decapitazione avviene in corrispondenza del tetto degli orizzonti calcici del suolo per cui molti affioramenti si presentano cementati a tetto. Lo spessore della cementazione è variabile da alcune decine di centimetri all'intero corpo osservabile ossia per alcuni metri.

Il suolo parzialmente conservato si osserva, in alcuni affioramenti, coperto dal diamicton dell'Alloformazione di M. Ceruo. La presenza di questo paleosuolo decapitato testimonia che tra l'Alloformazione di Monte Ceruo e l'Alloformazione di Monte Serina si è avuta pedogenesi e quindi un interglaciale, ovvero le due unità sono due buone unità, hanno il rango di alloformazioni e rappresentano due distinte glaciazioni. I ciottoli cristallini sono arenizzati o con cortex e la matrice presenta colori 7.5YR e 5YR.

L'Alloformazione di Monte Serina copre, in erosione, i Conglomerati di Cà dell'Ava e la Formazione di Cascina Colombera ed è coperta dall'Alloformazione di Monte Ceruo, da colluvi di colore 10YR÷7.5YR e da loess di colore 10YR.

#### Formazione di Cascina Colombera (Co)

Unità litostratigrafica costituita dal Conglomerato di Ca' dell'Ava alterato. A letto l'unità passa gradualmente, con limite ad organi geologici, al Conglomerato di Ca' dell'Ava, mentre a tetto il limite è erosivo ed è coperto dal colluvio. La Formazione di Cascina Colombera si presenta fortemente alterata, indurita, composta da ghiaie poligeniche immerse in un'abbondante matrice di colore 7.5YR÷10YR, ricca in argilla e limo. I ciottoli si frantumano con facilità. Lo spessore dell'unità è variabile per erosione da pochi centimetri a qualche metro.

#### Conglomerato di Cà dell'Ava (CA)

E' un'unità litostratigrafica costituita da depositi

glaciali e fluvioglaciali cementati. Il limite superiore è graduale ad organi geologici con la Formazione di Cascina Colombera. L'unità copre il Conglomerato del Castello di Muscoline a NW dell'area sinora rilevata. In tutto il territorio rilevato sono stati attribuiti al Conglomerato di Cà dell'Ava tutti i conglomerati in facies glaciale e fluvioglaciale che costituiscono l'anima dei numerosi dossi dell'anfiteatro. In questo settore il conglomerato è fortemente eroso ed è coperto da tutte le unità più recenti.

Nella zona a nord (tra Cà dell'Ava e Muscoline), si distinguono due fasi formative separate da una superficie di discontinuità (CA1 e CA2)

#### **Allogruppo di Rio Naviglio (Nav)**

L'allogruppo è stato istituito per comprendere tutti depositi di facies glaciale e fluvioglaciale, cementati e non cementati affioranti al di sotto delle Alloformazioni di Monte San Pietro e di Puegnago, sul lato interno, lungo il Rio Naviglio.

#### **Unità di Picedo (NPi)**

Costituita da depositi glaciali e fluvioglaciali induriti e glacioteettonizzati. Affiora solo in due affioramenti presso Picedo. Il limite inferiore è ignoto, mentre a tetto è limitata da una superficie di erosione sopra la quale si trova l'Alloformazione di Puegnago.

#### **Conglomerato del Castello di Muscoline (Cam)**

Ghiaia litificata, grossolanamente stratificata di petrografia omogenea esclusivamente carbonatica. Forma il ripiano di Muscoline e il rilievo del Castello in corrispondenza dei quali affiora in tutte le incisioni vallive. Secondo Venzo (1957, 1965) questo conglomerato, benchè un po' più grossolano, è analogo a quello che affiora a San Bartolomeo di Salò e che è di età messiniana. I due conglomerati sono in realtà differenti e di conseguenza non si ritiene valida, allo stato attuale, questa correlazione e l'età attribuita al conglomerato di Muscoline.

Il Conglomerato del Castello di Muscoline è coperto da tutte le unità più recenti, in particolare dal Conglomerato di Cà dell'Ava. A tetto si osserva il passaggio all'alterite sviluppata sul conglomerato. Il conglomerato si presenta di colore biancastro e fragile con limite superiore ondulato a tasche. L'alterite è costituita da fini massivi ricchi in argilla (orizzonte Bt) di colore 10YR6/6 e limite superiore netto erosivo. Il passaggio alle alteriti e le alteriti stesse sono attualmente poco visibili in quanto le alteriti sono state oggetto di intenso sfruttamento per la fabbricazione di laterizi.

#### **Allogruppo di Moniga del Bosco (Mon)**

L'allogruppo comprende depositi colluviali polifasici provenienti dalle Alloformazioni di Monte Serina, di Monte Cervo, di Monte Forca e dalla Formazione di Cascina Colombera. Costituisce parte del ferretto degli autori precedenti. Il colore è compreso nella pagina 7.5YR delle tavole Munsell. Lo spessore può essere notevole, l'unità infatti riempie le valli tra i dossi di Conglomerato di Cà dell'Ava. Il limite con le unità sottostanti è una superficie di erosione.

#### **Formazione di Torre (Tor)**

Unità litostratigrafica costituita dal Conglomerato

di Calvagese alterato. L'unità è stata denominata da Venzo: Morenico del Mindel I, Morena di fondo (1957) e Morenico del Mindel II (1965). Affiora a nord della località Torre nell'impluvio sulla sinistra del Fiume Chiese, a nord di Mocasina. Si tratta di ghiaie alterate con livelli di sedimenti fini cementati. A letto l'unità passa gradualmente, con limite ad organi geologici, al Conglomerato di Calvagese, mentre il limite superiore non è stato osservato perchè coperto, ma è ragionevole supporre che l'unità sia coperta dal Conglomerato di Cà dell'Ava che affiora pochi metri più in alto, spostato di circa 50 m.

#### **Conglomerato di Calvagese (Cal)**

E' un'unità litostratigrafica costituita da depositi fluviali cementati. L'unità è stata denominata da Venzo: Ceppo Poligenico del Günz-Mindel (1957) e Anaglaciale Mindel (1965). Affiora solo in due impluvi sulla sinistra del Fiume Chiese, nei pressi di Calvagese della Riviera e a nord di Mocasina, e nel Vallone della Valle.

Si tratta di ghiaie poligeniche, stratificate verso l'alto con immersione verso W, ben cementate. L'unità poggia sulla Formazione di Ponte Clisi è passa gradualmente verso l'alto, con limite ad organi geologici, alla Formazione di Torre.

#### **Formazione di Ponte Clisi (PC)**

Si tratta di un'unità litostratigrafica costituita da depositi glaciali cementati. L'unità è stata denominata da Venzo: Morenico a ciottoloni alpini del Günz II (1957) e Morenico alpino del Günz III (1965). Affiora solo in due impluvi sulla sinistra del Fiume Chiese, nei pressi di Calvagese della Riviera e a nord di Mocasina. Alla base è presente una tillite costituita da till di alloggiamento (fini massivi con clasti carbonatici sparsi, alcuni striati e sagomati a ferro da stiro); segue una tillite costituita da till di ablazione contenente massi, quindi un'alternanza di: limi laminati, sabbie medio-grossolane laminate, ghiaie medie e sabbie e argilla parzialmente cementati.

Il limite inferiore è sconosciuto, il limite superiore è costituito da una superficie di erosione coperta dal Conglomerato di Calvagese.

#### **Conglomerato di Pisenze (Pis)**

Unità litostratigrafica costituita da depositi fluvioglaciali di ambiente deltizio cementati. Affiora sul versante settentrionale della Rocca di Manerba.

## **CONCLUSIONI**

Il rilevamento di dettaglio di parte dell'Anfiteatro del Garda ha permesso di distinguere e cartografare varie unità allostratigrafiche e litostratigrafiche. I metodi utilizzati in questo rilevamento sono in parte differenti da quelli che sono stati impiegati negli anfiteatri già rilevati (Bini 1997b, Bini *et al.*, 2001) a dimostrazione del fatto che non esiste una regola generale di rilevamento del Quaternario continentale valida per qualunque luogo e qualunque contesto. In ogni nuova situazione che si affronta è necessario rivedere, adattare i criteri di rilevamento e metterne a punto di nuovi specifici per quel contesto.

Le unità che contengono depositi glaciali differenti sono sinora otto. Non essendo stato rilevato l'intero anfiteatro è possibile che questo numero vari in futuro;

del resto è noto (Bini *et al.*, 1992; Bini 1997, Bini *et al.*, 2001) che le unità definitive nel rilevamento del Quaternario vanno decise solo al termine del rilevamento stesso. Per tali motivi non c'è da stupirsi, come invece fa Minelli (1997), del fatto che Venzo abbia cambiato idea dal 1957 al 1965 quando ha terminato il rilievo: il metodo di Venzo è ormai superato, ma non i concetti geologici di base, per cui le conclusioni sulle unità e sull'evoluzione di un bacino sedimentario, sia esso giurassico o quaternario, si possono trarre solo al termine del rilevamento dell'intero bacino.

E' comunque più probabile che non subiscano variazioni le unità interne, mentre altre unità potrebbero aggiungersi all'esterno.

Le glaciazioni sinora individuate secondo la definizione di Richmond (1986), sono: la Glaciazione Garda, la Glaciazione Puegnago, la Glaciazione Monte San Pietro, la Glaciazione Monte Forca, la Glaciazione Monte Cervo, la Glaciazione Monte Serina; la Glaciazione Cà dell'Ava e la Glaciazione Ponte Clisi.

Riguardo al problema dell'età delle cerchie moreniche si deve evidenziare come non sia possibile una soluzione sino a che tutti i geologi, che si interessano anche solo marginalmente al Quaternario, non parleranno la stessa lingua.

## RINGRAZIAMENTI

Il lavoro che abbiamo svolto in questi ultimi tre anni, dal 2000 al 2003, non sarebbe stato possibile senza il contributo fondamentale dei nostri studenti: Alpago Daniele, Amigoni Edda, Anselmi Silvia, Arpaia Paolo, Barilli Nicola, Barzaghi Fiorella, Bigoni Paolo, Bonavera Mauro, Bonzini Maria, Brioschi Laura, Brivio Luca, Colombini Ivan, Conti Roberto, Cuzzilla Roberta, Dell'Arciprete Diana, Dell'Orto Stefano, Drera Rosa, Felisari Andrea, Franciamore Valeria, Galli Giuditta, Gardoni Barbara, Gentile Erika, Gerosa Michela, Ghiselli Alice, Grassi Davide, Grosso Davide, Locatelli Elena, Lunghi Riccardo, Lupis Domenico, Mainardi Dario, Mangialetti Morena, Marchesi Cinzia, Massaro Costanza, Molinari Michele, Monti Matteo, Moro Daniele, Pagnoncelli Tecla, Panella Antonio, Pasqualino Di Marineo Maria, Pedersoli Maria Teresa, Pitaro Saverio, Pomati Davide, Pozzi Paolo, Raimondi Matteo, Rech Alberto, Redaelli Chiara, Ronchetti Maurizio, Ruggiero Mario, Santambrogio Daniela, Sarti Chiara, Sarti Ilaria, Scacciante Davide, Scazzosi Valentino, Scola Simone, Soffritti Valeria, Sommariva Nicola, Sozzani Marta, Tendas Antonio, Turisini Chiara, Villa Ilaria, Villa Laura, Zambarnieri Elisa.

## BIBLIOGRAFIA

- BINI A., BOSI C., CARRARO F. E CASTIGLIONI G.B. (1992) - *Cartografia geologica del Quaternario continentale* - In: Consiglio Nazionale delle Ricerche, Commissione per la cartografia geologica e geomorfologica: Carta Geologica d'Italia - 1:50.000 Guida al rilevamento, Servizio Geologico Nazionale Quaderni (III) Vol. 1: 67 - 86
- BINI A. (1997) - *Problems and methodologies in the study of the quaternary deposits of the southern*

*side of the Alps* - Southern Alps Quaternary Geology, IGCP 378 Meeting, Lugano ottobre 1995. *Geologia Insubrica* 2 (2): 11 - 20

- BINI A. (1997) - *Stratigraphy, chronology and palaeogeography of Quaternary deposits of the area between the Ticino and Olona rivers (Italy-Switzerland)* - Southern Alps Quaternary Geology, IGCP 378 Meeting, Lugano ottobre 1995. *Geologia Insubrica* 2 (2): 21 - 46
- BINI A., FELBER M., POMICINO N. E ZUCCOLI L. (2001) - *Geologia del Mendrisiotto (Canton Ticino, Svizzera): Messiniano, Pliocene e Quaternario* - Berichte des Bundesamt für Wasser und Geologie / Rapporti dell'Ufficio Federale delle acque e della geologia BWG/UFAEG 1: 459 pp
- COZZAGLIO A. (1934a) - *Carta geologica delle Tre Venezie. Foglio Peschiera* - Mag. Acque, Venezia
- COZZAGLIO A. (1934b) - *Carta geologica delle Tre Venezie. - Foglio Mantova* - Mag. Acque, Venezia
- COZZAGLIO A. (1939) - *Carta geologica d'Italia. Foglio Brescia* - Ufficio Geologico Roma
- COZZAGLIO A. (1933) - *Note illustrative della Carta geologica delle Tre Venezie. Fogli Peschiera e Mantova* - Mag. Acque Sezione geologica, Padova
- CREMASCHI M. (1987) - *Paleosol and Vetusols in the central Po Plain (Northern Italy) a study in Quaternary Geology and Soil Development* - Edizioni Unicopli, Milano
- HABBE K. A. (1969) - *Die würrzeitliche Vergletscherung des Gardasee-Gebietes* - Freiburger Geographische Arbeiten 3.
- MINELLI R. (1997) - *I suoli dell'area morenica gardesana settore bresciano* - ERSAL
- PENCK A. E BRUCKNER E. (1909) - *Die Alpen im Eiszeitalter* - Leipzig, bd. 3.
- RICHMOND G.M. (1962) - *Quaternary stratigraphy of the La Sal mountains Utah* - Geological Survey Professional Paper, 324: 1-103.
- RICHMOND G.M. (1986) - *Stratigraphy and chronology of glaciations in Yellowstone National Park* - in: Sibrava V., Bowen D.Q. e Richmond G.M. (eds.) *Quaternary glaciations in the Northern Hemisphere. Report IGCP n°24, Quaternary Science Reviews* 5(1-4): 83 - 98
- VENZO S. (1957) - *Rilevamento geologico dell'anfiteatro morenico del Garda. Parte I: tratto occidentale Gardone-Desenzano* - Mem. Soc. It. Sc. Nat. e Museo Civ. St. Nat. Milano, XII (fasc. II): 73 - 140.
- VENZO S. (1961) - *Rilevamento geologico dell'anfiteatro morenico del Garda. Parte II: tratto orientale Garda-Adige e anfiteatro atesino di Rivoli Veronese* - Mem. Soc. It. Sc. Nat., v. 13, n. 1: 1-64. Milano
- VENZO S. (1965) - *Rilevamento geologico dell'anfiteatro morenico frontale del Garda dal Chiese all'Adige* - Mem. Soc. It. Sc. Nat. e Mus. Civ. St. Nat. Milano, XIV (fasc. I): 3 - 82.

Ms. ricevuto l'11 maggio 2004  
Testo definitivo ricevuto il 1° settembre 2004

Ms. received: Maj 11, 2004  
Final text received: September 1, 2004