



Unione Europea  
Fondo Sociale Europeo

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI SASSARI



1562

Dipartimento di Botanica ed Ecologia Vegetale  
(ex Istituto di Scienze Geologico-Mineralogiche)

DOTTORATO DI RICERCA IN

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

XXI CICLO

**Studio geologico - strutturale dei granitoidi varisici come lapidei ornamentali: problematiche inerenti la caratterizzazione, la coltivazione dei giacimenti e nuovi utilizzi in campo industriale.**

*IL COORDINATORE*

Prof. Giacomo Oggiano

IL DOTTORANDO  
Dott. Stefano Cuccuru

IL TUTORE  
Prof. Giacomo Oggiano

DOTTORATO DI RICERCA IN	1
<b>1. INTRODUZIONE E SCOPO DEL LAVORO</b>	<b>5</b>
<b>2. IL COMPLESSO INTRUSIVO ERCINICO DEL BLOCCO SARDO-CORSO</b>	<b>7</b>
<b>3. I LAPIDEI ORNAMENTALI</b>	<b>13</b>
3.1. TERMINOLOGIA	13
3.2. CENNI SUGLI IMPIEGHI DEI LAPIDEI ORNAMENTALI	14
3.3. PROPRIETÀ DEI LAPIDEI ORNAMENTALI	17
3.4. NORMATIVA VIGENTE	18
3.5. BACINI MINERARI E POLI ESTRATTIVI	19
3.6. ANALISI ECONOMICO – PRODUTTIVA	21
3.7. IL COMPARTO DEI LAPIDEI GRANITOIDI	23
3.7.1. PROSPEZIONE GIACIMENTOLOGICA	23
3.7.2. ASPETTI NON GEOLOGICI	23
3.7.3. ASPETTI GEOLOGICI	25
3.8. FATTORI PENALIZZANTI	26
3.8.1. TIPOLOGIE DEI FATTORI PENALIZZANTI	26
3.8.2. FATTORI PENALIZZANTI DI CARATTERE CROMATICO-TESSITURALE	26
3.8.3. FATTORI PENALIZZANTI DI CARATTERE STRUTTURALE	30
3.8.3. METODOLOGIE DI ESTRAZIONE	32
3.8.4. TECNOLOGIE DI ESTRAZIONE	35
PERFORAZIONE E FENDITURA PER SPACCO	35
LA PERFORAZIONE + ESPLOSIVO (“ <i>SPLITTING</i> DINAMICO”)	35
IL <i>FLAME-JET</i> (LANCIA TERMICA O FIAMMA)	36
LA TAGLIATRICE A FILO DIAMANTATO	37
ALTRE TECNOLOGIE	38
<b>4. MATERIALI E METODI</b>	<b>39</b>
4.1. PROSPEZIONE E RILEVAMENTO	39
4.1.1. CRITERI PER IL RILEVAMENTO IN CAMPAGNA	39
4.1.2. ANALISI STRUTTURALE DEGLI ELEMENTI PLANARI E LINEARI PRESENTI	39
4.2. CARATTERIZZAZIONE DEI LAPIDEI E NORMATIVA	41
4.3. ANALISI MINERO - PETROGRAFICA	43
4.4. ANALISI DELLE ORIENTAZIONI CRISTALLOGRAFICHE PREFERENZIALI	43
4.5. ANALISI DI FACIES	43
4.6. ANALISI CHIMICA	44
4.7. ANALISI IN MICROSCOPIA ELETTRONICA A SCANSIONE (SEM) E IN SPETTROMETRIA PER DISPERSIONE DI ENERGIA (EDS)	44
4.8. METODOLOGIE GEOLOGICO – APPLICATIVE DI CARATTERIZZAZIONE FISICO – MECCANICA	44
4.8.1. MASSA VOLUMICA APPARENTE (UNI EN 9724/2)	45
4.11.2. DETERMINAZIONE DELL’ASSORBIMENTO D’ACQUA A PRESSIONE ATMOSFERICA (UNI EN 13755:2002)	46
4.11.3. DETERMINAZIONE DELLA POROSITÀ APERTA	47
4.11.4. DETERMINAZIONE DELL’ASSORBIMENTO D’ACQUA PER CAPILLARITÀ (UNI EN 1925:2000)	47
4.11.5. DETERMINAZIONE DELLA RESISTENZA A COMPRESIONE SEMPLICE (UNI 1926:2000)	49
4.11.6. DETERMINAZIONE DELLA RESISTENZA A FLESSIONE (UNI 9724/5:1990)	50
4.11.7. DETERMINAZIONE DELLA VELOCITÀ DI ONDE ULTRASONICHE	51

<b>5. AREE DI STUDIO</b>	<b>53</b>
<hr/>	
5.1. GIALLO SAN GIACOMO	55
5.1.1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DELL'AREA DI STUDIO	56
5.2. ROSA BETA	57
5.2.1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DELL'AREA DI STUDIO	58
<b>6. PROSPEZIONE E RILEVAMENTO GEOLOGICO</b>	<b>61</b>
<hr/>	
6.1. GIALLO SAN GIACOMO	61
6.1.1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA DI STUDIO	61
6.1.1.1. UNITÀ INTRUSIVA DI ARZACHENA	61
6.1.1.2. LEUCO-MONZOGRANITO SAN GIACOMO	62
6.1.2. CAVE STUDIAE - GIALLO SAN GIACOMO	64
6.1.2.1. CAVA CAPRULEDDU – LORIGA	65
6.1.2.2. CAVA S.D.F – GRIGIO	69
6.1.2.3. CAVA S.GIACOMO ALTA - S.D.F.	72
6.1.2.4. CAVA SILVAREDDA-DEIANA	75
6.1.2.5. CAVA S.GIACOMO BASSA – CARTA	77
6.1.2.6. CAVA MONTI DI SCOPA	80
6.1.2.7. CAVA LA FRAICATA	82
6.1.2.8. CAVA M.TE SECCU	84
6.2. ROSA BETA	87
6.2.1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA DI STUDIO	87
6.2.2. CAVE STUDIAE – ROSA BETA	88
6.2.2.1. CAVA MONTI DI LA TRAI	90
6.2.2.2. CAVA CONTRA DI LA IACCIA	93
6.2.2.3. CAVA STAZZI BRATTONEDDU	95
6.2.2.4. CAVA AZARA	98
6.2.2.5. CAVA INGINOCCHIADDU	101
6.2.2.6. CAVA M.TE DI LU BOJU	103
<b>7. INDAGINI DI LABORATORIO</b>	<b>108</b>
<hr/>	
7.1. CARATTERIZZAZIONE	108
7.2. CARATTERIZZAZIONE MINERO - PETROGRAFICA	108
7.2.1. GIALLO SAN GIACOMO	108
7.2.2. ROSA BETA	109
7.3. ANALISI MICROSTUTTURALE	111
7.4. ANALISI CHIMICHE	114
7.4.1. GIALLO SAN GIACOMO	114
7.4.2. ROSA BETA	116
7.5. ANALISI SEM	117
7.6. CARATTERIZZAZIONE FISICO - MECCANICA	120
7.6.1. MASSA VOLUMICA APPARENTE	120
7.6.2. ASSORBIMENTO D'ACQUA A PRESSIONE ATMOSFERICA	121
7.6.3. POROSITÀ APERTA	122
7.6.4. DETERMINAZIONE DEL COEFFICIENTE D'ACQUA PER CAPILLARITÀ	123
7.6.5. DETERMINAZIONE DELLA RESISTENZA A COMPRESIONE SEMPLICE	125
7.6.6. DETERMINAZIONE DELLA RESISTENZA A FLESSIONE	127
7.6.7. VELOCITÀ DI ONDE ULTRASONICHE	128
7.6.8. SCHEDE TECNICHE FINALI	129
7.6.9. RELAZIONI FRA PROPRIETÀ	129

<b>7.7. FATTORI PENALIZZANTI</b>	<b>131</b>
<b>7.7.1. GIALLO SAN GIACOMO</b>	<b>131</b>
<b>7.7.2. ROSA BETA</b>	<b>132</b>
<b>7.7.2.1. FATTORI PENALIZZANTI DI CARATTERE STRUTTURALE</b>	<b>132</b>
<b>7.7.2.2. FATTORI PENALIZZANTI DI CARATTERE CROMATICO-TESSITURALE</b>	<b>133</b>
<b>7.8. ANALISI DI FACIES</b>	<b>134</b>
<b><u>8. CONFRONTO DEI RISULTATI OTTENUTI</u></b>	<b>137</b>
<b><u>9. INDICAZIONI DI UTILIZZO DEI DUE LAPIDEI STUDIATI IN BASE AI RISULTATI OTTENUTI</u></b>	<b>139</b>
<b>9.1. CENNI SULLE LAVORAZIONI DEI LAPIDEI STUDIATI</b>	<b>139</b>
<b>9.2. IDONEITÀ DEI LAPIDEI</b>	<b>140</b>
<b><u>10. INDIVIDUAZIONE DI NUOVI CAMPI DI UTILIZZO</u></b>	<b>140</b>
<b>10.1. MISCELA QUARZO - FELDSPATICA PER INDUSTRIA CERAMICA</b>	<b>141</b>
<b>10.2. RIVESTIMENTI ALLEGGERITI – LASTRE FIBERSTONE</b>	<b>144</b>
<b><u>11. IMPORTANZA DEGLI STUDI GEOLOGICO-STRUTTURALI E DELLA CARATTERIZZAZIONE DEI LAPIDEI</u></b>	<b>145</b>
<b><u>12. CONCLUSIONI</u></b>	<b>147</b>
<b><u>13. BIBLIOGRAFIA</u></b>	<b>149</b>

# 1. Introduzione e scopo del lavoro

Nella Sardegna settentrionale, i lapidei ornamentali di origine granitoide rappresentano un'importante georisorsa. Una consolidata attività di estrazione si è affermata negli ultimi decenni nei bacini minerari<sup>1</sup> di Tempio - Calangianus, Arzachena - Luogosanto e Buddusò - Alà dei Sardi.

Il presente lavoro ha lo scopo di analizzare con criteri geologico-strutturali, i vari aspetti inerenti la caratterizzazione dei lapidei e la coltivazione dei giacimenti nonché di individuare, per gli scarti di estrazione e lavorazione, nuovi campi di utilizzo industriale.

Il lavoro è stato sviluppato partendo dallo studio di un particolare lapideo di recente commercializzazione, il granito Giallo San Giacomo, per il quale non esistevano dati di carattere geologico e geotecnico. I risultati ottenuti sono stati poi confrontati e messi in relazione con quelli di un'altra area, interessata già da tempo da una radicata attività estrattiva, il Polo estrattivo di Bassacutena.

Una volta individuate le aree di studio, si è proceduto col censimento e l'analisi di tutte le cave – attive o dismesse – in queste presenti.

In ogni sito di cava è stata effettuata un'approfondita analisi con:

- identificazione della litofacies e della tipologia commerciale;
- misura della direzione del piano della fluidalità magmatica (nelle litofacies orientate);
- analisi dei sistemi di fratturazione;
- misura dell'orientazione dei fronti principali;
- raccolta dei campioni;
- riconoscimento di eventuali fattori penalizzanti il giacimento;
- correlazione tra le metodologie di estrazione e caratteri geologico-strutturali del sito;
- indicazioni per l'ottimizzazione dell'attività estrattiva;
- individuazione degli impatti ambientali del sito;
- indicazioni per la riduzione degli impatti ambientali.

Tutti i dati registrati sul terreno sono stati poi elaborati ed utilizzati per la realizzazione delle seguenti carte allegate:

- Carta campioni e cave
- Carta geologica

---

<sup>1</sup> *Sensu* P.R.A.E. - Regione Sardegna cfr par 3.5

Stefano Cuccuru – Studio geologico strutturale dei granito idi varisici come lapidei ornamentali: problematiche inerenti la caratterizzazione, la coltivazione dei giacimenti e nuovi utilizzi in campo industriale. – Tesi di dottorato in Scienza e tecnologia dei minerali e delle rocce di interesse industriale – università di sassari.

Di grande aiuto per la comprensione di alcune strutture geologiche, nonché per l'individuazione dei siti estrattivi, è stata la foto-interpretazione, che ha preso in esame foto aeree di diversi periodi (volo RAS<sup>2</sup>-2000, volo RAS-2006).

Sul terreno si è fatto ricorso anche alla tecnologia GPS per ricollocare con esattezza sulle carte i dati di terreno.

In ogni cava sono stati prelevati numerosi campioni, utilizzati poi per la caratterizzazione dei lapidei.

Sui campioni è stata effettuata:

- caratterizzazione minero-petrografica;
- analisi microstrutturale;
- analisi in microscopia elettronica;
- analisi di *facies*;
- analisi chimica;
- caratterizzazione fisico-meccanica.

La caratterizzazione del materiale non solo ha permesso di redigere una scheda tecnica per entrambi i litotipi studiati ma è stata di fondamentale importanza per stabilire i campi di utilizzo, i limiti e le potenzialità di ogni lapideo. Gli studi effettuati hanno infatti permesso di individuare e proporre nuove applicazioni di utilizzo. I nuovi campi di utilizzo indicati potranno permettere ai lapidei studiati di affacciarsi su nuovi mercati e, soprattutto, di poter riutilizzare gli sfridi di estrazione che attualmente costituiscono le notevoli discariche<sup>3</sup> attorno ai siti di cava.

Il lavoro sul campo ha infine permesso di cartografare il plutone del San Giacomo ad una scala di 1:25000, ad un dettaglio dunque fin d'ora inedito.

---

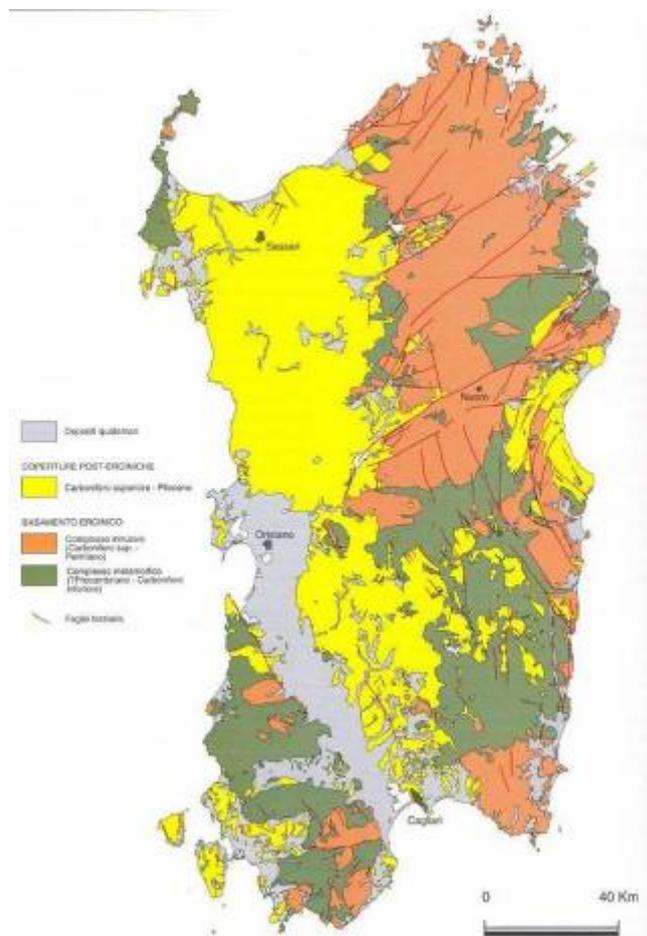
<sup>2</sup> Regione Autonoma Sardegna

<sup>3</sup> Ravaneti

Stefano Cucuru – Studio geologico strutturale dei graniti idi varisici come lapidei ornamentali: problematiche inerenti la caratterizzazione, la coltivazione dei giacimenti e nuovi utilizzi in campo industriale. – Tesi di dottorato in Scienza e tecnologia dei minerali e delle rocce di interesse industriale – università di Sassari.

## 2. Il complesso intrusivo ercinico del blocco sardo-corso

I granitoidi tardo-ercinici costituiscono circa un quarto della Sardegna e, insieme alle intrusioni granitoidi della Corsica, formano il Batolite Sardo-Corso. Questo è il batolite più importante della Catena Ercinica Europea, esteso per una lunghezza di circa 400 Km ed una larghezza di oltre 50. Occupa nel basamento sardo una superficie di circa 6000 Km<sup>2</sup> (Ghezzeo e Orsini, 1982) e affiora nella parte centro - nordorientale dell'isola, lungo una fascia di direzione NNW - SSE interessando le seguenti regioni: Gallura, Anglona, Goceano, Baronia, Barbagia, Ogliastra e Sarrabus. Affioramenti inferiori sono presenti anche sul versante occidentale dell'isola (Isola dell'Asinara, Isola di Mal di Ventre, Arburese).



**Figura 2-1** In arancione il Complesso intrusivo tardo ercinico. Da Memorie descrittive della Carta Geologica D'Italia. AA.VV., 2001

si considera il lasso di tempo piuttosto lungo in cui si realizza la sua messa in posto. Recenti datazioni radiometriche (Paquette *et al.*, 2003; Oggiano *et al.*, 2005; Oggiano *et al.*, 2007; Gaggero *et al.*, 2007) hanno permesso di datare diverse intrusioni del batolite; l'intrusione più vecchia risulta essere la granodiorite di Capo Cavallo (circa 347 Ma); la più giovane la gabbrodiorite di Levie (circa 285 Ma), sempre in Corsica (Paquette *et al.*, 2003). La messa in posto dell'intero batolite si realizza dunque in un intervallo di tempo di circa 60 Ma. In un tale

Gli studi sulle plutoniti sarde sono stati inizialmente di natura prevalentemente geopetrografica e il più delle volte circoscritte a singoli plutoni (Simboli, 1962; Conti, 1964, 1966; Conti e Traversa, 1968; Negretti, 1966). Studi a carattere regionale si devono a Ghezzeo *et al.* (1972), Orsini (1976, 1980), Ferrara *et al.* (1978), Ghezzeo & Orsini (1982). Più recentemente studi a carattere strutturale, petrografico e geochimico hanno permesso di proporre una sequenza degli eventi intrusivi in relazione alla tettonica ercinica (Di Pisa & Oggiano, 1985, 1987; Cherchi *et al.*, 1987; Cherchi & Musumeci, 1987; Oggiano e Di Pisa, 1988; Di Pisa *et al.*, 1988; Oggiano *et al.*, 2005; Kruhl & Vernon, 2005).

Il carattere del batolite è notoriamente composito; la variabilità delle caratteristiche, sia geochimiche che strutturali, è implicita se

intervallo di tempo è lecito aspettarsi cambiamenti del quadro geodinamico che si riflettono sui caratteri strutturali e composizionali delle diverse intrusioni.

Ferré & Leake (2001) e Paquette *et al.* (2003) distinguono infatti tre grandi suite magmatiche che riflettono la differenziazione magmatica in un decremento progressivo di profondità:

- una suite magnesio potassica (Mg-K-suite), affiorante solo nella Corsica nord occidentale e messasi in posto 337 Ma (Menot *et al.*, 1996);
- una suite calcalina, messasi in posto tra 321 e 285 Ma (del Moro *et al.*, 1975; Rossi *et al.*, 1993; Paquette *et al.*, 2003; Oggiano *et al.*, 2007) la quale costituisce la maggior parte del batolite.
- A queste si aggiunge un'attività magmatica post-orogena a carattere alcalino anorogenico datata attorno a 250 Ma (Maluski, 1978), ben documentata solo in Corsica e che a rigore dovrebbe essere considerata post-batolite.

La messa in posto della suite calcalina in Sardegna prende posto in un tempo relativamente lungo (321-286 Ma). I dati radiometrici e di terreno indicano una successione di due importanti eventi magmatici. Il primo, datato a 321-313 Ma (Isola di Santa Maria, Oggiano *et al.*, 2007), è connesso con l'anatessi del basamento metamorfico e produce plutoni peralluminosi, spesso messisi in posto all'interno di zone di taglio orogeno parallele (Cherchi & Musumeci, 1987; Oggiano & Di Pisa, 1988) o strutture transpressive (Kruhl & Vernon, 2005). L'ultimo evento consiste in plutoni fondamentalmente metalluminosi messisi in posto tra 310 e 286 Ma (del Moro *et al.*, 1975; Gaggero *et al.*, 2007) i quali rappresentano la maggior parte del batolite sardo.

L'eterogeneità strutturale del batolite sardo si rivela anche per la presenza di numerose intrusioni, spesso individuabili in base alle loro geometrie, caratteristiche petrologiche e ai rapporti con le rocce incassanti.

Per quanto concerne i rapporti tra la messa in posto dei vari plutoni e la tettonica ercinica, Ghezzi e Orsini (1982) hanno distinto tra plutoniti *sin-*, *tardo-* e *post-* tettoniche in riferimento all'ultima fase deformativa ercinica, ritenuta da questi autori ancora compressiva e, quindi, collocata all'interno della dinamica collisionale della catena. Ma solo le età radiometriche e le strutture esibite dai granitoidi appartenenti all'associazione magnesio-potassica della Corsica settentrionale sono compatibili con una messa in posto durante un regime collisionale ercinico ancora attivo per cui, attualmente, oltre ad una classificazione petrografica (masse basiche, monzograniti, leucograniti s.l.), si preferisce utilizzare una classificazione strutturale-tessiturale (Cherchi & Musumeci, 1992; Oggiano *et al.*, 2005) piuttosto che la vecchia classificazione che mette in relazione le plutoniti con l'evoluzione tettonica ercinica (*sin-*, *tardo* e *post-*).

Si distinguono dunque tre tipologie di plutoniti:

- Plutoniti foliate

- Plutoniti orientate
- Plutoniti isotrope

Le **plutoniti foliate** sono caratterizzate dalla presenza di anisotropie planari, indicanti una transizione da condizioni di deformazione allo stato magmatico a condizioni di deformazione allo stato solido sia di alta che di bassa temperatura (Paterson *et al.*, 1989).

Le intrusioni foliate sono state sempre considerate le più antiche del batolite, poiché la loro strutturazione interna veniva attribuita a processi di messa in posto durante la fase collisionale (intrusioni sintettoniche, Ghezzi & Orsini, 1982). Tuttavia l'associazione di queste intrusioni con strutture geologiche legate alla tettonica post-collisionale tardo-ercinica indica per queste una diversa collocazione temporale nel quadro evolutivo della tettonica ercinica. Gran parte delle plutoniti foliate sono composizionalmente eterogenee e si distribuiscono in diversi settori della catena.

Nella famiglia delle **Plutoniti orientate** sono comprese la maggior parte delle plutoniti che costituiscono il complesso granitoidale sardo affiorando in Zona esterna, in Zona a falde e in Zona assiale. Le composizioni variano da granodioriti a monzograniti *s.s.* con subordinate quarzodioriti, tonaliti e masse basiche. La caratteristica tessiturale fondamentale è rappresentata da una marcata orientazione degli elementi cristallini precoci che materializzano sull'affioramento le direzioni di flusso magmatico o fluidalità magmatica. Il *fabric* magmatico di queste rocce è evidenziato dall'orientazione dei piani (010) dei cristalli di K-feldspato e (001) della biotite e del piano di massimo appiattimento degli inclusi melanocrati. All'interno di queste *facies* sono state fatte ulteriori distinzioni litologiche su basi petrografiche e tessiturali, su valutazioni delle proporzioni modali e della dimensione e/o distribuzione di alcuni minerali quali K-feldspato e anfiboli.

I termini riconducibili alla famiglia delle **Plutoniti isotrope**, sono ubiquitariamente distribuiti in tutta la catena da sud a nord dell'isola e si caratterizzano per la presenza di tessiture isotrope prive di orientazioni magmatiche. Nella Zona Assiale vengono sempre a contatto con le granodioriti ed i monzograniti. I contatti con le intrusioni precedenti sono generalmente di tipo discordante. Queste plutoniti hanno direzioni di allungamento variabile da EW (N80E – N95E) per i corpi principali a NS, per le *facies* filoniane quali micrograniti e apliti. Composizionalmente al loro interno prevalgono le *facies* granitiche *s.s.* con una evidente tendenza leucocrata. Fra queste plutoniti sono anche presenti *facies* granitoidi peralluminose ad andalusite, sillimanite, muscovite e granato.

In Sardegna, dove è presente solo l'associazione calcocalina, le età radiometriche, i rapporti tra foliazioni interne alle intrusioni e la strutturazione generale della catena, suggeriscono che l'assetto deformativo rilevato all'interno delle intrusioni, talvolta acquisito in condizioni di *solid*

*state flow*, sia da mettere in relazione a zone di taglio transtensive successive all'impilamento delle falde, come nel Monte Grighini (Carmignani *et al.*, 1987), o comunque a zone di taglio connesse con una tettonica decompressiva, come nella Bassa Gallura (Oggiano & Di Pisa, 1988; Macera *et al.*, 1989).

In definitiva la messa in posto del batolite sardo è da ricondurre alla tettonica estensionale legata al collasso gravitativo della catena ercinica.

La sequenza di messa in posto (Ghezzi & Orsini, 1982) sembra procedere nel tempo da intrusioni a carattere gabbro-tonalitico ad intrusioni a carattere leuco monzogranitico. Pertanto, dalla letteratura, si evince che le plutoniti del Batolite Sardo-Corso sono schematicamente suddivisibili in tre grandi gruppi:

#### 1. - **Plutoniti basiche** (masse gabbriche, tonaliti e granodioriti tonalitiche).

Molto rare all'interno del batolite sardo, costituiscono masse di piccole dimensioni quasi sempre inglobate all'interno di plutoniti acide. Gli affioramenti più importanti sono: Punta Falcone (Santa Teresa di Gallura), Bortigiadas, Osidda, Burcei nel Sarrabus. Macroscopicamente le tonaliti e le granodioriti tonalitiche si caratterizzano per una grana media per lo più equigranulare, per una tessitura spesso orientata e per la presenza di inclusi microgranulari femici.

Per quel che concerne gli inclusi, quelli microgranulari, sono tipici di tutte le intrusioni calcicline orogeniche (Didier, 1964, 1973). Dal punto di vista genetico Ghezzi *et al.* (1972, 1973), Orsini (1979), Bralio *et al.* (1981), riconoscono per gli inclusi basici del batolite sardo una genesi magmatica da originari magmi basici subcrustali, che hanno subito processi di interazione (*mixing* e *mingling*) con magmi acidi crustali (Zorpi *et al.*, 1989). Sono caratterizzati da una estrema variabilità di dimensioni (da centimetriche a metriche), di forme da subsferiche a lenticolari (appiattite e/o allungate), di tessiture da equigranulari a grana fine a porfiriche evidenziate da fenocristalli di Feldspato e/o Quarzo e di composizione variabile da termini dioritici talora gabbroidi, a termini quarzo dioritici, tonalitici, granodioritici ed anche monzogranitici (Bralio *et al.*, 1981). Anche la loro distribuzione è estremamente variabile, esiste tuttavia una chiara relazione tra la diffusione e il chimismo degli inclusi e il chimismo della roccia incassante. Sono infatti estremamente diffusi nelle *facies* tonalitiche e granodioritiche, fino a diventare rarissimi nei leucograniti (Bralio *et al.*, 1981; Poli *et al.*, 1989).

Da un punto di vista strutturale, il loro comportamento reologico è simile a quello della roccia incassante, pertanto tendono a disporsi secondo le strutture di flusso magmatico, costituendo in tal modo un ottimo *marker* strutturale. Le loro forme generalmente ellittiche consentono di determinare il tipo e l'intensità della deformazione magmatica (Holder, 1979; Ramsay, 1989). La direzione dell'asse maggiore degli inclusi è sempre isorientato secondo le strutture di flusso e consente di determinare la direzione della fluidalità lineare. I minerali all'interno degli inclusi

non presentano effetti deformativi e le loro orientazioni sono sempre concordanti con quelle dei minerali nella roccia incassante.

## 2. - **Monzograniti** (granodioriti monzogranitiche e monzograniti).

Questi graniti presentano ampia varietà di *facies* dovuta essenzialmente a diversi gradi di eterogranularità e di orientazione tessiturale. Detta variabilità, riscontrabile spesso all'interno di singole intrusioni a conferire loro notevole disomogeneità tessiturale, ha grande rilevanza nella caratterizzazione merceologica di tali rocce che sono ampiamente sfruttate per usi ornamentali.

Le granodioriti monzogranitiche mostrano colori grigiastri con frequenti inclusi microgranulari. Notevole è la variabilità dei caratteri macroscopici anche nell'ambito di una stessa massa intrusiva; detta variabilità è legata alla dimensione dei cristalli di K-feldspato spesso orientati.

Tutti i monzograniti sono inquadrabili tra le "plutoniti tardotettoniche" e "post tettoniche" (*sensu* Ghezzi e Orsini, 1982). Tra le diverse intrusioni, alcune sono allungate a forma ellissoidica (es. l'intrusione di Tempio Pausania-Calangianus) con asse maggiore orientato N110. All'interno delle intrusioni monzogranitiche è stata riconosciuta una sequenza di messa in posto sincrona "in continuo" dai tipi più ricchi in biotite verso quelli leucocrati meno ricchi in biotite, che rappresenterebbero le *facies* pertinenti i livelli apicali del corpo intrusivo (Cherchi *et al.* 1987).

In queste plutoniti è spesso rilevabile una marcata fluidalità planare espressa dall'allineamento di megacristalli di feldspato alcalino e di inclusi femici di forma allungata, elemento caratteristico di queste plutoniti, la cui orientazione è compresa intorno a N 110.

## 3. - **Leucomonzograniti.**

Affiorano diffusamente in tutti i settori del basamento sardo. Infatti essi si rinvennero intrusi all'interno delle rocce anchimetamorfiche della Zona Esterna, delle metamorfite in *facies di scisti verdi* della Sardegna centro-orientale e del Complesso Metamorfico di Alto Grado della Gallura. Costituiscono circa il 25 % del batolite (Ghezzi & Orsini, 1982). Si contraddistinguono per la generale omogeneità composizionale, le tessiture essenzialmente isotrope o, talvolta, debolmente orientate e la colorazione tipicamente rosata o grigia. Varie *facies* sono distinguibili anche in virtù del grado di porfiricità, del contenuto in biotite (che non supera mai il 5 % modale) e della eventuale compresenza di muscovite. La giacitura delle intrusioni leucomonzogranitiche è generalmente discordante rispetto al pattern strutturale delle rocce incassanti e delle intrusioni precedenti; la direzione dominante varia da N-S a NE—SW (Ghezzi & Orsini, 1982; Rossi & Cocherie, 1991).

Gia Bralio *et al.* (1981) e Guasparri *et al.* (1984) notarono che i leucograniti possedevano:

- orientazione perpendicolare alle intrusioni preesistenti,
- intensa microfratturazione,
- assenza di inclusi basici,

- assenza di tessiture orientate,
- alterazione pervasiva,
- composizione chimica relativamente evoluta,
- età molto recenti.

Questa differenza rispetto alle altre intrusioni aveva portato all'istituzione di due fasi intrusive. Per questa loro particolarità i leucograniti venivano posti nella seconda fase. Ovviamente si faceva notare che anche nella prima fase erano presenti dei leucograniti; questi però avevano un'origine di differenziazione magmatica, come ad esempio il massiccio zonato di Buddusò (Orsini, 1979). I leucograniti del primo ciclo venivano differenziati grossomodo dai secondi per la presenza degli inclusi basici e per l'assenza di un'alterazione pervasiva.

Nei più recenti lavori (Oggiano *et al.*, 2005) comunque, l'introduzione del concetto di **unità intrusiva** nell'interpretazione dei dati di rilevamento, ha consentito di superare tutte queste distinzioni schematiche. L'unità intrusiva racchiude infatti termini strutturalmente connessi tra loro, sia pure composizionalmente diversi. In definitiva l'insieme dei dati petrografici e strutturali di terreno ha permesso di definire singole unità intrusive caratterizzate ognuna da geometria, aspetti composizionali e strutturali propri e dalla cronologia relativa di messa in posto, deducibile dall'analisi dei contatti tra differenti litofacies delle diverse unità intrusive, superando così lo schema di legenda per litofacies sovrapposte scollegate dal contesto tettonico o per schemi rigidi dei graniti *sin-*, *tardo-* o *post-* tettonici.

## 3. I lapidei ornamentali

### 3.1. Terminologia

Oggigiorno col termine "lapideo ornamentale" si va ad indicare un materiale naturale in possesso di determinati requisiti tecnici ed estetici, che può essere estratto e lavorato (Primavori, 1997).

I lapidei ornamentali si contrappongono ai derivati delle rocce, quali granulati e pietre da cemento, in quanto se a questi ultimi è riservata quasi esclusivamente una funzione portante, nei lapidei ornamentali vengono preferite, o sono di pertinenza, le caratteristiche qualitative. Difatti, più che esigenze strutturali, essi sono deputati a svolgere funzioni decorative (in virtù della loro lavorabilità) che fa assumere loro un alto valore estetico.

Ultimamente nel comparto si usa sempre di più la terminologia *dimension stone* - o solo *stone* - (Fiora, 2007a con bibliografia), che non è altro che il corrispettivo inglese di "lapideo ornamentale", quasi a sottolineare l'importanza delle dimensioni lineari piuttosto che il loro volume, rendendo giustizia alla loro utilizzazione soprattutto in forma di lastre.

L'Ente Nazionale di Unificazione (UNI), nella norma 8458:1983 ("terminologia e classificazione in generale") effettua una prima classificazione commerciale e individua ben quattro categorie di lapidei ornamentali, rispettivamente:

- **marmi**
- **travertini**
- **graniti**
- **pietre**

Oltre a questa prima classificazione, ogni *facies* infine, è identificata da un nome commerciale che può indicare la località di estrazione (ad es. Rosa Baveno), il colore predominante (ad es. Giallo San Giacomo) o essere un nome di fantasia. Spesso poi il nome di una *stone* è espresso in italiano anche se la sua origine è asiatica, sudamericana o africana, in quanto il canale commerciale italiano ha sempre avuto un ruolo determinante nel settore dei lapidei (Fiora, 2007c).

Questa terminologia, seppur abbastanza comoda dal punto di vista commerciale, è sicuramente imprecisa dal punto di vista petrografico in quanto si finisce, ad esempio, per accorpare rocce metamorfiche quali le migmatiti nel gruppo dei graniti considerandoli commercialmente "graniti movimentati"; oppure accorpare rocce sedimentarie, come alcuni calcari, al gruppo dei marmi (rocce metamorfiche dal punto di vista petrografico).

Per ovviare a ciò, il comitato tecnico CEN/TC 246 ha riassunto i criteri di designazione nella norma UNI EN 12440 secondo la quale il nome corretto di un lapideo deve comprendere

- il nome con cui è tradizionalmente noto sul mercato,
- la definizione petrografica (secondo la norma UNI EN 12407:2001),
- il suo colore tipico
- il luogo d'origine.

### 3.2. Cenni sugli impieghi dei lapidei ornamentali

Come si può evincere dal grafico (Figura 3-1), il campo di applicazione dei lapidei ornamentali sicuramente più consistente è quello dell'**edilizia** che assorbe da solo circa il 70% dell'intera produzione mondiale dei lapidei. La gamma di impieghi è decisamente vasta comprendendo:

- pavimentazioni,
- rivestimenti,
- coperture,
- gradini,
- elementi architettonici.

Il campo dell'edilizia inoltre è in forte espansione grazie alla versatilità dei materiali lapidei, alle nuove tecnologie (pareti ventilate, piastrelle alleggerite, Fiberstone etc) ed alla loro infinita combinazione tra le varie qualità.

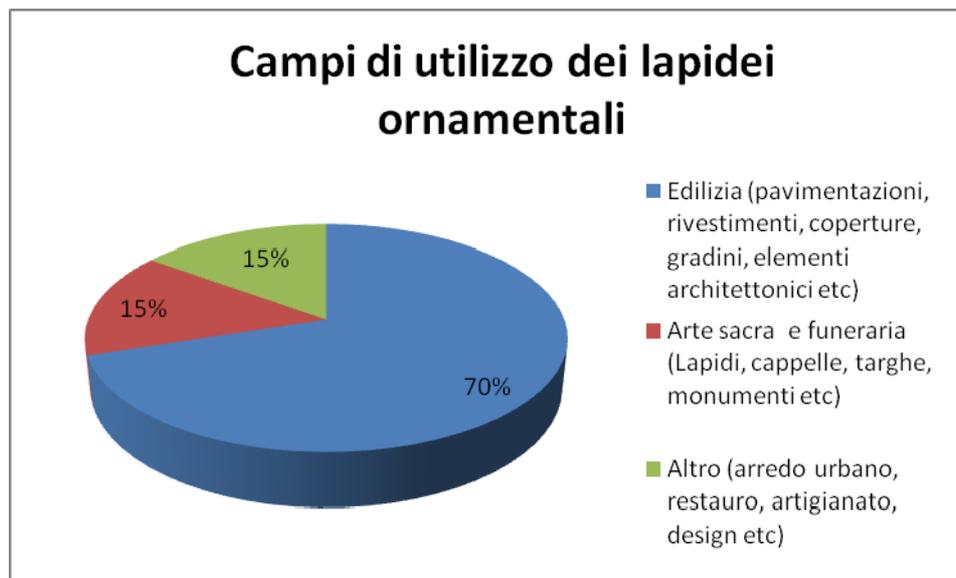


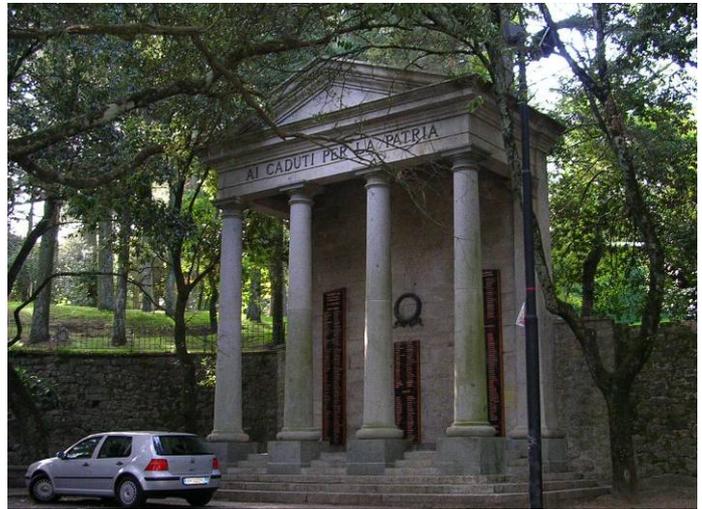
Figura 3-1 Campi di utilizzo dei lapidei ornamentali (fonte dati: Primavori, 1997).

L'**arte sacra e funeraria**, insieme, assorbono ben il 15 % del mercato internazionale dei lapidei con i quali vengono realizzate:

- lapidi,
- cappelle,
- targhe,
- monumenti religiosi.



**Figura 3-2** Pavimentazione e rivestimenti interni realizzati interamente in granito.



**Figura 3-3** Monumento ai caduti realizzato in granito (Tempio Pausania).

Il rimanente 15% comprende diversi campi di applicazione quali:

- arredo urbano,
- restauro,
- artigianato e design,
- opere d'arte,
- sottoprodotti.

Per **arredo urbano** si intende l'insieme degli elementi e delle strutture che utilizzano i materiali lapidei per la gestione delle aree urbane e delle zone a fruizione collettiva. I lapidei possono essere utilizzati per lastricature di strade, pavimentazioni per piazze o marciapiedi, realizzazioni di sagrati di chiese o scalinate, oppure essere utilizzati, dopo aver subito delle lavorazioni, per la realizzazione di complessi architettonici decorativi, fontane, panchine, fioriere, monumenti.



**Figura 3-4 Esempio di utilizzo del granito per decoro urbano: panchine.**



**Figura 3-5 Esempio di lastricatura stradale (Santa Teresa di Gallura).**

Il campo di applicazione del **restauro** occupa una percentuale molto bassa di utilizzo e può essere quasi considerato un settore di nicchia in quanto, i lapidei, vengono qui utilizzati semplicemente in funzione sostitutiva di elementi che sono stati soggetti a degrado. Dunque è chiaro quanto sia importante poter contare sulla reperibilità e disponibilità di un materiale impiegato in precedenza oppure su un analogo per caratteristiche e cromatismo.

Al campo dell'**artigianato** e del **design** fanno parte i mercati dei complementi d'arredo e quelli dell'oggettistica. Per il primo la collocazione è prevalentemente in ambienti interni con lo scopo sia a carattere funzionale che di arredo. Vengono prodotti infatti i piani per cucina, i tavoli, le mensole, i caminetti i bagni e/o parti di essi. All'oggettistica invece fanno parte tutte quelle realizzazioni che includono sia oggetti di uso quotidiano (quali posacenere, orologi...) sia oggetti di design unici quali lampade, soprammobili, targhe, scacchiere.

In ultimo, ma non per questo meno importante, vi è l'**arte** che fa largo uso dei materiali lapidei non solo nel campo della scultura ma anche in quello dell'architettura. Da ricordare, nel campo delle opere d'arte, anche l'arte musiva che, impiegando pietre in dimensioni molto piccole per le tessere dei mosaici, si approvvigiona integralmente dalle risorse lapidee per continuare a proporre una delle forme più peculiari di comunicazione visiva nell'arte.

Sia l'attività estrattiva che i vari campi di applicazione che i lapidei alimentano, producono inevitabilmente degli scarti. Questi ultimi in realtà vanno a costituire un campo di applicazione a se, quello dei **sottoprodotti**, che sembra stia avendo sempre più importanza grazie anche alla maggior sensibilizzazione nei confronti delle problematiche ambientali e sui problemi di riciclo e riutilizzo delle materie prime. I granulati e le polveri dei lapidei difatti trovano vaste applicazioni in molteplici settori dell'industria.



Figura 3-6 Tavolino in ferro battuto con piano in granito.  
(fonte [www.azaragraniti.it](http://www.azaragraniti.it)).



Figura 3-7 Scultura realizzata in granito.

### 3.3. *Proprietà dei lapidei ornamentali*

Le proprietà dei lapidei ornamentali possono essere divise in **proprietà qualitative** e **proprietà tecniche** (Primavori, 1997).

Le proprietà qualitative possono essere così sintetizzate:

- **possibilità di estrazione dal giacimento di blocchi di grandi dimensioni** (6 - 10 m<sup>3</sup>). I blocchi, per i quali ha importanza il volume e la forma, rappresentano l'obiettivo principale nella produzione di una cava;
- **possibilità di lavorare la superficie della roccia con opportuni trattamenti** (lucidatura, fiammatura, bocciardatura);
- **unicità** del materiale;
- **valore estetico** e decorativo proprio;
- **"disegno"** della roccia (tessitura, struttura e forma degli elementi costituenti etc.);
- **colore**;
- **possibilità compositive**.

Le proprietà tecniche qualificano invece un materiale per la sua destinazione d'uso e permettono di scegliere con criterio un materiale in funzione del suo impiego. Le proprietà tecniche possono essere valutate quantitativamente attraverso prove standard di laboratorio

(par. 4.8); attraverso queste prove si ottengono dei valori numerici: si ha quindi la possibilità di comparare i diversi materiali fra di loro.

### **3.4. Normativa vigente**

Il settore dei materiali lapidei è regolamentato, a livello nazionale, dal R.D. del 29 Luglio 1927 n. 1443. Secondo questo decreto sono da considerare **miniere** i siti che estraggono minerali metalliferi, minerali non metalliferi di rilevante importanza industriale (feldspati, caolino, bentoniti, grafite...), pietre preziose, etc. Queste sostanze costituiscono i **materiali di 1<sup>a</sup> categoria**.

Sono invece da considerare **cave** le coltivazioni di torba, materiali da costruzioni edilizie, stradali, idrauliche etc, farine fossili, quarzo e sabbie silicee ed altri materiali impiegabili nell'industria delle costruzioni non compresi nelle categorie delle miniere. Le pietre ornamentali appartengono a questo secondo gruppo, detto dei **materiali di 2<sup>a</sup> categoria**.

Una profonda trasformazione del quadro normativo è avvenuta nel 1975 con il trasferimento delle competenze sulle cave dallo Stato alle Regioni.

Successivamente al 1975 è emersa sempre più chiaramente l'esigenza dalla maggior parte delle regioni di dotarsi di un piano cave a livello regionale che provvedesse a razionalizzare l'intera attività estrattiva.

La Regione Sardegna ha inteso riordinare le attività estrattive di seconda categoria con la legge n° 30 del 1989, al fine di garantire l'ordinato utilizzo delle risorse, lo sviluppo socio-economico ed il rispetto dei beni culturali e ambientali. La legge individua nel Piano Regionale delle Attività Estrattive (P.R.A.E.) lo strumento di programmazione del settore ed un preciso riferimento operativo. Il piano, aggiornato al 2007, indica gli obiettivi e le strategie del settore, i mezzi per il loro conseguimento e le aree da destinare ad attività estrattiva (ambiti), in armonia ed in coordinazione con la tutela dell'ambiente (Boaretto, 2006).

Infine, il P.R.A.E. (superando in un certo senso la suddivisione del R.D. del 1927) suddivide i materiali in funzione della destinazione d'uso in:

- rocce ornamentali (marmi, graniti, alabastri, ardesie, calcari, travertini, trachiti, basalti, porfidi, ecc.) destinate alla produzione di blocchi, lastre e affini,
- materiali per usi industriali (marne, calcari, dolomie, farine fossili, sabbie silicee, terre coloranti, argille, torbe, ecc.),
- materiali per costruzioni ed opere civili (sabbie, ghiaie, granulati, pezzami, conci, blocchetti, ecc.).

Su tali basi, le cave vengono dunque definite "ornamentali", "industriali" e "civili", con riferimento alla destinazione prevalente.

### 3.5. Bacini minerari e poli estrattivi

In Sardegna l'attività estrattiva è concentrata fondamentalmente in determinate aree geografiche. Queste spesso sono accomunate dalla presenza di un litotipo simile. Ai fini della pianificazione (P.R.A.E.) sono stati dunque istituiti i "bacini minerari di cava" e i "poli estrattivi" in modo da delineare delle aree geografiche caratterizzate dai rispettivi fattori:

- presenza di particolari litotipi;
- concentrazione e/o presenza di importanti attività estrattive.

Se si analizza la distribuzione nello spazio di un particolare tipo litologico estratto, si parla di **Bacino Minerario di cava**, che rappresenta un ambito territoriale all'interno del quale sono presenti quasi tutte le cave caratterizzate da uno specifico tipo commerciale - ad es il Bacino Minerario di Tempio Pausania - Calangianus caratterizzato dall'estrazione della tipologia commerciale granito

Ghiandone - dove, ovviamente, si potranno anche rinvenire - ma in misura inferiore - cave di altre tipologie. Un esempio è la presenza del granito Giallo San Giacomo in questo bacino. E' evidente comunque come questa prima classificazione abbia una forte correlazione con la geologia dell'area.

Se invece si analizza la distribuzione geografica solo delle cave (a prescindere dal litotipo estratto), si osserva che esistono delle zone nelle quali si concentra oltre il 60% delle attività estrattive, le quali conferiscono a queste aree la caratteristica di settori produttivi, spesso di

Bacini minerari e poli estrattivi delle pietre ornamentali della Sardegna

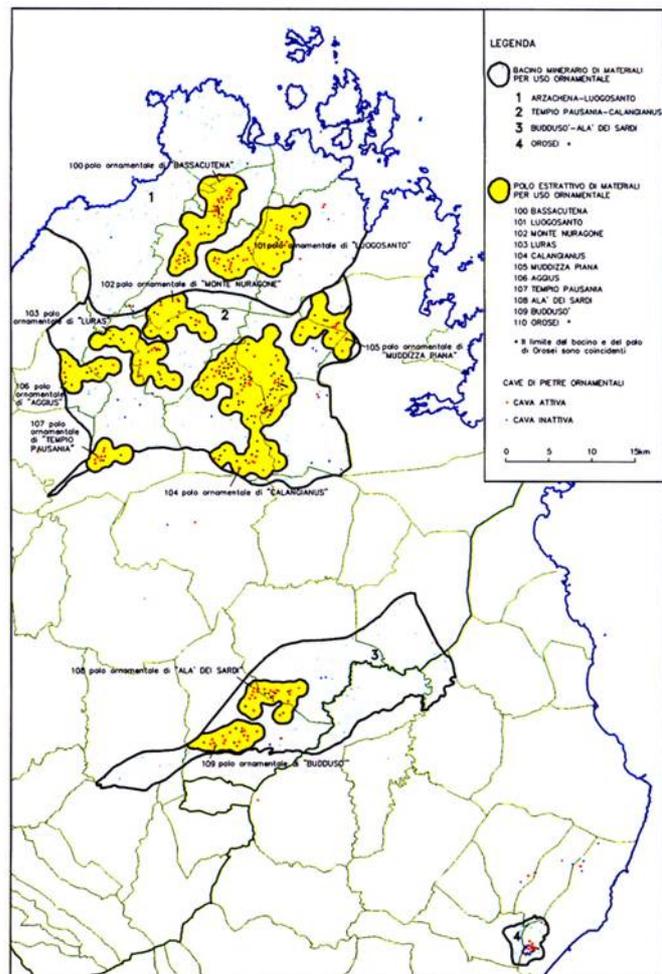


Figura 3-8 Bacini minerari (in nero) e poli estrattivi (in giallo) della Sardegna nord-orientale (da Guida alle pietre ornamentali AA.VV).

grande significato socio-economico. Sono questi i **Poli Estrattivi**, in alcuni casi costituiti anche da una sola o poche cave, se queste sono caratterizzate da una rilevante importanza economica e da una altrettanta capacità produttiva.

Attualmente sono riconosciuti ben 8 bacini minerari di cava; quattro bacini riguardano il granito, uno il marmo (calcare), due riguardano le vulcaniti (basalto e ignimbriti) e uno le metamorfite (scisti):

- bacini minerari di cava dei Graniti:
  1. bacino di **Arzachena-Luogosanto**, caratterizzato dal litotipo commerciale Rosa Beta;
  2. bacino di **Tempio Pausania-Calangianus**, caratterizzato dal litotipo commerciale Ghiandone;
  3. bacino di **Buddusò-Alà dei Sardi**, caratterizzato dal litotipo commerciale Grigio Perla, Grigio Sardo e Grigio Malaga;
  4. bacino di **Ovodda**, caratterizzato dal litotipo commerciale Grigio Sardo Ovodda;
  
- I bacini minerari di cava dei Calcari-marmi
  5. bacino di **Orosei**, caratterizzato dal litotipo commerciale Biancone Tirreno.
  
- I bacini minerari di cava delle Vulcaniti:
  6. bacino Minerario di **Bosa** caratterizzato dal litotipo commerciale Cantonetto e Trachite di Bosa;
  7. bacino Minerario di cava dell'**Oristanese** caratterizzato dal litotipo commerciale Cantonetto;
  
- I bacini minerari di cava delle metamorfite
  8. Il Bacino Minerario di cava di **Siniscola-Lula** caratterizzato dal litotipo commerciale chiamato in alcuni casi Pietra di Siniscola e utilizzato nelle lastricature.

All'interno di ciascun Bacino Minerario, a loro volta, si possono individuare i Poli estrattivi nei quali è concentrata la maggior parte dell'attività di cava.

Per quanto riguarda ad es. la Sardegna Nord Orientale vengono riconosciuti i seguenti Poli estrattivi:

Bacino minerario	Poli estrattivi
Arzachena - Luogosanto	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Bassacutena</li> <li>· Luogosanto</li> </ul>
Tempio Pausania - Calangianus	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Monte Nuragone</li> <li>· Luras</li> <li>· Calangianus</li> <li>· Muddizza Piana</li> <li>· Aggius</li> <li>· Tempio Pausania</li> </ul>
Buddusò – Alà dei Sardi	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Alà dei Sardi</li> <li>· Buddusò</li> </ul>

### **3.6. *Analisi economico – produttiva***

I dati più recenti riferiti all’aspetto economico del mercato dei lapidei in Sardegna è costituito dalla rilevazione P.R.A.E. aggiornata al 2006. In tale anno l’attività produttiva regionale dei lapidei era costituita da:

- 168 cave “amministrativamente” attive,
- 60 impianti di trasformazione,
- circa 1100 addetti diretti stimati.

Nei primi anni 2000 il settore ha attraversato un periodo di notevole crisi produttiva che lo ha visto perdere quasi il 50% della produzione rispetto al 2000, dovuta in massima parte a fattori competitivi con paesi emergenti, caratterizzate da tipologie commerciali simili ma con prezzi inferiori talora del 40% rispetto a quelli storicamente praticati in Sardegna. A partire dal 2004 però, il trend si è invertito e si osserva una certa ripresa che, seppur ancora lontano dai valori produttivi della fine del decennio precedente, fa ben sperare per il futuro.

Nel 2004 il segmento estrattivo si componeva di 129 cave nel comparto dei graniti, con una netta prevalenza della varietà “Rosa” (60 cave), “Grigio/Bianco” (37 cave), Ghiandone (25 cave) e Giallo (7 cave). Erano inoltre presenti 14 cave di Marmo di Orosei e altre 24 cave di altri materiali lapidei (vulcaniti, metamorfiti e basalti) utilizzati prevalentemente per la produzione di cantonetti e lastrati naturali per un totale appunto di 167 cave totali.

Al 2006 si registrano poche variazioni con 168 cave attive delle quali 126 interessate dall’estrazione di litotipi granitoidi, 13 da litotipi carbonatici e 29 da altri lapidei.

Al 2006 la produzione regionale è stata valutata intorno alle 620.000 t/a ed assicurata solamente da 87 cave rispetto alle 168 considerate attive, questo fatto evidenzia, la notevole crisi che il settore ha attraversato.

Dai dati si osserva come le cave di Giallo siano quasi tutte attive rispetto al 2004 (6 su 7) e che quelle interessate dall'estrazione dei Rosa siano in predominanza (ben 32).

<b>CAVE ornamentali</b>		U.P. operative [N]	Superficie [Ha]	Produzione [t]	[%]
GRANITO	Bianco	11	54	69.239	11,3
	Ghiandone	9	90	31.902	5,2
	Giallo	6	14,65	26.877	4,4
	Grigio	6	31,81	25.624	4,2
	Rosa	32	262,70	244.371	39,8
<b>sub totale granito</b>		<b>65</b>	<b>452,91</b>	<b>398.014</b>	<b>65</b>
MARMO	Marmo di Orosei	11	31	198.408	32,3
ALTRE PIETRE	Lastrati	3	3	1.090	0,2
	Trachiti e Basalti	9	26,03	16.691	2,7
		<b>87</b>	<b>512,45</b>	<b>614.203</b>	<b>100</b>

**Figura 3-9 Cave realmente operative al 2006 (R.A.S., 2007).**

All'interno dei materiali lapidei prevale nettamente la produzione di granito (circa 400.000 t/a) rispetto ai marmi (200.000 t/a) e alle altre pietre (20.000 t/a).

La produzione dei graniti evidenzia una netta prevalenza della tipologia commerciale dei Rosa con una quota del 40%, pari a 244.000 t/a , segue con il 15.5 % il Grigio/Bianco, con una produzione di 95.000 t/a , infine rappresentano quote minoritarie il Ghiandone, 5% pari a 31.000 t/a, e il Giallo con una quota dell'4.5%, pari a 27.000 t/a.

L'aspetto economico spiega l'andamento delle varie litofacies. Il Giallo, ultimamente molto apprezzato, possiede dei prezzi particolarmente alti vista la grande richiesta e la relativa limitata disponibilità di materiale, come si spiegherà più avanti. La grande richiesta è poi correlata alla tendenza attuale del mercato a prediligere colori chiari e omogenei dal punto di vista cromatico.

Il Rosa invece riesce a predominare rispetto alle altre litofacies semplicemente per il prezzo di mercato più basso rispetto a quello di tutti gli altri graniti.

MATERIALI PER USO ORNAMENTALE: PREZZI DI RIFERIMENTO <sup>(1)</sup>				
PRODOTTI	PREZZI			
	MIN [€/mc]	MAX [€/mc]	MEDIO <sup>(2)</sup> [€/mc]	
GRANITO	Bianco	78	380	230
	Ghiandone	60	360	195
	Giallo	35	400	220
	Grigio	100	380	210
	Rosa	30	360	150
MARMO	Marmo di Orosei	26	480	155
ALTRE PIETRE	Lastrati	55	55	55
	Trachiti e Basalti	42	50	67

(1) I prezzi indicati sono quelli forniti dagli operatori nel censimento delle attività estrattive nel 2006.  
(2) Media ponderata dei valori dichiarati.

**Figura 3-10 Prezzi di riferimento (2006) dei principali lapidei ornamentali sardi (R.A.S., 2007).**

La produzione di cava dei graniti della Sardegna alimenta per il 45% la struttura di trasformazione locale, mentre la restante quota per la gran parte viene venduta nel resto d'Italia, in particolare Verona e Massa Carrara; solo circa il 5% viene direttamente esportato all'estero.

Sono presenti 30 impianti di segagione industriale di granito, 12 per la lavorazione di cantonetti e informi, mentre 18 impianti sono dedicati alla lavorazione dei marmi.

Complessivamente si stima una produzione di manufatti pari a circa 2.700.000 m<sup>2</sup> equivalenti a spessore 2 cm (corrispondenti a circa 110.000 m<sup>3</sup>/anno di grezzi) (R.A.S, 2007a).

### **3.7. Il comparto dei lapidei granitoidi**

#### **3.7.1. Prospezione giacimentologica**

Prima di iniziare le attività di estrazione è necessario effettuare uno studio dettagliato di prospezione giacimentologica che tenga conto di diversi elementi, che fondamentalmente possono essere divisi in due categorie: aspetti non geologici e aspetti geologici.

#### **3.7.2. Aspetti non geologici**

Come si è visto (par. 3.4) l'attività di cava in Italia ed in Sardegna è regolamentata da alcune leggi. In particolar modo la legislazione regionale individua delle aree (ambiti) nelle quali l'attività estrattiva è assolutamente vietata. Sono queste ad esempio le immediate periferie

della città, le coste, le aree a forte vocazione turistica, le zone ad alto valore naturalistico, i parchi etc.

Sono poi state individuate delle aree nelle quali, previa autorizzazione, l'attività estrattiva può essere autorizzata.

L'investimento per gli studi di prospezione, le operazioni logistiche per avviare le operazioni di estrazione (realizzazione strade, rimozione capellaccio etc) devono ovviamente rispondere alla regola base economica dei "costi - benefici". Solo se il materiale da estrarre possiede un elevato valore verrà presa in considerazione l'ipotesi di realizzare un sito di cava in una zona difficilmente raggiungibile e priva di servizi e collegamenti.

Anche le caratteristiche climatiche della zona di ubicazione di un giacimento possono influire in misura notevole sulla reale fattibilità tecnica ed economica di un progetto di sfruttamento. Tutte le limitazioni imposte da situazioni climatiche sfavorevoli si ripercuotono infatti sulla produttività, con conseguente danno economico per l'impresa. Il verificarsi di situazioni meteorologiche avverse e prolungate impedisce generalmente l'avanzata delle operazioni di estrazione. Si pensi ad esempio alla coltivazione delle labradoriti in Norvegia o in Canada dove l'estrazione si limita a soli tre mesi l'anno. Paradossalmente anche l'assenza totale di precipitazioni limitano le attività costringendo ad approvvigionamenti esterni. Alcune tecnologie infatti dipendono dalla risorsa acqua, come ad esempio la segazione con filo diamantato, dove l'acqua è fondamentale per raffreddare il cavo e allontanare i fini di segazione.

Infine vanno menzionati gli aspetti ambientali. E' indiscutibile infatti che le cave determinano variazioni, talora imponenti, nel paesaggio, perturbano gli equilibri geomorfologici, idrici, ecologici, ed idrogeologici. Gli impatti possono essere di diversi tipi; il più importante è solitamente quello visivo dato dalla presenza delle cave stesse, quello acustico, cui si aggiungono gli effetti da polveri nell'aria e da vibrazioni oppure le discariche con la sottrazione di aree potenzialmente utili, problemi di stabilità e variazioni morfologiche, circolazione ed infiltrazione di acque torbide.

In Sardegna fundamentalmente gli impatti ambientali più importanti dell'attività estrattiva sono quelli visivi e idrogeologici. Il problema degli impatti visivi in Sardegna solitamente è dovuto ai numerosi siti dismessi e a quelli poco produttivi i quali accumulano nelle discariche buona parte del prodotto estratto. L'apertura indiscriminata avvenuta tra gli anni '70 e '80 non veniva infatti supportata da prospezioni di carattere geologico ma solo da valutazioni empiriche dei cavaatori stessi. Questo ha inevitabilmente portato a l'apertura di numerose cave in contesti geologicamente sfavorevoli per l'estrazione di lapidei ornamentali. La resa di tali cave è stata sempre dunque molto bassa comportando prima un accumulo di buona parte del prodotto estratto nelle discariche e determinando, dopo pochi anni, la chiusura dell'attività stessa.

Attualmente infatti la maggior parte delle cave posseggono un elevato impatto visivo non tanto per il sito di estrazione vero e proprio quanto per le proprie discariche.

Le indagini geologiche di prospezione, abbinate a degli studi naturalistici, nascono infatti proprio con lo scopo di effettuare una **mitigazione preventiva** degli impatti prodotti dalle attività estrattive. Recenti studi (Cuccuru *et al.*, 2005; Cherchi *et al.*, 2006; Sangaino *et al.*, 2006) hanno dimostrato che in Sardegna, buona parte dei siti estrattivi dismessi nei bacini del granito, sono impostati su siti geologicamente sfavorevoli. Un'attenta prospezione effettuata con criteri geologici e strutturali avrebbe potuto prevedere la qualità del materiale estratto e dunque evitato l'apertura di siti inutili, destinati in pochi anni alla chiusura. Questo avrebbe di conseguenza anche evitato gli impatti ambientali causati da tali siti dismessi come gli importanti impatti visivi delle discariche di sfridi e le interferenze con la circolazione idrica sotterranea.

### **3.7.3. Aspetti geologici**

Gli studi che affrontano gli aspetti geologici si sviluppano generalmente attraverso una fase in loco, l'attività di terreno, ed una fase di laboratorio con l'elaborazione dei dati e redazione del rapporto tecnico finale. Bisogna sottolineare che gli studi geologici non devono solo precedere l'attività estrattiva ma soprattutto devono anche seguirla in modo da ottimizzare le attività già avviate al fine di massimizzare la resa e ridurre gli impatti ambientali.

Tra gli aspetti geologici *in primis* è necessario valutare la cubatura del giacimento, studio che garantisce la continuità delle attività nel tempo. E' questo infatti un primo fattore da esaminare in quanto la mancanza dei volumi minimi necessari imporrà l'interruzione dell'attività per esaurimento della georisorsa con conseguente impossibilità di produzione nel tempo. Le indagini da svolgere sono tutte evidentemente finalizzate alla quantificazione volumetrica del giacimento.

In seguito è indispensabile un'attenta indagine geologico strutturale che tenga conto del campo di fratturazione e di tutte le strutture primarie e secondarie presenti nella roccia. Il campo di fratturazione, e l'assetto strutturale in senso lato, condiziona infatti le dimensioni dei blocchi estraibili con conseguente impossibilità nella produzione di blocchi di dimensioni (e geometrie) commerciali. Sono necessarie dunque analisi geologico-strutturali a differenti scale di deformazioni duttili e fragili e di ogni discontinuità presente (stratificazioni, scistosità, lineazioni, faglie, fratture, joints, diaclasi..etc).

Sono infine presenti tutti quei fattori genetici intrinseci alla roccia che definiscono e qualificano commercialmente il materiale estratto. Alcuni di tali fattori intrinseci costituiscono un fattore

penalizzante per l'impiego come lapideo ornamentale in quanto portano all'impossibilità di ottenimento di una produzione qualitativamente omogenea, costante ed uniforme.

E' necessaria dunque un'analisi geologica attenta che permetta l'acquisizione, il rilevamento e, ove possibile, la previsione, di tutti quegli elementi che costituiscono fattori penalizzanti all'impiego come lapideo ornamentale (nel caso dei graniti: xenoliti, miaroliti, mineralizzazioni, alterazioni variazioni granulometriche, filoni etc) come spiegato più in dettaglio successivamente.

### **3.8. Fattori penalizzanti**

#### **3.8.1. Tipologie dei fattori penalizzanti**

Come già accennato, una roccia è valutata attraverso parametri estetici e fisico-meccanici che la rendono più o meno idonea per determinate applicazioni. Una roccia però, essendo un prodotto naturale, possiede inevitabilmente delle imperfezioni, o difetti, che possono far diminuire il suo valore commerciale o, in alcuni casi, rendere economicamente svantaggioso lo sfruttamento di un giacimento.

I fattori penalizzanti possono essere **cromatici**, **tessiturali** o **strutturali**. Ancora, è bene sottolineare l'importanza della scala di osservazione in quanto alcuni difetti possono interessare un blocco o il fronte di coltivazione mentre altri sono da analizzare sotto un'ottica più ampia quale quella del giacimento.

#### **3.8.2. Fattori penalizzanti di carattere cromatico-tessiturale**

I difetti cromatici e i difetti tessiturali possono essere esaminati congiuntamente poiché spesso "operano" in concomitanza.

Il colore di una roccia deriva dall'insieme dei colori di ogni fase mineralogica costituente ma è anche vero che una variazione di grana può modificare l'aspetto di una roccia: ad esempio in un granito, più i cristalli di quarzo saranno di dimensioni maggiori e più la roccia assumerà un aspetto vitreo e un senso di profondità. Ancora, a parità di dimensioni, sarà sufficiente che più cristalli dello stesso colore si aggregino in concentrazioni che si assisterà inevitabilmente ad una variazione cromatica della roccia.

Microscopicamente un granito non può essere considerato omogeneo dal momento che esso è costituito da più minerali, ma, macroscopicamente, esso può assumere un aspetto omogeneo e, nel caso dei monzograniti studiati in questo lavoro, può assumere una colorazione che va

dal giallo al grigio (nel caso del granito Giallo San Giacomo) e dal grigio al rosato (nel caso del granito Rosa Beta). Il colore fondamentale che si apprezza da una certa distanza è dato semplicemente dal colore del minerale prevalente sia in volume che in intensità. Una colorazione predominante lattea solitamente è imputabile ad una presenza diffusa di plagioclasio, una colorazione tendente al grigio al quarzo mentre una colorazione tendente al rosa o al rosso dipende dalla presenza del Feldspato potassico. Tutte le tonalità scure sono invece da imputare ai minerali femici. Le colorazioni sul giallo o l'arancione sono invece solitamente imputabili a delle fasi di ossidi o idrossidi di ferro omogeneamente disperse all'interno della roccia (Fiora, 2007b).

Ora, se in un contesto omogeneo si dovesse avere una concentrazione di un determinato minerale (e dunque del suo relativo colore), si osserverà sulla superficie una "macchia" cromaticamente differente che andrà a costituire un **difetto cromatico**:

Nei monzograniti sono molto diffuse le concentrazioni di feldspato potassico (denominate dai cavaatori "polmoni arrossati") e di minerali femici, gli *schlierens*. Questi ultimi sono costituiti da sciami di biotite e/o anfibolo che disponendosi secondo moti lineari o turbolenti danno luogo a forme ad andamento lineare o fortemente convoluto.



**Figura 3-11 Al centro del fronte, addensamento di K feldspato – “polmone arrossato” -.**



**Figura 3-12 Schlieren femico sull'alzata e sulla relativa bancata.**

Tendono solitamente a concentrarsi in prossimità dei contatti e spesso hanno un'orientazione concorde con la fluidalità magmatica.

Le tasche pegmatitiche sono costituite da concentrazioni di megacristalli di K feldspato e quarzo, associati talvolta a plagioclasio, miche ed epidoti. E' facile individuarle perché appaiono come chiazze arrossate o più chiare rispetto alla roccia circostante.



**Figura 3-13 Tasca pegmatitica. Si osservi la presenza di schlierens e addensamenti di feldspato potassico nell'incassante.**

Altro difetto tessiturale sono ancora i micrograniti e le apliti il più delle volte a giacitura filoniana. Questi, presentando una grana molto fine rispetto alla roccia incassante, costituiscono un importante difetto.

Fra i difetti cromatici più diffusi nei monzograniti vanno menzionati gli inclusi basici microgranulari che "macchiano" di scuro il granito. Gli inclusi basici di colore prevalentemente nerastro, hanno tessitura variabile, dimensioni da centimetriche a metriche e possono assumere forme sia sferoidali che allungate o informi. Questi inclusi tendono ad orientarsi secondo la direzione di flusso magmatico costituendo così un ottimo *marker*.



**Figura 3-14** Tasca pegmatitica marcata da *schlierens* femici.



**Figura 3-15** Incluso basico con al bordo un addensamento di feldspato potassico.

Infine, altra tipologia di fattori penalizzanti è rappresentata dai filoni di composizione sia basica che acida ben rappresentati nella zona in studio. In generale formano strutture lineari plurichilometriche di spessore variabile da metrico ad ettometrico. Nelle aree di studio, questi attraversano ubiquitariamente ed



**Figura 3-16** Blocco invenduto con tre differenti tipologie di inclusi.

indistintamente tutte le litofacies testimoniando la loro posteriorità cronologica rispetto alle intrusioni.

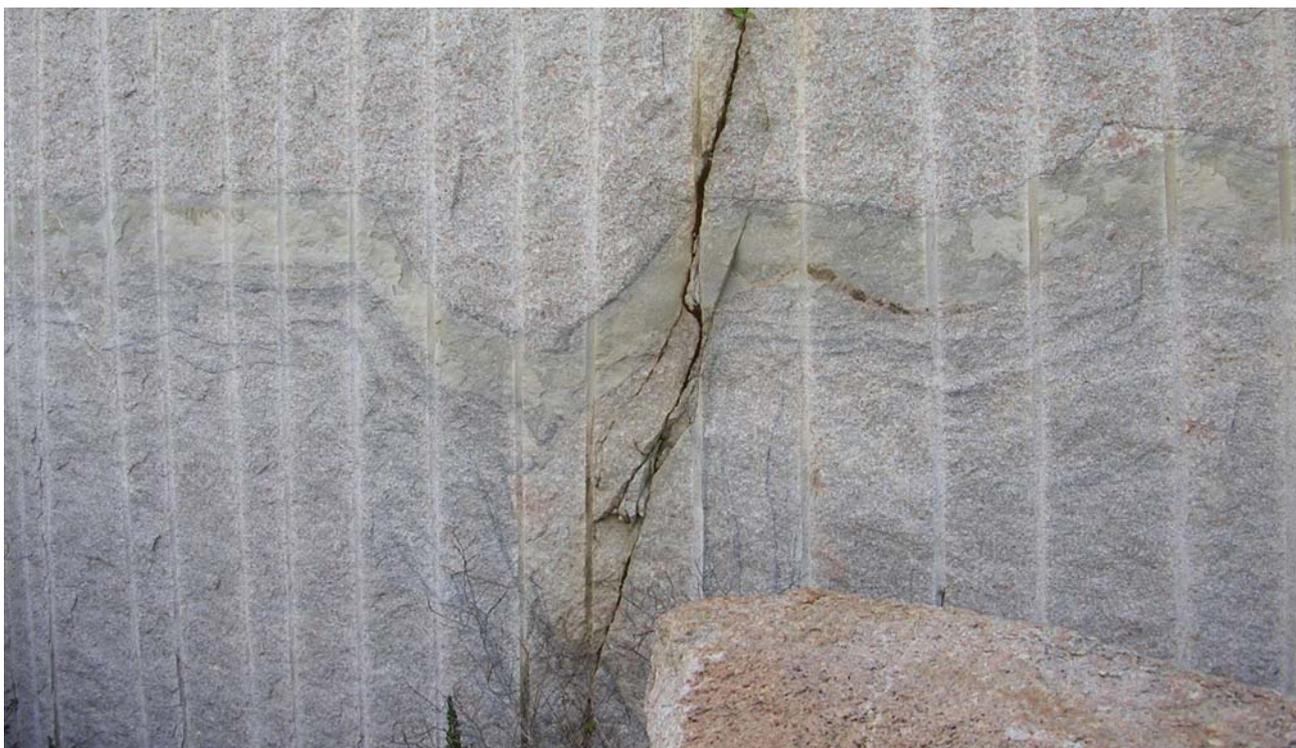


Figura 3-17 Filone aplitico sintettonico collassato.

### 3.8.3. *Fattori penalizzanti di carattere strutturale*

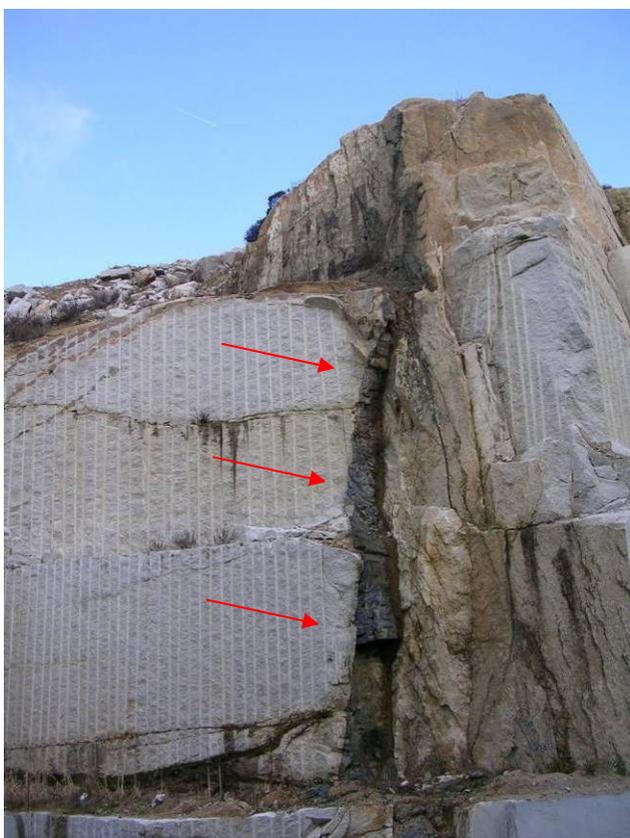
I difetti strutturali sono quei difetti legati agli aspetti strutturali del giacimento e cioè, principalmente, al suo grado di fratturazione, macroscopico e microscopico. Questa caratteristica va a ripercuotersi su un fattore della massima importanza commerciale, la possibilità di ottenere dei blocchi di forma e volume adeguati. Come è noto il volume ottimale per i blocchi si aggira intorno ai 9/10 metri cubi, in forma di parallelepipedi, da cui poter estrarre lastre di grande dimensione. La regolarità dei blocchi e di tutta la configurazione della cava è quasi totalmente controllata dalla fratturazione (ma anche dall'eventuale complesso filoniano).

Tra i difetti strutturali si sono riconosciuti:

- le **fratture**: discontinuità con disgiunzione netta, aperte ed evidenti, che pervadono la roccia per qualche metro. Queste discontinuità possono essere di origine tettonica, di alleggerimento litostatico o ancora essersi formate durante il raffreddamento della massa magmatica.
- **Microfratture** e "peli": microfessure appena percettibili di lunghezza anche notevole. Alcuni sono visibili anche ad occhio nudo, per altri è necessario l'utilizzo di una lente. Sono di fondamentale importanza in quanto solitamente corrispondono alla superficie di più facile spaccabilità. Spesso hanno poi importanti ripercussioni sulle caratteristiche fisico-meccaniche dei lapidei. Alla loro presenza è spesso correlata infatti un aumento

dell'assorbimento d'acqua, una minore resistenza meccanica e una più alta vulnerabilità agli agenti atmosferici.

Le **cavità miarolitiche**: Durante la risalita, il raffreddamento e la messa in posto dell'intrusione magmatica, dal fuso viene a liberarsi la componente gassosa. Quest'ultima può accumularsi in determinate zone dell'intrusione (solitamente la parte apicale) conferendo alla roccia una porosità primaria. Questa, in superficie, è la parte più soggetta all'erosione in quanto all'interno di queste concavità l'umidità atmosferica va a ristagnare alterando in questo modo il granito. Allo stesso modo l'umidità agisce anche sui manufatti ed è per questo che le porosità costituiscono un difetto, poiché la roccia, anche se lucidata, evidenzia delle cavità che rappresentano poi zone di attacco da parte degli agenti esogeni. Ripercussioni negative si avranno anche sulle proprietà tecniche, con riduzione delle prestazioni nei diversi test fisico-meccanici.



**Figura 3-18** Filone basico sub-verticale.



**Figura 3-19** Fronte di cava interessato da fratturazione pervasiva.



Figura 3-20 Vecchio pelo ricristallizzato ad epidoto.



Figura 3-21 Cavità miarolitiche.

### 3.8.3. Metodologie di estrazione

La metodologia di coltivazione è determinata dalla forma e dalle dimensioni del giacimento, da come questo si pone rispetto alla morfologia generale del paesaggio e dalle caratteristiche intrinseche del materiale estratto. Sebbene non esistano regole generali, i metodi di coltivazione a cielo aperto nelle cave di granito studiate possono essere ricondotti a tre categorie principali:

- per platee orizzontali con grandi bancate o con gradino basso;
- per squadratura di *boulders*;
- per abbattimento selettivo.

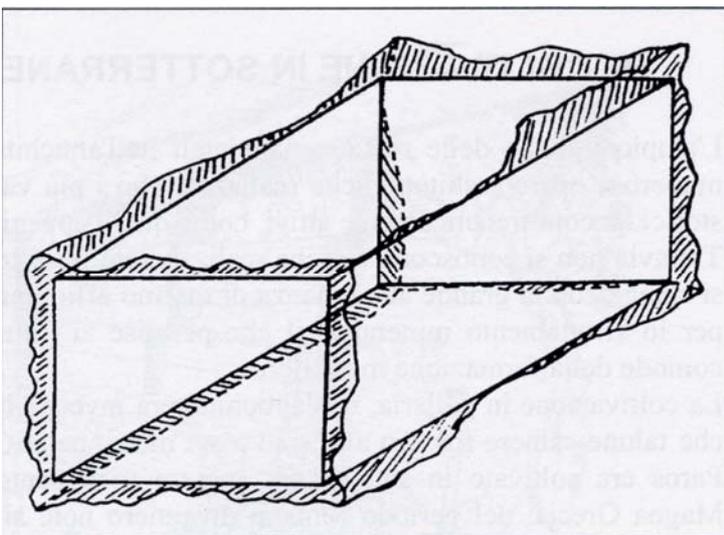


Figura 3-22 Parallelepipedo massimo inscrivibile dentro un informe. Il materiale tratteggiato andrà a costituire lo sfrido di piccolo pezzame. Da Fornaro *et al.*, 2002.

Nel primo caso, attraverso il taglio primario, vengono realizzate bancate di roccia di grandi dimensioni. Queste, una volta ribaltate, vengono poi suddivise, tramite tagli secondari, in fette ed infine in blocchi di dimensioni standard. Nella realizzazione dei blocchi devono essere rispettate dimensioni e forme particolari (il blocco deve essere fondamentale un parallelepipedo di 3 x 1,75 x 1,75 m) e per realizzare ciò vengono effettuati ritagli e riquadrature ulteriori. Queste ultime operazioni

sono quelle che producono la maggior quantità di sfridi di piccolo pezzame, i cosiddetti cunei di riquadratura (Figura 3-22), al fine di ottenere il massimo parallelepipedo inscrivibile nel blocco grezzo.

Nella variante per *gradino basso*, la cui altezza corrisponde ad una delle dimensioni dei blocchi, questi vengono estratti direttamente dal giacimento. Questa variante permette talvolta di evitare le operazioni di ribaltamento, presenta fronti di cava bassi e più sicuri, oltre che facilmente risanabili in fase di ripristino ambientale.



**Figura 3-23 Cava coltivata per platee orizzontali con grandi bancate (Arzachena).**



**Figura 3-24** Ribaltamento di una bancata tramite la spinta di una pala meccanica.



**Figura 3-25** Operazioni di ritaglio dei blocchi da una bancata.



**Figura 3-26** Il blocco ritagliato e riquadrato viene caricato sull'autoarticolato.

La squadratura di *boulders* è ampiamente utilizzata a carico di trovanti granitici molto grandi e numerosi e in condizioni di manodopera non qualificata e infrastrutture carenti. Una volta praticati uno o più fori, generalmente nella sommità del masso e possibilmente lungo i piani di maggiore suddivisibilità, vi si colloca all'interno l'esplosivo o del cemento ad espansione: in questo modo il *boulder*, facilitato dall'aver superfici libere, si fende in due parti che possono venir squadrate per mezzo di perforazione e punciotti. Si tratta di un metodo che ha costi irrisori, ma con il quale si insiste sempre sulle porzioni superficiali senza raggiungere una configurazione che permetta di produrre blocchi riquadrati con il minor numero di operazioni possibile.

Nel terzo e ultimo caso si concentra l'estrazione nelle zone in cui il deposito presenta condizioni sfavorevoli; può essere assimilato a un adeguamento estremo alle caratteristiche del giacimento ed è imposto in tutti quei casi in cui la roccia è interessata in varia misura da fratture, eterogeneità, difetti, etc. Una volta selezionate le porzioni utili, queste vengono coltivate orientando opportunamente i tagli, il che determina una geometria di cava mal

definita. Vista dunque la difficoltà di produrre blocchi commerciali adottando questa metodologia, in Sardegna la si utilizza fundamentalmente nella realizzazione di cantonetti e basoli.

### **3.8.4. Tecnologie di estrazione**

Le tecnologie di estrazione individuano con quali attrezzature e macchinari un giacimento viene sfruttato. Il taglio della roccia, in dipendenza delle caratteristiche di questa, nonché di quelle del giacimento, viene oggi effettuato con le seguenti tecniche:

- perforazione e fenditura per spacco,
- perforazione + esplosivo (“*splitting* dinamico”),
- *flame-jet* (“lancia termica” o “fiamma”),
- tagliatrice a filo diamantato,
- altre tecnologie.

#### **Perforazione e fenditura per spacco**

La fenditura per spacco è forse la tecnica più antica adottata nella realizzazione di semilavorati lapidei. È utilizzata soprattutto nelle piccole cave nelle quale si producono fundamentalmente basoli o cantonetti per il mercato locale o prodotti su richiesta come architravi o pilastri grezzi.

La roccia viene solitamente attaccata su piani di anisotropia particolari che ne determinano una più facile spaccabilità (ad es. microfratturazione), tramite punciotti o cunei. In questo modo è possibile fendere la roccia seguendo tali piani e realizzare prodotti a finitura grezza dalla forma geometrica definita.



**Figura 3-27 Cantonetti realizzati “a spacco” sfruttando piani naturali di debolezza presenti nella roccia.**

#### **La perforazione + esplosivo (“*splitting* dinamico”)**

È opportuno subito separare la perforazione impiegata come operazione ausiliaria e preparatoria ad altre tecniche di taglio (ad esempio al filo diamantato) dalla perforazione impiegata come tecnologia autonoma.

La perforazione per il taglio vero e proprio costituisce la base di un metodo che fa impiego di esplosivo e che è noto con il nome di "splitting dinamico". Con questa tecnica si procede, inizialmente alla perforazione della roccia, eseguendo dei fori allineati e ad una certa distanza l'uno dall'altro. Successivamente, si ha l'impiego di esplosivo che viene disposto nei fori eseguiti in precedenza. L'esplosivo determina il superamento della resistenza a trazione della roccia, con rottura definitiva secondo superfici prescelte.

Per realizzare buoni distacchi e per un buon livello di efficienza del metodo è necessario che le facce diverse da quelle della linea di tiro siano libere: in caso contrario i distacchi generano una grande quantità di fratture che pregiudicano la compagine rocciosa.

Lo svantaggio di questa tecnica è il forte impatto ambientale che crea, inteso come rumorosità, vibrazioni e polveri e la poca precisa esecuzione del taglio del blocco il quale necessita inevitabilmente, in segheria, la perdita del crostone troppo irregolare per essere utilizzato. Non solo, la forte esplosione oltre a dividere la bancata dal resto dell'affioramento riattiva tutta una serie di vecchie fratture inficiando inevitabilmente il materiale e creando una zona di disturbo attorno all'esplosione.



**Figura 3-28** Miccia detonante nei fori.



**Figura 3-29** Volata per il taglio primario di una bancata di grandi dimensioni.

## **Il *flame-jet* (lancia termica o fiamma)**

Il principio di funzionamento del *flame-jet* si basa sull'azione provocata da una fiamma ad alta temperatura e proiettata su una prefissata linea di taglio. Il metodo sfrutta il differente valore del coefficiente di dilatazione termica che i vari minerali costituenti una roccia possiedono; indirizzando su di essa il getto del *flame-jet*, si produce una granularizzazione-scollamento della compagine rocciosa per uno spessore di circa 8-10 cm lungo il piano di taglio. Ciò determina, tra l'altro, profonde trasformazioni nella struttura della roccia stessa, che subisce una "vetrificazione", con perdita localizzata delle caratteristiche fisico-meccaniche ed ornamentali.



**Figura 3-30 Flame - jet.**



## La tagliatrice a filo diamantato

Il principio generale di funzionamento delle tagliatrici a filo diamantato è quello di incidere una roccia trascinando un dispositivo dinamico ad azione abrasiva. L'elemento tagliente è un filo diamantato, che viene disposto secondo un circuito chiuso attorno alla sezione da tagliare ed irrorato con acqua per il raffreddamento durante il taglio.



**Figura 3-32 Particolare del filo diamantato.**

La disposizione a circuito chiuso (o cappio) è resa possibile dalla preliminare perforazione di due fori intersecantisi entro ai quali il filo viene fatto passare, per poi essere chiuso ad anello.

Durante l'esecuzione del taglio il filo riceve e mantiene una tensione costante grazie alla progressiva traslazione in arretramento della macchina da cui riceve il moto, che può scorrere su binari ad



**Figura 3-33 Tagliatrice a filo diamantato in azione.**

essa sottostanti. Una tagliatrice può operare con tutte le angolazioni e secondo modalità variabili, in funzione del tipo di taglio da eseguire.

Attualmente è la tecnologia che permette la miglior resa di cava limitando la produzione di sfridi e svincolando la geometria della cava dai piani preferenziali utilizzati con lo *splitting* dinamico.

## **Altre tecnologie**

Esistono tuttavia altre tecnologie di minore diffusione e alcune ancora in fase sperimentale. Tra queste si ricordano il *water jet* e gli agenti chimici demolitori, come il "cemento ad espansione".

## 4. Materiali e metodi

### 4.1. *Prospezione e rilevamento*

#### 4.1.1. *Criteri per il rilevamento in campagna*

il rilevamento sulle rocce granitoidi delle aree di studio è stato condotto con criteri geologici, strutturali e petrografici applicabili sul terreno in conformità con quanto suggerito dalle norme per la stratigrafia e cartografia del cristallino (Pasquarè, 1992). I dati di laboratorio poi hanno contribuito a precisare e affinare le osservazioni di terreno.

L'analisi strutturale macro e mesoscopica, condotta seguendo la metodologia illustrata da Marre (1986), ha interessato tutti gli elementi planari e lineari identificabili ad occhio nudo a varie scale, dal singolo cristallo all'*enclave* di dimensioni metriche, fino a corpi caratterizzati da continuità di affioramento a scala cartografica.

Le informazioni sull'orientazione spaziale di questi elementi sono utili per la ricostruzione della geometria e dell'eventuale campo di stress che ha interessato una singola intrusione, sia durante la messa in posto che successivamente.

Tutte le misure sono state effettuate con una bussola da geologo "Suunto MC-2".

#### 4.1.2. *Analisi strutturale degli elementi planari e lineari presenti*

L'elemento planare che caratterizza alla scala macroscopica le intrusioni magmatiche è rappresentato da una foliazione primaria o superfici di fluidalità magmatica, evidenziata da una marcata orientazione degli elementi cristallini che si dispongono secondo le linee di flusso legate ai movimenti traslativi e/o convettivi all'interno del magma.

A scala dell'affioramento la fluidalità planare è determinata da :

- orientazione preferenziale dei piani (010) dei fenocristalli di k feldspato;
- orientazione dei piani (001) dei minerali femici quali biotite e anfiboli;
- piano perpendicolare alla direzione di massimo appiattimento degli *enclaves* di forma ellissoidale che si trovano all'interno della roccia.

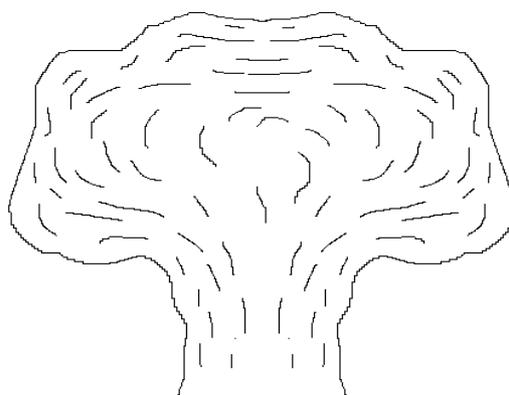
La loro individuazione e misurazione permettono di materializzare sull'affioramento le direzioni di flusso magmatico; l'origine di tali strutture infatti, nella maggior parte delle plutoniti, è dovuto alla presenza di veri e propri flussi magmatici all'interno della massa intrusiva quando essa è ancora allo stato fluido ma in coesistenza con alcuni cristalli; tali cristalli tendono a disporsi con il proprio asse [c] parallelamente alla direzione di flusso.

Associata alla fluidalità magmatica è presente una fluidalità lineare caratterizzata dall'allineamento o disposizione preferenziale o di singole specie mineralogiche o di aggregati mineralogici o di *enclaves* che si dispongono sul piano della foliazione magmatica stessa in *schlierens* o in fili più o meno continui ma paralleli, individuando così la direzione di flusso della massa in posto del plutone.

Queste strutture fluidali, definite come delle discontinuità penetrative, risultano indispensabili per determinare:

- Modalità di messa in posto del plutone;
- Rapporti tra i vari corpi intrusivi;
- Inquadramento regionale dell'evento magmatico.

Ogni plutone ha la sua evoluzione di messa in posto: l'analisi tridimensionale di un plutone granitico per esempio, mette in risalto una diversificata distribuzione della fluidalità magmatica. In una sezione ideale di un plutone, la fluidalità magmatica è subverticale nel condotto di risalita, suborizzontale nelle parti apicali (o nelle parti laterali al condotto) e variamente inclinata nelle parti laterali.



**Figura 4-1 Fluidalità magmatica all'interno di un plutone ideale.**

Fondamentale è poi individuare i rapporti fra fluidalità magmatica e il contatto fra le diverse litofacies presenti. Ad esempio, nel caso di due *facies* magmatiche differenti dal punto di vista tessiturale ma con una fluidalità magmatica che è comune ed attraversa il contatto fra le due *facies* stesse, si può ipotizzare una contemporaneità di messa in posto delle due *facies*.

I rapporti fra plutone e roccia incassante, infine, rivelano spesso delle connessioni. La definizione dei rapporti fra le strutture che caratterizzano i due diversi domini permettono di ricostruire la storia di messa in posto della roccia magmatica. Ad esempio plutoni geometricamente discordanti con il *trend* della foliazione regionale presente nell'incassante, a chimismo particolare (leucograniti) e senza una fluidalità magmatica ben espressa, rappresentano plutoniti tardive.

Tra gli elementi caratterizzanti, particolare attenzione è stata dedicata alla presenza, quantità e forma degli *enclaves*. Dal punto di vista strutturale, il loro comportamento reologico è simile a quello della roccia incassante pertanto tendono a disporsi secondo le strutture di flusso magmatico, costituendo in tal modo un ottimo *marker* strutturale. Le loro forme generalmente ellittiche (appiattite e/o allungate) consentono di determinare il tipo e l'intensità della deformazione magmatica (Ramsay, 1989). La direzione dell'asse maggiore degli inclusi è

sempre isorientato secondo le strutture di flusso e consente di determinare la direzione della fluidalità lineare.

Infine, altra anisotropia particolarmente presente nei graniti studiati, è una microfratturazione in alcuni casi ben espressa e macroscopicamente visibile (Giallo San Giacomo). Tale microfratturazione è stata interpretata come un'importante anisotropia soprattutto per fini applicativi in quanto si è visto che tale piano ha importanti correlazioni con le proprietà fisico-meccaniche della roccia.

## **4.2. Caratterizzazione dei lapidei e normativa**

Le proprietà tecniche citate nel paragrafo 3.3, sono valutabili quantitativamente attraverso delle prove standard redatte da enti di normazione.

Di seguito si riporta una limitata lista delle più comuni. Tra parentesi è riportata la relativa norma che descrive il test da eseguire per valutare ogni proprietà.

Proprietà fisiche:

- Composizione mineralogica + tessitura (UNI EN 12407)
- Massa volumica reale o apparente (EN 1936)
- Porosità reale o apparente (EN 1936)
- Coefficiente di imbibizione (UNI EN 13755)
- Assorbimento per capillarità (EN 1925)
- Resistenza al gelo/disgelo (UNI EN 12371)
- Resistenza agli shock termici (UNI EN 14066)
- Resistenza all'alterazione chimica (UNI EN 13919 – UNI EN 12370)
- Variazione lineare termica (UNI EN 14581)

Proprietà meccaniche:

- Resistenza alla flessione (UNI 9724/5-90 - EN 12372)
- Resistenza alla compressione (EN 1926)
- Resistenza all'urto (UNI EN 14158)
- Resistenza all'usura (UNI EN 14157)
- Microdurezza (UNI EN 14205)
- Modulo elastico (UNI EN 14146)

Tutte le prove citate tra parentesi sono frutto della standardizzazione, un unico metodo accettato da più nazioni per valutare una determinata proprietà. La standardizzazione consente

infatti di valutare le proprietà fondamentali dei materiali secondo delle procedure definite che quantifichino le proprietà in modo univoco e che diano quindi dei parametri di riferimento abbastanza rigorosi per il controllo della qualità di un materiale da immettere sul mercato.

Gli organismi preposti alla standardizzazione sono diversi e ognuno può produrre delle norme (normazione) proprie, oppure recepirne da altri organismi superiori.

L'attività di normazione si sviluppa infatti su tre livelli:

- Internazionale (ISO)
- Europeo (CEN)
- Nazionale (BS, AFNOR, UNI etc )

Il CEN (*the European Committee for Standardization*), fondato nel 1961, è l'ente di normazione Europeo di riferimento. Al suo interno sono presenti vari comitati tecnici che si occupano di diversi settori. I Comitati tecnici del CEN coinvolti nel settore dei materiali lapidei sono quattro:

- il **CEN/TC 125** "*Murature*" il cui gruppo di lavoro 1 ha un *task group* (TG 6) che si occupa di prodotti di pietra naturale per murature;
- il **CEN/TC 128** "*Prodotti per coperture discontinue*" la cui sottocommissione 8 tratta le ardesie;
- il **CEN/TC 178** "*Elementi per pavimentazioni esterne e cordoli*" il cui gruppo di lavoro 2 si occupa di prodotti di pietra naturale;
- il **CEN/TC 246** "*Pietre naturali*" che si occupa di tutti gli altri prodotti da costruzione di pietra (rivestimenti interni ed esterni, pavimentazioni interne e scale, marmette modulari e lavori a massello) e il suo gruppo di lavoro congiunto con il CEN/TC 229 (JWG 229/246) che si occupa di lapidei agglomerati.

Il CEN elabora le norme "EN" (ad es. EN 1926).

L'UNI, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, è l'ente di normazione nazionale di riferimento.

L'UNI può produrre delle norme proprie o recepirle da altri enti superiori (ad es. UNI-EN 1926)

In Italia è presente anche un altro ente di normazione, il NORMAL (Normativa Materiali Lapedei), istituito nel 1978 dall'Istituto Centrale per il Restauro (Ministero per i Beni Culturali e Ambientali) e il Consiglio Nazionale delle Ricerche, con il compito di definire i materiali e i metodi per il trattamento di conservazione dei materiali lapidei. Il NORMAL, dunque, più che caratterizzare un lapideo da mettere in opera si occupa di materiali già in opera.

### **4.3.    *Analisi minero - petrografica***

Lo studio e la descrizione minero - petrografica dei lapidei è importante non solo ai fini di una loro classificazione ma anche per comprendere le caratteristiche microtessiturali e microstrutturali che influenzano il loro comportamento chimico, fisico e meccanico.

Per l'analisi minero - petrografica si è fatto riferimento alla norma UNI EN 12407:2001 "Metodi di prova per pietre naturali. Esame petrografico".

L'analisi è stata svolta inizialmente sui campioni a mano sui quali è stata effettuata un'osservazione e una descrizione ad occhio nudo e con l'ausilio di uno stereomicroscopio (WILD HEERBRUGG / 6x - 50x). Dai campioni sono state poi realizzate una o più sezioni sottili con orientazioni casuali oppure orientate a 0° e a 90° gradi rispetto ad anisotropie riconosciute. Le sezioni sottili sono state esaminate attraverso un microscopio polarizzatore da petrografia (LEITZ LABORLUX 12 POL S 4X, 10X, 50X, 100X).

Di ciascuna sezione esaminata sono state osservate la struttura, la grana, la tessitura, i minerali costituenti, loro percentuale e le discontinuità quali pori o microfratture.

E' stata poi effettuata attraverso il tavolino traslatore e conta punti, l'analisi modale di ogni campione.

### **4.4.    *Analisi delle orientazioni cristallografiche preferenziali***

Uno dei litotipi analizzati presentava macroscopicamente una tessitura isotropa priva di qualsiasi *Shape Preferred Orientation* ben espresso. Contemporaneamente era però possibile osservare un'ubiquitaria microfratturazione pervasiva presente in tutto il plutone ed assente nell'incassante. Al fine di indagare dunque una probabile anisotropia microstrutturale si è effettuata la misura dell'orientazione preferenziale degli assi [c] del quarzo su alcune sezioni sottili.

Tale misura è stata effettuata con l'ausilio dell'*Universal Stage* a quattro assi, su alcune sezioni sottili prelevate sia dal bordo che dal centro del plutone. Una volta ottenuti i dati, questi sono stati "plottati" su un diagramma con l'ausilio di programmi di *contouring* specifici.

Tale orientazione preferenziale è stata poi messa in relazione con le anisotropie o le strutture riconosciute (microfratturazione, fluidalità magmatica etc).

### **4.5.    *Analisi di facies***

Per ogni campione è stata eseguita una scansione digitale ad alta risoluzione di un provino cubico di 7 cm di lato rappresentativo.

La scansione è stata effettuata bagnando l'interfaccia tra provino e *scanner* in modo da avere una migliore resa cromatica nell'acquisizione.

Le immagini digitali ottenute sono state poi studiate e confrontate tra loro e sono risultate molto utili per verificare eventuali variazioni cromatico - tessiturale tra i materiali estratti nelle diverse cave.

#### **4.6.     *Analisi chimica***

Da alcuni campioni rappresentativi sono state realizzate delle polveri riducendo inizialmente la granulometria tramite un granulatore RETSCH BB51. In seguito con l'utilizzo di un mortaio d'agata, e successivamente con in un mulino a sfere, si sono realizzate le polveri. Queste ultime sono state poi inviate all' "*Activation Laboratories Ltd*" presso Ancaster (Ontario).

Sia del granito Giallo San Giacomo che del granito Rosa Beta è stata richiesta un'analisi in plasma massa (ICP) degli ossidi maggiori. Solo per il granito Giallo San Giacomo sono state anche richieste le terre rare e gli elementi in tracce.

#### **4.7.     *Analisi in microscopia elettronica a scansione (SEM) e in spettrometria per dispersione di energia (EDS)***

Le analisi in microscopia elettronica a scansione (SEM) e in spettrometria per dispersione di energia (EDS) sono state eseguite su un apparecchio JEOL JSM-5600LV dotato di OXFORD – INCA 200 presso il Centro di Conservazione e Restauro di Li Punti (Sassari), della Soprintendenza per i beni archeologici. I campioni sono stati analizzati sia tal quali che previa metallizzazione con grafite. E' stato così possibile effettuare delle osservazioni morfologiche e delle analisi di composizione chimica, attraverso le mappe degli elementi.

#### **4.8.     *Metodologie geologico – applicative di caratterizzazione fisico – meccanica***

Di seguito sono descritte le metodologie previste dalle recenti normative utilizzate per la caratterizzazione fisico-meccanica dei litotipi studiati.

Tutti i campioni sono stati tagliati e sagomati in funzione della tipologia delle prove da eseguire.

Per la determinazione della resistenza a flessione, sono stati sagomati provini aventi forma prismatica con dimensioni 12×3×2 cm. Per tutte le altre prove invece, sono stati realizzati dei provini di forma cubica di 7 cm di lato.

Tutti i provini sono stati tagliati ortogonalmente alla microfratturazione che si è visto essere l'anisotropia più importante nei litotipi studiati.

#### **4.8.1. Massa volumica apparente (UNI EN 9724/2)**

La massa volumica apparente è il rapporto, espresso in g/cm<sup>3</sup> o Kg/m<sup>3</sup>, tra la massa del campione secco ed il volume apparente, cioè il volume comprensivo dei pori delimitato dalla superficie esterna (UNI EN 12670) di provini con una forma geometrica.

La massa volumica apparente di una roccia è correlata al peso specifico dei suoi componenti minerali, tenendo conto delle proporzioni in cui entrano a costituirla. Essa fornisce un'indicazione di massima della compattezza di una roccia.

Dopo la sagomatura, i provini vengono lavati in acqua deionizzata per eliminare eventuali residui di segazione. In seguito vengono posti in stufa a 110 °C fino al raggiungimento della massa costante, cioè quando la differenza fra due pesate successive, ad un intervallo di 24 ore, non è risultata maggiore dello 0,1% della massa del provino. La forma geometrica e prismatica permette di determinare il volume in modo geometrico (l x l x l).

La massa volumica apparente viene dunque calcolata secondo la seguente formula:

$$\gamma = \frac{P}{V}$$

dove:

P è la massa del campione secco, espressa in grammi o kilogrammi;

V è il volume del campione comprensivo di pori, espresso in cm<sup>3</sup> o m<sup>3</sup>.

La prova è stata effettuata su 6 provini (nonostante la norma ne richieda solo due) di 7 cm di lato per ogni campione, tenendo conto poi del valore medio.

Secondo Primavori (1997), in base alla massa volumica apparente, possono essere istituite le seguenti categorie:

- rocce molto leggere:  $\gamma < 1$  (es. pomici)<sup>4</sup>
- rocce leggere:  $1,0 < \gamma < 1,5$  (es. travertino poroso)
- rocce di peso medio:  $1,5 < \gamma < 2,5$  (es travertino compatto, calcari teneri, arenarie)
- rocce pesanti:  $2,5 < \gamma < 3,0$  (es calcari compatti , calcari saccaroidi cristallini, graniti, gneiss)
- rocce molto pesanti:  $\gamma > 3,0$  (es peridotiti, basalti, dolerti)

---

<sup>4</sup>  $\gamma$  calcolato in g/cm<sup>3</sup>

#### **4.11.2. Determinazione dell'assorbimento d'acqua a pressione atmosferica (UNI EN 13755:2002)**

La determinazione dell'assorbimento d'acqua a pressione atmosferica è stata effettuata seguendo la norma UNI EN 13755:2002.

La presente norma europea specifica un metodo per la determinazione dell'assorbimento d'acqua delle pietre naturali mediante l'immersione in acqua a pressione atmosferica

Questa prova fornisce indicazioni sulla compattezza della roccia e sulla durezza della stessa in condizioni ambientali normali e nei casi di contatto prolungato con acque meteoriche o terreni umidi. L'introduzione di acqua nei lapidei è infatti uno dei meccanismi maggiormente responsabili del degrado dei materiali.

La prova consente di definire la capacità di imbibizione, ossia la massima quantità di acqua assorbita dal materiale riferita al peso del campione essiccato a fine prova.

Con i valori ottenuti si costruisce una curva di imbibizione riportando in ordinate la media della quantità d'acqua assorbita e in ascisse il tempo espresso in ore.

Per ogni campione sono stati selezionati 6 provini di forma cubica di 7 cm di lato ottenuti per mezzo di segatura a lama diamantata. I provini sono stati essiccati fino al raggiungimento di una massa costante ad una temperatura di  $(70 \pm 5)$  °C. I provini sono stati mantenuti in forno fino al raggiungimento della temperatura ambiente di  $20 \pm 5$  °C.

Dopo essiccazione, i provini sono stati pesati e posizionati in un contenitore su dei supporti inossidabili di materiale plastico, ad una distanza di almeno 20 mm tra loro.

Al tempo  $t_0$  è stata aggiunta acqua di rubinetto fino a metà altezza dei provini.

Al tempo  $t_0 + (60 \pm 5)$  minuti è stata aggiunta acqua di rubinetto fino a quando il livello dell'acqua ha raggiunto i tre quarti di altezza dei provini.

Al tempo  $t_0 + (120 \pm 5)$  minuti è stata aggiunta acqua di rubinetto fino ad immergere completamente i provini ad una profondità d'acqua di  $(25 \pm 5)$  mm.

Al tempo  $t_0 + (48 \pm 2)$  ore i provini sono stati estratti dall'acqua, strofinati velocemente con un panno umido e pesati entro 1 minuto con accuratezza di 0,01g.

I provini sono stati poi immersi nuovamente in acqua per continuare la prova e la misura è stata ripetuta ogni  $(24 \pm 2)$  ore.

La prova si è considerata terminata una volta raggiunta una massa costante, ovvero quando la differenza tra due pesate successive non è stata maggiore dell'1 % della massa del provino.

Il risultato dell'ultima pesatura è la massa del provino saturato ( $m_s$ ).

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

$$A_b = [(m_s - m_d) / m_d] \cdot 100$$

dove:

$m_d$  = massa del provino essiccato, espresso in grammi;

$m_s$  = massa del provino saturato (raggiungimento massa costante), espresso in grammi.

#### **4.11.3. Determinazione della porosità aperta**

Secondo le definizioni contenute nella norma UNI EN 12670, si definisce "porosità aperta" (Pa) il rapporto (espresso come percentuale) fra il volume dei pori aperti e il volume apparente del provino.

La porosità aperta è costituita dai pori comunicanti con l'esterno della roccia ed è quella più importante nell'assorbimento d'acqua da parte dei lapidei posti in opera.

Nel presente lavoro la porosità aperta è stata calcolata in maniera indiretta a partire dai dati della prova precedente (assorbimento d'acqua) e tenendo conto della seguente approssimazione:

$$1\text{g acqua} = 1\text{cm}^3 \quad (1\text{L}=1\text{Kg})$$

Posto

$v_a$  il volume dei pori aperti;

$v_c$  il volume dei pori chiusi;

$V$  il volume apparente

si può infatti definire

$$\text{porosità aperta} = v_a / V \times 100$$

$$\text{porosità totale} = (v_a + v_c) / V \times 100$$

#### **4.11.4. Determinazione dell'assorbimento d'acqua per capillarità (UNI EN 1925:2000)**

La determinazione del coefficiente di assorbimento d'acqua per capillarità è stata effettuata prendendo come riferimento la norma UNI EN 1925:2000.

La prova di assorbimento d'acqua per risalita capillare consente di determinare la quantità d'acqua assorbita, per unità di superficie in funzione del tempo e a pressione e temperatura ambiente, da un campione avente la sola superficie di base in contatto con acqua deionizzata.

Sono stati utilizzati sei provini di forma cubica di 7 cm di lato, i quali sono stati essiccati e portati a massa costante in una stufa alla temperatura di circa 70°. Dopo essiccazione, i

provini sono stati pesati con un'accuratezza di 0,1 g e sono stati poggiati su supporti in materiale plastico e inossidabile all'interno di un contenitore munito di coperchio (per evitare l'evaporazione dei provini umidi), dopo aver preliminarmente calcolato l'area, espressa in metri quadrati, della base da immergere.

La base dei provini è stata immersa per una profondità di  $3 \pm 1$  mm ed il livello è rimasto costante per tutta la durata della prova, con eventuali aggiunte di acqua durante l'esecuzione della prova.

Ad intervalli di tempo, inizialmente molto vicini, poi più distanti, ogni provino è stato estratto dall'acqua e, dopo aver tamponato con un panno umido la base immersa, è stato pesato immediatamente ed infine riposto nel contenitore.

Anche in questo caso la prova richiede 6 provini ma, qualora fosse presente una qualsiasi anisotropia (fluidalità magmatica, foliazione, stratificazione, fratturazione etc), è necessario utilizzare 6 provini da testare con anisotropia perpendicolare alla superficie dell'acqua e 6 provini con anisotropia parallela alla superficie dell'acqua, per un totale di 12 provini.

La scelta dei tempi di misura è stata di 30', 90', 330', 1440' (24h), 2880' (48h), 4320' (72h). La prova si è considerata terminata quando la differenza tra due pesate successive non è stata maggiore dell'1 % della massa dell'acqua assorbita dal provino.

Il coefficiente di assorbimento d'acqua per capillarità è stato espresso mediante la seguente formula che mette in relazione la massa d'acqua assorbita per unità di superficie e la radice quadrata del tempo:

$$C_1 \text{ o } C_2 = (m_i - m_d) / (A \cdot \sqrt{t_i})$$

Dove

$m_i$  = masse successive del provino durante la prova, in grammi

$m_d$  = massa del provino secco, in grammi

$A$  = area della faccia immersa in acqua, in metri quadrati

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

$C_1$  = coefficiente di assorbimento d'acqua per capillarità perpendicolare ai piani di anisotropia della pietra, in grammi per metro quadrato per radice quadrata di secondi;

$C_2$  = coefficiente di assorbimento d'acqua per capillarità parallelo ai piani di anisotropia della pietra, in grammi per metro quadrato per radice quadrata di secondi.



**Figura 4-2** Cubetti di Giallo San Giacomo durante la prova di determinazione dell'assorbimento d'acqua per capillarità.

#### **4.11.5. Determinazione della resistenza a compressione semplice (UNI 1926:2000)**

La determinazione del carico di rottura a compressione semplice è una delle prove più utilizzate sulle rocce e, anche se oggi la funzione di rivestimento prevale su quella strutturale, questa prova fornisce ancora un parametro di massima importanza in tutte quelle situazioni di sollecitazione con notevoli carichi permanenti. Tale prova consente di verificare la resistenza a compressione semplice dei materiali lapidei, sottoponendo i relativi provini ad un carico uniformemente distribuito ed incrementato fino alla loro rottura.

Per la determinazione della resistenza a compressione semplice si è fatto riferimento alla norma UNI EN 1926:2000.

Si sono utilizzati anche in questo caso provini cubici di 7 cm di lato. Il valore medio della dimensione dello spigolo deve essere utilizzato per calcolare l'area della sezione trasversale (mm). Anche in questo caso, dopo la sagomatura, i provini sono stati lavati con abbondante acqua deionizzata, per eliminare eventuale materiale residuo, ed essiccati in stufa a circa 70°C fino al raggiungimento di massa costante.

La norma prevede l'utilizzo di 6 provini ma, qualora fosse presente una qualsiasi anisotropia (fluidalità magmatica, foliazione, stratificazione, fratturazione etc ), è necessario utilizzare 6 provini da testare con carico perpendicolare all'anisotropia e 6 provini con carico parallelo, per un totale di 12 provini.

Per l'esecuzione della prova è stata utilizzata una pressa meccanica universale rigida con velocità di applicazione del carico costante di 1,7 MPa/s.

La resistenza a compressione uniassiale "R" di ogni provino viene espressa dal rapporto fra il carico di rottura del provino e l'area della sezione trasversale misurata prima della prova, per mezzo dell'equazione

$$R = F/A$$

dove:

R è la resistenza a compressione uniassiale del provino, espressa in MPa;

F è il carico a rottura del provino, espresso in N;

A è l'area della superficie portante del provino, espressa in mm<sup>2</sup>.

Il risultato viene espresso in MegaPascal (MPa).



**Figura 4-3 Pressa per la determinazione della resistenza a compressione semplice.**

#### **4.11.6. Determinazione della resistenza a flessione (UNI 9724/5:1990)**

La prova consente di determinare la resistenza a flessione sotto carico concentrato, sottoponendo i provini ad un carico incrementato uniformemente fino a loro rottura. Esprime la resistenza che le rocce oppongono alle forze che tendono ad incurvarle.

Le prove sono state eseguite in base alle indicazioni della norma UNI 9724/5:1990.

I provini utilizzati, aventi lunghezza pari a 12 cm, altezza 3 cm e larghezza 2 cm, dopo la loro sagomatura sono stati lavati con abbondante acqua deionizzata per eliminare eventuale materiale residuo ed essiccati in stufa a circa 70°C fino al raggiungimento della massa costante.

Per l'esecuzione della prova è stata utilizzata una macchina Controls Modello 65-L 1300 munita di una pressa meccanica da 25 kN con velocità di applicazione del carico costante, pari a 0,5 MPa/s fino a rottura del provino.

I provini sono stati posti centralmente sui due coltelli d'appoggio e caricati progressivamente in mezzzeria da un altro coltello detto "coltello di carico".

La resistenza a flessione è stata fornita direttamente dal software che gestisce la macchina ed espressa in MPa.

Anche in questo caso, quando possibile, sono stati testati provini con microfratture parallele e perpendicolari al carico al fine di verificare un eventuale influenza delle anisotropie sul comportamento meccanico della roccia.



**Figura 4-4** Lastrina sulla pressa per la determinazione della resistenza a flessione.

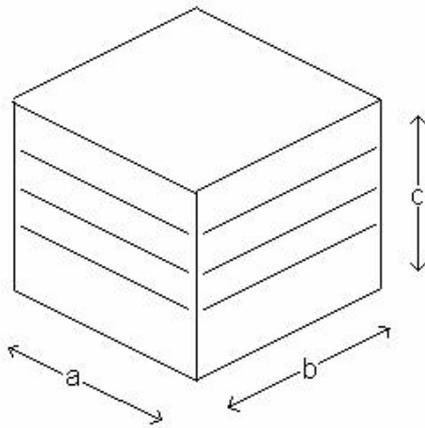
#### **4.11.7. Determinazione della velocità di onde ultrasoniche**

La prova consente di registrare il tempo che le onde ultrasoniche impiegano nell'attraversare il provino; tale dato è correlabile alla compattezza del materiale ed alle eventuali discontinuità presenti al suo interno. A tale scopo è stata utilizzato un generatore di ultrasuoni CONTROLS 58-E0048 a 54 kHz dotato di una coppia di trasduttori i quali registrano il tempo  $t$  che intercorre tra l'emissione e la ricezione del segnale sonoro che attraversa il provino.

Le prove ultrasoniche sono state effettuate su uno o più provini cubici di ogni campione con lato di 7 cm. Dopo il taglio i campioni sono stati accuratamente lavati in acqua deionizzata per eliminare eventuali residui polverulenti. Per garantire una migliore aderenza dei trasduttori ai

provini, prima delle prove le loro superfici sono state cosparse di un sottile strato di gel idrosolubile (Idrosonic). Inoltre, al fine di isolare il provino dal tavolo di lavoro si è utilizzato un supporto di gommapiuma sul quale appoggiare il provino. Una volta applicato il gel sui trasduttori e posizionato il provino sul rialzo di gommapiuma, sono stati premuti i due trasduttori contro il provino esercitando una certa pressione fino alla stabilizzazione del valore riportato sul monitor del generatore.

Lo stesso procedimento è stato eseguito per le 3 direzioni dei cubetti, chiamando "a" e "b" le direzioni parallele alle anisotropie e "c" la direzione perpendicolare (Figura 4-5).



**Figura 4-5 Nomenclatura direzioni testate.**

capillarità e compressione uniassiale.

Una volta annotati i tempi, questi vengono rapportati al lato del provino per ottenere una velocità espressa in m/s.

Le misure sono state effettuate lungo le tre direzioni dello spazio (denominate a, b, c) dei cubetti.

La prova agli ultrasuoni ha evidenziato chiaramente la presenza di anisotropie nei litotipi esaminati. Grazie a questa prova è stato possibile individuare le anisotropie anche in quei campioni macroscopicamente isotropi, privi di microfratture e di fluidalità magmatica evidente. Questa anisotropia è stata poi segnata sui cubetti e sfruttata nelle prove direzionali di assorbimento per

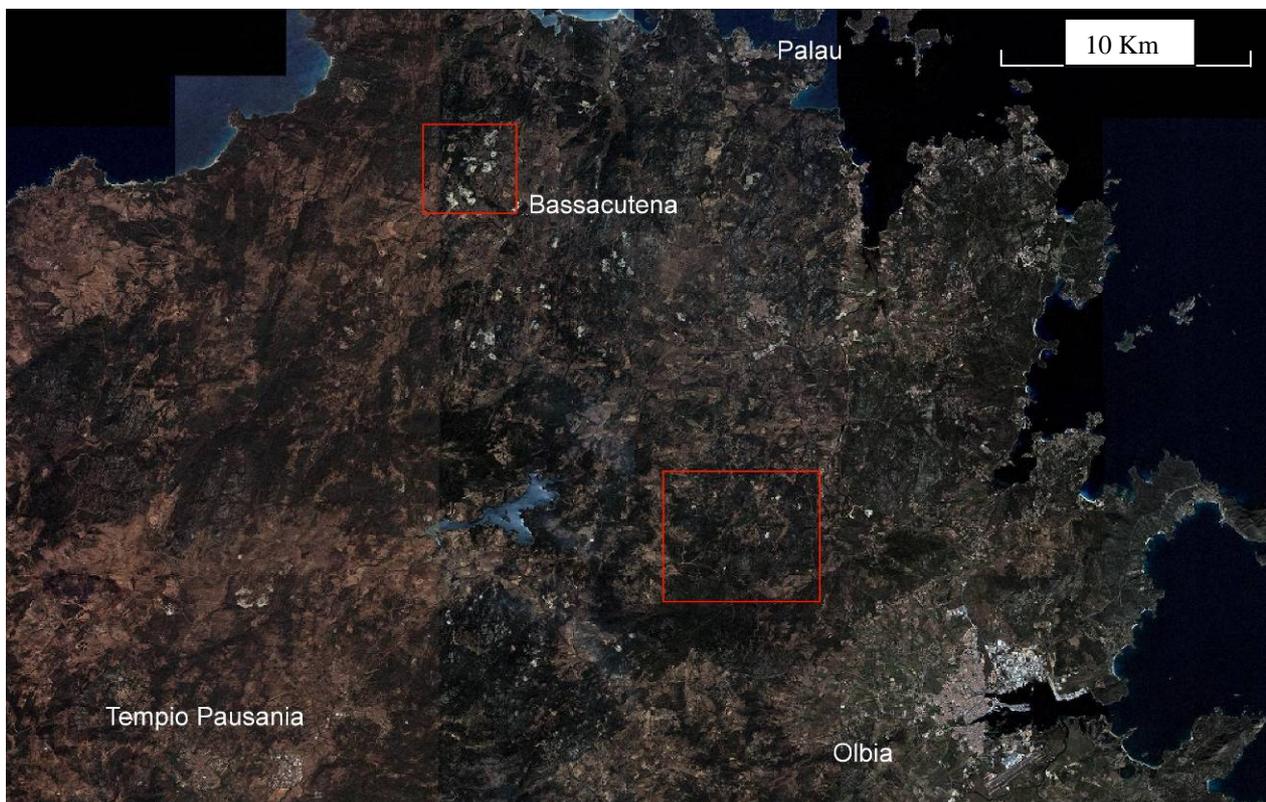
## 5. Aree di studio

Nel presente lavoro si è scelto di analizzare un particolare litotipo, il Giallo San Giacomo, estratto industrialmente da circa un decennio e che ha avuto negli ultimi anni un trend economico decisamente positivo per via della forte richiesta di questo prodotto sul mercato.

Visto il recente ingresso di questo litotipo nel mercato dei lapidei, non esistevano studi di carattere geotecnico a riguardo. Proprio per questo si è deciso di effettuare uno studio dettagliato delle caratteristiche fisico-meccaniche di questo lapideo. Si sono inoltre analizzate, con criteri giacimentologici e geologico-strutturali, le cave interessate dall'estrazione di questo litotipo al fine di mettere in luce eventuali variazioni tra i prodotti estratti nelle varie cave identificate e di individuare nuovi potenziali giacimenti di questa georisorsa.

Questo prodotto, ed i dati delle prove fisico-meccaniche ottenute, sono stati poi messi a confronto con quelli di un litotipo sardo di natura granitoide, il Rosa Beta, particolarmente diffuso nel mercato nazionale ed internazionale ed estratto da diversi decenni in numerose cave nel nord dell'isola, studiato parallelamente nella seconda area di studio.

Le due aree di studio individuate dunque sono state quelle interessate dall'estrazione del granito Giallo San Giacomo e del granito Rosa Beta.



**Figura 5-1** Foto satellitare Sardegna NE. In rosso le aree di studio. Si osservino i siti di cava (macchie bianche)

**ben visibili nei pressi di Bassacutena.**

## 5.1. Giallo San Giacomo

Il granito Giallo San Giacomo è un leuco-monzogranito estratto nel nord Sardegna caratterizzato da una colorazione particolarmente calda e omogenea rispetto agli altri graniti estratti nell'isola e per questo recentemente molto apprezzata nel settore edile sia per usi interni che esterni.



Figura 5-2 Colonne realizzate in granito Giallo San Giacomo.



Figura 5-3 Camino realizzato in Granito Giallo San Giacomo.

Il nome del lapideo prende origine dalla località in cui sono ubicate le cave, appunto San Giacomo, una piccola frazione del comune di S. Antonio di Gallura.

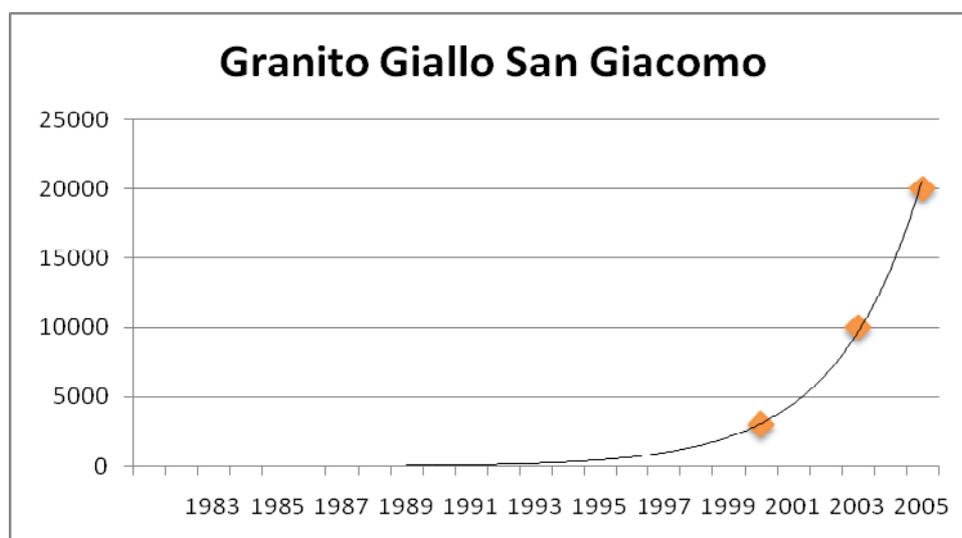


Figura 5-4 Trend economico del granito Giallo San Giacomo. Si noti la forte richiesta di questo litotipo a partire dagli anni 2002-2003.

Stefano Cuccuru – Studio geologico strutturale dei graniti idi varisici come lapidei ornamentali: problematiche inerenti la caratterizzazione, la coltivazione dei giacimenti e nuovi utilizzi in campo industriale. – Tesi di dottorato in Scienza e tecnologia dei minerali e delle rocce di interesse industriale – università di Sassari.

Come mostra il grafico<sup>5</sup> in Figura 5-4, il granito Giallo San Giacomo ha risentito positivamente delle recenti tendenze del mercato dei lapidei. Ultimamente infatti si è assistito ad una forte richiesta di prodotti monocromatici e omogenei. Tra questi, i lapidei gialli rivestono un ruolo di grande importanza. Il pregio di questi ultimi poi risiede, oltre che nella loro peculiare colorazione, nella relativa scarsità geologica, specie nel caso di alcune varietà.

E' doveroso sottolineare che il Giallo San Giacomo non è l'unico lapideo granitoide giallo estratto in Sardegna. Esiste infatti, tra i lapidei estratti e commercializzati, anche il Giallo Sardo. E' un lapideo granitoide estratto da diversi anni in una piccola cava nei pressi del fiume Taloro, tra i paesi di Ovodda e Gavoi, dove viene sfruttato il cappellaccio di un affioramento granitico. La cava però non produce blocchi ma solo cantonetti a spacco e soddisfa la richiesta del solo mercato locale.

### 5.1.1. Inquadramento geografico dell'area di studio

L'area di studio è stata individuata inizialmente identificando tutte le cave interessate dall'estrazione del granito Giallo San Giacomo e poi estesa in modo da comprendere l'intero corpo intrusivo del San Giacomo.

Complessivamente, l'area studiata ha un'estensione di 72 Km<sup>2</sup> circa e ricade nella Carta d'Italia in Scala 1:25000 nei foglio 427 (sez II Luogosanto), 428 (sez III Arzachena), 444 (sez IV Olbia ovest) e 443 (sez I Calangianus). Attraversa i territori comunali di Luogosanto, S. Antonio di Gallura e Olbia e comprende per intero il polo estrattivo di Muddizza Piana (Figura 5-5).

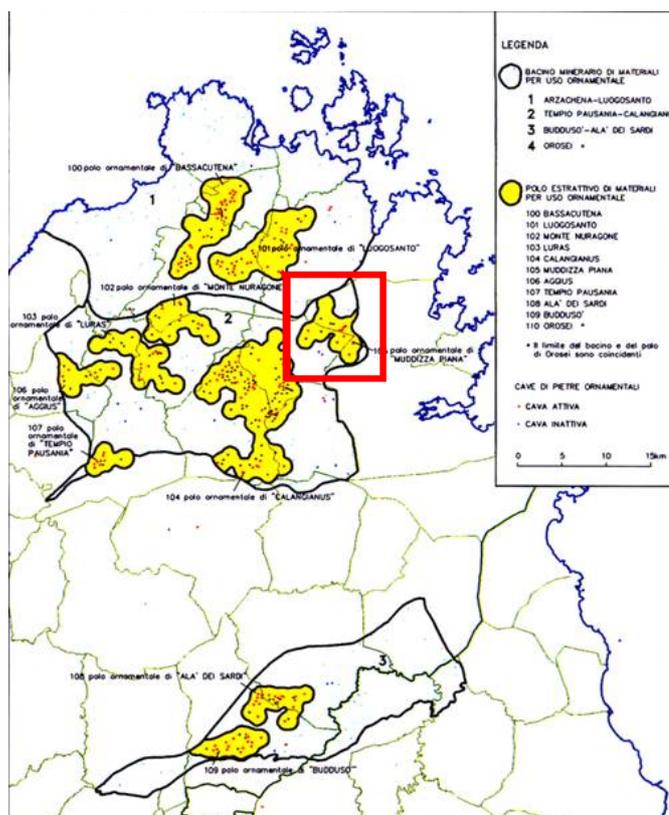


Figura 5-5 In rosso, il polo estrattivo di "Muddizza Piana" all'interno del quale viene estratto il granito Giallo San Giacomo.

<sup>5</sup> I dati economici sono frutto dell'incrocio di dati ufficiali (P.R.A.E.) e di ricerche personali attuali e pregresse dell'autore.

## 5.2. Rosa Beta

Come già esposto nel paragrafo 3.6, il Rosa Beta costituisce il lapideo prevalentemente estratto all'interno del bacino minerario omonimo (Bacino del Rosa Beta – Arzachena-Luogosanto), costituito a sua volta dai due poli estrattivi di Bassacutena e Luogosanto.

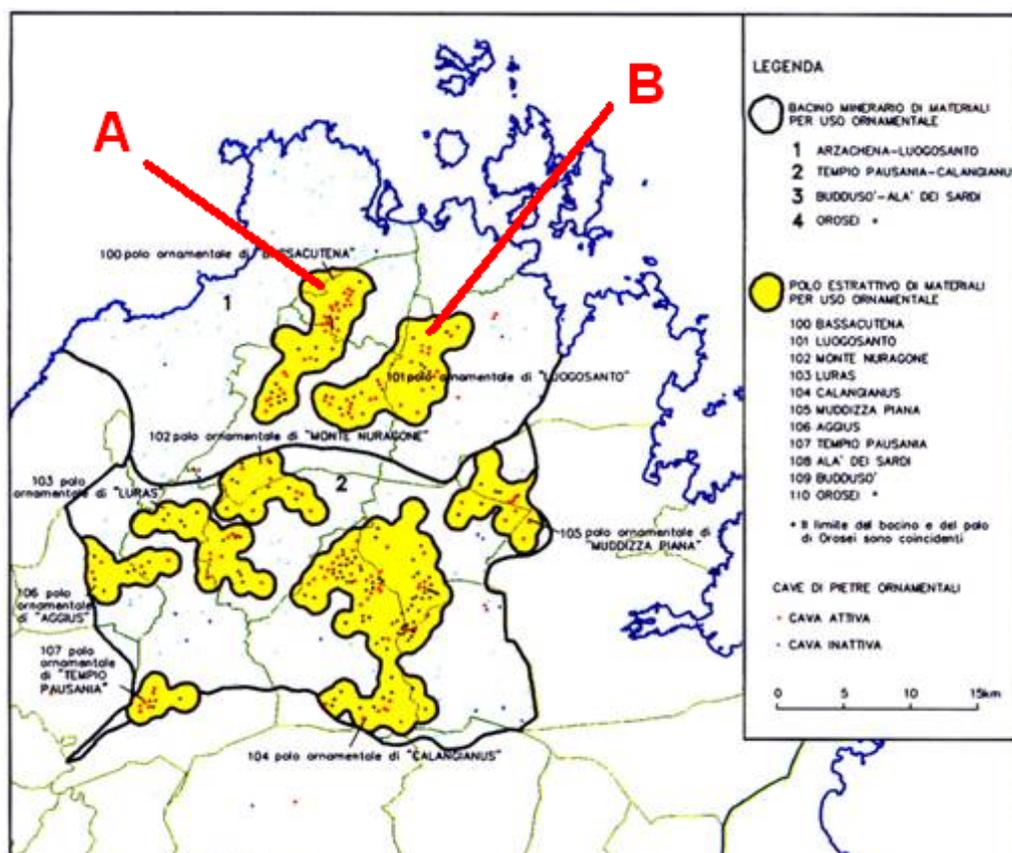


Figura 5-6 Bacini minerari e Poli estrattivi del Nord Sardegna. Polo estrattivo di Bassacutena (A) e Polo estrattivo di Luogosanto (B). Da Guida alle pietre ornamentali, AA.VV.

Il Rosa Beta è un lapideo estratto da diversi decenni ed attualmente è l'unico di origine granitoide, insieme al Giallo San Giacomo, ad avere un trend economico positivo nonostante la crisi degli ultimi 10 anni subita dal mercato dei lapidei.

Questo lapideo ha sempre avuto una fetta di mercato importante sia nei mercati nazionali che internazionali. Numerose sono infatti le opere di grande interesse realizzate utilizzando questo litotipo. Un esempio di un suo importante utilizzo è stata la recente pavimentazione nel *terminal* delle partenze nazionali dell'aeroporto di Fiumicino (Figura 5-7).

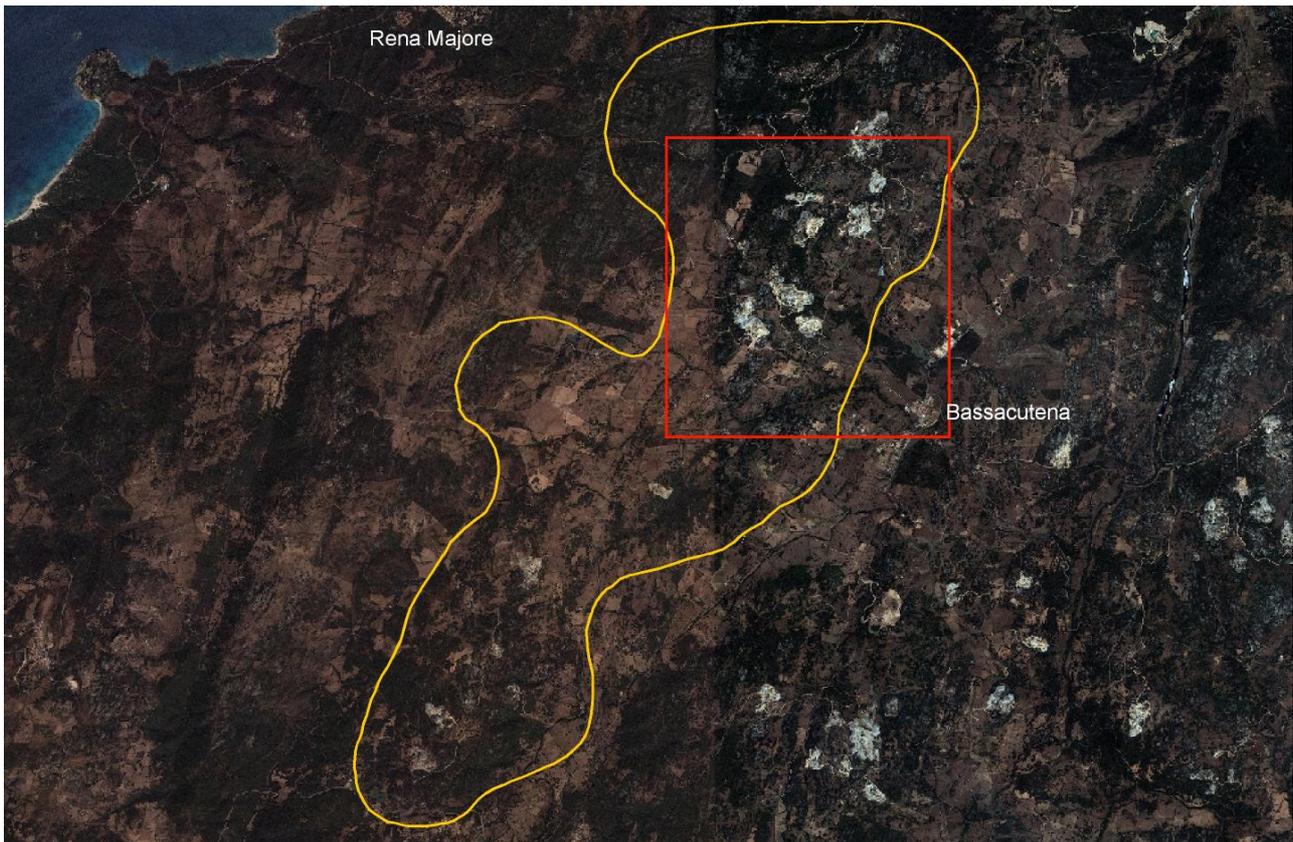


**Figura 5-7 Pavimentazione aeroporto Fiumicino.**

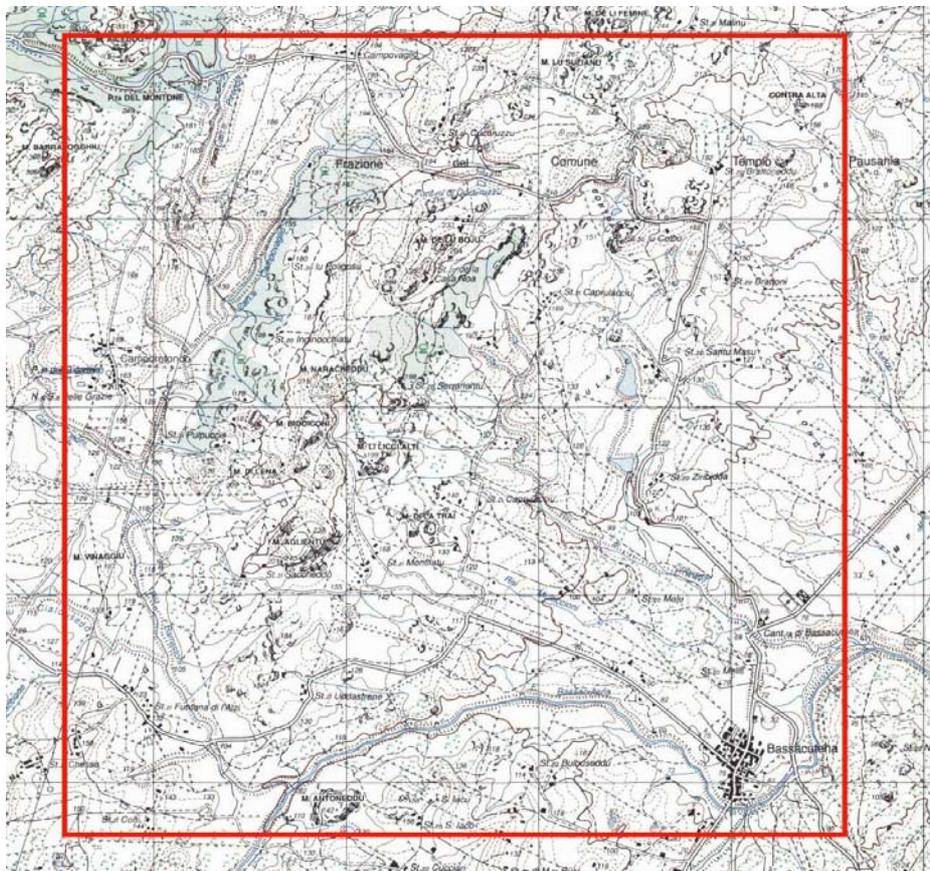
### ***5.2.1. Inquadramento geografico dell'area di studio***

La seconda area di studio del lavoro di ricerca è stata individuata all'interno del Bacino del Rosa Beta. Vista la grande estensione del Bacino e il gran numero di cave interessate dall'estrazione di questo litotipo (oltre 50), si è deciso di concentrare l'attenzione su un polo estrattivo ancora poco studiato e per il quale non sono ancora disponibili cartografie geologiche aggiornate né dati sulle proprietà fisico - meccaniche dei lapidei estratti. Il Polo estrattivo preso in considerazione è stato dunque quello di Bassacutena ("A" in Figura 5-6) limitando le indagini al grande gruppo di cave che circondano l'abitato, che tra l'altro forniscono la maggior percentuale di prodotto all'interno dell'intero polo estrattivo.

La seconda area di studio ha complessivamente un'estensione di 18 Km<sup>2</sup> circa e ricade, nella Carta d'Italia in Scala 1:25000, interamente nel foglio 427 (sez I Bassacutena). Attraversa i territori comunali di Luogosanto e Bassacutena e comprende buona parte delle cave del "polo estrattivo di Bassacutena" (Figura 5-8).



**Figura 5-8** In giallo, limiti polo estrattivo di Bassacutena. In rosso, limiti area di studio. Si noti il grande numero e l'estensione dei siti estrattivi, visibili anche dall'immagine satellitare.



**Figura 5-9** In rosso, area di studio su carta IGM.



## 6. Prospezione e rilevamento geologico

### 6.1. Giallo San Giacomo

#### 6.1.1. Inquadramento geologico dell'area di studio

Lo studio più completo e recente di quest'area è riferibile sicuramente alle note illustrative del Foglio CARG 428 "Arzachena" della Carta Geologica d'Italia (Oggiano *et al.* 2005). In questo lavoro viene in particolare identificata e interpretata l'unità intrusiva di Arzachena, un grande corpo intrusivo plurichilometrico allungato circa N120 e affiorante nel Nord Sardegna. Secondo lo stesso lavoro, il plutone del San Giacomo viene considerato come appartenente alla *facies* San Pantaleo, all'interno della quale vengono inclusi diversi leuco-monzograniti affioranti all'interno del Foglio 428. La *facies* San Pantaleo, a sua volta, è compresa all'interno dell'unità intrusiva di Arzachena in quanto sul terreno viene sempre riconosciuta una continuità temporale di messa in posto testimoniata soprattutto dalla presenza di contatti "caldi" e sfumati tra le litofacies in questa presenti.

Nell'ambito del presente lavoro si è voluto effettuare un rilevamento geologico-strutturale di dettaglio in modo da studiare meglio il plutone del San Giacomo, tenendo anche conto che lo studio precedente aveva preso in considerazione soltanto la sua porzione più settentrionale; buona parte del plutone affiora infatti nel foglio CARG 444 "Olbia" ancora non pubblicato.

Il rilevamento sul terreno ha dunque permesso di individuare i contatti del plutone in esame consentendo così la sua delimitazione e l'analisi dei rapporti con i corpi incassanti.

##### 6.1.1.1. Unità intrusiva di Arzachena

Oggiano *et al.* (2005) descrivono l'intrusione di Arzachena come un plutone composito, costituito da quattro grandi unità magmatiche. Più del 60% del plutone è composto dalla *facies* Arzachena, un monzogranito biotitico eterogranulare a grana media. Il rimanente 40% è costituito da quarzodioriti, granodioriti, monzograniti e leucomonzograniti. Basandosi su relazioni di terreno, evidenze tessiturali e datazioni radiometriche, quarzo dioriti, granodioriti monzograniti e leucograniti, rappresentano progressivamente pulsii più giovani (Oggiano *et al.*, 2005; Gaggero *et al.*, 2007). Nei monzograniti, la fluidalità magmatica è evidenziata dallo *Shape Preferred Orientation* (SPO) dei fenocristalli di feldspato potassico e degli *enclaves* femici. Il *fabric* magmatico dell'intera intrusione ha, in media, un'orientazione N120 ed immerge debolmente verso NE, anche se il suo *trend* può essere localmente condizionato da effetti di bordo. I leucograniti presenti all'interno dell'unità intrusiva generalmente sono discordanti rispetto all'incassante rappresentando dunque un differenziato tardo plutonico.

Tuttavia, i contatti che separano le quattro litologie dell'unità intrusiva appaiono sfumati e non "freddi" dunque la messa in posto dell'intera unità intrusiva di Arzachena dovrebbe essersi realizzata in un tempo relativamente breve. La datazione radiometrica effettuata sul monzogranito in *facies* Arzachena ha fornito un'età di  $311 \pm 6 / -4$  Ma (Oggiano *et al.*, 2005).

L'unità intrusiva di Arzachena, come d'altronde l'intero batolite, è poi attraversata da un complesso filoniano tardo ercinico dal chimismo eterogeneo.

Sono presenti poi diversi sistemi di fratturazione, il più importante dei quali connesso con l'orogenesi alpina (Carmignani *et al.*, 1994). Quest'ultimo ha dato luogo alle faglie regionali trascorrenti sinistre ad orientazione circa NNE-SSW le cui coniugate attraversano l'intero batolite nel nord Sardegna. A questo sistema vanno poi aggiunti gli *sheet joint* connessi col raffreddamento e l'*uplift* delle intrusioni.

### **6.1.1.2. Leuco-monzogranito San Giacomo**

Il leucogranito San Giacomo mostra in carta una forma sigmoidale come un classico granito sintettonico. Si intrude all'interno del monzogranito di Arzachena mostrando una geometria decisamente discordante nonostante i contatti tra le due litologie appaiano sempre gradualmente, sfumati e mai netti. Sono comunque state osservate strutture di *mixing* e *mingling* che indicano un leggero contrasto litologico che doveva esistere tra le differenti litologie durante la loro messa in posto. Il rilevamento di terreno ha messo in evidenza un sottile e discontinuo bordo a grana fine (<1 cm) di leucogranito lungo i contatti con l'incassante. Lo spessore di questa *facies* di bordo aumenta fino a circa 400 m nel settore sud ovest dove il leucogranito San Giacomo è a contatto con granodioriti e metamorfiti (lambi di basamento affioranti come *roof pendant*). Questa *facies* di bordo è praticamente assente invece a nord, al contatto con il monzogranito "Balbarichinu" (*sensu* Oggiano *et al.*, 2005), dove invece si osserva un passaggio graduale da una *facies* all'altra.

All'interno della *facies* di bordo i fenocristalli di feldspato potassico e plagioclasio definiscono una debole foliazione magmatica, grossomodo concentrica e parallela al contatto (Paterson *et al.*, 1998; Vernon, 2000). Rari *enclaves* femici osservati vicino al contatto, hanno un allungamento concorde con la foliazione. Questo *fabric* magmatico è ben sviluppato nel margine nord del granito San Giacomo. Nella parte interna del corpo magmatico invece, gli inclusi femici sono assenti e i minerali primari non mostrano nessun SPO evidente. Allo stesso tempo la grana media tende ad aumentare fino a 1,5 cm e nella zona interna la roccia possiede un'apparente tessitura omogenea. Una leggera variazione tessiturale e cromatica si è osservata poi nella zona di Monti di Scopa dove vi è una diversa distribuzione delle biotiti, le quali non tendono più ad apparirsi a pacchetti ma si presentano singole.

Sul terreno si è osservato come nel San Giacomo sia presente un *network* pervasivo di microfratture orientato circa NS. Le microfratture sono estremamente distribuite all'interno della roccia con uno *spacing* medio di circa 2 mm. La loro densità decresce nei pressi del bordo fino a sparire totalmente sui contatti e nell'incassante. Questo primo sistema di microfratturazione è sicuramente connesso con la messa in posto del plutone dal momento che la fratturazione connessa con l'orogenesi alpina rigetta questo primo sistema.

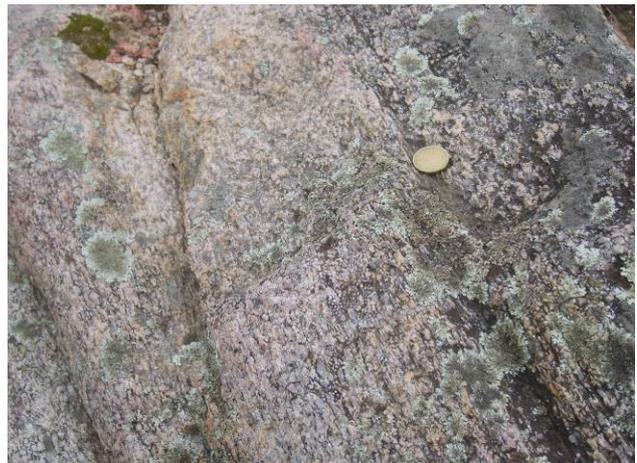
Il network di fratturazione dovuto alle faglie regionali, agli *sheet joint* e alla microfratturazione presente nel San Giacomo, ha causato una maggiore infiltrazione dell'acqua nella compagine rocciosa. Questo ha favorito un processo di *weathering* che ha interessato le porzioni più superficiali dell'intero plutone di San Giacomo dando luogo poi alla particolarità commerciale di questo litotipo.

Il tipico profilo, molto ben esposto in alcuni siti estrattivi, mostra dall'alto verso il basso:

- 10 - 100 cm di suolo (non sempre presente);
- 50 - 200 cm di saprolite;
- 2 - 15 m di granite alterato (porzione giallastra);
- granito non alterato (porzione grigiastra)



**Figura 6-1** Aspetto della *facies* di bordo.



**Figura 6-2** Microfratturazione tipica del granito Giallo San Giacomo.



**Figura 6-3** Microfratturazione tipica del granito Giallo San Giacomo.



**Figura 6-4** Microfratturazione tipica del granito Giallo San Giacomo.

### **6.1.2. Cave studiate - Giallo San Giacomo**

All'interno dell'area di studio sono state individuate 8 cave di cui 5 interessate dall'estrazione del litotipo Giallo San Giacomo, 1 da un monzogranito commercializzato col nome di Rosa Beta, 1 da un monzogranito commercializzato come Grigio Sardo e infine una cava che, trovandosi in prossimità di un contatto litologico, estraeva due litotipi (Grigio Sardo e Giallo San Giacomo).

Cava	Litotipo estratto	Stato
Cava Caprudeddu - Loriga	Giallo S. Giacomo	Attiva
Cava SdF Grigio	Grigio Sardo/Giallo S.Giacomo	Inattiva
Cava S.Giacomo alta - SdF	Giallo S.Giacomo	Inattiva
Cava Silvaredda-Deiana	Giallo S.Giacomo	Attiva
Cava S.Giacomo bassa - Carta	Giallo S.Giacomo	Attiva
Cava M.ti di Scopa	Giallo S.Giacomo	Attiva
Cava La Fraicata	Rosa Beta	Inattiva
Cava M.te Seccu	Grigio Sardo	Inattiva

Dalla tabella si evince come le cave di Giallo San Giacomo siano tutte attive tranne quelle della società SdF che al momento ha bloccato le attività per problemi burocratico-legali.



Figura 6-5 Foto aerea dell'area di studio. Nei labels sono indicate le cave analizzate.

### 6.1.2.1. Cava Capruleddu – Loriga

La Cava Capruleddu - Loriga si trova in località Capruleddu sui rilievi di P.ta Petru Muretti. Si tratta difatti di una cava culminale posizionata a circa 315 m sul livello del mare.

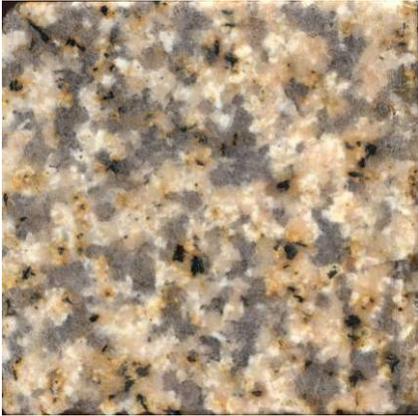
La cava nasce inizialmente per l'estrazione di cantonetti; solo in seguito si è ampliata e ora si estraggono anche blocchi di dimensioni commerciali.

E' organizzata per abbattimento selettivo (produzione cantonetti) e per platee orizzontali (produzione blocchi). Per l'estrazione viene utilizzata soprattutto la perforazione seguita dallo spacco oppure dall'esplosivo. La facile fissilità della roccia, dovuta in particolar modo alla sua microfratturazione, permette il riutilizzo di buona parte degli scarti di ritaglio e riquadratura come cantonetti o altri prodotti di piccole dimensioni.

Vista l'età e l'approfondimento della cava è già possibile estrarre tre differenti tipologie cromatiche di Giallo San Giacomo: Giallo, Intermedio e Bianco<sup>6</sup>.

<sup>6</sup> Noto anche come "Grigio San Giacomo"

Stefano Cuccuru – Studio geologico strutturale dei granito idi varisici come lapidei ornamentali: problematiche inerenti la caratterizzazione, la coltivazione dei giacimenti e nuovi utilizzi in campo industriale. – Tesi di dottorato in Scienza e tecnologia dei minerali e delle rocce di interesse industriale – università di sassari.



**Figura 6-6 Giallo San Giacomo – varietà gialla – Campione SCD 026**



**Figura 6-7 Giallo San Giacomo – varietà intermedia – Campione SCD 040**



**Figura 6-8 Giallo San Giacomo – varietà bianca (o grigio San Giacomo) – Campione SCD 001**

Il colore infatti varia con la profondità sfumando verso un giallo sempre più tenue dopo i 10-15 metri circa, profondità oltre la quale il colore globale diventa bianco-grigio. Si è osservato però che in prossimità delle fratture, il colore permane giallo anche in profondità. E' da segnalare inoltre la presenza di alcune piccole porzioni di giacimento dove la potenza dello strato giallo ha degli spessori molto ridotti. Anche in questo caso il fenomeno è imputabile alla microfratturazione: ad una minor densità di microfratture corrisponde un minor spessore dello strato giallo.

In questa cava si son prelevati i seguenti campioni:  
SCD 001, SCD 002, SCD 026, SCD 040.

Lo studio strutturale effettuato in questa cava è stato riassunto nel diagramma in Figura 6-12. Si osserva come sia presente sia la microfratturazione tipica del San Giacomo che varie famiglie di fratture. A ovest del sito di cava è presente un importante lineamento tettonico il quale poi origina diverse coniugate e *fault-display* osservate anche in cava. Si è osservato poi che il fronte di cava è stato orientato grossomodo perpendicolarmente alla direzione della microfratturazione.

Tra i fattori penalizzanti riconosciuti vi è la presenza di qualche cavità miarolitica nelle porzioni più superficiali (ormai tutte sfruttate). Le variazioni cromatiche e tessiturali invece sono da ricondurre alla naturale sfumatura della colorazione giallastra verso il basso ed alla permanenza di una colorazione giallo-arancione in prossimità delle fratture più aperte.

La posizione culminale della cava ed il suo ribasso progressivo per l'asporto del materiale estratto, tende a modificare la morfologia preesistente del rilievo. Sempre a causa della posizione inoltre, la cava è visibile da diverse strade. Per limitare l'impatto visivo si consiglia dunque di preservare una cengia rocciosa nel lato orientale della cava in modo da limitare la

visibilità da punti di osservazione fruibili dalla popolazione, come appunto la vallata ad est della cava e la strada statale che la attraversa.

Vista la posizione apicale, l'alta rocciosità della zona e l'assenza di suolo, è invece impossibile utilizzare una barriera vegetale per limitare la visibilità

Altro accorgimento è il riutilizzo di tutto il materiale attorno alla cava che, possedendo una colorazione più chiara tende ad evidenziare in cima al rilievo il sito di cava.



**Figura 6-9** Cava Capruleddu vista da NW. Si osservi la posizione culminale del sito di cava.



**Figura 6-10** Diffusione degli ossidi di ferro in un fronte.



Figura 6-11 Realizzazione cantonetti in cava.

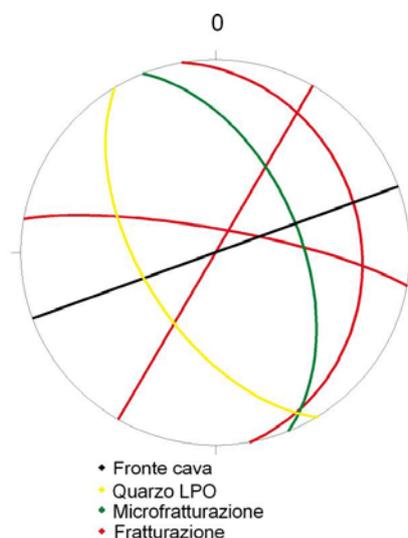


Figura 6-12 Stereonet riassuntivo cava Caprueleddu. In foto aerea è stato evidenziata la faglia ad ovest del sito estrattivo.

Scheda riassuntiva Cava Caprueleddu – Loriga	
Altitudine	315 m s.l.m
Tipologia	Culminale
Metodologie di estrazione	Abbattimento selettivo e platee orizzontali
Tecnologie di estrazione	Perforazione e spacco o perforazione ed esplosivo
Prodotto estratto	Giallo S. Giacomo (varietà Bianco, Intermedio e Giallo)
Fronte	N 70
Fratturazione	N 158 NE 54 (m.f.); N 110 NE 90; N 170 NE 26
Fluidalità	Isotropo
Fattori penalizzanti	Cavità miarolitiche
Campioni	SCD 001, SCD 002, SCD 026, SCD 040

Utilizzazione attuale del suolo nell'area circostante	Macchia, bosco
Impatti ambientali	Impatto visivo, alterazione morfologia preesistente
Interventi di mitigazione	Preservazione cengia rocciosa, riutilizzo scarti di estrazione

### 6.1.2.2. Cava S.d.F – Grigio

La Cava SdF - Grigio si trova in località Monti Longu nei pressi della stradina che conduce alla frazione di San Giacomo e risulta ormai da qualche anno inattiva. Si sviluppa linearmente per circa 500 m, parallelamente alla strada, su un rilievo sui versanti del quale si è intrapresa l'estrazione. La cava ha la peculiarità di estendersi su un monzogranito intruso a sua volta da una piccola lente di Giallo San Giacomo. Questo permetterebbe l'estrazione all'interno della stessa cava (seppur su due versanti differenti) l'estrazione delle due tipologie commerciali. Nel sito è difatti visibile, oltre al grande fronte sulla porzione grigia, un inizio di sbancamento e di estrazione sulla porzione di Giallo San Giacomo.

Nel settore del grigio la coltivazione avviene per platee orizzontali con grandi bancate mentre nel settore del giallo sono presenti solo alcuni tagli selettivi di estensione limitata.

In questa cava si è utilizzato sia la perforazione seguita da spacco e/o esplosivo che il filo diamantato.

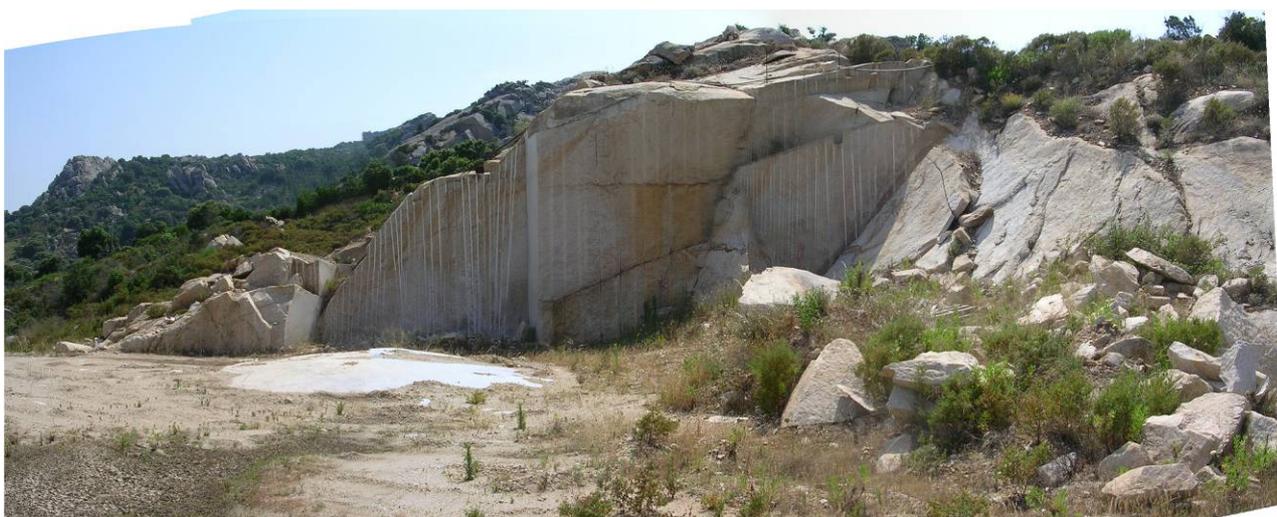
Come si è detto, la cava da alcuni anni risulta inattiva. Non è comunque presente al suo interno del materiale invenduto, elemento che fa pensare ad una chiusura non collegabile alla qualità del materiale estratto.

Il prodotto grigio estratto, appartiene alla *facies* Arzachena seppur non ne presenti alcuni caratteri tipici. Il lapideo estratto difatti non presenta la tipica colorazione rosata dei feldspati potassici e non differisce molto dalla porzione inalterata del Giallo San Giacomo, dalla quale però si discosta per la grana più grossa. E' assente inoltre la tipica microfratturazione presente nel Giallo San Giacomo.

Nel settore più apicale della cava è possibile vedere il contatto tra le due intrusioni (Figura 6-13) testimoniando l'esistenza dell'intrusione del San Giacomo. Il contatto è marcato un addensamento di biotiti.



**Figura 6-13 Fronte di grigio interessato da un'iniezione di Giallo San Giacomo.**



**Figura 6-14 Piccolo fronte nella porzione di Giallo San Giacomo.**

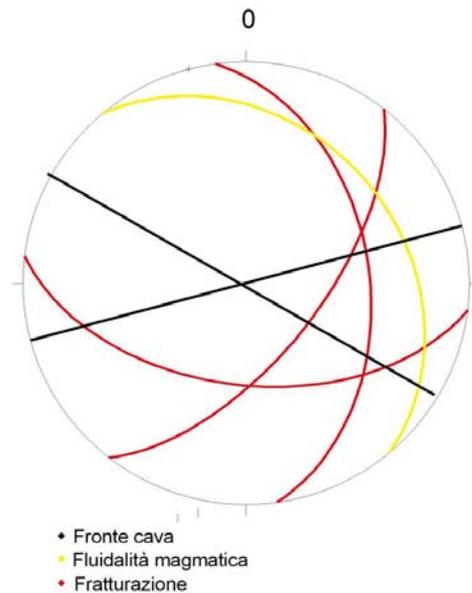
Tra i fattori penalizzanti riconosciuti vi è la presenza di alcuni inclusi basici nel settore del Grigio delle dimensioni di una decina di centimetri e di forma sferica. Qualche incluso basico di forma sferica è stato individuato anche nella porzione di Giallo (Figura 6-15). La porzione prossima al contatto litologico invece risente ovviamente della presenza di variazione di carattere cromatico e tessiturale.

Gli impatti ambientali del sito sono costituiti dall'alterazione morfologia preesistente e dagli impatti visivi. Quest'ultimo in realtà è limitato alla porzione interessata dall'estrazione del Giallo San Giacomo, vista la sua posizione a ridosso della strada. L'estrazione del grigio difatti, trovandosi sul versante opposto, risulta abbastanza nascosta.



**Figura 6-15 Inclusi basici nella porzione Gialla.**

Tenendo comunque conto della posizione della strada rispetto al sito estrattivo della porzione gialla, si consiglia una riqualificazione ambientale del sito qualora si decidesse di non riattivare più le attività di estrazione del Giallo San Giacomo, procedendo dunque con una rimodellazione della morfologia ed eventualmente la piantumazione di individui camefitici locali.



**Figura 6-16 Stereonet riassuntivo cava SdF Grigio. In foto aerea: a nord estrazione della porzione grigia, a sud estrazione della porzione Gialla.**

Scheda riassuntiva Cava S.d.F grigio	
Altitudine	230 m s.l.m
Tipologia	Culminale e a mezza costa
Metodologie di estrazione	Abbattimento selettivo e platee orizzontali con grandi bancate
Tecnologie di estrazione	Perforazione e spacco, perforazione ed esplosivo, filo diamantato
Prodotto estratto	Grigio sardo, Giallo S. Giacomo
Fronte	N 75 (Grigio); N120 (Giallo)
Fluidalità	N140 NE 30 (porzione grigia)
Fratturazione	N 38 SE 63 – N 97 S 52 – N 172 NE 44
Fluidalità	Isotropo
Fattori penalizzanti	Inclusi basici, variazioni cromatiche e tessiturali
Utilizzazione attuale del suolo nell'area circostante	macchia, bosco
Impatti ambientali	Impatto visivo, alterazione morfologia preesistente
Interventi di mitigazione	Riqualficazione ambientale porzione Giallo

### 6.1.2.3. Cava S.Giacomo alta - S.d.F.

La Cava S.Giacomo alta - SdF sorge sul rilievo di P.ta Iacomoni nei pressi della frazione di S.Giacomo. Si tratta di una cava culminale strutturata per platee orizzontali. La cava è circondata da una discarica costituita da informi, ritagli e pezzame di ridotte dimensioni.

Il materiale estratto è il Giallo San Giacomo la cui colorazione, nonostante un ribasso di quasi 20 metri dall'originario piano di campagna, permane sempre gialla, anche molto intensa. Come si può osservare anche dalla Figura 6-17 il lapideo estratto mostra una leggera diminuzione della grana, testimoniando la vicinanza di questa cava al contatto litologico tra il San Giacomo e l'incassante.

La roccia presenta la classica microfratturazione del San Giacomo. Si possono osservare inoltre dei piani di frattura sui quali è ben visibile la diffusione degli ossidi e idrossidi di ferro nella compagine rocciosa (Figura 6-18). Notevole, sempre sui piani di frattura, anche la presenza di numerose dendriti, probabilmente di manganese.

Il materiale viene estratto tramite perforazione seguita da spacco o esplosivo, sfruttando fondamentalmente i piani di fissilità della roccia.

In questa cava sono stati prelevati i campioni: SCD 003, SCD 004, SCD 005 e SCD 006.



**Figura 6-17 Campione SCD 004**



**Figura 6-18 Diffusione degli ossidi sul fronte di cava.**

Come si osserva dal diagramma di Figura 6-23 l'analisi geologico-strutturale effettuata su questo sito ha evidenziato la presenza di importanti lineamenti tettonici costituiti fondamentalmente da faglie trascorrenti sinistre ad orientazione circa NNE e faglie destre grossomodo perpendicolari. E' presente poi il sistema di microfratture caratteristico del San Giacomo e il fronte di cava orientato circa parallelo a quest'ultimo sistema.

Tra i difetti penalizzanti si è notata la presenza di alcune tasche pegmatitiche, alcune a giacitura filoniana di qualche metro di lunghezza, altre localizzate, di dimensioni centimetriche e di forma grossomodo sferica. Nelle parti più apicali sono presenti inoltre alcune cavità miarolitiche. La vicinanza della cava al contatto con la *facies* Balbarichinu ovviamente comporta la comparsa di variazioni cromatiche e tessiturali dovute all'interazione tra i due magmi (Figura 6-20).

Gli impatti ambientali della cava sono sicuramente da collegarsi con la presenza di grosse quantità di materiale, anche di notevoli dimensioni, adagiato sui versanti. Considerata la pendenza di questi ultimi prossima all'angolo di riposo si consiglia un immediato riutilizzo visto il rischio abbastanza alto di instabilità del materiale stoccato. La posizione apicale della cava inoltre la rende visibile da grandi distanze. Anche in questo caso dunque si consiglia la realizzazione di una cengia rocciosa nel versante orientale, il più esposto, e di proseguire l'estrazione in fossa ma solo dopo aver riutilizzato tutto il materiale già estratto e stoccato nella discarica perimetrale.



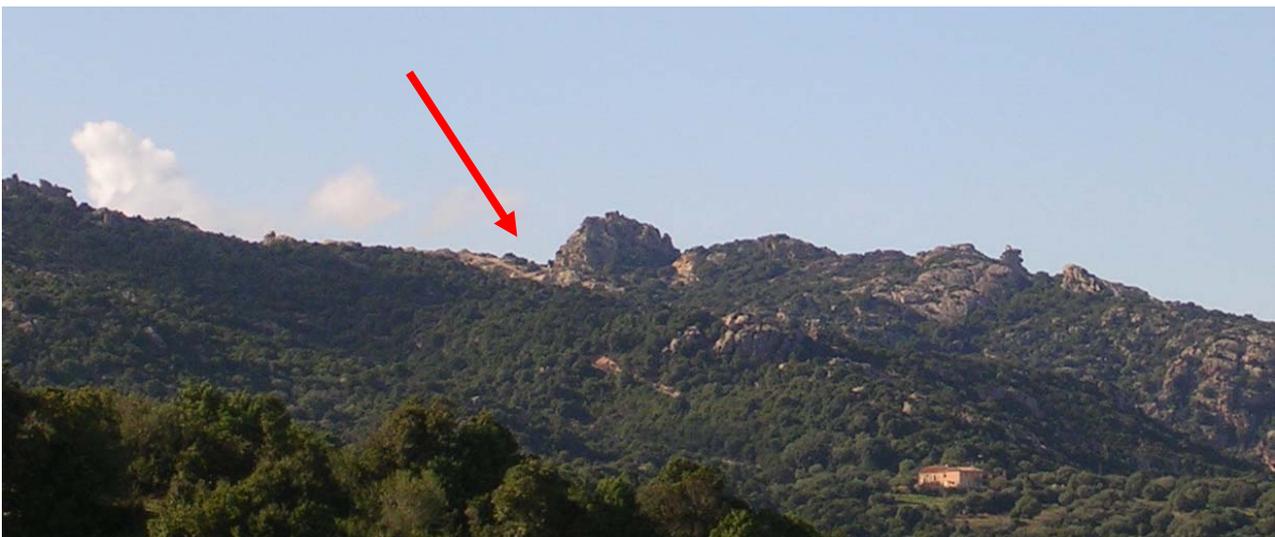
**Figura 6-19** Ingresso della cava. Si noti il grande accumulo di sfridi.



**Figura 6-20** Variazioni cromatiche e tessiturali in prossimità del contatto tra il San Giacomo e la *facies* Barbarichinu.



**Figura 6-21** Tasca pegmatitica.



**Figura 6-22** Visibilità di Punta Iacumoni dalla S.S. Olbia – Arzachena.

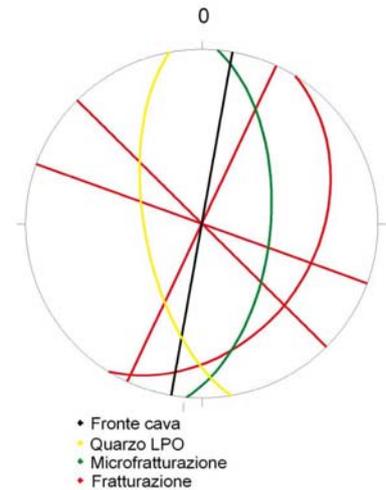


Figura 6-23 Stereonet riassuntivo cava S. Giacomo alta - SdF.

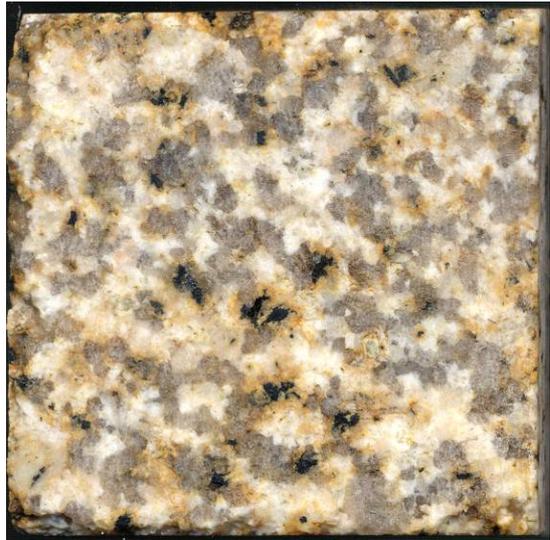
Scheda riassuntiva Cava S.Giacomo alta – SdF	
Altitudine	300 m s.l.m
Tipologia	Culminale
Metodologie di estrazione	Abbattimento selettivo e platee orizzontali
Tecnologie di estrazione	Perforazione e spacco, perforazione ed esplosivo.
Prodotto estratto	Giallo S. Giacomo
Fronte	N 10
Fratturazione	N 5 SE 58 (m.f.); N32 SE 35; N25 ; N110; N135;
Fluidalità	Isotropo
Fattori penalizzanti	Inclusi basici, tasche pegmatitiche, cavità miarolitiche, variazioni cromatiche e tessiturali
Campioni	SCD 003, SCD 004, SCD 005, SCD 006
Utilizzazione attuale del suolo nell'area circostante	Macchia, bosco, seminativo, pascolo
Impatti ambientali	Impatto visivo, alterazione morfologia preesistente
Interventi di mitigazione	Cengia rocciosa, riutilizzo discarica perimetrale e messa in sicurezza versante sud

#### 6.1.2.4. Cava Silvaredda-Deiana

La Cava Silvaredda – Deiana si trova nei pressi dello stazzo Silvaredda, sui rilievi di P.ta S. Giacomo. Anche in questo caso infatti il sito estrattivo ha una posizione culminale. Nella cava vengono prodotti sia cantonetti che blocchi. La presenza di un piccolo laboratorio artigianale permette inoltre la realizzazione direttamente in sito di alcuni elementi architettonici come colonne e capitelli.

La cava è organizzata per l'abbattimento selettivo. Per l'estrazione di blocchi viene utilizzato il filo diamantato anche nel taglio primario. Ciò consente di limitare la produzione di croste e ritagli. Il materiale estratto è il Giallo San Giacomo, anche se il proprietario commercializza il prodotto estratto col nome di "Giallo Brass".

In questa cava è stato prelevato il campione SCD 022.



**Figura 6-24 Campione SCD 022**

Nei fronti di cava è ben visibile la microfratturazione, evidenziata dagli aloni di ossidi attorno alle discontinuità più importanti. Anche in questo caso, sui piani di frattura messi a giorno, è evidente l'accumulo degli ossidi e idrossidi di ferro.

Viste le ridotte dimensioni della cava, l'estrazione ha interessato solo le porzioni superficiali del giacimento. Non si sono riconosciuti importanti fattori penalizzanti.

Per quel che concerne gli impatti ambientali, anche questa cava, trovandosi in posizione apicale, possiede un elevato impatto visivo, tenendo anche conto che a causa della sua vicinanza è la più visibile dalla S.S. Olbia - Arzachena. Visto poi lo sviluppo della cava verso il versante orientale del rilievo, si rende problematica l'attuazione di qualsiasi misura di mitigazione dell'impatto visivo.



**Figura 6-25 Fratture riempite da ossidi e idrossidi di ferro.**



**Figura 6-26 Fronte di cava. Si osservi la diffusione degli ossidi attorno alle microfratture.**



Figura 6-27 Visibilità della cava dalla S.S. Olbia – Arzachena.

Scheda riassuntiva Cava Silvaredda - Deiana	
Altitudine	274 m s.l.m
Tipologia	Culminale
Metodologie di estrazione	Abbattimento selettivo e platee orizzontali
Tecnologie di estrazione	Perforazione e spacco, perforazione ed esplosivo, filo diamantato
Prodotto estratto	Giallo S. Giacomo (Giallo bras)
Fronte	N 100
Fratturazione	N 160 NE 50
Fluidalità	Isotropo
Fattori penalizzanti	Non rilevati
Campioni	SCD 022
Utilizzazione attuale del suolo nell'area circostante	Macchia, bosco
Impatti ambientali	Impatto visivo, alterazione morfologia preesistente
Interventi di mitigazione	Cengia rocciosa

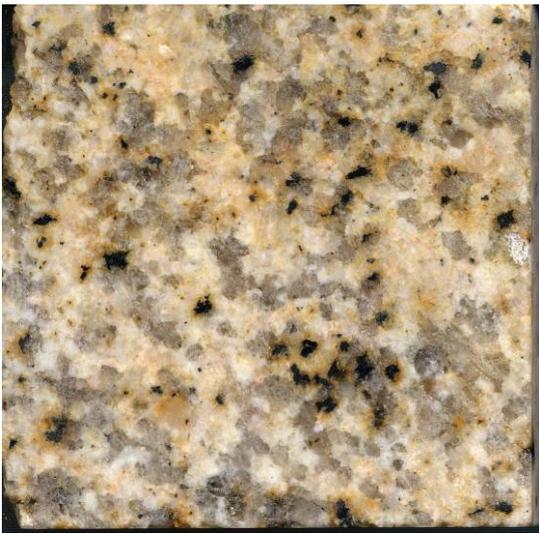
### 6.1.2.5. Cava S.Giacomo bassa – Carta

La Cava S.Giacomo bassa – Carta si trova sul versante di Punta Iacomoni, in posizione ribassata rispetto alla cava S.Giacomo alta – SdF. Si tratta di una cava a mezza costa ben visibile dalla stradina che conduce alla frazione di S. Giacomo.

Anche questa cava è organizzata in modo da produrre cantonetti da abbattimenti selettivi, e blocchi da platee ad estensione orizzontale.

Alla cava è annesso un piccolo laboratorio nel quale vengono realizzati dei prodotti artigianali ad opera di alcuni scalpellini. Ciò ha permesso il totale sfruttamento del materiale estratto e l'assenza di una discarica di sfridi (se si esclude il terrapieno del piazzale sul piano più basso).

Il taglio primario viene effettuato esclusivamente tramite perforazione seguita da spacco e/o esplosivo. Solo in seguito i blocchi (o eventuali prodotti richiesti su misura) vengono riprofilati su una taglierina a filo diamantato posizionata sul piazzale della cava. Il prodotto estratto è il Giallo San Giacomo e il campione rappresentativo prelevato è il campione SCD 23.



**Figura 6-28 Campione SCD 023**

Con lo studio strutturale effettuato si è osservato come il fronte sia stato impostato grossomodo perpendicolarmente alla microfratturazione e parallelo alle fratture connesse con la tettonica alpina.

Neanche in questa cava si sono riconosciuti fattori penalizzanti.

Tra gli impatti ambientali si sottolinea soprattutto l'alterazione della morfologia preesistente e l'impatto visivo, tenuto conto della posizione del sito rispetto alla strada. La cava difatti trovandosi a mezza costa risulta svilupparsi su un anfiteatro naturale interamente visibile da chi percorre la strada per la località San Giacomo. L'impatto visivo sarebbe comunque mitigabile con la realizzazione di una barriera verde con vegetazione autoctona attorno al piazzale di cava.

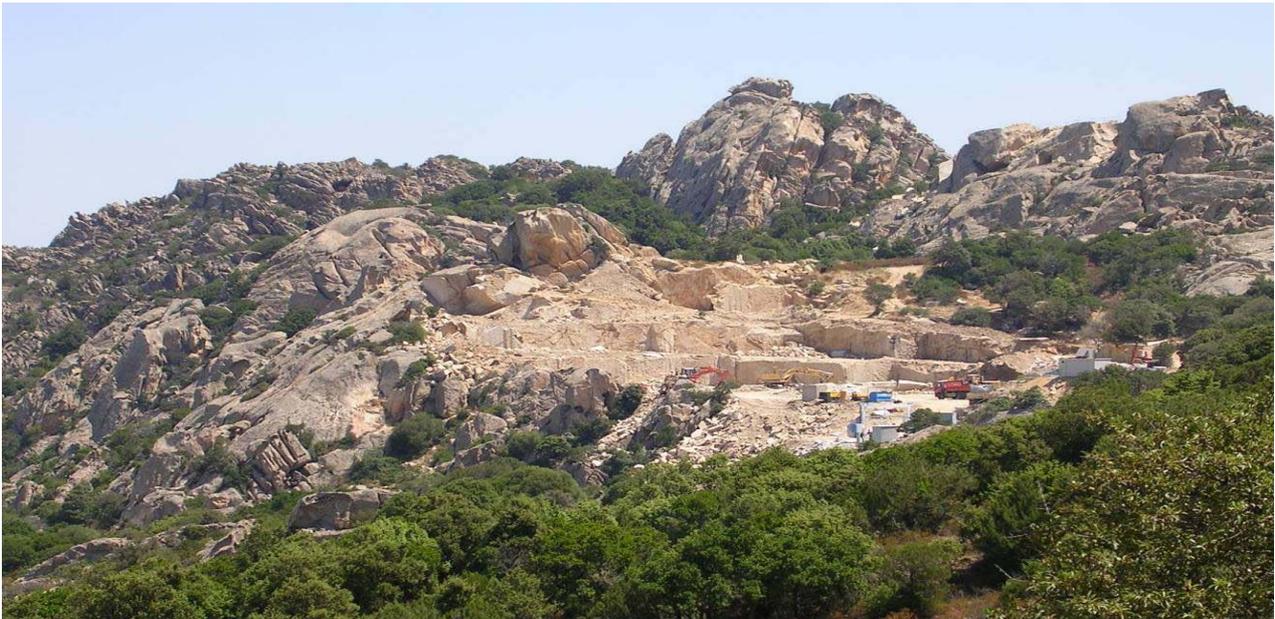


Figura 6-29 Cava S.Giacomo bassa – Carta vista dalla strada per S.Giacomo. Sono ben visibili le due platee orizzontali e il piazzale di cava realizzato su del materiale estratto.

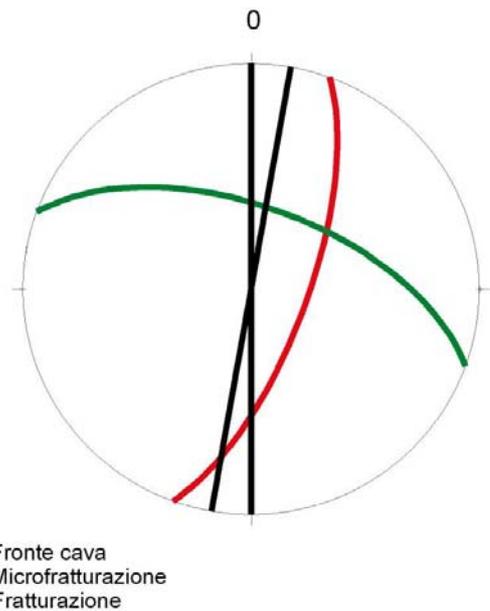


Figura 6-30 Stereonet cava S.Giacomo bassa-Carta.

Scheda riassuntiva Cava S. Giacomo bassa - Carta	
Altitudine	280 m s.l.m
Tipologia	Mezza costa
Metodologie di estrazione	Abbattimento selettivo e platee orizzontali
Tecnologie di estrazione	Perforazione e spacco, perforazione ed esplosivo
Prodotto estratto	Giallo S. Giacomo
Fronte	NS - N10
Fratturazione	N110 NE 60; N20 SE 70

Fluidalità	Isotropo
Fattori penalizzanti	Non rilevati
Campioni	SCD 023
Utilizzazione attuale del suolo nell'area circostante	Macchia, bosco
Impatti ambientali	Impatto visivo, alterazione morfologia preesistente
Interventi di mitigazione	Barriera verde o Cengia rocciosa

### 6.1.2.6. Cava Monti di Scopa

La cava Monti di Scopa è un piccolo sito estrattivo impostato su un versante molto acclive in località Monti di Scopa. Si tratta dunque di una cava a mezza costa nella quale vengono sfruttati i grossi e numerosi *boulders* adagiati sul pendio e provenienti dalle cime sovrastanti.

La cava si trova in un'area di rimboschimento forestale e la lavorazione interessa uno o due blocchi per volta solo dopo autorizzazione dalla Regione Sardegna.

Inizialmente il *boulder* viene perforato e lo spacco avviene tramite l'utilizzo del cemento ad espansione: l'esplosivo potrebbe causare un'eccessiva instabilità del *boulder* interessato e di quelli limitrofi. Una volta spaccato, il *boulder* viene riprofilato a seconda delle commesse ricevute. La cava infatti lavora su ordinazione e produce fundamentalmente pilastrini, capitelli e cantonetti per murature e cordolature.

Il lapideo estratto è costituito da una *facies* di bordo del Giallo San Giacomo dal quale si discosta per una minore microfratturazione e una disposizione *random* e spaiata delle biotiti, che nel Giallo San Giacomo sono invece raggruppate in aggregati (pacchetti). La dispersione delle biotiti ed una minore microfratturazione comporta anche una minore diffusione degli ossidi ed un cromatismo generale costituito da un giallo molto tenue.

La minor densità delle microfratture è poi sicuramente imputabile al fatto che il materiale interessato dalla coltivazione è stato già naturalmente selezionato dall'erosione come più resistente.

In questa cava sono stati prelevati i campioni SCD 007 e SCD 008.



**Figura 6-31 Campione SCD 007**

Vista l'assenza di scavi e la posizione relativamente nascosta del sito di cava, si può affermare che l'unico impatto ambientale rilevante sia quello dell'alterazione paesaggistica, vista anche la sua localizzazione all'interno di una vasta riforestazione. Per inserire meglio il sito nel paesaggio sarebbe meglio però effettuare una pulitura delle aree non interessate da coltivazione e favorire la naturale ripresa della vegetazione. Questo garantirebbe inoltre un minor pericolo di instabilità del versante, soprattutto in occasione di importanti eventi meteorologici in quanto la

vegetazione, col suo apparato radicale, andrebbe ad imbrigliare il detrito di versante garantendo maggior stabilità.



**Figura 6-32 La cava come appare dalla stradina che attraversa la riforestazione. Si notino sopra la cava, tra la vegetazione, i numerosi *boulders*.**

**Scheda riassuntiva Cava Monti di Scopa**

Altitudine	340 m s.l.m
Tipologia	Mezza costa
Metodologie di estrazione	Sfruttamento <i>boulders</i>
Tecnologie di estrazione	Perforazione e spacco, perforazione e cemento ad espansione
Prodotto estratto	Giallo S. Giacomo (varietà Monti di Scopa)

Fratturazione	N15 NW 30
Fluidalità	Isotropo
Fattori penalizzanti	
Campioni	SCD 007 SCD 008
Utilizzazione attuale del suolo nell'area circostante	Macchia, bosco
Impatti ambientali	Impatto visivo, alterazione morfologia preesistente, alterazione stabilità versanti
Interventi di mitigazione	Rivegetazione versante

### 6.1.2.7. Cava La Fraicata

La Cava La Fraicata è una cava culminale che si estende sui versanti settentrionali del M.te la Fraicata. E' una cava inattiva ormai da diversi anni nella quale si estraeva un Rosa Beta dal colore spento, quasi grigio, ma forse per questo cromaticamente più omogeneo del Rosa Beta classico. La cava infatti è impostata sul monzogranito in *facies* Arzachena al di fuori del plutone del San Giacomo.

E' una cava di grandi dimensioni caratterizzata da due importanti platee orizzontali di quasi 100 m di estensione.

L'estrazione avveniva tramite perforazione e filo diamantato e si producevano fondamentalmente blocchi, anche se si sono trovati alcuni cantonetti e basoli stoccati nel piazzale di cava, elemento che fa pensare ad una trasformazione in loco del materiale estratto.



**Figura 6-33 Rosa Beta estratto nella Cava La Fraicata. In alto, piccolo incluso basico allungato secondo la fluidalità magmatica.**

Tra i fattori penalizzanti si sono osservati rari filoni aplitici, tasche pegmatitiche e inclusi basici; tutti di limitata estensione. Si segnala, all'interno di una pegmatite, la presenza di granati. Molto ridotta invece la fratturazione interferente. L'analisi strutturale infatti evidenzia l'esistenza di un importante sistema di fratturazione orientato grossomodo parallelo al fronte di cava e un secondo a circa 60°. Tale network ha permesso di ottenere blocchi di grosse dimensioni.

Attorno alla cava e all'interno di essa sono presenti diverse discariche di sfridi costituite perlopiù da blocchi informi o di piccola pezzatura.

Visto l'impatto visivo della cava, che è visibile anche dalla s.s. 427, sarebbe necessaria una riqualificazione ambientale del sito con riutilizzo dell'ingente materiale attualmente stoccato nelle discariche.



**Figura 6-34 Ingresso Cava La Fraicata. Panoramica.**



**Figura 6-35 Fronte privo di fratturazione interferente e altri fattori penalizzanti.**

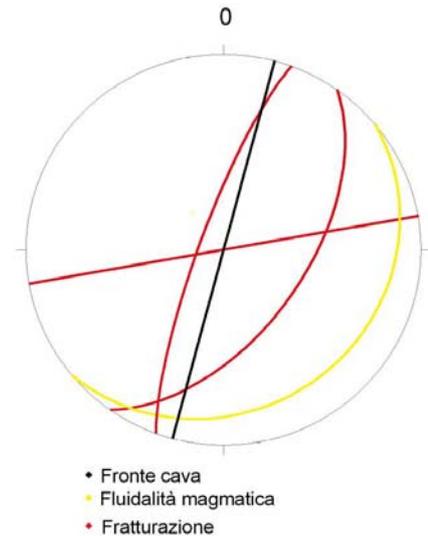


Figura 6-36 Stereonet riassuntivo Cava la Fraicata.

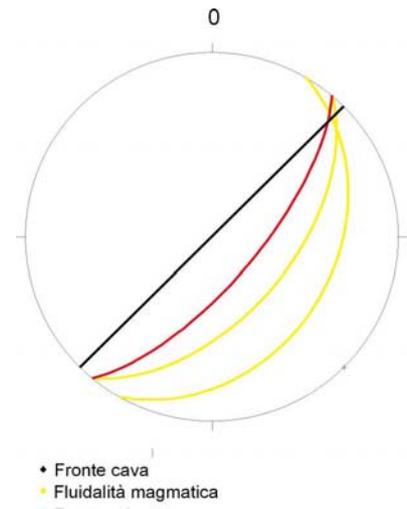
Scheda riassuntiva Cava M.te la Fraicata	
Altitudine	270 m s.l.m
Tipologia	Mezza costa
Metodologie di estrazione	Platee orizzontali con grandi bancate
Tecnologie di estrazione	Perforazione e spacco, perforazione ed esplosivo, filo diamantato
Prodotto estratto	Rosa Beta
Fronte	N15
Fratturazione	N 35 SE 56; N80; N20 NW 80
Fluidalità	N 50 SE 20
Fattori penalizzanti	Filoncelli aplitici, tasche pegmatitiche, inclusi basici
Utilizzazione attuale del suolo nell'area circostante	Macchia, bosco
Impatti ambientali	Impatto visivo, alterazione morfologia preesistente, alterazione stabilità versanti
Interventi di mitigazione	Riutilizzo prodotto stoccato e riqualificazione ambientale

### 6.1.2.8. Cava M.te Seccu

La Cava M.te Seccu è un sito estrattivo dismesso di piccole dimensioni, situato nei pressi del rilievo omonimo. Si tratta di una cava a mezza costa, impostata su un anfiteatro naturale, nella quale sono presenti due piccoli fronti di 20 metri circa ciascuno.

Il materiale veniva estratto tramite filo diamantato abbinato alla perforazione con *splitting*.

La cava è ubicata all'interno della *facies* Arzachena, difatti il lapideo estratto commercialmente è un Rosa Beta seppur il cromatismo dei feldspati potassici appaia molto spento.



**Figura 6-39 Stereonet della Cava M.ti Seccu.**



**Figura 6-37 Blocchi invenduti attorno al sito di cava.**



**Figura 6-38 Particolare pegmatite a con fenocristalli di biotite.**

Tra i fattori penalizzanti si sono individuate alcune tasche pegmatitiche a grosse biotiti e localizzate variazioni di grana. L'intero giacimento è poi attraversato da filoncelli aplitici. Nel piazzale di cava sono presenti diversi blocchi tutti interessati da tasche pegmatitiche e diffuse ed evidenti variazioni di grana. La scarsa qualità del materiale estratto, testimoniato da questi blocchi, ha dunque evitato che le attività di estrazione continuassero.

Tali fattori penalizzanti hanno inficiato notevolmente il giacimento nonostante l'analisi strutturale svolta abbia mostrato come sostanzialmente l'orientazione del fronte, della fratturazione e della fluidalità magmatica coincidano.

Nonostante la posizione quasi nascosta rispetto a punti fruibili dalla popolazione e le dimensioni molto ridotte del sito limitino gli impatti visivi, in questa cava sarebbe comunque necessario riutilizzare il prodotto estratto e invenduto per poi procedere ad una riqualificazione ambientale del sito vista l'impossibilità di procedere con le estrazione a causa della scarsa qualità del materiale.



**6-40 Fronte con filoncelli aplitici (in alto a destra) e piccolo incluso basico (a sinistra).**



**6-41 La freccia rossa indica uno dei tanti filoncelli aplitici che interessano il giacimento.**

Scheda riassuntiva Cava M.te Seccu	
Altitudine	458 m s.l.m
Tipologia	Mezza costa
Metodologie di estrazione	Abbattimento per gradino basso, abbattimento selettivo
Tecnologie di estrazione	Perforazione e spacco, perforazione ed esplosivo, filo diamantato
Prodotto estratto	Rosa Beta
Fronte	N45
Fratturazione	N 40 SE 70
Fluidalità	N 30 SE 34 - N 40 SE 55
Fattori penalizzanti	Tasche pegmatitiche a grosse biotiti, variazioni di grana, filoncelli aplitici
Utilizzazione attuale del suolo nell'area circostante	Macchia, bosco
Impatti ambientali	Alterazione morfologia preesistente
Interventi di mitigazione	Riutilizzo prodotto stoccato e riqualificazione ambientale

## 6.2. Rosa Beta

### 6.2.1. Inquadramento geologico dell'area di studio

Nell'area di studio affiora estesamente l'intrusione monzogranitica della *facies* Arzachena, appartenente all'omonima unità intrusiva (Oggiano *et al.*, 2005). Tale monzogranito rappresenta buona parte dell'unità intrusiva affiorando per un'estensione di oltre 400 Km<sup>2</sup>

La *facies* Arzachena rappresenta un corpo magmatico costituito da un monzogranito biotitico inequigranulare orientato circa N120. L'orientazione della fluidalità magmatica, evidenziata dall'SPO dei fenocristalli di feldspato potassico e degli inclusi femici, riprende l'orientazione di massimo allungamento dell'intera unità intrusiva. La datazione eseguita col metodo U-Pb per dissoluzione su zirconi, effettuata sul monzogranito in esame ha mostrato un valore di messa in posto di 311 (+6 /-4) Ma (Oggiano *et al.*, 2005).

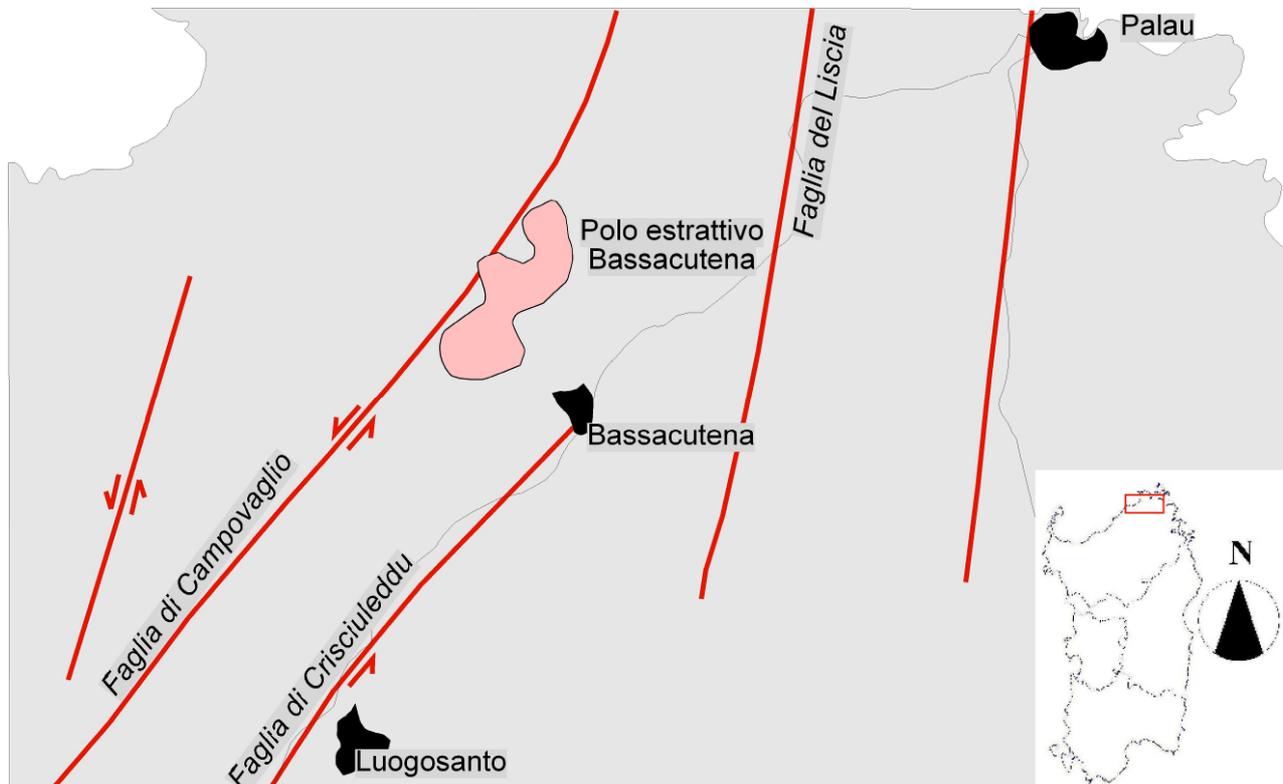


6-42 In arancione, unità intrusiva di Arzachena; in giallo, polo estrattivo di Bassacutena; in rosso, area di studio

L'analisi sul terreno, limitato all'area di studio, ha permesso di osservare che le strutture planari individuate tramite la misura della fluidalità magmatica sono sempre vicine all'orizzontale. Questo permette di asserire che o ci si trova sulla parte sommitale del corpo intrusivo o comunque in zone distali dai fianchi dell'intrusione.

L'area di studio è bordata a nord ovest e a sud est da due importanti lineamenti tettonici orientati circa N30: la "faglia di Campovaglio" e quella di "Crisciuleddu". Entrambe sono faglie

trascorrenti sinistre Oligo-Aquitaniene connesse con la collisione appenninica (Carmignani *et al.*, 1994). E' presente poco più ad est anche l'importante lineamento della faglia del Liscia, con orientazione N10. Le coniugate di questo primo sistema di faglie regionali, insieme a vari *joint* connessi con l'*uplift* ed il raffreddamento dell'intrusione, limitano in alcuni casi l'attività estrattiva.



**Figura 6-43 Sistema di faglie Oligo Aquitaniene nei pressi del polo estrattivo di Bassacutena(in rosa).**

L'attività estrattiva è condizionata spesso anche da numerosi filoni di varia natura di spessore di qualche decimetro ma di lunghezza alcune volte plurichilometrica. L'orientazione è solitamente simile a quella dei grossi lineamenti tettonici. Secondo Pasci (1997) e Gaggero (2007) infatti questi si sono impostati seguendo una strutturazione preesistente.

Infine, la presenza di superfici e *joint* a giacitura sub orizzontale, comporta la presenza all'interno di queste ultime strutture di importanti corpi acquiferi a profondità di pochi metri dal piano di campagna. Questo assetto comporta inevitabilmente un'interferenza delle attività estrattive con la circolazione idrica sotterranea, in modo particolare in luogo di ribassi importanti (oltre i 15- 20 m circa), portando spesso alla formazione di laghi di cava in molte delle cave analizzate.

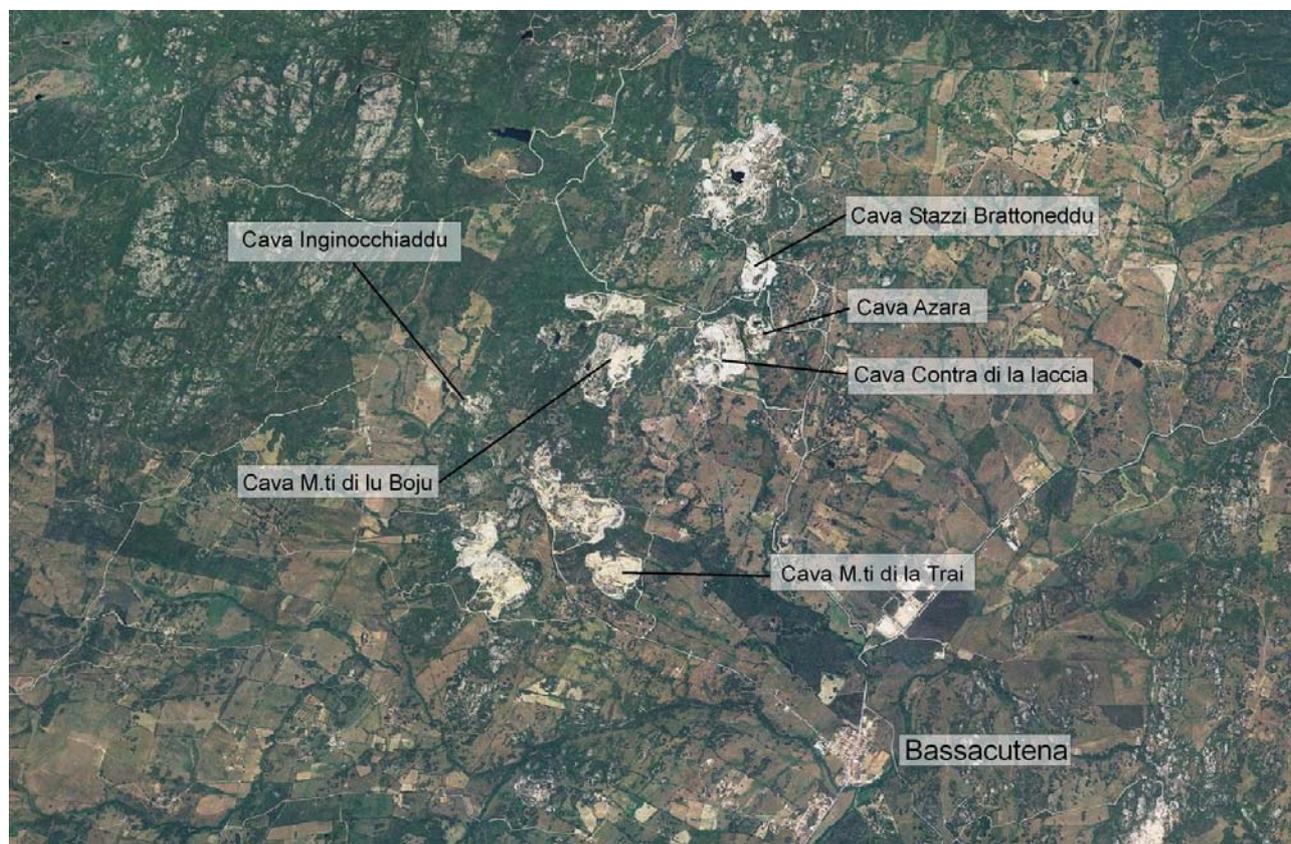
### **6.2.2. Cave studiate – Rosa Beta**

All'interno dell'area di studio sono state analizzate 6 cave, tutte interessate dall'estrazione del litotipo Rosa Beta.

Cava	Litotipo estratto	Stato
Cava Monti di la Trai - Nordest graniti	Rosa Beta	Attiva
Cava Contra di la Iaccia	Rosa Beta	Attiva
Cava Stazzi Brattoneddu	Rosa Beta	Attiva
Cava Azara	Rosa Beta	Inattiva
Cava Inginocchiaddu	Rosa Beta	Inattiva
Cava Monte di lu Boju	Rosa Beta	Attiva

Dalla tabella si evince che, su sei cave analizzate, quattro risultano attive e due inattive. Questo dato è comunque positivo se si considera che la crisi degli ultimi dieci anni ha comportato una chiusura di molte cave.

Delle due cave inattive, una (la cava Inginocchiaddu) risulta essere chiusa a causa della scarsa qualità del materiale. La seconda cava inattiva invece (Cava Azara) ha terminato le operazione di estrazione per prediligere l'attività di trasformazione in un laboratorio annesso alla cava stessa.



**Figura 6-44 Cave analizzate. Si noti l'estensione dei siti estrattivi paragonabili all'intero abitato di Bassacutena, in basso nella foto aerea.**

Solitamente nelle cave analizzate la coltivazione avviene per platee orizzontali su gradoni di circa 9 metri con approfondimento progressivo verso una coltivazione a fossa. Questo, vista l'intensa fratturazione della zona, provoca in quasi tutti i casi l'allagamento del piano più basso della cava, dalla quale deve essere edotta costantemente l'acqua.

Il metodo di coltivazione utilizzato offre la possibilità di operare contemporaneamente su più fronti in modo da compensare eventuali deficienze qualitative (legate al grado di fratturazione degli ammassi, alla presenza di filoni di varia natura etc). Inizialmente il taglio primario prevede l'isolamento della bancata la quale viene successivamente divisa con tagli secondari in porzioni più piccole dette "fette". Da queste ultime, tramite operazioni di ritaglio e riquadratura, si ottengono i blocchi commerciali con volumi di circa 10 m<sup>3</sup>. In quasi tutte le cave si è osservato come l'estrazione abbia sfruttato gli sheet joint a giacitura sub orizzontale come sottomano per facilitare l'estrazione. Tale piano viene indicato dai cavaatori con termine di "pioda".

Per quanto riguarda le tecnologie di taglio, il filo diamantato ha ormai rimpiazzato lo *splitting* con l'esplosivo in quasi tutte le fasi di coltivazione.

### **6.2.2.1. Cava Monti di la Trai**

La Cava Monti di la Trai – Nord Est Graniti è la più vicina (tra quelle studiate) all'abitato di Bassacutena. E' una cava a mezza costa ed è ubicata in località Monti di la Trai. La coltivazione avviene per platee orizzontali su gradoni di circa 9 metri con approfondimento progressivo verso una coltivazione a fossa. Attualmente i tagli vengono effettuati con filo diamantato accoppiato alla perforazione. Attraverso il taglio primario vengono realizzate grosse bancate



**Figura 6-45** Discarica costituita da sfridi e blocchi invenduti.

che, per tagli secondari, vengono ridotte fino ad ottenere blocchi di dimensioni commerciali.

La cava si caratterizza per la disposizione caotica e disordinata delle sue discariche che la cingono per tutto il perimetro. La porzione maggiore si trova sul lato Nord Est, la quale costituisce un importante rilievo costituito per lo più da blocchi invenduti.

In questa cava è stato prelevato il campione SCD 010. Il lapideo estratto è un Rosa Beta classico.



**Figura 6-46 Campione SCD 010**

limiti imposti dalla fratturazione, condiziona inevitabilmente la geometria della cava.

Tra i fattori penalizzanti è importante sottolineare la presenza di filoni basici affiancati con *spacing* molto ravvicinato (1-2 metri) come visibile in Figura 6-48. Sono presenti poi alcuni inclusi femici e *schlierens* biotitici.

Dallo studio strutturale effettuato (Figura 6-49) si è notato che il fronte è orientato grossomodo perpendicolarmente alla fratturazione e parallelo alla fluidalità magmatica. Come si è già detto, la presenza però del sistema filoniano, aggiunto ovviamente ai

Tra gli impatti ambientali individuati c'è sicuramente quello visivo. Quest'ultimo, è enfatizzato sicuramente dalle discariche caotiche attorno al sito di cava. Tra gli interventi di mitigazione degli impatti si indica dunque un immediato riutilizzo del materiale che consentirebbe di reimmettere sul mercato un prodotto attualmente considerato scarto e limitare l'estrazione di nuovo materiale. Ciò permetterebbe dunque di limitare le spese di estrazione di nuovo materiale e al contempo di ottenere un guadagno da un prodotto considerato rifiuto. Il riutilizzo del prodotto stoccato inoltre libererebbe nuovi spazi all'interno della cava, utili per lo stoccaggio dei blocchi o per aprire nuovi fronti. L'approfondimento, limitato per ora a due sole alzate, non ha interessato la falda idrica.



**Figura 6-47 Cava M.ti di la Trai.**



**Figura 6-48 Filoni basici con *spacing* molto ravvicinato da limitare la realizzazione di blocchi commerciali**

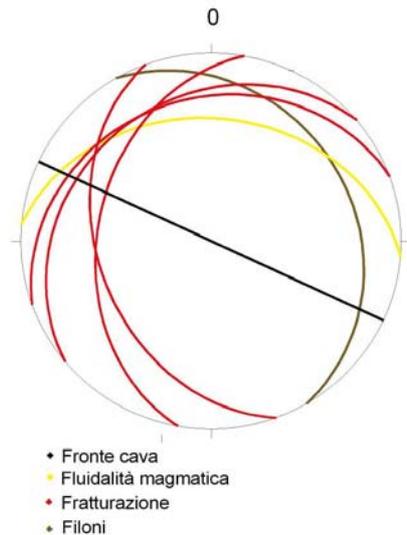


Figura 6-49 Stereonet Cava M.ti di la Trai.

Scheda riassuntiva Monti di la Trai – Nord est graniti	
Altitudine	135 m s.l.m
Tipologia	Pianura/mezza costa
Metodologie di estrazione	Platee orizzontali con grandi bancate
Tecnologie di estrazione	Perforazione ed esplosivo, filo diamantato
Prodotto estratto	Rosa Beta
Fronte	N 115
Fluidalità	N95 35 NNE
Fratturazione	N10 NW 40; N160 SW 40; N70 NW 25; N50 NW 25
Filoni basici	N150 25 NE
Fattori penalizzanti	Filoni basici, inclusi femici, <i>schierens</i> biotitici.
Campioni	SCD 010
Utilizzazione attuale del suolo nell'area circostante	Macchia, bosco
Impatti ambientali	Impatto visivo, alterazione morfologia preesistente
Interventi di mitigazione	Riutilizzo prodotto stoccato e riqualificazione ambientale

### 6.2.2.2. Cava Contra di la Iaccia

La cava Contra di la Iaccia è un sito estrattivo di grandi dimensioni che si estende per circa 16000 m<sup>2</sup> nei pressi della località omonima. Si tratta di una cava culminale impostata su una debole collina a circa 170 m s.l.m., organizzata per platee orizzontali a gradoni discendenti. I tagli vengono effettuati tramite utilizzo di perforazione accoppiata ad esplosivo e filo diamantato. Quest'ultima tecnologia ha svincolato la geometria della cava e i fronti non seguono più l'orientazione delle superfici di più facile distacco. Gli importanti ribassi effettuati

nella porzione nord e sud della cava hanno intercettato la falda acquifera che in inverno, a causa del suo innalzamento, dà luogo alla formazione di due laghi di cava.

Il materiale estratto è un Rosa Beta classico come si evince dal campione SCD 012 prelevato in questa cava.



**Figura 6-50 Campione SCD 013**

Tra i fattori penalizzanti si è osservata la presenza di alcuni xenoliti scuri, tasche pegmatitiche e alcune fratture cloritizzate che attraversano l'intero giacimento.

L'analisi strutturale mostra come il fronte sia perpendicolare alla fluidità magmatica, probabilmente per sfruttare il debole motivo ornamentale dato dall'isorientazione dei feldspati potassici. Non si osservano invece relazioni con la fratturazione presente. Questo è dovuto al fatto che oramai i tagli vengono fundamentalmente effettuati

con il filo diamantato. Non è quindi più necessario sfruttare dei piani preferenziali come si faceva con lo *splitting* dinamico.

Il sito di cava è infine caratterizzato da numerose discariche perimetrali costituite da sfridi e blocchi invenduti. Queste creano un importante impatto visivo dovuto anche alla posizione culminale della cava che la rende visibile dalla strada Bassacutena – Porto Pozzo, molto trafficata nel periodo estivo. Altro impatto ambientale, come già detto, è costituito dall'interferenza dell'attività estrattiva con la circolazione idrica sotterranea.

Come intervento mitigatore degli impatti si indica sicuramente il riutilizzo di tutto il prodotto stoccato che consentirebbe di liberare buona parte del giacimento ora occupato dalle numerose discariche. In seguito si potrebbe riqualificare il versante orientale, quello visibile dalla strada, in modo da favorire la ripresa vegetale e limitare gli impatti visivi. I fronti attivi infatti, ubicati ormai 20 metri sotto il piano di campagna, sono praticamente nascosti da punti fruibili dalla popolazione; la sola porzione della cava visibile è costituita dalla sua discarica.



Figura 6-51 Stereonet Cava Contra di la Iaccia. In foto aerea, sulla destra, Cava Azara.

Scheda riassuntiva Cava Contra di la Iaccia	
Altitudine	274 m s.l.m
Tipologia	Culminale
Metodologie di estrazione	Gradoni e platee orizzontali
Tecnologie di estrazione	Perforazione ed esplosivo, filo diamantato
Prodotto estratto	Rosa Beta
Fronte	N 25
Filoni	N170 NE 37
Fratturazione	N 355 W 20; N150 NE 18; N40 NW 50; N160 NE 32
Fluidalità	N110 NE 38
Fattori penalizzanti	Inclusi basici, tasche pegmatitiche, fratturazione
Campioni	SCD 012-013
Utilizzazione attuale del suolo nell'area circostante	Macchia
Impatti ambientali	Impatto visivo, alterazione morfologia preesistente, interferenza falda idrica
Interventi di mitigazione	Riutilizzo materiale stoccato, riqualificazione porzioni non coltivate.

### 6.2.2.3. Cava Stazzi Brattoneddu



Figura 6-52 Campione SCD 015

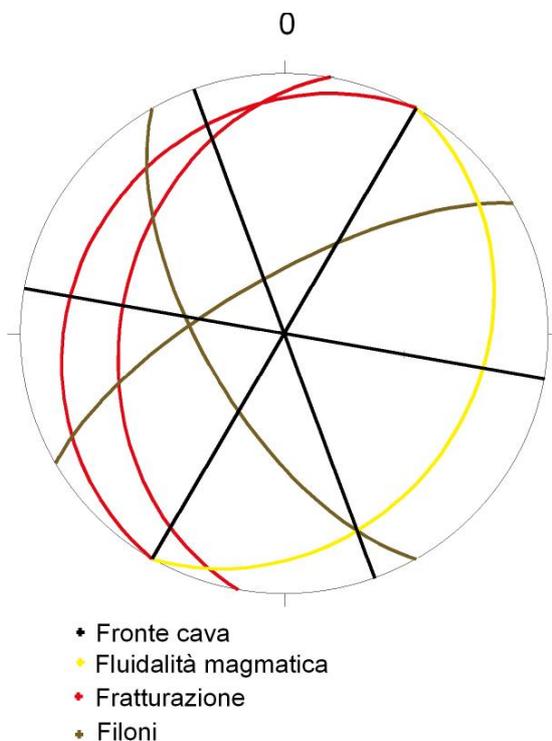


Figura 6-53 Stereonet Cava S. zzi Brattoneddu.

La cava Stazzi Brattoneddu sorge nei pressi dell'omonima località a ridosso della strada Bassacutena-Porto Pozzo. Si tratta di una cava culminale a gradoni con sviluppo a fossa. I tagli vengono effettuati con perforazione accoppiata ad esplosivo e filo diamantato. Anche in questa cava viene estratto un Rosa Beta classico rappresentato dal campione SCD 015 qui prelevato.

Nel sito sono stati individuati due filoni basici e alcuni inclusi melanocrati.

Lo studio strutturale ha evidenziato che i fronti N160 sono stati realizzati ortogonali al sistema filoniano, quelli N30 e N100 rispettivamente paralleli e perpendicolari al sistema di fratturazione e fluidalità.

Nonostante la posizione culminale del sito estrattivo, i notevoli ribassi effettuati hanno intercettato la falda idrica che ha portato alla formazione di un lago di cava.

Bisogna sottolineare che  $\frac{3}{4}$  dell'estensione areale del sito sono occupati da una discarica caotica purtroppo in parte visibile dalla strada. Sarebbe opportuno dunque riutilizzare il materiale estratto vista anche l'impossibilità di proseguire i ribassi a causa dell'interferenza con la circolazione idrica sotterranea, liberando così nuovi spazi per la creazione di eventuali nuovi fronti. L'impatto visivo potrebbe essere poi limitato con la rivegetazione delle porzioni più esposte e visibili dalla strada.



**Figura 6-54 Cava Stazzi Brattoneddu. Si noti l'estensione della discarica rispetto alla porzione coltivata. In basso, il tornante della strada Bassacutena – Porto Pozzo a ridosso del sito estrattivo.**

Scheda riassuntiva Cava Stazzi Brattoneddu	
Altitudine	200 m s.l.m
Tipologia	Culminale
Metodologie di estrazione	Platee orizzontali con grandi bancate
Tecnologie di estrazione	Perforazione e spacco, perforazione ed esplosivo, filo diamantato
Prodotto estratto	Rosa Beta
Fronte	N 160; N 100; N 30
Filoni	N150 SW 65; N60 NW 72
Fratturazione	N30 NW 20; N10 NW 38
Fluidalità	N30 SE 26
Fattori penalizzanti	Inclusi basici, filoni
Campioni	SCD 015
Utilizzazione attuale del suolo nell'area circostante	Macchia
Impatti ambientali	Impatto visivo, alterazione morfologia preesistente, interferenza circolazione idrica sotterranea.
Interventi di mitigazione	Riutilizzo materiale stoccato, riqualificazione

#### 6.2.2.4. Cava Azara

La cava Azara è una cava a mezza costa nei pressi di Stazzu lu Colbu. Si tratta di un sito ormai dismesso nel quale l'estrazione è cessata da qualche anno. Si è preferito difatti puntare sulla lavorazione del materiale in un laboratorio presente all'interno del sito estrattivo. In questa cava dunque non è presente una discarica in quanto tutto il materiale estratto e non venduto è stato riutilizzato per lavorazioni artigianali e su misura.

E' una cava a gradoni organizzata per platee orizzontali nella quale si producevano blocchi di dimensioni commerciali. La coltivazione del giacimento si è approfondita sul versante nord ovest di 3 alzate. Poco più a valle è presente una sorgente. Se la coltivazione fosse dunque continuata, questa avrebbe sicuramente interferito con la circolazione idrica sotterranea.

L'estrazione veniva condotta attraverso l'utilizzo della perforazione accoppiata a esplosivo e/o filo diamantato. In un fronte è poi possibile vedere il segno di un taglio con *Flame Jet*.

Il lapideo estratto nella cava è un Rosa Beta anche se il proprietario vendeva il suo prodotto col nome commerciale di Rosa Corallo. In questa cava è stato prelevato il campione SCD 024.



Figura 6-55 Campione SCD 024.

Lo studio strutturale evidenzia l'ottima conduzione di cava con fronte impostato perpendicolarmente alla fluidità e parallelo ai sistemi di fratturazione presenti. Il sottomano invece sfruttava gli *sheet joint* a giacitura sub orizzontali presenti in quasi tutte le cave analizzate.

Tra i fattori penalizzanti individuati si segnala la presenza di sporadica pirite, di xenoliti scuri e di alcuni *schlierens* biotitici. Assenti invece le tasche pegmatitiche.

Gli impatti ambientali del sito sono sicuramente ricollegabili all'alterazione morfologica che lo scavo ha prodotto. Vista però l'assenza di discarica e l'esposizione dei fronti relativamente nascosta, questa è probabilmente la cava meno impattante tra quelle analizzate sotto l'aspetto visivo. Sarebbe bene adottare alcuni interventi per favorire la ripresa vegetativa in modo da mascherare in parte l'intervento antropico sul sito.



**Figura 6-56** *Schlierens femici* a giacitura sub orizzontale.



**Figura 6-57** Panoramica sito di cava. Sulla sinistra, laboratorio per la lavorazione. Si noti l'assenza di discariche e la presenza di *joint* a giacitura sub-orizzontale.



Figura 6-58 Taglio effettuato con il *Flame – jet*.

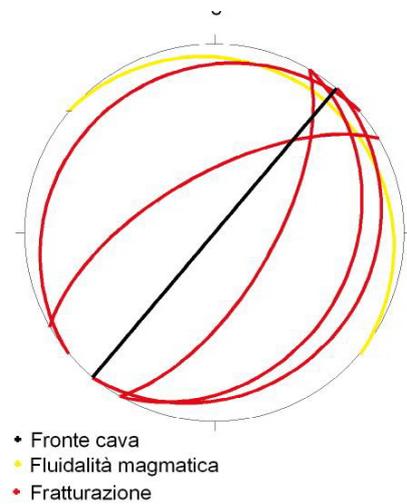
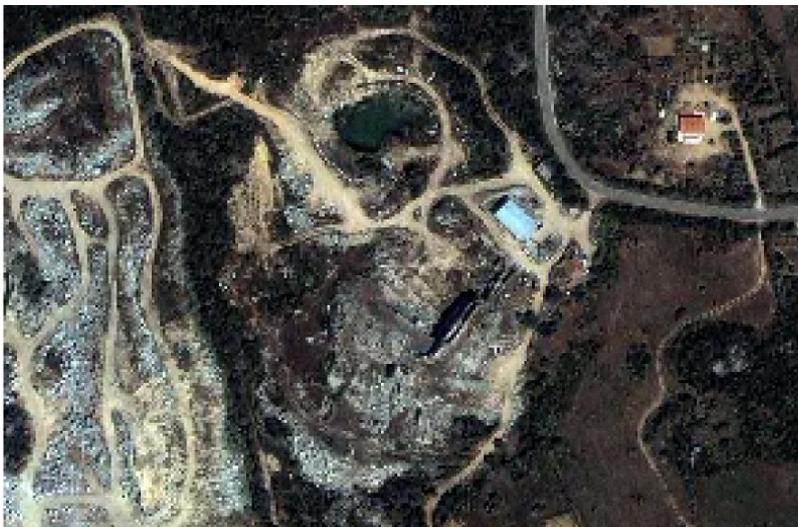


Figura 6-59 Stereonet riassuntivo Cava Azara. In foto aerea si noti sulla sinistra la discarica della cava Contra di la Iaccia.

Scheda riassuntiva Cava Azara	
Altitudine	151 m s.l.m
Tipologia	Mezza costa
Metodologie di estrazione	Platee orizzontali con grandi bancate
Tecnologie di estrazione	Perforazione e spacco, perforazione ed esplosivo, filo diamantato, <i>flame-jet</i>
Prodotto estratto	Rosa Beta (Rosa corallo)
Fronte	N 40
fratturazione	N30 SE 65; N60 NW 65; N40 SE 18; N50 NW 15; N30 SE 28
Fluidalità	N 130 10 NE
Fattori penalizzanti	<i>schlierens</i> biotitici, xenoliti femici, pirite
Campioni	SCD 024
Utilizzazione attuale del suolo nell'area circostante	Macchia
Impatti ambientali	Alterazione morfologia preesistente
Interventi di mitigazione	Riquilificazione ambientale per favorire la ripresa vegetativa

### 6.2.2.5. Cava Inginocchiaddu

La cava Inginocchiaddu è un sito dismesso da diversi anni nei pressi dell'omonimo stazzo. La cava presenta una geometria a fossa con un ribasso di oltre 35 m. L'ultima alzata, intercettando la falda, ha portato alla formazione di un lago il cui livello è stabile per tutto l'arco dell'anno.

Il fronte ha un'estensione di circa 30 metri ed è orientato circa N50, compreso tra due fratture. L'estrazione veniva condotta con la perforazione seguita da spacco o esplosivo. In questo modo si riattivavano dunque le microfrazture già presenti nella roccia limitando la possibilità di produrre blocchi di dimensioni commerciali.

Il lapideo estratto è commercialmente un Rosa Beta. Qui si è prelevato il campione SCD 027.

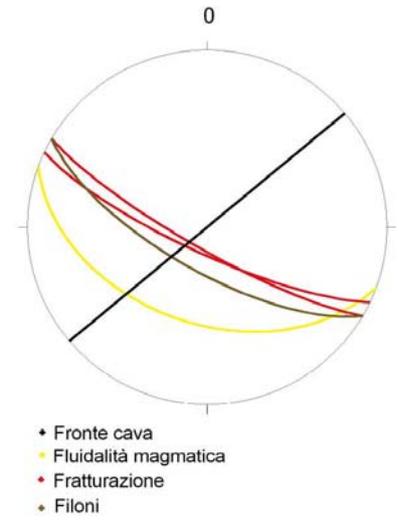


**Figura 6-60 Campione SCD 027**

hanno comunque inficiato il litotipo a tal punto da non permettere lo sfruttamento del giacimento per fini ornamentali.

Lo studio strutturale ha evidenziato la presenza dei principali fattori penalizzanti che hanno causato la bassa resa della cava fino a portarla alla sua chiusura. Il sito difatti è realizzato tra due importanti *display joints*, fratture associate ad un'importante cataclasite. L'attività estrattiva è stata poi penalizzata dalla presenza di un grosso filone basico che attraversa l'intero giacimento. Dunque seppur il fronte è stato orientato grossomodo perpendicolare ai sistemi di fratturazione e al filone, tali fattori penalizzanti

Gli impatti ambientali sono sicuramente da ricondurre all'alterazione della morfologia preesistente e all'interferenza con la circolazione idrica sotterranea. Si consiglia dunque una riqualificazione ambientale del sito attraverso riprofilatura dei versanti, colmataura dello scavo con parte del materiale già estratto e piantumazione del sito.



**Figura 6-61 Stereonet della Cava Inginochiaddu.**



**Figura 6-62 Fronte della cava.**



**Figura 6-63 Fronte della Cava Inginocchiaddu. Si noti il sistema di fratturazione.**

Scheda riassuntiva Cava Inginocchiaddu	
Altitudine	180 m s.l.m
Tipologia	Mezza costa
Metodologie di estrazione	platee orizzontali e gradoni
Tecnologie di estrazione	Perforazione e spacco, perforazione ed esplosivo
Prodotto estratto	Rosa Beta
Fronte	N 50
Filoni	N 120 SW 70
Fratturazione	N 120 SW 80; N115 SW 78
Fluidalità	N110 SW 45
Fattori penalizzanti	Fratturazione, filone basico
Campioni	SCD 027
Utilizzazione attuale del suolo nell'area circostante	Macchia, bosco
Impatti ambientali	alterazione morfologia preesistente, interazione falda idrica
Interventi di mitigazione	Riqualificazione ambientale

### **6.2.2.6. Cava M.te di Lu Boju**

La cava M.te di Lu Boju è una grande cava a gradoni nei pressi dell'omonimo rilievo.

Il sito estrattivo è organizzato per platee e l'estrazione è condotta con filo diamantato per il taglio primario e perforazione con fioretti (taglia blocchi) nei ritagli delle fette.

Il materiale estratto è un Rosa Beta classico. In questa cava si è prelevato il campione SCD 030.



**Figura 6-64** Campione SCD 030.

Tra i fattori penalizzanti individuati si segnalano alcuni xenoliti femici, *schlierens* biotitici e tasche pegmatitiche. Notevole anche la fratturazione e i filoni basici che condizionano la geometria e l'avanzata dei fronti.

Dallo studio strutturale effettuato si è notata la presenza di varie famiglie di fratture. Il fronte di cava è stato impostato perpendicolare alle fratture N140 (le più importanti). L'esistenza degli altri sistemi condiziona comunque lo splitting dinamico tant'è che per evitare di ottenere blocchi informi la

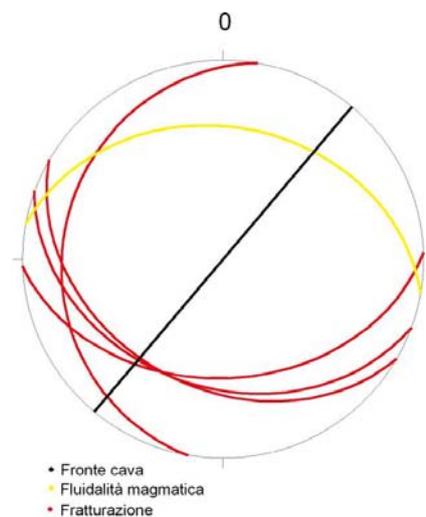
spaziatura tra i fioretti è di pochi cm (Figura 6-69). Ovviamente con l'utilizzo del filo diamantato questo problema è venuto meno.

Nella porzione NW del sito è presente un ribasso di circa 30 metri completamente allagato per intercettazione delle falda idrica. Attualmente l'estrazione viene condotta esclusivamente nel settore Est. Gli impatti ambientali sono sicuramente da ricondurre alla grande quantità di materiale stoccato in maniera caotica attorno a tutto il sito di cava.

Tra gli interventi di mitigazione si consiglia un riutilizzo del materiale stoccato, molto del quale costituito da blocchi di dimensioni commerciali, e una riqualificazione ambientale del settore nord occidentale, apparentemente dismesso.



**Figura 6-65** Stereonet Cava M.ti di lu Boju





**Figura 6-66 Fronte interessato da fratturazione.**



**Figura 6-67 Fronte con incluso basico orientato.**



**Figura 6-68 Panoramica cava.**



**Figura 6-69 Spaziatura fioretti di 8 cm circa.**



**Figura 6-70 Blocco attraversato in diagonale da uno sciame biotico**



**Figura 6-71** Discarica in prossimità dell'accesso.



**Figura 6-72** Avanzata del fronte arrestata in prossimità di un filone basico.

Scheda riassuntiva Cava M.te di lu Boju

Altitudine	213 m s.l.m
Tipologia	Mezza costa
Metodologie di estrazione	Platee orizzontali con grandi bancate

Stefano Cuccuru – Studio geologico strutturale dei granito idi varisici come lapidei ornamentali: problematiche inerenti la caratterizzazione, la coltivaizone dei giacimenti e nuovi utilizzi in campo industriale. – Tesi di dottorato in Scienza e tecnologia dei minerali e delle rocce di interesse industriale – università di sassari.

Tecnologie di estrazione	Perforazione e spacco, perforazione ed esplosivo, filo diamantato
Prodotto estratto	Rosa Beta
Fronte	N 40
Fratturazione	N110 S 36; N10 W 21; N120 SW 36; N88 S 40; N140 NE 80
Fluidalità	N 100 34 NE ;
Fattori penalizzanti	Fratturazione, filoni, limitati <i>schlierens</i> femici e inclusi basici
Campioni	SCD 030
Utilizzazione attuale del suolo nell'area circostante	Macchia
Impatti ambientali	Impatto visivo, alterazione morfologia preesistente, interazione falda idrica
Interventi di mitigazione	Riutilizzo materiale, riqualificazione ambientale

## 7. Indagini di Laboratorio

### 7.1. Caratterizzazione

In tutte le cave di Giallo San Giacomo e Rosa Beta analizzate sono stati prelevati uno o più campioni, sui quali è stata segnata la microfratturazione.

Da ogni campione si sono poi realizzati i provini (cubi di 7 cm di lato, lastre 12x3x2), come previsto dalle normative EN, per le prove fisico-meccaniche. Avendo individuato in entrambi i litotipi una anisotropia costituita fondamentalmente da una micro-fratturazione presente, sono state realizzate due serie di provini per ogni cava in modo da poter testare il litotipo parallelamente e ortogonalmente alle anisotropie (prova a compressione, flessione e assorbimento d'acqua per capillarità).

Sono poi state realizzate le sezioni sottili per la caratterizzazione minero-petrografica e l'analisi microstrutturale. Infine si sono prodotte le polveri per le analisi chimiche.

I provini sono stati tagliati con una sega diamantata ortogonali alla microfratturazione. Le sezioni sottili sono state tagliate parallele e perpendicolari alle microfratture e, in alcuni casi, parallele e perpendicolari all'allungamento dei globuli di quarzo.

Dai provini cubici è stata poi effettuata un'analisi di *facies* che permettesse di paragonare tutti i litotipi estratti al fine di evidenziare eventuali variazioni cromatiche e tessiture.

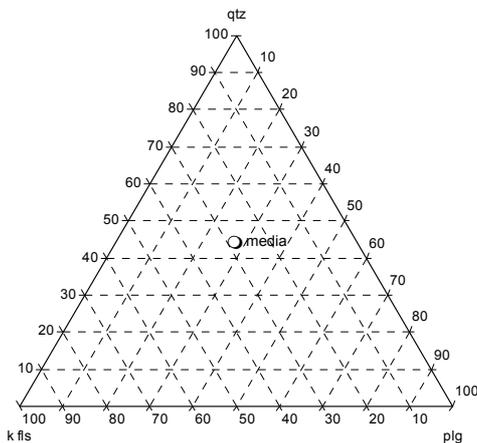
### 7.2. Caratterizzazione minero - petrografica

#### 7.2.1. Giallo San Giacomo

Il Giallo San Giacomo è un leuco-monzogranito a grana media (circa 1cm) con tessitura apparentemente isotropa, equigranulare e ipidiomorfa. Contiene, in ordine decrescente di abbondanza, quarzo (42%), feldspato potassico (20%), microclino (7%), plagioclasio (26%) e biotite (<5%). Apatite, zircone e monazite sono i minerali accessori più comuni. La determinazione del contenuto di anortite nei plagioclasii, eseguita col metodo di Michel-Lévy, ha mostrato un valore medio di An<sub>45</sub>. Entrambi i feldspati presentano un principio di sericitizzazione e spesso la biotite presenta una cloritizzazione quasi completa.

In sezione sottile le microfratture appaiono parzialmente rinsaldate da minerali originatisi attraverso processi di *weathering*. Questi aggregati di minerali secondari consistono in ossidi e idrossidi di ferro e, probabilmente, fillosilicati otticamente non distinguibili. E' importante

sottolineare come gli ossidi e idrossidi di ferro siano stati individuati esclusivamente nella porzione alterata (gialla), dove formano degli aloni giallognoli attorno alla biotite e si propagano poi attraverso il network delle microfratture, conferendo alla roccia il suo colore. Gli ossidi e idrossidi di ferro sono assenti invece nella porzione non alterata e le biotiti non presentano nessun alone.



**7-1 Analisi modale media delle sezioni sottili di Giallo San Giacomo analizzate. Il lapideo studiato ricade nel campo dei monzograniti.**



**7-2 Aloni giallognolo attorno alle biotiti.**

**Figura 7-3 Biotite parzialmente cloritizzata. Si osservino le microfratture e gli ossidi che si propagano attraverso queste. A sx nicols incrociati.**

**7-4 Microfratture che tagliano indistintamente vari cristalli di quarzo. Larghezza lato lungo 2mm. Campione SCD 001.**

**7-5 Chessboard pattern in SCD 023. Larghezza lato lungo 2mm.**

## **7.2.2. Rosa Beta**

Il lapideo studiato composizionalmente ricade nel campo dei monzograniti e presenta grana media con tessitura inequigranulare, ipidiomorfa e orientata.

È costituito da quarzo, plagioclasio, feldspato potassico e biotite (mai superiore al 15%) come minerali primari. Allanite, zircone, epidoto, apatite, titanite e opachi sono i minerali accessori. In sezione sottile si osservano anche clorite e sericite come minerali secondari. E' da segnalare inoltre, esclusivamente nel campione SCD 024 la presenza di pirite.

Nel feldspato potassico l'alterazione è piuttosto marcata presentando evidente sericitizzazione. Alcuni cristalli sono caratterizzati da mescolamenti micropertitici di albite. Si tratta prevalentemente di microclino e subordinatamente di ortoclasio.

Sono riconoscibili geminazioni secondo la legge *Karslbard*, frequente è anche la geminazione a graticcio.

Il quarzo si presenta sia in individui isolati che in aggregati policristallini, all'interno dei quali i contatti possono essere netti o lobati; si osserva una evidente estinzione ondulata e talvolta vi sono fenomeni di *new grain* di quarzo che si sviluppano sia tra due granuli di quarzo, sia fra granuli di quarzo e feldspato. I cristalli risultano microfratturati e attraversati da *trails* di inclusioni fluide.

I contatti tra quarzo e feldspato sono spesso lobati ed interdigitati e il feldspato è quasi sempre interstiziale e quindi anedrale.

La biotite, tabulare nera con riflessi metallici, si trova spesso isolata o in aggregati minori di 1 cm. La maggior parte dei cristalli possono risultare alterati con minerali secondari che si concentrano lungo i piani di sfaldatura oppure in corrispondenza delle fratture. Il principale minerali di alterazione è la clorite. Gli altri minerali di alterazione sono gli opachi.

Nel complesso la roccia si caratterizza per il colore dei feldspati potassici che varia da un rosa opaco ad un rosa acceso e che le conferisce un cromatismo rosato, da cui appunto il nome di Rosa Beta. La tessitura orientata è evidenziata soprattutto dai fenocristalli di feldspato potassico che tendono ad allinearsi secondo la fluidalità magmatica. Quest'ultima è marcata inoltre dall'orientazione degli *schierens* biotitici e degli inclusi femici.

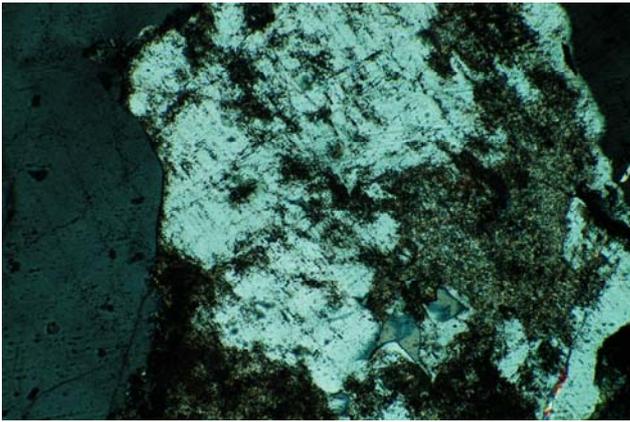
L'analisi modale ha mostrato in media la seguente abbondanza di minerali costituenti:

qtz 31%,  
Kfs 24 %,  
plg 35%,  
bt 10%

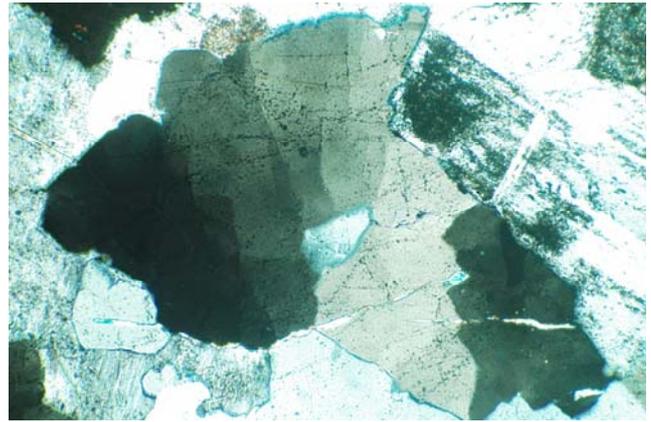
**Figura 7-6 Analisi modale Rosa Beta.**

che permette di classificare il Rosa Beta nel campo dei monzograniti.

Sempre in sezione sottile, ma alcune volte anche sul campione a mano, è poi possibile osservare un *network* di microfratture, spesso maggiormente sviluppato a carico dei cristalli di quarzo. E' necessario sottolineare che tale sistema di microfratturazione ha una densità e una pervasività variabile da zona a zona e in tutti i casi di entità decisamente inferiore rispetto a quello individuato nel granito Giallo San Giacomo.



**Figura 7-7 Sericitizzazione di feldspati. Larghezza lato lungo 2mm.**



**Figura 7-8 Chessboard pattern in SCD 015. Larghezza lato lungo 2mm.**



**Figura 7-9 Rosa Beta.**

### **7.3. *Analisi microstrutturale***

Per indagare su un possibile rapporto tra microstrutture ed orientazione delle microfratture e, soprattutto, per capire se il Giallo San Giacomo possedesse una natura isotropa anche alla

micro - scala, è stata effettuata un'analisi microstrutturale di dettaglio su alcune sezioni sottili di tale litotipo.

L'analisi microstrutturale è stata eseguita su sezioni sottili dei campioni SCD 001 e SCD 004, tutti di Giallo San Giacomo. Si sono scelte queste due sezioni in quanto rappresentative rispettivamente di una zona centrale e di una zona periferica del plutone.

Nel campione SCD 001 i cristalli di feldspato potassico e plagioclasio risultano essere sempre idiomorfi e non presentano mai una chiara orientazione preferenziale (*Shape Preferred Orientation, SPO*), sia nelle sezioni XZ che in quelle YZ. Il quarzo forma irregolarmente dei globuli, compresi tra la biotite e i feldspati. Nelle sezioni sottili parallele alle microfratture, i globuli sono poco allungati. Probabilmente quest'accenno di allungamento dei globuli di quarzo veramente molto blando, coincide con la lineazione mineralogica X. I contatti tra quarzo e feldspati sono generalmente dritti o leggermente curvi, mentre i contatti quarzo-quarzo sono serrati o raramente lobati. La struttura interna del quarzo è caratterizzata da evidenti *subgrains boundaries* orientati paralleli ai piani basali o prismatici. La microstruttura dei *subgrains* definisce il tipico *chessboard pattern* in idonei cristalli orientati (Krhul, 1996). Molti cristalli mostrano un forte *crystallographic preferred orientation* (CPO), rappresentato dall'orientamento degli assi [c] di questo minerale. Il CPO del quarzo è fondamentalmente di

origine magmatica in quanto non si osserva un cambiamento di forma dei cristalli e la

**Figura 7-12 Chessboard pattern in SCD 004. Piani prismatici (P); piani basali (B). Larghezza lato lungo 2mm.**

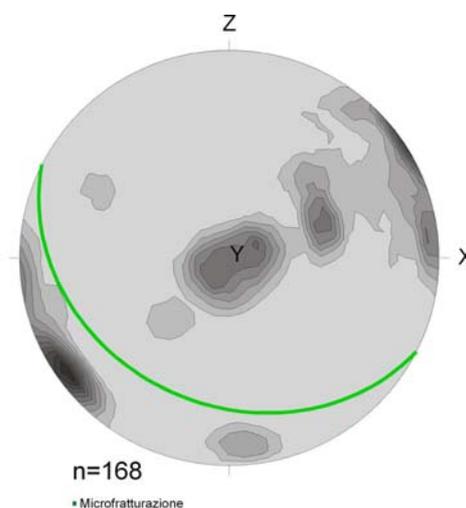
probabilmente dovuto allo sviluppo selettivo dei cristalli adeguatamente orientati (den Brock, 1996; Vernooij *et al.*, 2006). Il fabric magmatico è stato successivamente rielaborato in uno stato sub-magmatico (Paterson *et al.*, 1989; Bouchez *et al.*, 1992), come indicato dalle fratture in fenocristalli di k feldspato riempiti con plagioclasio e quarzo che è otticamente continuo con il quarzo esterno in globuli.

Come mostrano gli *stereonet* realizzati, l'orientazione degli assi [c] del quarzo è compresa in quattro distinti massimi. Il massimo 1 e 2 coincide con la lineazione mineralogica X, gli altri piccoli massimi 3 e 4 sono dispersi sul piano XY attorno alla direzione Y. Questa microstruttura risulta da combinate dislocazioni su il *prism* [c] e *prism* <a> *slip systems*, e dovrebbe riflettere deformazioni plastiche di alta temperatura nel campo di stabilità del quarzo (Kruhl, 1996), vicino al *solidus* del granito (Mainprice *et al.*, 1986; Kruhl, 1996). Dagli *stereonet* si evince inoltre come la direzione delle microfratture formi un angolo di circa 20° col piano XY. Il piano delle microfratture sembrerebbe poi coincidere coi piani romboedrici dei cristalli di quarzo.

In sezione sottile appare evidente come la maggior parte delle microfratture tagliano indifferentemente tutti i minerali. Le microfratture più piccole (costituenti un secondo ordine) sono invece concentrate nei globuli di quarzo e si sviluppano preferenzialmente al contatto tra *subgrains* terminando solitamente contro i contorni delle biotiti o dei feldspati.

**Figura 7-10 Chessboard pattern e microfratture in SCD 004. Larghezza lato lungo 2mm.**

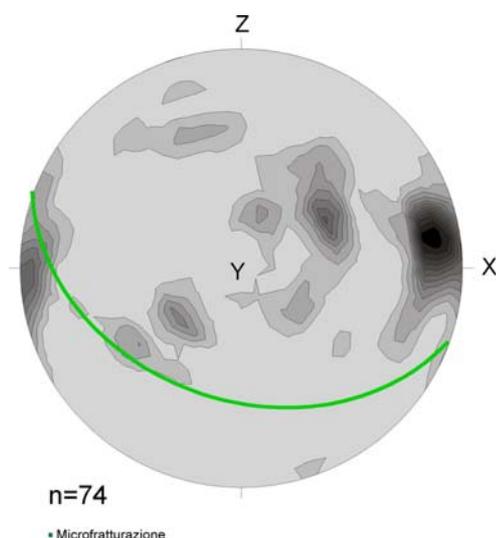
ricristallizzazione è estremamente localizzata (<10 %) lungo i margini dei globuli, o all'interno di piccole micro-zone di taglio. Queste evidenze suggeriscono che l'orientazione del quarzo primario è



**Figura 7-11 Stereonet assi c del quarzo in SCD 001.**

La microstruttura del campione SCD 004 è abbastanza simile a quella di SCD 001. Nella sezione XY, tuttavia, i contorni dei feldspati sono frequentemente curvi o irregolari, con cuspidi alcune volte sviluppate al contatto quarzo-feldspato-quarzo. I cristalli di quarzo preservano, come visto in SCD 001, grossi *subgrains* i quali mostrano un tipico *chessboard pattern*. I contorni tra cristalli di quarzo differenti sono generalmente serrati. Alcuni di questi contorni sono decorati con piccoli grani i quali mostrano un *gypsum plate effect* indicando sviluppo dalla rotazione e ricristallizzazione dei *subgrains* (Hirth and Tullis, 1992; Stipp *et al.*, 2002). I segmenti dei contorni si sviluppano preferenzialmente allineati con piani rombici o prismatici. L'orientazione degli assi [c] del quarzo è compresa in un massimo attorno alla lineazione mineralogica ma altri massimi sono presenti sul piano XY. In sezione sottile le microfratture tagliano indifferentemente tutti i minerali sfruttando le facce dei feldspati a bassa energia e i contatti dei *grains* e *subgrains* rombo-paralleli di quarzo come piano preferenziale.

In generale la struttura interna dei cristalli di quarzo e feldspato indica che il granito Giallo San Giacomo ha registrato delle deformazioni. La temperatura di deformazione può essere stimata a circa 650 °C, come indicato dal *chessboard pattern* nel quarzo e dalla morfologia dei contorni tra quarzo e feldspati (Hirth & Tullis, 1992; Kruhl, 1996). L'analisi microstrutturale ha rivelato un notevole LPO (*Lattice Preferred Orientation*) del quarzo, a dispetto dell'assenza di un



**Figura 7-13 Stereonet assi [c] del quarzo in SCD 004.**

qualsiasi chiaro SPO per gli aggregati di quarzo e feldspato. Tale tessitura indica dunque che il campo di stress è stato debole (e localizzato vista l'assenza di deformazioni nell'incassante) tanto da non produrre una isorientazione dei cristalli, probabilmente anche a causa di un'alta viscosità del magma dovuto all'alto contenuto in silice e alla messa in posto a livelli alto crustali. LPO individuato è invece da mettere in correlazione probabilmente con l'interazione cristallo-cristallo una volta diminuita la quantità di fuso. Interessante inoltre notare che le microfratture si sviluppino preferenzialmente oblique rispetto al piano XY individuato, usando facce a bassa energia come i contorni rombo- e prismo- paralleli nel quarzo, e i piani [001] dei feldspati.

## 7.4. Analisi chimiche

### 7.4.1. Giallo San Giacomo

Dal campione SCD 001 e SCD 002 sono state realizzate delle polveri per le analisi chimiche. I campioni scelti per le analisi chimiche provengono entrambi dalla Cava Caprudeddu. Il campione SCD 001 rappresenta la porzione fresca (bianco-grigia), mentre il campione SCD 002

quella alterata (gialla). Sono stati scelti questi campioni in quanto la cava Caprudeddu, trovandosi al centro dell'intrusione, fornisce un campione rappresentativo del Giallo San Giacomo, non risentendo di eventuali effetti di bordo. In questa cava poi, come già descritto, è possibile prelevare sia campioni alterati (qualità gialla) che inalterati (qualità grigia) permettendo così di analizzare eventuali variazioni chimiche tra le due porzioni di giacimento.

Dal confronto dell'analisi chimica dei due campioni si evince che la differenza tra i due è veramente minima. Non è possibile dunque solo attraverso l'analisi chimica discriminare la porzione alterata da quella inalterata. Questo indica dunque che non vi è stata mobilità di elementi e che l'alterazione ha agito in loco senza poi trasporto dei prodotti di alterazione. Questi ultimi infatti, come si è già osservato in sezione sottile, si sono diffusi attraverso il *network* di microfratture in un'area molto circoscritta e prossima ai minerali sorgenti (ad es. aloni di ossidi attorno alle biotiti). Soprattutto la differenza del ferro tra un campione e l'altro è risultata quasi marginale indicando che sia la porzione gialla che quella bianca contengono la stessa quantità di ferro. L'unica differenza apprezzabile risiede nel FeO anche se la quantità di ferro totale ( $Fe_2O_3$ ) rimane invariato. Questa differenza potrebbe essere spiegata, a parità di ferro, con un differente stato di ossidazione del ferro nei due campioni.

E' possibile poi osservare come la somma degli alcali (Na e K) sia sempre superiore all'8%, requisito promettente per un'eventuale sfruttamento in campo ceramico.

Al fine di valutare un'eventuale interazione di fluidi idrotermali coinvolti nell'alterazione del Giallo San Giacomo, è stata eseguita anche una analisi chimica degli elementi minori. I risultati hanno fatto escludere questa ipotesi confermando quella del *weathering*.

	Campioni	
	SCD001	SCD002
SiO <sub>2</sub>	76,63	77,59
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,63	12,18
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,77	0,78
FeO	0,47	0,29
MnO	0,031	0,02
MgO	0,06	0,05
CaO	0,65	0,57
Na <sub>2</sub> O	3,51	3,34
K <sub>2</sub> O	4,82	4,74
TiO <sub>2</sub>	0,07	0,06
S	0,01	0,01
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,03	0,03
LOI	0,28	0,28
TOT	99,97	99,95
A/CNK	1,04	1,04

Figura 7-14 Ossidi maggiori. Valori espressi in %

	Campioni	
	SCD001	SCD002
Sc	2	2
Be	1	1
V	<5	<5
Cr	30	40
Co	<1	<1
Ni	<20	<20
Cu	<10	<10
Zn	<30	<30
Ga	19	18
Ge	1	1
As	<5	<5
Rb	109	101
Sr	13	13
Y	29	29
Zr	223	269
Nb	8	6
Mo	3	4

Ag	<0,5	<0,5
In	<0,2	<0,2
Sn	2	4
Sb	<0,5	<0,5
Cs	1,3	1,1
Ba	191	189
La	32,8	32,6
Ce	72,2	73,5
Pr	7,75	7,82
Nd	27,8	27,7
Sm	5,5	5,3
Eu	0,21	0,21
Gd	4,8	4,7
Tb	0,7	0,7
Dy	3,9	3,7
Ho	0,7	0,7
Er	2,2	2,2
Tm	0,32	0,32
Yb	2,1	2,1
Lu	0,33	0,33
Hf	6,6	7,6
Ta	0,5	0,5
W	<1	<1
Tl	0,5	0,5
Pb	28	27
Bi	<0,4	<0,4
Th	15,3	15,1
U	2,3	2,6

**Figura 7-15 Elementi minori, in tracce e terre rare. Valori espressi in ppm.**

### 7.4.2. Rosa Beta

SiO <sub>2</sub>	70,2
TiO <sub>2</sub>	0,31
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,6
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,9
MnO	0,09
MgO	0,66
CaO	2,32
Na <sub>2</sub> O	4,27
K <sub>2</sub> O	3,95
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,09
Loi	0,57
tot	99,96
A/CNK	0,94

Le analisi chimiche del Rosa Beta (Cabiddu *et al.*, 1997) mostrano una leggera diminuzione del SiO<sub>2</sub> rispetto al San Giacomo. Contemporaneamente si osserva un aumento del ferro, dovuto essenzialmente alla maggior densità di femici presenti nel Rosa Beta. Anche in questo lapideo si osserva una somma degli alcali (Na e K) superiore a 8 %. Anche questo dato potrebbe far

supporre un possibile impiego di questo materiale in campo ceramico. Un fattore limitante potrebbe essere però, oltre al valore di titanio relativamente alto, la più alta presenza di biotite e l'esistenza di quest'ultima in forma pecilitica all'interno di altri minerali. Questo comporterebbe numerosi passaggi di vagliatura e di macinazione al fine di separarla dalla miscela quarzo – feldspatica, aumentando enormemente i costi di preparazione.

Il rapporto A/CNK evidenzia il carattere metalluminoso del Rosa Beta e la minore evoluzione magmatica rispetto al Giallo San Giacomo.

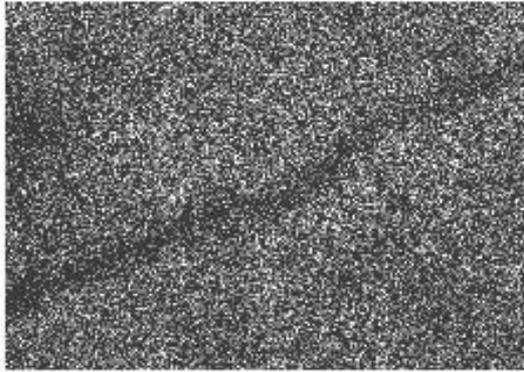
## **7.5. Analisi SEM**

Sul granito Giallo San Giacomo, al fine di comprendere meglio la struttura delle microfratture e i loro riempimenti, è stata effettuata anche un'analisi al SEM.

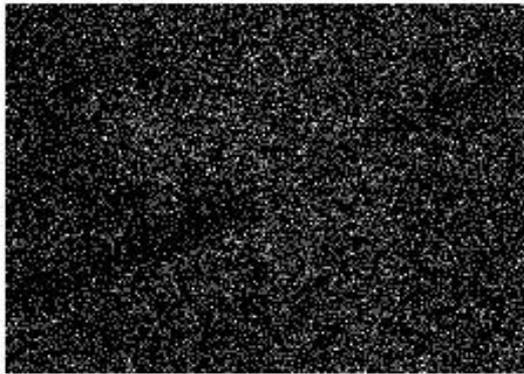
Per l'analisi al SEM sono stati utilizzati alcuni campioni della qualità gialla (provenienti dalla cava S.Giacomo alta-SdF) e uno bianco proveniente dalla porzione inalterata della cava Caprudeddu.

La microscopia elettronica ha permesso di misurare l'apertura delle microfratture che varia dai 3 ai 6  $\mu\text{m}$ . E' stato possibile poi osservare come non tutte le microfratture siano aperte. Molte infatti posseggono al loro interno delle "placche". Dalle mappe degli elementi eseguite in EDS, si nota che queste sono costituite da ossidi e idrossidi di ferro, oppure da silicati, probabilmente fillosilicati e opale ct. L'analisi degli elementi in corrispondenza delle microfratture colorate di giallo o arancione ha mostrato una predominanza di Fe e O; in altri casi invece nelle microfratture meno colorate risultava presente solo il Si.

Anche questa analisi suggerisce dunque che siano i riempimenti degli ossidi e idrossidi di ferro nelle microfratture a conferire alla roccia la tipica colorazione giallognola. L'abbondanza inoltre di queste "placche" dovrebbe rinsaldare le discontinuità riconferendo coesione alla roccia. Si spiega in questo modo come nelle prove meccaniche (vedi oltre) i campioni di Giallo San Giacomo hanno mostrato valori di resistenza superiori rispetto al campione SCD 001 rappresentante la porzione inalterata.



Silicon Ka1

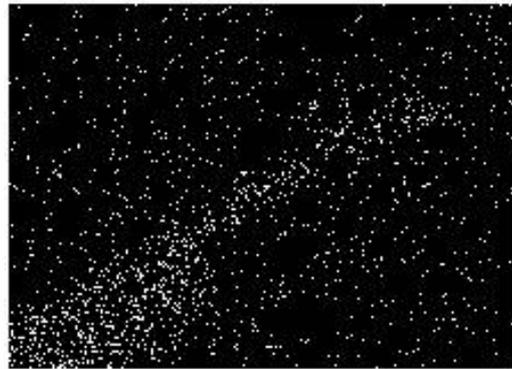
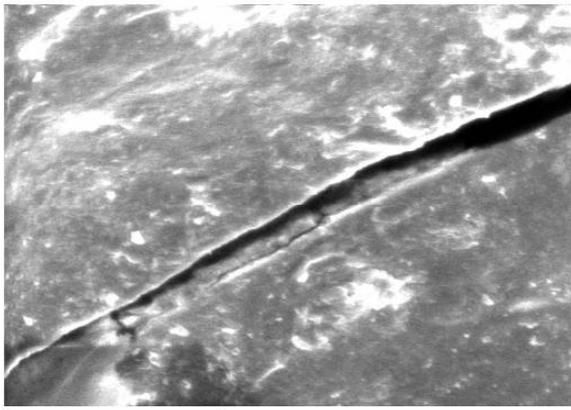


Oxygen Ka1\_2



Sodium Ka1\_2

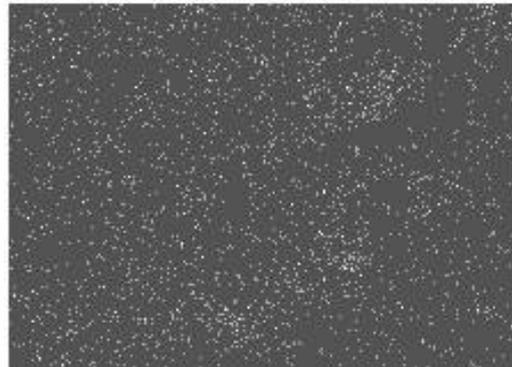
**Figura 7-16** Mappe di alcuni elementi.



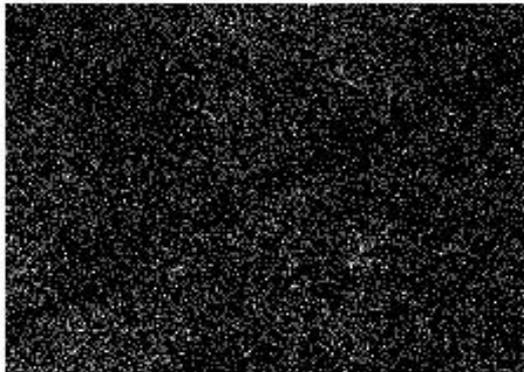
Iron Ka1



Silicon Ka1



Aluminum Ka1



Oxygen Ka1\_2



Carbon Ka1\_2

**Figura 7-17** Mappe di alcuni elementi. Si noti nella seconda immagine l'abbondanza di ferro in corrispondenza della frattura.

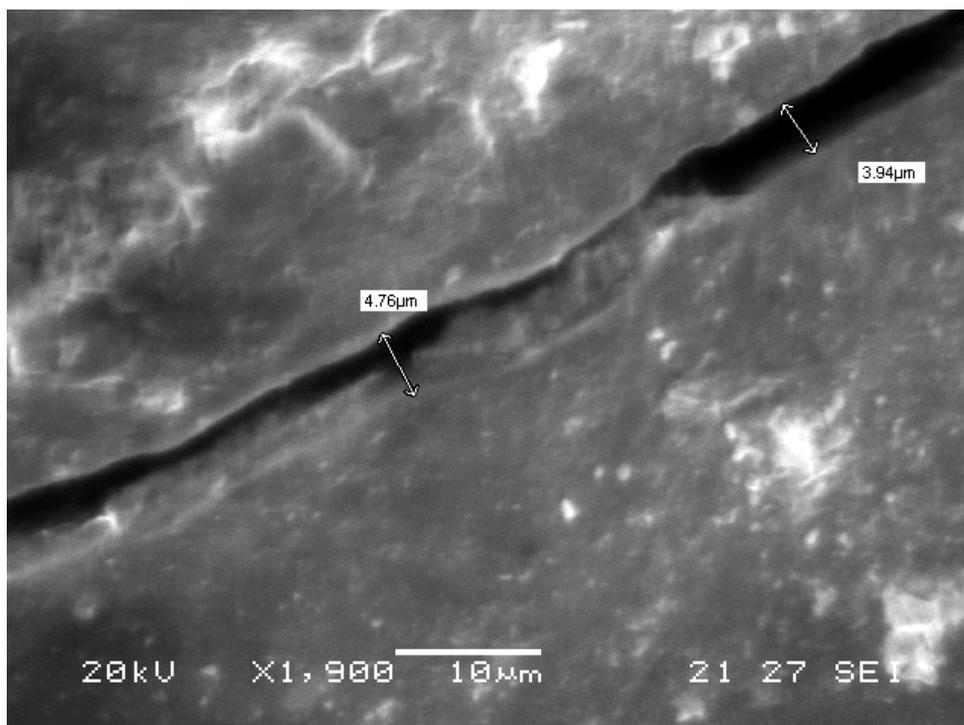


Figura 7-18 microfrattura con una placca di Ossi-Idrossidi di Ferro. L'apertura della microfrattura è di circa 4 µm.

## 7.6. Caratterizzazione fisico - meccanica

### 7.6.1. Massa volumica apparente

Dalla prova per la determinazione della Massa Volumica Apparente si evince che la media del Giallo San Giacomo è di 2,63 g/cm<sup>3</sup>.

Il valore ottenuto, pur rientrando nella media per un litotipo di origine granitoide, è relativamente contenuto.

Il campione SCD 007 è quello che ha mostrato il valore massimo mentre il campione SCD 022 ha mostrato quello minimo. Questo è spiegabile col fatto che il campione SCD 007 proviene da un *boulder*: c'è già stata dunque una classazione naturale nei confronti di porzioni più compatte. Il campione SCD 022 invece è quello che anche macroscopicamente possiede la più alta densità di microfratture.

Massa volumica apparente Giallo San Giacomo (Valori medi)	
Campione	(g/cm <sup>3</sup> )
SCD 001	2,56
SCD 004	2,68
SCD 007	2,76
SCD 022	2,49

SCD 023	2,59
SCD 026	2,59
SCD 040	2,71
media	2,63

Per quanto riguarda il Rosa Beta, da questa prova si osserva che la Massa Volumica Apparente media dei campioni studiati è di 2,65. Il valore rientra nella media per un lapideo granitoide. Tra i campioni analizzati si osservano alcune variazioni. Il valore massimo è registrato dal campione SCD 024 mentre il minimo dal campione SCD 012.

Massa Volumica Apparente Rosa Beta (Valori medi)	
Campione	(g/cm <sup>3</sup> )
SCD 010	2,65
SCD 012	2,58
SCD 015	2,70
SCD 024	2,82
SCD 027	2,59
SCD 030	2,58
media	2,65

### **7.6.2. Assorbimento d'acqua a pressione atmosferica**

La determinazione dell'assorbimento d'acqua a pressione atmosferica ha mostrato nel granito Giallo San Giacomo un valore medio di circa 0,68%.

Tra i campioni testati si è osservata molta variabilità. Anche in questo caso il campione SCD 022 ha mostrato un valore anomalo rispetto agli altri, con un aumento percentuale in peso dell'1,14 %. Il campione SCD 001 ha invece evidenziato il più basso aumento percentuale con un valore di solo 0,52%. Tenendo conto che il campione SCD 022 è uno dei più alterati e che il campione SCD 001 rappresenta la porzione inalterata del Giallo San Giacomo, si deduce come l'assorbimento d'acqua sia controllato dalla densità e dell'apertura delle microfrazioni presenti nella roccia.

Analizzando poi i campioni SCD 001, SCD 026 e SCD 040, provenienti dalla stessa cava ma da porzioni differenti del giacimento, si osserva come la porzione grigia possieda un assorbimento d'acqua inferiore rispetto ai due campioni alterati. Anche questo testimonia che probabilmente la differenza è da imputare all'aumento delle microfrazioni nella porzione più alterata.

Assorbimento d'acqua a pressione atmosferica Giallo San Giacomo
--

(Valori medi)	
Campione	(%)
SCD 001	0,52
SCD 004	0,62
SCD 007	0,64
SCD 022	1,14
SCD 023	0,6
SCD 026	0,65
SCD 040	0,59
<b>media</b>	<b>0,68</b>

Alla prova per la determinazione dell'assorbimento d'acqua a pressione atmosferica, il Rosa Beta ha mostrato un valore medio del 0,37 %. In questo caso le variazioni tra i campioni analizzati sono molto contenuto. Il valore massimo è stato registrato nel campione SCD 030 e quello minimo nel campione SCD 027.

Assorbimento d'acqua a pressione atmosferica Rosa Beta (Valori medi)	
Campione	(%)
SCD 010	0,33
SCD 012	0,43
SCD 015	0,31
SCD 024	0,42
SCD 027	0,30
SCD 030	0,45
<b>media</b>	<b>0,37</b>

### **7.6.3. Porosità aperta**

Tenendo conto che il valore della porosità aperta è stato calcolato indirettamente a partire dai dati della prova precedente, è evidente come esista una perfetta correlazione tra i valori della porosità aperta e quelli dell'assorbimento d'acqua a pressione atmosferica.

Anche in questo caso difatti tra i valori estremi del granito Giallo San Giacomo compaiono il campione SCD 001 e il campione SCD 022. Il valore medio dei campioni analizzati risulta essere dell'1,77% (quasi il doppio rispetto al Rosa Beta). Anche in questo caso analizzando i campioni della stessa cava SCD 001, SCD 040 ed SCD 026 si nota come il campione non alterato (SCD 001) possieda il più basso valore di porosità aperta rispetto ai due campioni della porzione alterata.

Anche questo è spiegabile con un aumento della microfratturazione nelle porzioni alterate.

Porosità aperta
-----------------

Giallo San Giacomo (Valori medi)	
Campione	(%)
SCD 001	1,34
SCD 004	1,64
SCD 007	1,77
SCD 022	2,85
SCD 023	1,55
SCD 026	1,67
SCD 040	1,6
<b>media</b>	<b>1,77</b>

Anche per il lapideo Rosa Beta, i dati ottenuti da questa prova mostrano lo stesso trend osservato nella prova precedente (assorbimento d'acqua a pressione atmosferica). Anche in questo caso infatti i termini estremi vengono registrati sui campioni SCD 030 e SCD 027. Il valore medio di porosità aperta osservato nei campioni di Rosa Beta studiati è dell' 1%.

Porosità aperta Rosa Beta (Valori medi)	
Campione	(%)
SCD 010	0,88
SCD 012	1,11
SCD 015	0,85
SCD 024	1,18
SCD 027	0,78
SCD 030	1,18
<b>media</b>	<b>1</b>

#### **7.6.4. Determinazione del coefficiente d'acqua per capillarità**

Come già spiegato nel paragrafo 4.11.4 questa prova è stata condotta in due *step* per ogni provino, misurando il rispettivo il coefficiente  $C_1$  e  $C_2$ .

Per il granito Giallo San Giacomo in questa prova i valori di assorbimento più bassi sono stati registrati per il campione SCD 004. Il campione SCD 022, anche in questo caso, ha invece mostrato i valori di assorbimento più alti.

I tre campioni provenienti dalla stessa cava (SCD 001, SCD 040 e SCD 026) hanno avuto anche in questo caso comportamenti differenti: il campione non alterato (SCD 001) infatti ha mostrato valori di assorbimento inferiori rispetto ai due campioni alterati, testimoniando probabilmente anche in questo caso che l'alterazione aumenti la permeabilità della roccia.

Nel complesso, le differenze tra le due orientazioni (anisotropie a 0° e a 90° rispetto alla superficie dell'acqua) seppur presenti, non sono risultate notevoli nonostante la presenza di un evidente sistema di microfratture orientato.

Assorbimento d'acqua per capillarità Giallo San Giacomo (Valori medi)		
Campione		(g/(m <sup>2</sup> √s))
SCD 001 media 0°	C2	1,096
SCD 001 media 90°	C1	1,149
SCD 001 C medio		1,122
SCD 026 media 0°	C2	1,773
SCD 026 media 90°	C1	1,724
SCD 026 C medio		1,748
SCD 040 90 media 0°	C2	1,619
SCD 040 90 media 90°	C1	1,613
SCD 040 C medio		1,616
SCD 004 media 0°	C2	0,802
SCD 004 media 90°	C1	0,922
SCD 004 C medio		0,862
SCD 022 media 0°	C2	3,300
SCD 022 media 90°	C1	3,260
SCD 022 C medio		3,280
SCD 023 media 0°	C2	1,273
SCD 023 media 90°	C1	1,373
SCD 023 C medio		1,323
SCD 007 media 0°	C2	1,744
SCD 007 media 90°	C1	1,824
SCD 007 C medio		1,784
media		1,676
media C1		1,695
media C2		1,658

Anche sul Rosa Beta questa prova è stata condotta su due set di provini. I primi sono stati posizionati con le microfratture posizionate parallelamente alla superficie dell'acqua, i secondi ortogonalmente.

Si è osservato che anche in questo caso, la microfratturazione, seppur presente, non produce sostanziali differenze di assorbimento d'acqua. Il valore medio di C misurato per tutti i campioni è di 0,94 con un valore tendenzialmente maggiore dei C<sub>1</sub> rispetto ai C<sub>2</sub> (escludendo i campioni SCD 012 e SCD 015). Il valore maggiore è stato registrato dal campione SCD 012 mentre quello minimo dal campione SCD 027.

Assorbimento d'acqua per capillarità Rosa Beta (Valori medi)		
campione		(g/(m <sup>2</sup> √s))
SCD 010 media 0°	C <sub>2</sub>	0,855

SCD 010 media 90°	C <sub>1</sub>	0,949
SCD 010 C medio		0,902
SCD 012/013 media 0°	C <sub>2</sub>	1,201
SCD 012/013 media 90°	C <sub>1</sub>	1,174
SCD 012/013 C medio		1,188
SCD 015 media 0°	C <sub>2</sub>	0,898
SCD 015 media 90°	C <sub>1</sub>	0,832
SCD 015 C medio		0,865
SCD 024 media 0°	C <sub>2</sub>	0,915
SCD 024 media 90°	C <sub>1</sub>	0,935
SCD 024 C medio		0,925
SCD 027 media 0°	C <sub>2</sub>	0,648
SCD 027 media 90°	C <sub>1</sub>	0,675
SCD 027 C medio		0,662
SCD 030 media 0°	C <sub>2</sub>	1,057
SCD 030 media 90°	C <sub>1</sub>	1,168
SCD 030 C medio		1,112
Media		0,942
Media C <sub>1</sub>		0,957
Media C <sub>2</sub>		0,929

### **7.6.5. Determinazione della resistenza a compressione semplice**

La prova di resistenza a compressione semplice è stata effettuata utilizzando due set da 6 provini ognuno per ogni campione. Il primo set è stato posizione con microfratture parallele alla forza compressiva mentre il secondo set con microfratture perpendicolari.

Per il granito Giallo San Giacomo i dati mostrano un valore di resistenza medio di 146,82 MPa. Anche in questo caso si sono osservate delle differenze tra i vari campioni. Il valore medio più alto è stato registrato nel campione SCD 004 mentre il campione SCD 022 è quello che ha mostrato il comportamento peggiore. L'alto valore del campione SCD 004 è dovuto probabilmente alla minor grana rispetto agli altri campioni, come già dimostrato da Tuğrul *et al.* 1999. Lo scarso comportamento del campione SCD invece è fondamentalmente imputabile al suo elevato grado di alterazione.

Differenze si sono notate anche tra provini dello stesso campione al variare dell'orientazione delle microfratture rispetto alla forza compressiva. Le variazioni più importanti si sono osservate nei campioni SCD 001 e SCD 022. In entrambi il valore più elevato è stato registrato con microfratture orientate perpendicolarmente alla forza compressiva (trend in generale rispettato da quasi tutti i campioni).

Analizzando i campioni di diversa qualità provenienti dalla stessa cava (SCD 001, SCD 002, SCD 026, SCD 040) si nota come tendenzialmente la qualità intermedia e gialla siano più resistenti di quella inalterata (SCD 001). Ciò è spiegabile con la parziale saldatura delle microfratture ad opera dei minerali secondari che riconferiscono coesione strutturale alla

roccia. La porzione intermedia è risultata tra le più resistenti. Tale risultato è dovuto ad un'alterazione limitata che ha prodotto la saldatura delle microfrazioni ma non la decoesione della roccia (come osservato nei campioni più alterati SCD 022).

Resistenza alla compressione semplice Giallo San Giacomo (Valori medi)			
Campione	media 0° (MPa)	media 90° (MPa)	Resistenza media (MPa)
SCD 001	102,21	178,06	140,14
SCD 002	155,87	150	152,93
SCD 004	175,25	197,75	186,50
SCD 007	149,49	154,34	151,91
SCD 022	61,22	121,43	91,33
SCD 023	143,88	169,73	156,80
SCD 026	123,13	146,68	134,91
SCD 040	169,05	151,02	160,03
media	135,01	158,63	146,82

La prova per la determinazione della resistenza a compressione mostra che i campioni di Rosa Beta analizzati possiedono notevoli variazioni di resistenza. Le variazioni si notano sia all'interno dello stesso campione (a diversa orientazione) che tra campioni diversi. Nel primo caso è evidente come il campione SCD 010 possieda una resistenza massima con microfrazioni parallele al carico. Il contrario di quanto in realtà atteso. Un comportamento simile si osserva anche nel campione SCD 015, e, limitatamente, nel campione SCD 030. Una spiegazione a questo comportamento può essere che l'anisotropia individuata macroscopicamente non è in realtà quella che controlla la coesione della roccia quando sottoposta a carichi. Già i cavaatori infatti sono consci dell'esistenza di ben tre anisotropie nei graniti coltivati.

Se si analizzano invece i valori medi di resistenza alla compressione si nota come il campione SCD 024 registri i valori più elevati di resistenza mentre sorprende il comportamento del campione SCD 030: molto inferiore rispetto agli altri campioni.

Resistenza alla compressione semplice Rosa Beta (Valori medi)			
Campione	media 0° (MPa)	media 90° (MPa)	Media (MPa)
SCD 010	186,73	119,39	153,06
SCD 012	102,04	158,67	130,36
SCD 015	174,5	124,5	149,5
SCD 024	149,66	162,92	156,29
SCD 027	124,15	151,02	137,58
SCD 030	78,57	74,15	76,36
media	135,94	131,77	133,86

### 7.6.6. Determinazione della resistenza a flessione

Anche questa prova, quando è stato possibile, è stata condotta realizzando delle lastre con microfratturazione a 0° e 90° rispetto al carico. Anche in questo caso però le variazioni dovute alle diverse orientazioni delle microfratture, seppur presenti, sono risultate abbastanza contenute. Non si è vista invece una particolare relazione tra resistenza massima e orientazione delle microfratture rispetto al carico.

Il valore medio della resistenza a flessione di tutti i provini di Giallo San Giacomo analizzati è stato di 12,81 MPa. In questa prova il campione che ha mostrato il peggior comportamento è stato SCD 008 seguito da SCD 022. Il campione SCD 004 invece è quello che ha mostrato il comportamento migliore con un valore medio di 17,6 MPa.

Se si analizzano i campioni della stessa cava SCD 001 e SCD 026 si osserva come, seppur di poco, il campione non alterato mostri un comportamento migliore.

Infine va segnalato che purtroppo, per vari motivi, non è stato possibile in alcuni casi realizzare dallo stesso campione lastre con due diverse orientazioni.

Resistenza a flessione Giallo San Giacomo (Valori medi)			
Campione	Media 90° (MPa)	Media 0° (MPa)	Resistenza media (Mpa)
SCD 001	14,39	13,83	14,11
SCD 004	16,9	18,23	17,56
SCD 008	6,08	nd	6,08
SCD 022	6,76	nd	6,76
SCD 023	11,81	12,74	12,27
SCD 025	9,27	nd	9,27
SCD 026	13,78	12,52	13,15
media	11,28	14,33	12,81

Per il Rosa Beta, in questa prova è stato possibile testare solo il campione SCD 024.

Le lastre sono state realizzate con anisotropie posizionate ortogonalmente alla forza. I provini hanno fatto registrare un valore medio di resistenza di 9,27 MPa, inferiore (seppur non statisticamente rappresentativo) rispetto alla media del Giallo San Giacomo).

Resistenza a flessione Rosa Beta (Valori medi)	
Campione	Resistenza media (MPa)
SCD 024 90	9,268

### 7.6.7. Velocità di onde ultrasoniche

Questa prova ha evidenziato il carattere anisotropo dei campioni analizzati. Le misure infatti sono state effettuate lungo i tre assi di ogni provino. La direzione C è quella perpendicolare alle microfrazture e attraverso la quale la velocità è risultata minore. In alcuni casi questa relazione non sempre è rispettata testimoniando dunque la presenza di altri set di microfrazture, ad orientazione differente, rispetto a quelle individuabili macroscopicamente o empiricamente in cava.

Per quanto riguarda il granito Giallo San Giacomo il campione che ha fatto registrare le più alte velocità è SCD 004, testimoniando dunque una minore densità di microfrazture. I valori più bassi si sono osservati invece nel campione SCD 007 ed SCD 022.

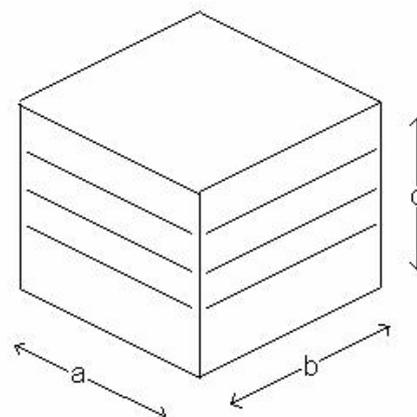


Figura 7-19 Nomenclatura direzioni.

Velocità onde ultrasoniche Giallo San Giacomo (Valori medi)				
Campione	a	b	c	valore medio
	misure in m/s			
				m/s
SCD 001	3589,744	4069,767	3414,634	3691,4
SCD 004	4861,111	4666,667	4635,762	4721,2
SCD 007	2800	3030,303	2892,562	2907,6
SCD 022	3167,421	3553,299	2545,455	3088,7
SCD 023	3043,478	4191,617	3286,385	3507,2
SCD 026	3833,708	3754,74	3612,741	3733,7
SCD 040 90	3225,806	3571,429	3301,887	3366,4
media	3503,038	3833,975	3384,204	3573,7

Per quanto riguarda il granito Rosa Beta in questa prova si è visto che i valori variano anche notevolmente tra i campioni analizzati. Il valore massimo è stato registrato sul provino SCD 027. Questo dato indica dunque una maggiore compattezza del materiale, confermata anche dalle altre prove. Il valore più basso invece si è osservato nel campione SCD 024 seguito dal campione SCD 010.

Se si osservano invece le variazioni sui tre diversi assi di ogni provino si nota un comportamento quasi isotropo nei campioni SCD 015 e SCD 024.

Velocità onde ultrasoniche (Valori medi)				
Campione	a	b	c	valore medio
	misure in m/s			
				m/s

SCD 010	3846,2	4191,6	3645,8	3894,5
SCD 013	4176,2	4471,6	3860,4	4169,4
SCD 015	4615,6	4647,3	4449,2	4570,7
SCD 024	3846,2	3626,9	3517,6	3663,6
SCD 027	5448,8	5451,4	5050,3	5316,8
SCD 030	4861,7	4647	4106,3	4538,3
media	4465,8	4506	4104,9	4358,9

### 7.6.8. Schede tecniche finali

La caratterizzazione fisico meccanica effettuata sui due litotipi presi in esame ha consentito di redigere per entrambi una scheda tecnica coi valori medi delle prove effettuate.

Litotipo	Massa volumica apparente (g/cm <sup>3</sup> )	Assorbimento d'acqua a pressione atmosferica (%)	Porosità aperta (%)	Assorbimento d'acqua per capillarità C	Resistenza alla compressione semplice (MPa)	Resistenza alla flessione (MPa)	Velocità onde ultrasuoniche (m/s)
Giallo San Giacomo	2,62	0,68	1,774	1,676	146,82	12,81	3573,7

Litotipo	Massa volumica apparente (g/cm <sup>3</sup> )	Assorbimento d'acqua a pressione atmosferica (%)	Porosità aperta (%)	Assorbimento d'acqua per capillarità C	Resistenza alla compressione semplice (MPa)	Resistenza alla flessione (MPa)	Velocità onde ultrasuoniche (m/s)
Rosa Beta	2,65	0,37	0,996	0,942	133,86	9,27	4258,9

### 7.6.9. Relazioni fra proprietà

Dalle serie di dati ottenute con le prove di caratterizzazione del granito Giallo San Giacomo è stato inoltre calcolato il coefficiente di correlazione per verificare i rapporti tra due proprietà analizzate singolarmente.

L'analisi statistica ha dunque mostrato come:

- non esista correlazione tra assorbimento d'acqua per immersione totale e massa volumica apparente ( $r=-0,55$ );
- esista una forte correlazione diretta tra assorbimento d'acqua per immersione totale e porosità aperta ( $r=0,99$ );
- non esista una correlazione tra assorbimento d'acqua per immersione totale e velocità degli ultrasuoni ( $r=-0,55$ );
- esista una correlazione diretta tra assorbimento d'acqua per immersione totale ed assorbimento per capillarità ( $r=0,95 C_2$ ;  $r=0,96 C_1$ );

- non esista correlazione tra assorbimento d'acqua per immersione totale e resistenza a compressione semplice ( $r=-0,50$ );
- non esista correlazione tra massa volumica apparente e porosità aperta ( $r=-0,47$ );
- non esista correlazione tra massa volumica apparente e velocità degli ultrasuoni ( $r=-0,26$ );
- non esista correlazione tra massa volumica apparente ed assorbimento per capillarità ( $r=-0,42$  C<sub>2</sub>);
- non esista correlazione tra massa volumica apparente e resistenza alla compressione ( $r=0,53$ );
- esista una debole correlazione inversa tra porosità aperta e velocità degli ultrasuoni ( $r=-0,57$ );
- esista una correlazione diretta tra porosità aperta e assorbimento per capillarità ( $r=0,97$  C<sub>1</sub>;  $r=0,95$  C<sub>2</sub>);
- non esista correlazione tra porosità aperta e resistenza alla compressione ( $r=-0,47$ );
- esista una correlazione inversa tra velocità degli ultrasuoni e assorbimento per capillarità ( $r=-0,57$  C<sub>1</sub>;  $r=-0,58$  C<sub>2</sub>);
- non esista correlazione tra velocità degli ultrasuoni e resistenza alla compressione ( $r=0,47$ );
- non esista correlazione tra assorbimento per capillarità e resistenza a compressione semplice ( $r=-0,38$ ).

Dal calcolo dei coefficienti di correlazione si evince dunque come l'assorbimento d'acqua per immersione totale dipenda direttamente dalla porosità aperta del lapideo. Si è notata poi una correlazione inversa tra assorbimento d'acqua (per imbibizione e per capillarità) e velocità agli ultrasuoni (spiegabile a sua volta con l'aumento della porosità al diminuire della velocità degli ultrasuoni:  $r=-0,57$ ). Anche la correlazione diretta tra assorbimento d'acqua per immersione totale e per capillarità sono controllate dalla porosità aperta. La debole correlazione inversa ( $-0,55$  tra massa volumica apparente e assorbimento d'acqua per imbibizione, mostra come le microfratture costituiscano dei vuoti riempiti da minerali a minor peso specifico. Al diminuire della massa volumica apparente aumenta infatti l'assorbimento d'acqua e la porosità aperta.

Anche dalle serie di dati ottenute con le prove di caratterizzazione del granito Rosa Beta è stato calcolato il coefficiente di correlazione per verificare i rapporti tra due proprietà analizzate singolarmente.

L'analisi statistica ha dunque mostrato come:

- non esista correlazione tra assorbimento d'acqua per immersione totale e massa volumica apparente ( $r=0,21$ );
- esista una forte correlazione diretta tra assorbimento d'acqua per immersione totale e porosità aperta ( $r=0,98$ );

- esista una debole correlazione inversa tra assorbimento d'acqua per immersione totale e velocità degli ultrasuoni ( $r=-0,62$ );
- esista una correlazione diretta tra assorbimento d'acqua per immersione totale ed assorbimento per capillarità ( $r=0,71 C_2$ ;  $r=0,74 C_1$ )
- non esista correlazione tra assorbimento d'acqua per immersione totale e resistenza a compressione semplice ( $r=-0,48$ );
- non esista correlazione tra massa volumica apparente e porosità aperta ( $r=0,40$ )
- non esista correlazione tra massa volumica apparente e velocità degli ultrasuoni ( $r=-0,29$ );
- non esista correlazione tra massa volumica apparente ed assorbimento per capillarità ( $r=-0,003 C_2$ );
- non esista correlazione tra massa volumica apparente e resistenza alla compressione ( $r=0,24$ );
- esista una debole correlazione inversa tra porosità aperta e velocità degli ultrasuoni ( $r=-0,65$ );
- esista una debole correlazione diretta tra porosità aperta ed assorbimento per capillarità ( $r=0,67 C_1$ ;  $r=0,66 C_2$ );
- non esista correlazione tra porosità aperta e resistenza alla compressione ( $r=-0,42$ );
- esista una correlazione inversa tra velocità degli ultrasuoni e assorbimento per capillarità ( $r=-0,76 C_1$ ;  $r=-0,75 C_2$ );
- non esista correlazione tra velocità degli ultrasuoni e resistenza alla compressione ( $r=0,22$ );
- non esista correlazione tra assorbimento per capillarità e resistenza a compressione semplice ( $r=-0,33$ ).

Dal calcolo dei coefficienti di correlazione si evince dunque come l'assorbimento d'acqua per immersione totale dipenda direttamente dalla porosità aperta del lapideo. Si è notata poi una correlazione inversa tra assorbimento d'acqua (per imbibizione e per capillarità) e velocità agli ultrasuoni spiegabile a sua volta con l'aumento della porosità al diminuire della velocità degli ultrasuoni ( $r=-0,65$ ). Anche la correlazione diretta tra assorbimento d'acqua per immersione totale e per capillarità sono controllate dalla porosità aperta.

## **7.7. Fattori penalizzanti**

### **7.7.1. Giallo San Giacomo**

Come si è visto nel paragrafo 3.8.1 i fattori penalizzanti di carattere cromatico tessiturale tendono a concentrarsi nelle zone periferiche e apicali delle intrusioni. Anche nel polo estrattivo del Giallo San Giacomo si è notato che in prossimità dei contatti (cava SdF - grigio e cava

S.Giacomo alta - SdF) sono presenti delle variazioni a carico della roccia di carattere tessiturale e cromatico. Soprattutto nel passaggio verso la *facies* Balbarichinu (Oggiano *et al.*, 2005) si osserva una variazione cromatica dei feldspati potassici, che assumono una colorazione più rosata ed un aumento della grana. Nella zona di Punta Sciappedi poi, interpretata come una zona di bordo, si osservano variazioni cromatiche e tessiturali e a luoghi il granito assume anche un aspetto quasi sub-magmatico. Se si escludono comunque queste variazioni in prossimità dei settori periferici del plutone, il Giallo San Giacomo ha una concentrazione molto bassa di fattori penalizzanti di carattere cromatico - tessiturale.

L'unica variazione cromatica è costituita dalla sfumatura e attenuazione del colore di fondo (Giallo) col progredire dell'approfondimento degli scavi. Ovviamente è questa una variazione non localizzata e facilmente prevedibile ed anzi, consente in alcune cave di poter estrarre due o più varietà dello stesso lapideo aumentando l'offerta cromatica da proporre al mercato, come osservato in cava Caprudeddu.

Sono poi del tutto assenti gli *schlierens* femici e rari gli inclusi basici. Ciò è spiegabile tenendo conto che il Giallo San Giacomo rappresenta una delle porzioni più evolute e differenziate dell'Unità Intrusiva di Arzachena.

Infine, la microfratturazione, ubiquitariamente presente nel San Giacomo, non può essere considerata un fattore penalizzante in *sensu strictu*. In alcuni casi anzi (ad esempio realizzazione di cantonetti a spacco) essa fornisce una superficie di facile spaccabilità limitando i tempi e i costi di estrazione e lavorazione permettendo inoltre la realizzazione di prodotti dalla forma geometrica molto regolare. Potrebbe essere considerata invece un fattore penalizzanti qualora si decidesse di produrre esclusivamente blocchi di dimensioni commerciali attraverso lo *splitting* dinamico. In questo caso l'angolo formato tra le microfratture e le coniugate delle faglie terziarie potrebbero comportare delle difficoltà nella realizzazione dei blocchi i quali tenderebbero a spaccarsi secondo geometrie non ortogonali qualora le microfratture non fossero a novanta gradi con le coniugate delle faglie. Ovviamente questo limite è stato già superato nei siti estrattivi con l'adozione del filo diamantato nella realizzazione dei blocchi commerciali.

### **7.7.2. Rosa Beta**

All'interno del polo estrattivo di Bassacutena sono stati riconosciuti diversi fattori penalizzanti sia di carattere strutturale che cromatico-tessiturale.

#### **7.7.2.1. Fattori penalizzanti di carattere strutturale**

In prossimità del polo estrattivo, come già evidenziato, sono presenti due importanti lineamenti tettonici (faglia di Campovaglio e faglia di Crisciuleddu). Le coniugate di rango inferiore di questi lineamenti, associati a *joint* connessi con l'*uplift* dell'intrusione e di raffreddamento, limitano in alcuni casi l'attività estrattiva.

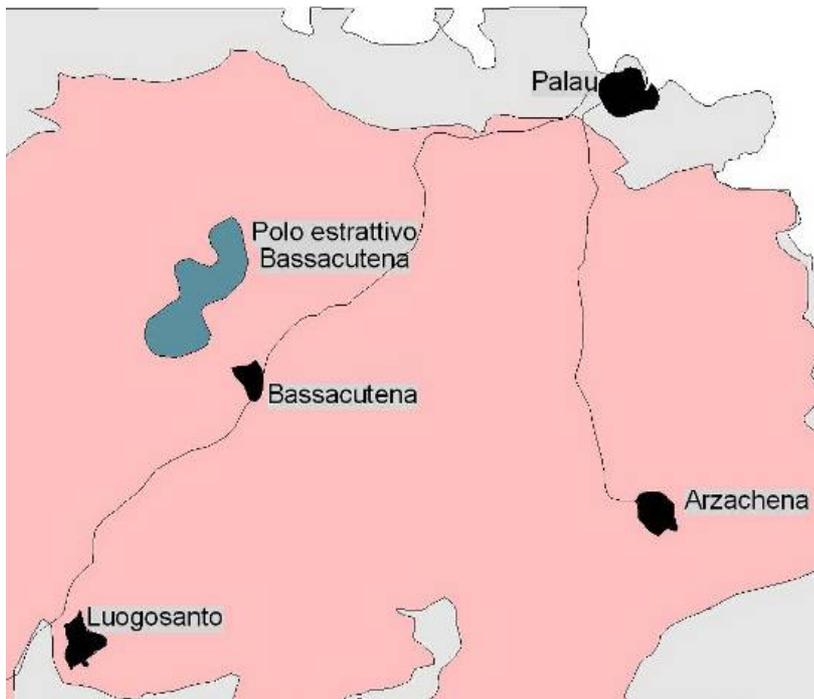
Quando la fratturazione è molto pervasiva e intensa infatti, vi sono difficoltà a realizzare blocchi di dimensioni commerciali e viene limitata anche la resa del prodotto estratto con conseguenze negative sul bilancio economico. Tutte le cave analizzate difatti sono organizzate per la produzione di blocchi commerciali. Quando il blocco non è idoneo per geometria o per altre caratteristiche estetiche non viene venduto ma stoccato in discarica non recuperando così l'investimento effettuato preventivamente per la sua estrazione. La fratturazione più intensa è comunque sempre connessa alle faglie, soprattutto quando da luogo a fasce cataclastico o milonitiche. Ovviamente questo "limite geologico" sarebbe risolvibile superando la sola vendita di blocchi di prima scelta e aumentando le lavorazioni in loco. Questo consentirebbe la realizzazione di semilavorati e lavorati a partire dal materiale estratto non vendibile come blocco commerciale.

Nei *joint* orizzontali tendono poi ad essere ospitate importanti falde acquifere che, una volta intercettate, costringono i cavaatori ad importanti emungimenti di acqua per proseguire le attività.

Oltre che dai sistemi di fratturazione, l'attività estrattiva viene anche limitata dalla presenza di filoni di natura solitamente basica, dello spessori di pochi decimetri ma di lunghezza anche chilometrica. Come si è visto in alcuni casi i filoni possono possedere anche un *spacing* molto ravvicinato obbligando i cavaatori ad abbandonare i fronti e riclassificare quelle aree a discarica.

Sono state individuate anche alcune cavità miarolitiche localizzate però solo nelle porzioni apicali, il più delle volte ad oltre 30 metri dal livello degli scavi.

### **7.7.2.2. Fattori penalizzanti di carattere cromatico-tessiturale**



**Figura 7-20** In rosa, l'affioramento della *facies* Arzachena. Si noti la distanza del polo estrattivo dai contatti litologici.

La distanza dei siti estrattivi del polo estrattivo di Bassacutena da importanti contatti litologici tra diverse intrusioni, limita in qualche modo i fattori penalizzanti di carattere cromatico-tessiturale (Cherchi *et al.*, 2006; Cuccuru *et al.*, 2008) soprattutto le variazioni cromatiche e di grana.

Presenti invece inclusi basici in alcuni casi di dimensioni anche decimetriche, *schierens* femici e tasche pegmatitiche.

L'abbondanza di questa tipologia di fattori penalizzanti è comunque maggiore rispetto a quella individuata nel Giallo San Giacomo. Ciò è dovuto alla minore evoluzione della *facies* Arzachena (Rosa Beta) rispetto al Giallo San Giacomo, che invece rappresenta la porzione più evoluta dell'intera Unità Intrusiva.

## 7.8. Analisi di facies

Di tutti i campioni prelevati, è stata effettuata un'analisi di *facies* a partire dai campioni a mano e poi tramite scansione dei provini cubici.

Per quanto riguarda il granito Giallo San Giacomo, dal confronto delle scansioni si osserva come tra il campione SCD 001, SCD 002, SCD 026 e SCD 040 ci sia una forte differenza cromatica nonostante provengano dalla stessa cava. Questo dipende dal fatto che il primo rappresenta la parte inferiore (inalterata), SCD 002 e SCD 026 quella superiore (alterata); infine SCD 040 rappresenta una porzione intermedia. Si osserva infatti come la tessitura (dimensioni dei minerali costituenti, abbondanza...) non vari, ma cambi solo il cromatismo generale: giallo più acceso nelle porzioni superficiali e giallo più tenue fino al grigio nelle porzioni più profonde.

Altra differenza molto evidente è il cromatismo molto intenso del campione SCD 004. Da quanto si evince dalle prove di caratterizzazione non si può supporre che questo dipenda da una maggiore alterazione. Si ipotizza invece che il colore più intenso sia da ricollegare alla grana leggermente più fine e dunque ad una maggiore densità di interfacce tra cristalli che hanno potuto dare luogo a localizzate microfratture riempite poi da ossidi e idrossidi di ferro.

Il campione SCD 007 infine, mostra come il Giallo San Giacomo presente in località Monti di Scopa si discosti lievemente dal San Giacomo *sensu strictu* per le biotiti sparse e meno raggruppate in pacchetti, per gli aloni attorno ai minerali femici meno marcati e di conseguenza per un cromatismo più tenue.

Commercialmente invece i campioni SCD 002, SCD 022, SCD 023 ed SCD 026 rappresentano la stessa varietà merceologica.



Figura 7-21 SCD 001



Figura 7-22 SCD 002

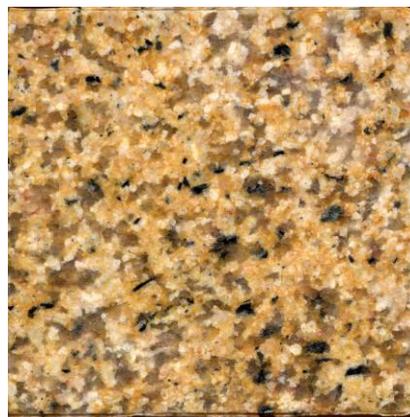


Figura 7-23 SCD 004



Figura 7-24 SCD 007

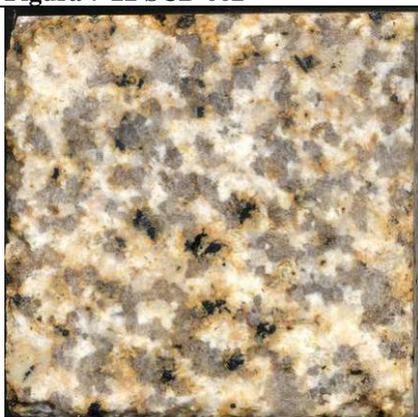


Figura 7-25 SCD 022

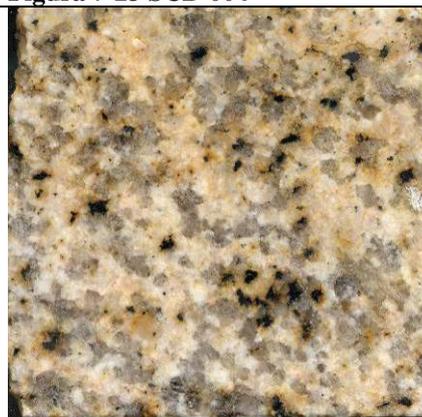


Figura 7-26 SCD 023

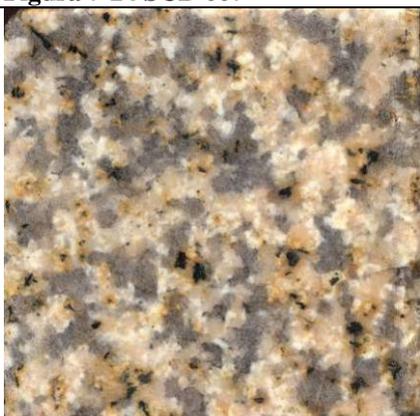


Figura 7-27 SCD 026

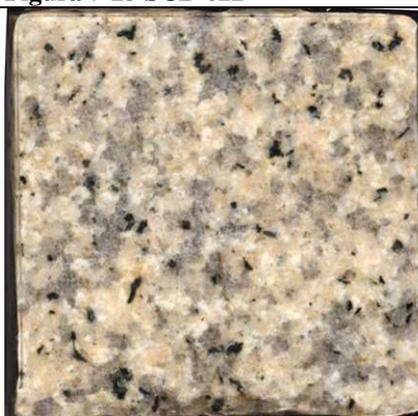


Figura 7-28 SCD 040

L'analisi di *facies* effettuata sui campioni di Rosa Beta in Figura 7-29 mostra che le variazioni cromatiche e tessiturali esistenti tra i lapidei estratti all'interno della seconda area di studio sono abbastanza limitati. Va evidenziata esclusivamente una lieve abbondanza di femici nel

campione SCD 024, una diminuzione di abbondanza di feldspati potassici nel campione SCD 012 ed un aumento della grana dei feldspati potassici nel campione SCD 030.

A parte queste lievi variazioni, complessivamente è possibile affermare che all'interno dell'area di studio il materiale estratto permane omogeneo sia cromaticamente che tessituralmente.

**Figura 7-29** Variazioni cromatiche e tessiturali del Rosa Beta estratto nelle cave analizzate.

## 8. Confronto dei risultati ottenuti

I risultati ottenuti dalla caratterizzazione del granito Giallo San Giacomo sono stati confrontati con quelli ottenuti dalla caratterizzazione del granito Rosa Beta.



Figura 8-1 A sx, lastra di Giallo San Giacomo; a dx, lastra di Rosa Beta.

Litotipo	Massa volumica apparente (g/cm <sup>3</sup> )	Assorbimento d'acqua a pressione atmosferica (%)	Porosità aperta (%)	Assorbimento d'acqua per capillarità C	Resistenza alla compressione semplice (MPa)	Resistenza alla flessione (MPa)	Velocità onde ultrasuoniche (m/s)
Giallo San Giacomo	2,62	0,68	1,774	1,676	146,82	12,81	3573,7
Rosa Beta	2,65	0,37	0,996	0,942	133,86	9,27	4258,9

Tabella 1 Scheda riassuntiva dei due lapidei analizzati.

Dalla scheda di confronto in alto si osserva come il valore della massa volumica apparente sia praticamente identico se si esclude un aumento alla seconda cifra decimale ottenuto sul Rosa Beta (incremento che comune rientra nel *range* di errore).

L'assorbimento d'acqua sia a pressione atmosferica che per capillarità aumenta nel granito Giallo San Giacomo a causa del suo grado di alterazione e soprattutto di una maggior porosità aperta. La resistenza a compressione e a flessione paradossalmente è invece maggiore nel granito Giallo San Giacomo. Infine la velocità delle onde ultrasuoniche, maggiore nel granito

Rosa Beta, indica una maggiore presenza di anisotropie (microfratture) nel granito Giallo San Giacomo.

Come si sa, un'alta porosità rende la roccia imbibibile e soprattutto attaccabile da funghi e batteri accelerando i processi di alterazione. Questo pare l'unico problema del granito Giallo San Giacomo risolvibile comunque con polimeri sintetici che hanno la duplice funzione di risultare idro- e oleo - repellenti e soprattutto di riempire parzialmente i pori presenti nella roccia.

Si è osservato poi, tenendo conto dei risultati di caratterizzazione e della provenienza dei campioni, che il materiale migliore dal punto di vista tecnico si rinviene, nel Giallo San Giacomo, nelle porzioni intermedie. Le porzioni inalterate infatti, non presentando fratture rinsaldate posseggono comportamenti meccanici meno performanti rispetto alle porzioni alterate. Tra queste ultime bisogna però escludere le porzioni superficiali dove l'eccessiva alterazione porta ad una decoesione della roccia sfruttando le anisotropie presenti rendendo il lapideo meno performante dal punto di vista fisico e meccanico.

Per quanto riguarda invece il granito Rosa Beta si è osservato che l'unico fattore che influenza negativamente il comportamento della roccia è costituito dalla fratturazione. Quest'ultima può essere naturale o indotta. Nel primo caso si includono i siti di cava impostati in prossimità di importanti lineamenti tettonici, come ad esempio la cava Inginochiddu. La fratturazione indotta invece si osserva in quei siti laddove viene (o è stato) utilizzato lo *splitting* dinamico in tutte le fasi di estrazione: dal taglio primario fino alla riquadratura dei blocchi. Ogni esplosione tende infatti a riattivare microfratture naturali latenti e a crearne di nuove.

Per quanto riguarda i fattori penalizzanti si è già detto come nel Rosa Beta siano presenti in quantità maggiore fattori penalizzanti di carattere cromatico-tessiturale a causa della minor evoluzione magmatica rispetto al Giallo San Giacomo. In quest'ultimo è invece presente una fitta microfratturazione pervasiva che seppur permetta di ottenere semilavorati di forme regolari semplicemente "per spacco", aumenta la porosità della roccia rendendola vulnerabile e più alterabile rispetto al granito Rosa Beta. Questa microfratturazione inoltre rende problematico l'utilizzo dell'esplosivo nelle operazioni di taglio in quanto tenderebbe a riattivare tali discontinuità latenti creandone delle nuove e dunque peggiorando alcune caratteristiche fisico-meccaniche del lapideo.

La presenza infine di minerali argillosi nelle microfratture potrebbe idratarli e farli rigonfiare.

## 9. Indicazioni di utilizzo dei due lapidei studiati in base ai risultati ottenuti

### 9.1. Cenni sulle lavorazioni dei lapidei studiati

Per quanto attiene al trattamento della superficie è opportuno precisare che con tale accezione si intende la possibilità di conferire alla superficie di un materiale uno o più aspetti diversi sottoponendoli a trattamenti specifici, come lucidatura, bocciardatura, fiammatura, gradinatura, granigliatura etc, i quali consentono di valorizzare le caratteristiche estetiche e decorative di un materiale, anche in funzione della sua destinazione d'uso.

Il granito Giallo San Giacomo viene fondamentalmente trattato con rifiniture grezze come bocciardatura, fiammatura, superficie a spacco etc. Molto piccola la percentuale di prodotti lucidati. Questo è dovuto soprattutto alla presenza delle microfratture che impediscono di ottenere una buona lucidatura. Ovviamente i migliori risultati si ottengono lucidando facce parallele alla microfratturazione.

**9-1 Alcuni prodotti realizzati in granito Giallo San Giacomo (cordoli, colonne, capitelli..) tutti con superfici bocciardate.**

Empiricamente si osserva inoltre una diminuzione dell'assorbimento d'acqua dopo la fiammatura e per questo

motivo questa rifinitura viene prediletta per fini esterni.

L'anisotropia individuata dovuta ad un allineamento degli assi [c] del quarzo può avere dei riscontri anche molto importanti in campo applicativo, soprattutto per quanto attiene l'orientazione dei tagli della roccia. Mainprice *et al.*; (1993) dimostravano infatti che nelle rocce ricche in quarzo, la conduttività termica e l'espansione sono entrambi funzione dell'intensità del CPO. Per questa ragione visto che l'orientazione preferenziale del quarzo coincide approssimativamente con la direzione delle microfratture, e tenendo conto dunque della natura orientata del granito Giallo S. Giacomo, è possibile indicare il sistema delle microfratture come la miglior orientazione di taglio per scopi commerciali. Piastrelle parallele alle microfratture ad es. dovrebbero infatti avere il minimo valore di conduttività termica ed espansione.

Il Rosa Beta invece è un lapideo che si presta a tutte le tipologie di rifinitura. Attualmente, visto il suo utilizzo predominante come lastre, sia per pavimentazioni che come soglia per porte e/o finestre, viene soprattutto lucidato con ottimi risultati.

Per quanto riguarda invece le orientazioni di taglio bisogna precisare che con l'avvento del filo diamantato, in cava i tagli non vengono più effettuati seguendo i piani di più facile spaccabilità

naturalmente presenti nella roccia. Tenendo conto che i risultati della caratterizzazione fisico - meccanica non hanno evidenziato sostanziali differenze tra i provini testati con diverse orientazioni, si può affermare che può venir meno l'importanza di un piano preferenziale di taglio, anche se i migliori risultati nella lucidatura si osservano con tagli paralleli alla microfratturazione (Azara, 2007; comunicazione personale).

## **9.2. Idoneità dei lapidei**

Tutti i test eseguiti indicano che il granito Giallo San Giacomo può essere usato non solo per scopi decorativi ma, vista l'alta resistenza alla compressione, anche come elemento strutturale-architettonico. In quest'ultimo caso andrebbero escluse ovviamente le porzioni più alterate del giacimento; si è visto infatti (SCD 022) che all'aumentare dell'alterazione vi è un incremento delle microfratture e un peggioramento delle caratteristiche fisico-meccaniche.

Una limitazione di utilizzo per quanto riguarda il granito Giallo San Giacomo è quella in ambiente esterni e particolarmente umidi. Questi potrebbero infatti, visti i relativi alti valori di assorbimento d'acqua del lapideo, velocizzare il processo di alterazione favorendo dunque la tendenza alla degradazione.

Il problema comunque è risolvibile con l'eventuale utilizzo di prodotti idro- e oleo - repellenti in grado di limitare l'assorbimento d'acqua.

Per quanto riguarda il Rosa Beta invece, non si rilevano limitazioni d'utilizzo visti i buoni risultati ottenuti durante le prove di caratterizzazione. Va comunque sottolineato che si è osservato un peggioramento delle caratteristiche fisico-meccaniche su campioni estratti, ritagliati e riquadrati tramite esplosivo. Il susseguirsi delle esplosioni infatti riattiva all'interno della roccia una microfratturazione già naturalmente presente<sup>7</sup>.

## **10. Individuazione di nuovi campi di utilizzo**

La caratterizzazione dei lapidei è di fondamentale importanza per stabilirne i campi di impiego ed eventualmente individuare i limiti di utilizzo di un materiale. La conoscenza delle caratteristiche mineralogiche, chimiche, microstrutturali, microtessiturali e fisico - meccaniche dei lapidei permette inoltre di individuare nuovi campi di utilizzo per un materiale.

---

<sup>7</sup> I cavaatori sono ben consci dell'esistenza di una microfratturazione lungo la quale la roccia tende a spaccarsi con più facilità. Tale piano viene in gergo denominato "Pioda". Ortogonalmente ad esso giacciono due piani di separazione preferenziale. Il migliore dei due è chiamato mozzatura (o contro); l'altro è chiamato trincante (o secondo).

Stefano Cucuru – Studio geologico strutturale dei graniti idi varisici come lapidei ornamentali: problematiche inerenti la caratterizzazione, la coltivazione dei giacimenti e nuovi utilizzi in campo industriale. – Tesi di dottorato in Scienza e tecnologia dei minerali e delle rocce di interesse industriale – università di sassari.

L'individuazione dei nuovi campi di utilizzo permetterà sia l'ingresso dei lapidei studiati in nuovi mercati che un reimpiego del materiale attualmente presente nelle discariche dei siti estrattivi. Un immediato effetto del riutilizzo del materiale sarà la riduzione del volume delle discariche, purtroppo la principale causa di impatto visivo nelle cave galluresi.

### **10.1. Miscela quarzo - feldspatica per industria ceramica**

Bisogna sottolineare che, nell'ambito della ricerca di nuovi campi di utilizzo, le analisi chimiche e petrografiche hanno evidenziato nel "Giallo San Giacomo"

- un valore nella somma degli alcali superiore all'8%,
- abbondanza del Titanio e del Ferro relativamente contenuta,
- l'assenza di biotite pecilitica in altri minerali.

Questi dati indicano la presenza dei presupposti per iniziare delle indagini mirate, al fine di verificare la fattibilità industriale di separazione del feldspato e del quarzo per la realizzazione di impasti ceramici.

I feldspati alcalini costituiscono una materia prima fondamentale per la preparazione degli impasti ceramici. I feldspati rivestono infatti un ruolo importantissimo nell'industria delle piastrelle costituendo il 45% circa degli impasti a pasta chiara (gres chiaro) e il 55% nel caso di piastrelle non smaltate (gres porcellanato) (Dino *et al.*, 2002).

La caratteristica peculiare dei feldspati alcalini, che ne determina oggi un largo impiego industriale, è la proprietà di fondere a temperature relativamente basse per dar luogo, se opportunamente miscelati ad altri materiali, ad impasti ceramici.

Altra proprietà dei feldspati fusi è l'attitudine a solubilizzare i grani fini di quarzo, sempre presenti nelle composizioni ceramiche, con conseguente formazione di eutettici a più bassi livelli termici; oltretutto questi fusi hanno la capacità di accogliere gli alcali nella pasta, operazione indispensabile per il processo di vetrificazione in condizioni di insolubilità.

L'attitudine ad originare una fase vetrosa entro un ampio intervallo di temperatura costituisce il principale motivo dell'impiego dei feldspati in quasi tutti gli impasti per i prodotti ceramici in particolare in quelli destinati ad assumere una tessitura compatta durante la cottura.

Le principali fonti di approvvigionamento sono le rocce pegmatitiche e le sabbie feldspatiche mentre in subordine possono essere sfruttate rocce aplitiche. Peraltro il costante incremento produttivo ha accentuato la riduzione degli approvvigionamenti tradizionali spingendo gli operatori all'individuazione di potenziali risorse alternative come i graniti e i suoi differenziati.

Attualmente, nel nostro paese, i feldspati trovano largo impiego nella fabbricazione degli impasti di vetro china, di smalti, di porcellane domestiche e tecniche e per piastrelle; il settore vetrario non richiede che una modesta percentuale di feldspato.

In ogni caso i requisiti chimici minimi da rispettare per un materiale da sottoporre a caratterizzazione minerallurgica per l'impiego in campo ceramico sono (Curreli *et al.*, 1992):

- $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} > 8\%$
- $\text{Fe}_2\text{O}_3 < 0,6\%$
- $\text{TiO}_2 < 0,3\%$

In quest'ambito sono stati analizzati i campioni OG1 e OG2, entrambi provenienti dalla cava Caprulleddu e rappresentanti la qualità intermedia di Giallo San Giacomo. Tutti i campioni prelevati hanno subito un trattamento di finalizzazione teso sia alla caratterizzazione chimica che alla valutazione di parametri indispensabili per la valutazione delle caratteristiche minerallurgiche quali il grado di liberazione dei feldspati (biotite) e la dimensione granulometrica per una resa ottimale alla separazione magnetica.

Schematicamente le operazioni eseguite sono così riassunte:

1. frantumazione dell'informe nel frantoio a mascelle, riduzione ad una pezzatura compresa tra 1,5 cm e 5 cm;
2. granulazione in giare d'agata fino ad 1,2 mm;
3. depolverazione dei fini  $<$  di 45  $\mu\text{m}$ ;
4. essiccazione in stufa;
5. deferrizzazione mediante separatore magnetico dinamico ad alta intensità (valore applicato 1,6 Tesla);
6. pressatura e formatura della cialda di cottura con aggiunta del 5% in peso di  $\text{H}_2\text{O}$ ;
7. cottura delle cialde del materiale non magnetico;
8. cottura delle cialde del materiale non magnetico con attivazione mediante aggiunta del 2% in peso di dolomite di Sadali (2 serie di cialde);
9. stima del colore, della resa in peso percentuale e definizione delle temperature di greificazione.

I seguenti campioni sono stati analizzati in fluorescenza raggi X (XRF) per la determinazione degli elementi maggiori della roccia tal quale. Inoltre è stata analizzata anche la porzione non magnetica e finalizzati al test di cottura secondo la procedura precedentemente descritta.

				cromatogeno)	cromatogeno)
OG1	3,88	5,36	9,24	-0,10	1,30
OG2	3,80	5,25	9,05	-0,10	1,25

### Roccia tal quale

campione	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub> (minerale cromatogeno)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (minerale cromatogeno)
OG1	3,48	4,58	8,05	-0,10	0,14
OG2	3,60	4,63	8,23	-0,10	0,13

### Non magnetico



**Figura 10-1** Cialde ottenute dai campioni OG1 e OG2. In basso cialde ottenute dalle polveri tal quali, in alto cialde ottenute dalle polvere deferritizzate.

I campioni analizzati hanno evidenziato buone caratteristiche petrografiche e chimiche adatte alla caratterizzazione per l'uso nell'industria ceramica.

Le procedure di trattamento hanno evidenziato un ottimo grado di liberazione della biotite ed una granulometria finale da sottoporre a deferrizzazione superiore alla media (1,2 mm).

Le cialde di cottura ottenute dal materiale non magnetico mostrano dei colori compresi nella scala del bianco con tonalità variabili dal bianco crema al bianco chiaro e totale assenza di

puntinatura e un perfetto ritiro.

Le temperatura di greificazione è sempre compresa tra 1135 °C e 1150 °C.

La resa di tutti i campioni si attesta intorno al 77% per il Giallo San Giacomo. Questo valore ottenuto con una macinazione in giare d'agata e deferrizzato a 1,6 Tesla può essere ulteriormente migliorato con l'uso di un granulatore tipo cilindrica e l'utilizzo dei nuovi separatori magnetici ad intensità superiore a 2,2 Tesla.

I sopra citati risultati confermano l'idoneità del litotipo studiato per l'utilizzo in campo ceramico.

Tuttavia per la realizzazione di un progetto di sfruttamento e produzione su scala industriale sarà opportuno replicare ed intensificare la campionatura per numero e quantità di campioni prelevando dai diversi siti e predisporre una miscela campione di tutti gli affioramenti da ritenersi il prodotto finito e commerciale.

**Figura 10-2 Campione OG1 tal quale.**

**Figura 10-3 Campione OG1 non magnetico.**

## ***10.2. Rivestimenti alleggeriti – lastre Fiberstone***

I pannelli alleggeriti (ad es. Fiberstone) vengono utilizzati in tutti quelli ambienti nei quali sia prioritario ridurre i pesi (ad es. rivestimento di imbarcazioni o aerei). La piastrella alleggerita viene realizzata sovrapponendo una lastra lapidea di 0,2-1 cm di spessore, ad una struttura a nido d'ape che le conferisca elasticità e robustezza allo stesso tempo. Quando è invece richiesto anche un buon isolamento termico e/o acustico, la struttura interna viene sostituita con un pannello di sughero o con una schiuma preformata.

I dati ottenuti attraverso la prova della "massa volumica apparente" hanno indicato che sia il granito Giallo San Giacomo che il granito Rosa Beta posseggono un valore medio di 2,6 g/cm<sup>3</sup>. Tra i due lapidei, il valore è leggermente inferiore nel Giallo San Giacomo e all'interno di questo, diminuisce ancor di più nella varietà grigia che rappresenta la porzione inalterata.

## 11. Importanza degli studi geologico-strutturali e della caratterizzazione dei lapidei

Una scheda di qualificazione tecnica che dia informazioni sulle caratteristiche tecniche è la migliore garanzia di qualità del prodotto. Le proprietà di un lapideo vengono infatti determinate quantitativamente seguendo particolari normative recuperabili, consentendo inoltre la comparazione dei dati ottenuti con quelli di altri materiali. Le prove di caratterizzazione tendono a riprodurre in laboratorio in maniera accelerata le condizioni ambientale nelle quali potrebbe essere posto in opera un lapideo. E' possibile così testare il comportamento di una roccia ed in particolarità le sue proprietà fisiche e meccaniche.

Una buona conoscenza delle caratteristiche minero-petrografiche e soprattutto, fisico-meccaniche di un lapideo, consente di:

- stabilire i campi di impiego più appropriati;
- individuare i limiti di utilizzo;
- individuare nuovi utilizzi.

Dal presente lavoro si è visto inoltre come siano importanti gli studi geologico-strutturali del giacimento prima di iniziare l'attività di cava. Come già detto infatti, i materiali lapidei sono interessati da tutta una serie di fattori penalizzanti che purtroppo incidono negativamente sul valore commerciale della georisorsa. Molti di questi difetti, però, sono prevedibili in quanto tendono ad essere maggiormente rappresentati in prossimità di contatti litologici o comunque in zone di forte turbolenza magmatica (Cuccuru, 2005; Cherchi *et al.*, 2006; Sanganino *et al.*, 2006); inoltre, sulla superficie della roccia alterata, molti di essi, quali gli inclusi basici, le tasche pegmatitiche e i filoni, subiscono un'erosione differenziale rispetto alla roccia circostante, testimoniando chiaramente la loro presenza. Ancora, la fratturazione pervasiva può essere evitata effettuando un attento studio strutturale durante la scelta dell'ubicazione della cava e del suo fronte principale.

Prevedere i fattori penalizzanti di un giacimento e individuare eventuali anisotropie o altre caratteristiche nei giacimenti attraverso l'analisi geologico-strutturale preliminare, ha due fondamentali risvolti, uno economico ed uno ambientale.

Dal punto di vista economico permette di:

- prevedere la qualità del prodotto ben prima dello sbancamento;
- offrire delle indicazioni riguardo l'ubicazione del fronte di cava principale;
- ottimizzare la produzione in modo da aumentare la resa del materiale vendibile rispetto allo sterile;
- economizzare le operazioni di estrazione con evidenti risparmi economici;

- produrre, nel caso di litotipi orientati, blocchi da cui possono essere segate lastre con due tipologie di disegno (una isotropa e una anisotropa);
- rispondere alle esigenze di mercato con un prodotto qualitativamente migliore.

Dal punto di vista ambientale, invece, permette di:

- circoscrivere l'attività estrattiva a pochi siti ma produttivi;
- diminuire gli sfridi che si accumulerebbero in vistose discariche;
- salvaguardare la circolazione idrica sotterranea evitando l'apertura di cave in zone fortemente fratturate e interessate da falde superficiali.

Infine, prevedendo la non idoneità di un giacimento, si diminuiscono i numerosi attacchi inutili al territorio, riducendo così il forte impatto ambientale che una cava possiede.

Questi studi, effettuati preliminarmente in tutti i bacini estrattivi dell'isola, potrebbero diventare uno strumento da assumere nella determinazione degli ambiti (sensu PRAE – cfr 3.4): ciò rappresenterebbe un criterio più rigoroso per la perimetrazione delle zone da destinare alla prospezione e allo sviluppo di nuovi siti di cava al di fuori delle aree sottoposte a vincolo. La redazione di una carta che riporti tutti gli elementi analizzati sul terreno permette l'identificazione di determinate aree non idonee alla coltivazione appunto perché fortemente fratturate, perché attraversate da filoni di differente litologia o perché ancora in esse è presente un'alta concentrazione di fattori penalizzanti di carattere cromatico - tessiturale. Allo stesso modo si individuano dunque delle aree nelle quali la presenza di questi elementi di disturbo è ridotta al minimo e all'interno delle quali sarebbe possibile intraprendere l'attività estrattiva. In Gallura ciò è confermato da recenti lavori (Cuccuru 2005; Cuccuru *et al.* 2005): buona parte dei siti dismessi per via di fattori penalizzanti a carico del litotipo ricadono infatti nelle aree risultate geologicamente non idonee alla coltivazione di lapidei ornamentali.

## 12. Conclusioni

Il rilevamento sul terreno effettuato nelle aree di studio ha consentito di individuare ed analizzare un totale di 14 cave, 8 nell'area di studio del Giallo San Giacomo e 6 nell'area di studio del Rosa Beta. Il rilevamento ha dunque permesso, per la l'area di studio del Giallo San Giacomo, di effettuare una prospezione dell'interno plutone individuando le *sub-facies* in questo presenti e di redigere una carta geologica ad un dettaglio finora inedito.

Gli studi geologico-strutturali hanno messo in evidenza come zone caratterizzate da turbolenze magmatiche (Cava M.te Seccu) o fratturazione (Cava Inginocchiaddu) siano la principale causa di abbandono di giacimenti su cui era iniziata una coltivazione. Infatti non consentono l'estrazione di un prodotto omogeneo dal punto di vista cromatico e tessiturale e limitano la produzione di blocchi di dimensioni commerciali. Uno studio geologico di prospezione avrebbe sicuramente permesso di individuare questi fattori penalizzanti e di impedire l'apertura di siti estrattivi destinati ad essere abbandonati dopo aver comunque causato un significativo danno paesaggistico.

Infatti buona parte dei siti di cava attivi non presentano importanti fattori penalizzanti. Per quanto riguarda le cave di Giallo San Giacomo poi, bisogna sottolineare che in alcune di esse buona parte degli sfridi prodotti vengono riutilizzati nei laboratori annessi. Nel polo estrattivo di Bassacutena, l'assenza di laboratori di lavorazione artigianale e la sola produzione di blocchi commerciali impedisce invece la commercializzazione di buona parte del prodotto estratto che è limitata ai blocchi di prima e seconda scelta. Ciò ha causato l'accumulo di sfridi nelle enormi discariche presenti perimetralmente ad ogni sito estrattivo, comportando inevitabilmente un notevole impatto visivo.

Lo studio geologico-strutturale effettuato su entrambi i lapidei, ha permesso di individuare le anisotropie in questi presenti. Lo studio microstrutturale dell'orientazione degli assi [c] del quarzo ha mostrato una forte anisotropia cristallografica (LPO), sviluppatasi durante la fase finale di cristallizzazione, in presenza di un moderato campo di *stress*. Nonostante questo, la roccia è apparentemente isotropa, quindi questo inatteso risultato dimostra come non esista sempre una ovvia corrispondenza tra fabric cristallografico e orientazione preferenziale dei minerali (SPO), comunemente dovuto a flusso nel "*crystal mush*".

Nel Giallo San Giacomo è stata anche individuata un'importante microfratturazione, anch'essa collegata con la deformazione relativa alla messa in posto del plutone. È stato osservato che le microfratture si sviluppano seguendo i piani romboedrici positivi e negativi del quarzo, che rappresentano, in questo minerale, le superfici cristallografiche con la minore resistenza al taglio (den Brock, 1996; Vernooij *et al.*, 2006). Per lo stesso motivo le microfratture sfruttano

anche i contatti tra fasi differenti (i.e. quarzo-feldspato, biotite-quarzo, biotite-feldspato), quindi danno luogo ad un vero e proprio "network". Le analisi al microscopio ottico ed elettronico hanno permesso di osservare un parziale riempimento di tali microfratture da parte di minerali secondari come ossidi e idrossidi di ferro o, in alcuni casi, da opale ct. Tale riempimento permette di rinsaldare parzialmente le microfratture conferendo alla roccia una buona resistenza meccanica nonostante il suo aspetto alterato.

La conoscenza delle anisotropie (SPO, LPO, microfratture) ha degli importanti riscontri applicativi. La microfratturazione tende solitamente a rappresentare un piano di debolezza e dunque di più facile spaccabilità. Tale superficie viene infatti sfruttata dai cavaatori e dagli scalpellini nella realizzazione di elementi a spacco e geometrici. In taluni campioni anche le prove fisico-meccaniche hanno mostrato una certa influenza delle anisotropie sia nell'assorbimento d'acqua che nella resistenza a compressione. Secondo Mainprice *et al.* (1993), l'esistenza di un LPO particolarmente marcato in rocce ricche di quarzo può rendere le caratteristiche fisico-meccaniche (espansione lineare termica e conduttività del calore) fortemente direzionali. Poiché gli assi [c] formano un basso angolo (circa 20°) con le microfratture, quest'ultima anisotropia non solo rappresenta il piano di più facile *splitting* ma anche il piano migliore per ottimizzare le caratteristiche della roccia in termini di espansione lineare termica e conduzione del calore.

Per quanto riguarda invece il granito Rosa Beta, grazie all'impiego degli ultrasuoni, è stato possibile individuare anche in questo caso dei piani di microfratturazione visibili solo microscopicamente. L'esistenza di tale anisotropia, seppur rappresenti un piano di più facile spaccabilità, non ha un'influenza notevole sulle caratteristiche fisico-meccaniche della roccia. Le prove di caratterizzazione effettuate su entrambe le orientazioni infatti, non hanno mostrato importanti differenze di comportamento.

Infine, la completa caratterizzazione effettuata su entrambi i lapidei ha permesso di redigere una scheda tecnica per entrambi i litotipi. Il comportamento mostrato dai lapidei nelle prove di caratterizzazione fisico-meccanica ha messo in luce l'idoneità sia del Giallo San Giacomo che del Rosa Beta per impieghi ornamentali e strutturali. L'unica limitazione di utilizzo del Giallo San Giacomo è stata individuata nei valori di assorbimento d'acqua relativamente elevati. Un assorbimento d'acqua elevato, infatti, potrebbe accelerare i processi di alterazione limitando la durabilità del lapideo soprattutto se posto in opera in ambienti umidi e gelivi.

Per ciò che concerne l'utilizzo degli sfridi, le indagini svolte hanno evidenziato una possibile idoneità di questo lapideo per la realizzazione di miscele quarzo-feldspatiche. Tale impiego avrebbe soprattutto degli importanti riscontri ambientali in quanto consentirebbe di riutilizzare gli scarti di estrazione mitigando così gli impatti visivi causati dalle discariche.

## 13. Bibliografia

Boaretto M. (2006). Nuova disciplina regionale sull'attività estrattiva, premessa per uno sviluppo compatibile. *Informazione*, **105**. Cagliari.

Bralia A., Ghezzeo C., Guasparri G. & Sabatini G. (1981). Aspetti genetici del batolite sardo-corso. *Rend. Soc. Ital. Mineral. Petrol.*, **38**: 701-764, Milano.

Bouchez J.L., Delas, C., Gleizes, G., Nédélec, A. and Cuney, M. (1992). Submagmatic microfractures in granites, *Geology* **20**, 35-38.

Cabiddu P., Persod P. & Ullu F. (1998). Studi di valorizzazione delle pietre ornamentali in ambito Unione Europea – Riciclo dei rifiuti. In *Le materie prime minerali sarde*. Carlo Marini. CUEC 1998. Pp 123-136.

Carmignani L., Barca S., Disperati L., Fantozzi P., Funedda A., Oggiano G. & Pasci S. (1994) Tertiary compression and extension in the Sardinian basement. *Boll. Geof. Teor. Appl.* **36**, 45-62, Trieste.

Carmignani L., Del Moro A., Franceschelli M., Ghezzeo C. & Pertusati P.C. (1985). Sistematica Rb/Sr dei graniti sincinemati del Mt. Grighini. Sardegna centrale (risultati preliminari) - In: T. Coccozza & C. A. Ricci (editors); "Evoluzione stratigrafica, tettonica, metamorfica e magmatica del Paleozoico italiano". Dip. Sc. Terra Univ. Siena, pp.61-63, Siena.

Cherchi G.P. & Musumeci G. (1987). Il leucogranito del M. Grighini (Sardegna centro-occidentale), un esempio di granito deformato all'interno di una fascia di taglio duttile: caratteristiche meso e microstrutturali. *Atti Soc. Tosc. Sci. Nat., Mem., Ser. A*: **93**, 13-29, Pisa.

Cherchi G.P. & Musumeci G. (1992). Il complesso granitoide della Sardegna settentrionale: In: «Struttura della Catena ercinica in Sardegna», Guida all'escursione. Gruppo informale di geologia strutturale, 157-177, Pisa.

Cherchi G.P., Elter F.M., Ghezzeo C., Marcello A. & Musumeci G. (1987). Intrusive sequence and structural pattern of the granitic hercynian complex from the Calangianus region (Northern Sardinia). *Atti congres. SIMP, Verbania (Italy)*, 28 sept.-3 oct. 1987, Verbania.

Cherchi G.P., Oggiano G., Cuccuru S. & Aversano A. (2006). Rapporti tra l'attività estrattiva e le conoscenze geologico-strutturali: lo studio dei bacini estrattivi della Gallura. Volume Speciale "Le risorse lapidee dall'antichità ad oggi in area mediterranea", *GEAM*, **1** (1), 369-372.

Conti L. & Traversa G. (1968). Studio geopetrografico dell'Arcipelago della Maddalena. Nota III: L'isola di S. Stefano. *Per. Min.*, **37**: 145-220, Roma.

Conti L. (1964). Studio geopetrografico dell'Arcipelago della Maddalena. Nota I: L'isola della Maddalena. CONTI L. (1964) - Studio geopetrografico dell'Arcipelago della Maddalena. Nota I: L'isola della Maddalena. *Boll. Soc. Geol. It.*, **83**: 5-86, Roma.

Conti L. (1966). Studio geopetrografico dell'Arcipelago della Maddalena. Nota II: L'isola di Caprera. *Per. Min.*, **35**, 603-730, Roma.

Cuccuru S. & Cherchi G.P. (2008). Il Polo Estrattivo di Bassacutena: aspetti giacimentologici e caratterizzazione fisico-meccanica del granito "Rosa Beta". In "Rendiconti online Società Geologica Italiana" volume 3 fascicolo 1 - Riassunti del 84° Congresso Nazionale Sassari 15-17 Settembre 2008 (pp 282-283)

Cuccuru S. (2005). Gli studi geologico-strutturali nei granitoidi come strumento di ottimizzazione dell'attività estrattiva e mitigazione degli impatti: un esempio dall'Alta Gallura. Tesi di laurea. Università di Sassari.

Cuccuru S., Cherchi G.P. & Oggiano G. (2005). "Environmental impact and mitigation of quarrying activity in the granite district of Gallura: the contribute of geological investigations". Epitome 1 (abstract vol), P. 126. Geitalia 2005, Quinto Forum Italiano di Scienze della Terra, Spoleto 21-23 settembre 2005.

Curreli L., Ferrara G., Ghiani M., Machiavelli G., Pala M. & Salaris M. (1992). Produzione di feldspato per uso ceramico da rocce granitiche. Estratto da Bollettino associazione mineraria sarda. Anno XCV – numero speciale – Settembre 1992.

Del moro A., Di Simplicio P., Ghezzi C., Guasparri G. & Sabatini G. (1975). Radiometric data and intrusive sequence in the Sardinian batholith. N. Jb. Miner. Abh., **126** (1): 28-44, Stuttgart.

den Brock B. (1996). The effect of crystallographic orientation on pressure solution in quartzite, Jour. Struct. Geol., **18**, pp 859-860

Di Pisa A. & Oggiano G. (1985). Graniti peralluminiferi scistosi sin-orogenici della bassa Gallura (Sardegna). In: T. COCOZZA & C.A. RICCI (Eds.): «Evoluzione stratigrafica, tettonica, metamorfica e magmatica del Paleozoico italiano», Dip. Sc. Terra Univ. Siena, pp. 97-98, Siena.

Di Pisa A. & Oggiano G. (1987). Syn-Tectonic peraluminous schistose granites of South-Western Gallura (Sardinia). - In: SASSI F.P. & BOURROUILH R. (Eds), IGCP n. 5, Newsletter, **7**, 46-49, Padova.

Di Pisa A., Del Moro A., Macera P., Oggiano G. & Squadrone A. (1988) - Studio geochimico e radiometrico, con il metodo Rb/Sr, dei graniti peralluminosi sin-tettonici di Tarra Padedda (Sardegna settentrionale). Conv. S.I.M.P. 8-9 Dicembre 1988, 31-32, Trieste.

Didier J. (1964). Etude petrographique des enclaves de quelques granites du Massif Central francais. Ann. Fac. Sci. Univ. Clermont-Ferrand, **23**, 254 pp

Didier J. (1973). Granites and their Enclaves. Develop. Petrol., 3. Elsevier, Amsterdam, pp 393.

Dino G.A., Fornaro M., Martinetto V., Rodeghiero F. & Sandrone R. (2002). La produzione di feldspati in Italia. Quarry and Construction Marzo 2002. Pp 59-74.

Ferrara G., Ricci C.A. & Rita F. (1978). Isotopic ages and tectono-metamorphic history of the metamorphic basement of north-eastern Sardinia. Contr. Min. Petr., **68**: 99-106, Berlin.

Ferrè E.C. & Leake B.E. (2001). Geodynamic significance of early orogenic high-K crustal and mantle melts: example of the Corsica Batholith. Lithos, **59**, 47-67.

Fiora L. (2007a). La pietra è naturale ...o autentica?. *Informatore del marmista* **542** febbraio 2007. pp 6-10 Zusi editore

Fiora L. (2007b). Il colore della pietra. *Informatore del marmista* **544** aprile 2007 pp 55-60. Zusi editore

Fiora L. (2007c). Il colore della pietra. *Informatore del marmista*, **545**, maggio 2007. 67-72. Zusi editore

Fornaro M., Lovera E. & Sacerdote I. (2002). La coltivazione delle cave ed il recupero ambientale. Ed. Politeko, Torino.

Gaggero L., Oggiano G., Buzzi L., Slejko F. and Cortesogno L. (2007). Post-Variscan mafic dykes from the late orogenic collapse to the Tethyan rift: evidence from Sardinia, *Ofioliti* **32** (2007) 15-37.

Ghezzi C. & Orsini J.B. (1982). Lineamenti strutturali e composizionali del batolite ercinico sardo corso in Sardegna. In: «Guida alla geologia del Paleozoico sardo», Soc. Geol. It., pp. 88-102, Roma.

Ghezzi C., Guasparri G. & Sabatini G. (1972). Lineamenti geopetrologici del cristallo sardo. Le plutoniti e la loro successione negli eventi intrusivi. *Miner. Petr. Acta*, **18**, 205-234.

Ghezzi C., Guasparri G. & Sabatini G. (1973). Relazioni fra rocce granitiche e metamorfiche nella Sardegna centro-settentrionale. Nota III: Le intrusioni della zona Orotelli-Bolotana-Bultei; rilevamento con studio modale. *Miner. Petr. Acta*, **19**: 155-186, Bologna.

Guasparri G., Riccobono F. & Sabatini G. (1984). Leucogranites of sardinian batholith: petrologic aspects and their relevance to metallogenesis. *Periodico di mineralogia - Roma*. Anno 53, pp 17-52.

Guida alle pietre ornamentali aa vv.

Hirth, G. & Tullis, J. (1992). Dislocation creep regimes in quartz aggregates. *Journal of Structural Geology* **14**: 145-159.

Holder M. T. (1979). An emplacement mechanism for post tectonic granites and its implication for their geochemical features. In: M.P. Atherton & J. Tarney (eds.), *Origin of granite batholiths: geochemical evidence*. Shiva, 116-128.

Kruhl J. (1996). Prism and basal-plane parallel boundaries in quartz: a microstructural geothermobarometer. *Journal of Structural Geology*, **14**, 581-589.

Kruhl J.H., and Vernon, R. S. (2005). Syndeformational emplacement of a tonalitic sheet complex in a late-Variscan thrust regime: fabrics and mechanism of intrusion, Monte'e Senes, northeastern Sardinia, *Can. Min.* **43** (2005) 387-407.

Macera P., Conticelli S., Del Moro A., Di Pisa A., Oggiano G. & Squadrone A. (1989). Geochemistry and Rb/Sr ages of syn-tectonic peraluminous granites of western Gallura, northern Sardinia: constraints on their genesis. *Period. Mineral.* **58**: 25-42, Roma.

Mainprice D., Bouchez J. L., Blumenfeld P. & Tubia J. M. (1986). Dominant c-slip in naturally deformed quartz: implications for dramatic plastic softening at high temperature. *Geology*, **14**, 819-822.

Mainprice, D.; Lloyd, G.E.; Casey, M 1993. Individual orientation measurements in quartz polycrystals: advantages and limitations for texture and petrophysical property determinations. *Journal of Structural Geology* **15** (9/10): 1169-1187.

Maluski H. (1978). Behaviour of biotites, amphiboles, plagioclases and K-feldspar in response to tectonic events with the  $Ar^{40}$ - $Ar^{39}$  radiometric method. *Geochimica Cosmochimica Acta* **42** (1978), pp. 1619-1633.

Marre J. (1986) - The structural analysis of granitic rocks. North Oxford Academic, pp. 123, Oxford.

Memorie descrittive della carta geologica d'Italia aa vv. Istituto Poligrafico dello Stato.volume LX. 2001

Menot et al 1996 Me ´not, R.P., Paquette, J.L., Orsini, J.B., 1996. Le plutonisme carbonifere de Balagne (Corse).; geochronologie haute precision U-Pb sur zircons. 16eme Reunion Annuelle des Sciences de la Terre, Societ´e Geologique de France, Orl´eans, France, p.56.

Negretti G. C. (1966). Ricerche petrografiche sul complesso granitoide del settore di Busachi (Sardegna Centrale). *Boll. Serv. Geol. It.*, **87**, 145-247.

Oggiano G. & Di Pisa A. (1988). I graniti peralluminiferi sin-tettonici nell'area di Aggius - Trinità D'Agultu e loro rapporti con le metamorfiti di alto grado della bassa Gallura (Sardegna settentrionale). *Boll. Soc. Geol. It.*, **107**: 471-480, Roma.

Oggiano G., Casini L., Rossi P., Mameli P. (2007). Long lived dextral strike-slip tectonics in in the southern Variscan Belt: evidence from two syn-kinematic intrusions in north Sardinia. *Geologie de la France (Meeting on Mechanics of Variscan Orogeny:a modern view on orogenic research Orleans 13-15 2007)*, **2**, 141.

Oggiano G., Cherchi G.P., Aversano A., Di Pisa A., Ulzega A., Orrù P. & Pintus C. (2005). Note illustrative della Carta Geologia d'Italia, Foglio 428 Arzachena. Firenze: S.EL.CA.

Orsini J. B. (1976). Les granitoides hercyniens corso-sardes: mise en evidence de deux associations magmatiques. *Bull. Soc. Geol. Fr.*, **18**: 1203-1206, Paris.

Orsini J.B. (1979). Contribution a la connaissance des granitoides tardi-orogeniques du batholite corso-sarde. Les enclaves sombres de l'association plutonique calco-alkaline. *Travaux des laboratoires des Sciences de la Terre, Saint-Jerome Marseille*, 104 p.

Orsini J.B. (1980). Le batholite corso-sarde: anatomie d'un batholite hercynien. Composition, structure, organisation d'ensemble. Sa place dans la chaine Varisque francaise. Ph.D. Thesis, Universitè de Aix-Marseille.

Paquette J.-L., Ménot R.-P., Pin C. & Orsini J.-B. (2003). Episodic short-lived granitic pulses in a post-collisional setting: evidence from precise U-Pb zircon dating through a crustal cross-section in Corsica, *Chem. Geol.* **198** (2003) 1-20.

Pasci S. (1997) - Tertiary transcurrent tectonics of North-Central Sardinia. *Bull. Soc. Géol. France*, **168**: 301-312, Paris.

Pasquarè G., Abbate E., Bosi C., Castiglioni G.B., Merenda L., Mutti E., Orombelli G., Ortolani F., Parotto M., Pignone R., Polino R., Premoli Silva I. & Sassai F.P. (1992). Carta Geologica d'Italia - 1:50.000, Guida al rilevamento. In: Quad.n°1, Serv. Geol. d'Italia, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, **203**, Roma.

Paterson S.R., Vernon R.H. & Tobish O.T. (1989). A review of criteria for the identification of magmatic and tectonic foliations in granitoids. *Journ. Struct. Geol.*, **2** (3): 349-363, Oxford.

Poli G., Ghezzo C. & Conticelli S. (1989). Geochemistry of granitic rocks from the hercynian Sardinia-Corsica batholith: implication for magma genesis. *Lithos*, **23**: 247-266, Amsterdam.

Primavori P. (1997). I materiali lapidei ornamentali: marmi, graniti e pietre. Edizioni ETS

R.D. n° 1443 29 luglio 1927

Ramsay J. G. (1989). Emplacement kinematic of a granite diapir: the Cindamora batholith, Zimbabwe. *Jour. Struct. Geol.*, **11**, 191-209.

Regione Autonoma Sardegna (2007 a). Atti d'indirizzo programmatico per il settore estrattivo in Sardegna. Settembre 2007

Regione Autonoma Sardegna (2007 b). Piano Regionale Attività Estrattive (P.R.A.E.) Relazione generale. Ottobre 2007

Rossi P. & Cocherie A. (1991). Genesis of a Variscan batholith. Field, petrological and mineralogical evidence from the Corsica-Sardinia batholith, in: Freeman R., Huch M., Mueller St. (Eds) *The European Geotraverse part 7, Tectonophysics* **195** 319-346

Rossi P., Durand-Delga M. & COCHERIE A. (1993). Caractère volcano-plutonique du magmatisme calco-alcalin composite d'âge Stéphanien supérieur-Permien inférieur en Corse. *C.R. Acad. Sci. Paris, Série II*: pp. 1779-1788, Paris

Sangaino S., Cuccuru S., Cherchi G.P., R. Filigheddu & Oggiano G. (2006). Impatti ambientali e mitigazione dell'attività estrattiva nei bacini estrattivi della Gallura: il contributo delle indagini naturalistiche e geologiche preliminari. Atti del Convegno "Le risorse lapidee dall'antichità ad oggi in area mediterranea", Canosa di Puglia 25-27 Settembre 2006. P. 411

Simboli G. (1962). Studio petrografico dei graniti e di alcune loro differenziazioni nella zona di Buddusò (Sardegna). *Acta Geol. Alpina*, **8**, 337-378.

Stipp M., Stüniz H., Heilbronner R., Heilbronner R., Schmid S.M. (2002). The eastern Tonale fault zone: a natural laboratory' for crystal plastic deformation of quartz over a temperature range from 250° to 700°. *Journal of Structural Geology* **24**: 1861-1884.

UNI 8458-83. Terminologia e classificazione in generale

UNI 9724/1-90. Materiali lapidei descrizione petrografica.

UNI 9724/2-90 Materiali lapidei – determinazione della massa volumica apparente e del coefficiente d'imbibizione.

UNI 9724/5-90. Materiali lapidei – determinazione della resistenza a flessione.

UNI EN 12370 (1991). Metodi di prova per pietre naturali - Determinazione della resistenza alla cristallizzazione dei Sali.

UNI EN 12371 (2003). Metodi di prova per pietre naturali - Determinazione della resistenza al gelo.

UNI EN 12407. Metodi di prova per pietre naturali. Esame petrografico. Settembre 2001

UNI EN 12440 (2007). Criteri per la denominazione.

UNI EN 12670 (2003). Pietre naturali – Terminologia.

UNI EN 13755. Metodi di prova per pietre naturali - Determinazione dell'assorbimento d'acqua a pressione atmosferica. Dicembre 2002

UNI EN 13919 (2004). Metodi di prova per pietre naturali - Determinazione della resistenza all'invecchiamento dovuto a SO<sub>2</sub> in presenza di umidità.

UNI EN 14066. Metodi di prova per pietre naturali - Determinazione della resistenza all'invecchiamento accelerato dovuto a shock termico.

UNI EN 14146 (2004). Metodi di prova per pietre naturali - Determinazione del modulo elastico dinamico.

UNI EN 14157. Metodi di prova per pietre naturali - Determinazione della resistenza all'abrasione.

UNI EN 14158 (2004). Metodi di prova per pietre naturali - Determinazione dell'energia di rottura.

UNI EN 14205. Metodi di prova per pietre naturali - Determinazione della durezza KNOOP.

UNI EN 14581. Metodi di prova per pietre naturali - Determinazione del coefficiente di dilatazione lineare termica.

UNI EN 1925. Metodi di prova per pietre naturali - Determinazione del coefficiente di assorbimento d'acqua per capillarità. Dicembre 2000

UNI EN 1926. Metodi di prova per pietre naturali - Determinazione della resistenza a compressione. Dicembre 2000

UNI EN 1936 (1999). Metodi di prova per pietre naturali - Determinazione delle masse volumiche reale e apparente e della porosità totale e aperta. Marzo 1999

Vernooij M. G. C., Den Brock B. & Kunze K., (2006). Development of crystallographic preferred orientations by nucleation and growth of new grains in experimentally deformed quartz single crystals, *Tectonophysics* 427(2006) 35-53.

[www.azaragraniti.it](http://www.azaragraniti.it)

Zorpi M. J., Coulon C., Orsini J. B. & Cocirca C. (1989). Magma mingling, zoning and emplacement in calc-alkaline granitoid plutons. *Tectonophysics*, **157**, 315-329, Amsterdam