



Unione Europea  
Fondo Sociale Europeo

Sede Amministrativa  
UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI SASSARI  
*Istituto di Scienze Geologico-Mineralogiche*

Sede Consorzata  
UNIVERSITA' DI NAPOLI "FEDERICO II"  
*Dipartimento di Scienze della Terra*



1562

---

SCUOLA DI DOTTORATO IN

*Scienza della Natura e delle sue Risorse*

INDIRIZZO

*Scienza e Tecnologia dei Minerali e delle Rocce di Interesse Industriale*

XXII CICLO

**“La pietra di Cusano nell’architettura della Campania: qualità tecniche e prospettive di valorizzazione della risorsa”**



IL DIRETTORE  
Prof. Marco Apollonio

LA DOTTORANDA  
Dott.ssa Anna Claudia Angrisani

IL TUTORE  
Prof. Maurizio de'Gennaro

IL COTUTORE  
Prof. Domenico Calcaterra

# Indice

	<b>pag.</b>
Premessa	1
<b>1. Inquadramento geologico regionale</b>	<b>3</b>
1.1 L'Arco appenninico meridionale	4
1.2 Principali modelli paleogeografici proposti per l'Appennino meridionale	5
1.3 Descrizione delle unità stratigrafico – strutturali presenti nell'area di studio	8
<b>2. Conoscenze pregresse</b>	<b>10</b>
2.1 Caratteristiche geologico-stratigrafiche	10
2.2 Principali utilizzi in epoca storica	14
<b>3. Metodi e tecniche di analisi</b>	<b>20</b>
3.1 Perimetrazione degli areali di affioramento	20
3.2 Campionatura	22
3.3 Metodologie mineralogico-petrografiche e geochimiche	23
3.3.1 Osservazioni macroscopiche per la determinazione delle litofacies	25
3.3.2 Microscopia ottica	25
3.3.2.1 Preparazione delle sezioni sottili	26
3.3.2.2 Classificazione dei carbonati per la descrizione delle litofacies	27
3.3.3 Microscopia ottica mediante catodoluminescenza a freddo	28
3.3.4 Microscopia ottica per lo studio della porosità	31
3.3.5 Microscopia elettronica a scansione (SEM)	33
3.3.6 Diffrazione ai raggi X (XRD)	35
3.3.7 Analisi chimiche in spettrometria di fluorescenza (XRF)	39
3.3.7.1 Calcinazione (LoI)	41
3.3.8 Calcimetrie	4

3.3.9	Analisi termiche	44
3.4	Metodologie geologico-tecniche	46
3.4.1	Peso di volume	46
3.4.2	Peso specifico reale e porosità aperta	47
3.4.3	Grado di compattezza	48
3.4.4	Assorbimento d'acqua a pressione atmosferica	49
3.4.5	Assorbimento d'acqua per capillarità	50
3.4.6	Velocità di propagazione del suono	53
3.4.7	Resistenza a compressione semplice	54
3.4.7.1	Prove di resistenza a compressione uniassiale a carico controllato	55
3.4.7.2	Prove di resistenza a compressione uniassiale a velocità controllata	57
3.4.8	Resistenza a flessione sotto carico concentrato	61
3.4.9	Resistenza a trazione indiretta ( <i>Brazilian test</i> )	64
3.4.10	Resistenza all'urto	65
3.4.11	Microdurezza Rockwell	67
3.4.12	Resistenza all'abrasione	69
3.4.13	Resistenza alla cristallizzazione dei sali	70
3.4.14	Test di invecchiamento artificiale	73
<b>4.</b>	<b>Areali di studio</b>	<b>76</b>
4.1	Gli affioramenti della Campania	76
4.1.1	Monti del Matese (Benevento)	76
4.1.1.1	Osservazioni di campagna e campionamento	81
4.1.2	Gruppo del Taburno – Camposauro (Benevento)	84
4.1.2.1	Osservazioni di campagna e campionamento	86
4.1.3	Monti Trebulani (Caserta)	88
4.1.3.1	Osservazioni di campagna e campionamento	90
4.1.4	Monte Massico (Caserta)	91
4.1.4.1	Osservazioni di campagna e campionamento	91
4.2	Cave per l'estrazione dei Calcari a Briozoi e Litotamni in Campania	92
4.3	Gli affioramenti del Lazio meridionale	94
4.3.1	Osservazioni di campagna e campionamento	97

4.4	Cave per l'estrazione dei Calcari a Briozoi e Litotamni nel Lazio meridionale	98
<b>5.</b>	<b>Risultati e discussione</b>	<b>99</b>
5.1	Risultati delle analisi mineralogico-petrografiche	100
5.1.1	Microscopia ottica	100
5.1.1.1	Analisi di facies	100
5.1.1.2	Composizione biogena	100
5.1.1.3	Denominazione delle litofacies ed analisi tessiturale	103
5.1.1.4	Siti analizzati	109
5.1.1.4.1	Il sito-campione di Coreno Ausonio (Monti Aurunci orientali)	109
5.1.1.4.2	Cava Canale (Comune di Pietraroja, BN)	110
5.1.1.4.3	Monte Pesco Rosito (Comune di Pietraroja, BN)	112
5.1.1.5	Determinazione dell'ambiente deposizionale	115
5.1.2	Microscopia elettronica mediante catodoluminescenza a freddo	116
5.1.3	Microscopia ottica per lo studio della porosità	119
5.1.4	Microscopia elettronica a scansione (SEM)	121
5.1.5	Diffrattometria ai Raggi X (XRD)	122
5.1.6	Analisi chimiche in spettrometria di fluorescenza (XRF) e calcinazione	127
5.1.7	Analisi termiche	132
5.2	Risultati delle prove di caratterizzazione fisico-meccanica	134
5.3	Discussione	154
<b>6.</b>	<b>Principali forme di degrado della Pietra di Cusano: il caso studio del basamento della Torre Campanaria del Complesso Monumentale di Santa Chiara (Napoli)</b>	<b>162</b>
6.1	Le forme di degrado	162
6.2	Il caso del basamento della Torre Campanaria del Complesso	165

Monumentale di Santa Chiara (Napoli)	
6.2.1 Il complesso monumentale di Santa Chiara (Napoli)	165
6.2.2 Degrado del basamento della Torre Campanaria del Monastero di Santa Chiara	166
<b>7. Prospettive per il futuro sfruttamento della risorsa</b>	<b>178</b>
7.1 Vincoli attivi sul territorio	178
7.2 Prospettive di sfruttamento e valorizzazione della Pietra di Cusano	188
<b>Considerazioni conclusive</b>	<b>192</b>
<b>Riferimenti bibliografici</b>	<b>194</b>
<b>Allegato I - Risultati delle prove di caratterizzazione fisico-meccanica</b>	<b>203</b>
<b>Allegato II – Degrado del basamento della Torre Campanaria del Complesso Monumentale di Santa Chiara.</b>	<b>232</b>

## Premessa

L'Italia vanta un'eccezionale ricchezza di materiali lapidei utilizzati per la scultura, l'architettura, la decorazione, l'edilizia, la pavimentazione stradale; la maggior parte di tali materiali esposti agli agenti atmosferici subiscono, però, trasformazioni nei loro caratteri fondamentali (tessitura, composizione, colore, resistenze meccaniche) dovute sia a processi naturali sia all'azione dell'uomo o del microambiente in cui si vengono a trovare dopo la loro messa in opera.

Negli ultimi decenni, il problema del degrado dei litotipi impiegati nella costruzione di opere di interesse storico, artistico o architettonico sta assumendo sempre maggiore rilevanza; la conoscenza, oltre che delle principali caratteristiche composizionali e strutturali, anche della propensione e delle tipologie di degrado dei geomateriali, aumenta la probabilità di successo degli interventi di restauro e/o di conservazione su opere ed edifici costituiti da tali litotipi.

In quest'ottica, il gruppo di Mineralogia Applicata che opera presso il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università Federico II, ha intrapreso da alcuni anni una ricerca sistematica sui principali materiali lapidei utilizzati nell'architettura storica della Campania al fine di realizzare per ciascuno di essi una completa caratterizzazione mineralogico-petrografica e geologico-tecnica e di identificare ed interpretare i processi di degrado a cui vanno preferenzialmente soggetti.

In questo contesto si inquadra la presente ricerca, che ha per oggetto lo studio della Pietra di Cusano, litotipo afferente ad una formazione dell'Appennino meridionale nota in letteratura come *Formazione di Cusano* (Selli, 1957) o *Calcari a Briozoi e Litotamni* (CBL).

Gli scopi del progetto sono:

- aggiornare le conoscenze sul materiale e sui suoi principali impieghi nel campo dell'edilizia (contemporanea e storica), sia come materiale da costruzione che come lapideo ornamentale, mediante una completa caratterizzazione mineralogico-petrografica e geologico-tecnica;
- definire la propensione al degrado del geomateriale e le relative tipologie, al fine di delineare metodologie utili per contrastare i meccanismi alterativi ed arrestare il processo di deterioramento dei manufatti di interesse storico-monumentale;
- verificare la presenza dei litotipi afferenti alla Formazione di Cusano nell'edilizia storica e contemporanea della Campania.

A tali scopi sono stati perimetrati i principali areali di affioramento della formazione ed è stato effettuato un censimento ed una cartografazione delle cave (in esercizio e storiche) destinate all'estrazione dei CBL presenti in Campania.

Su sezioni sottili e "marmette" ricavate da materiale campionato nei principali siti di affioramento, è stata effettuata un'attenta analisi di *facies*, per la determinazione dei principali costituenti biogeni, delle caratteristiche tessiturali e dell'ambiente deposizionale delle litofacies costituenti la formazione oggetto di studio.

Successivamente sono state effettuate la caratterizzazione mineralogico-petrografica (analisi in microscopia ottica ed elettronica, diffrattometria RX su polveri, spettrometria di fluorescenza) e geologico-tecnica del materiale con determinazione, in accordo con gli standard normativi comunitari e/o nazionali, di caratteristiche quali: proprietà fisico-volumetriche, coefficiente di imbibizione, compattezza, porosità, carico a rottura a compressione semplice, resistenza a flessione, resistenza all'urto, microdurezza Rockwell, velocità di propagazione del suono, resistenza alla cristallizzazione dei sali. Sono stati inoltre realizzati cicli di invecchiamento artificiale e testate le variazioni delle caratteristiche fisico-meccaniche del materiale conseguentemente ad essi.

Si è poi passato alla definizione della propensione e delle tipologie di degrado del geomateriale, in accordo con quanto previsto dalla normativa vigente. A tale scopo è stato effettuato uno studio di dettaglio sui CBL impiegati, in epoca angioina, per la realizzazione del basamento della Torre Campanaria del Monastero di Santa Chiara sito nel centro storico di Napoli.

Infine si è riflettuto sulle possibilità di valorizzazione e futuro sfruttamento dei rimanenti giacimenti della Pietra di Cusano in Campania, alla luce dei vincoli attivi sul territorio e della normativa vigente in materia di attività estrattive (PRAE – Regione Campania, 2006).

La ricerca ha previsto tra l'altro un soggiorno a Praga presso la *Charles University* dove, nei laboratori dell'Istituto di Geochimica, Mineralogia e Risorse Minerarie della Facoltà di Scienze, sono state effettuate analisi in catodoluminescenza a freddo e microscopia ottica per lo studio della porosità sulle sezioni sottili ed è stata determinata, in accordo con le raccomandazioni dell'*International Society of Rock Mechanics* (ISRM, 1978), la resistenza a trazione indiretta del materiale (*Brazilian test*).

## 1. Inquadramento geologico regionale

Secondo le moderne teorie della tettonica a zolle, l'area mediterranea ricade in una zona corrispondente ad un settore di compressione tra la zolla africana (a sud) e quella eurasiatica (a nord).

La migrazione della zolla africana verso quella eurasiatica è iniziata nel Cretacico e perdura tuttora. Lungo la fascia di collisione si sono formate importanti Catene montuose come quella alpino – dinarica, a partire dal Paleogene, e quella appenninica, a partire dal Miocene.

La Catena appenninica rappresenta una complessa struttura a falde di ricoprimento, con vergenza adriatica, derivanti dallo scollamento e dal raccorciamento delle coperture sedimentarie dei domini paleogeografici appartenenti al margine settentrionale della placca africano – adriatica e trasportati verso l'avampaese padano – adriatico – ionico a partire dall'Oligocene superiore (D'Argenio *et al.*, 1973; Patacca e Scandone, 1989; Boccaletti *et al.*, 1990).

Nella Catena appenninica è possibile distinguere due strutture arcuate principali: l'Arco appenninico settentrionale e l'Arco appenninico meridionale, caratterizzati da stili di deformazione ed entità di raccorciamento e di rotazione differenti. Tali archi si congiungono in corrispondenza della linea Ortona - Roccamonfina che rappresenta uno svincolo trasversale destro (Patacca *et al.*, 1990).

In questo capitolo è riportata una breve sintesi delle informazioni, ricavate da fonti bibliografiche, circa la storia tettonica e paleogeografica dell'Arco appenninico meridionale. Sono inoltre descritte le principali unità geologico-stratigrafiche affioranti nelle aree di studio, con particolare riguardo per la Campania, sebbene la formazione oggetto di studio affiori ampiamente anche nel Lazio meridionale, in Abruzzo ed in Molise. L'attenzione è stata focalizzata su detti affioramenti visti gli obiettivi di questa ricerca che, come già accennato, si propone di valorizzare e conoscere in maniera più approfondita le caratteristiche della Pietra di Cusano così come si presenta in Campania, dove al momento non è oggetto di attività estrattiva.



## 1.1 L'Arco appenninico meridionale

L'Arco appenninico meridionale è formato da coltri di ricoprimento derivanti dalla deformazione di domini paleogeografici, appartenenti al margine settentrionale della placca africano – adriatica e rappresentati da piattaforme carbonatiche di mare basso e da bacini più o meno profondi. Per quanto attiene al numero ed alla posizione paleogeografica di tali piattaforme, esistono opinioni divergenti, alcune delle quali saranno di seguito esposte brevemente.

Come evidenziato dai profili sismici (Mostardini e Merlini, 1986) e dai risultati delle perforazioni realizzate per la ricerca petrolifera, lo stile tettonico dell'Appennino meridionale è riferibile ad un sistema *duplex*, in cui un complesso di *trust-sheets* carbonatici, derivanti dall'avampaese apulo, è sepolto al di sotto di una serie di coltri di provenienza interna (Mostardini e Merlini 1986; Casero *et al.*, 1988; Patacca e Scandone, 1989; Patacca *et al.*, 1990, 1993). Unità più interne avrebbero pertanto scavalcato unità più esterne invertendo la loro posizione paleogeografica.

L'accavallamento di questi grandi corpi geologici è avvenuto a partire dal Miocene ma ha avuto maggiore rilevanza nel corso del Pliocene ed in parte durante il Quaternario.

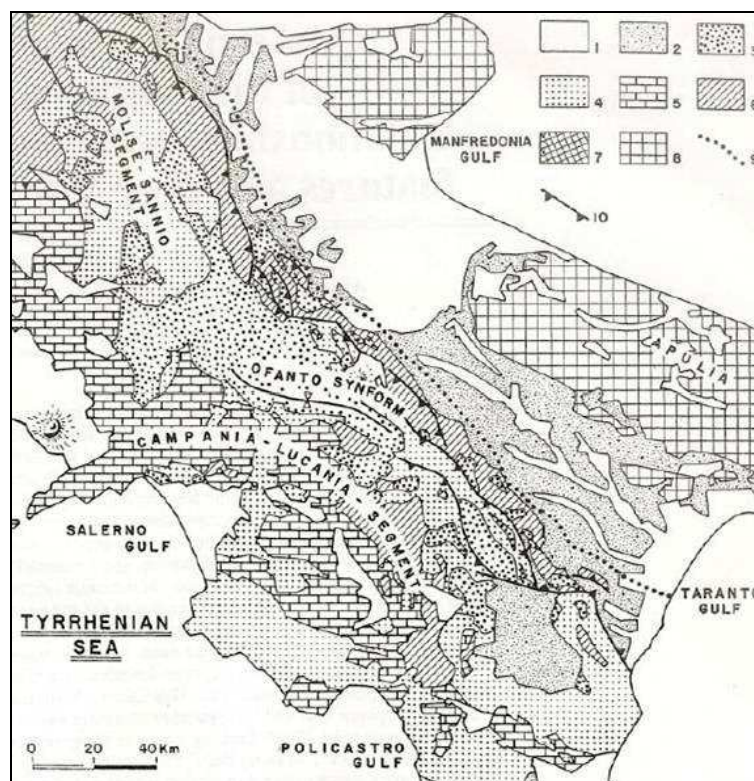
I forti movimenti compressivi hanno fatto traslare le varie unità paleogeografiche di centinaia di km, sradicandole dalle loro originarie aree di sedimentazione e creando imponenti fenomeni di sovrascorrimento e fagliamento (verticale e trascorrente) con conseguente accostamento di domini in origine molto distanti tra loro.

Il fronte di compressione si è spostato nel tempo via via da ovest verso est creando degli archi tettonici sempre più recenti sino all'attuale fronte. Quest'ultimo può essere individuato nell'area bradanica che divide la Catena appenninica vera e propria da un'area più stabile definita avampaese ed ancora poco deformata (Budetta *et al.*).

Durante il Quaternario, ed in particolare nel Pleistocene inferiore e medio, si registrano i più importanti movimenti verticali che hanno determinato un'ampia e generale emersione della Catena nonché l'articolazione della stessa in alti e bassi strutturali. Il sollevamento della Catena, che perdura ancora oggi, non è avvenuto però in modo uniforme; solo durante il tardo Quaternario, infatti, è raggiunto l'attuale assetto tettonico e morfologico.

Nell'Arco appenninico meridionale è possibile distinguere archi minori: l'Arco molisano-sannitico, l'Arco campano-lucano e l'Arco calabro (Cinque *et al.*, 1993).

La Campania comprende la zona di giunzione tra il segmento molisano-sannitico ed il segmento campano – lucano dell’Arco appenninico meridionale (Fig. 1.1).



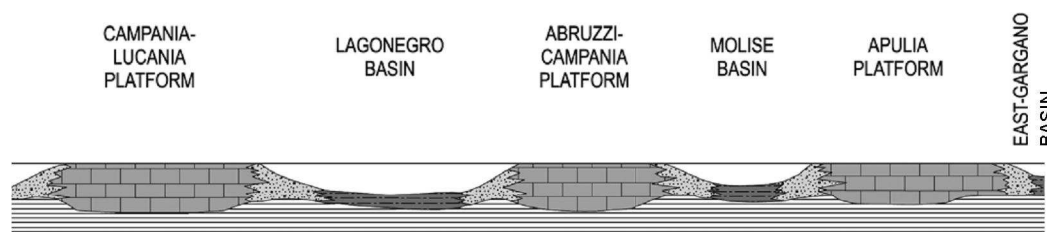
**Figura 1.1** - Schema geologico dell’Appennino meridionale. 1) Depositi continentali (Pleistocene medio - Olocene). 2) Depositi da marini a continentali (Pliocene superiore – Pleistocene inferiore). 3) Depositi clastici accumulatisi nei bacini di *piggy-back*. 4) Falde appenniniche derivanti dai domini paleogeografici interni. 5) Falde appenniniche derivanti dal sistema di piattaforme carbonatiche occidentali. 6) Falde appenniniche derivanti da un dominio bacinale. 7) Unità del Monte Alpi. 8) Carbonati mesozoico - terziari dell’avanpaese apulo. 9) Rampa frontale delle falde di sovrascorrimento appenniniche. 10) *Thrust* fuori sequenza (Cinque *et al.*, 1993).

## 1.2 Principali modelli paleogeografici proposti per l’Appennino meridionale

Esiste un notevole numero di ricostruzioni palinspastiche dell’Appennino meridionale nella letteratura geologica. L’unico punto di contatto tra le diverse ricostruzioni è l’identificazione di un più interno dominio bacinale (occidentale), riferibile al margine meridionale della Tetide, accompagnato da un più o meno complesso sistema di piattaforme e bacini. Le principali differenze consistono comunque nel numero e nell’esistenza di tali piattaforme e bacini (Patacca e Scandone, 2007).

Un modello decisamente articolato, affermatosi negli anni settanta, è quello proposto da D’Argenio *et al.* (1973, 1975) e da Ippolito *et al.* (1975) che prevede da

ovest verso est: la Piattaforma Campano-Lucana, il Bacino di Lagonegro, la Piattaforma Abruzzese-Campana, il Bacino Molisano e la Piattaforma Apula (Fig. 1.2).



**Figura 1.2** – Il sistema piattaforme – bacini nell’Appennino meridionale durante il Giurassico – Paleogene secondo D’Argenio *et al.* (1973) e Ippolito *et al.* (1975) (da: Patacca e Scandone, 2007).

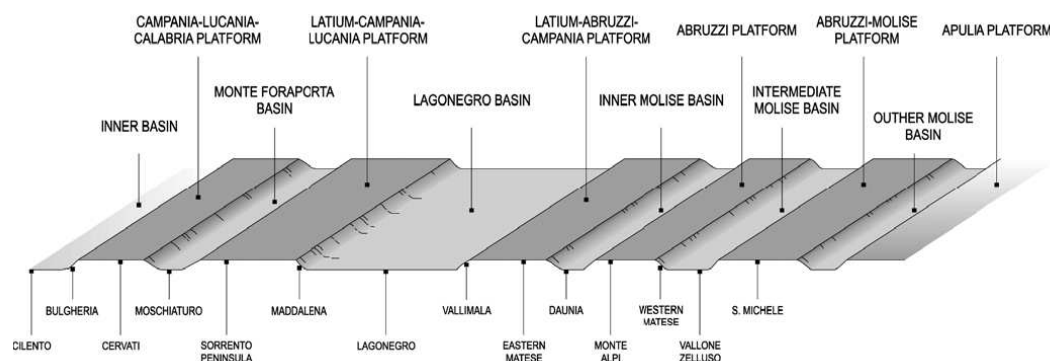
Ulteriore ricostruzione palinspastica è quella proposta da Mostardini e Merlini (1986) i quali presentano un modello paleogeografico, in seguito ripreso da Pescatore *et al.* (1988, 1996), che prevede da ovest verso est: il Bacino Tirrenico, la Piattaforma Appenninica (che comprende la Piattaforma Campano-Lucana e la Piattaforma Abruzzese-Campana di D’Argenio *et al.*, 1973), il Bacino Lagonegrese - Molisano (in cui sono raggruppate le successioni lagonegresi, sicilidi e quelle molisano-sannitiche), la Piattaforma Apula interna, il Bacino Apulo e la Piattaforma Apula esterna (Fig. 1.3).

A differenza del primo modello, quest’ultimo non ipotizza l’esistenza una piattaforma intermedia (la piattaforma Abruzzese – Campana) che separa il Bacino di Lagonegro dal Bacino Molisano.



**Figura 1.3** – I domini deposizionali dell’Appennino meridionale nel Cretaceo – Paleogene secondo Mostardini e Merlini (1986) (da: Patacca e Scandone, 2007).

Modello notevolmente più complesso è quello elaborato da Sgrosso (1986, 1988, 1996, 1998) che propone una ricostruzione palinspastica (Fig. 1.4) secondo la quale durante il Mesozoico e il Paleogene esistevano cinque piattaforme e cinque bacini tra il Bacino interno oceanico e la Piattaforma apula (Piattaforma apula esterna di Mostardini e Merlini, 1986).



**Figura 1.4** – Il sistema piattaforme – bacini nell’Appennino meridionale durante il Giurassico – Paleogene secondo Sgrosso (1998) (da: Patacca e Scandone, 2007).

D’Argenio *et al.* (1986) e Pagliaro (1999) utilizzano per il segmento molisano-sannitico il modello proposto da D’Argenio *et al.* (1973), in cui la Piattaforma campano-lucana e quella abruzzese-campana sono separate da un’area bacinale che rappresenterebbe la prosecuzione verso nord-ovest del Bacino di Lagonegro. Per il segmento campano-lucano i suddetti autori ipotizzano soltanto due piattaforme: la Piattaforma appenninica (*sensu* Mostardini e Merlini, 1986) e la Piattaforma apula, separate dal bacino lagonegrese - molisano.

Marsella *et al.* (1995) presentano, invece, un modello paleogeografico che prevede un’unica area bacinale (il Bacino di Lagonegro), collocata ad occidente di un unico dominio di piattaforma (comprendente la Piattaforma Appenninica e la Piattaforma Apula di Mostardini e Merlini, 1986).

In ognuno dei modelli proposti risulta che nell’ambito del settore di Catena compreso nella regione campana, affiorano diverse unità tettoniche (Unità Sicilidi *Auctt.*; Unità Liguridi *Auctt.*; Unità Alburno - Cervati; Unità Monti della Maddalena; Unità del Matese, ecc.), sulle quali poggiano con contatto stratigrafico discordante i depositi di bacini che si impostavano sulle coltri di ricoprimento durante la

strutturazione della Catena. Le suddette coltri di ricoprimento, nonché i depositi dei bacini discordanti, sono a loro volta ricoperti da depositi sedimentari continentali, marini e vulcanici del Quaternario (Pagliaro, 2000).

### **1.3 Descrizione delle unità stratigrafico – strutturali presenti nelle aree di studio**

Le rocce ed i terreni che costituiscono l'Appennino meridionale si possono raggruppare in unità stratigrafico-strutturali ovvero grandi corpi geologici, unitari e/o in frammenti non necessariamente continui, corrispondenti a parti di preesistenti unità paleogeografiche (D'Argenio *et al.*, 1973.).

Come riportato nel lavoro di D'Argenio *et al.* (1973) le unità stratigrafico-strutturali a nord della linea di Sangineto, ovvero dell'Arco cristallino calabro, possono essere divise in:

- Unità dell'avampaese e dell'avanfossa;
- Unità esterne della Catena;
- Unità interne.

Appartenente al gruppo delle Unità esterne della catena, di particolare interesse ai fini di questa ricerca di dottorato, è l'unità stratigrafico-strutturale del Matese - Monte Maggiore all'interno della quale ricade il litotipo oggetto di studio.

Tale unità affiora ampiamente, all'interno della Campania, sul Monte Matese, al Monte Maggiore, al Monte Camposauro ed al Monte Massico.

In Lucania questa unità prende il nome di Monte Alpi ed affiora nell'omonima finestra tettonica (Ippolito *et al.*, 1973).

L'originario corpo paleogeografico da cui deriva l'unità del Matese – Monte Maggiore è la Piattaforma Abruzzese-Campana la cui inclusione nella Catena appenninica è avvenuta tra il Tortoniano superiore ed il Messiniano inferiore (Pagliaro, 2002).

La potente pila di calcari mesozoici affiorante nelle dorsali del Matese, di Monte Maggiore e di Monte Camposauro, prevalentemente dolomitica nella parte bassa (Trias sup. – Lias inf.), calcarea nella parte media e superiore (Lias medio – Cretacico sup.), risulta deponersi in un ambiente di piattaforma protetta (Carannante *et al.*, 1993.).

La successione cretacea è caratterizzata da una lacuna a scala regionale compresa tra l'Albiano Superiore e il Turoniano-Coniaciano (Carannante *et al.*, 1986; Ruberti, 1982) con sviluppo di carsismo e formazione di un livello bauxitico discontinuo (Carannante *et al.*, 1986; D'Argenio *et al.*, 1987; Carannante *et al.*, 1988 e 1994).

I terreni del Paleogene sono quasi sempre assenti e sul substrato mesozoico poggiano in paraconcordanza i terreni trasgressivi miocenici, rappresentati da biocalcareni di ambiente di rampa carbonatica prossimale della Formazione di Cusano (Selli, 1957; Barbera *et al.*, 1978; Carannante *et al.*, 1981 e 1994.), oggetto di questo lavoro (età: Langhiano Superiore – Ippolito *et al.*, 1973; Burdigaliano superiore – Langhiano - Barbera *et al.*, 1978; Aquitaniano superiore - Tortoniano inferiore - Brandano, 2001).

Seguono calcilutiti glauconitiche, fosfatizzate, marne ed argille a *Orbulina universa* di ambiente di rampa distale della Formazione di Longano (Selli, 1957; Carannante, 1982) di età Serravalliano-Tortoniano superiore (Santo e Sgrosso, 1987; Ciampo *et al.*, 1987).

La successione si chiude con i depositi terrigeni del Flysch di Pietraraja (Tortoniano superiore - Patacca *et al.*, 1990).

## 2. Conoscenze pregresse

I Calcari a Briozoi e Litotamni, noti anche come Pietra di Cusano e commercialmente identificati con la denominazione di Perlato Royal Coreno, sono stati ampiamente utilizzati in epoca storica a scopi architettonici e strutturali specie nel basso Lazio, dove ricade il distretto industriale Monti Ausoni - Tiburtina del Marmo e del Lapideo.

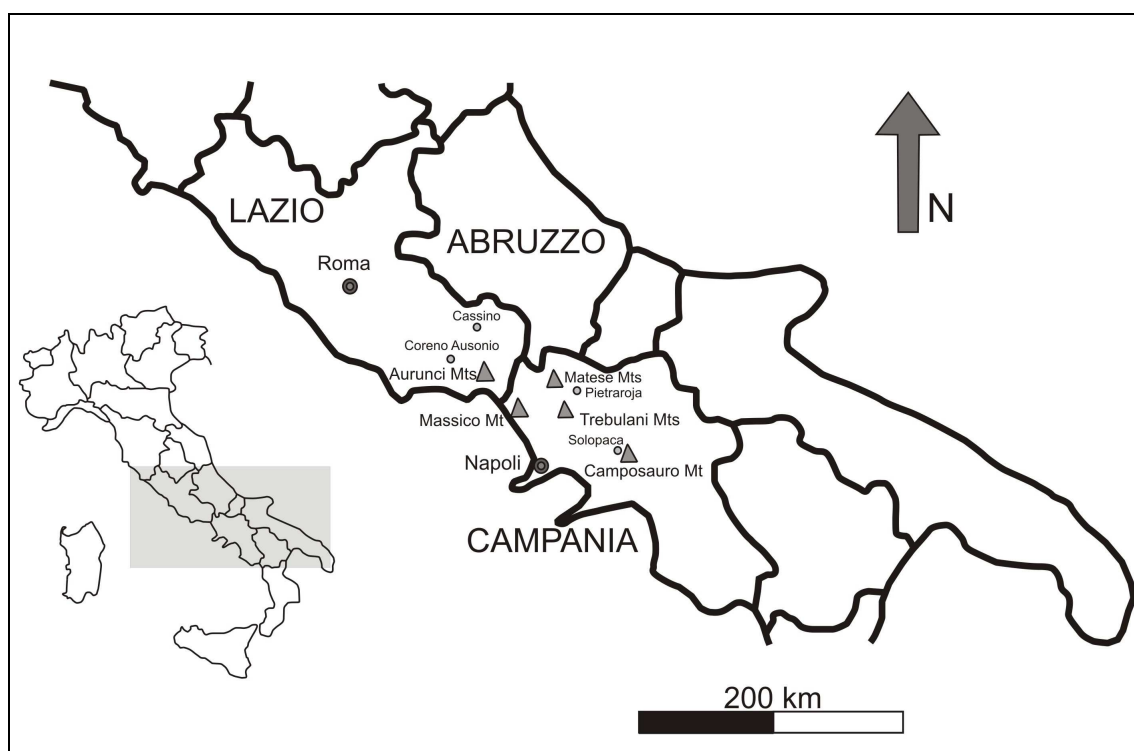
In questo capitolo saranno riportate le informazioni, ricavate dalla ricerca bibliografica e confermate dalle campagne di rilevamento, relative alle principali caratteristiche geologico-stratigrafiche dei Calcari a Briozoi e Litotamni, di cui si parlerà più approfonditamente nel capitolo 4.

Saranno inoltre riportate informazioni circa i principali impieghi, in epoca storica e non, del materiale oggetto di studio.

### 2.1 Caratteristiche geologico-stratigrafiche

I Calcari a Briozoi e Litotamni (CBL) costituiscono la base della trasgressione verificatasi nell'Appennino meridionale durante il Miocene sui depositi della Piattaforma carbonatica abruzzese-campana, una delle originarie Unità paleogeografiche appenniniche.

Il materiale oggetto di studio appartiene all'unità stratigrafico-strutturale del Matese - Monte Maggiore, unità esterna della Catena, che affiora ampiamente sui Monte del Matese, sui Monti Trebulani, al Monte Camposauro, al Monte Massico, nei Monti di Suio, in parte dei Monti Lepini e sui Monti Aurunci (D'Argenio *et al.*, 1973; Ippolito *et al.*, 1973 - Fig. 2.1).



**Figura 2.1** - Ubicazione dei principali areali di affioramento.

I depositi miocenici sono, di norma, rappresentati dalle seguenti tre unità deposizionali:

- *Calcari a Briozoi e Litotamni Auctt.* (Formazione di Cusano - Selli, 1957; Formazione di Masseria Mastroianni - Ogniben, 1958);
- *Calcari marnosi e marne a Orbulina Auctt.* (Formazione di Longano – Selli 1957; Formazione di Montagnella – Ogniben, 1958) che seguono verso l’alto i depositi precedenti e sono talvolta direttamente sovrapposti al substrato mesozoico o paleogenico;
- Sedimenti argilloso-arenacei prevalentemente torbiditici (Formazione di Pietraroja – Selli, 1957; Formazione di Moleta – Ogniben, 1958).

I CBL, su cui è incentrato lo studio, giacciono, di regola con un contatto paraconforme, su un substrato mesozoico calcareo - dolomitico.

Marginalmente, però, essi possono poggiare su un sottile livello conglomeratico ad elementi di calcare cretacico, come accade al Monte Maggiore (Vallario, 1964), o



ancora su piccoli affioramenti di calcari paleogenici, come accade nella Piana di Cassino, e precisamente a Monte Porchio (Zalaffi, 1963).

I CBL generalmente fanno passaggio verso l'alto alle Marne ad Orbulina della Formazione di Longano-Montagnella (età: Serravalliano), spesso con l'intercalazione di un sottile livello fosfatico presente, ad esempio, sul Matese orientale presso Cusano Mutri, Civita di Pietraroja, Pesco Rosito, Regie Piane (Carannante, 1982).

Presso il Monte Camposauro, al passaggio tra la Formazione di Cusano-Mastroianni e quella di Longano-Montagnella, si notano pochi centimetri di materiale clastico, a matrice lutitica ricca in microfaune planctoniche, formato da elementi provenienti dallo smantellamento dei sottostanti Calcari a Briozoi e Litotamni a cui si aggiungono, ancora una volta, coproliti fosfatiche ed a luoghi anche elementi extraformazionali provenienti dai Calcari a rudiste cretacici.

I CBL presentano, in tutti i rilievi esaminati, una deposizione a grossi banchi costituiti da ammassi bioclastici generalmente privi di una stratificazione ben distinta, nonché un aspetto macroscopicamente reticolare (*Calcari a losanga Auctt.* – Fig. 2.2) derivante probabilmente dall'anastomizzarsi di superfici stilolitiche suborizzontali e dalla dissoluzione differenziale lungo i giunti stilolitici (Barbera *et al.*, 1980.). Dal punto di vista della composizione biogena, i CBL sono costituiti da elementi bioclastici fra cui prevalgono alghe rosse coralline, briozoi, lamellibranchi, foraminiferi (tra cui *Amphistegina cf. lessoni* (D'Orb.), *Elphidium sp.*, Globigerinidi, Rotalidi), radioli e placche di echinidi, serpulidi e balanidi (Carannante, 1982).



**Figura 2.2** – Calcari a losanga (Cava La Valle A&G - Coreno Ausonio, FR).

Per quanto riguarda l'età dei CBL, essi sono collocati da Selli (1957) nel Langhiano superiore, da D'Argenio (1961, 1967) tra il Langhiano superiore e l'Elveziano inferiore, da Barbera *et al.* (1978) tra il Burdigaliano superiore ed il Langhiano, ma studi più recenti (Brandano, 2001), combinando dati provenienti dalla stratigrafia degli isotopi dello Stronzio e dalla biostratigrafia, propongono per i calcari di interesse un'età compresa tra l'Aquitano superiore ed il Tortonian inferiore.

Per quanto attiene all'ambiente di sedimentazione, Barbera *et al.* (1978) ritengono il materiale studiato analogo ai sedimenti detritici che si depositano attualmente ad una profondità non inferiore ai 60-80 m su fondali marini di piattaforme aperte (*open shelf*), presenti lungo i margini continentali della fascia subtropicale e temperata. Corda e Brandano (2002), come è stato confermato anche durante la presente ricerca di dottorato (cfr. 5.1.1.5), affermano che i CBL si sono depositati su di una rampa carbonatica a basso angolo, sviluppatasi in condizioni climatiche da subtropicali a tropicali e dominata da associazioni sedimentarie tipo *briomol* e *rhodalgal*.

Gli spessori dei calcari oggetto di studio variano da un minimo di 20-30 m nella zona del Monte Camposauro (D'Argenio, 1961) ad un massimo di 100 m a sud del Monte Maio, nei pressi di Coreno Ausonio (Accordi, 1963.).

Nella loro generale uniformità, va però detto che i CBL presentano variabilità locali tali da farli considerare come un'associazione di litofacies (Barbera *et al.*, 1980), con caratteristiche differenti a seconda delle zone di affioramento e che conferiscono al materiale, qualora estratto, una diversa valenza economica e commerciale.

## **2.2 Principali utilizzi in epoca storica**

I giacimenti dai quali tradizionalmente si è estratta nel passato la cosiddetta Pietra di Cusano ricadono nei Comuni di Pietraroja e di Cusano Mutri, in provincia di Benevento.

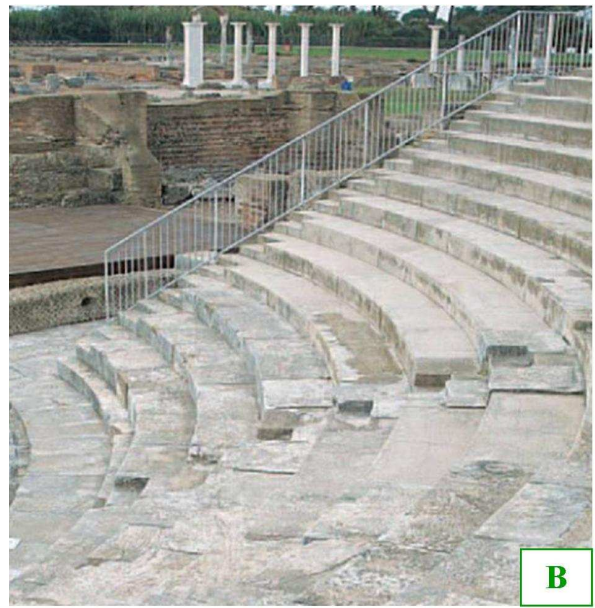
I siti estrattivi più importanti dell'area erano Cava Canale e Cava Calvario, ubicati rispettivamente a nord del paese di Pietraroja, lungo la strada che porta a Sepino ed in località Calvario a nord dell'abitato di Cusano Mutri.

L'utilizzo della Pietra di Cusano come materiale da costruzione per varie finalità (pietrame da muratura, calcare da calce, ecc.) è noto da tempo. Gli scalpellini sbozzatori cusanesi, infatti, erano conosciuti specialmente nell'Ottocento, oltre che in tutto il circondario, anche a Roma (dove si recavano a piedi) e vantavano commesse persino nelle Americhe (Maturò, 1998).

Le prime fonti bibliografiche che menzionano questo litotipo sono quelle di Salmoiraghi (1892), il quale annovera tra i calcari della provincia di Benevento quelli "*bianchi, colorati e lucidabili*" di Pietraroja.

Oltre ad un uso strettamente locale, i CBL sono stati diffusamente impiegati non solo per la realizzazione di altari, portali, arredo urbano e di interni (camini, mostre di finestre e porte), ma anche in alcune opere architettoniche di importanza regionale, a scopi ornamentali e strutturali.

Infatti, in epoca romana ne è stato fatto largo uso nei siti archeologici di Minturno (Fig. 2.3), Cassino, Pompei per la realizzazione delle colonne dei Fori, dei loro basamenti, dei fregi e dei bassorilievi, dei teatri; le stesse pavimentazioni delle strade consolari Appia e Casilina sono state realizzate alternando alle lastre scure di pietra lavica lastre bianche di Pietra di Cusano, in modo che di notte esse potessero migliorare la visibilità e, quindi, segnare sempre la strada maestra ai viandanti.



**Figura 2.3** – Scavi di Minturno (LT): A) lastricato stradale; B) teatro (Consorzio per la Valorizzazione del Perlato Royal Coreno, 2002).

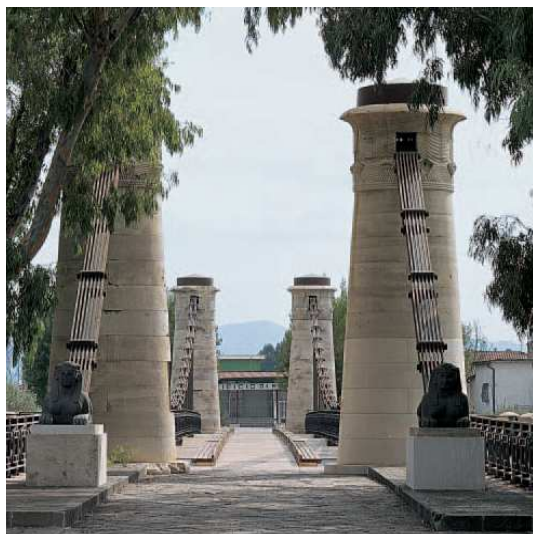
In età angioina questi calcari sono stati impiegati anche nel centro storico di Napoli per la realizzazione della Torre campanaria del monastero di Santa Chiara (de' Gennaro et al., 2000 - Fig. 2.4).



**Figura 2.4** - Torre campanaria del Monastero di Santa Chiara (Napoli).

In epoca borbonica sono stati usati per la costruzione del monumentale Ponte Real San Ferdinando sul fiume Garigliano a Minturno (Fig. 2.5 ). Nel secolo scorso, nel

secondo dopoguerra, ne è stato fatto uso diffuso per la ricostruzione dell'Abbazia di Montecassino distrutta dagli eventi bellici (Fig. 2.6).



**Figura 2.5** - Ponte Real San Ferdinando (Minturno, LT – Consorzio per la valorizzazione del Perlatto Royal Coreno, 2002).



**Figura 2.6** - Abbazia di Montecassino (FR).

Diverse, e risalenti a differenti periodi storici, sono le sculture realizzate nel Lazio con i CBL, tra cui: la *Fontana dei Papi* (Fig. 2.9), del 1727, a Prossedi (LT), il *Monumento ad Antonio Gramsci* (Fig. 2.10), del 1994 a Formia (LT), il *Monumento per la Pace* (Fig. 2.9), del 1994, il *Monumento ai Caduti* (Fig. 2.11), del 2000 ed il *Monumento ai Cavatori* del 2004 a Coreno Ausonio (FR); l'opera intitolata "Corpi liberi", del 1999 dello scultore Raffaele Mollo a Spigno Saturnia (LT), il *Monumento agli Emigrati* (Fig. 2.10), dell'architetto Piccolino Pasquale Danilo a Selvacava di Ausonia (FR).



**Figura 2.7** - Fontana dei Papi (Prossedi, LT).



**Figura 2.8** - Monumento ad Antonio Gramsci, (Formia, LT).



**Figura 2.9** - Monumento per la Pace, (Coreno Ausonio, FR).



**Figura 2.10** - Monumento agli Emigrati (Selvacava di Ausonia, FR).



**Figura 2.11** – Monumento ai caduti (Coreno Ausonio, FR).

Attualmente i CBL sono stati impiegati a Napoli per la pavimentazione interna della stazione ferroviaria Campi Flegrei (Fig. 2.7), una delle tre della città, e sul Lungomare Caracciolo per la realizzazione delle barriere frangiflutti (Fig. 2.8).



**Figura 2.7** – Stazione Campi Flegrei (Napoli).



**Figura 2.8** –Lungomare Caracciolo (Napoli).

La relativamente scarsa diffusione in epoca storica di questo litotipo è da attribuire alla particolare morfologia dei luoghi che ha limitato le condizioni di

trasporto. Infatti, l'estrazione del marmo non fu più continuata proprio per le difficoltà, all'epoca, di raggiungere i giacimenti situati lungo costoni ripidi ed impervi. Tuttavia, l'esistenza di alcune cave attive all'interno della Campania è documentata almeno fino agli anni Cinquanta del secolo scorso; successivamente i vincoli paesistico - ambientali hanno contribuito alla chiusura definitiva dei giacimenti.

Attualmente le cave attive di CBL sono concentrate all'interno del comprensorio di Coreno Ausonio (FR), nel Lazio, dove i litotipi estratti assumono la denominazione merceologica di Perlato Royal Coreno (cfr. par 4.4).



### 3. Metodi e tecniche di analisi

In questo capitolo sono descritte le metodologie impiegate per l'individuazione dei principali areali di affioramento della Formazione dei Calcari a Briozoi e Litotamni e per il censimento e la localizzazione, all'interno della Campania, delle principali aree di cava destinate allo sfruttamento di tale risorsa.

Sono inoltre descritte le metodologie e le tecniche di analisi utilizzate per la caratterizzazione mineralogico-petrografica e geologico-tecnica delle diverse litofacies riconosciute e campionate nei principali areali di affioramento.

Le proprietà fondamentali dei materiali sono state valutate sulla base delle specifiche tecniche previste dalle normative vigenti (NORMAL, UNI EN).

#### 3.1 Perimetrazione degli areali di affioramento

Gli areali di affioramento sono stati individuati tramite un'indagine multiscalare di diverse Carte geologiche. I dati così ottenuti sono stati confermati per alcune zone da rilevamento di campagna.

Le Carte geologiche utilizzate a tale scopo sono state:

- Carta geologica dell'Appennino meridionale in scala 1:250.000 (Bonardi *et al.*, 1988);
- Fogli geologici in scala 1:100.000: 139 (Aquila degli Abruzzi), 145 (Avezzano), 146 (Sulmona), 147 (Lanciano), 151 (Alatri), 152 (Sora), 153 (Agnone), 159 (Frosinone), 160 (Cassino), 161 (Isernia), 162 (Campobasso), 171 (Gaeta), 172 (Caserta), 173 (Benevento);
- Carte geologiche in scala 1:25.000 ricavate dagli originali d'autore dei Fogli geologici sopra elencati (APAT, 2004);
- Carta geologica del Parco Nazionale d'Abruzzo (Bigi *et al.*, 1986).

I principali areali di affioramento così riconosciuti comprendono: Monti del Matese (settore orientale), Monti Trebulani (Caserta), Gruppo del Monte Massico (Caserta), Gruppo del Taburno-Camposauro (Appennino campano), Lazio meridionale

(Monti della Meta, Aurunci orientali, Piana di Cassino e precisamente Monte Porchio e Monte Trocchio), alcuni rilievi del Parco Nazionale dell'Abruzzo.

Visti però gli obiettivi di questa ricerca, che si propone di valorizzare e conoscere in maniera più approfondita le caratteristiche della Pietra di Cusano così come si presenta in Campania, dove al momento non è oggetto di attività estrattiva, la caratterizzazione delle litofacies ed i rilevamenti di campagna sono stati intensificati nella regione di cui sopra.

All'interno degli areali di affioramento ricadenti in Campania, dal confronto dei dati provenienti dalle foto aeree con quelli raccolti nel PRAE (Piano Regionale Attività Estrattive della Campania - Regione Campania, 2006), è stato effettuato un censimento ed una cartografazione delle cave (in esercizio e storiche) destinate all'estrazione dei CBL.

Come si parlerà più approfonditamente nel capitolo 7, dalla consultazione del PRAE e della cartografia in scala 1:200.000 ad esso allegata, è stato inoltre possibile identificare gli affioramenti del materiale che, alla luce dei vincoli esistenti sul territorio campano, potrebbero essere in futuro oggetto di attività estrattiva.

Le tavole analizzate a tale scopo sono state:

- Tavola 1: Parchi e riserve naturali in cui sono delimitate, tra le altre cose, le aree di riserva integrale, generale e controllata presenti all'interno dei Parchi Regionali della Campania così come prescritto dalla L.N. 394/1991 (Legge Quadro sulle Aree Protette) e dalla L.R. n. 33/1993 (Istituzione di Parchi e Riserve Naturali in Campania);
- Tavola 2: Natura 2000 in cui sono rappresentate le aree SIC (Siti di Importanza Comunitaria) e ZPS (Zona Speciale di Conservazione) definite dalla Dir. 92/43/CEE e dalla Dir. 79/409/CEE;
- Tavola 3: Vincoli paesistici in cui sono rappresentati i principali vincoli paesistici presenti nella regione Campania;
- Tavola 8 - Aree perimetrate dal PRAE. in cui, nell'ottica della pianificazione delle attività estrattive nella regione, sono delineate le aree suscettibili di nuove estrazioni, le aree di riserva e le aree di crisi all'interno di alcune delle quali sussistono zone critiche (ZCR), zone altamente critiche (ZAC) e aree di particolare attenzione ambientale (APA).

### 3.2 Campionatura

La campionatura (Fig. 3.1) è stata effettuata sia all'interno della Campania (Monte Camposauro e settore orientale dei Monti del Matese) sia nel Lazio meridionale (Monti Aurunci Orientali) in particolare nel sito-campione di Coreno Ausonio (FR), che rappresenta l'affioramento migliore per la definizione e la comprensione delle differenze tra le litofacies presenti nella formazione oggetto di studio. Questo perché l'estrazione dei CBL riveste un ruolo molto importante nell'economia di questo centro del frusinate e le aziende di estrazione presenti sul territorio e raggruppate in un consorzio, hanno individuato in maniera univoca una denominazione commerciale per ognuna delle litofacies presenti nella formazione e finora estratte in cava.



**Figura 3.1** – Campionamento blocchi di roccia (Cava Canale – Pietraroja – BN).

Come si spiegherà in maniera più approfondita nel capitolo 4, sui campioni prelevati presso i Monti del Matese (Cava Canale e Monte Pesco Rosito, BN) ed i Monti Aurunci (Coreno Ausonio, FR) sono state effettuate l'analisi di facies, la caratterizzazione mineralogico-petrografica e la caratterizzazione geologico-tecnica. Su quelli prelevati presso il Monte Camposauro è stata ritenuta significativa la sola

caratterizzazione mineralogico-petrografica poiché le litofacies ivi osservate e campionate non sono riconducibili a quelle riconosciute sui rilievi di cui sopra.

La sagomatura dei campioni (Fig. 3.2) è stata effettuata presso gli stabilimenti delle ditte Prometeo Caminetti s.r.l. (San Lorenzello– BN) e S. Anna Marmi Coreno s.n.c. (Coreno Ausonio – FR).

### **3.3 Metodologie mineralogico-petrografiche e geochimiche**

Lo studio mineralogico, petrografico e geochimico dei litotipi rappresenta una fase analitica fondamentale per una corretta caratterizzazione degli stessi in quanto consente di ricavare composizione chimica, tessitura e struttura del materiale analizzato.

Tale studio ha compreso:

- osservazioni e descrizioni macroscopiche delle litofacies;
- osservazioni su sezioni sottili al microscopio ottico;
- studio della porosità al microscopio ottico con sorgente di raggi UV;
- osservazione in catodoluminescenza a freddo di sezioni sottili;
- osservazioni al microscopio elettronico a scansione (SEM) e microanalisi in EDS (*Energy dispersive X- ray Spectroscopy*) ;
- analisi per diffrazione ai raggi X (XRD) e per fluorescenza (XRF).



a)



b)



c)



d)



e)



f)

**Figura 3.2** – Fasi di lavorazione dei campioni. a) taglio dei blocchi di roccia con sega a getto d’acqua; b) sagomatura dei campioni con sega circolare; c) Lucidatura delle lastre; d) foggatura dei provini cilindrici con minicarotiere; e) campioni cubici finiti; f) campioni cilindrici finiti.

### 3.3.1 Osservazioni macroscopiche per la determinazione delle litofacies

Le osservazioni macroscopiche delle litofacies sono state effettuate sia alla scala dell'affioramento che su marmette lucide ricavate dai campioni prelevate *in situ*.

Per la preparazione di tali marmette i campioni prelevati in situ sono stati opportunamente selezionati in funzione delle litofacies e delle località di prelievo, ridotti di dimensioni con tagliatrice a disco diamantato (Fig. 3.3) e lucidati utilizzando lappatrice a piatto orizzontale (Fig. 3.4) con dischi smeriglianti.



**Figura 3.3** - Tagliatrice a disco diamantato



**Figura 3.4** - Lappatrice a piatto orizzontale.

### 3.3.2 Microscopia ottica

Sono stati effettuati esami in microscopia ottica su sezioni sottili ottenute dai campioni prelevati nei vari giacimenti allo scopo di definire i caratteri litologici e mineralogici del materiale.

Nello specifico, sono stati effettuati esami in microscopia ottica a luce trasmessa (modello Leica DM-EP) su 40 sezioni sottili ottenute dai campioni prelevati nei diversi siti oggetto di studio.

Di ciascuna sezione esaminata sono stati descritti:

- sito di campionamento;
- litologia;
- formazione;
- età;
- tessitura;

- struttura;
- componenti;
- composizione paleontologica;
- composizione petrografica;
- ambiente deposizionale.

Le osservazioni effettuate su ogni sezione sono state raccolte in schede come quella riportata in Fig. 3.4 .

Numero	Data	Raccoglitore	Serie
<b>Località</b>			
Litologia		Formazione	Età
<b>Tessitura</b>			
<b>Strutture</b>			
<b>Componenti</b>			
<b>Composizione paleontologica</b>			
<b>Composizione petrografica</b>			
<b>Ambiente deposizionale</b>			

**Figura 3.4** - Scheda per la descrizione delle sezioni sottili.

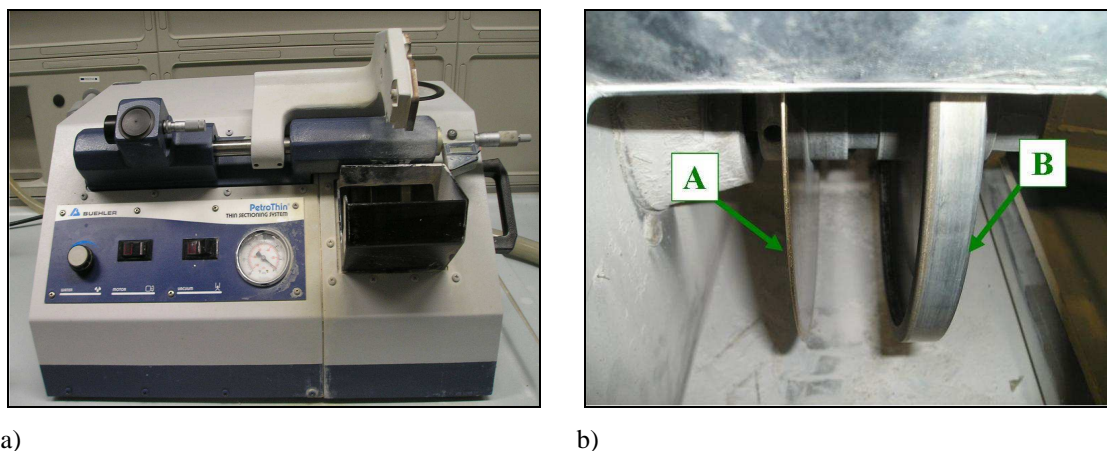
### 3.3.2.1 Preparazione delle sezioni sottili

Per la realizzazione delle sezioni sottili il campione di roccia prelevato in campagna è stato in primo luogo ridotto di dimensioni tramite taglio con tagliatrice a disco diamantato.

I “mattoncini” di roccia così realizzati sono stati lucidati con lappatrice a piatto orizzontale con dischi smeriglianti, incollati sul vetrino tramite utilizzo di resina epossidica bicomponente (*Araldit*) e lasciati a polimerizzare per almeno 24 h.

Fatto ciò sono stati eseguiti retro-taglio, per eliminare l’eccesso di spessore della roccia, ed affinatura micrometrica al fine di ridurre ulteriormente lo spessore della roccia fino a circa 80 µm. Entrambe le operazioni sono state eseguite con macchina

petrografica per sezioni sottili Petrothin della Buheler (Fig. 3.) utilizzando nel primo caso il disco diamantato (Fig. 3.5a), nel secondo la mola a tazza diamantata (Fig. 3.5b). Infine è stata effettuata la lucidatura su lappatrice a piatto orizzontale.



**Figura 3.5** – a) Macchina petrografica per sezioni sottili modello Petrothin della Buheler; b) Dettaglio: A) disco diamantato; B) mola a tazza diamantata.

### 3.3.2.2 Classificazione dei carbonati per la descrizione delle litofacies

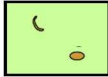
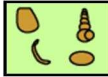




La classificazione dei carbonati è stata realizzata a partire dagli schemi classificativi di Dunham (1962), che suddivide gli stessi in base alla tessitura in:

- *Grainstone*: presenza di granuli senza matrice;
- *Packstone*: presenza di granuli in contatto tra loro e con la matrice;
- *Wackestone*: presenza di granuli grossolani circondati da matrice;
- *Mudstone*: presenza di micrite e di pochi granuli.

A tale classificazione sono stati aggiunti altri termini da Embry e Klovan (1971) per fornire informazioni sul rapporto granuli/matrice, per le rocce con tessiture granulari grossolane (*floatstone* e *rudstone*), e sul tipo di struttura organogena, per le rocce biocostruite (*bafflestone*, *bindstone* e *framestone*). In Figura 3.6 sono riportati i termini della classificazione delle rocce carbonatiche di Dunham (1962), modificata da Embry & Klovan (1971), riconoscibili nei calcari oggetto di studio.

Una classificazione di questo tipo, basata sull'originaria tessitura deposizionale dei sedimenti carbonatici, fornisce un'idea immediata del loro ambiente di formazione e dell'energia ad esso associato (Tucker, 1991).



Original components not bound together during deposition				Original components not organically bound during deposition	
Contains mud			Lacks mud and is grain supported	> 10 % grains > 2 mm	
Mud-supported		Grain-supported		Matrix-supported	Supported by > 2mm components
Less than 10% grains	More than 10% grains				
Mudstone	Wackestone	Packstone	Grainstone	Floatstone	Rudstone
					

**Figura 3.6** - Classificazione delle rocce carbonatiche di Dunham (1962) modificata da Embry & Klovan (1971).

### 3.3.3 Microscopia elettronica mediante catodoluminescenza a freddo

Un microscopio a catodoluminescenza (CL) combina i metodi della microscopia elettronica con quelli della normale microscopia ottica. Tale microscopio nasce per studiare le caratteristiche di luminescenza di sezioni sottili lucide quando irradiate da un fascio di elettroni.

La microscopia elettronica mediante catodoluminescenza è utilizzata in diversi campi delle Scienze della Terra e con diversi fini tra cui:

- rendere visibili strutture all'interno di minerali o tessiture all'interno di rocce altrimenti non visibili in microscopia ottica;
- fornire informazioni circa i meccanismi di crescita dei minerali;
- fornire informazioni circa la diagenesi delle rocce carbonatiche (ad esempio attraverso lo studio delle tipologie dei cementi e delle loro zonazioni è possibile ricavare informazioni sull'ambiente diagenetico e sulle direzioni di flusso delle acque circolanti);
- individuare i costituenti marini delle rocce (tipologie di cementi o costituenti biogeni) che risultano inalterati o minimamente alterati dai processi diagenetici al fine di determinare la composizione isotopica delle acque in cui è avvenuta la deposizione del sedimento (Popp *et al.*, 1986; Lohmann e Walker 1989; Tobin *et al.*, 1996).

Nelle rocce carbonatiche, inoltre, poiché le caratteristiche di luminescenza sono generalmente correlate alla presenza ed ai rispettivi contenuti di  $Mn^{2+}$  e  $Fe^{2+}$ , la CL può essere impiegata, in correlazione con altri dati geochimici (come ad esempio dati sugli isotopi stabili e radiogenetici, inclusioni fluide, dati paleo magnetici), per interpretare salinità, temperatura ed Eh delle acque in cui è avvenuta la deposizione del sedimento (Pagel *et al.*, 2000).

Attualmente sono utilizzati due tipi di CL:

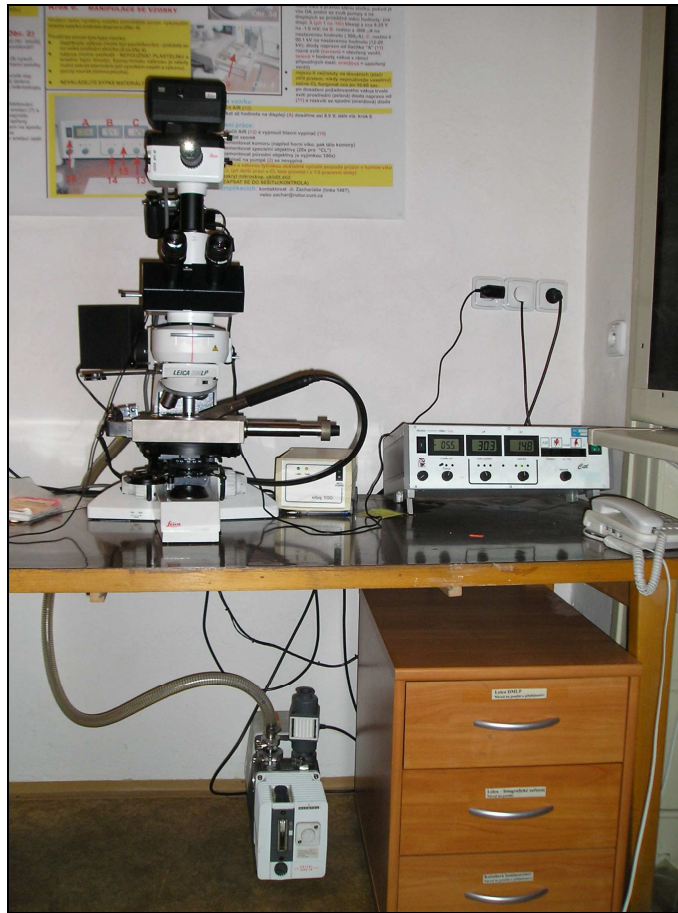
- catodoluminescenza a freddo (*cold cathode* - CCL);
- catodoluminescenza a caldo (*hot cathode* - HCL).

I microscopi per la catodoluminescenza a freddo sono i più semplici ed economici e sono costituiti da un *electron gun*, una camera a vuoto e un carrello per consentire lo spostamento lungo gli assi X-Y della sezione sottile all'interno della camera.

In questo tipo di microscopio, gli elettroni sono generati da una scarica elettrica tra due elettrodi in presenza di gas a bassa pressione (Marshall, 1988; Remond *et al.*, 1992) ed il colore e l'intensità della luminescenza dipendono dalle caratteristiche del campione e dalle condizioni di lavoro dell'*electron gun* (voltage ed intensità di corrente del fascio di elettroni).

Le osservazioni in CCL sono state effettuate nei laboratori della *Charles University* di Praga. Sono stati utilizzati un microscopio ottico LEICA DMLP ed un apparato per la catodoluminescenza a freddo CCL 8200 Mk4 (Fig. 3.7 – 3.8) con condizioni operative, tipiche per le rocce carbonatiche, di 14-15 kV (*electron energy*) e 300  $\mu A$  (*beam current*).

A differenza di altre tecniche che utilizzano il bombardamento di elettroni, come la microscopia elettronica a scansione, la CCL non necessita di rivestimenti conduttori da applicare ai campioni, poiché con gli elettroni sono generati anche ioni positivi che neutralizzano l'accumulo di carica superficiale.



**Figura 3.7** - Microscopio ottico LEICA DMLP combinato con CCL 8200 Mk4.



**Figura 3.8** - Dettaglio della camera a vuoto.

Inoltre, se accoppiata con EDS, la CCL può fornire informazioni circa la composizione chimica dei minerali.

Nonostante risulti particolarmente utile in diversi campi delle Scienze della Terra, la CCL presenta diversi inconvenienti tra cui:

- bassa risoluzione spaziale;
- instabilità dovuta alla variazione di pressione del gas in molti apparecchi;
- danni sulla superficie della sezione sottile causati dal bombardamento degli elettroni.

### 3.3.4 Microscopia ottica per lo studio della porosità

L'analisi microscopica del *rock fabric*, della porosità (descrizione delle geometrie e delle tipologie di pori e delle fratture) e dei fenomeni di alterazione può essere implementata attraverso l'osservazione di sezioni sottili realizzate a partire da campioni di roccia opportunamente trattati (Taylor e Viles, 2000).

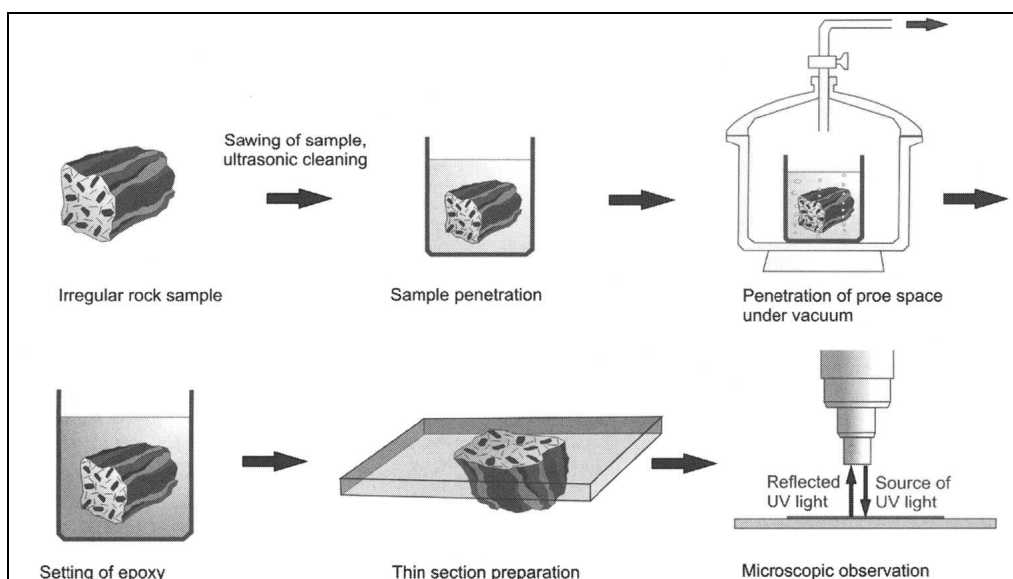
Uno di questi trattamenti speciali consiste nell'impregnare i pori e le microfrazioni della roccia, connesse o meno ai fenomeni di *weathering*, con resina epossidica mista a tintura fluorescente.

Secondo Prikryl (2007), per la preparazione di dette sezioni sottili risultano più affidabili due *steps* per la penetrazione della resina rispetto all'impregnazione pre-taglio originariamente descritta da Nishiyama & Kusuda (1994), dal momento che quest'ultima presuppone che tutti i pori e le fratture della roccia siano interconnessi.

La procedura (Fig. 3.9) consiste in:

- impregnazione con resina mista a tintura fluorescente del campione prima del taglio con sega diamantata;
- taglio con sega diamantata del piano che poi sarà incollato al vetrino;
- accurata levigatura della superficie segata;
- pulizia tramite ultrasuoni per la rimozione delle particelle prodotte dal taglio e dalla levigatura;
- asciugatura del campione a circa 40°C;
- seconda impregnazione effettuata sotto vuoto per saturare i pori non accessibili durante la prima;

- eliminazione dell'eccesso di resina mista a tintura dalla superficie del campione;
- preparazione di un'ordinaria sezione sottile.



**Figura 3.9** - Schema raffigurante la procedura per la preparazione di sezioni sottili in seguito ad impregnazione con resina epossidica mista a tintura fluorescente (Přikryl, 2007).

Le sezioni sottili così preparate, relative ai soli campioni di Cava Canale, sono state quindi osservate con un microscopio ottico LEICA DMLP equipaggiato con una sorgente di raggi UV presso i laboratori della *Charles University* di Praga.

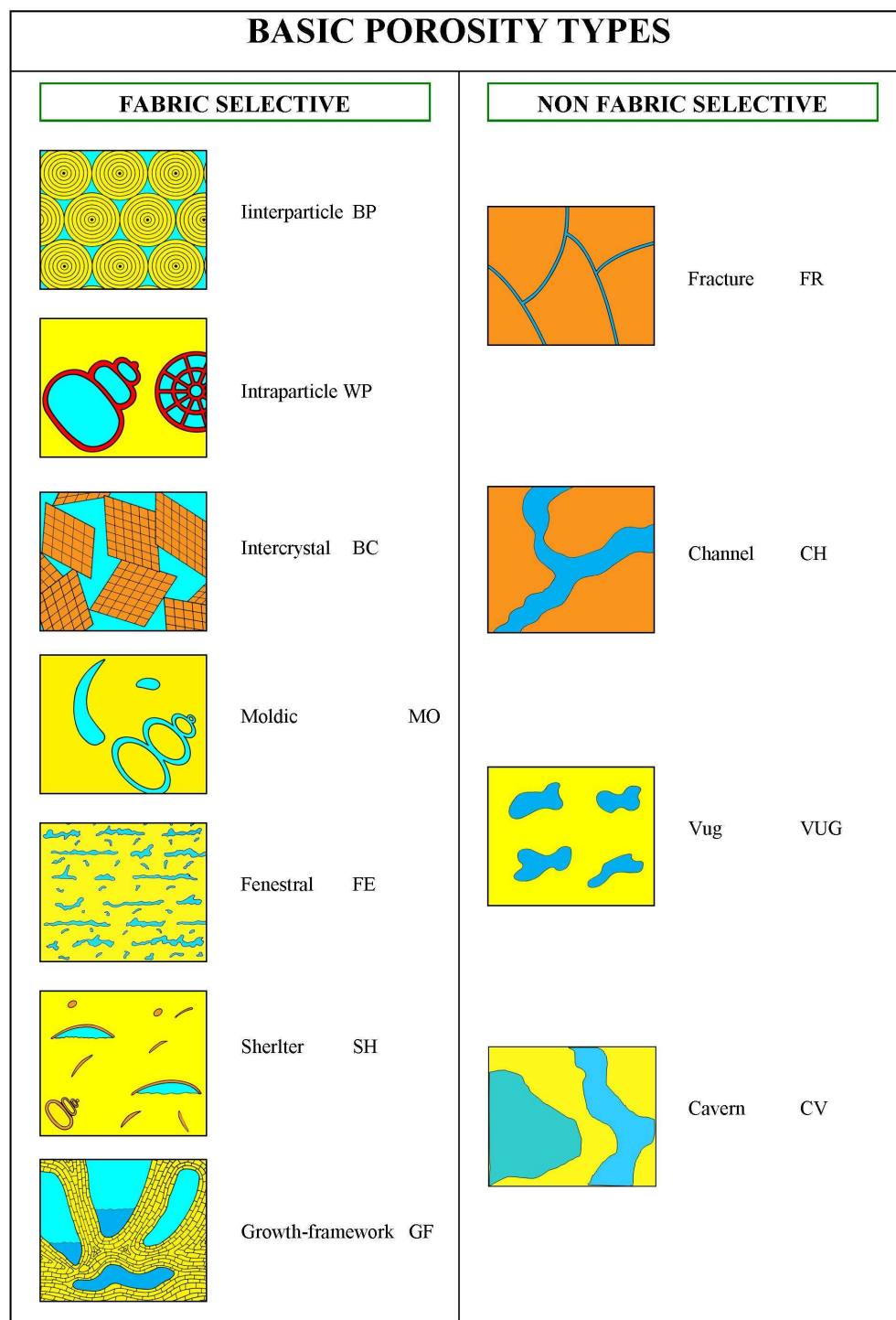
La classificazione per la definizione della tipologie di porosità delle rocce analizzate è quella proposta da Choquette & Pray nel 1970 (Fig. 3.10).

Tale classificazione distingue tra una *fabric-selective porosity*, laddove è possibile distinguere una relazione tra la porosità e gli elementi costituenti la roccia, ed una *non fabric-selective porosity*, laddove invece tale relazione non è osservabile.

La *fabric-selective porosity* include sette tipologie di porosità (*interparticle*, *intraparticle*, *Intercrystal*, *fenestral*, *growth framework*, *shelter* e *moldic porosity*).

I più comuni *non fabric-selective pores* sono i *vugs* e i *channels*, entrambi abbastanza grandi da essere visibili ad occhio nudo.

Altri tipi di *non fabric-selective porosity* sono *fracture*, *channel*, e *cavern porosity*, spesso associati ad *uplift* e carsificazione delle successioni carbonatiche.



**Figura 3.10** – Classificazione delle tipologie di pori nelle rocce carbonatiche (Choquette & Pray, 1970).

### 3.3.5 Microscopia elettronica a scansione (SEM)

Per le indagini in microscopia elettronica a scansione (*Scanning Electron Microscopy* – SEM) è stata utilizzata un'apparecchiatura Jeol JSM 5310 corredata di

sistema di microanalisi EDS (*Energy dispersive X- ray Spectroscopy*) della Oxford Inca (Fig. 3.11).



**Figura 3.11** - Jeol JSM 5310 e Oxford INCA.

Le analisi al SEM, eseguite presso il Centro di Servizio Interdipartimentale per Analisi Geomineralogiche (CISAG), sono state effettuate allo scopo di osservare la struttura interna del materiale in fattura fresca e su superfici di alterazione e di valutare l'eventuale presenza di caratteri tessiturali e microstrutturali che possono influenzare la risposta alle sollecitazioni meccaniche del materiale e/o essere d'aiuto nell'interpretazione del comportamento della pietra quando interessata da processi alterativi.

I campioni sottoposti ad analisi sono stati preventivamente incollati su opportuni supporti metallici e quindi metallizzati con un metallizzatore (sputter) ad oro Agar Auto Sputter Coater mod. 108A, al fine di garantirne la conducibilità elettrica.

La microscopia elettronica a scansione è la più conosciuta e la più ampiamente usata delle tecniche analitiche di superficie, consente di effettuare analisi relativamente rapide, poco costose e non distruttive e ha la capacità di restituire microimmagini e microfotografie di piccoli oggetti con ingrandimenti fino a 100.000x.

Le immagini della topografia superficiale di campioni in alta risoluzione, con eccellente profondità di campo, vengono prodotte usando un fascio di elettroni (primario) altamente focalizzato e scandito sulla superficie del campione. Gli elettroni primari (0.5 - 30 kV), interagendo con la superficie, generano elettroni secondari di energia più bassa la cui intensità è governata dalla topografia superficiale del campione; la presenza di zone chiare e scure, che conferiscono tridimensionalità all'immagine, è

prodotta dal maggior numero di elettroni secondari che fuoriescono dalle zone più superficiali rispetto a quelle più interne.

Oltre agli elettroni secondari vengono generati anche elettroni retrodiffusi (*backscattered*) e prodotti raggi-X nell'interazione del fascio primario con il campione.

L'intensità degli elettroni retrodiffusi può essere correlata con il numero atomico degli elementi presenti nel volume di campione che ha interagito con gli elettroni primari e quindi possono essere fornite alcune indicazioni qualitative di composizione elementare.

### **3.3.6 Diffrattometria ai raggi X (XRD)**

Al fine di verificare la composizione mineralogica dei CBL sono state realizzate analisi diffrattometriche RX sia quantitative, su polveri rappresentative della roccia *in toto* e del suo residuo insolubile, che qualitative, sul solo residuo insolubile (ricavato per i campioni prelevati presso Cava Canale, Pesco Rosito e Monte Camposauro).

I campioni di roccia tal quale destinati alle analisi quantitative in XRD sono stati dapprima ripuliti dalle patine superficiali di alterazione per poi essere polverizzati in un frantoio a ganasce modello Reitsch KG BB2/A. Durante questa fase, onde evitare contaminazione dei campioni, il frantoio è stato condizionato dopo ogni utilizzo, impiegando parte del campione di seguito scartata.

Alle polveri così ottenute è stato aggiunto il 20% in peso di  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 1  $\mu$ m (Buehler Micropolish), quale standard di riferimento per il raffinamento dei parametri.

Il residuo insolubile è stato ottenuto sottoponendo i campioni di roccia tal quale ad attacco con acido cloridrico (HCl 37%, Carlo Erba), diluito al 10% in seguito a macinazione in frantoio a ganasce e riduzione ad una granulometria passante a 63  $\mu$ m (250 *mesh*) mediante utilizzo di un mortaio in ceramica. L'attacco acido è stato effettuato a temperatura ambiente, generalmente su 100 g di campione per volta, ed è terminato allorché è stata constatata la completa dissoluzione della frazione carbonatica. Il residuo è stato ripetutamente lavato con acqua deionizzata e centrifugato con centrifuga Hettich mod. Universal 32, al fine di eliminare i cloruri residui.

Tutto il residuo ottenuto è stato, infine, raccolto dalle rispettive provette, asciugato in stufa e successivamente pesato. Al residuo insolubile così ottenuto è stato aggiunto, per la realizzazione delle analisi diffrattometriche quantitative, l'80% in peso di  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 1  $\mu$ m, (Buehler Micropolish) quale standard di riferimento, vista la scarsa



disponibilità di campione che si è dimostrato essere pari a meno dell'1% della roccia *in toto*.

Le polveri, sia del campione tal quale che del residuo insolubile, con o senza standard, sono state micronizzate utilizzando un'apparecchiatura Mc Crone "Micronising Mill" con cilindri d'agata per tempi di 15 minuti (Fig. 3.12), al fine di ottenere una granulometria  $<5\ \mu\text{m}$ , condizione che, come riportato in letteratura (Bish e Chipera, 1988; Klug e Alexander, 1974), consente di ovviare a diversi problemi in fase di acquisizione degli spettri RX (statistica delle particelle, estinzione primaria, microassorbimento e, soprattutto per le fasi di tipo feldspatico, fenomeni di orientazione preferenziale).

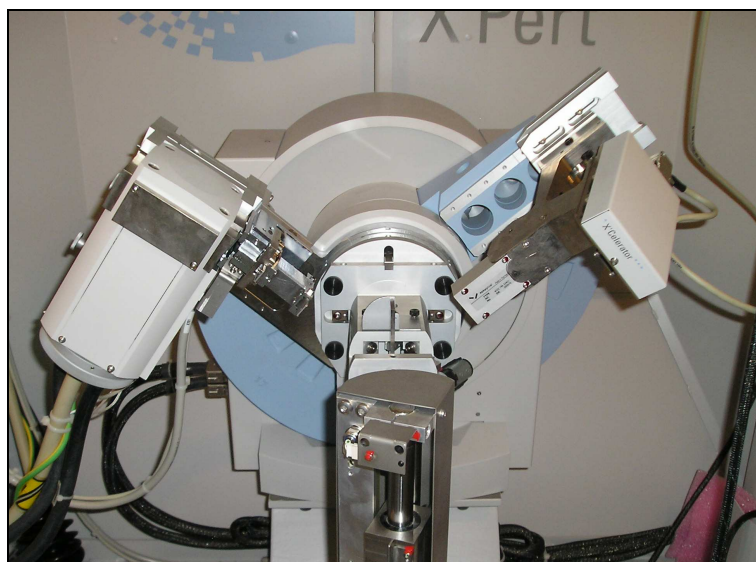


**Figura 3.12** - Micronizzatore McCrone "Micronising Mill".

L'apparecchiatura utilizzata per la realizzazione di analisi diffrattometriche RX consta in un diffrattometro automatico Panalytical X'pert PRO PW 3040/60 con X'celerator e unità MPD PW 3710 (Fig. 3.13 – 3.14).



**Figura 3.13** - Diffrattometro Panalytical X'Pert PRO.



**Figura 3.14** - Gruppo goniometrico, emettitore RX, ricevitore RX, X'celerator.

Le condizioni operative per l'acquisizione dei pattern di diffrazione i sono state:

- radiazione  $\text{CuK}\alpha$ , 40 kV, 40 mA;
- Intervallo  $2\theta$  da 4 a  $70^\circ$ ,  $\text{step size} = 0,020^\circ 2\theta$ ;

- Tempi di conteggio pari a 60 sec *time per step*.

Il diffrattometro è equipaggiato con *software* X'Pert Data Collector 2.1 per l'acquisizione dei dati e X'pert Highscore Plus 2.2 per l'interpretazione degli stessi (Fig. 3.15).

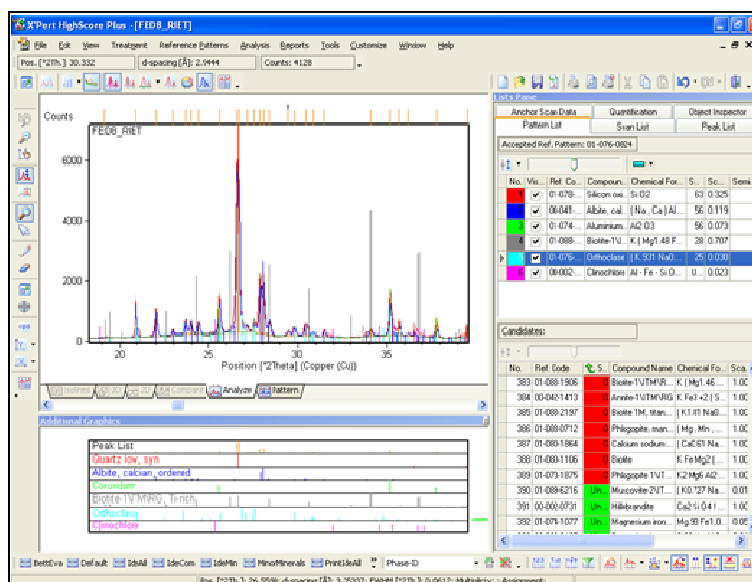


Figura 3.15 - Schermata del *software* X'Pert Highscore Plus 2.2.

L'analisi mineralogica quantitativa è stata realizzata usando la tecnica " *Reference Intensity Ratio* (RIR - Chipera e Bish, 1995) e solo in alcuni casi, per confronto, usando la metodologia di raffinamento Rietveld.

Il metodo RIR rappresenta un'evoluzione della tecnica dello standard interno proposta da Chung (1974) e del metodo "*matrix-flushing*" per l'analisi quantitativa di composti a più componenti, sviluppato da Bish e Chipera (1988).

La RIR si riferisce al rapporto tra l'area integrata di un dato riflesso di un minerale puro e quella del riflesso più forte di uno standard interno ( $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) in una miscela al 50%.

In accordo con Chung (1974), la percentuale in peso del componente X in una miscela è data da:  $X_i = X_c I_i / K_i I_c$  dove  $X_c$  è la percentuale dello standard interno,  $K_i$  è la RIR del riflesso considerato,  $I_i$  è l'area integrata dello stesso riflesso e  $I_c$  è l'area integrata dell' $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Bish e Chipera (1988) hanno applicato il metodo a miscele naturali contenenti feldspati e zeoliti, migliorando la metodologia includendo la minimizzazione degli

effetti dovuti alla variabilità di composizione chimica ed all'orientazione preferenziale dei feldspati.

Ulteriori correzioni sono state introdotte per minimizzare l'effetto di sovrapposizione di picchi.

Per quanto attiene alla tecnica di raffinamento Rietveld, essa esegue una minimizzazione, utilizzando i minimi quadrati, tra lo spettro di polveri sperimentale e quello calcolato. Per la sua realizzazione si utilizzano tutti i riflessi compresi nel pattern, invece di quelli più intensi, minimizzando in questo modo gli errori nel calcolo del peso della singola frazione e gli effetti dell'orientamento preferenziale, dell'estinzione primaria e della non linearità del sistema di rilevazione.

L'interpretazione quantitativa dei pattern di diffrazione è stata effettuata mediante il software TOPAS 4.2, utilizzando il profilo di emissione CuK $\alpha$  Berger e raffinando: il fondo (polinomio di Chebychev 3° ordine), il *sample displacement* e il fattore di polarizzazione  $L_p$ .

### 3.3.7 Analisi chimiche in spettrometria di fluorescenza (XRF)

L'analisi chimica dei campioni tramite XRF prevede la stima della percentuale in peso di 10 elementi maggiori (SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e del contenuto, in parti per milione, di 11 elementi in traccia (Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Sc, V, Cr, Ba, Cu e Zn) in accordo con il metodo descritto da Melluso *et al.* (2005).

A tale scopo i campioni da analizzare, ripuliti dalle patine superficiali di alterazione, sono stati dapprima macinati in frantoio a ganasce e successivamente micronizzati utilizzando un'apparecchiatura Mc Crone "Micronising Mill" con cilindri d'agata per tempi di 15 minuti. Quindi sono stati essiccati in stufa per 48 ore a 110 °C per eliminare l'acqua igroscopica. Dalle polveri così ottenute sono state realizzate alcune pastiglie utilizzando la seguente metodologia:

- aggiunta di alcool polivinilico al 10% nella proporzione di 1 cc di alcool per 4 g di polvere;
- essiccazione per 24 ore in stufa a 50 °C;
- le polveri così trattate sono state poste su un idoneo supporto metallico di forma cilindrica riempito per circa metà di acido bórico granulare;

- la pastiglia è stata ottenuta applicando, al supporto metallico così preparato, una pressione di 18 atmosfere per 20 secondi.

Le analisi chimiche sono state effettuate presso l'Università degli Studi di Napoli (Centro di Servizio Interdipartimentale per le Analisi Geomineralogiche - CISAG). Gli elementi, maggiori e minori, sono stati determinati in spettrometria di fluorescenza raggi X con uno spettrometro automatico Panalytical Axios equipaggiato di tubo al W (Fig. 3.16) e gestito dal software Super Q 4.0J.L (Fig. 3.17).



**Figura 3.16** – Spettrometro automatico Panalytical Axios.

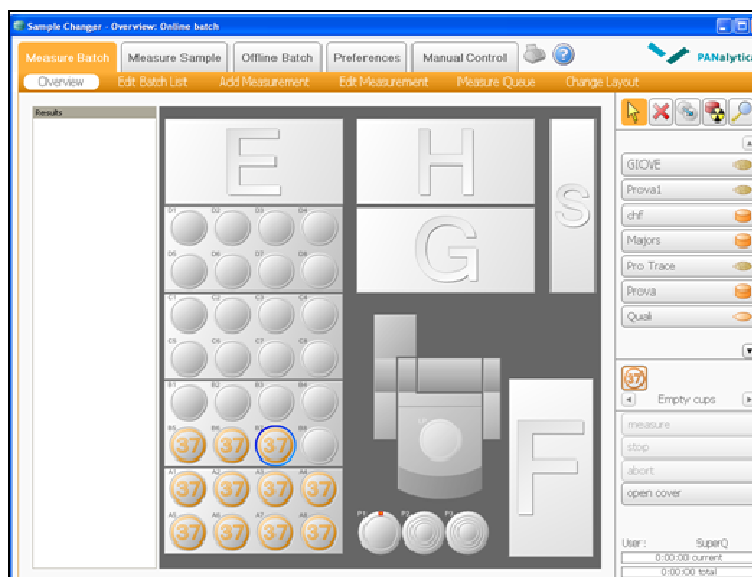


Figura 3.17 - Schermata del software Super Q 4.0J

I dati sono stati corretti per l'effetto di deriva e fondo.

L'accuratezza analitica è intorno a  $\pm 1\%$  per  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  e  $\text{MnO}$ ;  $\pm 4\%$  per  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

L'accuratezza delle misure per gli elementi in traccia è circa  $\pm 2\div 3\%$  a 1000 ppm, e  $\pm 5\div 10\%$  a 100 ppm, e  $\pm 10\div 20\%$  a 10 ppm.

I limiti di rilevabilità sono circa 3 ppm per la maggior parte degli elementi in traccia analizzati.

### 3.3.7.1 Calcinazione (LoI)

La perdita al fuoco o LoI (*Loss on Ignition*) è una stima della perdita di peso percentuale, rappresentata dal contenuto in elementi volatili della roccia ( $\text{H}_2\text{O}$  e  $\text{CO}_2$ ), che si registra dopo aver sottoposto il campione, preventivamente pesato e posto in crogioli di ceramica (Fig. 3.18), ad una temperatura di 1000 °C in un forno a muffola per almeno 2 h.

La perdita percentuale in peso è misurata in seguito al raffreddamento del campione in un essiccatore.

Tale operazione è ripetuta fino al raggiungimento del peso costante.



**Figura 3.18** – Crogiuolo usato nella LoI.

### 3.3.8 Calcimetrie

La calcimetria consente di determinare il contenuto di carbonati mediante attacco con acido cloridrico del campione e successiva misura di CO<sub>2</sub> sviluppata.

Secondo quanto previsto dalla Norma 32/89, il campione viene macinato fino a passare completamente al setaccio di 63 µm, quindi essiccato in stufa a 60 ± 5°C e raffreddato in un essiccatore prima della pesata. L'essiccazione viene prolungata fino al raggiungimento della massa costante ovvero fino a quando la differenza tra le due pesate successive, realizzata a 2 ore di distanza, è inferiore allo 0,1% della massa del campione.

Il calcimetro di Dietrich-Frühling (Fig. 3.19), impiegato per questa determinazione, è costituito da una buretta di raccolta dei gas (A), della capacità di 200 ml, e da un serbatoio, montato parallelamente ad essa ed aperto superiormente (C), la parte inferiore del quale è collegata, tramite un tubo di flessibile (B), con la parte inferiore della buretta. La sommità di quest'ultima è messa in comunicazione da un tubo di gomma (D) con una beuta (E) entro la quale viene posto 1 g ± 0,2 mg di campione ed una provetta contenente la soluzione acida. Rovesciando la provetta si provoca la reazione di sviluppo della CO<sub>2</sub> ( $\text{CaCO}_3 + 2 \text{HCl} \rightarrow \text{CaCl}_2 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ) la quale passa dalla beuta alla buretta determinando l'abbassamento della colonna d'acqua in essa contenuta: la pressione dei gas è quindi portata ad eguagliare la pressione atmosferica abbassando allo stesso livello d'acqua della buretta quella del serbatoio.

Per calcolare il volume di CO<sub>2</sub>, espresso in percentuale in massa alla prima cifra decimale, si applica la formula:

$$\% CO_2 = \frac{7,0573 \cdot 10^{-2}}{M_c T} [(V_1 - V_0)(P - P_{H_2O}) + P V_{ass}] \quad (3.1)$$

dove:

$V_0$  è il volume del gas sviluppato in assenza del campione (ml);

$V_1$  è il volume di gas sviluppato dal campione (ml);

$T$  è la temperatura ambiente (K);

$P$  è la pressione barometrica ambientale (mm Hg);

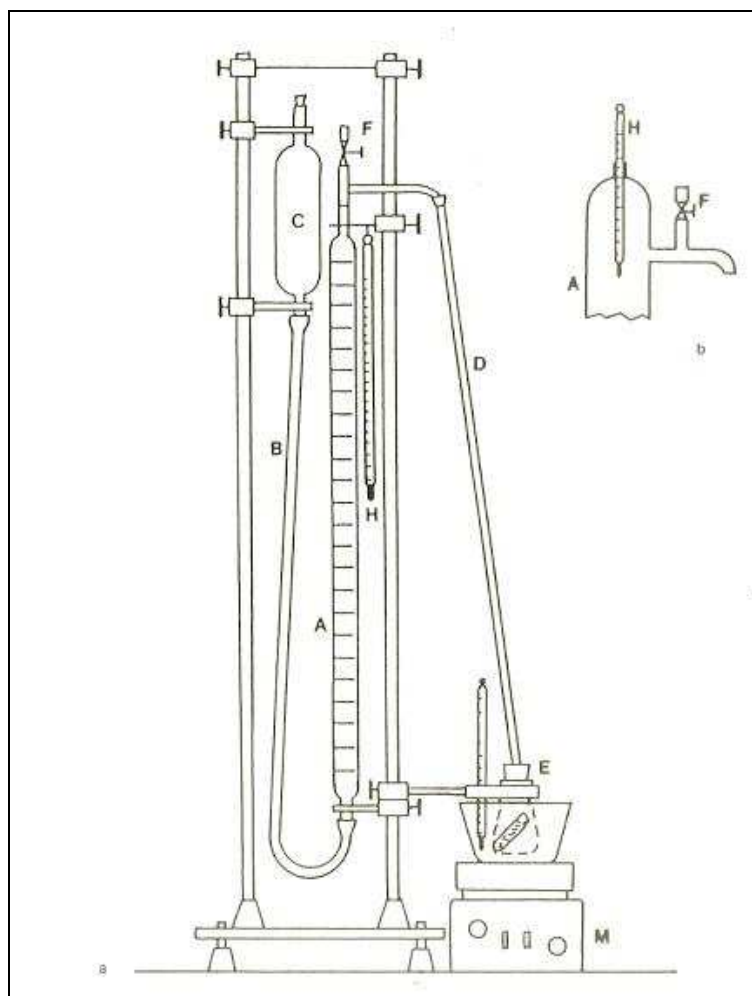
$P_{H_2O}$  è la tensione di vapore dell'acqua alla temperatura  $T$  (mm Hg);

$M_c$  è la massa del campione (g);

$V_{ass}$  è il volume di  $CO_2$  rimasto assorbito nel reattivo (ml).

Nel caso di materiale contenente solo calcite il corretto uso del calcimetro consente ottime determinazioni quantitative. Quando però la sostanza da analizzare contiene calcite e dolomite la reazione si svolge rapidamente finché si scioglie gran parte della calcite e prosegue poi lentamente. Risulta pertanto difficile stimare con esattezza con questo metodo la quantità dei due carbonati qualora presenti contemporaneamente in una miscela (Jobstraibizer, 1970).





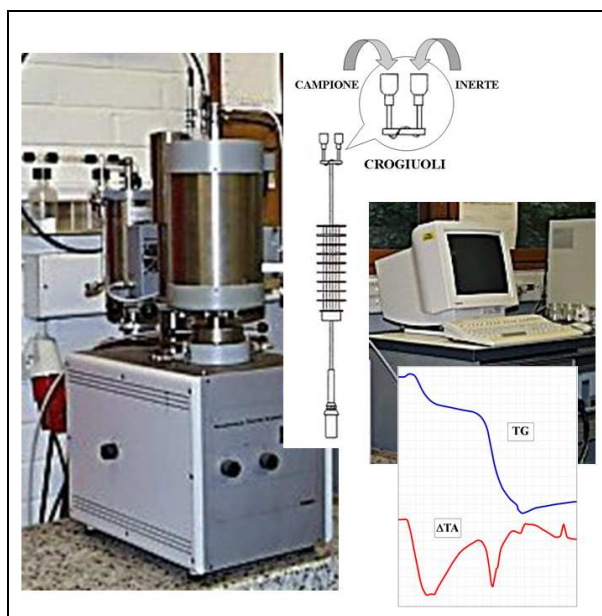
**Figura 3.19** – Apparecchiatura per il metodo di Dietrich – Frühling.

### 3.3.9 Analisi termiche

Le analisi Termiche Differenziali (DTA), Termogravimetriche (TG) e Termogravimetriche Differenziali (DTG) sono state condotte adoperando un Termoanalizzatore Netzsch STA 409 ( Fig. 3.20).

I componenti principali del Termoanalizzatore sono rappresentati da:

- forno elettrico;
- portacampioni metallico e crogiuoli;
- sistema di misura della differenza di temperatura  $\Delta T$ , costituito da due termocoppie Platino e Platino - Rhodio in opposizione;
- dispositivo di lettura in grado di registrare, in modo lineare, segnali inferiori a 1 mV.



**Figura 3.20** – Termoanalizzatore.

La TG registra le variazioni percentuali di perdita in peso subite da un materiale sottoposto a riscaldamento crescente. L'analisi della curva DTG, che corrisponde alla derivata prima della curva TG, permette di conoscere la velocità di variazione in peso del campione in funzione della temperatura. La DTA misura, per tutta la durata del trattamento termico, la differenza di temperatura  $\Delta T$  esistente tra il materiale in esame ed un materiale inerte (Corindone) sottoposti contemporaneamente allo stesso regime termico. Dato che la temperatura dell'inerte è costantemente in equilibrio con quella del termoanalizzatore, la differenza di temperatura  $\Delta T$  è funzione dell'assorbimento o della cessione di calore da parte del campione esaminato, in corrispondenza di determinate reazioni. L'assorbimento di calore è visualizzato graficamente sulla curva DTA come un minimo termico e corrisponde ad una reazione endotermica (perdita di sostanza, cambiamento di stato, collasso strutturale). La cessione di calore è registrata come un massimo termico, determinato da una reazione esotermica (ricristallizzazione, ossidazione).

I campioni da sottoporre alle analisi termiche sono stati inseriti in appositi crogiuoli di allumina sinterizzata; per la realizzazione delle misure sono state adottate le seguenti condizioni:

- peso del campione, preventivamente condizionato ad umidità controllata (50% ), pari a 100 mg;
- TG = 25 mg;
- DTG = 0,1 mV;

- DTA = 0,1 mV;
- velocità di riscaldamento pari a 10 °C al minuto;
- temperatura finale = 1100 °C;
- velocità di scorrimento della carta pari a 12 mm all'ora;
- atmosfera = aria.

### 3.4 Metodologie geologico-tecniche

La caratterizzazione fisico-meccanica consente di simulare e valutare, attraverso prove di laboratorio, il comportamento del materiale sotto l'azione di sollecitazioni di varia natura onde stimare i principali parametri fisici e tecnici utili per una classificazione della qualità della pietra. Tali informazioni, insieme a quelle che derivano dalle indagini chimico-mineralogiche, consentono di caratterizzare compiutamente il materiale lapideo e di fornire possibili indicazioni su:

- Provenienza dei materiali usati;
- Stato di conservazione, degrado.

Di seguito sono descritte le metodologie utilizzate per la caratterizzazione fisico-meccanica dei litotipi di interesse sulla base delle specifiche tecniche previste dalle normative vigenti (Normal, UNI EN, ISRM).

#### 3.4.1 Peso di volume

La misura del peso di volume o peso specifico apparente (*bulk density*), espresso in  $\text{kN/m}^3$  è il rapporto tra la massa del campione secco ed il suo volume totale, ovvero comprensivo dei pori. La misura è stata effettuata su 30 provini di forma cubica ( $7 \pm 1$  cm di lato) per ognuno dei litotipi campionati in entrambi i siti di Coreno Ausonio e Cava Canale.

Dopo la sagomatura i provini sono stati ripetutamente lavati con acqua deionizzata (per eliminare i residui di polvere derivanti dal taglio) e posti in stufa a una temperatura di 70 °C per 24 ore fino al raggiungimento della massa costante, cioè quando la differenza fra due pesate successive, ad un intervallo di 24 ore, non è risultata maggiore dello 0,1% della massa del provino. I provini sono stati raffreddati e quindi pesati.

Le dimensioni dei provini sono state accuratamente misurate a mezzo di un calibro in modo da determinarne il volume. L'accuratezza della misura è stata del  $\pm 5\%$ .

La formula utilizzata per il calcolo del peso di volume è riportata di seguito:

$$\gamma = \frac{P}{V} \quad (3.2)$$

dove:

$P$  è la massa del campione secco (g);

$V$  è il volume del campione comprensivo di pori ( $\text{cm}^3$ ).

### 3.4.2 Peso specifico reale e porosità aperta

Il peso specifico reale, espresso in  $\text{kN/m}^3$ , è il rapporto tra la massa del campione secco ed il volume della sola parte solida.

La determinazione del peso specifico reale, funzione del peso specifico dei costituenti solidi della roccia (volume della parte solida esclusi i vuoti), è stata effettuata con l'ausilio di un picnometro ad elio (Multi Volume Pycnometer 1305 Micromeritics, con un'accuratezza di  $\pm 0,1-0,2\%$ ), su tre provini cilindrici (diametro pari a 2,5 cm e altezza  $\leq 3$  cm) per ognuno dei litotipi campionati in entrambi i siti di Coreno Ausonio e Cava Canale provini (Fig. 3.21).



**Figura 3.21** - Picnometro ad elio Micromeritics 1305.

Tale apparecchiatura è costituita da una camera con volume noto ( $35 \text{ cm}^3$ ) e di una seconda camera in comunicazione con la prima. La prima camera, destinata ad

ospitare il campione, è pressurizzata con elio; successivamente il gas, attraverso una manopola è fatto espandere nella seconda camera, comunicante con la prima, determinando così una caduta di pressione. Dai due valori di pressione, misurati prima e dopo l'espansione del gas, è possibile determinare il volume del campione e la sua densità reale.

Al fine di ottenere un dato sufficientemente preciso, su ogni campione la prova è ripetuta per tre volte: il risultato finale è espresso dal valore medio.

Le misure del volume apparente e di quello reale hanno consentito di calcolare la porosità aperta.

La porosità  $n$  è normalmente definita come il rapporto tra il volume dei pori  $V_v$  ed il volume totale della roccia  $V$  (ovvero volume apparente):

$$n = \frac{V_v}{V} \quad (3.3)$$

La porosità è definita aperta quando è determinata soltanto in funzione dei pori comunicanti con l'esterno della roccia e non tiene conto di eventuali pori isolati presenti all'interno di essa.

Il suo valore, espresso in percentuale, è calcolato attraverso la seguente formula:

$$n = \frac{\gamma - \gamma_s}{\gamma} \cdot 100 \quad (3.4)$$

dove:

$\gamma$  è il peso specifico apparente della roccia ( $\text{kN/m}^3$ );

$\gamma_s$  è il peso specifico reale della roccia ( $\text{kN/m}^3$ ).

### 3.4.3 Grado di compattezza

La compattezza  $c$ , o grado di compattezza, è il rapporto tra il peso di volume  $\gamma$  ed il peso specifico reale  $\gamma_s$ :

$$c = \frac{\gamma}{\gamma_s} \quad (3.5)$$

La compattezza risulta quindi in genere minore dell'unità essendo in teoria uguale ad 1 per rocce assolutamente prive di pori.

#### **3.4.4 Assorbimento d'acqua a pressione atmosferica**

La prova consente di determinare la quantità massima di acqua assorbita da un campione di roccia quando sottoposto ad immersione in acqua deionizzata a pressione atmosferica e temperatura ambiente.

La prova fornisce informazioni circa la durevolezza del materiale in condizioni ambientali normali ed in particolare nel caso di contatto prolungato con acque meteoriche o terreni umidi.

La determinazione dell'assorbimento d'acqua a pressione atmosferica è stata effettuata secondo le indicazioni suggerite dalla norma UNI EN 13755.

Per la realizzazione di questa prova, sono stati utilizzati tre provini di forma cubica ( $7 \pm 1$  cm) per ognuno dei litotipi campionati sia presso Cava Canale che presso Coreno Ausonio.

Tali provini sono stati essiccati e portati a massa costante in una stufa alla temperatura di circa  $70$  °C. La massa costante è stata raggiunta allorché la differenza fra due pesate successive, ad un intervallo di 24 ore, non è risultata maggiore dello 0,1% della massa del provino.

Dopo essiccazione, i provini sono stati pesati e posizionati in un contenitore ad una distanza di almeno 15 mm l'uno dall'altro. Al tempo  $t_0$  è stata aggiunta acqua di rubinetto fino a metà altezza dei provini; al tempo  $t_0 + (60 \pm 5)$  minuti è stata aggiunta acqua di rubinetto fino a quando il livello dell'acqua ha raggiunto i tre quarti di altezza dei provini. Al tempo  $t_0 + (120 \pm 5)$  minuti è stata aggiunta acqua di rubinetto fino ad immergere completamente i provini ad una profondità d'acqua di  $(25 \pm 5)$  mm. Al tempo  $t_0 + (48 \pm 2)$  ore i provini sono stati estratti dall'acqua, strofinati velocemente con un panno umido e pesati entro 1 minuto con accuratezza di 0,01g. Successivamente i provini sono stati immersi nuovamente in acqua per continuare la prova e la misura è stata ripetuta ogni  $(24 \pm 2)$  ore.

La prova si considera conclusa quando è raggiunta una massa costante, ovvero quando la differenza tra due pesate successive non è maggiore dello 0,1 % della massa del provino.

L'assorbimento d'acqua a pressione atmosferica  $A_b$  di ciascun provino, espresso in percentuale, è stato calcolato applicando la seguente formula:

$$A_b = \frac{m_s - m_d}{m_d} \cdot 100 \quad (3.6)$$

dove:

$m_s$  = massa del provino essiccato (g);

$m_d$  = massa successive del provino durante le prove (g).

### 3.4.5 Assorbimento d'acqua per capillarità

La prova di assorbimento d'acqua per risalita capillare consente di determinare la quantità d'acqua assorbita, per unità di superficie in funzione del tempo, da un campione avente la sola superficie di base in contatto con acqua deionizzata. La determinazione del coefficiente di assorbimento d'acqua per capillarità è stata effettuata applicando le metodologie suggerite sia dalla norma UNI EN 1925 sia per confronto dalla più vecchia NORMAL 11/85.

In entrambi i casi, i campioni sono stati essiccati e portati a massa costante in una stufa alla temperatura di circa 70 °C. La massa costante è stata raggiunta allorché la differenza fra due pesate successive, ad un intervallo di 24 ore, non è risultata maggiore dello 0,1% della massa del provino. Dopo essiccazione, i provini sono stati pesati con un'accuratezza di 0,01 g.

Seguendo le indicazioni suggerite dalla norma UNI EN 1925, per ogni litotipo campionato in entrambe i siti di interesse, sono stati utilizzati tre provini di forma cubica ( $7 \pm 1$  cm di lato). I provini così predisposti sono stati adagiati su sottili supporti presenti all'interno di un contenitore munito di coperchio (per evitare l'evaporazione dei provini umidi), dopo aver preliminarmente calcolato l'area, espressa in  $\text{cm}^2$ , della base da immergere. L'utilizzo dei supporti all'interno del contenitore è giustificato dal fatto di avere una maggiore superficie libera dei provini a contatto con l'acqua.

La base dei provini è stata così immersa per una profondità di  $3 \pm 1$  mm ed il livello è rimasto costante per tutta la durata della prova (Fig. 3.22).



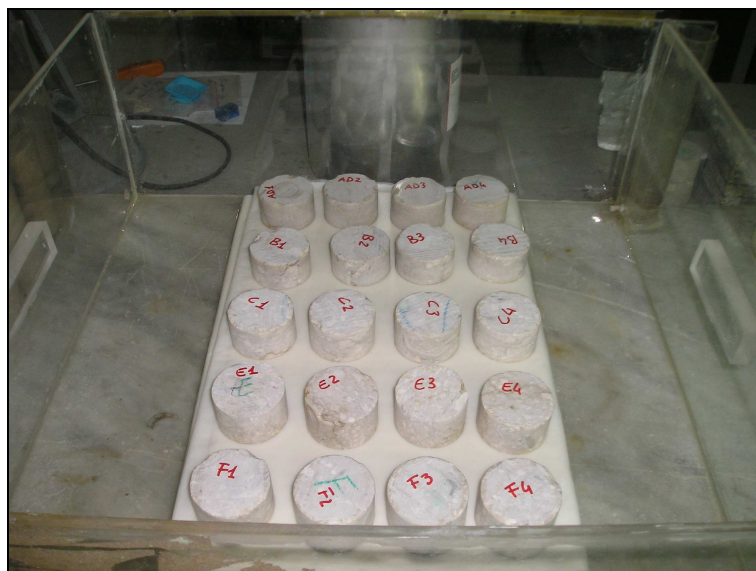
**Figura 3.22** - Provini di CBL adagiati su supporti durante l'esecuzione della prova di risalita capillare eseguita sulla base delle indicazioni proposte dalla norma UNI EN 1925.

Seguendo invece le indicazioni suggerite dalla norma NORMAL 11/85 sono stati impiegati 4 campioni di forma cilindrica con diametro pari a circa 54 mm ed altezza pari a circa 24 mm per ognuno dei litotipi campionati nel sito di Cava Canale.

Tali campioni sono stati posti in un contenitore su un supporto poroso costituito da un pacchetto di fogli di carta per filtrazioni rapide, dello spessore di 1 cm, con pori di diametro medio pari a 25  $\mu\text{m}$ , dopo avere preventivamente calcolato l'area della faccia in contatto con esso. L'impiego della carta da filtro assicura un contatto immediato e costante tra l'acqua e la sola superficie di appoggio del campione, sufficientemente buono anche nel caso di campioni con superficie ruvida o non perfettamente regolare.

Si versa acqua deionizzata fino ad ottenere la completa imbibizione della carta evitando che il livello dell'acqua superi il bordo superiore del pacchetto di carta. Per ridurre l'evaporazione dell'acqua e l'influenza delle variazioni termoigrometriche dell'ambiente, il contenitore deve essere provvisto ancora una volta di coperchio (Fig. 3.23).





**Figura 3.23** - Provini di CBL adagiati su supporto poroso costituito da carta da filtro durante l'esecuzione della prova di risalita capillare eseguita sulla base delle indicazioni proposte dalla norma NORMAL 11/85.

Secondo quanto previsto da entrambe le normative, ogni provino è stato estratto dall'acqua ad intervalli di tempo prestabiliti e, tamponata la parte a contatto con l'acqua con un panno umido, è stato pesato e riposto nel contenitore.

I tempi di misura, non precisati nella norma NORMAL 11/85, sono stati quelli proposti dalla Norma UNI EN 1925 per pietre a basso assorbimento, ovvero 1', 5', 10', 20', 30', 60', 180' (3 h), 480' (8 h), 1440' (24 h), 2880' (48 h), 4320' (72 h). Sono state effettuate almeno 7 misure e la prova è terminata quando la differenza tra due pesate successive non è stata maggiore dell'1 % della massa dell'acqua assorbita dal provino.

I valori così ottenuti sono stati riportati in un grafico recante sulle ordinate la massa d'acqua assorbita, espressa in grammi, divisa per l'area della base immersa nel provino, in  $\text{cm}^2$ , e sulle ascisse la radice quadrata del tempo, espresso in secondi. Generalmente tale curva presenta un andamento inizialmente variabile a seconda delle condizioni dei campioni per poi tendere asintoticamente ad un valore costante della quantità di acqua assorbita. Entrambi i tratti di curva possono essere approssimati a due linee rette. Se, come nel caso dei campioni analizzati, il coefficiente di correlazione fra i punti misurati nella prima parte del grafico e la retta di regressione di questa prima parte sono maggiori di 0,90 (quando effettuate almeno cinque misure), il coefficiente di assorbimento di acqua per capillarità  $C$  è rappresentato dalla pendenza della corrispondente retta di regressione e può essere calcolato come il rapporto fra l'ordinata e l'ascissa di qualsiasi punto di questa linea utilizzando la seguente relazione:

$$C = \frac{m_i - m_d}{A \cdot \sqrt{t_i}} \quad (3.7)$$

Dove:

$m_d$  = massa del provino secco (g);

$m_i$  = masse successive del provino durante la prova (g);

$A$  = area della faccia immersa in acqua/ poggiata sulla carta da filtro (cm<sup>2</sup>);

$t_i$  = tempi trascorsi dall'inizio della prova fino al momento in cui vengono misurate le successive masse  $m_i$ , (s).

Il valore di  $C$  è espresso con tre cifre significative.

### 3.4.6 Velocità di propagazione del suono

La prova, eseguita secondo le specifiche della norma UNI EN 14579, consente di registrare il tempo che le onde ultrasoniche impiegano nell'attraversare il campione. Tale dato è direttamente correlabile alla densità del materiale ed alle eventuali discontinuità presenti al suo interno.

La misura, non comportando alcun tipo di modifica delle caratteristiche originarie del campione, rientra tra le prove “non distruttive”.

Per la realizzazione della prova, è stata utilizzata un'apparecchiatura Controls E 48 dotata di una coppia di trasduttori, aventi diametro di 4,5 mm e frequenza di 54 kHz, i quali registrano il tempo che intercorre tra l'emissione e la ricezione del segnale sonoro che attraversa il campione (Fig. 3.24).



**Figura 3.24** - Apparecchiatura per la determinazione della velocità di propagazione del suono.

In accordo con quanto prescritto dalla già citata normativa, le prove ultrasoniche sono state effettuate su campioni cubici con lato di  $7\pm 1$  cm di lato; per ognuna delle litofacies campionate nei siti di Cava Canale e Coreno Ausonio sono stati esaminati dai 10 ai 15 provini.

Dopo il taglio, i campioni sono stati accuratamente lavati in acqua deionizzata per eliminare eventuali residui pulverulenti. Per garantire una migliore aderenza dei trasduttori ai campioni, prima delle prove le loro superfici sono state cosparse di un sottile strato di gel idrosolubile (Idrosonic). Le misure sono state effettuate lungo le tre direzioni dello spazio  $x$ ,  $y$  e  $z$ , per ciascuna serie ed in trasparenza diretta su ogni campione. Una prima serie di prove è stata condotta su campioni allo stato secco (*dry*): a tal fine i provini sono stati preventivamente essiccati in stufa a circa  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  e successivamente raffreddati in ambiente deumidificato fino al raggiungimento della massa costante. Una seconda prova è stata, invece, eseguita su un numero ridotto di campioni allo stato saturo (*wet*), dopo averli immersi in acqua deionizzata per un tempo sufficiente al raggiungimento della massa costante.

In entrambi i casi la velocità è stata calcolata attraverso la seguente formula:

$$V = \frac{L}{t} \quad (3.8)$$

dove:

$V$  è la velocità dell'impulso (m/s);

$L$  è la lunghezza del campione (m);

$t$  è il tempo impiegato dall'impulso ad attraversare il provino (s).

### **3.4.7 Resistenza a compressione semplice**

Tale prova consente di verificare la resistenza a compressione semplice di una roccia, ovvero la resistenza opposta alle sollecitazioni che tendono a frantumarla per schiacciamento.

Molteplici sono i fattori che influenzano la resistenza a compressione di un materiale lapideo, tra cui i più importanti sono struttura, piani di stratificazione, di foliazione, scistosità, contenuto di umidità, tessitura, stato di alterazione (Hawkins, 1998), velocità di applicazione del carico (Lajtai *et al.*, 1991). Tali fattori devono necessariamente essere tenuti in conto nella fase di elaborazione dei risultati.

Le prove sono state effettuate con due diverse modalità a seconda di cosa si volesse determinare:

- prove di resistenza a compressione uniassiale a carico controllato ( $1\pm 0,5$  MPa/s), in accordo con quanto previsto dalla UNI EN 1926, per la determinazione del solo carico a rottura;
- prove di resistenza a compressione uniassiale a velocità controllata (2,4 mm/min) per la determinazione della curva sforzi-deformazioni.

In entrambi i casi sono stati testati provini di forma cubica ( $7\pm 1$  cm) ed è stato appurato che:

- le facce attraverso le quali è applicato il carico fossero perfettamente piane (con una tolleranza di 0,1 mm) e non si scostassero dalla perpendicolarità rispetto all'asse del provino più di 0,01 radianti o 1 mm su 100 mm;
- i lati del provino fossero lisci, senza irregolarità e rettilinei con una deviazione massima di 0,3 mm sull'intera lunghezza del provino.

I provini utilizzati per entrambe le tipologie di prova, dopo la sagomatura, sono stati lavati con abbondante acqua deionizzata per eliminare eventuale materiale residuo, ed essiccati in stufa a circa 70 °C fino al raggiungimento della massa costante, ovvero quando la differenza tra due pesate successive, effettuate con un intervallo di 24 ore, non è risultata maggiore dello 0,1 % della massa del provino. Successivamente essi sono stati raffreddati a temperatura ambiente.

#### **3.4.7.1 Prove di resistenza a compressione uniassiale a carico controllato**

Per l'esecuzione delle prove di resistenza a compressione uniassiale a carico controllato, i provini sono stati sottoposti ad un carico uniformemente distribuito ( $1\pm 0,5$  MPa/s) fino a rottura in accordo con quanto prescritto dalla UNI EN 1926.

Sono stati testati dai 3 ai 9 provini di forma cubica ( $7\pm 1$  cm) per ognuna delle litofacies campionate nei siti di Cava Canale e Coreno Ausonio.

Per la realizzazione della prova è stata utilizzata una pressa meccanica universale rigida (modello Controls C5600), con carico massimo pari a 3000 kN (Fig. 3.25).

La resistenza a compressione uniassiale del provino  $R$ , espressa in MPa, è stata calcolata mediante la seguente relazione:

$$R \equiv \frac{P}{A} \quad (3.9)$$

dove:

$R$  è la resistenza a compressione uniassiale del provino (MPa);

$P$  è il carico a rottura del provino (N);

$A$  è l'area della sezione trasversale del provino prima della prova ( $\text{mm}^2$ ).



**Figura 3.25** - Telaio Controls 5600 utilizzato per la prova a compressione uniassiale semplice.

### 3.4.7.2 Prove di resistenza a compressione uniassiale a velocità controllata

Le prove di resistenza a compressione uniassiale a velocità controllata sono state realizzate nei laboratori del Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Geotecnica ed Ambientale dell'Università degli studi di Napoli Federico II.

Sono stati testati 3 provini di forma cubica ( $7\pm 1$  cm) per ognuna delle litofacies campionate nei siti di Cava Canale e Coreno Ausonio.

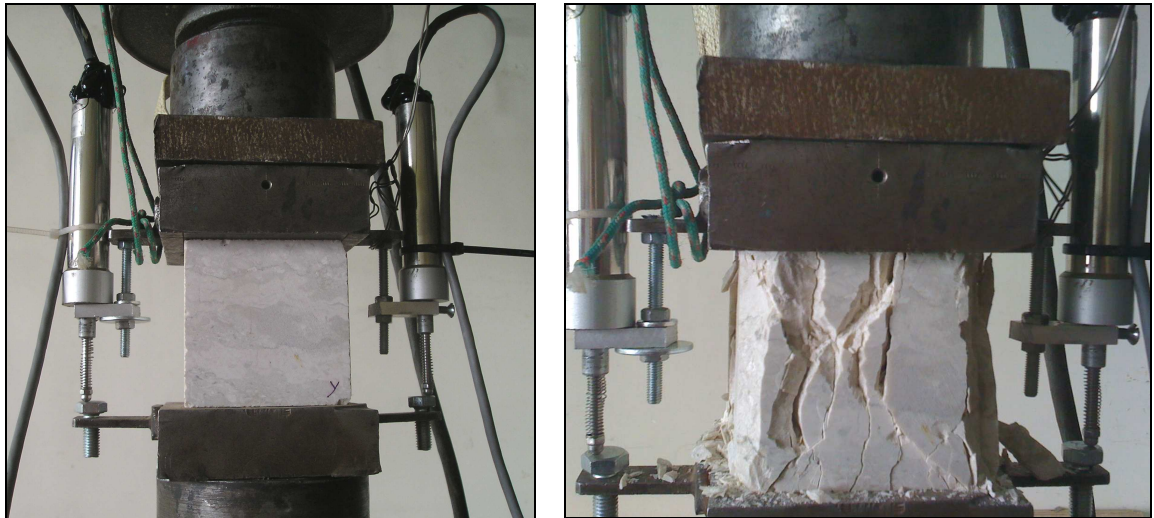
Per la realizzazione della prova è stata usata una pressa meccanica della Clockhouse con carico massimo pari a 50 ton e velocità massima di applicazione del carico pari a 2,4 mm/min (Fig. 3.26).



Figura 3.26 – Pressa meccanica Clockhouse.

La velocità e la modalità di applicazione del carico hanno ovviamente influito sul valore di resistenza a compressione misurato (Laitai *et al.*, 1991) che è risultato più basso rispetto a quello ottenuto in accordo con quanto stabilito dalla UNI EN 1926 (cfr. par. 5.).

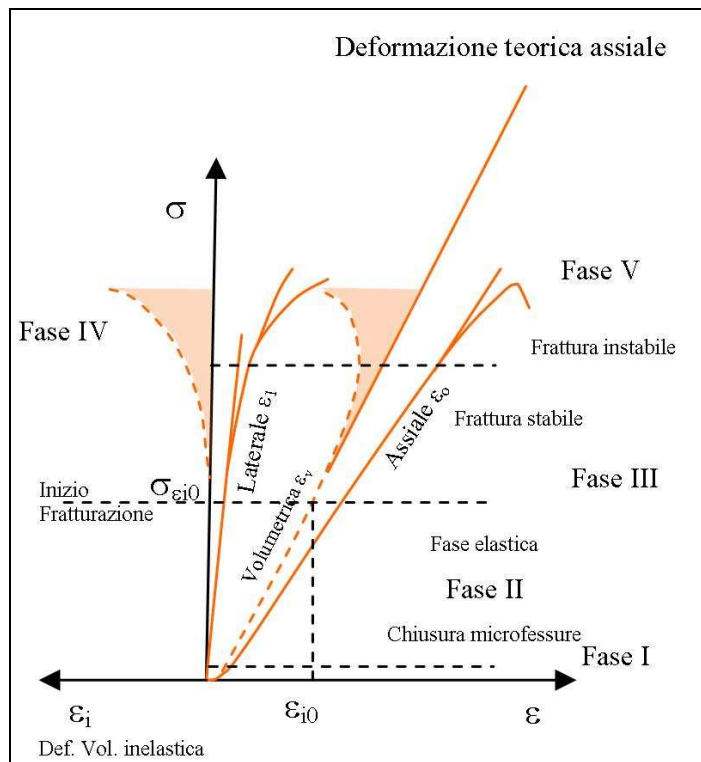
Per la misura delle deformazioni assiali sono stati applicati ai lati del provino due micrometri e registrati in continuo, mediante un sistema di acquisizione-dati, il carico e le deformazioni (Fig. 3.27). Tali valori sono stati poi riportati in un grafico sforzi-deformazioni ( $\sigma$ - $\epsilon$ ).



**Figura 3.27** – Provino di CBL prima e dopo la prova di resistenza a compressione uniassiale con misurazione della curva  $\sigma$ - $\epsilon$ . Ai lati del provino sono ben visibili i micrometri utilizzati per la misurazione delle deformazioni assiali.

Dall'andamento della curva  $\sigma$ - $\epsilon$  e quindi dal comportamento della roccia durante l'esecuzione della prova, è possibile ricavare informazioni circa la risposta che il materiale fornisce alle sollecitazioni meccaniche e, in ultima analisi, circa le possibili destinazioni d'uso dello stesso.

Nello specifico, la curva sforzi-deformazioni può essere distinta in 5 fasi (Fig. 3.28), ciascuna riferita ad un tratto della curva, delle quali la fase I, caratterizzata da un tratto curvilineo, è legata alla chiusura delle microfessure presenti nel campione. Un secondo tratto pressoché lineare, fase 2, è tipico di un andamento della curva di tipo elastico, mentre nella fase 3, si osserva un incremento della deformazione con propagazione delle microfratture. Nella fase 4 iniziano le prime rilevanti deformazioni volumetriche del campione ed infine nella fase 5 il campione di roccia perde le sue capacità di resistenza, originando così delle deformazioni di tipo plastico, ovvero irreversibili.

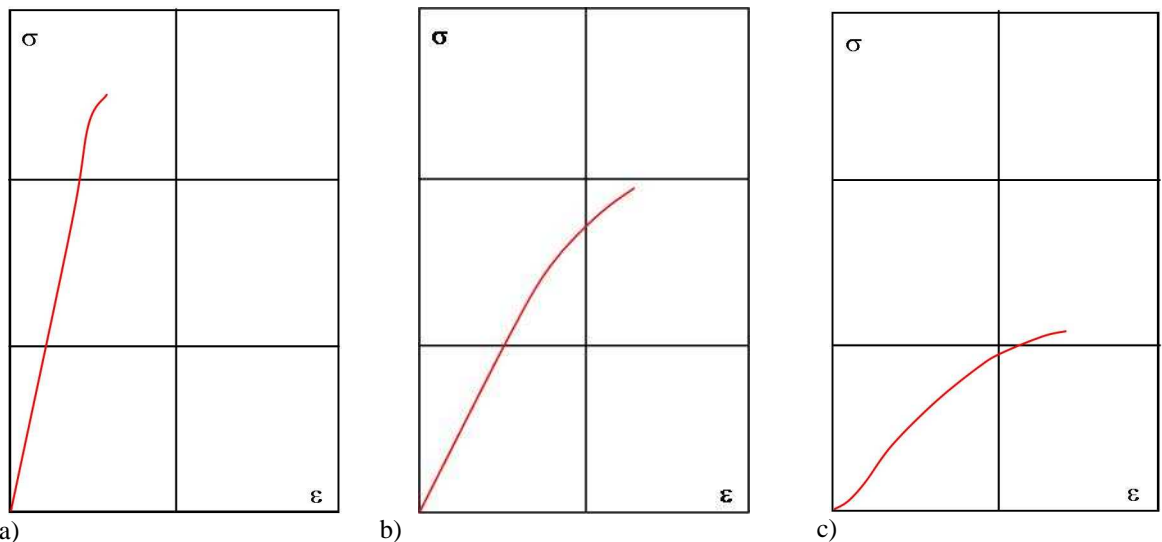


**Figura 3.28** – Esempio di curva sforzi-deformazioni (Tanzini, 2006).

In base all'elasticità si distinguono (Fig. 3.29):

- Rocce quasi - elastiche, che presentano una relazione sforzi-deformazioni ( $\sigma$ - $\epsilon$ ) quasi lineare fino al punto di rottura;
- Rocce semi-elastiche, che presentano una curva  $\sigma$ - $\epsilon$  la cui pendenza diminuisce con l'aumentare della sollecitazione;
- Rocce non-elastiche, che presentano una curva  $\sigma$ - $\epsilon$  con un primo tratto nel quale la pendenza cresce con l'aumentare della sollecitazione (corrispondente al costipamento dei giunti), seguito da un tratto quasi rettilineo.





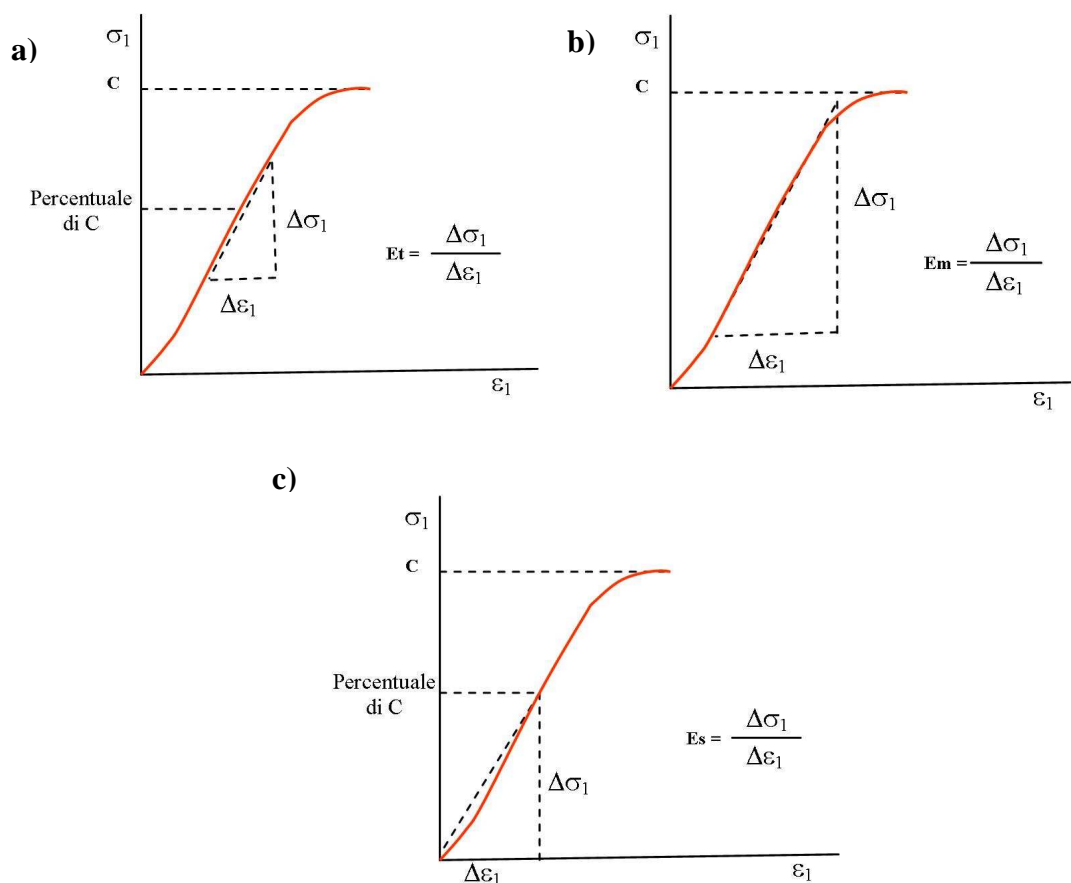
**Figura 3.29** – Classifica delle rocce in base all'elasticità: a) rocce quasi-elastiche; b) rocce semi-elastiche; c) rocce non elastiche.

Dalla curva  $\sigma$ - $\epsilon$  è possibile ricavare inoltre il modulo di Young o modulo di elasticità ( $E$ ). Esso, espresso in MPa o GPa, è definito come il rapporto tra la variazione di tensione longitudinale e la deformazione unitaria in direzione longitudinale provocata sul campione di roccia dall'incremento di carico.

Il modulo definisce il grado di elasticità di una roccia e può mettere in risalto alterazioni o microfratturazioni che abbassano sensibilmente il valore rispetto a quello della roccia intatta.

Il modulo di elasticità può essere calcolato usando diversi metodi comunemente impiegati nella pratica ingegneristica (Fig. 3.30). Si distinguono infatti:

- Modulo elastico tangente ( $E_t$  – Fig. 3.30a), misurato ad una tensione corrispondente ad una prefissata percentuale del carico di rottura (di norma pari al 50%);
- Modulo elastico medio ( $E_m$  – Fig. 3.30b), definito dalla pendenza media del tratto più o meno rettilineo della curva sforzo-deformazioni;
- Modulo elastico secante ( $E_s$  – Fig. 3.30c), misurato tra il valore zero della tensione ed una prefissata percentuale di carico di rottura (generalmente il 50%).



**Figura 3.30** – Metodi per calcolare il modulo di Young dalla curva  $\sigma$ - $\epsilon$ . a) modulo elastico tangente; b) modulo elastico medio ; c) modulo elastico secante (UNI 9724/8).

### 3.4.8 Resistenza a flessione sotto carico concentrato

La resistenza alla flessione è la resistenza opposta dalle rocce alle sollecitazioni tendenti ad “incurvarle” (es. spinte prodotte dal vento su rivestimenti parietali). Sollecitazioni a flessione si riscontrano anche nella realizzazione di scale, manufatti con funzione di copertura (es. tetti), in pavimenti sopraelevati ed in elementi architettonici come mensole, architravi, balconi ecc..

La prova consente di determinare la resistenza a flessione sotto carico concentrato, sottoponendo i provini ad un carico incrementato uniformemente fino a loro rottura. Le prove sono state eseguite in base alle indicazioni proposte dalla norma UNI EN 12372 su tre provini (con lunghezza pari a 15 cm, altezza 2,5 cm e larghezza 5 cm) per ognuna delle litofacies campionate nel sito di Cava Canale (Fig. 3.31).



**Figura 3.31** - Macchina Controls 65-L 1300 utilizzato per la prova di resistenza a flessione sotto carico concentrato.

Tali provini dopo la sagomatura sono stati lavati con abbondante acqua deionizzata per eliminare eventuale materiale residuo, ed essiccati in stufa a circa 70 °C fino al raggiungimento della massa costante, ovvero quando la differenza tra due pesate successive effettuate con un intervallo di 24 ore non è risultata maggiore dello 0,1 % della prima delle due pesate. Successivamente essi sono stati raffreddati a temperatura ambiente.

I provini sono stati poi posti centralmente sui due coltelli d'appoggio e caricati progressivamente in mezzera da un altro coltello detto *coltello di carico* (Fig. 3.32).



**Figura 3.32** - Dettaglio della macchina Controls 65-L 1300 raffigurante i coltelli d'appoggio ed il coltello di carico.

Per l'esecuzione della prova è stata utilizzata una macchina Controls Modello 65-L 1300 munita di una pressa meccanica da 25 kN con velocità di applicazione del carico costante, pari a  $0,25 \pm 0,05$  MPa /s, fino a rottura del provino.

La resistenza a flessione ( $R_{ff}$ ), espressa in MPa, di ogni provino è stata calcolata con la seguente formula:

$$R_{ff} \equiv \frac{3FI}{2bh^2} \quad (3.10)$$

dove:

$F$  è il carico di rottura (N);

$I$  è la distanza fra gli appoggi (mm);

$b$  è la larghezza del provino in adiacenza del piano di rottura (mm);

$h$  è lo spessore del provino in adiacenza del piano di rottura (mm).

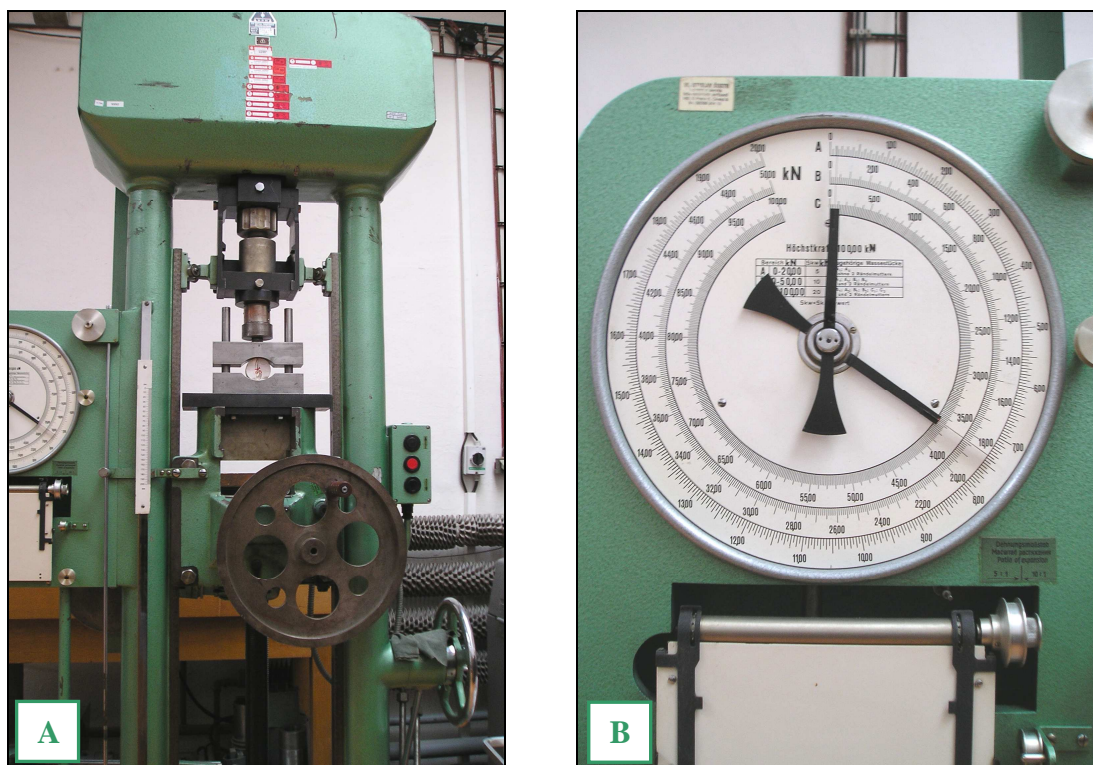
Il valore del carico di rottura a flessione è espresso dalla media dei valori del carico di rottura.

### 3.4.9 Resistenza a trazione indiretta (*Brazilian test*)

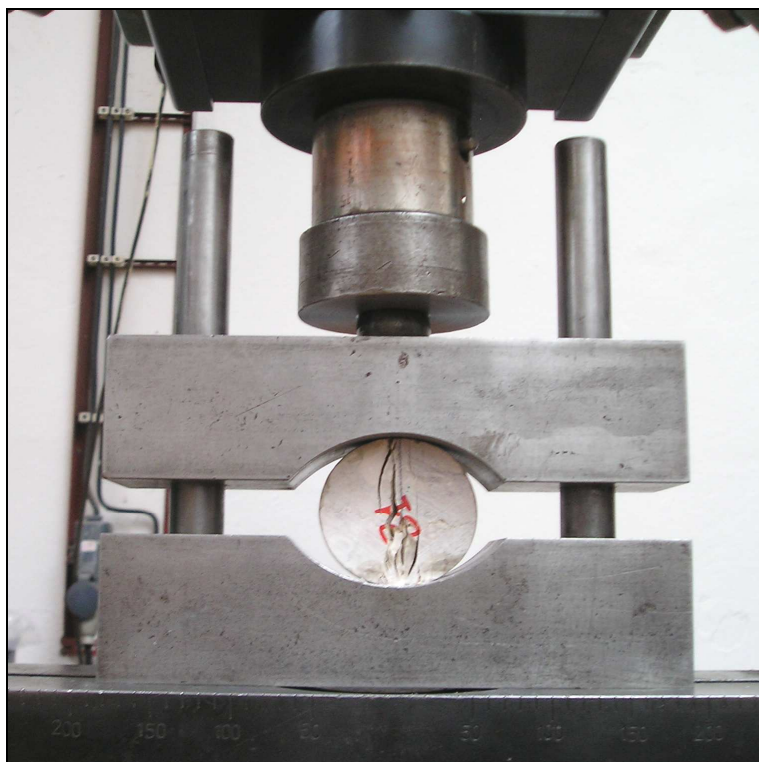
La prova eseguita presso i Laboratori della *Charles University* di Praga sulla base delle raccomandazioni della *International Society of Rock Mechanics* (ISRM, 1978), consente di determinare la resistenza a trazione dei materiali lapidei.

Per la prova sono stati impiegati tre provini cilindrici per ognuna delle litofacies campionate a Cava Canale, opportunamente orientati rispetto ai piani di stratificazione, con diametro approssimativamente pari a 54 mm e spessore circa uguale al raggio degli stessi.

L'apparecchiatura consta in una pressa meccanica WPM Ravenstein con carico massimo pari a 100 kN e con velocità di applicazione del carico costante pari a 4 kN/min (Fig. 3.33) ed una morsa d'acciaio all'interno della quale viene posto il provino (Fig. 3.34).



**Figura 3.33** – A: Pressa meccanica WPM Ravenstein utilizzata per la prova Brasiliana (*Charles University* – Praga); B: Dettaglio del quadrante per la lettura del carico massimo a rottura.



**Figura 3. 34** – Morsa di acciaio usata per la prova Brasiliana con all’interno il provino dopo rottura.

La resistenza a trazione indiretta del campione  $\sigma_t$ , espressa in MPa, può essere calcolata attraverso la seguente relazione:

$$\sigma_t = \frac{0,636 P}{Dt} \quad (3.11)$$

dove:

$P$  è il carico a rottura (N);

$D$  è il diametro del provino (mm);

$t$  è lo spessore del provino misurato nel centro (mm).

### 3.4.10 Resistenza all’urto

La prova, eseguita in base alle indicazioni proposte dalla norma UNI EN 14158, consente di determinare il lavoro di rottura all’urto dei materiali lapidei definendo pertanto la tenacità o la fragilità di una roccia.

Per la prova sono state utilizzate tre lastre di dimensioni  $20 \times 20 \times 3$  cm per ognuno dei litotipi campionati presso il sito di Cava Canale.

L'apparecchiatura, prodotta dalla Lonos Test, è costituita da una cassetta contenente della sabbia e da un'asta munita di elettrocalamita alla quale si applica una sfera avente la massa di 1,02 kg e diametro pari a 6,3 cm (Fig. 3.35).



**Figura 3.35** - Apparecchiatura per la determinazione della resistenza all'urto.

La lastra viene posta al centro del letto di sabbia presente all'interno della cassetta metallica, in modo che affondi con tutto il suo spessore durante la prova. Essa deve essere posizionata in modo che il centro delle sue facce di maggiori dimensioni si trovi sulla verticale passante per il centro della sfera. L'orizzontalità della faccia superiore della lastra deve essere verificata mediante livella.

Si fissa l'elettrocalamita sull'asta in una posizione a cui corrisponda un'altezza di caduta della sfera di 10 cm; azionando l'interruttore dell'elettrocalamita si lascia cadere la sfera. Successivamente si sposta l'elettrocalamita verso l'alto di 5 cm e si ripete la prova con lo stesso procedimento fino a rottura della lastra.

Anche se convenzionalmente si utilizza il valore, espresso in cm, dell'altezza minima di caduta necessaria alla rottura delle lastre, la normativa precedentemente citata suggerisce di esprimere il risultato in funzione del lavoro di rottura all'urto  $L$ , espresso in Joule, mediante la seguente formula:

$$L = M \cdot h \cdot g \quad (3.12)$$

dove:

$M$  è la massa della sfera (kg);

$h$  è l'altezza di caduta della sfera che provoca la rottura della lastra (m);

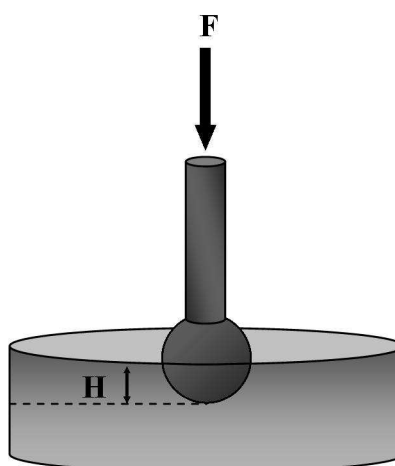
$g$  è l'accelerazione di gravità pari a  $9,806 \text{ m/s}^2$ .

I entrambi i casi, l'altezza minima di caduta necessaria alla rottura ed il lavoro di rottura all'urto sono rappresentati dalla media dei risultati ottenuti sulle tre lastre.

Tale prova, che in sostanza simula la caduta di oggetti pesanti, è essenziale per certificare l'idoneità dei materiali litoidi ad impieghi nelle pavimentazioni industriali e non.

### 3.3.11 Microdurezza Rockwell

La microdurezza Rockwell rappresenta la durezza superficiale di un materiale espressa come incremento di profondità dell'impronta lasciata dalla punta di un penetratore (fig. 3.36). La punta può essere costituita da una sfera di diametro 1/16'' o 1/8'' per materiali ceramici, oppure da un cono diamantato con angolo al vertice pari a  $120^\circ$  per materiali più resistenti come gli acciai.



**Figura 3.36** – Rappresentazione schematica dell'esecuzione della prova per la determinazione della microdurezza Rockwell. F: carico applicato; H: profondità dell'impronta.



I vantaggi della prova di durezza risiedono nella sua facilità e rapidità, nella sua economicità visti anche i bassi costi delle apparecchiature usate e infine nel fatto di non essere una prova distruttiva che quindi può essere ripetuta in più punti del provino.

Le prove sono state effettuate con apparecchiatura Ernst NR3 DSR (Fig.3.37) adoperando una sfera di acciaio del diametro di 1/16'', pari a 1,5875 mm e carico di 30 kPa (294 N). Prima di applicare tale carico, il campione è stato sottoposto ad un precarico di 3 kPa (29,4 N) per posizionare la punta del penetratore sulla superficie del provino, impedendo alle irregolarità della stessa di influenzare la prova.



**Figura 3.37** - Apparecchiatura Ernst NR3 DSR.

Per ogni campione sono state condotte nove misure seguendo una griglia prefissata, in modo da ottenere valori rappresentativi dell'intera superficie. La media delle nove misure è accompagnata dalla sigla HR30T dove, HR indica Hardness Rockwell ( durezza Rockwell ), 30 il carico applicato e T il tipo di punta utilizzata.

### 3.4.12 Resistenza all'abrasione

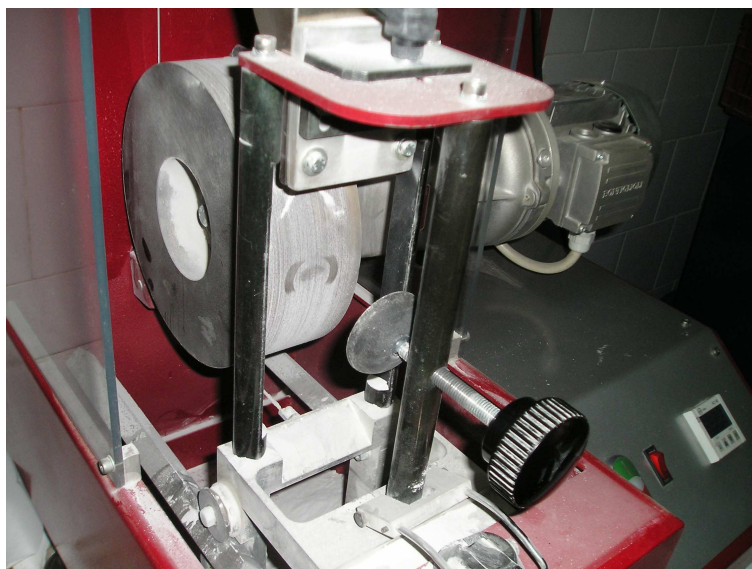
La determinazione della resistenza all'abrasione è stata effettuata secondo le indicazioni suggerite dalla norma UNI EN 14157.

Il metodo utilizzato consiste nel solcare la superficie di un campione con un materiale abrasivo, ovvero corindone con dimensioni della grana pari ad 80  $\mu\text{m}$ , in accordo con lo *standard FEPA 42 F 1984*.

L'apparecchiatura Controls 48 D 0471 (Fig. 3.38) è costituita da una larga ruota abrasiva, un raccoglitore od imbuto contenente l'abrasivo e dotato di una valvola di controllo per regolare la fuoriuscita del materiale abrasivo, un raccoglitore che direziona il flusso dell'abrasivo stesso, un carrello con morsa per bloccare il campione (Fig. 3.39), un contrappeso, un interruttore per l'accensione e lo spegnimento della macchina ed un *display* contagiri della ruota abrasiva (75 giri in 60 secondi).



**Figura 3.38** – Abrasimetro Controls 48 D 0 471.



**Figura 3.39** – Dettaglio dell’abrasimetro Controls 48 D 0 471: in evidenza, morsa per bloccare il campione e ruota abrasiva.

Prima dell’esecuzione della prova è necessario effettuare la calibrazione dell’apparecchiatura con un campione di *Marmo Boulonnaise*. Tale calibrazione mira ad ottenere sulla superficie del campione utilizzato come standard due impronte perpendicolari la cui larghezza rappresenta quella di riferimento per i provini da analizzare successivamente.

Per la realizzazione di questa prova, sono state utilizzate tre lastre ( $12 \times 12 \times 3$  cm) per ognuno dei litotipi campionati presso Cava Canale.

Tali provini sono stati essiccati e portati a massa costante in una stufa alla temperatura di circa  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ . La massa costante è stata raggiunta allorché la differenza fra due pesate successive, ad un intervallo di 24 ore, non è risultata maggiore dello 0,1% della massa del provino. Successivamente essi sono stati raffreddati a temperatura ambiente.

Il risultato ottenuto per ciascun campione rappresenta la dimensione corretta da un fattore di calibrazione. Tale fattore è la differenza aritmetica tra un valore noto pari a 20 mm e quello ottenuto misurando la larghezza dell’impronta sul *Marmo Boulonnaise*.

### **3.4.13 Resistenza alla cristallizzazione dei sali**

Nell’evoluzione del meccanismo di alterazione giocano un ruolo importante diversi fattori concomitanti, che determinano la durata in opera (o durevolezza) di un materiale lapideo; in particolare la presenza di sali solubili, determinata

dall'assorbimento dell'aerosol marino e dalla risalita capillare, può comportare la disaggregazione del materiale lapideo, specie quando sensibilmente poroso.

Prove tecniche quali la cristallizzazione dei sali solubili ed i test di invecchiamento accelerato, simulano alterazioni e deterioramenti con modalità analoghe a quelle osservabili in situ, consentendo di stimare la durezza di una pietra, con chiari vantaggi ai fini della progettazione di opere nuove, ma anche per le problematiche relative al restauro di manufatti degradati.

Questa prova, eseguita in accordo con la normativa UNI EN 19370, è utilizzata per stabilire la resistenza alla cristallizzazione dei sali di pietre con una porosità aperta maggiore di 5%. Benché i CBL fossero poco porosi (cfr. par. 5.2), si è ritenuto di effettuare ugualmente la prova dal momento che tale materiale è spesso utilizzato per la realizzazione di barriere frangiflutti (es. lungomare Caracciolo – Napoli).

La prova è effettuata su provini cubici di 4 cm, previa essiccazione in una stufa alla temperatura di  $(70\pm 5)$  °C fino al raggiungimento della massa costante, ossia quando la differenza fra due pesate successive ad un intervallo di  $(24\pm 2)$  h non è maggiore dello 0,1% della prima pesata. I provini sono condizionati e pesati con la precisione di  $\pm 0,01$ g. La prova prevede l'utilizzo di una soluzione al 14% di solfato di sodio decaidrato ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ ). La soluzione deve essere usata solo per un ciclo di prova.

I provini sono posizionati in un contenitore ad almeno 10 mm di distanza l'uno dall'altro e a circa 20 mm dal bordo della vasca e ricoperti con la soluzione di sodio solfato decaidrato fino a  $8\pm 2$  mm al di sopra della loro faccia superiore; il contenitore deve essere chiuso per evitare l'evaporazione (Fig. 3.40).



**Figura 3.40-** Campioni di CBL immersi nella soluzione salina.

I campioni di roccia sono lasciati in immersione per 2 h alla temperatura di  $(20\pm 0.5)$  °C. Dopo l'immersione i provini sono rimossi dalla soluzione ed essiccati in stufa.

La stufa deve essere adatta per fornire un'alta percentuale di umidità relativa nei primi stadi dell'essiccamento e per aumentare la temperatura dei provini fino a  $105\pm 5$  °C in non meno di 10 h e non più di 15 h.

L'alta percentuale di umidità relativa iniziale può essere ottenuta ponendo un *beaker* di acqua nella stufa fredda ed accendendola  $30\pm 5$  min prima di inserire i provini.

I provini sono lasciati in stufa per almeno 16 h e devono quindi venire raffreddati sino a temperatura ambiente per  $2,0\pm 0,5$  h prima di reimmergerli nella soluzione fresca di solfato di sodio.

Tutto il ciclo è ripetuto per 15 volte in tutto, a meno che i provini non si rompano prima.

Dopo il quindicesimo ciclo i campioni sono estratti dalla stufa, posti in acqua per  $24\pm 1$  h a  $23\pm 5$  °C, risciacquati con acqua corrente ed infine pesati previo essiccamento fino a massa costante.

I risultati sono espressi come differenza di massa relativa  $\Delta M$  (perdita o guadagno in massa) in percentuale della massa secca iniziale  $M_d$  o come numero di cicli necessari per portare a rottura il provino, se il provino è troppo fratturato per essere pesato dopo l'essiccamento finale.

$$\Delta M = \frac{M_f - M_{dl}}{M_d} \times 100 \quad (3.13)$$

$M_f$  è la massa del provino essiccato, dopo 15 cicli (g);

$M_{dl}$  è la massa del provino essiccato, prima del primo ciclo (g);

$M_d$  è la massa del provino essiccato (g);

$\Delta M$  è la differenza relativa di massa prima e dopo la prova (perdita in massa o aumento in massa) (%).

#### 3.4.14 Test di invecchiamento artificiale

I test di invecchiamento artificiale consentono di saggiare la durevolezza dei geomateriali e pertanto di ottenere informazioni utili per le potenziali destinazioni d'uso degli stessi.

Questo tipo di prova è realizzata in camere o celle climatiche su un numero significativo di campioni precedentemente sottoposti a caratterizzazione fisico-meccanica. Sui provini sottoposti ai test di invecchiamento accelerato sono valutate le conseguenti variazioni nelle proprietà fisico-meccaniche.

Le camere o celle climatiche consentono di simulare il comportamento dei materiali sottoposti agli agenti atmosferici. Esse infatti riproducono le condizioni ambientali nei loro fattori di base, caldo, freddo, umidità e permettono di provocare *shock* termici, nell'intensità e nei tempi di applicazione desiderati.

Possono essere riprodotti cicli climatici naturali per valutare il loro effetto sul campione, ma si possono generare anche condizioni artificiali che permettano di estrapolare effetti a lungo termine, oppure di testare i limiti di resistenza di un materiale in condizioni estreme.

Nel presente lavoro è stata determinata la resistenza al gelo.

La pressione provocata dall'aumento di volume dell'acqua entro le fessure di rocce porose e/o fratturate quando questa ghiaccia, determina un processo di disgregazione fisica noto come crioclastismo.

La prova di determinazione della resistenza al gelo, eseguita secondo le indicazioni della norma UNI EN 12371, consente di determinare l'effetto di cicli gelo-disgelo sulle caratteristiche fisico-meccaniche del materiale (porosità aperta, velocità di propagazione del suono, resistenza compressione uniassiale).

Per questa prova sono stati impiegati tre campioni cubici ( $7\pm 1$  cm di lato) e due cilindrici (diametro pari a 2,5 cm e altezza  $\leq 3$  cm), di cui è stata preventivamente valutata la porosità aperta, per ognuna delle litofacies campionate nei siti di Cava Canale e di Coreno Ausonio.

I provini sono stati essiccati e portati a massa costante in una stufa alla temperatura di circa 70 °C. La massa costante è stata raggiunta quando la differenza fra due pesate successive, ad un intervallo di 24 ore, non è risultata maggiore dello 0,1% della massa del provino. Dopo essiccazione i campioni di roccia sono stati pesati con un'accuratezza di 0,01 g.

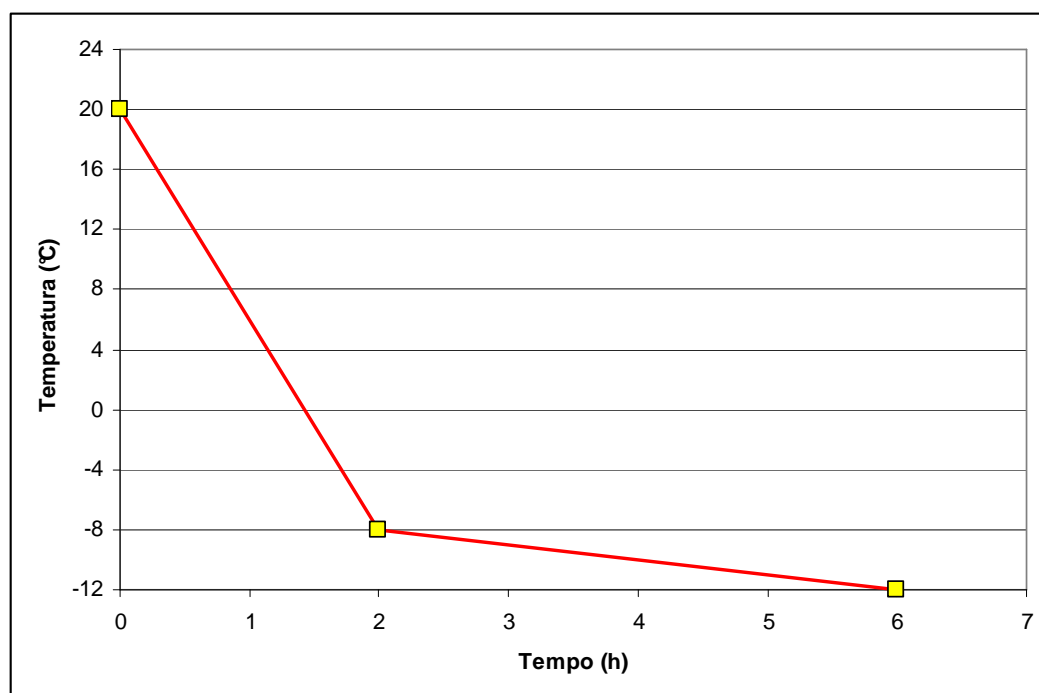
Tali provini sono stati quindi immersi in acqua ad almeno 10 mm l'uno dall'altro e 20 mm dai lati del recipiente fino al raggiungimento della saturazione, ovvero quando la differenza tra due pesate successive non è stata maggiore dello 0,1 % della massa del provino.

Ogni ciclo comprende un periodo di gelo di sei ore ed uno di disgelo di almeno sei ore, durante il quale i provini sono reimmersi in acqua.

La programmazione della camera climatica (forno Binder MK 53 a controllo di temperatura con possibilità di lavorare in un intervallo termico da -40 °C a 180 °C – Fig. 3.41) ha previsto un'oscillazione della temperatura da 20 a -12 °C (Fig. 3.42).



**Figura 3.41** – Provini di CBL all'interno della camera climatica.



**Figura 3.42** - Variazione della temperatura all'interno della camera climatica durante il periodo di gelo.

La norma prevede che cicli siano ripetuti fino a un numero massimo indicato o fino a quando i provini non siano scartati in seguito a rottura o disfacimento.



## **4. Areali di studio**

Come accennato nei capitoli precedenti, la formazione dei Calcari a Briozoi e Litotamni affiora diffusamente all'interno della Campania, presso i Monti del Matese, il Gruppo del Taburno-Camposauro, i Monti Trebulani, il Monte Massico e su alcuni rilievi del Lazio meridionale e dell'Abruzzo.

Gli affioramenti del Lazio meridionale, in particolare quelli della zona circostante il Comune di Coreno Ausonio (Aurunci orientali), dove l'estrazione dei CBL riveste una notevole importanza economica, sono risultati estremamente interessanti per la determinazione delle litofacies come si spiegherà in maniera più approfondita nel capitolo 5.

Nel capitolo seguente saranno descritte le caratteristiche della formazione oggetto di studio ed i suoi rapporti con il substrato e con le formazioni sovrastanti per quanto concerne gli affioramenti campani e laziali. Per ognuno dei rilievi analizzati saranno inoltre indicati i siti in cui è stato effettuato il campionamento e le finalità dello stesso, variabili in funzione delle caratteristiche degli affioramenti e delle litofacies presenti.

Saranno infine riportati i risultati del censimento e della cartografazione delle cave per l'estrazione dei CBL presenti in Campania e nel Lazio meridionale.

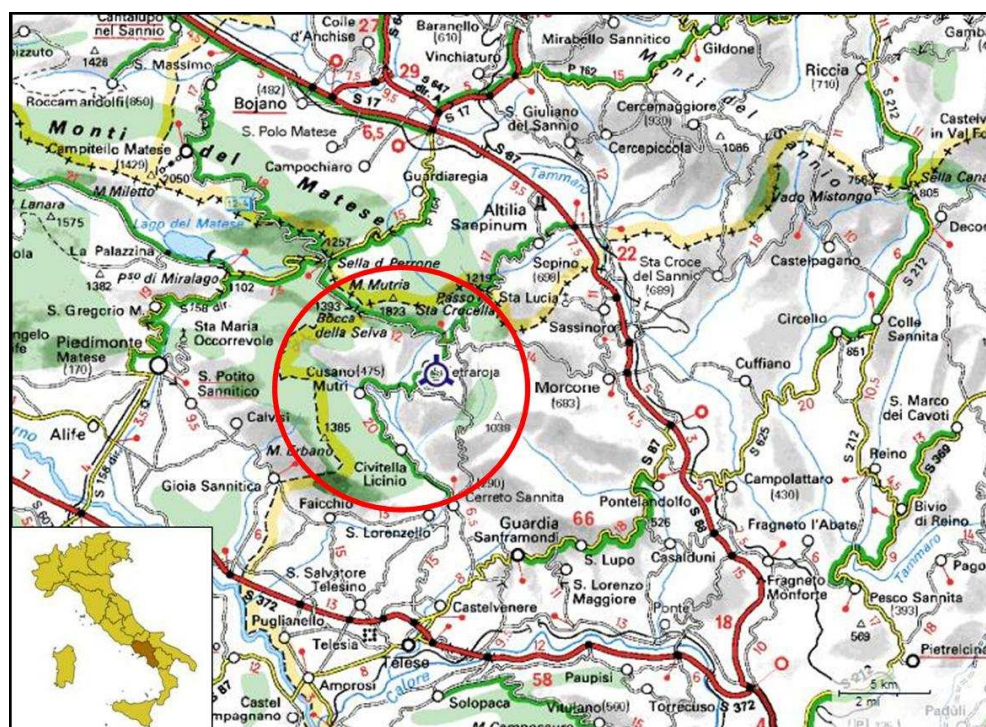
### **4.1 Gli affioramenti della Campania**

#### **4.1.1 Monti del Matese (Benevento)**

Il gruppo dei Monti del Matese (Fig. 4.1) è uno dei più importanti dell'Appennino meridionale ed è compreso in due regioni (Molise e Campania) e quattro province (Campobasso, Isernia, Benevento e Caserta). Tale massiccio si affaccia ad ovest sulla valle del medio Volturno in vista dei Monti Trebulani, ad est sulla zona preappenninica molisana, a nord sui Monti delle Mainarde e dalla Maiella, a sud sui Monti Camposauro e Taburno.

La cima più alta è al confine tra Campania e Molise ed è Monte Miletto (2050 m s.l.m.), seguono la Gallinola (1923 m s.l.m.), il Monte Mutria (1823 m s.l.m.), il Monte Monaco di Gioia (1337 m s.l.m.) ed il Monte Maio (1302 m s.l.m.).

Da nord a sud il massiccio raggiunge un'estensione di circa 60 Km, mentre da est a ovest è di circa 25 Km.



**Figura 4.1** – Ubicazione dei Monti del Matese e dei Comuni di Pietraroja e Cusano Mutri (BN).

I monti fanno parte del Parco Regionale del Matese e ricadono nei Fogli 161 (Isernia), 162 (Campobasso) e 173 (Benevento) della Carta geologica d'Italia in scala 1:100.000.

Al margine sud-orientale dei Monti del Matese, i CBL giacciono, di regola, in trasgressione paraconforme sui sedimenti carbonatici cretatici (Cava Canale e Pietraroja - BN).

È però possibile osservare, per quanto concerne i rapporti col substrato cretatico, una serie di situazioni variabili da un contatto appena riconoscibile in campagna, spesso segnato soltanto da una superficie stilolitica, ad un contatto notevolmente più complesso, caratterizzato da superfici ampiamente forate da organismi litofagi (Pietraroja e Regia Piana - BN). Laddove presenti, tali perforazioni conservano le caratteristiche morfologiche degli individui perforanti, talvolta resti del guscio originario ed, al loro interno, un sedimento di composizione analoga a quello dei CBL che può rappresentare (Civita di Pietraroja - BN) l'unica evidenza della deposizione degli stessi, poiché le Marne a *Orbulina* appaiono direttamente sovrapposte al substrato mesozoico (Barbera *et al.*, 1980).

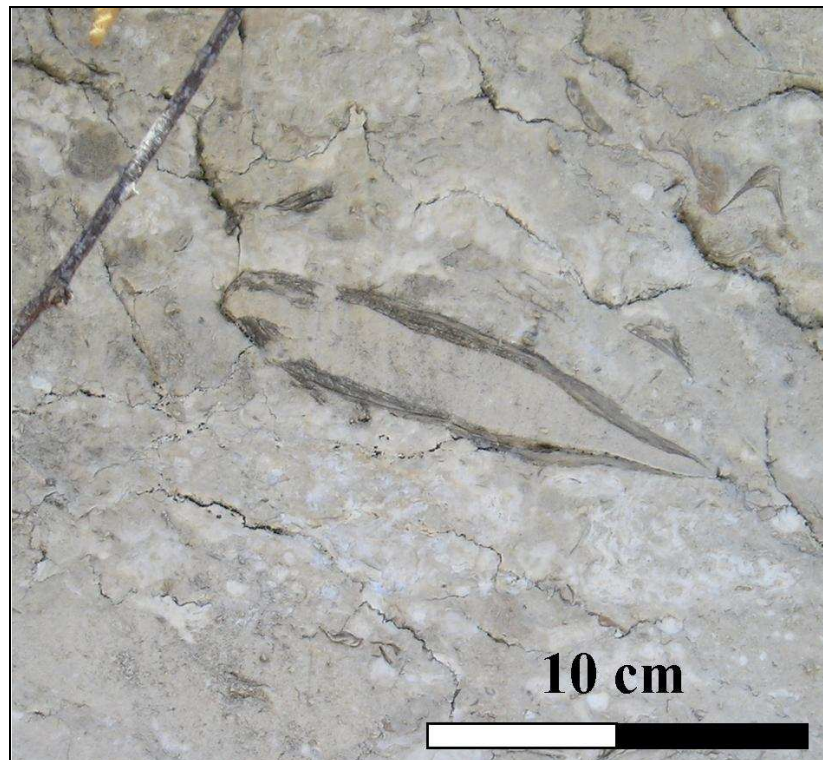
Sui Monti del Matese, i calcari oggetto di studio sono costituiti da percentuali variabili di alghe rosse coralline, che formano rodoliti di diversa forma e dimensione

(Fig. 4.2 ), briozi, grossi lamellibranchi, balanidi, resti frammentati di radioli e placche di echinidi, serpulidi, foraminiferi tra cui *Amphistegina cf. lessoni* (D'Orb.), *Helphidium sp.*, Globigerinidi, Rotalidi.



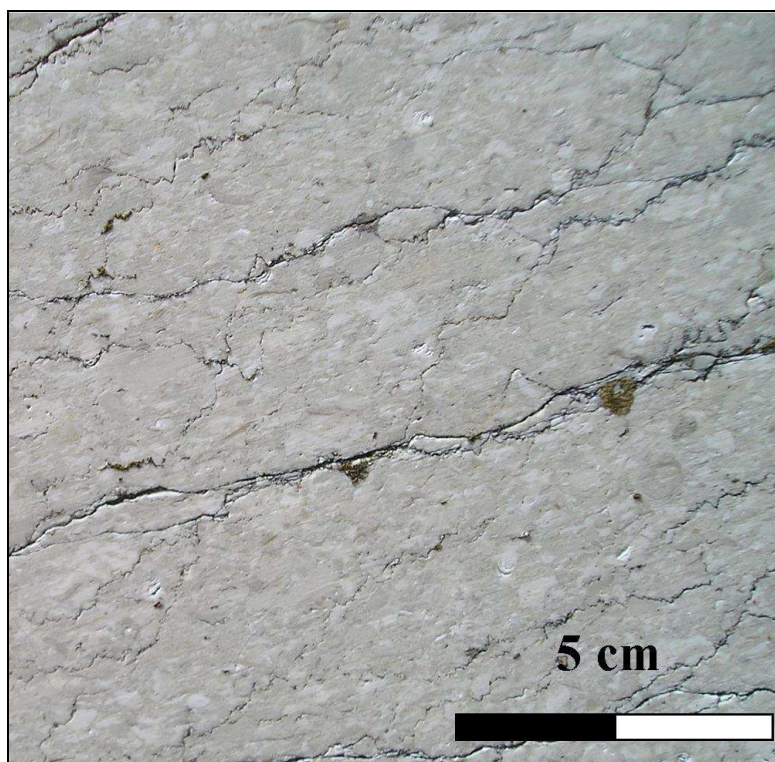
**Figura 4.2** – Rodoliti (Cava Canale – Pietraroja – BN).

Più nel dettaglio, le rodoliti presenti nel Matese orientale sono formate da melobesie, foraminiferi incrostanti e briozi che tendono ad accrescersi intorno a nuclei costituiti da gruppi di balanidi, briozi o frammenti di gusci di lamellibranchi. I molluschi, essenzialmente lamellibranchi (pettinidi ed ostreidi), oltre a giacere isolati nel sedimento, possono formare localmente dei banchi biostromali sia con ambedue le valve connesse tra loro sia con le valve disarticolate. Gli ostreidi appaiono spesso fossilizzati in posizione fisiologica, sono di grandi dimensioni e con gusci spessi anche diversi centimetri (Fig. 4.3). Il substrato su cui sono cresciuti è rappresentato da un fondo mobile indurito o da grandi rodoliti.



**Figura 4.3** – Guscio di Ostreide (Cava Canale – Pietraroja – BN).

Molto frequenti in alcuni livelli sono i radioli e le placche di echinidi sia regolari che irregolari. I coralli sono rari e costantemente rappresentati da forme *ahermatipiche* (Barbera *et al.*, 1978). Sono presenti lungo tutto l'affioramento numerose superfici stilolitiche (Fig. 4.4).



**Figura 4.4** – Superfici stilolitiche (Cava Canale – Pietraroja – BN).

La Formazione di Cusano affiora sui Monti del Matese con spessori variabili da pochi centimetri a 30 – 40 m.

Essa presenta, più che una vera e propria stratificazione, partiture poco distinte in grossi banchi, da biocalcarenitici a biocalciruditi ed ha caratteri per lo più costanti in tutto il suo sviluppo.

Nella parte alta della successione si può generalmente osservare un progressivo arricchimento in foraminiferi planctonici che divengono preponderanti al passaggio alle calcilutiti pelagiche sovrastanti della Formazione di Longano.

A Pietraroja (BN) i foraminiferi planctonici sono abbondantemente diffusi in tutti i termini della serie dei CBL (Barbera *et al.*, 1980).

Nel Matese orientale (Cusano Mutri, Civita di Pietraroja, Pesco Rosito, Regia Piana - BN) la transizione tra la Formazione di Cusano e la sovrastante Formazione di Longano è quasi sempre segnata dalla presenza di un livello fosfatico spesso alcune decine di centimetri che a zone può superare il metro di spessore e che è largamente diffuso in tutto l'Appennino centro-meridionale (Carannante, 1982; Zalaffi, 1963).

L'elemento che caratterizza questo livello, di cui si parlerà più approfonditamente nel paragrafo seguente, è dato dalla presenza nel sedimento di granuli fosfatici, talora con densità elevatissima, le cui dimensioni sono variabili da uno ad una decina di

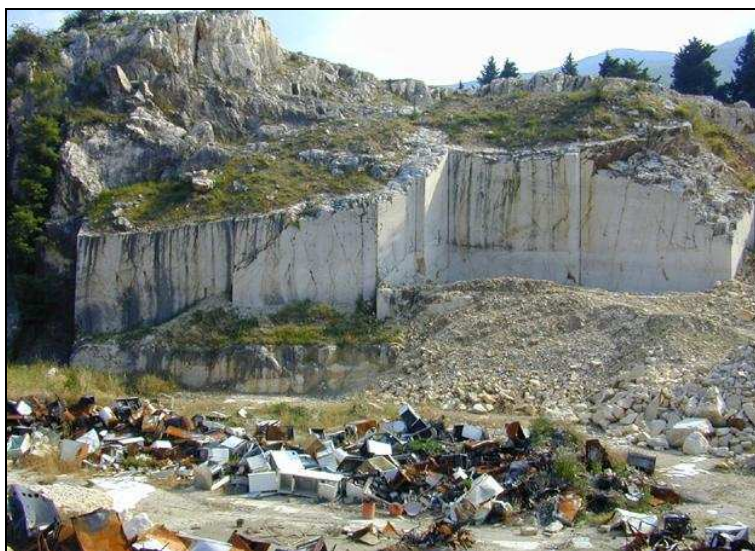
millimetri e la cui forma varia da subsferica ad ellissoidica. Il colore dei singoli grani è generalmente bruno, mentre il livello nel suo complesso ha una colorazione grigio-plumbea o azzurrina sulle superfici alterate (Carannante, 1982).

La successione stratigrafica miocenica è chiusa da sedimenti flyschiodi costituiti da argille grigiastre, più o meno sabbiose, osservabili nella vallata circostante la Civita di Pietraroja. (*Flysch* di Pietraroja).

#### 4.1.1.1 Osservazioni di campagna e campionamento

La campagna di rilevamento effettuata sui Monti del Matese ha portato all'individuazione di diversi possibili siti di campionamento.

Per alcuni di essi, quali Cusano cava (località Calvario a NW dell'abitato di Cusano Mutri – BN - Fig. 4.5) e Regia Piana (versante meridionale del Monte Mutria – BN - Fig. 4.6), non è stato possibile effettuare un campionamento sistematico mirato all'identificazione delle litofacies presenti, viste le particolari destinazioni d'uso del primo sito (negli ultimi anni utilizzato come discarica di materiali metallici) e la situazione morfologica del secondo, che presenta un paesaggio aspro e ricoperto di vegetazione.

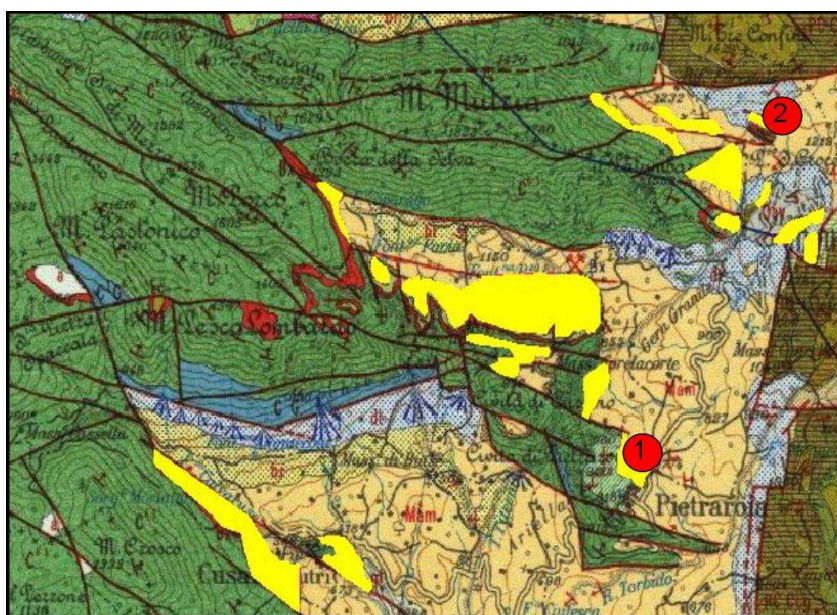


**Figura 4.5** – Cusano Cava (Cusano Mutri – BN).



**Figura 4.6** – Regia Piana (Pietraroja – BN).

In altri siti (Fig. 4.7), quali Cava Canale e Monte Pesco Rosito, entrambi ubicati nel comune di Pietraroja (BN), sono invece stati prelevati numerosi campioni su cui sono state effettuate la caratterizzazione mineralogico-petrografica e geologico-tecnica nonché un'accurata analisi di *facies*.



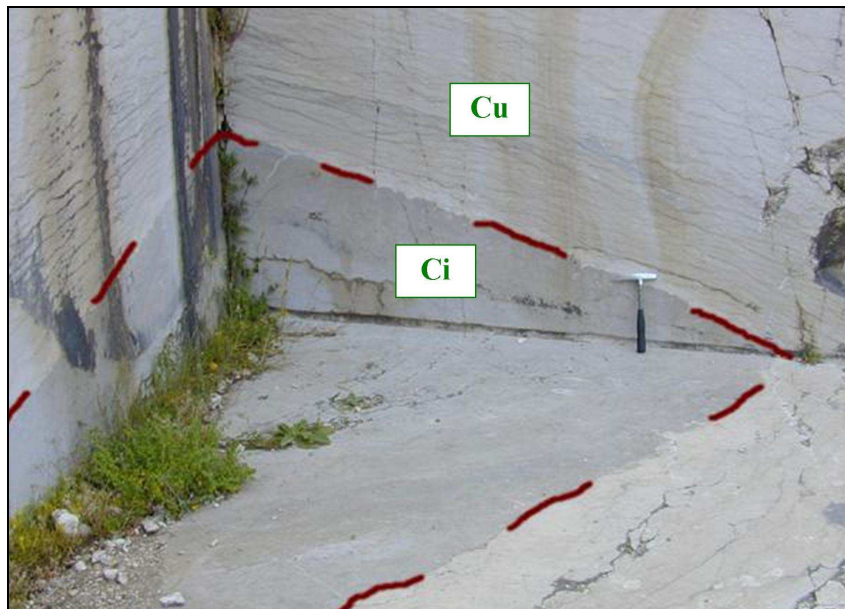
**Figura 4.7** - Stralcio del Foglio 162 (Campobasso) della Carta geologica d'Italia in scala 1:100.000 raffigurante (in giallo) gli affioramenti dei Monti del Matese e l'ubicazione dei punti di campionamento (1: Cava Canale; 2: Monte Pesco Rosito).

Presso Cava Canale (Fig. 4.8) i calcari oggetto di studio affiorano per uno spessore di circa 30 m.



**Figura 4.8** – Cava Canale (Pietraroja – BN).

Nel piazzale di cava, lungo una delle pareti tagliate col filo elicoidale, si può osservare in tre dimensioni ed in splendida esposizione la trasgressione dei depositi della Formazione di Cusano sui calcari del Cretacico inferiore, interessati da evidenti bioerosioni (Fig. 4.9).

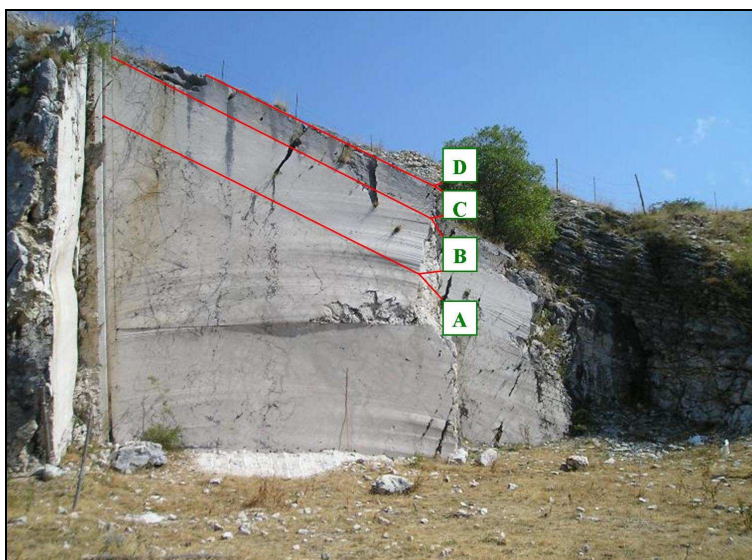


**Figura 4.9** - Trasgressione dei Calcari a Briozoi e Litotamni (Cu) sui substrato Cretacico (Ci) calcareo - dolomitico (Cava Canale – Comune di Pietraroja – BN)

La cava, attualmente dismessa, è oggetto di un progetto di valorizzazione da parte dell'Ente Parco.



Presso il monte Pesco Rosito, lungo il cui versante sud-occidentale è ubicata una cava di modeste dimensioni da cui erano estratte calcareniti bioclastiche cretache e piccole quantità di CBL (Fig. 4.10), è particolarmente evidente il passaggio tra la Formazione di Cusano e le sovrastanti Calcareniti e Marne ad Orbulina della Formazione di Longano.



**Figura 4.10** - Pesco Rosito (Pietraraja – BN): A: Calcari del Cretacico superiore; B: Calcareniti mioceniche della Formazione di Cusano; C: Passaggio tra la formazione di Cusano e la Formazione di Longano; D: Calcareniti e Marne a Orbulina della Formazione di Longano.

Tale passaggio, come si tratterà in maniera più approfondita nel capitolo 5 (cfr. par. 5.1.1.4.3), è costituito da circa 60 cm di materiale clastico formato da elementi provenienti dallo smantellamento dei sottostanti CBL a cui si aggiungono coproliti fosfatiche, granuli di glauconite, fluorapatite ed a luoghi anche elementi extraformazionali provenienti dai calcari a rudiste cretaci.

#### **4.1.2 Gruppo del Taburno-Camposauro (Benevento)**

Il Taburno-Camposauro (Fig. 4.11) è un massiccio carbonatico isolato dell'Appennino campano che si trova ad ovest di Benevento, da cui dista pochi chilometri e nella cui provincia ricade interamente.

Tale gruppo montuoso è separato a nord dai Monti del Matese per mezzo della Valle Telesina, mentre a sud la Valle Caudina lo separa dai Monti del Partenio.

Le vette più alte sono il Monte Taburno (1393 m s.l.m.), il Camposauro (1390 m s.l.m.), il Monte Alto Rotondi (1305 m s.l.m.), il Monte Sant'Angelo (1189 m s.l.m.), il Monte Gaudello (1226 m s.l.m.) ed il Monte Pentime (1168 m s.l.m.).

Da nord a sud il massiccio raggiunge un'estensione di circa 18 Km, mentre da est a ovest è di circa 28 Km.

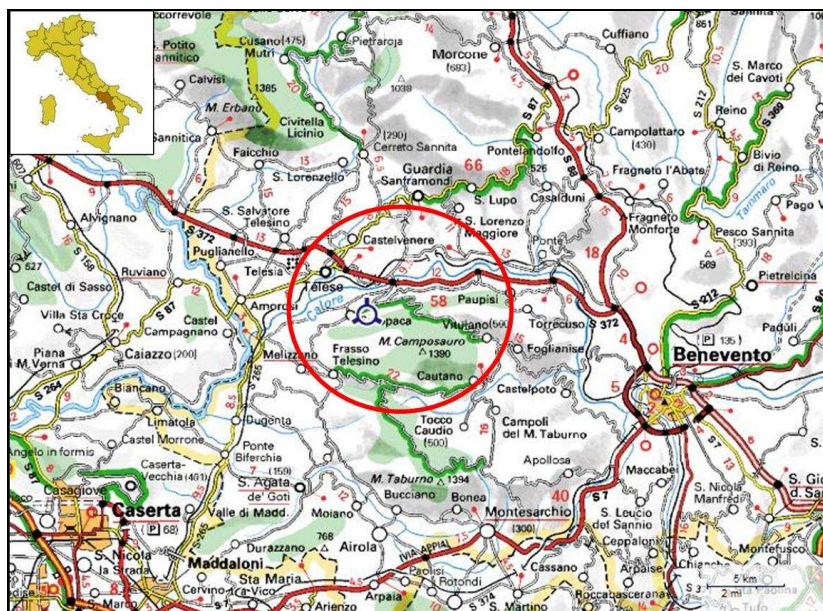


Figura 4.11 - Ubicazione del Monte Camposauro.

Il massiccio fa parte del Parco Regionale del Taburno-Camposauro e ricade interamente nel Foglio 173 (Benevento) della Carta geologica d'Italia in scala 1:100.000.

La trasgressione miocenica del Taburno-Camposauro si è verificata quando la regione aveva già una ben differenziata fisionomia ed ha portato ad eteropie di *facies* di notevole entità. Esistono pertanto differenze tra gli affioramenti miocenici del Taburno e quelli del Camposauro. I CBL s.s. affiorano solo sul Monte Camposauro (D'Argenio, 1967).

La base della trasgressione è data a luoghi da un conglomerato a cemento da giallo a verde chiaro in frattura fresca (D'Argenio, 1967), delle potenze di 2 - 4 m e più, ad elementi arrotondati di dimensioni variabili da circa 1 cm a qualche decimetro, cementati da un materiale marnoso verde chiaro, giallo chiaro in superficie, in cui è presente una scarsa fauna (*Globigerina sp.*, *Amphistegina sp.* - D'Argenio, 1961).

Tale livello conglomeratico è comunque di difficile attribuzione dal momento che nel Cretacico superiore esistono livelli simili che potrebbero essere stati localmente

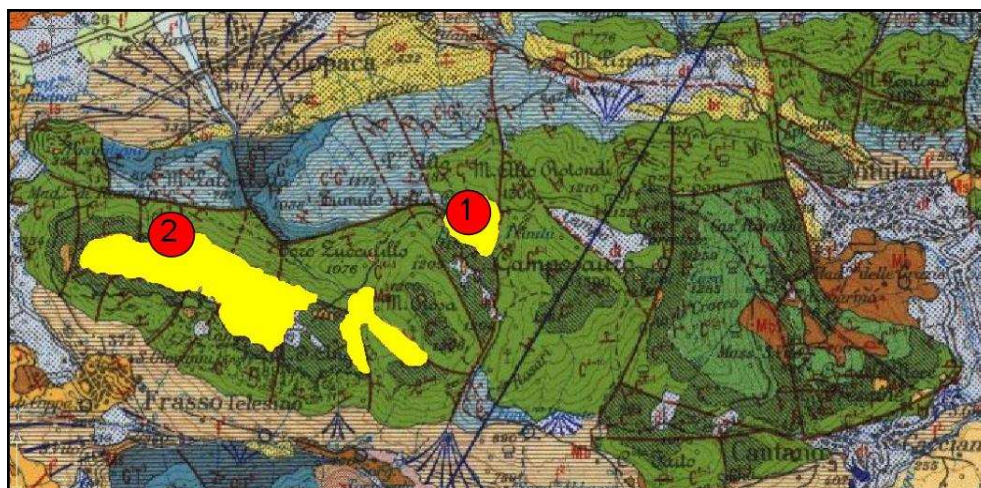
rielaborati dalla trasgressione miocenica. In generale, comunque, tutto il Miocene trasgredisce subparallelamente al substrato senza alcuna traccia di conglomerati o paleosuoli come si può osservare presso il monte S. Angelo (D'Argenio, 1967).

Ai CBL, il cui spessore nella zona del Camposauro è di 20 - 30 m, seguono in apparente continuità di sedimentazione, ma con un passaggio alquanto brusco, calcareniti e marne grigio-azzurre in frattura fresca, grigio-verde sulle superfici esposte ed alterate, riconducibili alla formazione di Longano-Montagnella, prive quasi completamente di macrofossili ma ricchissime di microfaune planctoniche.

Al passaggio tra la formazione di Cusano-Mastroianni e quella di Longano-Montagnella si notano ancora una volta pochi centimetri di materiale clastico formato da matrice lutitica ricca in microfaune planctoniche e coproliti fosfatiche e da elementi provenienti dallo smantellamento dei sottostanti CBL e dei calcari a rudiste cretacici (D'Argenio, 1967).

#### 4.1.2.1 Osservazioni di campagna e campionamento

Nel corso dei rilievi effettuati sul gruppo del Taburno-Camposauro (Fig. 4.12), ci si è recati ad ovest dei Monti Alto-Rotondi e Camposauro, lungo la mulattiera che da Fontana Trinità porta verso San Michele (Fig. 4.13) e si è poi proseguito lungo la strada che collega tale mulattiera con l'abitato di Solopaca (Fig. 4.14). Su entrambi i percorsi sono stati prelevati campioni di CBL per l'identificazione delle litofacies presenti.



**Figura 4.12** - Stralcio del Foglio 173 (Benevento) della Carta geologica d'Italia in scala 1:100.000 raffigurante (in giallo) gli affioramenti del Monte Camposauro e l'ubicazione dei punti di campionamento (1: Mulattiera che da Fontana Trinità porta verso San Michele; 2: Strada che collega la mulattiera con l'abitato di Solopaca).



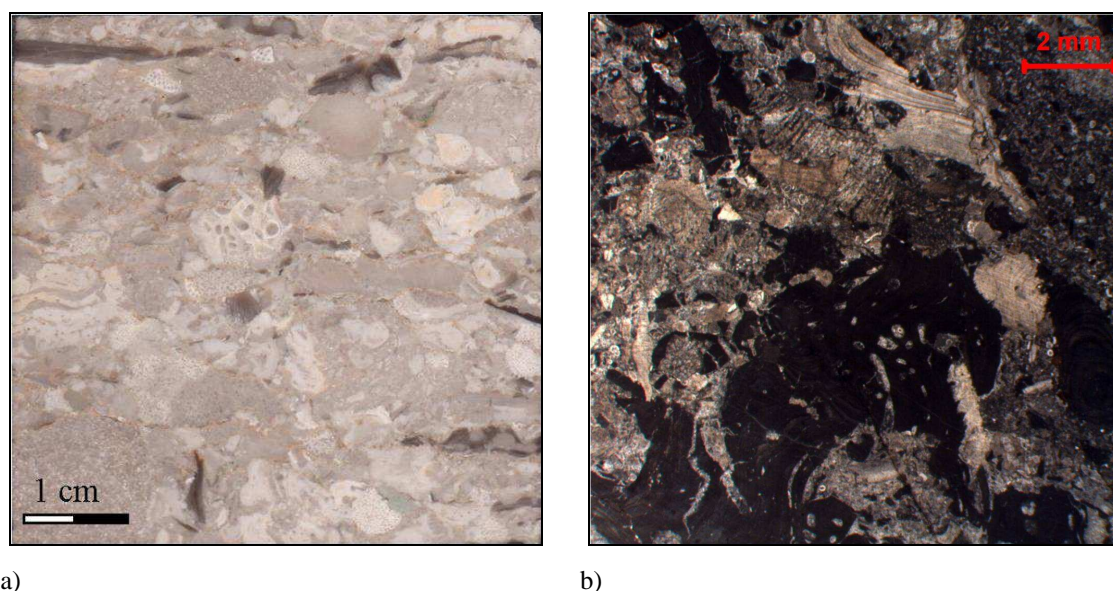
**Figura 4.13** – Affioramento lungo la mulattiera che da Fontana Trinità porta verso San Michele (Monte Camposauro – BN).



**Figura 4.14** – Affioramento lungo la strada che collega la mulattiera con l'abitato di Solopaca (BN).

Nei campioni prelevati in entrambi i siti si nota la presenza di resti di gusci di ostracodi e di colonie di briozoi immersi in una matrice da sottile a grossolana di colore variabile; solo in un caso è stata osservata la presenza di rodoliti di piccole dimensioni (2 cm di diametro).

Le litofacies qui osservate e campionate (Fig. 4.15) non sono risultate però confrontabili con quelle riconosciute presso i monti del Matese ed il sito-campione di Coreno Ausonio, di cui si parlerà più approfonditamente nel paragrafo 4.3.1. Pertanto, sui campioni qui prelevati sono state effettuate la caratterizzazione mineralogico-petrografica e l'analisi di *facies*, ma non la caratterizzazione geologico-tecnica, non essendo stata ritenuta significativa ai fini di questa tesi.



**Figura 4.15** – Tipico aspetto dei CBL negli affioramenti del Monte Camposauro (campione C8FT): a) marmetta; b) sezione sottile.

### 4.1.3 Monti Trebulani (Caserta)

I Monti Trebulani (Fig. 4.16) sono interamente compresi nella provincia di Caserta e si affacciano ad est sulla valle del medio Volturno e ad ovest sulla Pianura Campana in vista dei Monti del Matese.

La cima più alta è il Monte Maggiore (1050 m s.l.m.), ubicato tra i comuni di Formicola e Pietramelara, seguono il Monte Melito (791 m s.l.m.), il Monte Sant'Erasmo (745 m s.l.m.), il Monte S. Croce (592 m s.l.m.), il Monte Cardillo (557 m s.l.m.), il Monte Scopella (460 m s.l.m.), il Monte Grande (472 m s.l.m.), ed i Monti della Costa (434 m s.l.m.).

Il massiccio montuoso si estende da nord a sud per 21 km, dal borgo di S. Antonio Abate in Pietravairano alla stretta di Triflisco nel Comune di Bellona, mentre da est a ovest per 14 km dai preappennini di Pignataro Maggiore ad Alvignano.

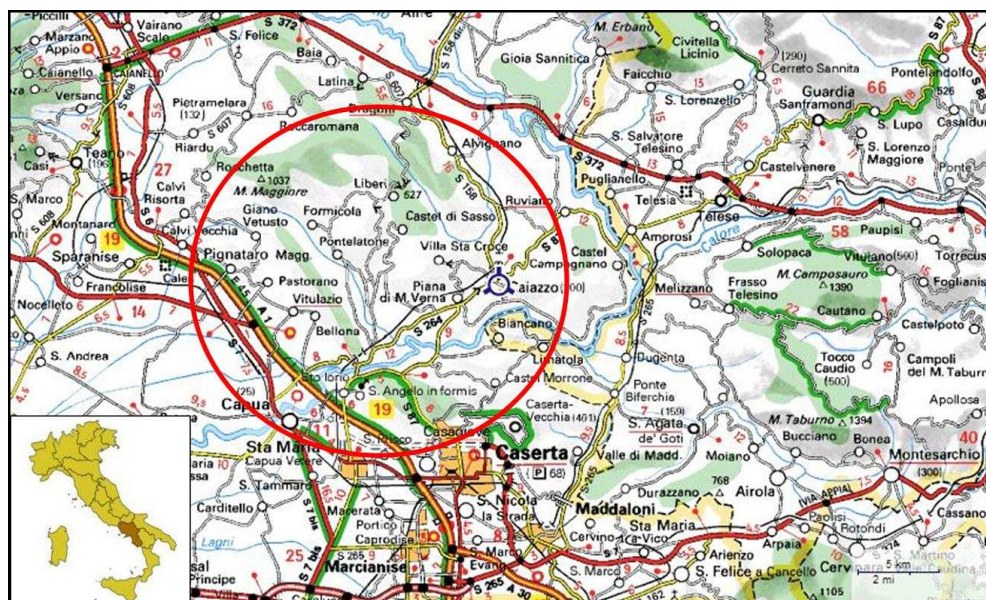


Figura 4.16 - Ubicazione del gruppo del Monte Maggiore.

Il complesso montuoso ricade nel Foglio 172 (Caserta) della Carta geologica d'Italia in scala 1:100.000.

I principali affioramenti di CBL (Formazione di Mastroianni - Ogniben, 1958) dei Monti Trebulani si trovano nella zona di Caiazzo. Essi costituiscono la base della trasgressione verificatasi nel Miocene sui calcari del Cretaceo superiore (calcari a rudiste e milioliti con zone dolomitiche - Ogniben 1956) e hanno potenze variabili da meno di un metro a 60 - 70 m, nelle zone di Monte Maro e Monte S. Costanza, a NO dell'abitato di Sparanise (Vallario, 1964).

La formazione oggetto di studio è qui costituita da calcareniti e breccie calcaree il cui contenuto paleontologico è di solito visibile solo in sezione. Esso è costituito da gusci di lamellibranchi (pettinidi ed ostreidi), non frequenti nella zona di Caiazzo, briozoi e coralli (in frammenti ed intere colonie), echinidi (sempre ridotti a frammenti per lo più di grana psammitica), alghe rosse coralline e foraminiferi tra cui *Amphistegina cf. lessoni* (D'Orb.), Globigerinidi, Globorotalidi, Rotalidi, *Elphidium sp.* (Ogniben, 1958).

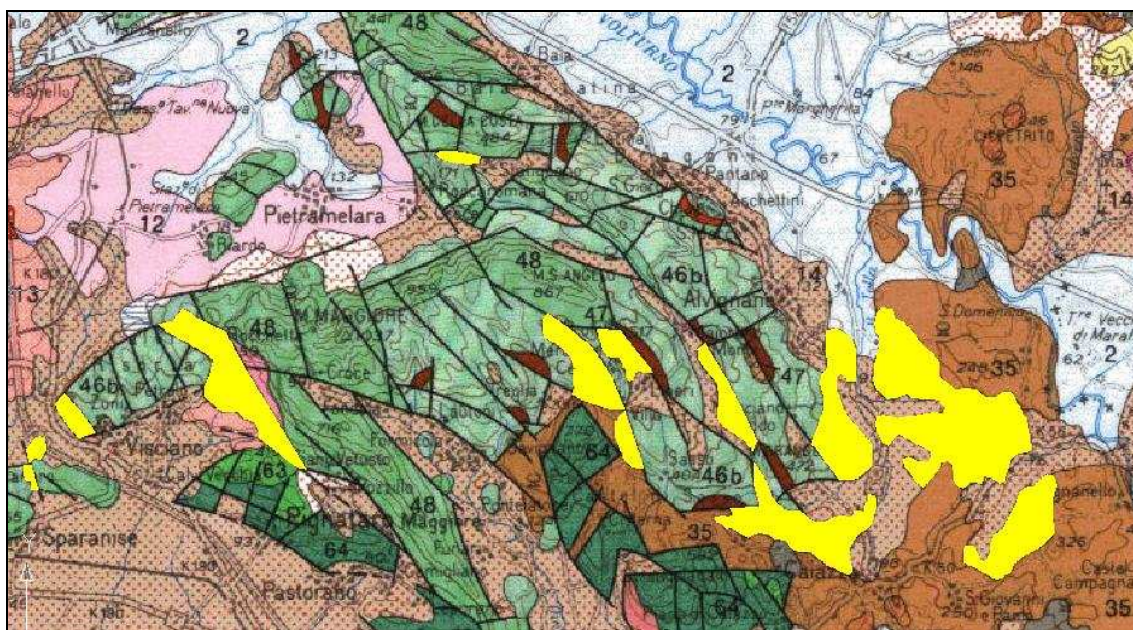
Generalmente alla base della trasgressione miocenica, e quindi sottoposto alle calcareniti di Cusano - Mastroianni, affiora un livello conglomeratico, di spessore compreso tra un minimo di 5-8 cm e un massimo di 70-80 cm, ad elementi di calcare cretaceo di dimensioni di 1-2 cm ed a cemento calcareo microcristallino di colore rosato e avana (Vallario, 1964).

La serie autoctona della zona di Caiazzo continua col calcare marnoso di Longano-Montagnella, ad Orbuline e Globigerine, e col *Flysch* di Moleta (equivalente al *Flysch* di Pietraroja), alternanza marnoso-siltoso-arenacea con subordinati strati di marne calcaree, di età elveziano-tortoniana.

A tale serie segue, nel Casertano, la formazione delle Arenarie di Caiazzo (Ogniben, 1956; Vallario, 1964) di età più antica dei terreni sui quali poggia e quindi tettonicamente sovrapposta alla Formazione di Moleta.

#### 4.1.3.1 Osservazioni di campagna e campionamento

Gli affioramenti dei Monti Trebulani sono molteplici e, come accennato in precedenza, ricadono prevalentemente nella zona di Caiazzo (Fig. 4.17).



**Figura 4.17** – Stralcio del Foglio 172 (Caserta) della Carta geologica d'Italia in scala 1:100.000 raffigurante (in giallo) gli affioramenti del Monte Maggiore.

Essi presentano però spessori ridotti (nonostante la potenza effettiva della formazione) ed il materiale risulta frammentato in blocchi frammisti a terriccio e di cattiva qualità.

Alla luce di quanto detto e visti gli obiettivi di questo lavoro, in tale zona non è stato effettuato un campionamento sistematico.

#### 4.1.4 Gruppo del Monte Massico (Caserta)

Il Monte Massico (813 m s.l.m.) è sito nella provincia di Caserta, tra il fiume Volturno ed il fiume Garigliano, e costituisce il rilievo maggiore del gruppo montuoso ubicato fra i territori di Mondragone a sud e di Sessa Aurunca a nord (Fig. 4.18).

Circoscrivono il territorio del monte il Comune di Falciano del Massico a sud-est ed il Comune di Piedimonte Massicano a nord-ovest.



Figura 4.18 - Ubicazione del Gruppo del Monte Massico.

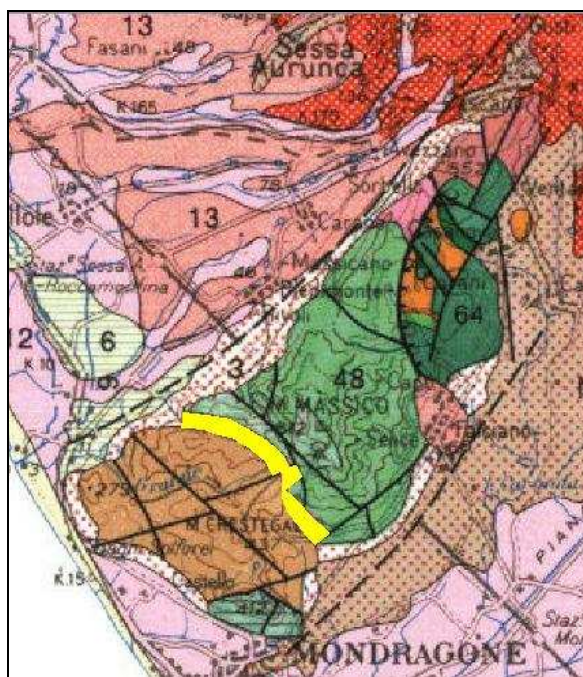
Il monte Massico ricade interamente nel Foglio 171 (Gaeta) della Carta geologica d'Italia in scala 1:100.000.

Le formazioni mioceniche affioranti sul Gruppo del Monte Massico sono prevalentemente in facies di *flysch*. Vallario (1963) conferma infatti la presenza di un complesso argilloso-arenaceo con intercalazione di breccie calcaree, in cui, associate a faune eo-oligoceniche, sono stati rinvenuti fossili di sicura età miocenica, e di un complesso prevalentemente argilloso. Non sono chiari i rapporti con i calcari mesozoici sottostanti.

##### 4.1.4.1 Osservazioni di campagna e campionamento

Solo nel settore sud-orientale del Monte Massico vi sono due piccoli affioramenti di CBL (Fig. 4.19) ma, come per gli affioramenti dei Monti Trebulani, le caratteristiche del materiale non permettono un campionamento sistematico.





**Figura 4.19** - Stralcio del Foglio 171 (Gaeta) della Carta geologica d'Italia in scala 1:100.000 raffigurante (in giallo) gli affioramenti del Monte Massico.

#### 4.2 Cave per l'estrazione dei Calcari a briozoi e litotamni in Campania

All'interno degli areali di affioramento ricadenti in Campania e descritti nel paragrafo precedente, dal confronto dei dati provenienti dalle foto aeree con quelli raccolti nel PRAE, è stato effettuato un censimento ed una cartografazione delle cave (in esercizio e storiche) destinate all'estrazione dei CBL.

La conoscenza dei principali centri di estrazione della Pietra di Cusano è utile per comprendere la possibile provenienza del materiale impiegato per la costruzione dei manufatti di interesse storico, artistico o architettonico presenti sul territorio e quindi per identificare i luoghi in cui eventualmente reperire materiale utile al restauro di tali opere.

Tra le cave campane schedate nel PRAE (Regione Campania, 2006), solo una, al momento dismessa, è stata sfruttata per l'estrazione dei CBL. Già descritta nel paragrafo 4.1.1.1, essa (codice PRAE 62026/03 – Cusano Cava) ricade nella provincia di Benevento (Comprensorio di Pietraroja – Cusano Mutri) alle spalle dell'abitato di Cusano Mutri in località Calvario; attualmente è utilizzata come discarica temporanea di materiali metallici e difficilmente potrà essere nuovamente coltivata in ragione non solo della scarsa qualità del prodotto ma anche del notevole impatto ambientale che ne deriverebbe (Fig. 4.20 – 4.21 – 4.22).

**REGIONE CAMPANIA**

Scheda n° 62029 Cod PRAE 62026\_03 Istat 62026 Provino. BN Genio Civile Benevento  
 Comune Cusano Mutri Cod. D230 Aut. Bacino. Voltumo Z. Sis. 1  
 Tipo Art. 36: Dismessa Cava Attiva  R.A. 0% provvedimento:  
 Titolare Gianchi s.r.l. D.D. n. 1021/01

mc Estratti Annualmente: 0 Scadenza Autorizzazione:

**Localizzazione**  
 tavoletta III SW km distanza da strada abitato  
 fogli. igm 162 0.0 0.5  
 altit. slm 475 bacino  
 località Caselluccio  
 strada Comunale  
 Ubic. Geomorf. A mezzacosta di versante  
 note localizzazione: Località Cavario  
 note ubicazione:

**Geologia dell'area di cava**  
 litologia Calcarei  
 membro  
 formazione 3 note

**Materiale Estratto - Settori Tecnologici**  
 Materiale Calcarei  
 set. tecnologico Settore materiali litoidi  
 set. tec. elimin. Settore materiali litoidi  
 note materiali

**Tipologia e Metodologia di coltivazione**  
 tipologia a cielo aperto di versante quote scavo  
 mezzi sega circolare piazzale 475 h. 15  
 tipo mezzi Mezzi meccanici ciglio largh. 30  
 note tipol. imbocco prof. 20  
 metodologia a parete con gradini multipli superf.  
 dettag.metod. note mezzi

**Dissesti**  
 tipo  
 ubicazione  
 grad frattur medio  
 causa  
 note

**Presenza Acqua**  
 quota  
 acqua 100  
 pozzi  
 sorgenti  
 lago  
 corso Torrente

**Tipologia Produzione**  
 frantoio  betonag.  
 griglia  vaglio  
 mulino  altro  
 note  
 oggetto: Area del Matese  
 uso suolo: pascolo  
 vincoli 304/01

urbanistica:  
 Destinazione area di cava nel P.R.G.  
 interferenze  
 fonte dei dati:  
 Foto 84/Rilevamento/Compresa nell'elenco regionale

ErreGi

Figura 4.20 – Scheda PRAE 62029/03 relativa al sito di Cusano Cava (BN)<sup>11</sup>.

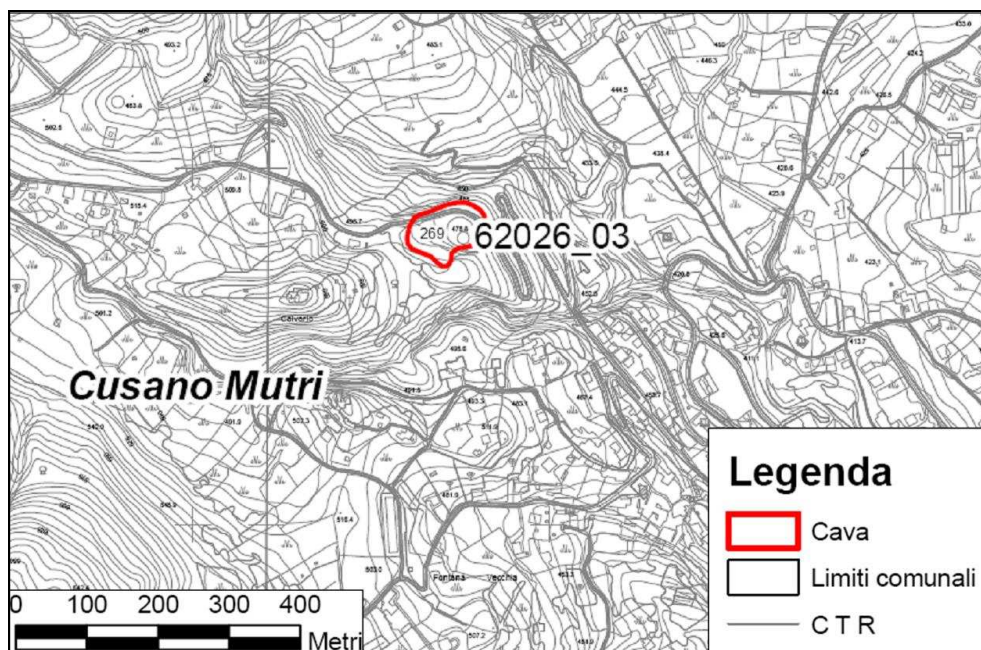
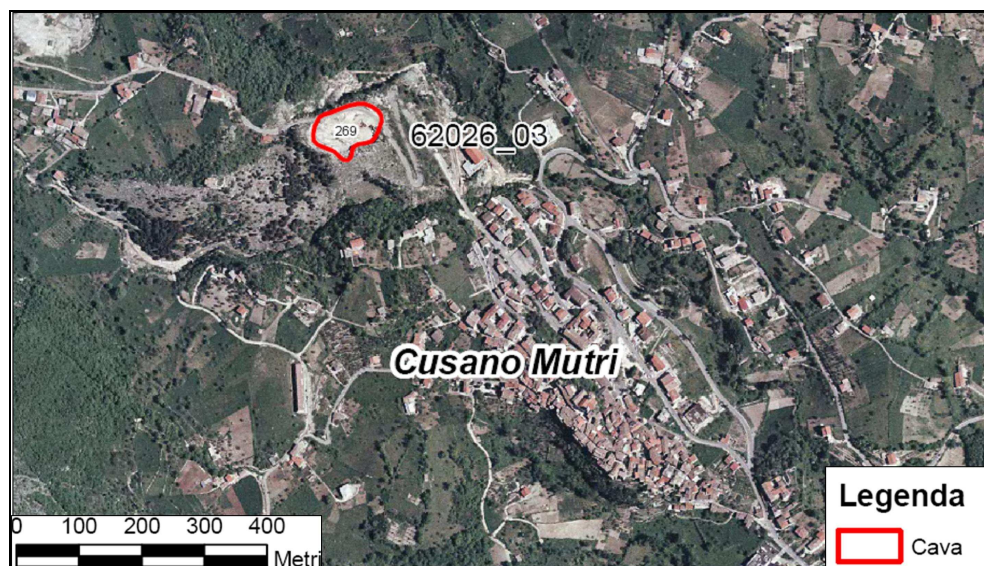


Figura 4.21 - Cava n. 62026\_03 (Cusano Cava – BN) riportata sulla “Carta Tecnica Regionale 1/5000”<sup>11</sup>.



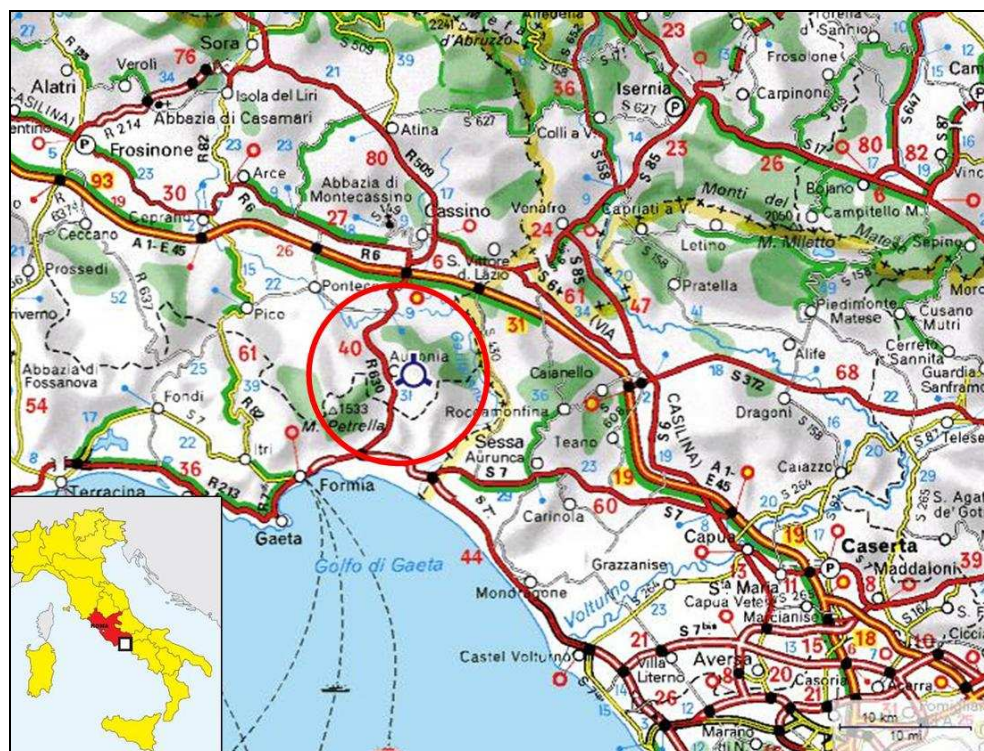
**Figura 4.22** - Cava n. 62026\_03 (Cusano Cava – BN) riportata sull’ortofoto CGR 1998 <sup>11</sup>.

Come riportato nel paragrafo 4.1.1.1, nel comune di Pietraroja (BN), esistono comunque almeno altre due cave destinate all’estrazione della Pietra di Cusano, non riportate nel PRAE ma chiaramente visibili da foto aeree e nelle quali è stato effettuato il campionamento (Cava Canale e la cava del Monte Pesco Rosito).

### **4.3 Gli affioramenti del Lazio meridionale**

Il principale affioramento di CBL del Lazio meridionale ricade nei Monti Aurunci orientali (Fig. 4.23), gruppo montuoso dell'Italia centrale confinante a nord con i Monti Ausoni, ad est con la Valle del Liri, a sud con il fiume Garigliano e limitato ad ovest dal mar Tirreno.

Altri affioramenti si hanno sui Monti della Meta, al confine tra Lazio, Abruzzo e Molise, e nella piana di Cassino, sul Monte Porchio e sul Monte Trocchio.



**Figura 4.23** – Ubicazione dei Monti Aurunci Orientali e del Comune di Coreno Ausonio (FR).

Con riferimento alla già citata Carta geologica d’Italia in scala 1:100.000, i Monti Aurunci orientali ricadono nei Fogli 160 (Cassino) e 171 (Gaeta), i Monti della Meta nei Fogli 160 e 161 (Isernia), i Monti della Piana di Cassino nel Foglio 160 (Cassino).

Come in Campania, anche nel Lazio meridionale la potente serie calcareo – dolomitica mesozoica (dal Trias superiore al Maastrichtiano) è seguita dai calcari detritico-organogeni oggetto di studio.

I CBL presentano nel Lazio meridionale una potenza media di 50 m e comunque mai superiore ai 100 m nei punti di maggiore spessore come per esempio sugli Aurunci Orientali a sud del Monte Maio (nei pressi di Coreno Ausonio), dove si presentano ben stratificati in banchi dello spessore di 1 - 2 m. Essi di solito giacciono in trasgressione o in pseudoconcordanza sul Cretaceo, mentre marginalmente possono poggiare su lembi modestissimi di puddinghe ritenute del Miocene inferiore oppure su brecce non ben datate, o ancora su lembi o cunei paleogenici (Accordi, 1963; Romano e Urgera, 1995).

Ai Monti della Meta, ad esempio, vi è un conglomerato che si interpone tra il Cenomaniano e le calcareniti oggetto di studio, con uno spessore variabile da luogo a luogo ma dell’ordine di qualche decina di metri. Un modesto conglomerato basale appare anche nell’area di Subiaco e precisamente nei pressi di Arcinazzo, dove sui banchi di Cretaceo a Rudiste vi è, in alcuni casi, un banco di mezzo metro o anche meno

di brecciola ad elementi mesozoici che verso l'alto passa al calcare miocenico (Accordi, 1963).

Negli Aurunci orientali, presso Castelnuovo Parano ed a Monte Cianelli (SW di SS. Cosma e Damiano), la base della trasgressione miocenica è caratterizzata, ancora una volta, da un livello di breccia dello spessore di 20 - 30 cm, costituito da clasti calcarei a spigoli vivi o poco elaborati provenienti dal sottostante Paleogene inferiore e/o dal Cretacico superiore; a Rio Ventipalombi (ad ovest di Coreno Ausonio) la stessa trasgressione è evidenziata da un livello argilloso rossastro di spessore sempre piuttosto ridotto (Romano e Urgera, 1995).

Nella Piana di Cassino, e precisamente a Monte Porchio, infine, sono conservati tre piccoli affioramenti di calcari paleogenici interposti tra il Cretacico ed i sovrastanti CBL (Zalaffi, 1963). In questa zona i calcari oggetto di studio presentano spessori che non superano i 30 - 40 m e sono ancora una volta costituiti da calcari organogeni a grandi lamellibranchi ed echinidi; generalmente si hanno alla base livelli con Ostree ed Echinodermi, mentre nella parte superiore della serie sono diffuse le *Chlamis* ed i *Pecten*. I litotamni, presenti in tutta la formazione spesso a formare banchi biostromali, si presentano con dimensioni notevolmente sviluppate e rappresentano il 50% della roccia stessa. Tra i foraminiferi, rappresentati tutti da forme bentoniche, sono caratteristiche le *Heterostegine* e la *Miogypsina* cfr. *irregularis* (Mich.) ritrovata alla base della serie (Accordi, 1963).

In generale, ai Calcari a Briozoi e Litotamni segue una formazione di argille e di molasse (Formazione di Frosinone) ben rappresentata nella valle del Sacco ed in quella del Liri (Accordi, 1963), ma nei rilievi della Piana di Cassino, sopra i CBL, poggia un complesso a calcari e marne argillose a Globigerine dello spessore di circa 40 m a fauna esclusivamente planctonica. Il passaggio tra i due tipi di sedimentazione è quanto mai caratteristico ed avviene bruscamente tramite una superficie disseminata di ciottoli arrotondati, provenienti dai calcari oggetto di studio, di briozoi e litotamni e subordinatamente di echinidi, denti di squalo e di alcuni ciottoli poco elaborati di marne verdi ed arenarie a grana finissima. Questo vario ciottolame tende a formare un livello conglomeratico i cui elementi sono generalmente incrostati di alghe e piccoli celenterati. La matrice cementante è costituita da una pasta calcarea del tutto simile a quella degli strati sovrastanti, particolarmente ricca di microfauna planctonica. Nel residuo inorganico di tale matrice abbondano granuli di glauconia e sono soprattutto numerosi e caratteristici piccoli noduli fosfatici di aspetto ovoide o fusiforme e con dimensioni

massime intorno a 1-2 mm comunemente chiamati *fecal pellets*. Questo livello è ben evidenziato alla base dei versanti orientali di M. Trocchio e M. Porchio dove l'erosione, per la particolare situazione a franapoggio, ne ha messo in luce vaste superfici (Zalaffi, 1963).

#### 4.3.1 Osservazioni di campagna e campionamento

Come accennato in precedenza, l'affioramento migliore per comprendere e definire le differenze tra le litofacies presenti all'interno della formazione dei CBL è stato ritenuto quello di Coreno Ausonio.

In particolare, il rilevamento di campagna ed il campionamento è stato effettuato presso la cava *Lavalle A&G* (Fig. 4.24), aderente al consorzio per la valorizzazione del Perlato Royal Coreno.



**Figura 4.24** – Foto aerea della Cava La Valle A&G (Coreno Ausonio – FR).

Presso tale cava sono stati individuati, tra i termini della formazione finora estratti e sfruttati economicamente, otto tipi commerciali che corrispondono ad altrettante litofacies (Manuale del Perlato Royal Coreno, 2002) e sono stati prelevati numerosi

campioni su cui è stata successivamente effettuata la caratterizzazione mineralogico-petrografica e geologico-tecnica nonché un'accurata analisi di *facies*.

Le litofacies identificate nel sito-campione di Coreno Ausonio, come si dirà più approfonditamente nel capitolo successivo, sono state riconosciute per confronto anche nei principali areali di affioramento ricadenti all'interno della Campania.

#### **4.4 Cave per l'estrazione dei Calcari a Briozoi e Litotamni nel Lazio meridionale**

Nel Lazio meridionale l'estrazione dei CBL riveste attualmente una notevole importanza economica. Per tale motivo, nel 2003, la regione Lazio ha individuato il Distretto Industriale Monti Ausoni - Tiburtina del Marmo e del Lapideo (DGR. n. 1308 del 5 dicembre 2003), ampliamento del Distretto Industriale del Marmo dei Monti Ausoni, precedentemente individuato con DGR n. 311 del 11 aprile 2003.

Tale distretto abbraccia un territorio composto da sei comuni (Ausonia, Castelnuovo Parano, Coreno Ausonio, Esperia, Pignataro Interamna, San Giorgio a Liri) sui quali sono dislocate 54 aziende di estrazione, di cui 38 solo a Coreno Ausonio, e 36 di lavorazione (dato aggiornato al 30 giugno 2002).

Indagini condotte recentemente hanno rilevato che circa l'80% del materiale prodotto in questo distretto, è destinata all'esportazione (Cipro, Israele, Nord-Europa, America, Asia, Paesi Arabi)<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> <http://www.clubdistretti.it/Distretti/Distretti-profilo/Monti-Ausoni.htm>

## 5. Risultati e discussione

In questo capitolo saranno presentati e commentati i risultati della caratterizzazione mineralogico-petrografica e fisico-meccanica effettuata sui Calcari a Briozoi e Litotamni.

### 5.1 Risultati delle prove di caratterizzazione mineralogico-petrografica

La caratterizzazione mineralogico-petrografica è stata condotta su campioni prelevati presso i Monti del Matese (Cava Canale, Pietraroja, BN), il Monte Camposauro (BN) ed i Monti Aurunci orientali (Cava La Valle A.&G., Coreno Ausonio, FR).

Le differenze tra le tre aree di campionamento investigate sono lo spessore degli affioramenti ed i litotipi identificati.

In termini di spessore, a Coreno Ausonio affiorano circa 42 m di materiale, a Cava Canale circa 28 m e sul Monte Camposauro circa 20-30 m.

I litotipi riconosciuti e pertanto campionati nei siti di Coreno Ausonio e Cava Canale sono riportati in Tabella 5.1, in funzione della loro denominazione commerciale (Consorzio per la Valorizzazione del Perlato Royal Coreno, 2002).

**Tabella 5.1-** Litotipi riconosciuti nei siti di Coreno Ausonio (FR) e Cava Canale (BN).

Litofacies	Coreno Ausonio	Cava Canale
Perlato	x	x
Mezza Perla	x	x
Perlatino	x	x
Risatino	x	x
Botticino	x	x
Conchigliato - Ghiandone	x	x
Fondomare - Svirgolato	x	
Nocciolato	x	

I materiali campionati presso il Monte Camposauro non sono stati attribuiti a nessuna delle litofacies riportate in tabella 5.1 a causa delle notevoli diversità esistenti tra le loro caratteristiche macroscopiche (disegno) e quelle dei litotipi affioranti nel frusinate e nel beneventano (cfr. par. 4.1.2.1).



## **5.1.1 Microscopia ottica**

### **5.1.1.1 Analisi di facies**

Come precedentemente accennato, la campagna di rilevamento ed il conseguente campionamento sono stati effettuati in Campania (Monte Camposauro, Monte Maggiore, Monte Massico, settore orientale dei Monti del Matese) e nel Lazio meridionale (Monti Aurunci Orientali), in particolare nel sito-campione di Coreno Ausonio (FR) che rappresenta l'affioramento migliore per la definizione e la comprensione delle differenze tra le litofacies presenti nella formazione oggetto di studio.

Nel comprensorio di Coreno Ausonio, l'estrazione dei CBL riveste una notevole importanza economica, tanto è vero che in questa zona le aziende di estrazione, raggruppate in un consorzio, hanno individuato in maniera univoca una denominazione per ognuno dei litotipi finora commercializzati.

Per tale motivo, onde identificare le litofacies presenti nei principali areali di affioramento della Campania, sono stati confrontati i campioni ivi prelevati con quelli di Coreno Ausonio.

L'analisi di facies è stata effettuata sia da un punto di vista macroscopico, mediante osservazioni di campagna e studio delle marmette realizzate dai campioni prelevati, che da un punto di vista microscopico, grazie allo studio di numerose sezioni sottili.

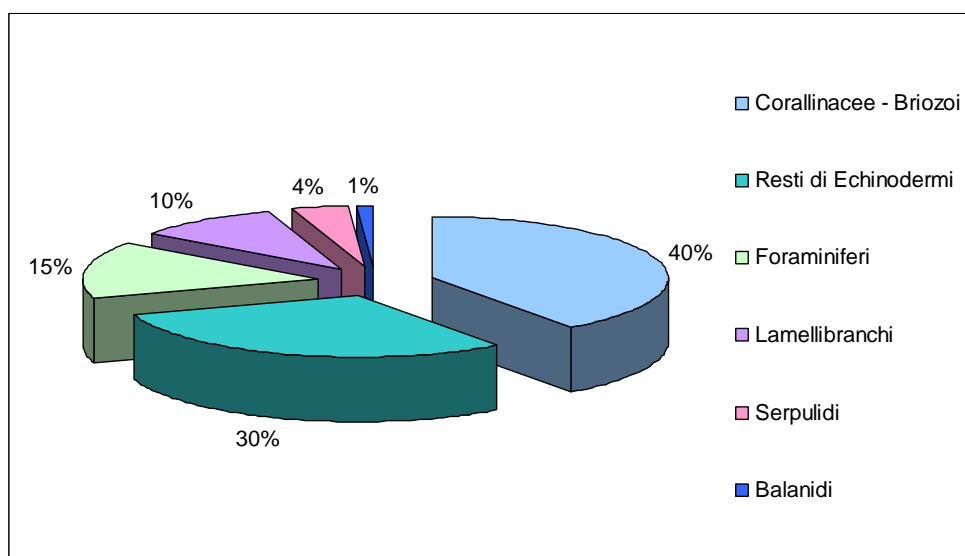
Dall'osservazione di dette sezioni è stato possibile identificare i principali costituenti biogeni, effettuare un'accurata analisi tessiturale e pertanto definire l'ambiente deposizionale delle diverse litofacies.

### **5.1.1.2 Composizione biogena**

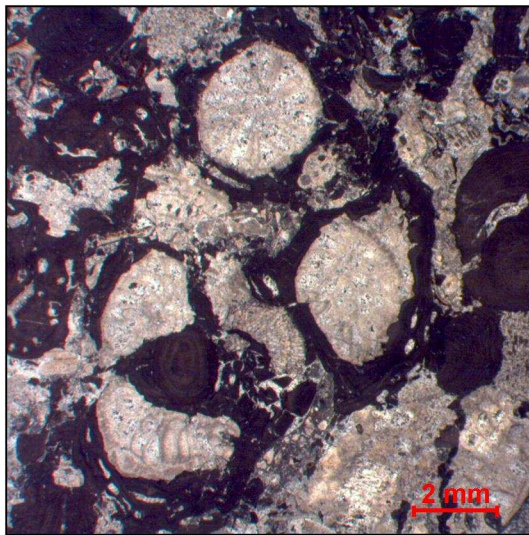
I CBL presentano una composizione biogena costante; gli elementi che variano e che permettono pertanto di discriminare le diverse litofacies sono le caratteristiche tessiturali, l'abbondanza relativa dei costituenti fossili e le dimensioni e la forma delle rodoliti, caratteristiche quest'ultima apprezzabile solo alla scala dell'affioramento.

Come riportato da Carannante (1982) e come riscontrato dall'osservazione delle sezioni sottili, i CBL sono costituiti da elementi bioclastici (Fig. 5.1) fra cui prevalgono

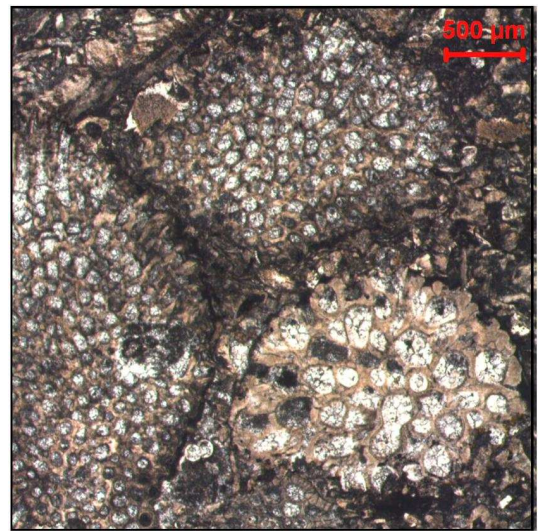
alghe rosse coralline (Fig. 5.2a), Briozoi (Fig. 5.2b), gusci di lamellibranchi, essenzialmente *Pecten* ed *Ostreidi* picnodonti (Fig. 5.2c), foraminiferi sia bentonici che planctonici (*Amphistegina* (Fig. 5.2d), *Elphidium sp* (Fig. 5.2e), *Lenticulina*, *Buliminaceae*, *Nodosaridi*, *Heterostegina* (Fig. 5.2f), *Ammonia*, *Gypsina* (Fig. 5.3a), Globigerinidi, Rotalidi, Texularidi) radioli e placche di echinidi (Fig. 5.3b), serpulidi (Fig. 5.3c) e balanidi (Fig. 5.3d).



**Figura 5. 1-** Abbondanze relative dei principali costituenti fossili dei CBL.



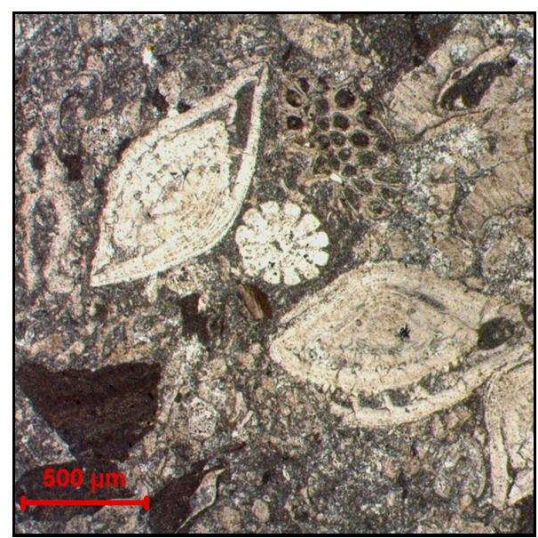
a)



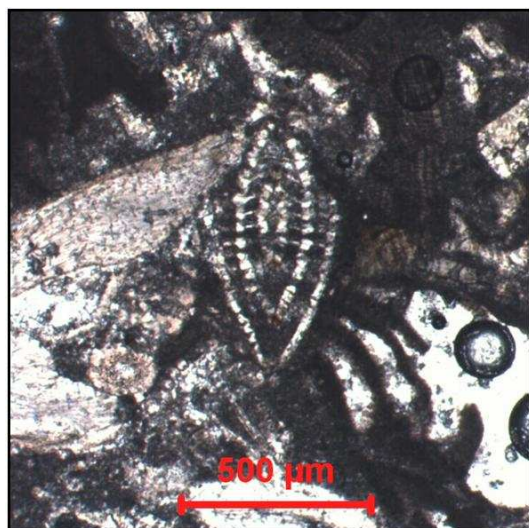
b)



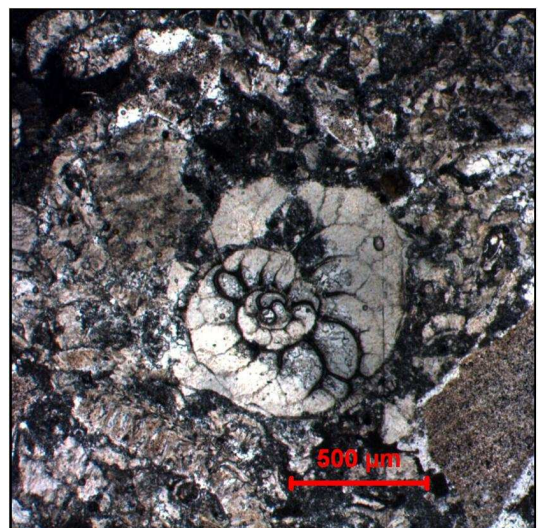
c)



d)

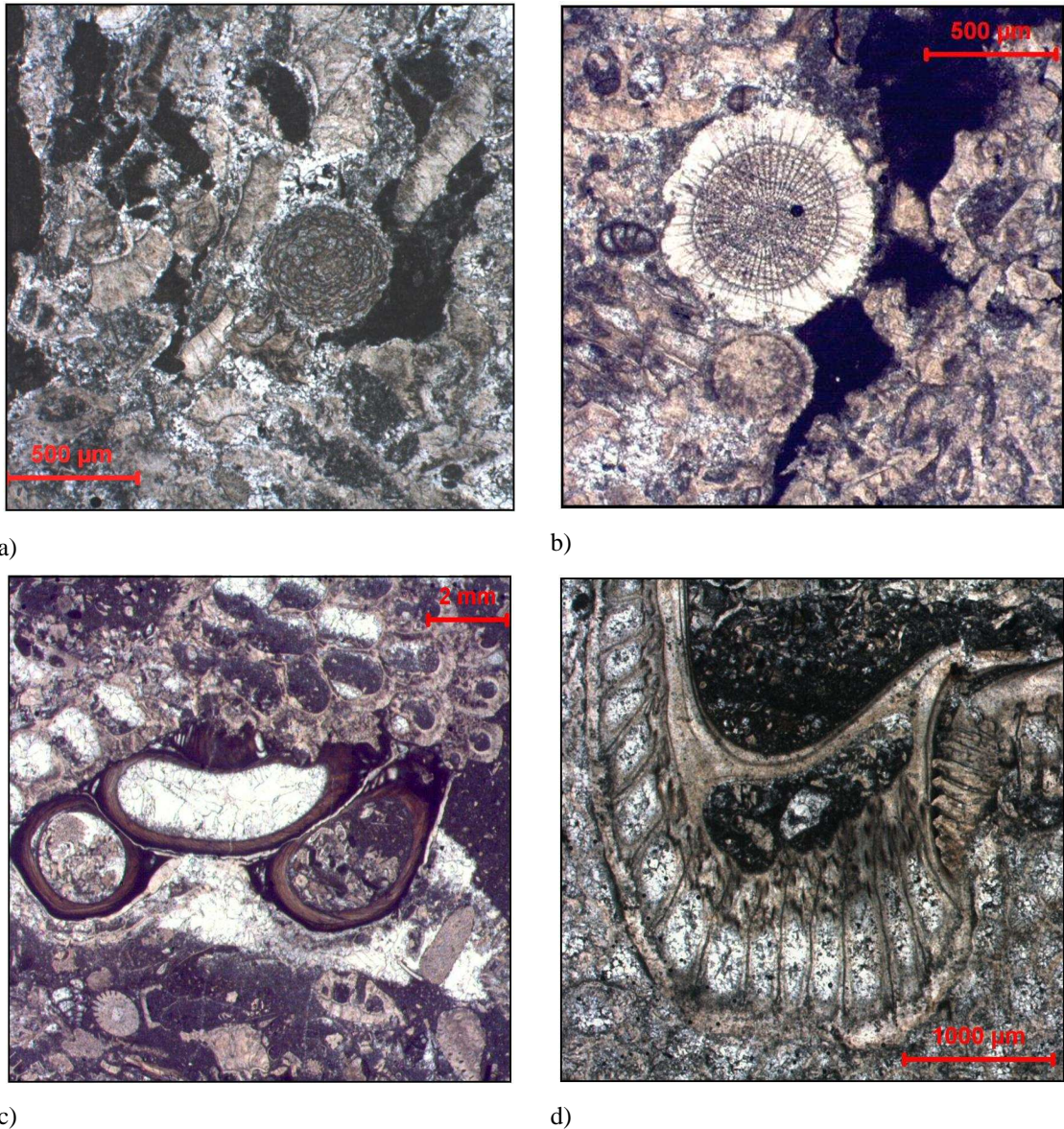


e)



f)

**Figura 5.2** – Principali costituenti biogeni dei CBL in sezione sottile; in parentesi è riportata la sigla del campione a cui le foto fanno riferimento: a) resti di alghe rosse coralline che incrostanto frammenti di Briozoi (C9CA); b) resti di colonie di Briozoi (C2MC); c) frammento di guscio di Ostreide picnodonte (C3MC); d) *Amphistegine* e aculeo di echinide (C1CA); e) *Elphidium*; f) *Heterostegina* (C10CA).



**Figura 5.3** - Principali costituenti biogeni dei CBL in sezione sottile; in parentesi è riportata la sigla del campione a cui le foto fanno riferimento. a) *Gypsina* (C9CA); b) Resto di aculeo di echinide (C5CA); c) Serpulidi (C11CC); d) Frammento di Balanide (C11CA).

### 5.1.1.3 Denominazione delle litofacies ed analisi tessiturale

Nel comprensorio di Coreno Ausonio, tra i termini della formazione finora estratti e sfruttati economicamente, sono state individuate otto litofacies a cui sono state associate le relative denominazioni commerciali (Consorzio per la Valorizzazione del Perlato Royal Coreno, 2002). Tali litofacies sono state riconosciute per confronto anche nei principali areali di affioramento ricadenti all'interno della Campania. Esse sono:

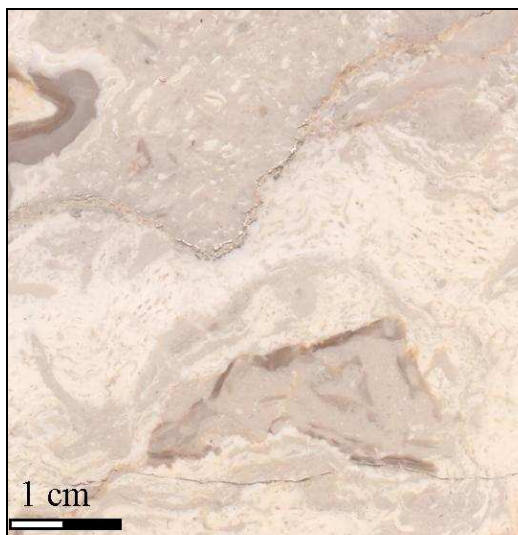
- Perlato Classico: *Rudstone* a rodoliti e Briozoi in una matrice tipo *wackestone - packstone* bioclastico con abbondanti frammenti di corallinacee

ed echinidi. Tale litofacies è caratterizzata dalla notevole dimensione delle alghe calcaree, alcune delle quali superano i 10 cm di diametro, che conferiscono appunto il classico aspetto perlato (Fig. 5.4a);

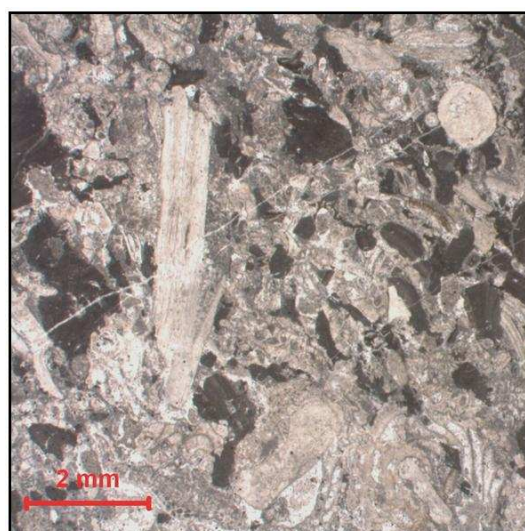
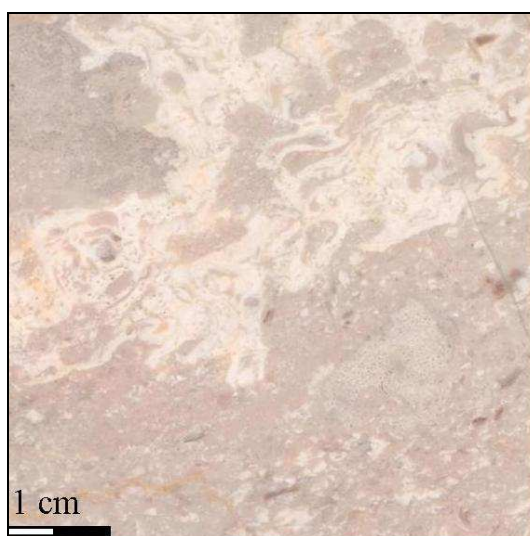
- Mezza Perla: *Rudstone-floatstone* a rodoliti con Briozoi e lamellibranchi in una matrice tipo *packstone* bioclastico da grossolano a fine con frammenti di echinidi, lamellibranchi, Briozoi, *Amphistegine* (biconvesse) e corallinacee ed altro detrito bioclastico non riconoscibile. Di tale materiale (Fig. 5.4b), caratterizzato da alghe calcaree di forma tendenzialmente più allungata rispetto a quelle del Perlato ma di dimensioni minori, esistono due varianti analoghe per quanto concerne le caratteristiche macroscopiche ma caratterizzate da un fondo più o meno chiaro (Mezza Perla Chiara e Mezza Perla Scura);
- Perlatino: *Rudstone - floatstone* a rodoliti e Ostreidi in una matrice tipo *packstone* a frammenti di echinidi (perlopiù predominanti), resti di Briozoi e Corallinacee e macroforaminiferi tra cui *Amphistegine*; tale materiale (Fig. 5.4c) è caratterizzato da una progressiva diminuzione delle dimensioni delle alghe calcaree che appaiono notevolmente ridimensionate e si associano ad una fauna fossile molto più evidente (impronte di molluschi bivalvi come Ostreidi e Pecten);
- Risatino: *Grainstone - packstone* a corallinacee, Briozoi, resti di echinidi e frammenti di lamellibranchi; presenza di piccoli rodoliti; in questa litofacies scompare il caratteristico aspetto perlato, per la quasi totale mancanza di flora algale fossile; la sua tessitura è conferita dal materiale che appare raccolto in grumi, delle dimensioni dei chicchi di riso; il colore di fondo è di un chiaro abbastanza luminoso (Fig. 5.5a);
- Botticino: *Rudstone* a Briozoi e corallinacee in una matrice tipo *packstone* bioclastico a frammenti di Briozoi ed echinidi; materiale molto simile al precedente, caratterizzato quindi dalla quasi completa assenza di *perle*; la sua tessitura è condizionata da una granulometria abbastanza sottile (Fig.

5.5b); il Botticino è presente nella successione stratigrafica del giacimento a varie altezze stratigrafiche;

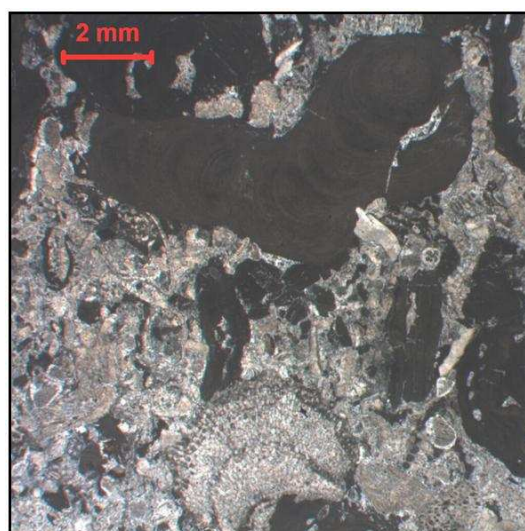
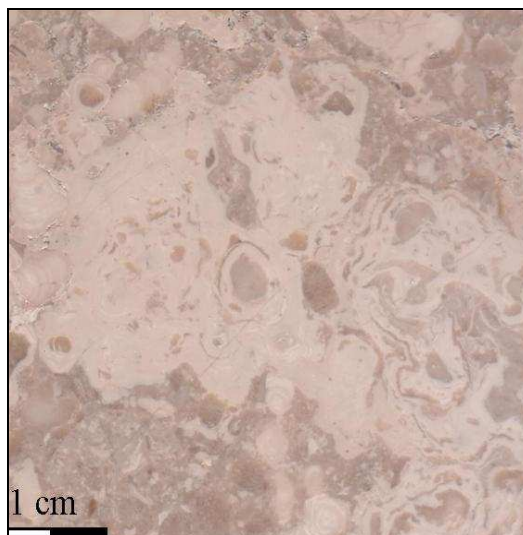
- Conchigliato – Ghiandone: *Rudstone-floatstone* a Briozoi, corallinacee e rari resti di lamellibranchi e rodoliti in una matrice tipo *wackestone - packstone* bioclastico; il materiale è caratterizzato dalla preponderanza di gusci di lamellibranchi e da scarse rodoliti di ridotte dimensioni (Fig. 5.5c);
- Fondomare - Svircolato: *Rudstone* a Briozoi e alghe rosse ed Ostreidi in una matrice tipo *packstone* bioclastico grossolano a corallinacee, echinodermi, foraminiferi bentonici (frammenti di *Elphidium* e *Anfistegine*) e frammenti di Briozoi e lamellibranchi. Il materiale è caratterizzato da una tessitura abbastanza omogenea e dalle dimensioni altrettanto omogenee della pasta di fondo. Si presenta con una ricchezza di frammenti di gusci che in prevalenza appartengono a Pectinidi e Ostreidi e con rarefazione delle alghe calcaree (Fig. 5.6);
- Nocciolato: litotipo con rarefazione evidente delle *perle* e con una granulometria dei resti sedimentati abbastanza sottile; come per la Mezza Perla anche per questa litofacies esistono due varianti caratterizzate da un fondo più o meno scuro (Nocciolato Chiaro e Nocciolato Scuro).



a)

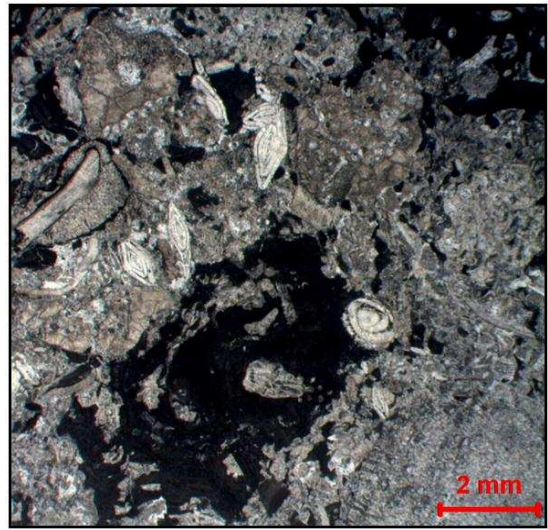
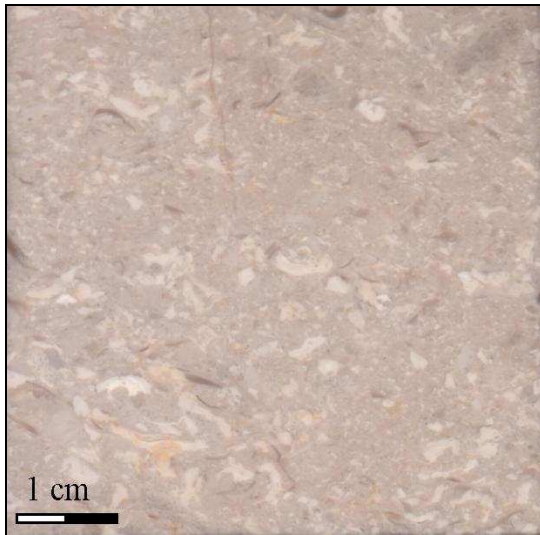


b)

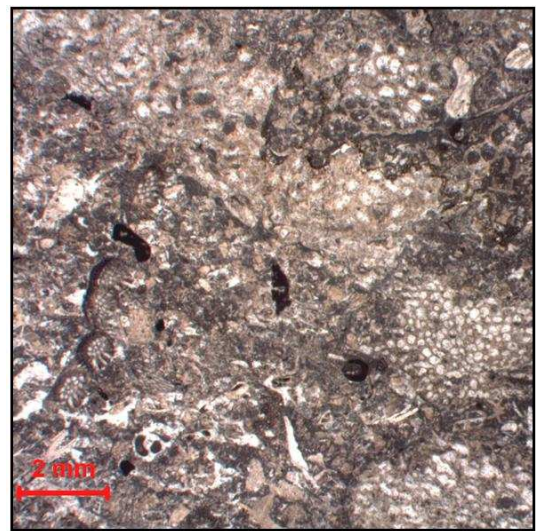
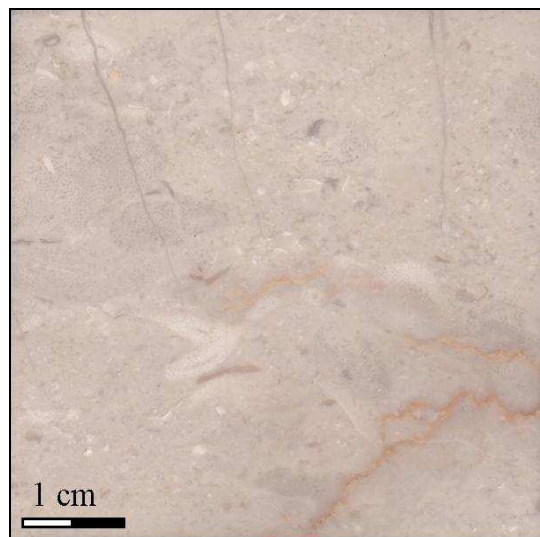


c)

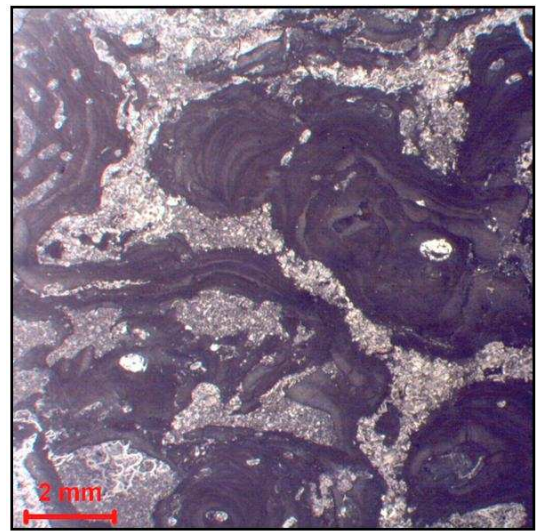
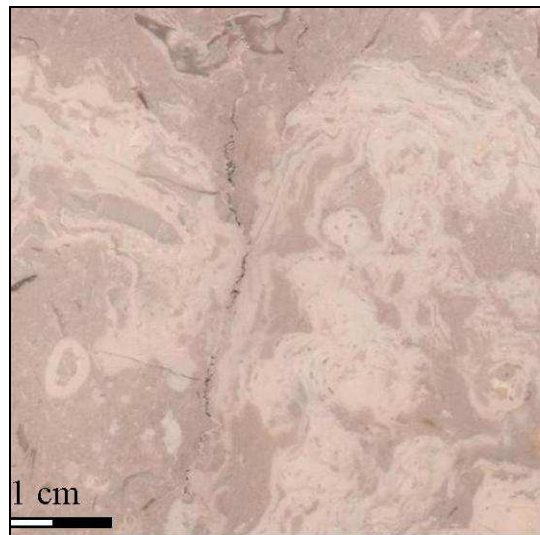
**Figura 5.4** - “Marmette” e corrispondenti sezioni sottili delle litofacies individuate; in parentesi è riportata la sigla del campione a cui le foto fanno riferimento. a) Perlato Classico (C1CA); b) Mezza Perla (C3CA); c) Perlatino (C9CA).



a)



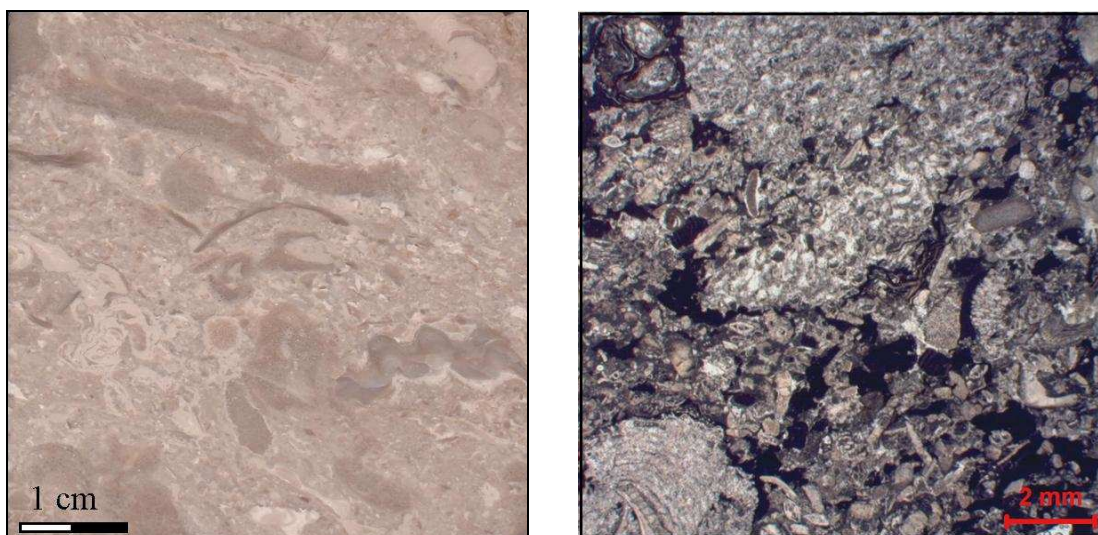
b)



c)

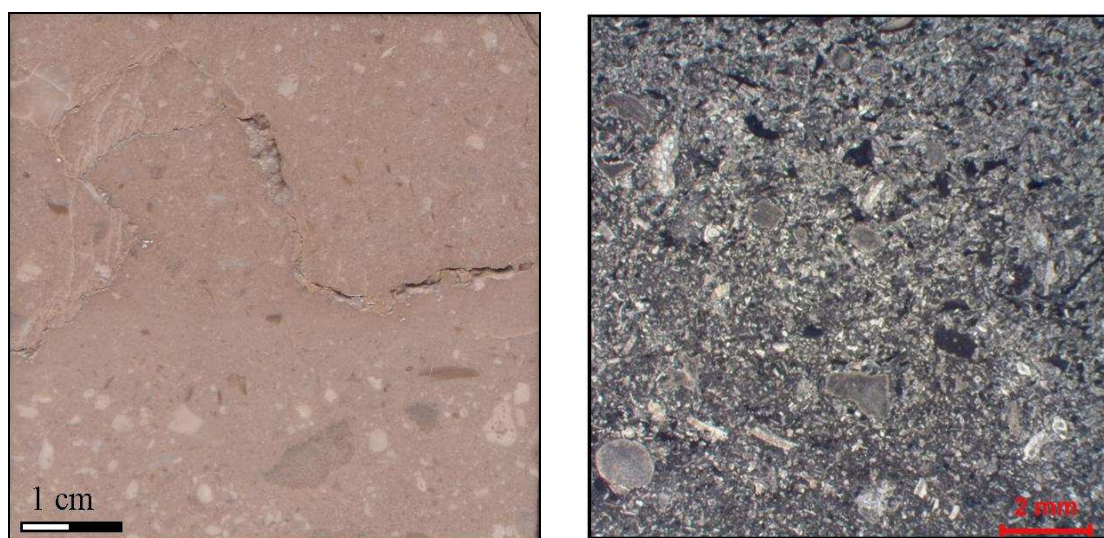
**Figura 5.5** - “Marmette” e corrispondenti sezioni sottili delle litofacies individuate; in parentesi è riportata la sigla del campione a cui le foto fanno riferimento. a) Risatino (C16CA); b) Botticino (C2CA); c) Conchigliato – Ghiandone (C7CA).





**Figura 5.6** - “Marmetta” e corrispondente sezione sottile delle litofacies Svirgolato – Fondomare (C11CA).

Inoltre, solo presso il sito di Coreno Ausonio, è stato individuato, alla base della formazione oggetto di studio e direttamente a contatto col substrato paleogenico, almeno un altro termine della formazione al momento non estratto a scopi economici; esso, da noi identificato con la denominazione NC, è un *packstone* fine ad echinidi e frammenti di Briozoi e corallinacee (Fig. 5.7).

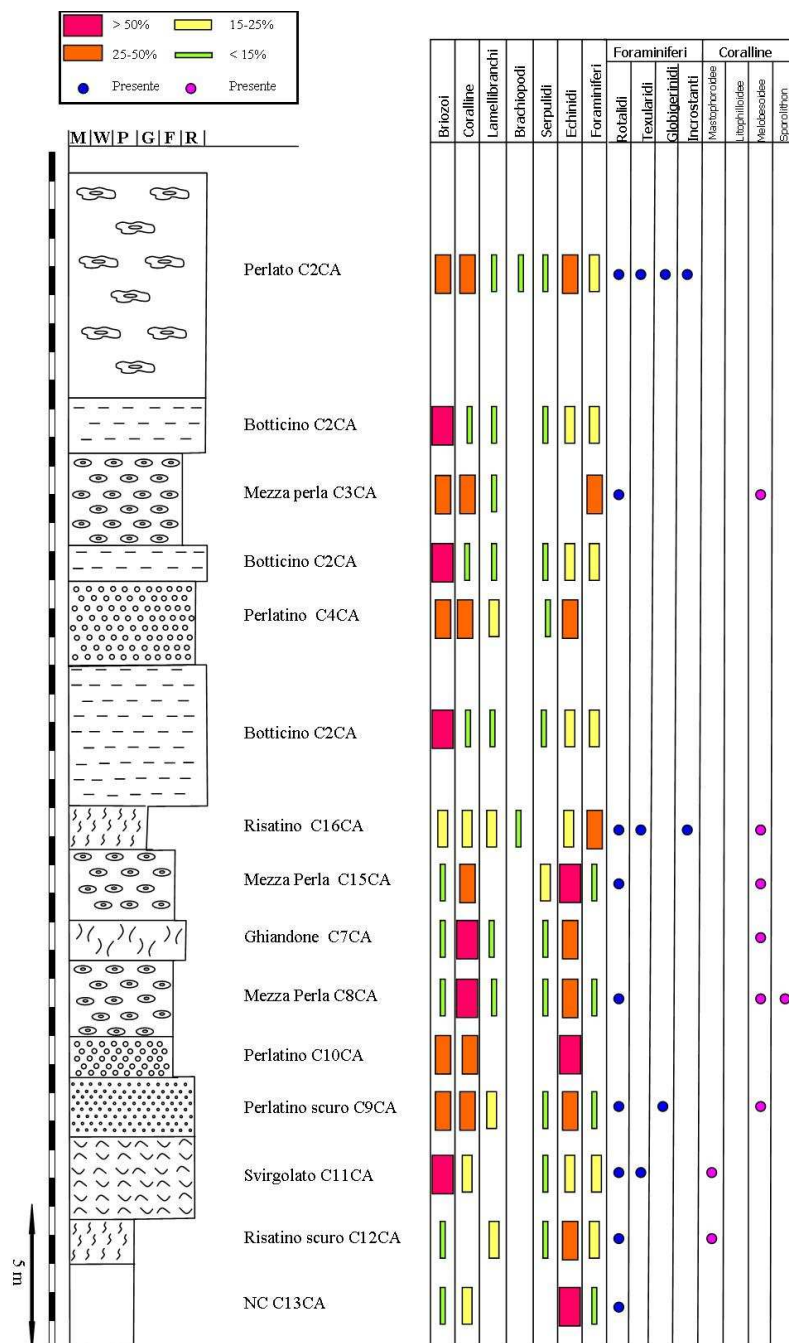


**Figura 5.7** – “Marmetta” e corrispondente sezione sottile della litofacies NC.

## 5.1.1.4 Siti analizzati

### 5.1.1.4.1 Il sito-campione di Coreno Ausonio (Monti Aurunci orientali)

Presso cava La Valle A&G sono stati prelevati 16 campioni e riconosciute le litofacies riportate e descritte in Figura 5.8.



**Figura 5.8** - Colonna stratigrafica raffigurante le caratteristiche tessiture e la composizione biogena delle litofacies della Formazione dei Calcarei a Briozoi e Litotamni affioranti presso cava La Valle A&G (Coreno Ausonio – FR). M, *mudstone*; W, *wackestone*; P, *packstone*; G, *grainstone*; F, *floatstone*; R, *rudstone*. I rettangoli di dimensioni variabili indicano l'abbondanza dei costituenti fossili. I punti viola e blu indicano rispettivamente la presenza di specie di foraminiferi ed alghe rosse riconosciute in sezione sottile ed utili per l'identificazione dell'ambiente deposizionale. Le sigle da C1CA a C16CA indicano i campioni prelevati in cava.

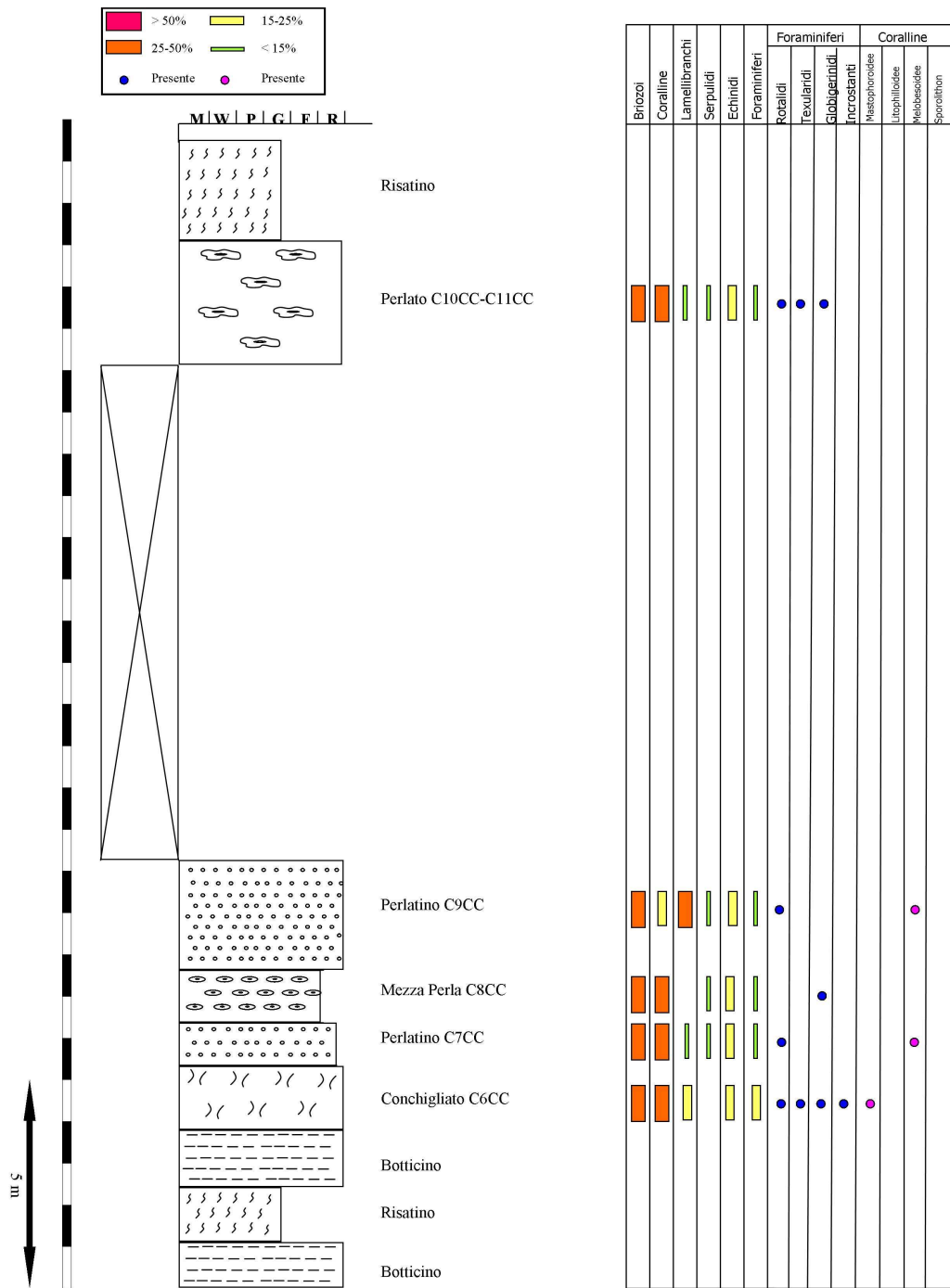
Nella cava in questione, il Perlato, ubicato alla sommità del giacimento, inizialmente aveva uno spessore di circa 6 m che attualmente si è molto ridotto in seguito allo sfruttamento intensivo di questo livello rispetto agli altri finora ritenuti di minore valenza economica.

Dal punto di vista macroscopico, le litofacies riconosciute si differenziano essenzialmente per la tipologia, l'abbondanza e le dimensioni delle specie fossili presenti.

#### **5.1.1.4.2 Cava Canale (Comune di Pietraroja, Benevento)**

Presso Cava Canale sono stati prelevati 6 campioni e riconosciute le litofacies riportate e descritte in Figura 5.9.

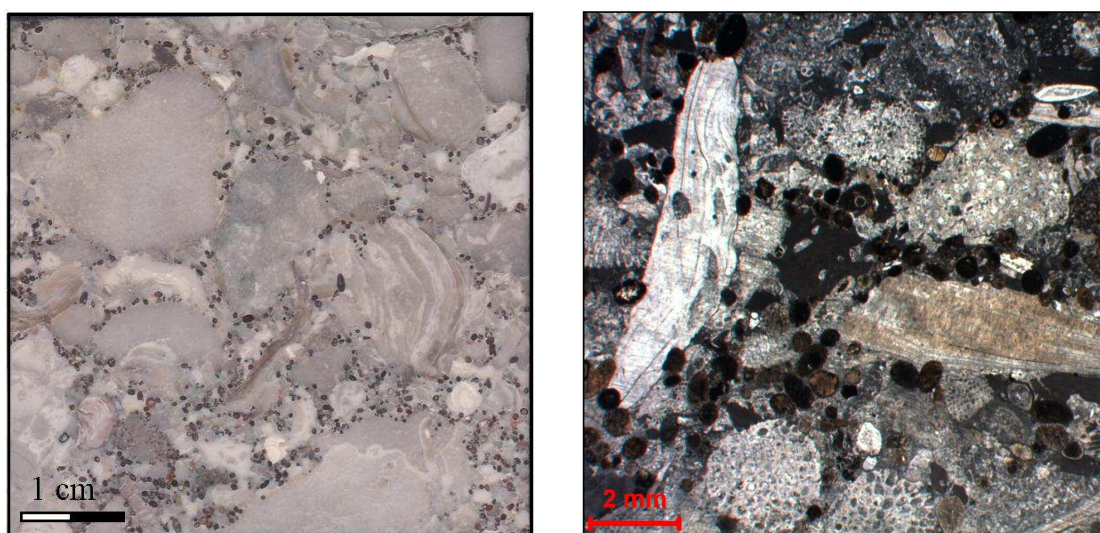
A causa di problemi logistici, sono state riscontrate difficoltà nel campionare materiale proveniente dai primi tre e dall'ultimo termine della successione (cfr. Fig. 5.9). Osservazioni di campagna hanno comunque consentito l'attribuzione della litofacies ad ognuno dei suddetti livelli sebbene, in mancanza di sezioni sottili, non sia stato possibile ottenere informazioni dettagliate circa tessitura ed abbondanza relativa dei costituenti fossili.



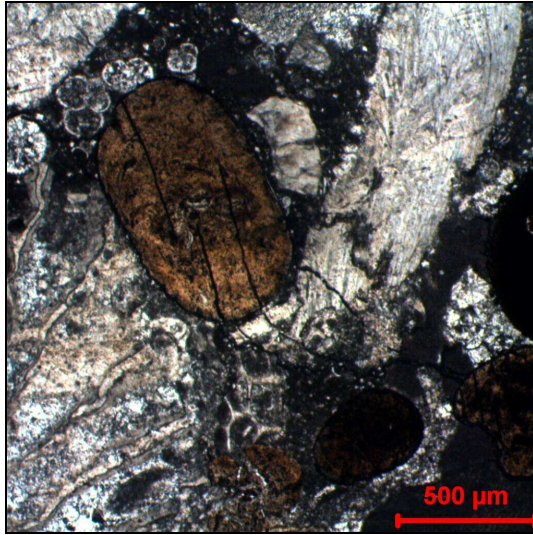
**Figura 5.9** - Colonna stratigrafica raffigurante le caratteristiche tessiturali e la composizione biogena delle litofacies della Formazione dei Calcarei a Briozoi e Litotamni affioranti presso Cava Canale (Pietraraja – BN). M, *mudstone*; W, *wackestone*; P, *packstone*; G, *grainstone*; F, *floatstone*; R, *rudstone*. I rettangoli di dimensioni variabili indicano l'abbondanza dei costituenti fossili. I punti blu e viola indicano rispettivamente la presenza di specie di foraminiferi ed alghe rosse riconosciute in sezione sottile ed utili per l'identificazione dell'ambiente deposizionale. Le sigle da C6CC a C11CC indicano i campioni prelevati in cava.

#### 5.1.1.4.3 Monte Pesco Rosito (Comune di Pietraroja, Benevento)

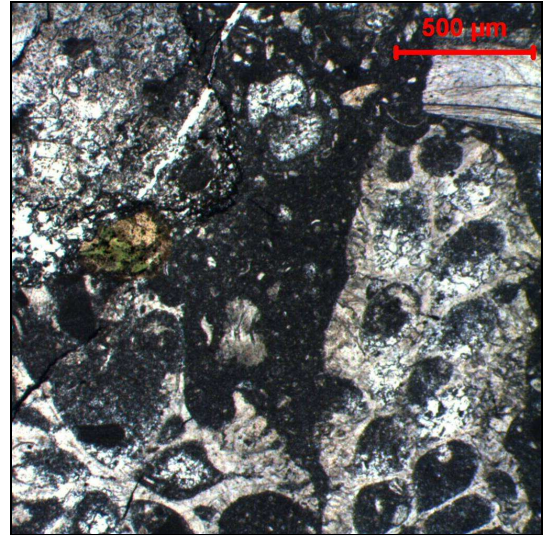
Come descritto nel capitolo 4 (cfr. par. 4.1.1.1), lungo il versante sud-occidentale del Monte Pesco Rosito è presente una cava di modeste dimensioni, da cui erano estratte calcareniti bioclastiche cretache e piccole quantità di CBL. Questi ultimi, in facies *Mezza Perla* (campione C5PR), raggiungono uno spessore di circa 50 cm e, come accade presso il Monte Camposauro, passano alle Calcareniti e Marne ad *Orbulina* della Formazione di Longano (campioni da C1PR a C4PR) attraverso circa 150 cm di materiale clastico (Fig. 5.10) formato da elementi provenienti dallo smantellamento dei sottostanti CBL, coproliti fosfatiche (Fig. 5.11a), glauconite (Fig. 5.11b) e rari elementi extraformazionali provenienti dai Calcari a Rudiste cretaci. Le litofacies affioranti sono riportate in Figura 5.12.



**Figura 5.10** – Marmetta e corrispondente sezione sottile relative al passaggio tra i CBL e le sovrastanti Calcareniti e Marne ad *Orbulina* della Formazione di Longano (C1PR).

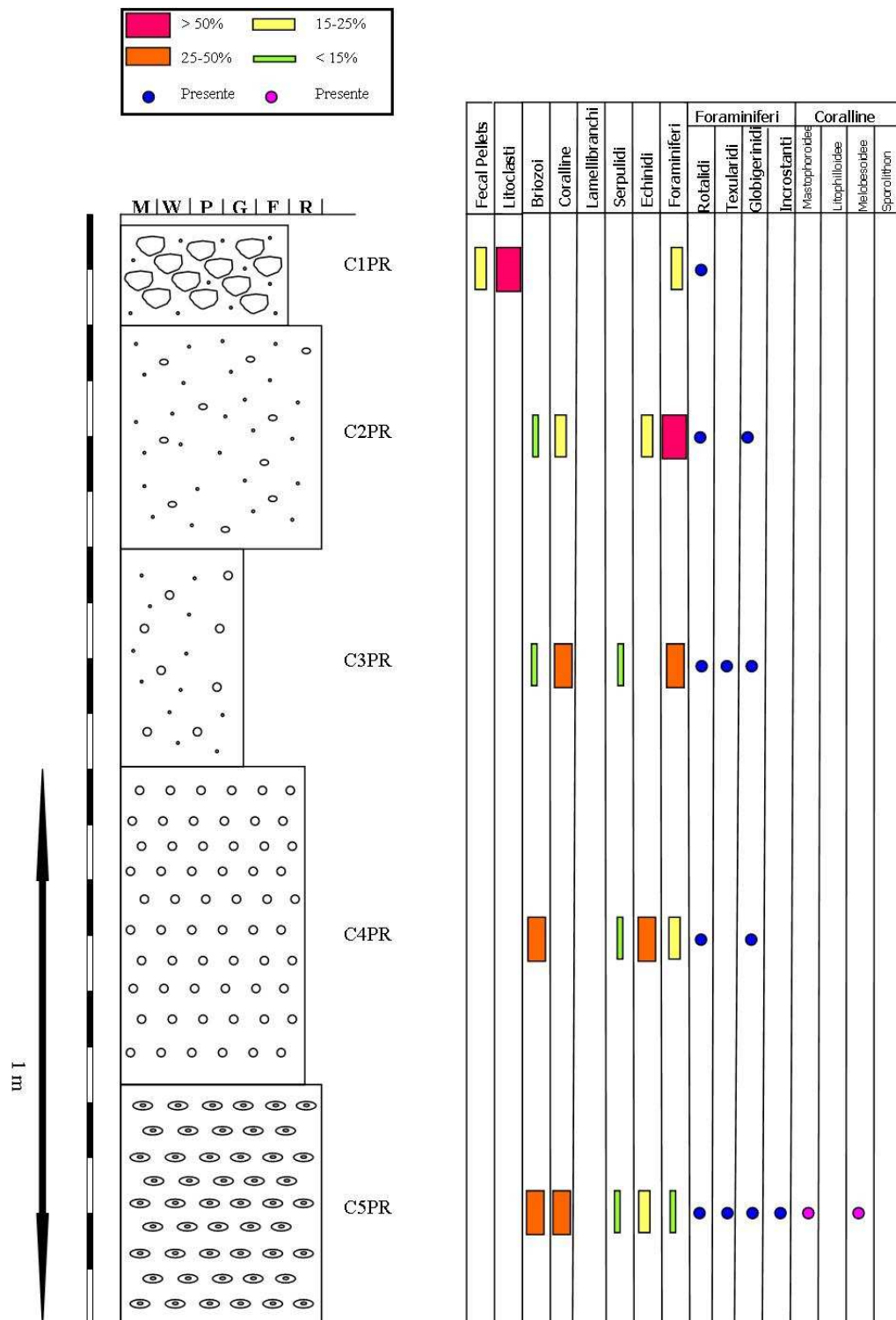


a)



b)

**Figura 5.11** – Sezioni sottili relative al passaggio CBL – Marne ad Orbulina in parentesi è riportata la sigla del campione a cui le foto fanno riferimento: a) *fecal pellets* in sezione sottile (C1PR); b) granulo di Glauconite in sezione sottile (C1PR).



**Figura 5.12** - Colonna stratigrafica raffigurante le caratteristiche tessiturali e la composizione biogena della Formazione dei Calcarei a Briozoi e Litotamni e del passaggio alle sovrastanti Marne ad *Orbulina* (Formazione di Longano) affioranti presso il Monte Pesco Rosito (Pietraraja – BN). M, *mudstone*; W, *wackestone*; P, *packstone*; G, *grainstone*; F, *floatstone*; R, *rudstone*. I rettangoli di dimensioni variabili indicano l'abbondanza dei costituenti fossili. I punti blu e viola indicano rispettivamente la presenza di specie di foraminiferi e alghe rosse riconosciute in sezione sottile e utili per l'identificazione dell'ambiente deposizionale. Le sigle da C1PR a C5PR indicano i campioni prelevati in cava.

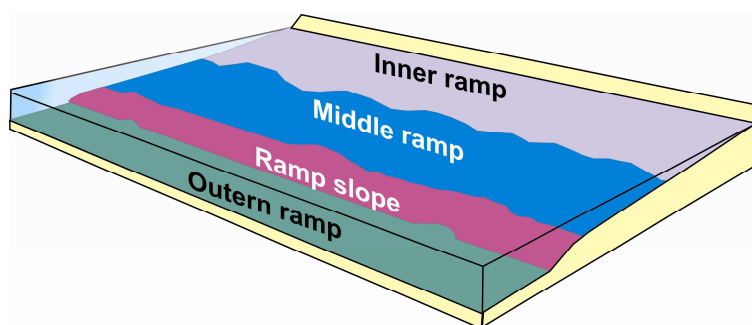
### 5.1.1.5 Determinazione dell'ambiente deposizionale

Dall'osservazione delle sezioni sottili si è risaliti anche all'ambiente deposizionale delle litofacies rinvenute nei diversi punti di campionamento.

La presenza di una specie di alghe rosse piuttosto che di un'altra, l'abbondanza relativa dei Briozoi (organismi abbondanti nella zona fotica ed ottimi filtratori di particolato) rispetto alle alghe rosse, le variazioni morfologiche del guscio delle *Amphistegine* (rapporto T/D, *thickness-diameter* - Brandano *et al.*, 2007) possono infatti fornire informazioni circa la profondità e le condizioni di luce dell'ambiente deposizionale.

Le alghe rosse coralline e in particolare le rodoliti, sono state spesso impiegate come indicatori paleoambientali (Bosence e Pedley, 1982; Braga e Martin, 1988; Braga e Aguirre, 2001; Corda e Brandano, 2003). Tra i principali fattori che limitano la distribuzione di tali alghe, oltre alla temperatura ed alle condizioni di illuminazione, vi è l'energia idrodinamica dell'ambiente deposizionale che ne influenza forma, struttura e distribuzione (Bosence, 1983 a, b; Basso, 1998).

Grazie all'osservazione delle sezioni sottili ed allo studio degli indicatori precedentemente citati, si è potuto ricavare, in collaborazione col dott. Brandano dell'Università di Roma "La Sapienza", che l'ambiente deposizionale è di rampa intermedia per le litofacies affioranti presso i Monti del Matese e presso il sito di Coreno Ausonio, mentre risulta essere leggermente più distale, essenzialmente di rampa esterna prossimale, per il Monte Camposauro (Fig. 5.13).



**Figura 5.13** - Modello di rampa carbonatica con scarpata distale, proposto per gli affioramenti tortoniani di Minorca – Baleari (Pomar *et al.*, 2002, 2005).

Da un paragone tra quanto riscontrato dall'osservazione delle sezioni sottili e quanto riportato in Corda & Brandano (2003), le litofacies dei Monti del Matese e di



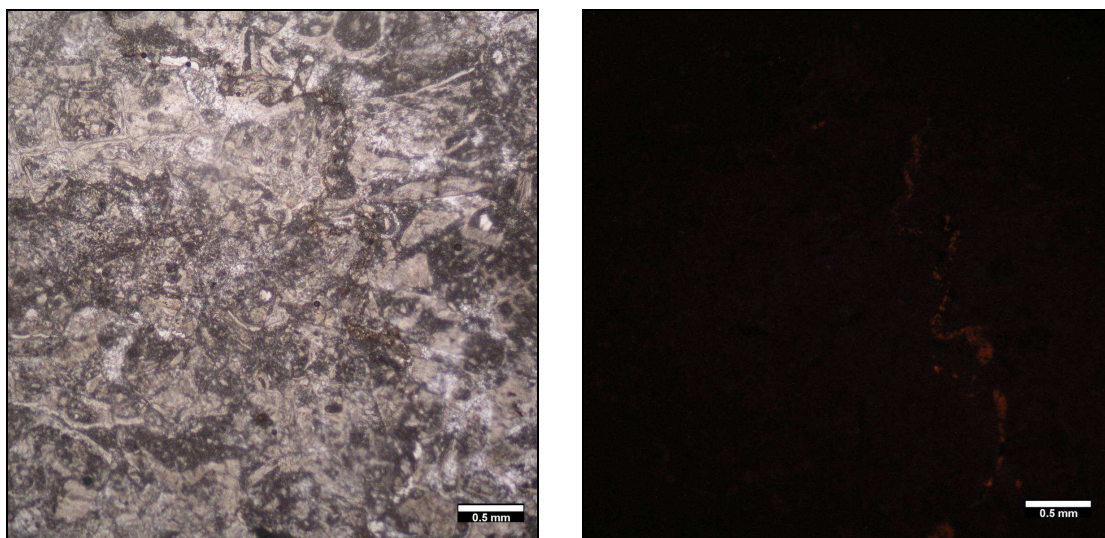
Coreno Ausonio sono risultate infatti riconducibili alla microfacies MF22 mentre quelli dei Monte Camposauro alle microfacies MF16 e MF23, così come descritte nel lavoro di cui sopra.

Va comunque evidenziato però che anche all'interno della stessa litofacies è possibile osservare in pochi centimetri una variazione degli organismi fossili presenti in sezione sottile e della loro abbondanza; ciò è quasi certamente legato ad una momentanea variazione delle condizioni di luce dell'ambiente deposizionale in seguito ad innalzamento del livello del mare o, più probabilmente, ad un aumento della torbidità delle acque (dovuto ad esempio ad un maggiore apporto di nutrienti da parte dei corsi d'acqua continentali).

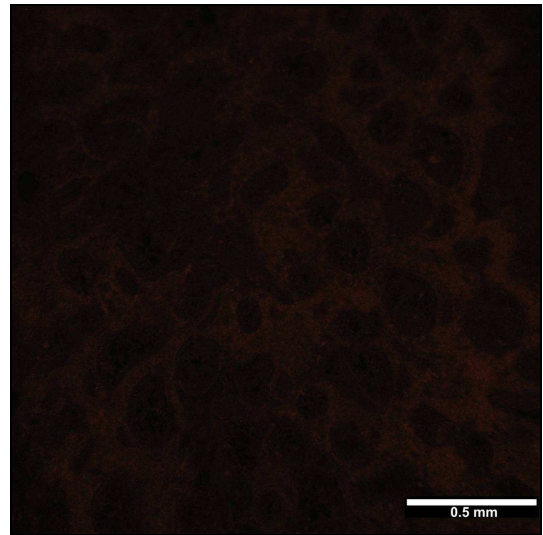
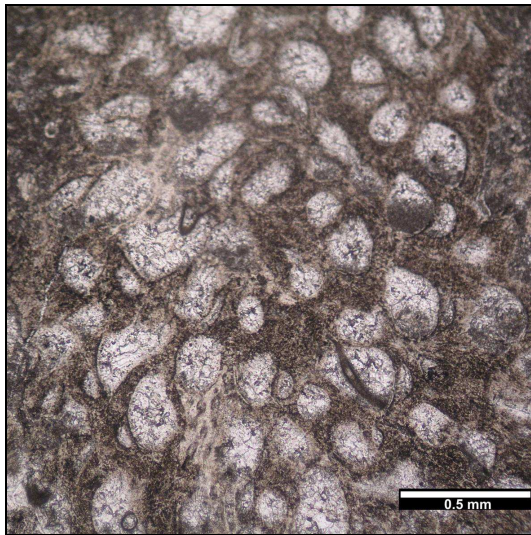
### 5.1.2 Microscopia ottica mediante catodoluminescenza a freddo

Osservazioni in microscopia ottica mediante catodoluminescenza a freddo (CCL) sono state effettuate sui litotipi campionati nei siti di Cava Canale e Monte Pesco Rosito.

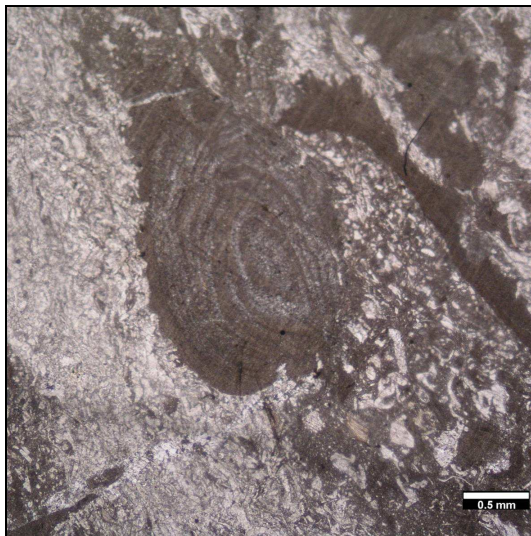
La CCL ha permesso di verificare la presenza di calcite di neoformazione a riempimento delle numerose stiloliti e microfratture che attraversano la roccia (Fig. 5.14) ed ha reso visibili le strutture interne di alcuni costituenti fossili quali ad esempio i setti dei Briozoi (Fig. 5.15a), dei Litotamni (Fig. 5.15b) o di alcuni foraminiferi (Fig. 5.16a ) anche essi riempiti da calcite di neoformazione.



**Figura 5.14** – Stilolite riempita da calcite di cristallizzazione secondaria osservata in sezione sottile e corrispondente immagine in microscopia ottica di catodoluminescenza (C2CA); in parentesi è riportata la sigla del campione a cui le foto fanno riferimento.

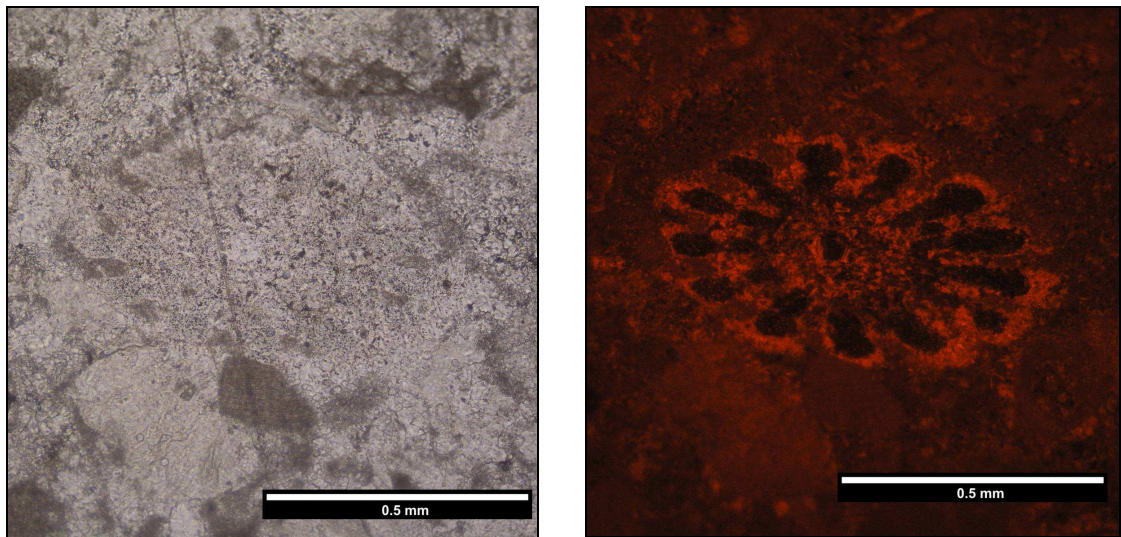


a)

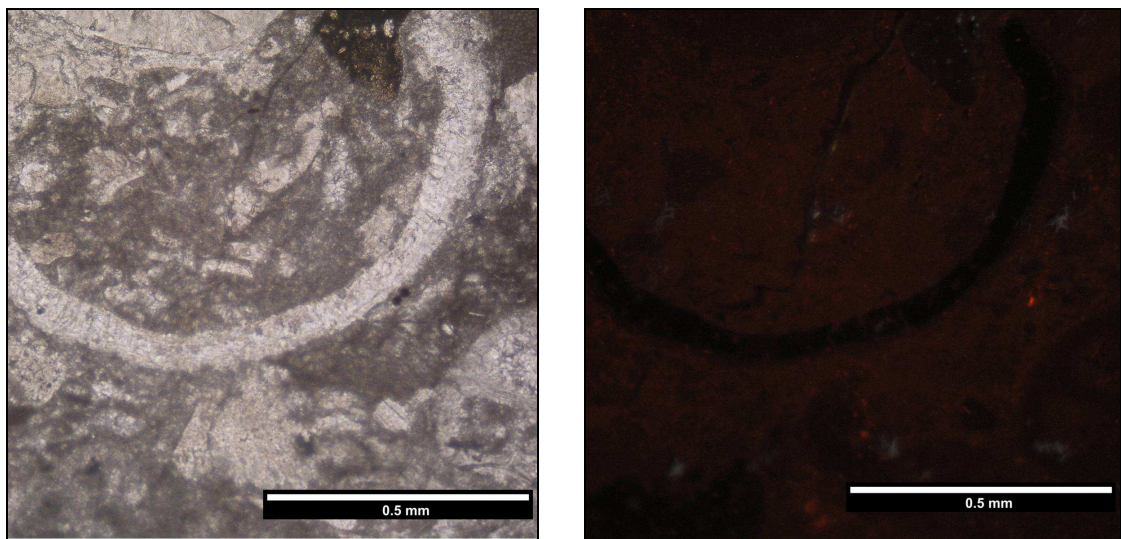


b)

**Figura 5.15** – Principali costituenti biogeni dei CBL osservati in sezione sottile e corrispondente immagine in microscopia ottica di catodoluminescenza; in parentesi è riportata la sigla del campione a cui le foto fanno riferimento: a) Briozoo (C2CA); b) frammento di Alga Rossa Corallina (C4CA).



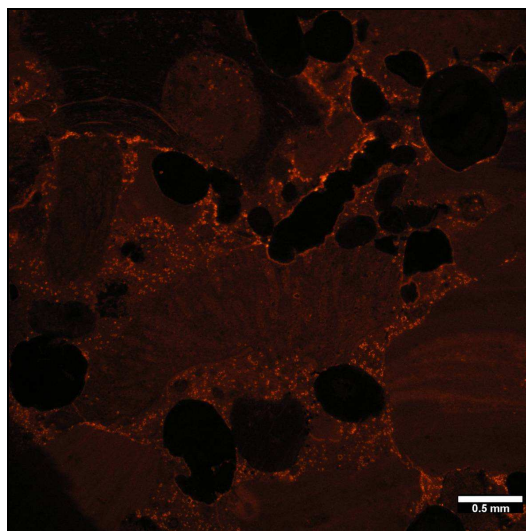
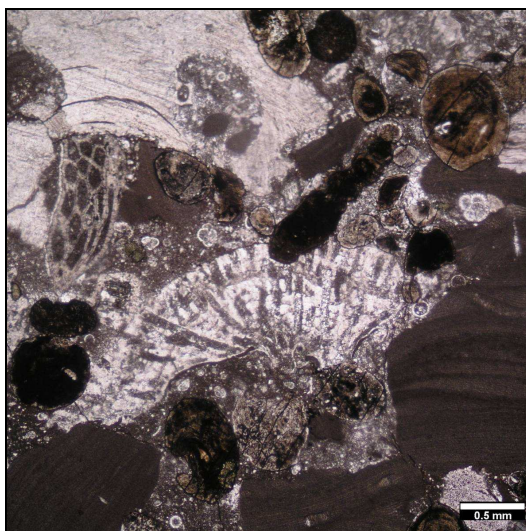
a)



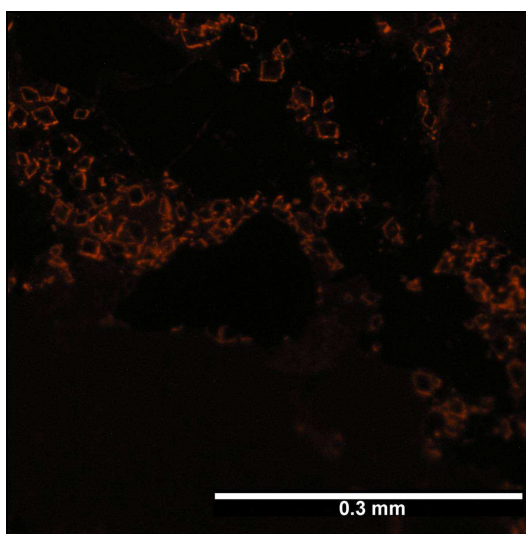
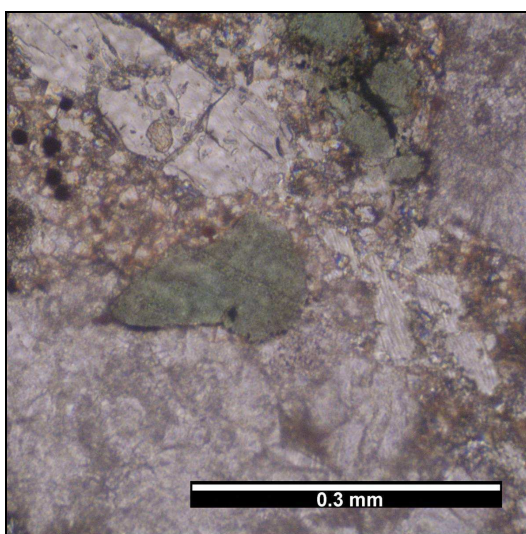
b)

**Figura 5.16** – Principali costituenti biogeni dei CBL osservati in sezione sottile e corrispondente immagine in microscopia ottica di catodoluminescenza; in parentesi è riportata la sigla del campione a cui le foto fanno riferimento: a) aculeo di echinide (C5PR); r) resto di guscio di lamellibranco (C6CC).

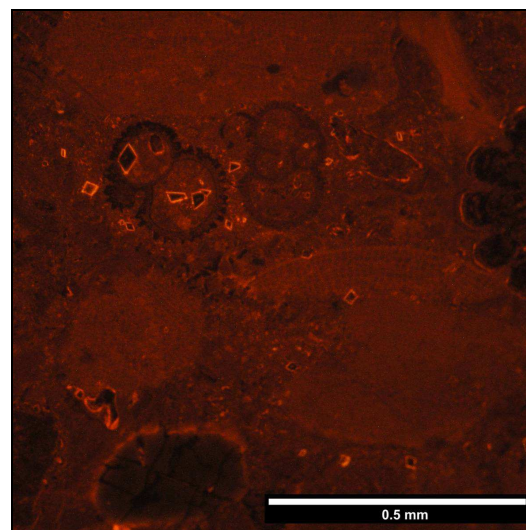
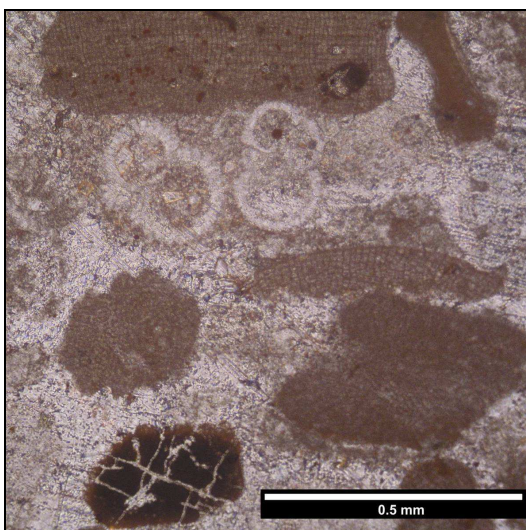
In CCL si è infine potuta apprezzare la presenza di cristalli di dolomite (dal caratteristico aspetto romboidale) ed elementi fosfatizzati, quali ad esempio *fecal pellets* (dal tipico colore scuro) nei campioni prelevati presso il sito di Monte Pesco Rosito al passaggio tra la formazione di Cusano e la formazione di Longano.



a)



b)



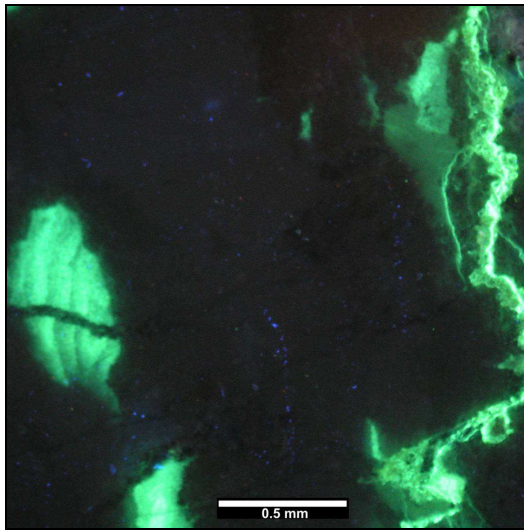
c)

**Figura 5.17** – Passaggio tra la formazione di Cusano e la Formazione di Longano (Monte Pesco Rosito) osservato in sezione sottile e corrispondente immagine in microscopia ottica di catodoluminescenza; in parentesi è riportata la sigla del campione a cui le foto fanno riferimento: a) Coproliti fosfatiche e bioclasti provenienti dallo smantellamento dei CBL, presenza di cristalli di Dolomite nella matrice (C1PR); b) Granuli di Glauconite e cristalli di dolomite nella matrice (C1PR); c) *Fecal pellets* e foraminiferi planctonici fosfatizzati, presenza di cristalli di Dolomite nella matrice (C3PR).

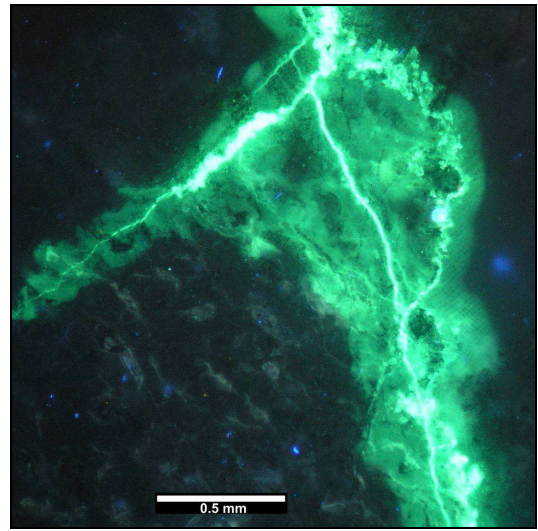
### 5.1.3 Microscopia ottica per lo studio della porosità

La microscopia ottica con sorgente di raggi UV ha permesso lo studio della porosità dei campioni prelevati presso Cava Canale in accordo con la classificazione proposta da Choquette e Pray nel 1970. Tale porosità è risultata *non fabric-selective* tipo *fracture* (FR) per tutti i litotipi analizzati. Essa è legata alla presenza di giunti stilolitici (Fig. 5.18a-b) e di microfratture, sviluppatasi in alcuni casi anche lungo i bordi di gusci di lamellibranchi (Fig. 5.18c). Oltre alla porosità tipo *fracture*, nella Mezza Perla (Fig. 5.19d) si è osservata anche una porosità *fabric-selective* tipo  *moldic* (MO) conseguente alla dissoluzione di un guscio di lamellibranco, mentre nel Risatino anche una porosità *intraparticle* (WP), sviluppata prevalentemente all'interno dei setti dei principali costituenti fossili quali Briozoi (Fig.5.19a-b) e Litotamni (Fig. 5.18d- 5.19b-c).

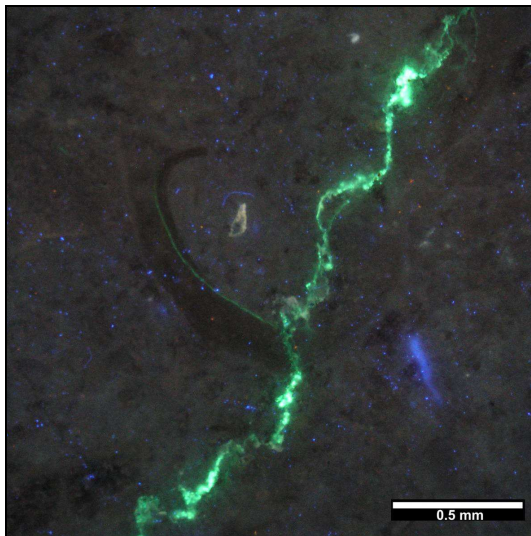
Dal confronto tra i dati della CCL e quelli ricavati con la microscopia di fluorescenza è inoltre possibile desumere che non tutte le fratture o le stiloliti e non tutti i setti dei costituenti fossili sono riempiti di calcite di neoformazione. Alcuni di questi elementi infatti sono risultati permeabili alle resine fluorescenti, il che significa che potrebbero essere vuoti.



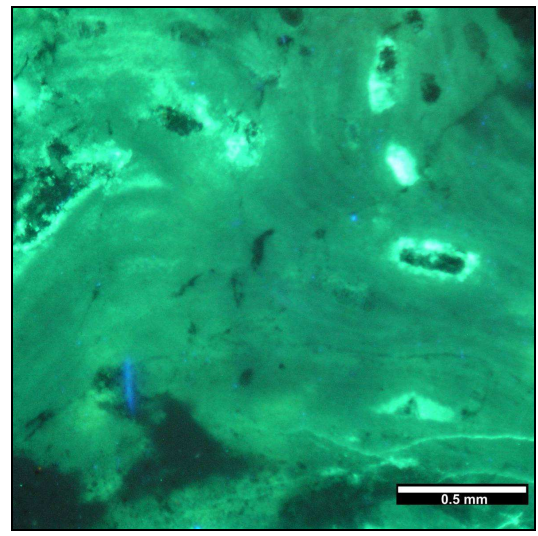
a)



b)

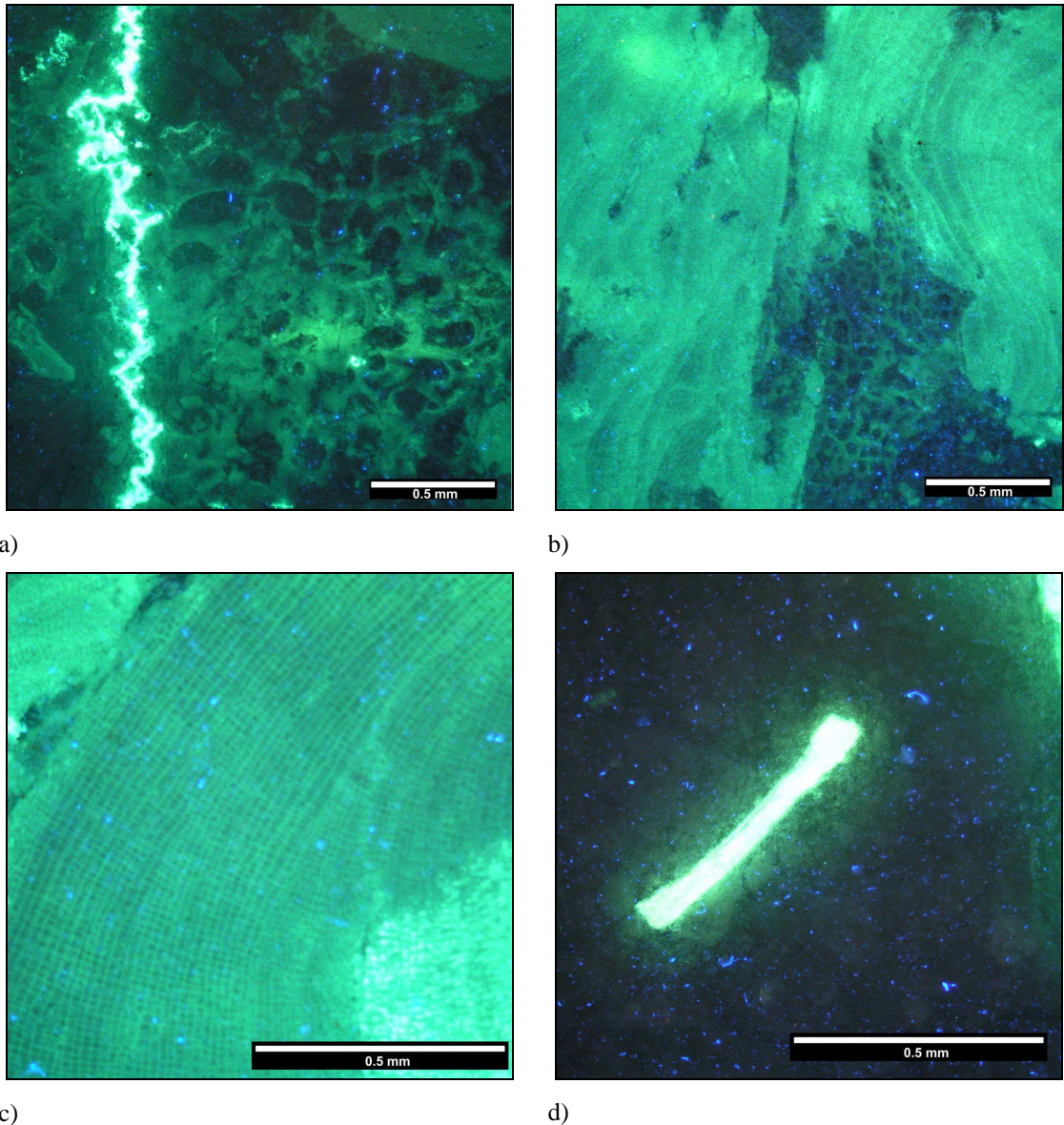


c)



d)

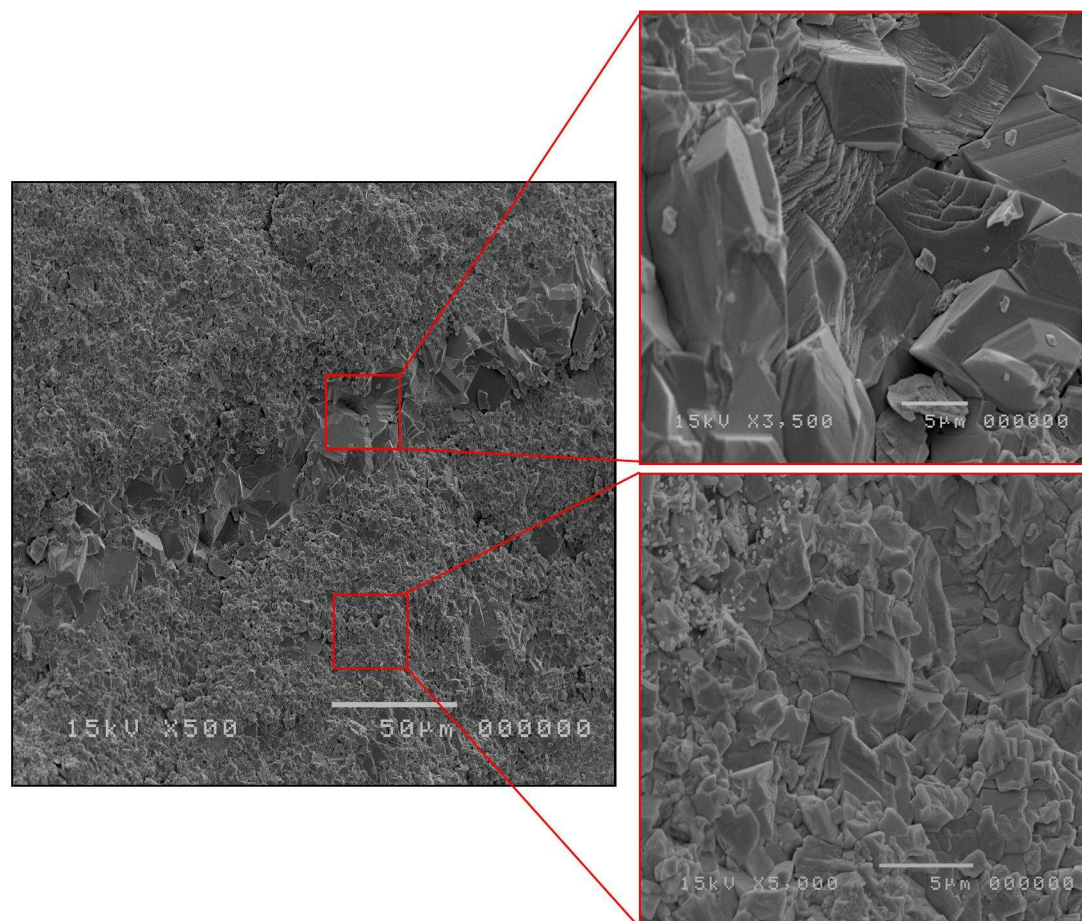
**Figura 5.18** - Sezioni sottili di CBL osservati in microscopia ottica con sorgente di raggi UV; in parentesi sono indicate il tipo di porosità e litofacies a cui le foto fanno riferimento: a) Stilolite e frammento di Alga Rossa Corallina (*Fracture* ed *Intraparticle porosity* - Perlatino); b) Stilolite (*Fracture* - Risatino); c) Stilolite e microfattura sviluppatasi lungo i bordi di un frammento di Lamellibranco (*Fracture* - Botticino); d) Frammenti di Alghes Rosse Coralline (*Intraparticle porosity*- Risatino).



**Figura 5.19** - Sezioni sottili di CBL osservati in microscopia ottica con sorgente di raggi UV; in parentesi sono indicate il tipo di porosità e litofacies a cui le foto fanno riferimento: a) Stilolite che taglia un frammento di Briozoo (*Fracture* ed *Intraparticle porosity* - Risatino); b) Briozoi e Alghe Rosse Coralline (*Intraparticle porosity* - Risatino); c) Dettaglio di Alga Rossa Corallina con visibili celle (*Intraparticle porosity* - Risatino); d) Frammento di lamellibranco (*Moldic porosity* – Mezza perla).

#### 5.1.4 Microscopia elettronica a scansione (SEM)

Le osservazioni in microscopia elettronica a scansione (Fig. 5.20) hanno permesso di confermare la presenza di fratture riempite di calcite di neoformazione come già verificato dalle osservazioni in microscopia ottica mediante catodoluminescenza a freddo.



**Figura 5.20** - Micrografia al SEM: frattura riempita di calcite di neoformazione.

### 5.1.5 Diffrazione ai raggi X (XRD)

L'analisi mineralogica quantitativa è stata realizzata su tutti i campioni *tal quale* utilizzando la metodologia RIR (*Reference Intensity Ratio*) (Tab. 5.2 - 5.3 - 5.4 - 5.5) e solo su alcuni di essi, a titolo di esempio, mediante la metodologia di raffinamento Rietveld (Tab. 5.6).

**Tabella 5.2** – Analisi mineralogiche quantitative (%) dei litotipi campionati presso Cava Canale (BN) ottenute con la tecnica RIR.

Cava Canale				
Litofacies	Sigla	Quarzo (%)	Calcite (%)	Totale (%)
Perlato	C11CC	1 ± 1	101 ± 3	102 ± 4
Mezza Perla	C8CC	1 ± 1	99 ± 2	100 ± 3
	C10CC	1 ± 1	98 ± 2	99 ± 3
Perlatino	C7CC	1 ± 1	99 ± 2	100 ± 3
	C9CC	1 ± 1	102 ± 3	103 ± 4
Botticino	AD	1 ± 1	97 ± 2	98 ± 3
Conchigliato	C6CC	1 ± 1	97 ± 2	98 ± 3



**Tabella 5.3** – Analisi mineralogiche quantitative (%) dei litotipi campionati presso Coreno Ausonio (FR) ottenute con la tecnica RIR.

<b>Coreno Ausonio</b>				
<b>Litofacies</b>	<b>Sigla</b>	<b>Quarzo (%)</b>	<b>Calcite (%)</b>	<b>Totale (%)</b>
Perlato	C1CA	1 ± 1	98 ± 2	99 ± 3
	C5CA	1 ± 1	97 ± 2	98 ± 3
	C6CA	1 ± 1	98 ± 2	99 ± 3
Mezza Perla	C3CA	1 ± 1	100 ± 3	101 ± 4
	C8CA	1 ± 1	99 ± 2	100 ± 3
	C15CA	1 ± 1	99 ± 2	100 ± 3
Perlatino	C4CA	1 ± 1	100 ± 3	101 ± 4
	C9CA	1 ± 1	102 ± 3	103 ± 4
	C10CA	1 ± 1	101 ± 3	102 ± 4
Botticino	C2CA	1 ± 1	101 ± 3	102 ± 4
Risatino	C12CA	1 ± 1	99 ± 2	100 ± 3
	C16CA	1 ± 1	102 ± 3	103 ± 4
Nocciolato	NCA	1 ± 1	98 ± 2	99 ± 3
Conchigliato	C7CA	1 ± 1	97 ± 2	98 ± 3
Svirgolato	C11CA	1 ± 1	98 ± 2	99 ± 3
NC	C13CA	1 ± 1	101 ± 3	102 ± 4
	C14CA	1 ± 1	101 ± 3	102 ± 4

**Tabella 5.4** – Analisi mineralogiche quantitative (%) dei litotipi campionati presso Monte Camposauro (BN) ottenute con la tecnica RIR.

<b>Monte Camposauro</b>			
<b>Sigla</b>	<b>Quarzo (%)</b>	<b>Calcite (%)</b>	<b>Totale (%)</b>
C1MC	1 ± 1	101 ± 3	102 ± 4
C2MC	1 ± 1	102 ± 3	103 ± 4
C3MC	1 ± 1	97 ± 2	98 ± 3
C4MC	1 ± 1	98 ± 2	99 ± 3
C8FT	1 ± 1	96 ± 2	97 ± 3
C10FT	1 ± 1	99 ± 2	100 ± 3

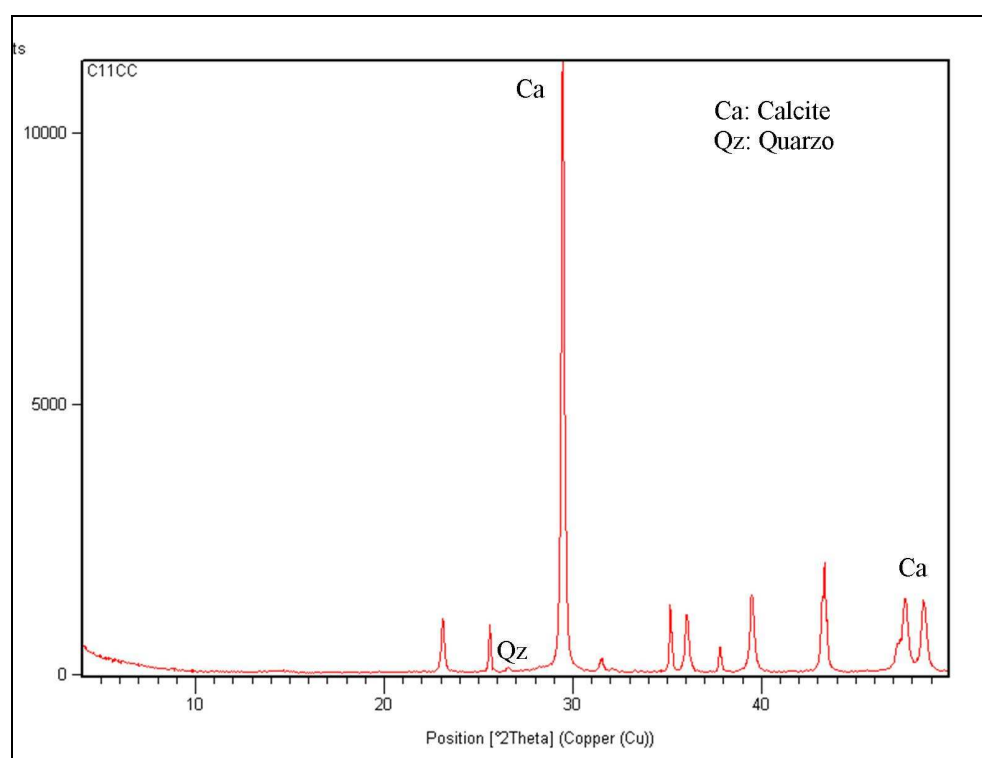
**Tabella 5.5** – Analisi mineralogiche quantitative (%) dei litotipi campionati presso Pesco Rosito (BN) ottenute con la tecnica RIR.

<b>Pesco Rosito</b>					
<b>Litofacies</b>	<b>Sigla</b>	<b>Quarzo (%)</b>	<b>Calcite (%)</b>	<b>Dolomite (%)</b>	<b>Totale (%)</b>
Cus – Lon	C1PR	1 ± 1	86 ± 2	1 ± 1	88 ± 4
	C2PR	1 ± 1	83 ± 2	1 ± 1	85 ± 4
	C3PR	1 ± 1	85 ± 2	1 ± 1	87 ± 4
	C4PR	1 ± 1	100 ± 2	-	100 ± 3
Mezza Perla	C5PR	1 ± 1	103 ± 3	-	103 ± 4

**Tabella 5.6** – Analisi mineralogiche quantitative (%) ottenute con la tecnica Rietveld.

Litofacies	Cava Canale			Coreno Ausonio				Pesco Rosito
	Mezza Perla	Perlatino	Botticino	Perlato	Mezza Perla	Botticino	Nocciolato	Mezza Perla
Sigla	C8CC	C7CC	AD	C1CA	C3CA	C2CA	NC	C5PR
Calcite (%)	93,6	92,6	92,9	92,6	93,3	88,7	92,4	93,5
Quarzo(%)	0,9	0,9	0,9	1,1	1,0	1,0	0,9	0,8
Calcite magnesiaca (%)	3,1	2,7	6,2	3,5	3,5	7,5	6,7	3,2
Albite (%)	2,3	2,8	-	2,8	2,2	2,8	-	2,5
Biotite (%)	-	0,9	-	-	-	-	-	-
Caolinite (%)	-	0,1	-	-	-	-	-	-
tot (%)	100	100	100	100	100	100	100	100
tot carbonati (%)	96,8	95,4	99,1	96,1	96,9	96,2	99,1	96,8

Come si può evincere dai risultati riportati nelle tabelle 5.2, 5.3, 5.4, la fase prevalente risulta essere la calcite, sempre superiore al 96% in peso, seguita dal quarzo presente in tenori prossimi all'1%. A titolo d'esempio in figura 5.21 è riportato un diffrattogramma per un campione di Perlato proveniente da Cava Canale (BN).



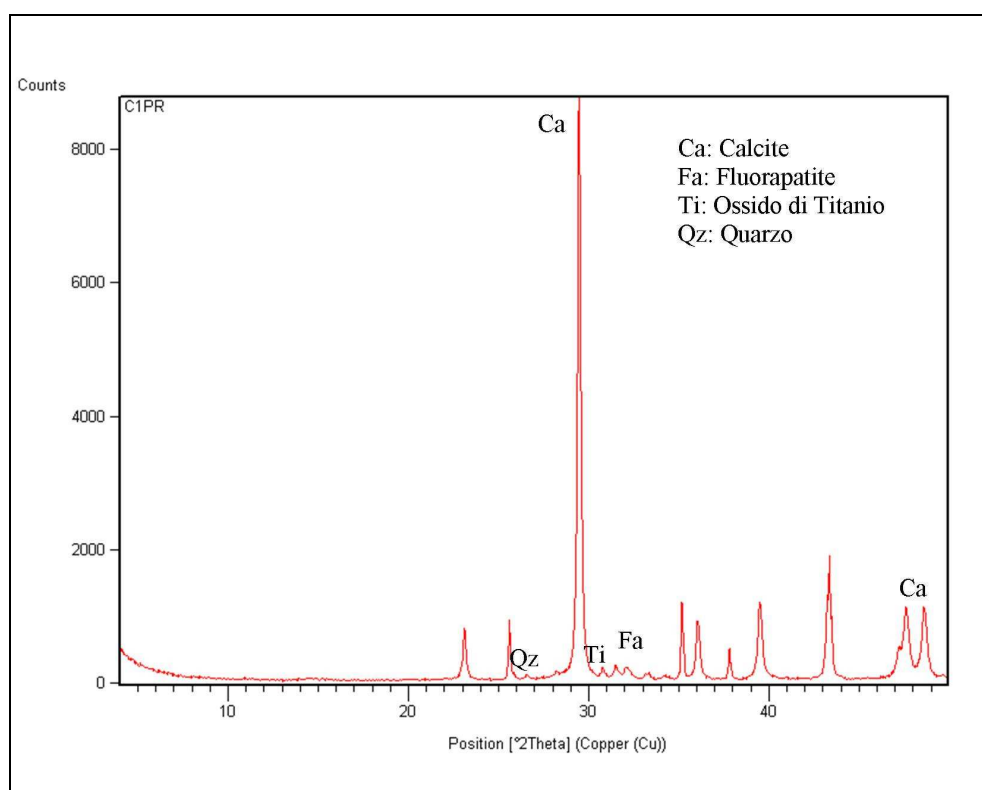
**Figura 5.21** – Diffrattogramma tipo del campione tal quale (C11CC).

Le indagini quantitative in diffrazione RX effettuate sui campioni prelevati nella cava di Monte Pesco Rosito (BN) (Tab. 5.5) mostrano, al passaggio tra la Formazione di Cusano e la Formazione di Longano, percentuali inferiori di calcite (83-

86%) e piccole percentuali di dolomite e quarzo. Sono inoltre presenti in questo livello ossido di titanio e fluorapatite stimabili solo da un punto di vista qualitativo (Fig. 5.22).

Presenza di fluorapatite è stata documentata anche da Taddeucci (1967) per livelli analoghi nel Lazio Meridionale.

Inoltre l'interpretazione dei diffrattogrammi con la metodologia di raffinamento Rietveld (Tab. 5.6) ha permesso di completare le conoscenze sulle fasi che costituiscono questi calcari e di valutare le percentuali di fasi quali calcite magnesiaca, albite, biotite e caolinite.

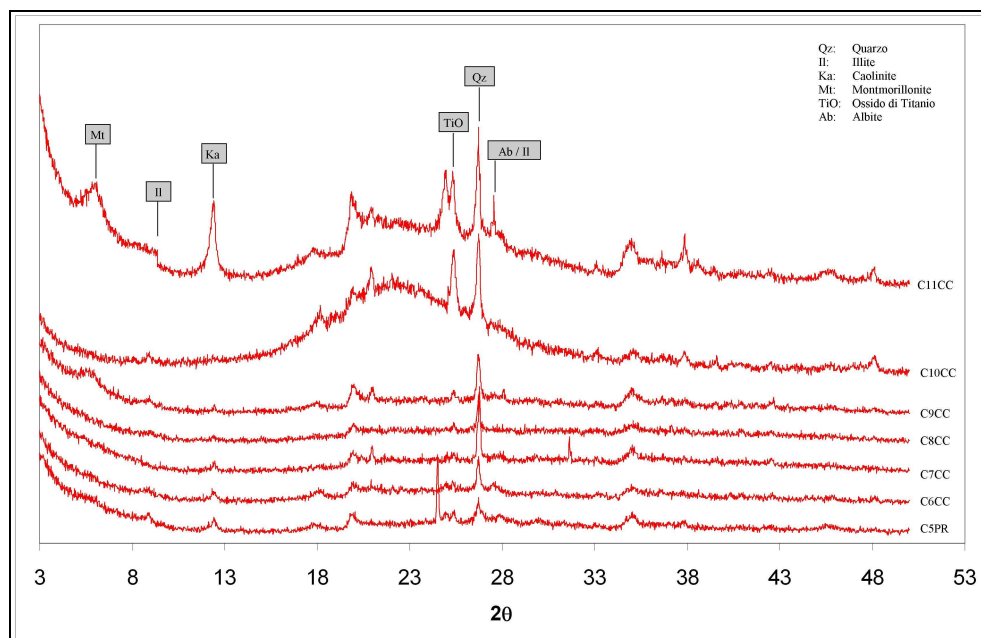


**Figura 5.22** – Diffrattogramma del campione C1PR prelevato al passaggio tra la Formazione di Cusano e la Formazione di Longano sul Monte Pesco Rosito.

Sul residuo insolubile, dati i ridotti quantitativi di materiale ottenuti dopo l'attacco con HCl, inferiori all'1%, non è stato possibile effettuare analisi mineralogiche quantitative. Le indagini in diffrattometria a raggi X (Fig. 5.23) hanno comunque consentito di riconoscere la presenza di fasi quali: quarzo, caolinite, illite ed in pochi casi anche ossido di titanio e feldspato (Tab. 5.7).

**Tabella 5.7** – Analisi mineralogiche qualitative del residuo insolubile.

	Cava Canale						Pesco Rosito	Mt. Camposauro
Sigla	C11CC	C8CC	C10CC	C7CC	C9CC	C6CC	C5PR	C8FT
Facies	Perlato	Mezza Perla	Mezza Perla	Perlatino	Perlatino	Conchigliato	Mezza Perla	-
%	0,33	0,14	0,27	0,18	0,2	0,27	0,13	0,14
Qz	x	x	x	x	x	x	x	x
Mt	x			x	x			x
Kao	x	x		x	x	x	x	x
Il	x	x	x		x	x	x	x
TiO	x		x					
Ab	x	x		x		x	x	



**Figura 5.23** – Diffrattogrammi dei residui insolubili dei campioni prelevati presso Cava Canale e Monte Pesco Rosito.

### 5.1.6 Analisi chimiche in spettrometria di fluorescenza (XRF) e calcinazione

I risultati delle analisi chimiche in XRF effettuate sui materiali provenienti dalle aree oggetto di studio sono riportati nelle tabelle 5.8 – 5.9 – 5.10 – 5.11.

La composizione chimica delle litofacies analizzate nei diversi siti di campionamento risulta perlopiù omogenea. Anche per quanto concerne gli elementi minori non si osservano differenze sostanziali tra i diversi siti di campionamento.

Per tutti i campioni, infatti, i valori percentuali di CaO sono risultati compresi tra il 53,59 e il 57,66 %, quelli di SiO<sub>2</sub> oscillano tra lo 0,27 e lo 0,99%, mentre quelli di MgO variano tra lo 0,43 e l'1,49%.

Come confermato dalle bassissime quantità di residuo insolubile, l'Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> è al limite della variabilità strumentale e pertanto non è risultato dosabile con il metodo utilizzato (ND).

**Tabella 5.8** – Analisi chimiche dei litotipi campionati nel sito di Cava Canale (BN). La sigla ND sta ad indicare che l'ossido dell'elemento in questione non è dosabile col metodo utilizzato.

Cava Canale – elementi maggiori (%)													
Litofacies	Sigla	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI	TOT
Perlato	C11CC	0,73	0,02	ND	0,12	0,01	0,65	54,5	0,05	0,05	0,62	43,79	100,54
Mezza Perla	C8CC	0,5	0,02	ND	0,08	0,01	0,49	57,83	0,04	0,05	0,09	44,41	103,52
	C10CC	0,39	0,02	ND	0,05	0,01	0,45	54,02	0,04	0,04	1,42	42,99	99,43
Perlatino	C7CC	0,29	0,01	ND	0,04	0,01	0,49	58,1	0,04	0,02	0,19	44,16	103,35
	C9CC	0,39	0,01	ND	0,05	0,01	0,46	55,35	0,03	0,03	0,09	44,21	100,63
Botticino	AD	0,65	0,02	ND	0,1	0,01	0,76	53,91	0,08	0,06	0,21	43,7	99,5
Risatino	E	0,44	0,02	ND	0,09	0,01	0,73	53,59	0,05	0,03	0,1	43,96	99,02
Conchigliato	C6CC	0,27	0,01	ND	0,03	0,01	0,59	55,4	0,05	0,02	0,15	44,28	100,81

Cava Canale – tracce (ppm)							
Litofacies	Sigla	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Th
Perlato	C11CC	7,4	355,9	3,5	5,9	ND	13,1
Mezza Perla	C8CC	10,8	331,1	2,4	ND	ND	29,7
	C10CC	5,2	261,4	3,4	5,2	ND	12,8
Perlatino	C7CC	8	357,2	3,2	0,3	ND	25,2
	C9CC	8,7	344	1	ND	ND	20,7
Botticino	AD	13,1	353,9	0,9	13,9	0,2	-
Risatino	E	12,4	300,7	3,5	14,4	1,5	-
Conchigliato	C6CC	4,3	347,4	3,9	3,4	ND	11,9

**Tabella 5.9** – Analisi chimiche dei litotipi campionati nel sito di Coreno Ausonio (FR). La sigla ND sta ad indicare che l'ossido dell'elemento in questione non è dosabile col metodo utilizzato.

Coreno Ausonio – elementi maggiori (%)													
Litofacies	Sigla	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI	TOT
Perlato	C1CA	0,5	0,02	ND	0,04	0,01	0,49	55,98	0,04	0,02	0,13	43,98	101,2
	C6CA	0,41	0,01	ND	0,03	0,01	0,87	54,88	0,04	0,02	0,08	44,3	100,65
Mezza Perla	C3CA	0,58	0,02	ND	0,05	0,01	0,58	54,16	0,04	0,03	0,12	43,93	99,52
	C15CA	0,39	0,01	ND	0,05	0	0,81	57,85	0,03	0,02	0,1	44,17	103,43
Perlatino	C10CA	0,49	0,02	ND	0,05	0,01	1,04	54,73	0,07	0,04	0,15	44,02	100,62
	C9CA	0,56	0,01	ND	0,04	0,01	1	57,76	0,04	0,04	0,13	43,99	103,58
Botticino	C2CA	0,49	0,01	ND	0,03	0,01	0,71	54,66	0,03	0,02	0,09	43,94	99,99
Risatino	C12CA	0,44	0,01	ND	0,05	0	1,07	57,33	0,05	0,03	0,1	43,98	103,06
	C16CA	0,61	0,02	ND	0,05	0,01	0,89	54,22	0,04	0,03	0,1	44,07	100,04
Conchigliato	C7CA	0,41	0,01	ND	0,03	0,01	0,84	55,85	0,03	0,02	0,11	43,93	101,24
Svirgolato	C11CA	0,36	0,01	ND	0,03	0	1,07	57,62	0,05	0,02	0,11	43,84	103,11
Nocciolato	NCA	0,54	0,01	ND	0,09	0,01	1,49	53,81	0,08	0,06	0,15	43,76	100
NC	C13CA	0,37	0,02	ND	0,04	0,01	1,08	54,38	0,04	0,01	0,14	43,89	99,98
	C14CA	0,51	0,02	ND	0,05	0,01	1,02	52,9	0,04	0,04	0,13	44,16	98,88

Coreno Ausonio – tracce (ppm)							
Litofacies	Sigla	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Th
Perlato	C1CA	6,2	305,3	3,8	1	ND	15,7
	C6CA	ND	369,8	5,5	1,8	ND	4,4
Mezza Perla	C3CA	ND	325	3,5	2,5	ND	5
	C15CA	5,6	396,3	3	ND	ND	22,5
Perlatino	C10CA	ND	495,2	4,6	3,3	ND	2,7
	C9CA	ND	467,6	3,9	ND	ND	28,2
Botticino	C2CA	2,4	313,8	5	3,2	ND	5,9
Risatino	C12CA	2,9	1212,1	ND	3,2	ND	17
	C16CA	3,8	399,7	3	3,6	ND	9,1
Conchigliato	C7CA	7,3	378,9	0,5	0,8	ND	20,2
Svirgolato	C11CA	6,4	684,2	3,4	ND	ND	23,2
Nocciolato	NCA	15	436,8	2,1	11,3	0,5	-
NC	C13CA	ND	629,4	3,7	5,9	ND	ND
	C14CA	ND	610,9	2,6	6,2	ND	ND

**Tabella 5.10** – Analisi chimiche dei litotipi campionati nel sito di Pesco Rosito (BN). La sigla ND sta ad indicare che l'ossido dell'elemento in questione non è dosabile col metodo utilizzato.

Pesco Rosito – elementi maggiori (%)													
Litofacies	Sigla	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI	TOT
Cus-Lon	C1PR	0,83	0,02	ND	0,51	0,02	0,97	51,83	0,09	0,08	2,79	40,84	97,98
Mezza Perla	C5PR	0,28	0,01	ND	0,03	0,02	0,43	55,67	0,03	0,02	0,11	44,37	100,97

Pesco Rosito – tracce (ppm)							
Litofacies	Sigla	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Th
Cus - Lon	C1PR	5,6	477,8	25,7	17,2	ND	9,4
Mezza Perla	C5PR	5,3	201,9	2,5	0,2	ND	12,8

**Tabella 5.11** – Analisi chimiche dei litotipi campionati nel sito di Monte Camposauro (BN). La sigla ND sta ad indicare che l'ossido dell'elemento in questione non è dosabile col metodo utilizzato.

Monte Camposauro – elementi maggiori (%)												
Sigla	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI	TOT
C1MC	0,99	0,02	0,01	0,11	0	0,7	57,66	0,03	0,07	0,1	43,97	103,66
C2MC	0,41	0,02	ND	0,05	0,01	0,62	55,55	0,03	0,02	0,1	44,05	100,86
C3MC	0,47	0,02	ND	0,04	0	0,66	54,61	0,04	0,04	0,1	44,11	100,09
C4MC	0,39	0,02	ND	0,04	0	0,66	55,54	0,03	0,02	0,09	44,08	100,87
C8FT	0,31	0,01	ND	0,03	0,01	0,69	55,22	0,03	0,02	0,09	43,99	100,4

Monte Camposauro – tracce (ppm)							
Sigla	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Th	
C1MC	10,7	440	6,3	4,8	ND	27,5	
C2MC	4,5	430,6	4,9	4,7	ND	11	
C3MC	3,1	518,3	3,8	4,2	ND	10,1	
C4MC	4,7	439,4	4,7	5,1	ND	9,5	
C8FT	3,2	393,9	2,6	3,5	ND	9,1	

La concentrazione di P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> è risultata più bassa nei campioni di Monte Camposauro (0,09 - 0,1 %) Coreno Ausonio (0,09 – 0,15 %) e Pesco Rosito (0,11%) rispetto ai campioni di Cava Canale (0,1 – 0,76 %).

Il valore di P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> misurato al passaggio tra la formazione di Cusano e la formazione di Longano presso il Monte Pesco Rosito è risultato elevato e pari al 2,79% a conferma dei risultati ottenuti in diffrazione RX che evidenziavano la presenza di fluorapatite.

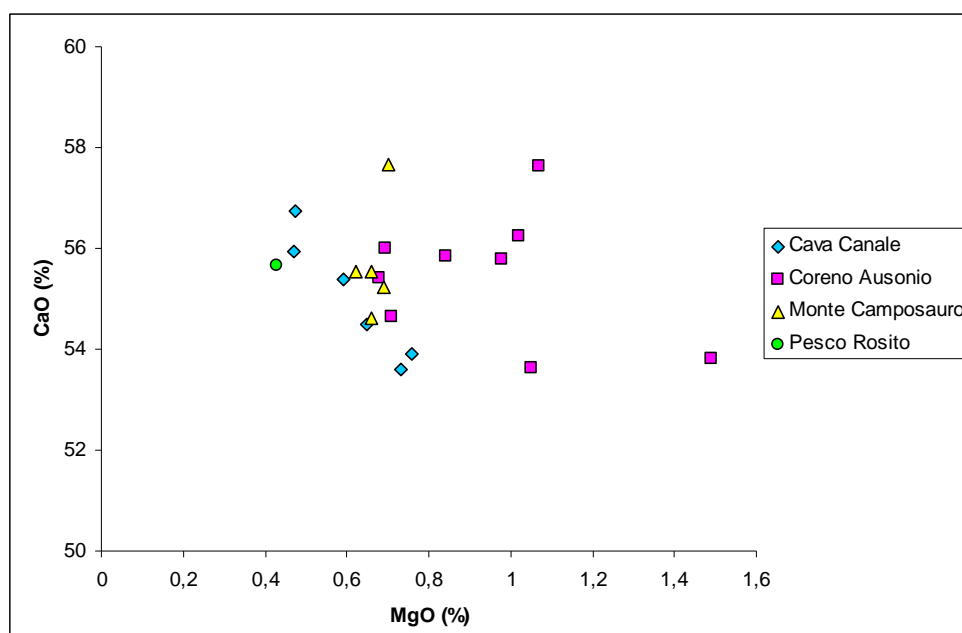
Tra gli elementi in traccia non si riscontrano sostanziali differenze tra i vari affioramenti tranne che per le concentrazioni di Sr, che risultano essere più elevate per i campioni prelevati presso Coreno Ausonio (305,3 - 1212,1 ppm) e Monte Camposauro

(393,9 - 518,3 ppm) che non per i campioni prelevati nei siti di Cava Canale (261,4–357,2 ppm) e Monte Pesco Rosito (201,9 ppm).

Allo scopo di verificare la presenza di eventuali *markers* chimici tra i campioni provenienti dalle diverse cave (Lazzarini, 2004), sono state verificate le eventuali correlazioni degli elementi determinati.

L'utilizzo dei dati chimici come discriminante è comunque risultato limitato a causa dell'omogeneità composizionale dei campioni prelevati.

È stato però osservato (Fig. 5.24) che i campioni di Cava Canale ed il campione di Pesco Rosito mostrano concentrazioni di MgO più basse rispetto ai campioni di Coreno Ausonio e Monte Camposauro, con i campioni di Monte Camposauro che si collocano in una zona intermedia.



**Figura 5.24** – Concentrazioni di MgO e CaO per i siti analizzati.

Questo dato trova conferma anche nelle analisi mineralogiche quantitative della tabella 5.6 (metodologia Rietveld) che hanno consentito la stima della calcite magnesiacca in percentuali comprese tra 2,7 e 6,2% per Cava Canale, tra 3,5 e 7,5% per Coreno Ausonio e pari a 3,2% per Pesco Rosito (Tab. 5.6).

Anche i calcoli stechiometrici, realizzati a partire dai dati ottenuti in spettrometria di fluorescenza, nell'ipotesi che tutto l'MgO si concentri nella calcite magnesiacca, hanno confermato questo risultato (Tab. 5.12 – 5.13 – 5.14 – 5.15; Fig. 5.25).



**Tabella 5.12** – Concentrazioni di calcite e calcite magnesiaca (%) stimate su base stechiometrica per i campioni di Cava Canale (BN). R.I. = residuo insolubile.

<b>Cava Canale</b>					
<b>Litofacies</b>	<b>Sigla</b>	<b>Calcite (%)</b>	<b>Calcite magnesiaca (%)</b>	<b>Totale carbonati (%)</b>	<b>R.I. (%)</b>
Perlato	C11CC	94,79	2,95	97,74	2,26
Mezza Perla	C8CC	95,97	2,11	98,08	1,92
	C10CC	96,31	2,08	98,39	1,61
Perlatino	C7CC	96,73	2,11	98,84	1,16
	C9CC	96,60	2,08	98,68	1,32
Botticino	AD	95,22	3,51	98,73	1,27
Risatino	E	95,55	3,40	98,95	1,05
Conchigliato	C6CC	96,06	2,66	98,72	1,28

**Tabella 5.13** – Concentrazioni di calcite e calcite magnesiaca stimate su base stechiometrica per i campioni di Coreno Ausonio (FR). R.I. = residuo insolubile.

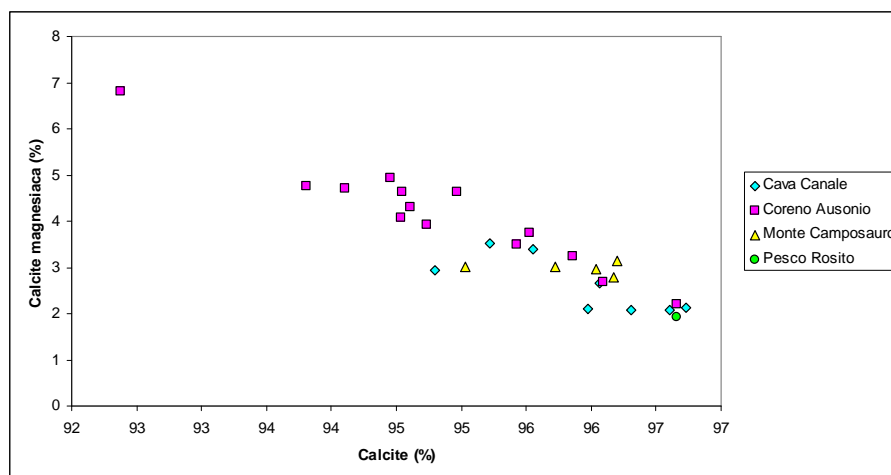
<b>Coreno Ausonio</b>					
<b>Litofacies</b>	<b>Sigla</b>	<b>Calcite (%)</b>	<b>Calcite magnesiaca (%)</b>	<b>Totale carbonati (%)</b>	<b>R.I. (%)</b>
Perlato	C1CA	96,66	2,19	98,85	1,15
	C6CA	94,73	3,93	98,66	1,34
Mezza Perla	C3CA	96,09	2,68	98,77	1,23
	C15CA	95,43	3,49	98,92	1,08
Perlatino	C9CA	94,61	4,30	98,91	1,09
	C10CA	94,10	4,71	98,81	1,19
Botticino	C2CA	95,86	3,25	99,11	0,89
Risatino	C12CA	94,55	4,64	99,19	0,81
	C16CA	94,54	4,07	98,61	1,39
Conchigliato	C7CA	95,53	3,76	99,29	0,71
Svirgolato	C11CA	94,97	4,64	99,61	0,39
Nocciolato	NCA	92,38	6,82	99,20	0,80
N.C.	C13CA	94,45	4,94	99,40	0,60
	C14CA	93,81	4,76	98,57	1,43

**Tabella 5.14** – Concentrazioni di calcite e calcite magnesiaca stimate su base stechiometrica per i campioni del Monte Camposauro (BN). R.I. = residuo insolubile.

<b>Monte Camposauro</b>					
<b>Sigla</b>	<b>Calcite (%)</b>	<b>Calcite magnesiaca (%)</b>	<b>Totale carbonati (%)</b>	<b>R.I. (%)</b>	
C1MC	95,03	3,01	98,04	1,96	
C2MC	96,18	2,79	98,97	1,03	
C3MC	95,72	3,01	98,74	1,26	
C4MC	96,04	2,97	99,02	0,98	
C8FT	96,20	3,13	99,34	0,66	

**Tabella 5.15** – Concentrazioni di calcite e calcite magnesiaca stimate su base stechiometrica per i campioni di Pesco Rosito (BN). R.I. = residuo insolubile.

<b>Pesco Rosito</b>					
<b>Litofacies</b>	<b>Sigla</b>	<b>Calcite (%)</b>	<b>Calcite magnesiaca (%)</b>	<b>Totale carbonati (%)</b>	<b>R.I. (%)</b>
Mezza Perla	C5PR	96,66	1,93	98,59	1,41



**Figura 5.25** - Concentrazioni di calcite e calcite magnesiaca stimate su base stechiometrica per i diversi siti di campionamento.

Analizzando i dati ottenuti dalle diverse metodologie (Tab. 5.16), si può affermare che le analisi mineralogiche quantitative, realizzate con la tecnica RIR, hanno permesso di valutare una percentuale totale dei carbonati perfettamente confrontabile con i risultati ottenuti su base stechiometrica dalle analisi chimiche, qualora si consideri la somma dei valori della calcite e della calcite magnesiaca. Questi dati concordano pienamente anche con i quantitativi di residuo insolubile prossimi all'1% ottenuti in laboratorio (Tab. 5.7).

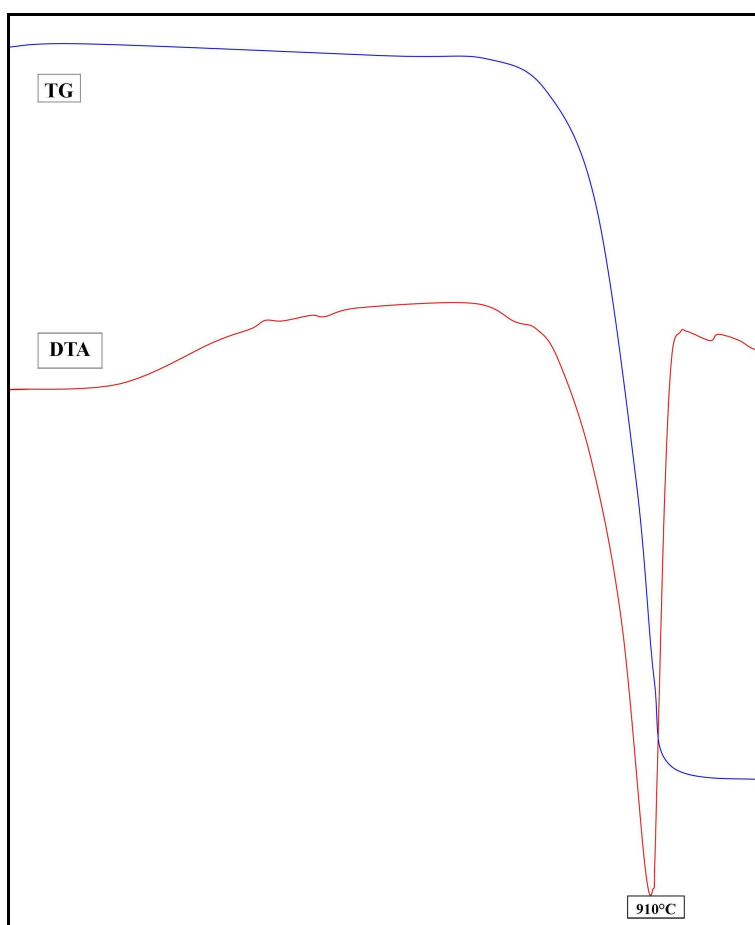
Le percentuali di calcite stimate su base stechiometrica dalle analisi chimiche sono confermate dalle analisi calcimetriche, che, viste la modalità di esecuzione della prova, consentono di valutare prevalentemente la CO<sub>2</sub> liberata dalla sola calcite e non quella della calcite magnesiaca (Jobstraibizer, 1970).

**Tabella 5.16** – Confronto quantitativi (%) di calcite e calcite magnesiaca ottenuti su una selezione di campioni da analisi mineralogiche quantitative (metodologia RIR), su base stechiometrica e tramite calcimetria.

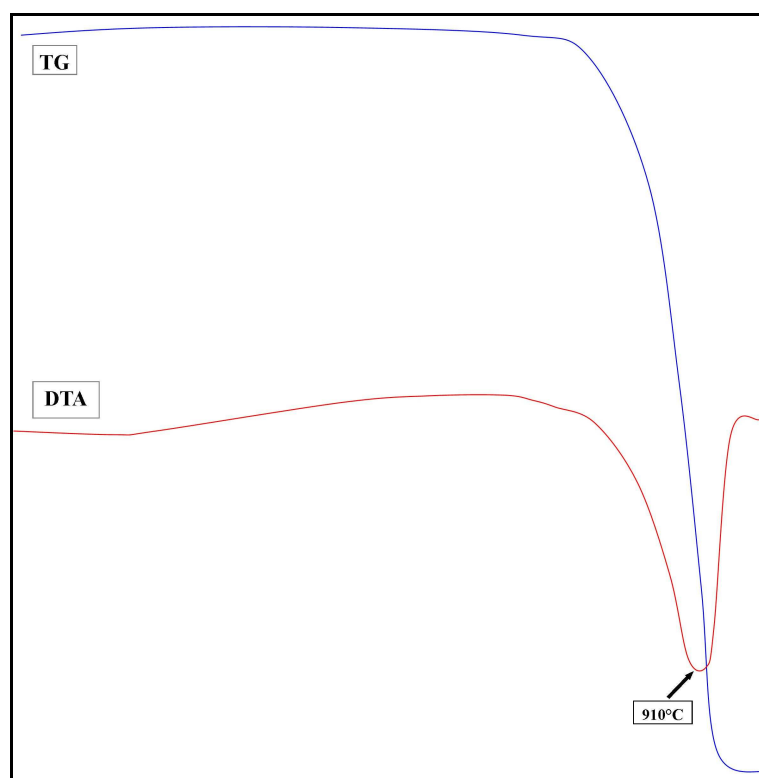
	Litofacies	Sigla	RIR	XRF			R.I.	Calcimetria
			Calcite	Calcite	Calcite magnesiaca	Tot carbonati		Calcite
Coreno Ausonio	Perlato	C1CA	98 ± 2	96,7	2,2	98,9	1,1	96,9
	Mezza Perla	C3CA	100 ± 3	96,1	2,7	98,8	1,2	96
	Botticino	C2CA	101 ± 3	95,9	3,2	99,1	0,9	96,9
	Nocciolato	NCA	98 ± 2	92,4	6,8	99,2	0,8	94
Cava Canale	Mezza Perla	C8CC	99 ± 2	96	2,1	98,1	1,9	95,3
	Perlatino	C7CC	99 ± 2	96,7	2,1	98,8	1,2	95,3
	Botticino	AD	97 ± 2	95,2	3,5	98,7	1,3	95
Pesco Rosito	Mezza Perla	C5PR	103 ± 3	96,7	1,9	98,6	1,4	95,3

### 5.1.7 Analisi termiche

Dall'osservazione delle curve ricavate dalle analisi termiche eseguite sui due campioni provenienti, rispettivamente, da Coreno Ausonio e da Cava Canale (Fig. 5.26 - 5.27), si nota nella due curve DTA un netto evento endotermico a circa 910 °C da mettere in relazione alla dissociazione dei carbonati. A conferma dei dati ricavati dalle analisi diffrattometriche e chimiche, la perdita in peso valutata attraverso la curva TG è risultata essere pari a circa il 40% per entrambi i campioni.



**Figura 5.26** – Analisi termica del campione C6CA (Perlato – Coreno Ausonio).



**Figura 5.27** – Analisi termica del campione C7CC (Perlatino – Cava Canale).

## 5.2 Risultati delle prove di caratterizzazione fisico-meccanica

L'impossibilità di disporre di materiale sufficiente ha fatto sì che le prove di caratterizzazione fisico-meccanica non siano state eseguite su tutte le litofacies affioranti nei siti oggetto di studio. Sono stati infatti analizzati rispettivamente Botticino, Risatino, Mezza Perla, Perlatino per il sito di Coreno Ausonio (FR) e Perlato, Mezza Perla, Perlatino, Botticino, Risatino per Cava Canale (BN) (Tab. 5.17).

**Tabella 5.17** – Litofacies analizzate e sigle adottate.

Litofacies	Cava Canale	Coreno Ausonio
Perlato	B	-
Mezza Perla	F	MPC
Perlatino	C	PNC
Botticino	AD	BC
Risatino	E	-
Nocciolato	-	NCA

Dal sito di Cava Canale, facente parte del Parco Regionale dei Monti del Matese e pertanto sottoposto a vincolo paesaggistico, sono stati prelevati alcuni blocchi ascrivibili alle litofacies sopra citate, presenti sul piazzale di cava e lì abbandonati in seguito alla cessazione delle attività estrattive.

I materiali provenienti dal comprensorio di Coreno Ausonio sono stati forniti e formati dalla ditta S. Anna Marmi Coreno s.n.c.

La caratterizzazione fisico-meccanica non è stata ritenuta significativa per i litotipi campionati presso il Monte Camposauro, poiché le litofacies qui campionate non sono risultate riconducibili, da un punto di vista sedimentologico, a quelle riconosciute negli altri due siti (cfr. 4.2.2.1).

Le prove di caratterizzazione fisico-meccanica sono state realizzate nel laboratorio per la caratterizzazione petrofisica dei lapidei ornamentali e la diagnostica dei geomateriali dell'Università degli Studi di Napoli Federico II, sulla base delle specifiche tecniche previste dalle normative vigenti (NORMAL, UNI EN).

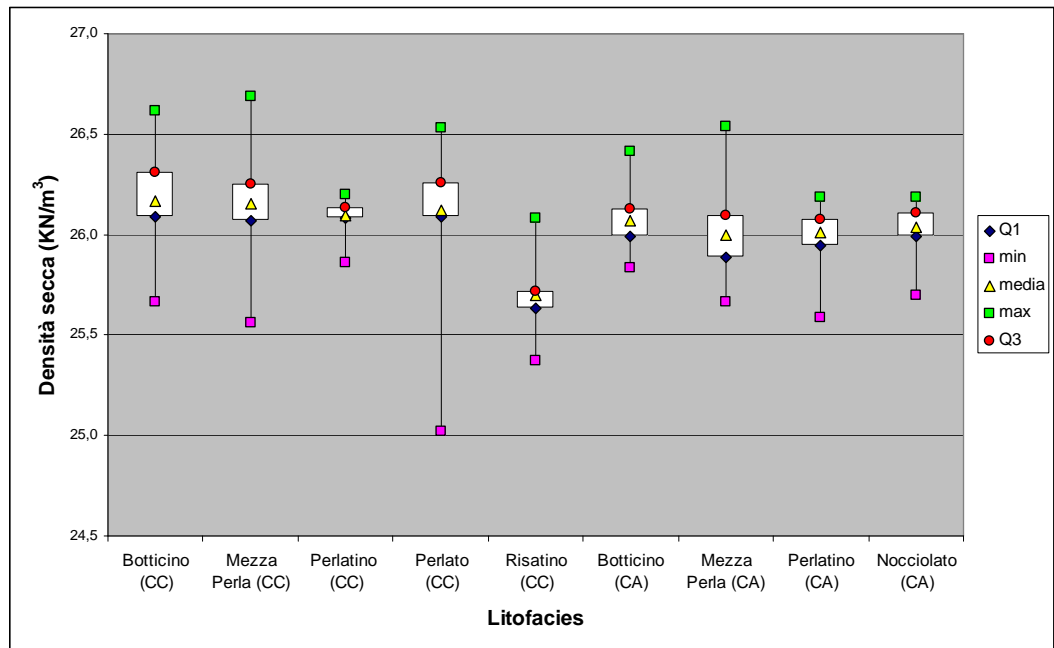
Le prove per la determinazione della resistenza all'urto, di resistenza a flessione, di resistenza all'abrasione, della dilatazione termica e microdurezza Rockwell sono state realizzate sui soli campioni beneventani a causa dell'indisponibilità di materiale opportunamente foggiano proveniente dal sito laziale.

Prove per la determinazione della resistenza a trazione indiretta (*Brazilian test*) sono state effettuate presso i laboratori della *Charles University di Praga* in accordo con quanto previsto dalle raccomandazioni dell'*International Society of Rock Mechanics* (ISRM, 1978).

Per i risultati delle prove di caratterizzazione fisico-meccanica si rimanda all'allegato 1 ed alle tabelle 5,18 e 5,19 in cui, per ognuna delle litofacies analizzate, sono riportati valore minimo, medio, massimo e deviazione standard della popolazione.

I valori di densità secca (Fig. 5.28) e peso specifico sono risultati mediamente pari rispettivamente a 25,89 kN/m<sup>3</sup> e 26,32 kN/m<sup>3</sup> per Cava Canale e a 25,93 kN/m<sup>3</sup> e 26,33 kN/m<sup>3</sup> per Coreno Ausonio. Tali valori fanno sì che il materiale rientri (Primavori, 1999) tra le rocce pesanti ( $2,5 < \gamma < 3 \text{ g/cm}^3$ ).

I valori di densità più bassi sono stati misurati per il Risatino di Cava Canale. Tale dato è stato confermato dalla minore compattezza del litotipo e dalla sua più elevata porosità aperta (Fig. 5.29 – 5.30).



**Figura 5.28** – Box plot recante la distribuzione della densità secca in funzione delle diverse litofacies. CC: Cava Canale; CA: Coreno Ausonio.

**Tabelle 5.18 a-b** - Risultati delle prove di caratterizzazione fisico – meccanica per il sito di Cava Canale.

Tabella 5.18a	Cava Canale											
	Perlato				Mezza Perla				Perlatino			
Litofacies	minimo	media	massimo	dev.st.pop.	minimo	media	massimo	dev.st. pop.	minimo	media	massimo	dev.st.pop.
Peso di volume (kN/m <sup>3</sup> )	26,02	<b>26,13</b>	26,26	0,010	26,01	<b>26,06</b>	26,13	0,005	25,82	<b>25,83</b>	25,84	0,001
Peso specifico reale (kN/m <sup>3</sup> )	26,23	<b>26,33</b>	26,41	0,008	26,26	<b>26,31</b>	26,37	0,005	26,15	<b>26,20</b>	26,25	0,004
Porosità aperta (%)	0,39	<b>0,76</b>	1,46	0,005	0,49	<b>0,95</b>	1,36	0,004	1,26	<b>1,41</b>	1,54	0,001
Compattezza	0,99	<b>0,99</b>	1	0,005	0,99	<b>0,99</b>	1	0,004	0,98	<b>0,99</b>	0,99	0,001
Coefficiente di imbibizione (%) – UNI EN 13755	0,35	<b>0,40</b>	0,43	0,036	0,31	<b>0,37</b>	0,44	0,056	0,42	<b>0,45</b>	0,48	0,027
Coefficiente di assorbimento capillare (g/cm <sup>2</sup> *s <sup>0,5</sup> ) – UNI EN 1925	2,92E <sup>-05</sup>	<b>4,61E<sup>-05</sup></b>	5,38E <sup>-05</sup>	9,87E <sup>-06</sup>	3,33E <sup>-05</sup>	<b>4,78E<sup>-05</sup></b>	6,98E <sup>-05</sup>	1,38E <sup>-05</sup>	5,09E <sup>-05</sup>	<b>5,65E<sup>-05</sup></b>	6,06E <sup>-05</sup>	3,691E <sup>-06</sup>
Velocità ultrasonica "secca" (m/s) – UNI EN 14579	5761	<b>6126</b>	6449	184,97	5623	<b>6113</b>	6411	198,37	5275	<b>6057</b>	6291	172,43
Velocità ultrasonica "satura" (m/s) – UNI EN 14579	6140	<b>6354</b>	6589	147,82	6171	<b>6298</b>	6454	88,88	6170	<b>6237</b>	6349	66,42
Resistenza a compressione uniassiale (MPa) – UNI EN 1926	175,07	<b>184,97</b>	196,57	8,859	145,17	<b>159,71</b>	173,84	10,960	126,06	<b>161,104</b>	187,50	25,095
Resistenza a trazione indiretta (MPa) - ISRM	7,07	<b>8,34</b>	10,06	1,262	6,87	<b>9,77</b>	11,06	1,768	8,77	<b>9,77</b>	10,83	0,844
Lavoro di rottura all'urto (J) – UNI EN 14158	1,96	<b>2,61</b>	3,43	0,612	3,43	<b>3,76</b>	4,41	0,462	2,94	<b>3,11</b>	3,43	0,231
Resistenza all'abrasione (mm) – UNI EN 14157	15,88	<b>19,19</b>	22,63	2,394	15,88	<b>16,81</b>	17,63	0,817	16,13	<b>16,94</b>	17,88	0,715
Microdurezza Rockwell (HR30T)	63,4	<b>72,1</b>	75,6	3,730	69,3	<b>73,4</b>	78,7	2,839	63,7	<b>70,5</b>	76,3	4,009
Resistenza a flessione (MPa) – UNI EN 12372	3,06	<b>9,81</b>	18,47	6,438	9,53	<b>12,30</b>	14,77	2,151	3,59	<b>11,50</b>	16,08	5,613

Litofacies	Cava Canale							
	Botticino				Risatino			
	minimo	media	massimo	dev.st.pop.	minimo	media	massimo	dev.st.pop.
Peso di volume (kN/m <sup>3</sup> )	25,90	<b>26,04</b>	26,12	0,010	25,34	<b>25,43</b>	25,57	0,010
Peso specifico reale (kN/m <sup>3</sup> )	26,25	<b>26,47</b>	26,60	0,016	25,89	<b>26,29</b>	26,67	0,032
Porosità aperta (%)	1,32	<b>1,65</b>	1,93	0,003	1,95	<b>2,40</b>	3,20	0,006
Compattezza	0,98	<b>0,99</b>	0,99	0,003	0,96	<b>0,97</b>	0,98	0,008
Coefficiente di imbibizione (%) – UNI EN 13755	0,21	<b>0,25</b>	0,32	0,045	0,69	<b>1,10</b>	1,54	0,308
Coefficiente di assorbimento capillare (g/cm <sup>2</sup> *s <sup>0,5</sup> ) – UNI EN 1925	2,78E <sup>-05</sup>	<b>3,37E<sup>-05</sup></b>	3,83E <sup>-05</sup>	3,79E <sup>-06</sup>	1,88E <sup>-04</sup>	<b>1,97E<sup>-04</sup></b>	2,09E <sup>-04</sup>	8,39E <sup>-06</sup>
Velocità ultrasonica "secca" (m/s) – UNI EN 14579	5653	<b>6090</b>	6351	178,54	4964	<b>5495</b>	5856	251,24
Velocità ultrasonica "satura" (m/s) – UNI EN 14579	6106	<b>6221</b>	6364	99,03	5472	<b>5725</b>	5882	126,18
Resistenza a compressione uniassiale (MPa) – UNI EN 1926	174,74	<b>182,39</b>	186,71	5,424	144,90	<b>161,82</b>	171,56	10,949
Resistenza a trazione indiretta (MPa) - ISRM	7,99	<b>9,03</b>	10,71	1,047	5,85	<b>7,17</b>	8,23	0,987
Lavoro di rottura all'urto (J) – UNI EN 14158	1,96	<b>2,65</b>	3,43	0,588	3,43	<b>4,09</b>	4,41	0,462
Resistenza all'abrasione (mm) – UNI EN 14157	15,88	<b>16,88</b>	17,88	0,884	16,88	<b>18</b>	18,88	0,893
Microdurezza Rockwell (HR30T)	70,1	<b>74,6</b>	77,6	2,061	69,6	<b>70,7</b>	73,6	1,280
Resistenza a flessione (MPa) - UNI EN 12372	7,65	<b>11,98</b>	15,85	3,349	7,65	<b>9,40</b>	11,24	1,466

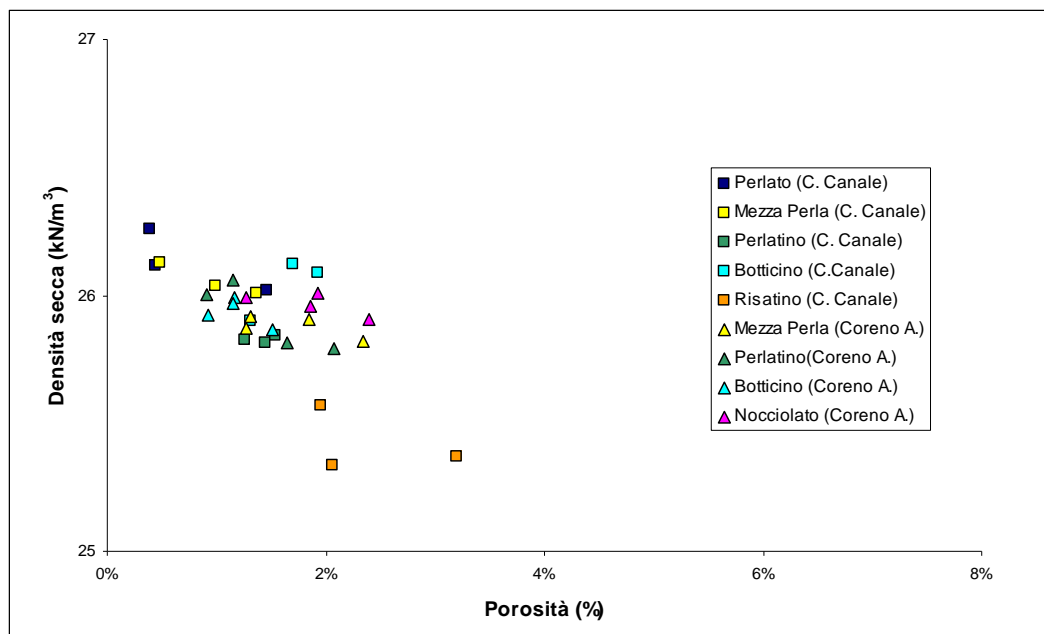


**Tabella 5.19 a-b-** Risultati delle prove di caratterizzazione fisico – meccanica per il sito di Coreno Ausonio.

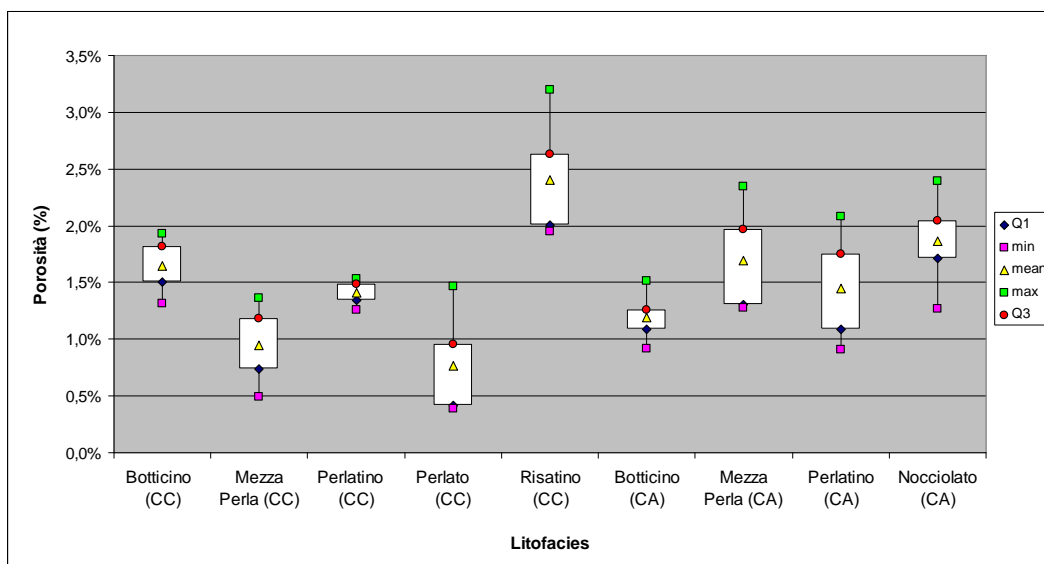
Tabella 5.19a Litofacies	Coreno Ausonio							
	Mezza Perla				Perlatino			
	minimo	media	massimo	dev.st.pop.	minimo	media	massimo	dev.st.pop.
Peso di volume (kN/m <sup>3</sup> )	25,82	<b>25,88</b>	25,92	0,004	25,79	<b>25,92</b>	26,06	0,012
Peso specifico reale (kN/m <sup>3</sup> )	26,21	<b>26,33</b>	26,44	0,010	26,24	<b>26,30</b>	26,36	0,006
Porosità aperta (%)	1,28	<b>1,69</b>	2,35	0,004	0,91	<b>1,44</b>	2,08	0,005
Compattezza	0,98	<b>0,99</b>	0,99	0,004	0,98	<b>0,99</b>	0,99	0,005
Coefficiente di imbibizione (%)– UNI EN 13755	0,48	<b>0,56</b>	0,70	0,083	0,61	<b>0,66</b>	0,72	0,050
Coeff. Assorbimento capillare (g/cm <sup>2</sup> *s <sup>0,5</sup> ) – UNI EN 1925	5,15E <sup>-05</sup>	<b>6,79E<sup>-05</sup></b>	9,71E <sup>-05</sup>	1,80E <sup>-05</sup>	7,12E <sup>-05</sup>	<b>7,84E<sup>-05</sup></b>	9,48E <sup>-05</sup>	9,51E <sup>-06</sup>
Velocità ultrasonica "secca" (m/s) – UNI EN 14579	5868	<b>6137</b>	6313	119,48	5966	<b>6141</b>	6321	94,50
Velocità ultrasonica "satura" (m/s) – UNI EN 14579	6237	<b>6337</b>	6427	55,66	6232	<b>6311</b>	6436	63,35
Resistenza a compressione uniassiale (MPa) - UNI EN 1926	139,53	<b>196,39</b>	245,08	40,390	138,30	<b>188,05</b>	250,451	48,158
Resistenza a trazione indiretta (MPa) - ISRM	-	-	-	-	-	-	-	-
Lavoro di rottura all'urto (J) – UNI EN 14158	-	-	-	-	-	-	-	-
Resistenza all'abrasione (mm) – UNI EN 14157	-	-	-	-	-	-	-	-
Microdurezza Rockwell (HR30T)	-	-	-	-	-	-	-	-
Resistenza a flessione (MPa) - UNI EN 12372	-	-	-	-	-	-	-	-

Litofacies	Coreno Ausonio							
	Botticino				Nocciolato			
	minimo	media	massimo	dev.st.pop.	minimo	media	massimo	dev.st.pop.
Peso di volume (kN/m <sup>3</sup> )	25,87	<b>25,94</b>	25,99	0,005	25,90	<b>25,97</b>	26,01	0,004
Peso specifico reale (kN/m <sup>3</sup> )	26,16	<b>26,25</b>	26,30	0,005	26,33	<b>26,46</b>	26,54	0,008
Porosità aperta (%)	0,92	<b>1,19</b>	1,52	0,002	1,27	<b>1,86</b>	2,39	0,004
Compattezza	0,98	<b>0,99</b>	0,99	0,002	0,98	<b>0,98</b>	0,99	0,004
Coefficiente di imbibizione (%)– UNI EN 13755	0,47	<b>0,50</b>	0,54	0,026	0,51	<b>0,55</b>	0,60	0,036
Coeff. Assorbimento capillare (g/cm <sup>2</sup> *s <sup>0,5</sup> ) – UNI EN 1925	6,05E <sup>-05</sup>	<b>6,82E<sup>-05</sup></b>	7,72E <sup>-05</sup>	7,57E <sup>-06</sup>	7,2E <sup>-05</sup>	<b>7,5E<sup>-05</sup></b>	8,1E <sup>-05</sup>	3,61E <sup>-06</sup>
Velocità ultrasonica "secca" (m/s) – UNI EN 14579	5117	<b>6010</b>	6357	234,38	5983	<b>6123</b>	6321	91,34
Velocità ultrasonica "satura" (m/s) – UNI EN 14579	5842	<b>6219</b>	6414	155,64	6175	<b>6266</b>	6351	56,31
Resistenza a compressione uniassiale (MPa) - UNI EN 1926	152,57	<b>204,96</b>	251,93	30,522	133,02	<b>205,71</b>	239,35	31,540
Resistenza a trazione indiretta (MPa) - ISRM	-	-	-	-	-	-	-	-
Lavoro di rottura all'urto (J) – UNI EN 14158	-	-	-	-	-	-	-	-
Resistenza all'abrasione (mm) – UNI EN 14157	-	-	-	-	-	-	-	-
Microdurezza Rockwell (HR30T)	-	-	-	-	-	-	-	-
Resistenza a flessione (MPa) - UNI EN 12372	-	-	-	-	-	-	-	-

Le porosità sono risultate nel complesso basse (Fig. 5.29 – 5.30) e variabili tra 0,39% (Perlato) e 3,20% (Risatino) per Cava Canale e tra 0,91% (Perlatino) e 2,39% (Nocciolato) per Coreno Ausonio.



**Figura 5.29** – Relazione tra densità secca e porosità aperta per le diverse litofacies. CC: Cava Canale; CA: Coreno Ausonio.



**Figura 5.30** - Box plot recante la distribuzione della porosità aperta in funzione delle diverse litofacies. CC: Cava Canale; CA: Coreno Ausonio.

Anche l'assorbimento d'acqua a pressione atmosferica ed il coefficiente di assorbimento d'acqua per capillarità sono risultati bassi ed omogenei per tutte le litofacies con l'unica eccezione del Risatino.

Le curve di assorbimento per immersione totale (Fig. 5.31) sono tutte caratterizzate da un tratto iniziale estremamente ripido che raggiunge quasi subito il valore di asintoto della curva corrispondente alla quantità di acqua assorbita a saturazione raggiunta. Tutti i campioni raggiungono un assorbimento d'acqua per immersione totale pari a circa l'85% del totale entro 48 ore dall'inizio della prova, il tutto con cinetiche facilmente confrontabili.

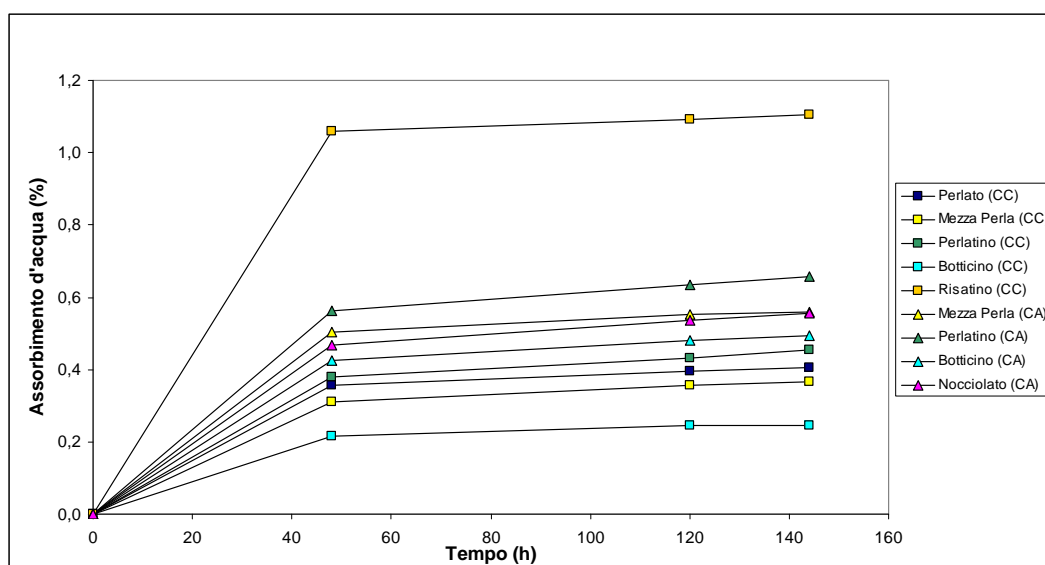


Figura 5.31 – Curve di assorbimento per immersione totale. CC: Cava Canale; CA: Coreno Ausonio.

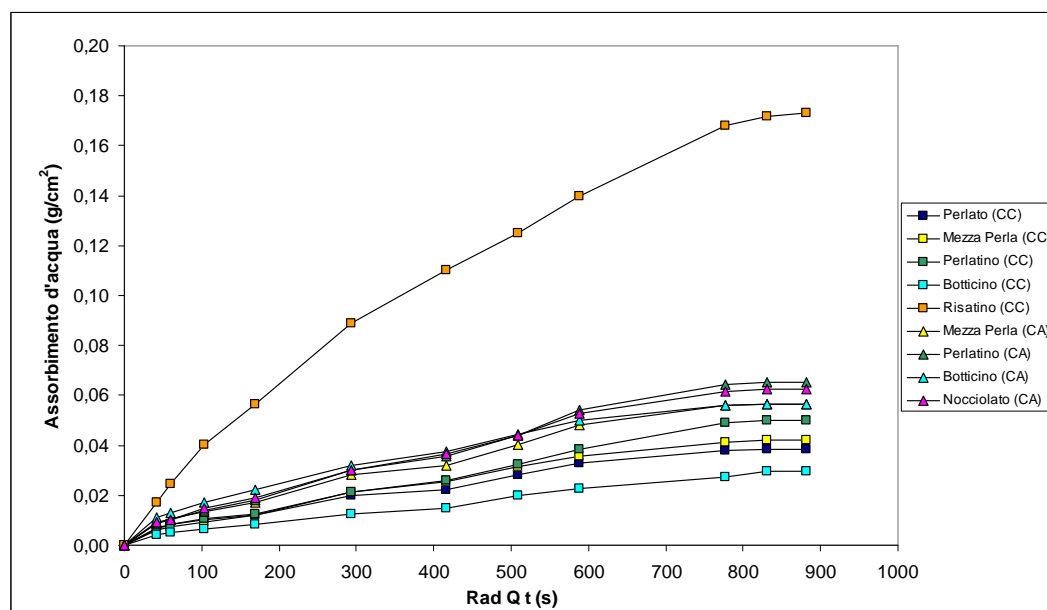
Dall'osservazione del grafico in figura 5.32 si evidenziano comunque i più bassi valori di assorbimento d'acqua per i campioni di Cava Canale rispetto a quelli prelevati a Coreno Ausonio. Unica eccezione è il Risatino di Cava Canale che, in accordo con i dati precedentemente illustrati, presenta i valori di coefficiente di assorbimento maggiori (1,10%).

Il coefficiente di imbibizione è risultato mediamente pari allo 0,51% per Cava Canale e allo 0,57% per Coreno Ausonio.

L'omogeneità dei dati relativi alla quantità di acqua assorbita per immersione totale è evidenziata dai valori di deviazione standard che risultano molto bassi.

Il coefficiente di assorbimento d'acqua per capillarità, determinato in accordo con quanto previsto dalla UNI EN 1925, è risultato mediamente pari a  $7,61 \cdot 10^{-5} \text{ g/cm}^2 \cdot \text{s}^{0,5}$  per Cava Canale e a  $7,24 \cdot 10^{-5} \text{ g/cm}^2 \cdot \text{s}^{0,5}$  per Coreno Ausonio.

In figura 5.32 sono riportate le curve di assorbimento per risalita capillare.



**Figura 5. 32**– Curve di assorbimento per risalita capillare (UN EN 1925). CC: Cava Canale; CA: Coreno Ausonio.

Ancora una volta, come per la determinazione del coefficiente di assorbimento d’acqua a pressione atmosferica, si notano valori maggiori per i litotipi campionati presso Coreno Ausonio rispetto a quello di Cava Canale, fatta eccezione, come precedentemente menzionato, per il Risatino ( $1,966 * 10^{-4} \text{ g/cm}^2 * \text{s}^{0,5}$ ).

Per i litotipi campionati presso Cava Canale, il coefficiente di assorbimento d’acqua per capillarità è stato determinato anche secondo le indicazioni della normativa Normal 18/25. Le curve di risalita capillare (Fig. 5.33) hanno in questo caso mostrato un andamento più regolare ed un assorbimento d’acqua per risalita capillare totale pari a circa il 75% del totale dopo 48 ore dall’inizio della prova, ancora una volta con cinetiche confrontabili.

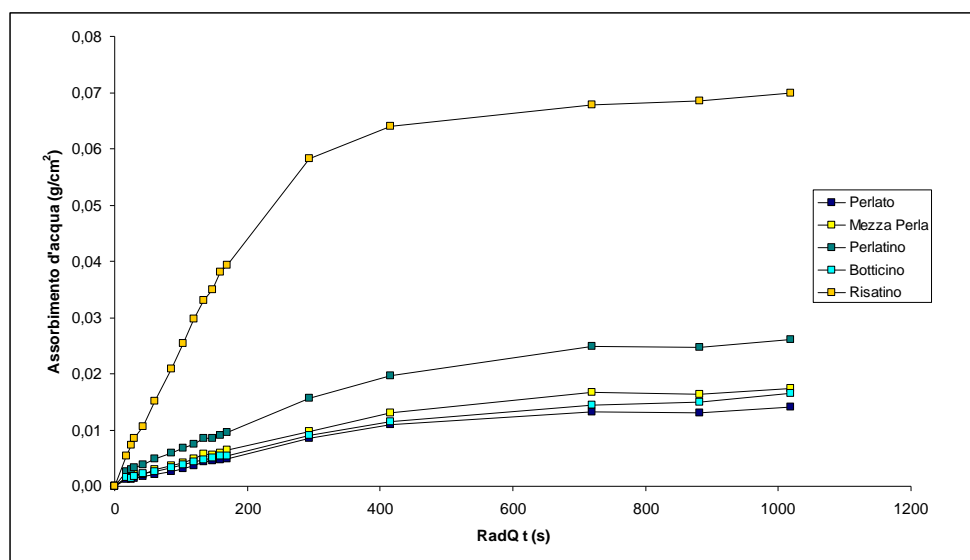
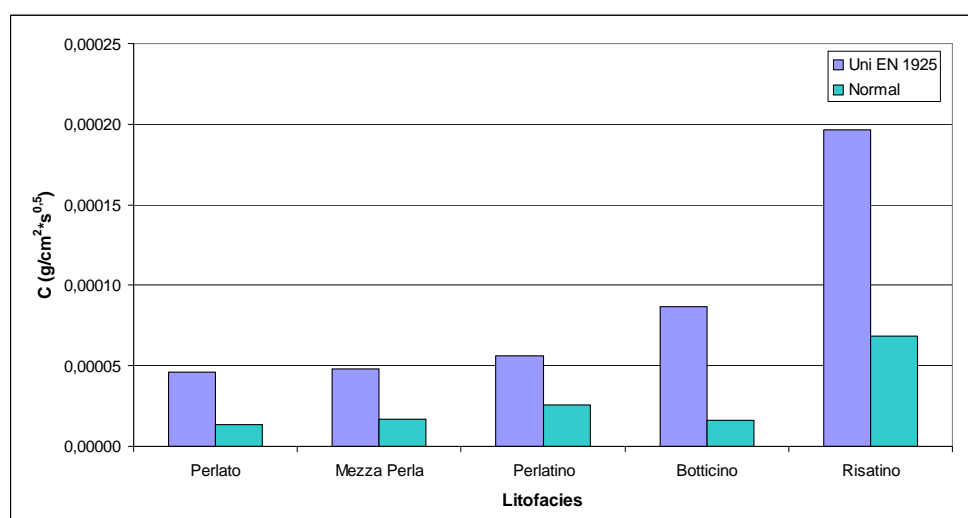


Figura 5.33 – Curve di assorbimento per risalita capillare per il sito di Cava Canale (Normal 18/85).

I valori determinati seguendo questo tipo di normativa, pur essendo risultati numericamente inferiori, sono dello stesso ordine di grandezza di quelli misurati secondo la UNI EN 1925, con l’eccezione del Risatino (Fig. 5.34 ; Tab. 5.20)

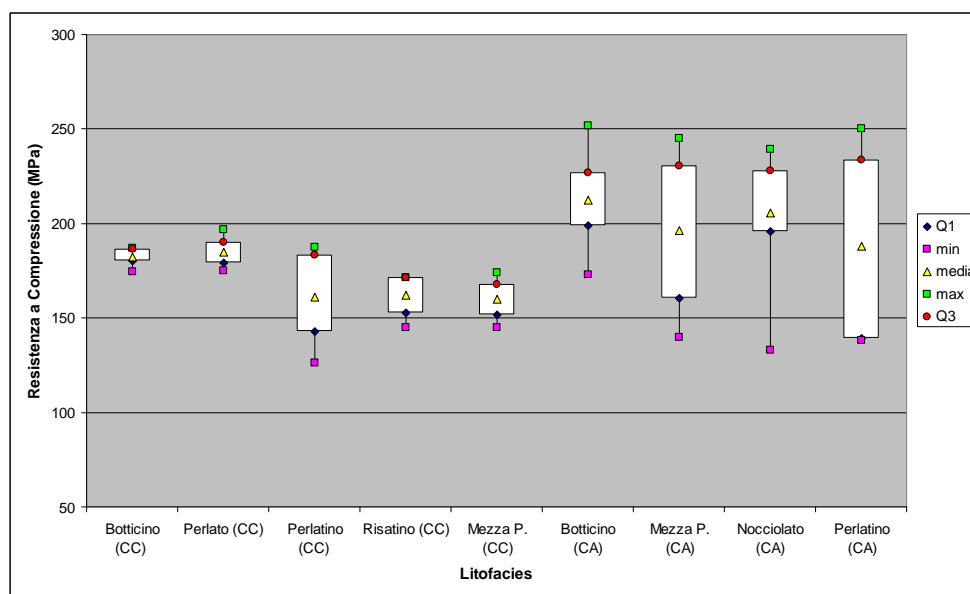
Tabella 5.20 – Coefficienti di assorbimento d’acqua per capillarità misurati per il sito di Cava Canale seguendo le indicazioni proposte dalla UNI EN 1925 e dalla Normal 18/85.

Cava Canale		
Litofacies	C (g/cm <sup>2</sup> *s <sup>0,5</sup> ) - UNI EN 1925	C (g/cm <sup>2</sup> *s <sup>0,5</sup> ) - Normal 18/85
Perlato	4,61 * 10 <sup>-5</sup>	1,39 * 10 <sup>-5</sup>
Mezza Perla	4,78 * 10 <sup>-5</sup>	1,72 * 10 <sup>-5</sup>
Perlatino	5,65 * 10 <sup>-5</sup>	2,56 * 10 <sup>-5</sup>
Botticino	3,37 * 10 <sup>-5</sup>	1,63 * 10 <sup>-5</sup>
Risatino	1,966 * 10 <sup>-4</sup>	6,86 * 10 <sup>-5</sup>



**Figura 5.34** – Confronto tra i coefficienti di assorbimento d’acqua per capillarità misurati per il sito di Cava Canale seguendo le indicazioni proposte dalla UNI EN 1925 e dalla Normal 18/85.

La resistenza a compressione uniassiale (*UCS*) del materiale, misurata in accordo con quanto previsto dalla UNI EN 1926 (applicazione del carico costante pari a  $1\pm 0,5$  MPa/s) è risultata compresa tra 126 MPa (Perlatino) e 197 MPa (Perlato) per Cava Canale e tra 133 MPa (Nocciolato) e 252 MPa (Botticino) per Coreno Ausonio.

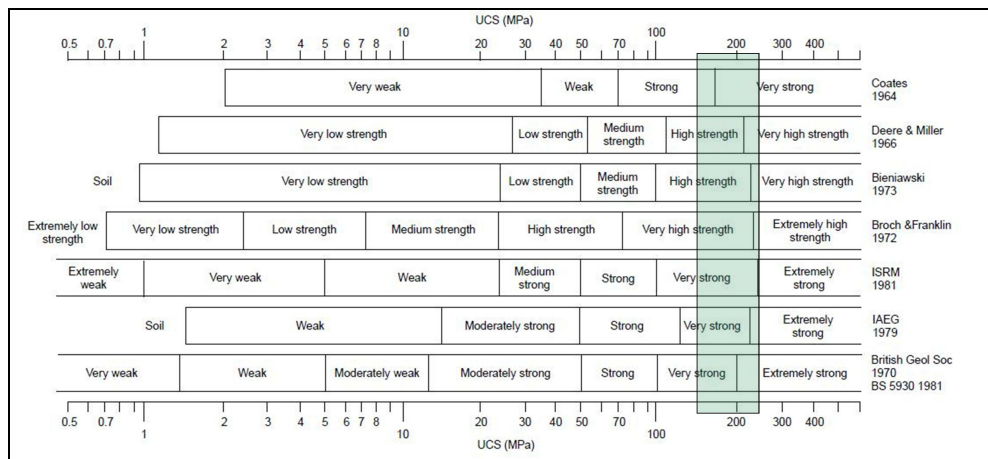


**Figura 5.35** - Box plot recante la distribuzione della resistenza a compressione uniassiale in funzione delle diverse litofacies. CC: Cava Canale; CA: Coreno Ausonio.

Per entrambi i siti, la litofacies con maggiore variabilità è il Perlatino, mentre il range di variabilità è risultato minimo per il Botticino che si presenta privo di rodoliti e povero di discontinuità (cfr. 5.35).

La variabilità è inoltre maggiore per i campioni di Coreno Ausonio che non per quelli di Cava Canale che risultano pertanto più omogenei.

Vista l’elevata resistenza a compressione uniassiale, in accordo con le principali classificazioni (Coates, 1964; Deere e Miller, 1966; Bieniawski, 1973; Broch e Franklin, 1972; ISRM, 1981; IAEG, 1979), il materiale oggetto di studio si può collocare tra le rocce che sopportano i più elevati livelli di carico (Fig. 5.36).



**Figura 5.36** – Paragone tra diversi termini di classificazione delle rocce in funzione della resistenza a compressione uniaassiale (Hawkins, 1998).

Come riportato nel capitolo 3 (par. 3. ), presso i laboratori del Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Geotecnica ed Ambientale dell’Università degli studi di Napoli Federico II, sono state effettuate prove di resistenza a compressione uniaassiale a velocità di applicazione del carico controllata (2,4 mm/min) per la determinazione delle curve sforzi-deformazioni.

La velocità e la modalità di applicazione del carico hanno ovviamente influito sul valore di resistenza a compressione uniaassiale misurato (Laitai *et al.*, 1991), che è risultato più basso rispetto a quello ottenuto in accordo con quanto stabilito dalla UNI EN 1926 (Tab. 5.21).

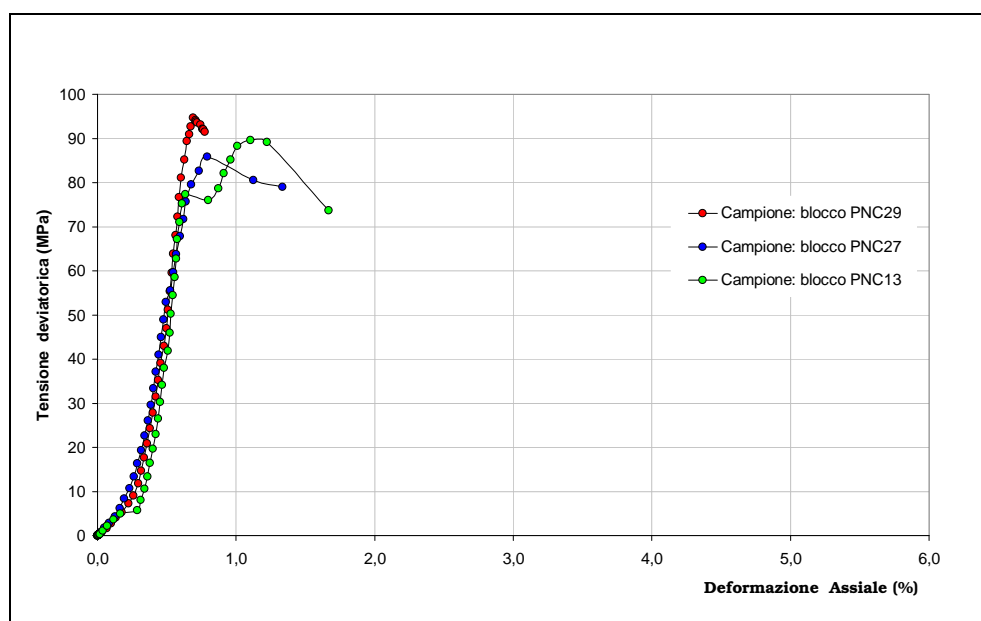
Tale discrepanza è dovuta alle modalità di esecuzione della prova in quanto l’applicazione di un carico con un incremento della velocità di prova inferiore influisce sia sul sistema di discontinuità principali del materiale che sulle microfratture presenti, con un conseguente abbassamento del carico unitario necessario per produrre la rottura del provino.



**Tabella 5.21** – Confronto tra i valori di resistenza a compressione uniassiale misurati con le prove a carico controllato e quelli misurati con le prove a velocità controllata.

		Carico controllato - UNI EN 1926 (1 ± 0,5 MPa/s)	Velocità controllata (2,4 mm/min)
Località	Litofacies	Carico a rottura (MPa)	Carico a rottura (MPa)
Cava Canale	Perlato	184,97	57,08
	Mezza Perla	159,71	79,53
	Perlatino	161,10	78,77
	Botticino	182,39	81,92
	Risatino	161,82	72,13
Coreno Ausonio	Mezza Perla	196,39	70,62
	Perlatino	188,05	90,05
	Botticino	204,96	67,74
	Nocciolato	205,71	74,80

Dall’osservazione dell’andamento della curva sforzi-deformazioni (Fig. 5.37, All. 1 ) è possibile affermare che il materiale si comporta come una roccia quasi-elastica presentando una relazione sforzi-deformazioni ( $\sigma$ - $\epsilon$ ) quasi lineare fino al punto di rottura.



**Figura 5.37** – Curve sforzi-deformazioni (Perlatino – Coreno Ausonio).

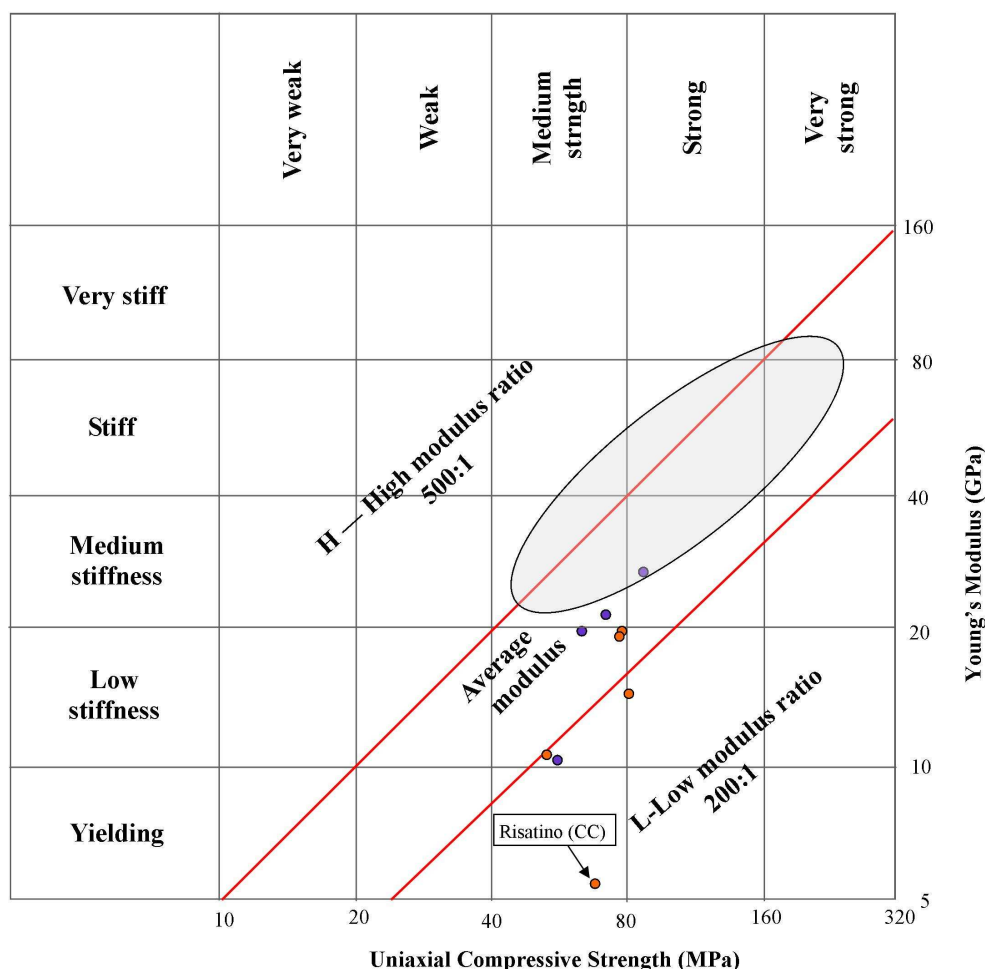
Dall’interpretazione delle curve  $\sigma$ - $\epsilon$  è stato inoltre possibile determinare i moduli elastici secante ( $E_s$ ) e tangente ( $E_t$ ), entrambi misurati in corrispondenza di una tensione pari al 30 ed al 50 % del carico di rottura  $\sigma_c$ .

I moduli elastici misurati al 50% del carico a rottura sono risultati, seppure di poco, sempre maggiori di quelli misurati al 30% dello stesso, a dimostrazione del fatto

che le deformazioni sono leggermente maggiori nelle prime fasi dell'applicazione del carico.

Un discorso a parte va fatto per il Risatino di Cava Canale che al contrario ha registrato deformazioni perlopiù costanti ed elevate durante tutta l'esecuzione della prova (Fig. 5.38).

Inoltre, secondo lo schema proposto da Deere e Miller (1966), che mette in relazione resistenza a compressione e modulo di elasticità, il materiale presenta una rigidità da bassa a media e sopporta carichi intermedi. Come si può vedere dal grafico riportato in Figura 5.38 i punti ottenuti per i CBL con la metodologia adottata si collocano al di sotto rispetto a quelli presenti in letteratura per rocce carbonatiche e dolomitiche (Deere e Miller, 1966; Almesberger, 2000 ; González de Vallejo, 2005) a conferma di come le modalità di esecuzione della prova possano influire sui risultati.



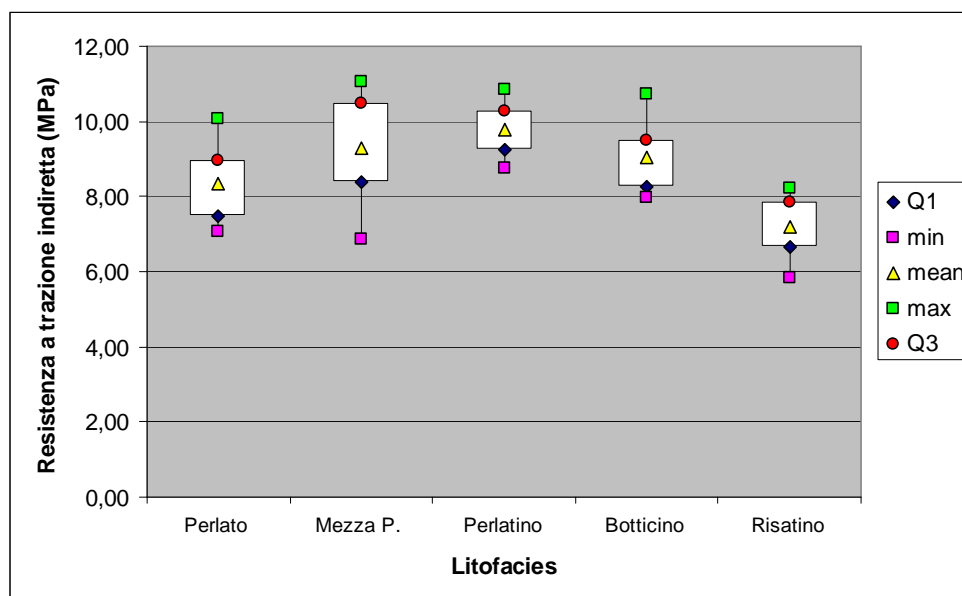
**Figura 5.38** – Classificazione dei CBL secondo Deere e Miller (1966). I punti arancioni sono relativi ai campioni di Cava Canale, quelli blu a Coreno Ausonio. L'area grigia è relativa ai valori presenti in letteratura per rocce carbonatiche e dolomitiche (Deere e Miller, 1966.).

**Tabella 5.22** – Risultati delle prove di resistenza a compressione uniassiale a velocità controllata.

Prove resistenza a compressione uniassiale a velocità controllata (2,4 mm/min)						
Località	Litofacies	$\sigma_c$ (MPa)	$E_t$ (30%) (GPa)	$E_s$ (30%) (GPa)	$E_t$ (50%) (GPa)	$E_s$ (50%) (GPa)
Cava Canale	Perlato	57,08	8,11	4,52	11,29	5,80
	Mezza Perla	79,53	13,39	4,39	20,57	5,87
	Perlatino	78,77	17,85	5,14	20,39	7,30
	Botticino	81,92	8,01	4,54	16,85	6,04
	Risatino	72,13	6,26	5,22	6,32	6,52
Coreno Ausonio	Mezza Perla	70,62	13,12	4,47	20,29	5,94
	Perlatino	90,05	17,40	6,74	27,46	9,19
	Botticino	67,74	5,87	4,76	19,67	5,62
	Nocciolato	74,80	10,39	8,48	22,55	13,71

Per entrambe le modalità di prova (carico e velocità controllata), comunque, non si sono registrate variazioni sostanziali di resistenza a compressione uniassiale in relazione al verso di applicazione del carico rispetto alla stratificazione.

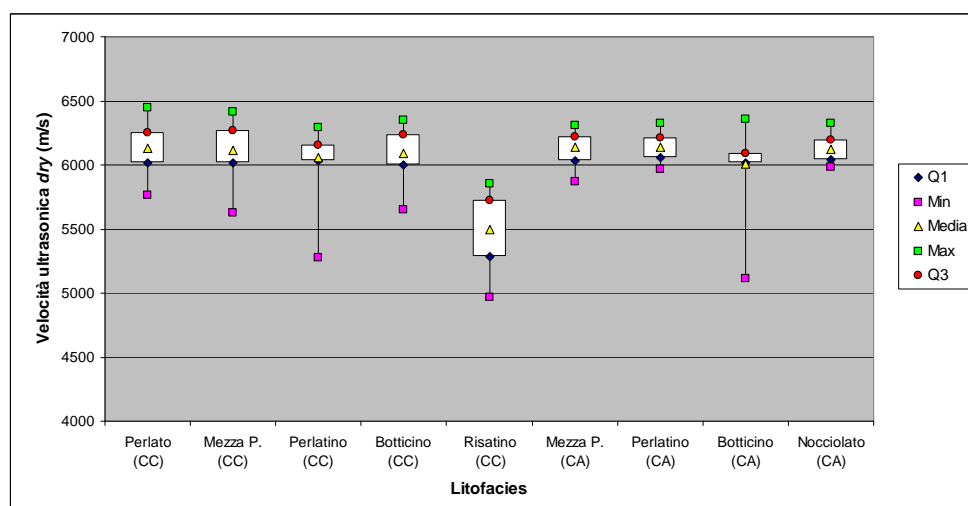
Nei laboratori della *Charles University* di Praga, sulle litofacies campionate a Cava Canale, è stata inoltre determinata la resistenza a trazione indiretta (*Brazilian test*) in accordo a quanto previsto dalle raccomandazioni della *International Society of Rock Mechanics* (ISRM, 1978). I valori di resistenza a trazione sono risultati compresi tra 5,85 MPa (Risatino) e 11,06 MPa (Mezza Perla) per un valore medio pari a 8,74 MPa (Fig. 5.39).



**Figura 5.39** - Box plot recante la distribuzione della resistenza a trazione indiretta in funzione delle diverse litofacies campionate a Cava Canale.

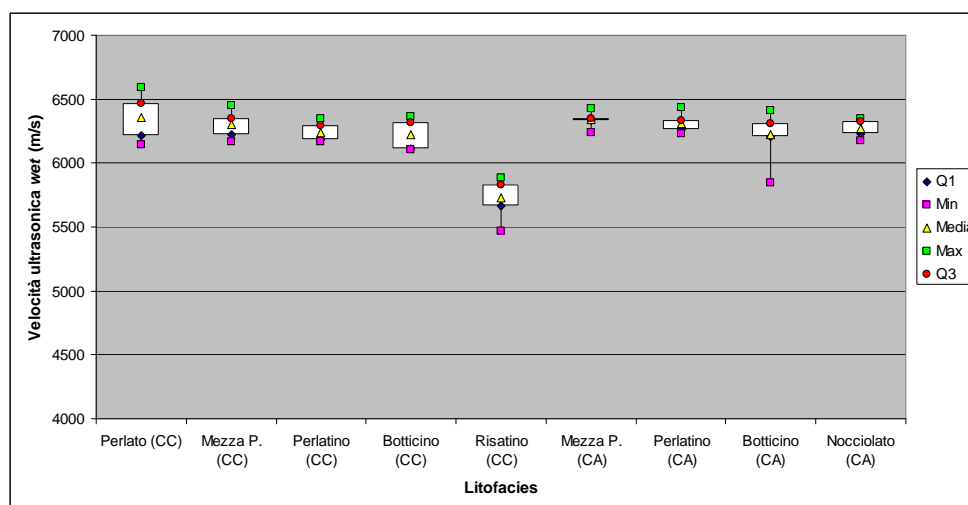
La velocità di propagazione del suono nel provino “secco” (Fig. 5.40) presenta valori compresi tra 4964 m/s (Risatino) e 6449 m/s (Perlato) per Cava Canale e tra 5117 m/s (Botticino) e 6357 m/s (Botticino) per Coreno Ausonio.

L'alquanto elevata deviazione standard di tali valori (Tab. 5.18-5.19) è, con ogni probabilità, da imputarsi alla presenza di superfici stilolitiche e di specie fossili lungo la direzione di propagazione delle onde.



**Figura 5.40** - Box plot recante la distribuzione della velocità di propagazione nel mezzo secco (*dry*) in funzione delle diverse litofacies. CC: Cava Canale; CA: Coreno Ausonio.

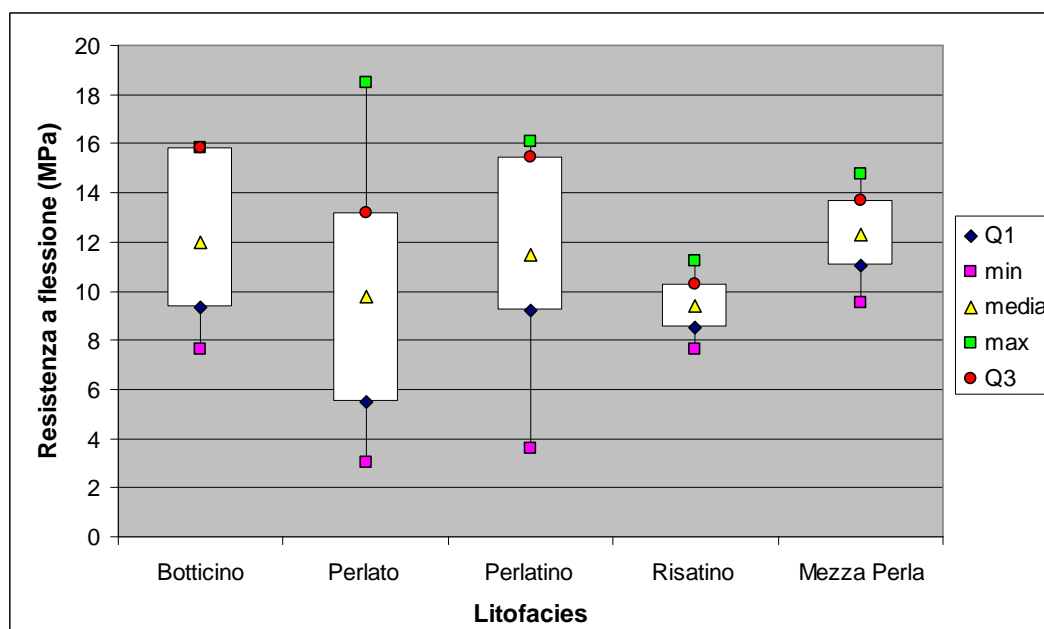
La velocità di propagazione del suono nel provino “saturato” (Fig. 5.41) è risultata compresa tra 5472 m/s (Risatino) e 6589 m/s (Perlato) per Cava Canale e tra 5482 m/s (Botticino) e 6436 m/s (Perlatino) per Coreno Ausonio con un incremento medio del 5% rispetto alla velocità misurata nel provino “secco”.



**Figura 5.41** - *Box plot* recante la distribuzione della velocità di propagazione nel mezzo saturo (*wet*) in funzione delle diverse litofacies. CC: Cava Canale; CA: Coreno Ausonio.

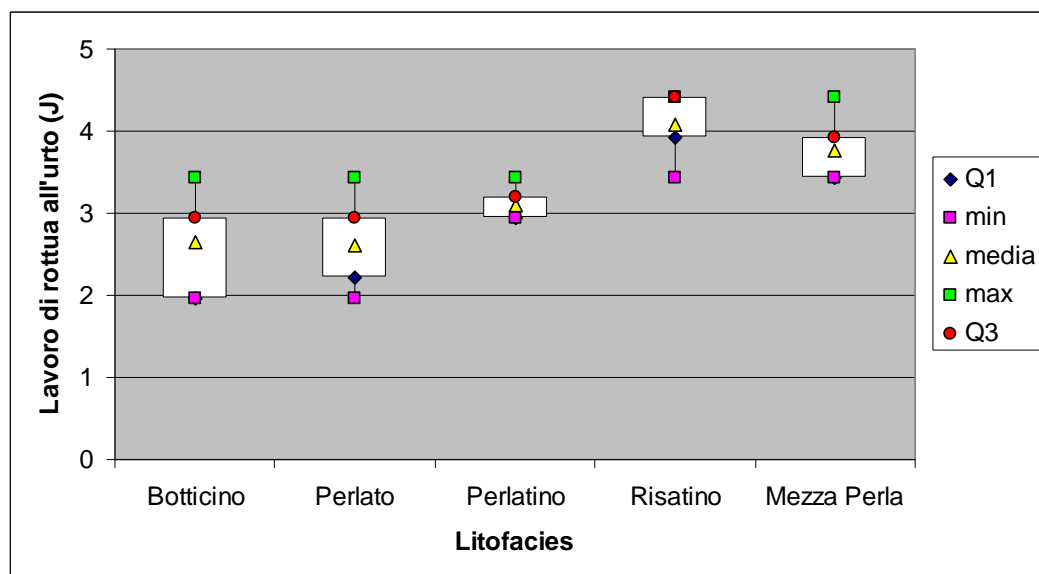
La resistenza flessione (Fig. 5.42), misurata ancora una volta per i soli campioni di Cava Canale, è risultata compresa tra 3,06 MPa e 18,47 MPa (Perlato). La variabilità di questa grandezza, mediamente pari a 11 MPa, anche all'interno della stessa *facies*, è da attribuirsi all'eterogeneità del materiale ed al contenuto fossilifero. Il minimo del Perlato ad esempio è stato registrato per un campione caratterizzato dalla presenza, nel centro, di un guscio di *Ostreide* che, disposto parallelamente al verso di applicazione del carico, ha presumibilmente costituito una superficie di debolezza.

In ogni caso va detto che il valore medio di resistenza a flessione corrisponde a circa il 5 % della resistenza a compressione del materiale, in accordo con quanto riportato in letteratura (Primavori, 1999).



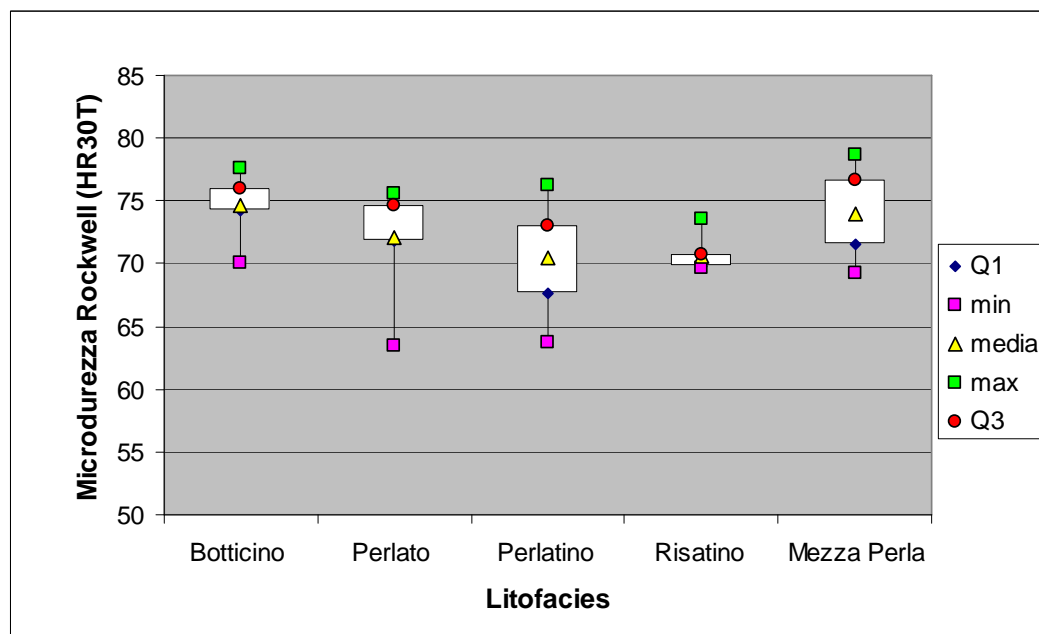
**Figura 5.42** - *Box plot* recante la distribuzione della resistenza flessione in funzione delle litofacies campionate a Cava Canale.

I valori di resistenza all'urto, determinati per il sito campano di Cava Canale, sono risultati compresi tra 1,96 J (Perlato e Botticino) e 4,41 J (Mezza Perla e Risatino) per un'altezza di caduta compresa tra 0,2 e 0,45 m (Fig. 5.43).



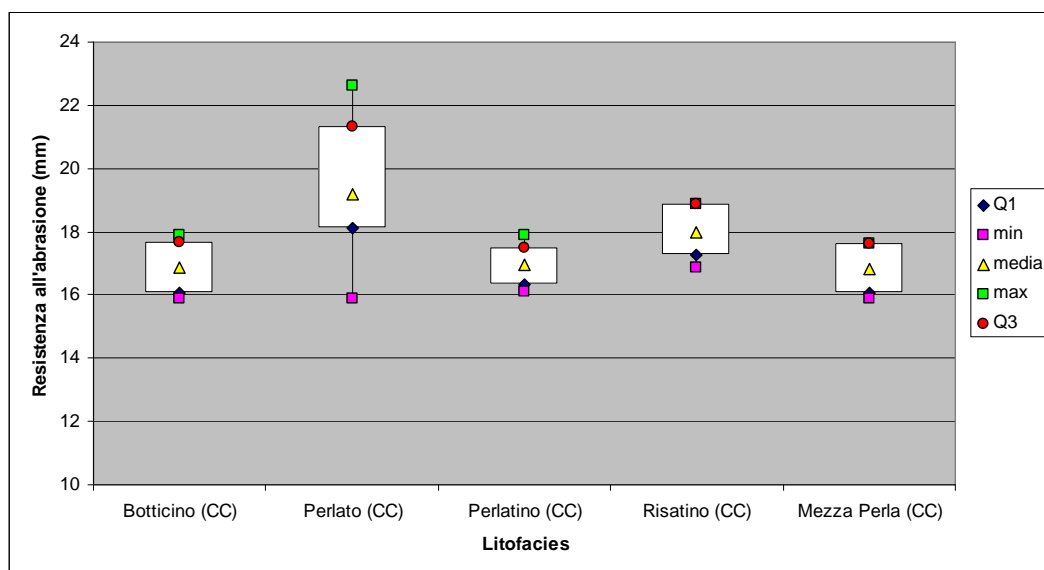
**Figura 5.43** - Box plot recante la distribuzione lavoro di rottura all'urto in funzione delle litofacies campionate a Cava Canale.

La microdurezza Rockwell (Fig. 5.44), misurata ancora una volta per i soli campioni beneventani, risulta compresa tra 63,4 (Perlato) e 78,7 (Mezza Perla) HR30T per un valore medio pari a 72,3 HR30T (Fig. 5.).



**Figura 5.44** - Box plot recante la distribuzione della microdurezza Rockwell in funzione delle litofacies campionate a Cava Canale.

La resistenza all'abrasione misurata per i campioni di Cava Canale (Fig. 5.45), è risultata compresa tra 15,88 (Perlato e Mezza Perla) e 22,63 mm (Perlato) a fronte dei 20 mm dello standard di riferimento (*Marmo Boulonnaise*).



**Figura 5.45** - Box plot recante la distribuzione della resistenza all'abrasione in funzione delle litofacies campionate a Cava Canale.

Su tutte le litofacies campionate è stata anche determinata la resistenza a cristallizzazione dei sali in termini di perdita di massa percentuale; essa (Tab. 5. 23) è risultata per tutti i campioni estremamente bassa, dell'ordine del  $10^{-3} - 10^{-4}\%$ .

**Tabella 5.23** – Perdita di massa percentuale conseguente i cicli di cristallizzazione dei sali.

Perdita di massa (%) – UNI EN 19370		
Litofacies	Coreno Ausonio	Cava Canale
Perlato	-	$8,22 * 10^{-04}$
Mezza Perla	$4,17 * 10^{-04}$	$6,35 * 10^{-04}$
Perlatino	$3,17 * 10^{-04}$	$7,04 * 10^{-04}$
Risatino	-	$2,83 * 10^{-04}$
Botticino	$4,11 * 10^{-04}$	$1,03 * 10^{-04}$
Nocciolato	$3,71 * 10^{-04}$	-

Infine sono stati condotti test di invecchiamento artificiale sulle litofacies campionate sia a Cava Canale che a Coreno Ausonio. La prova è stata portata avanti fino ad un numero di cicli pari a 15 e conseguentemente ad essi si è potuta verificare una seppur bassa perdita di peso con conseguente incremento della porosità aperta e diminuzione della velocità di propagazione del suono (Tab. 5.24).

**Tabella 5.24** – Variazioni di peso, porosità e velocità di propagazione del suono dopo 15 cicli di gelo-disgelo.

Test di invecchiamento artificiale – UNI EN 12371				
Località	Litofacies	$\Delta_{(P15-P6)}$ %	$\Delta_{(n15-n0)}$ %	$\Delta_{(V15-v0)}$ %
Cava Canale	Perlato	-0,18	0,62	-1,57
	Mezza Perla	-0,27	0,27	-0,27
	Perlatino	-0,22	0,76	-0,22
	Risatino	-0,43	0,49	-0,43
	Botticino	-0,12	0,23	-0,12
Coreno Ausonio	Mezza Perla	-0,25	0,19	-0,25
	Perlatino	-0,21	0,27	-0,21
	Botticino	-0,27	0,39	-0,27
	Nocciolato	-0,26	0,10	-0,26

### 5.3 Discussione

I risultati ottenuti dalle prove di caratterizzazione mineralogico-petrografica evidenziano una composizione estremamente omogenea del materiale. Non è stata verificata infatti la presenza di particolari *markers* chimici tra i campioni provenienti dalle diverse cave, se non una maggiore concentrazione di MgO, e pertanto di calcite magnesiaci, nei campioni prelevati nel sito di Coreno Ausonio (cfr. par. 5.1.6); tale informazione potrebbe essere utile, in caso di eventuali lavori di restauro, per identificare la provenienza dei CBL impiegati nella realizzazione di opere di interesse storico-monumentale (De Vito *et al.*, 2004).

Discriminanti le diverse facies risultano invece essere le caratteristiche sedimentologiche (disegno, presenza dimensione ed orientazione preferenziale delle rodoliti) ed il *rock-fabric* (tessitura, struttura ed orientazione dei diversi componenti di una roccia) di ognuna di esse. Nel caso dei CBL, non è stato comunque possibile individuare particolari relazioni tra il *rock-fabric* e le principali caratteristiche geologico-tecniche (porosità aperta, peso di volume, peso specifico reale, velocità ultrasonica, resistenza a compressione uniassiale, resistenza a flessione ed a trazione indiretta) dei litotipi analizzati, nonostante la presenza in letteratura di numerosi lavori che ne provano l'esistenza per diversi materiali lapidei (Latham e Thiel, 1946, Příkry *et al.*, 2000, Török, 2006); oltre che dal punto di vista mineralogico-petrografico, infatti, per lo stesso sito i diversi litotipi sono risultati perlopiù omogenei anche dal punto di vista fisico-meccanico.



Dall'analisi dei risultati delle prove fisico-meccaniche si evince che la Pietra di Cusano presenta caratteristiche geologico-tecniche ottime e fondamentalmente in linea (Tab. 5.25) con quelle di alcuni dei più importanti materiali lapidei ornamentali carbonatici campani (Breccia Irpina, Marmi di Mondragone, Marmi di Vitulano, Pietra di Bellona, Pietra di Padula - Allocca *et al.*, *in press*). A conferma dei risultati ottenuti con questa ricerca, in Tabella 5.25 è anche riportata la caratterizzazione geologico-tecnica del Perlato Royal Coreno (Consorzio per la Valorizzazione del Perlato Royal Coreno, 2002).

**Tabella 5.25** – Caratteristiche geologico-tecniche dei principali materiali lapidei ornamentali carbonatici campani e del Perlato Royal Coreno (\*coefficiente adimensionale - Regio Decreto 2232/1939).

	Materiali lapidei ornamentali campani (Allocca <i>et al.</i> , <i>in press</i> )							Calcari a Briozoi e Litotamni		
	Breccia Irpina	Mondragone Giallo	Mondragone Grigio	Vitulano Rosso	Vitulano Grigio	Bellona	Padula	Perlato Royal Coreno	Cava Canale	Coreno Ausonio
Peso di volume (kN/m <sup>3</sup> )	26,51	26,28	26,14	25,85	25,94	26,76	26,4	26,71	25,90	25,92
Peso specifico reale (kN/m <sup>3</sup> )	26,96	26,48	26,32	26,57	26,47	27,45	27,25	-	26,32	26,33
Porosità aperta (%)	1,65	0,8	0,7	2,71	2,02	2,28	3,13	-	1,43	1,55
Coeff. Assorbimento Capillare (g/cm <sup>2</sup> *s <sup>0,5</sup> )	5,8*10 <sup>-5</sup>	1,6*10 <sup>-5</sup>	3,6*10 <sup>-5</sup>	1,1*10 <sup>-5</sup>	8,6*10 <sup>-6</sup>	1,1*10 <sup>-6</sup>	4,3*10 <sup>-5</sup>	-	7,61*10 <sup>-5</sup>	7,24 *10 <sup>-5</sup>
Coeff. Imbibizione (%)	0,27	0,2	0,28	0,19	0,2	0,33	0,63	0,57	0,51	0,57
Resistenza a compressione uniassiale (MPa)	101,4	106,1	74,8	97,4	131	161	75,13	153	170	199
Resistenza a flessione (MPa)	-	13,6	5,42	14,9	12,5	20,5	11,1	13,57	11	-
Lavoro di rottura all'urto (J)	2,7	-	-	2,4	1,9	-	4,4	4,8	3,24	-
Resistenza all'abrasione (mm)	20,12	0,43*	0,45*	17,83	17,33	-	21,83	18	17,56	-
Modulo elastico tangente (50%) (GPa)	82	28,5	15,1	69,5	91	-	80	-	-	-
Velocità ultrasonica "secca" (m/s)	5894	5786	5891	6105	6340	-	5689	-	5976	6103
Velocità ultrasonica "satura" (m/s)	6236	6087	6169	6256	6466	-	5689	-	6167	6283
Dilatazione termica lineare (mm/mm°C)	-	-	-	0,013	0,016	-	0,014	2,1*10 <sup>-6</sup>		
Resistenza a trazione (MPa)	-	-	-	-	-	-	-	10	8,82	-



Più nel dettaglio (cfr. Tab. 5.18 - 5.19) i CBL sono risultati caratterizzati da bassi valori di porosità aperta, coefficiente di imbibizione e coefficiente di assorbimento capillare e da elevate velocità di propagazione del suono e resistenza a compressione uniassiale. I valori più elevati di porosità aperta, coefficiente di imbibizione e di coefficiente di risalita capillare, e conseguentemente i più bassi di densità secca e compattezza, sono stati misurati per il Risatino di Cava Canale. Questo dato trova conferma nelle osservazioni in microscopia di fluorescenza, che dimostrano l'esistenza per questo litotipo oltre che di una porosità per fessurazione anche di tipo intraparticellare (cfr. par. 5.1.3).

Nonostante i valori di porosità aperta siano simili per entrambi i siti analizzati, i valori di UCS sono risultati però più elevati per il sito di Coreno Ausonio che non per quello di Cava Canale (cfr. Fig. 5.35). Tale differenza potrebbe essere ragionevolmente legata alla presenza nei campioni di Cava Canale di un maggior numero di microfratture riempite da calcite peraltro ben visibili in catodoluminescenza (cfr. par. 5.1.2) ed al microscopio elettronico a scansione (cfr. 5.1.4). Tali microfratture potrebbero agire come piani di rottura preferenziale pur non contribuendo in maniera significativa alla porosità aperta.

La maggiore resistenza a compressione uniassiale dei campioni di Coreno Ausonio potrebbe inoltre essere parzialmente imputabile anche alla presenza di maggiore concentrazione di calcite magnesiaca nel cemento del materiale qui campionato (cfr. Fig. 5.25). Non esistono in letteratura molti lavori che provino l'esistenza di relazioni tra la presenza di dolomite o calcite magnesiaca ed il miglioramento delle qualità tecniche dei materiali lapidei. Tra questi va citato il lavoro di Vola (2009) nel quale vengono descritte le qualità tecniche del Marmo di Zandobbio, caratterizzato dalla presenza del 91% di dolomite, per il quale è possibile notare valori di porosità aperta, coefficiente di assorbimento d'acqua per capillarità, resistenza a compressione uniassiale e di resistenza a flessione maggiori di quelli misurati per altri materiali lapidei appartenenti alla stessa categoria merceologica ma a composizione non prevalentemente dolomitica.

Un comportamento analogo è stato osservato anche per due litotipi della Pietra di Bellona campionati rispettivamente a Sant'Angelo in Formis (CE), in località San Iorio, e a Bellona (CE), nei pressi di Ponte Annibale (Allocca, 2007); i campioni prelevati nel primo sito, caratterizzati da concentrazioni di MgO pari a circa il 19%, presentano infatti valori di porosità aperta, coefficiente di assorbimento d'acqua per capillarità e

resistenza a compressione uniassiale e a flessione maggiori rispetto a quelli campionati nel secondo sito per i quali è stata verificata la totale assenza del medesimo ossido (Tab. 5.26).

**Tabella 5.26** – Caratteristiche geologico-tecniche di due litotipi della Pietra di Bellona caratterizzati da diverse concentrazioni di CaO e di MgO.

Località di prelievo	Pietra di Bellona		Pietra di Cusano	
	Loc. San Iorio	Ponte Annibale	Coreno Ausonio	Cava Canale
CaO (%)	34,76	56,37	55,4	55,3
MgO (%)	18,89	ND	0,9	0,6
Peso di volume (kN/m <sup>3</sup> )	27,2	26,2	25,92	25,9
Peso specifico reale (kN/m <sup>3</sup> )	28,0	26,9	26,33	26,32
Porosità aperta (%)	3,09	2,52	1,55	1,43
Coeff. Ass. Cap. (g/cm <sup>2</sup> *s <sup>0,5</sup> )	4,48 * 10 <sup>-5</sup>	3,97 * 10 <sup>-6</sup>	7,24 * 10 <sup>-5</sup>	7,61*10 <sup>-5</sup>
Coeff. Imbibizione (%)	0,36	0,15	0,57	0,51
Res. Compr. Uniass. (MPa)	157	120	199	170
Res. Flessione (MPa)	24	20	-	11

A dimostrazione del fatto che il comportamento meccanico del materiale è prevalentemente influenzato dalle superfici stilolitiche che lo pervadono nelle tre dimensioni, infine, non si sono registrate variazioni sostanziali di resistenza a compressione uniassiale in relazione al verso di applicazione del carico rispetto alla stratificazione.

Per concludere va sottolineato che dai risultati ottenuti si evincono le buone potenzialità di uso in molti ambiti dei litotipi studiati: dall'arredo urbano, agli oggetti di arredamento, impieghi architettonici e strutturali.

Gli elevati valori di resistenza a compressione uniassiale rendono infatti i CBL idonei a sopportare carichi statici e pertanto ad essere impiegati anche con funzioni strutturali (Primavori, 1999).

I valori di resistenza all'abrasione fanno sì che il materiale possa essere impiegato con successo per pavimentazioni stradali o comunque in zone esposte a sfregamento, calpestio e transito di persone.

Ancora, i valori di resistenza all'urto denotano un'accettabile attitudine dei CBL a sopportare sollecitazioni meccaniche puntuali, ovvero a sostenere colpi istantanei dovuti per esempio alla caduta di oggetti pesanti, rendendo pertanto il materiale idoneo alla realizzazione di pavimenti industriali, zoccolature, basamenti, gradinate esterne, tavoli. Come dimostrato dai risultati dei test di invecchiamento artificiale (cfr. Tab. 5.24), va però tenuto in conto che, se non sottoposta ad opportuni trattamenti, la pietra

potrebbe andare soggetta a degrado qualora impiegata per esterni in condizioni climatiche estreme caratterizzate da notevoli escursioni termiche.

## **6. Principali forme di degrado della Pietra di Cusano: il caso studio del basamento della Torre Campanaria del Complesso Monumentale di Santa Chiara (Napoli)**

Il problema del degrado dei materiali lapidei impiegati nella costruzione di manufatti di interesse storico, artistico o architettonico sta assumendo in questi ultimi decenni sempre maggiore rilevanza.

La conoscenza, oltre che delle principali caratteristiche composizionali e strutturali, anche della propensione e delle tipologie di degrado dei geomateriali, aumenta la probabilità di successo degli interventi di restauro e/o di conservazione su opere ed edifici costituiti da tali litotipi.

Lo studio dei processi, non sempre di origine naturale, che coinvolgono le opere di interesse storico ed i manufatti in genere presenti in centro urbano, risulta comunque però sempre molto complesso in quanto richiede l'apporto di competenze e culture diverse (Calcaterra *et al.*, 1995).

In questo capitolo saranno descritte le principali tipologie di degrado che coinvolgono i Calcari a Briozoi e Litotamni.

A tale scopo si è scelto di effettuare, in accordo con quanto previsto dalla normativa vigente (Normal 1/88), uno studio di dettaglio sui CBL impiegati, in epoca angioina, per la realizzazione della Torre Campanaria del Monastero di Santa Chiara (Napoli).

### **6.1 Le forme di degrado**

Il degrado di una pietra è la risposta naturale all'azione dei parametri ambientali con i quali essa interagisce quando affiora sulla superficie terrestre.

Questo fenomeno non si arresta nel tempo e può anzi essere accelerato per la presenza isolata o sinergica di specifici fattori ambientali come l'immissione nell'atmosfera di prodotti legati ad un'intensa attività antropica (quali ad esempio SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>) e dannosi per l'integrità di tali materiali.

La conoscenza della propensione e delle tipologie di degrado di un materiale lapideo, specie se impiegato nella costruzione di opere di interesse storico, architettonico o artistico, consente di definire, qualora necessaria, un'adeguata proposta per la pianificazione di attività di restauro e/o conservazione del manufatto.

Le diverse tipologie di degrado ed alterazione dei materiali lapidei sono descritte e nella normativa Normal-1/88 che aggiorna, sostituendolo il documento Normal-1/80.

Esse sono:

- alterazione cromatica: alterazione che si manifesta attraverso la variazione di uno o più parametri che definiscono il colore: tinta (*hue*), chiarezza (*value*), saturazione (*chroma*). Può manifestarsi con morfologie diverse a seconda delle condizioni e può riferirsi a zone ampie o localizzate;
- alveolizzazione: degradazione che si manifesta con la formazione di cavità di forme e dimensioni variabili. Gli alveoli sono spesso interconnessi ed hanno distribuzione non uniforme.
- concrezione: deposito compatto formato da elementi di estensione limitata, sviluppato preferenzialmente in una sola direzione non coincidente con la superficie lapidea. Talora può assumere forma stalattitica o stalagmitica;
- crosta: strato superficiale di alterazione del materiale lapideo o dei prodotti utilizzati per eventuali trattamenti. Di spessore variabile, è dura, fragile e distinguibile dalle parti sottostanti per le caratteristiche morfologiche e, spesso, per il colore. Può distaccarsi anche spontaneamente dal substrato che, in genere, si presenta disgregato e/o pulverulento;
- deformazione: variazione della sagoma che interessa l'intero spessore del materiale e si manifesta soprattutto in elementi lastriformi;
- degradazione differenziale: degradazione da porre in rapporto ad eterogeneità di composizione o di struttura del materiale tale quindi da evidenziarne spesso gli originali motivi tessiturali o strutturali;
- deposito superficiale: accumulo di materiali estranei di varia natura, quali, ad esempio, polvere, terriccio, guano etc. Ha spessore variabile e, generalmente, scarsa coerenza e aderenza al materiale sottostante;
- disgregazione: decoesione caratterizzata da distacco di granuli o cristalli sotto minime sollecitazioni meccaniche;
- distacco: soluzione di continuità tra strati superficiali del materiale, sia tra loro che rispetto al substrato; prelude in generale la caduta degli strati stessi. Il termine si usa in particolare per gli intonaci ed i mosaici. Nel caso di materiali lapidei naturali le parti distaccate assumono spesso forme



specifiche in funzione delle caratteristiche strutturali e tessiture e si preferiscono allora voci quali crosta, scagliatura, esfoliazione;

- efflorescenza: formazione di sostanze, generalmente di colore biancastro e di aspetto cristallino o pulverulento o filamentoso, sulla superficie del manufatto. Nel caso di efflorescenze saline, la cristallizzazione può talvolta avvenire all'interno del materiale provocando spesso il distacco delle parti più superficiali: il fenomeno prende allora il nome di criptoefflorescenza o subefflorescenza;
- erosione: asportazione di materiale dalla superficie dovuta a processi di natura diversa. Quando sono note le cause del degrado, possono essere utilizzati anche termini come erosione per abrasione o erosione per corrosione (cause meccaniche), erosione per corrosione (cause chimiche o biologiche), erosione per usura (cause antropiche);
- esfoliazione: degradazione che si manifesta con distacco, spesso seguito da caduta, di uno o più strati superficiali sub paralleli tra loro (sfoglie);
- fratturazione o fessurazione: degradazione che si manifesta con formazione di soluzioni di continuità nel materiale e che può implicare lo spostamento reciproco delle parti;
- incrostazione: deposito stratiforme, compatto e generalmente aderente al substrato, composto da sostanze inorganiche o da strutture a natura biologica;
- lacuna: caduta e perdita di parti di un dipinto murale, con messa in luce degli strati di intonaco più interni o di supporto (v. anche mancanza);
- macchia: alterazione che si manifesta con pigmentazione accidentale e localizzata della superficie: è correlata alla presenza di materiale estraneo al substrato (per esempio: ruggine, sali di rame, sostanze organiche, vernici);
- mancanza: caduta e perdita di parti. Il termine generico, si usa quando tale forma di degradazione non è descrivibile con altre voci del lessico. Nel caso particolare degli intonaci dipinti si adopera preferenzialmente lacuna (v);
- patina: alterazione strettamente limitata a quelle modificazioni naturali della superficie dei materiali non collegabili a manifesti fenomeni di degradazione e percepibili come una variazione del colore originario del materiale. Nel caso di alterazioni indotte artificialmente si usa preferenzialmente il termine patina artificiale;

- patina biologica: strato sottile, morbido ed omogeneo, aderente alla superficie e di evidente natura biologica, di colore variabile, perlopiù verde. La patina biologica è costituita preferenzialmente da microrganismi cui possono aderire polvere, terriccio etc.;
- pellicola: strato superficiale di sostanze coerenti tra loro ed estranee al materiale lapideo. Ha spessore molto ridotto e può distaccarsi dal substrato, che in genere si presenta integro;
- *pitting*: degradazione puntiforme che si manifesta attraverso la formazione di fori ciechi, numerosi e ravvicinati. I fori hanno forma tendenzialmente cilindrica con diametro massimo di pochi millimetri;
- polverizzazione: decoesione che si manifesta con caduta spontanea di materiale sotto forma di polvere o granuli;
- presenza di vegetazione: locuzione impiegata quando vi sono licheni, muschi e piante.
- rigonfiamento: sollevamento superficiale e localizzato del materiale, che assume forma e consistenza variabili;
- scagliatura: degradazione che si manifesta con distacco totale o parziale di parti (scaglie) spesso in corrispondenza di soluzioni di continuità del materiale originario. Le scaglie, costituite generalmente da materiale in apparenza inalterato, hanno forma irregolare e spessore consistente e disomogeneo. Al di sotto possono essere presenti efflorescenze o patine biologiche.

## **6.2 Il caso del basamento della Torre Campanaria del Complesso Monumentale di Santa Chiara (Napoli)**

### **6.2.1 Il complesso monumentale di Santa Chiara (Napoli)**

La basilica e il complesso monastico di Santa Chiara (anche conosciuti come Monastero di Santa Chiara) furono edificati tra il 1310 e il 1340, su un complesso termale romano del I secolo d.C., per volere di Roberto d'Angiò e della regina Sancia di Maiorca, nei pressi della cinta muraria occidentale, a Napoli.

La basilica, originariamente costruita in forme gotiche provenzali, tra il XVII e il XVIII secolo fu ampiamente ristrutturata in forme barocche da Domenico Antonio Vaccaro.

Durante la seconda guerra mondiale un bombardamento degli Alleati del 4 agosto 1943 provocò un incendio durato quasi due giorni che distrusse la chiesa quasi interamente. Un massiccio e discusso restauro, conclusosi nel 1953, ha riportato la basilica al presunto e spoglio aspetto originario.

Isolata, all'incrocio tra via Benedetto Croce e via Santa Chiara, si erge la torre campanaria (Fig. 6.1) la cui costruzione, iniziata nel 1328, fu interrotta per la morte di Roberto d'Angiò nel 1343 per poi essere portata a compimento nel Cinquecento quando fu arricchita da cinque campane cadute per il bombardamento del 1943 e rimesse al loro posto nel 1949. Il campanile conserva della costruzione trecentesca solo il basamento che, 'sopravvissuto' al terremoto del 1456, è caratterizzato dalla presenza di lastre di marmo incise a caratteri gotici, originariamente riempiti a mosaico, commemoranti la fondazione, la consacrazione ed il compimento della chiesa.



**Figura 6.1** - Torre Campanaria del Complesso Monumentale di Santa Chiara.

### **6.2.2 Degrado del basamento della Torre Campanaria del Monastero di Santa Chiara**

Per definire propensione e tipologie di degrado del materiale oggetto di questo lavoro, in accordo con quanto previsto dalla normativa vigente (Normal-1/88), è stato effettuato uno studio di dettaglio sui calcari impiegati, in epoca angioina, per la

realizzazione del basamento della Torre Campanaria del Monastero di Santa Chiara (Napoli).

È stato infatti osservato che tale basamento è costituito da CBL (Calcaterra et al., 1995) e non da conci calcarei provenienti dalla Penisola Sorrentina così come erroneamente affermato da Rodolico nel 1953.

Le forme di degrado sono state mappate sui prospetti (nord, sud, est ed ovest) della Torre Campanaria del Complesso Monumentale di Santa Chiara forniti dall'archivio cartografico della Soprintendenza ai Beni Architettonici e Paesaggistici di Napoli (cfr. Allegato 2).

Da tale studio si è potuto ricavare che le principali tipologie di degrado cui il materiale è soggetto sono:

- crosta, dal tipico colore nero, si riscontra tipicamente nei settori superiore ed inferiore di ognuno dei 4 prospetti (Fig. 6.2 a-d);
- efflorescenza (Fig. 6.2 b-d; Fig. 6.3 f);
- esfoliazione, presente solo sulla facciata ovest (Fig. 6.2 c);
- fratturazione o fessurazione (Fig. 6.2 d);
- incrostazione per la presenza di calce 'colata' sui fianchi del basamento durante la posa in opera di alcuni conci calcarei (Fig. 6.2 d);
- macchie, essenzialmente legate alla presenza di vernici nella parte bassa (Fig. 6.3 a-c) e di ruggine in prossimità di ganci ubicati sul lato del basamento (Fig. 6.3 b);
- mancanze (Fig. 6.2 a; Fig. 6.3 c-e);
- presenza di vegetazione (Fig. 6.3 f);
- *pitting* individuato alla base della facciata sud in corrispondenza del piccolo davanzale della finestra (Fig. 6.3 d);
- scagliatura, presente alla base del campanile (Fig. 6.3 e).

A questi termini, tutti definiti nella Normal-1/88, è stata aggiunta l'integrazione ad indicare la presenza di materiale diverso da quello originale e sostituito ad esso presumibilmente durante fasi di precedente restauro.



a)



b)



c)

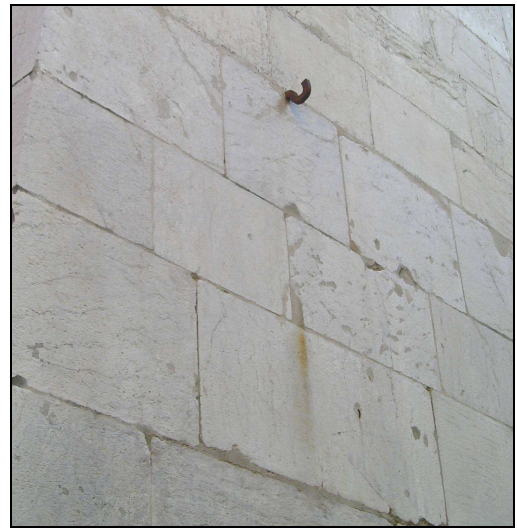


d)

**Figura 6.2** - Tipologie di degrado riconosciute sul basamento della Torre Campanaria del Complesso Monumentale di Santa Chiara: a) mancanza e crosta (facciata sud); b) efflorescenza (facciata ovest); c) esfoliazione (facciata ovest); d) integrazione, incrostazione, efflorescenza, crosta, fratturazione (facciata nord).



a)



b)



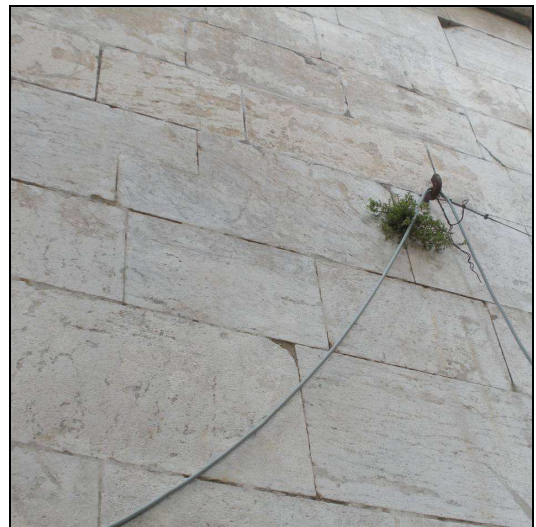
c)



d)



e)



f)

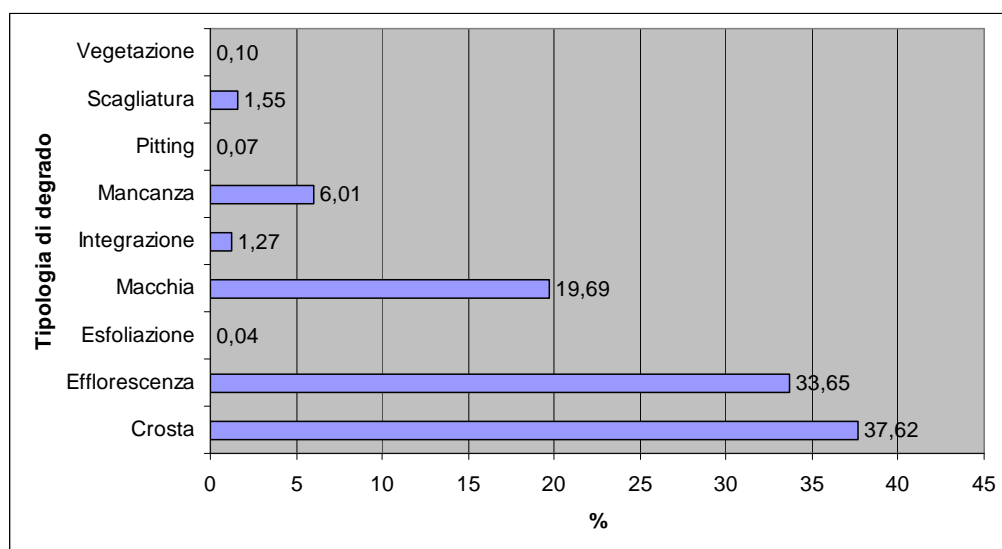
**Figura 6.3** - Tipologie di degrado riconosciute sul basamento della Torre Campanaria del Complesso Monumentale di Santa Chiara: a) macchia dovuta alla presenza di vernici (facciata nord); b) macchia per la presenza di ruggine (facciata sud); c) macchia, mancanza e crosta (facciata est); d) *pitting* (facciata sud); e) scagliatura, mancanza e crosta (facciata est); f) presenza di vegetazione ed efflorescenza

(facciata sud).

Una stima semi-quantitativa dell'entità di tali fenomeni di *weathering* in relazione alla totalità della superficie esposta ha permesso di definire tre classi di degrado (trascurabile, medio ed elevato - Calcaterra *et al.*, 1995).

L'area degradata è risultata complessivamente pari al 50,34% della superficie totale del basamento che pertanto risulta mediamente degradato.

Come riportato nell'istogramma in figura 6.4, della totalità della superficie degradata, il 37,62% è interessato da crosta, il 33,75% da efflorescenza, il 19,69% da macchia, il 6,01% da mancanza, l'1,55% da scagliatura, ed il restante 1,39% da integrazione, esfoliazione, *pitting* e presenza di vegetazione.



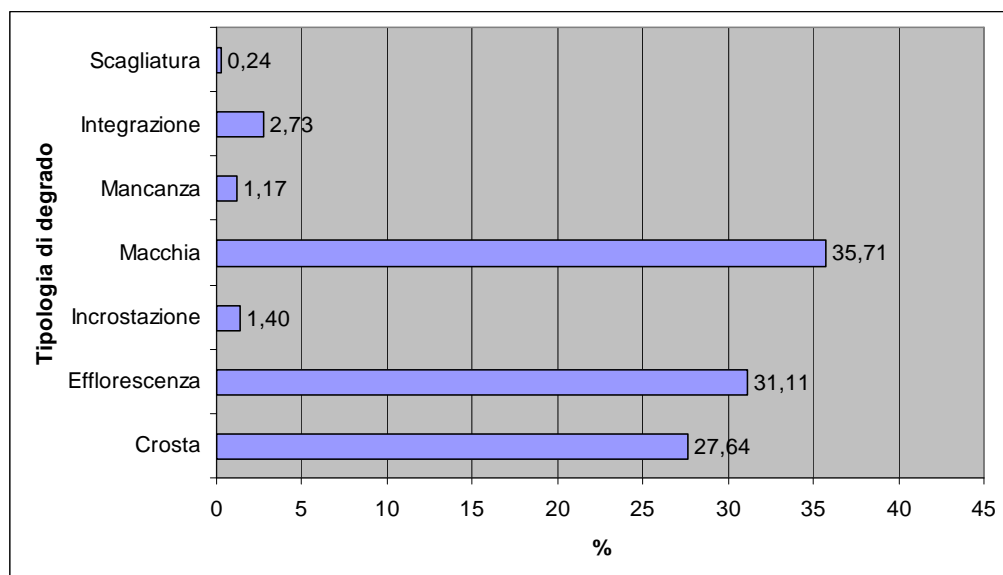
**Figura 6.4** Percentuale di superficie interessata dalle diverse tipologie di degrado in relazione alla totalità dell'area degradata dell'intero basamento della Torre Campanaria del Complesso Monumentale di Santa Chiara.

Più nel dettaglio la facciata più degradata è risultata quella esposta ad est, ubicata su via Santa Chiara, strada interessata da un non trascurabile traffico veicolare; seguono quelle esposte a nord, a sud e ad ovest come riportato in Tabella 6.1.

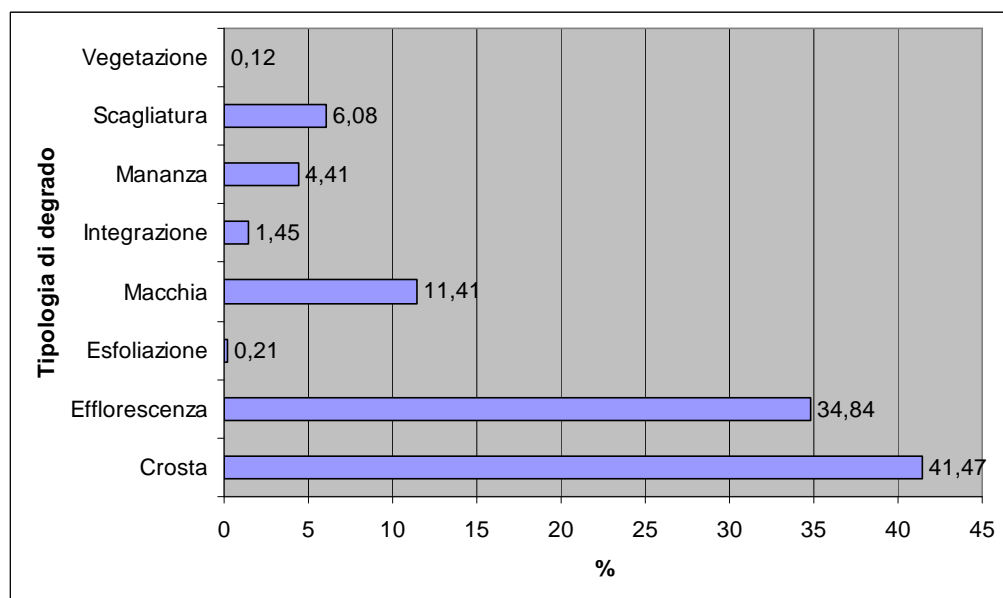
**Tabella 6.1** - Percentuale di superficie interessata da degrado di ognuna delle facciate del Basamento della Torre Campanaria del Complesso Monumentale di Santa Chiara.

Facciata	Area degradata (%)	Classe
Nord	49,59	Medio
Ovest	34,19	Medio
Sud	38,56	Medio
Est	70,88	Alto

Le aree delle superfici interessate da ognuna delle tipologie di degrado, espresse in percentuale in relazione alla totalità dell'area degradata delle singole facciate, sono riportate nei grafici nelle figure 6.5 – 6.6 – 6.7 – 6.8.

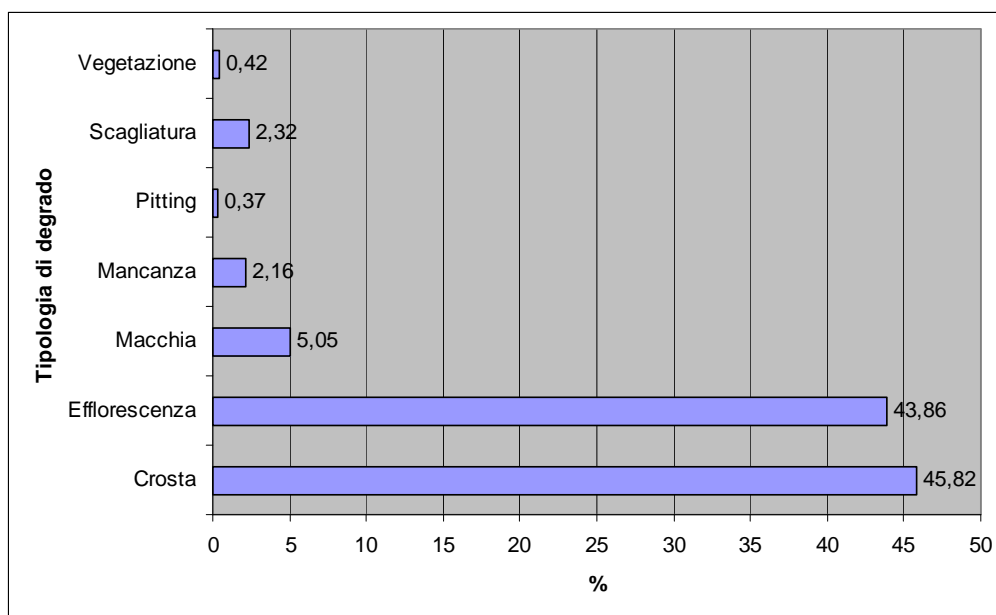


**Figura 6.5** - Percentuale di superficie interessata da ognuna delle tipologie di degrado, in relazione alla totalità dell'area degradata della facciata nord.

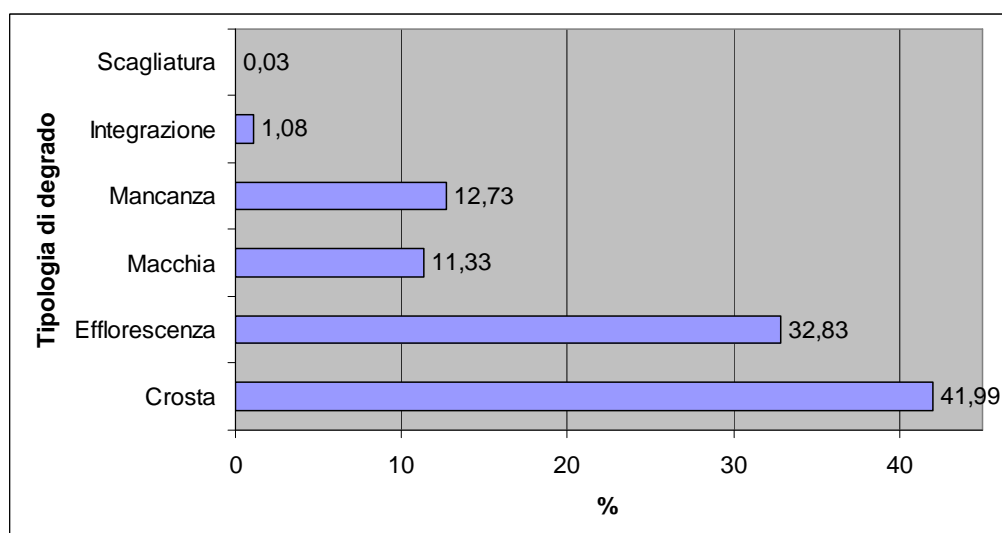


**Figura 6.6**- Percentuale di superficie interessata da ognuna delle tipologie di degrado, in relazione alla totalità dell'area degradata della facciata ovest.





**Figura 6.7** - Percentuale di superficie interessata da ognuna delle tipologie di degrado, in relazione alla totalità dell'area degradata della facciata sud.



**Figura 6.8** - Percentuale di superficie interessata da ognuna delle tipologie di degrado, in relazione alla totalità dell'area degradata della facciata est.

La fratturazione, comunque trascurabile, è presente su ognuna delle quattro facciate come riportato in tabella 6.2.

**Tabella 6.2:** Fratturazione, espressa in  $m/m^2$ , di ognuna delle facciate del basamento della Torre Campanaria del Complesso Monumentale di santa Chiara.

Fratturazione ( $m/m^2$ )			
Facciata Nord	Facciata Ovest	Facciata Sud	Facciata Est
0,082	0,057	0,004	0,033

Durante le fasi di un restauro effettuato negli scorsi anni è stato inoltre prelevato un campione della parte bassa del basamento della facciata est della Torre Campanaria (Fig. 6.9), facciata maggiormente degradata e caratterizzata da estese mancanze e fenomeni di scagliatura.

Tale campione, caratterizzato dalla presenza di crosta sulla superficie originariamente esposta ai fenomeni atmosferici, è stato sottoposto ad analisi in microscopia elettronica a scansione (SEM) e analisi in EDS.

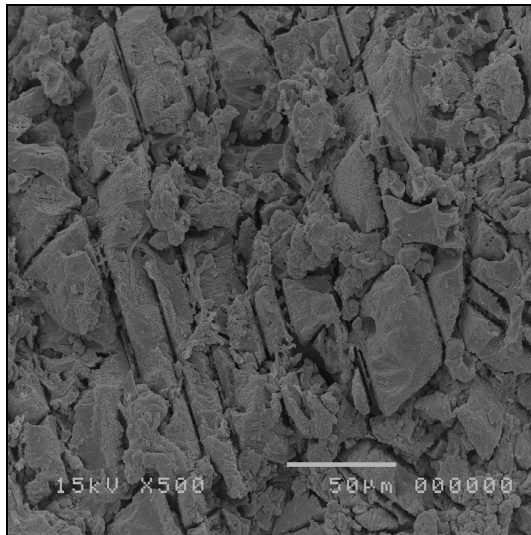


**Figura 6.9** – Campione proveniente dalla facciata est del basamento della Torre Campanaria del Monastero di Santa Chiara.

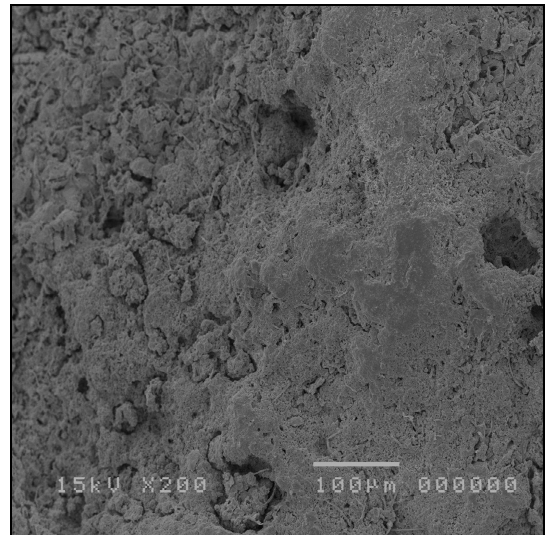
Dalle osservazioni al SEM si è potuto notare che il materiale è localmente caratterizzato da una notevole microfratturazione (Fig. 6.10a), non presente nel campione tal quale, probabilmente legata ai fenomeni di dilavamento delle acque superficiali e da essi accentuata.

La crosta è inoltre risultata caratterizzata da numerosi alveoli (Fig. 6.10b) nei quali è stata osservata la presenza di materia organica (Cianobatteri e Diatomee - Fig. 6.11) e di minerali argillosi microcristallini (Fig. 6.12), quest'ultima confermata anche dalle microanalisi in EDS (Fig. 6.13).

Tali minerali sono probabilmente da ricondursi a precedenti trattamenti artificiali sul materiale e/o a particolato atmosferico trattenuto nei vuoti generatisi sulla superficie alterata del materiale.

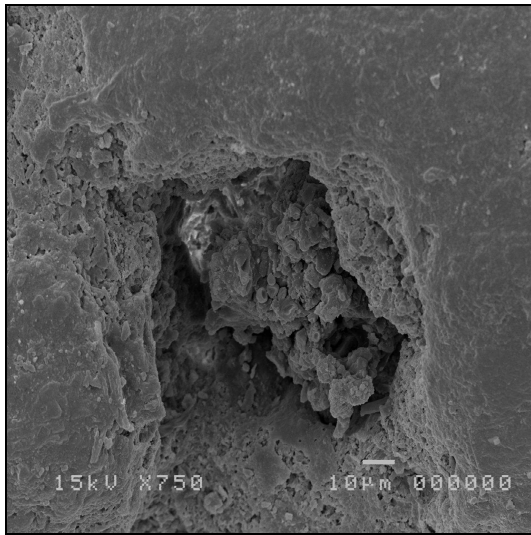


a)

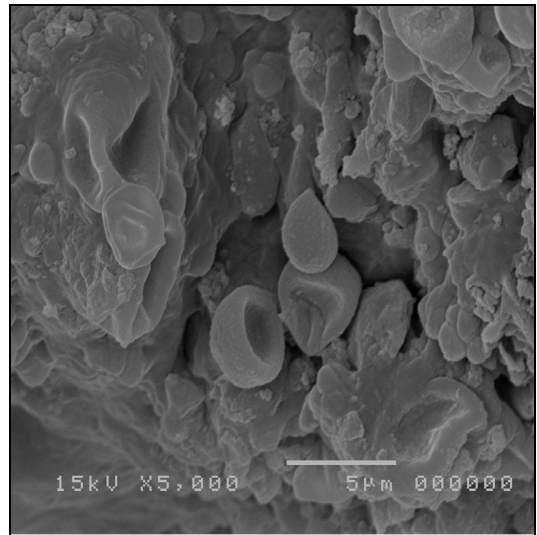


b)

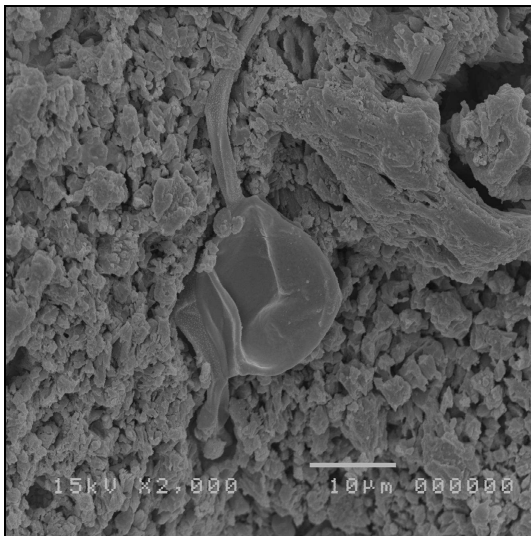
**Figura 6.10** - Micrografie al SEM: a) microfratturazione; b) crosta con presenza di alveoli.



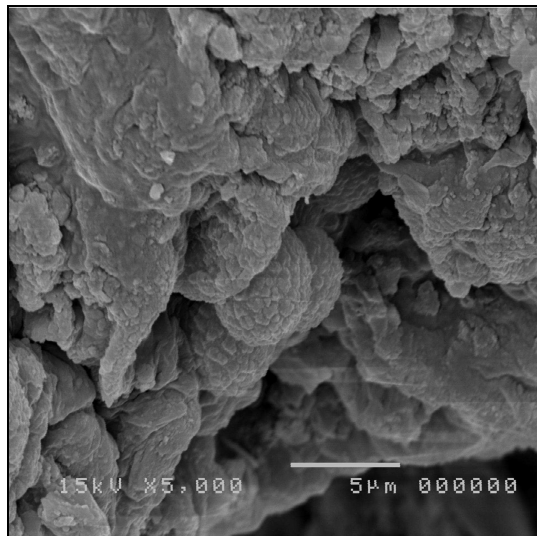
a)



b)

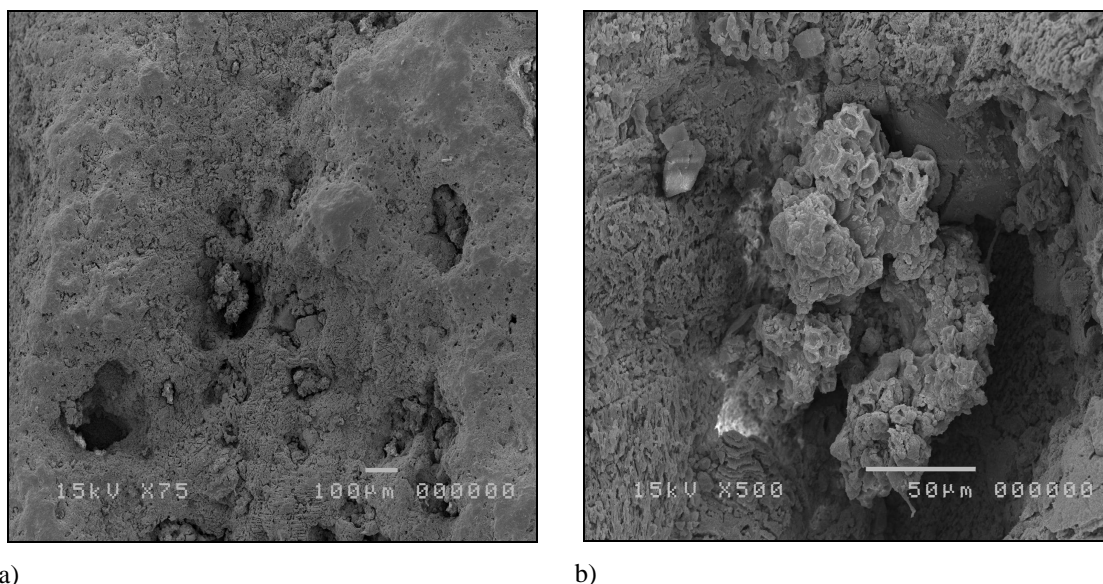


c)

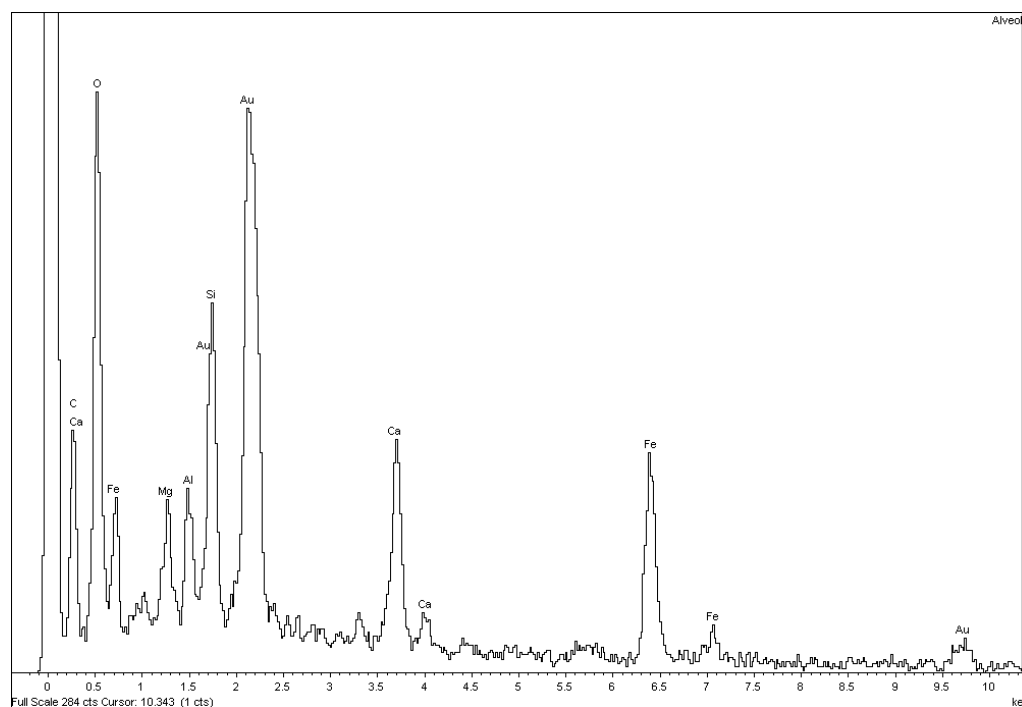


d)

**Figura 6.11** - Micrografia al SEM a) b) c) Cianobatteri; d) Diatomea.

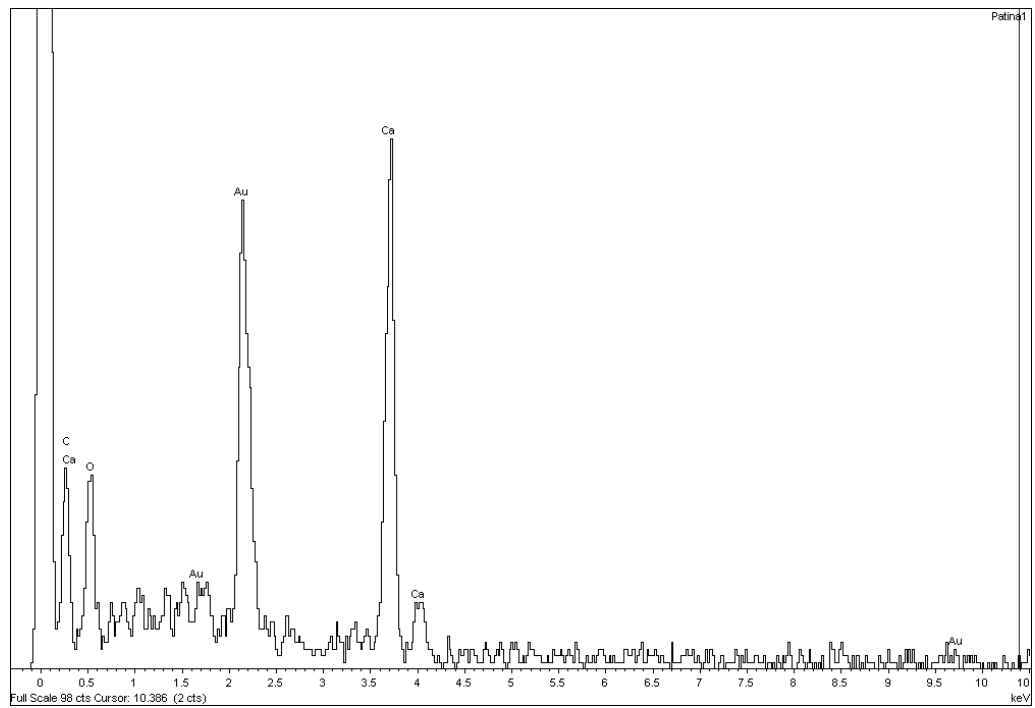


**Figura 6.12** – Micrografie al SEM: minerale argilloso microcristallino all'interno di uno degli alveoli caratterizzanti la crosta del campione alterato: a) visione d'insieme; b) ingrandimento.



**Figura 6.13** – Microanalisi in EDS del minerale argilloso microcristallino trovato all'interno di uno degli alveoli caratterizzanti la crosta del campione prelevato alla base della facciata est de Basamento del Monastero di Santa Chiara.

Microanalisi in EDS sono state anche effettuate sulla crosta per verificarne la composizione elementare (Fig. 6.14).



**Figura 6.14** – Microanalisi in EDS della crosta del campione prelevato alla base della facciata est de Basamento del Monastero di Santa Chiara.

## 7. Prospettive per il futuro sfruttamento della risorsa

Come accennato nel capitolo 4 (cfr. 4.2), in Campania sono presenti solo tre cave destinate all'estrazione dei CBL (di cui una sola schedata nel PRAE – Cusano Cava – codice PRAE 62026/03), al momento tutte abbandonate o dismesse.

Realtà diametralmente opposta è quella del Lazio meridionale (cfr. 4.4), dove, vista la notevole rilevanza economica che riveste l'estrazione di tale materiale, nel 2003 la Regione Lazio ha individuato il Distretto Industriale Monti Ausoni - Tiburtina del Marmo e del Lapideo (DGR. n. 1308 del 5 dicembre 2003) e le aziende di estrazione si sono riunite a formare il Consorzio per la Valorizzazione del Perlato Royal Coreno.

Nel capitolo seguente saranno proposti spunti per la valorizzazione e per il futuro sfruttamento dei rimanenti giacimenti della Pietra di Cusano in Campania alla luce dei vincoli attivi sul territorio e della normativa vigente in materia di attività estrattive (PRAE).

### 7.1. Vincoli attivi sul territorio

Per comprendere quali siano effettivamente le prospettive per lo sfruttamento futuro della Pietra di Cusano in Campania si è resa necessaria la consultazione del PRAE (Piano Regionale Attività Estrattive - Regione Campania, 2006) e della cartografia ad esso allegata. Tali fonti sono risultate utili nell'individuazione dei vincoli attivi nelle zone di affioramento e nella comprensione delle deroghe presenti nel piano per quanto attiene lo sfruttamento di un materiale di interesse storico, quale è appunto la Pietra di Cusano, e le possibili destinazioni d'uso dei siti in cui questo veniva estratto.

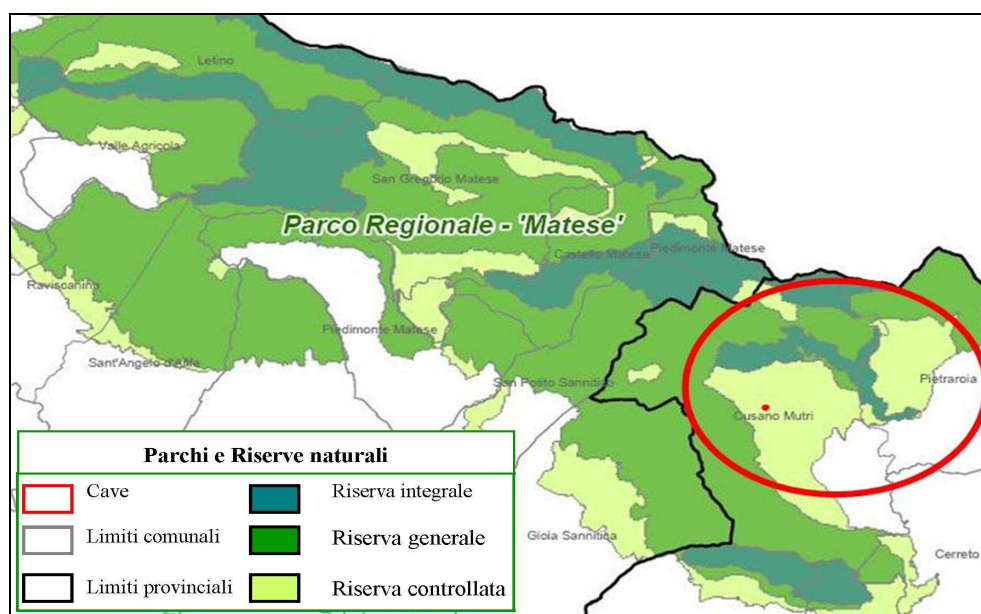
La cartografia in scala 1.200.000 in allegato al PRAE comprende diverse Tavole ma quelle che sono risultate di maggiore interesse visti gli scopi di questa ricerca sono state:

- Tavola 1: Parchi e riserve naturali in cui sono delimitate le aree di riserva integrale, generale e controllata presenti all'interno dei Parchi Regionali della Campania così come prescritto dalla L.N. 394/1991 (Legge Quadro sulle Aree Protette) e dalla L.R. n. 33/1993 (Istituzione di Parchi e Riserve Naturali in Campania);
- Tavola 2: Natura 2000 in cui sono rappresentate le aree SIC (Siti di Importanza Comunitaria) e ZPS (Zona Speciale di Conservazione) definite dalla Dir. 92/43/CEE e dalla Dir. 79/409/CEE;

- Tavola 3: Vincoli paesistici in cui sono rappresentati i principali vincoli paesistici presenti nella regione Campania;
- Tavola 8 - Aree perimetrate dal PRAE, in cui, nell'ottica della pianificazione delle attività estrattive nella regione, sono delineate le aree suscettibili di nuove estrazioni, le aree di riserva e le aree di crisi all'interno di alcune delle quali sussistono zone altamente critiche (ZAC), zone critiche (ZCR) e aree di particolare attenzione ambientale (APA).

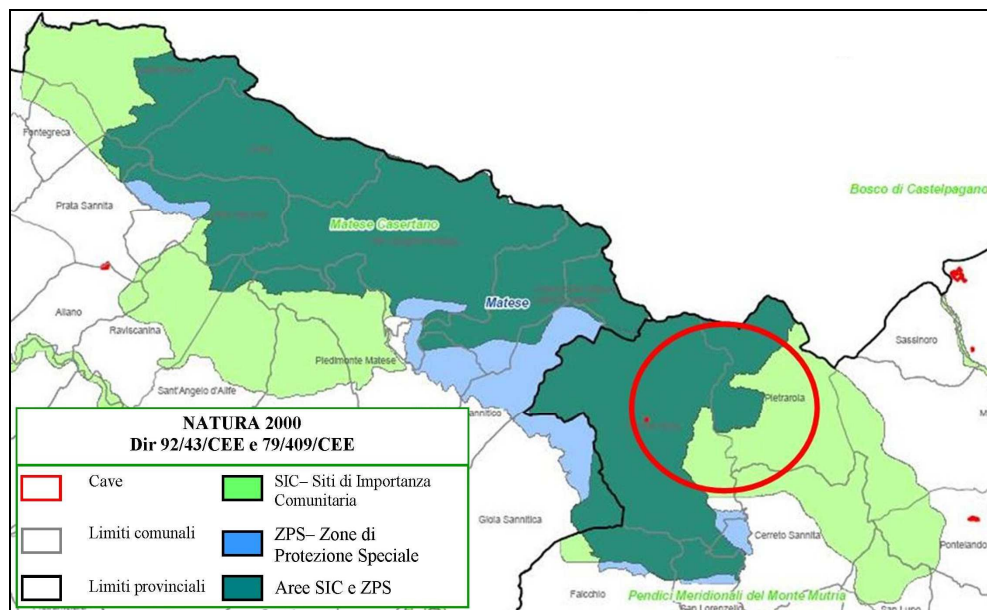
Le informazioni ricavate da tali Tavole hanno permesso di delineare le seguenti situazioni:

- Gli areali in cui ricadono gli affioramenti dei Monti del Matese rientrano nelle aree di riserva integrale, generale e controllata del relativo Parco regionale (Fig. 7.1), fanno parte delle aree SIC e ZPS del progetto Natura 2000 (Fig. 7.2) e sono sottoposti a vincolo paesistico (Fig. 7.3). Visti i vincoli a cui è soggetta, la zona non rientra nelle aree suscettibili di nuove estrazioni del PRAE (Fig. 7.4).

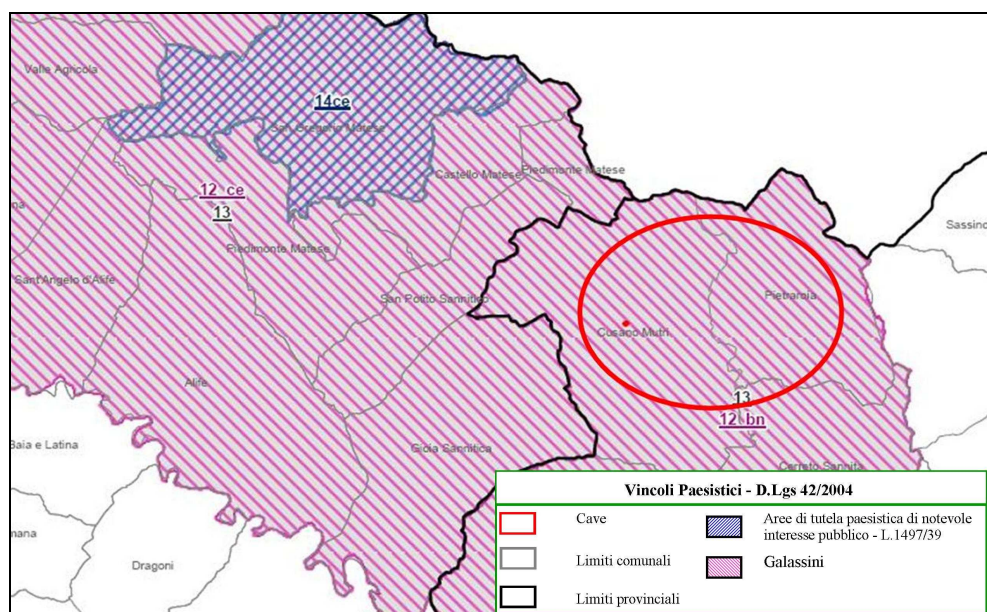


**Figura 7.1** – Stralcio della Tavola 1 (Parchi e riserve naturali) in scala 1:200.000 del PRAE. Nell'ovale rosso è evidenziata la zona in cui ricadono gli affioramenti dei Monti del Matese (BN).

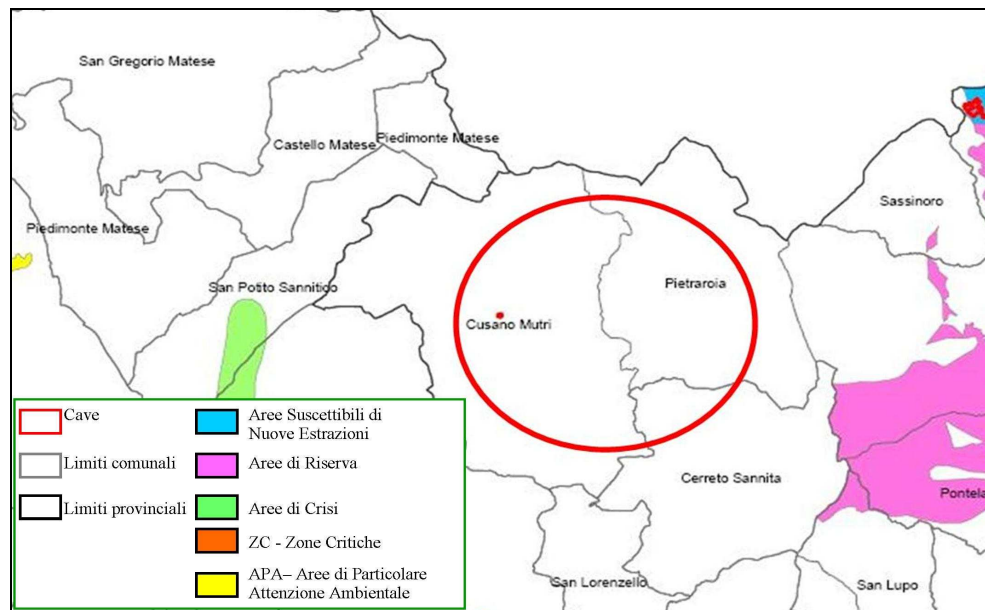




**Figura 7.2** – Stralcio della Tavola 2 (Natura 2000) in scala 1:200.000 del PRAE. Nell’ovale rosso è evidenziata la zona in cui ricadono gli affioramenti dei Monti del Matese (BN).

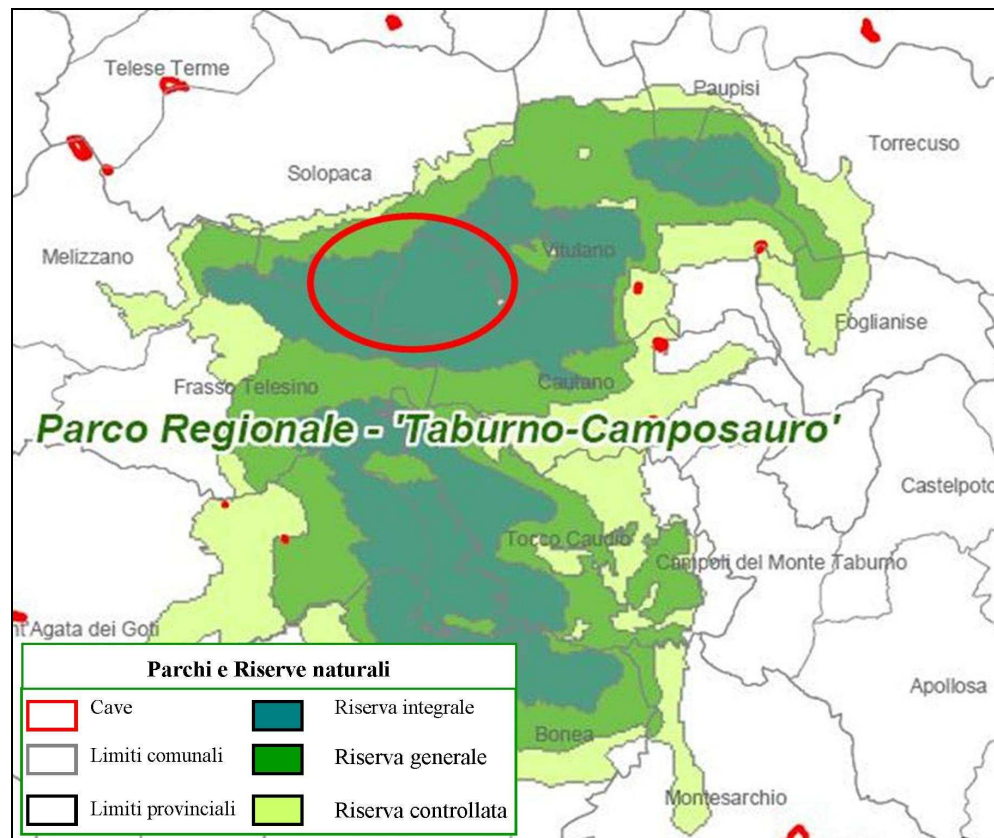


**Figura 7.3** – Stralcio della Tavola 3 (Vincoli paesistici) in scala 1:200.000 del PRAE. Nell’ovale rosso è evidenziata la zona in cui ricadono gli affioramenti dei Monti del Matese (BN).

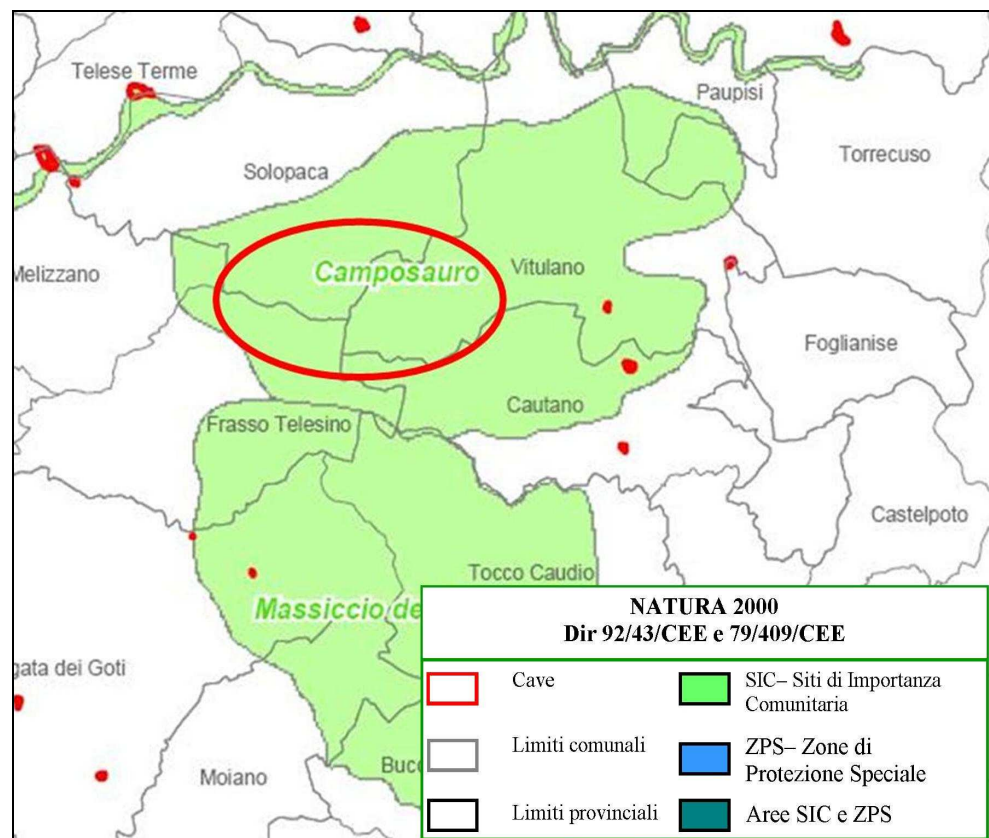


**Figura 7.4** – Stralcio della Tavola 8 (Aree perimetrare dal PRAE) in scala 1:200.000 del PRAE. Nell'ovale rosso è evidenziata la zona in cui ricadono gli affioramenti dei Monti del Matese (BN).

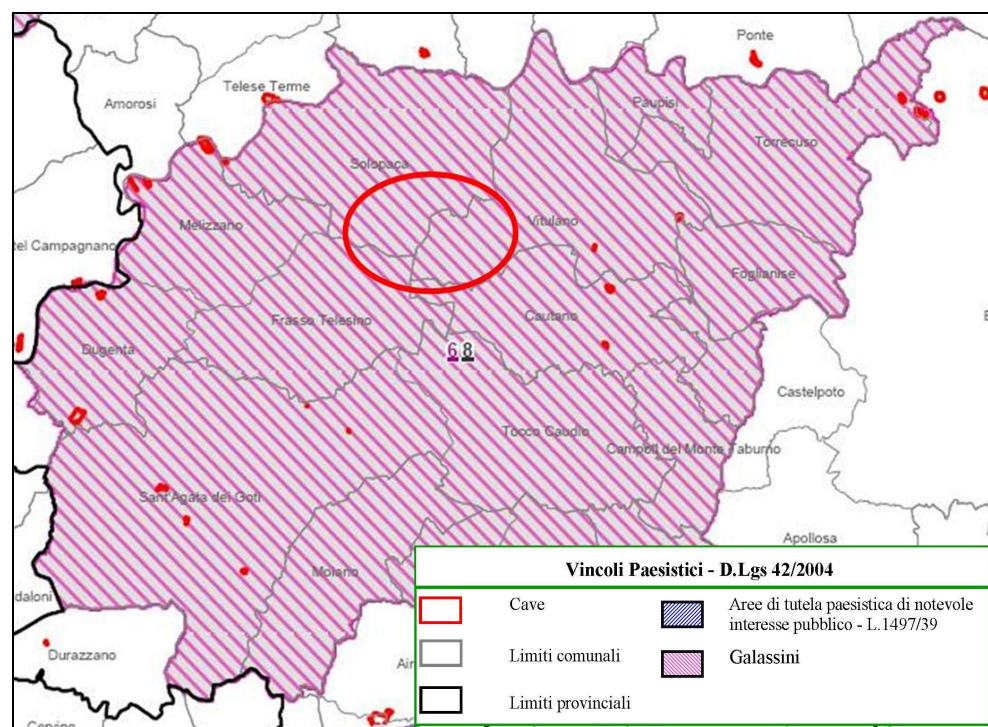
- Gli areali in cui ricadono gli affioramenti del Monte Camposauro rientrano nelle aree di riserva integrale e generale del relativo parco regionale (Fig. 7.5), fanno parte delle aree SIC del progetto Natura 2000 (Fig. 7.6) e sono sottoposti a vincolo paesistico (Fig. 7.7). Come per i Monti del Matese, alla luce dei vincoli che la contraddistinguono, la zona non rientra nelle aree suscettibili di nuove estrazioni del PRAE (Fig. 7.8).



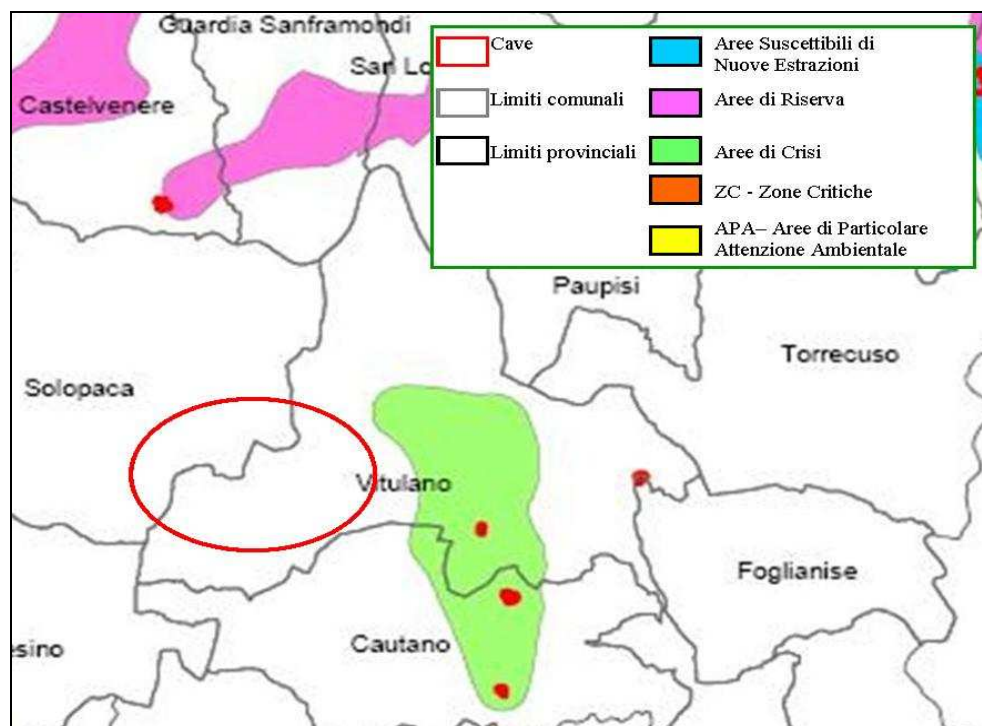
**Figura 7.5** – Stralcio della Tavola 1 (Parchi e riserve naturali) in scala 1:200.000 del PRAE. Nell'ovale rosso è evidenziata la zona in cui ricadono gli affioramenti del Monte Camposauro (BN).



**Figura 7.6** – Stralcio della Tavola 2 (Natura 2000) in scala 1:200.000 del PRAE. Nell'ovale rosso è evidenziata la zona in cui ricadono gli affioramenti del Monte Camposauro (BN).

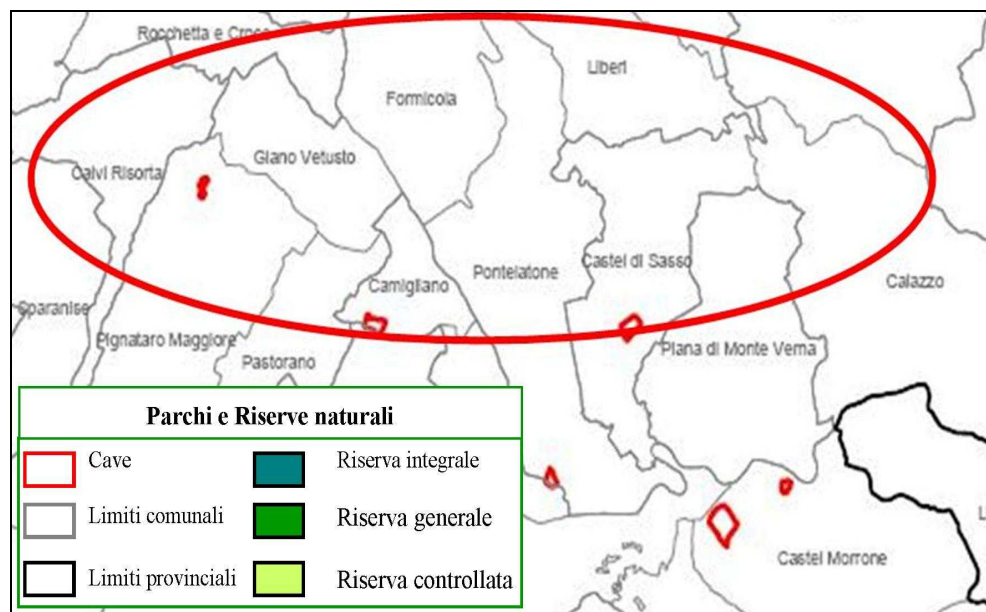


**Figura 7.7** – Stralcio della Tavola 3 (Vincoli paesistici) in scala 1:200.000 del PRAE. Nell’ovale rosso è evidenziata la zona in cui ricadono gli affioramenti del Monte Camposauro (BN).

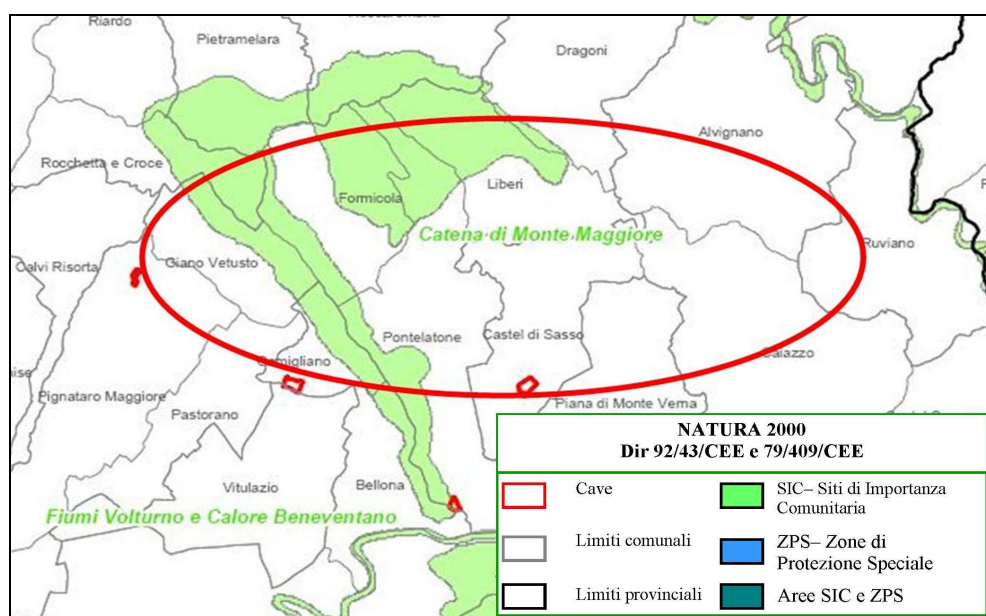


**Figura 7.8** – Stralcio della Tavola 8 (Aree perimetrate dal PRAE) in scala 1:200.000 del PRAE. Nell’ovale rosso è evidenziata la zona in cui ricadono gli affioramenti del Monte Camposauro (BN).

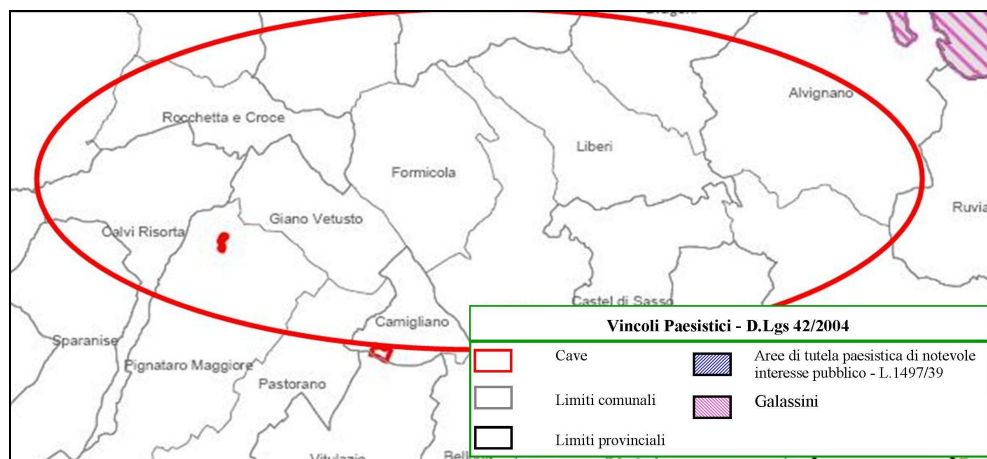
- Gli areali in cui ricadono gli affioramenti dei Monti Trebulani sono liberi da vincoli (Fig. 7.9 – 7.11) fatta eccezione per un limitato areale ricadente in ambito SIC (Fig. 7.10). Rientrano pertanto in aree di riserva ed in aree suscettibili di nuove estrazioni ovvero in zone in cui è possibile non solo la prosecuzione dell'attività estrattiva ma anche l'ampliamento della stessa mediante l'individuazione di nuovi siti da adibire a cava (Fig. 7.11)



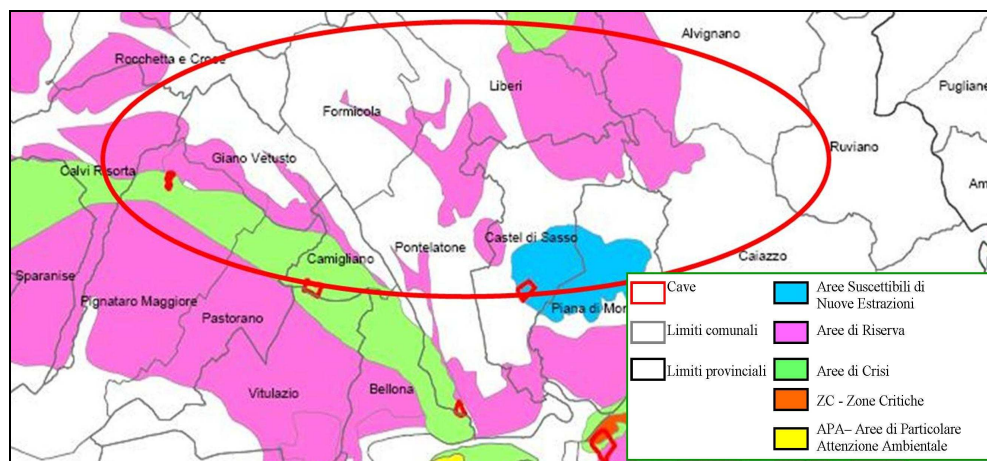
**Figura 7.9** – Stralcio della Tavola 1 (Parchi e riserve naturali) in scala 1:200.000 del PRAE. Nell'ovale rosso è evidenziata la zona in cui ricadono gli affioramenti del Monti Trebulani (CE).



**Figura 7.10** – Stralcio della Tavola 2 (Natura 2000) in scala 1:200.000 del PRAE. Nell'ovale rosso è evidenziata la zona in cui ricadono gli affioramenti dei Monti Trebulani (CE).

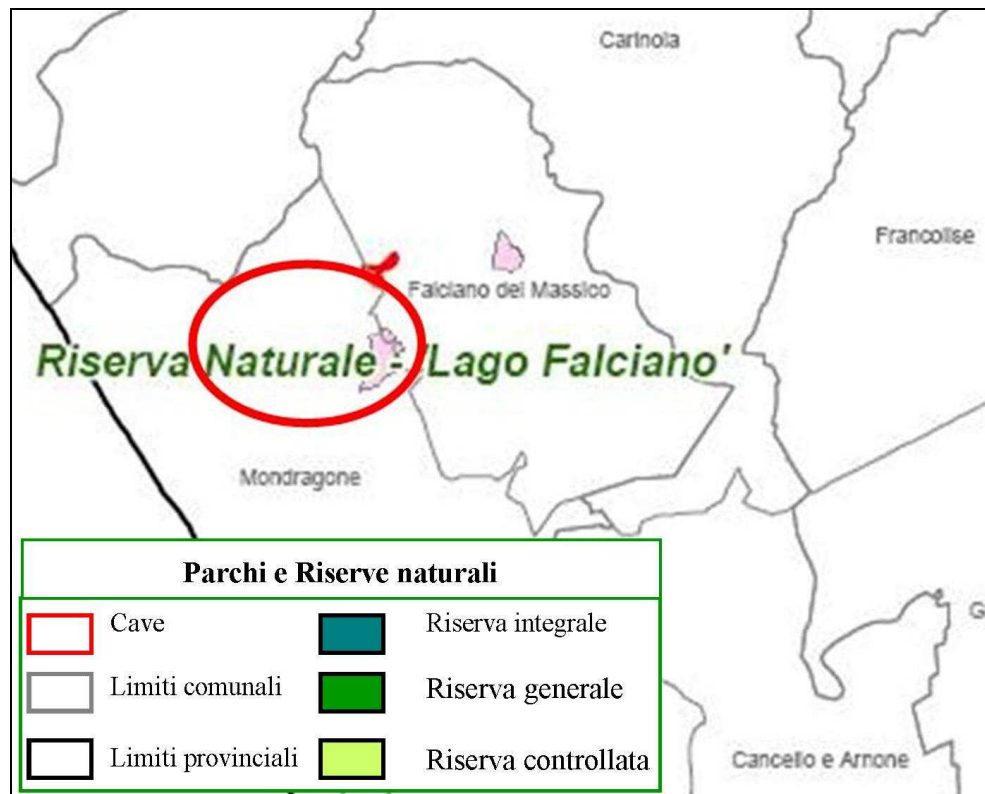


**Figura 7.10** – Stralcio della Tavola 3 (Vincoli paesistici) in scala 1:200.000 del PRAE. Nell'ovale rosso è evidenziata la zona in cui ricadono gli affioramenti dei Monti Trebulani (CE).

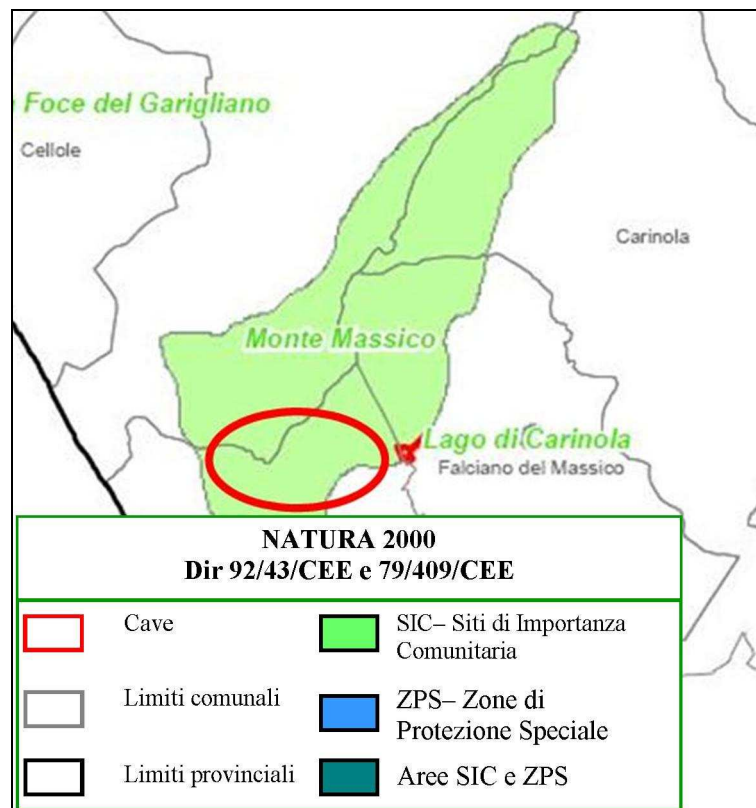


**Figura 7.11** – Stralcio della Tavola 8 (Aree perimetrate dal PRAE) in scala 1:200.000 del PRAE. Nell'ovale rosso è evidenziata la zona in cui ricadono gli affioramenti dei Monti Trebulani (CE).

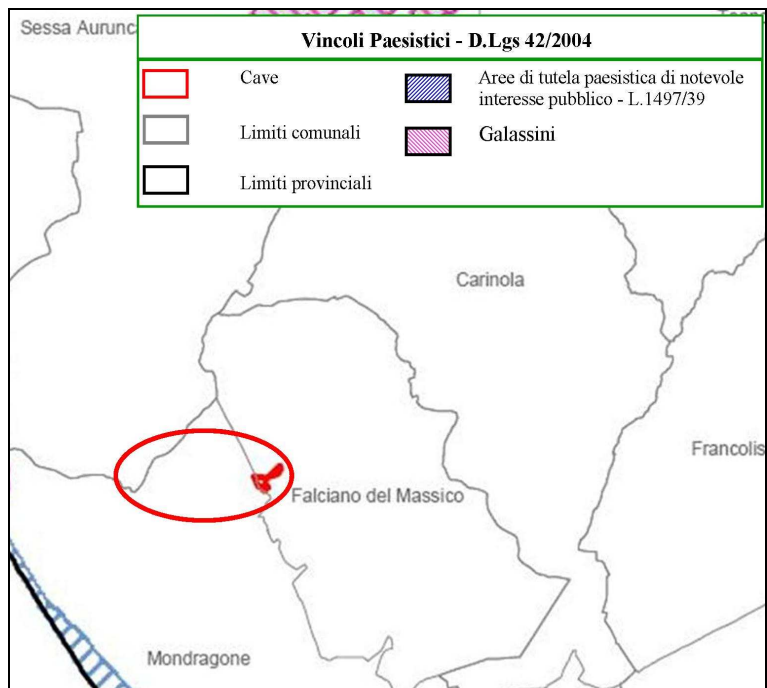
- Gli affioramenti del Monte Massico ricadono unicamente in zona SIC (Fig. 7.12 - 7.13 -7.14) e rientrano nelle aree di crisi del PRAE (Fig. 7.15) ovvero zone in cui è proibita l'apertura di nuove attività estrattive per la già numerosa presenza di cave, attive e non, che, comportando un'estesa modifica del territorio, sono fonte di un notevole impatto ambientale e paesaggistico.



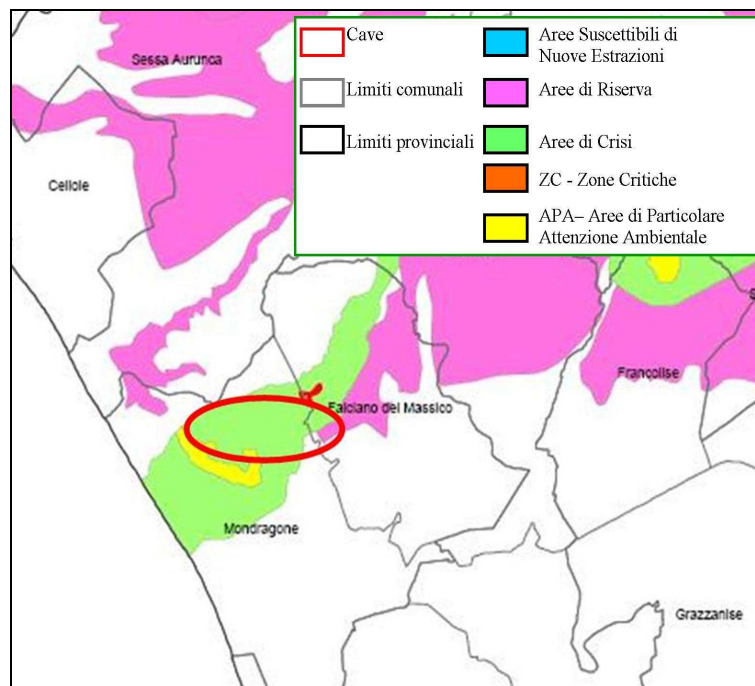
**Figura 7.12** – Stralcio della Tavola 1 (Parchi e riserve naturali) in scala 1:200.000 del PRAE. Nell’ovale rosso è evidenziata la zona in cui ricadono gli affioramenti Monte Massico (CE).



**Figura 7.13** – Stralcio della Tavola 2 (Natura 2000) in scala 1:200.000 del PRAE. Nell’ovale rosso è evidenziata la zona in cui ricadono gli affioramenti del Monte Massico (CE).



**Figura 7.14** – Stralcio della Tavola 3 (Vincoli paesistici) in scala 1:200.000 del PRAE. Nell’ovale rosso è evidenziata la zona in cui ricadono gli affioramenti del Monte Massico (CE).



**Figura 7.15** – Stralcio della Tavola 8 (Aree perimetrare dal PRAE) in scala 1:200.000 del PRAE. Nell’ovale rosso è evidenziata la zona in cui ricadono gli affioramenti del Monte Massico (CE).



## 7.2 Prospettive di sfruttamento e valorizzazione della Pietra di Cusano

Da quanto detto riguardo ai vincoli di carattere paesaggistico ed ambientale attivi nei principali areali di affioramento, risulta evidente che solo presso i Monti Trebulani sarebbe possibile programmare una nuova attività estrattiva del materiale oggetto di studio, anche se ciò non appare conveniente, almeno in prima approssimazione, alla luce delle scarse qualità tecniche del materiale qui affiorante (cfr. par. 4.1.3.1).

Il PRAE prevede però possibilità di estrarre materiale anche in aree sottoposte a vincolo, qualora il suddetto materiale fosse dotato di particolare pregio o interesse storico.

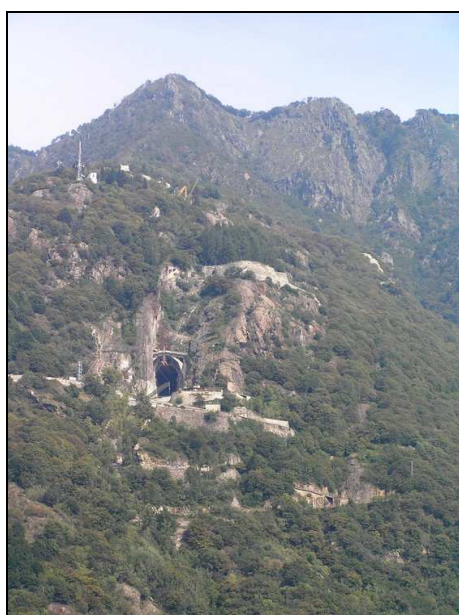
Esistono infatti in Campania ottanta cave di pietre ornamentali che si possono definire 'cave storiche', i cui giacimenti contengono materiali utilizzati diffusamente nei monumenti storici ma anche nell'architettura povera della regione Campania e hanno caratterizzato l'architettura e l'urbanistica locale o regionale.

Per garantire uno sfruttamento mirato e razionale e contemporaneamente la conservazione e la valorizzazione di queste cave, l'art. 32 delle Norme di attuazione del PRAE sancisce la possibilità di riaprire, anche in deroga ai vincoli generali di carattere paesaggistico o ambientale che sussistono sul territorio, cave storiche o cave di pietre ornamentali di particolare pregio e fissa a tal proposito un limite massimo di estraibilità pari a 1000 m<sup>3</sup> di materiale lavorato all'anno (art. 32 comma 6). Il materiale estratto può essere ragionevolmente impiegato durante operazioni di restauro dei manufatti di interesse storico, artistico o architettonico da esso costituiti o può essere destinato all'arredo urbano delle principali città della Campania. A titolo di esempio, la cubatura massima di materiale lavorato estraibile in un anno sarebbe sufficiente a pavimentare quasi interamente Via Toledo, una delle principali arterie della città di Napoli (1400 m di lunghezza per circa 16 di larghezza).



**Figura 7.18-** Via Toledo, Napoli.

Non sarebbe comunque una novità destinare cave di materiali di interesse storico o di pregio unicamente alla costruzione o al restauro di una o più opere da esso costituito. Si pensi ad esempio alle cave del Marmo di Candoglia per le quali una legge del 1927, in seguito confermata da una legge regionale piemontese, rinnova il diritto esclusivo che fu dato all'ente della Fabbrica del Duomo di Milano nel 1387 da Gian Galeazzo Visconti, signore di Milano, ad utilizzare tale marmo unicamente per la costruzione della cattedrale.



**Figura 7.16:** Cava di Marmo di Candoglia (Mergozzo – VB).



**Figura 7.17:** Marmo di Candoglia – Duomo di Milano.

L'art. 32 delle Norme di attuazione del PRAE cita tra le cave storiche individuate in Campania anche due cave del comprensorio di Pietraroja – Cusano Mutri (cod. PRAE 65051/07 e 62026/03) una chiusa, l'altra abbandonata, nelle quali era estratta la Pietra di Cusano.

A tal proposito, in seguito ad una approfondita valutazione di impatto ambientale (VIA) ed ad una stima esatta del rapporto costi/benefici, sarebbe interessante formulare una proposta per l'apertura o la riapertura di cave di CBL per gli scopi di cui sopra.

Sempre l'art. 32 delle Norme di attuazione del PRAE annovera tra le possibili destinazioni dei siti interessati da cave storiche:

- centri di ricerca scientifica;
- centri di cultura mineraria;
- percorsi etnologici e naturalistici;
- archivio storico delle attività estrattive in Campania;
- musei di cultura mineraria.

Questo è quanto sta già accadendo sul Matese nella zona circostante Cava Canale.

Qui infatti affiorano calcari cretacici di ambiente lagunare all'interno dei quali, negli anni '70 del secolo scorso, è stato ritrovato in perfetto stato di conservazione un fossile di cucciolo di *Scipionyx Samniticus*, comunemente denominato 'Ciro', completo di organi interni, unico esemplare integro di dinosauro italiano.

Questo importante ritrovamento ha portato alla creazione del *Paleo-Lab* di Pietraroja una struttura didattica - divulgativa attualmente gestita dalla Soprintendenza Archeologica di Salerno, Avellino e Benevento.

La valorizzazione della zona non si è limitata agli affioramenti cretacici; è da circa un anno infatti che l'Ente Parco ha iniziato i lavori per la messa in sicurezza dei fronti e del piazzale della cava in località Canale, attigua al giacimento cretacico, con creazione di sentieristica ed apposizione lungo percorsi di pannelli informativi.

Sarebbe auspicabile dunque una completa valorizzazione oltre che della risorsa in senso stretto, dei "luoghi della risorsa" con istituzione di geositi (Wimbledon, 1996), percorsi guidati, infrastrutture, musei e centri tematici. Considerato infatti il significato storico-culturale della Pietra di Cusano, da sempre materia prima per la realizzazione di gran parte del costruito dei centri abitativi siti in prossimità ai suoi areali di affioramento, sarebbe infatti di estremo interesse poter impostare un itinerario che renda possibile l'osservazione diretta delle caratteristiche litologiche della roccia.

Progetti simili sono già in atto sul territorio regionale, si pensi ad esempio alle cave di Piperno presenti lungo i fianchi della collina dei Camaldoli, nei territori di Soccavo e Pianura (Napoli) ed in particolare alla cava di Masseria del Monte (Fig. 7.19), attualmente chiusa al pubblico, ma oggetto di riqualificazione e di rivalutazione (Calcaterra *et al.*, 2005), come testimoniato dalla sua apertura durante il Maggio dei Monumenti di Napoli del 2007.



**Figura 7.19-** Interno della cava di Piperno di Masseria del Monte (Pianura - NA).

## Considerazioni conclusive

Il presente lavoro di ricerca fornisce nuove informazioni circa le caratteristiche geologico-stratigrafiche, mineralogico-petrografiche e fisico-meccaniche della Pietra di Cusano e sulle principali tipologie di degrado a cui essa è preferenzialmente soggetta. L'identificazione e l'interpretazione dei processi di degrado di un geomateriale aumentano infatti la probabilità di successo degli eventuali interventi di restauro e/o di conservazione sui manufatti da esso costituiti.

Gli studi di carattere sedimentologico hanno permesso di distinguere, all'interno della formazione oggetto di studio, almeno otto varietà commerciali e di collocare ognuna di esse all'interno di un modello deposizionale. Tale modello, fornendo informazioni circa la possibile distribuzione spaziale dei litotipi all'interno del giacimento, costituisce un utile supporto per la pianificazione dello sfruttamento delle cave attive, specie nel Lazio meridionale, e per la valutazione delle potenzialità di eventuali nuovi siti estrattivi.

Gli studi di carattere geologico - tecnico hanno dimostrato che la Pietra di Cusano presenta caratteristiche fondamentalmente in linea con quelle ricavate per alcuni dei più importanti lapidei ornamentali carbonatici della Campania (Breccia Irpina, Marmi di Mondargone, Marmi di Vitulano, Pietra di Bellona, Pietra di Padula).

Non sono state individuate particolari relazioni tra il *rock-fabric* e le principali caratteristiche geologico-tecniche (porosità aperta, peso di volume, peso specifico reale, velocità ultrasonica, resistenza a compressione uniassiale, resistenza a flessione ed a trazione indiretta) dei materiali campionati. Infatti le varie litofacies sono risultate perlopiù omogenee, dal punto di vista fisico-meccanico, e le piccole differenze riscontrate sono state ricondotte alla presenza delle numerose superfici stilolitiche che pervadono la roccia nelle tre dimensioni.

Anche la composizione chimico-mineralogica della Pietra di Cusano è risultata perlopiù omogenea e costituita da Calcite ed in piccole percentuali anche da Calcite magnesiaca. La maggiore concentrazione di quest'ultima, riscontrata nei campioni laziali, è stata considerata come indicativa del sito di provenienza ed inoltre ha probabilmente influito, almeno in parte, sulla risposta alle sollecitazioni meccaniche dei materiali campionati, ad esempio incrementandone la resistenza a compressione uniassiale.

Altro parametro che si ritiene influenzi la resistenza a compressione uniassiale è la presenza, nei campioni campani, di un maggior numero di microfratture riempite da calcite di neoformazione che, pur non contribuendo in maniera significativa alla porosità aperta, costituiscono piani di rottura preferenziale.

Va però detto che sono comunque molteplici i fattori che normalmente influenzano il carico a rottura di un materiale, basti pensare ai piani di stratificazione, di foliazione, di scistosità, al contenuto di umidità, alla tessitura, allo stato di alterazione, alle modalità ed alla velocità di applicazione del carico.

Nel caso particolare della Pietra di Cusano si è accertato che il verso di applicazione del carico rispetto ai piani di stratificazione non influisce in maniera rilevante sulla resistenza a compressione, poiché il comportamento meccanico, come precedentemente accennato, è prevalentemente controllato dalle le superfici stilolitiche.

Discorso a parte va fatto per quanto attiene alle modalità di esecuzione della prova di compressione. Nell'ambito di questa ricerca si è potuto infatti ampiamente verificare come velocità e metodologia di prova, pur se definite dalla normativa di riferimento, influiscano sulla resistenza a compressione uniassiale in termini sia prettamente numerici che di comportamento meccanico vero e proprio.

Dai risultati ottenuti nel corso di questa ricerca di dottorato si può dunque affermare che, nel complesso, la Pietra di Cusano è un materiale di elevato pregio il cui limite essenziale è costituito dalla ridotta disponibilità; attualmente, in Campania, le cave di tale materiale risultano infatti tutte chiuse o abbandonate. Nonostante però ricadano in aree soggette a vincolo paesaggistico, tali cave rientrano tra le cave storiche del Piano Regionale per le Attività Estrattive, per le quali è consentita l'estrazione di soli 1000 m<sup>3</sup> di materiale all'anno. È pertanto di fondamentale importanza salvaguardare la risorsa ed utilizzarla soltanto per interventi di tipo conservativo del patrimonio architettonico monumentale regionale o, considerato il significato storico-culturale della pietra, per l'arredo urbano di quei centri storici siti in prossimità dei suoi areali di affioramento.

## Riferimenti bibliografici

**Accordi B.** (1963) - Lineamenti strutturali del Lazio e dell'Abruzzo meridionali. Mem. Soc. Geol. It., **4**, 594-633.

**Barbera C., Carannante G., D'Argenio B., Simone L.** (1980) - Il Miocene calcareo dell'Appennino Meridionale: contributo della paleoecologia alla costruzione di un modello ambientale. Annali Università di Ferrara (N.S.), sez. IX, 6, 281-289.

**Allocca F.** (2007) - Recupero, salvaguardia e valorizzazione degli antichi siti di estrazione delle pietre ornamentali utilizzate nell'architettura storica della Campania. *Phd Thesis*, Università degli Studi di Sassari, pp. 114.

**Allocca F., Calcaterra D., Calicchio G., Cappelletti P., Colella A., Langella A., de'Gennaro M.** - I Marmi di Vitulano nell'architettura della Campania. In: Atti del Convegno DIACOMAST, *in press*.

**Almesberger D., Geometrante R., Šuran P.** (2000) - Ultrasonic testing method for the characterization of Pietra d'Istria structural elements. In: Fassina F. (ed.): Proceedings of 9th international congress on deterioration and conservation of stone, 2, 317-325.

**Barbera C., Carannante G., Simone L.** (1978) - Depositi circolittorali di piattaforma aperta nel Miocene campano: analisi sedimentologica e paleoecologica. Boll. Soc.-Geol. It., **97**, 821-834.

**Basso D.** (1998) - Deep rhodolith distribution in the Pontian Islands, Italy: a model for the paleoecology of a temperate sea. *Palaeoogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, **137**, 173-181.

**Bieniawski Z.T.** (1973) - Engineering classification of jointed rock masses. *Trans. S. Afr. Inst. Civ. Eng.*, **15**, 335-344.

**Bigi G., Parrotto M.** (1986) . Carta Geologica del Parco Nazionale d'Abruzzo.

**Bish D.L., Chipera S.J.** (1988) - Problems and solutions in quantitative analysis of complex mixture by X-Ray powder diffraction. *Adv. X-ray Anal.*, **31**, 295-307.

**Boccaletti M., Ciaranfi N., Cosentino D., Deiana G., Lentini F., Massari F., Moratti F., Pescatone G., Ricci Lucchi F., Tortici L.** (1990) - Palinspastic restoration and paleogeographic reconstruction of the peri-Tyrrhenian area during the Neogene. *Paleoogr. Paleoclimatol. Paleoecol.*, **77**, 41-50.

**Bonardi G., D'Argenio B., Perrone V.** (1988) - Carta geologica dell'Appennino meridionale alla scala 1:250000. Mem. Soc. Geol. It., **41**, 2, 1341.

**Bosence D.W.J. , Pedley H.M.** (1982) - Sedimentology and Palaeoecology of a Miocene coralline algal biostrome from Maltese islands. *Palaeoogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, **38**, 9-43.

**Bosence D.W.J.** (1983 a) - Description and classification of rhodoliths (rhodoids, rhodolites). In: Peryt T.M. (ed.) .Coated grains. Springer-Verlag, Berlin, 217-224.

**Bosence D.W.J.** (1983 b) -The occurrence and ecology of recent rhodoliths. In: Peryt T.M. (ed.): Coated grains. Springer-Verlag, Berlin, 225-242.

**Braga J.C. , Aguirre J.** (2001) - Coralline alga assemblage in Upper Neogene reef and temperate carbonates in Southern Spain. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 175, 27-41.

**Braga J.C. , Martin J.M.** (1988) - Neogene coralline-algal growth-form and their palaeoenvironments in Almazora River Valley (Almeria, S.E. Spain). *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 67, 285-303.

**Brandano M., Piller W. E.** - Coralline algae, oysters and echinoids - a liaison in rhodolith formation from Burdigalian of the Latium-Abruzzi Platform (Italy), *in press*.

**Brandano M.** (2001) - Risposta fisica delle aree di piattaforma carbonatica agli eventi più significativi del Miocene nell'Appennino centrale. Phd thesis, Univ. of Rome "La Sapienza", pp.180.

**Brandano M., Vannucci G., Guillem M.V.** (2007) - Le alghe rosse calcaree come indicatori paleoambientali: l'esempio della rampa carbonatica Laziale - Abruzzese (Burdigaliano - Appennino centrale). *Boll. Soc. Geol. It.*,126, 1, 56-69.

**Brandano M., Vannucci G., Pomar L., Obrador A.** (2005) - Rodolith assemblages from the lower Tortonian carbonate ramp of Menorca (Spain): Environmental and paleoclimatic implications. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 226, 307-323.

**Broch E.M., Franklin J.A.** (1972) - The point load strength test. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 9, 669-697.

**Budetta P., Calcaterra D., Corniello A., De Riso R., Ducci D., Santo A. (...)** - Appunti di geologia dell'Appennino Meridionale con riferimenti ai rischi ed alle risorse del territorio. Istituto di Geologia Applicata. Facoltà di Ingegneria - Università di Napoli Federico II. Pubblicazione n°332.

**Calcaterra D., Cappelletti P., de' Gennaro M., Iovinelli R., Langella A., Morra V.** (1995) - I materiali lapidei del centro antico di Napoli: criteri metodologici per una cartografia dei litotipi e dei fenomeni di degrado. *Geologia applicata e Idrogeologia*, 30,13-27.

**Calcaterra D., Langella A., de Gennaro R., de'Gennaro M., Cappelletti P.** (2005) - Piperno from Campi Flegrei: a relevant stone in the historical and monumental heritage of Naples (Italy). *Environmental Geology*, 47, 341-352.

**Carannante G., Simone L., Barbera C.** (1981) - Calcari a Briozoi e Litotamni of southern Apennines. Miocenic analogous of recent mediterranean rhodolithic sediments. IAS 2nd European Meeting, Bologna, abstr, 17-20.



**Carannante G.** (1982) - Modello deposizionale e diagenetico di un livello fosfatico nel Miocene carbonatico dell'Appennino Campano. *Rend. Soc. Geol. It.*, 5, 15-20.

**Carannante G.** (1982) - La Valle del Canale (Civita di Pietraroja, Matese) una incisione miocenica riesumata sul margine della piattaforma carbonatica abruzzese-campana. *Geologica Rom.*, 21, 511-521.

**Carannante G., D'Argenio B., Ferreri V., Simone L.** (1986) - Cretaceous paleokarst of the Campania Apennines: from early diagenetic to late filling stage. A case history. *Rend. Soc. Geol. It.*, 9, 251-256.

**Carannante G., D'Argenio B., Mindszenty A., Ruberti D., Simone L.** (1994) - Cretaceous-Miocene shallow water carbonate sequences. Regional unconformities and facies patterns. 15 IAS Reg. Meeting, Excursion A2, Ischia.

**Carannante G., Esteban M., Milliman J. D., Simone L.** (1988) - Carbonate lithofacies as paleolatitude indicators: problems and limitations. *Sedimentary Geology*, 60, 33-346.

**Carannante G., Ruberti D., Simone L.** (1993) - Rudists and related sediments in late Cretaceous open shelf settings. A case history from Matese area (Central-Southern Apennines, Italy). *Giornale di Geologia*, ser. 3a, 55 (1), 21-36.

**Carannante G., Severi C., Simone L.** (1996) - Off-shelf carbonate transport along foramol (temperate-type) open shelf margins: an example from the Miocene of the central-southern Apennines (Italy). *Mem. Soc. Geol. France*, 169, 277-288.

**Casero P., Roure F., Endignoux L., Moretti I., Müller C., Sage L., Vially R.** (1988) - Neogene geodynamic evolution of the Southern Apennines. *Mem. Soc. Geol. It.*, 41, 109-120.

**Centro di competenza regionale INNOVA** - Iper testo: I beni Geoambientali del Parco Regionale del Matese.

**Chipera S.J., Bish D.L.** (1995) - Multireflection RIR and intensity normalizations for quantitative analyses: applications to feldspar and zeolites, *Powder Diff.*, 10 (1), 47-55.

**Choquette P.W., Pray L.C.** (1970) - Geologic nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates. *AAPG Bull.*, 54, 207-244.

**Chung F. H.** (1994) - Quantitative interpretation of X-ray diffraction patterns of mixtures. I. Matrix-flushing method for quantitative multicomponent analyses. *J. Appl. Cryst.*, 1, 519-525.

**Ciampo G., Sgroso I., Ruggiero Taddei E.** (1987) - L'inizio della sedimentazione terrigena nel Matese, nei monti del casertano e nei Monti di Suio. *Boll. Soc. Geol. It.*, 106, 323-330.

**Cinque A., Patacca E., Scandone P., Tozzi M.** (1993) - Quaternary kinematic evolution of the Southern Apennines. Relationship between surface geological features and deep lithospheric structures. Special Issue on the workshop "Modes of crustal

deformation: from the brittle upper crust through detachments to the ductile lower crust". Erice, 18-24 November 1991. *Ann. Geofis.*, 36, 249-260.

**Civitelli G., Brandano M.** (2005) - Atlante delle litofacies e modello deposizionale dei Calcari a Briozoi e Litotamni nella Piattaforma carbonatica laziale-abruzzese. *Boll. Soc. Geol. It.*, 124, 611-643.

**Coates D.F.** (1964) - Classification of rock for rock mechanics. *Int. J. Rock. Mech. Min. Sci.*, 1, 421-429.

**Consorzio per la valorizzazione del Perlato Royal Coreno s.r.l.** (2002) - Manuale del Perlato Royal Coreno.

**Corda L., Bradano M.** (2002) - Aphotic zone carbonate production on a Miocene ramp, Central appennines, Italy. *Sedimentary Geology*, 161, 55-70.

**D'Argenio B., Mindszenty A., Bardossy G., Juhasz E., Boni M.** (1987) - Bauxites of Southern Italy revisited. *Rend. Soc. Geol. It.*, 9, 263-268.

**D'Argenio B., Ortolani F., Pescatore T.** (1986) - Geology of the Southern Apennines. A brief outline. *Int. Ass. Eng. Geol. Proc. Intern. Symp. on: Engineering Geology Problems in Seismic Areas*, 6, Bari.

**D'Argenio B.** (1961) - Sul Micene autoctono del Monte Camposauro (Gruppo del Taburno, Benevento). *Boll. Soc. Natur. Napoli*, LXX, 77-79.

**D'Argenio B.** (1967) - Geologia del gruppo del Taburno-Camposauro (Appennino campano). *Atti acc. Sc. Fis. Mat. Napoli*, 6, 35-218.

**D'Argenio B., Pescatore T., Scandone B.** (1973) - Schema geologico dell'Appennino meridionale (Campania e Lucania). *Atti Accad. Naz. Lincei*, 183, 49-72.

**D'Argenio B., Pescatore T., Scandone B.** (1975) - Structural pattern of the Campania-Lucania Apennines. *Quad. Ric. Sci.*, 90, 313-327.

**De Vito C., Ferrini V., Mignardi S., Piccardi L., Tuteri R.** (2004) - Mineralogical-petrographic and geochemical study to identify the provenience of limestone from two archaeological sites in Sulmona area (L'Aquila, Italy). *Journal of Archeological Science*, 1383-1394.

**Deere D.U., Miller R.P.** (1966) - Engineering classification and index properties for intact rock. *Tech. Report No. AFWL-TR-65-116*, Air Force Weapons Lab, Kirtland Air Force Base, New Mexico.

**de'Gennaro M., Calcaterra D., Cappelletti P., Langella A., Morra V.** (2000) - Building stone and related weathering in the architecture of the ancient city of Naples. *J. Cult. Heritage*, 1, 399-414.

**Dunham R.J.** (1962) - Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In: Ham W.E. (ed.): *Classification of carbonate rocks. A symposium*. *Amer. Ass. Petrol. Geol. Mem.*, 1, 108-171.

*Anna Claudia Angrisani – La Pietra di Cusano nell'architettura della Campania: qualità tecniche e prospettive di valorizzazione della risorsa. Tesi di dottorato in Scienza della Natura e delle sue Risorse – Indirizzo: Scienza e Tecnologia dei Minerali e delle Rocce di Interesse Industriale. Università degli Studi di Sassari.* 197

**Embry A.F. , Klován J.E.** (1971). A late Devonian reef tract on north-eastern Banks Island. N.W.T. Bull. Canadian Petrol. Geol., 19, 730-781.

**Fügel E.** (2004) - Microfacies of carbonate rocks. Analysis interpretation and application. Springer Heidelberg Berlin New York, 976 pp.

**González de Vallejo L.I., Ferrer M., Ortuño L., Oteo C.** (2005) - Geoingegneria, pp.716.

**Hawkins .B.** (1998) - Aspects of rock strength. Bull. Eng. Geol. Env., 57, 17-30.

**IAEG** (1979) - Report of the commission on engineering geological mapping. Bull. IAEG, 19, 364-371.

**Ippolito F., D'Argenio B., Pescatore T., Scandone P.** (1973) - Unità stratigrafico-strutturali e schema tettonico dell'Appennino meridionale. Istituto di geologia e geofisica dell' Università di Napoli, pubbl. n. 15, 1-33.

**Ippolito F., D'Argenio B., Pescatore T., Scandone P.** (1975) - Structural-stratigraphic units and tectonic framework of Southern Apennines. In: Squyres C. (ed.), Geology of Italy, Earth. Sci. Soc. Libyan Arab Republ., 317-328.

**ISRM** (1981) - Brown E.T. (ed): Suggested methods for rock characterization, testing and monitoring. Pergamon Press.

**ISRM** (1978) – ISRM suggested methods for Determining Tensile Strength of Rock Materials (1978)

**Jonstraibizer P.** (1970) - Determinazione rapida di calcite e dolomite per via gas-volumetrica nei sedimenti. Boll. Soc. Geol. It., 89, 401-413.

**Klug H.P. , Alexander L.E.** (1974) - X - Ray Diffraction Procedure for Polycrystalline and Amorphous Materials. Wiley, New York.

**Lajtai E. Z., Scott Duncan E. J., Carter B. J.** (1991) - The effect of strain rate on rock strength. Rock Mechanics and Rock Engineering, 14, 99-109.

**Latham E. H., Thiel G.** (1946) - A comparison of the physical properties and petrographic characteristics of some limestones and dolomites of south-eastern Minnesota. Journal of Sedimentary Petrology, 16, 72-85.

**Lazzarini L., Antonelli F.** (2004) - La determinazione dell'origine delle pietre e dei marmi in antico. In: Lazzarini L. (ed): Pietre e marmi antichi. Cedam, Padova, pp. 55-63.

**Lohomann K.C., Walker J.C.G.** (1989) - The d <sup>18</sup>O record of Phanerozoic abiotic marine calcite cements. Geophysical Research Letters, 16, 319-322.

**Marrack E. C.** (1999) - The relationship between water motion and living rhodolith beds in the south-western Gulf of California, Mexico. Palaios, 14, pp. 159-171.

*Anna Claudia Angrisani – La Pietra di Cusano nell'architettura della Campania: qualità tecniche e prospettive di valorizzazione della risorsa. Tesi di dottorato in Scienza della Natura e delle sue Risorse – Indirizzo: Scienza e Tecnologia dei Minerali e delle Rocce di Interesse Industriale. Università degli Studi di Sassari.* 198

**Marsella E., Bally A.W., Cippitelli G., D'Argenio B., Pappone G.** (1995) - Tectonic history of the Lagonegro Domain and Southern Apennine thrust belt evolution. *Tectonophysics*, 252, 307-330.

**Marshall D. J.** (1988) - *Cathodoluminescence of geological materials*. Unwin Hyman, Boston.

**Maturo V. A.** (1998) - *Cusano Mutri e l'architettura locale*. Comune di Cusano Mutri, Assessorato alla Cultura.

**Melluso L., Morra V., Brotzu P., Tommasini S., Renna M.R., Duncan R.A., Franciosi L., D'Amelio F.** (2005) - Geochronology and petrogenesis of the Cretaceous Antampombato–Ambatovy complex and associated dyke swarm, Madagascar, *J. Petrol.* 46, 1963–1996.

**Mostradini F., Merlini S.** (1986) - Appennino centro-meridionale. Sezioni geologiche e proposta di modello strutturale. *Mem. Soc. Geol. It.*, 35, 177-202.

**Nalin R., Nelson C. S., Basso D., Massari F.** (2008) - Rhodolith-bearing limestones as trasgressive marker beds: fossil and modern examples from North Island, New Zealand. *Sedimentology*, 55, 249-274.

**Nishiyama T., Kusuda H.** (1994) - Identification of pore spaces and microcracks using fluorescent resins. *International journal of Rock Mechanics and Mining Science*, Geomechanical abstracts, 31, 369-375.

**Normal 32/89** - Dosaggio della CO<sub>2</sub> sviluppata dai materiali carbonatici secondo il metodo Dietrich-Frühling (calcimetria).

**NORMAL UNI EN 12372** (2001) - Metodi di prova per pietre naturali: determinazione della resistenza a flessione sotto carico concentrato. Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Milano.

**NORMAL UNI EN 13755** (2002) - Metodi di prova per pietre naturali: determinazione dell'assorbimento d'acqua a pressione atmosferica. Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Milano.

**NORMAL UNI EN 14157** (2005) - Metodi di prova per pietre naturali: determinazione della resistenza all'abrasione. Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Milano.

**NORMAL UNI EN 14158** (2005) - Metodi di prova per pietre naturali: determinazione dell'energia di rottura. Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Milano.

**NORMAL UNI EN 14579** (2005) - Metodi di prova per pietre naturali: determinazione della velocità di propagazione del suono. Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Milano.

**NORMAL UNI EN 1925** (2000) - Metodi di prova per pietre naturali: determinazione del coefficiente di assorbimento d'acqua per capillarità. Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Milano.

**NORMAL UNI EN 1926** (2000) - Metodi di prova per pietre naturali: determinazione della resistenza a compressione. Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Milano.

**NORMAL UNI EN 1936** (2001). Metodi di prova per pietre naturali: determinazione delle masse volumiche reale ed apparente e della porosità totale e aperta. Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Milano.

**Ogniben L.** (1956) - Flysch miocenico autoctono e parautoctono ed argille scagliose autoctone nella zona di Caiazzo (Caserta). *Boll. Soc. Geol. It.*, 75, 169-179.

**Ogniben L.** (1958) - Stratigrafia e microfaune del terziario nella zona di Caiazzo (Caserta). *Riv. It. Paleont. Strat.*, 64, 90-142.

**Pagel M., Barbin V., Blanc P., Ohnenstetter D.** (eds.) (2000) - *Cathodoluminescence in Geosciences*. Springer Verlag, 515 pp.

**Pagliaro S.** (1999) - *Geologia dei Monti del Sannio: stratigrafia dell'Unità Sannio e rapporti con il Massiccio del Matese*. Tesi di Dottorato, Università di Pisa.

**Pagliaro S.** (2000) - On the palaeogeographic position of the depositional domain of the Sannio Unit (Southern Apennines). – *Soc. Geol. It., Atti Conv. "Evoluzione geologica e geodinamica dell'Appennino"*, abstracts, Foligno.

**Pagliaro S.** (2002) - L'ambiente geologico della Campania: aspetti geologici, 39-57. In: Vallario A. (ed.): *L'ambiente geologico della Campania*. CUEN.

**Patacca E., Sartori R., Scandone P.** (1990) - Tyrrhenian basin and Apenninic arcs: kinematic relations since Late Tortonian times. *Mem. Soc. Geol. It.*, 45, 425-451.

**Patacca E., Sartori R., Scandone P.** (1993) - Tyrrhenian basin and Apennines. Kinematic evolution and related dynamic constraints. In: Boschi E., Mantovani E., Morell A. (eds.): *Recent Evolution and Seismicity of the Mediterranean Region*. Kluwer Academic Publ., 161-171.

**Patacca E., Scandone P.** (1989) - Post-Tortonian mountain building in the Apennines. The role of the passive sinking of a relic lithospheric slab. In: Boriani A., Binafede M., Piccardo G.B., Vai G.B. (eds.): *The lithosphere in Italy. Advances in Earth Science Research*. *It. Nat. Comm. Int. Lith. Prog., Mid-term Conf. (Rome 5-6 May 1987)*, *Atti Conv. Lincei*, 80, 157-176.

**Patacca E., Scandone P.** (2007) - *Geology of the Southern Apennines*. *Boll. Soc. Geol. It., Special Issue 7*, 75-119.

**Pescatore T., Pinto F., Renda P., Senatore M.R., Tramutoli M., Valente A.** (1996) - *Avanfosse mioceniche dell'Appennino meridionale (Italia)*. *Rend. Accad. Sci. Fis. Mat. Napoli*, 63, 85-121.

**Pescatore T., Renda P., Tramutoli M.** (1988) - *Rapporti tra le unità lagonegresi e le unità sicilidi nella media Valle del Basento, Lucania (Appennino meridionale)*. *Mem. Soc. Geol. It.*, 41, 353-361.

**Popp B.N., Anderson T.F., Sandberg P.** (1986) - Brachiopods as indicators of original isotopic compositions in some Paleozoic limestones. Geological Society of America Bulletin, 97, 1262-1269.

**Přikryl R.** (2007) - Understanding the Earth scientist's role in the pre-restoration research of monuments: an overview. In: Přikryl, R., Smith B.J. (eds): Building Stone Decay: From Diagnosis to Conservation. Geological Society, London, Special Publications, 271, 9-21.

**Přikryl R., Pros Z., Lokajíček T., Klíma K.** (2000) - Rock fabric anisotropy of building stones studied by P-waves and image analysis, and its relationship to mechanical properties. In: Calvi G., Zezza U. (eds.): Proceedings of the International Congress Quarry-Laboratory-Monument, September 26-30, 2000, Pavia, Italy, 1, 475-482.

**Primavori P.** (1999) - Pianeta Pietra. Giorgio Zusi Editore.

**Regione Campania** (2006) - Piano Regionale Attività Estrattive della Campania.

**Remond G., Cesbron F., Chapoulié R., Ohnenstetter D., Roques-Carmes C., Schvoerer M.** (1992) - Cathodoluminescence applied to microcharacterization of mineral materials: a present status in experimentation and interpretation. Scanning Microscopy, 6, 33-40.

**Rodolico F.** (1953) - Le pietre delle città d'Italia. Le Monnier, Firenze, 475 pp.

**Romano A., Urgera A.** (1995) - Geologia del Paleogene dei Monti Aurunci Orientali (Lazio meridionale). Studi Geologici Camerti, XIII, pp. 29-38.

**Ruberti D.** (1992) - Le lacune stratigrafiche nel Cretacico del Matese centro settentrionale. - Boll. Soc. Geol. It., 111, 2, 283-289.

**Salmoiraghi F.** (1892) - Materiali naturali da costruzione. Hoepli, Milano.

**Santo A., Sgrosso I.** (1987) - Alcune precisazioni sulle trasgressioni mioceniche nell'Appennino centro – meridionale. Mem. Soc. Geol. It., 38, 255-240.

**Selli R.** (1957) - Sulla trasgressione miocenica nell'Italia Meridionale. Giorn. di Geol., ser. II, 26, 1-54.

**Sgrosso I.** (1964) - La trasgressione miocenica nel Matese centrale. Boll. Soc. Natur. in Napoli, 72, 50-154.

**Sgrosso I.** (1986) - Criteri ed elementi per una ricostruzione paleogeografica delle zone esterne dell'Appennino centro-meridionale. Mem. Soc. Geol. It., 35, 203-219.

**Sgrosso I.** (1988) - Nuovi modelli per un più articolato modello paleogeografico nell'Appennino centro meridionale. Mem. Soc. Geol. It., 41, 225-242.

**Sgrosso I.** (1996) - I nuovi rapporti tra i depositi del Massiccio del Matese e quelli del bacino molisano. Mem. Soc. geol. It., 51, 263-272.

*Anna Claudia Angrisani – La Pietra di Cusano nell'architettura della Campania: qualità tecniche e prospettive di valorizzazione della risorsa. Tesi di dottorato in Scienza della Natura e delle sue Risorse – Indirizzo: Scienza e Tecnologia dei Minerali e delle Rocce di Interesse Industriale. Università degli Studi di Sassari.* 201

**Sgrosso I.** (1998) - Possibile evoluzione cinematica miocenica nell'Orogene centro-sud-appenninico. *Boll. Soc. Geol. It.*, 117, 679-724.

**Taddeucci A.** (1967) - Una singolarità geochimica nella serie miocenica del Lazio meridionale. *Per. di miner.*, 36, 259-314.

**Tanzini M.** (2006) - Fondazioni. Flaccovio Editore.

**Taylor M. P. , Viles H. A.** (2000) - Improving the use of microscopy in the study of weathering: sampling issues. *Zeitschrift für Geomorphologie, Supplementbände*, 120, 145-158.

**Tobin K.J., Walker K.R., Steinhauß D.M., Mora C.I.** (1996) - Fibrous calcite from the Ordovician of Tennessee: preservation of marine oxygen isotopic composition and its implications. *Sedimentology*, 43, 235-251.

**Török Á.** (2006) - Influence of fabric on the physical properties of limestones. In: Kourkoulis S. K. (ed.): *Fracture and Failure of Natural Building Stones*. Springer, 487-495.

**Tucker M.E.** (1991) - *Sedimentary Petrology*. 2nd edition. Blackwell Science.

**UNI 9724/8** (1992) - *Materiali lapidei: determinazione del modulo elastico semplice (monoassiale)*. Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Milano.

**Vallario A.** (1963) - Osservazioni geologiche sul Gruppo del Monte Massico. *Mem. Soc. Geol. It.*, 4, 693-698.

**Vallario A.** (1964) - Osservazioni su alcuni affioramenti miocenici nel Casertano. *Boll. Soc. Natur. in Napoli*, 73, 176-185.

**Vola G.** (2009). Studio di caratterizzazione del Marmo di Zandobbio. Camera di Commercio di Bergamo.

**Washburn E.W.** (1921) - The Dynamics of Capillary Flow. *Phys. Rev.* 17, 273-283.

**Wimbledon, W. A. P.** (1996) - Geosites - A new conservation initiative. *Episodes*, 19(3), 87-88.

**Zalaffi M.** (1963) - Segnalazione di un livello con piccole coproliti fosfatiche e glauconitiche nel Lazio meridionale. *Geol. Rom.*, 2, 331-341.

**Zalaffi M.** (1963) - Su alcune piccole strutture affioranti nella piana di Cassino. *Mem. Soc. Geol. It.*, 4, 635-648.

## **Allegato I**

Risultati delle prove di caratterizzazione fisico-meccanica



## Densità secca

<b>Densità secca – Perlato – Cava canale</b>						
<b>Sigla</b>	<b>X (cm)</b>	<b>Y (cm)</b>	<b>Z (cm)</b>	<b>Volume (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Peso (g)</b>	<b>Densità secca (KN/m<sup>3</sup>)</b>
B1	6,92	6,88	6,9	328,51	855,39	25,54
B2	6,9	6,74	7	325,54	866,03	26,10
B3	6,96	7,05	6,89	338,08	862,38	25,02
B4	6,96	6,74	6,9	323,68	862,62	26,14
B5	6,88	6,76	6,84	318,12	850,81	26,24
B6	6,88	6,76	6,88	319,98	854,28	26,19
B7	6,75	6,84	6,89	318,11	845,29	26,07
B8	6,86	6,9	6,88	325,66	853,73	25,72
B9	6,74	6,82	6,89	316,71	851,12	26,36
B10	6,72	6,88	6,75	312,08	842,45	26,48
B11	6,74	6,88	6,88	319,03	853,77	26,25
B12	6,74	6,9	6,9	320,89	860,36	26,30
B13	6,76	6,89	6,9	321,38	860,42	26,26
B14	6,77	6,89	6,89	321,39	857,28	26,17
B15	6,85	6,73	6,99	322,24	871,57	26,53
B16	6,72	6,85	7,02	323,14	863,56	26,22
B17	6,74	6,9	6,91	321,36	860,27	26,26
B18	6,71	6,9	6,98	323,17	866,12	26,29
B19	6,99	6,73	6,9	324,59	858,12	25,93
B20	6,92	6,74	6,95	324,15	867,46	26,25
B21	6,72	6,93	6,96	324,12	867,06	26,24
B22	6,9	6,71	6,91	319,93	855,81	26,24
B23	6,94	6,91	6,75	323,70	862,09	26,13
B24	6,82	6,91	6,9	325,17	864,15	26,07
B25	6,97	6,78	6,92	327,02	869,62	26,09
B26	6,85	6,99	6,87	328,95	864,29	25,78
B27	6,9	6,74	6,9	320,89	856,01	26,17
B28	6,92	6,92	6,72	321,80	861,44	26,26
B29	6,72	6,92	6,9	320,87	857,29	26,21
B30	6,76	6,98	6,9	325,58	867,11	26,13

Densità secca - Mezza Perla – Cava Canale						
Sigla	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Peso (g)	Densità secca (KN/m <sup>3</sup> )
F1	6,95	7,07	6,86	337,08	896,6	26,09
F2	7,05	6,97	6,89	338,56	895,02	25,93
F3	6,85	7,04	6,97	336,12	895,94	26,15
F4	6,98	6,97	6,85	333,26	889,97	26,20
F5	7,02	6,94	6,85	333,72	888,01	26,10
F6	6,87	7,01	6,95	334,70	890,05	26,09
F7	6,96	7,01	6,83	333,23	891,88	26,26
F8	6,83	7,01	6,95	332,75	891,59	26,29
F9	7,07	7	6,96	344,45	897,58	25,56
F10	6,93	6,86	6,96	330,88	900,17	26,69
F11	6,83	7,04	6,99	336,10	892,17	26,04
F12	6,85	7,04	6,96	335,64	895,76	26,18
F13	7,04	6,85	6,93	334,19	890,08	26,13
F14	7,07	6,89	6,94	338,06	897,21	26,04
F15	6,85	7,04	6,97	336,12	893,28	26,07
F16	7,06	6,84	6,94	335,14	895,85	26,22
F17	7,04	6,86	6,93	334,68	889,49	26,07
F18	6,93	6,85	7,07	335,62	900,68	26,33
F19	6,86	7,06	6,94	336,12	895,41	26,13
F20	6,92	7,05	6,85	334,18	894,89	26,27
F21	6,86	7,06	6,83	330,79	894,84	26,54
F22	6,86	7,05	6,93	335,16	894,08	26,17
F23	6,86	7,02	6,95	334,69	899,01	26,35
F24	7,07	6,87	6,93	336,60	897,01	26,14
F25	7,05	6,85	6,91	333,70	893,07	26,25
F26	7,07	6,83	6,96	336,09	892,08	26,04
F27	6,85	7,07	6,92	335,13	883,54	25,86
F28	6,86	7,04	6,92	334,20	891,8	26,18

Densità secca – Perlatino - Cava Canale						
Sigla	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Peso (g)	Densità secca (KN/m <sup>3</sup> )
C1	6,87	6,87	6,9	325,66	867,55	26,13
C2	6,86	6,89	6,91	326,60	870,3	26,14
C3	6,85	6,86	6,92	325,18	865,29	26,10
C4	6,89	6,9	6,82	324,23	864,89	26,17
C5	6,9	6,84	6,87	324,24	862,28	26,09
C6	6,84	6,88	6,91	325,18	865,83	26,12
C7	6,87	6,87	6,93	327,07	868,84	26,06
C8	6,92	6,88	6,84	325,65	867,46	26,13
C9	6,93	6,89	6,84	326,59	864,21	25,96
C10	6,87	6,91	6,85	325,18	866,4	26,14
C11	6,96	6,86	6,9	329,44	873,35	26,01
C12	6,96	6,95	6,86	331,83	874,86	25,86
C13	6,83	6,89	6,89	324,23	864,4	26,15
C14	6,91	6,89	6,92	329,46	876,75	26,11
C15	6,89	6,81	6,91	324,22	863,67	26,13
C16	6,91	6,88	6,82	324,23	865,94	26,20
C17	6,83	6,88	6,9	324,23	863,83	26,14
C18	6,87	6,95	6,9	329,45	875,8	26,08
C19	6,87	6,91	6,86	325,66	869,18	26,18
C20	6,92	6,87	6,96	330,88	875,28	25,95
C21	6,87	6,95	6,93	330,88	883,22	26,19
C22	6,89	6,95	6,89	329,93	874,86	26,01
C23	6,93	6,88	6,98	332,80	884,84	26,08
C24	6,93	6,87	6,91	328,98	875,83	26,12
C25	6,92	6,86	6,9	327,55	872,12	26,12
C26	6,87	6,85	6,91	325,18	865,74	26,12
C27	6,87	6,92	6,92	328,98	874,76	26,08
C28	6,88	6,91	6,82	324,23	862,04	26,08

Densità secca - Botticino - Cava Canale						
Sigla	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Peso (g)	Densità secca (KN/m <sup>3</sup> )
AD1	7	6,82	6,9	329,41	887,25	26,42
AD2	6,91	7,1	6,84	335,58	891,22	26,05
AD3	6,88	6,84	7,03	330,83	883,15	26,19
AD4	6,81	7,04	6,9	330,80	886,29	26,28
AD5	6,87	7,06	6,8	329,81	878,18	26,12
AD6	6,81	7,02	7,03	336,08	885,94	25,86
AD7	6,91	6,99	6,85	330,86	874,92	25,94
AD8	7,04	6,82	6,93	332,73	889,84	26,24
AD9	6,83	6,87	6,94	325,64	876,95	26,42
AD10	7,08	6,93	6,81	334,13	888,42	26,08
AD11	6,94	6,92	7,06	339,06	887,12	25,67
AD12	6,88	6,93	7,03	335,18	881,57	25,80
AD13	6,83	6,87	6,97	327,05	873,85	26,21
AD14	6,85	6,87	6,98	328,48	877,36	26,20
AD15	6,81	6,9	7	328,92	882,25	26,31
AD16	6,83	6,87	7,02	329,39	883,59	26,32
AD17	6,94	6,81	7,1	335,56	892,93	26,10
AD18	7,05	6,83	6,92	333,21	893,3	26,30
AD19	6,94	6,82	7,07	334,63	890,57	26,11
AD20	6,97	6,81	6,99	331,79	882,52	26,09
AD21	6,81	6,95	7	331,31	885,53	26,22
AD22	6,88	6,93	7	333,75	879,63	25,86
AD23	6,91	6,83	6,89	325,18	865,27	26,10
AD24	6,84	7,02	6,93	332,76	889,72	26,23
AD25	6,87	6,93	6,94	330,41	886,27	26,31
AD26	6,94	6,81	6,94	327,99	879,67	26,31
AD27	6,96	6,85	6,97	332,30	881,76	26,03
AD28	6,94	6,85	6,82	324,22	879,54	26,61
AD29	6,9	6,83	6,93	326,59	870,5	26,15
AD30	6,92	6,8	6,89	324,22	874,66	26,47

Densità secca – Risatino – Cava Canale						
Sigla	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Peso (g)	Densità secca (KN/m <sup>3</sup> )
E1	7	6,8	6,95	330,82	866,73	25,70
E2	6,95	6,99	6,81	330,83	862,82	25,58
E3	7	6,93	6,82	330,84	866,64	25,70
E4	7	6,81	6,99	333,21	861,73	25,37
E5	6,92	6,83	6,98	329,90	864,18	25,70
E6	6,81	6,91	6,97	327,99	857,45	25,65
E7	6,8	6,84	6,98	324,65	861,21	26,02
E8	6,89	6,82	6,97	327,52	857,66	25,69
E9	6,92	6,81	6,98	328,93	860,92	25,68
E10	6,93	6,83	7	331,32	869,81	25,75
E11	6,91	6,83	6,96	328,48	863,25	25,78
E12	6,91	6,8	6,98	327,98	856,86	25,63
E13	6,8	6,98	6,91	327,98	856,12	25,61
E14	6,82	7	6,94	331,32	867,2	25,68
E15	7	6,8	6,9	328,44	858,42	25,64
E16	6,92	6,8	6,97	327,98	857,16	25,64
E17	6,8	6,91	7	328,92	864,2	25,77
E18	6,98	6,82	6,85	326,08	853,14	25,67
E19	6,99	6,79	6,9	327,49	858,38	25,71
E20	6,89	6,83	6,99	328,94	859,9	25,64
E21	6,8	6,89	7,01	328,43	858,01	25,63
E22	6,83	6,81	6,99	325,12	861,53	26,00
E23	6,83	6,81	6,99	325,12	864,39	26,08
E24	6,97	6,84	6,99	333,25	868,92	25,58
E25	6,81	6,91	6,98	328,46	860,02	25,69
E26	6,95	6,8	6,91	326,57	853,97	25,65
E27	6,79	6,97	6,91	327,02	858,27	25,75
E28	6,79	6,98	6,93	328,44	861,1	25,72
E29	6,83	7,01	6,83	327,01	854,53	25,64
E30	6,79	6,89	6,99	327,01	854,17	25,62

Densità secca – Mezza Perla - Coreno Ausonio						
Sigla	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Peso (g)	Densità secca (KN/m <sup>3</sup> )
MPC1	7,07	7,05	7,09	353,39	939,04	26,07
MPC2	7,09	7,01	7,11	353,37	943,13	26,18
MPC3	7,05	7,03	7,05	349,41	927,55	26,04
MPC4	7,04	7,05	7,09	351,89	935,45	26,08
MPC5	7,03	7,08	7,09	352,89	936,24	26,03
MPC6	7,13	7,13	7,06	358,91	950,39	25,98
MPC7	7,05	7,13	7,06	354,88	940,39	26,00
MPC8	7,07	7,06	7,1	354,39	939,3	26,00
MPC9	7,1	7,05	7,06	353,39	934,08	25,93
MPC10	7,08	7	7,07	350,39	926,07	25,93
MPC11	7,1	7,06	7,16	358,90	949,33	25,95
MPC12	7,11	7,05	7,06	358,90	938,85	25,66
MPC13	7,09	7,05	7,14	352,89	944,85	26,27
MPC14	7,04	7,05	7,09	354,37	934,35	25,87
MPC15	7,08	7,09	7,06	355,90	938,58	25,87
MPC16	7,07	7,08	7,11	353,39	943,97	26,20
MPC17	7,09	7,06	7,06	355,89	936,28	25,81
MPC18	7,08	7,11	7,01	355,39	935,93	25,83
MPC19	7,01	7,1	7,12	348,89	943,89	26,54
MPC20	7,05	7,05	7,11	353,88	939,53	26,04
MPC21	7,05	7,01	7,16	351,38	935,38	26,11
MPC22	7,07	7	7,1	354,35	928,03	25,69
MPC23	7,07	7	7,09	351,38	928,88	25,93
MPC24	7,05	7,04	7,1	351,89	937,66	26,14
MPC25	7,06	7,06	7,13	353,89	937,49	25,99
MPC26	7,03	7,1	7,08	355,88	932,46	25,70
MPC27	7,12	7,06	7,03	355,89	937,25	25,83
MPC28	7,16	7,06	7,1	355,36	947,41	26,15
MPC29	7,05	7,07	7,09	353,39	939,05	26,07
MPC30	7,07	7,05	7,13	355,38	945,66	26,10

Densità secca - Perlatino - Coreno Ausonio						
Sigla	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Peso (g)	Densità secca (KN/m <sup>3</sup> )
PNC1	6,98	7,09	7,07	349,88	923,18	25,88
PNC2	7,03	7,08	7,03	349,90	930,18	26,08
PNC3	7,08	6,99	7,01	346,92	923,75	26,12
PNC4	7,05	7,04	6,97	345,94	914,77	25,94
PNC5	6,98	7,03	7,07	346,92	922,6	26,09
PNC6	7,04	7,02	7,06	348,91	927,41	26,08
PNC7	7,08	6,95	7,09	348,87	921,55	25,91
PNC8	7,03	6,82	7,02	336,57	888,67	25,90
PNC9	6,94	7,06	7,04	344,93	915,14	26,03
PNC10	7,02	7,08	7,05	350,40	928,45	25,99
PNC11	7,04	6,99	7,05	346,93	921,59	26,06
PNC12	7,04	7,03	7,04	348,42	918,1	25,85
PNC13	6,98	7,04	7,02	344,96	917,91	26,10
PNC14	7,07	7,03	7,04	349,90	927,95	26,02
PNC15	7,07	7,04	7,02	349,41	927,22	26,03
PNC16	7,03	7,1	7,03	350,89	933,84	26,11
PNC17	7,02	7,07	7,06	350,40	930,56	26,05
PNC18	7,03	7,01	7,07	348,41	925,4	26,06
PNC19	6,97	7,08	7,02	346,42	920,83	26,08
PNC20	7,01	7,04	7	345,45	917,04	26,04
PNC21	7,1	7,02	7,01	349,39	928,18	26,06
PNC22	7,03	7,05	7,15	354,36	945,94	26,19
PNC23	7,08	7,06	6,99	349,39	923,68	25,93
PNC24	6,98	7,07	7,03	346,92	923,22	26,11
PNC25	7,02	7,12	7,07	353,38	937,47	26,02
PNC26	6,94	7,06	7,04	344,93	914,36	26,00
PNC27	7,05	7,05	6,97	346,43	915,04	25,91
PNC28	7,02	7,17	7	352,33	919,03	25,59
PNC29	6,93	7,01	7,07	343,46	914,55	26,12
PNC30	6,98	6,93	7,01	339,08	897,45	25,96

Densità secca - Botticino - Coreno Ausonio						
Sigla	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Peso (g)	Densità secca (KN/m <sup>3</sup> )
BC1	7,12	7,07	7	352,37	937,57	26,10
BC2	7,08	7,01	7,01	347,91	925,48	26,10
BC3	7,07	7,04	7	348,41	927,15	26,11
BC4	7	7,06	7,05	348,41	930,52	26,20
BC5	7,08	7,04	6,99	348,40	923,9	26,01
BC6	7,05	7	7,11	350,88	929,5	25,99
BC7	6,99	7,02	7,08	347,41	924,87	26,12
BC8	7,03	7,01	7,03	346,44	924,36	26,17
BC9	7,11	7,02	7,05	351,88	935,64	26,08
BC10	7,07	6,85	7,05	341,43	901,82	25,91
BC11	7,02	7,07	7,14	354,37	941,92	26,08
BC12	7,05	7,1	7,05	352,89	941,47	26,17
BC13	7,04	7,02	7,08	349,90	930,7	26,09
BC14	7,04	7,07	6,9	343,43	914,32	26,12
BC15	7,05	7,07	6,99	348,41	928,35	26,14
BC16	7,07	7,1	7,03	352,88	938,54	26,09
BC17	7,03	7,07	7,03	349,41	931,87	26,16
BC18	6,92	7,01	7,08	343,45	910,43	26,01
BC19	7,04	7	7	344,96	919,25	26,14
BC20	7,08	7	7	346,92	921,9	26,07
BC21	7,04	6,99	7,04	346,44	922,87	26,13
BC22	7,07	7,07	7	349,89	927,63	26,01
BC23	6,98	7,12	7,07	351,36	933,62	26,07
BC24	7,12	7,02	7,06	352,88	950,04	26,41
BC25	7,07	7,03	7,23	359,35	946,24	25,83
BC26	7,24	7,07	7,08	362,40	955,24	25,86
BC27	7,07	7,05	6,99	348,41	922,03	25,96
BC28	7,07	6,85	7,07	342,40	906,14	25,96
BC29	7,08	7,05	7,07	352,89	934,12	25,97
BC30	7,06	6,96	7,05	346,42	915,77	25,93



Densità secca - Nocciolato - Coreno Ausonio						
Sigla	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Peso (g)	Densità secca (KN/m <sup>3</sup> )
NCA1	7,03	7,01	7,05	347,43	925,71	26,14
NCA2	7	7,08	7,04	348,90	927,28	26,07
NCA3	7,09	7,07	7,04	352,89	934,53	25,98
NCA4	7	7,05	7,05	347,92	925,82	26,10
NCA5	7,09	7,1	7,04	354,39	941,22	26,05
NCA6	7	7,03	7,01	344,96	917,92	26,10
NCA7	7,07	7,01	7,09	351,39	926,2	25,86
NCA8	7,09	7,12	6,97	351,85	921,78	25,70
NCA9	7,08	7,02	7,05	350,40	930,39	26,05
NCA10	7,1	7,06	7,02	351,88	934,61	26,06
NCA11	7,01	7,02	7	344,47	917,87	26,14
NCA12	7,05	7,02	7,08	350,40	932,61	26,11
NCA13	7,01	7,06	7,06	349,40	930,45	26,12
NCA14	7,04	7,05	7,09	351,89	934,82	26,06
NCA15	7,08	7,05	7,05	351,89	927,01	25,84
NCA16	6,99	7,06	7,09	349,89	924,56	25,92
NCA17	7,07	7,07	7,01	350,39	932,51	26,11
NCA18	7,06	7	7,11	351,38	931,63	26,01
NCA19	7,07	7	7,06	349,40	929,18	26,09
NCA20	7,03	7,07	7,04	349,90	926,95	25,99
NCA21	7,05	7,03	7,05	349,41	928,12	26,06
NCA22	7,05	7,05	7,07	351,40	930,16	25,97
NCA23	7,13	7,01	7,04	351,87	932,31	25,99
NCA24	7,07	6,84	7,04	340,45	903,25	26,03
NCA25	7,06	7,04	7,06	350,90	932,04	26,06
NCA26	7,02	7,04	7,07	349,41	932,46	26,18
NCA27	7,05	7,03	7,04	348,91	931,33	26,19
NCA28	7,12	7,03	6,97	348,87	927,22	26,07
NCA29	7,12	7,03	7,04	352,38	938,89	26,14
NCA30	7,09	7	7,01	347,91	921,87	25,99

## Porosità aperta

<b>Porosità - Cava Canale</b>					
<b>Litofacies</b>	<b>Sigla</b>	<b>Peso (g)</b>	<b>h (cm)</b>	<b>D (cm)</b>	<b>Porosità (%)</b>
Perlato	B1	26,204	2,29	2,34	0,44%
	B2	26,903	2,38	2,33	1,46%
	B3	27,490	2,41	2,33	0,39%
Mezza Perla	F1	26,788	2,36	2,33	0,49%
	F2	27,258	2,41	2,33	1,00%
	F3	27,118	2,4	2,33	1,36%
Perlatino	C1	27,271	2,41	2,34	1,26%
	C2	26,242	2,36	2,32	1,44%
	C3	27,283	2,43	2,33	1,54%
Botticino	AD1	27,124	2,37	2,34	1,70%
	AD2	27,093	2,37	2,34	1,93%
	AD3	27,928	2,44	2,35	1,32%
Risatino	E1	26,343	2,39	2,33	3,20%
	E2	26,416	2,4	2,33	2,06%
	E3	27,213	2,45	2,33	1,95%

<b>Porosità - Coreno Ausonio</b>					
<b>Litofacies</b>	<b>Sigla</b>	<b>Peso (g)</b>	<b>h (cm)</b>	<b>D (cm)</b>	<b>Porosità (%)</b>
Mezza Perla	MPC1	40,161	2,92	2,58	2,35%
	MPC2	35,202	2,55	2,58	1,31%
	MPC3	40,703	2,95	2,58	1,85%
	MPC4	31,284	2,27	2,58	1,28%
Perlatino	PNC1	38,881	2,83	2,58	2,08%
	PNC2	39,425	2,84	2,58	1,14%
	PNC3	35,038	2,53	2,58	0,91%
	PNC4	35,475	2,58	2,58	1,64%
Botticino	BC1	37,749	2,74	2,58	1,52%
	BC2	37,100	2,68	2,58	1,17%
	BC3	37,626	2,72	2,58	1,15%
	BC4	30,379	2,2	2,58	0,92%
Nocciolato	NCA1	35,736	2,59	2,58	2,39%
	NCA2	36,710	2,65	2,58	1,93%
	NCA3	36,641	2,65	2,58	1,86%
	NCA4	30,458	2,2	2,58	1,27%

Velocità di propagazione del suono 'dry' – UNI EN 14579

<b>Velocità di propagazione del suono (dry) – Perlato – Cava Canale</b>				
<b>Sigla</b>		<b>Dimensioni (cm)</b>	<b>Tempo (μs)</b>	<b>Velocità (m/s)</b>
B1	X	6,92	11,1	6234
	Y	6,88	10,7	6430
	Z	6,9	11,1	6216
B2	X	6,9	10,9	6330
	Y	6,74	11,2	6018
	Z	7	11,5	6087
B3	X	6,96	10,9	6385
	Y	7,05	11,1	6351
	Z	6,89	11,2	6152
B4	X	6,96	11,2	6214
	Y	6,74	11,4	5912
	Z	6,9	11,7	5897
B10	X	6,72	11,6	5793
	Y	6,88	11	6255
	Z	6,75	11,2	6027
B11	X	6,74	11,5	5861
	Y	6,88	11,2	6143
	Z	6,88	11,3	6088
B12	X	6,74	11,2	6018
	Y	6,9	11	6273
	Z	6,9	11,2	6161
B17	X	6,74	11,1	6072
	Y	6,9	10,7	6449
	Z	6,91	11	6282
B19	X	6,99	11,2	6241
	Y	6,73	11,6	5802
	Z	6,9	11,4	6053
B20	X	6,92	11,3	6124
	Y	6,74	11,7	5761
	Z	6,95	11,4	6096
B22	X	6,9	10,8	6389
	Y	6,71	11,3	5938
	Z	6,91	11,3	6115

Velocità di propagazione del suono ( <i>dry</i> ) – Mezza Perla – Cava Canale				
Sigla		Dimensioni (cm)	Tempo ( $\mu$ s)	Velocità (m/s)
F1	X	6,95	11,7	5940
	Y	7,07	11,5	6148
	Z	6,86	11,2	6125
F2	X	7,05	11,2	6295
	Y	6,97	11,1	6279
	Z	6,89	11,7	5889
F3	X	6,85	11,9	5756
	Y	7,04	11,2	6286
	Z	6,97	11,3	6168
F4	X	6,98	12,2	5721
	Y	6,97	11,6	6009
	Z	6,85	11,2	6116
F8	X	6,83	11,5	5939
	Y	7,01	11,2	6259
	Z	6,95	11,2	6205
F11	X	6,83	11,3	6044
	Y	7,04	11	6400
	Z	6,99	11,2	6241
F17	X	7,04	11,4	6175
	Y	6,86	11,8	5814
	Z	6,93	11,2	6188
F18	X	6,93	11,3	6133
	Y	6,85	11,2	6116
	Z	7,07	11,6	6095
F19	X	6,86	12,2	5623
	Y	7,06	11,2	6304
	Z	6,94	11,4	6088
F21	X	6,86	10,7	6411
	Y	7,06	11,1	6360
	Z	6,83	10,9	6266

Velocità di propagazione del suono ( <i>dry</i> ) – Perlatino – Cava Canale				
Sigla		Dimensioni (cm)	Tempo ( $\mu$ s)	Velocità (m/s)
C1	X	6,87	11,2	6134
	Y	6,87	11,2	6134
	Z	6,9	11,2	6161
C2	X	6,86	11,2	6125
	Y	6,89	11,4	6044
	Z	6,91	11,3	6115
C3	X	6,85	11,2	6116
	Y	6,86	11,1	6180
	Z	6,92	11	6291
C4	X	6,89	11,3	6097
	Y	6,9	11,4	6053
	Z	6,82	11,7	5829
C5	X	6,9	11,4	6053
	Y	6,84	11,6	5897
	Z	6,87	11,3	6080
C14	X	6,91	13,1	5275
	Y	6,89	11,5	5991
	Z	6,92	11,2	6179
C16	X	6,91	11,3	6115
	Y	6,88	11,3	6088
	Z	6,82	11,2	6089
C17	X	6,83	11,3	6044
	Y	6,88	11,4	6035
	Z	6,9	11,2	6161
C18	X	6,87	11,4	6026
	Y	6,95	11,1	6261
	Z	6,9	11,2	6161
C20	X	6,92	11,2	6179
	Y	6,87	11,6	5922
	Z	6,96	11,4	6105
C21	X	6,87	11,6	5922
	Y	6,95	11,3	6150
	Z	6,93	11,8	5873

<b>Velocità di propagazione del suono (dry) – Botticino – Cava Canale</b>				
<b>Sigla</b>		<b>Dimensioni (cm)</b>	<b>Tempo (<math>\mu</math>s)</b>	<b>Velocità (m/s)</b>
AD1	X	7	11,2	6250
	Y	6,82	11,3	6035
	Z	6,9	11,4	6053
AD2	X	6,91	11,5	6009
	Y	7,1	11,4	6228
	Z	6,84	11,0	6218
AD3	X	6,88	11,2	6143
	Y	6,84	12,1	5653
	Z	7,03	12,2	5762
AD4	X	6,81	11,7	5821
	Y	7,04	11,2	6286
	Z	6,9	11,7	5897
AD5	X	6,81	11,20	6080
	Y	7,06	11,30	6248
	Z	6,8	11,00	6182
AD6	X	6,91	11,3	6115
	Y	7,02	11,1	6324
	Z	7,03	12,2	5762
AD7	X	7,04	11,20	6286
	Y	6,99	11,50	6078
	Z	6,85	11,00	6227
AD17	X	7,05	11,1	6351
	Y	6,81	11,7	5821
	Z	7,1	11,8	6017
AD18	X	6,94	11,0	6309
	Y	6,83	11,4	5991
	Z	6,92	11,4	6070
AD19	X	6,97	11,2	6223
	Y	6,82	11,4	5982
	Z	7,07	11,6	6095
AD20	X	6,81	11,5	5922
	Y	6,81	11,1	6135
	Z	6,99	12,1	5777
AD21	X	6,88	11,4	6035
	Y	6,95	11,1	6261
	Z	7	11,4	6140
AD22	X	6,91	11,0	6282
	Y	6,93	11,1	6243
	Z	7	11,3	6195

Velocità di propagazione del suono ( <i>dry</i> ) – Risatino – Cava Canale				
Sigla		Dimensioni (cm)	Tempo ( $\mu$ s)	Velocità (m/s)
E1	X	7	12,3	5691
	Y	6,8	13,1	5191
	Z	6,95	12,9	5388
E2	X	6,95	12,6	5516
	Y	6,99	13,1	5336
	Z	6,81	12,1	5628
E3	X	7	12,8	5469
	Y	6,93	12,6	5500
	Z	6,82	11,8	5780
E4	X	7	13,4	5224
	Y	6,81	12	5675
	Z	6,99	13,1	5336
E5	X	6,92	12,3	5626
	Y	6,83	13	5254
	Z	6,98	12,2	5721
E6	X	6,81	13,1	5198
	Y	6,91	12,1	5711
	Z	6,97	12,3	5667
E8	X	6,89	13	5300
	Y	6,82	11,8	5780
	Z	6,97	12,7	5488
E17	X	6,8	13,3	5113
	Y	6,91	11,8	5856
	Z	7	12,2	5738
E18	X	6,98	12,2	5721
	Y	6,82	12,2	5590
	Z	6,85	13,8	4964
E19	X	6,99	12,2	5730
	Y	6,79	13,2	5144
	Z	6,9	13,7	5036
E20	X	6,89	11,9	5790
	Y	6,83	13,4	5097
	Z	6,99	12,2	5730
E21	X	6,8	12	5667
	Y	6,89	12,7	5425
	Z	7,01	12,2	5746

Velocità di propagazione del suono ( <i>dry</i> ) – Mezza Perla – Coreno Ausonio				
Sigla		Dimensioni (cm)	Tempo ( $\mu$ s)	Velocità (m/s)
MPC1	X	7,07	11,2	6313
	Y	7,05	11,2	6295
	Z	7,09	11,4	6219
MPC2	X	7,09	11,3	6274
	Y	7,01	11,4	6149
	Z	7,11	11,7	6077
MPC3	X	7,05	11,2	6295
	Y	7,03	11,2	6277
	Z	7,05	11,2	6295
MPC9	X	7,1	12,1	5868
	Y	7,05	11,7	6026
	Z	7,06	11,9	5933
MPC13	X	7,09	11,7	6060
	Y	7,05	11,7	6026
	Z	7,14	11,7	6103
MPC14	X	7,04	11,4	6175
	Y	7,05	11,4	6184
	Z	7,09	11,4	6219
MPC15	X	7,08	11,5	6157
	Y	7,09	11,5	6165
	Z	7,06	11,3	6248
MPC17	X	7,09	11,7	6060
	Y	7,06	11,7	6034
	Z	7,06	11,7	6034
MPC18	X	7,08	11,4	6211
	Y	7,11	11,3	6292
	Z	7,01	11,3	6204
MPC19	X	7,01	11,3	6204
	Y	7,1	11,4	6228
	Z	7,12	11,5	6191
MPC20	X	7,05	11,7	6026
	Y	7,05	11,7	6026
	Z	7,11	11,7	6077
MPC23	X	7,07	12	5892
	Y	7	11,7	5983
	Z	7,09	11,6	6112



<b>Velocità di propagazione del suono (dry) – Perlatino – Coreno Ausonio</b>				
<b>Sigla</b>		<b>Dimensioni (cm)</b>	<b>Tempo (<math>\mu</math>s)</b>	<b>Velocità (m/s)</b>
PNC1	X	6,98	11,7	5966
	Y	7,09	11,3	6274
	Z	7,07	11,8	5992
PNC2	X	7,03	11,4	6167
	Y	7,08	11,2	6321
	Z	7,03	11,4	6167
PNC3	X	7,08	11,4	6211
	Y	6,99	11,6	6026
	Z	7,01	11,2	6259
PNC4	X	7,05	11,4	6184
	Y	7,04	11,3	6230
	Z	6,97	11,2	6223
PNC5	X	6,98	11,6	6017
	Y	7,03	11,3	6221
	Z	7,07	11,6	6095
PNC6	X	7,04	11,3	6230
	Y	7,02	11,3	6212
	Z	7,06	11,7	6034
PNC13	X	6,98	11,4	6123
	Y	7,04	11,2	6286
	Z	7,02	11,7	6000
PNC14	X	7,07	11,3	6257
	Y	7,03	11,6	6060
	Z	7,04	11,5	6122
PNC15	X	7,07	11,5	6148
	Y	7,04	11,4	6175
	Z	7,02	11,7	6000
PNC17	X	7,02	11,3	6212
	Y	7,07	11,5	6148
	Z	7,06	11,5	6139
PNC21	X	7,1	11,8	6017
	Y	7,02	11,6	6052
	Z	7,01	11,5	6096
PNC22	X	7,03	11,4	6167
	Y	7,05	11,7	6026
	Z	7,15	11,8	6059
PNC24	X	6,98	11,6	6017
	Y	7,07	11,5	6148
	Z	7,03	11,5	6113
PNC27	X	7,05	11,4	6184
	Y	7,05	11,3	6239
	Z	6,97	11,5	6061
PNC29	X	6,93	11,2	6188
	Y	7,01	11,1	6315
	Z	7,07	11,5	6148

Velocità di propagazione del suono ( <i>dry</i> ) – Botticino – Coreno Ausonio				
Sigla		Dimensioni (cm)	Tempo ( $\mu$ s)	Velocità (m/s)
BC1	X	7,12	11,2	6357
	Y	7,07	11,3	6257
	Z	7	11,4	6140
BC2	X	7,08	11,7	6051
	Y	7,01	13,7	5117
	Z	7,01	12,9	5434
BC3	X	7,07	11,3	6257
	Y	7,04	11,4	6175
	Z	7	11,4	6140
BC4	X	7	11,8	5932
	Y	7,06	12,5	5648
	Z	7,05	11,7	6026
BC9	X	7,11	11,7	6077
	Y	7,02	11,6	6052
	Z	7,05	11,7	6026
BC10	X	7,07	11,7	6043
	Y	6,85	11,3	6062
	Z	7,05	11,7	6026
BC14	X	7,04	11,7	6017
	Y	7,07	11,7	6043
	Z	6,9	11,4	6053
BC17	X	7,03	11,7	6009
	Y	7,07	11,7	6043
	Z	7,03	11,7	6009
BC19	X	7,04	11,6	6069
	Y	7	12,2	5738
	Z	7	12,2	5738
BC23	X	6,98	11,7	5966
	Y	7,12	11,5	6191
	Z	7,07	11,7	6043
BC24	X	7,12	11,4	6246
	Y	7,02	11,6	6052
	Z	7,06	11,7	6034

Velocità di propagazione del suono ( <i>dry</i> ) – Nocciolato – Coreno Ausonio				
Sigla		Dimensioni (cm)	Tempo ( $\mu$ s)	Velocità (m/s)
NCA1	X	7,03	11,3	6221
	Y	7,01	11,3	6204
	Z	7,05	11,2	6295
NCA2	X	7	11,4	6140
	Y	7,08	11,4	6211
	Z	7,04	11,4	6175
NCA8	X	7,09	11,7	6060
	Y	7,12	11,9	5983
	Z	6,97	11,6	6009
NCA11	X	7,01	11,6	6043
	Y	7,02	11,3	6212
	Z	7	11,6	6034
NCA12	X	7,05	11,6	6078
	Y	7,02	11,4	6158
	Z	7,08	11,6	6103
NCA13	X	7,01	11,4	6149
	Y	7,06	11,3	6248
	Z	7,06	11,5	6139
NCA15	X	7,08	11,2	6321
	Y	7,05	11,3	6239
	Z	7,05	11,4	6184
NCA17	X	7,07	11,7	6043
	Y	7,07	11,7	6043
	Z	7,01	11,6	6043
NCA18	X	7,06	11,4	6193
	Y	7	11,7	5983
	Z	7,11	11,7	6077
NCA20	X	7,03	11,4	6167
	Y	7,07	11,5	6148
	Z	7,04	11,5	6122
NCA23	X	7,13	11,8	6042
	Y	7,01	11,7	5991
	Z	7,04	11,7	6017

Velocità di propagazione del suono 'wet' – UNI EN 14579

<b>Velocità di propagazione del suono (wet) – Perlato – Cava Canale</b>				
<b>Sigla</b>		<b>Dimensioni (cm)</b>	<b>Tempo (μs)</b>	<b>Velocità (m/s)</b>
B1	X	6,92	10,7	6467
	Y	6,88	10,7	6430
	Z	6,9	11,1	6216
B2	X	6,9	10,8	6389
	Y	6,74	10,8	6241
	Z	7	11,4	6140
B3	X	6,96	10,7	6505
	Y	7,05	10,7	6589
	Z	6,89	11,1	6207

<b>Velocità di propagazione del suono (wet) – Mezza Perla – Cava Canale</b>				
<b>Sigla</b>		<b>Dimensioni (cm)</b>	<b>Tempo (μs)</b>	<b>Velocità (m/s)</b>
F1	X	6,95	11	6318
	Y	7,07	11,2	6313
	Z	6,86	10,9	6294
F2	X	7,05	11,1	6351
	Y	6,97	10,8	6454
	Z	6,89	10,8	6380
F3	X	6,85	11,1	6171
	Y	7,04	11,4	6175
	Z	6,97	11,2	6223

<b>Velocità di propagazione del suono (wet) – Perlatino – Cava Canale</b>				
<b>Sigla</b>		<b>Dimensioni (cm)</b>	<b>Tempo (μs)</b>	<b>Velocità (m/s)</b>
C1	X	6,87	11,1	6189
	Y	6,87	11	6245
	Z	6,9	10,9	6330
C2	X	6,86	11,1	6180
	Y	6,89	11,1	6207
	Z	6,91	11,2	6170
C3	X	6,85	11,1	6171
	Y	6,86	10,9	6294
	Z	6,92	10,9	6349

<b>Velocità di propagazione del suono (wet) – Botticino – Cava Canale</b>				
<b>Sigla</b>		<b>Dimensioni (cm)</b>	<b>Tempo (μs)</b>	<b>Velocità (m/s)</b>
AD1	X	7	11	6364
	Y	6,82	10,8	6314
	Z	6,9	11,3	6106
AD2	X	6,91	11,3	6115
	Y	7,1	11,2	6339
	Z	6,84	10,9	6275
AD3	X	6,88	11,2	6143
	Y	6,84	11	6218
	Z	7,03	11,5	6113

<b>Velocità di propagazione del suono (wet) – Risatino – Cava Canale</b>				
<b>Sigla</b>		<b>Dimensioni (cm)</b>	<b>Tempo (μs)</b>	<b>Velocità (m/s)</b>
E1	X	7	12,2	5738
	Y	6,8	12	5667
	Z	6,95	12,7	5472
E2	X	6,95	12,4	5605
	Y	6,99	12,1	5777
	Z	6,81	11,6	5871
E3	X	7	11,9	5882
	Y	6,93	12,2	5680
	Z	6,82	11,7	5829

<b>Velocità di propagazione del suono (wet) – Mezza Perla – Coreno Ausonio</b>				
<b>Sigla</b>		<b>Dimensioni (cm)</b>	<b>Tempo (μs)</b>	<b>Velocità (m/s)</b>
MPC1	X	7,07	11	6427
	Y	7,05	11,1	6351
	Z	7,09	11,2	6330
MPC2	X	7,09	11,2	6330
	Y	7,01	11,2	6259
	Z	7,11	11,4	6237
MPC3	X	7,05	11,1	6351
	Y	7,03	11	6391
	Z	7,05	11,1	6351

<b>Velocità di propagazione del suono (wet) – Perlatino – Coreno Ausonio</b>				
<b>Sigla</b>		<b>Dimensioni (cm)</b>	<b>Tempo (μs)</b>	<b>Velocità (m/s)</b>
PNC2	X	6,98	11,2	6232
	Y	7,09	11,2	6330
	Z	7,07	11,2	6313
PNC3	X	7,03	11,1	6333
	Y	7,08	11	6436
	Z	7,03	11,2	6277
PNC4	X	7,08	11,1	6378
	Y	6,99	11,2	6241
	Z	7,01	11,2	6259

<b>Velocità di propagazione del suono (wet) – Botticino – Coreno Ausonio</b>				
<b>Sigla</b>		<b>Dimensioni (cm)</b>	<b>Tempo (μs)</b>	<b>Velocità (m/s)</b>
BC1	X	7,12	11,1	6414
	Y	7,07	11,2	6313
	Z	7	11,2	6250
BC2	X	7,08	11,6	6103
	Y	7,01	11,3	6204
	Z	7,01	12	5842
BC3	X	7,07	11,2	6313
	Y	7,04	11,2	6286
	Z	7	11,2	6250

Velocità di propagazione del suono ( <i>wef</i> ) – Nocciolato – Coreno Ausonio				
Sigla		Dimensioni (cm)	Tempo ( $\mu$ s)	Velocità (m/s)
NCA1	X	7,03	11,2	6277
	Y	7,01	11,2	6259
	Z	7,05	11,1	6351
NCA2	X	7	11,2	6250
	Y	7,08	11,2	6321
	Z	7,04	11,3	6230
NCA12	X	7,09	11,2	6330
	Y	7,07	11,4	6202
	Z	7,04	11,4	6175

Resistenza a compressione uniassiale – UNI EN 1926

Resistenza a compressione uniassiale - Cava Canale			
Litofacies	Sigla	Carico a rottura (MPa)	Orientazione
Perlato	B5	175,07	par.
	B16	183,28	par.
	B23	196,57	par.
Mezza perla	F5	154,04	-
	F7	145,17	par.
	F9	173,84	par.
	F23	165,81	perp.
Perlatino	C9	148,74	perp.
	C15	182,11	par.
	C19	126,06	perp.
	C24	187,50	perp.
Botticino	AD9	186,71	par.
	AD15	174,74	par.
	AD28	185,72	par.
Risatino	E7	144,90	par.
	E13	152,75	perp.
	E14	171,38	perp.
	E16	171,56	par.
	E27	168,51	perp.

Resistenza a compressione uniassiale - Coreno Ausonio			
Litofacies	Sigla	Carico a rottura (MPa)	Orientazione
Mezza perla	MPC5	224,89	perp.
	MPC6	183,71	par.
	MPC8	245,08	perp.
	MPC16	152,67	perp.
	MPC23	139,53	perp.
	MPC25	232,44	perp.
Perlatino	PNC10	226,79	perp.
	PNC11	233,84	perp.
	PNC12	177,21	par.
	PNC14	139,18	perp.
	PNC15	138,30	perp.
	PNC16	138,70	-
	PNC17	139,70	perp.
	PNC20	248,28	par.
	PNC23	250,45	-
Botticino	BC5	251,93	-
	BC6	152,57	-
	BC8	218,37	par.
	BC13	173,15	-
	BC16	186,64	par.
	BC20	234,96	par.
	BC21	211,51	-
	BC22	210,59	-
Nocciolato	NCA6	197,95	perp.
	NCA7	228,03	par.
	NCA16	189,44	perp.
	NCA17	133,02	par.
	NCA19	228,15	perp.
	NCA21	219,79	-
	NCA25	239,35	perp.
	NCA28	209,92	perp.

## Resistenza a compressione uniaassiale a velocità controllata

<b>Cava Canale</b>							
<b>Litofacies</b>	<b>Sigla</b>	<b>Or.</b>	<b>Carico a rottura (MPa)</b>	<b>E<sub>t</sub> (30%) (GPa)</b>	<b>E<sub>s</sub> (30%) (GPa)</b>	<b>E<sub>t</sub> (50%) (GPa)</b>	<b>E<sub>s</sub> (50%) (GPa)</b>
Perlato	B11	par.	53,85	9,8	4,6	5,5	6,1
	B12	perp.	48,92	4,9	3,6	11,9	4,3
	B22	perp.	68,48	9,6	5,3	16,6	7,1
Mezza Perla	F17	par.	80,88	27,0	4,4	11,5	5,1
	F19	perp.	78,82	7,9	4,1	14,6	5,8
	F21	perp.	78,9	5,3	4,7	35,6	6,8
Perlatino	C16	perp.	90,63	13,9	4,8	17,1	7,0
	C17	perp.	79,69	19,0	5,4	14,7	7,5
	C18	par.	65,99	20,7	5,1	29,3	7,4
Botticino	AD17	perp.	96,19	11,4	5,9	26,5	7,8
	AD18	perp.	67,72	5,2	3,4	16,9	4,4
	AD19	perp.	81,86	7,5	4,4	7,2	5,9
Risatino	E17	par.	74,41	7,4	4,7	8,9	6,0
	E 19	perp.	67,76	5,0	4,6	3,9	5,3
	E22	perp.	74,23	6,4	6,4	6,2	8,2

<b>Coreno Ausonio</b>							
<b>Litofacies</b>	<b>Sigla</b>	<b>Or.</b>	<b>Carico a rottura (MPa)</b>	<b>E<sub>t</sub> (30%) (GPa)</b>	<b>E<sub>s</sub> (30%) (GPa)</b>	<b>E<sub>t</sub> (50%) (GPa)</b>	<b>E<sub>s</sub> (50%) (GPa)</b>
Mezza Perla	MPC17	perp.	> 98,41	24,2	6,8	38,5	9,9
	MPC18	par.	67,70	8,9	5,2	15,6	5,8
	MPC19	par.	45,74	6,3	1,4	6,8	2,2
Perlatino	PNC13	par.	89,61	21,0	6,1	32,4	8,8
	PNC27	perp.	85,83	14,5	7,2	19,1	9,3
	PNC29	perp.	94,70	16,8	7,0	30,9	9,5
Botticino	BC17	perp.	61,52	3,3	5,1	14,2	5,5
	BC23	par.	78,58	11,9	4,3	17,1	6,1
	BC24	perp.	63,13	2,5	4,8	27,7	5,2
Nocciolato	NCA11	perp.	83,16	6,4	15,0	8,6	27,9
	NCA15	par.	64,84	13,5	4,8	3,1	5,2
	NCA20	perp.	76,41	11,2	5,6	56,0	8,0



## Resistenza a trazione indiretta - ISRM

<b>Brazilian test - Cava Canale</b>					
<b>Litofacies</b>	<b>Sigla</b>	<b>D (mm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b><math>\sigma_t</math> (MPa)</b>	<b>Orientazione</b>
Perlato	B1	52,3	28,4	7,88	perp.
	B2	52,2	27,9	7,07	perp.
	B4	52,2	28,7	10,06	perp.
Mezza Perla	F1	52,2	29,3	9,90	perp.
	F2	52,4	29,3	11,06	perp.
	F3	52,3	31,7	6,87	perp.
Perlatino	C1	52,2	30,5	9,71	perp.
	C2	52,2	30,7	10,83	par.
	C3	52,2	30,7	8,77	par.
Botticino	AD1	52,3	30,6	7,99	perp.
	AD2	52,2	30,5	9,07	perp.
	AD3	52,2	30,6	10,71	perp.
	AD4	52,3	30,6	8,35	perp.
Risatino	E1	52,2	30,8	8,23	perp.
	E2	52,2	30,8	5,85	par.
	E3	52,2	30,8	7,44	perp.

## Resistenza all'urto – UNI EN 14158

<b>Resistenza all'urto – Cava Canale</b>			
<b>Litofacies</b>	<b>Sigla</b>	<b>Altezza di caduta (m)</b>	<b>Lavoro di rottura all'urto (J)</b>
Perlato	B1	0,25	2,45
	B2	0,20	1,96
	B3	0,35	3,43
Mezza Perla	F1	0,45	4,41
	F2	0,35	3,43
	F3	0,35	3,43
Perlatino	C1	0,35	3,43
	C2	0,30	2,94
	C3	0,30	2,94
Botticino	AD1	0,35	3,43
	AD2	0,20	1,96
	AD3	0,20	1,96
	AD4	0,30	2,94
	AD5	0,30	2,94
Risatino	E1	0,45	4,41
	E2	0,45	4,41
	E3	0,35	3,43

Resistenza all'abrasione – UNI EN 14157

Resistenza all'abrasione – Cava Canale				
Litofacies	Sigla	Traccia 1 (cm)	Traccia 2 (cm)	Resistenza all'abrasione (mm)
Perlato	B1	1,7	1,7	15,88
	B2	2,1	2	19,38
	B3	2	2	18,88
	B4	2,25	2,5	22,63
Mezza Perla	F1	1,75	1,7	16,13
	F2	1,75	2	17,63
	F3	1,6	1,8	15,88
	F4	1,95	1,8	17,63
Perlatino	C1	1,7	1,8	16,38
	C2	1,8	2	17,88
	C3	1,7	1,75	16,13
	C4	1,7	2	17,38
Botticino	AD1	1,8	1,6	15,88
	AD2	2	1,8	17,88
	AD3	1,7	1,75	16,13
	AD4	1,75	2	17,63
Risatino	E1	1,6	2,1	17,38
	E2	1,9	2,1	18,88
	E3	1,8	1,8	16,88
	E4	1,8	2,2	18,88

Microdurezza Rockwell

Microdurezza Rockwell- Cava Canale					
Litofacies	Sigla	Microdurezza Rockwell (HR30T)			
Perlato	B1	72,1	74,2	74,4	71,4
	B2	75,6	71,9	72,2	73
	B3	63,4	75,6	65,4	75,4
Mezza Perla	F1	69,3	72,3	71,2	73,9
	F2	78,7	76,6	71,7	73,8
Perlatino	C1	72,9	76,3	70,9	73,6
	C2	63,7	68,3	65,7	72,8
Botticino	AD1	74,4	76	73,8	77,6
	AD2	74,3	70,1	74,8	76
Risatino	E1	69,6	70,9	70,5	70,4
	E2	-	70	73,6	69,6

## Resistenza a flessione – UNI EN 12372

<b>Resistenza a flessione - Cava Canale</b>						
<b>Litofacies</b>	<b>Sigla</b>	<b>X (mm)</b>	<b>Y (mm)</b>	<b>Z (mm)</b>	<b>Peso (g)</b>	<b>Res. a flessione (MPa)</b>
Perlato	B1	50,8	150	25,7	525,94	18,47
	B2	50,5	150,4	25,9	524,59	3,06
	B3	50,7	150,2	25,5	519,84	7,89
Mezza Perla	F1	50,8	150,3	25,5	521,04	12,61
	F2	50,8	150,5	25,5	523,30	14,77
	F3	50,6	150,5	26	525,34	9,53
Perlatino	C1	50,8	150,3	25,9	528,61	3,59
	C2	50,8	150,5	26	531,51	16,08
	C3	50	150,3	26	519,99	14,83
Botticino	AD2	50,7	150,2	26	529,19	9,33
	AD3	50,6	150,6	26,1	534,62	7,65
	AD4	50,1	150,6	25,8	523,47	11,24
	AD5	50,8	150,2	24,9	513,62	15,85
	AD6	50,7	150,1	26,1	530,24	15,82
	E1	50,7	150,3	26,1	519,95	9,33
Risatino	E2	50,9	150,4	26,4	520,64	7,65
	E3	50,6	150,2	26	519,76	11,24

## Resistenza a cristallizzazione dei sali









Resistenza a cristallizzazione dei sali								
Località	Litofacies	Sigla	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	M <sub>d1</sub> (g)	M <sub>f15</sub> (g)	ΔM (%)
Cava Canale	Perlato	B1	4,02	4	4,075	172,22	172,13	-5,3E-04
		B2	4,04	4,02	4,04	173,99	173,83	-9,4E-04
		B3	3,99	4,02	4,02	172,48	172,31	-9,9E-04
	Mezza Perla	F1	4,02	4,05	3,99	170,97	170,87	-5,7E-04
		F2	4	4,03	4,01	171,00	170,93	-4,1E-04
		F3	4,02	4,05	4	170,31	170,15	-9,2E-04
	Perlatino	C1	3,99	4,02	4,04	171,58	171,45	-7,7E-04
		C2	4,04	4	3,99	171,91	171,80	-6,2E-04
		C3	4,02	4	3,99	171,44	171,32	-7,2E-04
	Botticino	AD1	4,01	4	4	172,54	172,36	-1,0E-03
		AD2	4	4,01	4	172,46	172,28	-1,0E-03
		AD3	4	4,02	3,99	172,22	172,05	-1,0E-03
	Risatino	E1	3,98	4,03	4	164,86	164,78	-4,7E-04
		E2	4,01	3,96	4,02	165,77	165,70	-4,2E-04
		E3	4,01	4,04	3,99	166,09	166,10	4,8E-05
Coreno Ausonio	Mezza Perla	MPC1	4,04	4,08	4,11	179,59	179,52	-4,2E-04
		MPC2	4,02	4,07	4,15	180,50	180,43	-3,8E-04
		MPC3	4,06	4,07	4,13	180,54	180,46	-4,3E-04
		MPC4	4,03	4,09	4,09	179,10	179,02	-4,4E-04
	Perlatino	PNC1	4,1	4,05	4,08	180,12	180,08	-2,1E-04
		PNC2	4,1	4,08	4,06	179,06	179,01	-2,6E-04
		PNC3	4,08	4,08	4,04	178,79	178,72	-4,1E-04
		PNC4	3,99	4,04	4,08	179,54	179,47	-3,9E-04
	Botticino	BC1	4,03	4,08	4,13	181,17	181,10	-4,0E-04
		BC2	4,07	4,06	4,13	180,85	180,76	-4,9E-04
		BC3	4,04	4,08	4,13	181,47	181,42	-3,0E-04
		BC4	4,08	4,04	4,09	179,47	179,39	-4,5E-04
	Nocciolato	NCA1	4,07	4,07	4,04	178,36	178,28	-4,5E-04
		NCA2	4,1	4,05	4,08	180,67	180,62	-3,0E-04
		NCA3	4,05	4,08	4,15	181,81	181,74	-3,7E-04
		NCA4	4,07	4,08	4,03	177,05	176,99	-3,7E-04

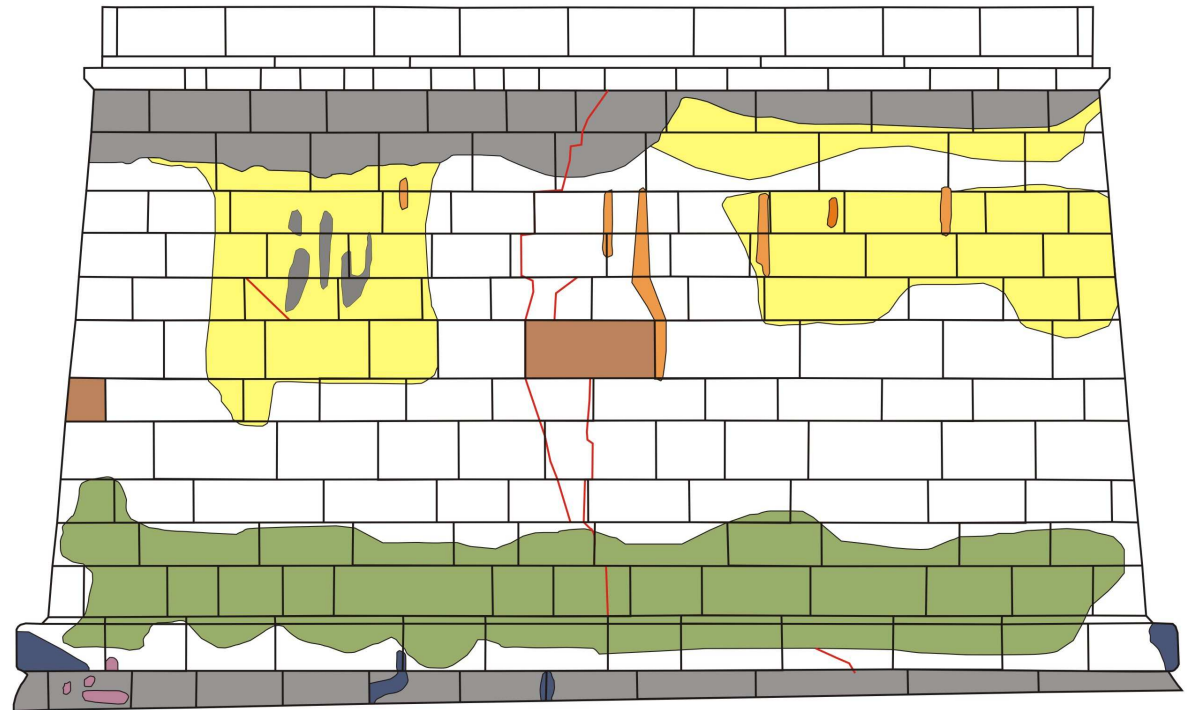
## **Allegato II**

Degrado del basamento della Torre Campanaria del Complesso  
Monumentale di Santa Chiara.

Degrado della facciata settentrionale della Torre Campanaria del Monastero di Santa Chiara










Legenda

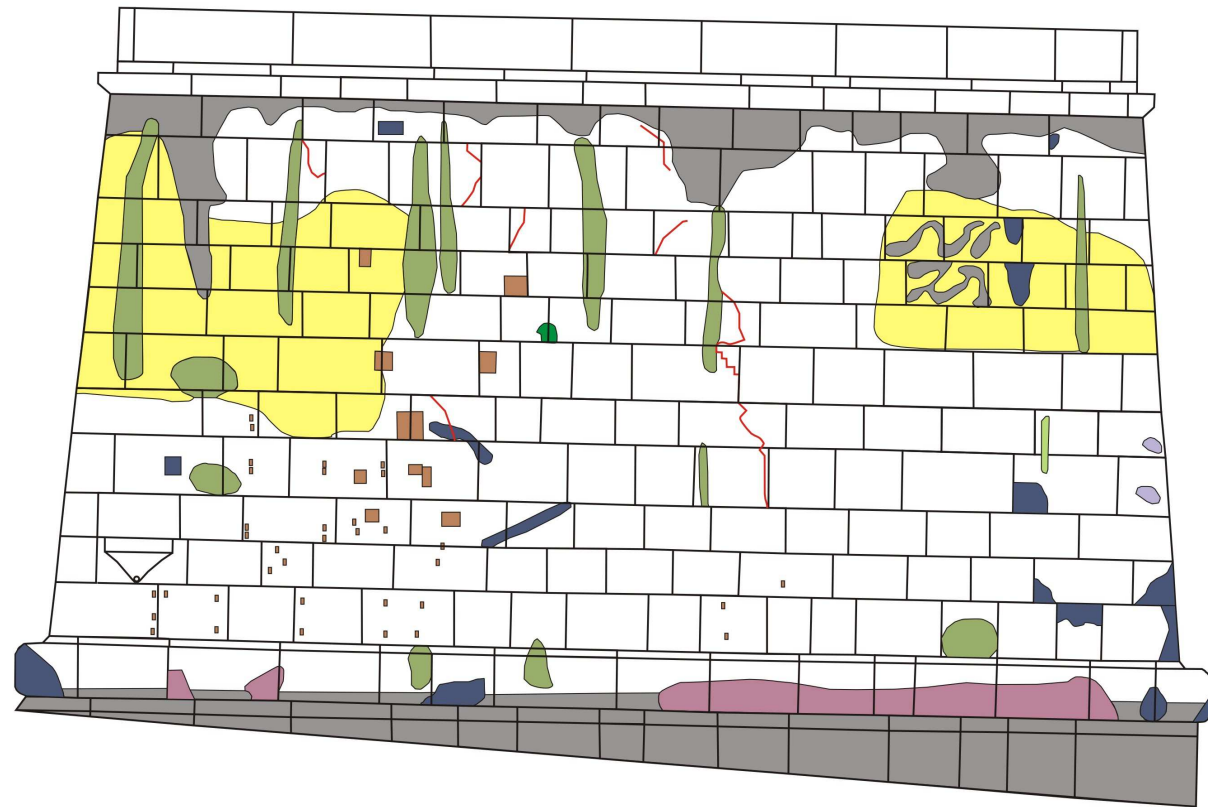
-  Crosta
-  Efflorescenza
-  Fessurazione
-  Macchia
-  Incrostazione
-  Integrazione
-  Mancanza
-  Scagliatura



Degrado della facciata occidentale della Torre Campanaria del Monastero di Santa Chiara









Legenda

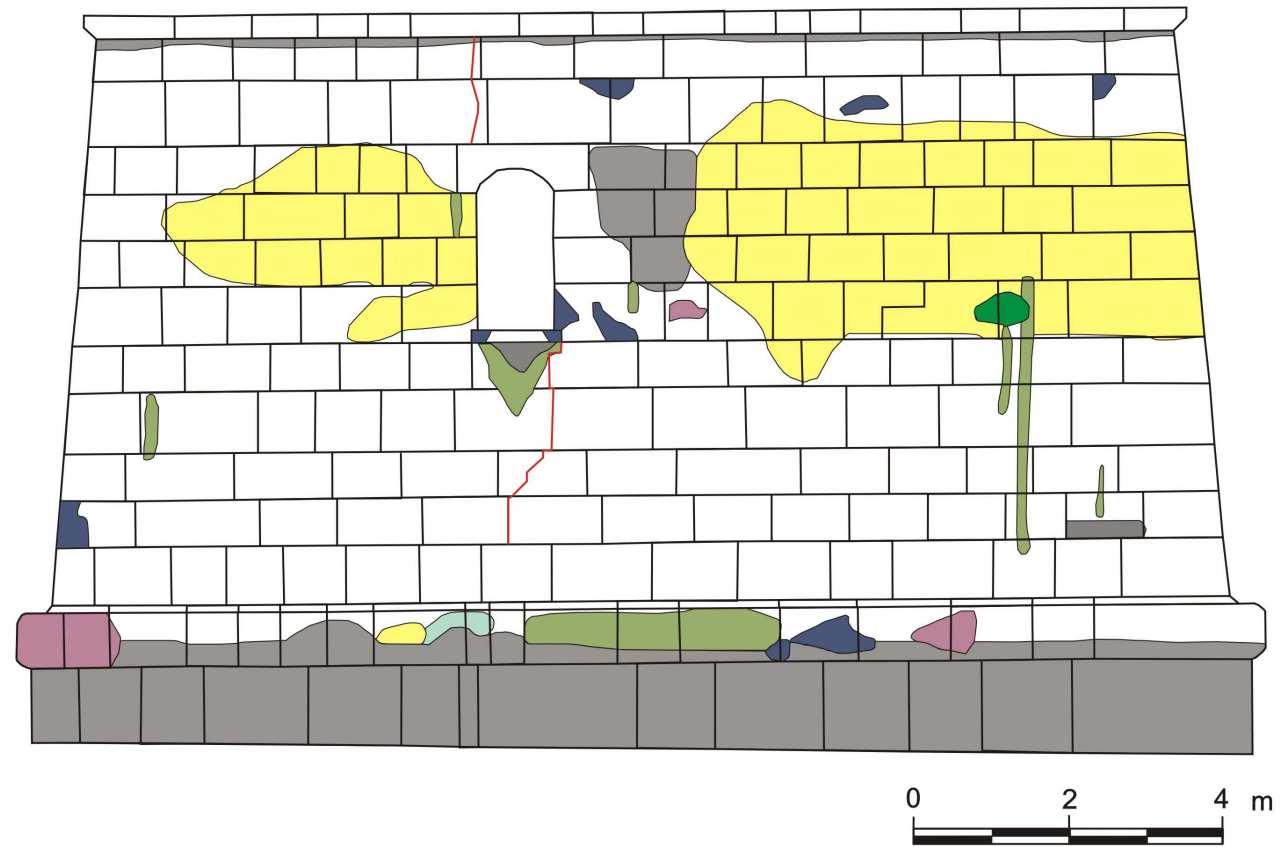
-  Crosta
-  Efflorescenza
-  Esfoliazione
-  Fessurazione
-  Macchia
-  Integrazione
-  Mancanza
-  Scagliatura
-  Vegetazione



Degrado della facciata meridionale della Torre Campanaria del Monastero di Santa Chiara

Legenda








-  Crosta
-  Efflorescenza
-  Fessurazione
-  Macchia
-  Mancanza
-  Pitting
-  Scagliatura
-  Vegetazione





## Degrado della facciata orientale della Torre Campanaria del Monastero di Santa Chiara

### Legenda

	Crosta
	Efflorescenza
	Fessurazione
	Macchia
	Integrazione
	Mancanza
	Scagliatura

