

CAPITOLO 1

LE ROCCE E I SITI DI COLTIVAZIONE DEL TERRITORIO DI NEMBRO

A cura di Michele Rinaldi

1.1 INTRODUZIONE

Questo lavoro è stato elaborato per poter fornire le principali basi geologiche necessarie alla comprensione dei processi di formazione delle rocce e la loro interpretazione, con una successiva analisi del territorio di Nembro. La conoscenza che oggi abbiamo riguardo le epoche passate, dove ovviamente la testimonianza diretta dell'uomo non poteva essere presente, è del tutto legata allo studio e alla comprensione delle formazioni rocciose che ci circondano e che costituiscono il pianeta in cui viviamo. Le informazioni che possiamo ricavare sono spesso frammentarie e incomplete a causa dei notevoli processi di rinnovamento a cui le rocce superficiali vanno incontro durante la loro vita: basti pensare all'enorme quantità di materiale sciolto che ogni giorno si osserva sui versanti delle montagne o in corrispondenza degli ambienti marini e fluviali. Come vedremo più avanti, la loro origine è legata allo smantellamento di rocce preesistenti e ciò porta necessariamente a una perdita delle informazioni contenute in esse. D'altra parte questi stessi materiali sono una componente fondamentale dello studio, in quanto nel corso dei tempi geologici essi tendono a formare nuove rocce, definite sedimentarie, nelle quali sono contenute ulteriori informazioni che possiamo estrapolare.

È di importanza fondamentale avere chiaro il concetto di tempo geologico: nell'opinione comune si tende a pensare come l'arco di un'intera vita umana sia un tempo relativamente lungo, dove decine e decine di fenomeni possono verificarsi e ne influenzano il corso. In geologia questo concetto cade, ovvero qualsiasi processo geologico si sviluppa sull'arco di diversi milioni di anni nei casi più brevi, per passare anche a cicli di più di 400 milioni di anni come per la deriva dei continenti. Tutto ciò implica modificare il proprio concetto di tempo e riuscire a ragionare anche osservando le relazioni temporali presenti tra un evento e un altro, nonostante si sviluppino su intervalli temporali molto lunghi. Spesso infatti gli studi teorici tendono ad analizzare un singolo evento nei suoi dettagli, tralasciando però quelle che sono le inevitabili relazioni che si manifestano fra i vari processi. Nei sistemi naturali, come quelli studiati in scienze geologiche, la cosa più difficile è sicuramente riuscire a comprendere le interazioni che si verificano tra la moltitudine di processi agenti all'interno di una determinata area. Non è infatti possibile osservare in modo diretto nessuno di questi, proprio a causa del fatto che si sviluppano su un arco di tempo che va ben oltre quello di una vita umana. È necessario dunque procedere a ritroso, ovvero dai risultati ricostruire l'evento stesso, con tutte le complicazioni che è possibile intuire, legate al fatto che processi differenti possono portare a risultati identici. Per risolvere questi dubbi è necessaria una stretta interazione della geologia con ulteriori discipline, non prettamente geologiche, tra le quali la fisica, la biologia e la chimica. Come sempre osservare uno stesso fenomeno sotto punti di vista differenti apre porte che spesso venivano considerate chiuse.

In Figura 1.1 si può osservare come la storia della Terra sia stata suddivisa in numerosi periodi, organizzati in modo gerarchico, delimitati da eventi importanti dal punto di vista geologico. Si nota infatti la presenza di "chiodini" gialli posti in corrispondenza del passaggio da un periodo ad un altro, indice che un particolare evento è avvenuto, modificando in modo sostanziale il nostro pianeta, di cui si è a conoscenza in quanto ha lasciato tracce all'interno delle rocce. Un'occhiata poco approfondita all'immagine può però portare a un fraintendimento notevole delle informazioni che possediamo riguardanti la storia della Terra. Potrebbe infatti sembrare che si siano studiati e compresi quasi tutti gli eventi principali che caratterizzano il nostro pianeta, ma purtroppo non è così. Osserviamo infatti le età elencate nell'immagine: il primo "chiodino" si posiziona a 635 milioni di anni fa, corrispondente alla comparsa dei primi artropodi. Ma l'età della Terra è

approssimabile a 4.6 miliardi di anni dalle analisi isotopiche, indice dunque che la nostra conoscenza si limita a comprende al meglio quelli che sono i processi più recenti, ma le epoche più lontane, dove il pianeta non era ancora come lo conosciamo oggi, sono spesso precluse dalla mancanza di informazioni.

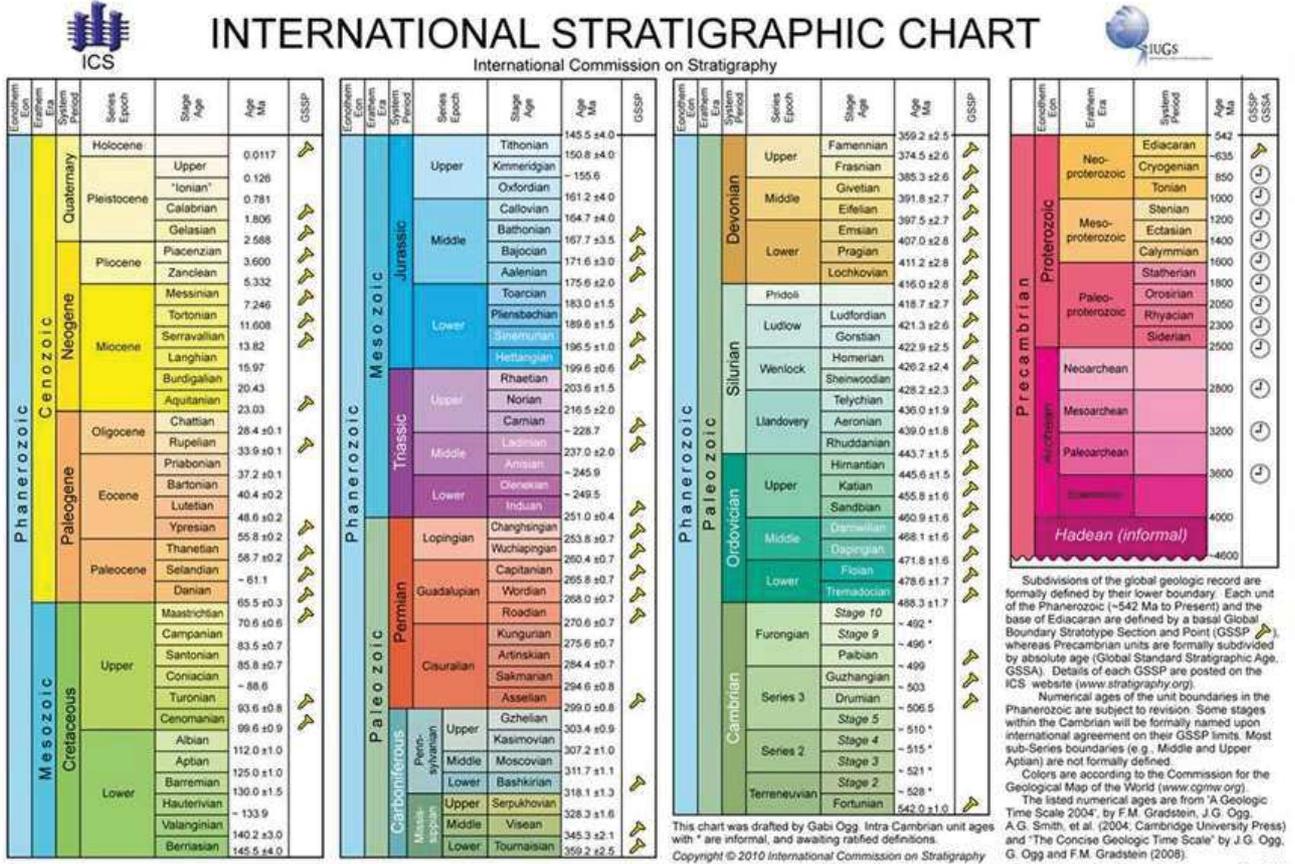


Figura 1.1 - Scala dei tempi geologici, redatta dall'International Commission on Stratigraphy (2010).

C'è ancora dunque molto da fare per ricostruire la storia del nostro pianeta, ma la forte mancanza di rocce con età superiore ai 600 milioni di anni è un limite spesso invalicabile che può essere solo aggirato mediante l'utilizzo di modelli geologico – fisici che, spesso, non trovano un riscontro adeguato nella realtà. È dunque necessario riuscire a sviluppare ulteriori metodi di ricerca che si basino necessariamente sull'analisi del materiale geologico, in primis delle rocce, ma che si appoggino anche su conoscenze derivate da altre discipline.

Con il presente lavoro si presentano i principali concetti teorici, trattati in maniera molto semplificata, in modo da permettere al lettore di conoscere le basi geologiche necessarie a una migliore comprensione del territorio, con una focalizzazione su quello nembrese. Essendo la geologia una scienza molto ampia dal punto di vista degli argomenti trattati, si rimanda inevitabilmente alla lettura anche dei capitoli successivi, dove altri autori approfondiranno ulteriori argomenti per una panoramica generale più completa.

1.2 LE TRE PRINCIPALI TIPOLOGIE DI ROCCE

Un sistema complesso come la natura porta alla formazione di un numero estremamente elevato di prodotti, ovvero una quantità di rocce molto diverse fra di loro, associabili a diversi processi geologici e che, dunque, contengono informazioni differenti. Riuscire a capire a quale categoria una roccia appartiene rappresenta il primo e fondamentale passo per poter dare una corretta interpretazione del materiale geologico che si ha a disposizione.

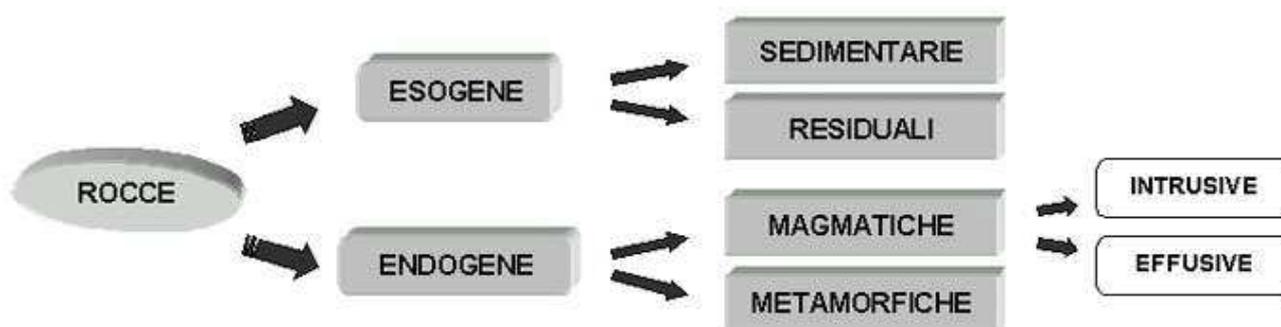


Figura 1.2 - La classificazione delle rocce. Immagine presa da www.architettura.unige.it.

Il primo aspetto che la Figura 1.2 sottolinea è la suddivisione delle rocce in due grandi categorie, dipendenti da dove i processi che hanno portato alla loro formazione si sono verificati. Possiamo infatti distinguere questi processi in due grandi categorie:

- Esogeni: raccoglie tutti i processi che si sviluppano sulla superficie terrestre, come l'erosione delle rocce da parte degli agenti atmosferici, la deposizione del materiale sciolto in depressioni topografiche e l'ablazione glaciale.
- Endogeni: questa categoria contiene un numero molto elevato di processi che avvengono al di sotto della superficie, ovvero all'interno del nostro pianeta, spesso complessi e non del tutto chiari ancora oggi. Un esempio è il magmatismo che dà origine a grandi risalite di magma dalle zone più profonde del nostro pianeta che, a volte, si manifestano in eruzioni vulcaniche.

La suddivisione dei processi in questi due grandi ambiti gioca un ruolo fondamentale per quanto riguarda la localizzazione delle rocce legate ad essi. Infatti è ovvio che un litotipo, ovvero una particolare tipologia di roccia (arenaria, conglomerato, marmo, granito, ecc.), derivante da processi esogeni è molto più comune sulla superficie rispetto ad altri, proprio a causa della sua natura così superficiale. Ciò non significa che le altre litologie non siano presenti, ma dal punto di vista della loro diffusione sono decisamente più ridotte. Importante sottolineare che questo vale solo per la superficie della Terra: al di sotto di 8 – 35 km, in funzione dell'ambiente in cui ci troviamo, le rocce legate a processi esogeni non sono più presenti. Mancano infatti le condizioni per cui esse si generano e, quindi, la loro formazione è impedita. Ciò comporta che l'interno della terra ha una composizione sia chimica che mineralogica completamente differente da quella superficiale. Questo concetto è espresso in modo chiaro nella Figura 1.3 dove il grafico a torta mostra la distribuzione delle tre grandi categorie di roccia nelle zone superficiali (a), con una panoramica degli elementi chimici che le compongono (b). Notiamo che le rocce sedimentarie, di colore verde chiaro nel grafico, siano dal punto di vista volumetrico decisamente inferiori. Questo è dovuto, come accennato poco fa, al fatto che i loro processi genetici si possono sviluppare solo in corrispondenza della superficie. Ciò però

non significa che siano poco comuni, anzi: nella nostra esperienza diretta sono la maggior parte delle rocce che incontriamo perché, come loro, siamo sulla superficie della Terra. Possiamo dunque definire, almeno in modo molto generale, che le rocce sedimentarie sono una pellicola molto sottile che avvolge la maggior parte del nostro pianeta, rendendole dunque molto importanti per la vita dell'uomo.

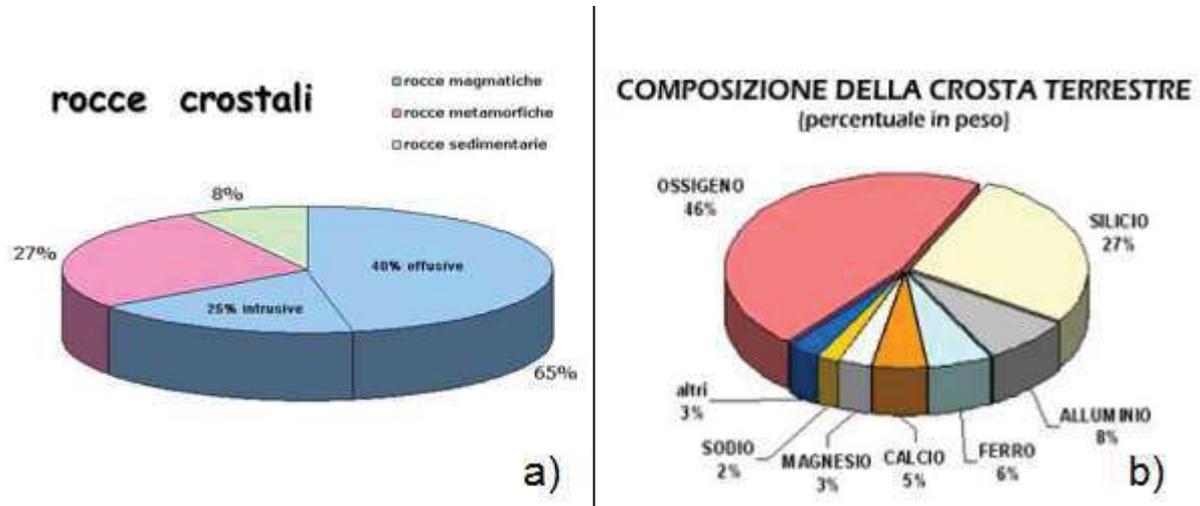


Figura 1.1 - a) La distribuzione delle principali tipologie di rocce sulla superficie, b) Panoramica generale degli elementi che compongono le rocce nella crosta terrestre. Immagini prese da www.slideshare.net.

Passiamo ora all'analisi delle tre grandi tipologie di roccia, elencate nella parte destra della Figura 1.2.

1.2.1 Le rocce magmatiche

Per definizione, queste rocce sono il prodotto del raffreddamento e solidificazione di un magma (fuso in risalita dalle zone profonde della Terra) all'interno di rocce ospiti, definite incassanti. In funzione della profondità a cui queste si posizionano possiamo definire due grandi categorie: rocce intrusive e rocce effusive.

Le prime sono litologie riscontrabili quando la cristallizzazione avviene a profondità relativamente elevate, che implica una velocità di raffreddamento molto bassa. Si stima infatti che, per una completa cristallizzazione del magma, possano essere necessari anche diversi milioni d'anni. Ciò permette al sistema chimico di riequilibrarsi e di sviluppare minerali con un abito cristallino ben definito, ovvero cristalli che mostrano una regolarità nella forma esterna. Un tipico esempio di queste rocce sono i graniti, spesso utilizzati come pietre ornamentali e per questo motivo molto conosciuti. Come visibile dalla Figura 1.4a, i minerali all'interno di questa roccia sono ben visibili anche ad occhio nudo, caratteristica che contraddistingue fortemente questa litologia.

La seconda categoria di rocce è, almeno come impatto visivo, completamente differente. Differisce infatti sia dal punto di vista della composizione chimica e mineralogica, ma soprattutto dalla dimensione dei cristalli contenuti in essa. Infatti le rocce effusive si formano quando la velocità di raffreddamento è molto elevata, come durante l'emissione di lava all'interno di un ambiente marino. Il forte shock termico impedisce lo sviluppo di minerali con un abito ben definito, favorendo la formazione di vetro e cristalli con una

granulometria molto piccola. Il classico esempio è il basalto, mostrato in Figura 1.4(b), dove ad occhio nudo è difficile scorgere i minerali. D'altra parte, in prima battuta, all'interno di questa categoria possiamo far rientrare anche le rocce vulcaniche, ovvero rocce legate a manifestazioni superficiali di magmatismo, come le eruzioni. Come tutti sappiamo, questi fenomeni portano all'immissione in atmosfera di un'elevatissima quantità di materiale, con le più svariate dimensioni. Passiamo infatti dalla cenere alle cosiddette bombe vulcaniche, ovvero parti di roccia di dimensioni consistenti lanciate anche a grandi distanze durante l'eruzione. La successiva deposizione di tutto questo materiale porta alla formazione di rocce caratteristiche di questi ambienti, come i tufi e le pomice (Figure 1.4c e 1.4d).



Figura 1.2 - a) Granito, b) Basalto, c) Tufo, d) Pomice. Immagini prese da www.catalogo.jorgefernandez.es.

Le rocce magmatiche sono rocce molto diffuse nel mantello terrestre e testimoniano la forte attività interna del nostro pianeta, diventando importanti archivi geologici contenenti informazioni sui processi che si sviluppano nelle sue profondità.

1.2.2 Le rocce metamorfiche

In questa categoria rientrano tutte quelle rocce che ad un certo punto della loro storia sono andate incontro a una variazione delle condizioni ambientali a causa di un processo tettonico¹. Una variazione dei parametri fisico – chimici implica necessariamente un riequilibrio del sistema stesso, ovvero la roccia reagisce cercando di stabilizzarsi alle nuove condizioni e, spesso, si deforma. Queste variazioni possono interessare tre principali parametri: la temperatura, la pressione e la composizione chimica. La roccia di partenza, definita “protolita”, può essere una qualsiasi roccia presente sul nostro pianeta. Possiamo quindi avere un metamorfismo su una roccia sedimentaria, su una magmatica e, in casi non rari, anche su una stessa roccia metamorfica, con risultati differenti.

¹ Per ulteriori informazioni a riguardo si rimanda al capitolo 3: La geologia tettonica e strutturale.

Un contesto metamorfico si instaura in corrispondenza di zone tettonicamente attive, ovvero in zone in cui le placche litosferiche tendono a collidere o a divergere. Le rocce, inevitabilmente, rispondono a questo nuovo contesto geodinamico, registrando gli eventi stessi all'interno di esse. Questa litologie sono dunque fondamentali per la ricostruzione dei grandi eventi che hanno portato, ad esempio, alla formazione dei supercontinenti e i loro movimenti durante la storia della Terra. È facile intuire come, in funzione del protolita di partenza, il risultato tenderà a variare notevolmente: i carbonati, ad esempio, reagiscono in modo molto forte, ricristallizzando. Nasce così una delle rocce più utilizzate nell'antichità nell'arte, ovvero i marmi (Figure 1.5a e 1.5b).



Figura 1.5 - a) Marmo di Botticino, b) Marmo di Carrara. Immagini prese da www.Archiproducts.com.

1.2.3 Le rocce sedimentarie

Quest'ultima categoria comprende un elevato numero di rocce derivanti da processi esclusivamente esogeni. Possiamo suddividerle a loro volta in tre grandi categorie in funzione del loro processo di formazione: rocce detritiche, rocce organogene e rocce chimiche. Importante sottolineare che questa classificazione offre una panoramica generale sui processi di formazione di queste litologie, ma in un contesto naturale è verosimile che più processi agiscano contemporaneamente. Per semplicità nei paragrafi seguenti verranno descritte in modo separato, ma non c'è alcuna ragione per pensare che non possano formarsi nello stesso ambiente deposizionale.

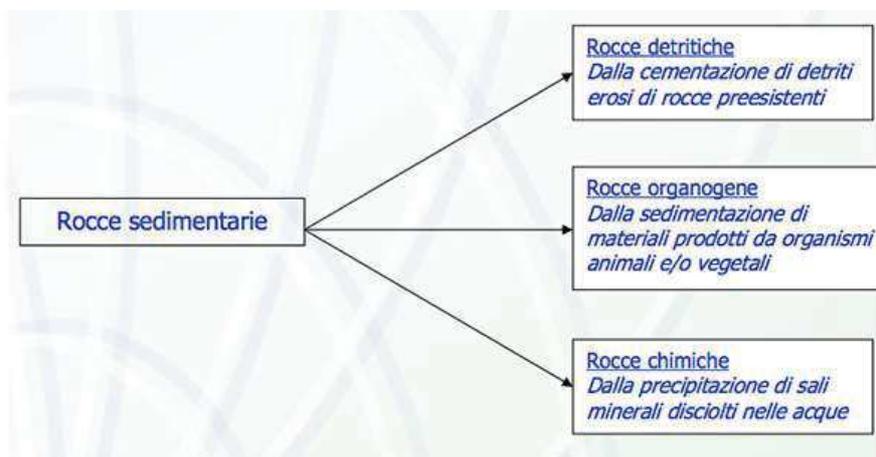


Figura 1.6 - Suddivisione delle rocce sedimentarie in funzione della loro origine. Immagine presa da www.meridiani.info.

Le rocce detritiche sono legate ai fenomeni atmosferici in grado di degradare in modo notevole qualunque roccia presente sulla superficie terrestre, con intensità differente in funzione del clima in cui si trovano. L'alterazione tende ad essere massima in un clima tropicale, dove l'alternanza delle stagioni delle piogge con quelle secche creano un forte squilibrio, portando a livelli estremi il deterioramento. L'alterazione fa sì che la matrice rocciosa diventi meccanicamente instabile, ovvero c'è un forte calo di resistenza della roccia stessa, che può essere facilmente disgregata ed erosa dagli stessi agenti atmosferici che la alterano. Il materiale prodotto in questo modo viene preso in carico dai corsi d'acqua e trasportato in corrispondenza di quello che viene definito un bacino sedimentario, ovvero una depressione topografica, il quale permette di accogliere questi sedimenti. Con il passare del tempo, i vari sedimenti si accumulano, sovrapponendosi, iniziando così il processo di litificazione, ovvero il passaggio da un materiale sciolto, come può essere la ghiaia o la sabbia, a una roccia vera e propria, come l'arenaria e il conglomerato. Possiamo dire, dunque, che una roccia di tipo detritico contiene inevitabilmente parti di rocce preesistenti, scomparse a causa dell'alterazione.

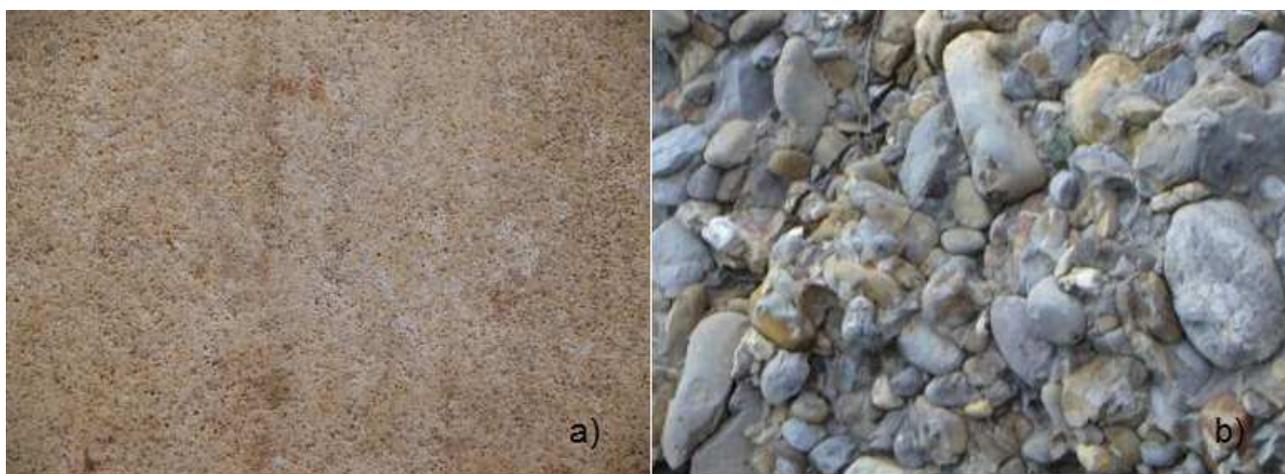


Figura 1.7 - a) Arenaria, b) Conglomerato. Immagini prese da www.impremar.it e www.parcoportofino.it.

La seconda categoria di rocce sedimentarie presente nella Figura 1.6 sono le rocce organogene. Di carattere profondamente diverso rispetto a quelle descritte precedentemente, nascono dall'accumulo all'interno di un bacino sedimentario di parti dure degli organismi che vivono all'interno del bacino stesso. Sono dunque ricche di fossili e di tracce di organismi passati, spesso estinti. Diventano dunque archivi importantissimi per conoscere la fauna e la flora delle epoche passate, le quali sono scomparse a causa della selezione naturale. All'accumulo di queste parti dure segue un processo di cementazione e litificazione, ovvero la precipitazione di carbonato di calcio che cementa, nel senso vero e proprio del termine, i materiali sciolti, trasformandoli in rocce. Per immagini ed ulteriori informazioni consultare il paragrafo "Analisi delle litologie del territorio", dove verranno trattate con maggiore dettaglio.

Abbiamo infine quelle che sono le rocce di origine chimica, ovvero legate alla precipitazione di carbonati dalle acque. Questa precipitazione è legata al raggiungimento del limite di saturazione dell'acqua stessa che, diventando incapace di accogliere ulteriori elementi all'interno di essa, crea del materiale solido che precipita verso il fondo. L'accumulo di precipitato porta alla formazione di litologie caratteristiche, come il travertino mostrato in Figura 1.8



Figura 1.8 - Due diverse tipologie di travertino. L'immagine a destra mostra una roccia decisamente più porosa, quella a sinistra mostra invece una migliore stratificazione dovuta a variazioni cromatiche, verosimilmente legate a differenze composizionali. Immagini prese da www.irisfmg.it e www.caesar.it.

Da qui si deduce facilmente quello riportato pochi paragrafi sopra: questa tipologia di rocce, legate a processi esogeni, sono necessariamente le più comuni, in quanto derivate da una serie di fenomeni che si sviluppano in modo molto forte sulla superficie terrestre e solamente su di essa. Sono inoltre i principali archivi geologici in quanto, come verrà trattato in modo più approfondito nelle sezioni successive, sono le litologie che al meglio registrano le variazioni ambientali e gli eventi che si sono susseguiti nel corso della storia del nostro pianeta.

Dal punto di vista del nostro territorio sono le rocce più presenti e quindi quelle su cui focalizzeremo la nostra attenzione, in particolare approfondendo i concetti teorici legati alla loro genesi.

I sedimenti

I sedimenti sono tutto ciò che costituisce una roccia sedimentaria, ovvero il tassello fondamentale che permette di interpretarla. Alcuni esempi sono la ghiaia, la sabbia, le argille e i fossili. Esistono numerose tipologie di sedimenti, ognuna legate a un particolare ambiente di origine, ma in generale possiamo suddividerli in due grandi categorie che permettono di fare una prima analisi:

I clasti

Dal greco "*Klastos*", ovvero rotto, costituiscono una parte fondamentale delle rocce definite terrigene. Sono costituiti da frammenti solidi prodotti dall'alterazione di rocce preesistenti di qualsiasi origine (sedimentaria, magmatica e metamorfica) e trasportati fisicamente da acqua, vento, ghiaccio e gravità. La dimensione, la forma e la composizione, data la loro natura, sono molto varie. Spesso sono anche detti silicosclastici perché la maggior parte è prodotta dall'alterazione di rocce composte da minerali silicatici. La composizione dei clasti dipende dalla stabilità chimica del minerale di partenza e dell'intensità dell'alterazione. Consideriamo infatti che la maggior parte dei minerali si forma in condizione di pressione e temperatura non ambientali, ovvero in profondità. Il peso delle rocce sovrastanti e il normale aumento di temperatura man mano che ci si allontana dalla superficie implica la formazione di minerali che diventeranno instabili quando esposti all'atmosfera, rendendoli facilmente disaggregabili. Entra così in gioco l'alterazione, ovvero un processo fisico – chimico per cui gli agenti atmosferici, principalmente l'acqua, riescono a sgretolare le

rocce e a raccogliere i prodotti di tale azione, convogliando i sedimenti all'interno di uno dei bacini successivamente descritti. Di conseguenza sono sedimenti estranei al bacino stesso, trasportati dalle acque anche per diversi chilometri.



Figura 1.9 - Deposito di materiale sciolto a granulometria grossolana. Immagine presa da www.pebble.com.

I sedimenti chimici e biochimici

Sono costituiti da nuove sostanze chimiche formate per precipitazione, molto spesso legata al normale ciclo di vita degli organismi che popolano i vari bacini, a partire da componenti disciolti in acqua. L'alterazione chimica, come già detto precedentemente, immette elementi all'interno delle acque di laghi, fiumi e mari, che successivamente precipitano. Questi sedimenti includono depositi minerali come il gesso, il sale, la calcite (comunemente detta carbonato di calcio) e la dolomite (minerale noto principalmente per la sua presenza nelle Dolomiti), ma contengono anche depositi biogenici, ovvero accumuli della parte degli organismi che, dopo la morte, precipitano sul fondo (ad esempio i gusci e le conchiglie). I sedimenti chimici generalmente si formano nel luogo di deposizione, al contrario dei clasti. In mare profondo i sedimenti prevalenti sono costituiti da gusci di organismi, mentre in acque meno profonde sono costituiti da una grande varietà di fossili legati al numero molto alto di comunità di organismi che popolano queste aree.

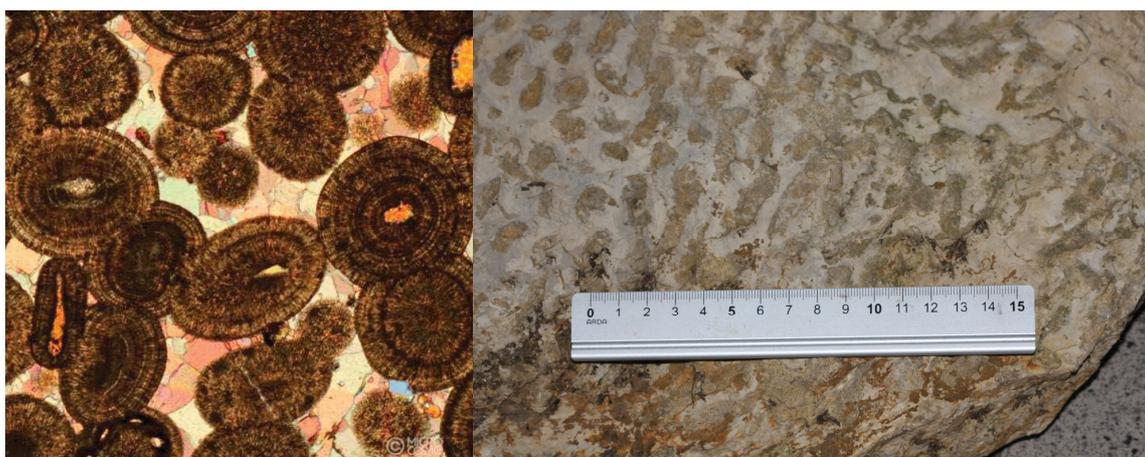


Figura 1.10 – A sinistra Ooidi, o ooliti, ovvero particelle a base carbonatica formatesi mediante un continuo rotolamento di materiale sul fondo marino, in un ambiente tranquillo. A destra un banco di coralli all'interno del Calcarea di Zu. Fotografie rispettivamente di www.wordnik.com e Gianni Comotti.

Come è possibile dunque notare le varie tipologie di rocce sedimentarie contengono all'interno di sé un numero impressionante di informazioni legate alla loro origine, da cui si può risalire all'ambiente di formazione. Un esempio tipico è trovare i resti di una barriera corallina, indice di un ambiente di formazione in clima tropicale, ovvero con acque calde che permettono la proliferazione di questi organismi, all'interno di una catena montuosa. Altri esempi possono essere le rocce terrigene legate ai processi di alterazione, i quali giocano un ruolo fondamentale per la produzione dei sedimenti. Essendo questi processi legati ad agenti atmosferici è facile pensare che al variare delle condizioni ambientali locali ci sia un diverso apporto di sedimenti clastici, con la conseguente maggiore formazione di rocce terrigene, indice di variazioni climatiche.

In conclusione possiamo dire che le rocce sedimentarie sono un archivio geologico in cui sono registrate le condizioni fisico – chimico – biologiche presenti sulla Terra al momento della loro formazione e, dunque, sono fondamentali per caratterizzare e capire l'ambiente, nonché le cause ed effetti che lo modificano.

1. 3 I BACINI SEDIMENTARI

Per definizione, un bacino sedimentario è una depressione in cui si raccolgono i sedimenti che, con il passare del tempo, diventeranno rocce grazie ai processi di litificazione. La comprensione delle varie tipologie di rocce permette di studiare, comprendere e ricostruire l'ambiente di deposizione e, di conseguenza, capire come si è evoluto un territorio durante le epoche geologiche. Per poter correttamente analizzare le successioni rocciose che il nostro paese presenta è dunque necessario introdurre una serie di concetti che permettano di leggere i parametri chiave contenuti all'interno della matrice rocciosa e attribuire loro un ruolo nel determinare le condizioni genetiche. Iniziamo dunque ad analizzare alcuni aspetti chiave di un bacino sedimentario:

1.3.1 Le leggi fondamentali

Sin dalla nascita della geologia, i nostri predecessori hanno evidenziato una serie di semplici riscontri geometrici che costituiscono ancora oggi i principi base dell'analisi geologica, necessari per comprendere l'evoluzione nello spazio e nel tempo delle successioni sedimentarie. È di importanza fondamentale sottolineare che un corpo geologico deve essere osservato in quattro dimensioni per poter esprimere al meglio le informazioni che esso contiene: le prime tre dimensioni sono le estensioni che ne determina il posizionamento nel territorio, mentre la quarta è la dimensione temporale. Il tempo gioca un ruolo importantissimo nella geologia: nel corso dei milioni di anni le caratteristiche climatiche, geodinamiche e ambientali del pianeta variano continuamente, rendendo la Terra un sistema in continua evoluzione. Ricordiamo sempre il concetto di tempo geologico: dobbiamo inevitabilmente pensare che l'evoluzione della Terra si sviluppa su una scala temporale che va ben oltre quello di una vita umana.

Consideriamo ora le tre leggi fondamentali della geologia del sedimentario, formulate centinaia di anni fa ma tuttora valide:

1) Principio dell'orizzontalità originaria e della continuità laterale degli strati

Steno, nel 1686, per primo ha evidenziato che uno strato che si sovrappone ad un altro già indurito presenta geometrie orizzontali e una grande continuità laterale. Il principio è ritenuto valido per la maggior parte dei processi deposizionali in bacini estesi e regolari, come ad esempio in quelli oceanici. Esistono ovviamente delle eccezioni in cui gli strati si depongono inclinati e vengono definite clinostratificazioni. Un esempio classico sono le piattaforme carbonatiche, di cui si parlerà più avanti.

2) Principio della sovrapposizione

Stabilisce che, in una successione di strati, quello più basso è il più antico e quello più alto è recente. Anche questo principio è sottoposto a numerose eccezioni, dovute principalmente al fatto che le rocce vengono influenzate dagli eventi tettonici, i quali possono addirittura ribaltare un'intera successione sedimentaria, posizionando gli strati più giovani sotto a quelli più vecchi. Per riconoscere la polarità, ovvero in che direzione ringiovaniscono le rocce, si utilizzano delle datazioni basate sull'identificazione e l'analisi dei fossili, nonché su analisi radiometriche, ovvero sfruttando il tempo di decadenza di atomi instabili.

3) Principio dell'attualismo

"Il presente è la chiave del passato", affermazione che rese celebri Hutton e Lyell, due dei personaggi che diedero il maggior contributo allo sviluppo di questa scienza. Con questa frase si afferma che la conoscenza dei processi geologici attuali può portare alla comprensione di eventi passati oggi non più riscontrabili. Possiamo però dare un'interpretazione contraria ma complementare: "Dallo studio di eventi passati si può comprendere il presente e la sua evoluzione futura", ovvero lo studio delle età precedenti alla nostra può fornire una chiave per la prevenzione di eventi che oggi, purtroppo, sono responsabili di vari disastri.



Figura 1.11 - Sir Charles Lyell (a sinistra), uno dei padri della geologia insieme a James Hutton (a destra). Immagini prese da www.wikipedia.it.

Questo principio viene considerato uno dei più importanti mai formulati, in quanto permette dallo studio dei processi geologici attuali di ricostruire quelli che sono stati i grandi eventi che hanno portato alla formazione della Terra come oggi la vediamo. Un discorso analogo

può essere fatto per quanto riguarda le condizioni di vita degli organismi, ormai estinti, riscontrabili nelle rocce come fossili. Spesso questi organismi antichi possiedono una parentela, sia legata all'evoluzione naturale sia a conformazione anatomiche, con le specie attuali. Conoscere dunque gli habitat della flora e della fauna attuale gioca un ruolo fondamentale per interpretare correttamente le informazioni che i fossili ci possono fornire.

1.3.2 Il Bacino Sedimentario

Per depressione si intende uno spazio concavo ribassato, subacqueo, il quale permette l'accomodamento dei sedimenti. Un bacino sedimentario presenterà dunque due aree principali: una zona centrale ribassata, ovvero il punto in cui si accumula la maggior quantità di sedimenti, e una zona laterale rialzata, che delimita il perimetro del bacino stesso e che nel suo intorno vede la presenza di zone da cui arriveranno i sedimenti. Come è possibile intuire le rocce che si formano in queste due zone presenteranno dei caratteri diversi in funzione dell'apporto di materiale, specialmente per quanto riguarda la loro composizione. È necessario sottolineare che, durante uno studio geologico, la ricostruzione della geometria del bacino viene fatta mediante le varie litologie perché, nella maggior parte dei casi, la forma originale di questa depressione è andata persa a causa della tettonica. Non è possibile dunque riconoscere in che posizione del bacino ci troviamo osservando semplicemente la topografia.

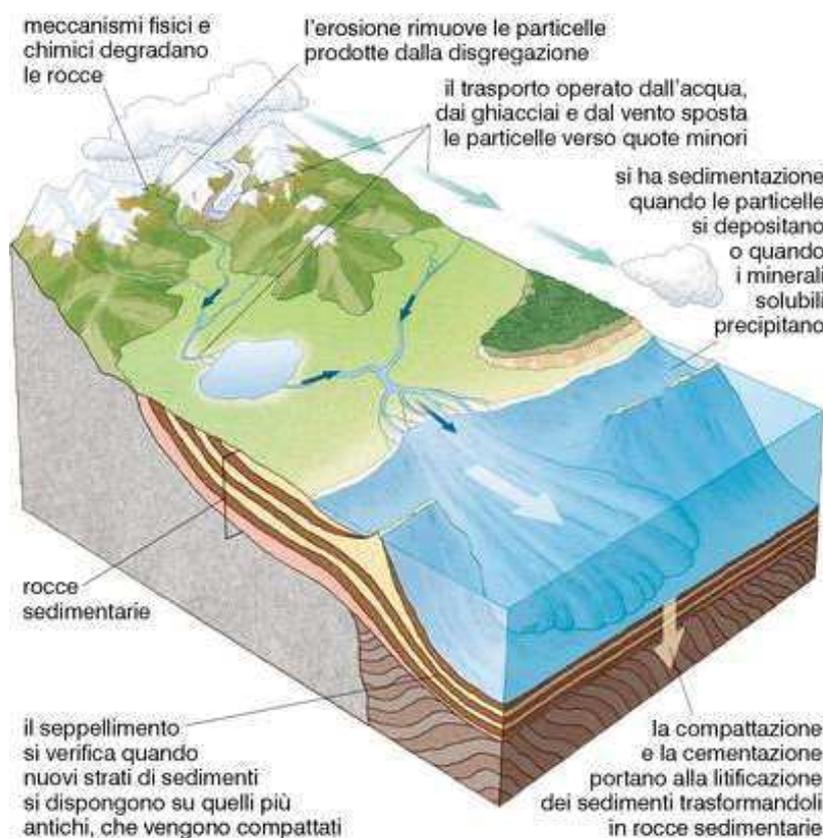


Figura 1.12 – Transetto della parte marginale di un bacino sedimentario rappresentante la zona di transizione fra il continente e la crosta oceanica profonda. Immagine presa da www.treccani.it.

L'origine di questa depressione non è sempre facile da descrivere, specialmente quando più fattori geologici ne sono responsabili contemporaneamente. Lo studio di un ambiente sedimentario implica dunque riuscire a comprendere le informazioni che una roccia contiene per ricostruire a ritroso le condizioni ambientali presenti nel passato. Conoscendo gli attuali ambienti è possibile dare un forte sostegno alle teorie paleoambientali, così come anticipato nel principio dell'attualismo di Hutton.

In Figura 1.12 è mostrato un transetto della parte marginale di un bacino sedimentario, ovvero la zona di transizione tra il continente e la crosta oceanica profonda, con le principali relazioni tra ambiente subaereo e ambiente subacqueo. Il riempimento di un bacino sedimentario e la conseguente deposizione delle rocce sedimentarie derivano dall'interazione tra una vasta gamma di fattori: l'apporto dei sedimenti, la tettonica, il clima, la latitudine, le variazioni del livello del mare, il chimismo delle acque, l'attività biologica, l'energia dell'ambiente (presenza di moti ondosi, maree e correnti oppure la loro assenza) e lo spazio di accomodamento, ovvero la disponibilità di spazio per l'accumulo del materiale sedimentario.

La complessa azione di tutte queste variabili porta inevitabilmente a un vasto numero di risultati in termini di tipologia di ambienti deposizionali. Per semplificarne lo studio, sono state definite due grandi categorie di ambienti deposizionali: i sistemi silicoclastici e i sistemi carbonatici.

I sistemi silicoclastici

Qui si formano le rocce terrigene, come i conglomerati e le arenarie. Gli ambienti silicoclastici più importanti sono quelli continentali, quelli di mare profondo e quelli transizionali, ubicati tra i due precedenti (Figura 1.13).

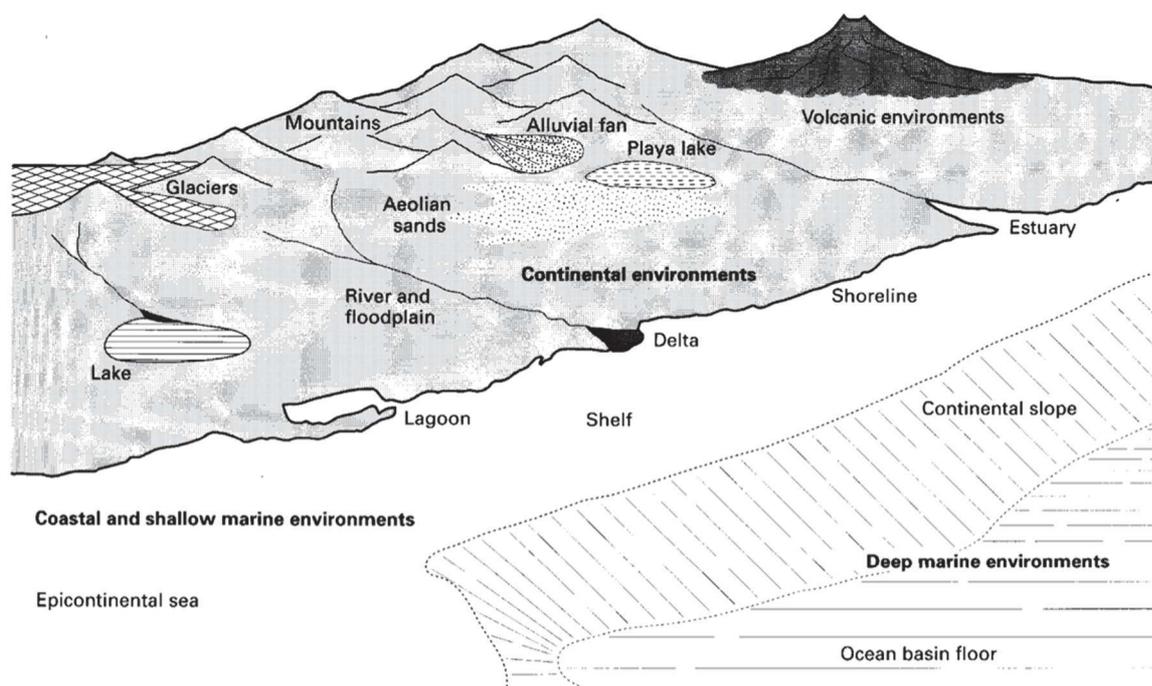


Figura 1.13 – Disegno schematico di un ambiente di deposizione di carattere silicoclastico. Illustrazione presa dalle dispense del corso “Analisi di facies”, tenuto dal professor Fabrizio Felletti.

Procedendo con ordine, gli agenti atmosferici tendono a degradare quelle che sono le rocce presenti in corrispondenza del rilievo montuoso. Il primo passaggio dunque è riuscire a ridurre notevolmente la coerenza delle rocce, ovvero renderle meno resistenti dal punto di vista meccanico: quando una roccia perde la propria resistenza è anche più propensa a sgretolarsi sotto l'effetto degli stessi agenti atmosferici. Il materiale prodotto dal deterioramento dell'iniziale matrice rocciosa viene preso in carico dai diversi corsi d'acqua che solcano il territorio, spingendolo verso valle. La prima zona di deposizione dei sedimenti si ha alle base delle valli montane dove si formano le conoidi alluvionali, grandi corpi con forma a ventaglio, dove si sedimentano materiali grossolani come ghiaie e sabbie. I sistemi fluviali trasportano successivamente il materiale terrigeno a quote via via sempre più basse, fino ad arrivare a laghi e oceani. Da un punto di vista energetico un torrente montano tende ad essere più turbolento rispetto a un corso d'acqua in pianura, con una conseguente differenza nelle dimensioni dei sedimenti che possono essere trasportati. Infatti, più è elevata l'energia e più il materiale trasportato in sospensione avrà dimensioni elevate. Non è dunque un caso che, in corrispondenza di un ambiente montano, i sedimenti che osserviamo accanto a un torrente tendano ad avere dimensioni relativamente alte, così come è facile intuire che argilla, limo e sabbia fine andranno a depositarsi dove il fiume tende a rallentare, ovvero in corrispondenza della foce. Il fiume rallenta notevolmente a causa dell'attrito dovuto all'immissione delle sue acque all'interno di un mare, dove il materiale decanta e, dunque, a precipitare sul fondo, accumulandosi. Gli ambienti transizionali da continente a oceano sono i delta ed estuari, diretta continuazione degli ambienti continentali fluviali, e gli ambienti costieri, come lagune e spiagge.

I vari ambienti possono essere progradanti, cioè tendenti ad avanzare verso mare grazie all'accumulo dei sedimenti, o trasgressivi, ovvero fortemente dominati dall'erosione dovuta all'intensa interazione tra correnti, onde e maree. Gli estuari sono ambienti deposizionali trasgressivi mentre i delta sono ambienti progradanti. Altre zone di particolare importanza per deposizione dei sedimenti sono le zone continentali desertiche, dove la sabbia viene costantemente rimaneggiata dal vento, le piattaforme silicoclastiche con profilo inclinato verso mare, il quale favorisce il trasporto e la deposizione del materiale terrigeno e i bacini dove si deposita materiale terrigeno trasportato per svariati chilometri da frane sottomarine, dette torbiditi, che si originano sulla scarpata.

Nel corso dei vari milioni di anni questi sedimenti andranno incontro al fenomeno di litificazione, ovvero diventeranno rocce sedimentarie vere e proprie. Nei capitoli successivi verranno trattati più in dettaglio i processi che entrano in gioco dopo questa fase iniziale di deposizione.

I sistemi carbonatici

Sono gli ambienti dove si formano le rocce carbonatiche, come i calcari e le dolomie. I calcari si possono formare in ambienti continentali, come laghi o fiumi, ma nella maggior parte dei casi si formano in ambienti oceanici in corrispondenza piattaforme carbonatiche. Una piattaforma carbonatica si definisce come quell'area del bacino sedimentario dove avvengono i processi che portano alla produzione del carbonato. Il carbonato precipita sia in maniera inorganica da acque sovrassature di CaCO_3 sia in maniera biologicamente controllata, a causa dell'azione di batteri o come prodotto di organismi che mineralizzano un guscio, come i coralli, i molluschi e alcuni tipi di plankton. È la zona che raccorda il continente, quindi la costa, al fondale oceanico, pertanto il profilo geometrico di una

piattaforma è sempre inclinato. A diverse profondità della piattaforma corrispondono diversi ambienti deposizionali, quindi diverse facies di rocce calcaree. Con il termine facies si intende l'insieme delle caratteristiche che distinguono una roccia da un'altra, direttamente collegate con il suo processo di formazione. In figura 1.14 vengono mostrate quelli che sono i principali ambiente deposizionali in un sistema carbonatico, con una breve descrizione.

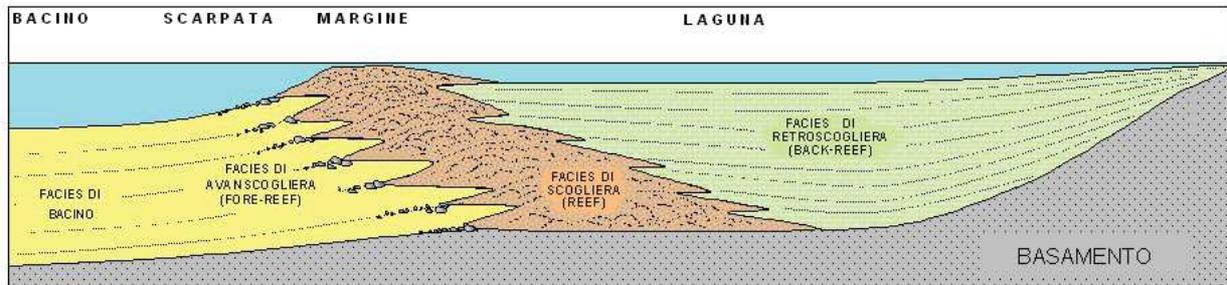


Figura 1.14 – Profilo esemplificativo di una piattaforma deposizionale con i diversi sottoambienti, dove si depositano le varie facies carbonatiche. Illustrazione presa dalle dispense didattiche del corso “Analisi di facies”, tenuto dal professor Fabrizio Felletti.

- Laguna: ambiente deposizionale meno profondo e di alta energia, dove onde, maree, correnti e tempeste rimangono costantemente il sedimento. Qui si depositano facies più o meno fini (fanghi, silt o sabbie) caratterizzate da strutture sedimentarie complesse.
- Margine: è il punto in cui la pendenza della piattaforma carbonatica cambia. Può essere rialzato, come nel caso dei reef popolato da coralli, oppure no. Si depositano facies più grossolane rispetto all'ambiente lagunare.
- Scarpata: ambiente di raccordo con il fondo del bacino. Andando verso profondità maggiori si depositano facies sempre più fini. I carbonati si depositano con un'inclinazione coerente con quella del pendio creando delle stratificazioni oblique dette clinostratificazioni. Lungo tutta la sua estensione la scarpata è interessata da fenomeni di franamento sottomarino che rimangono i sedimenti.
- Bacino: parte più profonda del bacino sedimentario, con sedimentazione di facies fini per decantazione del sedimento nella colonna d'acqua.
- Basamento: rocce magmatiche e metamorfiche sulle quali cresce la piattaforma carbonatica, le quali influenzano inevitabilmente la geometria della piattaforma stessa.

Le piattaforme sono il risultato non solo di processi costruttivi, cioè precipitazione di carbonato e cementazione che litificano il sedimento sciolto, ma anche di processi distruttivi. Frequenti movimenti tettonici possono portare a una ciclica emersione delle piattaforme, impedendo la deposizione sedimentaria e portando a fenomeni di erosione, di cui si trova traccia all'interno delle rocce. Le rocce esposte ad ambiente subaereo possono successivamente tornare in ambiente subacqueo, rendendo questo un processo ciclico. Le tracce dell'erosione, definite discontinuità, sono parametri fondamentali per la ricostruzione dell'ambiente geologico. Raramente un processo di deposizione è un evento continuo e costante: spesso si assiste a variazioni, anche repentine, delle condizioni ambientali che, inevitabilmente, impattano sulla formazione delle rocce stesse.

Alcune tra le più produttive piattaforme carbonatiche attuali sono le Bahamas, l'area a largo della Florida e della penisola dello Yucatan, la Great Barrier Reef in Australia, gli

atolli del Pacifico e il Golfo Persico. Nel record geologico troviamo solo piattaforme carbonatiche “morte”, ovvero non più produttive, che sono state sepolte o portate in ambiente subaereo dai movimenti tettonici, come le Dolomiti, che 200 Milioni di anni fa non erano molto diverse dalle attuali Bahamas.

Un particolare processo degno di nota è la subsidenza, ovvero un fenomeno per il quale l'aumento di una pressione in superficie porta alla flessione della superficie stessa. In altre parole, un accumulo di sedimenti in superficie fa crescere le pressioni che la parte più superficiale del nostro pianeta deve sostenere e, in risposta, si osserva una flessione verso il basso. In questo modo è possibile spiegare un accumulo di migliaia di metri di sedimenti all'interno di un bacino sedimentario mantenendo sempre le stesse condizioni ambientali. Se non ci fosse la subsidenza un bacino sedimentario si riempirebbe in pochi milioni anni.

Lo studio di un ambiente sedimentario implica dunque riuscire a comprendere le informazioni che una roccia contiene e che, molto spesso, sono nascoste all'interno di essa. È necessario quindi riuscire a cogliere la più piccola traccia di un evento geologico che, inevitabilmente, lascia traccia all'interno di questi ambienti di deposizione. La conclusione di questo paragrafo è l'evidenza che una roccia sedimentaria dipende necessariamente dal suo ambiente di formazione, ovvero dalle condizioni ambientali e climatiche in cui il territorio si trova in un determinato periodo. Le rocce sono quindi un archivio geologico del passato, le quali hanno registrato come l'ambiente deposizionale si è modificato nel corso del tempo e permettono di ricavare delle informazioni fondamentali per quanto riguarda il luogo da cui il sedimento proviene, il tipo di sedimentazione avvenuta e il periodo geologico in cui la roccia si è formata, quindi la sua età.

1.4 IL CICLO DELLE ROCCE E I PROCESSI DI LITIFICAZIONE

Con ciclo delle rocce si intendono una serie di processi per i quali i sedimenti descritti precedentemente si trasformano in rocce. Queste stesse rocce, successivamente, possono interagire con una variazione del contesto geodinamico, andando incontro a un processo di metamorfismo. Ricordiamo sempre che questa famiglia di rocce è caratteristica della parte più superficiale del nostro pianeta e, quindi, ricopre un ruolo nella parte più superficiale del ciclo qui presentato, come visibile in Figura 1.15.

Come detto nei capitoli precedenti le rocce sedimentarie derivano dallo smantellamento di qualunque roccia precedentemente formata, ovvero i processi di alterazione non fanno distinzione e tendono a erodere continuamente la superficie. Tralasciando ora quelli che sono i principi di genesi delle varie famiglie, consideriamo una qualsiasi roccia, come un calcare, un'ardesia o un granito. I processi di alterazione tendono a rendere friabile la litologia di partenza, permettendo all'acqua di disgregarla e prendere in carico i sedimenti derivati da questo processo. Mediante i corsi d'acqua i sedimenti raggiungono un bacino deposizionale, rappresentato dal mare nel grafico soprastante, dove andranno a depositarsi.

Molto spesso questa deposizione rispetta una serie di leggi fisiche, permettendo la formazione di geometrie caratteristiche delle rocce sedimentarie (un esempio sono gli strati che si notano frequentemente nelle rocce presenti sulla strada per Lonno).

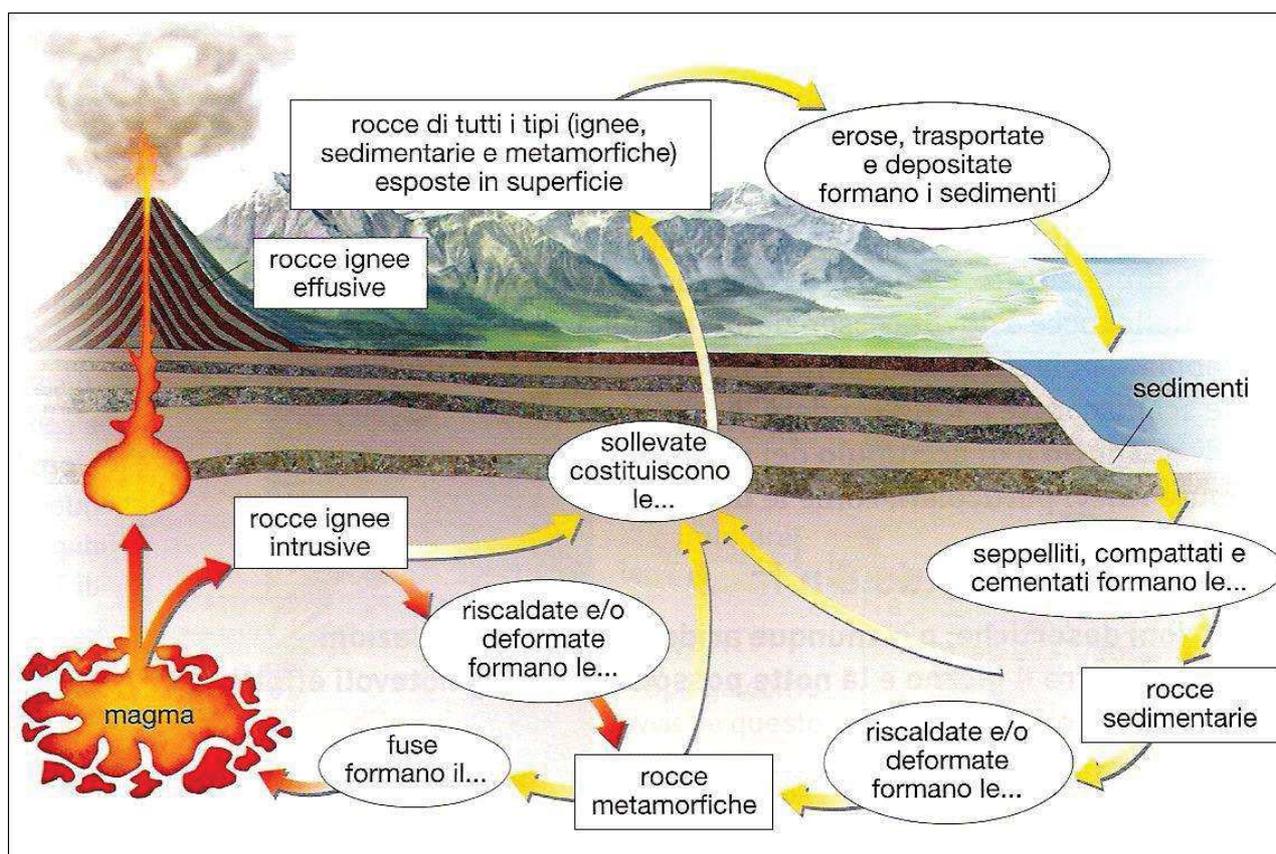


Figura 1.15 - Rappresentazione del ciclo delle rocce. Da notare che l'ambiente superficiale e quello più profondo del nostro pianeta sono in stretta correlazione fra di loro, mediante il fenomeno di subduzione, ovvero il trasporto di materiale superficiale verso le zone interne alla Terra. Immagine presa da www.apprendo.altervista.org.

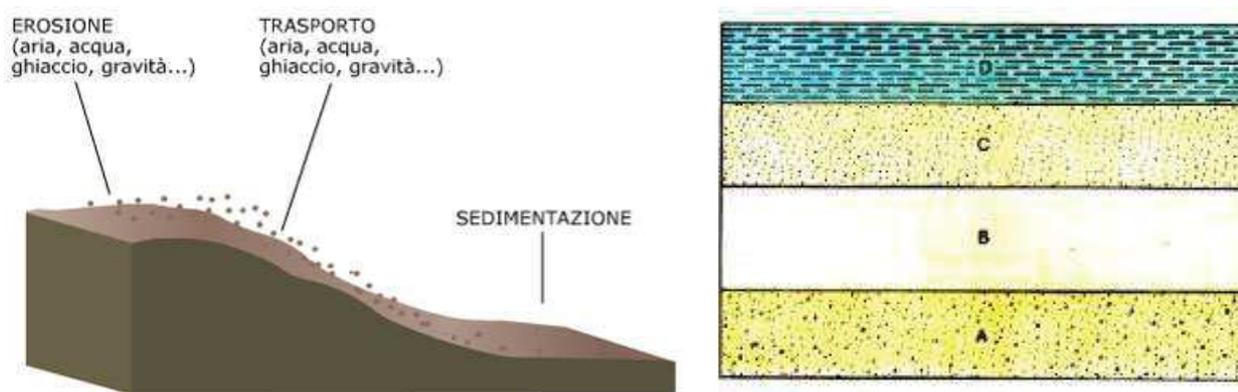


Figura 1.16 - Rappresentazione grafica di erosione, trasporto e deposizione. I sedimenti erosi vengono trasportati verso una depressione posta a una quota topografica inferiore, ovvero verso quello che viene definito il bacino sedimentario. L'accumulo di sedimenti porta alla formazione di una serie di strati sovrapposti, non necessariamente con la stessa composizione. Notiamo infatti che nell'immagine a destra gli strati sono stati evidenziati con caratteristiche grafiche differenti, indice di una diversità. Immagini prese da www.musei.unipv.it.

Il continuo afflusso di sedimenti porta a un progressivo seppellimento di quelli precedenti, che con il trascorrere del tempo si troveranno a una profondità sempre maggiore. Avviene dunque il processo di compattazione che diminuisce la porosità e permette di avere una

prima impalcatura della nostra (quasi) roccia. Essendo in un ambiente marino la circolazione delle acque avviene anche a profondità elevate e, con alte pressioni e temperature, avviene la precipitazione di minerali che legano assieme i sedimenti precedentemente sciolti. Questa nuova fase mineralogica viene detta cemento ed è, nella maggior parte dei casi, composta da carbonato di calcio. Una rappresentazione schematica è proposta in Figura 1.17. La circolazione delle acque porta inoltre a una variazione nella composizione chimica del materiale di partenza.

Dalla Figura 1.16 notiamo inoltre che la vita di una roccia sedimentaria non termina con questi processi, ma può essere a sua volta “riciclata” in ulteriori processi, tra cui quelli responsabili della formazione delle varie catene montuose. Come sempre la variazione delle condizioni ambientali, ovvero di pressione e temperatura, verranno registrate in queste rocce, da cui sarà poi possibile ricostruire l’evoluzione geologica.

Quest’ultima parte chiude il discorso teorico riguardante la formazione delle rocce sedimentarie, la cui conoscenza gioca un ruolo fondamentale per una migliore comprensione delle litologie presenti sul nostro territorio. Ulteriori informazioni riguardo a questi processi possono essere acquisite mediante la lettura del capitolo 2: La paleontologia del territorio di Nembro.

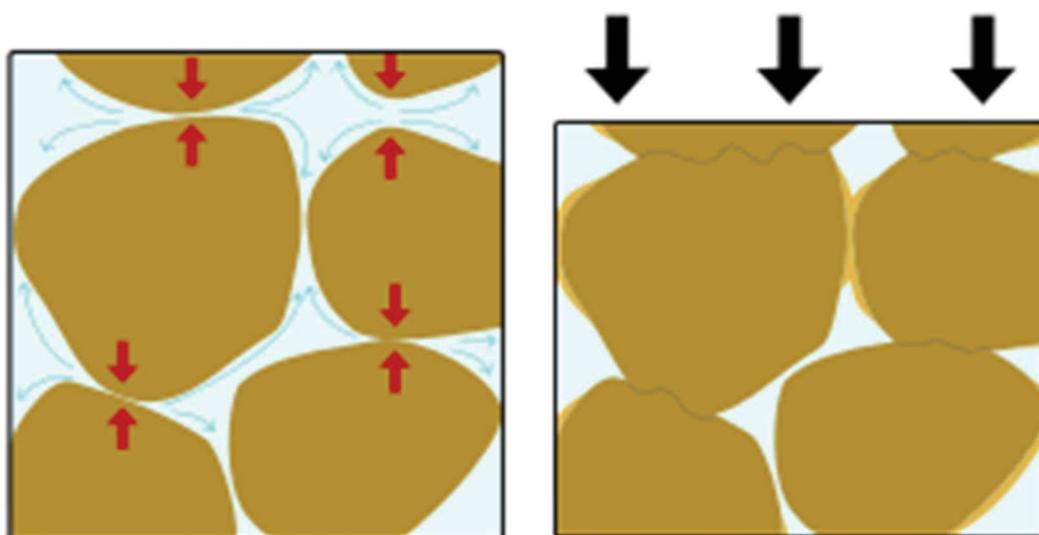


Figura 1.17 - Rappresentazione del processo di compattazione e cementazione. Nella figura a sinistra osserviamo come l'aumento di sedimenti porta a una compressione, creando delle strutture di pressione di forma curvilinea. Nell'immagine a destra l'acqua presente lascia il posto al cemento dovuto a precipitazione. Immagine presa da www.mindomo.com.

1.5 ANALISI DELLE LITOLOGIE DEL TERRITORIO

Parliamo ora delle litologie che è possibile riscontrare nel nostro territorio. Cercheremo di analizzarle utilizzando i concetti descritti nelle pagine precedenti, in modo da capire l’ambiente di formazione di ogni roccia e, come obiettivo finale, proporre un’interpretazione sull’ambiente di genesi e le sue trasformazioni nel tempo. La lista delle litologie è presentata da quella più antica a quella più recente.

La dolomia principale [Norico: 228 – 204 Ma]

Caratteri litologici: di composizione calcarea, è composta da strati spessi e ben definiti, con alternanza di colore dal grigio chiaro al grigio scuro. La presenza di dolomite (carbonato di calcio e magnesio) testimonia la presenza di fluidi che, durante il processo di diagenesi, ha portato a una variazione composizionale e mineralogica.

Contenuto fossilifero: molto ricca in fossili, soprattutto in bivalvi, gasteropodi e alghe, indice di una profondità di deposizione non elevata, ovvero di poche centinaia di metri e del tutto compatibile con una piattaforma carbonatica.

Ambiente deposizionale: vasta e articolata piattaforma carbonatica, ricche di materiale di origine lagunare, caratteristica del Triassico. Spostandoci verso la parte più alta si osservano indicazioni per un aumento della profondità di deposizione, testimoniate da un minor apporto di sedimenti legati ad ambiente continentale.

Spessore: lo spessore si attesta attorno ai 300 m, ma essendo l'unità più vecchia affiorante non è possibile definirlo con certezza. Non si osserva infatti il margine inferiore e, di conseguenza, non ci sono metodi diretti per il calcolo del suo spessore nel nostro territorio.



Figura 1.18 – A sinistra la Dolomia Principale, fotografata sul Monte Podona da Gianni Comotti. A destra un'immagine delle Dolomiti, da cui questa litologia prende il nome. Immagine da www.dolomitinetwork.com.

La dolomia zonata [Norico: 228 – 204 Ma]

Caratteri litologici: costituita da una serie di alternanze di calcareniti² e calcisiltiti³, dolomitizzate di colore grigio scuro. Gli strati hanno dimensione pluridecimetrica e sono piano-paralleli fra di loro. È coeva con la litologia precedentemente e presenta un contatto laterale con essa.

Contenuto fossilifero: il contenuto fossilifero di questa unità è scarso, rappresentato essenzialmente da frammenti di bioclasti.

Ambiente deposizionale: nel nostro territorio questa litologia rappresenta una zona di pendio del bacino in corrispondenza della piattaforma carbonatica. Vengono definite brecce, ovvero una serie di agglomerati di materiale derivato dallo smantellamento della Dolomia Principale, poi trasportato mediante colate di fango e torbiditi, cioè masse di materiale molto denso che si muovono su pendii oceanici.

² Tipologia di roccia sedimentaria clastica formata da particelle calcaree delle dimensioni della sabbia (2 – 0,0625 mm).

³ Tipologia di roccia sedimentaria composta in modo predominante da particelle calcaree di granulometria compresa tra 0,0625 e 0,004 mm.

Spessore: si attesta attorno ai 300 m nei casi migliori, ma in alcune zone, specialmente a nord – est di Nembro, può assottigliarsi anche a poche decine di metri.



Figura 1.19 – Dolomia Zonata lungo la strada che porta a Selvino, dopo la frazione di San Vito. Fotografie di Michele Rinaldi.

Il calcare di Zorzino [Norico: 228 – 204 Ma]

Caratteri litologici: successione di calcilutiti⁴ nere o grigio scuro, in strati planari dai 10 ai 30 cm. Si osservano rare intercalazione di calcareniti e di ruditi⁵, talora posizionate in corrispondenza di una superficie erosionale, indice di un'emersione che ha permesso agli agenti atmosferici erodere le rocce. Presenta un noto livello sommitale, costituito da calcilutiti e black shales⁶, con fossili di pesci.

Contenuto fossilifero: contiene un'elevata quantità di resti di vertebrati (pesci e rettili), artropodi, crinoidi e bivalvi.

Ambiente deposizionale: quest'unità rappresenta una zona distante dal bacino, dove giungeva raramente il materiale più grossolano che si distaccava dalla piattaforma carbonatica. L'elevata qualità di conservazione dei fossili implica la presenza di un contesto anossico, ovvero privo di ossigeno, sul fondale.

Spessore: nel nostro territorio non è molto presente, visibile solo in pochi contesti in corrispondenza della valle del Carso, con spessore di un paio di metri. Raramente eccede i 40 m, spessore raggiunto nella zona di Selvino.

Le argilliti di Riva di Solto [Norico: 228 – 204 Ma]

Caratteri litologici: la formazione è costituita da argilliti⁷ e argilliti marnose grigio – nerastre, con intercalazioni di calcari e calcari marnosi⁸ grigio scuri, soprattutto nelle zone superiori.

Contenuto fossilifero: i livelli argillosi della parte inferiore generalmente presentano una scarsa quantità di resti. I livelli a matrice argillosa, invece, si caratterizzano per l'alta abbondanza di bivalvi, frammenti di pesci, crostacei e vertebrati.

⁴ Tipologia di roccia sedimentaria clastica formata da particelle calcaree delle dimensioni dell'argilla (inferiori a 0,004 mm).

⁵ Tipologia di roccia sedimentaria a grani spigolosi o arrotondati in cui almeno il 30% degli elementi sono di taglia superiore ai 2mm.

⁶ Argilliti nere in italiano, sono composte principalmente da fanghi ricchi in argilla, con quarzo e carbonati. La forte presenza di materia organica è indice della mancanza di ossigeno sul fondo del bacino in cui si sono deposte. Questo deficit impedisce l'ossidazione della materia organica stessa, conservandola nel mezzo geologico.

Ambiente deposizionale: è caratteristica di un solco presente in corrispondenza di una piattaforma carbonatica, in connessione con la Dolomia Principale. La ciclicità deposizionale è stata interpretata come dovuta a un controllo climatico e eustatico, determinato da cause orbitali.

Spessore: si osserva in corrispondenza del sovrascorrimento di Albino, lungo una fascia diretta circa est – ovest, passando all'interno della valle del Luio. Lo spessore è di difficile stima a causa delle sue notevoli variazioni, dovute a un forte grado di tettonizzazione della formazione stessa. In corrispondenza dell'area bergamasca si attesta a circa 500 m, con un picco di 1000 m ad Iseo. Nel nostro territorio affiora con uno spessore di meno di 10 m.

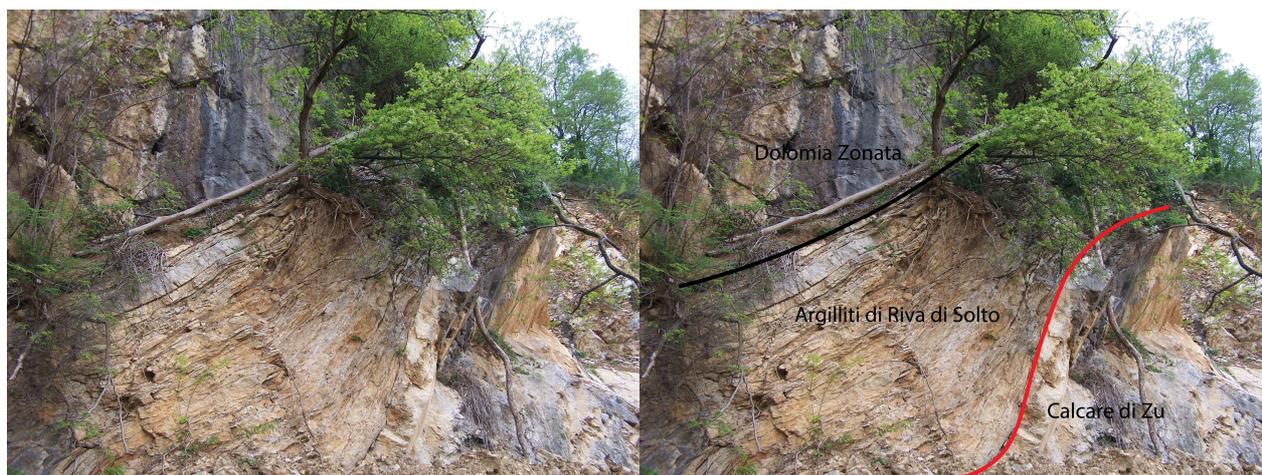


Figura 1.20 - Contatti litologici, evidenziati nell'immagine a destra, fra Dolomia Zonata, Argilliti di Riva di Solto, Calcare di Zu. Da notare che l'unità più antica (Dolomia Zonata) è posta geometricamente sopra rispetto le altre, indice che i processi tettonici hanno ribaltato la successione, alterandone la progressione stratigrafica. Fotografia di Gianni Comotti, in corrispondenza della cava di Trevasco.

Il calcare di Zu [Retico: 204 – 199 Ma]

Caratteri litologici: composta da calcari micritici e calcari marnosi, di colore grigio – nerastro. Queste due litologie si associano in modo ciclico, con successioni spesse fino a qualche decina di metri. È presente prevalentemente in corrispondenza del sovrascorrimento di Albino⁹ come lembo di materiale trascinato.

Contenuto fossilifero: il calcare di Zu è spesso fortemente fossilifero, specialmente in corrispondenza dei banchi calcarei più potenti.

Ambiente deposizionale: di bassa profondità, associabile a un contesto carbonatico con un forte apporto di materiale terrigeno. Le variazioni di spessore e di caratteri geologici mostrano i notevoli mutamenti dell'ambiente deposizionale, passando da condizioni ad elevata energia a condizioni di mare basso.

Spessore: lo spessore si attesta attorno ai 150 m ed è ben visibile in corrispondenza della frazione di Trevasco.

⁷ Roccia sedimentaria formatasi a seguito dei processi di diagenesi di sedimenti argillosi, ovvero con granulometria inferiore a 0,0625 mm. Può contenere inoltre particelle di dimensioni massime di 0,0625 mm.

⁸ Roccia sedimentaria terrigena composta da una frazione argillosa e una carbonatica, principalmente calcite o dolomite. Questa roccia deriva da sedimenti fangosi, di origine prevalentemente marina, sedimentati in condizioni di bassa energia.

⁹ Il sovrascorrimento di Albino viene descritto in dettaglio nel capitolo 3: La geologia tettonica e strutturale.



Figura 1.21 - Calcare di Zu, lungo la valle del Carso. È ben evidente la stratificazione caratteristica di questa litologia. Fotografie di Gianni Comotti.

La Dolomia a Conchodon [Retico: 204 – 199]

Caratteri litologici: Oggi rinominata Formazione dell'Albenza, è prevalentemente carbonatica, costituita da strati mal definiti di spessore plurimetrico, di colore grigio chiaro – nocciola. Caratteristica e molto conosciuta nel nostro territorio per i noduli di selce, ovvero sono agglomerati di resti di organismi dal guscio siliceo¹⁰ che, dopo la morte, precipitano sul fondo e si raccolgono a formare accumuli sparsi in una roccia carbonatica.

Contenuto fossilifero: I fossili sono piuttosto rari, con presenza di bivalvi, crinoidi, ammonoidi e foraminiferi.

Ambiente deposizionale: è associabile a una piattaforma carbonatica con elevata produzione di fango carbonatico ed ooliti. Rappresenta l'ultima progradazione¹¹ regionale di una piattaforma carbonatica prima della fase di rifting che ristrutturò il bacino lombardo.

Spessore: Lo spessore riscontrabile nel nostro territorio è di circa 40 m, partendo dalla parte sommitale del Calcare di Zu.



Figura 1.22 - A sinistra la Dolomia a Conchodon, sul monte Valtrusa, fotografia di Gianni Comotti. A destra la stessa litologia ma in corrispondenza della frazione di San Vito, fotografia di Michele Rinaldi.

¹⁰ Per ulteriori informazioni consultare il capitolo 2: La paleontologia del territorio di Nembro.

¹¹ Espansione della piattaforma verso mare a causa di un notevole apporto di sedimenti. Per informazioni più dettagliate consultare il capitolo 1.3.2 I Bacini Sedimentari.

Il Calcarea di Sedrina [Hettangiano: 199 – 196 Ma]

Caratteri litologici: unità a base principalmente carbonatica, con liste e noduli di selce, a stratificazione medio – sottile, piano parallele o ondulate. Nella parte superiore è presente un livello fortemente silicizzato¹² che può assumere i caratteri di un livello guida, che segna inevitabilmente il passaggio all'unità successiva. Molto poco diffusa nel nostro territorio, è visibile solo in corrispondenza del sovrascorrimento di Albino all'interno di una piccola area, a metà tra Trevasco e il centro di Nembro, dove le deformazioni fragili legate alla tettonica hanno messo in evidenza litologie altrimenti non visibili.

Contenuto fossilifero: da sempre molto studiata a causa dell'elevato contenuto fossilifero.

Ambiente deposizionale: il calcarea di Sedrina è una tipica roccia da piattaforma, alternata a intervalli più o meno regolari ad un ambiente più aperto e, dunque, a più bassa energia.

Spessore: è molto variabile, da 20 a 120 m, con differenze notevoli anche tra punti a poca distanza.

Il Calcarea di Moltrasio [Sinemuriano: 196 – 189 Ma]

Caratteri litologici: l'unità è costituita da una successione di calcari marnosi grigio scuri, con noduli e liste di selce. Nel nostro territorio è molto visibile in corrispondenza del bivio per la strada di Lonno. L'unità poi prosegue ininterrottamente fino a Pradalunga, anche se mantiene il suo spessore minimo, ovvero di pochi metri. Il calcarea di Moltrasio ricopre con un limite netto il Calcarea di Sedrina. Il limite superiore, con il calcarea di Domaro, è invece graduale, con una progressiva scomparsa dei livelli.

Contenuto fossilifero: quest'unità è molto scarsa dal punto di vista fossilifero.

Ambiente deposizionale: la formazione di questa unità è legata a un alto strutturale, ovvero un rilievo legato a un'azione tettonica. Il calcarea di Moltrasio si forma infatti in prossimità di scarpate o a margini ripidi, dove c'è un accumulo di materiale derivante dalle zone sopraelevate.

Spessore: circa 250 m in corrispondenza di Selvino e di Pradalunga.



Figura 1.23 – Calcarea di Moltrasio in corrispondenza della valle del Carso, poco sotto il bivio che conduce a Lonno. Da qui si dirama un sentiero che scende verso la valle, per poi mostrare dall'alto una buona parte della valle, con diverse pozze in cui si raccoglie l'acqua del torrente. Fotografie di Michele Rinaldi.

¹² Elevato contenuto di materiale ricco in silicio, di origine biologica o legata al passaggio di fluidi.

Il Calcarea di Domaro [Pleinsbachiano: 189 – 183 Ma]

Caratteri litologici: calcari micritici¹³ con diffuse liste di selce di colore nocciola, con una stratificazione decimetrica, con frequenti intercalazioni di argilliti di colore grigio. Oggi questa litologia viene cavata per l'estrazione delle materie prime per il cemento, all'interno della cava Gugini.

Contenuto fossilifero: presenta frequenti livelli fossiliferi, con però scarso interesse dal punto di vista paleontologico e stratigrafico.

Ambiente deposizionale: dal punto di vista geologico costituisce corpi prismatici di spessore variabile, che affiancano zone con un tasso di sedimentazione decisamente ridotta. È un'unità difficile da definire in quanto subentrano diversi intervalli di sedimentazione e risedimentazione, principalmente a profondità tali per cui la luce del sole non riesce ad arrivare. Nel complesso pertanto l'ambiente di deposizione è un bacino asimmetrico, legato a una tettonica di tipo estensionale.

Spessore: notevolmente variabile, da 0 a 400 m. Il minimo si osserva in corrispondenza del monte Misma, ma nel nostro territorio è molto spesso, specialmente in corrispondenza della strada di Lonno e nella zona di Piazza.



Figura 1.24 - Calcarea di Domaro, fotografato in corrispondenza della zona di Piazza. Nell'immagini a sinistra si osservano i ben evidenti noduli di selce di color nocciola, alternati in una stratificazione con i calcari micritici. A destra si osserva l'ottima stratificazione di questa litologia. Fotografie di Michele Rinaldi.

Formazione di Concesio [Toarciano: 183 – 175 Ma]

Caratteri litologici: alternanza di calcareniti a stratificazione spessa, in alternanza a calcari marnosi selciferi bioturbati. Questi ultimi vengono estratti in lastre, in coltivazione in sotterraneo, per la produzione delle famose pietre coti bergamasche.

Contenuto fossilifero: presenza di organismi a guscio siliceo come radiolariti e spugne.

Ambiente deposizionale: L'ambiente di formazione è tipicamente marino, con una risedimentazione di tipo calcareo. Questa unità forma due prismi sedimentari, poco presenti all'interno del nostro territorio. Principalmente affiora in corrispondenza di Brescia.

Spessore: diverse centinaia di metri, con un picco massimo di 500 m.

¹³ Roccia calcarea cristallina a grana finissima, ovvero con cristalli inferiori ai 5 μm . In alternativa questo termine intende una matrice (parte della roccia a grana fine, interstiziale fra i clasti più grossolani) carbonatica in rocce clastiche carbonatiche.



Figura 1.25 - Calcare di Concesio. Nell'immagine a sinistra fotografato nella zona della Bastia di Lonno. Nell'immagine a destra si osserva un carrello minerario, posizionato in una galleria a ovest dello Zuccarello, per il trasporto del materiale estratto, destinato alla produzione delle pietre coti. Fotografie di Gianni Comotti.

Le radiolariti [Kimmeridgiano: 155 – 150 Ma]

Caratteri litologici: comprendono selci a stratificazione pluricentimetrica, a volte pluridecimetrica, con superfici piano parallele o ondulate. Talora sono presenti concrezioni mammellonari¹⁴ e, in corrispondenza sia del limite inferiore che di quello superiore, livelli argillitici. Il colore delle selci varia in modo consistente: alla base possiedono un colore grigio bruno, mentre all'alto tendono a una tonalità violacea. Localmente si osservano banconi arenacei con fossili silicizzati di crinoidi, echinoidi e brachiopodi.

Contenuto fossilifero: i macrofossili sono molto rari, mentre i nanofossili, come i radiolari, sono molto più diffusi.

Ambiente deposizionale: le radiolariti si formano all'interno di un bacino per decantazione in ambiente marino di materiale a granulometria molto fine, a composizione carbonatica – silecea – argillosa.

Spessore: Nembro vede questa unità nel suo massimo spessore, ovvero 70 m.



Figura 1.26 - Radiolariti, fotografate in corrispondenza del Santuario dello Zuccarello. A sinistra un banco arenaceo, a destra un nodulo di selce di dimensioni decimetriche, caratteristico di questa litologia. Fotografie di Michele Rinaldi e Gianni Comotti.

¹⁴ Aggregati cristallini di minerali fibrosi o aciculari, derivate dal passaggio di acque cariche di sali.

Rosso ad aptici [Titoniano: 150 – 145 Ma]

Caratteri litologici: alternanze di marne siltose, marne calcaree e calcari selciosi, con frequenti liste e noduli di selce.

Contenuto fossili: il contenuto fossilifero è notevole, tra cui nanofossili calcarei, calpionelle, radiolari, bivalvi, echinodermi e crinoidi.

Ambiente deposizionale: dal punto di vista della genesi possiede caratteri di deposizione pelagica che evidenziano come quest'unità si sviluppi come un mantello deposizionale che va a coprire sia gli alti che i bassi strutturali.

Spessore: lo spessore si attesta attorno ai 40 m. In molte aree il Rosso ad Aptici diventa così sottile che spesso è difficile separarlo litologicamente dall'unità precedente.

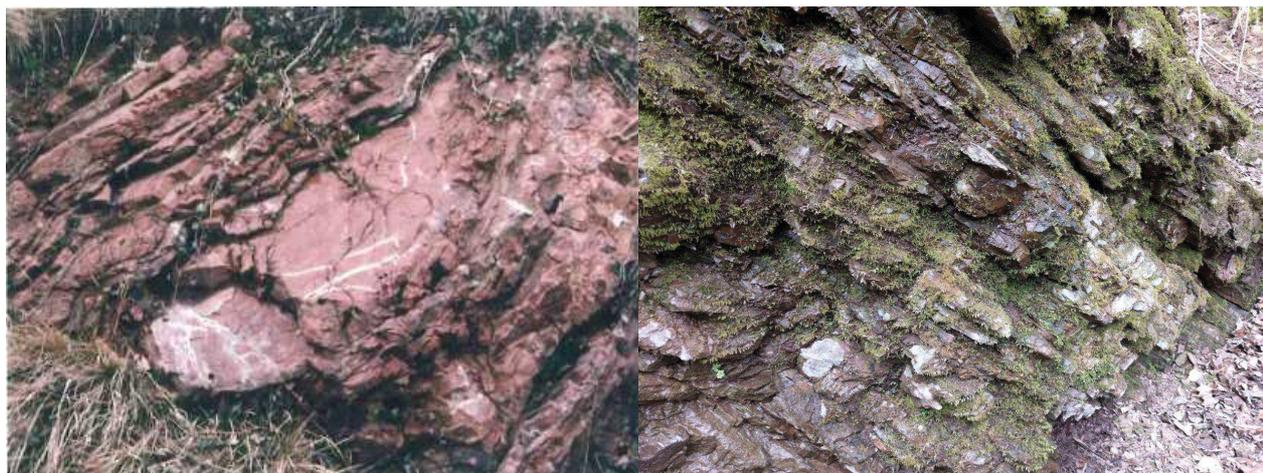


Figura 1.27 – A sinistra Rosso ad Aptici fotografato in corrispondenza della Val del Luio ad Alzano Lombardo, immagine presa da Natura e Luoghi da Gavarno a Lonno, Carlo Marconi, 2005. A destra la stessa litologia ma dalla parte di Nembro, fotografata da Michele Rinaldi.



Figura 1.28 - Maiolica, in corrispondenza della strada che conduce al Colle Bastia. Nonostante sia fortemente alterata si può ancora intravedere la stratificazione. Fotografie di Michele Rinaldi.

Maiolica [Aptiano: 125 – 113 Ma]

Caratteri litologici: successione piuttosto monotona di calcilutiti, da bianche a grigio scuro, con strati di spessore decimetrico, ondulati o piano – paralleli. Si osservano vari interstrati argillosi ricchi in materia organica, che conferiscono loro un colore scuro. Si associano poi

anche un numero discreto di lenti di conglomerato¹⁵, con frequenti evidenze di risedimentazione. Non di rado si presenta fortemente alterata, di colore giallo ocra.

Contenuto fossilifero: è principalmente ricca di nanofossili, come calcionelle e foraminiferi.

Ambiente deposizionale: è l'ultima litologia che riempie la depressione del bacino, depositandosi contemporaneamente sia sull'alto che sul basso strutturale, annullando il dislivello.

Spessore: da 25 a 250 m, con forte variazioni anche in pochi km.

Marne di Bruntino [Albiano: 113 – 100 Ma]

Caratteri litologici: l'unità è costituita da una successione di argilliti di colore vario, principalmente grigio, con intercalazioni di areniti fini e marne. Si osservano spesso intercalazioni di argilliti di colore nero intenso, definite black shales, indice di un elevato contenuto in materia organica. Questi livelli scuri testimoniano un periodo del bacino in cui non era presente ossigeno sul fondo, impendo l'ossidoriduzione di questi materiali.

Contenuto fossilifero: le Marne di Bruntino presentano un'elevata quantità di bioclasti e fossili, anche se privi di importanza stratigrafica.

Ambiente deposizionale: questa unità apre la sedimentazione terrigena del Bacino Lombardo, in ambiente batiale medio – basso.

Spessore: Lo spessore attestato nel nostro territorio è di circa 90 m, anche se localmente può raggiungere picchi di 140 m.

Sass de la luna [Albiano: 113 – 100 Ma]

Caratteri litologici: alternanza di calcari e calcari marnosi grigi, localmente selciferi¹⁶, in strati decimetrici o centimetrici.

Contenuto fossilifero: nullo o senza importanza stratigrafica.

Ambiente deposizionale: il Sass de la luna ha origini legate ad eventi torbiditici, ovvero grandi frane sottomarine che si muovono lungo i pendii, andando a depositarsi in corrispondenza dei bassi strutturali. Indicano una frequente attività sismica in grado di



Figura1.29 - Sass de la Luna, in corrispondenza del fiume Serio, sulla sponda di Gavarno. Fotografie di Michele Rinaldi.

¹⁵ Sinonimo di rudite, vedi nota 5.

¹⁶ Roccia sedimentaria composta quasi esclusivamente da silice. Si forma grazie all'accumulo dei resti di organismi a guscio o scheletro siliceo, tra cui radiolari, diatomee e spugne. In alternativa può formarsi per segregazione e accumulo di silice proveniente da rocce carbonatiche o terrigene.

rimobilizzare i sedimenti pelagici circostanti il bacino.

Spessore: lo spessore di questa unità varia da 80 a 330 m all'interno del Bacino Lombardo, con un'importante estensione nella zona di Gavarno, in particolare in corrispondenza del fiume Serio.

Marne e calcareniti rosse [Cenomaniano: 100 – 94 Ma]

Caratteri litologici: non rappresentano un'unità vera e propria, ma una parte della Formazione di Sorisole. È composta da marne rosse e calcareniti, in strati piano – paralleli, bioturbate, ovvero con tracce di organismi.

Contenuto fossilifero: nullo o senza importanza stratigrafica.

Ambiente deposizionale: Si è deposta in corrispondenza di un ambiente marino profondo e registrano un passaggio da un regime torbido e uno legato ad un ambiente silicoclastico. Tale attività può essere relazionata a un particolare contesto geodinamico, ovvero le prime fasi di deformazione della catena appenninica durante il Cretaceo.

Spessore: poco più di una decina di metri.

Peliti nere superiori [Turoniano Inferiore: 94 – 92 Ma]

Caratteri litologici: l'unità è costituita da una successione di argilliti nere, molto ricche in materia organica, intercalate con marne grigio scure e torbiditi¹⁷ a granulometria fine, con stratificazione piano – parallela. A volta si osservano livelli silicizzati di calcilutiti.

Contenuto fossilifero: Come contenuto fossilifero è una delle unità più importanti, in quanto sono stati spesso ritrovati i resti di pesci.

Ambiente deposizionale: è prevalentemente legato a un'area marginale del bacino, dove l'elevata sedimentazione è dovuta a una forte produzione di fanghi torbidici. L'elevato contenuto organico può essere attribuito a un veloce seppellimento, che ha isolato questi sedimenti dal fondo impedendone l'ossidazione.

Spessore: lo spessore nel nostro territorio è di circa 20 m, in corrispondenza della sponda destra del fiume Serio, nella parte più esterna di Gavarno.

Membro delle peliti rosse [Turoniano Superiore: 92 – 90 Ma]

Caratteri litologici: argilliti con subordinati livelli arenacei e calcilutiti normalmente silicizzate, a stratificazione centimetrica. Nella zona di Gavarno si possono osservare due sottounità non cartografate in modo separato a causa di una difficile interpretazione. Nel nostro territorio è presente solo in questa zona, dove è rappresentato da sottili livelli di areniti fini e siltiti.

Contenuto fossilifero: abbastanza povero, con poche placchette di echinidi, denti di pesci, articoli di crinoidi, briozoi e piccoli Inocerami.

Ambiente deposizionale: è costituito da depositi emipelagici e da torbiditi di diverso tipo.

Spessore: in corrispondenza del nostro territorio si osserva solo a Gavarno, dove raggiunge al massimo uno spessore di 30 m.

¹⁷ Rocce sedimentarie prodotte dalla deposizione di materiale trasportato in sospensioni da correnti sottomarine, notevolmente più dense dell'acqua circostante. Si tratta tipicamente di depositi di mare poco profondo.

Depositi quaternari

I sedimenti più recenti che, a causa della loro breve vita, non sono ancora stati sottoposti ai vari processi di litificazione vengono definiti come depositi quaternari. Il quaternario è il periodo corrente della storia del nostro pianeta, che iniziò 2.6 milioni di anni fa. Per lungo tempo questi depositi non sono stati considerati come un importante fonte di informazioni geologiche, ma negli ultimi anni sono stati rivalutati notevolmente, soprattutto per la loro influenza sui fenomeni di stabilità quali frane, assestamenti, debris flow, ecc.

Di seguito un elenco dei principali depositi quaternari presenti sul territorio di Nembro, con una breve descrizione:

- Complesso di Piario: depositi fluvio-glaciale costituito da ghiaie immerse in materiale fine, con ciottoli arrotondati.
- Complesso del Serio: depositi fluvio-glaciali costituito da ghiaie e ciottoli arrotondati.
- Unità Postglaciale – Olocenica: sabbie e ghiaie, talvolta stratificate, con clasti spigolosi localmente cementati, derivanti da uno smantellamento delle litologie circostanti

Per ulteriori informazioni ed immagini riguardo l'argomento consultare il capitolo 4: Geomorfologia.



Figura 1.30 – A sinistra il Complesso del Serio in corrispondenza dell'area Saletti di Nembro. A destra un deposito analogo ma in corrispondenza del Museo della Miniera, vicino allo Zuccarello. Fotografie di Gianni Comotti e Michele Rinaldi.

1.5.1 Interpretazione del bacino

È difficile considerare l'evoluzione di un bacino sedimentario analizzando solo ed esclusivamente le litologie presenti all'interno di un territorio ristretto come Nembro. D'altra parte l'analisi completa del Bacino Lombardo esula dallo scopo del lavoro, così come richiederebbe una conoscenza decisamente più approfondita della geologia del sedimentario e strutturale. Di conseguenza, in questa sezione ci si limiterà a dedurre la variazione dell'ambiente deposizionale dalle informazioni contenute nelle litologie presentate nel paragrafo precedente.

Consideriamo sempre che, come descritto più in dettaglio nel capitolo 3: La geologia tettonica e strutturale, i processi tettonici e geodinamici tendono a dislocare le rocce anche per migliaia di chilometri. Dunque, una roccia che ora costituisce una catena montuosa

può essersi formata anche a notevoli distanze da dove giace oggi. Questo controllo tettonico può avvenire sia durante la sedimentazione sia in tempi successivi, con risultati differenti. La sedimentazione inevitabilmente manterrà traccia di un contesto tettonico attivo e, di conseguenza, è possibile ricostruire anche le varie fasi geodinamiche che hanno interessato le rocce. Possiamo dunque distinguere tre momenti della storia delle rocce caratterizzanti oggi il nostro territorio:

1. Formazione dei corpi rocciosi, a latitudini e longitudine diverse da quelle in cui si trovano oggi
2. Deformazione e dislocazione di queste rocce per effetto di processi tettonici, i quali porteranno alla formazione della catena Alpina
3. Erosione e disgregazione delle rocce, portando al modellamento del territorio così come lo conosciamo

Come accennato poco fa i processi elencati si sviluppano su tempi estremamente lunghi e, di conseguenza, viene proposta un'interpretazione della formazione delle rocce che caratterizzano il nostro territorio suddivisa per periodi.

Triassico [250 – 200 Ma]

L'ingresso del mare all'inizio del Triassico nel settore ora definito come Alpino segna l'inizio di una sedimentazione tipica dell'ambiente marino. Osserviamo dunque un progressivo aumento del livello delle acque, con una conseguente deposizione di litologie sempre più legate a un contesto di mare profondo. La prima litologia affiorante nel territorio di Nembro è la Dolomia Principale, un'antica piattaforma carbonatica caratteristica di questo periodo, in cui si riscontra una forte presenza di gasteropodi, bivalvi ed alghe. Contemporaneamente alla Dolomia Principale si forma la Dolomia Zonata, in corrispondenza di un pendio marginale frequentemente interessato da frane sottomarine, creando un contatto laterale fra queste due litologie. Con l'inizio del Retico (204 Ma) si instaura un ambiente deposizionale di mare basso, dove la sedimentazione terrigena di carattere continentale diventa sempre più intensa, senza mai però soverchiare quella carbonatica, portando alla formazione del Calcarea di Zu. Si assiste successivamente a una nuova fase di crescita della piattaforma carbonatica, che porta alla formazione della Dolomia a Conchodon, segnando l'ultima fase deposizionale prima del rift che ha interessato il Bacino Lombardo, ristrutturandolo completamente.

Giurassico [200 – 145 Ma]

L'aumento del livello del mare durante il Giurassico è legato all'apertura dell'Oceano Atlantico, un ramo del quale si sviluppò nella zona settentrionale della Lombardia, allontanando l'Italia dal Nord Europa, con la formazione di un piccolo oceano definito Ligure Piemontese. Dall'Hettangiano (199 Ma) in poi si assiste infatti a un progressivo spostamento da un ambiente tipico di piattaforma a uno di mare più aperto, con la formazione di rocce come il Calcarea di Sedrina e le Radiolariti. D'altra parte la tettonica sinsedimentaria causa un forte smantellamento della piattaforma carbonatica, la quale diviene interessata da frane e debris flow sottomarini, che portano a un accumulo di materiale alla base della scarpata e dei pendii. Allo stesso modo si formano anche diversi corpi sedimentari di forma prismatica, con spessori irregolari, che tendono a colmare le parti laterali del bacino stesso. Alcuni esempi di queste litologie sono la Formazione di Concesio e il Calcarea di Moltrasio. La fase di apertura di un oceano segna inevitabilmente una forte variazione all'interno della sedimentazione, variando notevolmente quelle che sono le litologie che si osservano nei periodi geologici successivi.

Cretacico [145 – 65 Ma]

Con la comparsa del Rosso ad Aptici nel Tortoniano (150 Ma) e la successiva Maiolica, il bacino sedimentario viene completamente colmato dalla sedimentazione, appianando quelle che erano le differenze topografiche tra gli alti e i bassi strutturali. Si apre così un lungo periodo di sedimentazione di carattere prevalente terrigeno, evidenziato dalla formazione delle Marne di Bruntino. La tettonica è molto attiva, come testimoniato dal Sass de la Luna, legato a frequenti eventi sismici che smuovevano il materiale pelagico precedentemente consolidato. Le Marne e le calcareniti rosse, del Cenomaniano (100 Ma), testimoniano un ulteriore aumento di livello del mare, con la formazione dunque di litologie di ambiente marino profondo con sedimentazione a carattere silicoclastico. Contemporaneamente ai margini del bacino si osservano ancora movimenti di grandi masse lungo i pendii, quali torbiditi e frane sottomarine, che portano alla formazione nelle zone più laterali del bacino delle Peliti nere superiori e del Membro delle peliti rosse. Queste litologie derivano dallo smantellamento iniziale della catena Alpina che iniziava a formarsi nelle zone settentrionali. Le successive rocce che si formano, non presenti all'interno del nostro territorio, mantengono traccia del processo orogenetico che ha portato alla formazione delle Alpi, il quale ha dislocato le rocce, facendo sì che oggi si trovino in corrispondenza delle catene montuose e non più in un ambiente marino.

Il quaternario [2.5 Ma – Oggi] e il fiume Serio

D'altra parte i fenomeni di alterazione, agenti tuttora, hanno portato a uno smantellamento continuo delle rocce affioranti e, come visto nella parte teorica precedentemente trattata, questi sedimenti si accumulano in corrispondenza dei versanti e possono venire presi a carico dai corsi d'acqua. Nascono così i depositi quaternari fluvioglaciali che oggi modellano il territorio e gli conferiscono la forma che noi osserviamo. Un appunto particolare deve essere fatto sul corso del fiume Serio: è infatti poco comune che un fiume scorra direttamente al di sopra di un substrato roccioso, rappresentato nel nostro caso dal Sass de la Luna.

La maggior parte dei fiumi di importanza rilevante, come L'Oglio e l'Adda, sono posizionati al di sopra una grande quantità di sedimenti. Questa peculiarità ha spinto i geologi a uno studio più approfondito della Val Seriana, portando dunque a comprendere come la posizione del fiume che interessa il nostro territorio sia mutato notevolmente nel corso del tempo. Un qualsiasi corso d'acqua, come accennato nei paragrafi precedenti, è portatore di una quantità elevata di materiale in sospensione. La diminuzione della sua velocità fa sì che ci sia una decantazione di questo materiale, portando all'accumulo di sedimenti di carattere fluviale all'interno del suo letto e in corrispondenza delle sponde. Dalla carta geologia allegata si può notare come la maggior parte della superficie di Nembro sia posizionata in corrispondenza proprio di questi depositi, anche se localizzati lontani dall'attuale posizione del Serio. Questo è legato al fatto che nel corso del tempo il fiume ha riempito il proprio letto, vedendosi costretto a deviare il proprio corso. Il fiume Serio anticamente scorreva all'interno di una forra profonda, ora completamente riempita, in corrispondenza del margine idrografico destro della valle, ovvero nettamente più spostato verso il centro del paese. La continua e progressiva deposizione ha fatto sì che il letto del fiume si sia spostato verso Gavarno, così come lo osserviamo oggi.

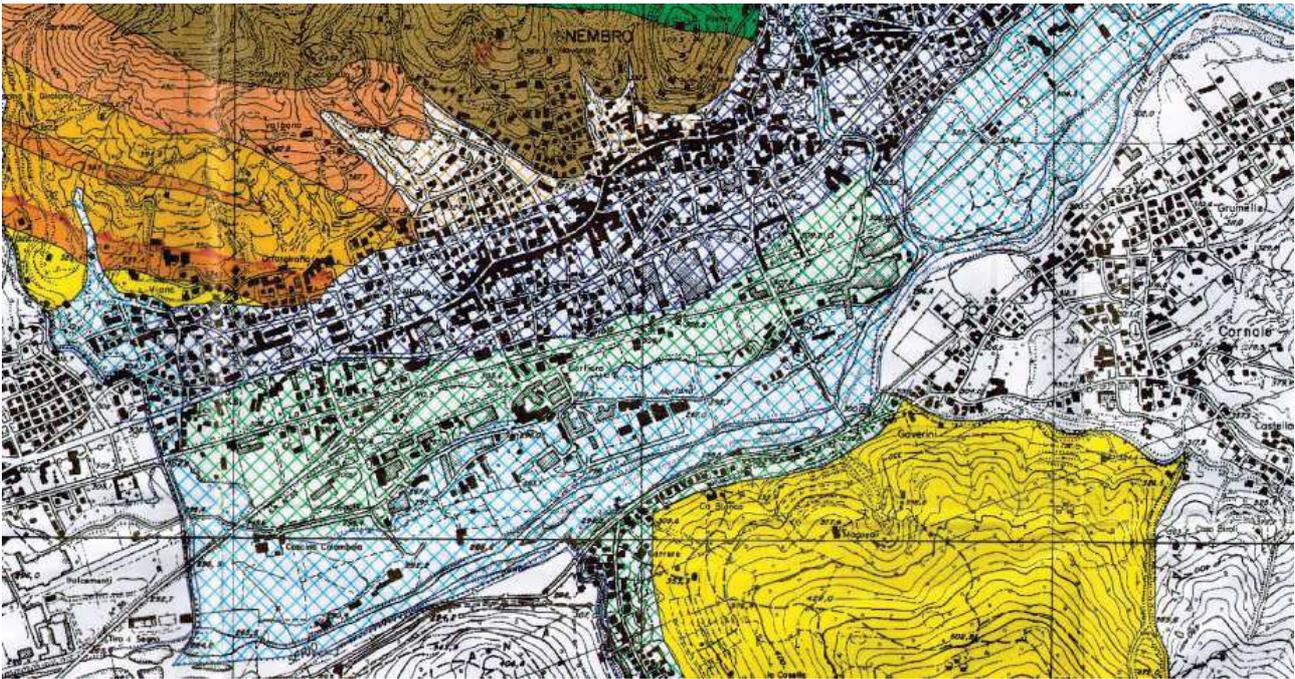


Figura 1.31 – Stralcio della carta geologica di Nembro. Da notare l’elevata quantità di depositi quaternari presenti nella parte centrale e sinistra della carta, i quali non sono posizionati solo in corrispondenza della posizione attuale del fiume, ma anche sulla destra idrografica (la sinistra nell’immagine), indice di uno spostamento del corso del Serio man mano che esso riempiva il proprio letto.

1.6 I SITI STORICI DI COLTIVAZIONE

16.1 I principali materiali estratti: i carbonati e le pietre coti

L’uomo, sin dai tempi più antichi, ha avuto la necessità di utilizzare le materie prime che la natura offre per costruire utensili, edifici e, più in generale, qualunque oggetto di cui si poteva aver bisogno. Inizialmente la ricerca e l’estrazione del materiale naturale non procedevano in modo sistematico, ovvero le conoscenze geologiche erano così scarse da impedire la previsione dell’andamento delle unità litologiche all’interno del sottosuolo. Fino alla fine del 1800 l’idea che le rocce potessero avere una distribuzione tridimensionale complessa non fu mai presa in considerazione, con tutto ciò che ne comporta dal punto di vista dell’incapacità di creare un piano di estrazione per ottimizzare le risorse. Consideriamo inoltre che, prima della metà del secolo scorso, le multinazionali minerarie non erano presenti e, dunque, la coltivazione delle risorse geologiche avveniva prevalentemente a conduzione familiare o da ditte locale specializzate nel settore. Ciò ha portato a una visione errata di come sfruttare un giacimento, ovvero si puntava principalmente a un rapido guadagno, non badando al fatto che, senza un piano di estrazione, la vita del sito estrattivo era destinata a diminuire drasticamente.

Nel nostro territorio osserviamo diversi siti d’estrazione, di cui solo uno attivo ancora oggi. I motivi della dismissione di questi siti possono essere ricercati sia nelle difficoltà economiche legati all’entrata nel mercato delle multinazionali, così come a una notevole variazione nel corso dei decenni dei tonnellaggi e dei prezzi dei materiali estratti. Inoltre la

sempre più moderna tecnologia ha permesso la costruzione di materiali sintetici simili a quelli naturali, ma con costi decisamente inferiori e rendite maggiori, rendendo antieconomico continuare l'estrazione delle materie prime naturali.

Analizziamo ora in modo veloce i due principali materiali che vengono o sono stati estratti all'interno del nostro territorio:

Calcare e marne

Se consideriamo le materie prime necessarie alla formazione del clinker, ovvero del cemento non ancora idratato, possiamo ascrivere principalmente tre rocce alla lista, tutte presenti all'interno del nostro territorio:

- Calcarei: introducono all'interno del sistema chimico un'elevata quantità di calcio, necessario per la formazione dei minerali costituenti la maggior parte dei cementi più comuni.
- Argille: introducono nel sistema chimico principalmente ferro, alluminio e silicio, altri elementi fondamentali per i cementi.
- Marne: composizionalmente sono in una posizione centrale tra argille e calcari, indice dunque della presenza all'interno di essi di minerali di entrambe le litologie. Quindi, nel caso questi componenti siano con le giuste proporzioni, la marna da cemento può essere estratta in modo vantaggioso: da un solo sito estrattivo si ricava una materia prima già completa dal punto di vista chimico. Saranno comunque necessarie, inevitabilmente, delle aggiunte successive per correggere la composizione dato che il materiale naturale raramente è omogeneo.

Il nostro territorio è ricco di carbonati e marne, indice dunque di una forte presenza di siti ideali per l'estrazione di materie prime destinate alla produzione di cementi. In particolare, il calcare di Moltrasio e il calcare di Domaro sono materiali da sempre estratti in alte quantità, oggi però solamente nella cava Cugini.

Il cemento storicamente è uno dei materiali più importanti dal punto di vista edilizio e della crescita economica che ha accompagnato l'Italia nel secolo scorso. Il nostro paese è uno dei leader mondiali in questo settore, in particolare per quanto riguarda le tecnologie associate al processo di produzione. Un appunto notevole deve essere fatto ai cementifici italiani: nonostante siano estremamente costosi dal punto di vista energetico e quindi possano sembrare contrari alla sempre più diffusa (e corretta) tendenza al rispetto dell'ambiente, queste infrastrutture spesso bruciano un'elevatissima quantità di rifiuti, producendo così energia dagli scarti civili. Le altissime temperature necessarie alla produzione del clinker, che si attestano attorno ai 1600 °C, portano a una distruzione completa delle tossine presenti al loro interno, aiutando così lo smaltimento e, indirettamente, diminuendo il numero di discariche.

Le pietre coti

Le pietre coti sono utensili abrasivi che vengono utilizzati per affilare o molare parti di utensili metallici, in particolare lame. Si tratta di uno dei prodotti più tipici del nostro territorio, estratte fin dall'antichità, come riportato anche da numerosi fonti latine. Il commercio di queste pietre, con uno sguardo particolare a quelle cavate nei pressi di Nembro, fiorì notevolmente anche grazie all'elevata qualità del materiale estratto e della forte disponibilità nel nostro territorio.

Da un punto di vista giacimentologico la roccia coltivata si posiziona in corrispondenza di una serie di livelli, spesso alternati a materiale di scarto in modo regolare, all'interno della Formazione di Concesio. Questi livelli, chiamati dai minatori "vene", hanno uno spessore al massimo di poche decine di centimetri e sono estremamente ricche di silicio. La loro origine risale a circa 200 Ma di anni fa, nel Giurassico, e affiorano in tutta la bergamasca, ma in particolare nei pressi della bassa Val Seriana e di Pradalunga. La possibilità di utilizzare questo materiale come utensile abrasivo non deriva solo ed esclusivamente dalla sua composizione chimica – mineralogica. Consideriamo che esistono anche molti altri minerali ricchi in silicio, come il famoso quarzo, ma che non possono essere utilizzati per tale scopo. Ciò comporta la necessità di introdurre il termine tessitura, ovvero come i vari componenti costituenti una roccia si aggregano fra di loro. Da ciò deriva la loro fortuna: le coti mostrano un'impalcatura molto fitta di granuli silicei cuneiformi legati da cemento calcareo¹⁸. Questi caratteri sono legati a processi di litificazione che hanno agito, nel corso dei tempi geologici, su fanghi estremamente ricchi di materiale siliceo di origine biologica, in particolare di organismi come spugne a scheletro siliceo e piccoli frammenti di gusci, detti spicole. La granulometria di questi materiali è attorno a 200 µm. L'ottima efficienza nell'azione abrasiva è proprio connessa alla distribuzione tridimensionale omogenea delle spicole stesse, che esercitano un'azione in ogni direzione.



Figura 1.32 – Cassetta di pietre coti pronte per l'etichettatura. Fotografia di Gianni Comotti.

Le coti erano, e sono tutt'oggi, dei materiali molto ricercati per l'affilatura di lame. Con l'evoluzione tecnologica le pietre coti naturali sono cadute in disuso, in quanto più costose e meno efficienti di quelle artificiale, facendo sì che i siti di coltivazione di questo materiale naturale chiudessero. Inoltre l'utilizzo di macchinari ed utensili sempre più avanzati, in cui l'affilatura viene fatta in modo differente, hanno fatto sì che i tonnellaggi richiesti all'interno di questo mercato siano calati notevolmente. Rimane comunque indiscutibile l'efficacia dell'affilatura fatta con le pietre coti, in quanto molto omogenea e delicata, garantendo una longevità senza pari alla lama. Storicamente possiamo anche pensare che le coti, immancabili compagne di viaggio, furono un simbolo del nostro territorio durante i flussi migratori che hanno spinto gli Italiani a cercare lavoro nelle Americhe durante il secolo scorso.

¹⁸ Per ulteriori approfondimenti dal punto di vista fossilifero consultare il capitolo 2: La paleontologia del territorio di Nembro.

1.6.2 Le cave storiche del nostro territorio

Le buse di Gavarno

Questa cava è stata un importante centro di estrazione di materiale carbonatico all'inizio del novecento, per poi chiudere pochi decenni dopo a causa della crisi economica degli anni Trenta. Le testimonianze storiche ed archeologiche di questo sito di coltivazione sono frammentarie e a volte discordanti fra loro, ma grazie al lavoro del sig. Carlo Marconi è stato possibile ricostruirne la storia.

Oggi quasi nulla resta visibile delle infrastrutture collegate a tale cava: rimangono solo gli squarci aperti all'interno del fianco del monte e le profonde cavità ad essi collegate. La crescita del bosco durante l'ultimo secolo ha nascosto tali testimonianze, impedendone la vista dalla strada che segue il fondovalle. È dunque una zona difficile da trovare se non se ne conosce l'ubicazione. In questo sito di estrazione si coltivava il Sass de la Luna, una pietra calcarea che, come riportato dal tecnico minerario Cesare Zamboni nel 1910, può essere descritta come *“giacimenti calcarei marnosi a base di argilla né troppo silicea, né troppo alluminosa (cioè argilla con $\frac{1}{4}$ di allumina circa) che potevano dare il cemento a presa lenta”*. Parliamo dunque di una pietra estratta solamente per essere utilizzata all'interno di un ciclo di produzione di cemento.



Figura 1.33 – Entrata delle Buse di Gavarno. Fotografia di Gianni Comotti.

L'elevato tonnellaggio necessario alla produzione di questo materiale di uso edilizio, associato a un basso costo unitario, rendeva indispensabile la costruzione di un cementificio nelle vicinanze, in modo da diminuire i costi di trasporto e logistici. Le fonti storiche attestano che le infrastrutture sono state costruite attorno al 1910 dalla “Società Anonima Cementi – Rusca Bonorandi”, successivamente assorbita dalla “Società Italiana dei Cementi e delle Calci Idrauliche” o “Italiana Cementi” (dal 1927 “Italcementi”), che tenne aperto il sito di coltivazione fino al 1929-30, quando la grande crisi portò a un collasso dell'economia, con ingenti danni al settore edilizio. La cementeria fu, nei due decessi successivi, gradualmente smantellata, fino al 1944, anno in cui fu venduto anche il terreno.

Dal punto di vista tecnico il sito, come mostrato in Figura 1.34, presenta la zona di coltivazione in corrispondenza della Collina di Villa di Serio, con un sito di estrazione a cielo aperto, ovvero superficiale, e un sito in sotterraneo. Il materiale cavato in profondità veniva gettato all'interno del fornello, ovvero un condotto verticale che collegava la cava in



Figura 1.34 – Carta topografica rappresentante la struttura delle Buse di Gavarno. Si nota che il sito di coltivazione, a destra, è posizionato sulla Collina di Villa di Serio, collegata all'impianto di lavorazione mediante décauville, il cui percorso è segnato in rosso. Immagine presa da Natura e Luoghi da Gavarno a Lonno, Carlo Marconi, 2005.

sotterraneo alla zona aperta. Questo materiale veniva poi caricato e trasportato mediante carrelli lungo una galleria che collegava il sito di coltivazione con il piazzale di carico. La scoperta del fornello, elemento fondamentale per ricostruire la dinamica di estrazione all'interno del sito, è da attribuirsi a Gianni Comotti. In Figura 1.36 è possibile osservare un suo disegno che rappresenta in modo corretto il percorso di coltivazione e di trasporto del materiale estratto. Il trasporto verso il sito di lavorazione avveniva mediante la décauville, che conduceva agli impianti posti circa 150 m più a valle. In discesa i carrelli si muovevano grazie alla pendenza naturale di questa infrastruttura, fermati successivamente a mano dagli operai con l'ausilio di grossi bastoni di legno incastrati fra le ruote, mentre per la risalita si utilizzava un asino. Le infrastrutture nel sito di lavorazione delle materie prime sono così descritte in catasto: *“Casottino per la pesa a bilico, n.2 forni Portland a sistema Palena [con relative ciminiere], 5 forni a tino per la calce idraulica, vasta tettoia per deposito cemento e calce con locale officina fabbri, locale macinazione cemento, silos ecc., ecc., cabina per trasformatore elettrico, casa rustica con portico, casa d'abitazione e uffici”*.

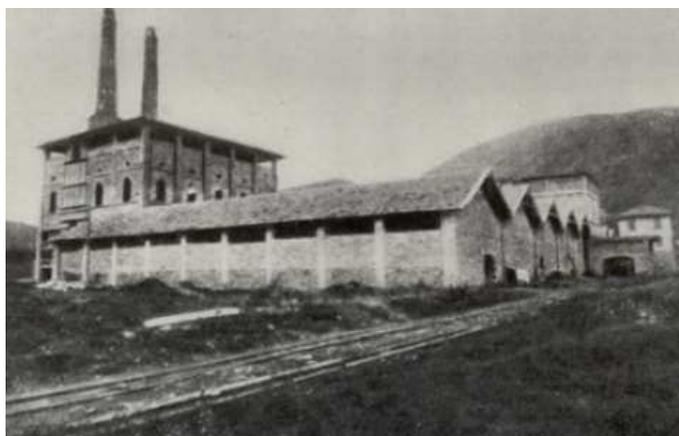


Figura 1.35 – Fotografia della vecchia cementeria nembrese, localizzata in corrispondenza dell'attuale Parco degli Alpini, nel 1922. Da notare i binari per il trasporto del materiale. Fotografia presa da Natura e Luoghi da Gavarno a Lonno, Carlo Marconi, 2005.

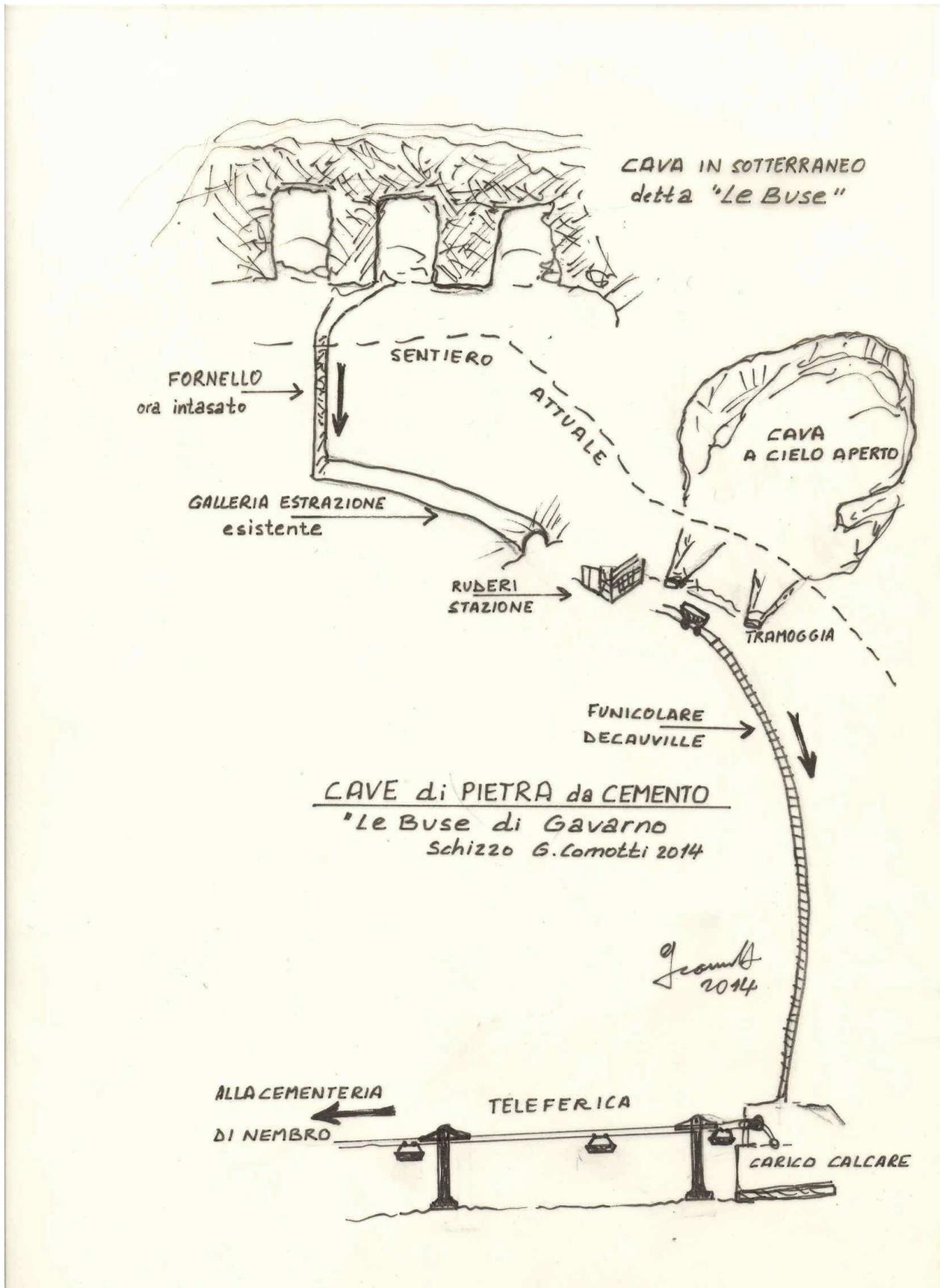


Figura 1.36 – Disegno schematico del processo di trasporto del materiale estratto dalle Buse di Gavarno e trasportato verso la vecchia cementeria di Nembro, la quale sorgeva in corrispondenza dell'attuale Parco degli Alpini.

Cava della Società Quarzo Val Seriana

Verso la fine degli anni Sessanta del secolo scorso, fino ai primi anni Settanta, la collina della “Zuccone”, al di sopra di Valbona, e la zona del torrente Oriolo, ad ovest del santuario dello Zuccarello, è stata sconvolta da un’intensa prospezione e ricerca mineraria atta all’estrazione delle Radiolariti, pietra silicea descritta nei paragrafi precedenti. Nonostante il breve tempo di attività la cava ha lasciato segni indelebili sul versante, anche se oggi sono in gran parte nascosti dalla vegetazione cresciuta negli ultimi trent’anni. La vecchia strada che collegava il sito di estrazione con gli impianti di lavorazione e produzione è stata riutilizzata, dimostrandosi utile per l’apertura del Percorso Vita realizzato nei primi anni Duemila dalla Comunità Montana Valle Seriana. La richiesta di prospezione minerarie e, successivamente, quella di coltivazione sono state avanzate nella metà degli anni Sessanta dalla “Società Quarzo Valle Seriana”, la quale ha intravisto un potenziale giacimento all’interno di queste rocce silicee, composte per oltre il 98% di ossido di silice, con impurità di ferro inferiore all’1% e con una discreta quantità di acqua di cristallizzazione. Questa caratterizzazione chimica, ideale per l’utilizzo del quarzo come materiale deossidante all’interno delle fonderie, ha spinto la società ad avviare l’estrazione.

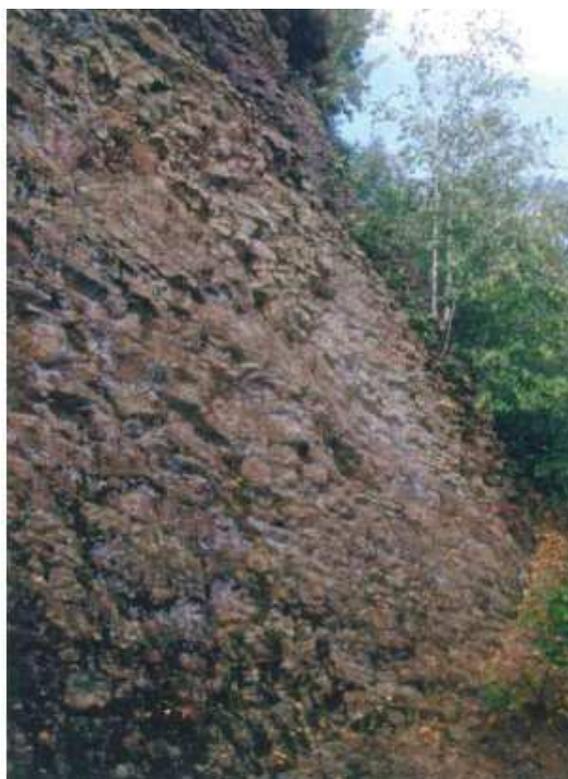


Figura 1.37 – Ultimo fronte di cava della Società Quarzo Val Seriana nel 1973. Fotografia resa da Natura e Luoghi da Gavarno a Lonno, Carlo Marconi, 2005.

Sono dunque stati acquistati i terreni in corrispondenza del posto sopra descritto ed altri nelle vicinanze del fiume Serio in via Acqua dei Buoi, dove avrebbe dovuto sorgere il complesso di infrastrutture atte alla lavorazione e alla commercializzazione del materiale.

Il fabbricato polivalente comprendeva:

- una rampa di accesso per gli autocarri trasportanti il materiale lapideo grezzo
- due tramogge per la lavorazione e la frantumazione del materiale
- la sede degli uffici della Società



Figura 1.38 – Ruederi della rampa – tramoggia della Società Quarzo Val Seriana, costruita a Viana dal 1969 al 1972, oggi smantellata. Fotografia presa da Natura e Luoghi da Gavarno a Lonno, Carlo Marconi, 2005.

All'inizio degli anni Settanta si dà quindi inizio ai lavori veri e propri di estrazione, ma per diverse ragioni il progetto è fallito in pochi anni. Alle proteste dei cittadini, preoccupati per la deturpazione dell'ambiente, si deve sovrapporre una ben più importante problematica legata all'utilizzo stesso del materiale. Consideriamo che, nonostante la profonda conoscenza dei processi siderurgici, noti anche agli antichi Romani e ad altre civiltà antiche, lo studio geologico e litologico delle rocce in ambiente minerario comprendeva spesso solo un'analisi chimica, tralasciando completamente le proprietà fisico – mineralogiche che, inevitabilmente, caratterizzano una formazione rocciosa sotto aspetti diversi, così come il suo comportamento durante i processi industriali.

Ancora oggi la cristallizzazione del quarzo, ovvero un ossido di silicio simile a quello presente all'interno delle Radiolariti, presenta non poche problematiche, dovute a un comportamento anomalo del sistema chimico durante i processi termici legati a un aumento di temperatura. Negli anni '70 queste conoscenze erano poco radicate, così come era poco diffusa la tendenza delle varie società minerarie a valutare altri parametri oltre quelli prettamente chimici. Il risultato fu disastroso: il materiale cavato, che avrebbe dovuto fondere a temperature di circa 1300 – 1400 gradi, si decomponeva a temperatura nettamente inferiori, attorno agli 800 °C. Ciò è legato all'acqua, la quale rompe le catene polimeriche, ovvero i legami chimici tra le molecole costituenti i minerali, abbassando il punto di fusione del materiale stesso. Si osservava dunque una frantumazione in grana estremamente fine del prodotto, dannosa per le colate durante il ciclo di estrazione del ferro da minerali metalliferi, quali ematite e magnetite in primis. Questo fenomeno impattò in modo drastico sull'economia del sito di estrazione, impedendo la vendita del materiale coltivato, che andò ad accumularsi all'interno dei siti di stoccaggio per diversi mesi. Se aggiungiamo anche la crisi mondiale dell'industria siderurgica e metallurgica, iniziata negli anni Settanta e propagatasi nei decenni successivi, la Società Quarzo Valle Seriana non ha avuto altre possibilità che fermare la produzione e abbandonare completamente il sito di estrazione con tutti i macchinari annessi, tra cui il costoso e mastodontico escavatore, riportato in Figura 1.39.

La formazione di una coltivazione a cielo aperto, non solo in questo caso, spesso porta anche a una serie di problemi idrogeologici notevoli, come è avvenuto nel nostro territorio. La composizione mineralogica delle Radiolariti, che le rendono del tutto impermeabili e molto resistenti all'alterazione, ha fatto sì che le acque di deflusso superficiali scorressero in superficie, senza penetrare nel sottosuolo per la ricarica degli acquiferi.



Figura 1.39 – Fotografia dei ruderi dell’escavatore, abbandonato per 34 anni sul fronte di cava e oggi smantellato. Immagine presa da Natura e Luoghi da Gavarno a Lonno, Carlo Marconi, 2005.

Caso vuole che in quegli anni le piogge furono abbondanti e violente, convogliando verso il basso enormi quantità di fango e materiale detritico, associati a fenomeni franosi. L’acqua, non più assorbita, scendeva fino a valle, rendendosi responsabile di numerosi allagamenti. Nel corso dei decenni la natura ha ripreso il sopravvento sull’uomo, ricoprendo il sito di coltivazione e ristabilizzando un corretto equilibrio fra l’acqua assorbita e l’acqua ruscellata in superficie. Fu così che il Comune di Nembro impedì una successiva prospezione mineraria e la riapertura dei centri di estrazione, a tutela della delicata condizione ambientale che si presenta all’interno di questo territorio.

Le imprese di lavorazione dei materiali sciolti in Val Seriana

Come già descritto all’interno del paragrafo relativo al fiume Serio, un qualsiasi corso d’acqua depone un’elevata quantità di detriti che, all’occorrenza, possono essere estratti per utilizzo industriale. Nel passato e fino a metà del secolo scorso questo materiale costituiva una faticosa fonte di guadagno per una piccola parte di popolazione dei paesi collocati lungo le sue sponde. I ciottoli infatti venivano estratti a mano dai “*crieli*”, in italiano cavaatori, i quali venivano venduti ai muratori per la costruzione di muri, strade di campagna, giardini e orti, nonché per la produzione di intonaci e di attrezzi per la macinazione. Oggi l’estrazione di questo materiale avviene in modo molto più tecnologico, ma anche con una più forte restrizione degli ambienti in cui si può estrarre. Infatti, nonostante la forte abbondanza di sedimenti, di qualunque dimensione, all’interno dei più diversi territori, la legge italiana oggi ne vieta l’estrazione dai fiumi e dalle zone costiere per la tutela ambientale, se non in casi particolari. La ricerca mineraria si è dunque dovuta spostare verso la localizzazione delle paleovalli, ovvero antiche valli fluviali oggi riempite completamente dai sedimenti.

Tornando alla descrizione dei vecchi siti di coltivazione sul fiume Serio, il metodo di estrazione della sabbia era decisamente faticoso per il minatore, che utilizzava pochi attrezzi facili da reperire. Inizialmente si creava una buca all’interno dell’argine del fiume, per poi costruire un setaccio con una rete fissata a dei pali di legno. Si buttava quindi il materiale estratto con una pala sopra la rete, setacciandolo in modo grossolano. Nella rete rimaneva lo scarto, ovvero quel materiale troppo grossolano per essere venduto, mentre nella buca si accumulava il materiale utile. In funzione della maglia della rete era quindi

possibile discriminare le varie tipologie di materiale su base granulometrica e, quindi, indirizzarli verso un utilizzo commerciale differente. C'era dunque la ghiaietta che si utilizzava per il calcestruzzo, la sabbia utilizzata per intonacare, per poi passare a quella che viene definita "gèrina", ovvero una ghiaia di piccole dimensioni. Da tenere presente che, come riportato dal Sig. Camillo Conti nell'opera *"Il fiume Serio: le sue risorse nei ricordi di Camillo Conti e Celestino Testa"*, per fare un carro di sabbia si dovevano muovere tre carri di scarto. Questo è dovuto, come facilmente intuibile, al fatto che all'interno di un contesto fluviale si accumula un'elevata quantità di sedimenti a granulometria differente, rendendo così necessario l'asportazione completa del materiale e una sua successiva selezione. Questo rudimentale metodo per l'estrazione del materiale sciolto cessò lentamente dopo il 1945, quando finita la Seconda Guerra Mondiale si dette in concessione ai privati il terreno in corrispondenza dell'alveo del fiume. Nel Dopoguerra fioriscono dunque in quest'area ben sei ditte di lavorazione dei materiali non ferrosi, di cui tre, anche se con diversi cambi di gestione, sono ancora oggi attive (Offredi, Calcestruzzi Valseriana e Quarzifera Bergamasca).

Cava Zanchi Martinelli

Si trova in corrispondenza della località di Piazzo e venne aperta dall'Arciprete Don Pietro Zanchi nel 1918, all'interno di terreni di proprietà parrocchiale. Lo scopo era produrre in proprio la calce idrata occorrente per la costruzione della nuova casa canonica e del nuovo oratorio, anche per dare lavoro ai disoccupati nembresi dopo la fine della Grande Guerra. L'impresa in pochi anni fallì e la si dovette vendere alla ditta Martinelli, che la sfruttò fino alla metà degli anni Cinquanta. Oggi l'area è stata occupata da un maneggio per l'allevamento di cavalli da corsa, mentre gli impianti di lavorazione del materiale estratto sono stati demoliti nel 1988 per motivi di sicurezza. A livello tecnico si trattava di una cava a cielo aperto dove si estraeva il Calcare di Zu, destinato alla produzione di cemento e calce idrata.



Figura 1.40 – Visuale dall'alto della vecchia cava Martinelli. Fotografia di Gianni Comotti.

La Figura 1.41 è un disegno di Gianni Comotti che illustra il trasporto del materiale dalla cava al sito di lavorazione. Una volta estratto il materiale veniva caricato su vagoncini e inviati mediante décauville nell'area di lavorazione, posizionata più a valle. I carrelli si

muovevano grazie alla naturale pendenza del tragitto. In questa erano presenti quattro forni a tino, destinati alla cottura del carbonato per la produzione di calce viva.

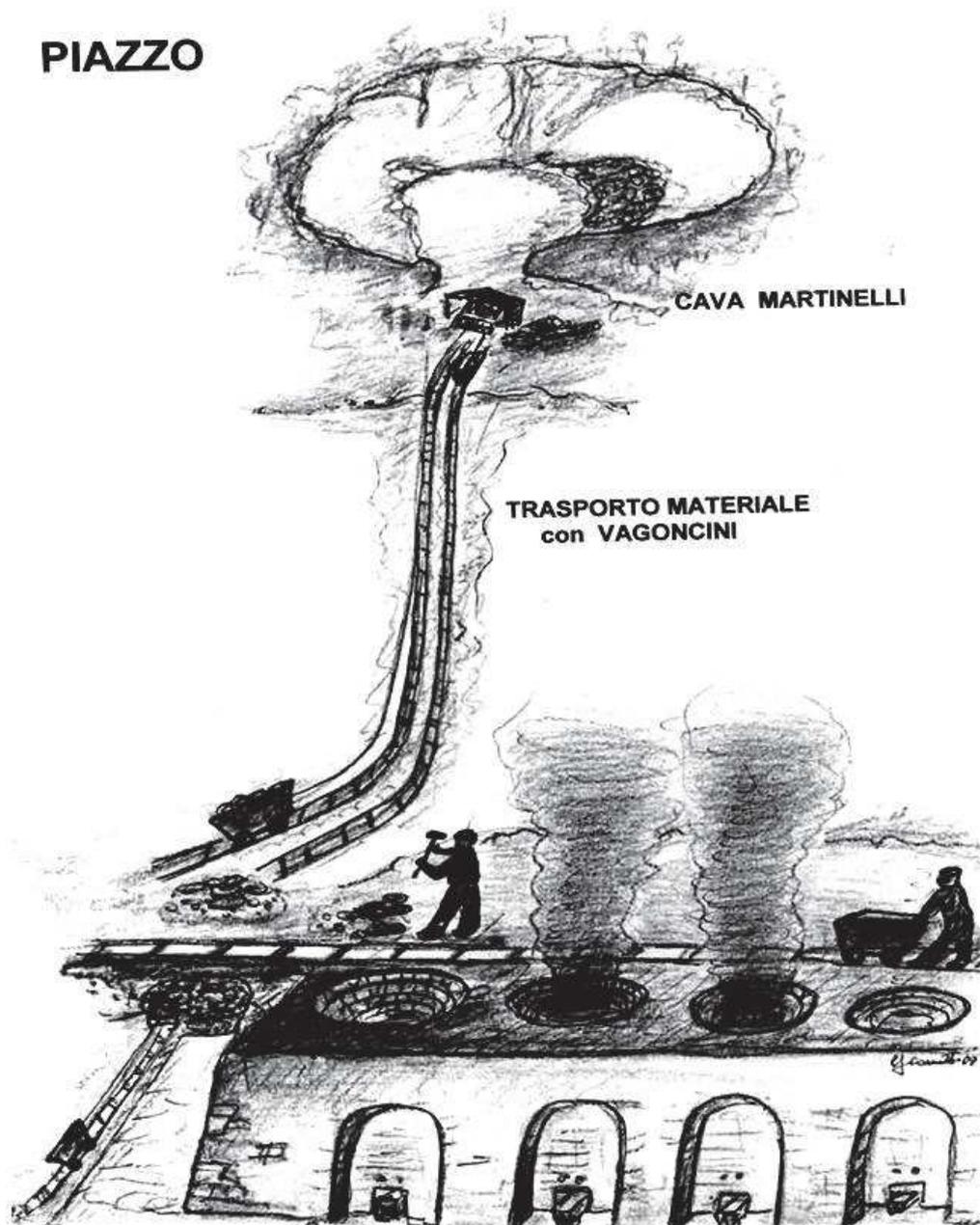


Figura 1.41 - Rappresentazione grafica del trasporto di materiale dalla cava ai forni. Illustrazione di Gianni Comotti.

Le ex cave di pietre coti

Di questi ormai dismessi siti di attività mineraria, fiorenti per tutta l'antichità e fino alla metà del secolo scorso, rimangono poche ma evidenti tracce all'interno del nostro territorio, più un'elevata quantità di scritti che attestano la loro importanza storica. Parliamo di siti di

coltivazione molto differenti dagli altri descritti precedentemente, in quanto questi si sviluppavano all'interno di un complesso reticolo di gallerie sotterranee, destinate a raggiungere le liste di materiale silicizzato presenti all'interno della Formazione di Concesio. Lo scopo era scendere a notevoli profondità fino a raggiungere il livello da coltivare, per poi seguirlo orizzontalmente, come si osserva in Figura 1.42.



Figura 1.42 – Sezione orientativa delle parti iniziali delle cave Bonorandi. Illustrazione di Silvana Gamba, in base alle informazioni fornite da Daniele Mutti e Gianni Comotti. Immagine presa da Natura e Luoghi da Gavarno a Lonno, Carlo Marconi, 2005.

Essendo, come citato nel paragrafo sulle pietre coti, i livelli utili dal punto di vista minerario spessi poche decine di centimetri, c'era necessariamente un'elevata quantità di materiale di scarto che doveva essere inevitabilmente estratto per liberare il livello coltivato. La Figura 1.43 mostra come si presentava, almeno dal punto di vista schematico, la vena che veniva coltivata. Possiamo distinguere tre principali parti all'interno di questa litologia:

- il *mat*: roccia calcarea grigio chiaro, non economicamente utile
- il *corat*: scorza di selce esterna di colore nero, anch'essa non economica
- il *cors*: roccia silicea grigio scura, ovvero la parte del filone poi effettivamente utile per la produzione di coti

Come in tutti i siti di coltivazione lo smaltimento della ganga (ovvero del materiale non utile dal punto di vista economico) viene fatto in corrispondenza del sito di estrazione, in modo da eliminare i costi logistici dovuti al trasporto e stoccaggio di un materiale di scarto. Nascono quindi in prossimità delle entrate delle gallerie un elevato numero di piccole discariche ancora visibili, definite *roere*. Osservandole con attenzione si possono intravedere le tracce dei terrazzamenti su cui correavano le i binari della *décauville*, sui quali transitavano i carrelli carichi di lastre di pietra. Questo discorso vale solo per i tratti di

galleria vicini alla superficie: per i siti di estrazione più profondi portare all'esterno il materiale di scarto era molto sconveniente, di conseguenza veniva accumulato su infrastrutture di legno che fungevano sia da discarica che da supporto per le gallerie.

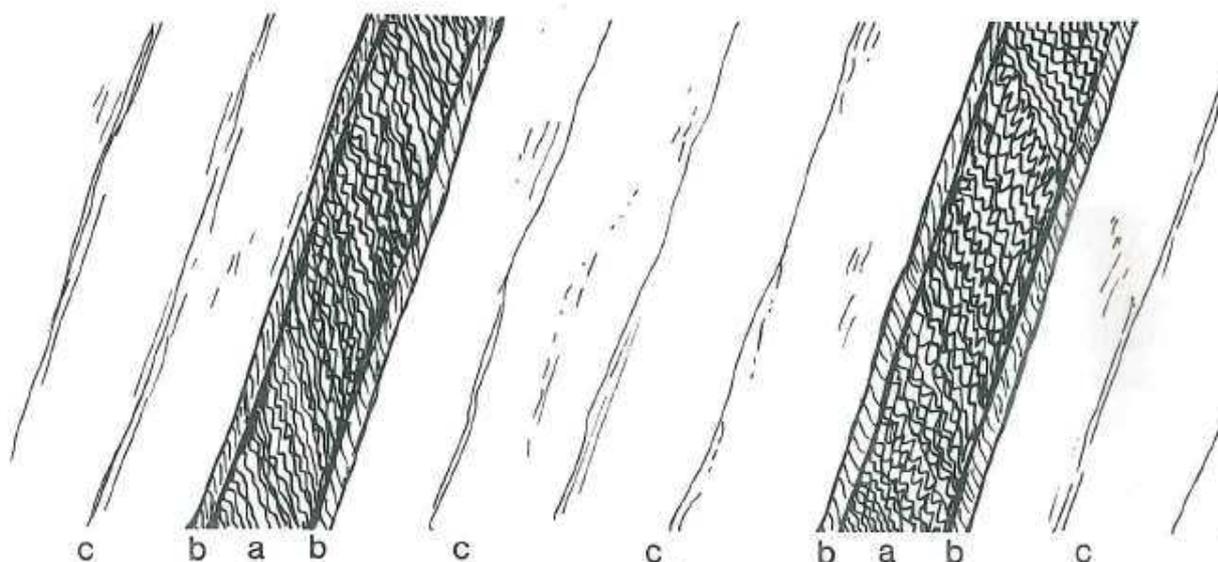


Figura 1.43 – Schema esemplificativo della disposizione delle vene all'interno delle formazioni. Nel disegno: a) I filoni utilizzabili (“Corsi”); b) La scorza di selce che li copriva (“Corat”); c) Gli strati di roccia calcarea di scarto (“Ol mat”). Illustrazione presa da *Il sentiero delle Podone*, Carlo Marconi, 1992.

Diverse testimonianze storiche¹⁹ parlano di un fitto reticolo di gallerie che attraversano completamente il territorio nembrese: *“Il sottosuolo di Nembro ha tante gallerie che partono dalla zona del Carso, passano sotto lo Zuccarello ed arrivano fino ad Alzano. Sono a diverse profondità, alcune a 60 metri, altre a 80 metri, altre anche a 100 metri”*. La necessità di scavare anche gallerie così profonde ed estese sottolinea la notevole importanza di questo materiale all'interno dell'economia della bassa val Seriana, con un forte riguardo per il territorio di Nembro e di Pradalunga. Le coltivazioni in sotterraneo sono necessariamente più costose rispetto a quelle superficiali, sia a causa della necessità di interventi di consolidamento per impedire alle gallerie di crollare, sia per la maggior difficoltà nel trasporto dei materiali. L'entrata di queste cave sono oggi spesso nascoste dalla vegetazione e le poche ancora riconoscibili sono sbarrate da cancelli per impedirne l'entrata. Fonti storiche attestano la grande quantità di vene utili all'estrazione nel nostro territorio, ognuna con un nome differente. Nasce così una classificazione delle pietre coti sia in funzione della zona di estrazione sia in base alla durezza del materiale stesso. È infatti interessante far notare come questi stessi nomi derivano dall'esperienza secolare dei minatori, entrati poi nell'utilizzo comune identificando utensili con caratteristiche differenti. Come riporta la testimonianza del Sig. Davide Cugini *“Le pietre coti sono generalmente disposte in tre corsi: il più duro, detto in gergo del mestiere “frassanella quelli dei lati, più dolci, detti “nembrina” o “pastosa”. Altri nomi sono loro conferiti, corrispondenti, per la maggior parte, alla particolare qualità od al luogo di escavazione: “Betosella, chiara, nera, frera, nembrinella, perfetta, petolfa, ricabuna, rigata, rossa, tenera, ecc.”*”.

¹⁹ Riportate all'interno di *Natura e luoghi da Gavarno a Lonno*, di Carlo Marconi, 2005



Figura 1.44 – Vena di pietre coti nella discenderia Bonorandi, in corrispondenza del parcheggio intermedio dello Zuccarello. Fotografia di Gianni Comotti.

Tutte le cave della Val del Luio erano certamente di proprietà della ditta Roberto Bonorandi, come risulta dagli atti catastali. Esse furono dismesse in tempi diverse: quelle in corrispondenza di Grumello prima del 1938, quelle a quota inferiore dopo la Seconda Guerra Mondiale. Le gallerie sotterranee provenienti dalla zona Valcossera – Canaletta – Carso e che erano servite delle entrate della Valle del Luio traversano alla base il Pizzo di Lonno – M. Ganda – M. Frontale e sbucavano all’aperto in corrispondenza della valle del torrente Nesa, a nord di Nese.

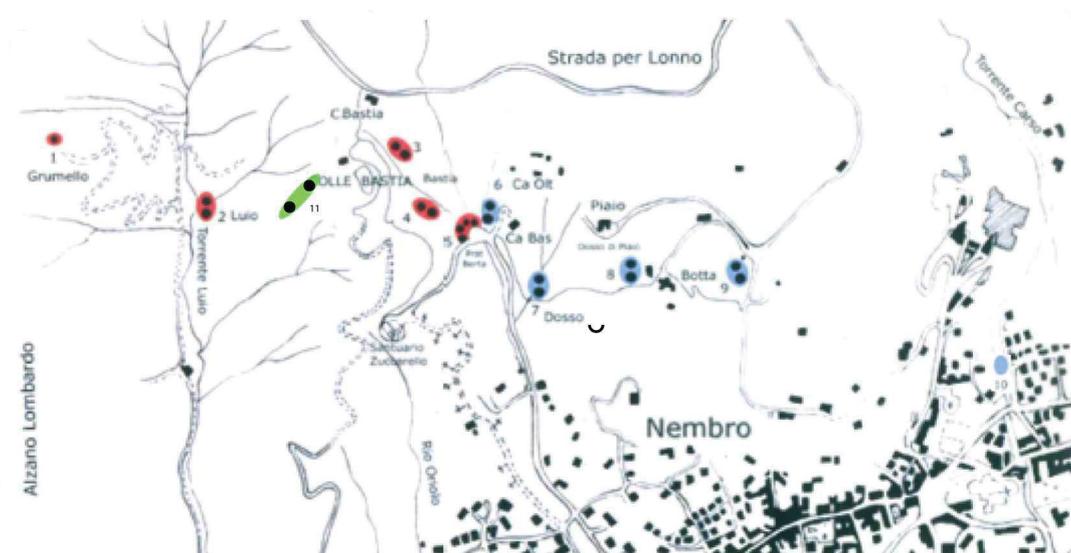


Figura 1.45 – Collocazione delle vecchie cavi di pietre coti a Nembro. Immagine presa da Natura e Luoghi da Gavarno a Lonno, Carlo Marconi, 2005.

Di seguito l’elenco delle cave rappresentate in Figura 1.45, sempre tratte dall’opera del Sig. Marconi:

- Cava 1 (1 vena) Grumello o Bosco Grumelli, (Bonorandi)
- Cava 2 (2 vene) Nembrina dello Scarpadù, Frassanella di Viana (Bonorandi)

- Cava 3 (2 vene) Bastia di Lonno 1, Bastia di Lonno 2 (Bonorandi)
- Cava 4 (2 vene) Nembrina della Bastia, Frassanella della Bastia (Bonorandi)
- Cava 5 (4 vene) Frassanella del Carpen e Nembrina del Sempione, Nembrina Bus del Ca, nembrina della Valle (entrata nella discenderia Valcossera, profonda 110 m) (Bonorandi)
- Cava 6 (2 vene) Frassanella e Nembrina di Prat Berta, (Rusca – Gilberti)
- Cava 7 (2 vene) Dosso 1, Dosso 2 (caselli del Gilberti) (Rusca – Gilberti)
- Cava 8 (2 vene) Dosso di Piaio 1, Dosso di Piaio 2 (Rusca – Gilberti)
- Cava 9 (2 vene) Nembrina di Botta, Frassanella di Botta (Rusca – Gilberti)
- N.10 Bocca di scarico nel T. Carso dell'acqua delle cave (Rusca – Gilberti)
- Cava 11 (più vene) Bastia ovest, cavi coti del ciliegio (Bonorandi)

Notiamo dunque da questo elenco come le cave di pietre coti non erano localizzate solo ed esclusivamente all'interno della Val del Luio, ma si distribuivano in modo uniforme all'interno della parte più montana del territorio di Nembro. Numerose entrate alle cave elencate si trovavano in nord dell'attuale piazzale dello Zuccarello, costruito proprio in corrispondenza di uno spiazzo utilizzato dai minatori per l'accumulo e il carico dei materiali.



Figura 1.46 – Roera in corrispondenza di una vecchia cava di pietre coti in Val del Luio. Foto di Gianni Comotti.

Cava Frana Rosani

Spostiamoci ora ad analizzare una delle più note cave presenti all'interno del nostro territorio, ovvero quella posizionata in corrispondenza della frazione di Trevasco. Chiamata Cava Frana – Rossetti, dagli ultimi omonimi proprietari, è un sito di coltivazione in sotterraneo di materiale calcareo destinato alla produzione di cemento e calce. La ex cava si trova sul versante sinistro della valle del Carso, al di sotto della cascina Scarnasso, in corrispondenza della strada sterrata che conduce alla frazione. Un tempo l'estrazione era attiva su entrambi i lati della strada, mentre oggi è in via di colmamento, essendo stata trasformata in una discarica per materiali inerti. Di questo sito di coltivazione rimangono visibili le lisce pareti, diventate fino al 2013 una palestra di

arrampicata, successivamente chiusa per un distacco di un masso, e le gallerie che un tempo sono state utilizzate per la coltivazione delle vene. Una décauville portava il materiale estratto allo scivolo della ex fornace Rosani, situata all'inizio di via SS. Trinità e che con forni di cottura produceva calce idrata e calce in zolle. La cava era stata aperta nel 1911 dalla società "Savoldi Angelo e Gritti Giorgio", ma negli anni '20 passò in proprietà alla ditta "F.lli Frana fu G", per poi essere acquistata più tardi dalla ditta "Rosani", che la tenne in funzione fino agli anni settanta. I resti fatiscenti della fornace sopracitata sono stati completamente demoliti nel 1994 e delle antiche strutture industriali della cava resta memoria solo in vecchie fotografie.

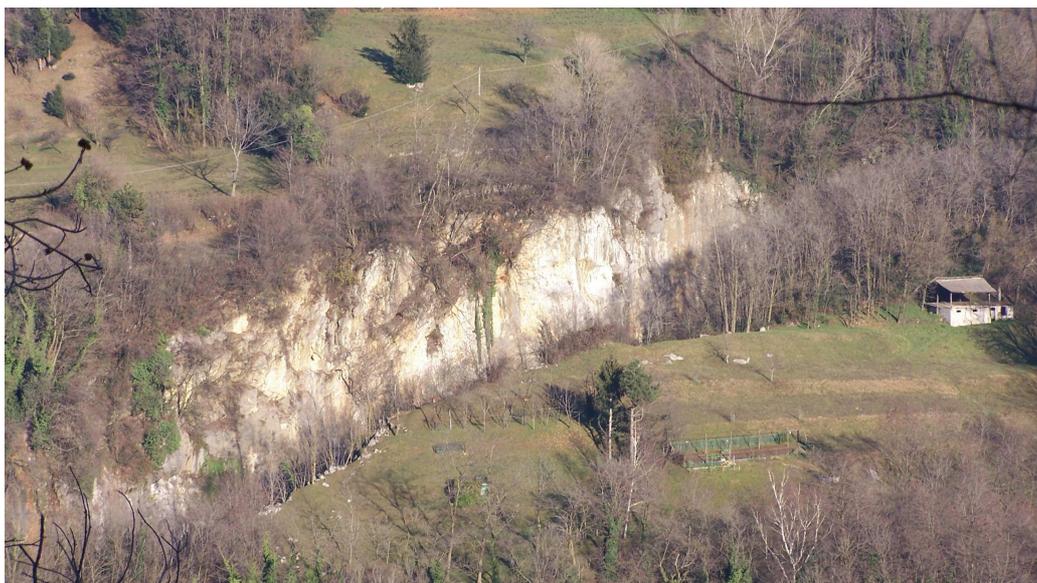


Figura 1.47 – Il fronte di cava del sito di coltivazione Frana Rosani ripresa dall'alto. Fotografia di Gianni Comotti.

Cava Cugini

Attualmente l'unico sito di estrazione ancora attivo all'interno del nostro territorio, la cava Cugini ha segnato un importante passo economico e storico durante il secolo scorso. Agli inizi del Novecento la valle Seriana è diventata famosa, a livello nazionale, per i suoi importanti sviluppi dal punto di vista industriale. Il L'Eco di Bergamo scriveva: la valle Seriana veniva così ad occupare *"uno dei primi posti tra le località maggiormente note in Italia per le numerose e potenti industrie che vi riferiscono"*. Stranamente però cita solo il nuovo stabilimento della ditta Rusca – Bonorandi, di cui abbiamo parlato precedentemente per le pietre coti, senza nominare quello coevo di Giuseppe Angeli, forse perché ancora ai suoi primi passi. Quella che oggi conosciamo come cava Cugini non si è sempre chiamata così, in quanto il primo atto costitutivo dell'azienda porta il nome di "Società Angeli Giuseppe e C.", firmato nel 1907, primo titolare e direttore di questa importante ditta. Nei quattro anni successivi vengono acquistati numerosi terreni per la costruzione degli impianti e la coltivazione stessa, fino a quando, nel 1911, assume la sua fisionomia completa. Nei primi anni si è osservato un notevole sviluppo del mercato della calce, facendo sì che l'attività fiorisse, come testimoniato dall'assunzione di più di trenta operai tra il 1910 e il 1911. L'impianto infatti non nasce con l'idea di produrre cemento, ma si imposta il ciclo produttivo per la produzione di calce idraulica, notevolmente richiesta nel primo decennio del secolo scorso. Le qualità di questo materiale che hanno favorito la sua diffusione sono l'elevata plasticità e la buona impermeabilizzazione, in aggiunta alla

perfetta aderenza al mattone e alle pietre, evitando le fessurazioni. Lo stabilimento, che all'inizio possedeva due forni attivi per una produzione giornaliera di circa cento quintali, si innesta sul mercato in modo rapido e con un immediato riscontro economico.

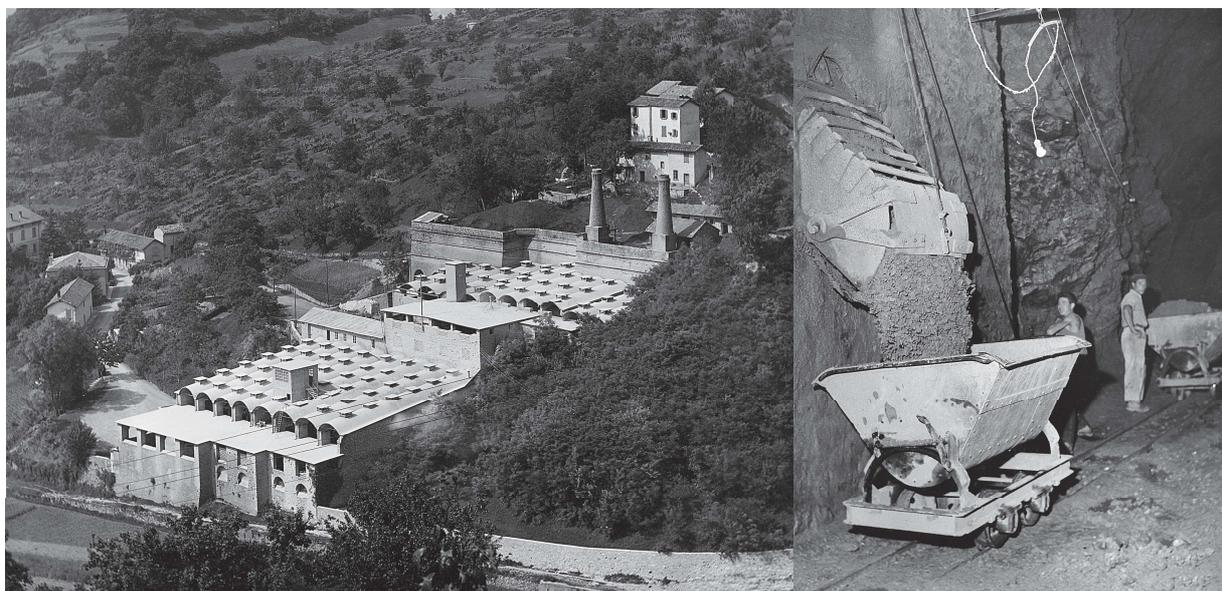


Figura 1.48 – A sinistra l'impianto di lavorazione dei Cugini durante il secolo scorso, oggi ampliato. A destra una tramoggia che scarica il materiale estratto all'interno di un carrello, che proseguirà lungo la décauville fino all'impianto di lavorazione. Fotografie della Cugini SpA.

La prima crisi che sconvolse l'attività fu legata alla Grande Guerra, con l'entrata dell'Italia nel conflitto in data 24 maggio 1915. A Nembro, durante questi anni, il lavoro era intenso sia negli stabilimenti cotonieri che in quelli delle calce e dei cementi, ma scarseggiava la manodopera, impegnata al fronte. Il problema però più rilevante, sia dal punto di vista industriale che economico, era la minor disponibilità del carbone, del quale era lievitato anche il prezzo di mercato. Questa deficienza elettrica portò a un brusco freno nell'attività estrattiva, che si ridusse al minimo per tutto il periodo del conflitto. Negli anni successivi Nembro si trovò in una grande difficoltà economica e alle disgrazie della guerra si aggiunse anche un'epidemia di febbre spagnola. In questo periodo entra a far parte del consiglio il giovane Emilio Cugini, 28 anni, il quale nel corso dei decenni successivi rese l'azienda, mediante una guida oculata e paziente, un punto di importanza fondamentale per l'economia nembrese. Dopo gli anni difficili del primo dopoguerra si assiste a una rifioritura per la Cugini, con un importante periodo di sviluppo: l'azienda aprì il nuovo sito di coltivazione, ormai diventato storico per i cittadini nembresi, posto sul versante est del Monte Valtrusa, nel bosco Roveto, in cui affiora il calcare di Domaro che, come già citato, è un'ottima materia prima per la produzione del cemento. Lo stabilimento era, ed è tuttora, collegato alla cava mediante una galleria costruita al di sotto della strada provinciale che congiunge Nembro e Selvino. Il trasporto del materiale estratto avveniva mediante la classica décauville, senza l'utilizzo di autoveicoli. L'andamento così favorevole per l'azienda la portò anche ad investire all'esterno dell'ambito della propria fabbrica, come testimoniato dall'acquisto di 250 azioni della Società Anonima Calce in Zolle di Nese. In realtà le spese di avvio del nuovo sito di coltivazione, sommate a una temporanea contrazione della domanda di calce sul mercato, fanno sì che il bilancio del 1927 si chiudesse in negativo.



Figura 1.49 – Immagini della galleria che congiunge il sito di estrazione con l'impianto di lavorazione. A sinistra una foto storica, in cui si nota da décauville e un carrello di trasporto. A destra la galleria oggi, con l'entrata ampliata per il passaggio degli automezzi. Fotografie di Cugini SpA.

Nel frattempo all'orizzonte si accumulavano già le nubi minacciose della crisi degli anni '30, che sconvolse anche il mercato italiano con un forte rallentamento nell'industria edilizia. Il restringimento del mercato mise in condizioni difficili le aziende, che si ritrovarono con stabilimenti sovradimensionati rispetto alla quantità di materiale edilizio richiesto. All'inizio di questo decennio, nonostante la crisi, la società è impegnata nella costruzione della "casa degli operai", ovvero di un edificio posto in corrispondenza dello stabilimento atto a fornire alloggio ai lavoratori e a raccogliere ogni altro uso inerente all'azienda. Inizia così a delinearsi un forte capitale immobile dell'azienda, che diventerà un punto importante della sua economia. In questo periodo la Cugini non spicca per l'elevata produzione, ma si mantiene su un bilancio costante e senza un utile elevato. Nel 1941 avvenne un passo di importanza storica: a vent'anni dalla rinuncia di Giuseppe Angeli al controllo della società la sua denominazione muta per decisione del Consiglio di Amministrazione del 10 marzo. La ditta si chiama ora Società Anonima Cugini Cementi e Calci di Nembro, nome che tuttora mantiene e con il quale è conosciuta nel mercato. Durante la Seconda Guerra Mondiale, nel 1943, la fabbrica Cugini è dichiarata stabilimento protetto, ovvero sottoposto a una tutela speciale: si vieta qualunque atto che possa disturbare o comunque menomare la normale attività produttiva. Il sequestro o la requisizione dell'impianto e delle merci il licenziamento o trasferimento degli operai dovevano essere inevitabilmente approvati dai Comandi Tedeschi. Durante il conflitto furono comunque requisiti diversi autoveicoli, che furono utilizzati sia in Africa sia come mezzo di trasporto per i nazisti nel nostro territorio, senza però mai intaccare la produttività dell'azienda.

Gli anni del dopoguerra si mostrarono fiorenti per l'attività grazie alla forte ripresa economica che il nostro paese ha portato avanti. La necessità di materiale edilizio cresce a dismisura, obbligando un aumento energetico non indifferente. A titolo di esempio l'azienda acquistò un motore diesel da 100 – 110 Kw/h, derivato da un mercantile in via di demolizione, ma non bastò per la completa produzione di energia. Venne così acquistata e rimessa a nuovo una vecchia centralina idroelettrica a Villa di Serio, che trasferiva l'energia mediante una serie di cavi aerei e sotterranei. Per i due decenni successivi la

Cugini sviluppò notevolmente il suo mercato e mostrò segni evidenti di una robusta crescita, ma senza mai modernizzarsi dal punto di vista tecnologico.

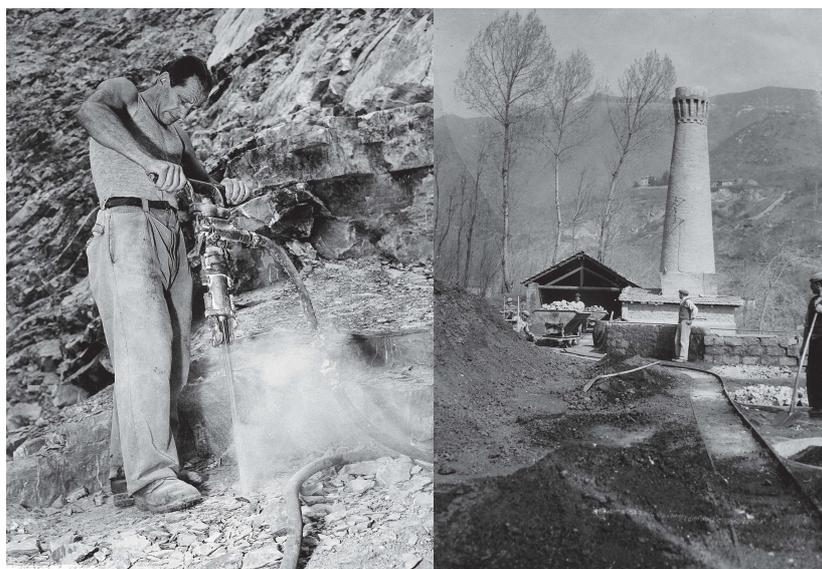


Figura 1.50 – A sinistra un operaio addetto alla rottura dei blocchi estratti direttamente in cava, quando non erano ancora installati i frantoi. A destra un vecchio forno per la cottura del carbonato e per la produzione della calce. Fotografie di Cugini SpA.

Questo errore venne abbondantemente pagato negli anni Sessanta, quando l'azienda contava più di settanta dipendenti, un numero decisamente eccessivo se rapportato alla produzione, ma necessario all'utilizzo di macchinari ormai antiquati. Nel 1962 viene così deciso di richiedere un prestito di 140 milioni di lire, poi aumentati a 170, alla Banca Centrale di Credito Popolare di Milano, fondi destinati all'ammodernamento dell'impianto. Viene così completamente rivisto il ciclo produttivo, con l'acquisto di macchinari più recenti, destinati ad aumentare la produzione ed il livello di qualità del prodotto uscente. Nel 1963 iniziano così i grandi lavori, con l'allargamento della galleria che congiungeva la cava agli stabilimenti per permettere il passaggio dei camion e l'eliminazione della décauville, l'attività di escavazione fu data in appalto a una ditta esterna che possedeva escavatori ed automezzi che potevano coltivare la cava a gradoni in modo agevole e nel rispetto delle recenti norme di sicurezza. Fu installato un nuovo frantoio che eliminò la frantumazione manuale come visibile in Figura 1.50, furono introdotti due forni verticali semiautomatici con combustione a carbone e fu rinnovato il settore della macinazione, con l'acquisto di un nuovo mulino, e velocizzato il processo di insaccamento con una nuova insaccatrice. Infine, furono costruiti nuovi siti di deposito per la maturazione della calce e si migliorò il controllo qualità con un nuovo vibrovaglio. Si trattò di una serie di interventi costosissimi, i quali però non si presentarono da subito all'altezza delle aspettative: si trattava spesso di macchinari acquistati di seconda mano e, quindi, non al passo con le moderne tecnologie. Il frantoio non rendeva adeguatamente e i forni non davano la produzione preventivata durante l'acquisto, con ulteriori problemi di gestione delle polveri che imponevano lo spegnimento del forno durante le operazioni di estrazione del materiale cotto.

Gli anni Sessanta furono drastici per l'azienda, con notevoli perdite annuali. Per la prima volta nella sua storia, l'azienda prese in seria considerazione di produrre cemento al posto di calce viva che, con il boom edilizio del nostro territorio, sembrava essere un mercato

migliore. Quest'idea rimase però solo sulla carta perché si avviò la produzione delle *prisme*, ovvero blocchetti di calcestruzzo precompresso, formate con l'utilizzo di clinker e sabbia acquistati da ditte esterne, mentre il pietrisco estratto dalla cava. Nonostante la fortissima richiesta di questi materiali non si riuscì a chiudere in positivo, registrando perdite di diversi milioni di lire. Fino alla fine del decennio successivo furono anni drastici per la Cugini, che dovette diminuire notevolmente la produzione di calce e procedere al licenziamento degli operai, senza contare il forte debito ancora non risanato. L'unica nota positiva di questo ventennio fu l'analisi geologica del geologo Rocco Zambelli, pubblicata nella *“Relazione petrografico – geologica sulla cava Cugini a Nembro, 6 ottobre 1975”*, la quale confermò lo spessore e, quindi, l'abbondanza del materiale estraibile dal sito di coltivazione: *“È certo che tali rocce continuano per almeno alcune centinaia di metri: notevolmente più di quanto si potrebbe richiedere per il loro eventuale sfruttamento”*. Dal 1978 si esce finalmente dal periodo di crisi, registrando un decollo del fatturato, specialmente nella vendita della calce idraulica.



Figura 1.51 – Impianto di carico rimodernizzato. Fotografia di Cugini SpA.



Figura 1.52 – Cava dei Cugini ripresa dall'alto. Si notano gli evidenti gradoni che caratterizzano il sito di estrazione. La progettazione dell'altezza di ogni elemento deve essere molto accorta: un errore in fase di progettazione può comportare una prematura chiusura del sito di coltivazione a causa dell'impossibilità di continuare gli scavi. Fotografia di Cugini SpA.

Ci fu un continuo ammodernamento, con l'installazione di sempre più avanzati macchinari del ciclo produttivo, anche se non mancarono degli imprevisti, in particolare verso la fine degli anni Novanta. Le *prisme* erano ormai superate in ambito edilizio, così come il calcestruzzo (prodotto dalla Cugini dal 1993 al 2002) e la calce idraulica. Il mercato si evolveva verso l'utilizzo di leganti premiscelati, che progressivamente stavano sostituendo quelli tradizionali. Nel 1996 si inizia così a produrre questi nuovi leganti, che nel giro di pochi anni raggiunge e superò la produzione, sia come valore che come tonnellaggi, della calce idraulica.



Figura 1.53 – Vista dall'interno della cava Cugini. Il colore rossastro è legato a un processo di alterazione accelerato, ovvero l'aggiunta di sostanze che facilitano l'azione degli agenti atmosferici. Questo è utile per l'ammortamento sull'impatto ambientale di un sito di coltivazione a cielo aperto. Fotografia di Cugini SpA.



Figura 1.54 – Vista panoramica del sito di estrazione e dell'impianto della Cugini Spa. Si nota, sotto la cava, la strada di Selvino. Fotografia della Cugini SpA.

Oggi la ditta conta più di quaranta dipendenti, in aggiunta a numerosi collaboratori esterni, e possiede anche un laboratorio di analisi chimico – fisiche. Negli ultimi anni si è inoltre dotata di un complesso sistema automatizzato del controllo della produzione, con un notevole miglioramento registrato in particolare nella gestione dei forni rotanti, tipici della produzione dei materiali edilizi. La Cugini oggi vanta un fatturato di oltre 13 milioni di euro annuale, con la movimentazione di circa 300.000 tonnellate di materiale legato al settore dell'edilizia e delle costruzioni stradali.

1.6.3 La valorizzazione del territorio nembrese

L'importanza di conoscere e ricordare questi siti di estrazione è diventata oggi un punto cruciale nella conoscenza del territorio. Negli ultimi decenni fioriscono sempre più velocemente i progetti legati ai "sentieri geologici", ovvero itinerari che mirano ad illustrare il vasto mondo della geologia direttamente sul terreno mediante cartelli informativi. Dal 2015 si sta progettando un percorso ad anello, dove Nembro giocherà un ruolo centrale, per riscoprire la ricchezza geologica della Val Seriana. Diventerà realtà l'Ecomuseo litico, che comprenderà i vari siti di estrazione dei secoli scorsi localizzati nel nostro territorio, affiancati da ulteriori siti di interesse storico legati all'attività estrattiva durante il Neolitico, ovvero l'ultimo periodo dell'età della pietra, dove si lavorava la selce per fabbricare utensili da caccia, per un totale di una trentina di siti collegati.

Il punto di partenza sarà ad Alzano Lombardo, in corrispondenza della Teb di Alzano Centro, da cui si dirameranno diversi percorsi ad anello. Uno di questi passa da Brumano e prosegue per la frazione di Lonno, per poi scendere in territorio nembrese nella val del Luio, dove è possibile ammirare le antiche cave di pietre coti. Si prosegue poi per la Bastia e si scende dal santuario dello Zuccarello, per chiudere l'itinerario al Museo delle Pietre Coti della Val Seriana (Mupic) a Nembro.

Un altro percorso si dipana dallo Zuccarello verso la Valle del Carso, dove si trova l'unico cementificio oggi attivo, ovvero l'azienda Cugini Spa. Si passa dal vecchio sito di coltivazione, oggi dismesso, e si prosegue passando da Trevasco e Piazza, visitando le cave di calce citate nel paragrafo precedente. Si continua fino a Gere, dove veniva estratta ghiaia da costruzione e spolverino per lucidare le pentole. Le tappa successive sono la ex cava del marmo Remuzzi e gli impianti Italcementi ad Albino, per poi spostarsi verso Pradalunga lungo la pista ciclopedonale. Si arriva così alle cave di calce e cemento, dove si può osservare il tracciato di una vecchia ferrovia décauville. Si prosegue verso Abbazia, con cave di pietre coti, marmo e limonite²⁰. Dal territorio di Albino si ritorna poi verso Pradalunga e ci si muove verso l'Abisso Bonomi, una grotta profonda un centinaio di metri. Da qui ci saranno due alternative: o si scende dal santuario della Forcella verso Pradalunga visitando il museo delle pietre coti della Famiglia Ligato, o ci si muove verso Gavarno, oltrepassando le Buse. Il percorso si chiude a Villa di Serio, dove si trovano le Buse de Ela, vecchie cave di cemento in sotterraneo su tre livelli, che potrebbero venir recuperate.

²⁰ Idrossido di ferro molto utilizzato per l'estrazione di questo elemento data la facilità con cui è possibile rompere la struttura cristallina del minerale.

BIBLIOGRAFIA

- Carlo Marconi, 1992 Il sentiero delle Podone: avviamento alla conoscenza naturalistica del territorio di Nembo, Carlo Marconi, Amministrazione comunale di Nembro 1992.
- Carlo Marconi, 1998 La valle del Carso di Nembro: ambiente, sentieri, vegetazione e flora, Carlo Marconi, amministrazione comunale di Nembro, 1998.
- Carlo Marconi, 2005 Natura e luoghi da Gavarno a Lonno: passeggiate naturalistiche a Nembro, lungo le rive del torrente Gavarnia, del fiume Serio e del torrente Luio, Carlo Marconi, Amministrazione comunale di Nembro, 2005.
- Carlo Marconi, 2007 Cento anni di calce e di lavoro a Nembro: i Cugini e la loro impresa, Giampiero Valoti, Fondazione per la storia economica e sociale di Bergamo, Istituto di studi e ricerche, 2007.