

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/263525769>

Studio geominerario e mineralurgico di una miniera di feldspato nell'area Masserano – Santa Liberata (BI)

Article · January 2003

CITATIONS

2

READS

217

5 authors, including:



Carlo Clerici

Politecnico di Torino

11 PUBLICATIONS 40 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Piergiorgio Rossetti

Università degli Studi di Torino

73 PUBLICATIONS 509 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Analisis biomecánico del lanzador de béisbol [View project](#)



Mining geology [View project](#)

Studio geominerario e mineralurgico di una miniera di Feldspato nell'area Masserano - Santa Liberata (BI)

A. Bredy, P. Sassone
C. Clerici
P. Rossetti
G.P. Bertolotti

Studio Geingegneria Ambientale e Mineraria, Casalborgone (TO)

Dipartimento di Georisorse e Territorio, Politecnico di Torino

Dipartimento di Scienze Mineralogiche e Petrologiche, Università di Torino

RM Ricerche Minerarie s.r.l. - Lozzolo (VC)

A nord di Masserano (BI) affiorano rocce granitiche legate al ciclo magmatico ercinico, localmente oggetto di coltivazione per la produzione di materiali feldspatici per l'industria ceramica. La zona attualmente coltivata (miniera di Masserano San Rocco) è in corrispondenza di un'area in cui tali rocce sono interessate da intensi fenomeni di fratturazione ed alterazione. L'analisi geologico-petrografica ha permesso di identificare, al di fuori dell'area alterata, varie facies intrusive finora non coltivate, che presentano caratteristiche d'insieme che le rendono di particolare interesse dal punto di vista minerario. Su tali facies è stato eseguito un trattamento mineralurgico, allo scopo di verificare la possibilità di una efficace separazione della frazione magnetica (apportatrice principale del ferro, presente essenzialmente nella biotite) in previsione di un loro eventuale impiego come fondenti negli impasti ceramici per grès porcellanato. I prodotti ricavati dalle operazioni di trattamento hanno dato ottimi risultati dal punto di vista del possibile impiego nel settore ceramico: essi sono infatti confrontabili con le materie prime feldspatiche utilizzate nella produzione di sanitari e grès-porcellanato presenti sul mercato, sia sotto un punto di vista cromatico che come valori di assorbimento e di ritiro percentuale dopo un ciclo di cottura. Tali dati suggeriscono che l'impiego di opportuni processi mineralurgici di concentrazione e depurazione delle materie prime feldspatiche, fondato su una solida base geologico-petrografica, possa costituire una soluzione alternativa alla problematica del reperimento di feldspati con alto grado di purezza.

A feldspar mine near Masserano - Santa Liberata (BI): geological study and beneficiation tests

Hercynian granitic rocks outcropping north of Masserano (BI, north-western Italian Alps) are locally mined for feldspar for the ceramics industry. The mining area (Masserano San Rocco mine) is at present limited to strongly fractured and weathered granitic rocks. Different types of ercynian intrusives that have been unaffected by weathering/alteration phenomena have been identified in the same area from field geology and petrography analysis tests. These intrusives, though so far unexploited, could represent a potential feldspar resource. A mineral processing study has been

performed on these rock-types, in order to test the possibility of separating the magnetic portion (i.e., mostly biotite, which is the main Fe-bearing phase) for use as high quality material in the ceramics industry. The obtained results show that high quality materials for the ceramics industry may be obtained through mineralurgy processes on raw feldspar-rich rock types, that are well characterized from the geological and petrographical points of view.

Etude géologique et minéralurgique d'une mine de feldspath près de Masserano - Santa Liberata (BI)

Au nord de Masserano (Biella, Italie) affleurent des roches granitiques liées au cycle magmatique ercinique, localement exploitées pour la production de matériaux feldspathiques pour l'industrie céramique. Dans la zone actuellement exploitée (mine de Masserano San Rocco) ces roches sont affectées par d'importants phénomènes de fracturation et d'altération. L'analyse géologique et pétrographique a permis d'identifier, en dehors du terrain altéré, différents facies intrusifs jusqu'à présent non exploités, qui présentent des caractéristiques d'ensemble leur concédant un intérêt particulier du point de vue minier. Un traitement minéralurgique a été effectué sur ces facies, dans le but de vérifier la possibilité d'une efficace séparation de la fraction magnétique (principale productrice du fer, essentiellement présente dans la biotite) en prévision de leur éventuelle utilisation comme fondant dans les mélanges céramiques pour grès-porcelaine. Les produits obtenus des traitements ont donné d'excellents résultats quant aux possibilités de leur utilisation dans le secteur céramique : ils sont en effet comparables aux matières premières feldspathiques utilisées dans la production de sanitaires et grès-porcelaine sur le marché, soit du point de vue chromatique que pour les valeurs d'absorption et de rétrécissement après un cycle de cuisson. Ces données suggèrent que l'emploi d'opportuns procédés minéralurgiques de concentration et d'épuration des matières premières feldspathiques, basées sur une solide base géologique et pétrographique, puisse constituer une solution alternative à la problématique de découverte de roches feldspathique avec haut degré de pureté.

1. INTRODUZIONE

Con una produzione annuale di circa 2,6 Mt, l'Italia è il maggior produttore mondiale di feldspato e materiali feldspatici. Tale produzione non è peraltro sufficiente a coprire il fabbisogno dell'industria ceramica italiana, che si colloca al

secondo posto nel mondo, dopo la Cina. Il deficit di produzione è colmato in gran parte da importazioni di feldspato sodico dalla Turchia, che costituisce attualmente, nel panorama europeo e medio-orientale delle materie prime ceramiche, un paese fortemente emergente (BENEDUSI et al., 1999). Nell'attuale panorama di generale reces-

sione del settore minerario italiano, l'industria estrattiva dei feldspati costituisce quindi un comparto produttivo rilevante.

Il mercato italiano dei feldspati presenta caratteri peculiari rispetto alla situazione esistente negli altri paesi industrializzati. Una larghissima parte dei materiali feldspatici prodotti in Italia, infatti,

viene utilizzata dall'industria ceramica, mentre nel resto dell'Europa e negli Stati Uniti è l'industria vetraria ad avere una posizione predominante. Anche dal punto di vista della provenienza dei feldspati, la realtà italiana presenta delle singolarità rispetto alla situazione esistente nel resto dell'Europa o dell'America settentrionale. In Italia, la maggior parte dei materiali feldspatici è ottenuta da differenziati aplitici e pegmatitici (46 % del totale), albititi (31 %) o graniti leucocrati (16 %). Piccole percentuali spettano a sedimenti quarzoso-feldspatici (sabbie arcose: 6 %) e vulcaniti acide. Nel resto dell'Europa, le fonti principali di feldspato sono sabbie arcose, sieniti nefeliniche e vulcaniti (principalmente rioliti e fonoliti); nel Nord America, invece, le fonti di feldspato sono principalmente sieniti nefeliniche, graniti e, in minor misura, apliti e pegmatiti (BURGER, 1990; HARBEN & BATES, 1990; DONDI, 1992; POTTER & ROGERS, 1994).

La continua crescita nella produzione di materiali feldspatici negli anni Ottanta e Novanta è stata fondamentalmente dettata da una forte richiesta da parte dell'industria italiana delle piastrelle ceramiche, le cui ragioni sono da ricercarsi anche nel processo di innovazione tecnologica di cui è stato protagonista il comparto produttivo delle piastrelle. Tale sviluppo tecnologico ha avuto forti ripercussioni sulla formulazione degli impasti che, tradizionalmente costituiti in pratica da sola argilla, sono stati modificati sino a divenire delle miscele complesse, nelle quali entrano notevoli quantità di materiali feldspatici con funzioni fondenti (BERTOLANI et al., 1986; FABBRI & DONDI, 1994). Il mercato si sta indirizzando in misura sempre maggiore verso prodotti di pregio, caratterizzati in particolare da bassi tenori in ferro. Pur di ottenere materie prime con requisiti di questo tipo i produttori di piastrelle sono ricorsi a fonti d'approvvigionamento sempre più lontane dai centri di fabbricazione, accettando costi

di trasporto sempre più gravosi.

Una soluzione alternativa alla problematica del reperimento dei feldspati puri appare in prospettiva rappresentata dall'impiego di opportuni processi mineralurgici di concentrazione e depurazione delle materie prime feldspatiche (DONDI, 1995).

In questo lavoro vengono presentati i dati relativi ad uno studio interdisciplinare svolto in un'area a nord di Masserano (BI), in cui da alcuni decenni è in corso un'attività estrattiva su rocce granitiche caratterizzate da una forte alterazione. Attraverso uno studio di terreno e di laboratorio si sono delineate le caratteristiche geologico-petrografiche del giacimento e delle rocce circostanti, e all'interno di queste ultime la distribuzione dei corpi granitici più idonei per un possibile sfruttamento. Su campioni significativi è inoltre stato eseguito uno studio sperimentale, al fine di valutare il possibile utilizzo di facies granitiche finora non coltivate e allo stesso tempo la possibilità, previo trattamento mineralurgico, di ottenere dei concentrati quarzoso-feldspatici di elevata purezza e quindi maggior pregio.

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area studiata si trova in comune di Masserano, circa 4 km a NE di Cossato (BI) (Fig. 1.A), all'interno di un'area collinare impostata su vulcaniti, graniti e kinzigiti delle Alpi Meridionali; essa è bordata a sud dai sedimenti pliocenici della pianura e, verso nord, da un gradino morfologico in corrispondenza della Linea della Cremona che segna il passaggio ad un settore più elevato costituito dalle rocce basiche della Zona Ivrea-Verbanese. Le rocce granitiche oggetto della ricerca comprendono totalmente il territorio corrispondente alla Concessione Mineraria "Masserano San Rocco", di cui è titolare la

Società RM Ricerche Minerarie s.r.l.. Esse fanno parte del "Massiccio granitico del biellese", uno degli ammassi principali in cui è frazionato, entro alle rocce cristalline del Massiccio dei Laghi (Alpi Meridionali), il grande batolite a composizione prevalentemente granitica di età ercinica che si estende, con andamento all'incirca NE-SW, dal biellese alla Val d'Ossola, ed è suddiviso nei plutoni di Biella-Valsessera, Alzo-Roccapietra, Quarna, Mottarone-Baveno e Montorfano. Pur presentando i singoli plutoni significative differenze composizionali, essi mostrano nel complesso forti analogie, che includono l'età di messa in posto (intorno ai 275 Ma), l'affinità calcalkalina, i rapporti isotopici che ne indicano l'origine crostale e la profondità di intrusione, relativamente superficiale (BORIANI et al., 1988, 1990 e relativa bibliografia).

Oltre ai graniti, all'interno del Massiccio granitico del biellese sono presenti abbondanti apliti, pegmatiti, filoni di graniti porfirici e vene di quarzo (BORIANI et al., 1988). ZEZZA (1977) ha dato una dettagliata descrizione petrografica del corpo principale distinguendo, su base tessitura, tre principali varietà: graniti a grana medio-fine a volte porfirici, graniti pseudo-porfirici e graniti a grana media con tessitura ipidiomorfa. A contatto con le vulcaniti, costituite prevalentemente da latiti, rioliti ed ignimbriti riolitiche (FRIZ & GOVI, 1963; GOVI, 1975) sono inoltre localmente presenti facies microgranulari marginali.

Studi specifici (BERTOLANI, 1959; BORTOLAMI, 1965; FRIZ, 1966; ZEZZA 1977) hanno individuato la presenza di due fasi granitiche diverse e cronologicamente distinte. Alla prima fase granitica, precedente rispetto alle vulcaniti, corrisponde la messa in posto dei grandi ammassi granitici della Serie dei Laghi. La seconda fase granitica, posteriore rispetto alla formazione delle vulcaniti, affiora principalmente al margine della prima

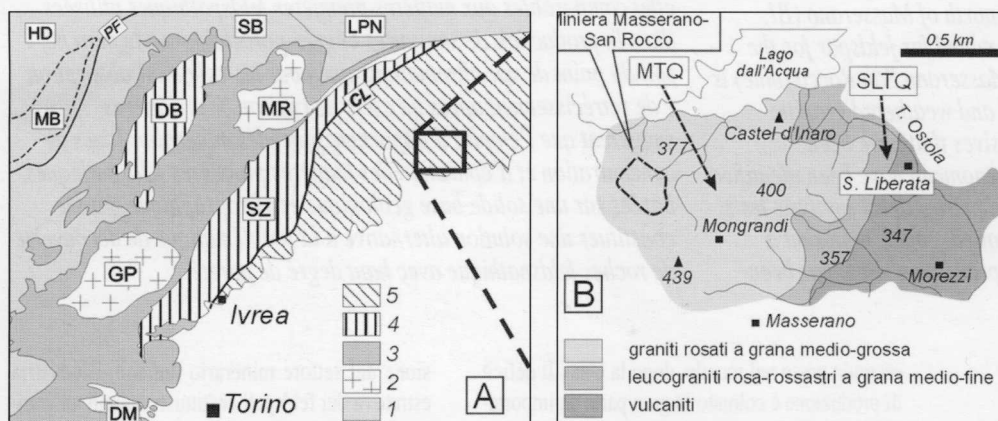


FIG. 1 - A: Schema strutturale delle Alpi Occidentali. 1: Dominio Elvetic (MB: Monte Bianco) e Unità Penniniche Esterne (SB: falda del Gran San Bernardo, LPN: Falde Penniniche inferiori). 2: Massicci Cristallini Interni (MR: Monte Rosa, GP: Gran Paradiso, DM: Dora-Maira). 3: Zona Piemontese. 4: unità Austroalpine (DB: Dent Blanche, SZ: Sesia). 5: Alpi Meridionali. CL: linea del Canavese, PF: Fronte Penninico. Il rettangolo indica l'ubicazione dell'area studiata. B: Carta geologica semplificata dell'area studiata, con evidenziate le due facies granitiche principali e

l'area di coltivazione della miniera Masserano San Rocco. MTQ e SLTQ si riferiscono alle relative sigle utilizzate nel testo.

A: Structural sketch map of the Western Alps. 1: Helvetic Domain (MB: Monte Bianco) and External Penninic Units (SB: Gran San Bernardo nappes, LPN: Lower Penninic nappes). 2: Internal Crystalline Massifs (MR: Monte Rosa, GP: Gran Paradiso, DM: Dora-Maira). 3: Piedmont Zone. 4: Austroalpine units (DB: Dent Blanche, SZ: Sesia Zone). 5: Southern Alps. CL: Canavese line, PF: Penninic Front. The rectangle shows the location of the study area.

B: Simplified geological map of the study area, highlighting the two main granitic facies and the exploitation area of the Masserano - San Rocco mine. MTQ and SLTQ refer to the representative samples (see text).

(con cui è in contatto netto) ed è rappresentata da graniti aplitici microgranulari biotitici a due miche, di colore rosa intenso, passanti localmente a porfidi granitici; tali caratteri suggeriscono che tale facies si sia intrusa in condizioni ipoabissali. Proprio in prossimità dell'area studiata, e precisamente sul torrente Ostola, a N di Santa Liberata (Fig. 1.B), gli autori citati descrivono il contatto intrusivo tra un granito aplitico rosato ricco di strutture granofiriche (granito di seconda fase) e le vulcaniti permiane.

Alla scala regionale, l'assetto strutturale è dominato dalla presenza di tre sistemi di dislocazione principali: a) dislocazioni parallele alla linea della Cremosina, con direzione WSW-ESE; b) piani di taglio perpendicolari alla linea della Cremosina, con direzione NNW-SSE; c) faglie con direzione prevalente E-W, poco a N dell'area di studio, responsabili del ribassamento del blocco meridionale (BORIANI et al., 1990).

3. LE ROCCE GRANITICHE DELL'AREA MASSERANO - SANTA LIBERATA

Nell'area studiata affiora estesamente un granito ercinico composito, che viene in contatto nella porzione orientale con vulcaniti e vulcanoclastiti permiane. Il lavoro di terreno e l'analisi petrografica hanno permesso di riconoscere due differenti facies granitiche principali, affioranti rispettivamente nei settori centro-occidentale e orientale dell'area (Fig. 1.B).

La facies prevalente affiora nel settore centro-occidentale dell'area. Essa presenta una notevole omogeneità petrografica ed è costituita da un granito rosato a grana medio grossa composto da un aggregato omeo-granulare di quarzo (36-38%), K-feldspato (30-32%) e plagioclasio (26-28%). Dei feldspati, il plagioclasio è presente in individui subidiomorfi parzialmente sericitizzati, sovente

bordati da un sottile orlo albitico limpido ed inclusi nel feldspato potassico; quest'ultimo si presenta pertitico, in individui allotriomiofi profondamente interessati da processi di argillificazione (Fig. 2.A). Tra i minerali femici, la biotite ricorre in quantità significative (fino a 5%) ed è spesso sostituita da clorite e/o bordata da mica bianca; presenta inoltre finissimi allineamenti opachi e/o titanite lungo le sfaldature. Sono presenti inoltre quantità accessorie di apatite e titanite.

L'attuale miniera di Masserano San Rocco (Fig. 1.B) è impostata su una porzione fortemente alterata di tale facies. All'interno dei graniti affiorano piccole lenti di graniti bianco-grigiastri a grana media, filoni microgranitici di spessore decimetrico e filoni quarzosi. I graniti sono inoltre localmente tagliati da filoni discontinui, di spessore fino a 2-3 metri, di rocce andesitiche ("porfiriti plagioclasico-biotitiche" tardo-alpine secondo BORTOLAMI et al., 1967).

La seconda facies intrusiva principale affiora nel settore orientale dell'area, immediatamente ad ovest di Santa Liberata, lungo una fascia compresa tra la massa granitica principale e le vulcaniti (Fig. 1.B). Contrariamente alla facies precedentemente descritta, essa si presenta fortemente eterogenea, risultando costituita da tre varietà principali: leucograniti rosa-rossastri a grana medio-fine a tendenza grafica, micrograniti a struttura grafica e tendenza porfirica e graniti rossi a grana media.

I leucograniti rosa-rossastri a grana medio-fine sono la facies più abbondante ed affiorano con continuità lungo il contatto con le vulcaniti, costituendo una massa di dimensioni cospicue nei pressi di Santa Liberata. Il carattere leucocrato di tale facies la rende particolarmente interessante per l'industria dei feldspati: essa risulta infatti costituita da quarzo (35-37%), K-feldspato (31-33%) e plagioclasio albitico (27-29%), con

percentuali estremamente basse di biotite (<1%, sovente cloritizzata o ossidata) e mica bianca (Fig. 2.B). Sono inoltre presenti come rari accessori titanite, zirconio e localmente opachi.

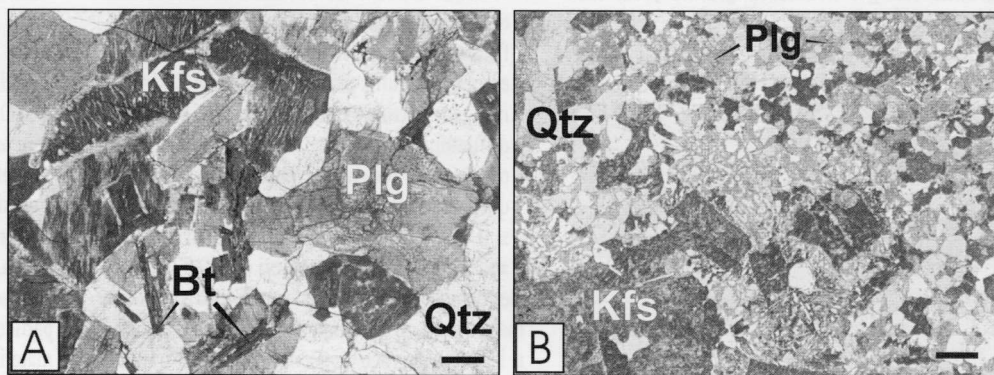
I micrograniti a struttura grafica e tendenza porfirica costituiscono un corpo di ridotte dimensioni presso il contatto con le vulcaniti lungo il torrente Ostola. Sono caratterizzati dalla abbondanza di concrescimenti grafici di quarzo e K-feldspato e presentano un contenuto in biotite variabile (2-5%). Al loro interno sono stati sporadicamente rinvenuti inclusi di rocce riolitiche.

I graniti rossi a grana media costituiscono dei corpi lentiformi immediatamente a sud della diga di Dall'Acqua. Essi mostrano talora tendenza pegmatoide ed hanno una composizione mineralogica simile ai micrograniti sopra descritti, da cui si distinguono essenzialmente per la grana e l'intensa colorazione rossastra, legata principalmente all'alterazione del feldspato potassico; il contenuto in biotite è compreso tra 1 e 2%. Al loro interno affiorano localmente filoni magmatici a composizione da intermedia a basica ("filoni diabasici" di età tardo-ercinica secondo ZEZZA, 1969).

I rapporti tra le varie facies intrusive e tra queste ultime e le vulcaniti sono raramente visibili, a causa dell'abbondante coltre eluviale. Ove esposti, i contatti tra le due facies intrusive principali sono netti; la presenza nei graniti rosati a grana medio grossa di filoni microgranitici simili per struttura e composizione a facies affioranti nella porzione orientale dell'area suggerisce che i leucograniti e facies associate siano posteriori rispetto alla messa in posto dei graniti rosati; essi sono verosimilmente anche posteriori rispetto alle vulcaniti, come suggerito dalla presenza all'interno di queste ultime di filoni microgranitici nella zona di Santa Liberata. All'interno di tutte le facies intrusive sono presenti filoni di quarzo idrotermale di spessore da centimetrico a metri-

FIG. 2 - Microfotografie a solo polarizzatore del granito rosato a grana medio grossa (A) e del leucogranito rosa-rossastro a grana medio-fine a tendenza grafica. In entrambe le immagini il plagioclasio (parzialmente sericitizzato, Plg) ed il feldspato potassico (fortemente argillificato, Kfs) sono, rispettivamente, di colore grigio chiaro e grigio scuro, mentre il quarzo è bianco. Nel granito rosato (A) sono inoltre visibili lamelle di biotite (Bt) e si osserva la presenza di un sottile orlo albitico, di colore chiaro, intorno ad alcuni cristalli di plagioclasio. Nel leucogranito (B) il feldspato potassico è presente sia in individui a grana fine, sia (a sinistra in basso) in cristalli a grana decisamente più grossa. Sono inoltre visibili (al centro ed a sinistra) fini microimplicazioni ("strutture grafiche") costituite principalmente da quarzo e plagioclasio albitico. Si noti che i femici sono praticamente assenti. La barra di riferimento corrisponde in entrambi i casi a 0.5 mm.

Microphotographs (plane polarized light) of (A) the medium-coarse grained pink granite and (B) the medium-fine grained pink-reddish leucogranite with graphic intergrowths. In both images the plagioclase (partially sericitized, Plg) and K-feldspar (strongly argillitized, Kfs) are, respectively, light grey and dark grey in colour, while the quartz is white. Biotite flakes (Bt) can be observed in the pink granite, as well as the presence of a thin albitic rim, which is lighter in colour, around some of the plagioclase crystals. K-feldspar is present in the leucogranite, as both fine grained and coarse grained (lower left) crystals. In the same rock (A), fine grained intergrowths that mostly consist of quartz and albitic plagioclase ("graphic structures") also occur (centre and left of the picture). Mafic minerals are practically absent. The scale bar corresponds to 0.5 mm.



co, particolarmente abbondanti nell'area dell'attuale miniera.

L'area è interessata da tre sistemi principali di fratturazione. Di essi, due presentano giacitura media, rispettivamente, grosso modo perpendicolare (240/65-75: sistema prevalente) e parallela (320/82) alla linea della Cremosina; un terzo sistema è costituito da giunti subverticali con direzione E-W. A tali sistemi non sono legate importanti dislocazioni; locali evidenze di movimento sono state rinvenute in corrispondenza del primo sistema.

In base ai dati sopra esposti, le facies granitiche di maggiore rilevanza ai fini del presente lavoro sono rappresentate dai graniti rosati a grana medio grossa e dai leucograniti rosa-rossastri a grana medio-fine: essi costituiscono infatti masse di notevoli dimensioni, con una notevole omogeneità di caratteri. Come sopra specificato, dei graniti rosati a grana medio grossa sono attualmente coltivate le porzioni interessate da intensi fenomeni di alterazione; i secondi non sono invece attualmente oggetto di coltivazione, ma presentano un elevato interesse anche per il carattere leucocrato. In Tab. 1 sono riportate analisi rappresentative delle due facies e, per confronto con un prodotto commercializzato, l'analisi del granito rosa di Baveno, da cui si ricava, previo trattamento mineralurgico, il feldspato F60P (DANASINO & DI PRIMO, 1993). Il confronto

Tab. 1 - *Analisi chimiche rappresentative dei leucograniti rosa-rossastri a grana medio-fine dell'area di Santa Liberata (SLTQ), dei graniti rosati a grana medio grossa (MTQ), dei graniti alterati della miniera di Masserano San Rocco (CPL: ALLOERO & VENTURI, 1991) e del granito rosa di Baveno dal quale si ricava, in seguito a trattamento mineralurgico, il feldspato F60P (DANASINO & DI PRIMO, 1993).*

Representative chemical analyses of medium-fine grained pink-reddish leucogranite from the Santa Liberata area (SLTQ), medium-coarse grained pink granite (MTQ), weathered granite from the Masserano San Rocco mine (CPL: from ALLOERO & VENTURI, 1991) and pink Baveno granite, from which F60P feldspar is produced through mineral processing (DANASINO & DI PRIMO, 1993).

	SLTQ	MTQ	CPL	Baveno
SiO ₂	75,13	74,35	78,32	75,20
Al ₂ O ₃	13,63	14,14	12,86	13,50
Fe ₂ O ₃ tot.	0,98	1,26	0,26	1,35
TiO ₂	0,05	0,07	0,45	0,08
CaO	0,09	0,24	0,08	0,75
MnO	n.a.	n.a.	n.a.	0,04
MgO	n.a.	0,13	0,09	0,20
Na ₂ O	3,39	3,35	0,11	3,60
K ₂ O	5,20	4,71	3,82	4,60
P ₂ O ₅	0,00	0,00	n.a.	0,08
p.c.	0,83	1,32	2,85	0,05
C	0,04	-	-	0,03
S	<0,01	-	-	<0,01

mette in evidenza la presenza di forti analogie composizionali tra le diverse facies. Il leucogranito affiorante nell'area di Santa Liberata (SLTQ) si caratterizza, come prevedibile, per un contenuto significativamente più basso in Fe₂O₃ tot., nonché per un maggior tenore in K₂O. La perdita alla calcinazione (p.c.) relativamente elevata dei campioni studiati è verosimilmente attribuibile ad un maggior grado di alterazione.

3.1. *L'alterazione delle rocce granitiche*

Come evidenziato in precedenza, nella miniera di Masserano San Rocco, ubicata nel settore occidentale dell'area, vengono attualmente coltivate porzioni di granito rosato a grana medio grossa interessate da estesi fenomeni di alterazione. L'alterazione si estende dalla superficie fino ad una profondità variabile, che può arrivare a qualche decina di metri; il passaggio alla roccia non alterata è in genere relativamente netto. Sui fronti di coltivazione la roccia alterata è interessata dalla intersezione di più sistemi di fratture, che presentano al loro interno materiali di riempimento di varia natura. Si distinguono, in particolare:

- vene di quarzo idrotermale, con spessore variabile da centimetrico a (eccezionalmente) metrico; presenti in tutto il settore studiato, esse sono particolarmente abbondanti nella miniera. Le vene sono disposte lungo un sistema di fratture ben definito, con orientazione media 190/80; al bordo delle vene sono sovente osservabili patine di ossidi di Mn, sottili fasce argillose e/o concentrazioni di idrossidi di Fe (limonite e goethite);
- fratture contenenti materiale argilloso, di colore da bianco a verdino; analisi diffrattometriche indicano che si tratta di una miscela costituita principalmente da caolinite, illite, gismondina e quarzo, in proporzioni variabili. Tali fratture presentano giacitura estremamente variabile, con concentrazioni delle giaciture intorno a valori di 130/50 e 305/75; talora hanno la stessa orientazione delle vene di quarzo;
- fratture contenenti materiale nero, risultato essere costituito principalmente da ossido di manganese (ramsdellite) ed ematite all'analisi diffrattometrica. Anche tali fratture presentano orientazione fortemente variabile: da analoga a quella delle fratture contenenti minerali argillosi o vene di quarzo, a decisamente diversa (con addensamenti intorno a valori di 230/57).

Nel complesso, a parte le vene di quarzo idrotermale, i prodotti di riempimento non sono associati in modo univoco a specifici sistemi di frattura. Lo stesso vale per l'alterazione della roccia, che appare legata ad una circolazione di fluidi che ha interessato indifferentemente tutte le discontinuità dell'ammasso roccioso.

Le fratture, con spaziatura variabile da decimetrica a metrica, isolano elementi di roccia al cui

interno si osserva macroscopicamente, dal nucleo verso la periferia, un progressivo aumento del degrado. Al nucleo sono sovente ancora ben riconoscibili sia la struttura che la colorazione rosata della roccia non alterata; verso la periferia, gli elementi rocciosi assumono una colorazione giallastra, o un color ruggine lungo fasce centimetriche - sovente concentriche - arricchite in idrossidi di ferro. L'alterazione provoca una drastica diminuzione della coesione della roccia, che è estrema nelle porzioni giallastre più alterate, dove il granito assume la consistenza di un sabbione arcocico poco cementato, ed è comunque evidente anche nelle porzioni rosate relativamente meno alterate.

Alla scala microscopica, nei nuclei granitici meno alterati è ancora ben riconoscibile la struttura magmatica originaria, mentre la paragenesi è stata profondamente modificata: oltre al quarzo, è ancora presente il feldspato potassico, di aspetto torbido e parzialmente caolinizzato. I plagioclasti sono completamente trasformati in prodotti di alterazione a grana finissima (principalmente caolinite ed illite ± idrossidi di ferro), e la biotite in feltri di mica bianca e/o clorite. Sono inoltre ancora presenti titanite, rutilo e apatite. Nelle facies più alterate si osserva una completa destabilizzazione del feldspato potassico.

Un'analisi media della roccia coltivata ha fornito la seguente composizione mineralogica: quarzo (60%), feldspato potassico alterato (20%), caolinite (15%), illite (5%) (Alloero & Venturi, 1991). L'analisi chimica corrispondente, tratta dagli stessi Autori, è riportata in Tab. 1 (CPL). Il confronto tra tale analisi e quella relativa alla composizione media dei graniti freschi indica che l'alterazione ha modificato la composizione della roccia originaria. Si osservano, in particolare:

- un calo del contenuto in alcali; è in particolare evidente la drastica diminuzione del tenore in Na₂O, da collegarsi a processi di destabilizzazione precoce del plagioclasio e successiva mobilitazione del sodio;
- una fortissima riduzione del tenore in Fe₂O₃ tot;
- moderate diminuzioni dei tenori in Al₂O₃ e CaO;
- un aumento del contenuto in SiO₂ e TiO₂, elementi relativamente "immobili" durante i processi di alterazione.

La fortissima riduzione del tenore in ferro della roccia, unitamente al cambiamento di caratteristiche meccaniche, ha naturalmente una importanza particolarmente elevata ai fini dell'utilizzo di tale materiale.

L'analisi della zona di coltivazione sembra evidenziare la presenza di un legame spaziale tra alterazione e vene di quarzo idrotermale, particolarmente abbondanti nella miniera. Al fine di evidenziare possibili correlazioni genetiche tra fenomeni idrotermali e alterazione, è stato eseguito

uno studio petrografico e delle inclusioni fluide delle vene idrotermali. L'analisi ha messo in luce i seguenti aspetti:

- 1) le vene idrotermali sono direttamente collegabili con l'idrotermalismo tardo ercinico connesso con la messa in posto delle rocce granitiche, come evidenziato dai caratteri petrografici e, più in particolare, dalla presenza all'interno del quarzo idrotermale di inclusioni fluide ipersaline;
- 2) alle vene è associata una alterazione idrotermale che induce sull'incassante un arricchimento di quarzo ed una sericitizzazione, con distruzione da parziale a totale dei feldspati. Tale alterazione è strettamente legata spazialmente alle singole vene, e non vi è evidenza di una alterazione idrotermale pervasiva dell'incassante;
- 3) in nessun caso si è evidenziata la presenza di un legame diretto tra vene idrotermali e caolinizzazione.

Queste osservazioni, unite al fatto che nella zona non sono presenti minerali tipicamente associati ai fenomeni di caolinizzazione idrotermale, escludono un legame genetico diretto tra alterazione - con conseguente caolinizzazione - e idrotermalismo. La presenza di vene quarzose potrebbe al più aver giocato un ruolo nei fenomeni di infiltrazione e conseguente alterazione da parte di acque meteoriche.

L'alterazione appare quindi da collegarsi con l'evoluzione recente della zona. Uno studio specifico dei fattori determinanti lo sviluppo dell'alterazione non rientra negli scopi di questo lavoro. Si fa comunque presente che i caratteri peculiari della facies di alterazione all'interno della miniera (in particolare, il contrasto tra il fortissimo stato di alterazione e la sovente perfetta conservazione di tutte le caratteristiche primarie della roccia) è un fenomeno relativamente frequente nel Biellese (GABERT, 1962; CARRARO & COLOMBO, 1991); secondo, in particolare, CARRARO & COLOMBO (1991), tale tipo di alterazione non sarebbe di origine pedogenetica, ma sarebbe imputabile a fenomeni di idrolisi di subalveo.

4. IL TRATTAMENTO MINERALURGICO

4.1. Premessa

La zona del biellese è da anni nota per le sue risorse nell'ambito dei minerali industriali, in particolare per la produzione di materie prime per l'industria ceramica, che in sintesi sono:

- materiali argillosi a composizione prevalentemente caolinica (componente plastificante);
- feldspati sodici e potassici (componente fondente);
- quarzo (componente smagrante).

Le industrie utilizzatrici fino a circa 20 anni fa

erano orientate essenzialmente verso l'impiego di materie prime le più pure possibili nei componenti mineralogici indicati. Attualmente invece gradiscono e accettano, anche per motivi di minor costo, materiali quarzoso-feldspatici in miscela, purchè la composizione sia costante nel tempo. Ciò è una conseguenza diretta del progressivo esaurimento dei giacimenti di feldspati puri, mentre sono molto abbondanti le rocce quarzoso-feldspatiche (quali, nel biellese, le rocce granitiche). Il ragionamento che sta alla base di questa evoluzione è semplice: il feldspato puro, e subordinatamente il quarzo, può essere ottenuto mediante processi di separazione, peraltro piuttosto onerosi, da rocce quarzoso-feldspatiche; nella formulazione dell'impasto però i due minerali (quarzo e feldspati) vanno comunque mescolati in opportune proporzioni con l'argilla caolinica; a questo punto è superflua la loro difficile separazione nella produzione delle materie prime, anche se saranno comunque sempre necessarie correzioni delle miscele con componenti puri. L'unico vincolo che rimane valido è l'assenza, o il basso tenore, in impurezze coloranti (ferro e, subordinatamente, titanio). Si impone pertanto l'adozione di un trattamento mineralurgico, in quanto questi due metalli (soprattutto il Fe) sono normalmente in tenore troppo alto nelle rocce quarzoso-feldspatiche.

Nei materiali granitici l'apporto di Fe deriva da:

- inclusioni di ossidi/idrossidi di ferro nei minerali sialici; sono essenzialmente i feldspati, più soggetti all'alterazione, che tendono a presentare inclusioni ferruginose più o meno diffuse, ben visibili anche all'esame petrografico, sia del materiale granulare che in sezione sottile, dove le plaghe feldspatiche si presentano spesso torbide; il quarzo al contrario appare normalmente limpido;
- minerali accessori contenenti ferro: sono essenzialmente biotite e, subordinatamente, altri minerali femici ed opachi.

L'analisi geologico-petrografica sopra esposta ha messo in evidenza la presenza, all'interno dell'area studiata, di due tipi di facies granitiche che per estensione areale, omogeneità composizionale e caratteri petrografici sono di particolare interesse: i graniti rosati a grana medio grossa e i leucograniti rosa-rossastri a grana medio-fine. Il trattamento mineralurgico, realizzato in scala di laboratorio (presso il Politecnico di Torino, Dipartimento di Georisorse e Territorio, Laboratorio di Trattamento dei Solidi), è pertanto stato effettuato su tali facies, indicate nella parte che segue con le sigle, rispettivamente, MTQ e SLTQ (vedi anche la Tab. 1), e si è basato sulla separazione magnetica a campo intenso. Tale procedimento consente infatti la separazione dei minerali feriferi, purchè a suscettività magnetica non troppo bassa; risultano quindi eliminabili la biotite, gli opachi feriferi ed i granuli di feldspa-

to molto torbidi (e quindi apporti di ferro).

Lo studio mineralurgico è stato effettuato in due fasi:

- determinazione della dimensione di macinazione ottimale per la separazione, mediante lo studio del grado di liberazione dei minerali costituenti;
- prove di trattamento magnetico.

4.2. Il grado di liberazione

Un grano si definisce "libero" quando è costituito da una sola specie minerale, "misto" quando contiene più specie minerali. Per "grado di liberazione" di un minerale si intende il rapporto tra la massa (o il volume) di un minerale presente in forma di grani liberi e la massa (o il volume) totale del medesimo minerale.

Si ricorda che i materiali da trattare derivano da operazioni di comminazione, che forniscono prodotti che hanno grani compresi tra una dimensione massima e lo zero. Nell'ambito di un così ampio assortimento granulometrico, i grani misti (se presenti) si trovano normalmente nelle frazioni con dimensioni più vicine alla massima. Inoltre, per semplificare il discorso, si utilizza normalmente la dicitura "dimensione di macinazione", intendendo indicare la dimensione massima dell'assortimento granulometrico di un materiale macinato.

La distribuzione granulometrica più adatta ad un'operazione di separazione corrisponde a quella per cui si ha il minor numero di "misti", cioè di grani contenenti insieme ambedue le fasi solide che si vogliono separare. Ai fini di un trattamento la liberazione non va considerata in assoluto, ma in riferimento all'operazione che si vuole realizzare. Nel caso in esame si vogliono separare la fase ferifera e quella quarzoso-feldspatica.

Come è ovvio, la liberazione dei costituenti è tanto maggiore quanto più è fine la dimensione dei grani (macinando opportunamente i grani misti si ottengono grani liberi). Va però tenuto presente che, al contrario, tutte le operazioni di separazione (e quindi anche quelle per via magnetica) sono tanto più difficili quanto più è fine la dimensione del materiale da trattare.

Lo studio del grado di liberazione consiste pertanto nel bilanciare le due esigenze contrapposte sopra dette, determinando la dimensione di macinazione più grande per cui si ha la scomparsa (o la riduzione a valori minimi accettabili) dei grani "misti". Macinare di più, portando il materiale a dimensioni minori della dimensione di macinazione così determinata, non dà apprezzabili vantaggi nella riduzione del numero di grani misti, ma incrementa la quantità relativa di fini difficilmente trattabili, in quanto si ha lo spostamento di tutto l'assortimento granulometrico verso le dimensioni fini.

Per i materiali oggetto del presente studio le prin-

cipali fasi mineralogiche apportatrici di ferro sono, come sopra detto, la biotite (gli altri minerali ferromagnesiaci sono del tutto subordinati) e le inclusioni ferruginose nei feldspati. Poichè la liberazione di queste ultime non può che avvenire a dimensioni dei grani estremamente fini, trattandosi di inclusioni di dimensioni massime intorno a qualche micrometro, lo studio della liberazione ha fatto riferimento alla biotite, che rappresenta peraltro il principale apportatore di ferro. Si accetta pertanto in partenza una certa perdita del componente feldspatico, in quanto la separazione magnetica eliminerà negli scarti magnetici anche i grani feldspatici ancora "misti", quando contengono inclusi di ossidi di ferro. D'altronde la liberazione anche degli inclusi ferruginosi richiederebbe dimensioni di macinazione così fini da rendere molto difficile l'arricchimento. Si fa rilevare che i misti feldspato-quarzo, purchè la componente feldspatica sia limpida, non vengono invece perduti in quanto trattati di grani amagnetici.

Lo studio della liberazione della biotite è stato realizzato per via ottico-microscopica sul materiale granulare ottenuto da diverse operazioni di macinazione e suddiviso in classi granulometriche. Per la comminazione dei campioni sono stati utilizzati in sequenza un frantoio, per ridurre la roccia ad una granella di circa 3 mm, e un mulino a dischi per arrivare a granulometrie più fini.

Il grado di liberazione pressochè totale della bio-

tite (valori maggiori del 90 %) è risultato corrispondere a dimensioni di macinazione minori per i campioni SLTQ (60 mesh = 0,25 mm) rispetto a quelli denominati MTQ (42 mesh = 0,35 mm); a questo punto sono state formate diverse classi granulometriche per eseguire le operazioni di separazione.

4.3. La separazione magnetica

La scelta del processo di arricchimento si è orientata verso la separazione magnetica a secco, con intensità di campo medio-alta. Si è impiegato un separatore magnetico a cilindro rotante indotto. Nel separatore le particelle vengono alimentate sul cilindro magnetico per mezzo di una tramoggia con apertura regolabile, in modo da poter adattare la portata alla granulometria ed alla composizione del materiale (tenore di magnetico). Nell'attraversare il campo magnetico esse sono soggette all'azione di varie forze che, prescindendo dall'attrito e dalla resistenza dell'aria, sono la forza di attrazione magnetica e la forza peso. Come in tutti separatori magnetici operanti a deflessione di traiettoria, i minerali non magnetici proseguono indisturbati nella loro traiettoria di caduta, mentre quelli mediamente e fortemente magnetici sono attratti verso il cilindro indotto, dove il campo è più intenso. Le particelle magnetiche restano aderenti al cilindro per azione della forza risultante, finchè non escono dal campo magnetico grazie alla sua rotazione.

Si possono così raccogliere i due prodotti: scarto magnetico e concentrato amagnetico.

Per effettuare le prove di arricchimento, ogni materiale è stato ridotto fino a 3 dimensioni massime di macinazione diverse, e precisamente:

- per il materiale di S. Liberata: 16, 32 e 60 mesh;
 - per il materiale di Masserano: 12, 24 e 42 mesh.
- Le diverse macinazioni hanno consentito di sperimentare l'efficacia della separazione magnetica sia con grado di liberazione della biotite pressochè totale (per i campioni a granulometria più fine) sia con grado di liberazione via via minore (per i campioni macinati a dimensioni più grossolane).

La separazione magnetica è stata realizzata suddividendo inoltre ognuno dei campioni indicati in classi granulometriche, in modo da ottimizzare le condizioni operative della macchina alle dimensioni del materiale; la separazione è stata inoltre realizzata con un ripasso dell'amagnetico ottenuto nella prima passata. Dal trattamento sono stati esclusi i finissimi (< 0,074 mm = 200 mesh).

Per la valutazione delle rese finali del trattamento va considerato che, oltre allo scarto magnetico, va aggiunto come prodotto di scarto la frazione a granulometria più fine (< 200 mesh) che non è stata trattata. I risultati sono riportati in Tab. 2.

4.4. Analisi dei risultati

I prodotti amagnetici finali ottenuti sono stati analizzati sotto un duplice punto di vista:

- valutazione dell'efficacia del processo di deferrizzazione, sia mediante il calcolo delle rese effettive di prodotto utile amagnetico, sia con l'osservazione microscopica di tutti i prodotti, magnetici ed amagnetici, ottenuti;
- valutazione e caratterizzazione dei prodotti amagnetici ottenuti mediante analisi chimica (mediante ED-XRF: Tab. 4), test ceramici (eseguiti presso il laboratorio della società RM Ricerche Minerarie s.r.l.), anche tramite il confronto con le materie prime feldspatiche utilizzate nella produzione di grès porcellanato e sanitari (Fig. 3).

Si è potuto osservare come i prodotti ricavati

TAB. 2 - Risultati delle prove di separazione magnetica sui campioni di graniti rosati a grana medio grossa (MTQ) e di leucograniti rosa-rossastri a grana medio-fine (SLTQ).
Results of magnetic separation tests on samples of medium-coarse grained pink granite (MTQ) and medium-fine grained pink-reddish leucogranite (SLTQ).

Prodotti di prova	SLTQ 60-200	SLTQ 32-200	SLTQ 16-200	MTQ 42-200	MTQ 24-200	MTQ 12-200
Fini < 200 mesh (%)	22,29	12,29	10,06	19,28	11,50	7,72
1° Prodotto Magnetico (%)	15,38	10,08	5,37	20,84	9,11	6,52
2° Prodotto Magnetico (%)	5,06	2,14	1,6%	1,87	2,02	1,65
Prodotto Amagnetico Finale (%)	57,27	75,49	82,97	58,01	77,37	84,11

TAB. 3 - Valori di assorbimento d'acqua e ritiro percentuale dopo un ciclo di cottura in muffola da laboratorio così strutturato: da 20° a 700 °C in 180 minuti; da 700° a 1220 °C in 120 minuti; stasi di 15 minuti a 1230 °C.

Water absorption values and percentage of shrinkage after firing in a laboratory muffle kiln adopting the following heating cycle: from 20° to 700°C in 180 minutes; from 700° to 1220 °C in 120 minutes; 15 minutes at 1230 °C.

Nome prodotto	Assorbimento d'acqua %	Ritiro %
Feldspato Sodico Turco Standard	0,03	8,47
Feldspato Sodico Turco Flottato	0,01	10,22
Feldspato Na-K Indiano	0,061	10,69
SLTQ 60-200 mesh	0,01	10,47
MTQ 42-200 mesh	0,15	9,31
Feldspato Sodico Italiano	0,02	10,64
Fondente Italiano	0,30	10,24

Tab. 4 - Analisi chimiche dei campioni SLTQ e MTQ dopo il trattamento mineralurgico.

Chemical analyses of SLTQ and MTQ samples after mineral processing.

	SLTQ 60 - 200 mesh	SLTQ 32 - 200 mesh	SLTQ 16 - 200 mesh	MTQ 42 - 200 mesh	MTQ 24 - 200 mesh	MTQ 12 - 200 mesh
SiO ₂	76,26	76,2	76,08	76,1	76,1	75,89
Al ₂ O ₃	12,7	12,7	12,81	12,7	12,6	12,74
Fe ₂ O ₃	0,33	0,37	0,47	0,30	0,36	0,45
TiO ₂	0,05	0,05	0,04	0,05	0,05	0,05
CaO	0,15	0,08	0,09	0,11	0,11	0,09
MgO	0,16	0,10	0,13	0,20	0,26	0,23
Na ₂ O	3,68	3,39	3,86	3,82	3,77	4,09
K ₂ O	4,75	4,88	4,82	5,02	4,85	4,94
P. F.	0,58	0,42	0,58	0,42	0,50	0,49

dalle operazioni di trattamento dei campioni a macinazione più fine (SLTQ 60-200 mesh e MTQ 42-200 mesh) presentano ottime caratteristiche per l'impiego nel settore ceramico del grès porcellanato. Tali prodotti infatti sono risultati confrontabili con le materie prime feldspatiche utilizzate nella produzione di sanitari e grès porcellanato presenti sul mercato, sia sotto un punto di vista cromatico (a seguito di un test di cottura in forno a muffola di laboratorio a 1230°C) che come valori di assorbimento d'acqua e ritiro percentuale dopo un ciclo di cottura (Tab. 3).

All'opposto, i campioni relativamente più scadenti, sempre con riferimento all'impiego ceramico (SLTQ 16-200 mesh e MTQ 12-200 mesh), rivelano delle rese finali ottime (circa l'80%) con costi di macinazione sicuramente minori.

I campioni con granulometria intermedia (SLTQ 32-200 mesh e MTQ 24-200 mesh) mostrano

rese molto buone (oltre il 75%) e una colorazione dei provini, dopo la cottura in forno a muffola di laboratorio, che risultano intermedie tra i due campioni precedenti.

E' ipotizzabile quindi per i campioni che risultano più chiari un loro eventuale impiego come fondenti per impasti ceramici atti alla produzione di sanitari e grès porcellanato; quelli che hanno dato risultati meno interessanti da un punto di vista cromatico, sono comunque commercializzabili come fondenti nel campo della produzione di piastrelle in monocottura.

Un altro dato importante è l'ottima risposta alla deferrizzazione dei campioni di graniti rosati a grana medio grossa (MTQ: Tab. 4), che danno risultati ottimi da un punto di vista ceramico; hanno infatti caratteristiche applicative confrontabili con quelli provenienti dalla zona di Santa Liberata (SLTQ), ma ottenibili con macinazioni

relativamente più grossolane e quindi meno costose dal punto di vista di un eventuale sfruttamento a livello industriale.

5. CONCLUSIONI

Le rocce granitiche affioranti nella zona a nord di Masserano (BI) sono attualmente coltivate in corrispondenza di porzioni caratterizzate da una particolare alterazione, verosimilmente legata a fenomeni relativamente recenti quali processi di idrolisi di subalveo, che ne rende particolarmente vantaggiosa la coltivazione.

Il presente studio ha permesso la identificazione e caratterizzazione di vari tipi di facies granitiche esenti da fenomeni di alterazione, che presentano caratteri tali da far ipotizzare un loro possibile interesse minerario, e quindi uno sviluppo dell'attività estrattiva su aree attualmente non oggetto di coltivazione.

Condizione necessaria è però il trattamento mineralurgico di tali rocce, qui eseguito a scala di laboratorio mediante separazione magnetica a campo intenso, al fine di effettuare la separazione dei minerali feriferi. I risultati, valutati anche mediante test ceramici, sono incoraggianti, in particolare se confrontati con le caratteristiche di feldspati attualmente presenti sul mercato dei componenti fondenti per impasti ceramici.

Tali dati suggeriscono che l'impiego di opportuni processi mineralurgici di concentrazione e depurazione delle materie prime feldspatiche, fondato su una solida base geologico-petrografica, possa costituire una soluzione alternativa alla problematica del reperimento di feldspati con alto grado di purezza.

RINGRAZIAMENTI

Gli Autori desiderano ringraziare la Società RM Ricerche Minerarie s.r.l. per l'accesso ad attrezzature analitiche e l'appoggio logistico, e il Per. Min. G. Zasso per l'assistenza durante le prove mineralurgiche.

Confronto con materie prime feldspatiche utilizzate nella produzione di grès porcellanato e sanitari

Feldspato Sodico Turco Standard	Feldspato Sodico Turco Flottato	Feldspato Na-K Indiano
SLTQ 60 - 200 mesh		MTQ 42- 200 mesh
Feldspato Sodico Italiano	Fondente Italiano	

FIG. 3 - Test di cottura in muffola da laboratorio a 1230 °C, con una stasi di 15 minuti alla massima temperatura. I campioni testati sono SLTQ 60-200 mesh e MTQ 42-200 mesh, confrontati con le materie prime feldspatiche utilizzate nella produzione di sanitari e grès porcellanato. Firing test in a laboratory muffle kiln at 1230°C, keeping the temperature at the maximum value for 15 minutes. The test samples are SLTQ 60-200 mesh and MTQ 42-200 mesh. These are compared with the results of tests performed (under the same conditions) on samples of raw feldspar materials used for the production of sanitaryware and porcelain tiles.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- ALLOERO F., VENTURINI V. (1991): "Giacimenti di materie prime ceramiche dell'area di Lozzolo (VC)", *Ceramicata*, 3, 45-54.
- BENEDUSI S., DI PRIMO S., DONDI M. (1999): "Panorama dei principali giacimenti di materie prime per piastrelle ceramiche in Europa", In: *Materie Prime Ceramiche, Società Ceramica Italiana*, 39-49.
- BERTOLANI M., FABBRI B., FIORI C., LOSCHI GHITTONI A.G. (1986): Influenza della evoluzione impiantistica sull'uso delle materie prime per la fabbricazione di piastrelle, *Ceramica Informazione*, 243, 333-336.
- BERTOLANI M. (1959): "La formazione basica "Ivrea-Verbanò" e la sua posizione nel quadro geologico-petrografico della bassa Valsesia e del Biellese", *Per. Min.*, 29, 151-209.
- BORIANA A., BURLINI L., SACCHI R. (1990): "The Cossato-Mergozzo-Brissago line and the Pogallo line (Southern Alps, Northern Italy) and their relationships with the late hercynian magmatic and metamorphic events", *Tectonophysics*, 182, 91-102.
- BORIANA A., BURLINI L., CAIRONI V., GIOBBI ORIGONI E., SASSI A., SESANA E. (1988): "Geological and petrological studies on the ercynian plutonism of Serie dei Laghi". *Rend. Soc. It. Petr. Min.*, 43, 367-384.
- BORTOLAMI G. (1965): "Rapporti cronologico-genetici tra graniti e vulcaniti permiane nel Biellese", *Atti Soc. It. Sc. Nat.*, 104, 155-172.
- BORTOLAMI G., CARRARO F., SACCHI R. (1967): *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, Foglio 43, Biella*, II ed., Servizio Geologico d'Italia, Roma.
- BURGER J. (1990): "Feldspar & nepheline syenite. At the mercy of glass markets", *Industrial Minerals*, 8, 21-33.
- CARRARO F. COLOMBO P. (1991): "Origini per idrolisi di subalveo dell'alterazione di rocce nel Biellese e sue implicazioni geotecniche", *Geologia Tecnica e ambientale*, 5, 5-7.
- DANASINO P., DI PRIMIO S. (1993): "Un feldspato sodico-potassico italiano per gres porcellanato e smalti", *Atti CERP, Rimini*, 1-12.
- DONDI M. (1992): "I giacimenti italiani di materie prime feldspatiche", *L'industria Mineraria*, 1, 18-26.
- DONDI M. (1995): "Il mercato dei feldspati in Italia: situazione e prospettive", *GEAM, Geoingegneria Ambientale e Mineraria*, 32, 239-246.
- FABBRI B., DONDI M. (1994): "Developments and tendencies in the italian Heavy-clay industry", *Tile & Brick Intern.*, 10, 159-166.
- FRIZ C. (1966): "Il significato della serie geologica a NW di Gattinara per il problema cronologico granito-porfidi", *Mem. Ist. Geol. Univ. Padova*, 66, 171-193.
- FRIZ C., GOVI M. (1963): "Osservazioni geologiche preliminari sulla zona a NW di Gattinara (Vercelli)", *Rend. Acc. Naz. Lincei*, 34, 199-203.
- GABERT P. (1962): *Les plaines occidentales du Po et leurs Piedmonts (Piemont, Lombardie occidentale et centrale). Etude morphologique*. Louis Jean, Gap, 531 pp.
- GOVI M. (1975): *Carta geologica del distretto vulcanico ad oriente della bassa Val Sesia, 1:25.000*. Centro Studi Problemi Orogeno Alpi Occidentali (CNR Torino), LAC, Firenze.
- HARBEN P.W., BATES R.L. (1990): "Feldspar. In: Industrial minerals, geology and world deposit. Industrial Minerals Division", *Metal Bull. Plc.*, 106-109.
- POTTER M.J., ROGERS W.Z. (1994): "Annual Minerals Review: Feldspar", *Am. Ceram. Soc. Bull.*, 73, 96-97.
- ZEZZA U. (1969): "Filoni diabasici e lamprofirici nel granito del Biellese", *Atti Soc. It. Sc.nat. Museo Civ. Stor. Nat. Milano*, 109, 511-538.
- ZEZZA U. (1977): "Studio petrografico del massiccio granitico del Biellese" *Atti Soc. It. Sc.Nat. Museo Civ. Stor. Nat. Milano*, 118, 65-102.