



Università degli
Studi di Catania



Facoltà di Architettura
di Siracusa



arp Dipartimento di Analisi
Rappresentazione e Progetto

Dottorato di ricerca in Tecnologia dell'Architettura

Coordinatore: prof. arch. Carlo Truppi

XXIII ciclo 2007-2010

**I MATERIALI LAPIDEI TRADIZIONALI NELL'ARCHITETTURA
CONTEMPORANEA. LA PIETRA DI SIRACUSA**

Alessia Giuffrida

Tutor prof. arch. Fernanda Cantone

Tutor esterno: prof. Enrico Ciliberto

2007-2010

RINGRAZIAMENTI

Il presente lavoro, frutto dello studio e delle ricerche di questi anni di dottorato, è stato possibile anche grazie al contributo di numerose persone che hanno messo a mia disposizione il loro tempo e il loro sapere.

Innanzitutto ringrazio la prof.ssa Fernanda Cantone per avermi fatto da guida e per avermi sempre spronato a dare il massimo; il prof. Enrico Ciliberto per la sua generosità e perché ogni discussione con lui è sempre stata fonte di piacevole conoscenza; la prof.ssa Germana Barone e l'ing. Giuseppe Gaeta per il loro supporto tecnico-scientifico.

Ringrazio inoltre la mia famiglia, per essermi stata di conforto e sostegno in tutti questi anni; gli amici Tiziana, Elisabetta, Gabriella, Chiara, Sara, Carla e Pietro, per il loro fondamentale aiuto e sostegno.

Alla mia famiglia

<i>Sinossi</i>	I
<i>Abstract</i>	III
<i>Premessa</i>	V
<i>Obiettivi e metodologia di ricerca</i>	X
<i>Articolazione e contenuti</i>	XIV

PARTE PRIMA

LA PIETRA NELL'ARCHITETTURA CONTEMPORANEA

1. L'uso della pietra nell'architettura contemporanea	1
1.1 Sistemi pesanti e sistemi leggeri: la pietra strutturale e la pietra di rivestimento	4
1.2 Pietre artificiali	5
1.3 Il concetto di rivestimento nell'edilizia contemporanea: prestazioni e requisiti	8
2. L'attività di escavazione contemporanea	11
2.1 Le tipologie di cava e il processo produttivo	12
2.2 La trasformazione della pietra cavata	15
3. Il materiale lapideo di facciata: tecniche costruttive e modalità operative	17
3.1 Sistemi di posa con malta	18
3.2 Sistemi di posa a secco.....	19

3.3 Giunti e connessioni	21
3.4 Casi studio.....	24
4. Il materiale lapideo di facciata: carenze funzionali e problemi tecnologici	31
4.1 L'estrazione e la lavorazione	33
4.2 La posa in opera	34
4.3 Compatibilità materica e funzionale	36
 PARTE SECONDA	
LA PIETRA DI SIRACUSA	
5. Il contesto lapideo siracusano	41
5.1 Inquadramento geologico del territorio siracusano	43
5.2 Descrizione macroscopica della pietra siracusana	47
5.3 Caratterizzazione mineralogico-petrografica della pietra siracusana	49
6. Le cave di estrazione della pietra di Siracusa	53
6.1 Le cave del passato	55
6.2 Le cave contemporanee	59
6.3 Le tipologie di cave	66
6.4 Le tecniche di estrazione, la lavorazione in cava e il trasporto..	68
6.5 Le cave di Priolo, Noto e Palazzolo	71
6.6 La lavorazione in azienda	76
7. La pietra di Siracusa nella tradizione: le tecniche costruttive per gli elementi di facciata	79
7.1 La pietra in conci: "l'opera quadrata" e gli elementi architettonici	80
7.2 La pietra sbozzata: la muratura irregolare	82
7.3 La pietra grezza	83
7.4 La pietra di rivestimento	84
7.5 La pietra listata	85
7.6 Schedatura delle informazioni acquisite	86

8. La pietra di Siracusa nella tradizione: lo stato di conservazione	95
8.1 Le zone microclimatiche	99
8.2 I degradi prevalenti.....	102
8.3 La localizzazione del materiale lapideo degradato	106
8.4 La schedatura: zone microclimatiche, edifici campionati, fenomeni di degrado	109

PARTE TERZA

LE ANALISI DI LABORATORIO

9. Il campionamento	124
9.1 Criteri e metodologie di campionamento	125
9.2 Descrizione macroscopica dei campioni.....	126
10. Le indagini sui campioni	131
10.1 Analisi chimiche	133
10.1.1 Conduttimetria	133
10.1.2 Microscopia ottica	135
10.2 Analisi mineralogico-petrografica	136
10.2.1 Microscopia ottica su sezioni sottili	136
10.2.2 Diffrazione ai Raggi X	139
10.3 Analisi fisiche	140
10.3.1 Assorbimento d'acqua per immersione totale	141
10.3.2 Assorbimento d'acqua per capillarità	144
10.3.3 Resistenza alla cristallizzazione dei sali	147
10.4 Schedatura dei campioni e delle analisi	149

PARTE QUARTA

IL SISTEMA INFORMATIVO

11. I risultati delle indagini	164
11.1 L'uso della pietra nell'architettura contemporanea	164

11.2 Le analisi di laboratorio: risultati	166
11.2.1 La pietra di facciata.....	166
11.2.2 La pietra di cava.....	167
11.3 Schede di sintesi.....	169
12. L'uso sostenibile e innovativo della pietra di Siracusa ...	179
12.1 L'uso sostenibile del materiale lapideo: requisiti e prestazioni	180
12.2 L'uso della pietra di Siracusa nella nuova edificazione	181
12.3 L'uso della pietra di Siracusa nel recupero edilizio.....	186
APPENDICE.....	189
GLOSSARIO	193
BIBLIOGRAFIA	203

L'involucro di un edificio ha la funzione non solo di garantire protezione dagli agenti esterni ma, da un punto di vista architettonico, di definire lo spazio e la sua identità configurativa, di relazionarsi con il paesaggio e la città¹.

Oggi la concezione di involucro è cambiata rispetto al passato: da quella massiva, portante, individuata principalmente dall'uso della pietra in blocchi, si è passati ad una legata alla leggerezza e alla trasparenza, che ha indotto all'utilizzo di lastre sottili e materiali innovativi a base lapidea, soprattutto con scopo di rivestimento. Ciò comporta un risparmio nei costi di produzione e trasporto, un'innovazione nelle tecniche di lavorazione e messa in opera e il riutilizzo del materiale di scarto, con alla base il tentativo di migliorare le prestazioni di resistenza e durabilità, offerte dai nuovi prodotti; il vantaggio è duplice: da un lato la diffusione dei materiali lapidei, finalmente economicamente competitivi, dall'altro la loro sostenibilità².

La tesi si indirizza verso l'uso della pietra in senso tradizionale ed innovativo ed ha come strumento di confronto il tipico calcare bianco-giallognolo che contraddistingue l'edificato di Siracusa, che nei secoli è stato il materiale da costruzione della città e dei più importanti centri barocchi limitrofi.

Momento fondante della ricerca è una preventiva e accurata fase di conoscenza delle tecniche e logiche dell'architettura contemporanea per l'uso della pietra, del contesto nel quale essa viene utilizzata, del suo stato di conservazione e delle cave di estrazione, sia antiche che nuove. Studi di particolare importanza riguardano la durabilità del materiale lapideo, in stretta relazione con le sue caratteristiche mineralogico-petrografiche, chimiche, fisiche e meccaniche.

¹ P. De Joanna, *Analisi dello stato di degrado*, in G. Caterina, P. De Joanna (a cura di), 2007, p. 232.

² Cfr. A. Acocella, 2004, p. 606.

Quest'ultimo tema viene affrontato indagando sulle cave siracusane attive, prelevando dei campioni e analizzandoli con gli stessi strumenti e metodi del materiale di facciata.

Il metodo utilizzato si basa su un approccio non solo teorico ma anche pratico e interdisciplinare, che integra le conoscenze tecnologiche con quelle chimiche, petrografiche e biologiche. Esso quindi si sviluppa in sei fasi:

1. Raccolta delle informazioni sui materiali lapidei attraverso ricerche bibliografiche;
2. Analisi e schedatura di casi studio di rilievo nazionale e internazionale, in cui l'uso della pietra nelle facciate è di fondamentale importanza per la caratterizzazione dell'edificio;
3. Campionamento dei materiali lapidei di Ortigia e delle cave siracusane;
4. Indagini tecnico-scientifiche di laboratorio;
5. Elaborazione delle informazioni;
6. Conclusioni.

In particolare attraverso le analisi sperimentali è stato possibile stabilire gli attuali livelli prestazionali offerti dalla pietra di Siracusa, in termini di durabilità e affidabilità, ai fini di un loro miglioramento per il recupero; si è prevista la possibilità di utilizzo della pietra per edifici di nuova costruzione, in termini innovativi e sostenibili.

Obiettivo della ricerca è dunque creare un supporto alle scelte costruttive locali per indirizzarle verso campi di applicazione contemporanei in un'ottica di risparmio energetico. Tale ipotesi è supportata dalla possibilità di impiegare un materiale naturale, con un basso impatto ambientale e con livelli prestazionali migliorati a fronte delle analisi conoscitive svolte. Scegliere una pietra del luogo significa inoltre tramandarne la memoria, inserire il progetto entro un contesto specifico, ma anche abbassare i costi di trasporto e acquisto.

Lo studio punta infine alla possibilità di ripetere e applicare tale metodo a contesti simili, ovvero con materiali e tecniche costruttive confrontabili, o con caratteristiche ambientali, condizioni di degrado, uso di materiale lapideo affini.

The shell of a building has the function not only to guarantee protection from the external agents but to define the space and its image identity, to relate it with the landscape and the city³.

Today the idea of shell is changed in respect to the past: from the massive, load bearing one, mainly characterized by the use of stone blocks, to one connected to lightness and transparency, that has prompted the use of thin slabs and innovative stone materials, especially as facing. This involves savings in production and transport costs, an innovation in the processing and building techniques and the re-use of waste materials. The attempt to improve the performances of strength and durability of these new products is the base of the research; the advantage is double: on one hand the diffusion of stone material, at last economically competitive, on the other hand their sustainability⁴.

The thesis aims to study the use of stone in traditional and innovative ways and has as a term of comparison the typical white-yellowish limestone that marks the building of Syracuse and that has been the building material of the city and of the most important neighbouring baroque towns in the centuries.

Grounding moment of the research is an initial and accurate phase of knowledge of the techniques and logics of contemporary architecture for the use of stone, of the context in which it is used, of its state of maintenance and of the quarries, both ancient and new. The durability of stone materials with its mineralogical-petrographic, chemical, physical and mechanical characteristics pertains studies of particular importance.

This last topic is approached taking samples from active syracusan quarries and analyzing them with the same tools and methods used for the stone of historical façades.

³ P. De Joanna, *Analisi dello stato di degrado*, in G. Caterina, P. De Joanna (a cura di), 2007, p. 232.

⁴ Cfr. A. Acocella, 2004, p. 606.

The method of the research is not only based on a theoretic but also practical and interdisciplinary approach, that integrates technological knowledge with chemical, petrographic and biological one.

It therefore develops in six step:

1. Gathering of information about stone materials through bibliographical searches;
2. Analysis and filing of case studies of national and international significance, in which the use of stone in façades is of fundamental importance for the characterisation of the building;
3. Sampling of the stone material of Ortigia and from the syracusan quarries;
4. Technical-scientific laboratory analysis to establish the actual levels of performances given by the stone of Syracuse as durability and reliability;
5. Information processing;
6. Conclusions.

The aim of the search is to provide therefore support to local building choices, to address them toward contemporary stone use with the perspective of energy savings. Such hypothesis is given by the possibility to use a natural material, with a low environmental impact and with levels of performances improved in view of the analysis performed. Moreover, choosing local stone means preserving heritage, tying a project with its environment, but also reducing costs of transport and purchase.

The study lastly aims to the possibility to repeat and to apply such method to similar contexts, or with comparable materials and constructive techniques, or with similar environmental characteristics, conditions of deterioration, use of stone material.

«L'involucro di un edificio ha funzione di *mediazione* tra le condizioni esterne ed interne allo stesso; è deputato sostanzialmente a garantire all'edificio *protezione* dagli agenti esterni e *identità configurativa*»⁵. È il materiale a caratterizzare maggiormente l'involucro, determinandone l'identità e l'impatto sul contesto. Da sempre le architetture del Mediterraneo hanno fatti propri materiali, tecniche e principi locali, nel pieno rispetto della natura e del contesto. Con la rivoluzione industriale, invece, i criteri di scelta dei materiali sono stati quelli della funzionalità e dell'economicità. A questi, complice in parte la crisi petrolifera del 1973, si è aggiunto anche quello del rispetto dell'ambiente⁶.

Oggi i temi principali dell'architettura sostenibile sono l'utilizzo di materiali a basso impatto ambientale, non nocivi e con un basso contenuto di energia grigia⁷, oltre che il riuso di edifici esistenti, il riuso di aree dismesse e la conservazione delle risorse naturali.

Rispetto al passato si è quindi sviluppata una nuova sensibilità verso le questioni ambientali e verso l'uso di materiali sostenibili. Negli ultimi quindici anni sono stati sviluppati, a livello internazionale, nuovi metodi e normative per verificare il consumo di energia di un edificio⁸ e sono stati fatti diversi studi⁹ per trovare il consumo di energia grigia dei singoli materiali. Ormai sappiamo che in Italia «il solo settore delle costruzioni, nel

⁵P. De Joanna, *op cit.*, p.232.

⁶ Cfr. G. Frigeri, *Materiali da costruzione e ambiente*, p. 2 tratto da <http://www.isaac.supsi.ch> (il 27/10/2010).

⁷ L'energia grigia è quella consumata in fase di costruzione, ovvero necessaria per il trasporto, l'installazione, la dismissione o sostituzione di prodotti e componenti. Cfr. http://www.scienzaegoverno.org/n/004/004_04.htm.

⁸ Come il metodo di analisi del ciclo di vita detto anche *Life Cycle Assessment* (LCA) regolato dalla serie ISO 14040 o la direttiva europea 2002/91/CE sulla certificazione energetica degli edifici.

⁹ Ad esempio gli studi svolti presso l'Università di Architettura di Valencia citati in "Energia Grigia e Soluzioni Tecniche in Edilizia per il Risparmio Energetico" su <http://www.genitronsviluppo.com/2009/08/11/energia-grigia-risparmio-energetico/> (27/10/2010), o ancora il catalogo pubblicato nel 1998 dall'Ufficio di Chimica ambientale in collaborazione con l'ECONUM GmbH (in Svizzera) che presenta un bilancio dell'energia grigia contenuta nei materiali da costruzione.

suo complesso, consuma circa il 45% dell'energia primaria totale e ogni anno questo consumo aumenta del 2%, con conseguenze sulle emissioni in atmosfera di gas inquinanti, soprattutto in ambito urbano»¹⁰; o ancora che il calcestruzzo armato consuma 1.55 MJ/kg di energia grigia, il mattone 2.39-3.08 MJ/kg, i conci in calcestruzzo poroso 4.72 MJ/kg, a fronte dello 0.96 MJ/kg dei conci in pietra calcarea¹¹.

NUOVA
EDIFICAZIONE E
RECUPERO: I
MATERIALI
DELLA
TRADIZIONE

Di conseguenza un edificio va pensato come un qualsiasi prodotto che deve essere efficiente ma che, allo stesso tempo, richiede il consumo di materia ed energia, sia in fase di costruzione che di esercizio, fino alla dismissione. Questo principio viene seguito per la costruzione di nuovi edifici e messo in pratica attraverso le certificazioni energetiche ma può e deve essere perseguito anche per il recupero e la manutenzione degli edifici esistenti. L'uso dei materiali della tradizione, e in particolare di quelli lapidei, trova un riscontro comune in entrambi gli ambiti: costruire nuovi edifici significa utilizzare materiali naturali e a basso consumo di energia grigia e, contemporaneamente, conservare l'identità di una città o un territorio e prolungarne il valore di risorsa nel tempo. Allo stesso modo anche recuperare il patrimonio costruito esistente e continuare ad utilizzare i materiali del luogo significa preservarne il valore di "memoria pietrificata", di "giacimento archeologico in elevato"¹², ed evitare ulteriore consumo di suolo.

LA
CONOSCENZA

Momento indispensabile per l'individuazione delle strategie da perseguire diventa quindi una preventiva e accurata fase di conoscenza, costituita da opportune analisi sulle caratteristiche dei materiali, sul contesto nel quale si inseriscono, sul loro stato di conservazione attuale e futuro, sulle prestazioni che si hanno e su quelle che si possono migliorare. Tale fase è necessaria per imparare dal passato per interventi nuovi ed evitare, nel recupero, «interventi generici, spesso grossolani e inutilmente costosi, con sovrabbondanti apporti di materiali e strutture, ma soprattutto con distruzione di testimonianze e sottrazioni di materia»¹³

DEGRADO E
ALTERAZIONE

Nell'ambito della fase di conoscenza trovano ampio spazio i concetti di degrado e alterazione¹⁴ dei materiali lapidei, in quanto non c'è edificio che non subisca, nel tempo, l'effetto di molteplici eventi aggressivi che conducono ad una variazione delle caratteristiche iniziali. Di conseguenza lo stato di degrado degli edifici costituisce un "vincolo", sia a causa dei numerosi interventi necessari per la loro conservazione che per le

¹⁰ P. Basso, *L'energia grigia degli edifici. Ridurre il consumo energetico del settore edile scegliendo materiali a basso impatto ambientale in fase di costruzione*. Tratto da http://www.scienzaegoverno.org/n/004/004_04.htm (il 27/10/2010).

¹¹ Cfr. <http://www.cipra.org/it/climalp/energeticamente-efficienti-costruiti/protezione-attiva-del-clima/energia-grigia-nelledilizia> (27/10/2010).

¹² G.V. Galliani, *Prefazione*, in Caterina G., De Joanna P. (a cura di), 2007, *op. cit.*, p. XV.

¹³ P. Gasparoli, "Attività di progetto sul costruito", in P. Gasparoli, C. Talamo, 2006, p. 175.

¹⁴ Per la distinzione tra i concetti di degrado e alterazione si veda il *Glossario*.

modifiche che induce nelle prestazioni offerte dall'edificio¹⁵, soprattutto perché ormai non sono solo i centri storici ad essere interessati da ingenti fenomeni di degrado, che spesso ne alterano il volto e la memoria, ma anche le periferie e tutto l'edificato.

L'analisi del degrado fornisce informazioni utili sia per la fase di progettazione che per la fase di gestione degli interventi in quanto permette di migliorare in maniera consapevole gli interventi sull'edilizia esistente e, allo stesso tempo, di indirizzare le scelte progettuali per gli edifici di nuova costruzione con la possibilità di prevedere i processi di degrado, di controllare i criteri decisionali e attuativi adottati¹⁶.

Oggi sono numerosi gli studi già svolti, gli strumenti e le tecniche di recupero a disposizione dei progettisti; è necessario quindi, da un lato, puntare sulla valorizzazione dell'esistente in chiave sostenibile, innovativa ed economicamente valida basandosi sui risultati a disposizione e, dall'altro lato, sfruttare tali risultati per migliorare le tecniche costruttive e le prestazioni dell'involucro nell'edilizia contemporanea. Le analisi di laboratorio che vengono svolte, infatti, non studiano solo le cause del degrado degli edifici esistenti, ma verificano anche la risposta dei materiali lapidei di cava alle diverse sollecitazioni che provengono dall'esterno, permettendo di sapere preventivamente come l'elemento involucro si comporterà e quali potranno essere le possibilità di applicazione dei diversi materiali. Per questo oltre alle prove di resistenza della pietra a compressione, le analisi che vengono ritenute come indicative per conoscere la durabilità del materiale e il suo utilizzo ottimale sono anche quelle di immersione in acqua, di invecchiamento e di resistenza ai sali solubili¹⁷. In particolare quest'ultima analisi viene univocamente ritenuta come la più indicativa della durabilità della pietra, in quanto permette di verificare preventivamente la sua reazione al degrado più dannoso, ovvero quello dovuto alla presenza di sali solubili¹⁸.

LE ANALISI DI
LABORATORIO

Inoltre, all'interno del tema del degrado dei materiali lapidei, viene dato oggi spazio al problema dell'inquinamento atmosferico poiché, anche se non è facile quantificarne l'influenza rispetto ad altre cause di alterazione, «è fuor di dubbio che esso ha rappresentato e rappresenta tuttora un fattore fortemente accelerante del deterioramento per i marmi e, più generalmente, le pietre calcaree»¹⁹.

¹⁵ Cfr. G. Caterina, *Recupero e valorizzazione del Real Albergo de' Poveri di Napoli*, in G. Caterina, P. De Joanna (a cura di), *op.cit.*, p. 343.

¹⁶ Cfr. V. Di Battista, *Criteri di diagnosi*, in G. Caterina (a cura di), 1989, p. 133.

¹⁷ Cfr. G. Torraca, 1986; J. M. Teutonico, 1988; le Raccomandazioni NorMaL e i successive aggiornamenti UNI.

¹⁸ Cfr. G. Cultrone et al., 2007; Lo Giudice et al., 2006.

¹⁹ L. Lazzarini, M. Laurenzi Tabasso, *op.cit.*, p. 59.

Fortunatamente gli studi sui materiali lapidei e sul deterioramento hanno fatto grandi progressi, passando da una fase di sfiducia, inerzia e ignoranza, durante la quale «la “malattia della pietra” era vista come un male misterioso inarrestabile e tutti i tentativi di “cura” sembravano solo peggiorarlo»²⁰, ad una fase di approfondimento delle cause del degrado e dei possibili interventi.

Inoltre, negli ultimi anni si rileva un profondo interesse per le possibilità d'uso dei materiali, soprattutto dal punto di vista del loro impatto ambientale, attraverso studi corredati da indagini scientifiche che hanno permesso di raggiungere nuovi risultati: sono stati cioè sviluppati modelli teorici e applicativi che si basano sul contatto diretto con le superfici, su prove di laboratorio, sulla contestualizzazione dell'oggetto e sulla verifica, a posteriori, dei trattamenti effettuati.

Sia i progettisti che le aziende produttrici hanno indirizzato le loro ricerche verso l'uso consapevole dei materiali, per una integrazione con l'esistente, rispettandone le caratteristiche materiche e costruttive, per un minore impatto ambientale. Ne sono un esempio gli studi condotti sull'uso degli intonaci che hanno portato all'adozione di malte a base di calce anziché a base di cemento, per una migliore conservazione nel tempo, per una più corretta integrazione chimica con il supporto lapideo e per una superiore traspirabilità e durabilità²¹.

Parallelamente gli studi di progettisti e aziende puntano all'innovazione dei materiali, delle loro caratteristiche, delle tecniche di lavorazione dei prodotti e delle tecniche costruttive. Se da un lato l'intenzione è quella di usare il materiale del luogo, perché significa storia, risparmio nei trasporti e conoscenza di tecniche assodate, dall'altro l'immagine che si vuole dare alle nuove costruzioni deve essere contemporanea e identificativa di nuovi modi d'uso. Le applicazioni odierne dei materiali lapidei tradizionali presuppongono caratteristiche e prestazioni di base migliorate, tecniche costruttive leggere, veloci e, nella maggior parte dei casi, industrializzate e in serie, l'accostamento con altri materiali prettamente contemporanei quali il vetro e l'acciaio. La possibilità di scegliere fra leggerezza e massività risulta oggi possibile grazie a numerosi macchinari per la lavorazione in azienda di elementi lapidei di qualsiasi forma e dimensione, grazie a innumerevoli trattamenti superficiali e tecniche di messa in opera che vanno dalle facciate ventilate al trasferimento tecnologico.

È la Tecnologia ad avere gli strumenti per una progettazione innovativa e ad avere l'obiettivo del governo del processo edilizio, dalla fase di

²⁰ G. Torraca, "Presentazione", in L. Lazzarini, M. Laurenzi Tabasso, 1986, p. V.

²¹ F. Cantone, P. Carnazzo, F. Giucastro, A. Giuffrida, *I cromatismi e le coloriture di facciata. Status ed interventi di recupero in Ortigia*, in P. Zennaro (a cura di), *Il colore nella produzione di architettura*, Iper testo Edizioni, Verona, 2007.

conoscenza del contesto e dei materiali, alla fase di programmazione dell'intervento, di progettazione e di realizzazione, fino alla gestione e alla manutenzione.

Qualsiasi intervento, in funzione di quanto detto, è fatto di relazioni complesse e pertanto dovrà basarsi su quella che Di Battista definisce "valutazione integrata"²², ovvero una visione unitaria e globale che è al contempo gestione tecnica, funzionale, economica e sociale. Qualsiasi intervento progettuale necessita quindi dell'apporto di un ampio spettro di analisi, discipline e variabili; richiede svariati supporti tecnico-scientifici e conoscitivi, competenze multidisciplinari e specialistiche e un'innovativa strategia di gestione, il *concurrent engineering*, grazie alla quale tutti gli specialisti coinvolti lavorano in maniera sinergica in team²³.

LA VALUTAZIONE
INTEGRATA

²² Di Battista in P. Gasparoli, C. Talamo, 2006, p. 30.

²³ Cfr. C. Truppi, 1999.

NUOVO E
CONSAPEVOLE
USO DELLA
PIETRA

All'interno del quadro delineato, la ricerca è volta alla conoscenza dei materiali lapidei dell'edilizia storica di Ortigia e della pietra estratta dalle cave attive del siracusano. Si intende proporre un uso nuovo e consapevole non solo negli interventi di recupero ma anche nell'architettura contemporanea, nel rispetto dell'immagine tipica del luogo e in un'ottica di innovazione e risparmio energetico; far valere quel "principio di specificità" di ciascun edificio e contesto, rispetto al quale va subordinato qualsiasi intervento²⁴, effettuando al contempo scelte tecnicamente corrette e rinnovate.

LA
CONOSCENZA

La conoscenza dei materiali utilizzati è utile, quindi, non solo ai fini di uno studio storico-tecnologico dell'isola, ma anche per operare scelte progettuali consapevoli, supportate da rinnovati livelli prestazionali, sia per interventi di recupero o integrazione sull'esistente che per la nuova edificazione; ciò al fine di condurre a soluzioni di intervento dettate anche da risultati fondati sulla pratica costruttiva e sulla reale possibilità di utilizzo del materiale.

Inoltre gli studi odierni e le allarmistiche recenti ricerche conducono alla scelta di materiali a basso impatto ambientale, a bassa emissività di CO₂, a costi di produzione e trasporto limitati. In quest'ottica scegliere la pietra come materiale principe anche nelle costruzioni contemporanee significa sia tramandare una tradizione che non deve essere dimenticata e da questa trarne insegnamento e beneficio, sia operare in senso sostenibile, per il miglioramento della situazione energetica mondiale e per la limitazione dell'inquinamento ambientale.

L'obiettivo di fondo è quindi quello di tramandare le valenze culturali e tecnologiche del luogo, di prolungare la vita utile degli elementi tecnici costruiti con i materiali lapidei, di ottenere prestazioni migliori e possibilità

²⁴ G. De Carlo, "Del ribaltamento del termine "riuso" nella prassi architettonica", in L.B. Belgioioso, M. Dezzi Bardeschi, V. Di Battista et al., *Riuso e riqualificazione edilizia negli anni '80*, FrancoAngeli, 1981, pp. 506-507.

d'uso innovative. Su di essi orbita il rispetto dell'ambiente e la limitazione delle emissioni inquinanti.

Attraverso lo studio della bibliografia di riferimento e dei casi studio, l'analisi del contesto siracusano²⁵ e le analisi di laboratorio, due sono i livelli di indagine che la ricerca intende affrontare:

- nell'ambito del recupero ottenere informazioni sulla pietra in opera per interventi di recupero corretti e, allo stesso tempo, vagliare le possibili soluzioni tecnologiche innovative grazie al confronto con i casi studio nazionali e internazionali e con le informazioni acquisite sulle tecniche costruttive contemporanee.

- nell'ambito della nuova edificazione analizzare anche i campioni di cava per proporre l'utilizzo della pietra di Siracusa come materiale "rinnovato", fornendo indicazioni sulla scelta e sull'uso corretti della pietra, a fronte delle tecnologie innovative analizzate nei casi studio.

La scelta dei materiali da utilizzare per la costruzione diventa quindi una valutazione consapevole dei numerosi parametri in gioco, finalizzata all'ottenimento degli obiettivi preposti, in termini innovativi e sostenibili.

Tale ipotesi è supportata dalla possibilità di impiegare un materiale del luogo, conservandone l'identità nel tempo, ottenendo un basso impatto ambientale e, infine, migliorandone i livelli prestazionali a fronte delle analisi conoscitive svolte. Gli obiettivi preposti rappresentano, quindi, la possibilità di protezione dell'identità locale nonché alcune concretizzazioni delle raccomandazioni per la sostenibilità delle costruzioni²⁶.

SOLUZIONI
TECNOLOGICHE
INNOVATIVE E
SCELTE
CONSAPEVOLI

Il percorso di ricerca qui proposto necessita di un approccio interdisciplinare, ad integrazione delle conoscenze tecnologiche con quelle chimiche e geologiche.

Alla base vi è una fase, trasversale alle altre, di approfondimento teorico necessaria a costituire le fondamenta culturali e scientifiche della ricerca, durante la quale vengono indagate le informazioni ampiamente divulgate e consolidate sulle caratteristiche dei materiali lapidei, sull'analisi esigenziale-prestazionale e sul degrado, affiancate da studi tecnologici sulla pietra nell'architettura contemporanea.

Si individuano dunque cinque fasi:

LA
METODOLOGIA DI
RICERCA

²⁵ L'analisi del contesto include anche quella delle tecniche costruttive e dello stato di degrado.

²⁶ M.C. Forlani, intervento "Dai manufatti della tradizione al progetto responsabile: risorse locali e strategie per la regione Abruzzo", Convegno *L'edificio zero energia nell'area mediterranea. Imparare dal passato. Costruire il futuro*, Siracusa 15-16 Aprile 2009.

1. Raccolta delle informazioni sui materiali lapidei attraverso ricerche bibliografiche su:

- il contesto lapideo siracusano: le caratteristiche mineralogico-petrografiche e di resistenza dei materiali lapidei di Ortigia, le cave di estrazione della pietra siracusana, le tecniche costruttive;

- la presenza e la morfologia del degrado in funzione delle condizioni ambientali e microclimatiche dell'isola.

Durante questa fase vengono recuperati i dati esistenti frutto di analisi, studi e ricerche esistenti, per poterli confrontare con i dati ricavati dalle successive indagini di laboratorio. Vengono inoltre definite le zone microclimatiche ai fini del campionamento e dell'individuazione dei degradi.

2. Analisi delle tecniche e delle logiche d'uso della pietra nell'architettura contemporanea

Momento fondante risulta la disamina, in chiave tecnologica e compositiva, dell'uso della pietra nell'architettura contemporanea. Attraverso lo studio dell'uso della pietra per l'involucro degli edifici e di alcuni casi di rilevanza nazionale e internazionale, si è giunti alla comprensione delle tecnologie possibili, alla rilevazione delle carenze, alla spendibilità e applicabilità delle eventuali soluzioni.

3. Campionamento dei materiali lapidei di Ortigia e delle cave siracusane

In questa fase viene impostato il campionamento (Raccomandazioni Normal 3/80) dei materiali lapidei, in funzione dei diversi litotipi, delle zone microclimatiche e delle forme di degrado presenti. I campioni vengono prelevati sia da edifici di Ortigia che da alcune cave presenti nel territorio siracusano. Le cave da cui verrà prelevato il materiale lapideo sono evidentemente quelle da cui è possibile trarre il materiale da costruzione; in alcuni casi da tali cave è possibile estrarre una pietra molto simile a quella utilizzata nel passato, poiché appartenente alla stessa formazione geologica. Ciò può determinare modifiche e trasformazioni limitate rispetto a cave diverse rispetto al passato.

4. Indagini tecnico-scientifiche

È questa una fase di analisi di laboratorio effettuate sui campioni prelevati sia ad Ortigia che in cava.

Attraverso le sperimentazioni in laboratorio sono stati analizzati i litotipi presenti e le loro condizioni, per rintracciarne le caratteristiche mineralogico-petrografiche e i requisiti di durabilità e affidabilità, a fronte di studi sul quadro patologico ormai consolidati.

Tali analisi (mineralogico-petrografiche, chimiche e fisiche) sono servite, inizialmente, a determinare le caratteristiche del materiale lapideo, quali la composizione chimico-mineralogica e la struttura-tessitura, che hanno influenza nei processi di deterioramento; in un secondo momento le stesse analisi sono state indirizzate allo studio della resistenza della pietra di cava

e delle cause di degrado ricercando, per esempio, la presenza di sali e la risposta all'immersione in acqua²⁷.

In funzione dei campionamenti effettuati vengono progettate delle schede che raccolgono i risultati di ogni campione per ogni analisi.

Questa fase è di fondamentale importanza in quanto ha lo scopo di orientare le scelte progettuali attraverso la conoscenza dei materiali e dei processi di deterioramento ai quali possono essere soggetti in funzione dell'uso che se ne fa.

5. Elaborazione delle informazioni

Nella fase finale della ricerca si restituisce la rielaborazione di tutti i dati raccolti, sia quelli estrapolati dalla letteratura di riferimento che quelli emersi dalle analisi di laboratorio, al fine di ottenere informazioni sul ciclo di vita dei materiali lapidei analizzati, sul loro impatto ambientale, sulla loro affidabilità e durabilità e sui possibili nuovi usi in edilizia.

In particolare attraverso i dati delle prove mineralogico-petrografiche e chimiche si vogliono restituire informazioni sui litotipi esistenti in Ortigia; attraverso le prove fisiche e chimiche sulla pietra di cava e il confronto con i dati disponibili sulle condizioni di degrado dei materiali lapidei siracusani (ovvero attraverso il rilevamento dello stato di conservazione della pietra in opera, la determinazione delle caratteristiche di porosità, la resistenza all'immersione in acqua e la verifica della presenza di sali solubili) si intendono ottenere informazioni relative alla durabilità ed in particolare al tipo di uso che della pietra di Siracusa si può fare nell'edilizia contemporanea.

6. Conclusioni

In conclusione, i dati ottenuti sono stati sistematizzati per ottenere le indicazioni progettuali indispensabili per interventi sia di nuova edificazione che di recupero, che siano consapevoli, innovativi e allo stesso tempo sostenibili.

Si punta alla necessità e all'importanza di relazionare ogni materiale al proprio luogo di origine, alle sue proprietà intrinseche e allo stretto rapporto con il contesto, ciò al fine di indirizzare verso un uso compatibile e "ambientale" della pietra.

²⁷ L. Lazzarini, M. Laurenzi Tabasso, *op. cit.*, p. 18, 90.

1. L'USO DELLA PIETRA NELL'ARCHITETTURA CONTEMPORANEA

Il capitolo avvia la trattazione del tema dell'uso dei materiali lapidei nell'architettura contemporanea, mettendo in luce come si è modificata la concezione di involucro nel corso dell'ultimo secolo. Si parte da un excursus temporale sull'evoluzione del pensiero e delle modalità operative per poi approfondire la distinzione tra pietra strutturale e pietra di rivestimento. Si accenna anche alle caratteristiche dei materiali lapidei innovativi, ovvero quelli cosiddetti artificiali, per concludere con una disamina delle prestazioni e dei requisiti attualmente offerti da tali materiali, facendo riferimento alle più recenti ricerche di settore e con particolare attenzione agli studi sulla durabilità della pietra.

2. L'ATTIVITÀ DI ESCAVAZIONE CONTEMPORANEA

In questa parte vengono esposte le tipologie di cava più utilizzate e il processo produttivo. Tali informazioni risultano non scontate in quanto inserite in una logica locale fortemente caratterizzata che, partendo dalle tecniche di estrazione e passando per la lavorazione in cava fino a quella in azienda, esplicita le diverse fasi del processo di trasformazione della pietra cavata.

3. IL MATERIALE LAPIDEO DI FACCIATA: TECNICHE COSTRUTTIVE E MODALITÀ OPERATIVE

La distinzione e l'approfondimento delle diverse tecniche costruttive contemporanee e dei diversi modi di operare si è resa necessaria come riferimento per attuare scelte locali. Si distingue tra i sistemi di posa con

malta e quelli a secco, propri di due modi di operare idealmente diversi, e tra i sistemi di giunzione e connessione, riproducendo disegni e opzioni. Infine, si riportano le schede di alcuni casi di rilevanza internazionale e nazionale in cui la pregnanza dell'involucro è simbolica. Si mette quindi in luce la logica del progetto, considerando le scelte innovative e sostenibili dei progettisti, il rapporto instaurato con il contesto, le tecniche utilizzate per la caratterizzazione dell'involucro.

4. IL MATERIALE LAPIDEO DI FACCIATA: CARENZE FUNZIONALI E PROBLEMI TECNOLOGICI

A fronte di quanto esplicitato nei capitoli precedenti e dei testi consultati, si evidenziano le carenze e i problemi riscontrati durante le fasi di estrazione e lavorazione, in termini di compatibilità materica e funzionale, per le tecniche di posa in. Questa disamina si è resa necessaria per poter valutare la correttezza delle scelte da effettuare nell'uso del materiale lapideo, all'interno del processo edilizio.

5. IL CONTESTO LAPIDEO SIRACUSANO

In questo capitolo si propone un inquadramento geologico del territorio siracusano: si sintetizzano le fasi che, nel corso dei secoli, hanno portato alla creazione delle formazioni geologiche alle quali appartengono le pietre estratte nel siracusano e si espone la caratterizzazione macroscopica e la caratterizzazione mineralogico-petrografica sulla base della bibliografia scientifica di riferimento. Tali studi sono alla base delle indagini successive, tra cui quelle effettuate in laboratorio.

6. LE CAVE DI ESTRAZIONE DELLA PIETRA DI SIRACUSA

Vengono descritte le cave del passato e quelle contemporanee, mettendo in luce le caratteristiche e le modificazioni subite nel tempo. Si espongono anche i mutamenti nelle tipologie di cava, nelle tecniche di estrazione e lavorazione e nel trasporto. Questi caratteri vengono approfonditi per le cave di Priolo Gargallo, Noto e Palazzolo Acreide che attualmente forniscono il territorio siracusano di pietra per uso costruttivo e decorativo. Infine si conclude con la descrizione delle principali tecniche di lavorazione in azienda.

7. LA PIETRA DI SIRACUSA NELLA TRADIZIONE: LE TECNICHE COSTRUTTIVE PER GLI ELEMENTI DI FACCIATA

Il capitolo espone le tecniche costruttive utilizzate ad Ortigia per le facciate storiche, sia nell'articolazione delle fronti che nell'apparato decorativo e materiale: la pietra squadrata, la pietra sbazzata, la pietra grezza, la pietra di rivestimento e la pietra listata. Di ciascun tipo è stata compilata una scheda completa di disegni e immagini. Tale disamina si è resa necessaria per la conoscenza storica e tecnologica del contesto costruttivo nel quale si inserisce la ricerca, come preparazione a interventi futuri, sia di recupero che di edificazione.

8. LA PIETRA DI SIRACUSA NELLA TRADIZIONE: LO STATO DI CONSERVAZIONE

Lo stato di conservazione della pietra di Siracusa fa necessariamente parte del bagaglio culturale di partenza: non è possibile intervenire sugli edifici o progettarne di nuovi, utilizzando questo materiale, se non se ne conosce la reazione del passare del tempo, all'interno di uno specifico contesto. Si delineano le zone microclimatiche, sulla base di studi esistenti, i degradi prevalenti sulle facciate di Ortigia e la localizzazione del materiale lapideo degradato. A conclusione si inseriscono 12 schede, la prima che sintetizza e mette a confronto le caratteristiche peculiari delle sei zone microclimatiche individuate, le altre che descrivono gli edifici soggetti al campionamento attraverso le caratteristiche microclimatiche e tecnologiche e le relazioni tra i fenomeni di degrado.

9. IL CAMPIONAMENTO

Il capitolo introduce la parte della tesi dedicata alle indagini sui campioni, esplicitando quali criteri sono stati seguiti per la loro scelta all'interno dell'edificato di Ortigia e nelle cave attive. Si espongono anche le metodologie di campionamento utilizzate e la descrizione macroscopica, effettuata a vista, dei campioni.

10. LE INDAGINI SUI CAMPIONI

Capitolo in cui si evidenziano i risultati delle indagini sui campioni di facciata e di cava; attraverso essi è possibile conoscere le caratteristiche peculiari della pietra di Siracusa e la sua risposta ai principali fenomeni di degrado. Vengono quindi svolte analisi chimiche e mineralogico-

petrografiche sui campioni prelevati dai paramenti di Ortigia, con lo scopo precipuo di individuarne la formazione geologica di provenienza e collegarne le caratteristiche al degrado. Sui campioni prelevati nelle cave attive vengono svolte le prove fisiche che forniscono la risposta alla presenza dell'acqua, principale causa di degrado. In questo modo è stato possibile ottenere risultati circa la durabilità e l'affidabilità dei diversi litotipi, in previsione di possibili usi futuri.

11. I RISULTATI DELLE INDAGINI

Questa fase sintetizza e mette a sistema i risultati delle indagini svolte, sia sull'uso dei materiali lapidei che sulle caratteristiche dei campioni. Si delineano quindi punti di forza e criticità dei materiali innovativi, dei sistemi di posa con malta e a secco, delle tecniche di produzione e lavorazione, delle principali scelte tecnologiche; problematiche che emergono durante il processo edilizio, dalla scelta della tecnica di estrazione della pietra fino agli interventi di recupero. Vengono inoltre schematizzati i risultati delle prove di laboratorio e distinti in funzione delle tipologia.

12. L'USO SOSTENIBILE E INNOVATIVO DELLA PIETRA DI SIRACUSA

Sulla base della sistematizzazione dei risultati, la tesi propone un uso sostenibile e innovativo della pietra di Siracusa. A fronte dei modi di operare contemporanei e delle prestazioni offerte da tale materiale, si indirizza verso la sensibilizzazione per un uso contemporaneo del materiale lapideo siracusano, in contesti di recupero così come in progetti di nuova edificazione. Le indicazioni progettuali che si vogliono in questa sede suggerire, tra una casistica di soluzioni applicabili, rispecchiano le reali possibilità di utilizzo di un materiale antico in un contesto contemporaneo, ma stratificato, in un'ottica sostenibile. Il materiale può essere scelto per le sue caratteristiche di durabilità, di scarso se non nullo impatto ambientale e quindi di rispetto dell'ambiente, di compatibilità con la memoria storica e culturale del luogo e di sostenibilità. L'uso che se ne propone può essere inoltre contemporaneo, innovativo, non scontato, ma allo stesso tempo memore di un passato illustre e consapevole delle sue caratteristiche esteriori e tecnologiche.

PARTE PRIMA

LA PIETRA NELL'ARCHITETTURA CONTEMPORANEA

L'uso della pietra, durante il '900, è stato per lungo tempo accantonato per perseguire l'aspirazione alla leggerezza, concretizzata nel predominio delle strutture intelaiate in calcestruzzo armato, dell'acciaio e del vetro. La scelta occasionale dei materiali lapidei come rivestimento preferisce «marmi chiari e bianchi: apparentemente in sintonia con le originarie istanze di immaterialità del movimento moderno o in grado di restituire ad edifici pretenziosi un'aura di classicità»¹. Inoltre si limitano al massimo gli elementi decorativi propri delle architetture passate e si dà più risalto alle bullonature lasciate a vista. Ad esempio alcune architetture di Otto Wagner dei primi del '900 presentano rivestimenti piani e lineari in marmo chiaro e grossi bulloni di alluminio o rame a vista. Un'anticipazione delle tendenze innovative a livello cromatico di metà '900, la dà Mies van der Rohe con il padiglione progettato per l'esposizione di Barcellona del 1929, per il quale sceglie marmo tiniano verde, travertino crema e onice giallo oro, per i diversi elementi architettonici, accostati alle facciate in vetro e acciaio².

LEGGEREZZA

IMMATERIALITÀ

¹ V. Pavan, *Dove va a finire l'architettura di pietra*, tratto da <http://www.architetturadi Pietra.it/wp/?p=1312>, il 19/06/2009.

² Cfr. L. Benevolo, *Storia dell'architettura moderna*, Laterza, Bari, 1971.



Figura 1 - Padiglione di Mies van der Rohe (Barcellona, Spagna, 1929)

ANNI '60 Dagli anni '60 in poi anche il settore dei materiali lapidei viene investito dal processo di industrializzazione, imponendo un progressivo abbandono delle lavorazioni artigianali. Inoltre la modernizzazione dei trasporti consente il movimento di tali materiali anche verso mete lontane dal luogo di origine (ad esempio il marmo di Carrara usato da Alvar Aalto in Finlandia). Questo causa, per un certo tempo, un appiattimento dell'immagine delle città, originariamente caratterizzata da centri storici che sfruttano la pietra locale, con propri colori e caratteristiche, e coincidente adesso con periferie costituite da edifici rivestiti di pietre standardizzate, lisce e monocromatiche. Nel frattempo l'uso del marmo viene applicato anche alla nuova tecnologia delle facciate ventilate, che sfrutta lastre sottili lavorate industrialmente, staccate dalla struttura portante a mezzo di un'intelaiatura metallica autonoma, che lascia, tra questa e il rivestimento lapideo, una camera d'aria con un'importante funzione termoregolatrice³. L'esigenza di sfruttare questa nuova tecnologia nasce anche dal fatto che le lastre lapidee autoportanti, ovvero legate alla struttura tramite la malta, si distaccano facilmente a causa della differenza di dilatazione fra i diversi strati, soprattutto quando la malta è a base di cemento⁴. Problema risolto con bullonature, profilati a L e altri sistemi che staccano la pietra dal supporto.

ANNI '80 Durante la metà degli anni '80 alcuni architetti come Arata Isozaki, Aldo Rossi, James Stirling e altri, soprattutto in Germania, iniziano ad utilizzare

³ Cfr. F. Clemente, "I materiali lapidei nell'architettura in rapporto alle tecniche di impiego nell'edilizia industrializzata", in *Quaderno della 1ª mostra nazionale del marmo e delle tecniche di impiego del marmo nella edilizia industrializzata*, Carrara, 1965.

⁴ Cfr. A. Consiglio, *Guida tecnica per l'impiego razionale del marmo*, Industria Italiana del marmo, Milano, 1972.

altri tipi di pietra oltre al marmo chiaro, rompendo gli schemi legati alla monocromia e alla bidimensionalità attraverso la scelta di sfumature inusuali, *texture* dinamiche e attacchi a vista, sfruttando le capacità di linguaggio delle superfici litiche.

Durante gli anni '90 l'"autonomia estetica"⁵ della pietra viene sancita da un uso che ne valorizza le caratteristiche naturali, senza particolari trattamenti o lavorazioni superficiali, in lastre sottili, in conci di forte spessore o con funzione strutturale.

ANNI '90

«E' come se questo materiale si fosse aperto a una revisione permanente che lo rende straordinariamente idoneo a nuovi linguaggi. La pietra non è più il materiale eterno, portatore di valori immutabili, ma partecipa, attraverso il pensiero libero delle nuove generazioni di architetti, ai mutamenti sempre più rapidi e imprevedibili del nostro tempo»⁶. Un riscontro si ha negli ultimi anni nell'ambito della sperimentazione tecnologica e della modificazione dei sistemi di produzione, sempre più industrializzati, con l'obiettivo di poter usare materiali innovativi anche se artificiali, come gli agglomerati e i compositi a matrice lapidea, che spesso si rivelano in grado di soddisfare le esigenze costruttive e il gusto estetico contemporaneo.

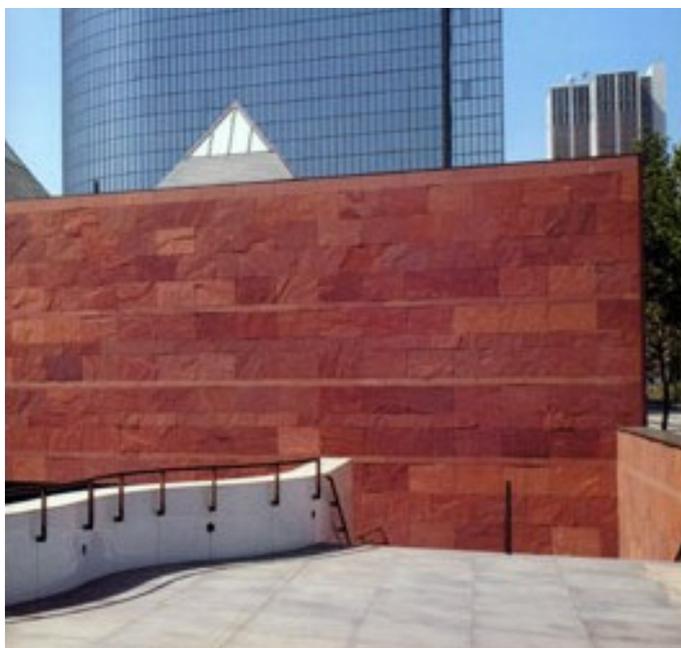


Figura 2 - Hotel Il Palazzo di Aldo Rossi, travertino persiano rosso (Fukuoka, Giappone, 1987-1989)⁷

⁵ V. Pavan., *op. cit.*

⁶ *ivi.*

⁷ *ivi.*

1.1 SISTEMI PESANTI E SISTEMI LEGGERI: LA PIETRA STRUTTURALE E LA PIETRA DI RIVESTIMENTO

L'uso della pietra nell'architettura contemporanea è strettamente legato alla concezione che si ha dell'involucro dell'edificio: una concezione massiva, pesante e portante induce a utilizzare la pietra in blocchi o lastre di forti spessori, con scopo strutturale o collaborante; una concezione legata alla leggerezza, all'immaterialità e alla trasparenza porta all'uso di lastre sottili ed elementi traslucidi con funzione di rivestimento.

L'architettura contemporanea, soprattutto negli ultimi anni, ha spostato il suo interesse principalmente verso quest'ultima concezione, e quindi verso l'assottigliamento delle superfici. La motivazione diventa sia estetica che di risparmio economico, specialmente quando si scelgono i materiali più pregiati. Fra gli anni '60 e gli anni '70 in Europa nasce ad esempio la tendenza, da parte dinamiche industrie del marmo, di produrre lastre con supporto in c.a. per poi trasportarle in America, con costi di trasporto elevati per pesi notevoli. Ecco che le esigenze di trasporto hanno influenzato la sostituzione dei blocchi massicci di materiali lapidei con lastre sorrette da telai sempre più leggeri. Di conseguenza i casi in cui la pietra viene usata per scopi strutturali sono sempre meno frequenti a favore di lastre sottili, con lo scopo di trasmettere ugualmente un senso di solidità⁸.

«Tale "dimagrimento" se da un lato evidenzia la duttilità dei litotipi nel rispondere alle attuali esigenze del costruire incentrate sulla richiesta di componenti "leggeri", di materiali in grado di assottigliarsi fino a spessori impensabili solo fino a qualche lustro fa, dall'altro porta con sé una serie di modifiche sostanziali nel modo di intendere il rivestimento»⁹. Cambiano infatti i metodi di produzione e di messa in opera, a favore di materiali lapidei e tecniche più innovativi. Anche gli edifici che apparentemente mostrano tecnologie più tradizionali hanno alla base sistemi innovativi di produzione o di posa in opera.

È il caso delle facciate rivestite in pietra che accostano all'allettamento di malta un sistema di ancoraggio al supporto murario con elementi metallici, o ancora di edifici che sfruttano la pietra per scopi strutturali particolari. Ad esempio nel santuario di Padre Pio a San Giovanni Rotondo, Renzo Piano usa arcate in pietra portante realizzate con l'ausilio di piastre metalliche interposte tra i conci e cavi d'acciaio precompresso all'interno di essi.

Infine, concretizzazione per eccellenza della leggerezza delle superfici è la parete ventilata, costituita da una doppia "pelle" staccata dal supporto

⁸ B. Cartei, "L'uso dei materiali lapidei nell'edilizia industrializzata", in *La prefabbricazione*, n. 7-8 1980.

⁹ A. Acocella, 2004, p. 458.

murario attraverso l'uso di una struttura metallica a questo ancorata, realizzata con materiali di varia natura, fra i quali si usano anche lastre di pietra dello spessore di 3-4 cm.

Qualunque sia la scelta materica e costruttiva effettuata nell'ultimo ventennio, l'idea che accomuna la maggior parte degli architetti è comunque quella di riscoprire i materiali lapidei tipici di ogni zona e di utilizzarli recuperando quella che era l'immagine caratteristica dei nostri centri storici, anche attraverso tecnologie innovative.

1.2 PIETRE ARTIFICIALI

Le esigenze compositive ed estetiche contemporanee hanno indotto la tecnologia ad adeguarsi alle richieste del mercato, ricercando e producendo materiali innovativi ma con caratteristiche tradizionali; materiali lapidei artificiali che abbiano la resistenza, la massa e la durabilità della pietra naturale ma, contemporaneamente, spessori, colori ed effetti superficiali non canonici.

Si tratta di prodotti che vengono creati industrialmente a partire da pietre naturali di qualsiasi natura con l'aggiunta di leganti e additivi o con l'accostamento ad altri materiali, con lo scopo di riprodurre semplicemente le caratteristiche estetiche della pietra di origine o di sperimentare nuove possibilità comunicative attraverso l'autonomia estetica del nuovo prodotto.



Figura 3 - Lastre di quarzo e resina traslucide e retroilluminate, Marmomacc 2006¹⁰

LAPIDEI
AGGLOMERATI

¹⁰ Immagine tratta da Dal Buono V., *Pietre agglomerate tra natura e artificio*, tratto da <http://www.architetturadi Pietra.it/wp/?p=1212> (il 19/06/2009).

In particolare si distinguono «i lapidei agglomerati, semilavorati interamente realizzati in officina ottenuti attraverso la ricomposizione di frammenti di natura lapidea e polveri con sostanze leganti»¹¹ sia di tipo inorganico, come il cemento Portland, sia organici sintetici, come la resina poliestere, che rispetto al prodotto di partenza tentano di migliorarne le prestazioni di resistenza e durabilità offerte. Per esempio durante la produzione in serie, in fase di formatura, si è sviluppata recentemente la tecnica della *vibrocompressione* e della *vibrocompattazione* sottovuoto per diminuire la quantità di legante fra i granuli lapidei e la porosità del materiale finale; la quantità di legante è inoltre indirettamente proporzionale al diametro dei granuli lapidei. All'interno del prodotto finito il legante influenzerà la resistenza a flessione e a taglio e il coefficiente di dilatazione termica, mentre il materiale lapideo di origine influenzerà altri parametri come il grado d'assorbimento d'acqua e la resistenza all'attacco degli acidi¹².



Figura 4 - Texture di pietre artificiali composite per Stone Italiana Spa, in ordine: quarzo-resina, con inserti di bambù, effetto metallizzato, con vetro colorato¹³

Tali prodotti sono generalmente sotto forma di lastre che superano anche m 4 di lunghezza, con spessori che tendono sempre di più all'assottigliamento, o in blocchi fino a mc 3 di volume, successivamente tagliati in lastre. Le *texture* che si possono ottenere dipendono dalla granulometria dei materiali lapidei, quindi dal rapporto quantitativo con il legante, e dall'eventuale inserimento di altri materiali non lapidei. Anche lo spessore delle lastre e le lavorazioni superficiali, come ad esempio la lucidatura, influenzano l'aspetto finale del prodotto.

Un alternativa più *naturale* è costituita dalla cosiddetta pietra ricostruita o ricomposta, ottenuta dall'impasto di inerti o polveri di pietra naturale e leganti, colato in stampi di forme e dimensioni diverse; è prodotta in pezzi dello spessore di cm 2.5-4, messi in opera con collante e stilarura dei giunti con malta.

PIETRA
RICOSTRUITA O
RICOMPOSTA

¹¹ *Ivi.*

¹² *Ivi.*

¹³ *Ivi.*

L'uso di questo tipo di materiali può essere importante nel momento in cui è possibile sfruttare gli scarti della lavorazione in cava, riducendo così il problema dell'impatto ambientale come risposta alla crescente domanda di sostenibilità.



Figura 5 - Esempio di applicazioni della pietra ricostruita¹⁴

Ulteriore possibilità di innovazione tecnologica è data dai pannelli compositi che nascono dall'accoppiamento di lastre sottili di materiale lapideo con altri materiali prodotti industrialmente. Ad esempio la ditta francese Fiberstone Technology produce pannelli con spessori dai mm 7 ai 27, con un peso dagli 11 ai 63 kg/mq, in cui la lastra di pietra, con spessori compresi tra i mm 4 e i 6, è accoppiata a strati di rinforzo, lamine o vetro¹⁵.

PANNELLI
COMPOSITI

¹⁴Immagine tratta da www.edilstone.it.

¹⁵Cfr. D.Turrini, *Sottile, leggera, trasparente: la pietra del futuro*, tratto da <http://www.architetturadi pietra.it/wp/?p=111> e www.fiberstone.com (22/06/2009)

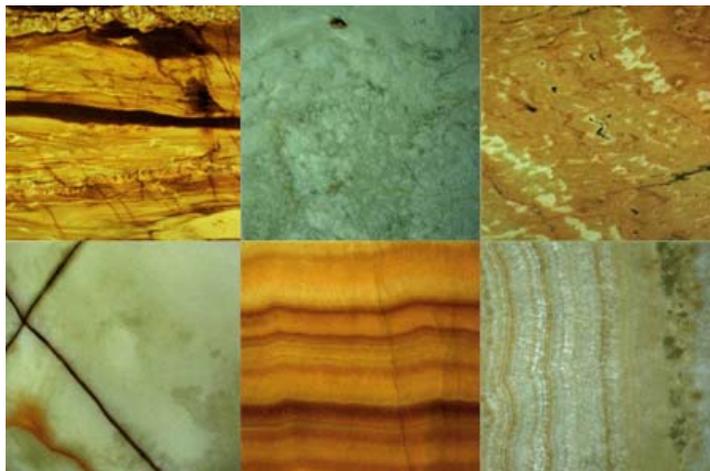


Figura 6 - Variazioni cromatiche e traslucide di onici e marmi tagliati in sezioni ultrasottili¹⁶

1.3 IL CONCETTO DI RIVESTIMENTO NELL'EDILIZIA CONTEMPORANEA: PRESTAZIONI E REQUISITI

La pietra, materiale da costruzione più utilizzato al mondo, è probabilmente un punto di riferimento proprio per il suo requisito principale: la durabilità.

Le prestazioni richieste al materiale lapideo sono funzione del ruolo che ricopre all'interno del sistema tecnologico; saranno quindi diverse a seconda che si tratti di una struttura portante o di un rivestimento; i requisiti che deve comunque soddisfare tale materiale sono sicuramente quelli della durabilità, dell'affidabilità e della resistenza meccanica.

Numerosi sono gli studi svolti sinora¹⁷ sui materiali lapidei che hanno approfondito il tema della durabilità, analizzando le caratteristiche della pietra e proponendone anche particolari parametri estimativi.

LA DURABILITÀ La durabilità, ovvero «la resistenza globale che una roccia oppone alle azioni chimico-fisiche di deterioramento, sia naturale che indotto dall'uomo»¹⁸, è strettamente correlata a due caratteristiche del materiale: la

LA POROSITÀ porosità e la sua resistenza. La porosità viene definita come il rapporto tra il peso specifico reale e quello apparente, o ancora come la frazione del volume totale di un solido che è occupata dai pori; può essere primaria (se presente in origine) o secondaria (se acquisita in seguito a modifiche e alterazioni) e i pori possono essere aperti (quando in comunicazione con l'esterno) o chiusi. La resistenza può essere a compressione (definita come il carico minimo per unità di superficie necessario a provocare la rottura), a

¹⁶ Immagine tratta da D. Turrini, *op. cit.*

¹⁷ Cfr. B.J. Colston, D.S. Watt, H.L. Munro, 2001, pp. 297-307; D. Benavente et al., 2004, pp. 113-127; M. Steiger, 2005, pp. 470-481; C. Calabrò et al., 2007; G. Wypych, 2008, pp. 767-774.

¹⁸ L. Lazzarini, M. Laurenzi Tabasso, 1986, p. 13.

trazione (misura l'opposizione che le rocce manifestano a rompersi per stiramento) e a flessione (definita come la capacità di resistere a momento flettente)¹⁹. Altre fondamentali caratteristiche sono la compattezza, la distribuzione dei grani, il tipo di cemento e il rapporto matrice/cemento.

RESISTENZA A
COMPRESSIONE
TRAZIONE E
FLESSIONE

Alcuni studiosi propongono un *Petrophysical Durability Estimator* definito come il rapporto fra parametri estimativi che si basano sulla struttura dei pori e quelli che si basano sulla resistenza del materiale²⁰.

Ruolo fondamentale giocano l'interconnessione dei pori, la dimensione degli stessi e la microporosità: una bassa concentrazione di pori permette una più veloce evaporazione dell'acqua e una maggiore facilità di raggiungimento della superficie; un sistema irregolare di pori e una maggiore microporosità impediscono il movimento dell'acqua verso l'esterno favorendo lo stress dei pori.

All'interno di questo quadro, la cristallizzazione dei sali viene considerata univocamente come la principale causa di deterioramento della pietra e, di conseguenza, come il più importante dei fattori che ne limitano la durabilità e l'affidabilità. Se la pietra, infatti, contiene sali solubili questi diventano mobili in presenza di acqua o vapore, causando l'idratazione e la dissoluzione della pietra; quando, per una differenza di umidità relativa con l'aria, l'acqua migra verso la superficie ed evapora avviene la cristallizzazione dei sali. Se ciò si verifica in superficie si ha il fenomeno dell'efflorescenza, se si verifica all'interno dei pori si ha la criptoefflorescenza, la quale causa un degrado maggiore per via della pressione esercitata dai sali. Essa dipende soprattutto dalla struttura dei pori e dal grado di saturazione: è minore all'interno dei pori larghi e maggiore per valori alti del coefficiente di saturazione. È stato dimostrato, inoltre, che i pori con un raggio inferiore a 0.5 µm sono i responsabili del degrado della pietra²¹.

CRISTALLIZZAZIONE
DEI SALI

La cristallizzazione dei sali produce quindi uno stress sulle pareti dei pori, causando microlesioni che si propagano all'interno del materiale, diminuendo la resistenza a trazione e aumentando la porosità, con possibilità di fratturazioni e disintegrazioni, soprattutto per spessori ridotti. Conseguentemente la resistenza a trazione (e indirettamente anche quella a flessione) di un materiale lapideo può essere considerata come la sua resistenza alla cristallizzazione dei sali.

Altro fenomeno da considerare è quello del gelo/disgelo dell'acqua all'interno dei pori che causa lo stesso stress di tensione con la conseguente fratturazione della pietra.

GELO E DISGELO

¹⁹ *ibidem*, pp. 11-12.

²⁰ Cfr. D. Benavente et al., 2004, *op. cit.*, p. 116.

²¹ Cfr. C. Calabrò et al., 2007.

I fenomeni descritti si acquiscono con l'inquinamento dell'aria (per la presenza del cloruro di sodio), con le forti escursioni termiche e con l'esposizione ai raggi UV.

FRAGILITÀ

Secondo ulteriori studi²² grossa influenza ha anche un'altra caratteristica delle rocce: la fragilità²³, soprattutto per elementi lapidei soggetti a particolari condizioni di carico. Questa dipende da diversi fattori quali la composizione dei minerali, la preesistenza di microlesioni, la porosità, ma soprattutto dalla dimensione dei grani dei minerali; maggiore infatti è tale dimensione, maggiore è la facilità di propagazione delle lesioni.

COEFFICIENTE DI ASSORBIMENTO PER CAPILLARITÀ E CAPACITÀ DI IMBIBIZIONE

In sintesi possiamo dire che materiali molto porosi assorbono maggiori quantità di acqua, divenendo suscettibili di diversi meccanismi di degrado. Di conseguenza il coefficiente di assorbimento per capillarità e la capacità di imbibizione²⁴ possono essere utilizzati come altri parametri estimativi della durabilità, considerandoli fra loro inversamente proporzionali. Per quanto riguarda invece alcune caratteristiche petrografiche, se il materiale è ben cementato si oppone meglio alla disgregazione aumentandone la resistenza, così come se il rapporto cemento/matrice²⁵ è alto.

Diverse sono le analisi che vengono svolte per valutare la durabilità della pietra: analisi ad ultrasuoni, al microscopio ottico, diffrazione di raggi X, test per la cristallizzazione dei sali, per la resistenza al gelo/disgelo e test idrici che restituiscono il coefficiente di assorbimento, la densità reale apparente, il coefficiente di saturazione e il grado di interconnessione dei pori.

In ogni caso le prestazioni di qualsiasi tipo di pietra vanno relazionate al contesto ambientale e climatico (variazioni di temperatura, condizioni di insolazione, esposizione ai venti, eventuale presenza del mare, inquinamento ecc) e alle specifiche condizioni d'uso (spessore, estensione della superficie, condizioni di carico), senza dimenticare che l'aspetto (colore, grana, tessitura ecc) è il fattore intrinseco dal quale dipende la scelta del materiale che ha una funzione ornamentale.

²² N. Gunes Yilmaz et al., 2009, pp. 370–375.

²³ La Fragilità viene definita come “*The tendency to fracture without appreciable deformation under low stress*”, *ibidem*, p. 370.

²⁴ Vedi il Capitolo 9 per le definizioni.

²⁵ In una roccia carbonatica si definisce matrice la calcite microcristallina (1-5 µm) che lega i clasti fra loro, detta anche fango, mentre il cemento è costituito da calcite cristallina (10 µm), o spatica.

L'attività di escavazione ha subito numerosi cambiamenti negli ultimi cinquanta anni: dal cavatore che, con mezzi manuali quali mazze e picconi, estraeva i blocchi di pietra si arriva ai mezzi meccanici e agli esplosivi. Le immagini tradizionali legate al cavare, agli strumenti tipici e ai buoi che trainavano i carichi di pietra, sono state sostituite da quelle degli argani a mano negli anni '50, degli argani a motore negli anni '60, delle gru e delle macchine tagliatrici negli anni '70¹.

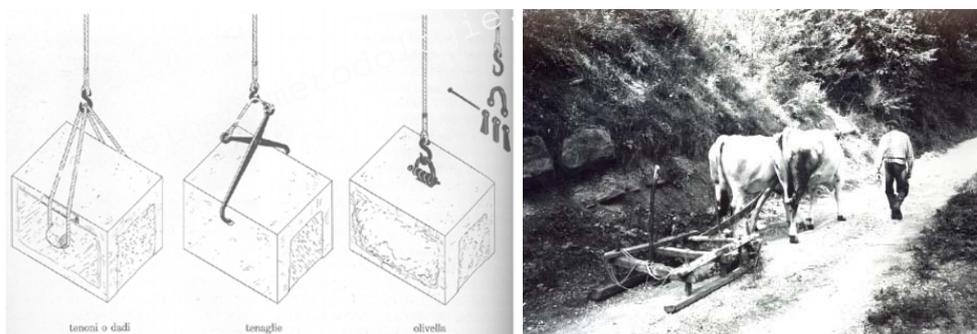


Figura 1 – Il sollevamento dei blocchi in epoca antica e il trasporto dei blocchi negli anni '30²

L'evoluzione dei metodi di escavazione e taglio della roccia ha portato a modifiche del territorio più veloci, profonde e diffuse rispetto al passato, causando rilevanti problemi ambientali e paesaggistici, soprattutto in quelle zone in cui, per via della nascita dei moderni impianti industriali di sfruttamento della pietra, le cave sono più concentrate³. È così che il commercio della pietra si è esteso ad una più ampia fetta di mercato e che

¹<http://www.paesaggiculturali.it/DATABASE/mestieri/Scalpellino/Ricordi/L%27uomo%20e%20la%20pietra%20del%20Furlo.pdf> (consultato il 09/09/2010).

² Immagini tratte da <http://www.paesaggiculturali.it/...> cit., e da http://www.archeologiametodologie.com/lezioni/architettura/04_Il%20marmo_e_la_pietra_Cava.pdf (il 09/09/2010).

³ Cfr. A. Acocella, 2004, p. 596.

l'estrazione e la lavorazione sono diventate procedure più semplici e controllate.



Figura 2 – Stacco del blocco in epoca antica⁴ e macchina perforatrice oggi

2.1 LE TIPOLOGIE DI CAVA E IL PROCESSO PRODUTTIVO

Esistono diverse tipologie di cava a seconda che il banco roccioso da cui estrarre la pietra faccia parte di rilievi collinari o montani a poca profondità rispetto alla superficie esterna, si trovi in un'area pianeggiante a poca profondità o sia una massa localizzata ad una profondità maggiore.

Di conseguenza le tipologie di cava sono generalmente due: a cielo aperto e in sotterraneo, a loro volta distinte in base al tipo di roccia, alla lunghezza e all'orientamento dei fronti di lavorazione, agli spazi a disposizione per le fasi finali del processo produttivo ecc..

Cave a cielo aperto	Di pianura	In fossa
		In pozzo
	Di monte	A mezza costa
		Culminali In fossa o in pozzo
Cave in sotterraneo	A grandi pilastri	
	A camere e pilastri	
	A fronti lunghi	

Tabella 1 - Categorie di cave

LE CAVE A CIELO APERTO

Le cave a cielo aperto sono le più diffuse, per via di una escavazione più semplificata ed economica. Quelle di pianura in fossa sono caratterizzate

⁴ Immagine tratta da <http://www.archeologiametodologie.com/...>, cit. (il 09/09/2010).

da grandi trincee a gradoni e sono le più frequenti per la coltivazione della pietra calcarea. Quelle in pozzo si hanno quando l'estrazione avviene prevalentemente in senso verticale e dall'alto e costituiscono una tipologia particolarmente critica e impegnativa. Le cave di monte sono quelle ubicate in zone montuose o collinari; quelle a mezza costa sono aperte lungo i fianchi dei rilievi, quelle culminali sono aperte in cima, quelle in fossa o in pozzo possono essere un approfondimento delle altre due.



Figura 3 - Pardais, Portogallo. Cava di marmo a cielo aperto⁵

Le cave in sotterraneo sono praticamente scomparse in epoca moderna, per via della coltivazione difficoltosa; prevedono infatti lavorazioni all'interno della massa rocciosa con spazi di movimentazione ristretti, scarsa aerazione e la necessità di lasciare dei pilastri che sostengano il cielo della cava diminuendo la quantità di pietra cavabile. Esse di contro implicano un minimo, se non nullo, impatto ambientale e paesaggistico, permettendo l'immersione degli scarti di lavorazione. Un tempo erano molto diffuse per via della mancanza dei moderni mezzi di movimento terra, indispensabili per rimuovere la chiusura superficiale della cava; oggi si usano solo per materiali molto preziosi difficili da raggiungere.

LE CAVE IN SOTTERRANEO

⁵ Immagine tratta da J.F. Carvalho et al., *Decision criteria for the exploration of ornamental-stone deposits: Application to the marbles of the Portuguese Estremoz Anticline*, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 45, Elsevier, 2008, p. 1312.

COLTIVAZIONE
A GRADONI
REGOLARI

Questa tipologia di cava si definisce *a grandi pilastri* quando questi hanno una dimensione confrontabile con gli spazi scavati, *a camere e pilastri* quando i vuoti sono dimensionalmente prevalenti, a fronti lunghi quando camere e pilastri risultano affiancati e allungati⁶.

La metodologia di estrazione praticata oggi con più frequenza è quella che deriva dalla coltivazione a gradoni regolari, poiché più razionale e produttiva. Le fasi principali sono⁷:

1. la predisposizione di uno o più gradoni, di dimensioni a seconda della stratificazione del materiale e dello spazio di movimentazione a disposizione. Ciò comporta la scelta del fronte di cava, la creazione di strade di collegamento fra un livello e un altro e del piazzale dove lavorare e caricare il prodotto finale dell'escavazione.
2. il "taglio primario" della roccia in bancate, ovvero fette che possono essere orizzontali o verticali. Tale procedura genera un arretramento del fronte di cava e un abbassamento del livello superiore che sono progressivi e paralleli.
3. il ribaltamento delle bancate verticali a terra, su un letto di materiale detritico, causato da cuscini espansivi, martinetti idraulici, pale meccaniche, escavatori o funi metalliche. La divisione in gradoni permette di non avere grossi volumi da ribaltare sul piazzale.



Figura 4 – Fasi del taglio primario e del ribaltamento a terra⁸

4. la riquadratura della roccia in monoliti commerciabili tramite perforazione, filo diamantato, macchine tagliatrici monolama o, raramente, esplosivi.
5. il trasporto tramite camion e autocarri presso i piazzali delle aziende che lavorano e commercializzano prodotti lapidei.

Spesso dopo la predisposizione dei gradoni si procede direttamente all'estrazione di blocchi regolari, per mezzo di macchine tagliatrici con

⁶ Cfr. A. Acocella, *op. cit.*, p. 598-601.

⁷ Cfr. *Ibidem*, p. 604 e segg.

⁸ Immagine tratta da A. Acocella, *op. cit.*, pp. 602-603.

dischi che tagliano sia in orizzontale che verticale. Altre volte, invece, quando la pietra è destinata alla macinazione, viene estratta in blocchi informi attraverso l'uso dell'esplosivo e di escavatori.

2.2 LA TRASFORMAZIONE DELLA PIETRA CAVATA

Già cava ha inizio il processo di trasformazione dei blocchi in base all'utilizzo che se ne dovrà fare, grazie alla presenza di macchinari adatti; il resto avviene nelle aziende specializzate e presso i singoli artigiani.

Le fasi di trasformazione e lavorazione sono generalmente cinque⁹:

1. la riquadratura dei blocchi informi in blocchi regolari, effettuata mediante attrezzature meccaniche quali telai monolama, tagliatrice a filo diamantato o segatrice a disco gigante.
2. la segagione attraverso la quale si ottengono lastre, masselli o listelli¹⁰ per mezzo di telai multilama a cinematica pendolare o rettilinea (necessari per ottenere le lastre), o taglia blocchi, utilizzati soprattutto per blocchi informi, sottomisura o con difetti strutturali. Queste attrezzature sono provviste di dischi diamantati che possono effettuare i tagli sia in orizzontale che in verticale grazie al controllo computerizzato.

LA
RIQUADRATURA

LA SEGAGIONE

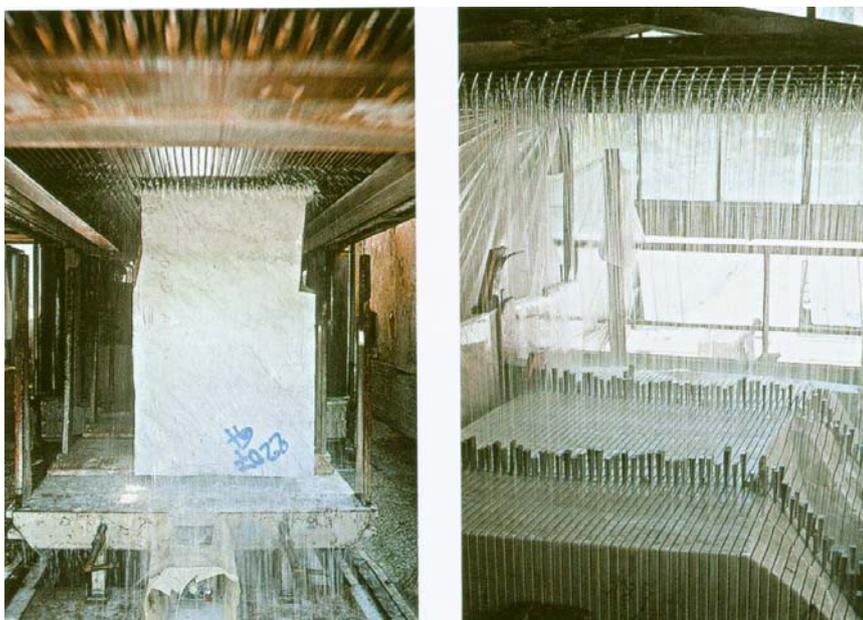


Figura 5 – La segagione di un blocco tramite telaio multilama¹¹

⁹ Cfr. A. Acocella, *op. cit.*, pp. 605-613.

¹⁰ Le lastre sono elementi in cui la lunghezza e la larghezza prevalgono sullo spessore, nel massello lo spessore è confrontabile con le altre due dimensioni, nel listello la lunghezza è la dimensione prevalente.

¹¹ Immagine tratta da A. Acocella, *op. cit.*, p. 605.

IL TAGLIO E LA RIFILATURA

3. il taglio e la rifilatura per la suddivisione in piccoli elementi o in lastre di dimensione prestabilita, ottenuta tramite frese di vario tipo, laser o *water-jet*. Le frese possono essere a ponte, continue multidisco, a braccio o a bandiera e garantiscono facilità e velocità di resa. La tecnica a *water-jet* permette di incidere, tagliare e lavorare superficialmente lastre e masselli con altissima precisione, grazie ad un getto d'acqua a forte pressione con aggiunta di minutissime sostanze abrasive. Con il laser è possibile tagliare e incidere le superfici lapidee grazie ad un fascio di energia proiettata ad alta velocità sulla superficie.

I TRATTAMENTI SUPERFICIALI

4. i trattamenti superficiali che servono per ottenere particolari effetti o per migliorare alcune caratteristiche della pietra. Ne sono un esempio la stuccatura, la levigatura, la lucidatura, la resinatura, la bocciardatura, i trattamenti con resine, la spazzolatura, la sabbiatura, la martellinatura, il *water-jet* ecc. In particolare i trattamenti con resine servono per conferire maggiore resistenza al materiale, soprattutto se utilizzato in lastre, in quanto le resine riescono a penetrare nei pori e nelle lesioni e, in funzione della pigmentazione, possono conferire anche caratterizzazioni cromatiche alternative a quelle originarie o valorizzarle;



Figura 6 – Lucidatura e trattamenti ad urto¹²

LE LAVORAZIONI PARTICOLARI

5. le lavorazioni particolari, come la bisellatura degli spigoli e i trattamenti sulle coste, sulle teste o sul retro delle lastre, effettuati tramite macchine lucidacoste (per coste a vista), macchine foratrici, slottatrici, kerfatrici, per gli alloggiamenti (fori, *slot* o *kerft*) degli ancoraggi meccanici.

¹² Immagine tratta da A. Acocella, *op. cit.*, p. 609.

L'uso dei materiali lapidei, dagli anni '60 in poi, inizia ad adeguarsi all'evoluzione tecnologica che il settore delle costruzioni ha sviluppato, soprattutto grazie alla produzione di macchine e attrezzature innovative che permettono l'aumento della produttività del settore e un'organizzazione del lavoro non più artigianale. «Gli anni '60 dunque rappresentano una fase di transizione e di innovazione nella lavorazione, nella utilizzazione e nella organizzazione delle industrie di materiali lapidei. Influisce in questo processo di rinnovamento generale la lunga tradizione italiana nell'impiego dei materiali lapidei, una notevole capacità di innovazione tecnologica e la vasta gamma e varietà di materiali prodotti e lavorati in Italia»¹.

L'EVOLUZIONE
TECNOLOGICA

In questi anni, inoltre, si tende ad accentuare il carattere di rivestimento di tali materiali, sia attraverso i procedimenti costruttivi innovativi e le tecniche di produzione dei materiali che tendono alla industrializzazione, sia attraverso uno studio accurato dei particolari costruttivi e degli attacchi alle strutture intelaiate. Le ricerche e la produzione si indirizzano dunque verso le applicazioni di lastre lapidee sempre più sottili che trasmettano un'idea di leggerezza oltre che di solidità.

La tecnica d'impiego che più si sviluppa in questi anni è infatti quella della parete ventilata: «una protesi staccata dalla struttura portante e montata a secco che, escludendo la collaborazione tra le diverse componenti del corpo murario, sembrava costringere inevitabilmente gli architetti all'adozione di una concezione bidimensionale delle facciate in pietra»².

Questo modo di operare con elementi molto sottili, spesso attraverso una produzione in serie, permette di risparmiare soprattutto sui costi dei materiali lapidei, con un conseguente abbassamento dei costi di trasporto e di messa in opera, e sugli sprechi di materiale.

Le lastre attualmente prodotte hanno uno spessore di cm 3-4, che deve comunque essere frutto di diverse analisi e verifiche (ad esempio statiche,

LE LASTRE

¹ C. Fianchino, 1988, pp. 24-28.

² V. Pavan, *Dove va a finire l'architettura di pietra*, tratto da <http://www.architetturadi Pietra.it/wp/?p=1312> (il 19/06/2009).

termiche, ecc) fra loro integrate, tali da garantire la sicurezza dello strato litico.

La *Fiberstone Technology* dà un esempio di innovazione sia di prodotto che di processo: è leader mondiale nel settore dei materiali lapidei compositi e collabora con i progettisti per la sperimentazione di tali materiali innovativi³.

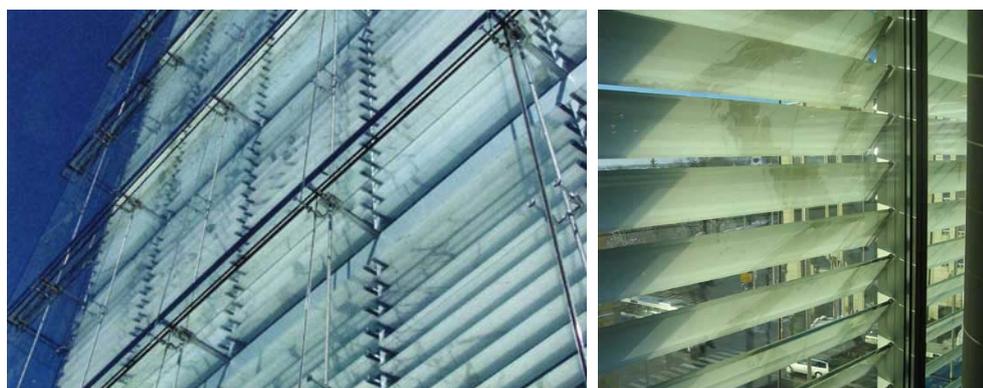


Figura 1 – B.G.L. - Jim Clemens. Dettaglio della facciata in vetro con *brise-soleil* motorizzati in pietra traslucida (di Fiberstone)⁴

All'interno di questo quadro distinguiamo sistemi di posa dei materiali con interposizione di malta o a secco, a seconda che se ne faccia un uso strutturale o come rivestimento, ovvero in funzione del tipo di supporto murario o di particolari scelte architettoniche.

3.1 SISTEMI DI POSA CON MALTA

Questi sistemi vengono utilizzati per le pareti in muratura portante e per i rivestimenti, sia a forte spessore che sottili. In quest'ultimo caso, spesso all'uso della malta di allettamento si affianca l'uso di sistemi metallici di fissaggio per garantire una maggiore sicurezza del rivestimento, soprattutto per superfici molto estese in altezza e per lastre molto sottili o molto pesanti.

Per quanto riguarda i rivestimenti, si riempie l'intercapedine che si forma col supporto murario di malta morbida che "salda"⁵ i due strati e contribuisce alla stabilità dell'insieme. A tale scopo sono particolarmente adeguati calcareniti, arenarie e pietre di origine vulcanica per la loro porosità che favorisce la coesione con la malta.

³ D. Turrini, *Sottile, leggera, trasparente: la pietra del futuro*, tratto da <http://www.architetturadi pietra.it/wp/?p=111>) e www.fiberstone.com (22/06/2009).

⁴ Immagini tratte da D. Turrini, *op. cit.* e www.modelsystemitalia.it/prodotti (il 24/11/2010).

⁵ Cfr. A. Acocella, *op. cit.*, pp. 459-462.

I sistemi di ancoraggio sono alloggiati nello spessore delle lastre e incassati nella parete. Possono essere di diverso tipo, sia portanti che di ritenuta; questi ultimi sono costituiti in genere da tondini d'acciaio, ai quali si affida infatti solo la sicurezza al ribaltamento. Hanno diametro di mm 5-6 per una lunghezza di cm 10, ripiegati a 90° alle estremità in direzioni opposte. Oppure possono essere anche e profilati metallici di diverse forme e dimensioni che hanno anche funzione portante.

3.2 SISTEMA DI POSA A SECCO

I sistemi di posa a secco si sono sviluppati grazie alla nuova concezione della parete rivestita da una "pelle" indipendente dal resto della struttura, che si specializza attraverso la tecnologia costruttiva della parete ventilata.

LA PARETE
VENTILATA

La sua caratteristica principale è la camera d'aria a spessore variabile che sottolinea l'indipendenza dello strato esterno da quello interno, creando nel contempo la ventilazione della facciata.

Per questo tipo di sistemi⁶ il supporto murario può essere di qualsiasi tipo ed è inoltre più adatto, rispetto a quello di posa con malta, per lastre di medie e grandi dimensioni. Dal punto di vista statico, le singole lastre sono indipendenti le une dalle altre, in quanto sostenute da ancoraggi metallici portanti che evitano il contatto fra elementi contigui, liberi di oscillare e dilatarsi, anche diversamente.

Gli strati funzionali e i dispositivi tecnici che caratterizzano tale tecnologia sono: il supporto murario, la camera d'aria, i sistemi meccanici di ancoraggio e il rivestimento esterno.

Il supporto murario (che può essere portante, in c.a. o intelaiato con muri di tamponamento) presenta generalmente uno strato di malta di regolarizzazione e uno strato di isolamento posto sull'interfaccia esterna. Quest'ultimo deve avere caratteristiche di idrorepellenza e resistenza al fuoco, uno spessore di cm 3-7 e può essere fissato al muro con collante o tasselli.

La camera d'aria ha uno spessore di cm 3-5 ed è posta in collegamento con l'esterno sia alla base che nella parte sommitale del rivestimento, in modo da creare un effetto camino. La sua funzione è infatti quella di aumentare il comfort termo-igrometrico e acustico all'interno dell'edificio, riducendo le dispersioni di calore, smorzando i rumori e favorendo l'eliminazione della condensa.

I sistemi meccanici di ancoraggio hanno funzione di ritenuta se inseriti lungo i bordi verticali, o funzione portante quando si usano lungo i bordi

⁶ *ibidem*, pp. 468-472.

orizzontali. Quelli con funzione autoportante possono essere di diverso tipo, sia puntuali (*local fixing*) che continui (*spread fixing*), ancorati al supporto murario in corrispondenza delle parti portanti⁷.

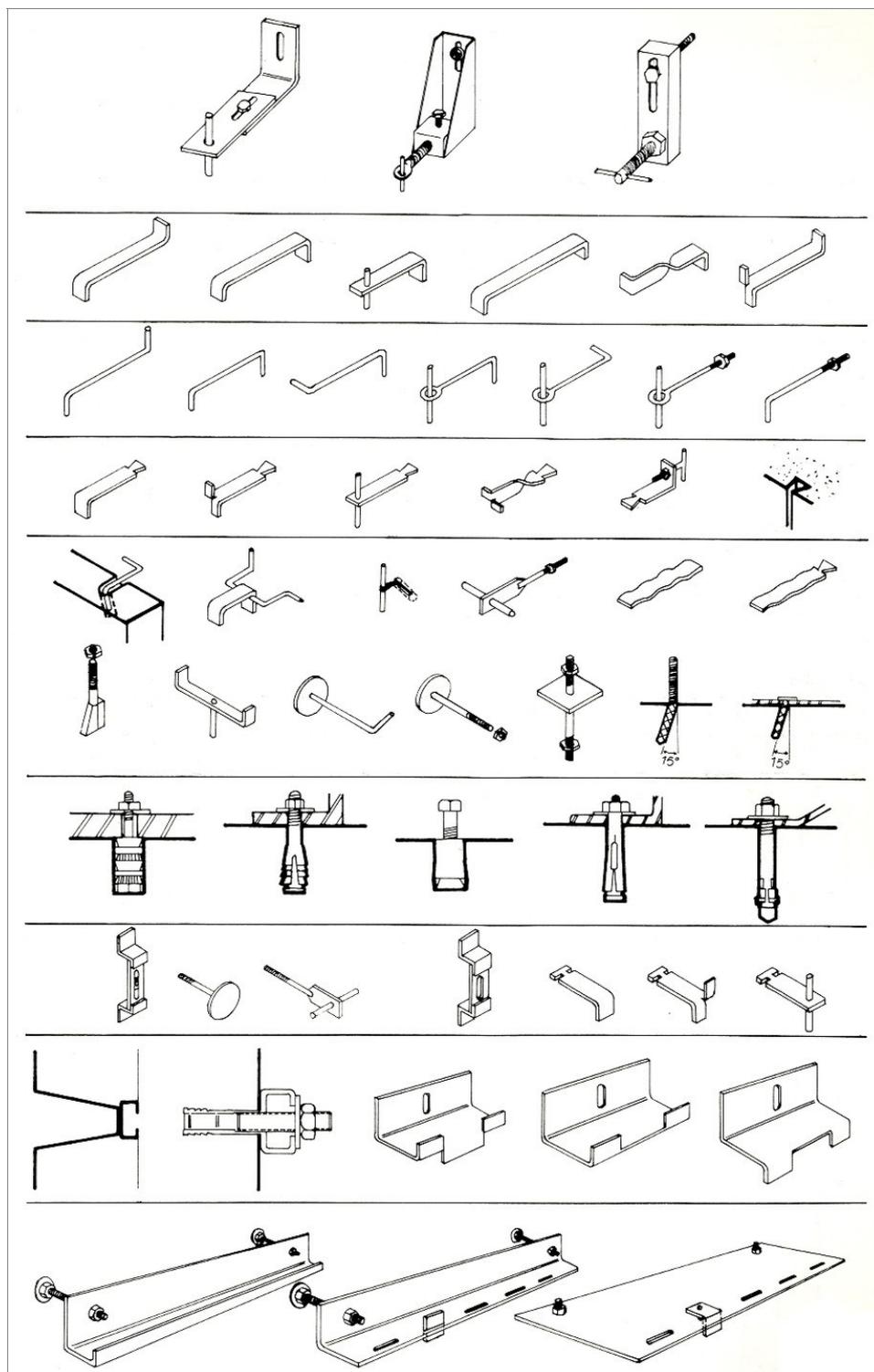


Figura 2 - Tipi di ancoraggio⁸

⁷ Questa distinzione avviene in caso di strutture intelaiate; in caso di struttura portante i sistemi meccanici possono essere ancorati ovunque.

⁸ immagine tratta da E. Zambelli, "Note sulle tecniche di applicazione", in C. Fianchino, *op. cit.*, p. 143.

È con tali sistemi di posa che maggiormente si evidenzia la tendenza a procedimenti sempre più razionalizzati, a soluzioni innovative e all'assottigliamento del rivestimento esterno.

Quest'ultimo rende spesso esplicito il sistema di fissaggio, oppure può essere lavorato tramite foratura o fresatura creando degli alloggiamenti lungo i bordi o sul retro per mascherarlo⁹. L'assottigliamento delle lastre è reso possibile non solo dai sistemi di ancoraggio, ma anche dagli innovativi sistemi di produzione industrializzata. «L'evoluzione della concezione del prodotto si coniuga infatti con processualità esecutive di tipo seriale, che privilegiano metodi di assemblaggio meccanici, basati su una stretta integrazione tra elementi lapidei e sistemi metallici di fissaggio. Tale prassi produttiva e costruttiva, legata all'abbassamento dei costi di costruzione, rappresenta una realtà più che mai dinamica»¹⁰.

3.3 GIUNTI E CONNESSIONI

Di fondamentale importanza è lo studio dei giunti tra le lastre dei rivestimenti lapidei e delle connessioni superiori e inferiori.

I giunti, sia orizzontali che verticali, così come le connessioni ad angolo, oltre ad essere a spigolo vivo possono essere sottoposti a diverse lavorazioni: l'arrotondamento degli spigoli delle lastre, la bisellatura¹¹ e la limbellatura¹², ovvero la creazione di "battenti" (chiamati scuretti) disposti sui lati opposti o contigui, con la funzione di mettere più o meno in risalto il giunto¹³.

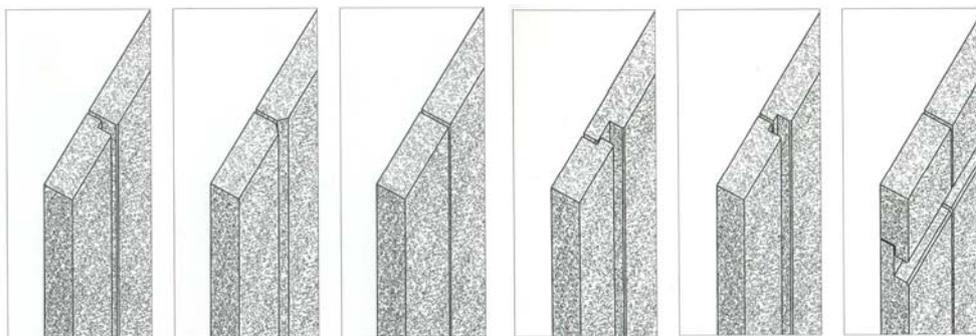


Figura 3 - Giunti verticali e orizzontali¹⁴

⁹ A. Acocella, *op. cit.*, p. 471 e segg.

¹⁰ D. Turrini, *cit.*

¹¹ Ovvero lo smussamento dei bordi.

¹² Ovvero la creazione di "battenti", chiamati scuretti, disposti sui lati opposti o contigui.

¹³ A. Acocella, *op. cit.*, p. 462.

¹⁴ Immagine tratte da Acocella A., *op. cit.*, p. 461 (modificata).

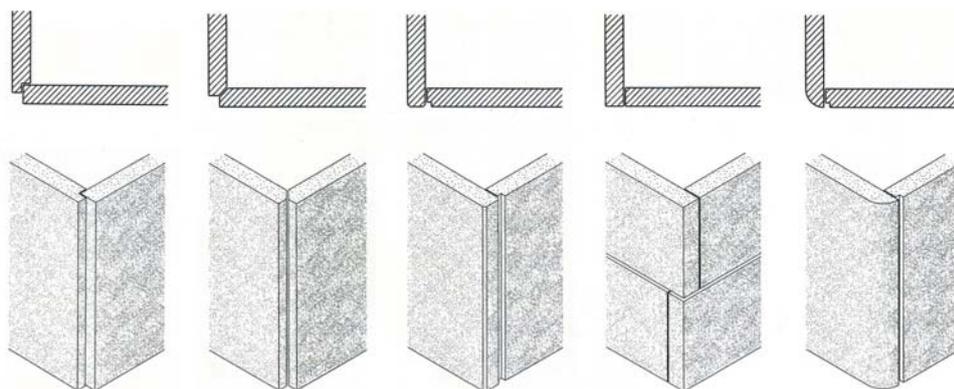


Figura 4 - Connessioni angolari tra le lastre¹⁵

Tali giunti possono essere sigillati da malta, meglio se a base di calce, o da altri materiali elastici, ad esempio il neoprene, che evitino l'ingresso dell'acqua e siano in grado, allo stesso tempo, di assorbire le oscillazioni e le dilatazioni delle lastre. A tale scopo sono di fondamentale importanza i giunti di dilatazione disposti a distanze predeterminate, soprattutto per pareti molto estese.

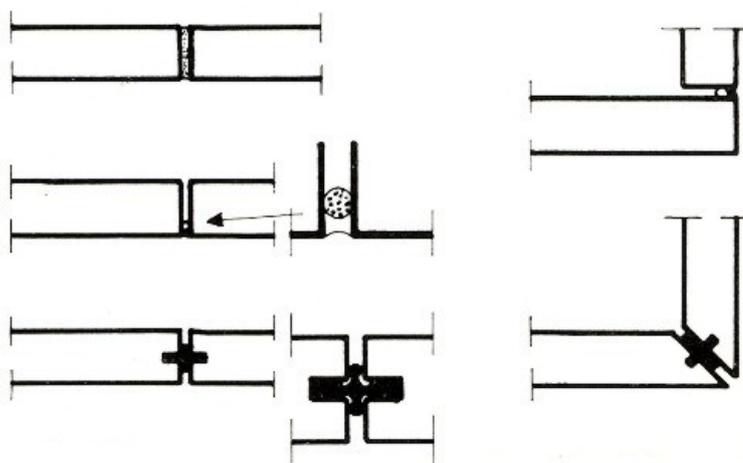


Figura 5 - Giunti con e senza malta¹⁶

Quando le lastre sono poste in opera con la malta e, allo stesso tempo, collegate al supporto murario tramite connessioni metalliche, il sistema di fissaggio è differente in funzione dell'ancoraggio utilizzato, che siano tondini, zanche o profilati. Generalmente si incassa nello spessore della lastra, sia superiore che inferiore.

¹⁵ *Ibidem*, p. 462 (modificata).

¹⁶ Immagine tratta da E. Zambelli, *op. cit.*, p. 147.

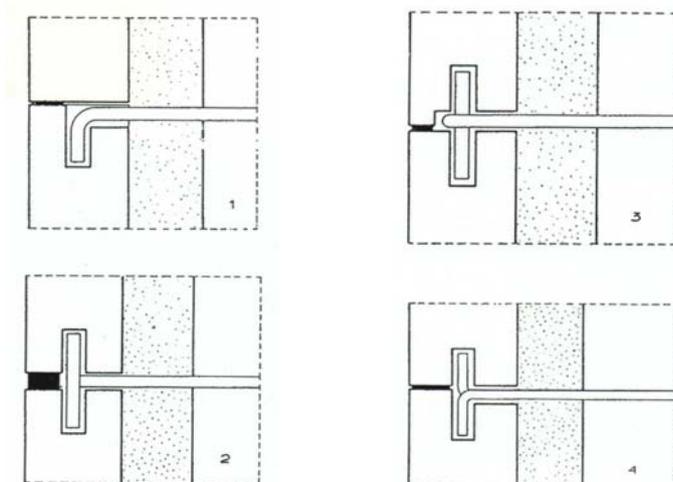


Figura 6 - Connessioni tra le lastre e il supporto murario con l'uso della malta¹⁷

Tali sistemi di ancoraggio sono simili a quelli che si utilizzano per le pareti ventilate, ma senza malta e con funzione di ritenuta. Per gli ancoraggi portanti si usano profilati metallici con maggiore resistenza e sagomati in modo da essere tassellati sia alle lastre che al supporto murario.

È infine importante porre particolare attenzione alle connessioni alla sommità e al piede della parete onde evitare soprattutto infiltrazioni di acqua, pur garantendo allo stesso tempo la circolazione dell'aria.

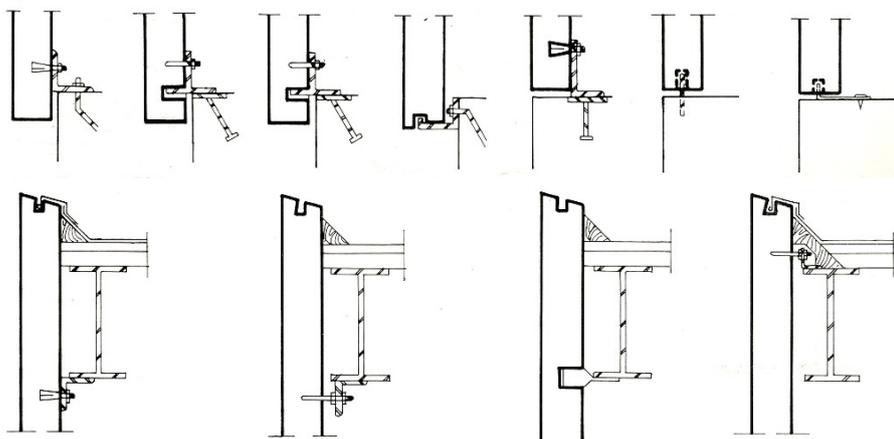


Figura 7 - Connessioni superiori e inferiori¹⁸

¹⁷ Immagine tratta da A. Acocella, *op. cit.*, p. 459.

¹⁸ Immagine tratta da E. Zambelli, *op. cit.*, p. 147.

3.4 CASI STUDIO

Di seguito si riportano alcune schede su edifici che esemplificano quanto detto sulle scelte dei materiali lapidei, sulle innovazioni dei prodotti e sulle tecniche di produzione adottate negli ultimi anni. Si tratta di edifici il cui carattere identitario è dato dal particolare involucro o dalla struttura, in particolare dalla scelta del materiale lapideo. Quest'ultimo, inoltre, è sempre deputato a garantire il legame con il contesto, costruito e naturale.

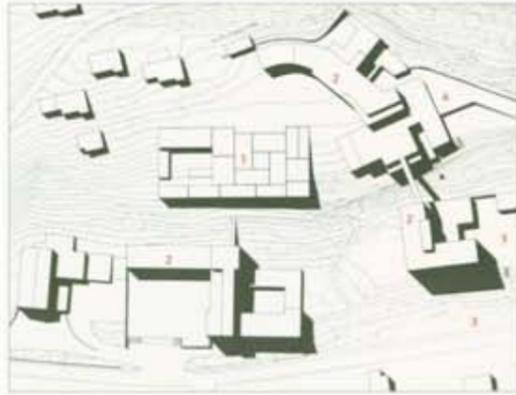
Di ogni opera si mettono in risalto la tecnica costruttiva utilizzata, i materiali della struttura e dei tamponamenti, la logica del progetto, soprattutto in relazione al rapporto con il luogo e con l'ambiente; si riportano i rilievi e i particolari tecnologici più significativi.

Si ripropongono dunque i seguenti casi studio esteri e italiani:

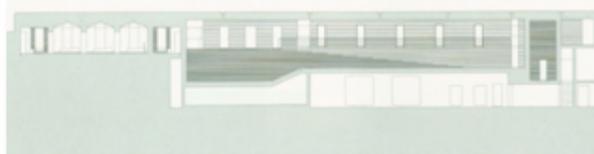
- i bagni termali di Peter Zumthor a Vals (Svizzera, 1991-1996);
- la Lotus House di Kengo Kuma realizzata a Tanagawa (Giappone, 2006);
- la chiesa di Mortensrud di Jensen & Skodvin ArkitektKontor a Oslo (Norvegia, 2002);
- la casa unifamiliare di ARTAU SCRL a Mont-Malmédy (Belgio, ante 2003);
- la casa di Titus Bernhard a Stadtbergen (Germania, 2002-2003);
- la nuova aula liturgica "Padre Pio" di Renzo Piano a San Giovanni Rotondo (Italia, 1997-2004);

Bagni termali – Peter Zumthor

PIANTE, PROSPETTI E SEZIONI



Planivolumetrico 1. terme 2. hotel
3. parcheggio 4. ingresso terme



Pianta del livello principale, sezioni AA e BB

Bibliografia di riferimento: Accocella A., 2004;
<http://www.therme-vals.ch>; Casabella n. 648 del 1997, pp.
56-75; <http://www.architetturadi pietra.it>;



Viste del prospetto principale



Una delle stanze con vista sulla vallata



Particolare dell'angolo

IL PROGETTO

LOCALIZZAZIONE E ANNO

Vals, Svizzera, 1991-1996

PROGETTO

Peter Zumthor

DATI DIMENSIONALI

mq 1600 ca. per piano; h= m 4,50-14,00

DESCRIZIONE E LOGICA DEL PROGETTO

Nel 1986 Zumthor fu incaricato dal comune di costruire un nuovo centro termale a Vals, inaugurato nel 1996 e diventato monumento nazionale già solo dopo due anni.

La sensazione che la costruzione dà è quella di "una stazione termale e terapeutica straordinariamente arcaica, ricca di sensibilità silenziosa". La geometria dell'edificio e il rivestimento continuo gli forniscono l'aspetto di un monolite integrato con l'ambiente circostante

MATERIALE LAPIDEO UTILIZZATO

La scelta dell'architetto è ricaduta sulla quarzite di Vals, estratta a due chilometri di distanza dalle terme e usata in tutti i tipi di lavorazione (spaccata, fresata, levigata, lucidata, frantumata).

STRUTTURA

La struttura è in c.a. rivestito di pietra.

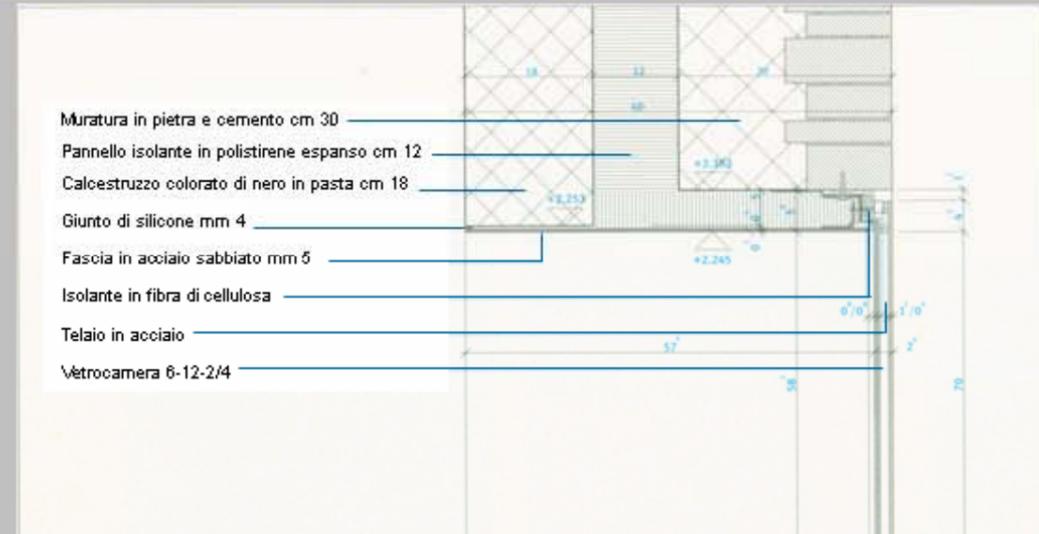
RIVESTIMENTO/TAMPONAMENTO

L'edificio è interamente rivestito da oltre 60.000 lastre di pietra in almeno 5 formati diversi.

TECNICA COSTRUTTIVA

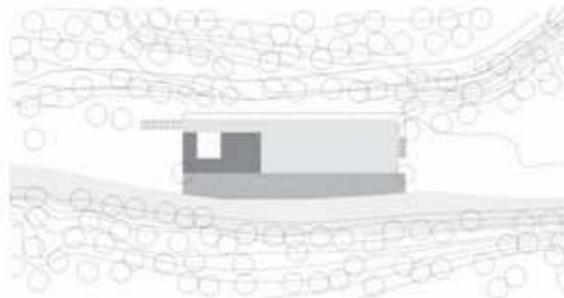
Il rivestimento, con spessori di mm 31, 47 o 63 e lunghezza che varia dai cm 80 ai m 2,5, fa da cassera al nucleo in c.a., diventando un tutt'uno con esso.

I PARTICOLARI COSTRUTTIVI



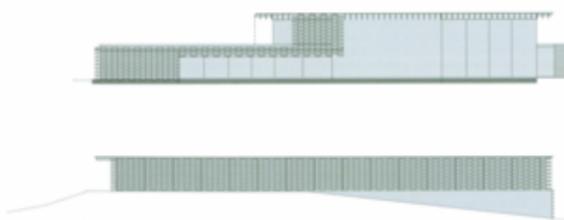
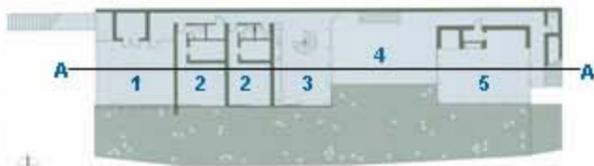
Lotus House - Kengo Kuma

PIANTE, PROSPETTI E SEZIONI



Planimetria generale

- 1.garage 2.camera da letto
- 3.cucina/pranzo 4.corte 5.soggiorno
- 6.terrazza 7.sauna



Pianta del piano terra e del primo piano, prospetti sud e nord, sezione AA'



Prospetto sud



Vista della corte



Particolare del diaframma



Vista della corte

IL PROGETTO

LOCALIZZAZIONE E ANNO

Tanagawa, Giappone, 2003-2005

PROGETTO

Kengo Kuma

DATI DIMENSIONALI

mq 533 totali; $h_{max} = m 6,50$

DESCRIZIONE E LOGICA DEL PROGETTO

L'edificio è diviso in due ali, separate da una corte aperta e messe in relazione con il contesto naturalistico attraverso una reinterpretazione del concetto di facciata. Essa diventa infatti un filtro tra gli ambienti di soggiorno e lo spazio esterno, caratterizzato da piante di loto e da una vasca alimentata da un corso d'acqua che scende dalla montagna. L'effetto sorprendente è quello di una scacchiera leggera, mossa dal vento come i petali del loto.

MATERIALE LAPIDEO UTILIZZATO

Lastre di travertino chiaro importate dall'Italia.

STRUTTURA

La struttura del diaframma è costituita da una griglia di lamine di acciaio inossidabile non visibile di mm 6x18.

RIVESTIMENTO/TAMPONAMENTO

È costituito da una scacchiera bianca e nera in cui il bianco è dato da lastre di travertino e il nero dai vuoti tra una pietra e l'altra.

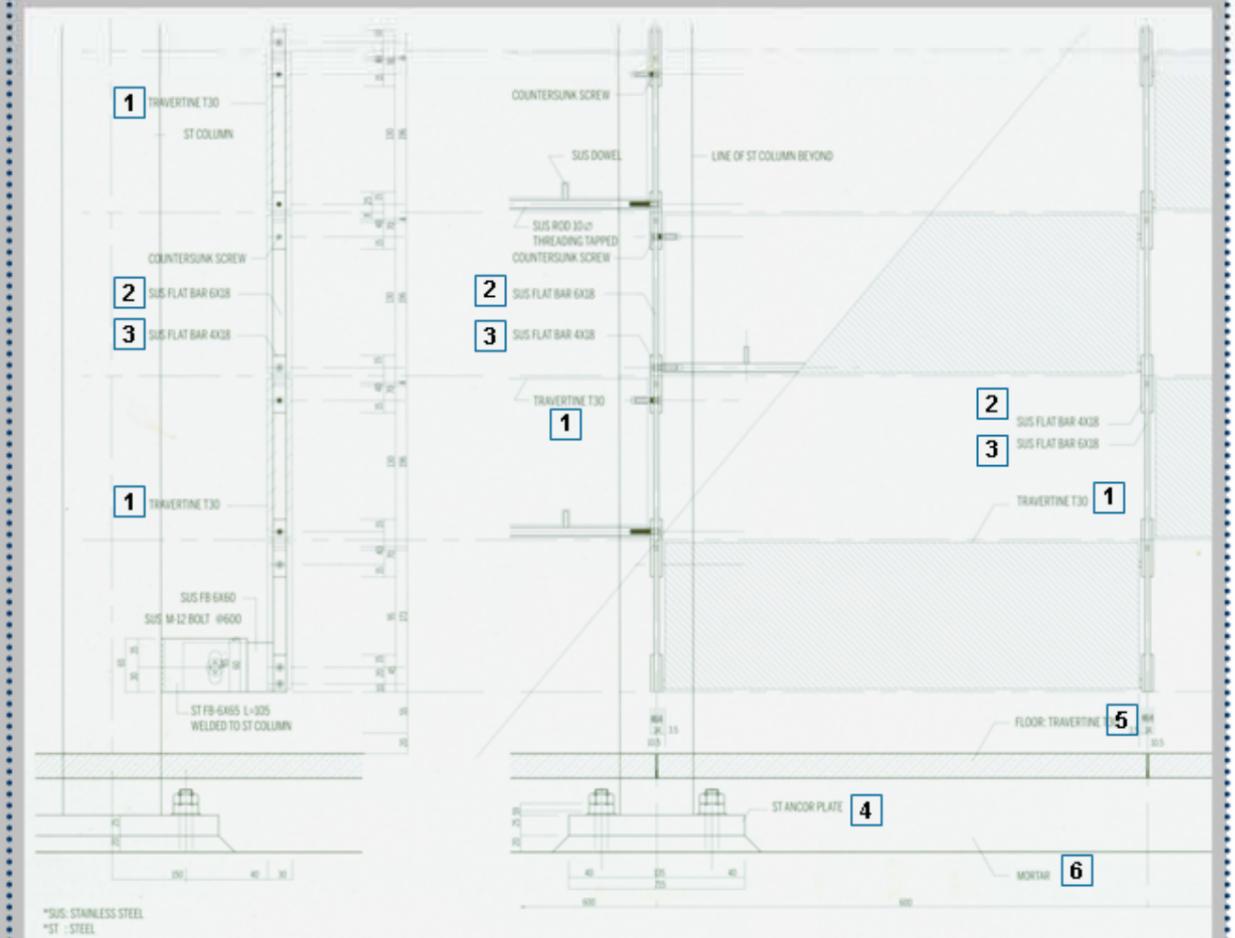
TECNICA COSTRUTTIVA

Sulla griglia di acciaio vengono montate le lastre di travertino di cm 20x60, spesse cm 3, simulando una *texture* a scacchiera. Kuma alterna infatti le lastre a specchiature vuote, permettendo allo sguardo e al vento di attraversare la parete.

I PARTICOLARI COSTRUTTIVI

- 1 Travertino, spessore cm 3
- 2 Barra piatta in acciaio inossidabile, mm 6x18
- 3 Barra piatta in acciaio inossidabile, mm 4x18

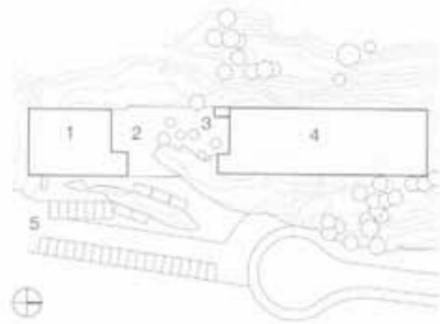
- 4 Piatto di ancoraggio in acciaio
- 5 Pavimentazione in travertino
- 6 Malta di riempimento



Bibliografia di riferimento:
 Marzot N., su <http://www.architetturadi pietra.it>;
 Casabella n. 743 del 2006;
<http://archrecord.construction.com/projects/residential/archives/0604RHc-1.asp>; www.kkaa.co.jp/E/main.htm

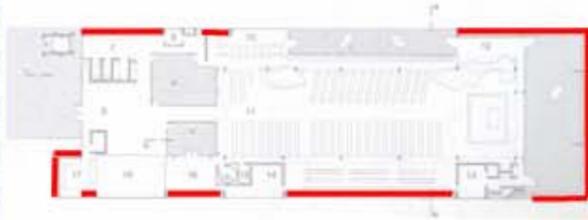
Chiesa di Mortensrud - Jensen & Skodvin ArkitektKontor

PIANTE, PROSPETTI E SEZIONI



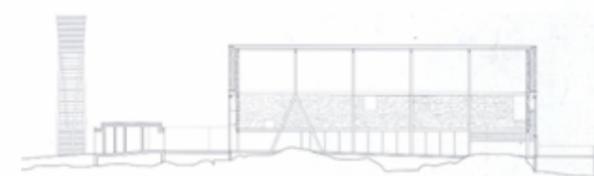
Planimetria generale - Scala 1:2000

1. centro per la comunità 2. corte 3. campanile 4. chiesa

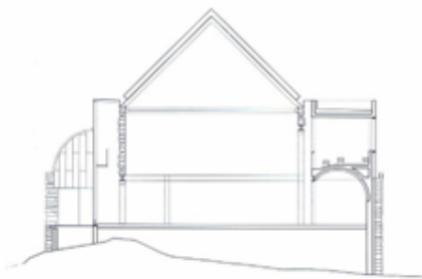


Pianta, con evidenziate le murature in pietra

10 m



Sezione cc



Sezione aa

5 m



Prospetto N



Foto dell'interno dell'aula



Particolare del sistema costruttivo

IL PROGETTO

LOCALIZZAZIONE E ANNO

Oslo, Norvegia, 2002

PROGETTO

Jensen & Skodvin ArkitektKontor

DATI DIMENSIONALI

mq 1000 circa; h_{max} = m 12

DESCRIZIONE E LOGICA DEL PROGETTO

I progettisti hanno lavorato insieme alla comunità locale per ottenere una chiesa che impatti sul contesto naturale con minimi interventi. L'idea era quella di usare un materiale che si integri col panorama roccioso e usare una tecnica costruttiva che permettesse di filtrare la luce all'interno grazie agli spazi fra le lastre.

MATERIALE LAPIDEO UTILIZZATO

Ardesia del luogo.

STRUTTURA

La struttura è costituita da pilastri in profilati di acciaio a I e travi composte da due profilati a C uniti superiormente e inferiormente da un piatto di acciaio.

RIVESTIMENTO/TAMPONAMENTO

Lastre di ardesia dal profilo esterno irregolare.

TECNICA COSTRUTTIVA

La chiesa ha il perimetro esterno costituito da una muratura con struttura portante in acciaio e tamponamento parte in lastre di ardesia e parte con vetrate.

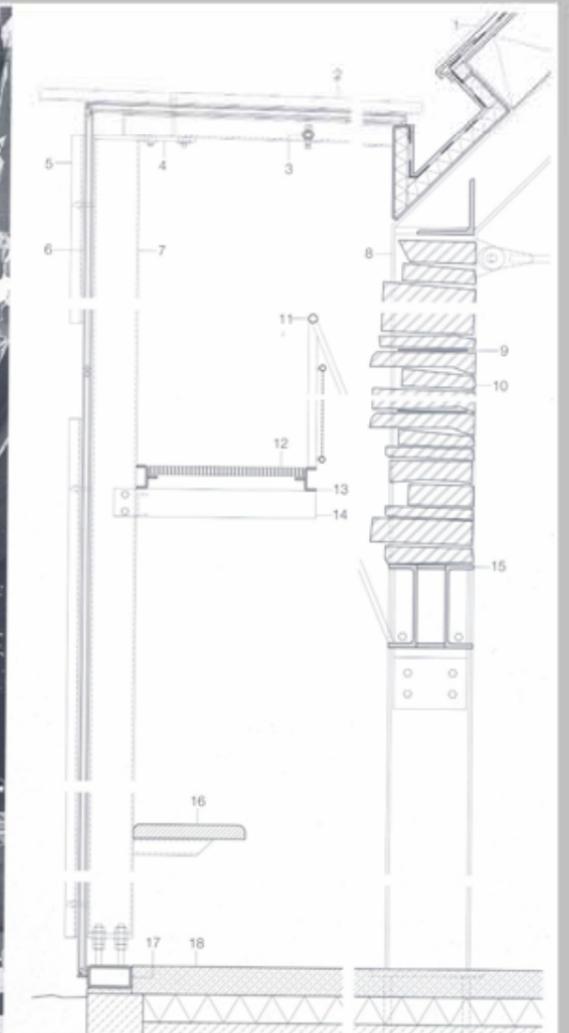
Le lastre di ardesia sono poste l'una sopra l'altra senza malta così che la luce possa penetrare tra le fessure.

Ai profilati orizzontali d'acciaio sono attaccate le vetrate.

I PARTICOLARI COSTRUTTIVI

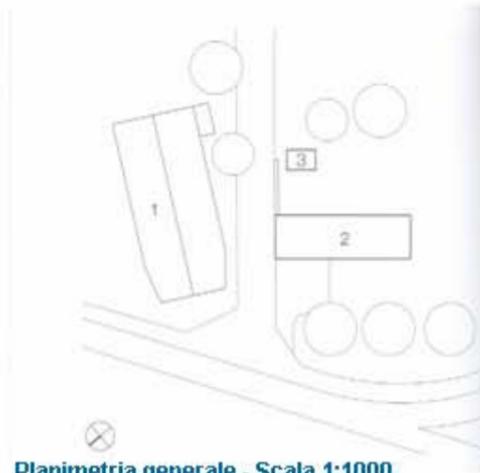
1 Copertura (profilati di acciaio ed elementi prefabbricati)
6 Vetrata (6 mm vetro temprato, 15 mm vuoto)
7 pilastro d'acciaio (\varnothing = 8 mm)

8 Profilato d'acciaio a I (310x300 mm)
9 Piatto portante d'acciaio (250x5 mm)
10 Muro di ardesia senza malta
15 Trave d'acciaio

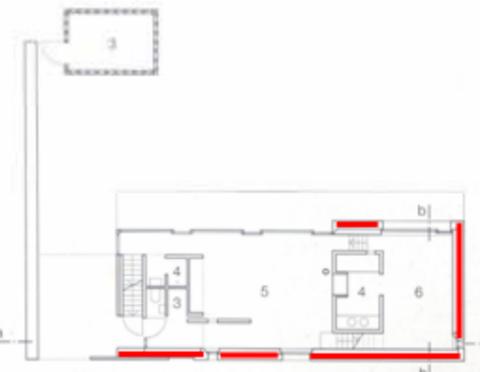


Casa unifamiliare - ARTAU SCRL

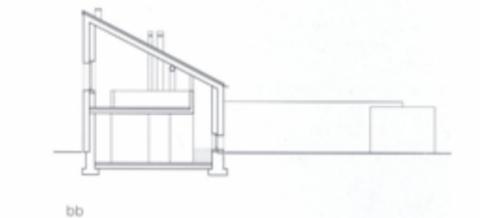
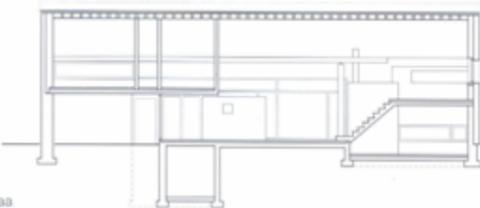
PIANTE, PROSPETTI E SEZIONI



Planimetria generale - Scala 1:1000
1. fattoria 2. casa 3. deposito



Pianta, con evidenziate le murature in pietra, e sezioni - Scala 1:200



Bibliografia di riferimento: Detail n. 11 del 2003, pp. 1270-73



Prospetto S-O



Prospetto N-O



Particolare della muratura



Scorcio dell'interno

IL PROGETTO

LOCALIZZAZIONE E ANNO

Mont-Malmedy, Belgio, ante 2003

PROGETTO

ARTAU SCRL

DATI DIMENSIONALI

mq 55 per piano; $h_{media} = m 3,50$

DESCRIZIONE E LOGICA DEL PROGETTO

La casa (numero 2 nella planimetria generale) e il deposito (numero 3) sono stati costruiti come supporto alla fattoria preesistente (numero 1).

Si integra con il contesto grazie al suo carattere, semplice ma distintivo, dato dall'uso di pochi materiali di forte impatto visivo: la pietra locale, la copertura e il cancello di rame che, con il loro colore rossastro, contrastano con gli interni, bianchi e illuminati da piccole e profonde finestre con telai in cedro.

MATERIALE LAPIDEO UTILIZZATO

Arenaria scistosa del luogo, di colore rossastro.

STRUTTURA

La struttura è mista in muratura portante, c. a. e acciaio.

RIVESTIMENTO/TAMPONAMENTO

Il rivestimento in conci di arenaria del luogo costituisce l'intero paramento esterno.

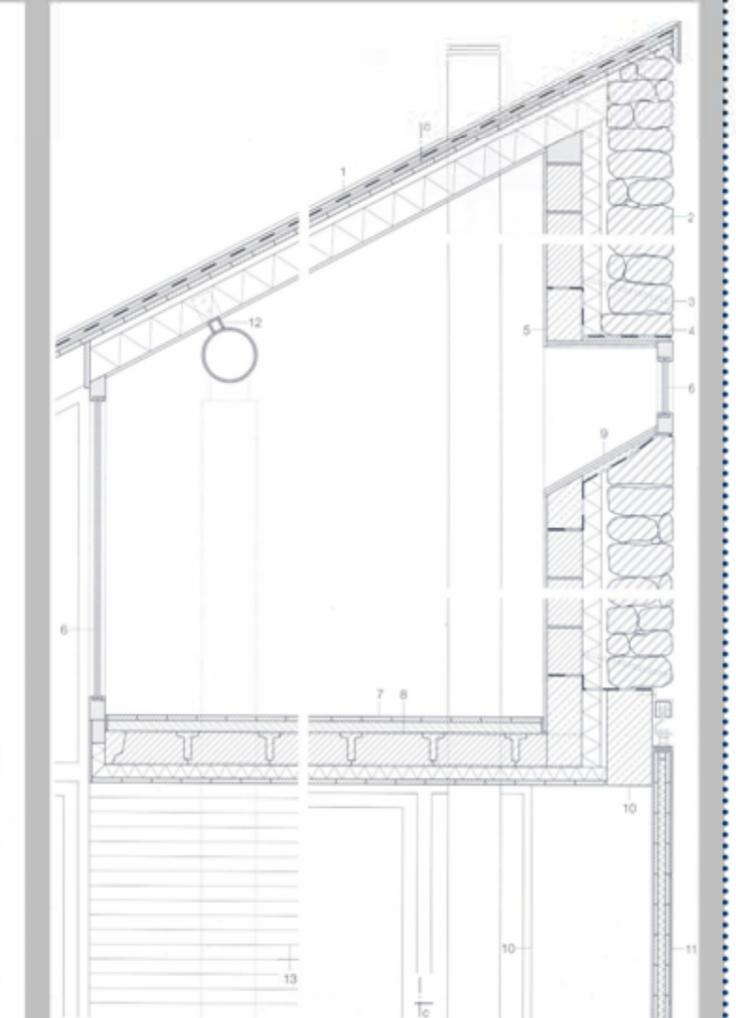
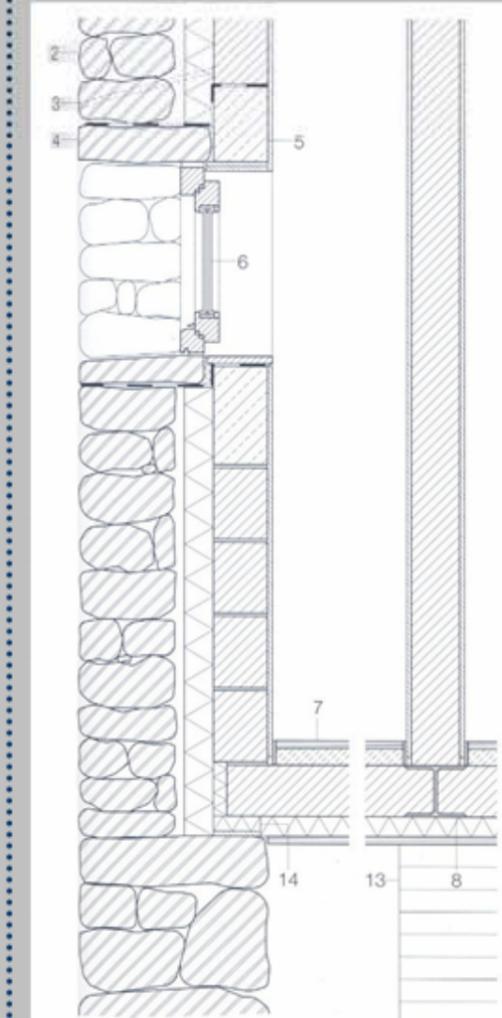
TECNICA COSTRUTTIVA

La casa sfrutta una doppia tecnologia costruttiva: al piano terra la muratura è portante in conci grezzi; al primo piano la stessa tipologia di muratura, ma di spessore minore, diventa il paramento esterno di una facciata ventilata con paramento interno in blocchi di calcestruzzo. Il prospetto non presenta quindi soluzioni di continuità.

I PARTICOLARI COSTRUTTIVI

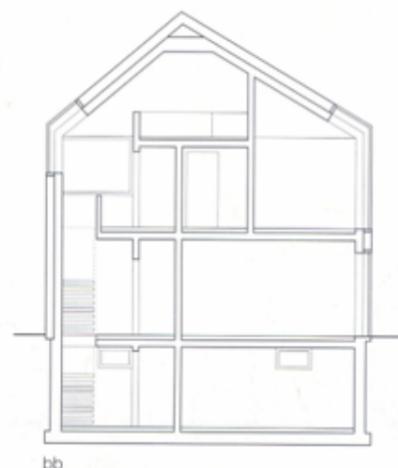
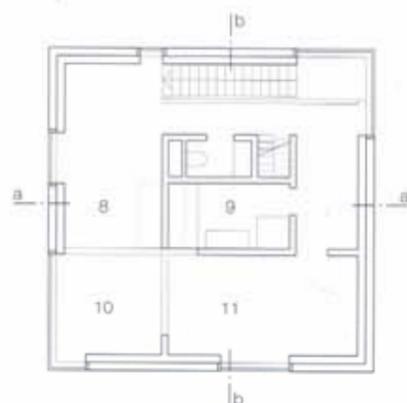
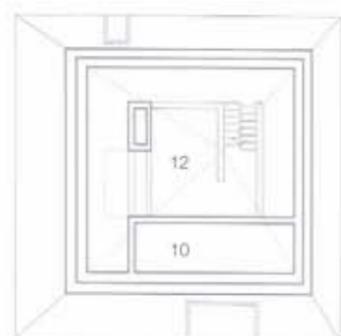
- 1 Copertura (travicelli, isolanti, doppio tavolato e lamiera di rame)
- 2 Parete ventilata (pietra da 25 cm, camera d'aria da 2.5 cm, isolante da 75 mm, blocchi in cls da 14 cm)

- 3 Ancoraggio
- 4-5 Architravi in pietra e in c.a.
- 7-8 Solaio (profilati in acciaio da 160 mm, blocchi di argilla espansa, isolanti, intradosso ed estradosso in legno)



Casa unifamiliare – Titus Bernhard

PIANTE, PROSPETTI E SEZIONI



Piante, con evidenziate le murature in pietra, e sezione - Scala 1:200



Prospetto sud



Prospetto ovest



Particolare della muratura



Foto dell'interno

IL PROGETTO

LOCALIZZAZIONE E ANNO

Stadtbergen, Germania, 2002-2003

PROGETTO

Titus Bernhard

DATI DIMENSIONALI

Mq 81 (9x9) per piano; $h_{media} = m 6$

DESCRIZIONE E LOGICA DEL PROGETTO

L'immagine di questa casa è caratterizzata dal rivestimento esterno in cestelli di acciaio riempiti di pietrame che, ispirati ad Herzog & de Meuron, conferiscono a questa casa le sembianze innovative di scultura abitata. Il progettista vuole inoltre utilizzare una tecnica rapida e flessibile che sfrutti materiali naturali e creare un rivestimento con elevate prestazioni termiche. Il rivestimento ha anche un'importante effetto cuscino sia in estate che in inverno.

MATERIALE LAPIDEO UTILIZZATO

Ardesia del luogo.

STRUTTURA

La struttura è in c.a..

RIVESTIMENTO/TAMPONAMENTO

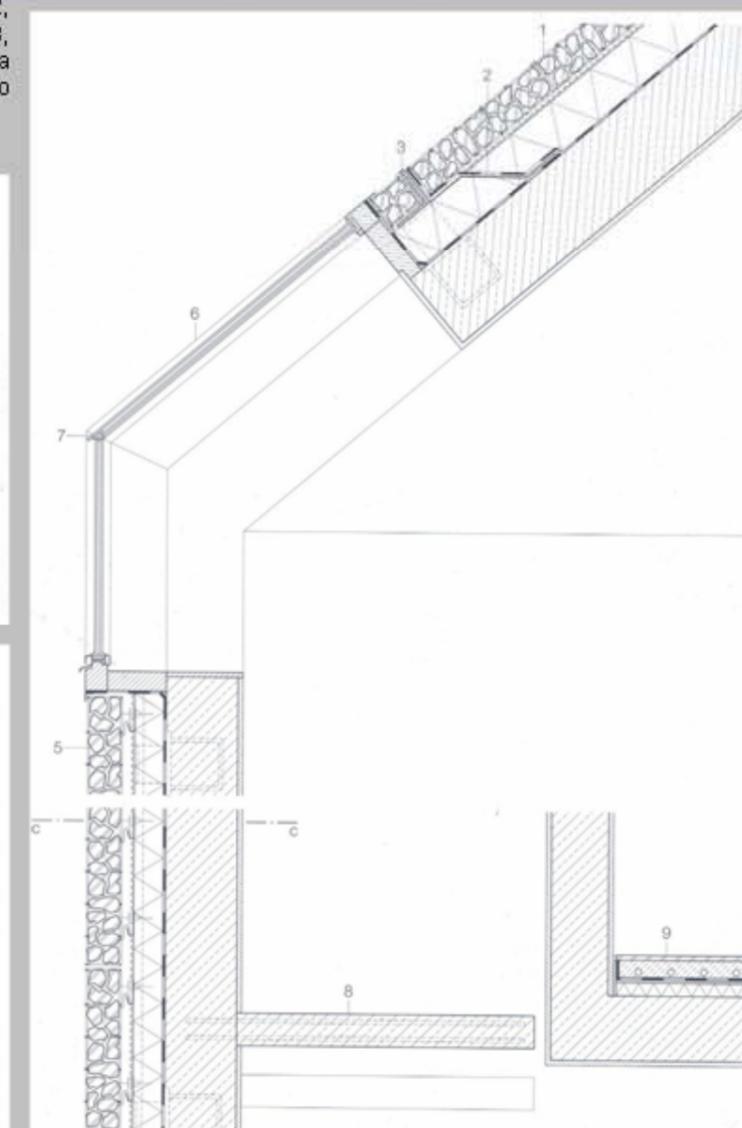
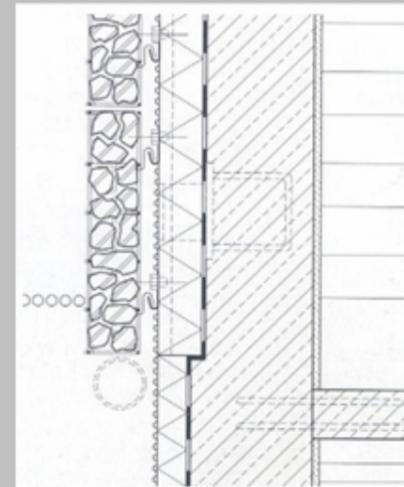
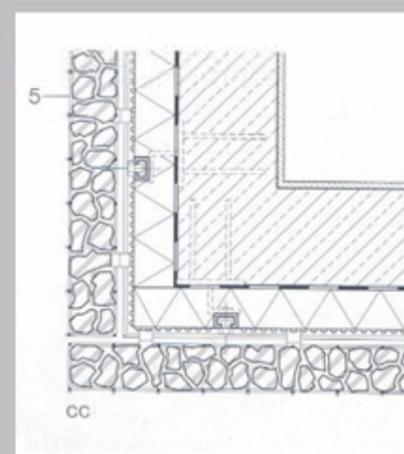
Il rivestimento esterno è costituito da gabbie metalliche riempite di pietrame.

TECNICA COSTRUTTIVA

I cestelli di acciaio riempiti di pietrame sono ancorati alla struttura portante, formando un'enorme massa di 40 tonnellate. Ognuno pesa 80 kg, è singolarmente rimovibile ed è ancorato alla struttura in c.a. tramite staffe e profilati di acciaio.

I PARTICOLARI COSTRUTTIVI

5 Cestelli in acciaio di cm 100x50x12, pietrame di dolomite, staffe da mm 3, profilati a C, piatto di ancoraggio alla struttura, drenaggio, polistirene estruso da cm 14, guaina, struttura in c.a.

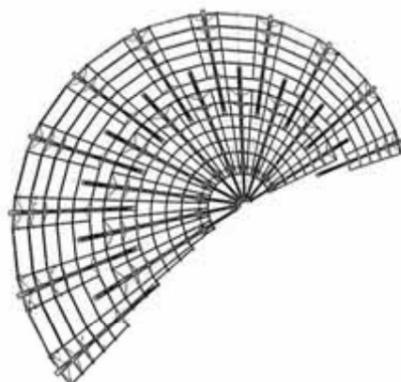


Nuova aula liturgica "Padre Pio" - Renzo Piano

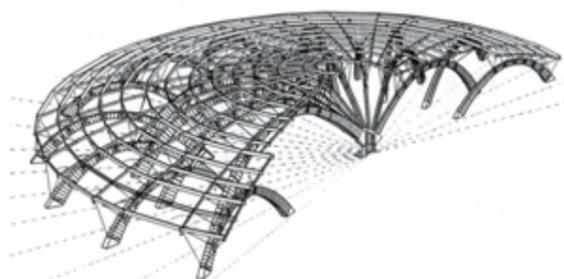
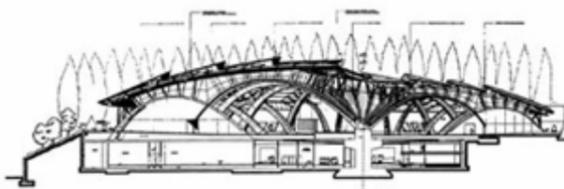
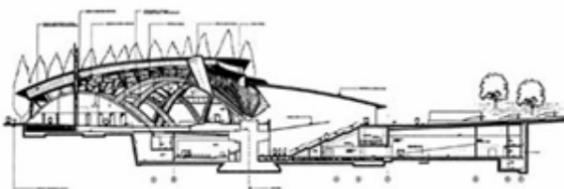
PIANTE, PROSPETTI E SEZIONI



Planimetria generale



Pianta, sezioni e assonometria



Bibliografia di riferimento: Accocella A., 2004, *op. cit.*, pp. 365-370; <http://www.architetturadi pietra.it>



Prospetto principale



Immagine dell'interno



Immagine del cantiere

IL PROGETTO

LOCALIZZAZIONE E ANNO

San Giovanni Rotondo, Italia, 1997-2004

PROGETTO

Renzo Piano

DATI DIMENSIONALI

mq 6.000; luce max m 45

DESCRIZIONE E LOGICA DEL PROGETTO

Con una superficie a forma di conchiglia di 6000 mq è la seconda chiesa italiana per dimensioni dopo S. Pietro in Vaticano. Qui Renzo Piano usa un materiale della tradizione per legare l'edificio al contesto e, allo stesso tempo, sperimenta una tecnica costruttiva inusuale grazie all'uso di moderni software e di macchine tagliatrici a controllo numerico.

MATERIALE LAPIDEO UTILIZZATO

1320 blocchi di pietra locale di Apricena, categoria "Bronzetto".

STRUTTURA

La struttura primaria è costituita da un doppio ordine di arcate disposte in modo radiale e con luci molto differenziate. Le arcate sono tutte realizzate in pietra armata internamente con un cavo di acciaio. La campata principale, di m 45, rappresenta il più lungo arco portante in pietra mai costruito.

RIVESTIMENTO/TAMPONAMENTO

La facciata principale è in acciaio e vetro.

TECNICA COSTRUTTIVA

Le arcate sono formate da "maxiconci", ognuno composta da 5 o 6 "miniconci", con piastre metalliche interposte, cavi d'acciaio precompressi all'interno e puntoni in acciaio inox all'estradosso che sorreggono la struttura di travi in legno lamellare della copertura, rivestita in rame preossidato.

I PARTICOLARI COSTRUTTIVI

FASI DI ASSEMBLAGGIO

- sagomatura e foratura dei miniconci,
- movimentazione e posizionamento del primo miniconcio,
- applicazione di un collante fibrorinforzato ad altissime prestazioni, dello spessore di circa mm 3, sulla faccia libera del miniconcio (ruolo coesivo e di cuscinetto compensatore di eventuali imprecisioni di planarità),
- sovrapposizione dei miniconci successivi a formare il maxiconcio,
- predisposizione dei piedi di imposta in c.a.,
- montaggio della centina di sostegno,

- movimentazione e posizionamento definitivo dei maxiconci,
- posizionamento di una piastra di acciaio tra i maxiconci,
- getto di malta fibrorinforzata per la realizzazione dei giunti fra lastra metallica e conci,
- armatura mediante cavi di acciaio spinti da macchine all'interno delle guaine già predisposte in precedenza
- tensionamento dei cavi metallici,
- iniezione, all'interno delle guaine, di malta fluida al fine di rendere solidali la struttura dell'arco e le armature.



I problemi legati all'uso dei materiali lapidei dipendono da numerosi fattori, correlati alle diverse fasi di progettazione e realizzazione: a partire dalla scelta del materiale in funzione del luogo di origine e di destinazione, passando attraverso l'estrazione e la lavorazione, fino ad arrivare alla valutazione del sistema di messa in opera. A tutto ciò si sommano le cause dovute all'azione del tempo e quindi legate al degrado, dipendenti dalle caratteristiche mineralogico-petrografiche e fisiche di tali materiali, dal contesto climatico e dai tipi di lavorazioni e trattamenti superficiali.

Spesso la scelta del materiale o della tecnologia da seguire dipende quasi esclusivamente da motivazioni estetiche e non tiene conto delle caratteristiche chimiche e meccaniche della pietra, dell'aggressività del contesto ambientale e del fattore tempo. Il risultato è quello di facciate che si degradano troppo velocemente o che hanno bisogno di frequenti interventi di recupero o manutenzione.

Inoltre, per quanto riguarda i sistemi di rivestimento, è la scelta di utilizzare le lastre sottili che causa i problemi principali, sia dal punto di vista funzionale e tecnologico che da quello estetico: gli spessori limitati, infatti, mettono a rischio la sicurezza e la durabilità dei materiali nel lungo periodo, poiché ne diminuiscono la resistenza e causano l'appiattimento e la perdita di profondità del rivestimento stesso¹.

Fortunatamente la tecnologia registra un continuo sviluppo anche nell'ambito delle costruzioni, puntando non solo all'estetica ma anche alla sicurezza e alla qualità dell'involucro, al risparmio energetico ed economico.

¹ Cfr. A. Acocella, 2004, pp. 458.



Figura 1 - Il Piol a Farra D'Alpago (BL). Dettaglio della copertura ventilata con rivestimento in ardesia e sistema meccanico di ancoraggio²

Alcune tecniche di lavorazione superficiale, quali il water jet, il laser, i trattamenti con resine sotto vuoto o la lucidatura³, permettono di caratterizzare l'involucro in modo innovativo, mentre l'uso di tecniche di messa in opera sempre più perfezionate permette scelte ardite e, allo stesso tempo, ad elevati livelli prestazionali.

La normativa attuale inoltre definisce le caratteristiche che deve avere il sistema involucro. In particolare si sofferma sulle pareti perimetrali (UNI 7959⁴) e fornisce indicazioni sulla capacità dei sistemi di ancoraggio di sopportare i carichi. Approfondisce in modo completo anche il tema delle facciate ventilate con rivestimenti lapidei e ceramici montati a secco (UNI 11018⁵) e regola rigorosamente la scelta dei materiali metallici per i sistemi di supporto e ancoraggio⁶.

Un tema che ancora deve essere approfondito e risolto è quello dell'impatto ambientale dei processi di escavazione, nella duplice veste di deturpamento paesaggistico e di possibili dissesti idrogeologici.

² Immagine tratta da *Building envelope. Costruire la qualità*, supplemento di Area 89, p. 8.

³ La lucidatura è un processo chimico-fisico che permette di ottenere la lucentezza dei materiali grazie all'uso di dischi abrasivi di grana via via più fine, con lo scopo di far risaltare le caratteristiche cromatiche e tessiture (Cfr. Acocella A., *op. cit.*, pp. 607-613). Per le altre lavorazioni vedi il cap. 2.

⁴ Norma UNI 7959:1988 - *Edilizia. Pareti perimetrali verticali. Analisi dei requisiti*.

⁵ Norma UNI 11018:2003 - *Rivestimenti e sistemi di ancoraggio per facciate ventilate a montaggio meccanico. Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione e la manutenzione. Rivestimenti lapidei e ceramici*.

⁶ Norme UNI EN 10088:2005 per gli acciai e UNI 8634:1985 per le leghe di alluminio.

4.1 L'ESTRAZIONE E LA LAVORAZIONE

Le tecniche di estrazione si distinguono in tecniche cicliche (taglio con esplosivi, perforazione continua, azione di cunei meccanici o idraulici, impiego di agenti chimici espansivi, taglio con acqua ad alta pressione) o continue (filo diamantato e taglio con fiamma), ciascuna con specifici aspetti positivi e negativi⁷.

ESTRAZIONE

TECNICHE DI ESTRAZIONE	ASPETTI POSITIVI	ASPETTI NEGATIVI
Taglio con esplosivi	Economicità e flessibilità	Creazione di microlesioni sui materiali
	Grandi volumi di roccia abbattuti	Effetti ambientali nocivi (rumore, polveri, vibrazioni)
Perforazione continua	Alternativa al taglio con fiamma	Limiti in presenza di irregolarità delle superfici di appoggio
Cunei meccanici o idraulici	Basso impatto sulla resistenza della pietra	Taglio non molto regolare
Agenti chimici espansivi	Ottimo impatto ambientale	Costi elevati
		Lentezza del processo
Taglio con acqua ad alta pressione (<i>water jet</i>)	Velocità di taglio elevata	In Italia è ancora oggetto di sperimentazione
	Regolarità delle superfici	
	Sfridi ridotti	
Filo diamantato	Precisione del taglio	Velocità di taglio piuttosto basse
Taglio con fiamma	Semplicità di impiego	Pesante impatto ambientale
	Modesto costo dell'attrezzatura	Elevati costi di esercizio

Tabella 1 – Tecniche di estrazione

In particolare, l'uso degli esplosivi «ha privato i moderni siti produttivi dei caratteri configurativi che tali spazi possedevano, necessari per riconoscere il tipo di produzione e collocarla temporalmente»⁸.

Un ulteriore problema legato all'attività estrattiva è dovuto alla possibile interferenza con le falde acquifere dalle quali si preleva l'acqua a scopo idropotabile, soprattutto se si incrementa la vulnerabilità della falda in zone

⁷ Lezione *Materiali lapidei*, corso di Tecnologie di Chimica Applicata, Università degli Studi di Catania, Dipartimento MFCI, tratto da http://www.dmfcu.unict.it/siracusa/web1/materiale_didattico/ps21.pdf (il 19/06/2009).

⁸ V. Fiore, "Cavare e costruire", in V. Fiore, 2008, p. 40.

TRASFORMAZIONE
E LAVORAZIONE

a permeabilità già elevata. Se inoltre tali cave vengono abbandonate possono influenzare le risorse idriche anche a causa dei rifiuti di vario genere che vengono spesso scaricati al loro interno⁹.

Durante le fasi di trasformazione e lavorazione dei blocchi i maggiori problemi possono essere legati a microlesioni o effetti estetici poco piacevoli, dovuti all'esecuzione di lavorazioni non compatibili con le caratteristiche del litotipi (ad es. compattezza e durezza) o con gli spessori delle lastre che si vogliono ottenere, come per i trattamenti ad urto che si applicano a pietre dure e compatte (come marmi, calcari e arenarie) e necessitano di spessori adeguati per assorbire i colpi degli utensili.

Allo stesso tempo però le aziende possono usufruire di macchinari di nuova concezione, con comandi elettronici e automatici, che permettono una riduzione dei costi e dei tempi di lavorazione e anche il trattamento dei blocchi sottomisura o con difetti strutturali. Il vantaggio è duplice: da un lato si ha l'ampliamento dell'uso di materiali lapidei, resi economicamente più competitivi, dall'altro si ottiene il risparmio di materiale di scarto, che andrebbe altrimenti ad ingrandire le discariche¹⁰.

Un ultimo problema è stato sollevato di recente riguardo i rifiuti solidi e liquidi che vengono prodotti dalle industrie che tagliano la pietra e che, per esempio, contaminano i terreni agricoli. Alcuni studi¹¹ ormai dimostrano l'incremento di tecniche e tecnologie sostenibili per ridurre tali rifiuti, come l'uso dell'acqua per raffreddare la pietra durante le operazioni di taglio e raccogliere le polveri di lavorazione.

4.2 LA POSA IN OPERA

Alla fine dei processi di lavorazione il prodotto finito viene messo in opera con i sistemi già visti di posa con malta o a secco.

SISTEMI DI POSA
CON MALTA

Nei sistemi di posa con malta i problemi principali¹² sono dovuti alla differenza di caratteristiche fra il rivestimento lapideo e il supporto murario a struttura intelaiata (sia in c.a. che in acciaio): quest'ultimo si dilata e oscilla in modo diverso rispetto al primo, soprattutto durante le escursioni termiche. Si possono quindi originare dilatazioni pericolose anche all'interno dello stesso rivestimento, se non previste fin dall'inizio ed evitate

⁹ Piano cave della Regione Siciliana, *Lineamenti generali di settore*, in Schema di Piano dei Materiali di Cava e Schema di Piano dei Materiali Lapidari di Pregio, Luglio 2008, Vol. I, pp. 61-61, tratto da <http://www.regione.sicilia.it/industria/corpo%20delle%20miniere/index.htm> (il 14/06/2010).

¹⁰ Cfr. A. Acocella, *op. cit.*, p. 606.

¹¹ AA.VV., *Environmental management of the stone cutting industry*, Journal of Environmental Management 90, 2009, pp. 466-470.

¹² Cfr. A. Acocella, *op. cit.*, pp. 459-462.

con adeguati accorgimenti. Di conseguenza possono verificarsi lesioni lungo i bordi delle lastre o distacchi nei punti di ancoraggio con il sistema di fissaggio metallico. Per questo è necessario evitare la posa in opera nelle stagioni estreme, come l'estate e l'inverno, dimensionare in maniera corretta i giunti e sigillarli in modo accurato con la malta, in modo da conferire elasticità di movimento al sistema e, allo stesso tempo, impedire l'ingresso dell'acqua.

Sono da evitare anche le colate di boiaccia liquida che vengono fatte dall'alto, in quanto possono sporcare il rivestimento e non riuscire in modo adeguato a riempire tutta l'intercapedine fra il supporto murario e il rivestimento. Questo infine dovrebbe essere costituito da lastre non troppo grandi in funzione dello spessore esiguo, poiché a lavoro ultimato, gravano col proprio peso le une sulle altre, soprattutto quando il sistema di fissaggio non è portante.

Anche le parti della lastra in cui andranno gli alloggiamenti metallici devono essere accuratamente dimensionate per non avere lesioni e fratture; non possono infatti avere uno spessore inferiore a cm 1,5.

Nei sistemi di posa a secco i problemi tecnologici e funzionali¹³ sono legati a tutto il pacchetto che costituisce soprattutto la parete ventilata. Innanzitutto il sistema di ancoraggio crea numerosi punti di discontinuità sull'eventuale strato isolante apposto sul supporto murario, causando ponti termici da ridurre al minimo. Bisogna anche scegliere e dimensionare correttamente il sistema di ancoraggio, pensando alle sollecitazioni che deve assorbire e alla sua durata, poiché è difficilmente sostituibile.

All'interno della camera d'aria vanno inoltre evitate le interruzioni che potrebbero causare moti convettivi d'aria e vanno previsti sistemi di protezione dall'ingresso dell'acqua e di altri corpi estranei nella parte sommitale.

Anche in questi sistemi di posa si deve porre particolare attenzione ai punti di attacco fra la lastra e i sistemi di ancoraggio al supporto murario, soprattutto quando prevedono scanalature, col conseguente assottigliamento lungo i bordi o sul retro delle lastre.

**SISTEMI DI POSA
A SECCO**

¹³ Cfr. *ibidem*, pp. 468-472; Zambelli E., "Note sulle tecniche di applicazione", in Fianchino C., 1988, p. 139-142.

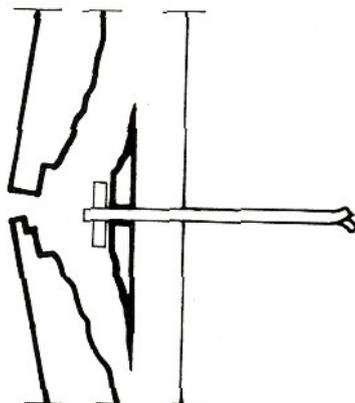


Figura 2 - Rottura delle lastre in corrispondenza degli ancoraggi¹⁴

Relativamente alle facciate ventilate la norma UNI 11018 ne indirizza la progettazione in modo rigoroso. Ad esempio il rivestimento deve avere uno spessore compreso fra cm 0,5 e 5, peso superiore a 10 kg/mq e inferiore a 100 kg/mq; l'intercapedine per il passaggio dell'aria deve avere uno spessore da cm 2 a 20 e lo strato isolante, di spessore variabile, deve essere applicato a cappotto. Vengono elencati anche i sistemi di fissaggio (profili metallici, staffe, tasselli ecc) in base alla loro funzione e le deformazioni massime ammesse per la struttura¹⁵.

4.3 COMPATIBILITÀ MATERICA E FUNZIONALE

La scelta di un materiale lapideo dipende da molti elementi fra cui innanzitutto la conoscenza del luogo, delle caratteristiche del materiale e delle sue possibilità applicative: la provenienza del materiale implica problemi di natura economica, per via dei costi di trasporto, ma anche di compatibilità con il contesto nel quale viene inserito; le caratteristiche intrinseche del materiale danno indicazioni sulla compatibilità con altri materiali e con il contesto microclimatico; le informazioni provenienti dalla cava, la scelta delle caratteristiche dimensionali e delle tecniche costruttive da adottare possono escludere incompatibilità funzionali e applicative.

Scegliere una pietra del luogo significa tramandarne la memoria, inserire il progetto entro un contesto specifico, ma anche abbassare i costi del trasporto; in tal senso va valutata l'aggressività dell'ambiente in rapporto alle caratteristiche mineralogico-petrografiche e chimiche della pietra, fra le

¹⁴ Immagine tratta da C. Fianchino, *op. cit.*, p. 139.

¹⁵ Cfr. *Building envelope. Costruire la qualità*, supplemento di area 89, p. 6.

quali ha molto peso, ad esempio, la porosità in relazione alla piovosità, all'umidità e alla temperatura.

Dal punto di vista della tecnica costruttiva il ruolo della malta è importante per un duplice motivo: da un lato fa aderire gli elementi lapidei al supporto e distribuisce in modo più uniforme i carichi, dall'altro evita le infiltrazioni d'acqua attraverso la stilatura dei giunti tra le lastre. Nella scelta della malta si deve tenere in considerazione l'incompatibilità fra la pietra e la malta cementizia, al posto della quale è preferibile quella a base di calce per una migliore compatibilità di composizione chimica e di coefficiente di dilatazione termica¹⁶. Lo stesso discorso vale per la scelta dell'eventuale strato di intonaco.

Dal punto di vista funzionale assume particolare importanza il ruolo che deve svolgere la pietra all'interno della costruzione: utilizzo per parti portanti, per i rivestimenti, con o senza intonaco. Anche queste scelte devono essere strettamente legate alla resistenza del materiale lapideo, alla sua composizione e ad altre caratteristiche quali la porosità, al fine di prevenire risposte errate nei confronti del contesto (ad esempio per la vicinanza del mare o di zone industriali) e del degrado in genere¹⁷.

Problema da non sottovalutare è quello della lavorazione, la quale dovrebbe anch'essa dipendere dalle caratteristiche del materiale scelto. Alcuni litotipi infatti, a causa della presenza intrinseca di lesioni o di scarsa compattezza, necessitano di particolari trattamenti prima del loro utilizzo, per aumentare la resistenza e la flessibilità. È il caso della stuccatura, generalmente usata per i travertini, o della resinatura, per marmi, brecce e calcareniti, procedimenti attraverso i quali si vanno a riempire le discontinuità con prodotti pigmentati specifici per ogni materiale¹⁸.

Così come i trattamenti ad urto (spuntatura, bocciardatura, rigatura, sabbiatura, martellinatura, puntinatura, rullatura, graffiatura) vanno evitati sulle lastre troppo sottili e, in generale, nei casi di contesti particolarmente aggressivi perchè aumentano la superficie esposta al degrado e rendono lo strato superficiale decoeso; oppure bisogna tenere in considerazione il fatto che i litotipi a grana fine (ad esempio i calcari) e dalla colorazione intensa e monocromatica non sono adatti alla lucidatura¹⁹.

Dall'altra parte però la lucidatura, oltre a valorizzare l'aspetto estetico, permette di aumentare la resistenza del materiale agli agenti atmosferici in quanto l'azione sulla superficie tende a chiudere i pori e ad evitare l'ingresso degli agenti atmosferici e inquinanti all'interno. Oggi comunque esistono molte tecniche di lavorazione superficiale migliorate o studiate per

¹⁶ A. Consiglio, *Guida tecnica per l'impiego razionale del marmo*, Industria Italiana del marmo, Milano, 1972.

¹⁷ AA.VV., *Manuale dei marmi, pietre e graniti. Guida tecnica*, Vallardi, Milano, 1988, vol. I., pp. 139-140.

¹⁸ Cfr. A. Acocella, *op. cit.*, p. 608.

¹⁹ Cfr. *ibidem*, p. 610; AA.VV., *Manuale dei marmi pietre e graniti, op. cit.*, pp. 139

specifici tipi di pietra o di problematiche: ad esempio la retinatura, consistente nell'applicazione di una rete in fibre di vetro o plastica sulla superficie che non rimane a vista, o la "bacchettatura", soprattutto per grandi pannelli, attraverso la quale si inseriscono dei listelli di ottone dentro scanalature appositamente fatte sul retro delle lastre²⁰.



Figura 3 - Operazione di retinatura su una lastra di marmo²¹

Infine un altro problema da tenere in considerazione è quello legato agli interventi di manutenzione e recupero, soprattutto se di tipo meccanico o chimico che, spesso, non tengono conto delle caratteristiche del supporto o sono svolti da personale non qualificato.

²⁰ Cfr. A. Acocella, *op. cit.*, p. 608.

²¹ Immagine tratta da A. Acocella, *op. cit.*, p. 608

RTE SECONDA

LA PIETRA DI SIRACUSA

I centri storici delle città mediterranee sono caratterizzati da edifici, soprattutto se monumentali, le cui superfici esterne sono spesso rivestite in pietra. La Sicilia non si sottrae alla tradizione: la pietra è usata per edifici civili e religiosi in città come Catania, Siracusa, Noto, Ragusa e Scicli, il cui pregio architettonico è ormai ampiamente riconosciuto. A Siracusa la pietra calcarea è usata già in epoca greca per costruire i principali monumenti, come il tempio di Apollo, il tempio di Atena, il Teatro Greco e il Castello Eurialo; utilizzata per tutti i secoli a seguire, è in epoca tardo barocca che vede il culmine della sua espressività per edifici come il palazzo dell'Antico Mercato, il Teatro Municipale e i palazzi rappresentativi di piazza Duomo, via della Maestranza, via Roma ecc. Le cave più antiche dalle quali veniva estratta questa pietra sono le dodici latomie distribuite lungo la balza di Acradina e in prossimità del Castello Eurialo. Dopo il terremoto del 1693 la pietra calcarea siracusana, accoppiata alla pietra lavica dell'Etna, viene usata anche per costruire numerosi edifici importanti di Catania, come la chiesa di S. Agata La Vetere, il monastero dei Benedettini con la chiesa annessa di S. Nicolò L'Arena e il palazzo Tezzano¹, per arrivare ad essere utilizzata anche a Messina.

Nel caso particolare di Ortigia gli edifici sono tutti rivestiti da materiali lapidei di diversa tipologia, sia naturali, come la pietra calcarea, che artificiali, come l'intonaco e, più di rado, cotto e ceramica. I materiali lapidei a vista sono usati principalmente per elementi architettonici quali cantonali, paraste, mensole e cornici di vario genere, raramente si trovano paramenti del tutto ricoperti di pietra, se non per edifici monumentali.

Il materiale estratto dalle cave siciliane viene distinto dalla L.R. 127/80 in materiale di cava e materiale di pregio: i materiali di pregio sono i marmi e le altre pietre per uso ornamentale, fra cui vengono indicati anche la Pietra di Noto (oltre a quella di Modica e Comiso e il Basalto dell'Etna), il calcare e la calcarenite lucidabili (fra cui quella della provincia di Trapani); tutti gli

¹ Cfr. C. Calabrò et al., 2007; A. Lo Giudice et al., 2006, pp. 156-169.

altri prodotti (calcare, calcarenite, sabbia, argilla, ecc) sono materiali di cava.

La pietra di Siracusa cavata anticamente veniva descritta come omogenea e fine, facente parte di «grandissimi nuclei tufacei, ove abbonda il carbonato di calce e la magnesia come cemento dei finissimi detriti di conchiglie marine o terrestri»².

Dalle latomie che si trovavano fra Eloro e Marzamemi e nella penisola della Maddalena, in contrada Isola, si estraeva la pietra “giuggiolena”³, una pietra giallognola e granulosa oggi non più cavata nel siracusano ma importata dalle cave di Caltanissetta.

Le pietre usate mostrano visibilmente caratteristiche macroscopiche diverse, quali il colore e la porosità, anche se generalmente si parla di due soli litotipi anticamente denominati “pietra bianca forte” e “pietra giuggiolena”. Anche per l'intero contesto della provincia di Siracusa i litotipi esistenti si fanno erroneamente ricadere sotto un numero limitato di denominazioni, per lo più di carattere commerciale: “pietra di Siracusa”, “pietra di Melilli”, “pietra di Palazzolo” e così via.

Già solo i tipi estratti dalla catena dei Monti Climiti, che va da Melilli a Belvedere per terminare a Capo S. Panagia, sono molto diversi fra loro: pur rientrando tutti fra i calcari miocenici possono essere saldi e compatti o ricchi di fossili (briozoi, foraminiferi, coralli, molluschi ecc.). A questi si aggiunge il calcare oolitico biancastro estratto un tempo dalla Penisola della Maddalena, da Ortigia e da un piccolo lembo di terra ferma che arriva fino alla Latomia dei Cappuccini; poi ancora i calcari pliocenici che si trovano in strati poco potenti in c.da Targia o nella rada di Siracusa. Abbiamo infine la “Pietra giuggiolena”, una calcirudite fossilifera di colore giallastro oggi non più estratta a Siracusa⁴.

Attualmente il materiale estratto è di vari tipi: oltre a calcare e calcarenite, anche ghiaia, argilla (ad Augusta), lava (a Lentini) e gesso (a Noto).

Vi sono infine numerosi marmi, catalogati fra i materiali di pregio, non più estratti perché ormai esauriti: Alabastro calcareo (Porto Palo e Melilli), Brecciato nero/rosa (Arcile – Augusta), Giallo venato rosso (Bontifè – Melilli), Breccia rosso/bianco/giallo (Pachino), Grigio dendritico (Lentini) e Rosso cupo (Pachino)⁵.

² F.S. Cavallari, A. Holm, *Topografia archeologica di Siracusa*, Tipografia del giornale «Lo Statuto», Palermo, 1883, p. 43.

³ L. Guzzardi, “Osservazioni sulle latomie della Sicilia sud-orientale: dalla documentazione alle attività di conservazione e manutenzione”, in V. Fiore, 2008, p. 51.

⁴ Piano Cave, Schema di Piano dei Materiali lapidei di Pregio, *Studi di dettaglio e caratterizzazione geolitologico-tecnica delle aree estrattive*, vol. 8, pp. 11-12, tratto da <http://www.regione.sicilia.it/industria/corpo%20delle%20miniere/index.htm> (il 19/07/2010).

⁵ Piano Cave, *Aspetti tecnico-minerari ed ambientali*, in Schema di Piano dei Materiali di cava, Vol. 6B, *op. cit.*, p. 4.

5.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO DEL TERRITORIO SIRACUSANO

All'interno del territorio comunale siracusano, nonostante storicamente venga attribuito un solo nome alla pietra cavata (ovvero la “pietra di Siracusa”), esistono diverse varietà legate alle formazioni geologiche cui appartengono.

Dal confronto fra numerosi studi editi⁶ sono stati reperite diverse informazioni sulla geologia della Sicilia sud orientale e sui materiali lapidei usati in questa area. In particolare la pietra del territorio di Siracusa, impiegata sia per la struttura degli edifici che per le finiture superficiali, fa parte, dal punto di vista geologico, del *Plateau* Ibleo, ovvero una spessa piattaforma carbonatica che si è formata fra l'era Secondaria e quella Quaternaria⁷ e che rappresenta una porzione della crosta continentale africana emersa a seguito delle collisioni con l'arco calabrese.

La pietra iblea è una roccia sedimentaria, nello specifico una calcarenite, distinta in diversi litotipi per età, tessitura e caratteristiche ambientali, nonostante abbia simili caratteristiche cromatiche. I litotipi utilizzati nel siracusano sono quelli relativi alla *Formazione dei Monti Climiti*, alla *Formazione di Palazzolo* e alla *Formazione Monte Carrubba*. Una breve cronistoria dei meccanismi di formazione delle diverse *litofacies* è necessaria per comprendere le caratteristiche specifiche dei singoli litotipi in questione.

La storia geologica che interessa la formazione del *Plateau* ibleo parte dal mesozoico e arriva fino ai giorni nostri, e si può semplificare attraverso quattro fasi fondamentali⁸. Durante un primo periodo, che va dal Triassico inferiore al Giurassico superiore, si assiste ad una fase estensionale dovuta ad un *rifting*⁹ oceanico che avvia l'apertura dell'antico oceano Neotetiano. A questa fase segue una lenta subsidenza¹⁰ termica, fra il Giurassico superiore e il Cretaceo inferiore; poi una fase compressiva, fra il Cretaceo e il Paleocene, che porta alla formazione di un sistema di “pieghe” e alla conseguente chiusura dell'oceano Neotetiano. Infine abbiamo una quarta fase, fra il Terziario medio e tutto il Quaternario, caratterizzata da una serie

FORMAZIONE DEL
PLATEAU IBLEO

⁶ Cfr. C. Calabrò *et al.*, 2007, *op. cit.*; A. Lo Giudice *et al.*, 2006, *op. cit.*; D. Barucco (tesi di laurea), A.A. 2005-2006; C.N.R., I.N.C.B.C., Comune di Siracusa, *Il Centro Storico di Ortygia. La conoscenza per la manutenzione*, vol. 1, cap. 3, 2000; Yellin-Dror A. *et al.*, 1997, pp. 277-289; M. Grasso, F. Lentini, 1982, pp. 261-280; M. Grasso, F. Lentini, H.M. Pedley, 1982, pp. 279-300.

⁷ Il periodo che va dall'era Secondaria (o Mesozoica) fino all'era Quaternaria (o Neozoica) va da 251 milioni di anni fa sino ad oggi.

⁸ D. Barucco (tesi di laurea), A.A. 2005-2006, *op. cit.*, pp. 9-43.

⁹ Il *rifting* è un fenomeno che in geologia indica un susseguirsi di azioni che producono rift (in inglese “frattura, spaccatura”), ovvero zone in cui la crosta terrestre e la litosfera si separano sotto l'azione di forze di trazione dando origine a faglie, *horst* (porzione di crosta terrestre sollevata) e *Graben* (fossa tettoniche) o *rift valley*.

¹⁰ Abbassamento di una parte della crosta terrestre.

di sollevamenti e subsidenze, probabilmente come risultato delle continue collisioni fra le placche africana ed europea, associata ad un'attività vulcanica presso il margine nord del *Plateau*. La maggior parte di queste fasi è caratterizzata da una condizione di acque basse che spiegano la presenza di resti di fossili marini e di altri componenti nei vari litotipi.

All'interno di questo quadro, le *facies* relative ai due domini paleogeografici principali della zona degli Iblei, ovvero quelli della provincia di Siracusa e di Ragusa, si sono formate durante il Triassico superiore e nello specifico durante il Norico¹¹. La prima, in particolare, appare interessata, durante questa fase, da condizioni di acque basse con circolazione marina aperta ed è caratterizzata dalla *Formazione di Gela*. Durante l'Hettangiano¹², contraddistinto da un'intensa fase sedimentaria, la *Formazione di Siracusa* (fig. 1) si sovrappone alla *Formazione di Gela*, ed è costituita ovunque da calcari tendenzialmente bianchi a ooidi-oncoidi, grainstones e packstones subordinati a calcari dolomitici.

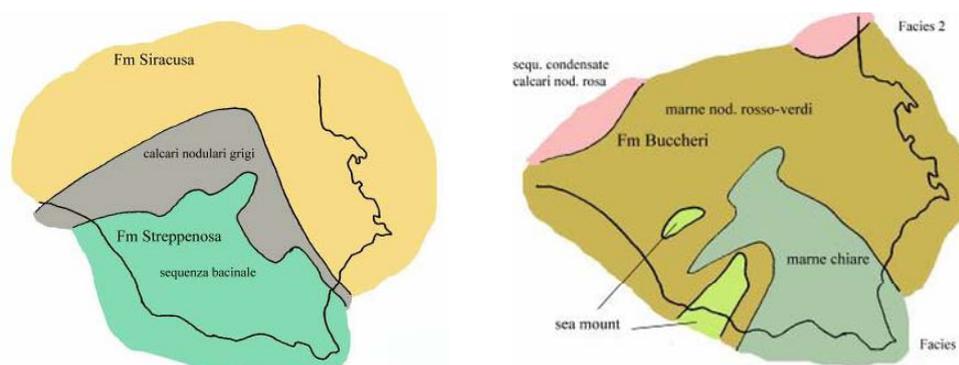


Figura. 1 - La *Formazione di Siracusa* e la *Formazione di Buccheri*¹³

A causa dell'elevata attività tettonica che va dal Giurassico medio al Giurassico superiore, la *Formazione di Siracusa* sprofonda sotto i sedimenti della *Formazione di Buccheri* (fig. 1).

Dal Giurassico superiore al Cretaceo¹⁴ superiore seguono le *Formazioni Chiaramonte*, di *Hybla* e di *Amerillo*.

FORMAZIONE DEI MONTI CLIMITI

I sedimenti che racchiudono la fase che va dal Chattiano al Tortoniano¹⁵ prendono il nome di *Formazione dei Monti Climiti*, divisibile in due membri distinti che interessano il settore occidentale del siracusano: il membro di

¹¹ Il Norico è uno dei primi sottoperiodi dell'era Secondaria (fonte: Commissione Internazionale di Stratigrafia – ICS).

¹² L'Hettangiano è un sottoperiodo del Giurassico inferiore (periodo centrale del Mesozoico).

¹³ Immagini tratte da Barucco D. (tesi di laurea), *op. cit.*, p. 17 e 21.

¹⁴ Il Cretaceo è l'ultimo periodo dell'era Mesozoica.

¹⁵ Il periodo dal Chattiano superiore (Oligocene) al Tortoniano (Miocene superiore), sottoperiodi centrali dell'era Terziaria, va da 34 a 5,3 milioni di anni fa circa.

Melilli e il membro di Siracusa. Il primo membro è caratterizzato da *wackestones* giallognole a foraminiferi planctoniani; il secondo membro ha spessore di circa m 20 e tende a raggiungere, in prossimità delle zone di Scala Greca, spessori di m 70. è caratterizzato da *packstones* con molluschi, echinoidi e abbondanti alghe rodolitiche e coralli.

Il settore occidentale del siracusano, nel periodo fra il Langhiano¹⁶ e il Tortoniano, è costituito dalle sequenze marnose della *Formazione del Tellaro* (Mb di Giarratana e Mb di Castelluccio) e dalla *Formazione di Palazzolo* (fig. 2), coeva alla *Formazione del Tellaro* e in transizione fra questa e la *formazione dei Monti Climiti*, caratterizzata da calcari nodulari alternati a marne. La *pietra di Noto* è una litofacies della *Formazione di Palazzolo* che affiora in una fascia allungata larga km 7 tra Palazzolo e Noto, ed è costituita da grosse bancate suborizzontali di una calcarenite bianco-giallastra più o meno tenera che assume colorazioni rosate sotto la luce del sole¹⁷.

FORMAZIONE DI PALAZZOLO

Nel Miocene superiore alla *Formazione dei Monti Climiti* si sovrappongono la *Formazione Carlentini* e la *Formazione Monte Carrubba*, caratterizzate soprattutto da *grainstones* oolitici e *packstones* bianche (fig.2).

FORMAZIONE MONTE CARRUBBA

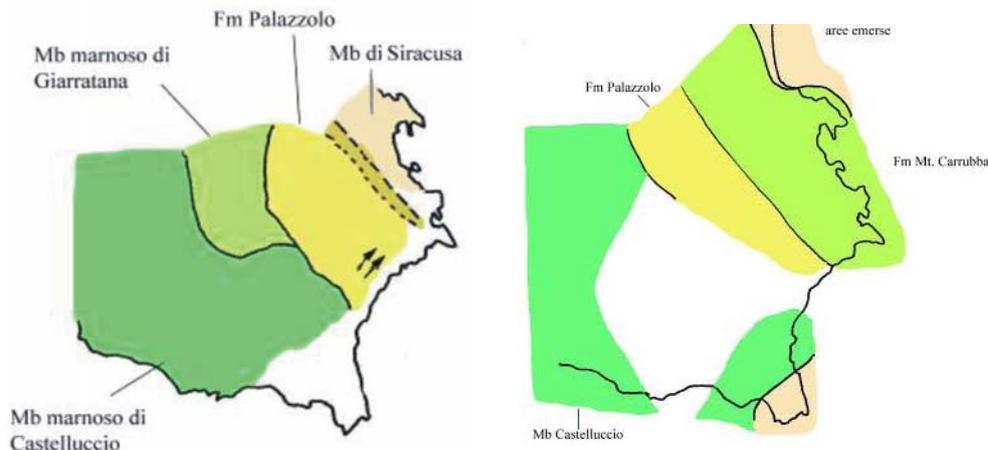


Figura 2 - La formazione di Palazzolo, il membro di Siracusa e la Formazione Monte Carrubba¹⁸

Di seguito si riportano alcuni schemi che inquadrano quanto detto sulla geologia della Sicilia sud-orientale (figg. 3, 4 e 5).

¹⁶ Miocene medio.

¹⁷ Piano Cave, *Aspetti tecnico-minerari ed ambientali*, in Schema di Piano dei Materiali di cava, Vol. 6B, *op. cit.*, p. 65.

¹⁸ Immagini tratte da D. Barucco (tesi di laurea), *op. cit.*, p. 31 e 38.

I MATERIALI LAPIDEI TRADIZIONALI NELL'ARCHITETTURA CONTEMPORANEA. LA PIETRA DI SIRACUSA

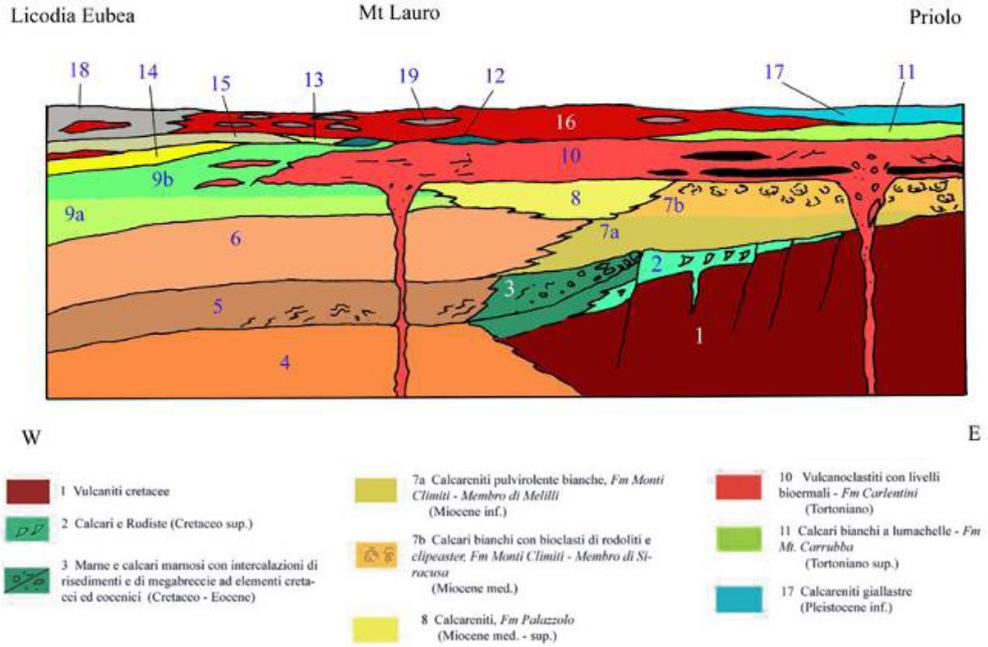


Figura 3 - Schema della distribuzione delle facies cretaceo-quadernarie lungo l'allineamento Licodia Eubea - Priolo¹⁹

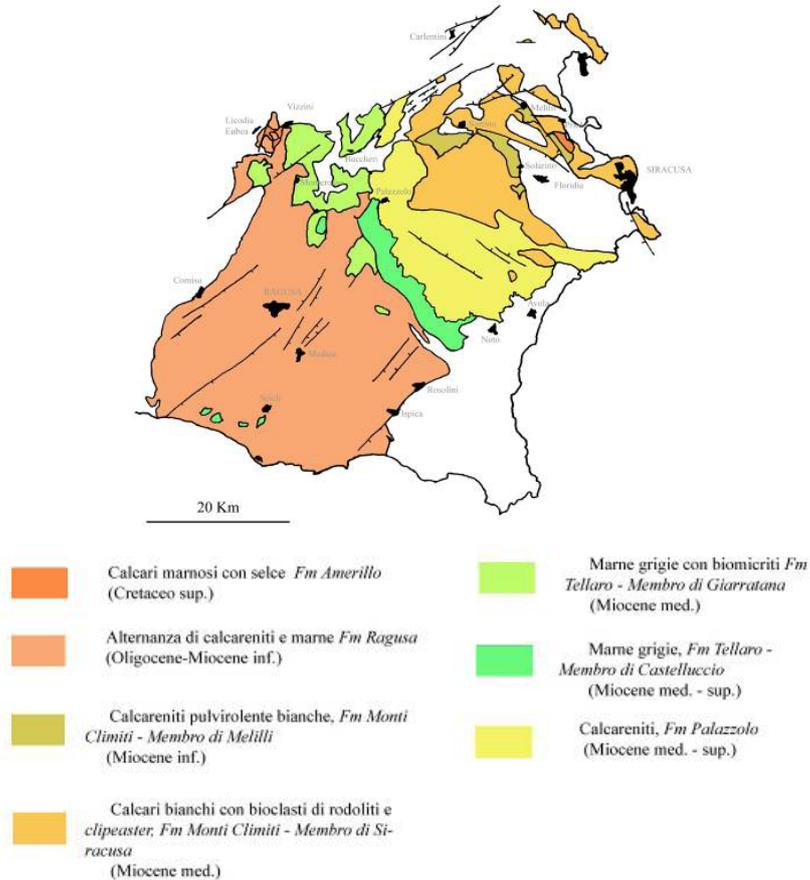


Figura 4 - Schema geologico della Sicilia sud-orientale prima del Tortoniano²⁰

¹⁹ *ibidem*, p. 42.

²⁰ *ibidem*, p. 35.

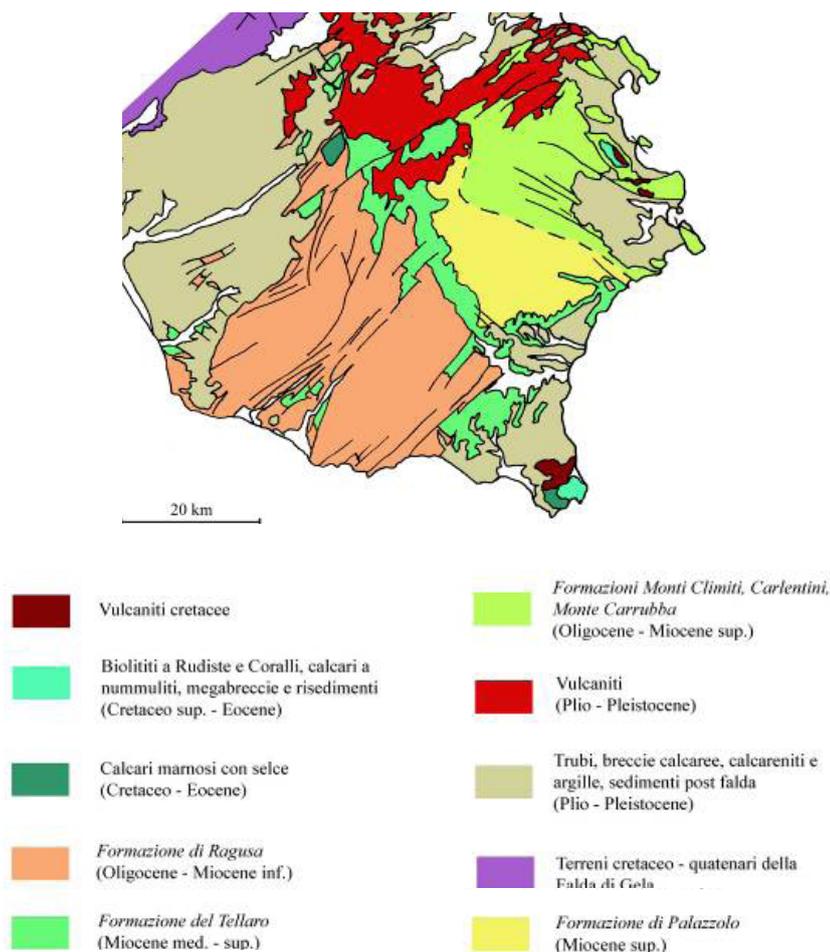


Figura 5 - Schema geologico della Sicilia sud-orientale dopo il Tortoniano²¹

5.2 DESCRIZIONE MACROSCOPICA DELLA PIETRA SIRACUSA

Attraverso l'analisi a vista dei litotipi presenti a Siracusa è possibile descrivere le loro caratteristiche macroscopiche, confermate dalle successive analisi mineralogico-petrografiche.

Dall'osservazione della pietra in opera si deduce che si tratta di una calcarenite appartenente a due diverse varietà le cui caratteristiche specifiche dipendono dal periodo di formazione:

- una calcarenite compatta, generalmente di origine organogena, che presenta una rottura a concoide e scheggiosa, con una struttura a strati e banchi o massiccia e con impurità come argilla e silice;
- una calcarenite più tenera e friabile, dall'aspetto spugnoso.

²¹ *ibidem.*, p. 39.

Dai dati riportati dalla letteratura in materia²² si evince che si tratta di più litotipi differenziabili in base alle formazioni geologiche:

FORMAZIONE DI PALAZZOLO	<p>Formazione di Palazzolo (Fm.P.)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ calcarenite a grana fine e omogenea di colore giallognolo (c.d. “pietra di Noto”); ▪ calcarenite a grana fine e omogenea di colore crema tenue-beige (c.d. “pietra di Palazzolo”);
FORMAZIONE DEI MONTI CLIMITI	<p>Formazione dei Monti Climiti (Fm.MCl.)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ calcarenite compatta e a grana minuta di colore giallognolo (calcarenite di Melilli) o biancastro (calcarenite di Siracusa);
FORMAZIONE MONTE CARRUBBA	<p>Formazione Monte Carrubba (Fm.MC.)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ calcarenite grigiastra di origine organogena, molto ricca di conchiglie fossili (lumachella). ▪ calcare oolitico e fossilifero bianco, con struttura massiva o stratificata;
LIVELLO PANCHINA	<p>È presente infine il livello calcarenitico organogeno (detto “livello panchina”) all’interno dei depositi del Pleistocene Medio e Superiore (I.P.)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ calcarenite organogena con sabbie gialle (la c.d. “pietra giuggiulena”).

LITOTIPO	FORMAZIONE GEOLOGICA
Calcarenite di Melilli	Monti Climiti
Calcarenite di Siracusa	Monti Climiti
Calcarenite crema tenue o “pietra di Palazzolo”	Palazzolo
Calcarenite giallognola o “pietra di Noto”	Palazzolo
Calcarenite Lumachella	Monte Carrubba
Calcari Oolitici	Monte Carrubba
Pietra “giuggiulena”	“Panchina”

Tabella 1 – Formazione geologica per ogni litotipo

La calcarenite della Formazione di Palazzolo viene cavata nella parte di territorio che va da Noto a Palazzolo, quella della Formazione dei Monti Climiti soprattutto nel territorio di Melilli fino a tutta la zona della Targia e quella della Formazione Monte Carrubba nel resto del territorio comunale di Siracusa.

²² Cfr. A. Lo Giudice *et al.*, 2006, *op. cit.*; C. Calabrò *et al.*, 2007, *op. cit.*

5.3 CARATTERIZZAZIONE MINERALOGICO- PETROGRAFICA DELLA PIETRA SIRACUSANA

La pietra usata nella provincia di Siracusa, secondo una classificazione petrografica genetica, ha origine da rocce sedimentarie, ovvero rocce costituite da materiali, detti sedimenti, provenienti dalla disgregazione di rocce preesistenti attraverso processi di varia natura. In funzione di processi fisici, quali variazioni di temperatura e pressione, e chimici ai quali i sedimenti sono sottoposti, hanno origine i diversi tipi di rocce sedimentarie. Quando i sedimenti derivano da una disgregazione meccanica e sono trasportati in forma solida sono detti clastici e danno origine alle rocce clastiche o detritiche (conglomerati, arenarie, argille, tufi e calcareniti). Se derivano da alterazioni chimiche e vengono trasportati in soluzione sono detti chimici e organogeni. In questo caso, quando la soluzione precipita in modo diretto hanno origine le rocce chimiche, se precipita attraverso l'azione di organismi si hanno le rocce biochimiche (calcari, dolomie ed evaporiti).

In particolare i calcari comprendono tutte le rocce composte prevalentemente da calcite, ovvero carbonato di calcio, e da piccole quantità di altri minerali quali ad esempio quarzo, dolomite e aragonite. Dal punto di vista genetico, la differenza fra il calcare e la calcarenite sta nel fatto che il primo è una roccia chimica o biochimica, mentre la seconda è una roccia detritica (che deriva dalla alterazione di rocce calcaree esistenti, ossia dalla cementificazione di detriti calcarei da parte di cristalli di calcite), anche se, dal punto di vista mineralogico, viene classificata fra i calcari per la predominanza di calcite.

Secondo la classificazione di Folk (1962)²³, i calcari sono composti da una matrice, detta micrite (fango) quando costituita da calcite microcristallina (1-5 µm), da cemento, detto sparite se costituito da calcite cristallina (10 µm), e da frammenti e corpuscoli, che possono essere fossili, ooliti, intraclasti o pellet. In funzione del tipo di matrice, di cemento e di frammenti si avranno i diversi tipi di calcare (ad esempio biomicrite, biosparite ecc)²⁴.

In particolare la pietra siracusana è classificabile come calcare e calcarenite (ovvero un calcare con frammenti di grandezza superiore), con percentuali di contenuto di CaO (Ossido di Calcio) tra il 50 e il 55 %, che si

²³ Per un approfondimento della classificazione di Folk si veda l'*Appendice*.

²⁴ Cfr. R. Bugini, L. Folli, *Criteri di impiego delle pietre da costruzione*, <http://www.icvbc.cnr.it/didattica/petrografia/5.htm> (19/06/2009); R. Catalano, *Appunti per le lezioni del corso di Geologia. Processi e prodotti geologici*, Dipartimento di Geologia e Geodesia, Università degli studi di Palermo, su <http://www.dipgeopa.com/?structure=processigeologici§ion=rocce&sub=6.3.2&lang=it> (01/12/2009)

presenta con diverse colorazioni e caratteristiche morfologiche in funzione dei sei litotipi rintracciati²⁵.



Figura 6 - Pietra siracusana nella quale sono visibili i fossili

Dagli studi mineralogico-petrografici svolti sinora²⁶ otteniamo i seguenti risultati specifici riguardanti il calcare e la calcarenite usati a Siracusa, classificati secondo la terminologia di Dunham²⁷ (1962) con gli aggiornamenti di Embry (1971):

- Formazione di Palazzolo:

FORMAZIONE DI PALAZZOLO

Wackestones e *Packstones*²⁸ bioclastiche minute e grossolane con microfauna planctoniana (*Globigerina*) e matrice micritica scarsamente cementata, ma notevolmente compattata. La struttura è granulare, più o meno fine, con porosità variabile (1-3% per la calcarenite beige, 20-30% per quella giallognola), con la maggioranza dei pori di dimensioni comprese tra 1 e 4 mm e con una porosità secondaria diffusa e minuta. Mostra più elevati contenuti in ferro, responsabili della colorazione giallognola del materiale. I grani clastici sono principalmente quarzo e, raramente, feldspati. Il cemento è di tipo intergranulare, a tessitura fine (*microsparite*), intimamente mescolato alla micrite, con cristalli di dimensioni più sviluppate (*ortosparite*). Sono state trovate anche tracce di *Mudstones*²⁹ con struttura

²⁵ Cfr. A. Lo Giudice *et al.*, 2006, *op. cit.*; C. Calabrò *et al.*, 2007, *op. cit.*; C. Fianchino, *op. cit.*, pp. 91-116.

²⁶ *Ibidem*

²⁷ Per un approfondimento della classificazione di Dunham si veda l'*Appendice*.

²⁸ *Wackestone* o *Floatstone*: roccia composta prevalentemente da fango e da granuli (bioclasti, litoclasti, ooidi, ecc.) rispettivamente di dimensioni minori o maggiori di 2 mm, presenti in quantità inferiore al 10%; *Packstone*: roccia composta di granuli e cemento più fango in quantità limitata.

²⁹ *Mudstone*: roccia carbonatica a grana estremamente fine in cui prevale la matrice (> 10%).

compatta non interessata da microfratture, con bioclasti (foraminiferi) molto dispersi e porosità bassa (31,4%). La composizione è calcarea ($\text{CaCO}_3 = 95,1\%$);

- Formazione dei Monti Climiti, membro di Melilli:

Wackestones con il 10-25% di bioclasti composti da foraminiferi planctoniani (*Globigerina*), frammenti di conchiglie, accompagnati da Scafopodi. Vi sono rari grani di peloidi. I grani clastici sono principalmente quarzo. Lo spazio intergranulare è riempito da microsparite (50%) e micrite (25%). Le caratteristiche di porosità sono simili alla calcarenite della Fm.P. (15-30%);

FORMAZIONE DEI
MONTI CLIMITI -
MEMBRO DI MELILLI

- Formazione dei Monti Climiti, membro di Siracusa:

Packstones bioclastiche o calcirudite³⁰ con matrice micritica. I grani sono composti da bioclasti e peloidi. I bioclasti (40–75%) sono costituiti principalmente da alghe coralline (*Lithophyllum*) e foraminiferi bentonici (*Amphistegina*, *Heterostegina*); i peloidi sono grani di carbonato di 100–500 μm . La matrice è sia microsparitica (20–35%) che micritica (5–20%). Le caratteristiche di porosità sono simili alla calcarenite della Fm.P. (15-25%);

FORMAZIONE DEI
MONTI CLIMITI -
MEMBRO DI
SIRACUSA

- Formazione di Monte Carrubba, Lumachella:

Packstones e *Wackestones* peloidali e bioclastiche, costituite soprattutto da gusci di molluschi. La dimensione dei grani è medio grossa con matrice composta da sparite. I grani sono costituiti da quarzo e la porosità varia fra il 10 e il 20%;

FORMAZIONE DI
MONTE CARRUBBA -
LUMACHELLA

- Formazione di Monte Carrubba, calcari oolitici:

*Grainstones*³¹ oolitiche compatte, costituite da grossi granuli di ooliti (50-60%, soprattutto grani scheletrici di alghe calcaree) e bioclasti di calcarenite. Un cemento precoce si trova a contorno dei granuli, precipitato nelle prime fasi della deposizione, e uno di dimensioni più sviluppate negli spazi intergranulari. La porosità varia dal 22-23%, con pori di dimensioni molto piccole, al 50%, con pori di più grosse dimensioni, con una porosità secondaria concentrata e di grosse dimensioni (diverse centinaia di μm) che conferisce alla pietra un aspetto spugnoso;

FORMAZIONE DI
MONTE CARRUBBA -
CALCARI OOLITICI

- Livello panchina:

la c.d. “pietra giuggiulena” è composta da *Rudstones* ad alghe rosse che presentano un cemento precoce, in quantità molto esigue e generalmente a contorno dei granuli, con una porosità di tipo intergranulare elevata e di grosse dimensioni (qualche centinaio di μm) e da *Packstones* non interessate da fratture, con bioclasti ossidati e porosità medio alta con

LIVELLO PANCHINA

³⁰ Roccia clastica a grana grossa, contenente oltre il 50% di frammenti calcarei, a cemento calcareo

³¹ *Grainstone* o *Rudstone*: roccia composta esclusivamente di granuli (di dimensioni rispettivamente minori o maggiori di 2 mm) e cemento.

parziale riempimento in cemento secondario. La composizione è calcarea ($\text{CaCO}_3 = 100\%$).

Di seguito si riporta una tabella riassuntiva con le principali caratteristiche dei litotipi analizzati³².

Denominazione	CALCARE COMPATTO (Fm.P.)	CALCARE TENERO (Fm.P, MCl., MC.)	CALCARE ARENACEO (Fm.MC)	CALCARE FOSSILIFERO (Fm.P, MCl., MC.)
Classificazione	sedimentaria chimica	sedimentaria clastica	sedimentaria clastica	sedimentaria biochimica
Minerale caratterizzante	calcite	calcite	calcite	calcite
Tessitura e struttura	<i>Mudstone</i>	<i>Packstone</i>	<i>Grainstone</i>	<i>Wackestone</i>
Colore	bianco	giallo	grigio chiaro	bianco, giallo
Lavorabilità	buona, lucidabile	ottima	buona	buona, lucidabile
Uso	muratura, colonne, pavimentazioni	decorazioni, sculture, muratura	decorazioni, muratura	decorazioni, muratura
	blocco, lastra	blocchi	blocco, lastra	blocco, lastra

Tabella 2 - Caratteristiche dei litotipi analizzati

³² R. Bugini, L. Folli, *cit*, <http://www.icvbc.cnr.it/didattica/petrografia/10.htm> (19/06/2009).

«Il cavare è un'attività dell'uomo che modifica sostanzialmente l'evoluzione del suolo, a volte con l'inserimento di elementi estranei all'ambiente naturale, a volte con l'apporto di alterazioni apparentemente compatibili, ma sostanzialmente reali ferite all'assetto del territorio e dell'ambiente; a quest'azione segue la cancellazione, o modificazione, dei caratteri morfologici originari del sito, raramente mantenuti inalterati, con la configurazione di un paesaggio, il "paesaggio di cava"»¹.

A Siracusa tale paesaggio ha assunto, nel corso dei secoli, significati e connotazioni molto diversi: dalle Latomie urbane monumentali, delle quali si dice siano state persino le prigioni degli ateniesi nel 412 a.C. e che poi hanno affascinato i viaggiatori del '700 e '800, alle cave peri-urbane o extraurbane visibili lungo le mura dionigiane o lungo le coste siracusane, sui cui resti si aggiungono quelli di sepolture, abitazioni e luoghi sacri, fino a quelle più moderne, che sembrano aver perso il fascino di quelle antiche.



Figura 1 - Incisione delle Latomie di Siracusa² e cava a Priolo attualmente utilizzata (SICS)

I calcari e le calcareniti miocenici cavati in questa zona della Sicilia orientale hanno avuto largo impiego nei secoli come pietra sia da

¹ V. Fiore, 2008, p. 39.

² Jacques Joseph Coigny (1761-1809), *P.re Vue intérieure des Lathomies de Syracuse Dessinee par Chatelet*, Aquaforte e bulino, 200x250, tratto da G. Barbera, F. Gallo (a cura di), 2000, p. 116.

costruzione che ornamentale, e le numerose cave presenti hanno permesso la realizzazione dei centri urbani barocchi della regione Iblea. Del resto l'intera Sicilia si è sempre presentata nel panorama italiano con un patrimonio minerario tale da giustificare una posizione tra le più significative.

Tale ruolo di preminenza trova riscontro nello statuto autonomistico in cui - fatto unico anche tra le regioni dotate di autonomia regionale - all'Assemblea regionale siciliana viene riconosciuta competenza esclusiva in materia di cave e miniere.

Secondo il diritto minerario dello Stato Unitario Italiano una formazione geologica da cui è possibile estrarre minerali di riconosciuto interesse industriale appartiene al demanio minerario statale (in Sicilia al Demanio Regionale). Di conseguenza l'attivazione e la gestione delle miniere sono assoggettate al controllo da parte della Regione che ne accorda la concessione con gli obiettivi di uno sfruttamento razionale nel rispetto della sicurezza del lavoro e dello sviluppo socio-economico. Invece l'estrazione di minerali cui non si riconosce significativa importanza strategica (denominati minerali di seconda categoria o minerali di cava), è stata poco curata dal Legislatore e dall'Amministrazione mineraria³.

LA LEGISLAZIONE REGIONALE

In tale panorama, a partire dal 1956, si è posto mano ad una fervida produzione legislativa che ha portato alla definizione di un Codice Minerario Regionale per molti aspetti radicalmente innovativo rispetto all'assetto normativo minerario nazionale preesistente.

Fra l'altro, fino agli anni '70, l'attività estrattiva era nelle mani di piccoli artigiani o imprenditori edili che si improvvisavano cavatori e aprivano le cave per necessità legate al momento, seguendo tecniche rudimentali e faticose, senza tenere conto della sicurezza dei lavoratori o dell'impatto ambientale. Fino agli anni '80, inoltre, per aprire una cava non era necessaria alcuna autorizzazione, ma bastava una comunicazione dopo l'apertura al Sindaco, il quale a sua volta doveva informare il COREMI (Corpo Regionale delle Miniere).

L.R. N°127 DEL 1980

Nel dicembre 1980 è stata emanata la L.R. n° 127 che ha rifondato la disciplina delle cave introducendo l'obbligo dell'autorizzazione preventiva, con a seguito un progetto minerario diretto da un ingegnere o da un perito tecnico minerario, l'obbligo della pianificazione dell'attività estrattiva e l'istituzione di un albo dei cavatori⁴. A questa data, a causa della natura insulare della Sicilia e della carenza del sistema dei trasporti e delle infrastrutture, la maggior parte della produzione dei materiali di cava non si era sviluppata, rimanendo di natura artigianale, nonostante il grande

³ Cfr. Piano cave della Regione Siciliana, Luglio 2008, *Relazione generale dei materiali di cava*, pp. 48-49, tratto da <http://www.regione.sicilia.it/...>, cit. (il 14/06/2010).

⁴ Cfr. Piano Cave, *Aspetti tecnico-minerari ed ambientali*, in Schema di Piano dei Materiali di Cava, vol. 6°, pp. 1-2, tratto da <http://www.regione.sicilia.it/...>, cit. (il 19/07/2010).

impulso della ricostruzione bellica prima ed il fervore dell'attività edilizia dopo, e nonostante la nascita di grandi cave di tipo industriale per la produzione di inerti⁵.

«Queste attività erano concepite ancora con criteri poco evoluti, che proponevano concetti nati in epoche caratterizzate da un'economia di sussistenza, in un contesto condizionato da strutture viarie inesistenti o in via di esecuzione, che non consentivano trasporti a largo raggio di materiali a così basso valore specifico quali sono i minerali di cava.

A questo occorre aggiungere le particolari caratteristiche derivanti dalle complessità geologica e litologica della Sicilia, e prima fra tutte l'eterogeneità litologica. (...) Anche l'insularità della regione ha ostacolato lo scambio di minerali di seconda categoria con le regioni circostanti. Ciò è fondamentale se si considera che nelle regioni non insulari tale scambio contribuisce a sopperire alla mancanza di inerti di qualità di tanti bacini di utenza».⁶

Un altro problema che è stato spesso sottovalutato è quello dei rischi e dei riflessi ambientali legati all'attività estrattiva. Molte delle problematiche quali la sicurezza e l'igiene dei lavoratori, la stabilità dei fronti di cava, il rischio di contaminazione delle falde acquifere, l'impatto visivo e l'alterazione morfologica del paesaggio, trovano riscontro in tempi anche lunghi⁷.

I RISCHI AMBIENTALI

Oggi il panorama dell'attività estrattiva è molto cambiato: è migliorato il sistema delle infrastrutture, sono aumentate le cave inattive e diminuite quelle a conduzione artigianale e si è accresciuta la superficie tutelata dal punto di vista naturalistico, vincolata o destinata a parchi e riserve. La Regione Siciliana ha inoltre istituito un Piano Cave come strumento strategico, sia tecnico che amministrativo, per una corretta regolamentazione del settore estrattivo e per la raccolta e il censimento di tutti i dati necessari alla gestione delle cave.

IL PIANO CAVE

6.1 LE CAVE DEL PASSATO

Le cave storiche di Siracusa, le cosiddette Latomie⁸, erano in origine undici, quasi tutte disposte lungo il lato meridionale dell'altopiano di Acradina. Di queste solo sette sono ancora esistenti ma non più utilizzate come cave e sono, in ordine da ovest a est, la latomia del Buffaloro, del

LE LATOMIE

⁵ *ibidem*, pp. 48-51

⁶ *ibidem*, pp. 50-51.

⁷ *ibidem*, p. 20.

⁸ Dal greco *latomia*, composto da *lâs* "pietra" e *témnō* "tagliare" (Devoto G., Oli G.C., *Dizionario della lingua italiana*, Le Monnier, Firenze, 1971).

Paradiso (che include l'Orecchio di Dionisio e la Grotta dei Cordari), dell'Intagliatella, di Santa Venera, Broggi-Casale, Navantieri e dei Cappuccini. Data la loro posizione a ridosso dell'altopiano si può supporre che avessero avuto anche la funzione di renderlo inaccessibile agli attacchi nemici, oltre che servire per la costruzione delle mura dionigiane.

Delle latomie monumentali «vastissime oltremodo e pittoresche sono quelle di Casale e di Novanteri, ma la più grande e sorprendente è quella dei Cappuccini»⁹. Questa, chiamata del Palombino fino al 1582, quando fu donata ai frati francescani per difendere dagli attacchi dei pirati la parte della città dove è ubicata, si estende per circa mq 23.000, con pareti scavate nella roccia alte fino a m 40. Nel corso dei secoli è stata trasformata in giardino e orto dai frati, è divenuta proprietà demaniale del Comune di Siracusa, fino ad essere utilizzata come teatro all'aperto dal 1953¹⁰. Anche le altre latomie hanno cambiato funzione nel corso dei secoli, come ad esempio l'Orecchio di Dionisio che è stato un'osteria nel '600, o la Grotta dei Cordari nella quale sono stati scavati ipogei funerari bizantini, mentre le altre sono state riutilizzate come abitazioni rupestri, luoghi sacri o sepolcrali.



Figura 2 - Rielaborazione delle tavv. II e IV tratte da Cavallari F. S., Holm A., in cui le cave sono evidenziate in rosso¹¹

⁹ F.S. Cavallari, A. Holm, *Topografia archeologica di Siracusa*, Tipografia del giornale «Lo Statuto», Palermo, 1883, p. 41.

¹⁰ L. Acerra, *La Latomia dei Cappuccini di Siracusa*, in Fiore V., 2008, *op. cit.*, p. 21-22.

¹¹ F.S. Cavallari, A. Holm, *op. cit.*

La latomia più estesa è quella del Paradiso che raggiunge in alcuni punti una profondità di 45 m. Al suo interno si aprono alcune grotte fra cui il già citato Orecchio di Dionisio (lungo 65 m, largo da 5 a 11 e alto 23), così battezzato dal Caravaggio durante un suo viaggio a Siracusa nel 1608, e la Grotta dei Cordari, così chiamata perché grazie alla propria lunghezza e alla presenza dell'acqua ha ospitato i cordari, ovvero i fabbricanti di corde.

Una galleria recente mette in comunicazione la latomia del Paradiso con quella dell'Intagliatella, dalla quale si passa a quella di Santa Venera, le cui pareti sono ricoperte di nicchie votive di età ellenistica dedicate ai defunti eroizzati, nella cui parte superficiale è stata poi scavata una necropoli romana, la Necropoli Grotticelle. é oggi ricca di vegetazione sub-tropicale fra cui spicca un secolare "ficus delle pagode".



Figura 3 - Stampe che raffigurano l'Orecchio di Dionisio, le Latomie dei Cappuccini e del Paradiso¹²



Figura 4 - Foto di oggi¹³

Fra le altre latomie si ricordano ancora, sul lato nord-ovest di Acradina, la gola del Cozzo del Romito e la cava di S. Bonagia, quest'ultima profonda più di 50 m e con una gradinata di epoca greca scavata su un lato¹⁴. Per quanto riguarda le altre, alcuni siti sono stati coperti da costruzioni contemporanee quali la chiesa della Madonna delle Lacrime, il museo

¹² In ordine da sinistra a destra: Jacques Joseph Coiny, *Vue de l'entrée d'une des Lathomies de Syracuse appelléevulgairement l'Oreille de Denys*, acquaforte e bulino, 201x251; Jacques Joseph Coiny, *Vue d'une des anciennes Lathomies ou Carrieres de Syracuse formant au jourd'hui le jardin des Capucins*, acquaforte e bulino, 247x370, Jean Houel, *Vue de la Latomie appellée le Paradise*, acquatinta e sanguigna, 262x380, tratti da Barbera G., Gallo F. (a cura di), *op. cit.*, p. 117,118 e 131.

¹³ Foto di Elisabetta Portuesi.

¹⁴ F.S. Cavallari, A. Holm, *op. cit.*, p. 33 e 39.

Paolo Orsi e l'Ospedale Umberto I, lo stesso vale per quelle del IV sec. a.C. trovate nei quartieri di Scala Greca, Mazzarrona e Santa Panagia¹⁵.

Ulteriori cave, fra quelle più antiche, si trovavano lungo il margine orientale di Ortigia, presso l'imbarcadero di Santa Lucia, in contrada Targia (dove sono ancora visibili la sovrapposizione di tombe e alcuni blocchi squadrati lasciati *in situ*), nella Penisola della Maddalena¹⁶ e presso il Plemmirio (dove si estraeva la cosiddetta "Pietra Giuggiulena" oggi estratta a Caltanissetta)¹⁷



Figura 5 - Cave in c.da Targia, in via Capo Murro di Porco e alla Maddalena vicino al Minareto. Pietra Giuggiulena di Caltanissetta

Cavallari e Holm nel 1883 ci forniscono un calcolo approssimativo della cubatura della pietra estratta da queste latomie in epoca greca, dando così un'idea della quantità di edifici che furono costruiti sino ad allora a Siracusa con la pietra cavata in questi luoghi:

Latomia del Paradiso: 850.000 mc, Latomia dei Cappuccini: 850.000 mc, Latomia Santa Venera: 700.000 mc, Latomia Broggi e Casale: 450.000 mc, latomie della Penisola della Maddalena: 650.000 mc, latomie della R. Corte, di S. Benante, S. Maria di Gesù, Adamo, S. Giuliano, Cozzo del

¹⁵ Cfr. V. Fiore, 2008, *op. cit.*, p. 25, 55 e 275.

¹⁶ Le cave documentabili presso la Penisola della Maddalena sono almeno due: una in sottoterraneo e una in superficie, quest'ultima localizzata vicino al villaggio turistico Minareto dove sono ancora oggi individuabili le sagome dei blocchi squadrati.

¹⁷ L. Guzzardi, "Osservazioni sulle latomie della Sicilia sud-orientale: dalla documentazione alle attività di conservazione e manutenzione", in Fiore V., 2008, *op. cit.*, p. 55-58.

Romito, grotte e altre minori: 1.200.000 mc, per un totale di 4.700.000 mc di pietra, di cui 400.000 utilizzati per la costruzione dei templi e degli edifici pubblici¹⁸.

Al di fuori del territorio comunale, altre tredici latomie di superficie, di età greca, sono state localizzate nella zona costiera di Brucoli (fra Punta Castelluccio e Punta Tonnara), le cui pietre vennero forse usate anche per Leontinoi. Da Eloro fino a Marzamemi si trovano latomie greche di varie tipologie che furono usate per le fortificazioni e i principali edifici pubblici di Siracusa. Ulteriori latomie sono quelle di Megara Hiblaea, i cui conci furono usati in età greca arcaica, quelle di Melilli, per le quali non vi è certezza sull'epoca di utilizzo, e quelle che si trovano a Lentini lungo le pendici del colle Metapiccola¹⁹.

Una cava particolarmente interessante per dimensione e tipologia è la "Pirrera" di Melilli, situata in c.da Barriera, abbandonata nei primi anni '60. In un saggio manoscritto su Melilli, databile intorno al 1940, la prof.ssa Teresa Pagano scrive: «Rinomata è la pietra bianca calcare di Melilli, per decorazioni architettoniche gareggia col marmo di Carrara [...] Ogni anno si estraggono da questa cava approssimativamente metri cubi 1152 che si esportano a Siracusa, Catania, Messina e Malta»²⁰.

Dopo il terremoto del 1693 si esplicita la distinzione fra la pietra da usare per la muratura e quella da intaglio: la prima veniva estratta direttamente dal sottosuolo di Ortigia (documenti attestano ciò per la Chiesa di S. Giuseppe e per il seminario Arcivescovile) e da "pirrere" nei dintorni di Siracusa; la seconda veniva cavata preferibilmente nella Penisola della Maddalena. Solo per Palazzo Beneventano abbiamo un documento del 1779 che cita la pietra estratta presso Cassibile²¹.

CAVE NEL
TERRITORIO
COMUNALE

6.2 LE CAVE CONTEMPORANEE

Le cave censite attualmente nella provincia di Siracusa sono 118, di cui 71 quelle dismesse, poiché con autorizzazione scaduta, decaduta o cessata, e 47 quelle attive. Di queste 12 sono a Noto, 7 a Lentini, 7 a Priolo Gargallo, 5 a Melilli, 5 ad Augusta, 3 a Sortino, 2 a Cassaro, 1 rispettivamente a Palazzolo Acreide, Rosolini, Solarino, Carlentini, Canicattini Bagni e Pachino. Una cava ormai inattiva ma che in epoca moderna ha fornito una pietra più resistente e gialla si trova a Villasmundo.

LE CAVE ATTIVE

¹⁸ F.S. Cavallari, A. Holm, *op. cit.*, p. 41.

¹⁹ L. Guzzardi, *op. cit.*, p. 51-52.

²⁰ Marchese S., *La pietra bianca di Melilli: le pirrere di S. Antonio*, [S.L.; s.n; s.d.], Sortino.

²¹ Piano Cave, Schema di Piano dei Materiali lapidei di Pregio, *Studi di dettaglio e caratterizzazione geolitologico-tecnica delle aree estrattive*, vol. 8, p. 13, tratto da <http://www.regione.sicilia.it/...>, *cit.* (il 19/07/2010).

I MATERIALI LAPIDEI TRADIZIONALI NELL'ARCHITETTURA CONTEMPORANEA. LA PIETRA DI SIRACUSA

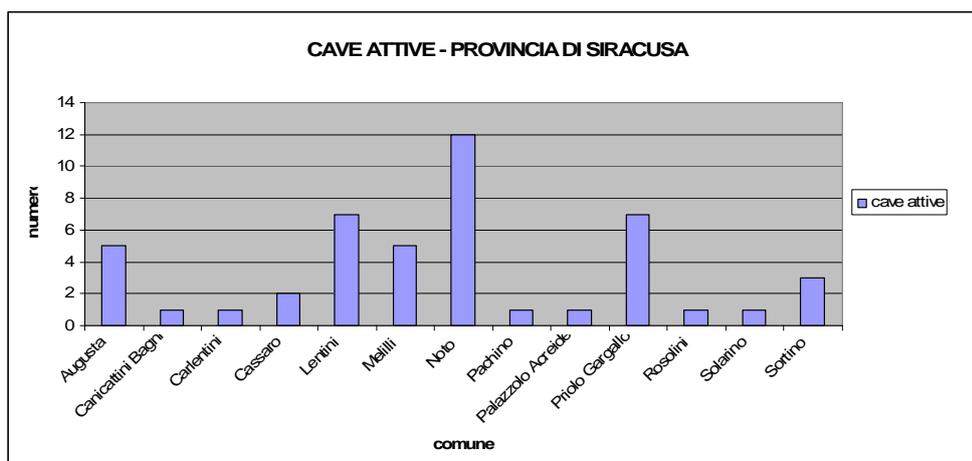


Figura 6 - Distribuzione delle cave attive per comune nella provincia di Siracusa

Di seguito si riportano alcune tabelle tratte dal Piano Cave della Regione Sicilia²² che mostrano i dati degli ultimi anni sulla distribuzione delle cave per provincia (tab. 1), sul numero di cave in funzione del materiale estratto (tab. 2) e sulla produzione annuale in tonnellate per tipologia di materiale estratto e per provincia (tab. 3).

Province	Anni									
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
Agrigento	56	67	67	75	77	70	81	73	67	
Caltanissetta	45	46	49	53	57	56	55	53	47	
Catania	83	84	84	79	88	89	91	90	87	
Enna	46	52	51	57	54	56	58	58	52	
Messina	52	52	51	54	52	52	48	47	44	
Palermo	61	54	54	55	53	54	54	57	56	
Ragusa	25	26	28	35	37	39	43	44	46	
Siracusa	47	46	49	51	50	49	48	51	49	
Trapani	107	100	110	127	119	115	114	110	112	
Totale	522	527	543	586	587	580	592	583	560	

Tabella 1 - Numero di cave attive in Sicilia dal 2000 al 2008 (Fonte: Assessorato regionale Industria, Dipartimento dell'industria e miniere (CO.RE.MI))

Tipologia di materiale	Province										Sicilia
	AG	CL	CT	EN	ME	PA	RG	SR	TP		
Calcare e marna	41	24	10	14	13	39	26	31	35	233	
Argilla	4	4	6	3	5	5	2	1	1	31	
Marmo	0	0	0	0	5	5	0	0	70	80	
Metamorfiti	0	0	0	0	4	0	0	0	0	4	
Lava	0	0	48	0	0	0	0	1	1	50	
Tufo vulcanico	0	0	10	0	0	0	0	0	0	10	
Rosticci di zolfo	7	3	0	1	0	0	0	0	0	11	
Sabbia e ghiaia	12	12	3	24	7	4	14	2	4	82	
Arenaria, calcarenite e tufo calcareo	1	1	6	5	1	0	4	13	0	31	
Quarzarenite	0	0	0	5	9	1	0	0	0	15	
Gesso	2	3	4	0	0	2	0	1	1	13	
Totale	67	47	87	52	44	56	46	49	112	560	

Tabella 2 - Numero di cave in esercizio al 2008 in funzione del materiale estratto (Fonte: Assessorato regionale Industria, Dipartimento dell'industria e miniere (CO.RE.MI))

²² Piano Cave, *Rapporto ambientale*, in Proposta dei "Piani regionali dei materiali da cava e dei materiali lapidei di pregio", tratto da <http://www.regione.sicilia.it/industria/...>, cit. (il 19/07/2010).

Tipologia di materiale	Produzione annuale (tonnellate) *									Totale
	AG	CL	CT	EN	ME	PA	RG	SR	TP	
Marmo bianco			0		0	12.478	0	0	472.594	485.072
Marmo colorato	0	0	0		2.033	44531	0	0	0	46.564
Arenaria, Tufo calcareo e Calcarenite	78.470	19.135	480.422	39.878	4.600	0	117.000	78.608	0	818.113
Calcare e Marna	2.163.377	553.949	268.200	193.790	1.644.494	1.952.560	1.639.749	3.178.829	1.886.621	13.481.569
Gesso	59.361	58.275	150.794	0	0	58.057	0	0	57.897	384.384
Lava			3.382.157		0	0	0	1.231.279	0	4.613.436
Argilla	85.400	12.000	48.300	84.061	187.752	323.352	297.618	385.537	0	1.424.020
Sabbie silicee	0	0	42000	0	0	5.049	257.100	84.180	0	388.329
Sabbie calcaree, rosticci e conglomerati	193.270	203.468	55.300	198.450	547.669	554.774	116.750	180.358	427.823	2.477.862
Tufo vulcanico	0	0	211.917	0	0	0	0	0	0	211.917
Quarzarenite	0	0	0	21570	34.219	0	0	0	0	55.789
Gneiss			0		170.200	0	0	0	0	170.200
Totale	2.579.878	846.827	4.639.090	537.749	2.590.967	2.950.801	2.428.217	5.138.791	2.844.935	24.557.255

Tabella 3 – Produzione annuale dei materiali di cava dal 2008 (Fonte: Assessorato regionale Industria, Dipartimento dell'industria e miniere (CO.RE.MI))

Si vede come, attualmente, l'estrazione delle calcareniti siracusane costituisce una realtà economica di discreto interesse sia per la relativa abbondanza e varietà, sia perchè si prestano ad essere facilmente lavorate (in rari casi anche levigate e lucidate) e riutilizzate per il restauro dei centri storici. L'area della provincia di Siracusa è inoltre particolarmente adatta per l'estrazione di calcare da calce, in quanto il contenuto di CaCO_3 supera il 95% e spesso raggiunge il 98%; mentre nell'area tra Melilli, Priolo e Augusta le formazioni calcarenitiche più tenere e bianche, spesso non utilizzabili ai fini costruttivi, vengono impiegate per produrre sabbie molto fini per intonaco, malta e calcestruzzo²³.

Le cave dove attualmente si forniscono le aziende siracusane per comprare pietra ai fini costruttivi-decorativi sono a Priolo, Noto e Palazzolo; tutte le altre cave della provincia sfruttano la pietra cavata a fini industriali (per produrre pietrisco, calce, calcestruzzo o intonaco) oppure sono troppo distanti rispetto al bacino d'utenza, per cui le singole aziende si riforniscono presso le cave più vicine²⁴.

Grazie agli studi del piano Cave sono state analizzate le aree di primo interesse e individuate le aree dove è possibile l'estrazione in futuro. In particolare sono state delimitate «n. 116 aree denominate di 1 Livello (*in cui individuare veri e propri poli industriali*), n. 91 di 2 Livello (*in genere di minore potenzialità estrattiva rispetto a quelle di primo livello, ma necessarie per garantire la presenza uniforme di materiale sul territorio*), n. 30 di Riserva (*in cui attivare le coltivazioni man mano che si esauriscono le potenzialità dei giacimenti delle varie attività estrattive, ovvero per particolari esigenze di mercato*) e n. 48 di Recupero (*aree degradate e da*

²³ Piano Cave, *Aspetti tecnico-minerari ed ambientali*, in Schema di Piano dei Materiali di cava, Vol. 6A, pp. 32-33, tratto da [http://www.regione.sicilia.it/industria/...](http://www.regione.sicilia.it/industria/), cit. (il 14/06/2010).

²⁴ Ci si riferisce alle cave Mostringiano-SICS a Priolo e Camelio-Bagnato a Palazzolo, informazioni fornite dalla "Fiorito marmi s.r.l." di Siracusa e dalla "Oddo Marmi" di Lentini.

sottoporre a specifici studi di dettaglio e redazioni di recupero, anche attraverso il riutilizzo produttivo)»²⁵

Di seguito si riporta un elenco delle cave attive più prossime al bacino di utenza di Siracusa, indicante l'ubicazione (comune di appartenenza e località), il tipo di materiale estratto, la denominazione della cava, il suo esercente, la posizione sulla carta dell'IGM 1:25000 e l'area di piano corrispondente. Tali aree sono individuate nella rielaborazione successiva (fig. 7), estratta dal Piano Cave e divise in funzione delle previsioni del Piano stesso.

Si riporta anche una planimetria con l'individuazione delle principali cave antiche e contemporanee del territorio comunale di Siracusa (fig. 8).

²⁵ Piano Cave, *Valutazione ambientale strategica degli schemi del piano dei materiali di cava e dei materiali lapidei di pregio. Rapporto preliminare*. Palermo, luglio 2008, p. 8, tratto da <http://www.regione.sicilia.it/industria/...>, cit. (il 14/06/2010).

N.cava	Comune	Località	Materiale	Denominazione	Esercente	IGM	Area di Piano
1	Melilli	Cugno di Rio	Calcare	Cugno di Rio-Buzzi UNICBM	BUZZI UNICBM S.p.A.	274 IV SE	SR06.I
2	Melilli	Palombara	Calcare	Palombara-Mnoi C.1	Mnoi Carmelo	274 IV SE	R.SR.26
3	Melilli	Palombara	Calcare	Palombara-G.M.	Società G.M. s.r.l.	274 IV SE	R.SR.26
4	Melilli	Petraro	Calcare	Petraro S. Giuliano-F.M.T.	F.M.T. s.r.l.	274 IV NE	SR04.I
5	Melilli	Petraro	Calcare	Petraro S. Giuliano-Coco 2	Coco Maurizio	274 IV NE	SR04.I
6	Noto-Cassibile	Cavasecca	Calcare	Cavasecca-granulati Cavasecca	Granulati Cavasecca	274 III SE	SR13.II
7	Noto-Siracusa	Spinagallo	Calcare	Spinagallo-Cavasecca-Siped	S.I.P.ED.di Guglielmino V&C.	274 IV NE	/
8	Noto	Porcari	Calcarenite di pregio	Porcari-Denaro	Denaro Rosario	277 IV NO	SR07.I
9	Noto	Porcari	Calcarenite di pregio	Porcari-Tolentino	Società Tolentino s.r.l.	277 IV NO	/
10	Noto	Porcari	Calcarenite di pregio	Porcari-Blok Service S.r.l.	Blok Service S.r.l.	277 IV NO	/
11	Noto	Porcari	Calcarenite di pregio	Porcari-Edicava	Edicava di Scordia C.&C. S.a.s.	277 IV NO	SR07.I
12	Palazzo Acreide	Camello	Calcarenite	Camello-Bagnato S.a.s.	Bagnato di Bagnato Domenico e Zizzo Giuseppe S.a.s.	273 II SE	SR11.II
13	Prilo Gargallo	Feudo Priolo	Calcare	Ex Feudo Priolo-CON.PRI.	CON.PRI. S.r.l.	274 III NE	/
14	Prilo Gargallo	Grottone	Calcare	Grottone Misseri C.	Misseri Carmelo	274 III NE	/
15	Prilo Gargallo	Mostingiano	Calcare	Mostingiano-L.I.S.A.	L.I.S.A. Lavori Inerti Salonia S.r.l.	274 III NE	R.SR.24
16	Prilo Gargallo	Mostingiano	Calcare	Mostingiano- SICS	SICS S.r.l.	274 III NE	R.SR.24
17	Prilo Gargallo	Palombara	Calcare	Palombara-Mnoi C.2	Mnoi Carmelo	274 IV SE	R.SR.26
18	Prilo Gargallo	Pasciuta di Sopra	Calcare	Pasciuta di Sopra-Fazzino	Fazzino	274 III NE	/
19	Solarino	Trigona	Calcare	Trigona-Europa New Entry	Europa New Entry S.r.l.	274 III NE	SR09.II

Tabella 4 – Le cave del bacino economico di Siracusa

I MATERIALI LAPIDEI TRADIZIONALI NELL'ARCHITETTURA CONTEMPORANEA. LA PIETRA DI SIRACUSA

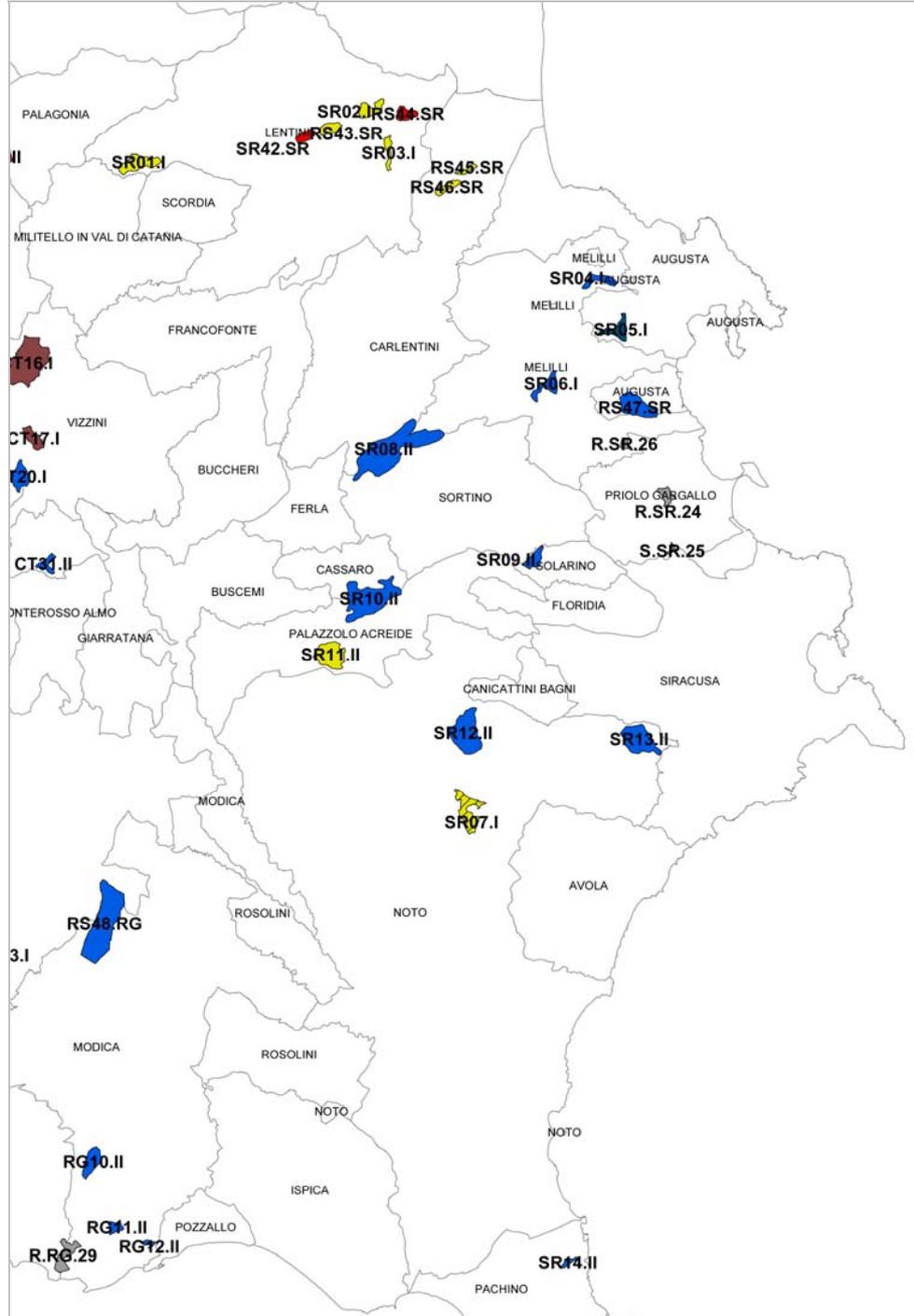
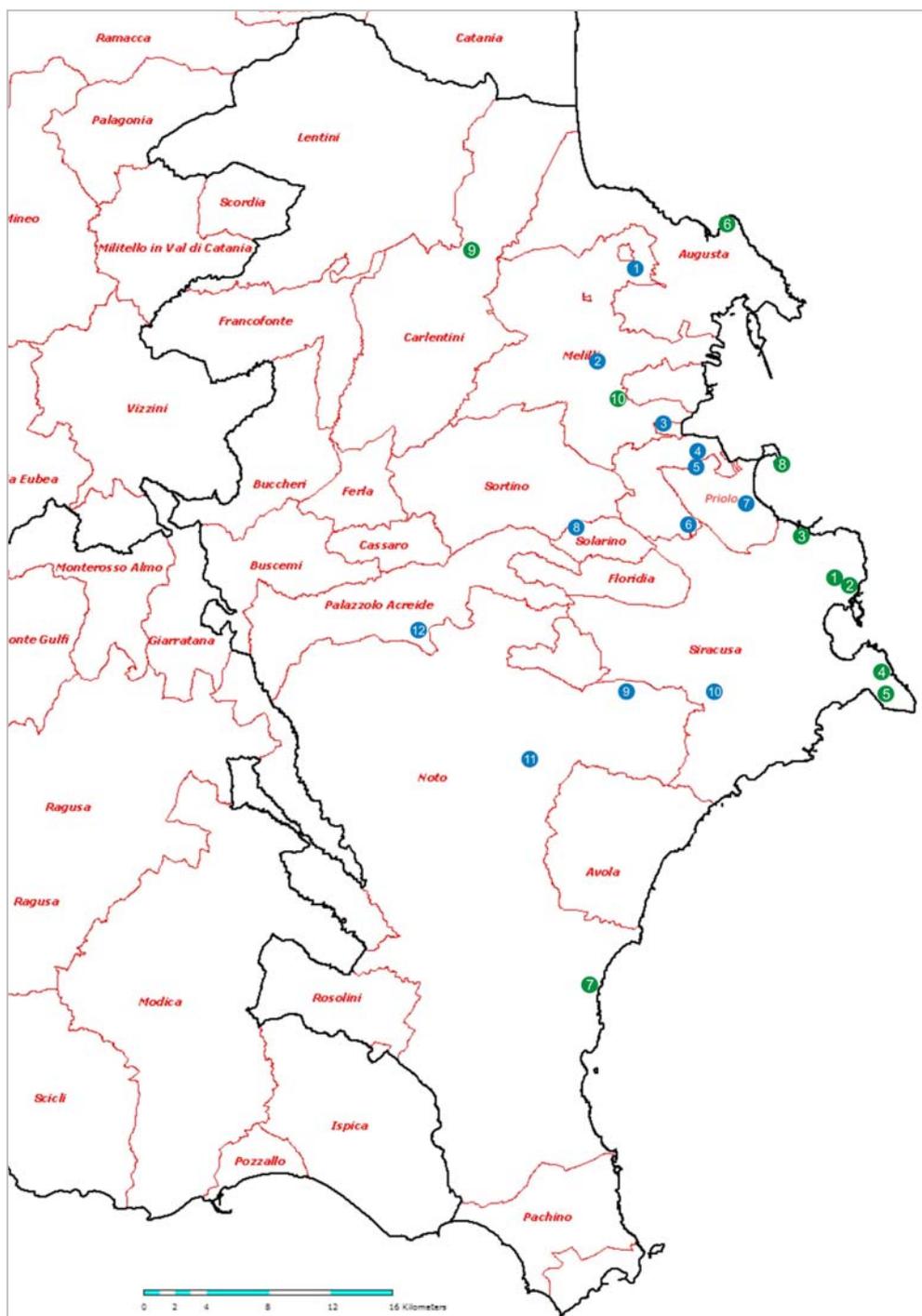


Figura 7 - Carta con l'ubicazione delle aree estrattive del Piano Cave



Legenda

- | | | | |
|----|------------------------|----|--------------------------|
| 1 | C.da Petraro | 12 | C.da Camelio |
| 2 | C.da Cugno di Rio | 1 | Latomie |
| 3 | C.da Palombara | 2 | Imbarcadero S.Lucia |
| 4 | C.da Mostringiano | 3 | C.da Targia |
| 5 | C.da Mostringiano | 4 | Penisola della Maddalena |
| 6 | C.da Grottone Misseri | 5 | Plemmirio |
| 7 | C.da Pasciuta di sopra | 6 | Brucoli |
| 8 | C.da Trigona | 7 | Costa di Noto |
| 9 | C.da Cavasecca | 8 | Megera Hiblea |
| 10 | C.da Spinagallo | 9 | Colle Metapiccola |
| 11 | C.da Porcari | 10 | Pirrerà di Melilli |

Figura 8 - Carta con ubicazione delle principali cave antiche e contemporanee di Siracusa

6.3 LE TIPOLOGIE DI CAVE

Le tipologie di cava rintracciate nel territorio in esame sono due: a cielo aperto e in sotterraneo.

LE CAVE A CIELO APERTO

Le cave a cielo aperto in fossa sono generalmente le più frequenti per la coltivazione della pietra calcarea mentre qui, per via dell'orografia dell'altopiano ibleo, sono le cave di monte le più utilizzate. Le cave in sotterraneo sono oggi scomparse ma ne troviamo numerosi esempi per quelle storiche.

Fra le cave storiche del siracusano le Latomie dei Cappuccini e la Grotta dei Cordari sono un tipico esempio di sistema di coltivazione in sotterraneo per camere e pilastri, l'Orecchio di Dionisio è una cava in pozzo; le latomie che si trovano fra Eloro e Marzamemi sono a cielo aperto, ad escavazione profonda, di superficie e ad anfiteatro²⁶.

Tipologia particolarmente interessante è quella della "Pirrera" di Melilli, definita nel gergo minerario cava "a ppilieri" (ovvero a pilastri) o "a ccelu copertu" (a cielo coperto), anche se in parte può definirsi a fronti lunghi. Questa è costituita da un sotterraneo con una lunga serie di corridoi scavati da nord a sud, addentrati nel monte per una profondità di quasi m 270, con pareti a picco e volte alte fino a m 26, pilastri mediamente di m 5x5, per un'estensione di circa kmq 2,5²⁷.

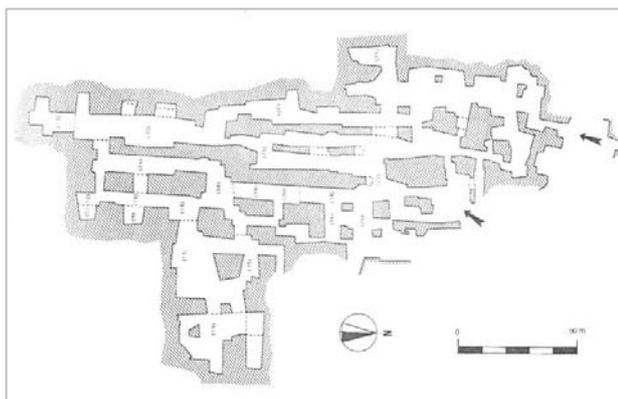
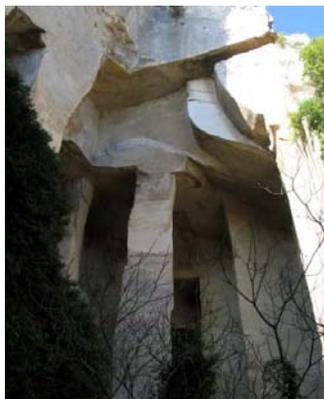


Figura 9 - Foto della Pirrera di Melilli e rielaborazione del rilievo del geom. S. Zimmitti (1951)

Oggi la tipologia di coltivazione più diffusa in Sicilia è quella a cielo aperto a gradoni, con fronti dall'altezza generalmente superiore ai 10 m, per motivi di rendimento dell'esplosivo e di controllabilità dei costi. Le cave in sotterraneo invece non esistono più; l'ultima a chiudere in corrispondenza

²⁶ L. Guzzardi, *op. cit.*, p. 51.

²⁷ Centro speleologico etneo, *Le grotte del territorio di Melilli*, Comune di Melilli, Melilli, 1998, pp. 71 e 80.

dell'emanazione della L.R. 127/80 è stata a Priolo, dove si estraevano conci di ottima calcarenite²⁸.

Fra le cave attualmente utilizzate nell'area in esame, quelle a Priolo e Melilli sono cave a mezza costa dalla tipica forma ad anfiteatro in cui sono visibili i grossi gradoni. La tipologia a fossa è utilizzata a Noto, Palazzolo e Lentini.



Figura 10 - Cava a fossa a Palazzolo (Bagnato) e cava a mezza costa a gradoni a Sortino



Figura 11 - Cave a mezza costa a gradoni nel territorio di Augusta e Melilli (scala 1:10.000)²⁹

²⁸ Piano Cave, *Aspetti tecnico-minerari ed ambientali*, in Schema di Piano dei Materiali di cava, Vol. 6B, *op. cit.*, p. 42.

²⁹ Immagini tratte dal sito della Regione Siciliana <http://88.53.214.52/webgisportal/> (il 03/08/2010)

6.4 LE TECNICHE DI ESTRAZIONE, LA LAVORAZIONE IN CAVA E IL TRASPORTO

TECNICHE MANUALI

Anticamente le tecniche di escavazione erano manuali; nelle cave storiche della Sicilia sud-orientale è possibile infatti osservare i segni di cunei e scalpelli con punta affilata o a taglio largo.

Quando si trattava di cave in sotterraneo la tecnica di estrazione consisteva nella creazione di un pozzo di accesso verticale fino ad intercettare lo strato lapideo utile. Dal fondo del pozzo si aprivano le gallerie a colpi di piccone alla ricerca della pietra migliore.

Per quanto riguarda le latomie monumentali di Siracusa la tecnica di estrazione è pressoché uniforme (motivo per il quale è stato spesso difficile stabilire quali fossero le più antiche): «le pareti sono generalmente tagliate a picco ed arrivano a smisurate altezze; talvolta si osservano vaste gallerie sotterranee, sostenute da robusti piloni, che fanno parte della stessa rupe, ma queste particolarmente si osservano scavate laddove cambia la natura dei tufi, e sembra che gli scavatori internandosi in esse cercassero gruppi di tufi di migliore qualità»³⁰.

Nelle cave di Eloro e Marzamemi si notano anche tracce della tecnica a *pointillé* (ovvero a piccoli fori contigui), alternativa all'uso dei cunei³¹.

In alcuni casi, inoltre, per pareti di una certa altezza, i blocchi venivano imbracati tramite corde (e forse tramite tenoni, tenaglie e olivelle), sollevati e calati a terra tramite carrucole³².

Il trasporto del materiale cavato avveniva via mare per le latomie costiere e tramite carri trainati da buoi per quelle più interne³³.

Informazioni più dettagliate abbiamo sulla pietra cavata nella "Pirrera" di Melilli: grazie all'ausilio di piccoli ponteggi, veniva sagomata sulle pareti a colpi di piccone e staccata tramite cunei di legno e mazze dai "pirriatori" o "cavatori"; veniva raccolta all'esterno e sagomata in blocchi che, squadrati a taglio nelle sei facciate da "intagliatori" in base alle esigenze, venivano trasportati tramite carri o, più recentemente, raggiungevano per mezzo di "carramatti" trainati da cavalli la stazione ferroviaria Melilli-Priolo, per essere esportati a Messina e forse anche oltre lo stretto. Dopo la seconda guerra mondiale, gli "intagli" sbozzati in cava nelle dimensioni richieste dai committenti, arrivavano nei vari cantieri di Melilli su muli³⁴.

³⁰ F.S. Cavallari, A. Holm, *op. cit.*, p. 42.

³¹ L. Guzzardi, *op. cit.*, p. 51-52.

³² Questa tecnica veniva usata ad esempio per l'orecchio di Dionisio, come si può vedere da una delle stampe riportata in fig. 3 ovvero: Jacques Joseph Coiny, *Vue de l'entrée d'une des Lathomies de Syracuse appelléevulgairement l'Oreille de Denys*, acquaforte e bulino, 201x251.

³³ L. Guzzardi, *op. cit.*, p. 52.

³⁴ Tratto da <http://www.cutgana.it/melilli/pirrera.htm> (il 19/07/2010)

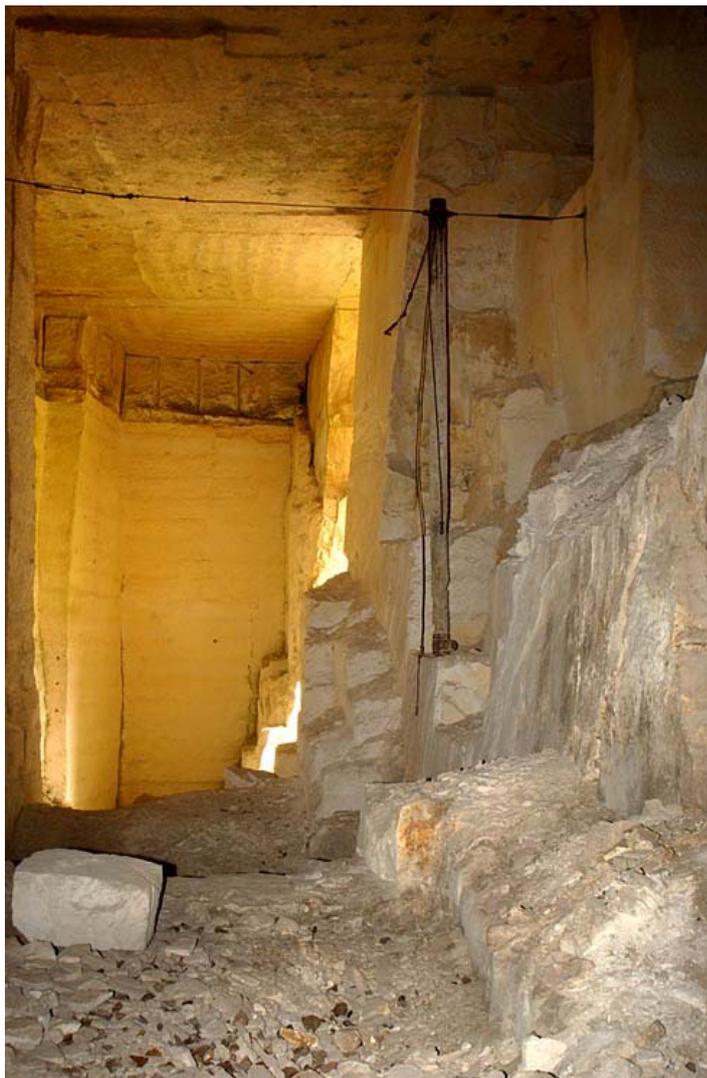


Figura 12 - Interno della Pirra

Oggi la pietra cavata è per la maggior parte dei casi destinata alla frantumazione per ottenere pietrisco o aggregati di varia granulometria per il confezionamento di malte, calcestruzzi e conglomerati bituminosi, oltre che per la produzione di calce e intonaco. Di conseguenza le tecniche di estrazione utilizzate più di frequente sono quelle tramite esplosivo o escavatore e non prevedono l'estrazione di blocchi squadrati ma informi; solo presso le cave di Palazzolo, Noto e Lentini le pietre vengono estratte in blocchi tramite mezzi meccanici prima di essere portate, per mezzo di camion, alle industrie per le lavorazioni finali.

**LE TECNICHE DI
ESTRAZIONE**



Figura 13 - Pietra informe da una cava di Priolo (SICS) e squadrata dalla cava di Palazzolo (Bagnato)³⁵.

In generale, prima dell'estrazione vera e propria, la fase più onerosa consiste nella rimozione del “cappellaccio”, ovvero dello strato di copertura del giacimento che non è utilizzabile e che può arrivare addirittura oltre i m 20, comprendendo anche il terreno agrario e lo strato sabbioso sciolto. Questo viene accumulato in un'area adiacente, generalmente ai piedi del piazzale ricavato dalla sua asportazione.



Figura 14 - I blocchi squadrati con i segni visibili dei dischi e il pietrisco (cava Bagnato)

Successivamente si procede all'estrazione tramite esplosivo o macchine tagliatrici. In quest'ultimo caso l'area di coltivazione viene divisa in pannelli rettangolari contigui, la cui lunghezza dipende da quella del binario su cui scorrono le macchine da taglio. I pannelli vengono coltivati per fette orizzontali discendenti, dello spessore uguale a quello dei blocchi che si devono ottenere; possono poi essere interessati da un doppio taglio verticale, eseguito con la cosiddetta troncatrice, anch'essa su binari e munita di una coppia di dischi a distanza regolabile; si ha infine l'ultimo taglio orizzontale dei blocchi tramite il disco orizzontale della “scippatrice”. Prima di iniziare il taglio della fetta successiva, i blocchi vengono messi su una pala gommata e, da questa, sugli autocarri che li trasportano presso la

³⁵ Foto scattate per gentile concessione presso la “Fiorito marmi srl” di Siracusa.

successiva utenza. Nei casi più evoluti i blocchetti vengono poggiati su pallet di legno e movimentati tramite elevatori a forcella³⁶.

6.5 LE CAVE DI PRIOLO, NOTO E PALAZZOLO

Come già detto non tutte le cave del siracusano producono materiale lapideo a fini costruttivi e decorativi, ma la maggior parte macina la pietra per produrre pietrisco, intonaco, malta e cemento. Tra le cave quelle che forniscono il materiale da costruzione a Siracusa sono la cava Mostringiano-SICS di Priolo, le cave di Noto in contrada Porcari e la cava Camelio-Bagnato a Palazzolo.

In generale possiamo dire che il bacino economico del comune di Siracusa ricade all'interno di un'area che va da Melilli a Noto, coincidendo con quella che era la zona in cui si estraeva la maggior parte della pietra usata negli edifici storici del siracusano.

I sistemi di coltivazione utilizzati sono quelli a mezza costa e in fossa, scelta che dipende dal tipo di giacimento, dall'estensione dell'area a disposizione e dalla diversificazione degli strati geologici che si trovano scavando dall'alto verso il basso. I mezzi di sbancamento utilizzati sono in prevalenza quelli meccanici; le cave in cui si usa anche l'esplosivo estraggono solo materiale destinato alla frantumazione.

Di seguito si riporta una tabella che riassume i dati più significativi sulle cave attive più influenti sul bacino economico di Siracusa³⁷ e le schede di approfondimento delle cave di Priolo, Noto e Palazzolo, oggetto del campionamento per le indagini di laboratorio.

³⁶ Piano Cave, *Aspetti tecnico-minerari ed ambientali*, in Schema di Piano dei Materiali di cava, Vol. 6A, *op. cit.*, pp. 40-42.

³⁷ Dati tratti da sopralluoghi e da Piano Cave, Vol. 2 alleg. 1.2, *op. cit.*, pp. 360-394.

I MATERIALI LAPIDEI TRADIZIONALI NELL'ARCHITETTURA CONTEMPORANEA. LA PIETRA DI SIRACUSA

Cava	Comune	Denominazione	Sistema di coltivazione	Gradoni (hxl)	Mezzi di sbancamento
1	Melilli	Cugno di Rio-Buzzi UNICEM	a mezza costa	16x23 m	mezzi meccanici, esplosivo
2	Melilli	Palombara-Vinci C.1	a mezza costa	10x5 m	mezzi meccanici, esplosivo
3	Melilli	Palombara-G.M.	a mezza costa	si	mezzi meccanici, esplosivo
4	Melilli	Petraro S.Giuliano-F.M.T.	a mezza costa	17x5 m	mezzi meccanici, esplosivo
5	Melilli	Petraro S.Giuliano-Coco 2	a mezza costa	14x4 m	mezzi meccanici, esplosivo
6	Noto-Cassibile	Cavasecca-granulati Cavasecca	a fossa	no	mezzi meccanici, esplosivo
7	Noto-Siracusa	Spinagallo-Cavasecca-Siped	a mezza costa	13x4 m	mezzi meccanici, esplosivo
8	Noto	Porcari-Denaro	a fossa	15x16 m	mezzi meccanici
9	Noto	Porcari-Tolentino	a fossa	variabili	mezzi meccanici
10	Noto	Porcari-Blok Service S.r.l.	a fossa	-	mezzi meccanici
11	Noto	Porcari-Edilcava	a fossa	-	mezzi meccanici
12	Palazzolo Acreide	Camelio-Bagnato S.a.s.	a fossa	no	mezzi meccanici
13	Priolo Gargallo	Ex Feudo Priolo-CON.PRI.	a mezza costa	7x4 m	mezzi meccanici, esplosivo
14	Priolo Gargallo	Grottone Misseri C.	a mezza costa	-	mezzi meccanici, esplosivo
15	Priolo Gargallo	Mostringiano-L.I.S.A.	a mezza costa	8x5 m	mezzi meccanici, esplosivo
16	Priolo Gargallo	Mostringiano-SICS	a mezza costa	20x20 m	mezzi meccanici, esplosivo
17	Priolo Gargallo	Palombara-Vinci C.2	a mezza costa	10x20 m	mezzi meccanici, esplosivo
18	Priolo Gargallo	Pasciuta di Sopra-F.M.G.	a mezza costa	-	mezzi meccanici, esplosivo
19	Solarino	Trigona-Europa New Entry	a mezza costa	10x10 m	mezzi meccanici

Tabella 5 – Le principali cave attive in provincia di Siracusa

CAVA SICS – PRIOLO GARGALLO

Denominazione cava: Mostringiano-SICS

Località: contrada Mostringiano, Priolo Gargallo

Posizione IGM: 274 III NE

Esercente: SICS s.r.l

Anno apertura: anni '60



Tipologia di cava: a cielo aperto a mezza costa.

Tipo di coltivazione: la coltivazione avviene a gradoni per un totale di 3 gradoni da m 20x20(h) e m 20x10 circa, con abbassamento di m 50 rispetto al piano di campagna.



Vista d'insieme della cava



Il gradone superiore

Tecnica di estrazione: l'estrazione avviene grazie all'uso di esplosivo, per abbattere grosse fette di roccia, e attraverso l'uso di mezzi meccanici per estrazioni di entità ridotta o per dividere la fetta di roccia in pezzi più piccoli.

Mezzi meccanici utilizzati: perforatrice cingolata ed escavatore Caterpillar cingolato.



La macchina perforatrice



L'escavatore cingolato Caterpillar



Il gradone superiore e quello intermedio

Dimensione blocchi: informi, da riquadrare in azienda.

Utilizzo della pietra: parte della pietra viene prelevata dalle aziende del settore, lavorata e utilizzata per strutture portanti, rivestimenti, pavimentazioni ecc. Il resto rimane in cava per la produzione di inerti per conglomerati cementizi e bituminosi, ghiaia, sabbia, malta e intonaco. La cava è provvista di impianto di macinazione e lavaggio degli inerti e dell'impianto produzione dei conglomerati.



I blocchi informi sul piazzale dopo l'estrazione



I cumuli di sabbia e l'impianto per la produzione del conglomerato



Lavaggio degli inerti

CAVA TOLENTINO – NOTO

Denominazione cava: Porcari-Tolentino

Località: contrada Porcari, Noto

Posizione IGM: 277 IV NO

Esercente: società Tolentino s.r.l

Anno apertura: 1960



Tipologia di cava: a cielo aperto in fossa.

Tipo di coltivazione: la coltivazione avviene per fette orizzontali discendenti lungo i diversi fronti di cava. In questo modo il livello della cava si abbassa per fette progressive e parallele che fungono anche da piazzale di lavorazione e movimentazione dei carichi di pietra. I fronti con difetti strutturali vengono abbandonati.



Vista d'insieme di due dei fronti della cava



Taglio dei blocchetti da una fetta orizzontale



Parte di fronte difettoso

Tecnica di estrazione: le fette vengono interessate da un doppio ordine di tagli verticali, in funzione delle dimensioni da dare ai blocchi, e poi da un taglio orizzontale necessario per staccare il blocco dalla fetta.

Mezzi meccanici utilizzati: frese tagliatrici monolama a disco diamantato a taglio verticale e orizzontale; escavatori cingolati.



Il terzo fronte, l'ingresso alla cava e l'escavatore cingolato



Le frese tagliatrici a taglio orizzontale e verticale

Dimensione blocchi: le dimensioni dei blocchi sono variabili, solo l'altezza di quelli più piccoli è costante. Per cui è possibile avere blocchi da cm 38 (50)x17(h)x19 (22/24/30 ecc) o da cm 160x60 (80 ecc) x70 (60 ecc), in funzione dell'uso che se ne deve fare.

Utilizzo della pietra: la pietra viene prelevata dalle aziende del settore, lavorata e utilizzata per strutture portanti, rivestimenti, pavimentazioni ecc.



I blocchi sul piazzale dopo l'estrazione



I blocchi più piccoli sul piazzale della cava I blocchi grandi e piccoli sul piazzale di un'azienda



CAVA BAGNATO – PALAZZOLO ACREIDE

Denominazione cava: Camelio-Bagnato s.a.s.

Località: contrada Camelio, Palazzolo Acreide

Posizione IGM: 273 II SE

Esercente: Bagnato di Bagnato Domenico e Zizzo Giuseppe s.a.s.

Anno apertura: 1960



Tipologia di cava: a cielo aperto in fossa.

Tipo di coltivazione: per fette verticali di spessore variabile in funzione della profondità dei blocchi.



Viste d'insieme della cava



I blocchi nel piazzale superiore

Tecnica di estrazione: l'estrazione avviene grazie ad una macchina tagliatrice con un disco di m 1,30 di diametro; segue il distacco del blocco in orizzontale, il tutto previa rimozione del cappellaccio.

Mezzi meccanici utilizzati: frese tagliatrici a disco con denti di vidia; escavatore cingolato.



Il cappellaccio dopo la rimozione



La fresa tagliatrice a disco verticale



L'escavatore cingolato e la macinazione degli scarti

Dimensione blocchi: cm 220x60 (h)x 40 (50/60/70 ecc).

Utilizzo della pietra: parte della pietra viene prelevata dalle aziende del settore, lavorate e utilizzate per strutture portanti, rivestimenti, pavimentazioni ecc. Gli scarti di cava vengono macinati e usati per produrre pietrisco.

La cava è provvista dei macchinari per le lavorazioni finali della pietra.



I blocchi sul piazzale dopo l'estrazione



I cumuli di scarti di estrazione



Gli inerti dopo la macinazione degli scarti

6.6 LA LAVORAZIONE IN AZIENDA

Fin dal VII sec. a.C. sorsero e si svilupparono in Sicilia numerose botteghe nell'ambito del lavoro nelle cave e in quello della preparazione del materiale lapideo per l'edilizia, grazie ad un artigianato esperto e organizzato³⁸.

Oggi, per motivi economici e commerciali, l'uso della pietra, sia dal punto di vista costruttivo che decorativo, ha lasciato il posto al calcestruzzo armato. Sono quindi poche le aziende e gli artigiani che si occupano della lavorazione della pietra, se non per grossi lavori di restauro, pavimentazioni o pochi oggetti in stile classico.



Figura 15 – Alcuni dei manufatti eseguiti (ditta "Fiorito Marmi s.r.l." e "Arredo Italia" di Noto)

LA TAGLIATRICE In caso di lavorazione meccanica i principali macchinari usati sono la tagliatrice, la levigatrice e la bordatrice. La tagliatrice è a telaio monolama, in cui la lama esegue un movimento rettilineo multiassiale, ad alta velocità e irrorata dall'acqua durante la lavorazione per raffreddare il macchinario e pulirlo dai detriti. Serve principalmente per squadrare i blocchi o per ridurli in lastre dello spessore richiesto. È inoltre a controllo numerico ovvero collegata ad un computer che supporta anche programmi cad per poter eseguire incisioni e sagomature di qualsiasi tipo sulla pietra. Quando la pietra utilizzata (di Palazzolo, Noto e Priolo) viene tagliata in lastre, lo spessore minimo è di 2-3 cm.

LA LEVIGATRICE La levigatrice, utilizzata soprattutto per elementi decorativi, contiene dischi di varia granulometria che diventa decrescente via via che la pietra scorre sul nastro.

LA BORDATRICE La bordatrice permette di eseguire diverse lavorazioni sui bordi dei vari manufatti, quali alloggiamenti e scanalature.

³⁸ G. Pugliese Caratelli, *Sikanie. Storia e civiltà della Sicilia greca*, Garzanti, Milano, 1989, p. 435.

Altri piccoli macchinari permettono infine la rifinitura dei manufatti e i lavori di dettaglio, svolti più che altro manualmente.



Figura 16 - La macchina tagliatrice, la levigatrice, la bordatrice e le fasi di rifinitura (per gentile concessione della "Fiorito Marmi s.r.l.")

Le civiltà del Mediterraneo «hanno sviluppato, fin dalla più remota età, una concezione dell'architettura che sfrutta la durezza, la massa, l'indistruttibilità della pietra in grado di resistere nel tempo»¹; gli edifici storici di Siracusa, dall'epoca greca fino all'800, ne sono un esempio. Dalle opere monumentali, quali mura urbane, castelli, chiese e palazzi, fino all'edilizia minore, l'uso della pietra permane nel tempo, sia per le parti strutturali che per gli elementi di facciata. In generale l'edilizia storica maggiore è contraddistinta da una muratura più regolare, che sfrutta tecniche costruttive più raffinate fino ad arrivare all'«opera quadrata», con elementi di facciata di rilievo accostati a finiture in pietra e intonaco; mentre l'edilizia minore è caratterizzata da murature irregolari intonacate ed elementi architettonici in pietra irrilevanti.

In particolare fra '700 e '800 la regola dell'arte seguita nei cantieri per la corretta esecuzione della muratura² prevedeva di:

- creare corsi orizzontali piani o ripianamenti frequenti;
- evitare nei paramenti le pietre con facce inclinate verso l'esterno;
- sfalsare i giunti verticali lungo i paramenti;
- evitare allineamenti, verticali in sezione e longitudinali in pianta, inserendo pietre di punta (diatoni) che ammorsassero la muratura legando i due paramenti;
- disporre agli angoli, all'incrocio dei muri e lungo le spalle delle aperture, pietre più grosse, regolari e sfalsate, con lo scopo di dare alla muratura un comportamento scatolare;
- impiegare malta di ottima qualità per assicurare la stabilità della costruzione nel tempo.

La pietra usata era riconosciuta in due diverse tipologie, denominate «pietra bianca forte» e «pietra giuggiulena», rispettivamente una più chiara, compatta e resistente, una più gialla, porosa e tenera, ciascuna utilizzata in funzione delle proprie caratteristiche per le rifiniture o per le parti strutturali.

LA PIETRA

¹ A. Acocella, 2004, p. 43.

² cfr. *ibidem*, pp. 100-106; A. Giuffrè (a cura di), 1993, pp. 70-102.

LA MALTA La malta usata come legante fra le pietre era anch'essa di diversi tipi a seconda dell'utilizzo: a base di calce e sabbia di fiume ("arena di lavinara"), calce e sabbia di cava ("ciarera"), calce e polvere di pietra da taglio ("agli ara d'intagliatura"), quest'ultima usata per corsi sottili in murature di conci squadrati. Il rapporto fra le parti era generalmente di 1:2 o 3:10.

L'INTONACO L'intonaco tradizionale era costituito da tre strati (dall'interno verso l'esterno): la "scagliata", l'"arrizzata" e un ultimo strato composto da calce e gesso, all'interno, e da calce e polvere di pietra da taglio, colorata in pasta con pietre naturali, sul lato esterno. La malta dell'intonaco era costituita da calce e sabbia di cava, per l'esterno, o sabbia sottile di fiume, per gli interni, con un rapporto di 1:1 o 1:2³. Sono inoltre rilevabili intonaci a cocciopesto, cementizi, sintetici o con aggregati vulcanici, e altri tipi di rivestimento quali laterizi e ceramica, ma in generale prevale l'intonaco a base di calce⁴.

Le tecniche costruttive adoperate sono diverse in funzione sia dell'epoca di costruzione che dell'importanza della fabbrica; abbiamo quindi murature regolari costruite seguendo la cosiddetta "opera quadrata", murature irregolari con i paramenti in pietre sbozzate o grezze, murature listate e così via.

7.1 LA PIETRA IN CONCI: "L'OPERA QUADRATA" E GLI ELEMENTI ARCHITETTONICI

Questa tecnica costruttiva risale alla dominazione greca, dal periodo arcaico fino a quello ellenistico, ed è caratterizzata dall'uso, per l'intero spessore murario, di conci di pietra squadrati. Possono essere messi in opera in filari di altezze uguali (opera quadrata isodoma – scheda A), alternate (pseudoisodoma) o differenti (irregolare), spesso alternati "per testa e per taglio"⁵, senza l'uso della malta. Queste murature le ritroviamo in edifici come il Tempio di Apollo ad Ortigia e hanno la caratteristica di essere molto resistenti oltre che esteticamente raffinate.

Le pietre in conci squadrati vengono utilizzate anche dall'epoca barocca fino all'800 ma non più per l'intera muratura. Le troviamo sia per il paramento esterno dei più importanti edifici storici sia per gli elementi architettonici di tutti gli edifici. Quelli dell'edilizia minore di Ortigia presentano solo le mensole dei balconi, le cornici delle aperture e i cantonali alle estremità degli isolati realizzati con pietre in conci squadrati; per il resto della facciata prevale il rivestimento ad intonaco. Mentre gli

³ A. Giuffrè (a cura di), *op. cit.*, p. 70.

⁴ C.N.R., I.N.C.B.C., Comune di Siracusa, *Il Centro Storico di Ortigia. La conoscenza per la manutenzione*, vol. 1, cap. 2, p. 45 (pubblicazione multimediale su CD-Rom).

⁵ A. Acocella, *op. cit.*, pp. 58-68.

edifici di rilievo storico-artistico hanno anche i cornicioni, i cantonali e le lesene in pietra da taglio. Questi elementi sono inoltre riccamente lavorati in quanto usano blocchi «accuratamente rifiniti in opera e sottoposti a procedimenti analoghi a quelli della scultura»⁶.



Figura 1 – Paramento in via Del Collegio e portone in via Roma

Le aperture sono interamente circondate da pietra da taglio, con l'architrave esterno retto o ad arco, in sovrasquadro rispetto al filo del muro e con uno spessore di circa cm 20 che raramente raggiunge l'intero spessore murario. Le spalle sono costituite da grossi conci che entrano nella muratura alternativamente di fascia e di punta per creare un migliore ammorsamento, sia in profondità che lungo il paramento e sorreggono spesso un architrave interno ad arco ribassato (scheda B1).

I cantonali sono costituiti da conci posti in opera e sfalsati con regolarità, con una profondità minore di un terzo dello spessore murario e un'estensione in prospetto minore o uguale allo stesso.

Le mensole dei balconi e il concio di chiave delle aperture principali sono in molti casi delle vere e proprie sculture ricavate da un unico concio lapideo⁷ (scheda B2).

⁶ *Ibidem*, p. 59.

⁷ A. Giuffrè (a cura di), *op. cit.*, p. 77, 102 e segg..

7.2 LA PIETRA SBOZZATA: LA MURATURA IRREGOLARE

La muratura con paramenti lapidei irregolari è la tipologia che più frequentemente si trova nel centro storico di Siracusa, utilizzata per gli edifici dal periodo medioevale a quello moderno. Ha origine dal muro ad *émplekton*, ovvero a riempimento, usato in Grecia sin dall'epoca arcaica⁸, che consta di due paramenti esterni realizzati con pietre più o meno regolari, che fungono da rivestimento a forte spessore, e da un riempimento costituito da materiali meno pregiati (elementi lapidei di scarto, terra, argilla, pietrisco e malta).

Il fatto che siano murature irregolari non implica un'assenza di regole: tale tecnica segue infatti la regola dell'arte già esposta, presentando conci di pietra sbazzata con due facce pressoché piane, una per il letto di malta e una per il paramento a vista, corsi orizzontali, frequenti ripianamenti e diatoni che legano i due paramenti.



Figura 2 - Murature di edifici in via Veneto e in via del Santi Coronati

In generale tale muro «non è progettato dall'architetto assieme all'opera architettonica, ma è formulato, pietra dopo pietra, dal muratore la cui cultura, pur digiuna di geometria, procede sul filo di una logica organica. Prima di mettersi al lavoro egli osserva il mucchio delle pietre con le quali dovrà lavorare e ne fissa in mente le forme e le dimensioni (...) e compone il suo discorso alternando la pietra posta “di fianco” a quella sovrapposta di “punta”, colmando un vano irregolare con il pezzo lasciato in disparte in attesa della sua occasione, recuperando il piano con i frammenti e il tegolozzo. Il muro cresce tanto più compatto e ordinato quanto più il muratore è padrone della sua arte; arte di esprimere con elementi rozzi ma

⁸ A. Acocella, *op. cit.*, p. 68.

vare il discorso del monolitismo e dell'orizzontalità che è requisito fondamentale di una corretta muratura»⁹.

La caratteristica principale di questa tecnica costruttiva è infatti la disposizione degli elementi lapidei: le qualità meccaniche della muratura dipendono, oltre che dalla consistenza e grandezza dei conci (dai 15 ai 40 kg di peso per uno spessore pari a circa metà della sezione muraria), dalla disposizione e dall'assestamento degli stessi; il comportamento monolitico di queste pareti è dato dall'orizzontalità dei filari e dall'ingranamento in verticale delle pietre, grazie all'uso dei diatoni, per evitare la separazione della sezione muraria in due parti autonome¹⁰ (scheda C).

7.3 LA PIETRA GREZZA

Le murature con paramenti in pietra grezza si possono rintracciare in alcuni edifici dell'edilizia minore del centro storico. Sono caratterizzati da pezzi di pietra irregolari ("scapoli di cava") e frammenti lapidei informi, disposti senza orizzontamenti e con un ingranamento insufficiente. Mancano gli elementi disposti di fascia e di punta sovrapposti sulla verticale ad ammorsare i due paramenti, mentre prevalgono le pietre inconsistenti e di piccola pezzatura (scheda D).



Figura 3 - Muratura in via Roma e in via Salomone

In questi casi è fondamentale il ruolo della malta con il compito di chiudere i vuoti fra le pietre e saldarle fra loro, distribuire uniformemente i carichi sulle superfici resistenti, rimanendo coesa nonostante il peso della muratura¹¹.

⁹ A. Giuffrè, Citazione in A. Acocella, *op. cit.*, p. 99.

¹⁰ Cfr. A. Giuffrè (a cura di), *op. cit.*, p. 76.

¹¹ Cfr. *ibidem*, p. 74; A. Acocella, *op. cit.*, p. 100.

Quando il pietrame è piuttosto informe la malta viene rasata sulla superficie del paramento, dalla quale le pietre affiorano appena.

7.4 LA PIETRA DI RIVESTIMENTO

Gran parte degli edifici storici di Siracusa presentano un rivestimento in pietra, che talvolta riguarda l'intera facciata o, nella maggior parte dei casi, ricopre solo la parte basamentale. Si tratta principalmente degli edifici del '700-'800, e comunque di una certa rilevanza storico-artistica. Ne sono un esempio i palazzi del quartiere Umbertino, di piazza Duomo, del corso Matteotti e delle vie delle Maestranze, Roma, Dione e Veneto (scheda E).



Figura 4 - Bugnato in via dei Montalto e rivestimento di cm 8 in un edificio sul Passeggio Aretusa

In questi casi le murature irregolari hanno il paramento esterno rivestito da pietre squadrate lavorate “di liscio”, messe in opera in filari regolari, isodomi o pseudoisodomi, con giunti sottili di malta; a volte possono anche essere disposti alternativamente di punta e di fascia così da rendere il paramento esterno più movimentato, e in tal caso penetrano nella muratura ammorsandola¹².

Questo trattamento è destinato anche a fasce marcapiano e lesene, oltre che al basamento. Quest'ultimo acquista un carattere plastico grazie alla lavorazione delle pietre a bugnato, che può essere rustico, liscio o a cuscino, sia isodomo che pseudoisodomo, con lavorazioni superficiali omogenee o a corsi alterni e con i bordi irregolari, retti, smussati o a battente. Ad esempio nel castello Eurialo di Siracusa ritroviamo il bugnato rustico greco, in cui la parte perimetrale dei conci è lavorata “a nastro”; negli edifici del centro storico il bugnato è spesso ricoperto d'intonaco per mascherare i giunti verticali, ma con la lavorazione delle facce orizzontali a

¹² A. Giuffrè (a cura di), *op. cit.*, p. 70.

“stradella” che simula grossi giunti di malta per creare giochi chiaroscurali sulla facciata¹³.

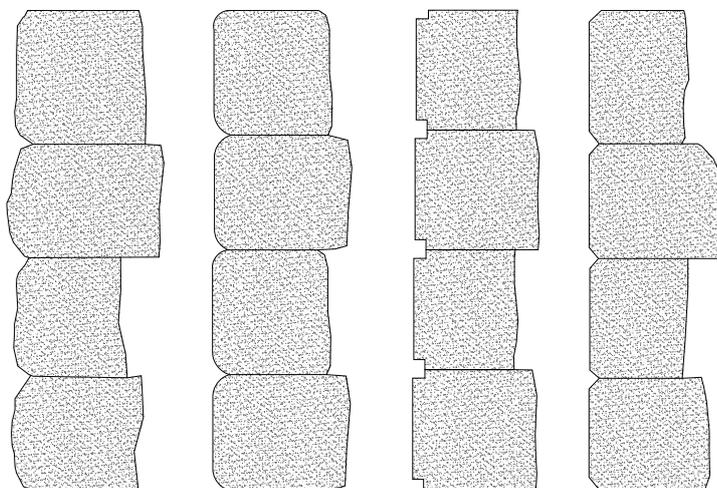


Figura 5 - Soluzioni tipo di bugnati¹⁴

In tali opere si usa la pietra calcarea compatta siracusana e raramente la pietra lavica dell'Etna.

7.5 LE PIETRA LISTATA

In alcuni edifici troviamo anche esempi di murature listate, che presentano fasce orizzontali in laterizi con la funzione di ripianamento, all'interno di murature irregolari in pietra. Tali fasce sono poste ad intervalli regolari (“bancate”) e attraversano tutto lo spessore murario a compensare le carenze di ingranamento della muratura.

Arrivati agli angoli possono disporsi alternativamente di fascia e di punta per creare un cantonale di ammorsamento (scheda F) che sostituisce quello classico in pietra squadrata o sbozzata.

¹³ A. Acocella, *op. cit.*, pp. 72-93.

¹⁴ Cfr. *ibidem*, p. 142.



Figura 6 – Esempio di muratura listata (ex ONP, traversa La Pizzuta)

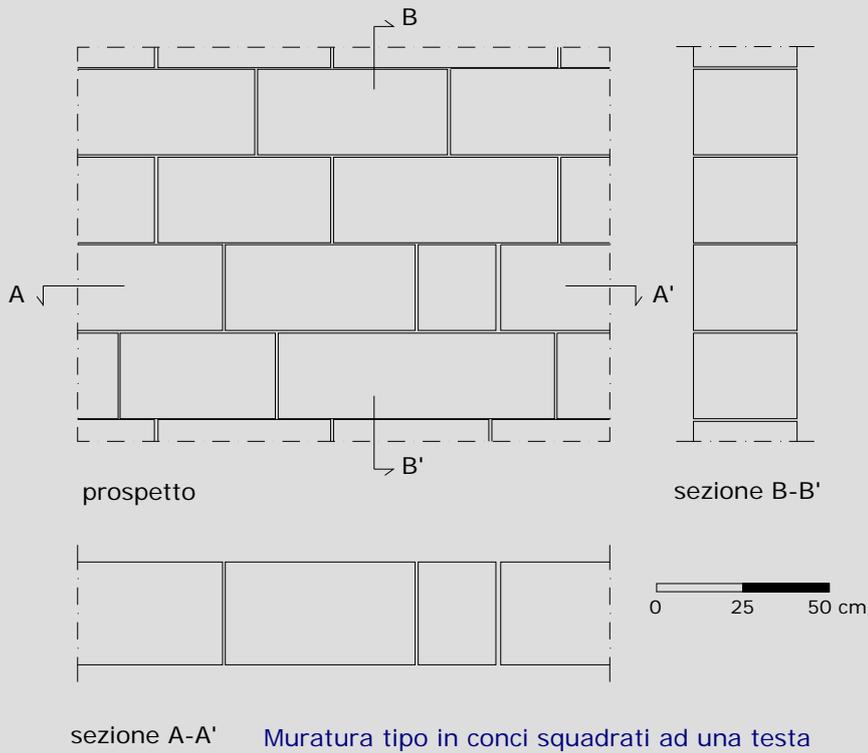
7.6 SCHEDATURE DELLE INFORMAZIONI ACQUISITE

Di seguito si riportano le schede che esemplificano i diversi tipi di tecniche costruttive analizzate, con i disegni di murature ed elementi architettonici tipo e le immagini rappresentative di edifici storici di Siracusa.



Figura 7 - Museo Archeologico in piazza Duomo

SCHEDA A – MURATURA CON PIETRA IN CONCI



Questa muratura, detta anche “opera quadrata”, è caratterizzata dall’uso di conci squadrati, a una o più teste, per tutto il suo spessore. Spesso i conci sono disposti alternatamente di testa e di taglio, anche senza l’uso di malta o con giunti sottilissimi.

In edifici di epoca barocca la pietra squadrata costituisce il solo paramento esterno per uno spessore di almeno un terzo della muratura. I restanti due terzi sono costruiti a sacco.

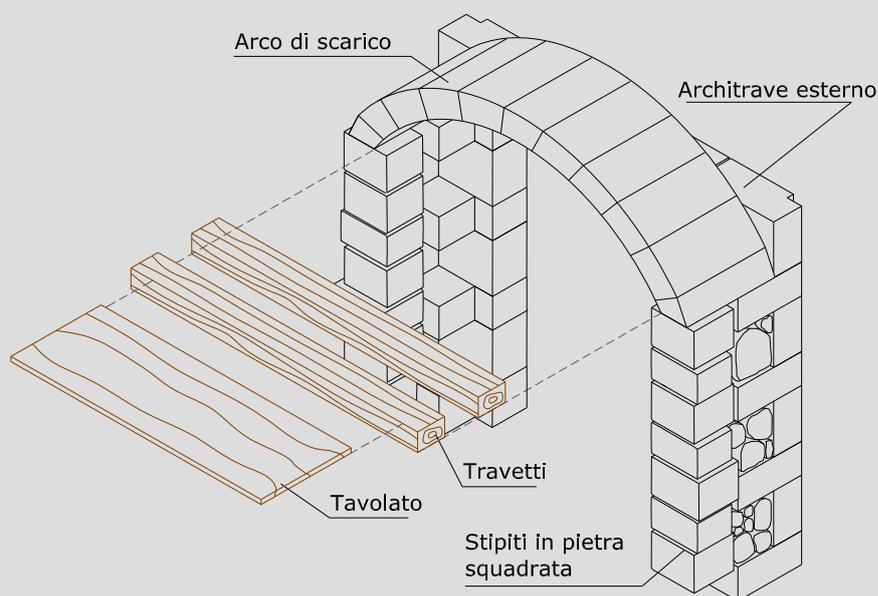


Tempio di Apollo



Paramento in pietra squadrata, via delle Maestranze

SCHEDA B1 – ELEMENTI ARCHITETTONICI IN CONCI SQUADRATI



Apertura tipo con architrave esterno retto e arco di scarico interno

I conci squadrati vengono utilizzati anche per elementi architettonici quali cornici di aperture, mensole, cantonali ecc.

Le cornici delle aperture sono caratterizzate da conci che entrano nella muratura alternativamente di fascia e di punta e raramente raggiungono l'intero spessore murario.

I cantonali sono realizzati con conci sfalsati con regolarità.

Le mensole e i conci di chiave sono pezzi monolitici, riccamente scolpiti negli edifici rappresentativi.

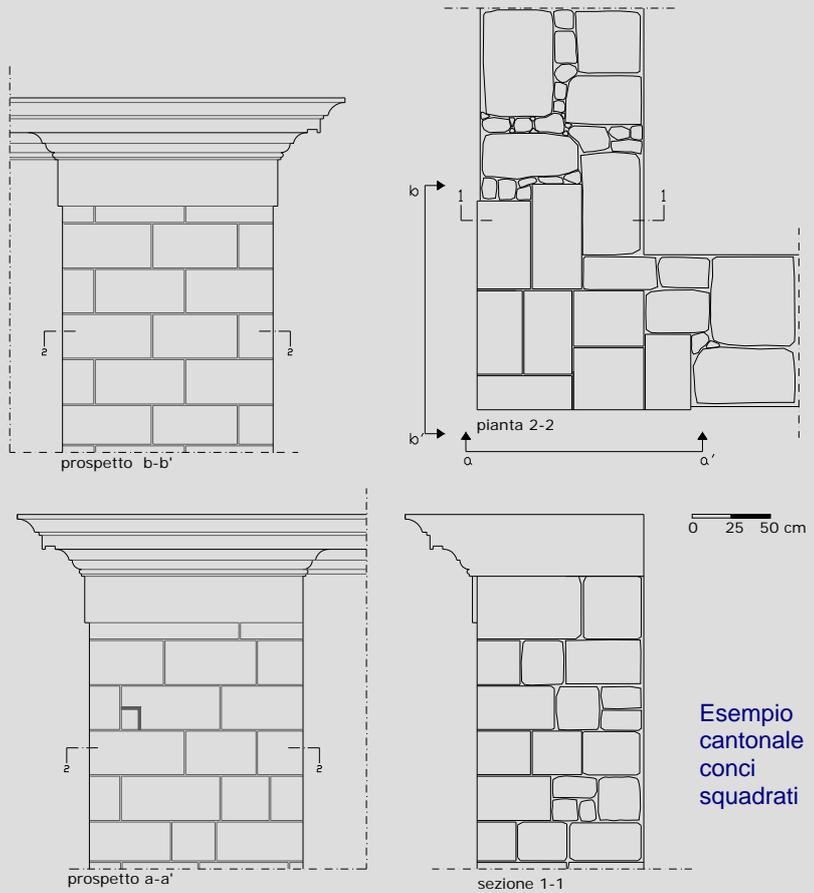


Un'apertura in via Veneto



Paramento in pietra squadrata in via delle Maestranze

SCHEDA B2 – ELEMENTI ARCHITETTONICI IN CONCI SQUADRATI



I cantonali sono realizzati con conci squadrati con i giunti sfalsati con regolarità.
Sono generalmente ammortati alla muratura nella quale non entrano mai completamente.

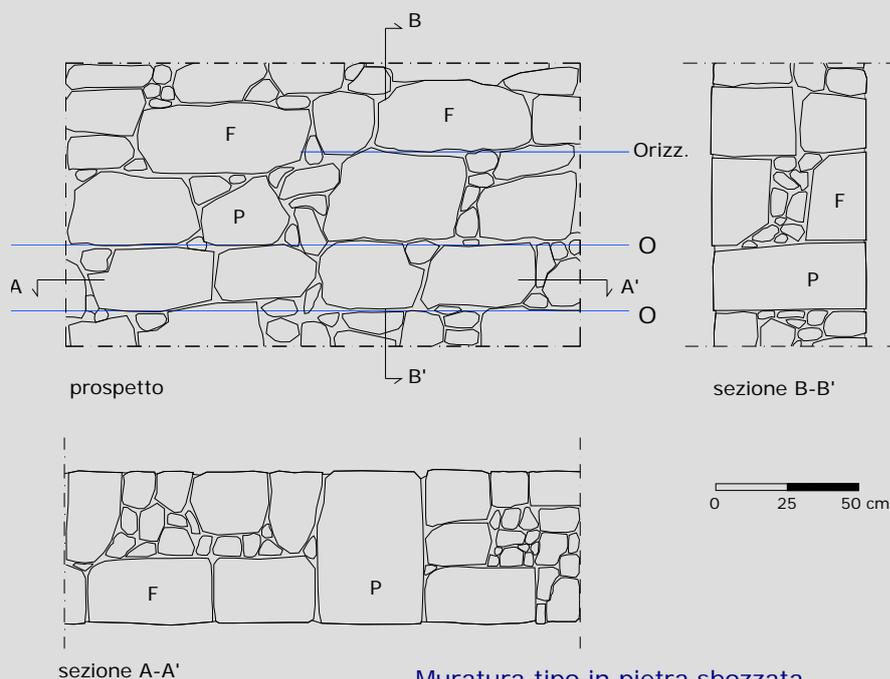


Cantonale in via Veneto



Edificio in via della Maestranza

SCHEDA C – MURATURA IN PIETRA SBOZZATA



Muratura tipo in pietra sbazzata

La muratura a sacco con paramenti in conci irregolari ma ben ammassati e con ripianamenti e diatoni è la tipologia che più frequentemente si trova ad Ortigia.

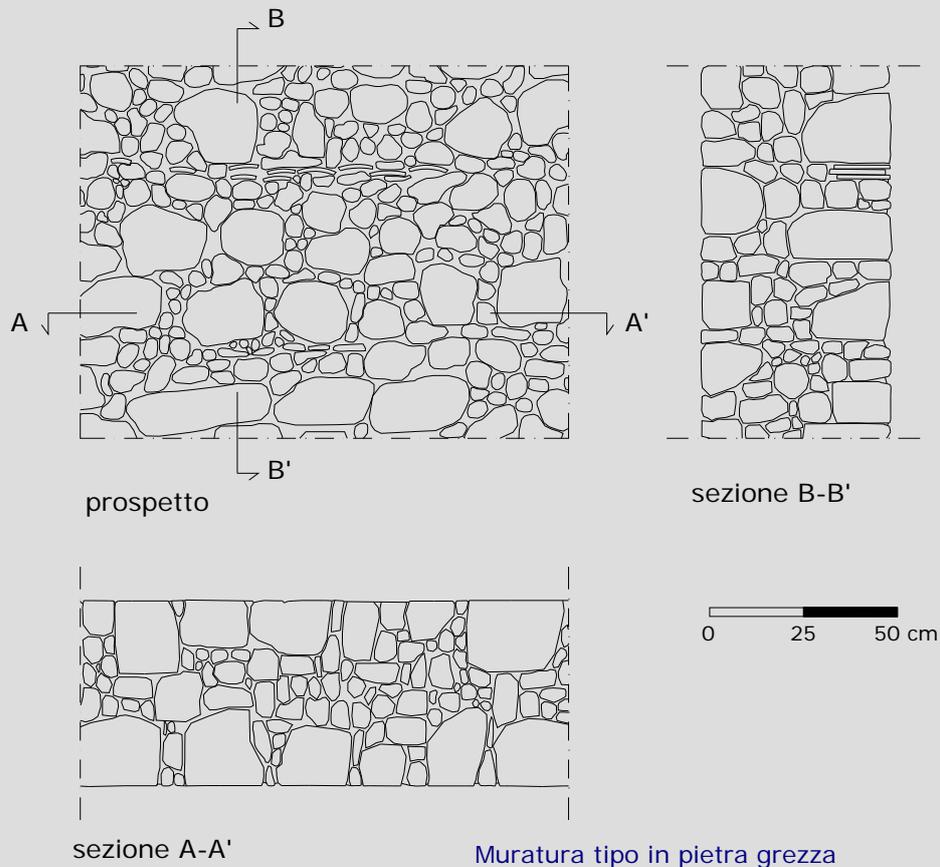
È inoltre caratterizzata da frequenti conci disposti alternativamente di fascia e di punta con la funzione di rendere solidali i due paramenti esterni.



Sezione muraria alla Graziella e paramenti in via Veneto e in via Roma



SCHEDA D – MURATURA IN PIETRA GREZZA



La muratura a sacco con paramenti in pietra grezza sono caratterizzati dall'estrema irregolarità delle pietre, dall'assenza di ripianamenti, di elementi disposti di fascia e di punta e da un conseguente insufficiente ingranamento.

In questi casi è fondamentale il ruolo della malta che ha il compito di chiudere i vuoti fra le pietre, saldarle fra loro e distribuire uniformemente i carichi.



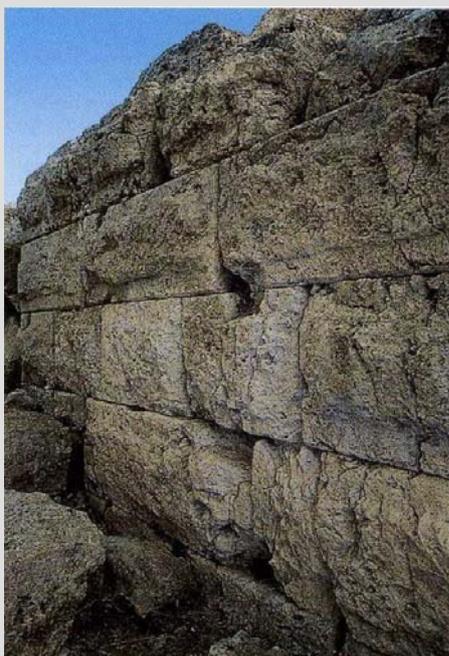
Edifici in via S. Martino e Dei Montalto

SCHEDA E – LA PIETRA DI RIVESTIMENTO

Gran parte degli edifici rappresentativi di Ortigia sono rivestiti, del tutto o solo in corrispondenza del basamento, da lastre di pietra squadrata dello spessore fra i 3 e i 10 cm.

La lavorazione delle pietre a bugnato, liscio o rustico, con giunti sottili o con fasce “a stradella” o “a nastro”, rende il prospetto più movimentato e arricchito di giochi chiaroscurali.

I conci possono essere parzialmente ammorsati alla muratura o sovrapposti a questa tramite uno spesso strato di malta.



Bugnato rustico del Castello Eurialo (immagine tratta da Acocella A., *op. cit.*, p. 141)
- edifici in corso Matteotti e in via Roma

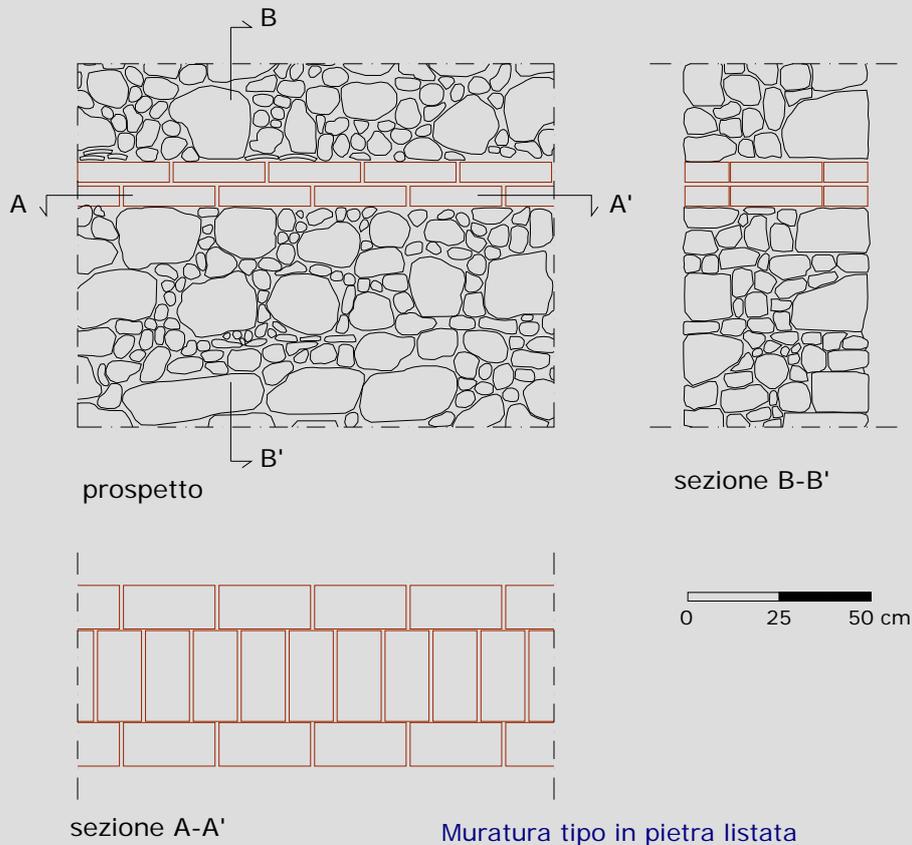


Edificio in via Roma



Edificio in via R. Settimo

SCHEDA F – LA PIETRA LISTATA



Muratura tipo in pietra listata

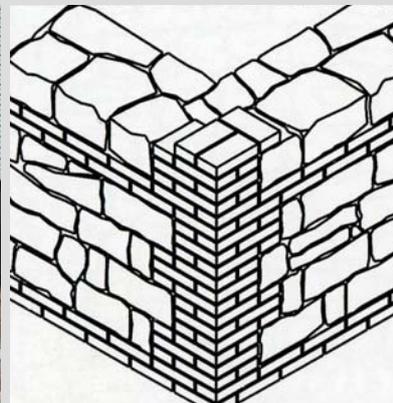
In rari casi ad Ortigia si trovano murature listate. Si tratta in genere di murature in pietra grezza che presentano fasce orizzontali in laterizi con la funzione di ripianamento.

Tali fasce sono poste ad intervalli regolari e occupano l'intero spessore murario.

Agli angoli possono sostituire o cantonali in pietra sfalsandosi e alternandosi regolarmente.



Muratura in pietra listata in contrada Pizzuta



Muratura in pietra listata (immagine tratta da Acocella A., *op. cit.*, p. 106)

Le superfici esterne degli edifici di Ortigia sono caratterizzate da un pesante stato di degrado, dovuto non solo alle particolari condizioni ambientali e alle caratteristiche intrinseche della pietra, ma anche all'inquinamento atmosferico e ad interventi manutentivi carenti o assenti.

Lo stato di conservazione della pietra di facciata è quindi influenzato dal sovrapporsi dei seguenti fattori¹:

- *Caratteristiche litologiche*: le numerose varietà della stessa pietra che esistono nel costruito di Ortigia, derivanti da condizioni geologiche diverse, manifestano diversamente i fenomeni di degrado;
- *Fattori ambientali*: il contesto microclimatico di Ortigia è estremamente variabili per via della sua conformazione e strutturazione;
- *Mancanza di interventi di manutenzione* o presenza di interventi parziali o errati, quali ad es. sostituzioni e rinnovi di finiture protettive superficiali non documentabili;
- *Azione antropica*: comprende ad es. l'inquinamento e gli atti vandalici.

Di conseguenza il *degrado* può essere *naturale*, quando è legato solo al naturale invecchiamento dell'edificio o a normali condizioni d'uso dello stesso, o *patologico*, quando i fenomeni di degrado naturale sono accelerati da fattori perturbatori fuori dalla norma².

Le cause del degrado possono essere distinte in:

- a. cause dirette,
- b. condizioni predisponenti,
- c. condizioni aggravanti.

LE CAUSE DEL
DEGRADO

¹ Cfr. F. Cantone, S. De Medici, V. Fiore, 2004, pp. 158; Tinè S. (a cura di), *Codice di pratica professionale per il restauro delle fronti esterne degli edifici. L'esperienza di Ortigia*. Dario Flaccovio Editore, Palermo, 2001.

² P. Gasparoli, "Processi di degrado e attività analitiche", in P. Gasparoli, C. Talamo, 2006, p. 189.

Le cause dirette sono «quelle che determinano l'insorgenza di un fenomeno in quanto azioni scatenanti, secondo una relazione causa-effetto»³. Sono generalmente legate ai fattori climatici e naturali in genere, sia ciclici che aciclici, e ai fattori biologici. Le condizioni predisponenti sono quelle «cause che hanno incidenza sul fenomeno osservato, pur non avendolo direttamente determinato»⁴. Dipendono, in particolare, dalla geometria della facciata, dall'orientamento e dai fattori intrinseci o congeniti, quali la tecnica di esecuzione. Le condizioni aggravanti sono «le cause che incidono sull'estensione e gravità del fenomeno osservato. Tra queste cause possono essere annoverati gli agenti relativi al contesto ambientale»⁵, soprattutto quando sovrappongono i loro effetti (ad es. sovrapposizione di pioggia e vento).

**CAUSE
INTRINSECHE O
CONGENITE ED
ESTRINSECHE**

Le cause del degrado vengono distinte anche in intrinseche o congenite, quando sono legate alle caratteristiche proprie del materiale, della struttura e del sito, ed estrinseche, quando dovute ad altri fattori avvenuti dopo la costruzione e indipendenti da essa, come l'aggressività dell'ambiente, l'azione dell'uomo ecc⁶.

In base a quanto detto, i fattori intrinseci, antropici e di esercizio possono essere spesso considerati contemporaneamente cause dirette e cause predisponenti e aggravanti.

C'è da precisare, inoltre, che la pietra si deteriora già in cava, perché esposta agli agenti atmosferici, per via delle tecniche di estrazione (fra cui particolarmente stressante è quella con esplosivi) e poi a causa della lavorazione e dell'errata utilizzazione; i tentativi di conservazione e accoppiamento con materiali inadatti e l'elevata concentrazione di inquinanti possono rappresentare ulteriori condizioni aggravanti⁷.

Una delle principali cause di degrado è la presenza di acqua nelle murature in tutte le sue forme (solida, liquida e gassosa), soprattutto perché l'acqua non è mai pura ma porta con sé una certa quantità di sali disciolti (e quindi di ioni) particolarmente dannosi. Questi riescono a penetrare grazie a fenomeni diversi: l'effetto combinato di pioggia e vento, la deposizione dell'aerosol marino, la risalita capillare, la rottura di impianti. Derivano quindi dalla composizione del terreno, dell'acqua di falda o dell'aerosol atmosferico (e dagli inquinamenti in esso presenti), da deiezioni animali ecc.

In particolare «con il termine "aerosol atmosferico" si intende l'insieme di particelle fini, solide e/o liquide, sospese in aria, le cui caratteristiche dimensionali, morfologiche e chimiche possono variare anche

³ M.R. Pinto, S. De Medici, "Le cause del degrado", in G. Caterina, P. De Joanna (a cura di), 2007, p. 259.

⁴ *Ibidem*, p. 261.

⁵ *Ibidem*, p. 262.

⁶ Cfr. P. Gasparoli, C. Talamo, *op. cit.*, p. 193.

⁷ Cfr. L. Lazzarini, M. Laurenzi Tabasso, 1986, p. 29.

sensibilmente in funzione delle sorgenti e dei fenomeni di trasporto e trasformazione. (...) L'aerosol marino è una delle componenti principali che costituiscono l'intero particolato atmosferico (...). La sua formazione deriva dalle emissioni nell'atmosfera di piccolissime gocce di acqua marina, originatesi in seguito all'esplosione di bolle formate dallo scroscio delle onde. Le bolle prodotte hanno una distribuzione dimensionale molto varia che va da alcuni millimetri a meno di 100 µm; una volta formatesi possono collassare a causa della trasformazione dell'energia superficiale in energia cinetica creando un getto d'acqua che sale rapidamente e si rompe in aria formando delle gocce (*jet drops*). (...) Le rimanenti bolle esplodono e la rottura del film d'acqua in contatto con l'aria genera le *film drops*. (...) Le *jet drops* e le *film drops* evaporano ed entrano nell'atmosfera quando il bilancio dell'umidità relativa sulla superficie del mare è 98% alla temperatura di 25°C (...). A evaporazione terminata diventano *brine drops*. Se l'umidità dell'atmosfera è più bassa (attorno al 70-74%) avviene un cambio di fase: le gocce supersature diventano particelle di sale aventi diametro generalmente di un quarto delle gocce originarie»⁸.

Il particolato arriva poi sulle facciate per dilavamento o per sedimentazione: il dilavamento consiste nell'eliminazione del particolato dall'atmosfera attraverso le precipitazioni meteoriche, che operano così una sorta di "purificazione" dell'aria; attraverso la sedimentazione, invece, il particolato viene depositato direttamente sulla superficie da vari fenomeni come i moti browniani, la turbolenza dell'aria, la gravità, ecc e dall'aerosol. L'aerosol marino ha la stessa composizione dell'acqua di mare e il componente maggiormente presente è il cloruro di sodio (gli altri sali presenti in minore quantità sono CaSO₄·2H₂O, CaCO₃, MgSO₄, MgCl₂, NaBr, KCl)⁹.

Per avere un quadro informativo più chiaro su questi fenomeni di degrado, l'isola di Ortigia è stata divisa in zone microclimatiche, sulla base di studi precedentemente svolti¹⁰; all'interno di queste sono stati individuati gli edifici da campionare ai fini delle indagini di laboratorio. Tale quadro informativo sarà indispensabile non solo come base di partenza per gli interventi di manutenzione sugli edifici storici ma anche per capire come evitare tali degradi in nuove realizzazioni future.

Di seguito si riporta una tabella che riassume quanto esposto sulle cause del degrado¹¹.

⁸ S. Riato (tesi di dottorato), *Interazioni chimico – fisiche di manufatti lapidei con l'ambiente e studio di trattamenti conservativi*, Università Ca' Foscari Venezia, Dipartimento di Scienze Ambientali, Dottorato di ricerca in Scienze Chimiche, 19° ciclo, pp. 3-4.

⁹ *ivi*, pp. 6-7.

¹⁰ Base di partenza per la costituzione delle zone microclimatiche è stato lo studio prodotto dal CNR e dal centro Gino Bozza, *Il Centro Storico di Ortigia. La conoscenza per la manutenzione*, richiesto dal comune di Siracusa, presentato nel 2000 e distribuito sotto forma di cd-rom.

¹¹ cfr. V. Di Battista, "Degrado delle materie lapidee", in G. Caterina (a cura di), 1989, *op. cit.*

I MATERIALI LAPIDEI TRADIZIONALI NELL'ARCHITETTURA CONTEMPORANEA. LA PIETRA DI SIRACUSA

CAUSA	AZIONE	EFFETTO	CONDIZIONI AGGRAVANTI e PREDISPONENTI
Fattori climatici o ciclici			
Presenza di acqua (Pioggia, acqua di falda, risalita capillare, ecc)	Meccanica Fisica Chimica	Erosione Colatura e macchia Alveolizzazione Deposito superficiale Rigonfiamento Fronte di risalita • efflorescenza	Geometria facciata Orientamento Inquinamento Vento
Vento	Meccanica Fisica Chimica	Erosione Evaporazione acqua • cristallizzazione sali • alveolizzazione • efflorescenza Deposito superficiale	Pioggia Orientamento Inquinamento
Radiazione solare	Fotochimica Fisica	Alterazione cromatica Dilatazione termica • lesioni	Variazioni di temperatura
Variazioni di temperatura	Fisica	Dilatazione termica Gelo/disgelo • lesioni	Orientamento Geometria facciata
Fattori geologici			
Sisma	Fisica	Dissesti	Azione antropica
Subsidenza (abbassamenti del terreno, scavi)	Fisica	Cedimenti fondali • dissesti	Azione antropica
Fattori catastrofici			
Naturali e geologici (trombe d'aria, eruzioni, alluvioni, temporali, ecc)	Fisica Chimica	Dissesti gravi e crolli Incendi Degradi dovuti alla presenza di acqua	Azione antropica
Antropici (incendi, alluvioni, ecc)	Fisica Chimica	Dissesti gravi e crolli Degradi dovuti alla presenza di acqua	
Fattori biologici			
Presenza di biodeteriogeni (micro e macro organismi)	Biologica Fisica Chimica	Colonizzazione biologica • erosione • fessurazione e fratturazione • macchia • degradazione differenziale Patina biologica Presenza di vegetazione	Geometria facciata Orientamento Pioggia
Fattori antropici e di esercizio			
Uso improprio e modifiche sull'edificio	Fisica Chimica	Lesioni Variazioni microclimatiche • macchia • efflorescenza •	
Manutenzione carente o assente		Tutti	
Inquinamento	Chimica Fisica	Crosta e patina • disgregazione • distacco • mancanza	Geometria facciata Orientamento
Atti vandalici	Fisica/chimica	Graffito vandalico Lesioni dei materiali	
Fattori intrinseci o congeniti			
Qualità e uso dei materiali	Chimica Fisica	Macchia Mancanza Pellicola	
Progettazione ed esecuzione	Chimica Fisica	Dissesti Fronte di risalita	Lavorazioni superficiali

Tabella 1 – Le cause del degrado

P. Gasparoli, "Processi di degrado e attività analitiche", in P. Gasparoli, C. Talamo, *op. cit.* pp. 191-209.

Si precisa che per lesioni si intendono deformazioni, fessurazioni o fratturazioni e cedimenti in genere; per gli altri degradi si usa il lessico della Norma UNI 11182:2006 che ha sostituito quanto stabilito dalle Raccomandazioni Normal 1/88.

8.1 LE ZONE MICROCLIMATICHE

Nel caso specifico di Ortigia, la bibliografia¹² in materia considera quali elementi che maggiormente influenzano la presenza e la morfologia del degrado:

- a) il contesto ambientale:
 - soleggiamento (ampiezza della sezione stradale, esposizione);
 - vento (direzione ed intensità);
 - vicinanza del mare;
 - presenza di spazi aperti (piazze, larghi);
- b) il contesto costruttivo:
 - materiali utilizzati;
 - tecniche costruttive;
 - estrazione e lavorazione;
- c) il contesto architettonico:
 - posa in opera;
 - geometria e dimensione degli elementi;
- d) i fattori antropici:
 - presenza e intensità del traffico veicolare;
 - manutenzione carente o assente.

Le zone microclimatiche ipotizzate in Ortigia, fra l'altro coincidenti con alcuni dei quartieri storici dell'isola per le loro caratteristiche di impianto, sono state individuate nelle seguenti:

Z.1. Zona costituita da nuclei edilizi di bordo sul mare dal lato di ponente, costruiti prevalentemente dopo l'abbattimento delle mura nel 1866 (Passeggiata Adorno, Passeggio Aretusa, Lungomare Alfeo). Le facciate sono a 2, 3 e 4 elevazioni, scandite da finestre al P.T. e da balconi o balconi a petto ai piani superiori.

La maggior parte degli accessi sono sul retro. La muratura è portante in pietra, spesso con il rivestimento lasciato a vista, con basamento rivestito a

¹² Cfr. C.N.R., I.N.C.B.C., Il Centro Storico di Ortigia. La conoscenza per la manutenzione Siracusa, volume 1, capitolo 1, Siracusa, 2000, pp. 5-6 (supporto multimediale su CD-R); F. Cantone (tesi di dottorato), Atlante delle forme di degrado. Un percorso di conoscenza per il patrimonio edilizio di Ortigia (SR), Università di Genova, Dottorato di ricerca in Recupero Edilizio e Ambientale, 2000.

bugnato, piani superiori intonacati e con gli elementi architettonici rivestiti in pietra. Un edificio sul Passeggio Aretusa è rivestito in mattoni intonacati e uno sul Lungomare Alfeo è in c.a.. Da questo lato, inoltre, gli edifici sono generalmente più piccoli e a volte con rivestimenti in gres o laterizio.

Tale zona è caratterizzata dall'assenza o dalla sporadicità di correnti eoliche, con superfici esposte a forte irraggiamento solare e all'aerosol marino in direzione O e S-O. Gli edifici sono alti fra i m 7 e i 13. Il traffico veicolare è intenso lungo la passeggiata Adorno e il Passeggio Aretusa.

Z.2. Zona costituita da nuclei edilizi di bordo sul mare dal lato di levante, costruiti prevalentemente dopo l'abbattimento delle mura nel 1870 (Lungomare di Levante, Lungomare Ortigia, via Eolo-via Nizza, via Veneto-via de' Tolomei). L'edilizia è di modulo ampio su corti interne e diventa più minuta in corrispondenza della Graziella e di via Eolo. L'esposizione è variabile da E, SE, a NE a seconda del tratto indagato. La muratura è in pietra intonacata. Solo i casi di edilizia borghese presentano elementi quali lesene, cantonali e cornicioni sommitali e raramente intagli decorativi per le mensole e le cornici dei portoni. È presente anche un edificio in c.a. sul lungomare di Ortigia e alcuni rivestimenti in laterizio o in mattonelle di ceramica o cemento.

Le facciate, a 2-3 elevazioni, sono scandite da accessi e finestre al P.T. e da balconi ai piani superiori.

Tale zona è caratterizzata da forti esposizioni alle correnti eoliche e all'aerosol marino. Gli edifici sono alti fra i m 7 e i 10. Il traffico veicolare è intenso ma il degrado è mitigato dalla buona circolazione dell'aria.

Z.3. Zona costituita da edifici rappresentativi di epoca barocca e da edifici del ventennio fascista (su corso Matteotti), prospettanti su strade interne ad intenso traffico veicolare caratterizzate da un'esigua sezione stradale in rapporto all'altezza degli edifici prospettanti su di esse (asse via Dione – via Roma, via della Maestranza, via Castelmanniace). Gli ampi isolati diventano minuti in via Dione, in corrispondenza della Graziella. La muratura è in pietra intonacata, con i paramenti esterni in blocchi regolari, o anche in marmo, e i basamenti rivestiti in pietra calcarea a vista. In via Castelmanniace e in corso Umberto si trovano anche edifici in c.a.. Le vie Roma e della Maestranza sono caratterizzate dalle decorazioni delle mensole e delle cornici delle aperture.

Le facciate, a 2-3-4 elevazioni, hanno accessi alle abitazioni e ai negozi e botteghe al P.T. e i balconi, con mensole riccamente decorate, ai piani superiori.

Le strade sono larghe tra m 4 e 7, con il corso Umberto che arriva a 12 m. Gli edifici sono alti tra m 7 e 13, con facciate sulle esposizioni E-O e N-S. Le correnti d'aria sono più forti solo vicino al lungomare.

Z.4. Zona in cui permangono l'antico impianto del VII sec. a.C., costituito da isolati stretti e lunghi ("*insulae*" dei Bottari e della Giudecca), e quello medioevale, caratterizzato da strade strette e tortuose. Le case si affacciano su vicoli stretti con asse E-O e spesso anche su corti e piccoli larghi. La muratura è in pietra intonacata, alcuni edifici medioevali sono in pietra a faccia vista e raramente sono presenti elementi architettonici rilevanti; a volte il rivestimento esterno è in piastrelle di maiolica o di cemento e in laterizi.

Le facciate, a 2-3 elevazioni, sono scandite dagli accessi al P.T. e da balconi, spesso a petto per via della dimensione della strada, ai piani superiori.

Tale zona è inoltre caratterizzata soprattutto da un'edilizia minuta e dalla sproporzione tra la sezione stradale (tra m 2 e 3) e l'altezza degli edifici (tra m 7 e 13). L'esposizione prevalente delle facciate è a N e S, il traffico veicolare è assente o ridotto e le correnti d'aria sono più forti solo nelle zone più alte (Bottari).

Z.5. Zona costituita da un impianto viario regolare di ampia sezione, con grandi isolati quadrati e rettangolari aggregati attorno a piccole corti o pozzi di luce (Quartiere Umbertino, compresa la parte estesa sulla terra ferma). La muratura è in pietra intonacata, scandita da lesene, cantonali e alti cornicioni in pietra a vista. Anche i basamenti sono spesso rivestiti in pietra.

Gli edifici sono tutti a tre elevazioni, con al P.T. gli accessi ai negozi e ai piani superiori balconi sui prospetti principali e finestre su quelli secondari.

Gli edifici sono alti tra m 7 e 10, con facciate su tutte le esposizioni, su strade da 10 m aperte anche sul mare. Il traffico veicolare è elevato e le correnti d'aria provengono soprattutto da E.

Z.6. Si tratta di edifici costituenti casi particolari, in quanto generalmente isolati e di grandi dimensioni (come il Castello Maniace, la Caserma Abela, il Palazzo delle Poste, l'ex Carcere e il Forte Vigliena).



Figura 1 – Le sei zone microclimatiche

8.2 DEGRADI PREVALENTI

Le facciate del centro storico di Siracusa presentano una vasta gamma di degradi, ma quelli maggiormente frequenti e pesanti sono dovuti alle condizioni microclimatiche, soprattutto alla presenza dell'acqua, e all'inquinamento: alveolizzazione, erosione, croste nere, deposito superficiale, patina biologica, colatura, pitting, efflorescenza e degradazione differenziale (o *flos tectoris*).

«[...] l'alterazione dei materiali lapidei è da considerare in ogni caso un fenomeno naturale irreversibile. Il problema da porsi è allora la determinazione della velocità con cui il degrado avanza e quali sono le cause che ne provocano l'accelerazione»¹³.

La porosità e la tessitura della pietra sono fra le caratteristiche che più influenzano la durabilità della pietra, soprattutto quando la causa del degrado è l'assorbimento dell'acqua e la conseguente cristallizzazione dei sali.

Una volta penetrata, infatti, l'acqua inizia ad evaporare fino a quando non rimangono i sali che, cristallizzando e aumentando quindi di volume, esercitano una pressione di cristallizzazione sulle pareti dei pori della pietra che tende così a diventare decoesa. Alcuni sali sono inoltre in grado di acquistare acqua e quindi volume, in funzione delle diverse condizioni atmosferiche, esercitando un'ulteriore pressione detta di idratazione.

¹³ G. G. Amoroso, 1995, p. 111.

A questo fenomeno si sovrappone quello del gelo/disgelo (raramente) che causa l'aumento/diminuzione di volume dell'acqua dentro i pori, scatenando possibili shock. Tutte queste pressioni tendono a danneggiare anche pesantemente la pietra che, fra l'altro, resiste male agli sforzi di trazione e taglio. Inoltre la degradazione fisica porta ad un aumento della superficie a disposizione per ulteriori fenomeni di degrado.

Condizioni aggravanti in questo caso sono la ventilazione e il soleggiamento, particolarmente influenti nel caso delle viuzze di Ortigia: strette e caratterizzate dalla sproporzione fra altezza degli edifici e sezione stradale.

Una causa intrinseca di degrado è la presenza di "tubuli" nella calcarenite della Formazione di Palazzolo: si tratta di strutture da bioturbazione di sezione prevalentemente ellittica, con asse maggiore mediamente di 1-2 cm, ma che può raggiungere anche i 4 cm, che hanno la stessa struttura della roccia ma da questa separata da un contorno netto. È proprio questo contorno che si presenta più fragile e il primo ad essere attaccato dal degrado, aumentando il fenomeno dell'alveolizzazione¹⁴ come osservabile nella figura 2.



Figura 2 – Fasi dell'alveolizzazione legata alla presenza dei tubuli

I degradi prevalenti ad Ortigia derivano dal complesso fenomeno appena descritto; per cui ovunque si osservano basamenti, stipiti e mensole abbondantemente erosi, alveolizzati e/o con pitting, tanto da perdere spesso l'originale configurazione della pietra interessata, oltre a grosse macchie di umidità.

Questi fenomeni in particolare sono aggravati dalla presenza concomitante dei seguenti fattori: elevata porosità della pietra, elevato contenuto di sali e forte turbolenza dell'aria a contatto con la superficie interessata¹⁵.

**EROSIONE
ALVEOLIZZAZIONE
PITTING E
MACCHIE**

¹⁴ Piano Cave, *Caratterizzazione dei Materiali*, in Schema di Piano dei Materiali Lapidei di pregio, Vol. 5b, *op. cit.*, pp.13-14.

¹⁵ L. Lazzarini, M. Laurenzi Tabasso, *op. cit.*, p. 52.



Figura 3 - Alveolizzazione ed erosione su due edifici in via R. Settimo e in via della Maestranza

ESFOLIAZIONE Sulla superficie di alcune pietre è possibile vedere anche fenomeni di esfoliazione, dovuti alla pressione esercitata dalla cristallizzazione dei sali negli strati superficiali durante l'evaporazione dell'acqua.

CROSTA NERA Un altro degrado particolarmente deturpante per le facciate di Ortigia è quello della crosta nera, legato soprattutto all'inquinamento atmosferico. In alcuni casi si presenta come una pellicola sottile, in altri come uno strato spesso e granuloso associato a gravi fenomeni di degrado del supporto lapideo (polverizzazione, fessurazione, scagliatura e perdita di parti). Le croste nere derivano dall'inquinamento atmosferico e in particolare dall'adesione di microparticelle gessose formate in atmosfera a causa dell'interazione tra il particolato carbonioso acido e quello alcalino contenente calcio o, in certi casi, direttamente nelle camere di combustione di caldaie e/o motori a scoppio. Lo strato gessoso che ricopre la superficie lapidea è fonte di degrado a causa dei cicli di solubilizzazione e cristallizzazione che interessano gli strati più esterni della pietra. Ciò comporta forti tensioni e distacchi durante le variazioni termiche. Il materiale particellato che rimane attaccato alla superficie, fra cui il carbone, è responsabile della colorazione scura¹⁶.

**PATINA BIOLOGICA,
COLATURA E DEPOSITI
SUPERFICIALI**

Dove l'orientamento della facciata diventa una condizione aggravante, ad esempio per l'assenza di radiazione solare diretta e quindi per una maggiore lentezza di evaporazione dell'acqua, il degrado prevalente è quello della patina biologica. Dove invece le condizioni predisponenti sono la geometria della facciata e degli apparati decorativi, per la presenza di diversi sporti quali quelli di cornicioni, mensole, ecc, il degrado che si rileva è quello della colatura. In queste zone, soprattutto se non esposte al dilavamento, è inoltre possibile trovare depositi superficiali dovuti alla composizione atmosferica e anche all'inquinamento.

¹⁶ Cfr. E. Ciliberto, S. La Delfa, S. Panarello, "Characterization of black scabs and role of atmospheric pollutants on their formation", in Brai M, Cataletto M.P., Maccotta A., Schillaci S., *Tecniche di analisi di materiali nei Beni Culturali*, Carbone, Palermo, 2007, pp. 131-136.



Figura 4 - Croste nere, colature, depositi superficiali e patine biologiche (via Maestranza e piazza S. Rocco)

Infine, l'efflorescenza e la degradazione differenziale sono fenomeni che si trovano soprattutto sul mattone, il primo, e sull'intonaco, il secondo, dovuti rispettivamente alla cristallizzazione dei sali in superficie e alla colonizzazione biologica.

**EFFLORESCENZA E
DEGRADAZIONE
DIFFERENZIALE**



Figura 5 – Degradazione differenziale (Lungomare Ortigia) ed efflorescenza sulla pietra (via dei Santi Coronati)

8.3 LA LOCALIZZAZIONE DEL MATERIALE LAPIDEO DEGRADATO

Un fenomeno particolarmente diffuso, soprattutto nella fascia basamentale, è quello di una degradazione da alveolizzazione ed erosione diversa dei conci lapidei in funzione dell'altezza da terra. La causa principale è la risalita capillare: l'acqua sale dal basso lungo la superficie dei pori, portando con sé una certa quantità di sali disciolti sotto forma di ioni (cloruri, nitrati, solfati, ioni sodio, ioni calcio, ecc); man mano che risale, evapora sotto forma di H_2O (acqua distillata), mentre i sali, che non riescono a passare allo stato di vapore, precipitano e cristallizzano all'interno dei pori; nelle parti più basse del paramento c'è più acqua, quindi una minore cristallizzazione dei sali e una conseguente minore alveolizzazione/erosione; nelle parti più alte, dove il processo di evaporazione è predominante, la superficie si presenta invece maggiormente decoesa.

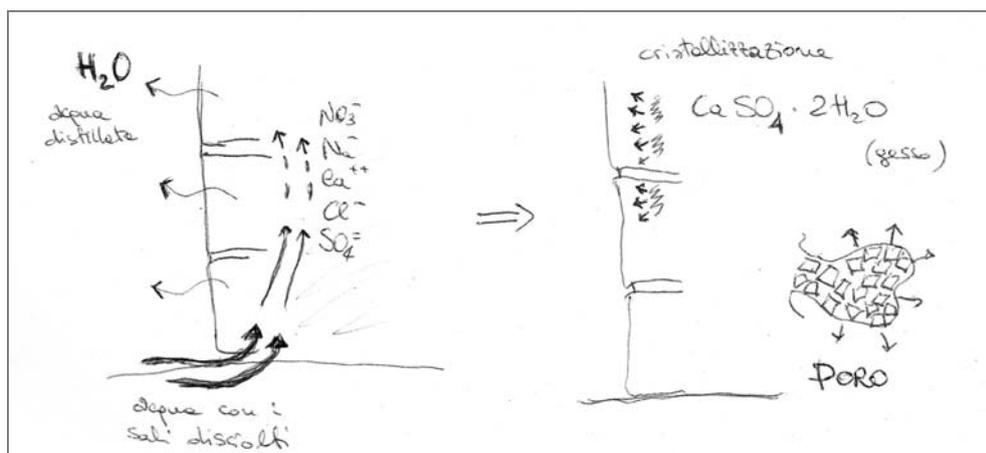


Figura 6 - Meccanismo di degrado della fascia basamentale dovuto alla cristallizzazione dei sali

Inoltre, se la pietra è omogenea la cristallizzazione avviene nella stessa zona, ovvero alla stessa profondità; se la pietra non è omogenea, per via di inclusioni di varia natura (ad es. fossili) o perché appartenente a litotipi molto dissimili, la cristallizzazione, e quindi la degradazione, avviene in modo non uniforme ma interessando anche solo un concio piuttosto che un altro. A questo si somma il fenomeno per il quale più una pietra è degradata più continua a degradarsi, poiché non solo aumentano la porosità e la superficie di evaporazione ma aumenta anche il movimento dell'acqua nei pori dato che, in queste condizioni, il percorso per l'evaporazione è più agevole. Ne consegue che un concio può essere molto degradato e quello immediatamente accanto perfettamente integro.



Figura 7 - Passeggio Aretusa. Conci erosi in funzione dell'altezza da terra

Le croste nere sono localizzate soprattutto in zone riparate dalla pioggia diretta o dal dilavamento intenso, infatti le parti dell'edificio maggiormente interessate sono le mensole e l'intradosso dei ballatoi.

I depositi superficiali e le croste nere si localizzano anche dove l'aria ristagna di più in assenza di normali turbolenze dell'aria che altrimenti tenderebbero ad allontanare le sostanze inquinanti.

Croste e depositi superficiali si trovano anche nelle cosiddette zone di ombra termica nelle quali si riduce l'evaporazione dell'acqua e ne aumenta la condensazione poiché la pietra si mantiene fredda o si raffredda rapidamente. Tali zone quindi catturano e trattengono meglio il particolato atmosferico e incrementano la fissazione diretta di gas come la SO_2 ¹⁷.

La patina biologica si trova in zone umide e poco illuminate e al contempo non esposte al dilavamento.

Spesso una condizione predisponente per il degrado è la conformazione degli elementi che compongono la facciata, i quali direzionano, convogliano o allontanano i vari agenti atmosferici. Quindi ad esempio la sporgenza di un ballatoio non permette alla sua parte intradossale e alle mensole di lavare via dalle superfici il particolato atmosferico e le sostanze inquinanti con la pioggia. Invece nelle zone in cui sporti o rientranze causano un accumulo e ristagno di acqua si possono avere maggiori fenomeni di alveolizzazione, macchie o patine biologiche.

¹⁷ G. G. Amoroso, 1995, *op. cit.*, p. 126-28.

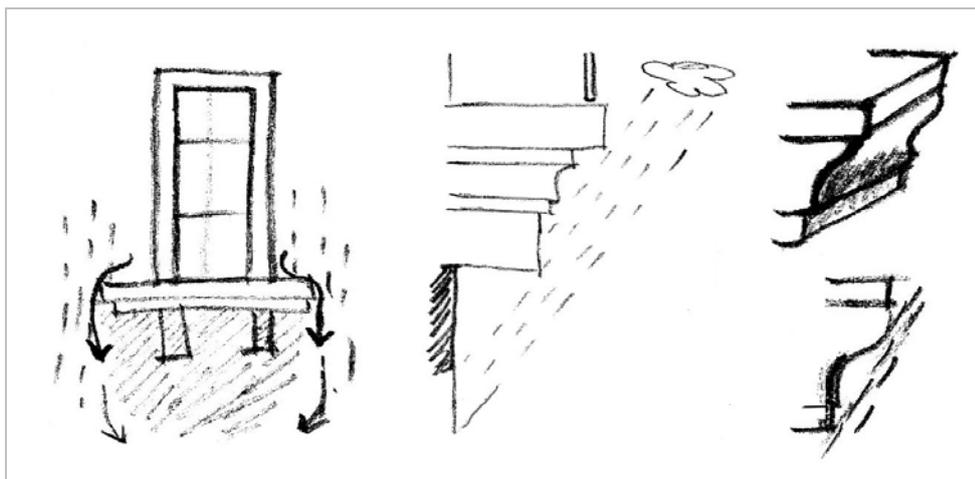


Figura 8 – Influenza della conformazione della facciata

Per sintetizzare, i degradi più diffusi e rilevanti nello specifico contesto di Ortigia sono i seguenti¹⁸:

DEGRADI	LOCALIZZAZIONE
Alveolizzazione	Basamento e paramento fino ad un'altezza di m 3,5
Erosione	Mensole di balconi, sporti e fascia basamentale
Deposito superficiale	Cornici e corpi aggettanti, zone non esposte a dilavamento
Croste nere	Cornici e corpi aggettanti
Colatura	In zone soggette a dilavamento
Pitting	Sul paramento
Fessurazione	Su stipiti e architravi
Patina biologica	In zone non esposte a soleggiamento e a dilavamento
Degradazione differenziale (<i>flos tectoris</i>)	Intonaci
Efflorescenza	Rivestimenti in laterizio

Tabella 2 - Localizzazione dei fenomeni di degrado rilevanti

¹⁸ F. Cantone, De Medici S., Fiore V., 2004, p. 159.
C.N.R., I.N.C.B.C., Comune di Siracusa, *Il Centro Storico di Ortigia. La conoscenza per la manutenzione*, volume 1, capitolo 1, pp. 9-32.

8.4 LA SCHEDATURA: ZONE MICROCLIMATICHE, EDIFICI CAMPIONATI, FENOMENI DI DEGRADO

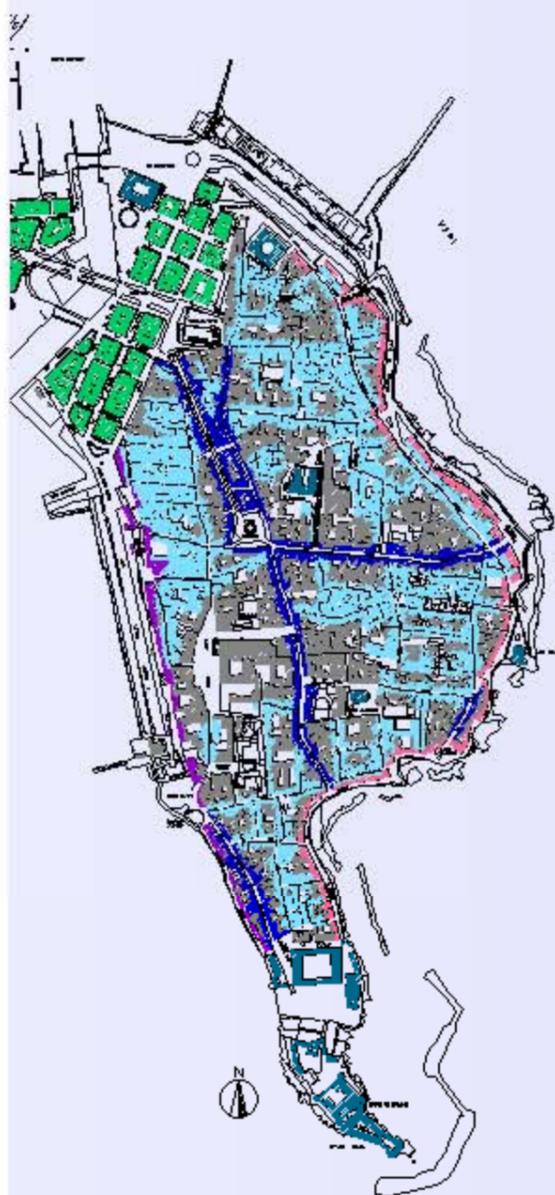
Quanto detto sinora viene riassunto in due tipologie di schede che riguardano le zone microclimatiche individuate, gli edifici scelti per il campionamento e i fenomeni di degrado prevalenti su questi rilevati.

La scheda A.1 sintetizza le prime cinque zone microclimatiche schematizzando per ognuna i caratteri morfologici, costruttivi, ambientali, delle superfici esterne e i degradi prevalenti.

La seconda scheda (B.n) viene compilata per ogni singolo edificio campionato, per un totale di 11 schede in cui, oltre all'individuazione planimetrica, vengono specificati:

- i dati ambientali, cioè esposizione, soleggiamento, ventilazione, caratteristiche dell'intorno, posizione rispetto al mare, traffico veicolare;
- le caratteristiche costruttive e materiche, riguardanti la descrizione della struttura, degli elementi architettonici e delle finiture e un primo riconoscimento a vista del litotipo usato;
- i degradi prevalenti, con l'individuazione delle cause (dirette, indirette, scatenanti e predisponenti) e la relazione che li lega.

La schedatura di queste informazioni è di fondamentale importanza per comprendere i fenomeni di degrado e le relazioni che li legano al contesto in cui si inseriscono gli edifici.



LEGENDA

- Z.1 – zona costituita da edifici che si affacciano sul lungomare a ponente
- Z.2 – zona costituita da edifici che si affacciano sul lungomare a levante
- Z.3 – zona costituita da edifici che si affacciano su strade ad intenso traffico veicolare
- Z.4 – zona costituita da edifici che si affacciano su strade a larghezza ridotta, su corti e piccoli larghi
- Z.5 – quartiere umbertino
- Z.6 – casi particolari

Bibliografia di riferimento: C.N.R., I.N.C.B.C., *Il Centro Storico di Ortygia. La conoscenza per la manutenzione Siracusa*, volume 1, capitolo 1, Siracusa, 2000 (CD-ROM).



ZONA Z.1	ZONA Z.2	ZONA Z.3	ZONA Z.4	ZONA Z.5
CARATTERI MORFOLOGICI				
Costituisce una cortina sul lungomare a ponente, costruita per gran parte dopo l'abbattimento delle mura nel 1866. I lotti sono disposti trasversalmente al lungomare, con esposizione a O, più piccoli sul lungomare Alfeo. Le facciate, a 2-3 elevazioni, sono scandite da finestre al P.T. e da balconi ai piani superiori. Gli accessi sono sul retro.	Cortina sul lungomare a levante, costruita dopo l'abbattimento delle mura nel 1870. L'edilizia è di modulo ampio su corti interne; diventa più minuta in corrispondenza della Graziella e di via Eolo. L'esposizione è variabile a seconda del tratto indagato. Le facciate, a 2-3 elevazioni, sono scandite da accessi e finestre al P.T. e da balconi ai piani superiori.	Costituita dai principali assi viari di ortigia, con orientamento N-S ed E-O, caratterizzati da edilizia barocca rappresentativa e da edifici fascisti (Corso Matteotti). Gli ampi isolati diventano minuti in via Dione in corrispondenza della Graziella. Le facciate, a 3-4 elevazioni, hanno accessi e negozi al P.T. e i balconi ai piani superiori.	Permangono l'antico impianto del VII sec. a.C., costituito da isolati stretti e lunghi ("insulae" dei Bottari e della Giudecca), e quello medioevale, caratterizzato da strade strette e tortuose. Le case si affacciano spesso su corti e larghi. Le facciate, a 2-3 elevazioni, sono scandite dagli accessi al P.T. e da balconi, spesso a petto, ai piani superiori.	Costituita da un impianto viario regolare di ampia sezione, con grandi isolati quadrati e rettangolari, con le facciate su tutte le esposizioni, rivolti anche sul mare. Le unità edilizie si accorpano attorno ad angusti cortili interni. Gli edifici, a 3 elevazioni, hanno accessi ai negozi al P.T. e balconi o finestre ai restanti piani.
CARATTERI COSTRUTTIVI				
La muratura presenta il bugnato in pietra al piano terra e l'intonaco per i piani restanti, la regolarizzazione del fondo attraverso uno strato di cocci o di pietre di piccola dimensione ed uguale pezzatura, su cui poi viene steso lo strato di malta. Sul lungomare Lungomare Alfeo vi è un edificio in c.a.	La muratura è in pietra intonacata. Solo i casi di edilizia borghese presentano elementi quali lesene, cantonali e cornicioni sommitali; raramente intagli decorativi per le mensole e le cornici dei portoni. È presente anche un edificio in c.a. sul lungomare di Ortigia.	La muratura è in pietra intonacata, con i paramenti esterni in blocchi regolari. La decorazione di cornici delle aperture e mensole caratterizza via Roma e via delle Maestranze. I basamenti sono spesso rivestiti in pietra calcarea. Edifici in c.a. si trovano in via Castelmaniace e c.so Umberto.	La muratura è in pietra intonacata. Alcuni edifici medioevali sono in pietra a faccia vista. Le coperture sono a falde con coppi alla cappuccina. Raramente sono presenti elementi architettonici rilevanti.	La muratura è in pietra intonacata, scandita da lesene e cantonali. I basamenti sono spesso rivestiti in pietra calcarea. Scompaiono i tetti alla cappuccina lasciando il posto ad alti cornicioni.
CARATTERI AMBIENTALI PREVALENTI				
- esposizione facciate: a O e S-O; - strade: aperte sul mare/aereosol marino; - altezza edifici: 7-13 m; - forti venti assenti;	- esposizione facciate: a S-E, S ed E; - strade: aperte sul mare/aereosol marino; - altezza edifici: 7-10 m; - forti correnti d'aria; - traffico: intenso lungo il passeggio Adorno e Aretusa.	- esposizione facciate: a E e O, a N e S; - strade: tra 4 e 7 m, 12 m (corso Umberto); - altezza edifici: 7-13 m; - correnti d'aria solo vicino al lungomare; - traffico veicolare: elevato.	- esposizione facciate: variabile; - strade: tra 2 e 3 m; - altezza edifici: 7-13 m; - forti correnti d'aria nelle zone più alte (Bottari); - traffico veicolare: assente o ridotto.	- esposizione facciate: su tutti i quattro lati; - strade: da 10 m; - altezza edifici: 7-10 m; - correnti d'aria soprattutto da E; - traffico veicolare: elevato.
CARATTERI DELLE SUPERFICI ESTERNE				
- Litotipi: svariati; - Intonaco: a base di calce colorato in pasta; - Altro: rivestimento in mattonelle, gres o laterizio.	- Litotipi: svariati; - Intonaco: a base di calce colorato in pasta o cementizio; - Altro: rivestimento in laterizio, mattonelle di ceramica o cemento.	- Litotipi: svariati; - Intonaco: a base di calce o cementizio; - Altro: marmo o piastrelle.	- Litotipi: svariati; - Intonaco: a base di calce o cemento, esempi di cocchiopesto; - Altro: piastrelle di ceramica o di cemento, laterizi.	- Litotipi: svariati; - Intonaco: a base di calce; - Altro: /
DEGRADI PREVALENTI				
- Erosione; - efflorescenza; - croste nere; - patina biologica (a N-E).	- Erosione; - efflorescenza; - alveolizzazione; - macchie di umidità; - patina biologica (cornicioni).	- Croste nere; - patina biologica; - alveolizzazione (in prossimità del lungomare); - macchie di umidità (basamenti).	- Erosione; - alveolizzazione; - patina biologica; - degradazione differenziale dell'intonaco (<i>flos teectoris</i>).	- Erosione; - patina biologica; - croste nere; - alveolizzazione.



Dati posizionali:
Lungomare Alfeo n° 20 - Ortigia

ZONA: Z1



DATI AMBIENTALI

ESPOSIZIONE

N	NE	E	SE	S	SO	O	NO
---	----	---	----	---	----	---	----

SOLEGGIAMENTO (in h)

L'edificio è esposto al soleggiamento diretto dalle 12 fino al tramonto.

In estate 7 h;

In inverno 5 h.

VENTILAZIONE

L'edificio è direttamente esposto ai venti dominanti che vengono da ovest.

L'INTORNO

Lo spazio antistante è costituito dalla strada di lungomare della larghezza di m 7,5 compreso un marciapiede di m 1,5. Non c'è nessun edificio antistante e i due edifici confinanti a destra e sinistra sono, rispettivamente, uno più basso di una elevazione e uno della stessa altezza.

POSIZIONE RISPETTO AL MARE

L'edificio si affaccia direttamente sul mare. Da questo lo divide il lungomare Alfeo; è quindi distante m 7,5.

TRAFFICO VEICOLARE

Il traffico veicolare è assente in quanto il lungomare Alfeo è aperto al solo traffico pedonale.

CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE E MATERICHE

SISTEMA TECNOLOGICO

La struttura è a due elevazioni in muratura portante a sacco con un rivestimento in conci squadrati di pietra dello spessore di circa cm 5, ancorato alla superficie sottostante solo tramite un abbondante strato di malta e senza ammorsamento dei conci.

Gli elementi architettonici quali le cornici delle aperture, il cornicione e le mensole, sono in pietra da taglio scolpita.

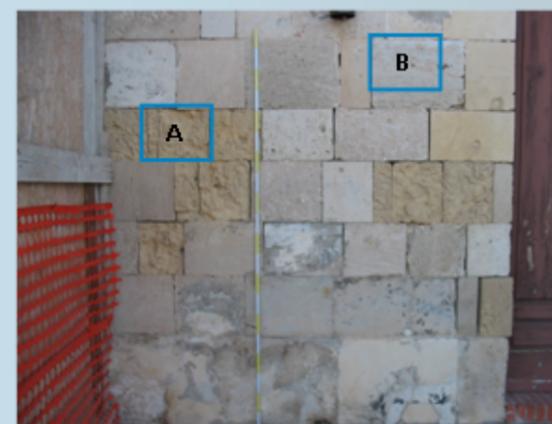
DISPOSITIVO: FINITURA

Il paramento esterno è in pietra a faccia vista senza alcuno strato di intonaco.

In alcuni punti sono evidenti i segni dell'aggiunta di un sottile strato di intonaco su alcuni conci.

LITOTIPI

Sul paramento sono presenti almeno due litotipi:
A) una pietra più gialla, tenera e friabile, probabilmente di Noto;
B) una pietra grigio-beige, più compatta, probabilmente di Palazzolo.



DEGRADI PREVALENTI

- Erosione
- Alveolizzazione
- Patina biologica
- Croste nere
- Efflorescenza
- Mancanza
- Deposito superficiale
- Altro: macchie

ANALISI DEL DEGRADO

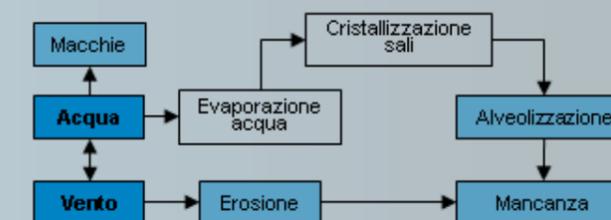
La compresenza di acqua e vento causa l'erosione della pietra e l'evaporazione dell'acqua (effetti diretti) con la conseguente cristallizzazione dei sali (effetto indiretto) e manifestazione di fenomeni spinti di alveolizzazione e mancanza.

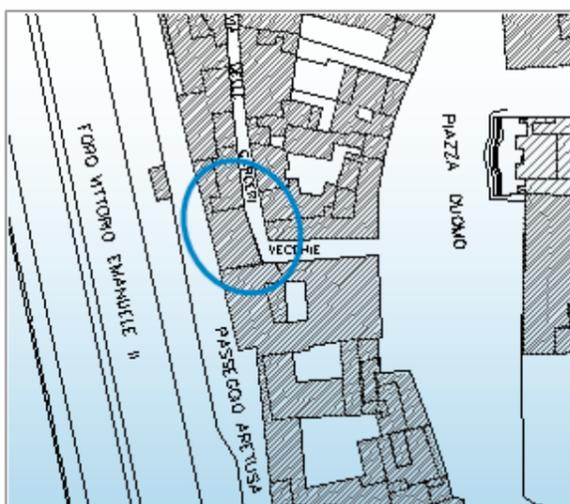
Alla presenza abbondante di acqua sono dovute anche le macchie di umidità.

Per tali fenomeni di degrado, la pioggia e il vento sono contemporaneamente tra loro cause principali e condizioni aggravanti.

La tipologia più degradata è la A.

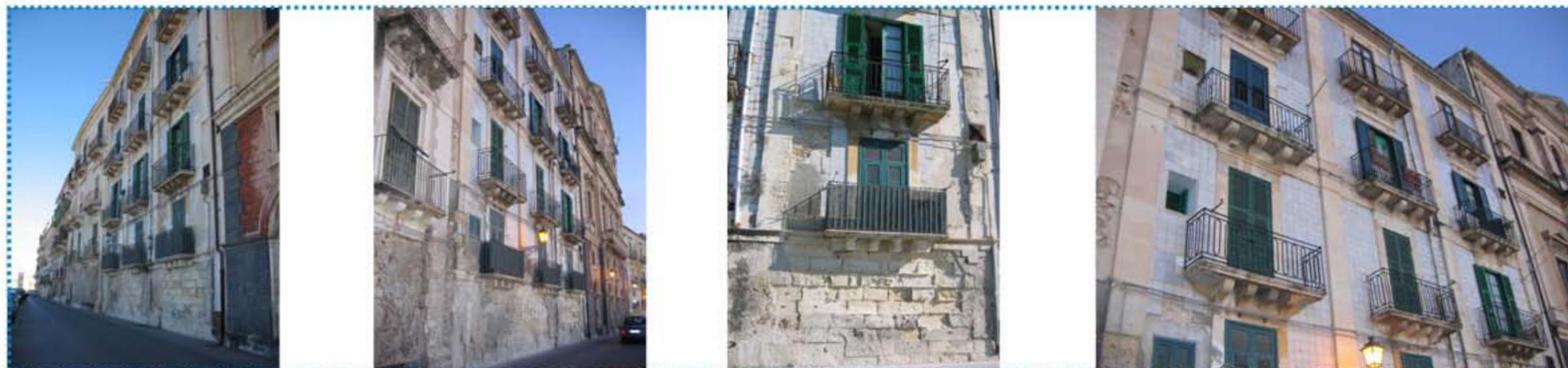
La zona maggiormente interessata è il basamento.





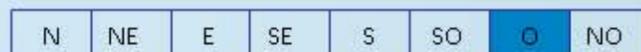
Dati posizionali:
 Passeggio Aretusa s.n. - Ortigia

ZONA: Z1



DATI AMBIENTALI

ESPOSIZIONE



SOLEGGIAMENTO (in h)

L'edificio è esposto al soleggiamento diretto dalle 12 fino al tramonto.
 In estate 7 h;
 In inverno 5 h.

VENTILAZIONE

L'edificio è direttamente esposto ai venti dominanti che vengono da ovest.

L'INTORNO

Lo spazio antistante è costituito dalle due strade di lungomare, il Passeggio Aretusa e il Foro Vittorio Emanuele II, della larghezza totale di m 55.
 Non c'è nessun edificio antistante e i due edifici confinanti hanno la stessa altezza.

POSIZIONE RISPETTO AL MARE

L'edificio si affaccia direttamente sul mare. Da questo lo dividono solo il Passeggio Aretusa e il Foro Vittorio Emanuele II; dista quindi da esso m 55.

TRAFFICO VEICOLARE

Il traffico veicolare è presente e continuo, anche se il Passeggio Aretusa è aperto al traffico in una sola direzione.

CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE E MATERICHE

SISTEMA TECNOLOGICO

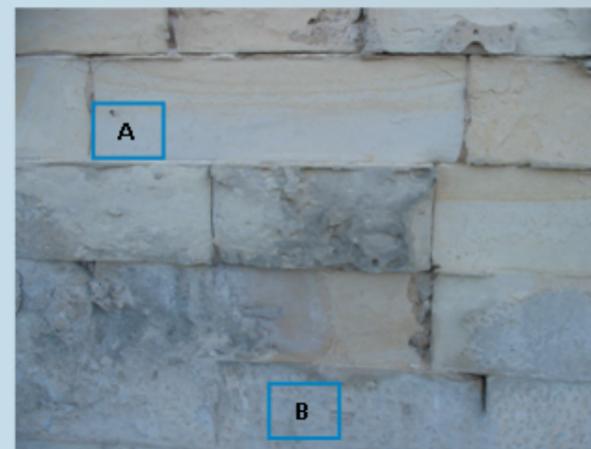
La struttura è a cinque elevazioni in muratura portante a sacco con un rivestimento in conci squadri di pietra dello spessore di circa cm 8, ancorato alla superficie sottostante solo tramite un abbondante strato di malta e senza ammorsamenti dei conci.
 Il paramento è scandito da lesene, balconi con mensole semplici e cornici, tutti in pietra da taglio a vista.

DISPOSITIVO: FINITURA

Il piano terra è attualmente in pietra a faccia vista poiché il forte degrado ha rimosso l'intonaco. Gli altri piani sono rivestiti in mattonelle di ceramica.

LITOTIPI

Sul paramento è presente lo stesso litotipo diversamente degradato oppure due litotipi diversi:
 A) una pietra che si presenta più gialla, tenera e friabile;
 B) una pietra che si presenta grigio-beige, più compatta.

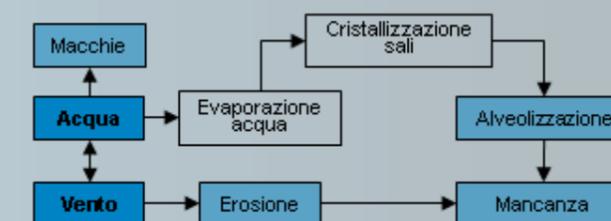


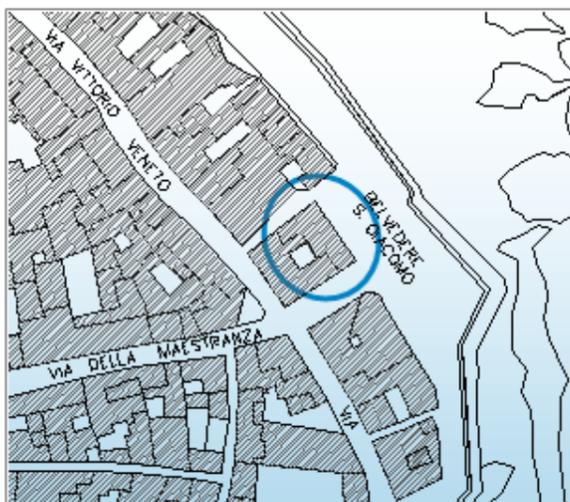
DEGRADI PREVALENTI

- Erosione
- Alveolizzazione
- Patina biologica
- Croste nere
- Efflorescenza
- Mancanza
- Deposito superficiale
- Altro: macchie

ANALISI DEL DEGRADO

I conci del basamento rispondono diversamente ad erosione e alveolizzazione: alcuni sono poco degradati (quelli più in basso), altri hanno perso anche 3 cm di spessore. La spiegazione sta nella presenza di due diversi litotipi o nella maggiore evaporazione dell'acqua (e quindi nell'aggravamento del degrado) per altezze maggiori da terra.
 Le macchie interessano tutti gli elementi lapidei del paramento, mentre l'erosione e la mancanza di consistenti parti lapidee interessa in modo spinto solo il basamento.





Dati posizionali:
Belvedere S. Giacomo n° 3 -
Ortigia

ZONA: Z2



DATI AMBIENTALI

ESPOSIZIONE

N	NE	E	SE	S	SO	O	NO
---	----	---	----	---	----	---	----

SOLEGGIAMENTO (in h)

L'edificio è esposto al soleggiamento diretto fino alle 12.
In estate 6 h;
In inverno 5 h.

VENTILAZIONE

L'edificio è direttamente esposto ai venti dominanti che vengono da est.

L'INTORNO

Lo spazio antistante è costituito dal Belvedere S. Giacomo, della larghezza totale di m 24, compreso un marciapiede di m 1. Non c'è nessun edificio antistante e i due edifici confinanti, separati dall'edificio in esame uno dalla via della Maestranza e l'altro da un vicolo, hanno altezze diverse.

POSIZIONE RISPETTO AL MARE

L'edificio si affaccia direttamente sul mare. Da questo lo divide solo il Belvedere S. Giacomo; dista quindi da esso m 24.

TRAFFICO VEICOLARE

Il traffico veicolare è presente e continuo, anche se il Belvedere S. Giacomo è aperto al traffico in una sola direzione.

CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE E MATERICHE

STRUTTURA PORTANTE

La struttura è a tre elevazioni in muratura portante a sacco con il paramento esterno in grossi conci squadrate di pietra ancorato al resto della muratura tramite conci disposti di punta. La facciata è divisa in tre zone dalle fasce marcapiano, caratterizzate da finestre ad arco al piano terra e da balconi ai restanti due piani.

Le mensole e le architravi delle aperture sono in pietra da taglio decorata.

DISPOSITIVO: FINITURA

L'intera facciata è rivestita di intonaco, simulando un bugnato liscio e continuo al piano terra. Qui in alcune zone, dove è caduto l'intonaco, la pietra squadrate è a vista.

LITOTIPI

Sul paramento è presente un solo litotipo, probabilmente della Formazione di Palazzolo, data la presenza di "tubuli".



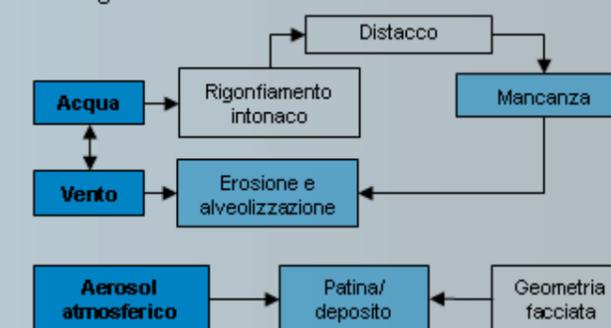
DEGRADI PREVALENTI

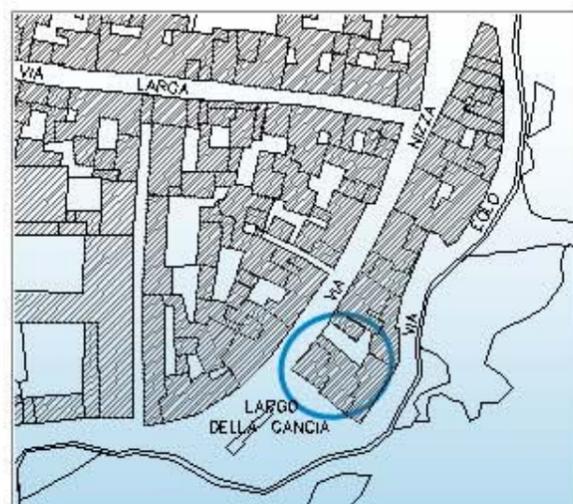
- Erosione
- Alveolizzazione
- Patina biologica
- Croste nere
- Efflorescenza
- Mancanza
- Deposito superficiale
- Altro

ANALISI DEL DEGRADO

L'erosione e l'alveolizzazione interessano solo le parti di pietra del piano terra lasciate scoperte dalla mancanza dell'intonaco.

Il deposito superficiale e la patina biologica interessano l'intera facciata ma in maggior quantità le zone che, in base alla geometria della stessa (condizione predisponente), sono meno esposte al dilavamento o si mantengono umide.





Dati posizionali:
Largo della Gancia n° 1 - Ortigia

ZONA: Z2



DATI AMBIENTALI

ESPOSIZIONE

N	NE	E	SE	S	SO	O	NO
---	----	---	----	---	----	---	----

SOLEGGIAMENTO (in h)

L'edificio si trova ad angolo: è esposto al soleggiamento diretto sul solo lato prospiciente il Largo della Gancia, mediamente tra le 10 e le 14. Su via Nizza l'altezza degli edifici di fronte non permette il soleggiamento pomeridiano.

VENTILAZIONE

L'edificio è riparato dai venti dominanti che vengono da est, ma è esposto a leggere turbolenze che si formano all'interno del largo.

L'INTORNO

Lo spazio antistante è costituito dal Largo della Gancia, uno spazio approssimativamente di 40x30 m, compreso un marciapiede di 1,50 m. Non vi è alcun edificio antistante sul Largo della Gancia. Su via Nizza prospettano edifici di 2 e 3 elevazioni.

POSIZIONE RISPETTO AL MARE

L'edificio si affaccia direttamente sul mare. Da questo lo divide solo il Largo della Gancia; dista quindi da esso circa m 27.

TRAFFICO VEICOLARE

Il traffico veicolare è presente e continuo. Il Largo della Gancia è anche usato come parcheggio.

CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE E MATERICHE

STRUTTURA PORTANTE

La struttura è a tre elevazioni in muratura portante a sacco con paramento esterno in pietra grezza, malta abbondante e frequenti rincocciami con mattoni e pezzi di tegole. Il cantonale è in grossi conci squadri alternatamente disposti di punta e di fascia.

Le aperture sono circondate da cornici semplici in pietra da taglio. Le mensole dei balconi, presenti solo sul Largo della Gancia, sono anch'esse in pietra priva di particolari decorazioni.

DISPOSITIVO: FINITURA

L'intera facciata è rivestita di intonaco. Al piano terra l'intonaco caduto lascia a vista la muratura.

LITOTIPI

Sono presenti due litotipi:
A) una pietra più gialla;
B) una pietra più bianca.

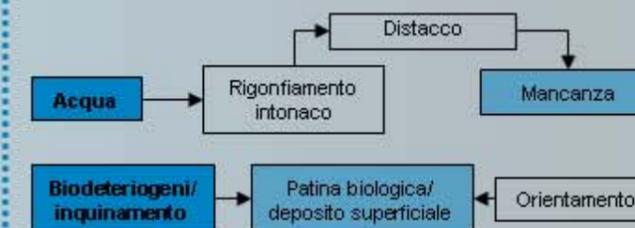


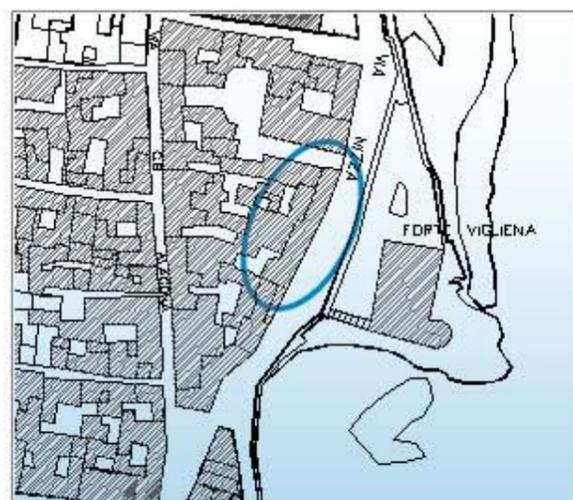
DEGRADI PREVALENTI

- Erosione
- Alveolizzazione
- Patina biologica
- Croste nere
- Efflorescenza
- Mancanza
- Deposito superficiale
- Altro

ANALISI DEL DEGRADO

L'erosione e l'alveolizzazione interessano solo le cornici delle aperture del piano terra lasciate scoperte dalla mancanza dell'intonaco, causata dalla risalita capillare. La patina e il deposito interessano l'intera facciata poiché, per via dell'orientamento (condizione predisponente) e quindi dello scarso soleggiamento, si mantiene umida favorendo l'attecchimento e la proliferazione degli agenti biodeteriogeni e dell'aerosol atmosferico.





Dati posizionali:
Via Nizza n° 28 - Ortigia

ZONA: Z2



DATI AMBIENTALI

ESPOSIZIONE

N	NE	E	SE	S	SO	O	NO
---	----	---	----	---	----	---	----

SOLEGGIAMENTO (in h)

L'edificio è esposto al soleggiamento diretto fino alle 13.
In estate 7 h;
In inverno 6 h.

VENTILAZIONE

L'edificio è direttamente esposto ai venti dominanti che vengono da est.

L'INTORNO

Lo spazio antistante è costituito dalla via Nizza, larga m 12 compreso un marciapiede di m 2, e dal Forte Vigiena, unico edificio antistante.
L'edificio a sinistra ha la stessa altezza, così come quello a destra, separato dall'edificio in esame da un vicolo di m 4.

POSIZIONE RISPETTO AL MARE

L'edificio si affaccia direttamente sul mare. Da questo lo dividono solo il Forte Vigiena e la via Nizza; dista quindi da esso m 36 circa.

TRAFFICO VEICOLARE

Il traffico veicolare è presente e continuo in entrambe le direzioni.

CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE E MATERICHE

STRUTTURA PORTANTE

La struttura è a due elevazioni in muratura portante a sacco con paramento esterno in pietra sbazzata, malta e frequenti rincocciamenti in mattoni. Il prospetto è ritmato dai due cantonali, da due paraste, dalla fascia marcapiano e dal cornicione, tutti in cond squadrate dalle dimensioni regolari. Le aperture presentano cornici arcuate al piano terra e ad architrave al primo piano. Cornici e mensole sono in pietra squadrate leggermente decorata.

DISPOSITIVO: FINITURA

L'intera facciata è rivestita in mattoni sottili, in gran parte caduti lasciando a vista la malta di ancoraggio o la muratura. Gli elementi architettonici sono intonacati.

LITOTIPI

È presente un litotipo costituito da pietra grigio-beige.



DEGRADI PREVALENTI

- Erosione
- Alveolizzazione
- Patina biologica
- Croste nere
- Efflorescenza
- Mancanza
- Deposito superficiale
- Altro

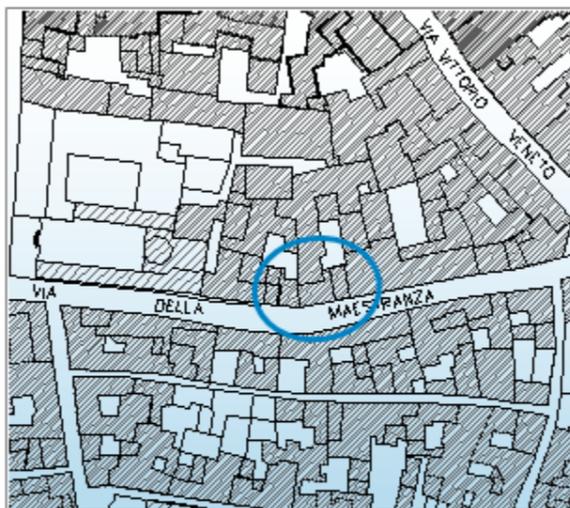
ANALISI DEL DEGRADO

L'erosione e l'alveolizzazione interessano solo i pochi elementi lapidei lasciati scoperti dalla mancanza dell'intonaco.

L'efflorescenza è visibile sui mattoni ed è dovuta alla cristallizzazione dei sali presenti nell'acqua che, per diverse cause, bagna la parete a diverse altezze.

La mancanza riguarda gran parte del rivestimento in mattoni ed è legata non solo alla presenza di acqua ma anche al suo esiguo spessore.





Dati posizionali:

Via della Maestranza n° 97 - Ortigia

ZONA: Z3



DATI AMBIENTALI

ESPOSIZIONE

N	NE	E	SE	S	SO	O	NO
---	----	---	----	----------	----	---	----

SOLEGGIAMENTO (in h)

A causa della forma curva della strada e del fatto che l'edificio antistante ha la stessa altezza, l'edificio in esame è poco esposto al soleggiamento diretto per intero.

In estate 5 h;

In inverno 4 h.

VENTILAZIONE

L'edificio è riparato dai venti dominanti.

L'INTERNO

L'edificio si colloca all'interno di una zona caratterizzata da strade strette ed edifici alti circa m 12.

La via della Maestranza sulla quale si affaccia l'edificio è larga m 7. Gli edifici ai lati e quelli frontali hanno la stessa altezza.

POSIZIONE RISPETTO AL MARE

L'edificio dista dal mare m 136 circa.

TRAFFICO VEICOLARE

Il traffico veicolare è presente e continuo in un'unica direzione. Il rapporto tra la sezione stradale e l'altezza degli edifici non permette una buona ventilazione e il ricambio d'aria.

CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE E MATERICHE

STRUTTURA PORTANTE

La struttura è a quattro elevazioni, di cui una costituita da un mezzanino, in muratura portante a sacco con paramento esterno in pietra squadrata, con giunti di malta di pochi millimetri.

Gli elementi architettonici sono in pietra squadrata decorata, con ballatoi concavo-convessi, mensole con volute, aperture con architrave a timpano.

DISPOSITIVO: FINITURA

L'intera facciata è lasciata con i conci di pietra a vista.

LITOTIPI

È presente un litotipo costituito da pietra grigio-beige.

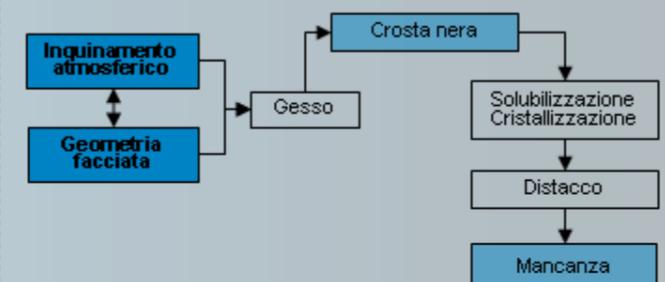


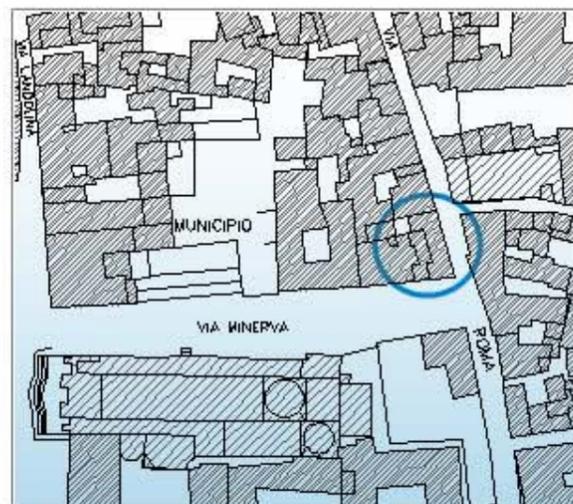
DEGRADI PREVALENTI

- Erosione
- Alveolizzazione
- Patina biologica
- Croste nere
- Efflorescenza
- Mancanza
- Deposito superfidiale
- Altro

ANALISI DEL DEGRADO

Il degrado principale è costituito dalla crosta nera che ricopre tutte le parti della facciata non sottoposte a dilavamento. Parte delle mensole e di alcuni conci si è distaccata insieme alla crosta. La causa diretta di tale degrado è dovuta all'inquinamento da traffico veicolare, predisposto e aggravato dalla geometria della facciata. Alcuni conci sono inoltre colpiti da una lieve alveolizzazione.





Dati posizionali:
Via Roma n° 52 - Ortigia

ZONA: Z3



DATI AMBIENTALI

ESPOSIZIONE

N	NE	E	SE	S	SO	O	NO
---	----	----------	----	---	----	---	----

SOLEGGIAMENTO (in h)

A causa della dimensione esigua della strada e del fatto che l'edificio antistante ha la stessa altezza, l'edificio in esame è poco esposto al soleggiamento.

In estate 3 h;

In inverno 2 h.

VENTILAZIONE

L'edificio è riparato dai venti dominanti.

L'INTORNO

L'edificio si colloca all'interno di una zona caratterizzata da strade strette ed edifici alti circa m 10.

La via Roma sulla quale si affaccia l'edificio è larga tra i 4 e i 6 metri. Il prospetto principale è su via Minerva, larga m 14. Gli edifici ai lati e quelli frontali hanno la stessa altezza.

POSIZIONE RISPETTO AL MARE

L'edificio dista dal mare m 350 circa.

TRAFFICO VEICOLARE

Il traffico veicolare è presente e continuo in un'unica direzione. Il rapporto tra la sezione stradale e l'altezza degli edifici non permette una buona ventilazione e il ricambio d'aria.

CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE E MATERICHE

STRUTTURA PORTANTE

La struttura è a tre elevazioni in muratura portante a sacco con paramento esterno in pietra sbazzata e malta abbondante. Il piano terra è rivestito da pietra lavorata a bugnato liscio.

Gli elementi architettonici sono in pietra squadrata, con mensole intagliate, aperture arcuate al piano terra e al primo piano, con architrave al secondo piano e capitelli lavorati in entrambi i casi.

DISPOSITIVO: FINITURA

L'intera facciata è intonacata.

LITOTIPI

È presente un litotipo costituito da pietra color crema.

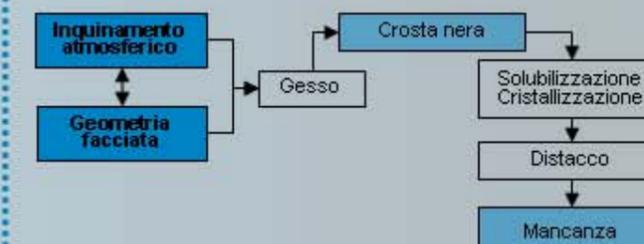


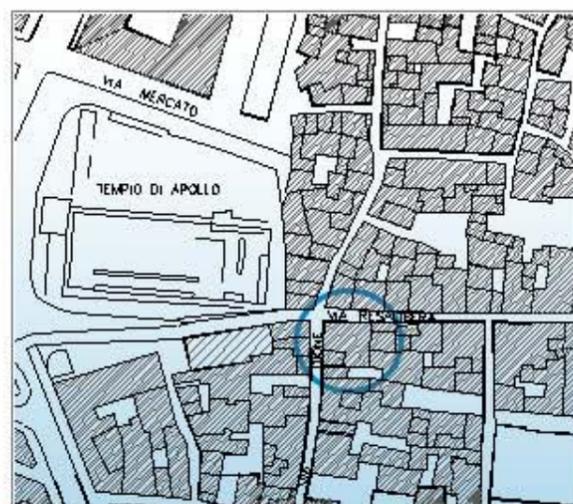
DEGRADI PREVALENTI

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Erosione | <input type="checkbox"/> Efflorescenza |
| <input type="checkbox"/> Alveolizzazione | <input checked="" type="checkbox"/> Mancanza |
| <input checked="" type="checkbox"/> Patina biologica | <input type="checkbox"/> Deposito superficiale |
| <input checked="" type="checkbox"/> Croste nere | <input type="checkbox"/> Altro |

ANALISI DEL DEGRADO

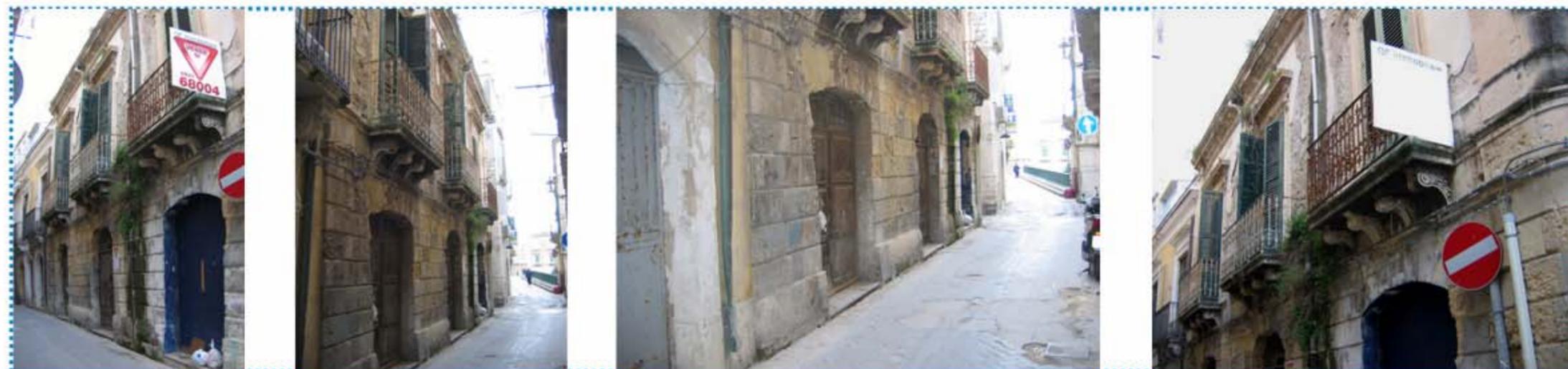
Il degrado principale è costituito dalla crosta nera che ricopre tutte le parti della facciata non sottoposte a dilavamento. Parte delle mensole si è distaccata insieme alla crosta. La causa diretta di tale degrado è dovuta all'inquinamento da traffico veicolare, predisposto e aggravato dalla geometria della facciata. Quest'ultima, inoltre, è ricoperta di patina biologica a causa dell'insolazione carente.





Dati posizionali:
Via Resalibera n° 6 - Ortigia

ZONA: Z4



DATI AMBIENTALI

ESPOSIZIONE

N	NE	E	SE	S	SO	O	NO
---	----	---	----	---	----	---	----

SOLEGGIAMENTO (in h)

L'edificio è disposto ad angolo. Il prospetto principale è esposto a nord e quello secondario a ovest ma, a causa dell'altezza maggiore dell'edificio di fronte, non è mai soleggiato.

VENTILAZIONE

L'edificio è tangente ai venti dominanti provenienti da est.

L'INTORNO

L'edificio si colloca all'interno di una zona caratterizzata da strade strette ed edifici di due e tre elevazioni. La via Resalibera sulla quale si affaccia l'edificio è larga m 3,5. Gli edifici ai lati e quelli frontali hanno la stessa altezza.

POSIZIONE RISPETTO AL MARE

L'edificio dista dal mare m 250 circa.

TRAFFICO VEICOLARE

Il traffico veicolare è sporadico e in un'unica direzione.

CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE E MATERICHE

STRUTTURA PORTANTE

La struttura è a due elevazioni in muratura portante a sacco con paramento esterno in conci di pietra squadrati, con frequenti diatoni e sottili letti di malta. La pietra che riveste il piano terra è lavorata a bugnato liscio e continuo.

A differenza della restante edilizia minuta che caratterizza questa zona, gli elementi architettonici sono in pietra squadrata, con mensole intagliate a volute, aperture arcuate al piano terra, con architrave e capitelli lavorati al primo piano.

DISPOSITIVO: FINITURA

L'intera facciata è intonacata. Dove l'intonaco è caduto, per via del degrado, la pietra è a vista.

LITOTIPI

È presente un litotipo costituito da pietra color crema.



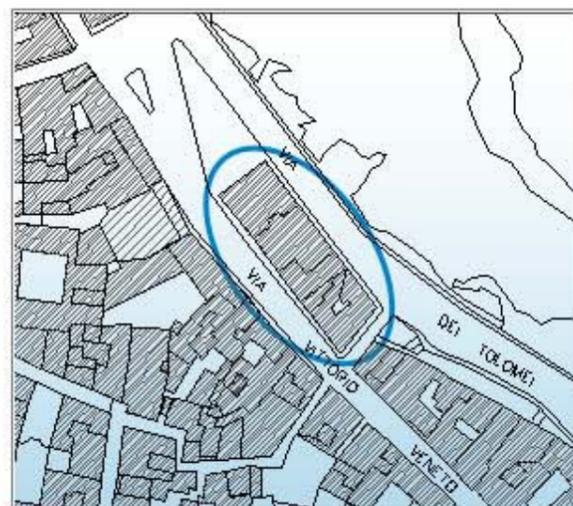
DEGRADI PREVALENTI

- Erosione
- Alveolizzazione
- Patina biologica
- Croste nere
- Efflorescenza
- Mancanza
- Deposito superficiale
- Presenza di vegetazione

ANALISI DEL DEGRADO

La patina e il deposito interessano l'intera facciata poiché, per via dell'orientamento (condizione predisponente) e del soleggiamento assente, si mantiene umida, favorendo l'attecchimento e la proliferazione degli agenti biodeteriogeni e dell'aerosol atmosferico. L'alveolizzazione, causata dalla risalita capillare dell'acqua, interessa le zone del piano terra lasciate scoperte dalla mancanza dell'intonaco.





Dati posizionali:
Via Vittorio Veneto n° 64 - Ortigia

ZONA: Z4



DATI AMBIENTALI

ESPOSIZIONE

N	NE	E	SE	S	SO	O	NO
---	----	---	----	---	----	---	----

SOLEGGIAMENTO (in h)

L'edificio è esposto al soleggiamento diretto dalle 10 in poi.
In estate 8 h;
In inverno 6 h.

VENTILAZIONE

L'edificio è tangente ai venti provenienti da N-S.

L'INTORNO

L'edificio fa parte di una serie di isolati che da un lato si affacciano sul lungomare e dall'altro su una strada di sezione ridotta, con edifici di due e tre elevazioni. La via Vittorio Veneto sulla quale si affaccia l'edificio è larga m 10, compresi due marciapiedi da m 1,50 circa. Gli frontali sono più bassi.

POSIZIONE RISPETTO AL MARE

L'edificio dista dal mare m 25 circa.

TRAFFICO VEICOLARE

Il traffico veicolare è continuo e in un'unica direzione.

CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE E MATERICHE

STRUTTURA PORTANTE

La struttura è a tre elevazioni in muratura portante a sacco con paramento esterno in conci squadrati al piano terra e con pietre sbazzate ai restanti piani. Due delle dieci campate che costituiscono il prospetto non hanno il secondo piano. A differenza della restante edilizia che caratterizza questa via, gli elementi architettonici sono in pietra squadrata senza particolari decorazioni; le aperture sono arcuate al piano terra e con architrave agli altri piani.

DISPOSITIVO: FINITURA

L'intera facciata è intonacata. Tre campate sono rivestite, per il solo primo piano, con mattonelle.

LITOTIPI

È presente un litotipo costituito da pietra color beige.



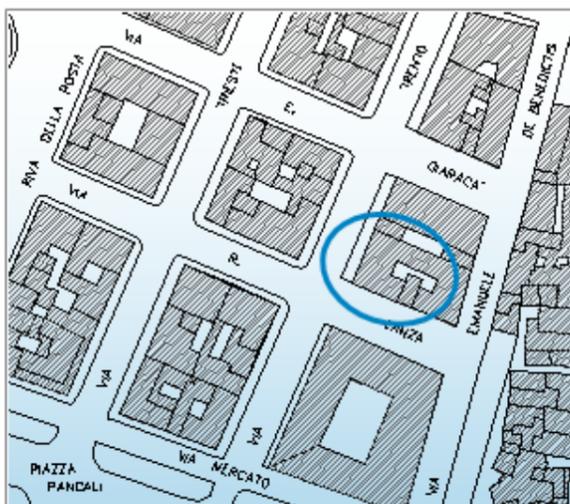
DEGRADI PREVALENTI

- Erosione
- Alveolizzazione
- Patina biologica
- Croste nere
- Efflorescenza
- Mancanza
- Deposito superficiale
- Altro

ANALISI DEL DEGRADO

La compresenza di acqua e vento causa l'erosione della pietra e l'evaporazione dell'acqua (effetti diretti) con la conseguente cristallizzazione dei sali (effetto indiretto) e manifestazione di fenomeni spinti di alveolizzazione e mancanza. Per tali fenomeni di degrado, la pioggia e il vento sono contemporaneamente tra loro cause principali e condizioni aggravanti. La zona interessata è il basamento. Alcune mensole e alcuni tratti di cornicione sono interessati da depositi superficiali.





Dati posizionali:

Via Raffaele Lanza n° 14 - Ortigia

ZONA: Z5



DATI AMBIENTALI

ESPOSIZIONE

N	NE	E	SE	S	SO	O	NO
---	----	---	----	---	-----------	---	----

SOLEGGIAMENTO (in h)

L'edificio è esposto al soleggiamento diretto dalle 10 in poi.
In estate 8 h;
In inverno 7 h.

VENTILAZIONE

L'edificio è riparato dai venti dominanti provenienti da E.

L'INTERNO

L'edificio costituisce l'intero isolato, delimitato dalla via R. Lanza, larga m 13.5, dalla via Trento, larga m 16.50, dalla via E. De Benedictis, larga m 9.50, e dalla via Giaracà larga m 13.5. Il prospetto oggetto di analisi è quello sulla via Lanza. L'edificio si inserisce all'interno di una maglia regolare costituita da grandi isolati e con edifici di tre e quattro elevazioni. Gli edifici limitrofi hanno la stessa altezza, mentre quello di fronte è più basso di una elevazione.

POSIZIONE RISPETTO AL MARE

L'edificio dista dal mare m 200 circa.

TRAFFICO VEICOLARE

Il traffico veicolare è continuo lungo la via Trento. Lungo la via R. Lanza è consentito solo nel pomeriggio.

CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE E MATERICHE

STRUTTURA PORTANTE

La struttura è a tre elevazioni in muratura portante a sacco con paramento esterno in pietre sbazzate e abbondante malta.

Tutti gli elementi architettonici sono in pietra squadrata decorazioni lineari; le aperture sono ad arco ribassato al piano terra e con architrave modanato agli altri piani; le mensole presentano volute e foglie d'acanto, in parte irriconoscibili a causa del degrado; il cantonale è costituito da conci squadrati delle stesse dimensioni.

DISPOSITIVO: FINITURA

L'intera facciata è intonacata. Una parte del piano terra era rivestita da mattonelle di cemento.

LITOTIPI

Sono presenti due litotipi: uno più compatto di colore bianco-grigiastro e un altro più tenero e giallognolo usato per le cornici delle aperture.



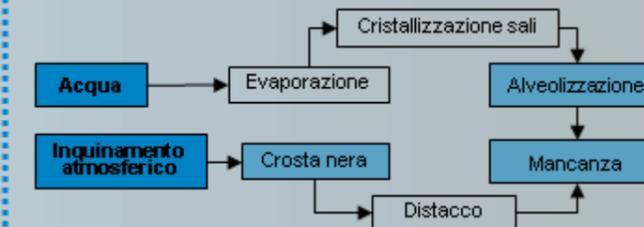
DEGRADI PREVALENTI

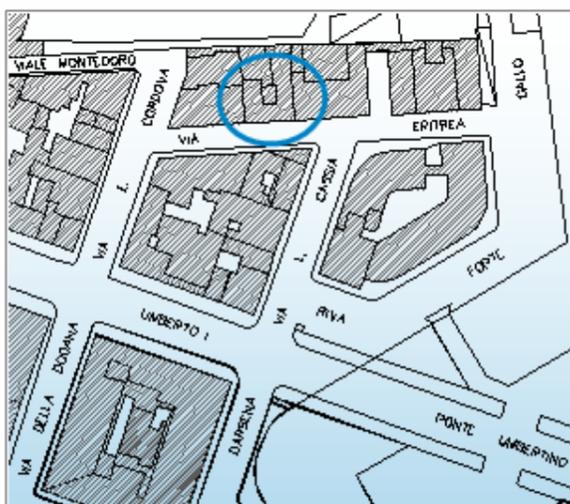
- Erosione
- Alveolizzazione
- Patina biologica
- Croste nere
- Efflorescenza
- Mancanza
- Deposito superficiale
- Altro

ANALISI DEL DEGRADO

L'alveolizzazione del basamento e delle cornici delle aperture del piano terra è dovuto ai cicli di solubilizzazione/cristallizzazione dei sali che causano anche abbondanti mancanze.

Le mensole hanno perso la loro regolarità geometrica a causa del distacco delle croste nere e delle conseguenti mancanze. Le restanti zone scarsamente dilavate, quali cornicioni ed intradossi dei ballatoi, sono ricoperte di depositi superficiali e patine biologiche.





Dati posizionali:
Via Eritrea n° 6

ZONA: Z5



DATI AMBIENTALI

ESPOSIZIONE

N	NE	E	SE	S	SO	O	NO
---	----	---	----	----------	----	---	----

SOLEGGIAMENTO (in h)

L'edificio è esposto al soleggiamento diretto dalle 10 per poche ore, a causa dell'altezza dell'edificio di fronte.
In estate 6 h;
In inverno 5 h.

VENTILAZIONE

L'edificio è riparato dai venti dominanti.

L'INTORNO

L'edificio prospetta sulla via Eritrea larga m 8,5. Si inserisce all'interno di isolato di bordo rispetto alla maglia regolare del quartiere umbertino.
Gli edifici limitrofi hanno tutti la stessa altezza.

POSIZIONE RISPETTO AL MARE

L'edificio dista dal mare m 78 circa.

TRAFFICO VEICOLARE

Il traffico veicolare è continuo lungo la via Eritrea ma in una sola direzione. Il rapporto tra la sezione stradale e l'altezza degli edifici non permette una buona ventilazione e il ricambio d'aria.

CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE E MATERICHE

STRUTTURA PORTANTE

La struttura è a due elevazioni in muratura portante a sacco con paramento esterno in pietre grezze e abbondante malta. Il prospetto è diviso in tre campate da quattro paraste in conci squadrati e tutti delle stesse dimensioni. Tutti gli elementi architettonici sono in pietra squadrata e decorata: le aperture sono ad arco al piano terra, con architrave modanato, alternatamente a timpano e retto, e con capitelli corinzi al primo piano; le mensole presentano volute e foglie d'acanto; la fascia marcapiano è modanata.

DISPOSITIVO: FINITURA

L'intera facciata è intonacata. Dove manca l'intonaco il paramento lapideo è a vista.

LITOTIPI

È presente un litotipo costituito da pietra giallognola.

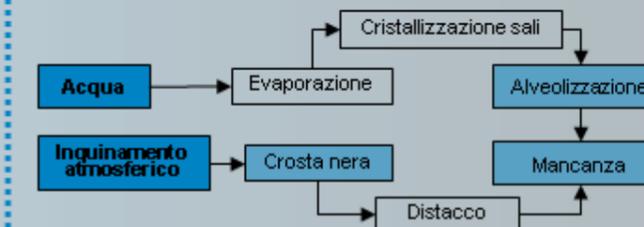


DEGRADI PREVALENTI

- Erosione
- Alveolizzazione
- Patina biologica
- Croste nere
- Efflorescenza
- Mancanza
- Deposito superficiale
- Altro

ANALISI DEL DEGRADO

L'alveolizzazione del basamento e delle cornici delle aperture del piano terra è dovuto ai cicli di solubilizzazione/cristallizzazione dei sali (causa indiretta) contenuti nell'acqua (causa diretta) che causano anche abbondanti mancanze. Le zone scarsamente lavate per via della geometria della facciata (causa predisponente), quali mensole, cornicioni ed intradossi dei ballatoi, sono ricoperte di croste nere legate all'inquinamento atmosferico.



PARTE TERZA

LE ANALISI DI LABORATORIO

Le campionamento del materiale lapideo è la fase fondamentale che precede le analisi in laboratorio. I criteri e le metodologie di campionamento sono unificate e normalizzate dalle Raccomandazioni NorMaL 3/80 che stabiliscono le finalità del campionamento: «Il campionamento deve essere effettuato da chi eseguirà le analisi o sotto la sua diretta responsabilità.

Il numero e l'entità dei prelievi devono essere minimi, compatibilmente con la loro finalità e rappresentatività. Essi dovranno comunque permettere una valutazione del fenomeno che si vuole investigare [...]. Le zone di prelievo devono essere scelte tenendo conto della necessità di non distruggere in alcun modo l'estetica del manufatto»¹.

Visti gli obiettivi prefissati, i campioni lapidei sono stati prelevati sia dai paramenti storici di Ortigia, sia in cava.

Data la difficoltà di campionamento di prismi di muratura di grandi dimensioni, il prelievo dai paramenti ha interessato solo singoli elementi lapidei di limitate dimensioni (almeno cm 2x3x1). La tecnica di indagine utilizzata può definirsi semidistruttiva, in quanto il prelievo interessa piccoli campioni che non causano distruzione né modificano irreversibilmente l'edificio campionato.

Visto lo stato di degrado già avanzato e tenendo conto del principio del minimo danneggiamento dell'edificio esposto con le Raccomandazioni NorMaL, i campioni sono stati quindi prelevati sempre da zone in cui il degrado ne agevola l'asportazione, senza intervenire su zone integre, sfruttando pezzi di pietra già sollevati o in via di distacco. Questa scelta si è resa necessaria per limitare i danni alle facciate.

Nel caso delle cave, i campioni prelevati presentano dimensioni maggiori e forme regolari, vista la grande disponibilità di materiale, in funzione delle analisi che sono state successivamente effettuate.

¹ CNR-ICR, NORMAL 3/80, *Materiali lapidei: campionamento*, Roma, 1980, p. 1.



Figura 1 – Campione prelevato da un paramento di Ortigia e da una cava

9.1 CRITERI E METODOLOGIE DI CAMPIONAMENTO

Nel campionamento del materiale lapideo ad Ortigia è avvenuto secondo i seguenti criteri:

- in funzione delle diverse zone microclimatiche precedentemente individuate (almeno due campioni per zona);
- in funzione delle condizioni ambientali all'interno delle singole zone (in rapporto al soleggiamento, alla ventilazione, alla vicinanza del mare, alla presenza del traffico, ecc);
- in base alla differenza fra i litotipi rilevabile dall'indagine a vista delle superfici (considerando il colore, la grana, la presenza di macrofossili, ecc);
- in base alla concentrazione del degrado (zone alveolizzate, con patine o croste, ecc),
- in assenza di interventi di recupero e/o manutenzione che potessero interferire con il supporto.

Tali campioni devono infatti essere rappresentativi delle differenti condizioni microclimatiche di Ortigia e rendere possibile l'individuazione dei diversi litotipi e delle probabili cause di degrado dei fenomeni.

La metodologia seguita parte dalla scelta degli edifici da campionare in seguito a diversi sopralluoghi e la loro indicazione in planimetria. La zona da campionare è stata individuata sul prospetto tramite un'etichetta arrecante il codice del campione. Questo si compone di una lettera (la C che sta per campione) e di tre numeri. Il primo individua la zona microclimatica, il secondo l'edificio campionato e il terzo il numero del campione prelevato dallo stesso edificio (ove si è reso necessario). Ogni campionamento è stato accompagnato da una scheda su cui sono state annotate le informazioni fondamentali: il numero del campione, la via, il giorno e l'ora, l'altezza di prelevamento da terra, le condizioni climatiche e altre osservazioni legate alle forme di degrado riscontrate a vista.

Per rimuovere il pezzo di pietra scelto sono stati usati martello e scalpello. I campioni, una volta staccati dal supporto, sono stati conservati singolarmente in bustine di plastica contrassegnate da etichette corrispondenti al prelievo.

Ogni campionamento è inoltre corredato da una dettagliata documentazione fotografica che inquadra l'edificio nel suo complesso (operazione non sempre facile visto il rapporto fra sezione stradale e altezza dell'edificio), le principali forme di degrado, la zona dalla quale viene prelevato il campione e, infine, le varie sfaccettature del campione stesso².

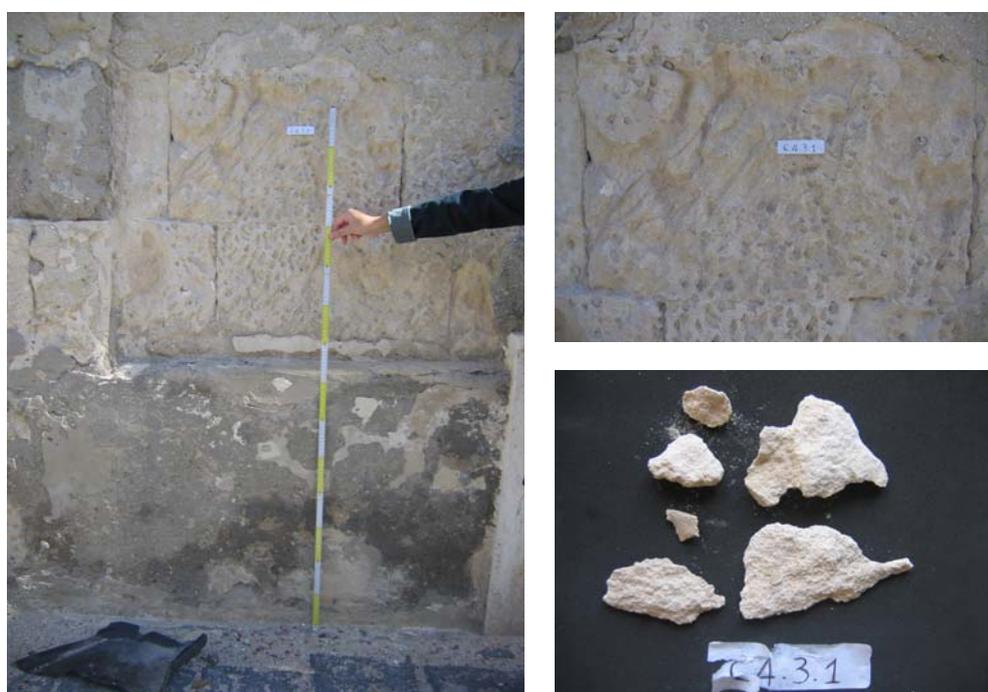


Figura 2 - Il campione C.4.3.1

Sono stati così prelevati 15 campioni, individuati nella tabella 1 attraverso la loro denominazione, la via dell'edificio campionato, la zona microclimatica, la zona di prelievo, le condizioni climatiche al momento del prelievo e le eventuali annotazioni.

Da questa fase deriva la sistematizzazione dei dati attraverso la scheda "C", nella quale una prima parte è destinata alla localizzazione (edificio e zona microclimatica), una seconda parte relativa ai criteri e metodi di campionamento seguiti e infine una terza parte da compilare a seguito delle analisi di laboratorio.

² CNR-ICR, NORMAL 3/80, *Materiali lapidei: campionamento*, Roma, 1980, p. 2.

Camp.	Via	Zona microclimatica	Zona prelevamento	Condizioni climatiche	Annotazioni
C.1.1.1	Lungomare Alfeo, 20	Z.1	Paramento h=1,50 m	Sereno, caldo	Fossili macroscopici
C.1.2.1	Passeggio Aretusa	Z.1	Basamento h=0,97 m	Sereno, no vento	-
C.1.2.2	"	"	Paramento h=1,80 m	"	Rottura a lamelle
C.2.1.1	Belvedere S. Giacomo, 3	Z.2	Paramento h=2,00 m	Nuvoloso	-
C.2.2.1	Largo della Gancia, 1	Z.2	Paramento h=1,30 m	Sereno	-
C.2.3.1	Nizza, 28	Z.2	Basamento h=1,00 m	Poco coperto, vento N-E	-
C.3.1.1	Della Maestranza, 97	Z.3	Paramento h=2,20 m	Sereno, no vento	Deposito superficiale, traffico veicolare intenso
C.3.2.1	Roma, 52	Z.3	Paramento h=1,80 m	Sereno, no vento	Traffico veicolare intenso
C.4.1.1	Resalibera, 6	Z.4	Paramento h=1,70 m	Sereno, vento E-O	
C.4.1.2	"	"	Paramento h=1,20 m	"	Muschio
C.4.2.1	Vicolo Ildebrando, 2	Z.4	Paramento h=1,80 m	Sereno	-
C.4.3.1	Vittorio Veneto, 64	Z.4	Paramento h=1,40 m	Sereno, vento forte N-S	-
C.4.4.1	Vittorio Veneto, 50	Z.4	Stipite porta P.T.	Sereno, vento forte N-S	-
C.5.1.1	R. Lanza, 14	Z.5	Paramento h=1,60 m	Sereno, no vento	-
C.5.2.1	Eritrea, 6	Z.5	Paramento h=1,60 m	Sereno, no vento	Traffico veicolare intenso

Tabella 1 – individuazione dei campioni provenienti dai paramenti

I campioni prelevati in cava sono stati scelti in base ai litotipi che derivano dalle differenti formazioni geologiche e in funzione delle cave che attualmente forniscono pietra a fini costruttivi. Anche questi sono stati identificati tramite un codice composto da una lettera, che individua la cava di provenienza (P=Priolo, PL=Palazzolo, N=Noto) e da un numero, che indica il numero progressivo dei campioni. Solo nel caso della pietra di Priolo si analizzano 6 campioni della stessa cava poiché estratta da due livelli sovrapposti che conferiscono loro proprietà differenti. Secondo questo criterio sono stati prelevati 12 campioni, individuati nella tabella 2 attraverso la denominazione del campione, la denominazione e la localizzazione della cava e la tipologia di pietra censita nel Piano Cave. Il numero dei campioni

è inoltre legato al numero di prove da svolgere (3 campioni per 3 prove di assorbimento d'acqua).

Campione	Denominazione cava	Località	Tipologia di pietra
P1, P2, P3	Mostringiano-SICS	C.da Mostringiano - Priolo Gargallo	Calcarenite
P4, P5, P6	Mostringiano-SICS	C.da Mostringiano - Priolo Gargallo	Calcarenite
PL1, PL2, PL3	Camelio-Bagnato	C.da Camelio - Palazzolo Acreide	Calcarenite
N1, N2, N3	Porcari-Tolentino	C.da Porcari - Noto	Calcarenite di pregio

Tabella 2 - individuazione dei campioni provenienti dalle cave

9.2 DESCRIZIONE MACROSCOPICA DEI CAMPIONI

A seguito del campionamento è stata possibile una prima descrizione macroscopica dei campioni.

C.1.1.1: la pietra è giallognola, tenera e friabile; a causa dell'alveolizzazione spinta si sgretola sotto la minima pressione e la superficie esterna si presenta pulverulenta. è inoltre possibile, dove gli alveoli sono molto profondi, rendersi conto del fatto che si tratta di una pietra di rivestimento dello spessore di circa cm 3-5 attaccata alla muratura retrostante tramite malta.

C.1.2.1: la pietra è grigiastria, omogenea e compatta, globalmente integra; dove degradata si sfalda a lamelle di qualche millimetro di spessore.

C.1.2.2: il campione è prelevato dallo stesso paramento del precedente ma, probabilmente per via dell'erosione spinta, si presenta sempre omogeneo ma giallastro, tenero, pulverulento e con striature rosa. Si tratta di una pietra di rivestimento, per uno spessore di circa cm 5-8, ancorata alla muratura tramite malta (visibile dalle parti più degradate). Anche in questo caso si sfalda a lamelle sottili.

C.2.1.1: la pietra è beige, compatta e omogenea; la superficie esterna si presenta pulverulenta e ingrigita dal deposito superficiale.

C.2.2.1: la pietra è giallognola e disomogenea; ha un aspetto granuloso, con i pori visibili ad occhio nudo in alcuni punti. Presenta inclusioni più dure e compatte giallo-beige o bianco-grigiastre. La superficie esterna degradata si presenta pulverulenta.

C.2.3.1: la pietra è bianco-grigiastria, dura e compatta; presenta delle sottili striature più bianche e lucenti, piccoli fossili e piccoli cristalli lucenti.

C.3.1.1: la pietra è bianco-grigiastra, compatta e omogenea, con una microporosità concentrata in alcuni punti e piccole inclusioni gialle in altri. Il campione entrava nella parete per uno spessore di cm 7; è quindi possibile vedere la differenza cromatica fra la superficie interna, pulita e chiara, e la superficie esterna, ricoperta da una crosta di colore bruno, sottile e coesa.

C.3.2.1: la pietra è grigiastra, dall'aspetto granuloso e disomogeneo. Presenta inoltre granuli bianchi o giallo scuro. La superficie esterna è resa più scura e compatta dal deposito superficiale.

C.4.1.1: la pietra è giallognola, compatta e omogenea. La superficie esterna si presenta pulverulenta a causa dell'accentuato stato di degrado.

C.4.1.2: è la stessa pietra della precedente solo che presenta una minore alveolizzazione e uno strato di muschio verde in superficie.

C.4.2.1: la pietra è bianco-grigiastra, compatta e omogenea; in alcuni punti presenta una macro-porosità chiaramente visibile.

C.4.3.1: la pietra è beige; i piccoli pori visibili ad occhio nudo le danno un aspetto granuloso. Presenta inclusioni di piccoli fossili e di scaglie lapidee più scure, compatte e lisce.

C.4.4.1: la pietra è beige, compatta e omogenea. Il supporto è eroso e alveolizzato.

C.5.1.1: la pietra è grigiastra, compatta e omogenea, con piccolissimi fossili bianchi.

C.5.2.1: la pietra è beige, compatta e omogenea. La superficie esterna si presenta pulverulenta e ingrigita dal deposito superficiale.



Figura 3 - I campioni C.1.1.1, C.1.2.1, C.3.1.1

Si può così fare una prima distinzione dei campioni in base alle similitudini macroscopiche rilevate, verificandole attraverso le indagini di laboratorio: una pietra compatta e omogenea, con piccoli fossili, una dall'aspetto granuloso e con piccole inclusioni e scaglie più compatte, una più tenera e friabile.

La stessa caratterizzazione macroscopica viene effettuata sui campioni di cava:

P1, P2, P3: la pietra è beige, più friabile rispetto agli altri campioni della stessa cava. Ha un aspetto leggermente granuloso. La macroporosità e alcuni fossili sono visibili ad occhio nudo.

P4, P5, P6: la pietra è biancastra, compatta e omogenea. Al taglio si presenta più dura della precedente. Sono visibili strati sottili più calcificati, scuri e compatti e striature dorate. La macroporosità e alcuni fossili sono visibili ad occhio nudo.

PL1, PL2, PL3: la pietra è di colore crema tenue, con una grana fine e compatta. Presenta i tubuli ovali e circolari caratteristici della Formazione di Palazzolo.

N1, N2, N3 : la pietra è di colore giallognolo intenso, con una grana fine e compatta. Presenta i tubuli ovali e circolari caratteristici della Formazione di Palazzolo e la superficie di taglio si presenta pulverulenta.



Figura 4 - Passeggio Aretusa. Conci erosi in funzione dell'altezza da terra

CAPITOLO 10 LE INDAGINI SUI CAMPIONI

Questa è la fase della ricerca in cui è fondamentale l'apporto multidisciplinare per poter approfondire le informazioni fino a qui trovate e migliorare l'attendibilità delle valutazioni fatte a vista. In particolare le analisi di laboratorio sui campioni prelevati dai paramenti storici e nelle cave attive del siracusano, si sono rese necessarie per una dettagliata conoscenza del materiale indagato sia ai fini di un corretto impiego nei lavori di recupero e sostituzione della pietra degradata, sia ai fini di un impiego consapevole nell'architettura contemporanea.

Le indagini che vanno svolte generalmente sono di diverso tipo (mineralogico-petrografiche, chimiche, fisiche, biologiche e meccaniche), comprendenti ciascuna diverse metodologie, finalizzate ad individuare i parametri necessari alla conoscenza della pietra. Per poter ad esempio attribuire una roccia ad una classe genetica sono necessarie le analisi delle caratteristiche macroscopiche (colore, grana, composizione mineralogica, ecc), alcune appurabili a vista, come ad esempio la presenza di macrofossili nel caso delle rocce sedimentarie qui studiate, altre da vedere al microscopio. Per avere una distinzione più sicura di tali caratteristiche è necessario studiare i campioni, ridotti in sezioni sottili, al microscopio ottico a luce polarizzata. In questo caso, la maggior parte dei minerali appare trasparente, permettendo di identificarli e di determinare la struttura della roccia. Le analisi biologiche e alcune analisi chimiche (come la conduttimetria) sono invece necessarie per approfondire l'analisi del degrado già fatta a vista, identificando quindi i biodeteriogeni presenti nella pietra o la presenza di sali solubili. Le analisi fisiche valutano il grado di deterioramento del materiale, ottenendo risultati affidabili pur utilizzando strumenti non sofisticati. Le analisi meccaniche, infine, verificano la resistenza della pietra, sia a compressione che a trazione¹.

Per brevità sono state svolte solo le analisi di tipo mineralogico-petrografico, chimico e fisico, esposte nella tabella 1, peraltro sufficienti a rintracciare le caratteristiche fondamentali della pietra.

¹ L. Lazzarini, M. Laurenzi Tabasso, 1986, pp. 3-16.

Per quanto riguarda le prove di resistenza meccanica si sfruttano i dati già esistenti su queste pietre.

Tipo di indagine	Metodologia	Parametri individuati
Mineralogico-petrografica	Microscopia ottica su sezioni sottili	Specie mineralogiche
	Diffrazione raggi X	Fasi cristalline presenti
Chimica	Conduttimetria	Quantità totale di sali solubili
	Microscopia ottica	Distribuzione spaziale delle specie chimiche
Fisica	Immersione in acqua	Assorbimento d'acqua per immersione
		Capacità di imbibizione
		Assorbimento d'acqua per capillarità
		Coefficiente di assorbimento capillare
		Resistenza alla cristallizzazione dei sali

Tabella 1 – Le indagini di laboratorio svolte

I test già svolti sulla calcarenite iblea mostrano comportamenti diversi in termini di durabilità in funzione della porosità e della tessitura: per esempio la calcarenite oolitica risponde meglio al test sulla cristallizzazione dei sali in quanto la sua tessitura granulare, con la matrice di calcite e i pori isolati, riduce la circolazione dei fluidi ricchi di sali all'interno della roccia².

Altri studi³ mettono a confronto la pietra in opera di Melilli con quella di Siracusa attraverso diverse analisi: la pietra di Melilli si mostra meglio conservata, meno compatta, con una bassa concentrazione di pori e quindi una maggiore presenza di efflorescenze, con un più alto coefficiente di assorbimento capillare; la pietra di Siracusa è più compatta, ha un sistema irregolare di pori e una maggiore mesoporosità⁴ ma presenta un degrado generalizzato e una maggiore prevalenza di criptoefflorescenze.

Le analisi svolte in questa sede vogliono indagare alcune di queste caratteristiche per verificare come la pietra in opera e quella di cava rispondono alle sollecitazioni esterne e al degrado.

² Cfr. A. Lo Giudice et al., 2006.

³ Cfr. C. Calabrò et al., 2007.

⁴ La porosità si distingue in macro (diametro > 150 µm), meso (0,0037 < d < 150 µm) e micro (d < 0,0037 µm). Il valore limite di 0,0037 µm dipende dal fatto che al di sotto di questo diametro l'acqua non riesce più a circolare dentro la pietra sotto forma di liquido ma solo come vapore.

10.1 ANALISI CHIMICHE

10.1.1 LA CONDUTTIMETRIA

La conduttimetria⁵ è un metodo di analisi basato sulla misurazione della variazione di conducibilità di una soluzione composta da acqua deionizzata e una parte del campione macinato. Il valore segnato dall'elettrodo varia al variare della concentrazione di sali solubili presenti nella pietra.

Preparazione dei campioni in soluzione: si lavano i matracci da 200 o 250 ml con acqua deionizzata; si macina il campione in esame in un mortaio d'agata per omogeneizzarlo (così facendo si possono ottenere dei risultati medi); si pesa esattamente la polvere ottenuta fino ad avere 0,20 g o 0,25 g in funzione del matraccio e si versa in quest'ultimo; si aggiunge acqua deionizzata fino ad arrivare a 200 o 250 ml; si agita la soluzione diverse volte e si lascia riposare per almeno 48 ore per far depositare eventuali residui insolubili.

PREPARAZIONE DEI
CAMPIONI



Figura 1 – Preparazione della soluzione

Misurazione della conducibilità ad una temperatura di 22°C: prima si misura la conducibilità (in μS - micro Siemens) dell'acqua deionizzata usata per le soluzioni, pari a 5,8 μS , poi si misura quella delle singole soluzioni, inserite in un *baker*, fino a quando il valore osservato non si stabilizza; sia il *baker* che la sonda del conduttimetro vengono sciacquati con acqua deionizzata dopo ogni misurazione.

MISURAZIONE DELLA
CONDUCIBILITÀ

⁵ Cfr. Raccomandazioni Normal 13/83, *Dosaggio dei sali solubili* e UNI 11087:2003, *Beni culturali – Materiali lapidei naturali ed artificiali. Determinazione del contenuto di sali solubili*.

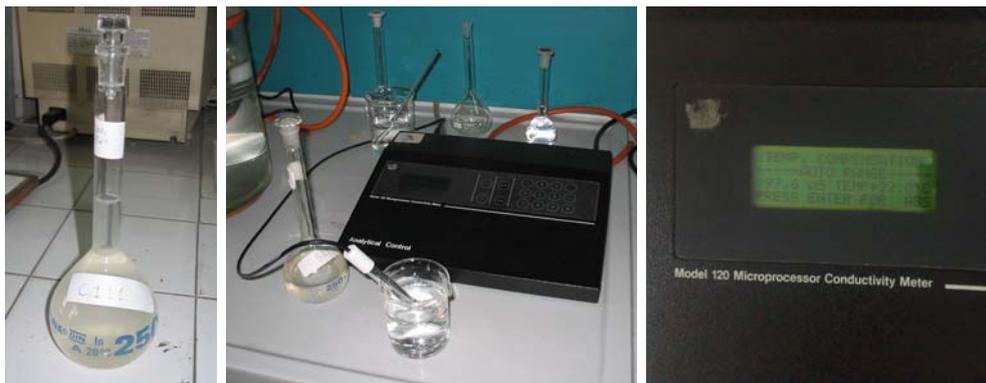


Figura 2 – misurazione della conducibilità

Campione	Peso soluzione (g)	Matraccio usato (ml)	Conducibilità (µS)
H ₂ O di base	/	/	5,8
C.1.1.1	0,251	250	91,8
C.1.2.1	0,251	250	80,7
C.1.2.2	0,200	200	82,5
C.2.1.1	0,250	250	68,5
C.2.2.1	0,252	250	135
C.2.3.1	0,250	250	66,7
C.3.1.1	0,250	250	132,6
C.3.2.1	0,200	200	109,0
C.4.1.1	0,201	200	85,2
C.4.3.1	0,200	200	56,4
C.5.1.1	0,251	250	87,8
C.5.2.1	0,249	250	97,6

Tabella 2 – Dati della analisi conduttimetria

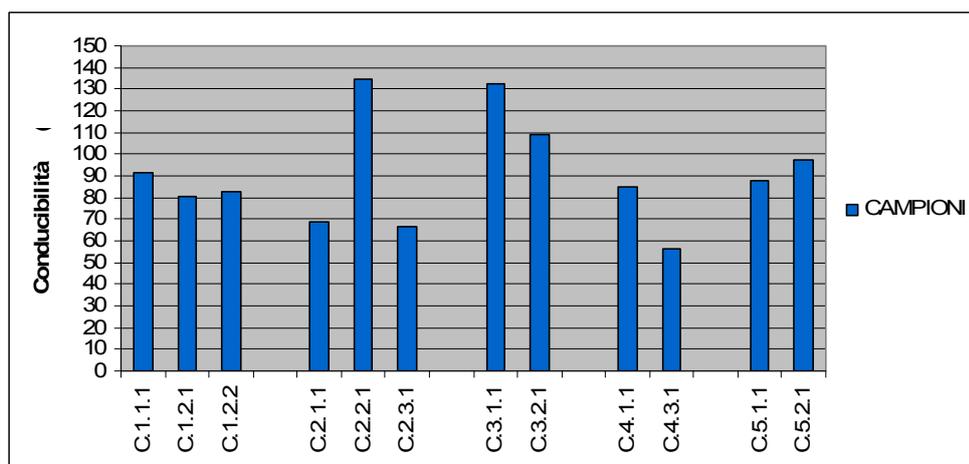


Figura 3 - Grafico dei risultati ottenuti

I campioni che hanno la più alta conducibilità sono i C.2.2.1 e C.3.1.1; quello con la più bassa conducibilità è il C.4.3.1.

10.1.2 MICROSCOPIA OTTICA

L'analisi al microscopio ottico è necessaria per ottenere una caratterizzazione preliminare dei campioni e una loro classificazione di massima.

Preparazione dei campioni: un pezzo del campione viene inserito in un contenitore di plastica con la faccia da vedere al microscopio parallela al fondo. Poi si versa in una resina epossidica bicomponente finché non vi è totalmente immerso. Una volta indurita la resina, la “pastiglia” che si viene a formare viene estratta dal contenitore, molata e lucidata con la lappatrice per mezzo di tre dischi di diversa grana (120, 240, 600 e 1000) per rendere la superficie uniforme.

PREPARAZIONE DEI
CAMPIONI



Figura 4 – Lucidatura con la lappatrice e campioni lucidati

Caratterizzazione microscopica: i campioni lucidati vengono osservati al microscopio ottico stereoscopico (Stereo star Reichert-Jung 0.7x to 4.2 x AO 570) indagandone le caratteristiche microscopiche visibili grazie alle quali è possibile dividerli in cinque gruppi.

CARATTERIZZAZIONE
MICROSCOPICA

C.1.1.1, C.1.2.1, C.1.2.2, C.2.1.1, C.4.1.1, C.5.1.1: sono calcareniti a grana fine, omogenee e compatte. La matrice è cristallina giallo oro, con clasti giallo ocra e rari granelli di sabbia nera. Il colore è molto omogeneo, tale da non rendere sempre facilmente distinguibile la matrice dai clasti. In alcuni campioni la porosità è più visibile.

C.2.3.1, C.3.1.1, C.5.2.1: sono calcareniti fossilifere. I fossili, di dimensioni e rapporti proporzionali diversi a seconda dei campioni, si presentano come corpi di forma tendente a quella circolare o ellittica. Dove sezionati si presentano come cavità millimetriche e sub-millimetriche.

C.2.2.1: è una calcarenite clastica con clasti di calcite o quarzo. La matrice è omogenea, color giallo oro, con clasti giallo ocra e giallo intenso. Sono visibili alcune cavità probabilmente dovute alla presenza di fossili.

C.3.2.1: unico caso di calcarenite clastica che, oltre ai clasti giallo ocra e giallo intenso, presenta numerosi granelli di sabbia nera. Probabilmente è stata inglobata una piccola parte di malta di origine vulcanica.

C.4.3.1: è un calcare oolitico con una bassa percentuale di matrice e un'alta percentuale di clasti oolitici. Questi si presentano come corpi circolari e ovali dello stesso colore giallo chiaro della matrice.

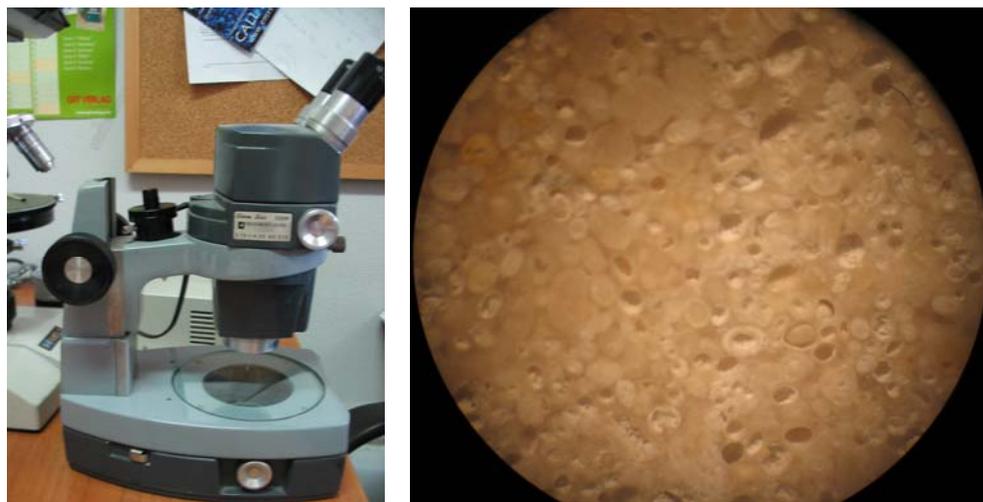


Figura 5 – Microscopio ottico e foto del campione C.4.3.1

10.2 ANALISI MINERALOGICO-PETROGRAFICHE

10.2.1 MICROSCOPIA OTTICA SU SEZIONI SOTTILI

L'esame mineralogico-petrografico è stato eseguito su sezioni sottili coperte osservate al microscopio ottico a luce polarizzata Nikon Eclipse E400 POL. Le microfotografie sono state fatte a 2,5 X in b/n, sia a nicols incrociati che paralleli.

Tale esame è necessario per identificare i minerali principali e accessori che compongono il campione, la sua tessitura, la microstruttura (natura dei clasti, matrice, cemento e porosità) e la individuazione precisa degli allochimici (fossili, ooliti, intraclasti e peloidi). Queste informazioni permettono quindi di stabilire la genesi e la classificazione del campione lapideo secondo Folk e secondo Dunham nonché, di conseguenza, la formazione geologica di provenienza⁶.

Questa indagine è stata svolta solo sui campioni prelevati dai paramenti di Ortigia poiché per quelli di cava è già nota la formazione di appartenenza

⁶ Cfr. L. Lazzarini, M. Laurenzi Tabasso, 1986, *op. cit.*, p. 92.

in funzione della zona di estrazione: P1, P2, P3, P4, P5, P6 (Priolo) appartengono alla Fm. Monti Climiti, N1, N2, N3 (Noto), PL1, PL2, PL3 (Palazzolo) alla Fm. di Palazzolo.



Figura 6 – Microscopio ottico e microfotografia a nicols incrociati del campione C.2.2.1

In generale possiamo dire che si tratta di rocce calcaree organogene a granulometria sia grossolana che fine (calcareniti e calcari), derivanti dall'accumulo di spoglie di organismi vegetali e animali. In alcuni casi la struttura organogena è stata quasi totalmente cancellata da fenomeni diagenetici o metamorfici, per cui prevale la matrice⁷.

Sono stati quindi individuati diversi tipi di rocce carbonatiche:

a) calcarenite e calcisiltite poco compatte con struttura eterogenea per la presenza di frammenti di gusci di bivalvi, tubi di vermi ed evidenti bioturbazioni di forma cilindrica. Tale litotipo presenta caratteristiche tessiturali simili alla "pietra di Palazzolo" e alla "pietra di Noto", ascrivibili alla Formazione Palazzolo affiorante nel territorio compreso tra Cassibile, Noto e Palazzolo Acreide.

b) calcare massivo di colore bianco crema a struttura omogenea costituito per più del 90% da ooliti. Tale litotipo presenta analogie strutturali e tessiturali con il calcare oolitico ascrivibile alla Formazione Monte Carrubba, i cui affioramenti sono presenti principalmente nella Penisola della Maddalena e nell'isola di Ortigia.

c) calcare di Siracusa con struttura eterogenea ascrivibile alla Formazione dei Monti Climiti.

d) calcarenite pleistocenica appartenente al c.d. Livello "Panchina".

In particolare è stato possibile classificare i campioni in 5 sottogruppi in funzione delle similitudini e delle differenze fra le caratteristiche

⁷ Cfr. G. Amoroso Giovanni, 1995, *op. cit.*, p. 113.

microscopiche (tessitura e struttura) (tab. 4) per poter in seguito distinguere la formazione geologica di appartenenza, ove possibile (tab. 5)⁸.

La tessitura è grano-sostenuta o fango-sostenuta, per cui nella struttura prevalgono i clasti o la matrice. Gli allochimici predominanti sono foraminiferi, echinodermi e briozoi (90 % di ooidi nel solo campione C.4.3.1); la matrice è prevalentemente micritica o sparitica e la porosità è, in genere, non superiore al 20%.

Campione	Classificazione secondo Folk	Classificazione secondo Dunham
Gruppo A		
C.1.1.1	biomicrarenite	Wackestone
C.4.1.1	biomicrarenite	Wackestone
C.5.1.1	biomicrarenite	Wackestone
Gruppo B		
C.4.3.1	oosparudite	Grainstone
Gruppo C		
C.1.2.1	biomiclutite	Wackestone
C.1.2.2	biomiclutite	Wackestone
C.2.1.1	biomiclutite	Wackestone
Gruppo D		
C.2.3.1	biomicrudite	Packstone
C.3.1.1	biosparudite	Grainstone
Gruppo E		
C.2.2.1	biomicrudite	Packstone
C.3.2.1	biomicrudite	Packstone
C.5.2.1	biomicrudite	Packstone

Tabella 3 – Classificazione dei campioni

Formazione geologica	Denominazione	Campione
Fm. Palazzolo	Pietra di Palazzolo	C.1.1.1, C.1.2.1, C.1.2.2, C.2.1.1, C.4.1.1, C.5.1.1; N1, N2, N3, PL1, PL2, PL3
Fm. Monti Climiti	Pietra di Siracusa	C.2.3.1, C.3.1.1, C.5.2.1; P1, P2, P3, P4, P5, P6
Fm. Monte Carrubba	Calcare oolitico	C.4.3.1
	Lumachella	C.4.4.1 (riconoscimento macroscopico)
“Panchina” pleistocenica	Giuggiulena	C.2.2.1, C.3.2.1

Tabella 4 – Classificazione genetica dei campioni

⁸ Per la terminologia vedi l'Appendice sulla genesi e classificazione delle rocce carbonatiche.

Questa è un'analisi particolarmente importante per interventi di recupero e manutenzione perché permette di individuare il litotipo uguale a quello degradato, in caso di sostituzioni necessarie, o il nuovo materiale compatibile con quello già in opera.

10.2.2 DIFFRAZIONE DI RAGGI X

L'analisi diffrattometrica di raggi X o XRD⁹ è utile per ottenere informazioni complementari a quelle ottenute finora, ovvero per determinare le fasi cristalline presenti nel campione, nelle croste nere o nei depositi superficiali. Tale analisi si basa sulla interazione tra i raggi X e la struttura cristallina che caratterizza il materiale lapideo, secondo la legge di Bragg.

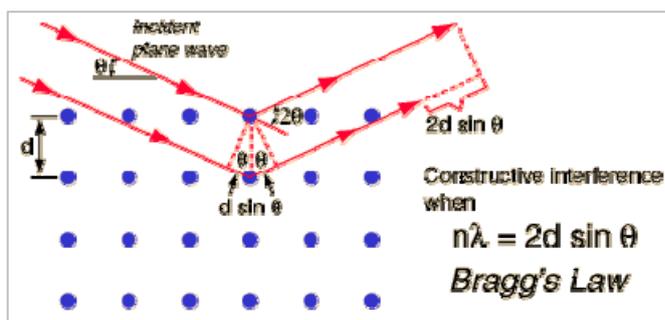


Figura 7 – Rapporto tra l'incidenza dei raggi e la legge di Bragg

Preparazione dei campioni: pochi mg dei campioni vengono finemente macinati in un mortaio d'agata.

Misurazione della diffrattometria: la polvere viene inserita in un diffrattometro Philips PW1130 munito di tubo a raggi X con anticatodo di Cu e si procede all'avvio della misurazione. I raggi X vengono diffratti dal reticolo periodico del cristallo e lo strumento misura i massimi di intensità diffusa rilevabili al variare dell'angolo di diffrazione. Visti i diffrattogrammi, la fase cristallina prevalente è il carbonato di calcio nella forma calcite.

⁹ XRD sta per X-Ray Diffraction.

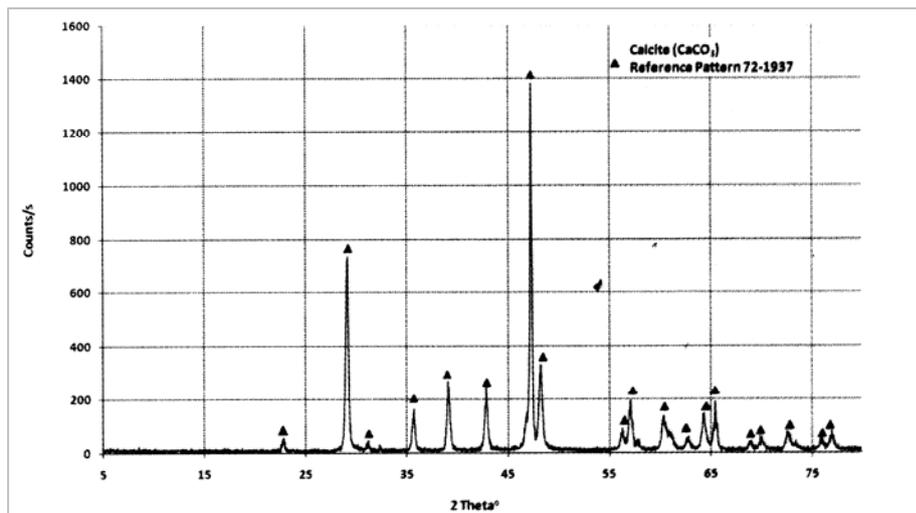


Figura 8 – Difrattogramma tipo

10.3 ANALISI FISICHE

Queste analisi sono di fondamentale importanza per determinare la durabilità della pietra e comprendono l'assorbimento d'acqua per immersione totale, l'assorbimento d'acqua per capillarità e la resistenza alla cristallizzazione dei sali.

PREPARAZIONE DEI CAMPIONI

Preparazione dei campioni: i campioni devono essere di forma regolare e, nel caso di cubi, lo spigolo deve essere compreso fra cm 3 e 5. Nel nostro caso abbiamo 12 campioni cubici con spigolo di cm 5. I campioni devono essere di forma regolare e tutti uguali per forma e dimensioni. Dopo il taglio vanno lavati accuratamente con acqua deionizzata per eliminare eventuale materiale pulverulento.

Una volta pronti i campioni, la prima fase, fondamentale per tutte e tre le prove fisiche, è l'essiccazione in stufa a 60°, il raffreddamento e la pesata fino a quando la differenza tra due pesate successive realizzate a 24 ore di distanza è inferiore allo 0,1‰ della massa del campione¹⁰.

PESO SPECIFICO DEI CAMPIONI

Una volta raggiunta la massa costante¹¹, possiamo calcolare il peso specifico dei campioni: $\gamma = m/V$. In questo caso, poiché non conosciamo il volume reale avremo: $\gamma_a = m/V_a$ in cui il volume apparente (V_a) è il volume di un campione che include lo spazio occupato dai pori e il peso specifico apparente (γ_a) è il rapporto fra la massa e il volume apparente del campione espresso in kg/mc¹².

¹⁰ Raccomandazioni Normal 7/81 e 11/85.

¹¹ Nelle prove successive la massa costante viene indicata con M_0 o m_0 .

¹² Cfr. J. M. Teutonico, 1988, p. 45

campione	m (g)	Va (m³)	γ_a
P1	267,76	125	2,14
P2	257,77	125	2,06
P3	258,53	125	2,06
P4	278,44	125	2,22
P5	280,24	125	2,24
P6	281,88	125	2,25
N1	201,62	125	1,61
N2	203,86	125	1,63
N3	216,14	125	1,72
PL1	224,94	125	1,80
PL2	224,25	125	1,79
PL3	225,80	125	1,81

Tabella 5 - Calcolo della densità dei campioni

Questo tipo di calcolo della densità ci fornisce un primo dato: maggiore è la densità della pietra, minore è la sua porosità.

10.3.1 ASSORBIMENTO D'ACQUA PER IMMERSIONE TOTALE

La misura dell'assorbimento d'acqua¹³ è un test utile per caratterizzare le pietre, in quanto materiali porosi, e valutare il loro grado di deterioramento come risposta all'immersione totale in acqua¹⁴.

Una volta raggiunta la massa costante M_0 , i campioni vengono posti in un contenitore in cui si versa lentamente acqua deionizzata fino a ricoprirli totalmente. Poi, ad intervalli di tempo scelti opportunamente, i campioni vengono estratti dal bagno, tamponati leggermente su tutte le facce e pesati. Vengono immersi di nuovo in acqua e la prova viene ripetuta fino a quando la quantità di acqua assorbita tra due pesate successive è $\leq 1\%$. A questo punto i campioni vanno di nuovo essiccati in stufa fino al raggiungimento della massa costante finale M_{of} .

L'assorbimento d'acqua per immersione totale¹⁵ $\frac{\Delta M}{M} \%$ viene calcolato per ogni pesata (al tempo t_i) come segue:

**ASSORBIMENTO
D'ACQUA PER
IMMERSIONE
TOTALE**

¹³ Cfr. CNR-ICR, Raccomandazioni NORMAL 7/81, *Assorbimento d'acqua per immersione totale – Capacità di imbibizione*, Roma, 1981; UNI EN 13755:2002, *Metodi di prova per pietre naturali - Determinazione dell'assorbimento d'acqua a pressione atmosferica*.

¹⁴ Teutonico J. M., (1988), *op. cit.*, p. 35.

¹⁵ «Quantità di acqua assorbita dal materiale per immersione totale in acqua deionizzata a pressione e temperatura ambiente, espressa come per cento rispetto alla massa secca del campione» CNR-ICR, NORMAL 7/81, *op. cit.*, p. 1.

$$\frac{\Delta M}{M} \% = \frac{M_i - M_o}{M_o} * 100$$

in cui M_i è la massa del campione imbibito d'acqua al tempo t_i .

I valori trovati vengono riportati in un grafico in funzione del tempo.

	Campioni	Mi - peso per campione (g)			
		P1	P4	N1	PL1
	Mo	267,76	278,44	201,62	224,94
tempo (h)	0,5	284,25	290,04	232,50	250,13
	1,5	284,56	290,40	232,77	250,25
	2,5	284,73	290,66	233,07	250,46
	3,5	284,89	290,81	233,15	250,51
	23,5	285,80	291,72	234,70	251,86
	27,5	285,90	291,82	234,48	251,99
	47,5	286,24	292,06	235,56	252,57
	51,5	286,24	292,14	235,67	252,70
	71,5	286,33	292,14	235,95	253,01

Tabella 6 – Pesì per campione in funzione del tempo

	Campioni	$\Delta M/M (\%) = M_i - M_o / M_o * 100$			
		P1	P4	N1	PL1
	0	0	0	0	0
tempo (h)	0,5	6,16	4,17	15,32	11,20
	1,5	6,27	4,30	15,45	11,25
	2,5	6,34	4,39	15,60	11,35
	3,5	6,40	4,44	15,64	11,37
	23,5	6,74	4,77	16,41	11,97
	27,5	6,77	4,81	16,30	12,03
	47,5	6,90	4,89	16,83	12,28
	51,5	6,90	4,92	16,89	12,34
	71,5	6,94	4,92	17,03	12,48

Tabella 7 – Calcolo dell'assorbimento d'acqua per immersione totale

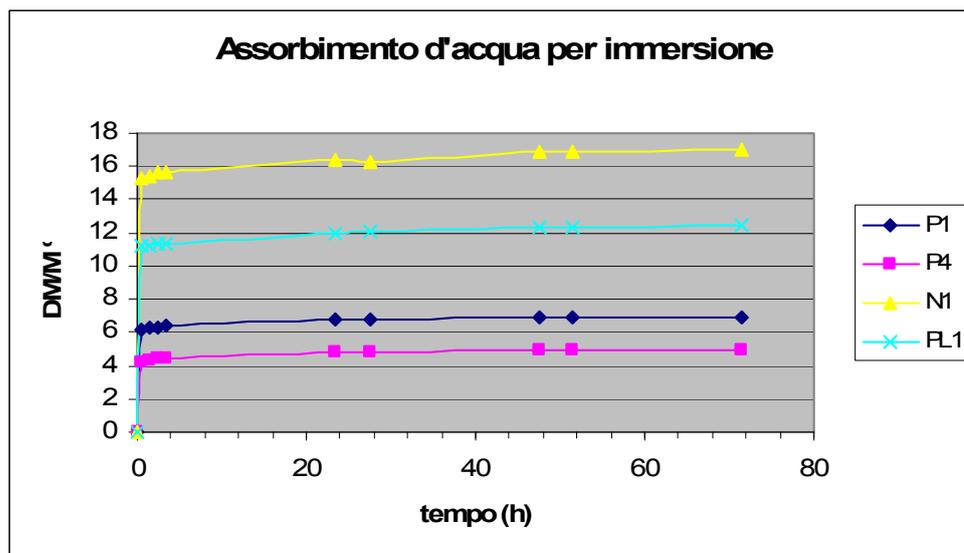


Figura 9 – Grafico riassuntivo

La capacità di imbibizione CI^{16} (%) si misura come segue:

**CAPACITÀ DI
IMBIBIZIONE**

$$CI = \frac{M_{max} - M_{of}}{M_{of}} * 100$$

in cui M_{max} è il valore della massa del campione imbibito alla fine della prova.

Campioni	P1	P4	N1	PL1
Mmax	286	292	236	253
Mof	267,71	278,39	201,50	224,71
CI	6,96	4,94	17,10	12,59

Tabella 8 – Capacità di imbibizione per campione

Finite la fase di calcolo i risultati vanno comparati fra loro per vedere quale materiale assorbe più acqua, quale la assorbe più velocemente e qual è la percentuale assorbita più alta.

Questa analisi permette anche di calcolare in modo semplice il volume dei pori (ovvero il volume V_p occupato da essi) e quindi la porosità di ogni campione¹⁷:

POROSITÀ

$$M_p = M_{max} - M_o$$

con M_p la massa dei pori, M_{max} la massa del campione saturo e M_o la massa iniziale del campione.

¹⁶ «Quantità massima di acqua assorbita dal materiale per immersione totale in acqua deionizzata a pressione e temperatura ambiente, espressa come percento rispetto alla massa secca del campione» CNR-ICR, NORMAL 7/81, *op. cit.*, p. 1.

¹⁷ Teutonico J. M., 1988, *op. cit.*, p. 50.

Considerando che il peso specifico dell'acqua (γ_a) è 0,998 g/cm³ a 20°C, il calcolo appena fatto va corretto come di seguito per avere il volume occupato dai pori (V_p):

$$V_a = \frac{p}{\gamma} \Rightarrow \frac{\Delta p}{0,998} = V_a = V_p$$

La porosità in % viene quindi calcolata come segue:

$$\text{Porosità}\% = \frac{V_p}{V_a}$$

Campione	M ₀	M _{max}	V _p	V _a	Porosità %
P1	267,76	286,33	18,61	125	15
P4	278,44	292,14	13,73	125	11
N1	201,62	235,95	34,40	125	27
PL1	224,94	253,01	28,13	125	22

Tabella 9 – Porosità per campione

Questo calcolo si riferisce al volume apparente e alla massa apparente in quanto tiene conto solo delle macro e meso porosità e dei pori aperti, non riuscendo a calcolare la microporosità e i pori chiusi.

Dai risultati si evince come il materiale più poroso sia la pietra di Noto e quello meno poroso la pietra di Priolo.

10.3.2 ASSORBIMENTO D'ACQUA PER CAPILLARITÀ

L'acqua è la causa principale del deterioramento dei materiali porosi e le fonti principali sono la pioggia, la condensazione e la risalita capillare. Il movimento dell'acqua all'interno della pietra è funzione delle sue caratteristiche fisiche¹⁸ quali la struttura, la porosità, la capillarità¹⁹ e la permeabilità.

Questa analisi²⁰ è necessaria perché simula l'azione della risalita capillare dell'acqua all'interno dei campioni.

¹⁸ Teutonico J. M., 1988, *op. cit.*, p. 43.

¹⁹ Si può definire come l'attrazione tra molecole, sia simili che non, che risulta durante la risalita di un liquido attraverso capillari o fibre di un solido bagnate da un liquido. Cfr. *ibidem*, p. 45.

²⁰ Cfr. CNR-ICR, Raccomandazioni NORMAL 11/85, *Assorbimento d'acqua per capillarità – Coefficiente di assorbimento capillare*, Roma, 1985; Norma UNI 10859:2000, *Determinazione dell'assorbimento d'acqua per capillarità*.

Dopo l'essiccazione in stufa e la prima pesata per trovare m_0 , i campioni vengono messi in un contenitore sopra un supporto poroso costituito da fogli di carta che assicurano un contatto immediato e costante tra l'acqua e la sola faccia inferiore del campione. Poi si versa lentamente acqua deionizzata fino al completo assorbimento della carta. Il contenitore è provvisto di coperchio per evitarne l'evaporazione.

Ad intervalli di tempo scelti opportunamente i campioni vengono estratti dal bagno, tamponanti leggermente solo sulla faccia inferiore, pesati e riposizionati sulla carta.

Con i dati ottenuti si calcola l'Assorbimento d'acqua per capillarità come segue e si costruisce la relativa curva²¹.

$$M_i = \frac{m_i - m_0}{S}$$

dove m_i è la massa del campione (in g) al tempo t_i (\sqrt{s}) ed S (cm^2) la superficie del campione in contatto con il supporto cartaceo.

Il calcolo del Coefficiente di assorbimento capillare²² dipende dal valore asintotico M^* (evidenziato in grigio nella seconda tabella) della quantità d'acqua assorbita dal campione al tempo t^* . Questo si può considerare raggiunto quando la differenza fra due pesate successive è $\leq 1\%$. Per cui avremo:

$$CA = \frac{M^*}{\sqrt{t^*}}$$

	Campioni	mi - peso per campione (g)			
		P2	P5	N2	PL2
	m_0	257,77	280,24	203,86	224,25
tempo (\sqrt{s})	24,49	267,21	285,12	223,21	238,59
	48,99	275,10	288,83	236,17	249,17
	77,46	277,47	292,49	236,49	252,25
	97,98	277,56	292,61	236,59	252,35
	114,89	277,64	292,65	236,68	252,46
	291,89	278,48	293,31	237,65	253,37
	315,59	278,61	293,45	237,80	253,41
	414,25	278,90	293,65	238,37	253,95
	418,57	278,89	293,69	238,38	253,97
	435,43	278,94	293,79	238,24	253,95
	511,47	279,06	293,81	238,69	254,30

Tabella 10 – Pesi per campione in funzione del tempo

²¹ «Quantità d'acqua assorbita per unità di superficie in funzione del tempo t , espressa in g/cm^2 , a pressione e temperatura ambiente, da un campione avente la superficie di base in contatto con acqua deionizzata» CNR-ICR, NORMAL 11/85, *op. cit.*, p. 2.

²² «Coefficiente angolare, espresso in $g/cm^2 \cdot s^{1/2}$, del tratto rettilineo iniziale della curva di assorbimento capillare» CNR-ICR, NORMAL 11/85, *op. cit.*, p. 2.

	Campioni	Mi (g/cm ^q) = mi - mo/S				
		P2	P5	N2	PL2	
tempo (√s)	0	0	0	0	0	
	24,49	0,38	0,20	0,77	0,57	
	48,99	0,69	0,34	1,29	1,00	
	77,46	0,79	0,49	1,31	1,12	
	97,98	0,79	0,49	1,31	1,12	
	114,89	0,79	0,50	1,31	1,13	
	291,89	0,83	0,52	1,35	1,16	
	315,59	0,83	0,53	1,36	1,17	
	414,25	0,85	0,54	1,38	1,19	
	418,57	0,84	0,54	1,38	1,19	
	435,43	0,85	0,54	1,38	1,19	
	511,47	0,85	0,54	1,39	1,20	
	Coefficiente di assorbimento capillare					
	CA		0,008	0,005	0,013	0,011

Tabella 11 – Calcolo dell'assorbimento d'acqua per capillarità e del coefficiente di assorbimento capillare

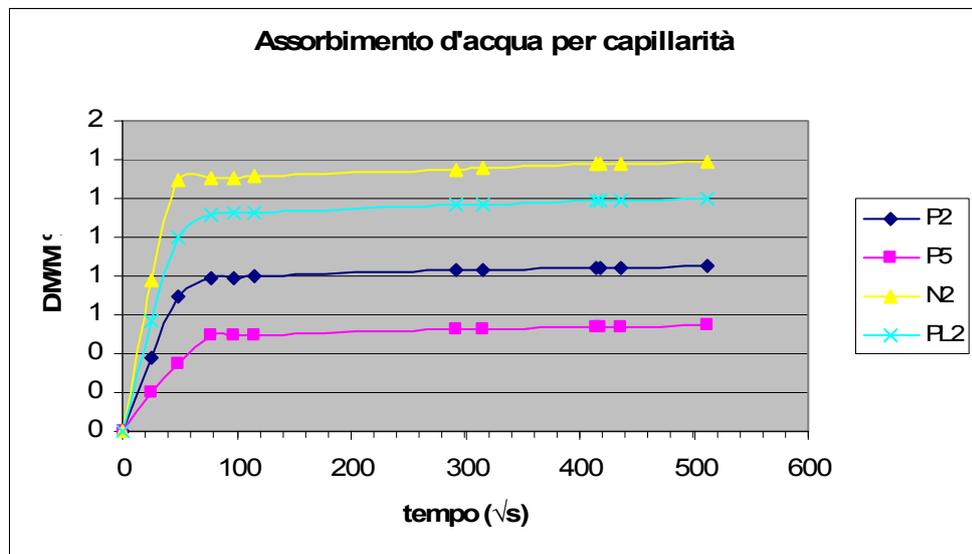


Figura 10 – Grafico riassuntivo

Anche in questo caso è il campione proveniente da Noto ad assorbire più acqua per capillarità. Dall'osservazione durante la prova, inoltre, si è visto come esso sia anche il campione che mostra una risalita più rapida.

10.3.3 RESISTENZA ALLA CRISTALLIZZAZIONE DEI SALI

Tale prova serve per simulare in laboratorio la risposta della pietra, con porosità aperta maggiore del 5%, al fenomeno della cristallizzazione dei sali e vedere quindi come essa si comporterebbe nel tempo. Per questa prova si usa il solfato di sodio in soluzione poiché è considerato come uno dei sali più dannosi in quanto si dilata di più e quindi esercita una maggiore pressione di cristallizzazione²³

I campioni, una volta essiccati e pesati (ottenendo il valore iniziale M_0), vengono inseriti in un contenitore, appoggiati su supporto poroso costituito da fogli di carta che assicurano un contatto immediato e costante tra l'acqua e la sola faccia inferiore del campione. Poi si versa lentamente una soluzione al 14% (p/V) di solfato di sodio anidro in acqua distillata, utilizzando quindi 49,4 g di Na_2SO_4 in 800 ml di soluzione, fino al completo assorbimento della carta. Questa va tenuta sempre a livello costante aggiungendo altra soluzione con lo stesso rapporto p/V. Il contenitore è provvisto di coperchio per evitare l'evaporazione della soluzione²⁴.

Successivamente si dà inizio ad una serie di cicli di immersioni/essiccazioni, operazioni seguite ognuna dalla pesata del campione al tempo t_i . Durante il primo ciclo il campione va tenuto a contatto con l'acqua per almeno 4 ore (2 ore per i cicli successivi), pesato, e poi essiccato in forno per almeno 16 ore e nuovamente pesato.

I cicli di essiccazione/immersione vanno ripetuti 15 volte o comunque fino a quando non vi sono evidenti segni di degrado o il campione non si distrugge completamente.

Fra un ciclo e un altro, durante l'essiccazione, i campioni si ricoprono dei sali che hanno assorbito durante il bagno precedente. Questi si risolubilizzano una volta che vengono rimessi nel contenitore a contatto con l'acqua. Questa fase non deve durare più del tempo necessario affinché la soluzione risalga per capillarità l'intero campione, altrimenti il sale assorbito all'interno dei pori torna in soluzione nell'acqua, la quale si trova ad avere in questa fase una concentrazione minore.

I risultati sono espressi come differenza di massa relativa, per calcolare qual è la quantità di sali assorbiti M_s o ΔM , o come numero di cicli necessari per portare il provino a rottura.

Il campione PL3 è l'unico che si rompe in maniera netta al IX ciclo; il campione N3 perde totalmente la sua regolarità geometrica a partire dal VII; i campioni P3 e P6 arrivano integri alla fine della prova ad eccezione di lievi distacchi delle incrostazioni saline sulle facce laterali.

²³ C. Calabrò et al., 2007.

²⁴ Per il procedimento di misura della resistenza alla cristallizzazione dei sali cfr. UNI EN 12370:2001, *Metodi di prova per pietre naturali. Determinazione della resistenza alla cristallizzazione dei sali.*

Alla fine della prova possiamo calcolare la quantità di sali assorbiti nei due modi seguenti:

$$M_s = M_f - M_0$$

$$\Delta M (\%) = \frac{M_f - M_0}{M_0} * 100$$

in cui M_f è il peso di ogni campione dopo essiccamento alla fine della prova²⁵.

Campione	P3	P6	N3	PL3
Mf	270,24	288,45	224,75	233,84
Mo	258,53	281,88	216,14	225,80
Ms (g)	11,71	6,57	8,61	8,04

Tabella 12 – Quantità di sali assorbiti (in g)

Campione	P3	P6	N3	PL3
Mf	270,24	288,45	224,75	233,84
Mo	258,53	281,88	216,14	225,80
ΔM (%)	4,53	2,33	3,98	3,56

Tabella 13 – Quantità di sali assorbiti (in %)

Dai dati si vede come i campioni di Priolo (P3 e P6), in funzione della quantità di sali assorbita, rispondono meglio alla cristallizzazione degli stessi degradandosi di meno, mentre i campioni provenienti da Noto e Palazzolo (N3 e PL3) si degradano dopo pochi cicli e si rompono prima della fine della prova.

²⁵ J.M. Teutonico, 1988, *op. cit.*, p. 56-57.

10.4 SCHEDATURA DEI CAMPIONI E DELLE ANALISI

A conclusione delle analisi sono state compilate delle schede di sintesi che raccolgono per ogni campione, sia di facciata che di cava, le informazioni sul campionamento e i risultati di ciascuna analisi, in modo da avere un quadro generale e confrontabile.

La prima parte della scheda raccoglie i dati posizionali dell'edificio o della cava dai quali è stato prelevato il campione, con le foto della zona del prelevamento o della cava, e del campione. Una seconda parte riporta i dati generali sul campionamento, ovvero la tecnica utilizzata, i dati cronologici e climatici, la zona del prelevamento, il campionatore, l'analista e il consulente chimico, oltre ad eventuali note. In particolare le informazioni sulla zona del prelevamento e sulle condizioni climatiche sono utili per mettere in relazione i valori trovati con i possibili degradi²⁶. La terza parte schematizza i risultati delle analisi conduttimetrica, al microscopio ottico, diffrattometrica e sulle sezioni sottili, per i campioni di facciata, e i risultati delle prove fisiche per i campioni di cava. La quarta e ultima parte contiene le immagini del campione, ovvero il diffrattogramma e le microfoto fatte ai microscopi ottici stereoscopico e a luce polarizzata, in quest'ultimo caso scattate sia a nicols incrociati che paralleli, per avere maggiori informazioni.

²⁶ Ad esempio se il campione viene prelevato nella zona basamentale e la conducibilità è alta, è più probabile che il degrado rilevato sia dovuto a fenomeni di cristallizzazione dei sali e sia quindi un'efflorescenza o un'alveolizzazione.

Dati localizzativi

Edificio sul Lungomare Alfeo
n.20 – Ortigia (Rif. Scheda B.1)

ZONA: Z1

Immagini della zona
prelevamento e del campione



5 cm

Tipologia di materiale campionato: PIETRA CALCAREA

Modalità di prelevamento: scalpello e martello
Campionatore: Alessia Giuffrida
Analista: Alessia Giuffrida, prof.ssa Germana Barone

Zona del prelievo: paramento – h= m 1,50
Condizioni climatiche: sereno, vento assente
Consulente chimico: prof. Enrico Ciliberto

CAMPIONE: C.1.1.1

Dati cronologici: 02/03/2010 h 09:45
Altro: -

TIPO DI INDAGINE: chimica

Metodologia utilizzata: Conduttimetria

Parametri individuati: Quantità totale di sali solubili

Conducibilità elettrica: 91,8 μ S

Metodologia utilizzata: Microscopia ottica

Parametri individuati: Distribuzione spaziale delle specie chimiche

Descrizione microscopica:

Si tratta di una calcarenite a grana fine, omogenea e compatta.

La matrice è cristallina di colore giallo oro, con clasti giallo ocra e rari granelli di sabbia nera. Il colore è molto omogeneo, tale da non rendere sempre facilmente distinguibile la matrice dai clasti.

La porosità è poco visibile.

TIPO DI INDAGINE: mineralogico-petrografica

Metodologia utilizzata: Diffrazione di raggi X

Parametri individuati: Fasi cristalline presenti

La fase cristallina più rappresentativa è il carbonato di calcio nella forma calcite.

Metodologia utilizzata: microscopia ottica su sezioni sottili

Parametri individuati: Specie mineralogiche

Tessitura: fango-sostenuta

Allochimici: (25-30%) foraminiferi, echinodermi

Matrice: (60%) 50% micritica

Cemento: 10%

Porosità: 20%

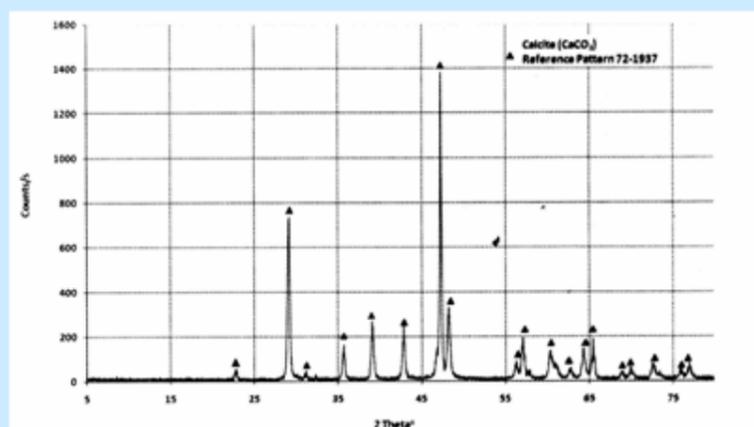
Classificazione petrografica:

Secondo Folk: biomicarenite

Secondo Dunham: Wackestone

Gruppo di appartenenza: A

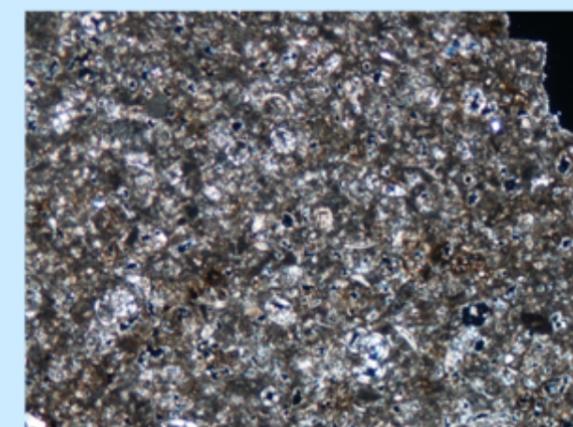
Immagini del campione



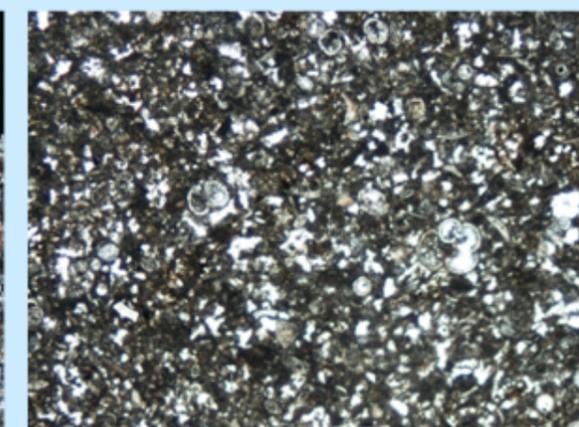
Diffattogramma



Microfoto al microscopio ottico stereoscopico



Microfoto (a 2,5x in b/n) della sezione sottile al microscopio ottico a luce polarizzata, a nicols incrociati e paralleli



Dati localizzativi

Edificio sul Passeggio Aretusa
sn. – Ortigia (Rif. Scheda B.2)

ZONA: Z1

Immagini della zona
prelevamento e del campione



5 cm

Tipologia di materiale campionato: PIETRA CALCAREA

Modalità di prelevamento: scalpello e martello
Campionatore: Alessia Giuffrida
Analista: Alessia Giuffrida, prof.ssa Germana Barone

Zona del prelievo: basamento – h= m 0,97
Condizioni climatiche: sereno, vento assente
Consulente chimico: prof. Enrico Ciliberto

Dati cronologici: 02/03/2010 h 10:15
Altro: -

CAMPIONE: C.1.2.1

TIPO DI INDAGINE: chimica

Metodologia utilizzata: Conduttimetria

Parametri individuati: Quantità totale di sali solubili

Conducibilità elettrica: 80,7 μS

Metodologia utilizzata: Microscopia ottica

Parametri individuati: Distribuzione spaziale delle specie chimiche

Descrizione microscopica:

Si tratta di una calcarenite a grana fine, omogenea e compatta.

La matrice è cristallina di colore giallo oro, con clasti giallo ocra e rari granelli di sabbia nera. Il colore è molto omogeneo, tale da non rendere sempre facilmente distinguibile la matrice dai clasti.

La porosità è poco visibile.

TIPO DI INDAGINE: mineralogico-petrografica

Metodologia utilizzata: Diffrazione di raggi X

Parametri individuati: Fasi cristalline presenti

La fase cristallina più rappresentativa è il carbonato di calcio nella forma calcite.

Metodologia utilizzata: microscopia ottica su sezioni sottili

Parametri individuati: Specie mineralogiche

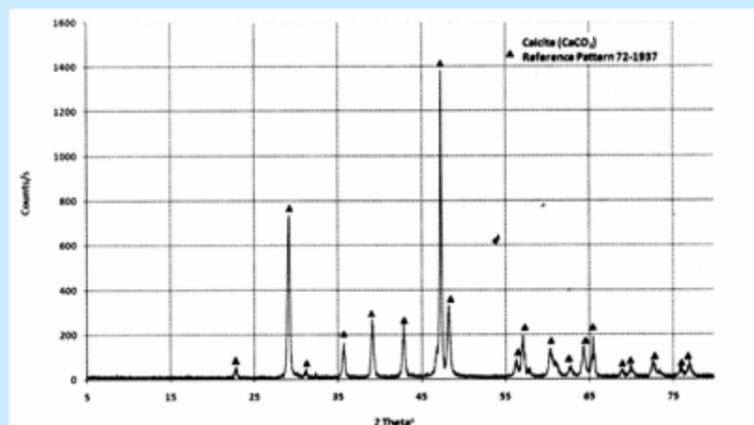
Tessitura: fango-sostenuta
Allochimici: (20%) foraminiferi, echinodermi
Matrice: (60%) micritica
Cemento: 5%
Porosità: 15%

Classificazione petrografica:

Secondo Folk: biomiclutite
Secondo Dunham: Wackestone

Gruppo di appartenenza: C

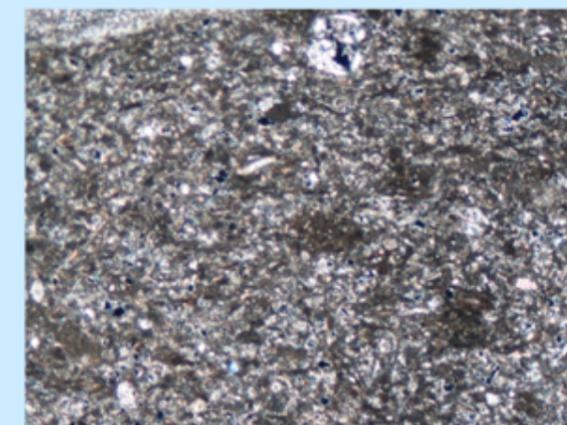
Immagini del campione



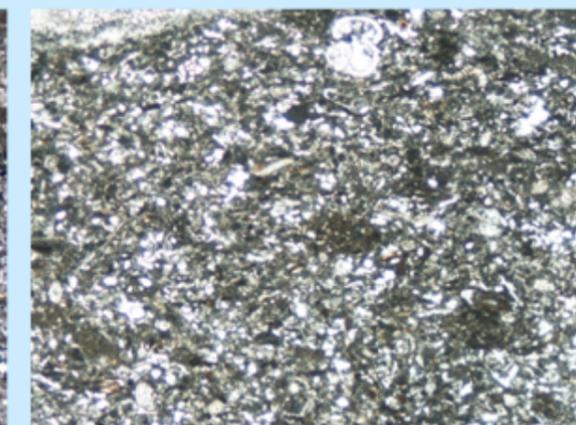
Diffattogramma



Microfoto al microscopio ottico stereoscopico



Microfoto (a 2,5x in b/n) della sezione sottile al microscopio ottico a luce polarizzata, a nicols incrociati e paralleli



Dati localizzativi

Edificio sul Passeggio Aretusa
sn. – Ortigia (Rif. Scheda B.2)

ZONA: Z1

Immagini della zona del
prelevamento e del campione



5 cm

Tipologia di materiale campionato: PIETRA CALCAREA

Modalità di prelevamento: scalpello e martello

Campionatore: Alessia Giuffrida

Analista: Alessia Giuffrida, prof.ssa Germana Barone

Zona del prelievo: basamento – h= m 1,80

Condizioni climatiche: sereno, vento assente

Consulente chimico: prof. Enrico Ciliberto

CAMPIONE: C.1.2.1

Dati cronologici: 02/03/2010 h 10:15

Altro: degrado spinto

TIPO DI INDAGINE: chimica

Metodologia utilizzata: Conduttimetria

Parametri individuati: Quantità totale di sali solubili

Conducibilità elettrica: 82,5 μ S

Metodologia utilizzata: Microscopia ottica

Parametri individuati: Distribuzione spaziale delle specie chimiche

Descrizione microscopica:

Si tratta di una calcarenite a grana fine, omogenea e compatta.

La matrice è cristallina di colore giallo oro con clasti giallo ocra. Il colore è molto omogeneo, tale da non rendere sempre facilmente distinguibile la matrice dai clasti.

La porosità non è visibile.

TIPO DI INDAGINE: mineralogico-petrografica

Metodologia utilizzata: Diffrazione di raggi X

Parametri individuati: Fasi cristalline presenti

La fase cristallina più rappresentativa è il carbonato di calcio nella forma calcite.

Metodologia utilizzata: microscopia ottica su sezioni sottili

Parametri individuati: Specie mineralogiche

Tessitura: fango-sostenuta

Allochimici: (30%) foraminiferi, echinodermi, rari briozoi

Matrice: (60%) micritica

Cemento: 5%

Porosità: 10-15%

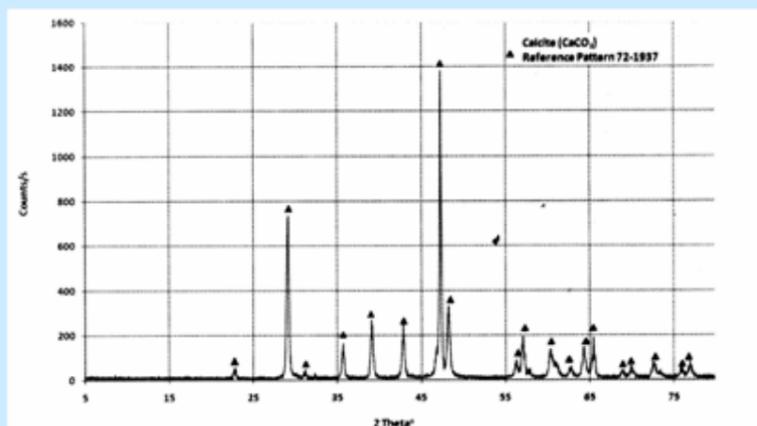
Classificazione petrografica:

Secondo Folk: biomiclutite

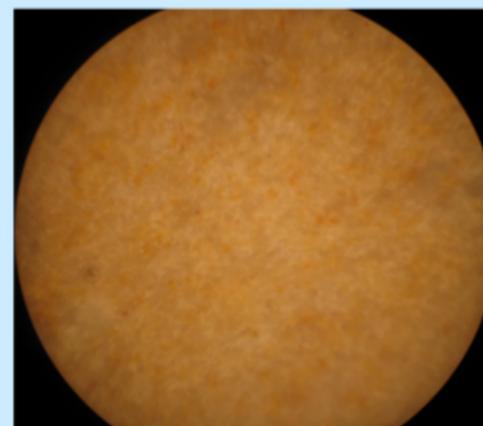
Secondo Dunham: Wackestone

Gruppo di appartenenza: C

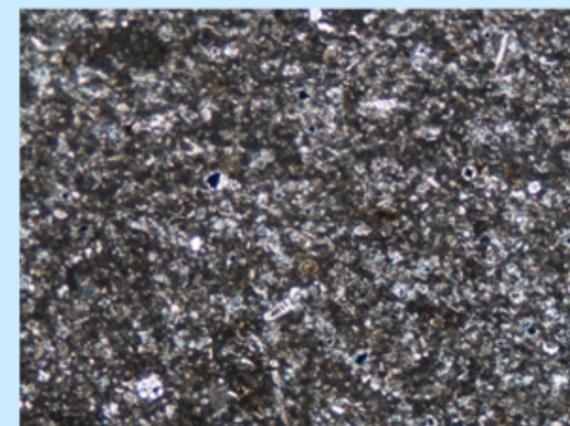
Immagini del campione



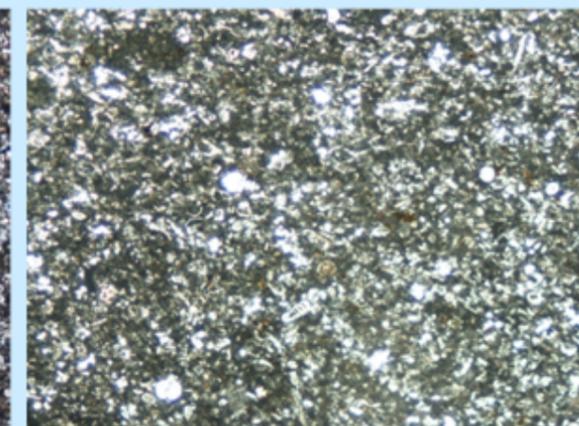
Diffratogramma



Microfoto al microscopio ottico stereoscopico



Microfoto (a 2,5x in b/n) della sezione sottile al microscopio ottico a luce polarizzata, a nicols incrociati e paralleli



Dati localizzativi

Edificio sul Belvedere San Giacomo n.3 – Ortigia (Rif. Scheda B.3)

ZONA: Z2

Immagini della zona del prelevamento e del campione



5 cm

Tipologia di materiale campionato: PIETRA CALCAREA

Modalità di prelevamento: scalpello e martello

Campionatore: Alessia Giuffrida

Analista: Alessia Giuffrida, prof.ssa Germana Barone

Zona del prelievo: paramento – h= m 2,00

Condizioni climatiche: nuvoloso, vento

Consulente chimico : prof. Enrico Ciliberto

CAMPIONE: C.2.1.1

Dati cronologici: 04/12/2009 h 11:40

Altro: -

TIPO DI INDAGINE: chimica

Metodologia utilizzata: Conduttimetria

Parametri individuati: Quantità totale di sali solubili

Conducibilità elettrica: 68,5 μ S

Metodologia utilizzata: Microscopia ottica

Parametri individuati: Distribuzione spaziale delle specie chimiche

Descrizione microscopica:

Si tratta di una calcarenite a grana fine, omogenea e compatta.

La matrice è cristallina di colore giallo oro con clasti giallo ocra. Il colore è molto omogeneo, tale da non rendere sempre facilmente distinguibile la matrice dai clasti.

La porosità è poco visibile.

TIPO DI INDAGINE: mineralogico-petrografica

Metodologia utilizzata: Diffrattometria di raggi X

Parametri individuati: Fasi cristalline presenti

La fase cristallina più rappresentativa è il carbonato di calcio nella forma calcite.

Metodologia utilizzata: microscopia ottica su sezioni sottili

Parametri individuati: Specie mineralogiche

Tessitura: fango-sostenuta

Allochimici: (15%) foraminiferi, echinodermi

Matrice: (70%) 60% micritica

Cemento: 10%

Porosità: 30%

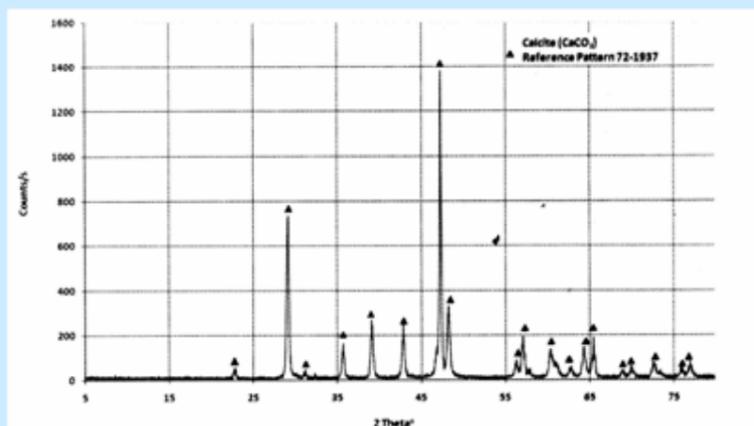
Classificazione petrografica:

Secondo Folk: biomiclutite

Secondo Dunham: Wackestone

Gruppo di appartenenza: C

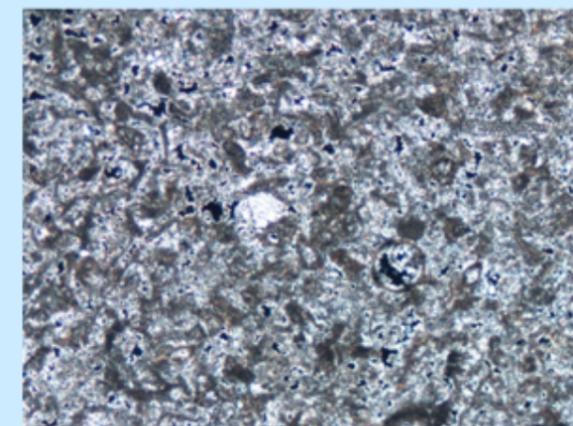
Immagini del campione



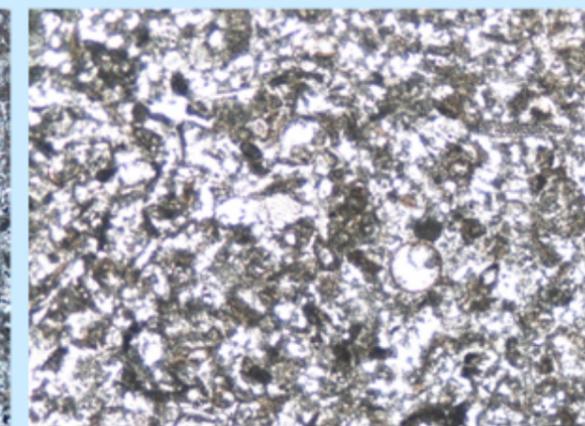
Diffratogramma



Microfoto al microscopio ottico stereoscopico



Microfoto (a 2,5x in b/n) della sezione sottile al microscopio ottico a luce polarizzata, a nicols incrociati e paralleli



Dati localizzativi

Edificio sul Largo della Gancia
n.1 – Ortigia (Rif. Scheda B.4)

ZONA: Z2

Immagini della zona del
prelevamento e del campione



5 cm

Tipologia di materiale campionato: PIETRA CALCAREA

Modalità di prelevamento: scalpello e martello
Campionatore: Alessia Giuffrida
Analista: Alessia Giuffrida, prof.ssa Germana Barone

Zona del prelievo: paramento – h= m 1,30
Condizioni climatiche: sereno, vento assente
Consulente chimico: prof. Enrico Ciliberto

CAMPIONE: C.2.2.1

Dati cronologici: 02/03/2010 h 14:30
Altro: -

TIPO DI INDAGINE: chimica

Metodologia utilizzata: Conduttimetria

Parametri individuati: Quantità totale di sali solubili

Conducibilità elettrica: 135 μ S

Metodologia utilizzata: Microscopia ottica

Parametri individuati: Distribuzione spaziale delle specie chimiche

Descrizione microscopica:

è una calcarenite clastica con clasti di calcite o quarzo. La matrice è omogenea, color giallo oro, con clasti di diverse colorazioni che vanno dal giallo ocra al giallo intenso. Sono visibili alcune cavità probabilmente dovute alla presenza di fossili.

La porosità è poco visibile

TIPO DI INDAGINE: mineralogico-petrografica

Metodologia utilizzata: Diffrattometria di raggi X

Parametri individuati: Fasi cristalline presenti

La fase cristallina più rappresentativa è il carbonato di calcio nella forma calcite.

Metodologia utilizzata: microscopia ottica su sezioni sottili

Parametri individuati: Specie mineralogiche

Tessitura: fango-sostenuta

Allochimici: (60%) foraminiferi (+++), echinodermi (+++), alghe (+), briozoi (++)

Matrice: (40%) micritica e secondariamente microspartica

Cemento: 5-10%

Porosità: 15-20%

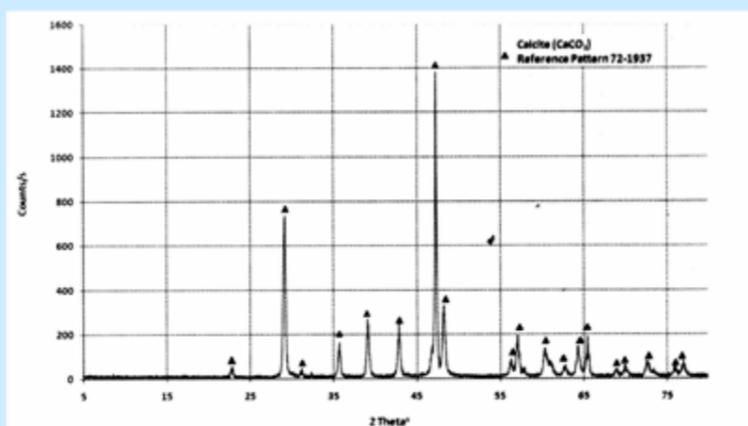
Classificazione petrografica:

Secondo Folk: biomicrudite

Secondo Dunham: Packstone

Gruppo di appartenenza: E

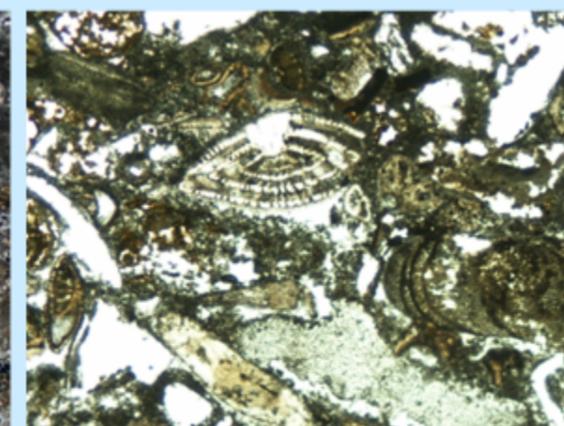
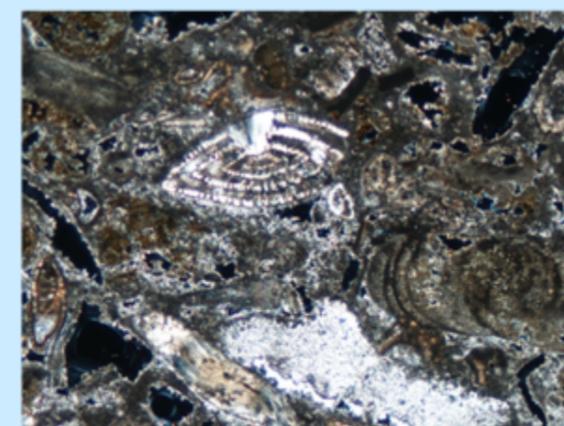
Immagini del campione



Diffrattogramma



Microfoto al microscopio ottico stereoscopico



Microfoto (a 2,5x in b/n) della sezione sottile al microscopio ottico a luce polarizzata, a nicols incrociati e paralleli

Dati localizzativi

Edificio in via Nizza n.28 –
Ortigia (Rif. Scheda B.5)

ZONA: Z2

Immagini della zona del
prelevamento e del campione



5 cm

Tipologia di materiale campionato: PIETRA CALCAREA

Modalità di prelevamento: scalpello e martello
Campionatore: Alessia Giuffrida
Analista: Alessia Giuffrida, prof.ssa Germana Barone

Zona del prelievo: paramento – h= m 1,00
Condizioni climatiche: nuvoloso, vento da est
Consulente chimico: prof. Enrico Ciliberto

CAMPIONE: C.2.3.1

Dati cronologici: 02/03/2010 h 14:45
Altro: -

TIPO DI INDAGINE: chimica

Metodologia utilizzata: Conduttimetria

Parametri individuati: Quantità totale di sali solubili

Conducibilità elettrica: 66,7 μ S

Metodologia utilizzata: Microscopia ottica

Parametri individuati: Distribuzione spaziale delle specie chimiche

Descrizione microscopica:

è una calcarenite fossilifera. La matrice si mostra compatta e di colore rosato con piccole parti tendenti al giallo scuro. I fossili si presentano come corpi di forma tendente a quella circolare o ellittica di colore più chiaro rispetto a quello della matrice. Dove sezionati si presentano come cavità millimetriche e sub-millimetriche. La porosità non è visibile.

TIPO DI INDAGINE: mineralogico-petrografica

Metodologia utilizzata: Diffrazione di raggi X

Parametri individuati: Fasi cristalline presenti

La fase cristallina più rappresentativa è il carbonato di calcio nella forma calcite.

Metodologia utilizzata: microscopia ottica su sezioni sottili

Parametri individuati: Specie mineralogiche

Tessitura: grano-sostenuta

Allochimici: (60-65%) foraminiferi (+++), echinodermi (+++), alghe (+), briozoi (+), molluschi (+)

Matrice: (40%) micritica e secondariamente microspartica

Cemento: 5-10%

Porosità: 15-20%

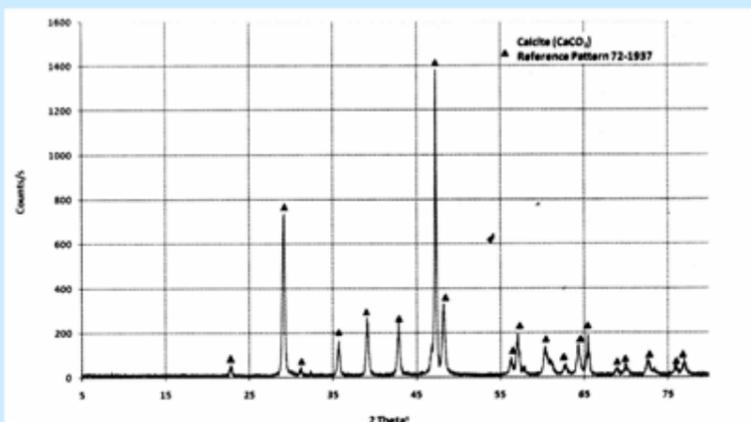
Classificazione petrografica:

Secondo Folk: biomicrudite

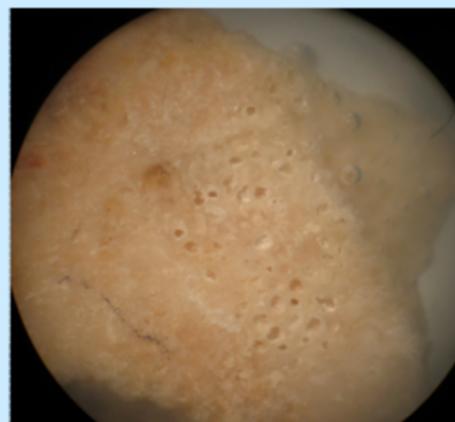
Secondo Dunham: Packstone

Gruppo di appartenenza: D

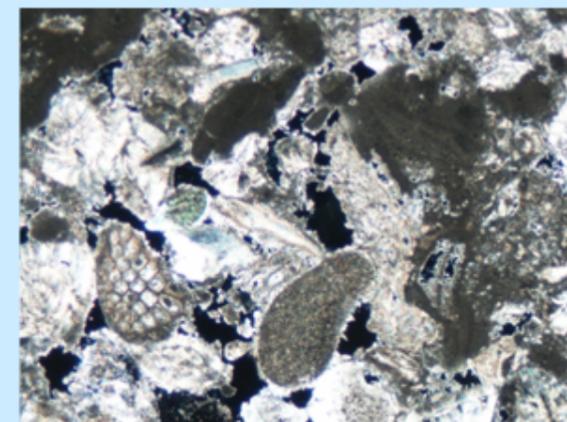
Immagini del campione



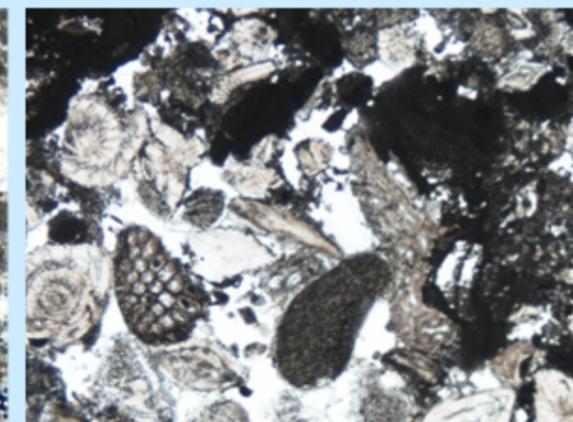
Diffratogramma



Microfoto al microscopio ottico stereoscopico



Microfoto (a 2,5x in b/n) della sezione sottile al microscopio ottico a luce polarizzata, a nicols incrociati e paralleli



Dati localizzativi

Edificio in via Della Maestranza
n.97 – Ortigia (Rif. Scheda B.6)

ZONA: Z3

Immagini della zona del
prelevamento e del campione



5 cm

Tipologia di materiale campionato: PIETRA CALCAREA

Modalità di prelevamento: scalpello e martello
Campionatore: Alessia Giuffrida
Analista: Alessia Giuffrida, prof.ssa Germana Barone

Zona del prelievo: paramento – h= m 2,20
Condizioni climatiche: sereno, vento assente
Consulente chimico: prof. Enrico Ciliberto

CAMPIONE: C.3.1.1

Dati cronologici: 13/10/2009 h 11:30
Altro: traffico veicolare elevato

TIPO DI INDAGINE: chimica

Metodologia utilizzata: Conduttimetria

Parametri individuati: Quantità totale di sali solubili

Conducibilità elettrica: 132,6 μ S

Metodologia utilizzata: Microscopia ottica

Parametri individuati: Distribuzione spaziale delle specie chimiche

Descrizione microscopica:

è una calcarenite fossilifera. La matrice, poco abbondante rispetto ai fossili, si mostra compatta e di colore beige. I fossili si presentano come corpi di forma tendente a quella ellittica di colore più chiaro rispetto a quello della matrice. Dove sezionati si presentano come cavità millimetriche e sub-millimetriche. La porosità è poco visibile

TIPO DI INDAGINE: mineralogico-petrografica

Metodologia utilizzata: Diffrattometria di raggi X

Parametri individuati: Fasi cristalline presenti

La fase cristallina più rappresentativa è il carbonato di calcio nella forma calcite.

Metodologia utilizzata: microscopia ottica su sezioni sottili

Parametri individuati: Specie mineralogiche

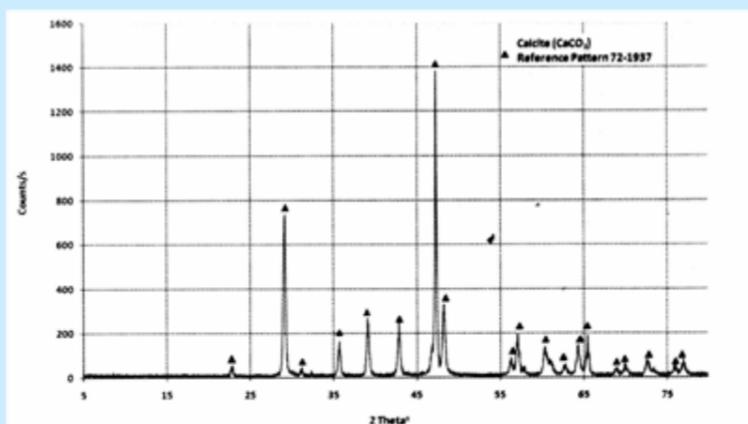
Tessitura: grano-sostenuta
Allochimici: (70%) foraminiferi (+++), echinodermi (++),
alghe (+), briozoi (++)
Matrice: (40%) 5% micritica e 25% sparitica
Cemento: 10%
Porosità: 30%

Classificazione petrografica:

Secondo Folk: biosparudite
Secondo Dunham: Grainstone

Gruppo di appartenenza: D

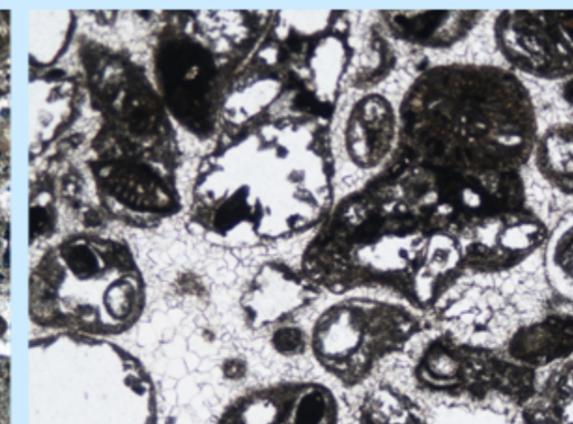
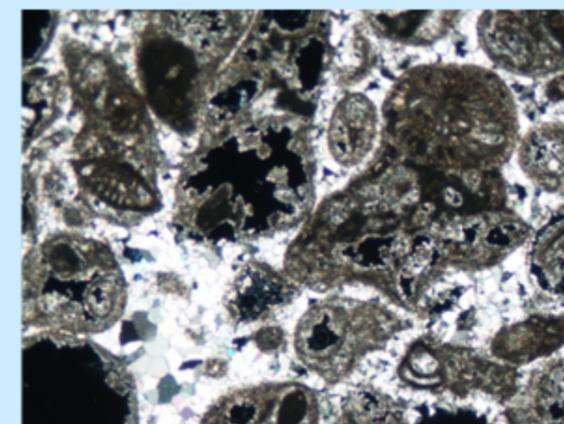
Immagini del campione



Diffattogramma



Microfoto al microscopio ottico stereoscopico



Microfoto (a 2,5x in b/n) della sezione sottile al microscopio ottico a luce polarizzata, a nicols incrociati e paralleli

Dati localizzativi

Edificio in via Roma n.52 –
Ortigia (Rif. Scheda B.7)

ZONA: Z3

Immagini della zona del
prelevamento e del campione



5 cm

Tipologia di materiale campionato: PIETRA CALCAREA

Modalità di prelevamento: scalpello e martello

Campionatore: Alessia Giuffrida

Analista: Alessia Giuffrida, prof.ssa Germana Barone

Zona del prelievo: paramento – h= m 1,70

Condizioni climatiche: sereno, vento assente

Consulente chimico: prof. Enrico Ciliberto

CAMPIONE: C.3.2.1

Dati cronologici: 02/03/2010 h 15:10

Altro: traffico veicolare elevato

TIPO DI INDAGINE: chimica

Metodologia utilizzata: Conduttimetria

Parametri individuati: Quantità totale di sali solubili

Conducibilità elettrica: 109,0 μS

Metodologia utilizzata: Microscopia ottica

Parametri individuati: Distribuzione spaziale delle specie chimiche

Descrizione microscopica:

unico caso di calcarenite clastica che, oltre ai clasti bianchi, giallo ocra e giallo intenso, presenta numerosi granelli di sabbia nera. Probabilmente ciò è dovuto al fatto che è stata inglobata una piccola parte di malta di origine vulcanica.

Sono visibili fossili di forma e colore diversi.

La porosità non è visibile.

TIPO DI INDAGINE: mineralogico-petrografica

Metodologia utilizzata: Diffrazione di raggi X

Parametri individuati: Fasi cristalline presenti

La fase cristallina più rappresentativa è il carbonato di calcio nella forma calcite.

Metodologia utilizzata: microscopia ottica su sezioni sottili

Parametri individuati: Specie mineralogiche

Tessitura: grano-sostenuta

Allochimici: (65-70%) foraminiferi (+++), echinodermi (+++), alghe (++)

Matrice: (35-40%) 20% micritica e 5% sparitica

Cemento: 5-10%

Porosità: 25-30%

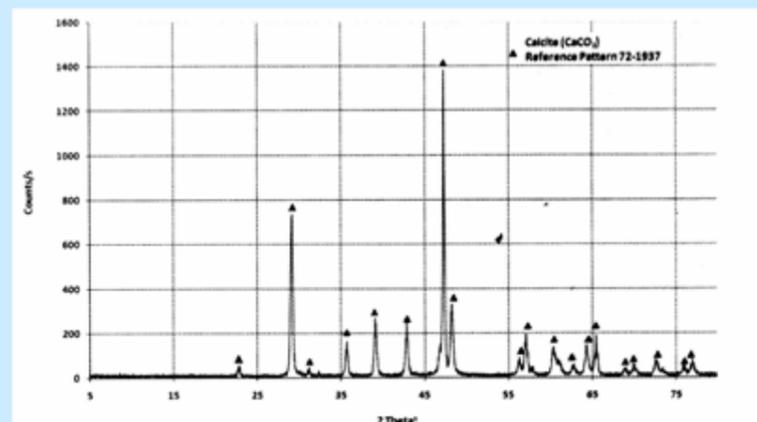
Classificazione petrografica:

Secondo Folk: biomicrudite

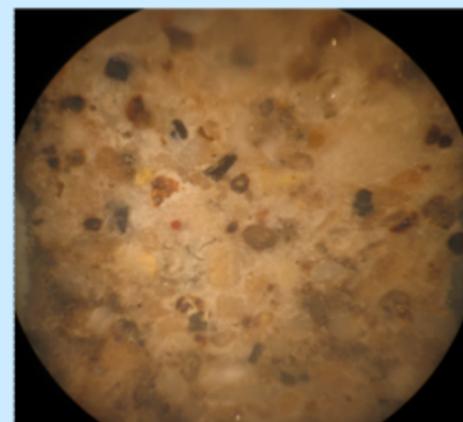
Secondo Dunham: Packstone

Gruppo di appartenenza: E

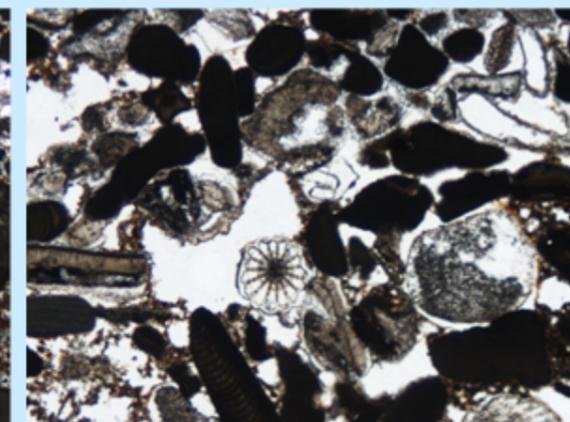
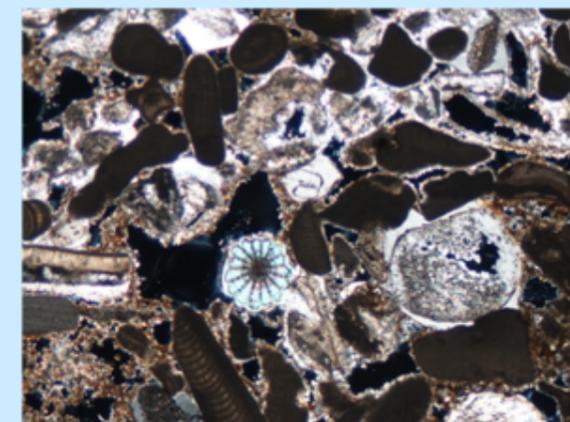
Immagini del campione



Diffattogramma



Microfoto al microscopio ottico stereoscopico



Microfoto (a 2,5x in b/n) della sezione sottile al microscopio ottico a luce polarizzata, a nicols incrociati e paralleli

Dati localizzativi

Edificio in via Resalibera n. 6 –
Ortigia (Rif. Scheda B.8)

ZONA: Z4

Immagini della zona del
prelevamento e del campione



5 cm

Tipologia di materiale campionato: PIETRA CALCAREA

Modalità di prelevamento: scalpello e martello

Campionatore: Alessia Giuffrida

Analista: Alessia Giuffrida, prof.ssa Germana Barone

Zona del prelievo: paramento – h= m 1,70

Condizioni climatiche: sereno, vento da est

Consulente chimico: prof. Enrico Ciliberto

CAMPIONE: C.4.1.1

Dati cronologici: 13/10/2009 h 10:00

Altro: pioggia giorno 11

TIPO DI INDAGINE: chimica

Metodologia utilizzata: Conduttimetria

Parametri individuati: Quantità totale di sali solubili

Conducibilità elettrica: 85,2 μ S

Metodologia utilizzata: Microscopia ottica

Parametri individuati: Distribuzione spaziale delle specie chimiche

Descrizione microscopica:

è una calcarenite a grana fine, omogenea e compatta. La matrice è cristallina di colore giallo oro, con clasti giallo ocra e giallo intenso. Il colore è molto omogeneo, tale da non rendere sempre facilmente distinguibile la matrice dai clasti.

La porosità non è visibile.

TIPO DI INDAGINE: mineralogico-petrografica

Metodologia utilizzata: Diffrazione di raggi X

Parametri individuati: Fasi cristalline presenti

La fase cristallina più rappresentativa è il carbonato di calcio nella forma calcite.

Metodologia utilizzata: microscopia ottica su sezioni sottili

Parametri individuati: Specie mineralogiche

Tessitura: fango-sostenuta

Allochimici: (40%) foraminiferi, echinodermi

Matrice: (60%) 50% micritica e secondariamente sparitica

Cemento: 5%

Porosità: 20%

Crosta: spessore 45 μ m, contatto non netto col supporto, prodotti di solfatazione e sostanze carboniose.

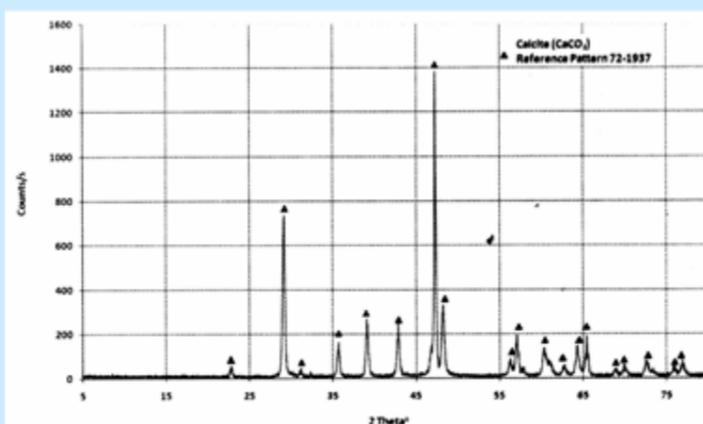
Classificazione petrografica:

Secondo Folk: biomicarenite

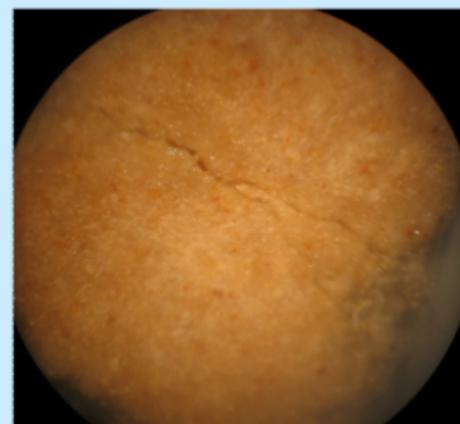
Secondo Dunham: Wackestone

Gruppo di appartenenza: A

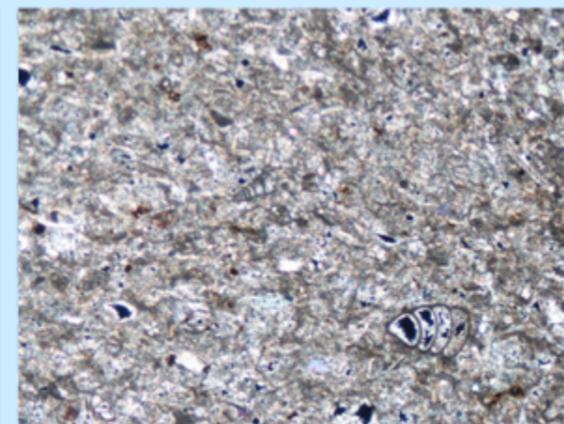
Immagini del campione



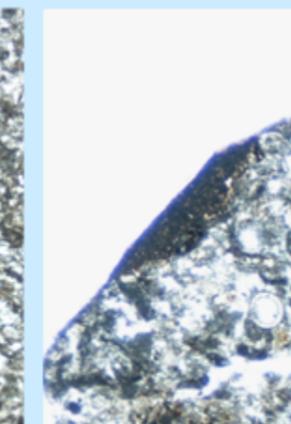
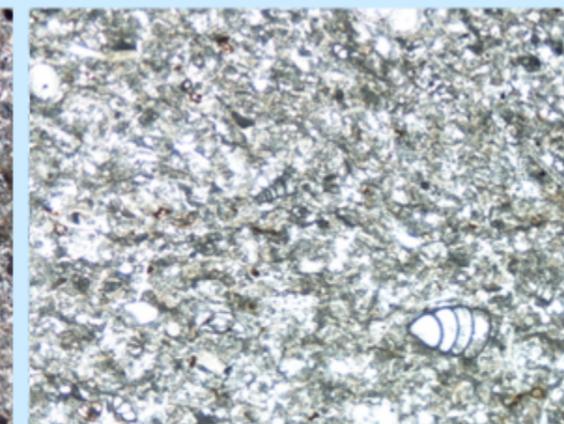
Diffattogramma



Microfoto al microscopio ottico stereoscopico



Microfoto (a 2,5x in b/n) della sezione sottile al microscopio ottico a luce polarizzata, a nicols incrociati e paralleli - Crosta nera a nicols par.



Dati localizzativi

Edificio in via Vittorio Veneto
n. 64 – Ortigia (Rif. Scheda B.9)

ZONA: Z4

Immagini della zona del
prelevamento e del campione



5 cm

Tipologia di materiale campionato: PIETRA CALCAREA

Modalità di prelevamento: scalpello e martello

Campionatore: Alessia Giuffrida

Analista: Alessia Giuffrida, prof.ssa Germana Barone

Zona del prelievo: paramento – h= m 1,40

Condizioni climatiche: sereno, vento forte N-S

Consulente chimico: prof. Enrico Ciliberto

CAMPIONE: C.4.3.1

Dati cronologici: 13/10/2009 h 11:00

Altro: pioggia giorno 11

TIPO DI INDAGINE: chimica

Metodologia utilizzata: Conduttimetria

Parametri individuati: Quantità totale di sali solubili

Conducibilità elettrica: 56,4 μ S

Metodologia utilizzata: Microscopia ottica

Parametri individuati: Distribuzione spaziale delle specie chimiche

Descrizione microscopica:

è un calcare oolitico con una bassa percentuale di matrice e un'alta percentuale di clasti oolitici. Questi si presentano come corpi circolari e ovali dello stesso colore beige della matrice. Sono visibili alcuni clasti rotondeggianti di colore giallo intenso.

TIPO DI INDAGINE: mineralogico-petrografica

Metodologia utilizzata: Diffrattometria di raggi X

Parametri individuati: Fasi cristalline presenti

La fase cristallina più rappresentativa è il carbonato di calcio nella forma calcite.

Metodologia utilizzata: microscopia ottica su sezioni sottili

Parametri individuati: Specie mineralogiche

Tessitura: grano-sostenuta

Allochimici: (90%) ooidi, foraminiferi, echinodermi

Matrice: (15%) 5% micritica e 10% sparite

Cemento: 5%

Porosità: 15%

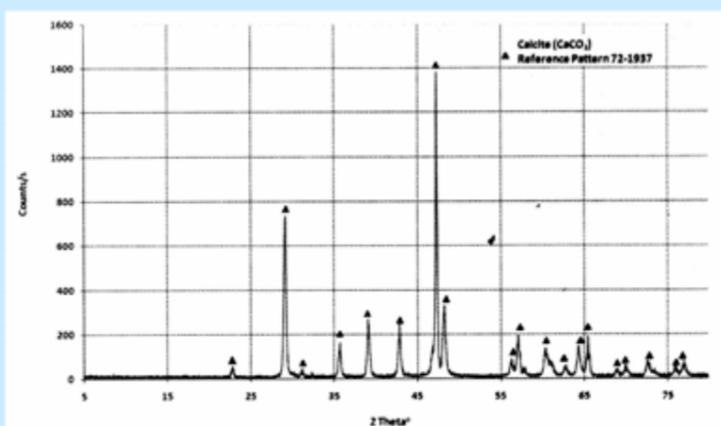
Classificazione petrografica:

Secondo Folk: biosparudite

Secondo Dunham: Grainstone

Gruppo di appartenenza: B

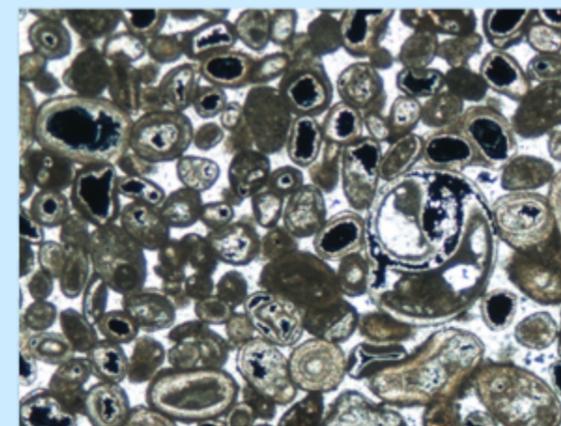
Immagini del campione



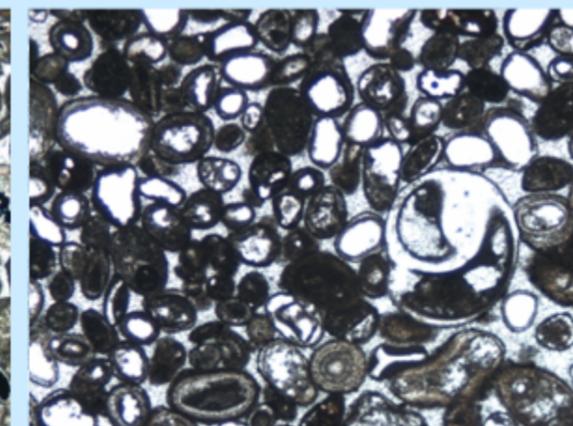
Diffattogramma



Microfoto al microscopio ottico stereoscopico



Microfoto (a 2,5x in b/n) della sezione sottile al microscopio ottico a luce polarizzata, a nicols incrociati e paralleli



Dati localizzativi

Edificio in via Raffaele Lanza
n.14 – Ortigia (Rif. Scheda B.10)

ZONA: Z5

Immagini della zona del
prelevamento e del campione



5 cm

Tipologia di materiale campionato: PIETRA CALCAREA

Modalità di prelevamento: scalpello e martello

Campionatore: Alessia Giuffrida

Analista: Alessia Giuffrida, prof.ssa Germana Barone

Zona del prelievo: paramento – h= m 1,60

Condizioni climatiche: sereno, vento assente

Consulente chimico: prof. Enrico Ciliberto

CAMPIONE: C.5.1.1

Dati cronologici: 02/03/2010 h 15:45

Altro: -

TIPO DI INDAGINE: chimica

Metodologia utilizzata: Conduttimetria

Parametri individuati: Quantità totale di sali solubili

Conducibilità elettrica: 87,8 μS

Metodologia utilizzata: Microscopia ottica

Parametri individuati: Distribuzione spaziale delle specie chimiche

Descrizione microscopica:

è una calcarenite a grana fine, omogenea e compatta. Sono visibili due componenti: una di colore tendente al bianco e una al giallo ocra. Il colore è molto omogeneo, tale da non rendere distinguibile la matrice dai clasti. I fossili non sono visibili. La porosità è poco visibile.

TIPO DI INDAGINE: mineralogico-petrografica

Metodologia utilizzata: Diffrazione di raggi X

Parametri individuati: Fasi cristalline presenti

La fase cristallina più rappresentativa è il carbonato di calcio nella forma calcite.

Metodologia utilizzata: microscopia ottica su sezioni sottili

Parametri individuati: Specie mineralogiche

Tessitura: fango-sostenuta

Allochimici: (40-45%) foraminiferi, echinodermi, alghe rare

Matrice: (60%) 50% micritica

Cemento: 10%

Porosità: 10-15%

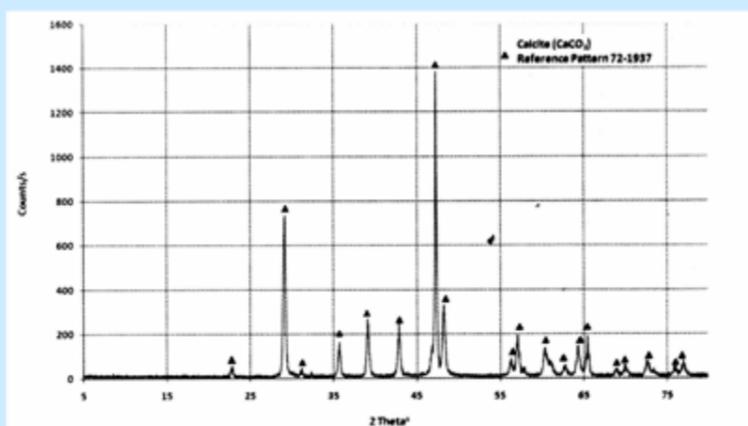
Classificazione petrografica:

Secondo Folk: biomicarenite

Secondo Dunham: Wackestone

Gruppo di appartenenza: A

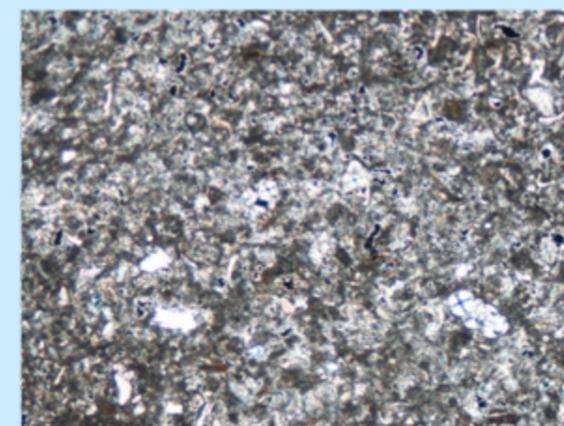
Immagini del campione



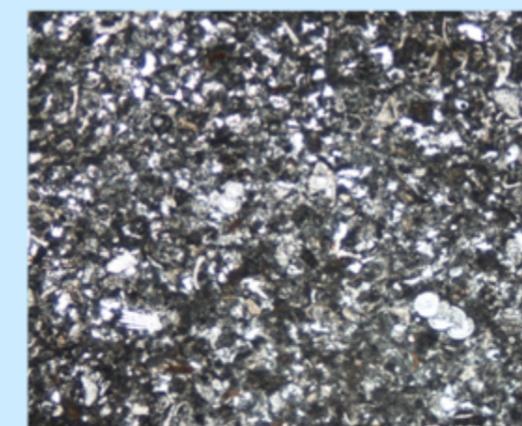
Diffattogramma



Microfoto al microscopio ottico stereoscopico



Microfoto (a 2,5x in b/n) della sezione sottile al microscopio ottico a luce polarizzata, a nicols incrociati e paralleli



Dati localizzativi

Edificio in via Eritres n.6
(Rif. Scheda B.11)

ZONA: Z5

Immagini della zona del prelevamento e del campione



5 cm

Tipologia di materiale campionato: PIETRA CALCAREA

Modalità di prelevamento: scalpello e martello

Campionatore: Alessia Giuffrida

Analista: Alessia Giuffrida, prof.ssa Germana Barone

Zona del prelievo: paramento – h= m 1,60

Condizioni climatiche: sereno, vento assente

Consulente chimico: prof. Enrico Ciliberto

CAMPIONE: C.5.2.1

Dati cronologici: 02/03/2010 h 16:10

Altro: elevato traffico veicolare

TIPO DI INDAGINE: chimica

Metodologia utilizzata: Conduttimetria

Parametri individuati: Quantità totale di sali solubili

Conducibilità elettrica: 97,6 μ S

Metodologia utilizzata: Microscopia ottica

Parametri individuati: Distribuzione spaziale delle specie chimiche

Descrizione microscopica:

è una calcarenite fossilifera. La matrice si mostra compatta e di colore rosato-beige. I fossili si presentano come corpi di grandezza differente e di forma tendente a quella circolare o ellittica. Dove sezionati si presentano come cavità millimetriche e sub-millimetriche. La porosità non è visibile.

TIPO DI INDAGINE: mineralogico-petrografica

Metodologia utilizzata: Diffrazione di raggi X

Parametri individuati: Fasi cristalline presenti

La fase cristallina più rappresentativa è il carbonato di calcio nella forma calcite.

Metodologia utilizzata: microscopia ottica su sezioni sottili

Parametri individuati: Specie mineralogiche

Tessitura: fango-sostenuta

Allochimici: (60-65%) foraminiferi (++) , echinodermi (++) , alghe (+) , briozoi (+)

Matrice: (25-30%) micritica

Cemento: 5%

Porosità: 20-25%

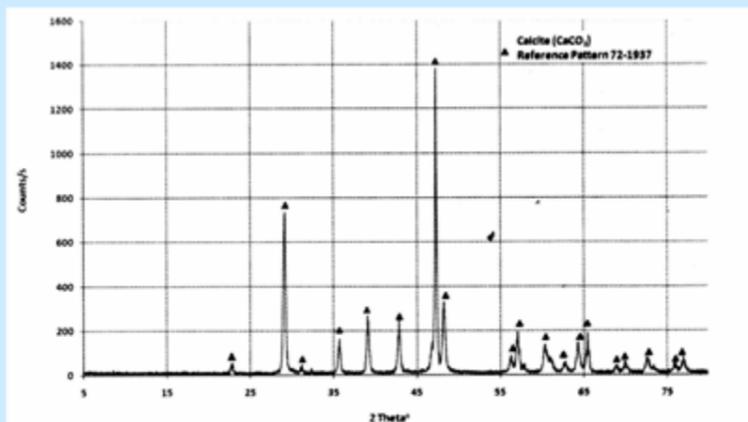
Classificazione petrografica:

Secondo Folk: biomicrudite

Secondo Dunham: Packstone

Gruppo di appartenenza: E

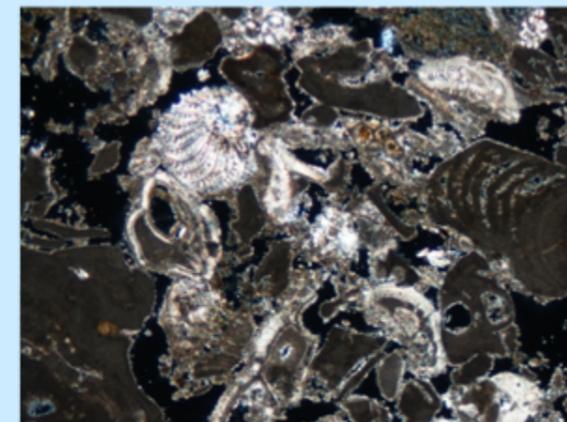
Immagini del campione



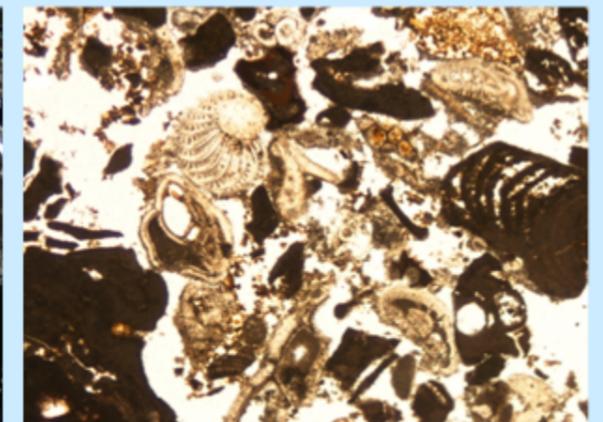
Diffrattogramma



Microfoto al microscopio ottico stereoscopico



Microfoto (a 2,5x in b/n) della sezione sottile al microscopio ottico a luce polarizzata, a nicols incrociati e paralleli



PARTE QUARTA

IL SISTEMA INFORMATIVO

A fronte delle numerose indagini svolte i risultati sono molteplici in quanto hanno riguardato:

- la comprensione delle tecniche costruttive adottate nell'architettura contemporanea per gli involucri in materiali lapidei;
- lo studio dei nuovi materiali lapidei, delle loro caratteristiche e dei problemi tecnologici più frequenti;
- la conoscenza del contesto geologico siracusano;
- la conoscenza del contesto oggetto della ricerca, grazie all'approfondimento di tematiche quali le tecniche costruttive tradizionali e lo stato di conservazione;
- la caratterizzazione dei campioni lapidei da un punto di vista chimico e fisico;
- l'individuazione dell'origine della pietra da un punto di vista mineralogico-petrografico;
- la spiegazione dei principali fenomeni di degrado e della loro origine;
- la misura del degrado, della durabilità della pietra e della resistenza ad agenti aggressivi.

Lo scopo finale è quello di comprendere le possibilità applicative della pietra di Siracusa sotto un duplice aspetto: impiegare materiali lapidei simili o con caratteristiche compatibili per interventi di recupero, sostituzione e integrazione, e rintracciare usi innovativi e sostenibili per progetti di nuova edificazione.

11.1 L'USO DELLA PIETRA NELL'ARCHITETTURA CONTEMPORANEA

La concezione della pietra, durante il '900, ha subito una profonda modificazione, «è come se questo materiale si fosse aperto a una revisione

permanente che lo rende straordinariamente idoneo a nuovi linguaggi. La pietra non è più il materiale eterno, portatore di valori immutabili, ma partecipa, attraverso il pensiero libero delle nuove generazioni di architetti, ai mutamenti sempre più rapidi e imprevedibili del nostro tempo»¹.

L'innovazione influisce su tutti gli aspetti che riguardano l'uso dei materiali lapidei: dalla composizione stessa del materiale finito, alle tecniche di produzione e messa in opera, fino alle innumerevoli possibilità applicative. Nell'ultimo secolo gli studi e le sperimentazioni di progettisti e aziende produttrici sono stati rivolti principalmente al miglioramento delle prestazioni del materiale, creando nuovi prodotti quali i lapidei agglomerati, quelli compositi e la pietra ricomposta. Questi sfruttano le caratteristiche cromatiche e di durabilità nel tempo della pietra, accoppiandovi materiali contemporanei quali le resine, le fibre di vetro o l'acciaio, per il miglioramento delle caratteristiche di resistenza meccanica, per esaltare le caratteristiche estetiche e permettere le applicazioni più ardite.



Figura 1 – Sedley Place a Londra e l'aula liturgica "Padre Pio" a San Giovanni Rotondo²

Parallelamente, la produzione industrializzata, i macchinari a controllo numerico e le tecniche di lavorazione più precise e flessibili, hanno permesso la creazione di prodotti prima impensabili, come ad esempio le

¹ V. Pavan, *Dove va a finire l'architettura di pietra*, tratto da <http://www.architetturadi Pietra.it/wp/?p=1312> (il 19/06/2009).

² Il primo progetto si riferisce ad un sandwich composto da una lastra di marmo di mm 4 tra due vetri temperati di mm 8 ciascuno, usati come chiusura esterna all'interno di una struttura portante. Nel secondo caso si tratta di archi in pietra internamente armata con cavi di acciaio, di luci fino a m 45. Immagini tratte da www.fiberstone.com e www.architetturadi Pietra.it (il 24/11/2010).

lastre di pietra spesse pochi millimetri. Oggi è possibile usare grossi blocchi lapidei armati o sottili *brise-soleil* di marmo, scegliendo contemporaneamente un materiale tradizionale, spesso cavato nelle vicinanze, a basso impatto ambientale, con la consapevolezza di fare una scelta innovativa ma anche sostenibile.



Figura 2 – Banca Generale del Lussemburgo e Terme di Vals³

11.2 LE ANALISI DI LABORATORIO: RISULTATI

11.2.1 LA PIETRA DI FACCIATA

LE PROVE CHIMICHE

Analisi conduttimetrica: I sali solubili, quali nitrati e solfati di sodio, potassio, calcio e magnesio, sono quelli che, proprio perché si sciolgono in acqua, riescono a penetrare nella pietra e a dare luogo ai ben noti fenomeni di efflorescenza e cripto-efflorescenza. Di conseguenza l'analisi di conducibilità è strettamente legata a questi fenomeni di degrado in quanto ne chiarisce la causa: dove il valore è alto, forme di degrado quali l'alveolizzazione sono senza dubbio legate alla presenza dei sali nella muratura. I dati dimostrano anche come, in presenza di croste nere, la quantità di sali e la conducibilità aumentano.

Non c'è invece relazione tra la quantità di sali assorbita e la zona microclimatica, se non per la zona Z.3 nella quale la crosta nera è sempre il degrado prevalente.

LE PROVE MINERALOGICO- PETROGRAFICHE

Microscopia ottica: fornisce una descrizione di massima dei campioni permettendo di distinguerli in gruppi che hanno le stesse caratteristiche.

³ Immagini tratte da www.fiberstone.com (il 24/11/2010) e Casabella n. 648 del 1997.

Tale distinzione coincide con quella fatta successivamente attraverso l'esame mineralogico-petrografico.

Microscopia ottica su sezioni sottili: è necessaria per caratterizzare la pietra e stabilirne la formazione geologica di provenienza allo scopo di individuare la compatibilità fra le pietre per interventi di recupero, come ad esempio nel caso di sostituzioni.

Quindi sono stati classificati 5 gruppi rientranti all'interno delle formazioni Monti Climiti, Monte Carrubba, Palazzolo e "Panchina".

Oltre a tale distinzione possiamo ottenere altre due informazioni generali sulla pietra, utili anche nel caso della nuova edificazione: il calcare oolitico (C.4.3.1 - Formazione Monte Carrubba) sarebbe più resistente rispetto agli altri perché la struttura grano-sostenuta gli consente di avere meno pori, i quali sono i responsabili del maggiore degrado fisico e di una minore resistenza meccanica; un rapporto cemento/matrice alto comporta una maggiore resistenza della pietra alla disgregazione⁴. Per cui i campioni che rispondono meglio a questo requisito sono C.3.1.1, C.3.2.1 e C.4.3.1, appartenenti a formazioni diverse.

Diffrazione ai raggi X: attraverso questa analisi è possibile riconoscere le fasi cristalline presenti nei campioni. In tutti i casi sopra riportati, la fase cristallina più rappresentativa è il carbonato di calcio nella forma calcite.

11.2.2 LA PIETRA DI CAVA

Il primo dato ottenuto attraverso le analisi fisiche svolte sui campioni prelevati dalle cave è il **peso specifico** della pietra (γ) il quale fornisce una prima importante indicazione sulla sua porosità, in quanto maggiore è γ minore è la porosità. Di conseguenza il campione che fornisce il risultato migliore è P6, così come gli altri 5 campioni provenienti da Priolo, mentre N1 fornisce il risultato peggiore, simile agli altri campioni provenienti da Noto e Palazzolo.

LE PROVE
FISICHE

Assorbimento d'acqua per immersione totale e Capacità di imbibizione: da questa prova si può vedere come il campione che assorbe di più e più velocemente è N1 e, a seguire PL1; mentre quello che assorbe una minore quantità di acqua è il campione P4 e, a seguire, P1.

I fattori che influenzano la capacità di assorbimento sono la porosità e l'interconnessione dei pori. Infatti il campione N1 è quello che ha il peso specifico minore e porosità maggiore, mentre il campione P4 ha peso specifico maggiore e la porosità minore.

Porosità: dal confronto fra i dati sulla porosità e i risultati delle prove fisiche si conferma la stretta relazione con l'assorbimento d'acqua e la

⁴ D. Benavente et al., 2004, pp. 113–127.

risposta alla cristallizzazione dei sali. Infatti maggiore è la porosità e maggiori sono l'assorbimento d'acqua e il degrado da assorbimento di sali solubili.

Assorbimento d'acqua per capillarità e Coefficiente di assorbimento capillare: anche in questa prova il campione che assorbe meno proviene da Priolo (P5) e quello che assorbe di più da Noto (N2); a seguire come risultati più e meno soddisfacenti, rispettivamente, l'altro campione di Priolo e il campione di Palazzolo. Inoltre il campione N2 manifesta anche una maggiore velocità di risalita capillare. Nonostante ciò tutti i campioni raggiungono il valore asintotico, ovvero quello dopo il quale la quantità di acqua assorbita inizia a stabilizzarsi, nello stesso momento.

Resistenza alla cristallizzazione dei sali: i provini mostrano comportamenti nettamente differenti durante i 15 cicli di essiccazione/immersione in acqua svolti. La pietra di Priolo (P3 e P6) mostra solo una lieve efflorescenza dal V ciclo, un parziale distacco superficiale al IX ciclo, un'efflorescenza più marcata al X e inizia a sgretolarsi all'XI ciclo. Il campione P3 mostra una perdita di regolarità geometrica di uno spigolo all'VII ciclo. La pietra di Noto (N3) manifesta alcune macchie biancastre al II ciclo, subisce poi una metamorfosi delle superfici esterne a causa della formazione di una spessa incrostazione salina formatasi al IV ciclo, con le prime lesioni e macchie di umidità al VI e la caduta di parti al VII. La pietra di Palazzolo mostra gravi efflorescenze sotto forma di bolle dal III ciclo, con la formazione di alveoli al V, macchie di umidità permanenti al VI, la rottura di uno spigolo all'VIII e la rottura netta in più punti al IX ciclo.



Figura 3 – I 4 campioni dopo il II e il V ciclo



Figura 4 – I 4 campioni dopo il IX ciclo e i campioni P3 e P6 dopo l'XI ciclo

Numero di ciclo	DEGRADO PER CAMPIONE			
	P3	P6	N3	PL3
I	nessuno	nessuno	nessuno	nessuno
II			Macchie bianche	Macchie scure
III			Efflorescenza	Efflorescenza
IV				
V	Efflorescenza lieve	Efflorescenza lieve	Microlesioni e macchie di umidità	Alveolizzazione e microlesioni
VI				
VII			Caduta di parti e totale perdita di regolarità geometrica	Macchie di umidità e distacchi
VIII	Rottura di uno spigolo			
IX	Distacco superficiale	Distacco superficiale	/	Rottura netta
X				
XI	Sgretolamento di piccole parti	Sgretolamento di piccole parti	/	/
XII - XV	Rottura di uno spigolo			

Tabella 1 – Risultati della prova di resistenza alla cristallizzazione dei sali

11.3 SCHEDE DI SINTESI

Gli argomenti trattati nella ricerca vengono di seguito sintetizzati al fine di poter delineare i risultati, individuare gli aspetti innovativi nell'uso dei

materiali lapidei e le criticità per gli interventi di nuova edificazione e di recupero edilizio.

Le sperimentazioni durante il corso dell'ultimo secolo hanno portato alla produzione di materiali innovativi dalle prestazioni migliorate e con applicazioni prima impensabili. Si tratta dei lapidei agglomerati, della pietra ricostruita o ricomposta e dei pannelli compositi. In comune hanno l'uso del materiale lapideo accoppiato ad altri materiali contemporanei quali leganti e strati di rinforzo di varia natura.

La tabella che segue sintetizza le caratteristiche di questi nuovi materiali, mettendone in luce i punti di forza e le criticità.

Materiale lapideo	LAPIDEI AGGLOMERATI	PIETRA RICOSTRUITA O RICOMPOSTA	PANNELLI COMPOSITI
Descrizione	<ul style="list-style-type: none"> Frammenti lapidei + legante (cemento Portland o resine poliesteri) 	<ul style="list-style-type: none"> Inerti o polvere lapidei + legante Spessore = cm 2,5÷4 uso di malta per i giunti e di collante per l'ancoraggio 	<ul style="list-style-type: none"> Lastre di pietra + strati di rinforzo/ lamine/ vetro Spessore tot. = mm 7÷27 11÷63 kg/mq
Punti di forza	<ul style="list-style-type: none"> Lucidabilità Spessori esigui Maggiore resistenza e durabilità Texture variabili Anche in lastre 	<ul style="list-style-type: none"> Pezzi informi o squadri Sfruttamento scarti di lavorazione Maggiore resistenza e durabilità 	<ul style="list-style-type: none"> Spessori e peso esigui Maggiore resistenza e durabilità Vasta gamma di soluzioni
Criticità	Uso di cemento Portland	Uso di malte a base di cemento	Spessore esiguo della pietra (mm 4÷6)
Immagine			

Scheda 1 – Materiali lapidei innovativi

Per questi materiali le tecniche di messa in opera prevedono sia l'uso di malta che la posa a secco. La prima delinea una tecnica tradizionale, legata spesso ad interventi di recupero, ma con diverse criticità riguardo la scelta di malte non compatibili con la pietra utilizzata. La seconda, invece, è legata ad interventi innovativi in cui l'involucro assume una nuova autonomia rispetto al supporto, grazie all'uso di agganci metallici. Rispetto alla posa con malta, la posa a secco permette una maggiore flessibilità,

una maggiore velocità di posa, la riduzione dei costi di posa e l'indipendenza dei singoli elementi e dal supporto.

La tabella seguente schematizza le criticità e le indicazioni progettuali delle due tecniche di posa in opera in funzione delle possibili realizzazioni.

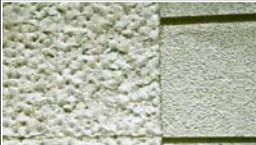
TECNICA DI POSA	Realizzazioni	Criticità	Indicazioni
CON MALTA	Muratura portante	<ul style="list-style-type: none"> • incompatibilità tra la malta cementizia e la pietra calcarea; • difficoltà per singole sostituzioni; • possibilità di infiltrazioni d'acqua. 	<ul style="list-style-type: none"> • non usare cemento; • sigillare bene i giunti.
	Rivestimenti	<ul style="list-style-type: none"> • incompatibilità tra la malta cementizia e la pietra calcarea; • necessità di fissaggi metallici per pareti estese o pannelli pesanti; • possibilità di avere differente dilatazione e oscillazione tra rivestimento e supporto; • possibilità di infiltrazioni d'acqua. 	<ul style="list-style-type: none"> • non usare cemento; • usare lastre non troppo grandi; • prevedere giunti di dilatazione; • sigillare bene i giunti.
	Muratura di tamponamento	<ul style="list-style-type: none"> • incompatibilità tra la malta cementizia e la pietra calcarea; • difficoltà per singole sostituzioni. 	<ul style="list-style-type: none"> • non usare cemento.
	Partizioni interne	<ul style="list-style-type: none"> • incompatibilità tra la malta cementizia e la pietra calcarea; • difficoltà per singole sostituzioni. 	<ul style="list-style-type: none"> • non usare cemento.
A SECCO	Rivestimenti	<ul style="list-style-type: none"> • discontinuità create sull'isolante dall'ancoraggio; • possibili rotture in corrispondenza dei fori e delle scanalature su retro e coste. 	<ul style="list-style-type: none"> • diminuire al massimo il numero dei fori; • dimensionare correttamente l'ancoraggio.
	Pareti ventilate	<ul style="list-style-type: none"> • discontinuità create sull'isolante dall'ancoraggio; • possibilità rotture in corrispondenza dei fori e delle scanalature su retro e coste; • possibilità di infiltrazioni d'acqua. 	<ul style="list-style-type: none"> • diminuire al massimo il numero dei fori; • dimensionare correttamente l'ancoraggio; • proteggere il piede e la sommità della parete.



Scheda 2 – Tecniche di posa in opera

Le tecniche di produzione e lavorazione sono oggi legate principalmente all'industrializzazione del settore dei materiali lapidei. Grazie a questa evoluzione è possibile migliorare le caratteristiche dei materiali compositi e ottenere le più svariate lavorazioni superficiali, con estrema precisione, tenendo sempre in conto la compatibilità con il litotipo che viene scelto.

Tra le attuali tecniche di lavorazione ricordiamo i trattamenti ad urto, tra cui spuntatura, bocciardatura, rigatura, sabbiatura, martellinatura, puntinatura, rullatura, graffiatura, la levigatura, la lucidatura, la stuccatura e, tra i più recenti, la resinatura e la retinatura⁵. Di seguito si riporta una tabella che mette in luce i punti di forza delle principali tecniche di produzione e lavorazione e le criticità in previsione dell'uso della pietra calcarea.

Tecnica di produzione o lavorazione	Punti di forza	Criticità	Immagine
VIBRO-COMPRESSIONE/COMPATTAZIONE	<ul style="list-style-type: none"> • riducono la quantità di legante tra i granuli • diminuiscono la porosità del materiale 	• /	
TRATTAMENTI AD URTO	<ul style="list-style-type: none"> • ampliano la gamma di texture • creano effetti chiaroscurali 	<ul style="list-style-type: none"> • necessitano di spessori adeguati • aumentano la superficie esposta al degrado 	
LEVIGATURA	<ul style="list-style-type: none"> • restituisce le facce piane • definisce i colori 	• è inapplicabile sui calcari poco compatti	
LUCIDATURA	<ul style="list-style-type: none"> • aumenta la resistenza superficiale agli agenti atmosferici • valorizza l'aspetto del litotipo 	• è inapplicabile sui calcari a grana fine	
STUCCATURA	<ul style="list-style-type: none"> • riempie le discontinuità 	• gli stucchi cementizi sono incompatibili con i calcari	
RESINATURA	<ul style="list-style-type: none"> • aumenta la resistenza e la flessibilità di litotipi poco compatti • riempie le discontinuità • le resine possono essere anche trasparenti 	• /	
RETINATURA	<ul style="list-style-type: none"> • aumenta la resistenza tramite uno strato di rinforzo 	• /	

Scheda 3 – Principali tecniche di produzione e lavorazione

⁵ Cfr. A. Acocella, 2004, p. 608.

L'uso dei materiali lapidei incontra criticità legate agli ambiti coinvolti: la scelta della tecnica di estrazione e lavorazione, il trasporto, il rapporto con il contesto, il dimensionamento e l'attuazione di interventi di manutenzione e recupero. Di seguito si forniscono le possibili soluzioni in funzione del materiale indagato.

AMBITO	PROBLEMATICHE	SOLUZIONE
Estrazione	<ul style="list-style-type: none"> • uso di esplosivi • inquinamento falde acquifere • impatto paesaggistico • possibilità di discariche abusive 	<ul style="list-style-type: none"> • usare tecniche meno aggressive • controllare i livelli di estrazione • recuperare la cava
Lavorazione	<ul style="list-style-type: none"> • uso di trattamenti aggressivi e non compatibili 	<ul style="list-style-type: none"> • non usare trattamenti ad urto sulla pietra meno compatta, con spessori esigui e in contesti aggressivi
Trasporto	<ul style="list-style-type: none"> • costi di trasporto elevati 	<ul style="list-style-type: none"> • scegliere la pietra del luogo
Contesto	<ul style="list-style-type: none"> • aggressività del contesto • presenza di numerose forme di degrado • compatibilità storica e culturale 	<ul style="list-style-type: none"> • scegliere pietre compatibili • posizionarle correttamente in facciata • scegliere la pietra tradizionale
Dimensionamento	<ul style="list-style-type: none"> • scelta di lastre troppo sottili • uso di ancoraggi metallici 	<ul style="list-style-type: none"> • eseguire prove di rottura a compressione sulla lastra e in corrispondenza dei fori
Manutenzione/ recupero	<ul style="list-style-type: none"> • realizzazione interventi inadeguati e incompatibili con le caratteristiche della pietra 	<ul style="list-style-type: none"> • non usare malte cementizie, pitture plastiche ecc • non sostituire la pietra degradata con un'altra più resistente e duratura

Scheda 4 – Problematiche principali per l'uso dei materiali lapidei

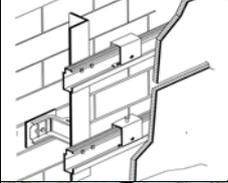
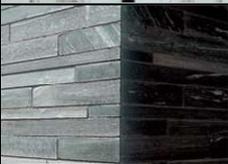
L'analisi dei casi studiati pone l'accento sulle questioni che riguardano l'uso dei materiali lapidei. Oltre alla scelta di un materiale o di un'applicazione innovativi, l'idea comune è spesso quella di utilizzare un materiale del luogo che permetta l'integrazione dell'oggetto architettonico con il contesto, sia naturale che culturale e storico. Un esempio per tutti è quello dell'Aula Liturgica "Padre Pio" a San Giovanni Rotondo, in cui Renzo Piano sceglie di usare in modo innovativo un materiale della tradizione, nonché una pietra del luogo, invece di una pietra importata o di un altro materiale più comune come il cemento armato.

Lo stesso Piano così descrive la sua scelta tecnologica: la pietra «all'interno curverà, diventerà concava, creando un effetto in qualche modo

speculare alla cupola. Le arcate di sostegno in pietra, così come studiato all'inizio da Peter Rice, saranno disposte in modo radiale. Grazie alle moderne tecnologie (il calcolo strutturale effettuato con il computer e il taglio controllato da macchine automatiche) stiamo sperimentando nuove possibilità nell'uso del materiale di costruzione più antico in assoluto. Nella chiesa di Padre Pio, la pietra sarà selciato e copertura, ma anche materiale strutturale: la campata principale di oltre cinquanta metri rappresenterà forse il più lungo arco portante in pietra mai realizzato: e non è il gusto per il record. È semplicemente voglia di esplorare quello che si può fare con la pietra oggi, quasi mille anni dopo le cattedrali gotiche. Il virtuosismo tecnico non è fine a se stesso, ma risponde a una precisa scelta formale. A San Giovanni Rotondo la chiesa sboccia dalla pietra della montagna. Di pietra saranno muro, sagrato, archi di sostegno e rivestimento del tetto. Abbiamo deliberatamente insistito su un solo materiale per farne la chiave espressiva del progetto»⁶.

La tabella seguente raccoglie gli esempi di architettura contemporanea più legati alle tecniche tradizionali e quelli più innovativi. Il filo conduttore è l'uso di un materiale che crea il legame con il contesto, sia per la sua veste tradizionale che naturale. Le applicazioni progettuali selezionate vengono descritte nella loro tecnologia e messe in evidenza attraverso i punti di forza. In tale modo è possibile vagliare le numerose soluzioni applicabili al contesto analizzato attraverso la ricerca, scegliendo tecnologie valide sia per la nuova edificazione che per consistenti interventi di recupero grazie al loro carattere innovativo e sostenibile.

⁶ <http://www.architetturadi Pietra.it> (consultato il 24/11/2010).

Applicazioni	TECNOLOGIA	PUNTI DI FORZA	PROGETTO	IMMAGINE
Muratura portante	<ul style="list-style-type: none"> • conci di pietra squadrati o sbozzati, a secco o con giunti di malta. 	<ul style="list-style-type: none"> • tradizionalità del sistema; • integrazione con il contesto; • applicabilità per interventi di recupero. 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Casa unifamiliare</i>, Mont-Malmédy, ARTAU SCRL, ante 2003. 	
Parete ventilata	<ul style="list-style-type: none"> • lastre di pietra su struttura metallica staccata dalla parete. 	<ul style="list-style-type: none"> • ventilazione della facciata; • facilità di sostituzione delle singole parti; • applicabile su pareti esistenti. 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Biblioteca</i> di Marsiglia, Cabinet Fainsilber. 	
Pannelli compositi	<ul style="list-style-type: none"> • lastra di pietra tra due lastre di vetro temperato; • lastre di pietra retro-rinforzata da un pannello a nido d'ape in alluminio; • lastre di pietra retro-rinforzata da fibre di vetro. 	<ul style="list-style-type: none"> • miglioramento delle caratteristiche della pietra; • protezione dagli agenti atmosferici; • possibilità di montaggio su struttura in alluminio; • vasta gamma di effetti decorativi. 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Biblioteca</i> di Marsiglia, Cabinet Fainsilber; • <i>Sede centrale AXA</i>, Parigi; • <i>Sedley Place</i>, Londra, Fletcher Priest and Associates, 2005. 	
Rivestimento di strutture in c.a.	<ul style="list-style-type: none"> • lastre di vario spessore ancorate al supporto tramite malta o ancoraggi in acciaio. 	<ul style="list-style-type: none"> • permanenza di un'immagine tradizionale; • integrazione con il contesto. 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Terme</i> di Vals, Peter Zumthor, 1991-96. 	
Tamponamento di strutture in acciaio	<ul style="list-style-type: none"> • lastre di vario spessore ancorate alla struttura portante tramite struttura secondaria in acciaio; • lastre montate a secco le une sulle altre. 	<ul style="list-style-type: none"> • leggerezza del sistema; • facilità di manutenzione; • facilità di sostituzione delle singole parti. 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Chiesa</i> di Mortensrud, Jensen & Skodvin ArkitektKontor, 2002; • <i>Lotus House</i>, Kengo Kuma, Tanagawa, 2003-5; • <i>Sedley Place</i>, Londra, Fletcher Priest and Associates, 2005. 	
Gabbioni riempiti	<ul style="list-style-type: none"> • gabbioni metallici riempiti con pietrame sbozzato o informe gettato a secco. 	<ul style="list-style-type: none"> • possibilità di sfruttare gli scarti di cava e di lavorazione. 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Cantina vinicola Dominus</i>, California, Herzog & De Meuron, 1995-98; • <i>Alloggi popolari</i>, Montpellier, Edouard Francois & Ass., 1997-2000; • <i>Casa privata</i>, Stadtbergen, Titus Bernhard, 2002-03. 	
Brise-soleil	<ul style="list-style-type: none"> • lastre di materiale lapideo orientabili montate su struttura in acciaio. 	<ul style="list-style-type: none"> • flessibilità del sistema; • innovazione tecnologica. 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Banca Generale</i>, Lussemburgo, Jim Clemens. 	
Pietra armata	<ul style="list-style-type: none"> • blocchi di pietra con all'interno un'armatura d'acciaio. 	<ul style="list-style-type: none"> • resistenza del sistema; • permanenza di un'immagine tradizionale. 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Santuario di Padre Pio</i>, S. Giovanni Rotondo, Renzo Piano, 1997-2004. 	

Scheda 5 – Possibili applicazioni dei materiali lapidei

Infine, l'analisi della pietra del siracusano è stata fondamentale per verificarne la compatibilità con le più moderne scelte applicative studiate.

A seguire si riporta, quindi, una sintesi dei risultati ottenuti dalle prove sui campioni prelevati dai paramenti storici di Ortigia e sui campioni di cava, necessari per dare le indicazioni tecnologiche per progetti di nuova edificazione e di recupero edilizio.

L'applicazione delle tecnologie individuate con i precedenti progetti offre un ventaglio di soluzioni da poter applicare alla realtà locale siracusana previa verifica delle caratteristiche del materiale locale. Per tali motivi i tipi di tecnologie individuati devono fare i conti con le indagini di laboratorio sulla pietra di facciata e su quella di cava.

Le schede sotto riportate sintetizzano e sistematizzano i risultati delle analisi e individuano separatamente gli esiti per le due tipologie di campioni.

CAMPIONI per zona	Conducibilità (µS)	Degrado prevalente	Classificazione (Folk e Dunham)	Formazione geologica
C.1.1.1	91,8	Alveolizzazione erosione	Biomicroarenite Wackestone	Palazzolo
C.1.2.1	80,7	erosione	Biomicroclutite Wackestone	Palazzolo
C.1.2.2	82,5	erosione	Biomicroclutite Wackestone	Palazzolo
C.2.1.1	68,5	alveolizzazione	Biomicroclutite Wackestone	Palazzolo
C.2.2.1	135	mancanza	Biomicrorudite Packstone	Panchina pleistocenica
C.2.3.1	66,7	mancanza	Biomicrorudite Packstone	Monti Climiti
C.3.1.1	132,6	crosta nera	Biosparudite Grainstone	Monti Climiti
C.3.2.1	109	crosta nera	Biomicrorudite Packstone	Panchina pleistocenica
C.4.1.1	85,2	alveolizzazione	Biomicroarenite Wackestone	Palazzolo
C.4.3.1	56,4	erosione	Oosparudite Grainstone	Monte Carrubba
C.5.1.1	87,8	Erosione mancanza	Biomicroarenite Wackestone	Palazzolo
C.5.2.1	97,6	crosta nera	Biomicrorudite Packstone	Monti Climiti

Tabella 2 – Risultati delle prove sui campioni di facciata

	cava	γ	$\Delta M/M_{\max}$ (%)	CI (%)	Porosità (%)	Mi (g/cm ^q)	CA	Ms	Rottura (n. ciclo)
Formazione Monti Climiti									
Pietra di Priolo	Mostringiano SICS								
P1		2,14	6,94	6,96	15	-	-	-	-
P2		2,06	-	-	-	0,85	0,008	-	-
P3		2,06	-	-	-	-	-	8,72	NO
P4		2,22	4,92	4,94	11	-	-	-	-
P5		2,24	-	-	-	0,54	0,005	-	-
P6		2,25	-	-	-	-	-	5,10	NO
Formazione di Palazzolo									
Pietra di Noto	Porcari Tolentino								
N1		1,61	17,03	17,10	27	-	-	-	-
N2		1,63	-	-	-	1,39	0,013	-	-
N3		1,72	-	-	-	-	-	8,61	7
Pietra di Palazzolo	Camelio Bagnato								
PL1		1,80	12,48	12,59	22	-	-	-	-
PL2		1,79	-	-	-	1,20	0,011	-	-
PL3		1,81	-	-	-	-	-	8,04	9

Tabella 3 – Quadro riassuntivo dei risultati delle prove fisiche sui campioni da cava

Nella precedente tabella γ è il peso specifico, $\Delta M/M_{\max}$ (%) è il valore massimo dell'assorbimento d'acqua per immersione totale, CI (%) la capacità di imbibizione, Mi (g/cm^q) l'assorbimento d'acqua per capillarità, CA il coefficiente di assorbimento capillare, Ms la quantità di sali assorbita.

Il valore segnato in blu è quello che indica un risultato più soddisfacente all'interno della stessa analisi e quello in rosso indica il risultato meno soddisfacente.

«Il principio culturale» su cui si basa la ricerca «muove dalla individuazione dei fattori identitari dell'architettura tradizionale mediterranea, energeticamente consapevole, per recuperarne i principi di sostenibilità ambientale attraverso il trasferimento nella contemporaneità»¹.

Oggi infatti l'omologazione del paesaggio antropizzato, la diffusione dell'inquinamento, l'esaurimento delle risorse non rinnovabili, l'uso appropriato delle risorse naturali, hanno reso urgente e non più emarginabile il problema della salvaguardia dell'"immagine tipica" dei luoghi e, allo stesso tempo, della difesa dell'ambiente².

La ricerca ha inteso delineare un quadro conoscitivo sui materiali lapidei utilizzati a Ortigia e su quelli oggi cavabili nel siracusano, a partire dalle loro caratteristiche e prestazioni offerte; questo per dare supporto alle scelte costruttive locali e a dimostrazione che ci possono essere nuovi campi di applicazione per la pietra siracusana, sia nella nuova edificazione, sia nelle integrazioni sull'esistente.

Lo studio punta inoltre alla possibilità di ripetere e applicare tale metodo a contesti con condizioni simili, ovvero con materiali e tecniche costruttive, caratteristiche ambientali, condizioni di degrado pressoché identici, d'altra parte tutto il sud d'Italia ha caratteristiche costruttive che si discostano poco le une dalle altre.

È importante ricordare che la pietra di Siracusa risalente alla Formazione Monte Carrubba, oggi non è più cavata e non sono nemmeno previsti dal Piano Cave³ future zone di coltura per questa pietra. Di conseguenza, laddove si volesse intervenire con questo litotipo per sostituzioni e integrazioni si dovrà prevedere necessariamente un altro tipo di pietra.

¹ *L'edificio zero energia nell'area mediterranea. Imparare dal passato. Costruire il futuro*, Locandina Convegno, Siracusa 15-16 Aprile 2009.

² Cfr. G. Caterina, *Le tecnologie ambientali. Introduzione*, in V. Gangemi, P. Ranzo (a cura di), *Il governo del progetto. La tecnologia per la formazione dell'architetto*, Edizioni Luigi Parma, Bologna, 1987; M.C. Forlani, intervento sul tema *Sostenibilità/ambiente*, "VERSO SITdA", Atti workshop Firenze 2007.

³ Piano Cave della Regione Siciliana, Luglio 2008, tratto da <http://www.regione.sicilia.it/industria/corpo%20delle%20miniere/index.htm>.

Numerosi principi, infine, possono essere validi sia nell'ambito del recupero che in quello della nuova edificazione.

A seguire si riportano le conclusioni che sono emerse dalla ricerca.

12.1 L'USO SOSTENIBILE DEL MATERIALE LAPIDEO: REQUISITI E PRESTAZIONI

L'analisi dei requisiti e delle prestazioni definisce un metodo a garanzia della qualità e della sostenibilità del progetto; essa infatti traduce sia le esigenze dell'utenza che le necessità ambientali in requisiti e prestazioni di cui il sistema edilizio deve essere dotato per garantire determinati livelli di qualità⁴. Attraverso questa analisi è possibile stabilire non solo i livelli prestazionali offerti dai materiali lapidei, in termini di durabilità e affidabilità, ma anche i requisiti che un materiale deve avere per essere sostenibile e mantenere i caratteri di un luogo.

I REQUISITI PER UN'ARCHITETTURA SOSTENIBILE

A tal proposito Maria Cristina Forlani propone alcune classi esigenziali, classi di requisito e relativi requisiti, in funzione di un modo di affrontare la "costruzione" attento alle esigenze dei fruitori e ai problemi ambientali, che possa allo stesso tempo valorizzare e proteggere le diversità culturali⁵:

a) *classe esigenziale*: integrazione con il contesto ambientale (naturale e antropico):

a1) classi di requisito - requisito: integrazione paesaggistica - riconoscibilità dei caratteri ambientali del luogo;

a2) classi di requisito - requisito: integrazione della cultura materiale - recupero delle tradizioni costruttive locali.

b) *classe esigenziale*: contenimento del consumo di risorse (materiali, acqua, energia):

b1) classi di requisito - requisito: materiali da costruzione – materiali di origine rinnovabile e non, consumi energetici di produzione e consumi energetici di trasporto limitati.

c) *classe esigenziale*: riduzione dei carichi ambientali (emissioni, rifiuti):

c1) classi di requisito - requisito: controllo dei rifiuti da costruzione e demolizione - valutazione delle potenzialità di riciclo dei materiali, valutazione della separabilità dei componenti, demolizione selettiva.

«Un prodotto per definirsi "ecologico" dovrebbe, dunque, soddisfare i seguenti requisiti in fase di produzione: uso parsimonioso delle materie prime, possibilmente scelte fra quelle rinnovabili ed abbondanti, meglio se riciclabili; uso delle materie prime necessarie ridotte al minimo; basso

⁴ Caterina G., 1989, *op. cit.*

⁵ Forlani M.C., intervento "Costruzione & dissolvenza in luoghi di confine tra terra e acqua", *Abitare*, IV Scuola Estiva di Alta Formazione SEAF, Siracusa 8-13 Ottobre 2007.

consumo di energia, di acqua o di altre risorse; nessun utilizzo di sostanze nocive per l'uomo e per l'ambiente, scarsa o nulla produzione di scarichi nocivi e scorie inquinanti. Il prodotto finito dovrebbe essere durevole nel tempo e riparabile; innocuo per chi lo produce, per chi lo installa e per gli utenti finali; concepito come sistema integralmente riciclabile o riutilizzabile; confezionato con imballaggi riciclabili; distribuito senza spreco di energia»⁶.

Prendendo come riferimento questi requisiti è possibile analizzare, in maniera sostenibile, il materiale lapideo, producendo risultati più vicini al rispetto dell'ambiente.

La pietra siracusana risponde in modo positivo a tali requisiti, in quanto è un materiale naturale usato da secoli in questo contesto, che dà la possibilità di recuperare e tramandare le tradizioni costruttive locali oltre a garantire la possibilità di sperimentarne di nuove; l'estrazione ha un basso impatto ambientale, non è nociva e ha un minimo consumo di risorse; è un materiale attualmente disponibile in abbondanza, che produce le minori quantità di energia grigia a fronte degli altri materiali da costruzione usati più frequentemente; proprio perché è un materiale locale garantisce costi di trasporto minimi; è il materiale che dura più a lungo; in funzione della tecnica costruttiva usata sono possibili una manutenzione, sostituzione e demolizione selettive e, inoltre, è possibile riciclare parte del materiale per la macinazione e la conseguente produzione di inerti e sabbia.

Infine lo stesso Piano Cave della Regione siciliana prevede piani di recupero delle cave inattive, diminuendo l'impatto ambientale e paesaggistico, e il recupero degli scarti di produzione in funzione delle loro dimensioni e per gli usi più svariati e interessanti: dagli scogli frangi-flutti, alla pietra ricomposta, ad elementi per pavimentazioni e arredo urbano⁷.

LE PRESTAZIONI
DELLA PIETRA DI
SIRACUSA

12.2 L'USO DELLA PIETRA DI SIRACUSA NELLA NUOVA EDIFICAZIONE

La ricerca ha voluto porre l'attenzione su nuove possibilità di applicazione per l'uso del materiale lapideo locale, cercando sistemi e tecnologie adatti al tipo di pietra e ai luoghi in esame. Questo per liberare la pietra da usi scontati e ripetitivi e innalzarla nuovamente ad un ruolo primario nella tecnologia locale. Si vuole cioè imparare dal passato per reinterpretare, in chiave attuale, un materiale che potrebbe portare avanti la battaglia

⁶ P. Gasparoli, "Attività di progetto sul costruito", in P. Gasparoli, C. Talamo, *op. cit.*, pp. 173-174.

⁷ Cfr. Piano Cave, Regione Siciliana, *op. cit.*, cap. 3 e cap. 6b. p. 93 e segg.,

ambientale contro l'inquinamento generato dalla produzione di laterizi o elementi in cemento.

Il primo riferimento è certamente alle tecniche costruttive utilizzate nell'architettura contemporanea, in particolare a quelle evidenziate nei casi studio esaminati che, per caratteristiche, possono prevedere l'uso della pietra di Siracusa. Attraverso il riferimento alle tecniche costruttive dell'edilizia storica di Ortigia, alle condizioni microclimatiche e allo stato di degrado si possono fornire indicazioni per limitare i danni provenienti dall'uso errato dei diversi litotipi, in funzione della messa in opera e delle caratteristiche intrinseche del materiale e del contesto.

**RISULTATI DELLE
PROVE FISICHE**

Dalla sistematizzazione delle prove fisiche risulta evidente che la pietra più resistente e con migliori caratteristiche chimico-fisiche è quella di Priolo, in particolare quella bianca a striature dorate, più dura al taglio⁸, meno porosa, che mostra fenomeni di degrado più lievi e una maggiore durabilità.



Figura 1 – Pietra di Priolo

L'analisi della resistenza ai sali solubili ha dimostrato che, in generale, non è consigliabile accoppiare alla pietra materiali che contengano sali o che non la facciano traspirare. Quindi è bene non usare intonaci e malte cementizi o cemento Portland poiché contengono nella loro composizione sali solubili, ad es. gesso e cemento, che possono essere ceduti alla pietra in presenza di acqua e innescare il degrado. Allo stesso modo non vanno

⁸ Tali caratteristiche le troviamo nei campioni P4, P5 e P6.

usate malte e pitture polimeriche poiché, non essendo permeabili all'acqua in fase liquida, avviano ulteriori fenomeni di degrado⁹: l'acqua riesce a fuoriuscire dalla pietra al solo stato di vapore e quindi i sali, che non possono evaporare, rimangono all'interno della pietra e, dopo l'evaporazione dell'acqua, cristallizzano, dando vita a fenomeni di criptoefflorescenza anche particolarmente dannosi. In casi di stuccature parziali con malte non compatibili, la pietra recuperata appare sana ma l'acqua migra verso le pietre limitrofe non stuccate, dando origine a fenomeni di degrado fino a quel momento inesistenti o di minore intensità.

Queste indicazioni valgono soprattutto per le pietre di Noto e Palazzolo.

È consigliabile usare leganti naturali (indicati come NHL – *Natural Hidrolic Lime*) oppure preferire ancoraggi meccanici nel caso di rivestimenti lapidei. Anche in quest'ultimo caso si deve far attenzione a non usare materiali ossidabili, come il ferro, per evitare sia le macchie di ruggine sia la pressione esercitata sulla pietra dalla formazione degli ossidi.

NHL E
ANCORAGGI
MECCANICI

Osservando le schede sugli edifici campionati ad Ortigia possiamo constatare che i fenomeni di degrado più diffusi sono legati alla presenza di acqua fino ad un'altezza di circa tre metri. La pietra che si degrada più velocemente sarà quindi quella che assorbe più acqua e che risponde negativamente al test della cristallizzazione dei sali. Di conseguenza, è possibile suggerire una distinzione che riguarda la posizione del materiale lapideo all'interno della facciata in modo da posticipare il più possibile i fenomeni di degrado legati alla presenza di acqua. Visti i risultati delle analisi è preferibile usare la pietra di Priolo per la zona basamentale e per gli elementi di protezione; la pietra di Noto e Palazzolo per le parti sommitali e per gli elementi che non hanno una grossa funzione portante, tenendo conto che tutte e tre le pietre possiedono le caratteristiche di lavorabilità per essere trasformate in tali elementi tecnici o dispositivi.

LA POSIZIONE
DEL MATERIALE
LAPIDEO

Nel caso di sistemi di posa con malta in cui gli elementi lapidei sono fra loro messi in comunicazione, è bene accostare pietre appartenenti allo stesso litotipo, quindi alla stessa cava e allo stesso livello di estrazione, per evitare che la disomogeneità delle caratteristiche mineralogico-petrografiche e fisiche possa causare fenomeni di degrado che si sviluppano in modo preferenziale.

SISTEMI DI POSA
CON MALTA

⁹ Cfr. P. Gasparoli, *Processi di degrado e attività analitiche*, in P. Gasparoli, C. Talamo, *op. cit.*, p. 203; L. Lazzarini, M. Laurenzi Tabasso, 1986, *op. cit.*, p. 36.



Figura 2 – Fenomeno da evitare, in corso sui paramenti di Ortigia. Edifici in via della Maestranza e sul Lungomare Alfeo.

**SISTEMI DI
POSA A SECCO**

In generale, per avere una maggiore resistenza meccanica, dovrebbe valere il principio per il quale è preferibile usare sistemi di posa a secco. Questo per l'interposizione della malta fra una pietra e l'altra o fra il supporto murario e il rivestimento che abbassa nettamente il coefficiente di resistenza a compressione della pietra; per i muri eterogenei, in cui la pietra può essere grezza, il ruolo della malta è fondamentale per determinare la resistenza dell'intera muratura.

A fronte dei casi studio analizzati si possono ad esempio consigliare:

- muratura in blocchi di pietra squadrata a più teste;
- gabbie metalliche contenenti pietre sbozzate;
- pietra armata;
- rivestimenti sottili;
- pareti ventilate con ancoraggi metallici continui.



Figura 3 – Esempi di tecniche contemporanee¹⁰

¹⁰ Immagini tratte da: Detail n. 11 del 2003, www.archdaily.com (consultato il 22/11/2010) e A. Acocella, 2004, *op. cit.*.

Nel caso di sistema con ancoraggio metallico sarebbe opportuno non mettere bulloni a vista per evitare macchie di ruggine e colature. Inoltre per evitare fessurazioni causate dalle differenti dilatazioni e resistenze meccaniche di pietra e metalli sono preferibili sistemi che non necessitano di fori sulla pietra o l'inserimento di elastomeri che assorbono le spinte¹¹.

Relativamente alla posa in opera, un principio fondamentale affinché essa venga eseguita correttamente, è quello della disposizione degli elementi lapidei in base alla tessitura: essi devono essere disposti in modo che gli sforzi di compressione siano perpendicolari ai piani di sedimentazione¹². Lo stesso vale per l'osservazione della giacitura dei fossili. Ciò è necessario per evitare sfaldamenti, distacchi e piani di scorrimento. Osservando ad esempio uno stipite dell'edificio in via R. Lanza, dal quale è stato prelevato il campione C.5.1.1, si vede come la pietra si stia sfaldando secondo i piani di sedimentazione e che quindi, essendo questi in verticale, la pietra è stata messa in opera in modo sbagliato. Anche l'orientamento del fossile visibile a occhio nudo conferma tale ipotesi (vedi figura 4).



Figura 4 – Edificio in via R. Lanza: esempio di rottura lungo un piano di sedimentazione

Infine, dal punto di vista economico, il prezzo dei tre litotipi non si discosta molto l'uno dall'altro: la pietra di Palazzolo, così come quella di Noto, viene venduta tra i 1200 e i 1300 €/mc, mentre la pietra di Priolo a

¹¹ Cfr. L. Lazzarini, M. Laurenzi Tabasso, 1986, *op. cit.*, p. 35.

¹² Ivi.

1500 €/mq; se vendute in lastre il prezzo parte da 33 €/mq per spessori di cm 2 e 40 €/mq per spessori di cm 3¹³.

12.3 L'USO DELLA PIETRA DI SIRACUSA NEL RECUPERO EDILIZIO

«I tempi e i modi di degrado degli edifici si sono indubbiamente accentuati nell'ultimo secolo sia per l'acuirsi dei fenomeni di degrado atmosferico (inquinamento), sia per la spesso incontrollata evoluzione dei processi produttivi e costruttivi.

L'industrializzazione dei componenti e la grande varietà di materiali oggi presenti sul mercato, le loro notevoli differenze dal punto di vista materico e di comportamento a fatica, hanno prodotto, infatti, l'accentuarsi di fenomeni di degrado e di guasto a causa del manifestarsi di numerose incompatibilità tecnologiche soprattutto nelle modalità di accostamento o di sovrapposizione di materiali diversi».¹⁴ Per garantire interventi efficaci è quindi preferibile scegliere materiali e tecniche compatibili con il contesto storico, culturale e climatico e seguire un processo generale per l'eliminazione delle cause del degrado, per poi agire sulla superficie lapidea con interventi di consolidamento e protezione, e infine programmare interventi di manutenzione che ne prolunghino la vita utile in funzione dei degni e delle condizioni ambientali riscontrati.

IL MINIMO
INTERVENTO E LA
SOSTENIBILITÀ
AMBIENTALE

Alla base degli interventi di recupero vi è inoltre il criterio del minimo intervento, il quale «assume valenze di notevole significato anche rispetto alle tematiche della sostenibilità ambientale: riusare piuttosto che demolire e ricostruire; riusare minimizzando consumi di energia, di risorse non rinnovabili (acqua, aria, suolo, ecc.), di materiali (per la cui produzione e trasporto viene richiesta molta energia)¹⁵. Dunque «il progetto sul costruito, che si preoccupi di conservare e mantenere la materia esistente, si colloca pienamente nell'ambito della sostenibilità ambientale e risponde in modo efficace a tali istanze nella logica del risparmio e del riutilizzo delle risorse»¹⁶.

A fronte dei risultati ottenuti con la ricerca è possibile dare ulteriori indicazioni per gli interventi di recupero: innanzitutto, quando l'esame visivo

¹³ Informazioni fornite da ditte di Noto e Siracusa specializzate nel settore dei materiali lapidei.

¹⁴ P. Gasparoli, "Processi di degrado e attività analitiche", in P. Gasparoli, C. Talamo, *op. cit.*, pp. 191-192

¹⁵ P. Gasparoli, "Attività di progetto sul costruito", in P. Gasparoli, C. Talamo, *op. cit.*, p. 175.

¹⁶ *Ibidem*, p. 177.

non è esaustivo è meglio confrontare alcune caratterizzazioni con indagini di laboratorio, come quelle eseguite in questa sede, quali la conduttimetria, la diffrattometria ai raggi X e le analisi al microscopio ottico con l'ausilio di sezioni sottili, per un quadro delle caratteristiche della pietra e del suo stato di degrado. Dove la conducibilità risulta alta è opportuno verificare la causa dell'elevato assorbimento dei sali (assenza di protezione del paramento, errato scolo e deflusso delle acque meteoriche, rotture di impianti ecc.) ed eliminarla.

**RISULTATI DELLE
ANALISI DI
LABORATORIO**

Tale esame può inoltre essere ripetuto ogni 5 anni per monitorare il contenuto di sali solubili nella pietra e intervenire di conseguenza.

Grazie all'esame mineralogico-petrografico è possibile riconoscere il litotipo usato nell'edificio da recuperare e, in caso di sostituzioni parziali di pietre degradate, scegliere una pietra che abbia caratteristiche simili, scelte tra cave vicine, in base alla formazione geologica di appartenenza. Anche se spesso alcuni litotipi sono riconoscibili a vista, quanto detto comporta la necessità di osservare un campione della pietra da sostituire, e/o di quella limitrofa, almeno attraverso un microscopio ottico o, se non si ottengono informazioni sufficienti, effettuarne una sezione sottile. Il nuovo litotipo verrà scelto in funzione della compatibilità con quello da sostituire e con quelli limitrofi, in modo da avere le stesse caratteristiche mineralogico-petrografiche e chimico-fisiche.

In base ai risultati ottenuti attraverso le prove fisiche è anche possibile conoscere preventivamente il comportamento di ogni litotipo in termini di durabilità e di risposta ai singoli degradi. Di conseguenza, visti i comportamenti nettamente diversi e visti i risultati in opera dovuti all'accostamento di pietre diverse, deve essere scartata l'eventualità di sostituire la pietra degradata con un litotipo di un'altra formazione, anche nel caso in cui esso dia una risposta nettamente migliore in termini di durabilità. In tal caso si evita che la pietra nuova e con una maggiore durabilità causi l'innescò di ulteriori fenomeni di degrado sulle pietre limitrofe.

**INTERVENTI DI
SOSTITUZIONE**

Inoltre, in base all'azione del degrado simulata attraverso le prove fisiche sui campioni di cava e a fronte degli studi di settore ormai consolidati, possiamo dire che l'acqua è la principale fonte di degrado. Nei progetti di recupero bisogna monitorare quindi il fronte di risalita e la presenza di efflorescenze; le pietre più degradabili, ovvero quella di Noto e Palazzolo, vanno protette dal contatto diretto con l'acqua con un intonaco a base di calce che funga da superficie sacrificale, più semplice e più economico da integrare o sostituire rispetto alla pietra.

Infine, nel caso di interventi di recupero più consistenti rispetto alle sostituzioni, alle integrazioni e alla manutenzione, come ad esempio la

**INDICAZIONI
PROGETTUALI**

demolizione e ricostruzione di intere parti di edificio, è possibile avvalersi degli stessi principi visti per le nuove costruzioni.

È possibile quindi prevedere l'uso innovativo di rivestimenti sottili, di pareti ventilate con sistema di ancoraggio metallico o di murature in conci armati.

Inoltre la pietra rimossa, dove non eccessivamente degradata, può essere riciclata per fare sabbia e inerti o usata nuovamente per rivestimenti innovativi, come per esempio quelli costituiti da gabbioni metallici riempiti di pietra a secco.

Seguendo le ipotesi delineate è possibile mantenere e tramandare l'immagine delle città che, come Siracusa, affascinano il visitatore per la sua sostanza materica: «Ciò che mi ha colpito durante la mia visita a Siracusa è stata la sua pietra che ha un sapore, un colore e un calore locale. Ci sono città fatte di cemento armato e vetro. Siracusa è fatta di pietra della sua terra. Oggi bisogna costruire il nuovo, non il vecchio, ma bisogna conoscere l'anima del luogo»¹⁷. Ecco che i luoghi esprimono caratteri e forniscono spunti per la nuova edificazione e per il recupero, alla luce della materia esistente e della materialità connaturata nel tempo, di luoghi costruiti e non costruiti.

Le pietre «sono passate per questa decomposizione senza agonia, perdita senza morte, sopravvivenza senza resurrezione, quella appunto della materia consegnata alle proprie leggi»¹⁸ e il tempo ne ha dato un carattere forte, presente, puro che diviene la sostanza del progetto.



¹⁷ Intervento di Wim Wenders, *In difesa del paesaggio*. Wim Wenders con Carlo Truppi, Convegno, Siracusa, 10 ottobre 2010.

¹⁸ M. Yourcenar, *Il Tempo, grande scultore* (1954) in *Il tempo, grande scultore*, Torino, Einaudi, 1994, pp.51-55.

CLASSIFICAZIONE DEI MATERIALI LAPIDEI

Con materiale lapideo naturale, come definito dalla Commissione NorMaL, si indicano «marmi, pietre, graniti, nonché qualsiasi altra "roccia" impiegata in architettura. Per definire i singoli materiali lapidei naturali esistono due tipi di classificazione, una classificazione tecnologica codificata da UNI (Norma UNI 8458) ed una classificazione petrografica, basata su criteri rigorosamente scientifici, notevolmente in contrasto fra loro»¹. Con materiale lapideo artificiale, invece, si indicano «i materiali artificiali (quali stucchi, malte, intonaci, prodotti ceramici), impiegati in architettura, che derivano dalla lavorazione e trasformazione di materie prime di origine naturale»².

la COMMISSIONE
NORMAL

Per i materiali lapidei esistono diverse classificazioni.

1. La norma UNI 8458³ divide le rocce in quattro categorie: marmo (fra cui include i calcari), granito, travertino e pietra, intesa come roccia da costruzione generalmente non lucidabile e distinta in rocce tenere e/o poco compatte (fra cui calcareniti e arenarie) e rocce dure e/o compatte.
2. La classificazione commerciale ricalca quella fatta dalla norma UNI 8458.
3. La classificazione petrografica⁴ distingue le rocce in base a:
 - le proprietà fisico-meccaniche (rocce coerenti, compatte, incoerenti, sciolte);
 - la composizione (rocce monomineraliche, rocce polimineraliche);
 - l'origine (rocce endogene, cioè formatesi all'interno della Terra - ad esempio le rocce metamorfiche o le rocce magmatiche intrusive, rocce esogene, cioè formatesi sulla superficie terrestre – ad esempio le rocce sedimentarie);

LA NORMA UNI 8458

LA CLASSIFICAZIONE
COMMERCIALE

LA CLASSIFICAZIONE
PETROGRAFICA

¹ <http://www.icr.beniculturali.it> (23/03/2009)

² *Ivi.*

³ UNI 8458 - 1983 - Edilizia. Prodotti lapidei. Terminologia e classificazione.

⁴ Secondo la norma UNI 9724/1, sostituita da UNI EN 12407 il 30/09/2001.

LA CLASSIFICAZIONE
MINERALOGICA

- la genesi (rocce magmatiche o ignee, le quali si distinguono in rocce magmatiche intrusive formatesi per cristallizzazione di un magma, effusive – lave - derivanti dal rapido raffreddamento dovuto alla fuoriuscita a giorno del magma, e piroclastiche, legate all'attività esplosiva del vulcano; rocce sedimentarie, formatesi in seguito al deposito di materiale proveniente dalla degradazione di altre rocce già esistenti in seguito a processi di tipo meccanico, chimico e/o biochimico; rocce metamorfiche, formatesi in seguito alla trasformazione della tessitura e dei minerali di altre rocce in funzione dei cambiamenti delle condizioni ambientali quali pressione, temperatura e fluidi circolanti all'interno della Terra)⁵.

4. La classificazione mineralogica distingue le rocce in relazione alla paragenesi mineralogica che la costituisce. Ad esempio fra le rocce carbonatiche il calcare è costituito principalmente da calcite (carbonato di calcio).

LE ROCCE
CARBONATICHE

I materiali lapidei studiati fanno parte del gruppo delle rocce sedimentarie e, in particolare, sono rocce carbonatiche ovvero «costruzioni litoidi costituite essenzialmente da minerali carbonatici [che] possono avere origine per sedimentazione clastica, chimica ed organogena. I termini litoidi più diffusi sono i calcari e le dolomie, assai più rari sono i depositi sideritici»⁶, i cui minerali costituenti più importanti sono la calcite CaCO_3 , la dolomite $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, la magnesite MgCO_3 e la siderite FeCO_3 .

Le rocce carbonatiche possono essere caratterizzate da: frammenti litici, in genere calcarei (chiamati intraliticlasti), o da altri materiali derivanti da depositi terrigeni preesistenti ed interni al bacino di sedimentazione rimaneggiati meccanicamente e ridepositati; frammenti derivanti da processi biologici come i fossili (bioclasti) quali foraminiferi, echinodermi, alghe, briozoi, molluschi, brachiopodi ecc, la cui ossatura è formata principalmente da calcite e aragonite, mentre alcuni organismi, fra cui briozoi, alghe coralline, alcuni foraminiferi e molluschi, contengono una discreta quantità di magnesite⁷; processi chimici come i peloidi, grani piccoli o piccolissimi che rappresentano escrementi fecali mineralizzati oppure grani della matrice; ooidi, grani sub sferici con struttura concentrica formati da una successione di strati carbonatici accresciuti su un nucleo peloide.

STRUTTURA,
TESSITURA E
POROSITÀ

Caratteri fondamentali per descrivere le rocce carbonatiche sono: la struttura che è l'insieme delle proprietà fisiche degli elementi che compongono il sedimento, ovvero la proprietà dei grani e delle loro

⁵ R. Bugini, L. Folli, *Cenni di petrografia. Introduzione alla conoscenza del materiale lapideo naturale*, <http://www.icvbc.cnr.it/didattica/petrografia/14.htm> (19/06/2009)

⁶ G. Negretti, *Fondamenti di petrografia*, casa editrice Università La Sapienza, Roma, 2003, p. 459.

⁷ *ibidem*, p. 460.

dimensioni, della forma e dei caratteri della loro superficie; la tessitura, riferita ai caratteri d'insieme; la porosità che è il volume occupato dai pori in rapporto a quello dell'intera impalcatura lapidea del sedimento.

La struttura⁸ delle rocce carbonatiche è legata ai costituenti principali. Nel caso delle rocce terrigene nelle quali predominano i clasti la struttura è clastica (per frammenti di roccia di dimensione >2mm è detta ruditica, fra 2 e 1/16 mm è arenitica, < 0,004 mm è lutitica); per le rocce di origine chimica la struttura è legata alle dimensioni dei minerali e varia da sparitica (cristalli di grandi dimensioni) a micritica (cristalli molto piccoli); per le rocce organogene le strutture sono definite biogene o organogene.

LA STRUTTURA

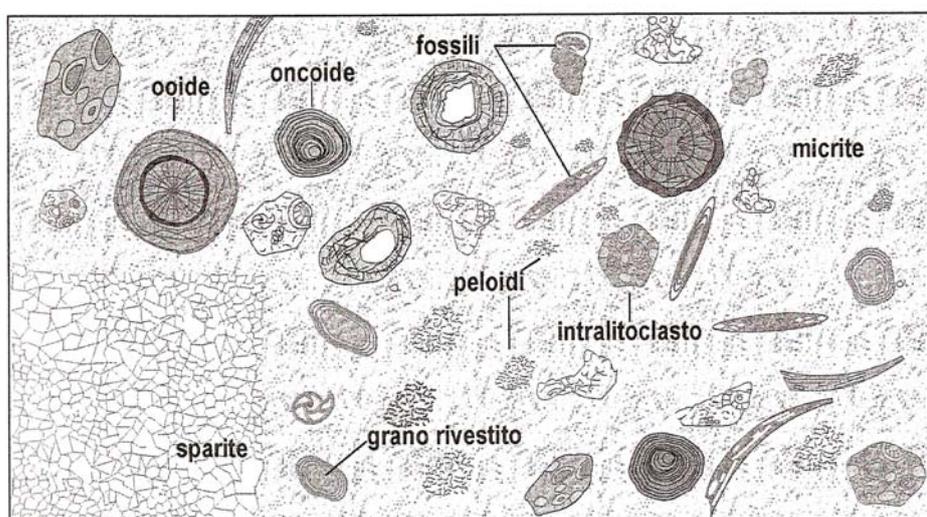


Figura 1 – Schema che raffigura i principali allobiochimici, la micrite e la sparite⁹

Per quanto riguarda la tessitura diremo solo se è fango-sostenuta, quando prevale la quantità di matrice su quella degli intraclasti, grano-sostenuta se gli intraclasti predominano sulla matrice e sono a contatto l'uno con l'altro. Nello studio delle sezioni sottili si è fatto riferimento alla classificazione di Folk (1959, 1962) e Dunham (1962)¹⁰.

La classificazione di Folk tiene conto del rapporto fra il tipo di grano e il tipo di materiale interstiziale; usa quindi una nomenclatura composta da un prefisso legato agli allochimici (fossili, ooliti, intraclasti, peloidi) principali (per cui avremo bio-, oo-, intra-, pel-) e un suffisso che tiene conto degli ortochimici ossia della presenza di matrice o cemento (per cui avremo – micrite o –sparite). A questi si può aggiungere un ulteriore suffisso che deriva dalla classificazione di Grabau (1913) che distingue fra calciruditi, calcareniti e calcilutiti in base alla granulometria (grandezza dei grani)

CLASSIFICAZIONE DI FOLK

⁸ *Ibidem*, p. 461-463; Morbidelli L., *Le rocce e i loro costituenti*, Bardi Editore, Roma, 2003, pp. 180-189.

⁹ Immagine tratta da Morbidelli L., *op. cit.*, p. 181.

¹⁰ G. Negretti, *op. cit.*, p. 464-465.

crescente. Per cui avremo, ad esempio, la biomicrudite, la biomicrarenite ecc.

CLASSIFICAZIONE DI DUNHAM

La classificazione di Dunham è legata al rapporto quantitativo fra la matrice e i grani per cui si hanno le seguenti distinzioni: *mudstone* (micrite pura con rari e piccoli grani inferiori al 10%), *wackestone* (i grani sono più del 10%, dispersi nella matrice), *packstone* (con prevalenza di grani ma con una certa percentuale di matrice), *grainstone* (con totale assenza di matrice) e *boundstone* (con i componenti originari agglomerati durante la sedimentazione).

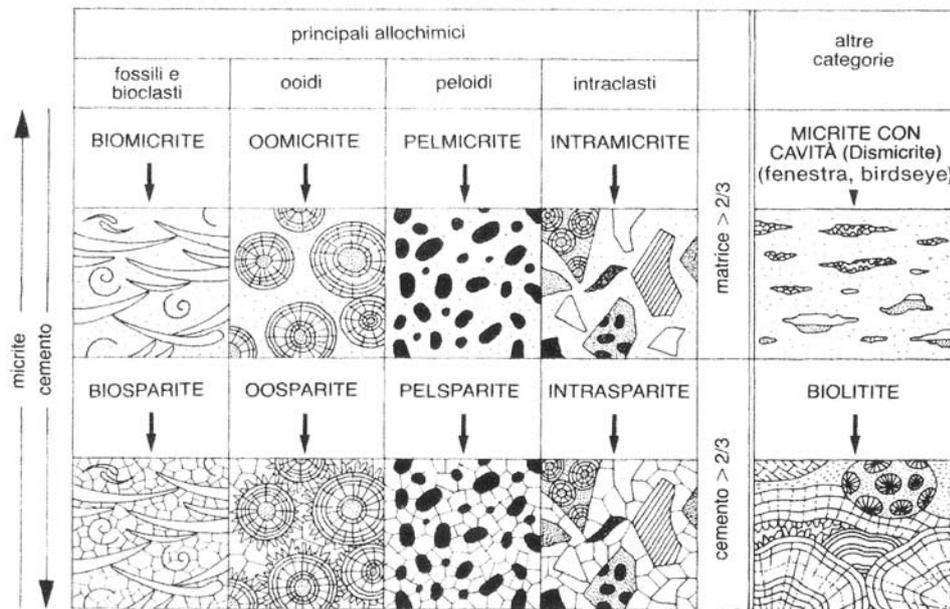


Figura 2 – Classificazione delle rocce carbonatiche secondo Folk

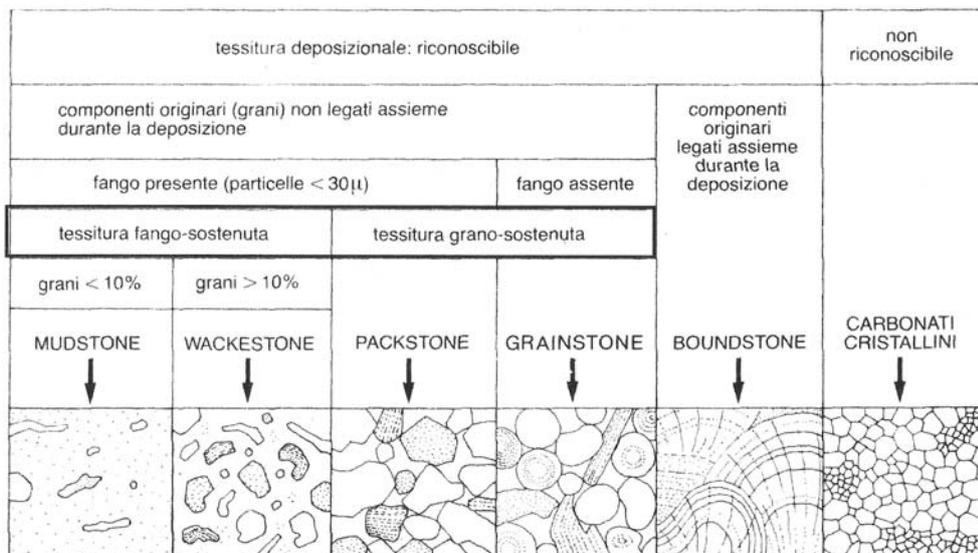


Figura 3 – Classificazione delle rocce carbonatiche secondo Dunham

AFFIDABILITÀ

Si definisce come la capacità di un'unità tecnologica di «mantenere sensibilmente invariata nel tempo la propria qualità secondo ben precisate condizioni d'uso» (Norma UNI 8290)

Stabilisce uno stretto contatto tra il sistema della manutenzione e il sistema informativo attraverso la determinazione della durata dei componenti e le modalità di invecchiamento naturale e patologico (Cfr. G. Caterina (a cura di), *Per una cultura manutentiva. Percorsi didattici ed esperienze applicative di recupero edilizio e urbano*, Liguori, Napoli, 2005; V. Fiore, *La manutenzione dell'immagine urbana*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN), 1998).

ALTERAZIONE

«Modificazione di un materiale che non implica necessariamente un peggioramento delle sue caratteristiche sotto il profilo conservativo» (UNI 11182:2006 ex Raccomandazioni Normal 1/88).

BUGNATO

«La predisposizione, all'interno dell'opera muraria stereotomica, di blocchi di pietra squadrati lasciati in forma rozza nella faccia a vista e lavorati lungo le linee della rete murale (commisure), al fine di dar vita a solchi capaci di "enfaticizzare" la superficie irregolare del paramento stesso» e, più in generale, «tutti i tipi di trattamento indirizzati a conferire un risalto al paramento murario (...) nei quali, comunque, le linee di congiungimento propongano un motivo, una sia pur minima "vibrazione" plastica, in modo che le facce di ogni concio (o di singole file di conci) siano precisamente enucleate le une dalle altre, infondendo un carattere architettonico specifico alla fronte muraria a vista» (A. Acocella, *L'architettura di pietra. Antichi e nuovi magisteri costruttivi*, Alinea Editrice, Firenze, 2004, p. 72).

DEGRADAZIONE – degrado

«Processo irreversibile di una o più caratteristiche dell'entità, dovuto al passare del tempo, al tempo di utilizzo o ad una causa esterna. Il degrado può portare a un guasto. Il degrado è spesso definito come usura» (UNI 13306:2003).

«Modificazione di un materiale che comporta un peggioramento delle sue caratteristiche sotto il profilo conservativo» (UNI 11182:2006 ex Raccomandazione Normal 1/88).

«L'insieme di quei fenomeni fisici, chimici e biologici che danneggiano completamente o in parte un materiale e che ne implicano un peggioramento nello stato. Il suo rilevamento e la sua restituzione grafica sono di sostanziale importanza nell'intervento di recupero, perché esprimono malesseri degli elementi tecnici e carenze di vario genere, spesso non misurabili con una semplice rilevazione visiva» (F. Cantone (a cura di), *Il recupero dei materiali della tradizione siciliana*, VerbaVolant edizioni, Siracusa, 2008).

DIAGENESI

Insieme di meccanismi complessi comprendenti ossidoriduzione, solubilizzazione, precipitazione di sali, ecc. (Lazzarini L., Laurenzi Tabasso M., *Il restauro della pietra*, Cedam, Padova, 1986).

DIAGNOSI E PREDIAGNOSI

La prediagnosi è «l'insieme delle attività finalizzate a raccogliere indicazioni preliminari sulle condizioni tecniche di un bene edilizio o delle sue parti, mediante prime valutazioni delle prestazioni in essere» (UNI 11150-1:2005).

Giudizio con cui si definisce un fenomeno in genere, analizzandone i sintomi e gli aspetti con cui si manifesta.

«Il termine diagnostica¹ richiama, per analogia, la presenza di un organismo "malato" ed evidenzia la necessità di individuare le cause del "malessere" in previsione del decorso futuro» (V. Di Battista, *Criteri di diagnosi*, in G. Caterina, *op. cit.*, p. 134-135).

DUREZZA

«Si definisce come la resistenza alla scalfittura, e dipende dalla composizione mineralogica e dalla tessitura. Nelle rocce monomineraliche essa equivale alla durezza del minerale costituente (ad esempio ed i calcari

¹ Il termine "diagnostica" deriva dalle scienze mediche ed è così definito: <Complesso di dottrine e tecniche manuali strumentali e di laboratorio, che mirano a formulare la diagnosi>, mentre per *diagnosi* si intende: <Giudizio con cui si definisce un fenomeno in genere, analizzandone i sintomi e gli aspetti con cui si manifesta>. (Dizionario Enciclopedico Italiano, Roma 1970). Di Battista V., *Criteri di diagnosi*, in Caterina G., *Tecnologie del recupero edilizio*, UTET, Torino, 1989, p.138.

quella della calcite). In quelle polimineraliche la durezza varia tra i valori dei componenti più teneri e quelli più duri» (L. Lazzarini, M. Laurenzi Tabasso, *Il restauro della pietra*, Cedam, Padova, 1986).

EDIFICIO

Sovrasistema dei sistemi ambientale e tecnologico, cioè insieme strutturato di unità ambientali (o elementi spaziali, di unità tecnologiche (o di elementi tecnici) corrispondenti (Norma UNI7867 poi sostituita da UNI10838).

«L'edificio in quanto sistema edilizio può oggi a buon diritto essere definito come l'insieme strutturato di unità ambientali (o di elementi spaziali) e di unità tecnologiche (o di elementi tecnici) corrispondenti; unità che a loro volta possono essere raccolte secondo un sistema ambientale (in quanto insieme di spazi e relative norme alla definizione dei quali concorre tutta la cultura architettonica attuale intesa sia in senso lato che specifico) e secondo un sistema tecnologico (in quanto insieme dei manufatti e delle relative norme» (G.V. Galliani, *Il recupero: incontro, confronto, scontro di due culture*, in *Recuperare* n°13 settembre-ottobre 1984, p. 392).

EFFICIENZA

«Stato di conservazione come "mantenimento" della rispondenza dei comportamenti di un oggetto agli scopi per cui è stato costruito».

«Esprime lo stato di conservazione [di un oggetto] definibile come mantenimento della rispondenza agli scopi per cui è stato costruito» (V. Fiore, *La manutenzione dell'immagine urbana*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN), 1998, p. 22).

ESIGENZA

«Ciò che di necessità si richiede per il corretto svolgimento di un'attività dell'utente o di una funzione tecnologica» (definizioni UNI 7867).

GUASTO

«Deterioramento che rende inutilizzabile o non più rispondente alla sua funzione un elemento tecnico o sue parti. Anche il guasto può derivare da una condizione patologica o da fatti connessi al normale invecchiamento: la discriminante tra le due condizioni è la temporalizzazione dell'evento» (P. Gasparoli, C.Talamo, *Manutenzione e recupero. Criteri, metodi e strategie per l'intervento sul costruito*, Alinea Editrice, 2006, pag. 189, nota 13).

«Rappresenta l'annullamento parziale o totale, delle capacità di un sistema di funzionare, ossia espletare i propri compiti. L'annullarsi dei fattori, indici del funzionamento di un sistema, o il mutare del suo comportamento dovuto a parziali avarie, provoca comunque una caduta

prestazionale ed un abbassamento del livello qualitativo richiesto dall'utenza» (V. Fiore, *La manutenzione dell'immagine urbana*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN), 1998, p. 32).

IDENTITÀ

«Il significato e il valore della varietà vanno collegati a quelli di identità culturale dei prodotti e della loro capacità di “parlarci” in una lingua intellegibile.

Con l'espressione “identità culturale” si intende una varietà dotata di significato, un insieme di differenze che, all'interno di un contesto culturale dato, viene letto come un codice linguistico che si stacca dagli altri» (Manzini E., *Artefatti. Verso una nuova ecologia dell'ambiente artificiale*, Domus Academy, Milano 1990, p. 131).

«Il senso di un luogo [...] rappresenta il limite entro cui una persona può riconoscere o ricordare un luogo come un'entità distinta da altri luoghi» [Lynch K. (1981-1990), *Progettare la città. La qualità della forma urbana*, trad. it. a cura di R. Melai, Etaslibri, Milano, (A Theory of Good City Form, 1981)].

INTERVENTO SUL COSTRUITO

«Insieme di azioni di conservazione e/o trasformazione del bene edilizio esistente, finalizzate a: mantenere e/o incrementare i valori presenti e le prestazioni in essere del bene; trasformare le condizioni d'uso» (UNI 11151/2005).

LATOMIA

Dal greco *latomiai*, composto da *lâs* “pietra” e *témnō* “tagliare” (Devoto G., Oli G.C., *Dizionario della lingua italiana*, Le Monnier, Firenze, 1971).

LAVORABILITÀ

«È l'attitudine che una roccia può avere ad essere cavata e tagliata» (L. Lazzarini, M. Laurenzi Tabasso, *Il restauro della pietra*, Cedam, Padova, 1986).

LITIFICAZIONE

Trasformazione di sedimenti incoerenti (clasti) in rocce coerenti, a seguito di fenomeni chimico-fisici, quali la compattazione e la diagenesi (L. Lazzarini, M. Laurenzi Tabasso, *Il restauro della pietra*, Cedam, Padova, 1986).

MANUTENZIONE

Cfr. P. Gasparoli, C. Talamo, *Manutenzione e recupero. Criteri, metodi e strategie per l'intervento sul costruito*, Alinea, Firenze, 2006; G. Caterina (a cura di), *Per una cultura manutentiva. Percorsi didattici ed esperienze applicative di recupero edilizio e urbano*, Liguori, Napoli, 2005; V. Fiore, *La manutenzione dell'immagine urbana*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN), 1998.

«Il complesso delle attività e degli interventi destinati al controllo delle condizioni del bene culturale e al mantenimento dell'integrità, dell'efficienza funzionale e dell'identità del bene e delle sue parti» (R. Cecchi, *Presentazione*, in P. Gasparoli, C. Talamo, 2006, p. 10).

«(...) i compiti attribuiti al complesso di attività che rientrano nella sfera della manutenzione edilizia (...) consistono nel mantenimento nel tempo delle prestazioni erogate da ogni singola parte del sistema edilizio rispetto a quelle richieste e, se possibile, nel prolungamento del suo ciclo di vita attraverso interventi programmati svolti in coerenza con i processi di degradamento o perdita di prestazioni previsti. Quindi, in sostanza, di garantire il funzionamento nel tempo del sistema edilizio rispetto ai compiti ad esso assegnati» (C. Molinari, *Prefazione. Manutenzione, riqualificazione, recupero e riuso: forme diverse di un'unica strategia*, in P. Gasparoli, C. Talamo, 2006, p. 13).

Mentre le azioni di recupero tendono a modificare lo stato presente per ripristinare le condizioni originarie dell'oggetto architettonico ormai perdute, le azioni manutentive sono successive a qualsiasi forma di costruzione o recupero e tendenti a conservare l'oggetto costruito nello *status quo*.

Il progetto di manutenzione si basa sui concetti di efficienza, durabilità, affidabilità, tempo medio di buon funzionamento. Mantenere determinati livelli di efficienza durante il periodo definito di "vita utile" del manufatto consiste nel far fronte agli effetti del degrado fisico ed alla obsolescenza funzionale, attraverso interventi leggeri diluiti nel tempo volti a migliorare le prestazioni del sistema edificato.

Facendo un salto di scala, MANUTENZIONE URBANA significa gestire, nel breve periodo, un programma di interventi fra loro coordinati, finalizzati alla conservazione dei caratteri fisici e sociali della città, tali da consentire un processo fisiologico di sviluppo della città stessa.

«Conservare l'identità della città è l'obiettivo proposto alle operazioni di manutenzione urbana attraverso l'interpretazione dei segni urbani e la comunicazione instaurata dagli elementi osservati (G. Caterina, *Prefazione*,

in V. Fiore, *La manutenzione dell'immagine urbana*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN), 1998, p. 10).

MATERIALE LAPIDEO

ETIMOLOGIA

Dal latino *lapis*, *-idis* (m): pietra, pietra preziosa, marmo.

DEFINIZIONE

Il termine materiale lapideo naturale indica «marmi, pietre, graniti, nonché qualsiasi altra "roccia" impiegata in architettura. Per definire i singoli materiali lapidei naturali esistono due tipi di classificazione, una classificazione tecnologica codificata da UNI (Norma UNI 8458) ed una classificazione petrografica, basata su criteri rigorosamente scientifici, notevolmente in contrasto fra loro».

Il termine materiale lapideo artificiale, invece, indica «i materiali artificiali (quali stucchi, malte, intonaci, prodotti ceramici), impiegati in architettura, che derivano dalla lavorazione e trasformazione di materie prime di origine naturale». (<http://www.icr.beniculturali.it>, 23.03.2009)

OBIETTIVO

«Intenzioni poste all'azione progettuale sotto forma di sistemi di significati orientanti la stessa, espressi come richieste prestazionali qualificate (in senso fruitivi, tecnico, economico, conservativo, di conduzione) e convenientemente quantificate» (G. Ciribini, *Tecnologia e progetto, Argomenti di cultura tecnologica della progettazione*, Celid, Torino, 1995, 1° ed. 1984, p. 113).

«Ogni oggetto edilizio, complesso o semplice, deve essere in grado di dare risposte a una serie di quesiti e attivare determinati comportamenti indipendentemente dalla sua forma esteriore e dei materiali dei quali è costituito: questi obiettivi sono (...) il soddisfacimento delle *esigenze* (U.N.I. 10838/1999)» (P. Gasparoli C. Talamo, *Manutenzione e recupero. Criteri, metodi e strategie per l'intervento sul costruito*, Alinea, Firenze, 2006).

PRESTAZIONE

«É l'effettiva risposta che un oggetto fornisce rispetto ad una esigenza espressa» (definizione UNI 7867-1:1978).

«Comportamento reale dell'organismo edilizio e/o delle sue parti nelle effettive condizioni d'uso e di sollecitazione. Le prestazioni edilizie vengono normalmente classificate in: prestazioni ambientali; b) prestazioni tecnologiche» (definizione UNI 10838:1999).

PROCESSO

«Insieme di attività correlate o interagenti che trasformano elementi in entrata in elementi in uscita. Gli elementi in entrata in un processo provengono generalmente dagli elementi in uscita da altri processi» (UNI EN ISO 9000:2000).

RECUPERO

P. Gasparoli C. Talamo, *Manutenzione e recupero. Criteri, metodi e strategie per l'intervento sul costruito*, Alinea, Firenze, 2006; G. Caterina, *Prefazione: le questioni aperte per gli interventi di recupero edilizio*, in F. Cantone e S. Viola, *Governare le trasformazioni*, Guida, Napoli, 2002; G. Caterina, *Prefazione*, in V. Fiore, *La manutenzione dell'immagine urbana*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN), 1998; G. Caterina, *Tecnologia del recupero edilizio*, UTET, Torino, 1989.

ETIMOLOGIA

1. Dal latino *Recuperāre* ovvero *re* (di nuovo) - *cāpere* (prendere)².
2. Dal latino *Re* (di nuovo) e *cuperare*, da *cuprus*, (buono), rendere nuovamente buono³.

DEFINIZIONE DA DIZIONARI

Ricuperare o Recuperare: «riacquistare una condizione precedentemente perduta; trarre in salvo dalla distruzione o perdita totale»⁴.

Rehabilitation (Inglese): «Works to rebuild, or replace parts of components of an asset to restore it to the required functional condition and/or extend its life. This could also incorporate some modification. Generally involves repairing the asset to deliver similar function using available techniques and standards (i.e. not a significant upgrade or renewal)»⁵.

To Rehabilitate (a building or an area): «means to improve its conditions so that it can be used again»⁶.

DEFINIZIONE NELLA NORMATIVA TECNICA

«Tipo di intervento. Combinazione di tutte le azioni tecniche, amministrative ed organizzative, incluse le attività analitiche, che intervengono sul costruito, finalizzate a mantenere o aumentare prestazioni residue del bene»⁷.

² M. Cortellazzo, P. Zolli, *DELI- Dizionario Etimologico della Lingua Italiana*, Zanichelli, Bologna, 1999.

³ O. Pianigiani, *Dizionario Etimologico della Lingua Italiana*, Fratelli Melita, La Spezia, 1998.

⁴ G. Devoto, G.C. Oli, *Dizionario della lingua italiana*, Le Monnier, Firenze, 1971.

⁵ NAMM, Melbourne, Australia, 1994.

⁶ Collins Cobuild, *English Dictionary*, Harper Collins publisher, London, 1995.

⁷ Norma UNI 10914/1, Edilizia, Qualificazione e controllo del progetto edilizio di intervento di nuova costruzione e di interventi sul costruito. Criteri generali e terminologia, 2001 – Definizione 4.1.5.

Il concetto di Recupero allude «a una serie di interventi tecnici volti a ripristinare le potenzialità d'uso di un manufatto edilizio (o di un sistema di manufatti) dimesso, o comunque non più utilizzato, da un tempo più o meno lungo e in condizioni più o meno avanzate di degrado fisico»⁸.

REQUISITO

«Trasposizione di un'esigenza in un insieme di caratteri che la connotano» (Norma UNI 7867-1:1978).

«Traduzione di un'esigenza in fattori atti a individuare le condizioni di soddisfacimento da parte di un organismo edilizio o di sue parti spaziali o tecniche, in determinate condizioni d'uso e/o di sollecitazione. I requisiti vengono normalmente classificati in: a) requisiti funzionali; b) requisiti ambientali; c) requisiti tecnologici; d) requisiti tecnici; e) requisiti operativi; f) requisiti di durabilità; g) requisiti di manutenibilità» (UNI 10838).

«Il requisito è la richiesta rivolta ad un determinato elemento edilizio (spazio, ambiente o componente) di possedere caratteristiche tali da soddisfare determinate esigenze: tali caratteristiche sono caratteristiche funzionali, che devono essere realizzate comunque, indipendentemente dal materiale con cui quell'elemento edilizio è realizzato» (Bruni S. *et al.*, *Le alternative nella progettazione tecnologica*, in Zaffagnini M. (a cura di), *Progettare nel processo edilizio*, Parma, Bologna, 1981, p. 153).

«Ogni singolo requisito, per non limitarsi ad essere una semplice dichiarazione di principio deve essere opportunamente quantificato, nel senso che devono essere definiti precisi livelli di soddisfacimento del requisito stesso. Un requisito associato ai suoi livelli di soddisfacimento ed ai metodi di verifica di tali livelli si definisce specifica di prestazione; sulle specifiche di prestazione si basa quel particolare tipo di normativa tecnica che si definisce normativa esigenziale-prestazionale» (Sinopoli N., *La normativa tecnica*, in Zaffagnini M. (a cura di), *Progettare nel processo edilizio*, Parma, Bologna, 1981, p. 71).

«Il sistema dei requisiti, che risulta da una articolata indagine sulle esigenze, è dunque ciò che consente di confrontare quanto richiesto dalla committenza/utenza con quanto fornito dall'organismo edilizio (prestazioni in essere) e quindi di verificare la conformità degli elementi spaziali e degli elementi tecnici valutando conseguentemente i livelli di corrispondenza o scostamento rispetto alle condizioni attese» (P. Gasparoli C. Talamo, *Manutenzione e recupero. Criteri, metodi e strategie per l'intervento sul costruito*, Alinea, Firenze, 2006, p. 24).

⁸ C. Molinari, *Prefazione*, in P. Gasparoli, C. Talamo, *op. cit.*, 2006, p. 12.

RIQUALIFICAZIONE

Cfr. V. Fiore, *Il Recupero come strategia di gestione del costruito*, in F. Cantone (a cura di), *Il recupero dei materiali della tradizione siciliana*, VerbaVolant edizioni, Siracusa, 2008.

Intervento teso ad incrementare un precedente livello di qualità che connotava l'oggetto costruito.

Si ha qualora le prestazioni, o parte delle prestazioni che l'oggetto edilizio è in grado di assicurare, siano ritenute insufficienti rispetto al quadro delle nuove esigenze espresse dall'utenza/committenza.

Nelle attività si tratta di dosare gli interventi di conservazione e/o trasformazione in relazione agli adeguamenti prestazionali richiesti dalle esigenze, non più soddisfatte, di una destinazione nota in virtù del potenziale tecnologico che connota l'oggetto costruito.

L'intervento di riqualificazione è fortemente vincolato dal rispetto dell'identità dell'oggetto su cui si concentra l'azione progettuale.

RISORSA

«Consistenti in conoscenze del sapere scientifico, in energie umane intellettuali e fisiche, in fornitura di energie naturali e artificiali, in materiali e tecnologie, in disponibilità economiche» (G. Ciribini, *Tecnologia e progetto, Argomenti di cultura tecnologica della progettazione*, Celid, Torino, 1995, 1° ed. 1984, p. 113).

«Mezzo o capacità disponibile, consistente in una riserva materiale o spirituale» (G. Devoto, G.C. Oli, *Dizionario della lingua italiana*, Le Monnier, Firenze, 1986).

ROCCIA

«Si definisce roccia un'associazione naturale costituita da un aggregato mono o polimineralico che rappresenta il risultato tendenzialmente di equilibrio di un processo genetico che si ripete in modo regolare e/o che si sviluppa a grande scala» (R. Bugini, L. Folli, *Lezioni di petrografia applicata 2005. Le rocce e il loro impiego in architettura*, <http://www.icvbc.cnr.it/didattica/petrografia/14.htm>).

STRUTTURA

«Con il termine struttura si indica la forma dei singoli minerali componenti una roccia, le loro dimensioni, il modo di aggregarsi e le reciproche relazioni» (R. Bugini, L. Folli, *Lezioni di petrografia applicata 2005. Le rocce e il loro impiego in architettura*, <http://www.icvbc.cnr.it/didattica/petrografia/14.htm>).

SUBSIDENZA

«Abbassamento di una parte della crosta terrestre» (F. Palazzi, *Novissimo dizionario della lingua italiana*, Loescher Editore, Torino, 1986).

TECNOLOGIA

«Studio delle scienze applicate ai problemi di trasformazione nel campo della materia e in quello del pensiero» (G. Ciribini, *Tecnologia e progetto. Argomenti di cultura tecnologica della progettazione*, Celid, Torino, 1984).

TESSITURA

«Con il termine tessitura si indica la disposizione su larga scala dei componenti nello spazio e si definiscono quegli aspetti determinati dalle orientazioni dei cristalli (insieme delle caratteristiche di una roccia a scala geologica)» (R. Bugini, L. Folli, *Lezioni di petrografia applicata 2005. Le rocce e il loro impiego in architettura*, <http://www.icvbc.cnr.it/didattica/petrografia/14.htm>).

Tessitura isotropa: distribuzione spaziale omogenea dei minerali.

VINCOLO

Il vincolo «è da intendersi non solo come sistema di regole che si oppongono alla trasformazione, ma anche come potenzialità di sviluppo che, nella tutela del bene, lascino disvelare tutte le possibilità di trasformazione» (G. Caterina, P. De Joanna (a cura di), *Il Real Albergo de' Poveri di Napoli. La conoscenza del costruito per una strategia di riuso*, Liguori Editore, Napoli, 2007, p. 343).

VITA UTILE

«Durata di vita di un materiale o di un prodotto o componente; intervallo temporale che ha inizio con l'installazione o il montaggio dell'elemento tecnico e, durante il quale, in condizioni normali di esercizio, esso mantiene livelli prestazionali pari o superiori al valore minimo funzionale richiesto» (C. Molinari, *Procedimenti e metodi della manutenzione edilizia*, Esselibri, Napoli, 2002).

La seguente bibliografia, distinta per argomenti, raccoglie i testi che hanno costituito la base teorica della tesi.

Le riflessioni desunte da questi testi sono state rapportate agli obiettivi da perseguire attraverso la ricerca e hanno contribuito alla formazione della metodologia e dei risultati della tesi.

Gli argomenti di riferimento sono stati quelli del recupero edilizio, della manutenzione, del degrado, della sostenibilità, dell'uso innovativo dei materiali lapidei nell'architettura contemporanea, con la relativa normativa di riferimento.

LA TECNOLOGIA E IL RECUPERO EDILIZIO: I RIFERIMENTI CULTURALI

La base teorica di partenza e di riferimento della ricerca sono i tema della Tecnologia e del recupero edilizio, la sua evoluzione nel tempo, la fase attuale e le possibilità di sviluppo.

L'intervento di recupero si pone come obiettivo quello di cogliere le trasformazioni possibili che interessano l'esistente attraverso progetti attenti alle risorse e alla concezione globale dell'ambiente e dell'edificio, ai suoi rapporti con il contesto fisico, alle prestazioni e alle esigenze dei fruitori. Ogni progetto nell'ambito del Recupero persegue il conseguente obiettivo della qualità dell'intervento, che deve guidare le scelte di trasformazione nell'ottica della conservazione dei caratteri peculiari dell'esistente.

Alla base vi è una fondamentale fase di conoscenza che permette il rispetto e la valorizzazione dell'identità del costruito, e quindi della sua logica costruttiva e del sistema di relazioni generali cui esso appartiene, favorendo l'interpretazione dell'esistente e l'individuazione dei possibili scenari di intervento.

All'interno di questo quadro l'approccio sistemico (recepito dalla norma UNI 7867 alla fine degli anni '70) e l'analisi esigenziale-prestazionale (anni '80) sono strumenti fondamentali, dal punto di vista analitico e conoscitivo, per la Tecnologia.

- Cantone F., Viola S., *Governare le trasformazioni*, Guida, Napoli, 2002;
- Caterina G. (a cura di), *Tecnologia del recupero edilizio*, UTET, Torino, 1989;
- Caterina G., Gangemi V. (a cura di), *recupero delle preesistenze e forme dell'abitare*, Sergio Civita Editore, Napoli, 1991;
- Caterina G., Pinto M. R. (a cura di), *Gestire la qualità nel recupero edilizio e urbano*, Maggioli, Rimini, 1997;
- Caterina G., De Joanna P., *Il real albergo de'poveri di Napoli. La conoscenza del costruito per una strategia di riuso*, Liguori Editore, Napoli, 2007;
- Di Battista V., *Il sistema progettuale*, *Recuperare* n°13 settembre-ottobre 1984.
- Di Battista V., *La concezione sistemica e prestazionale nel progetto di recupero*, in *Recuperare* n°36 luglio-agosto 1988;
- Di Battista V., *Le parole e le cose. Recupero, manutenzione, restauro*, in *recuperare* n°43 settembre-ottobre 1989;
- Di Battista V., *Ambiente costruito. Un secondo paradigma*, Alinea Editrice, Firenze, 2006;
- Domenici G., *Le tecniche per il recupero edilizio. Dal rilievo al progetto*, La Nuova Italia Scientifica, Roma, 1994;
- Esposito M.A. (a cura di), *Tecnologia dell'architettura. Creatività e innovazione nella ricerca*, 1° seminario Osdotta, Firenze University Press, Firenze, 2006;
- Fontana C., *Recuperare, le parole e le cose*, Alinea, Firenze, 1991;
- Galliani G. V., *Il recupero: incontro, confronto, scontro di due culture*, in *Recuperare* n°13 settembre-ottobre 1984;
- Gangemi V. (a cura di), *Architettura e tecnologia appropriata*, Franco Angeli, Milano, 1985;
- Gasparoli P., Talamo C., *Manutenzione e recupero. Criteri, metodi e strategie per l'intervento sul costruito*, Alinea Editrice, 2006;
- Pinto M. R., De Medici S., *I contenuti del progetto preliminare negli interventi sul costruito esistente*, in atti del convegno di studi *orientamenti e metodi-indagini e materiali*, Bressanone, 30 giugno – 3 luglio, edizioni arcadia ricerche, Venezia, 1998;
- Pinto M.R., *Il riuso edilizio*, Utet, Torino, 2004;
- Zancanaro C., *Il Recupero degli edifici*, Maggioli, Rimini, 2001;

APPROCCIO ALLA MANUTENZIONE

La conservazione materiale di qualsiasi manufatto, il mantenimento della sua efficienza e la durabilità degli interventi sono obiettivi fondamentali sia delle azioni di Recupero che di quelle di Manutenzione. Per questo il tema del Recupero è strettamente connesso a quello della Manutenzione edilizia ed urbana, sia dal punto di vista teorico che operativo. Quindi si rende necessario un approfondimento delle metodologie e degli strumenti della prassi manutentiva, anche perché la riflessione sui dati relativi all'attività edilizia condotta negli ultimi venti anni evidenzia il crescente interesse verso il patrimonio costruito inteso come risorsa da recuperare, sia a livello culturale che economico.

Ciò comporta la necessità di mantenere in efficienza il costruito attraverso azioni strategiche, nel rispetto dei vincoli che esso propone e nella prospettiva della sostenibilità degli interventi.

Caterina G. (a cura di), *per una cultura manutentiva. Percorsi didattici ed esperienze applicative di recupero edilizio ed ambientale*, Liguori, Napoli, 2005;

Caterina G., Fiore V., *la manutenzione edilizia e urbana. Linee guida e prassi operative*, Esselibri Simone, Napoli, 2005;

De Joanna P., Fiore V., *Urban Maintenance As Strategy For Sustainable Development*, atti del convegno internazionale 2002, Liguori, Napoli, 2002;

Fiore V., *La manutenzione dell'immagine urbana*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (Rn), 1998;

- (a cura di), *la cultura della manutenzione nel progetto edilizio e urbano*, Convegno Nazionale, Siracusa 24-25 maggio 2007, LetteraVentidue Edizione, Palermo, 2007;

Gasparoli P., *La manutenzione delle superfici edilizie*, Alinea, Firenze, 1997.

Molinari C., *Procedimenti e metodi della manutenzione edilizia*, Esselibri, Napoli, 2002;

I MATERIALI LAPIDEI

Tema centrale della ricerca è l'uso dei materiali lapidei nell'architettura contemporanea e negli interventi di recupero, tema che richiede un necessario approfondimento della conoscenza delle prassi operative del passato e del presente, delle caratteristiche dei materiali, dei concetti di degrado, delle analisi di laboratorio. La base teorica e scientifica di partenza si basa soprattutto sugli studi più recenti svolti sui materiali lapidei, sia a livello nazionale che internazionale, sulle tecniche costruttive, sull'aderenza al tema della sostenibilità e sulla pregnanza di quei casi studio che hanno fatto dell'involucro in pietra il carattere principale del proprio progetto.

Acocella A., *L'architettura di pietra. Antichi e nuovi magisteri costruttivi*, Alinea Editrice, Firenze, 2004;

Amoroso G. G., *Il restauro della pietra nell'architettura monumentale: posa in opera, degrado, pulitura*, Dario Flaccovio Editore, Palermo, 1995;

Amoroso G. G., Camaiti M., *Scienza dei materiali e restauro*, Alinea, Firenze, 1997;

Barbera G., Gallo F. (a cura di), *Siracusa e la sua immagine. Le stampe della collezione Broggi*, Zangara Stampa, Siracusa, 2000.

Barucco D. (tesi di laurea), *Revisione dei resti di Neosqualodon (Mammalia; Cetacea) del Miocene inferiore della Sicilia*, Relatore dott. G. Bianucci, Correlatore prof. W. Landini, Università degli Studi di Pisa, corso di Laurea in Scienze Geologiche, a.a. 2005-2006;

Benavente D., Garcia del Cura M.A., Fort R., Ordóñez S., *Durability estimation of porous building stones from pore structure and strength*, Engineering Geology 74, Elsevier, 2004.

Brancato F. S., *La prevenzione del degrado*, Editrice la Palma, Palermo, 1991.

Boaga G., *L'involucro architettonico. Progetto, degrado e recupero della qualità edilizia*, Masson, Editoriale ESA, Milano, 1994;

Calabrò C. Cultrone G., Pezzino A., Russo L. G., Urošević M., *Influence of pore system characteristics on limestone vulnerability: a laboratory study*, Environmental Geology, International Journal of Geosciences, Springer-Verlag 2007;

Cantone F. (tesi di dottorato), *Atlante delle forme di degrado. Un percorso di conoscenza per il patrimonio edilizio di Ortigia (SR)*, Università di Genova, Dottorato di ricerca in Recupero Edilizio e Ambientale, 2000;

Cantone F., De Medici S., Fiore V., *Durability and degradation of natural stone in Syracusan Facades: material and techniques compatible for the recovery*, in Collin M.W., Brebbia C.A. (eds.), *Design & Nature II*.

Comparing Design in Nature with Science and Engineering, WIT Press, 2004;

Cantone F. (a cura di), *Il recupero dei materiali della tradizione siciliana*, VerbaVolant edizioni, Siracusa, 2008;

Carbone S., Grasso M., Lentini F., *Considerazioni sull'evoluzione geodinamica della Sicilia sud-orientale dal Cretaceo al Quaternario*, Memorie della Società Geologica Italiana, Vol. 24, 1982.

Colston B.J., Watt D.S., Munro H.L., *Environmentally-induced stone decay: the cumulative effects of crystallization–hydration cycles on a Lincolnshire oopelsparite limestone*, Journal of Cultural Heritage 4, Elsevier, 2001.

CNR-ICR, Raccomandazioni NORMAL 7/81, *Assorbimento d'acqua per immersione totale – Capacità di imbibizione*, Roma, 1981;

-, Raccomandazioni Normal 13/83, *Dosaggio dei sali solubili*, Roma, 1983;

-, Raccomandazioni NORMAL 11/85, *Assorbimento d'acqua per capillarità – Coefficiente di assorbimento capillare*, Roma, 1985;

-, Raccomandazioni Normal 1/88, *Alterazioni dei materiali lapidei e trattamenti conservativi. Proposte per l'unificazione dei metodi strumentali di studio e di controllo*, Roma, 1988;

Di Battista V., *Il degrado delle materie*, in Caterina G. (a cura di), *Tecnologia del recupero edilizio*, UTET, Torino, 1989, pp. 271-314;

Fianchino C., *Le pietre nell'architettura*, Documenti 15, I.D.A.U., Università degli Studi di Catania, 1988.

Fiore V., *Il verde e la roccia. Sul recupero della Latomia dei Cappuccini in Siracusa*, Edizioni della Meridiana, Firenze, 2008;

Fratini F., Manganeli Del Fa C., Secchioni E., *Le pietre nel patrimonio monumentale italiano: processi e cause di alterazione*, L'Edilizia e l'Industrializzazione, nr. 9, dicembre, 1987.

Giuffrè A. (a cura di), *Sicurezza e conservazione dei centri storici. Il caso Ortigia*, Laterza, Bari, 1993;

Grasso M., Lentini F., Pedley H.M., *Late tortonian—lower messinian (miocene) palaeogeography of SE Sicily: information from two new formations of the sorting group*, Sedimentary Geology Volume 32, Issue 4, Luglio 1982

Grasso M., Lentini F., *Sedimentary and tectonic evolution of the eastern Hyblean Plateau (southeastern Sicily) during late Cretaceous to Quaternary time*, Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, Volume 39, Issues 3-4, Ottobre 1982.

Gunes Yilmaz N., *Relative brittleness characterization of some selected granitic building stones: Influence of mineral grain size*, Construction and Building Materials 23, Elsevier, 2009.

Lazzarini L., Laurenzi Tabasso M., *Il restauro della pietra*, Cedam, Padova, 1986;

Lo Giudice A., Mazzoleni P., Pezzino A., Punturo R., Russo L.G., *Building stone employed in the historical monuments of Eastern Sicily (Italy). An example: the ancient city centre of Catania*, Environmental Geology 50, Springer-Verlag, 2006;

Riato S. (tesi di dottorato), *Interazioni chimico – fisiche di manufatti lapidei con l'ambiente e studio di trattamenti conservativi*, Università Ca' Foscari Venezia, Dipartimento di Scienze Ambientali, Dottorato di ricerca in Scienze Chimiche, 19° ciclo;

Riccio A., *L'ambiente e il degrado dei materiali*, in Bellini A. (a cura di), *Tecniche della conservazione*, Ex fabrica Franco Angeli, Milano, 1986;

Rinaldi S., *Le forme del degrado: nota per una lettura morfologica delle superfici in architettura*, Edizioni Scientifiche Italiane, Napoli, 1992;

Sergio R., *Le forme del degrado: nota per una lettura morfologica delle superfici in architettura*, Edizioni Scientifiche Italiane, Napoli, 1992;

Steiger M., *Crystal growth in porous materials - II: Influence of crystal size on the crystallization pressure*, Journal of Crystal Growth 282, Elsevier, 2005.

Teutonico J. M., ARC. A laboratory manual for architectural conservators, ICCROM, Roma, 1988;

Tinè S.(a cura di), *Codice di pratica professionale per il restauro delle fronti esterne degli edifici. L'esperienza di Ortygia*. Dario Flaccovio Editore, Palermo, 2001;

UNI 10859:2000, *Determinazione dell'assorbimento d'acqua per capillarità*;

UNI EN 12370:2001, *Metodi di prova per pietre naturali. Determinazione della resistenza alla cristallizzazione dei sali*;

UNI EN 13755:2002, *Metodi di prova per pietre naturali - Determinazione dell'assorbimento d'acqua a pressione atmosferica*;

UNI 11087:2003, *Materiali lapidei naturali ed artificiali. Determinazione del contenuto di sali solubili*;

UNI 11182:2006 *Materiali lapidei naturali ed artificiali. Descrizione della forma di alterazione - Termini e definizioni*;

Valluzzi M.R., *Consolidamento di murature in pietra*, Gruppo editoriale Faenza, Faenza, 2004;

Yellin-Dror A., Grasso M., Ben-Avraham Z., Tibor G., *The subsidence history of the northern Hyblean plateau margin, Southeastern Sicily*, Tectonophysics 282, 1997.

Wypych G., *Handbook of Material Weathering* (4th Edition), ChemTec Publishing, Toronto, 2008.

SITOGRAFIA

<http://www.architetturadi Pietra.it>

<http://www.icr.beniculturali.it>

Bugini R., Folli L., *Lezioni di petrografia applicata 2005. Le rocce e il loro impiego in architettura*, in <http://www.icvbc.cnr.it/didattica/petrografia/14.htm>

Brai M., Di Stefano C., Schillaci T., *Studio di rocce sedimentarie utilizzate nei beni culturali in Sicilia. Le pietre e la storia*, in: http://www.centrorestauro.sicilia.it/RIVISTA_CRPR_INFORMA/Anni_Bollettini/2006_01/ARTICOLI/le_pietre_e_la_storia.pdf

Palla F., *Biotecnologie per i beni culturali, Innovazioni scientifiche Bio-cleaning, Bio-reinforcing*, in:

http://www.centrorestauro.sicilia.it/RIVISTA_CRPR_INFORMA/Anni_Bollettini/2006_01/ARTICOLI/biotecnologie_per_i_beni_culturali.pdf

<http://www.unime.it/scienze-terra/monumenti/html/indice.htm>

Piano Cave della Regione Siciliana, in <http://www.regione.sicilia.it/industria/corpo%20delle%20miniere/index.htm>

<http://www.fiberstone.com>