**Zeitschrift:** Memorie / Società ticinese di scienze naturali, Museo cantonale di storia naturale

**Herausgeber:** Società ticinese di scienze naturali ; Museo cantonale di storia naturale

**Band:** 9 (2007)

**Artikel:** I minerali pesanti nelle sabbie della Breggia

**Autor:** Vignola, Pietro / Andò, Sergio / Vezzoli, Giovanni

**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-981625

**Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

**Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

**Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

**Download PDF:** 01.07.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch**

# I MINERALI PESANTI NELLE SABBIE DELLA BREGGIA

*di Pietro Vignola, Sergio Andò, Giovanni Vezzoli e Paolo Oppizzi*

## Introduzione

Nelle zone a elevato rilievo, in contesti montani come quello del Parco, dove l'alterazione chimica è trascurabile e il trasporto dei sedimenti molto rapido e breve, le associazioni di minerali possono essere ritenute la fedele testimonianza della composizione della roccia sorgente, mentre il sedimento naturalmente prodotto dall'erosione e dal trasporto fluviale, può essere considerato l'equivalente petrografico delle rocce esposte nel bacino di drenaggio (Garzanti *et al.* 2007).
Utilizzando le tecniche classiche della petrografia dei sedimenti, l'analisi dei minerali pesanti delle sabbie e analisi chimiche quantitative eseguite su frazioni rappresentative dei campioni di minerali, è stato possibile riconoscere la provenienza del detrito e l'influenza dei depositi morenici sulle associazioni mineralogiche osservate e sui frammenti di roccia rinvenuti nel greto del fiume Breggia.
I minerali riconosciuti in un campione di sabbia (63-250 µm), sono stati confrontati con una banca dati (Garzanti *et al.* 2006) di analisi condotte su campioni provenienti dalle diverse unità strutturali delle Alpi, per meglio definire la sorgente del detrito.
A questo scopo ci si è avvalsi dei dati di letteratura su analoghe tematiche di ricerca come chiave di lettura del territorio e della situazione geologica del Parco delle Gole della Breggia, con il preciso intento di identificare la segnatura mineralogica del detrito eroso dalle rocce cristalline e sedimentarie delle Alpi.
Il presente studio costituisce un esempio di analisi attualistica di provenienza, qui finalizzata a ricostruire la natura e l'origine dei sedimenti trasportati attualmente dal fiume Breggia.

## La serie della Breggia nel contesto delle Alpi meridionali

Le sequenze rocciose affioranti nel Parco delle Gole della Breggia derivano dall'evoluzione stratigrafica-paleoambientale del «Bacino Lombardo», nell'intervallo Giurassico Superiore - Cretaceo. Il Bacino Lombardo costituisce un'unità geologica a scala regionale, instauratasi dal Triassico superiore lungo un sistema di faglie listriche nel settore occidentale delle Alpi Meridionali, in seguito a rifting precedente ed coevo all'apertura della Tetide (Winterer e Bosellini 1981, Bally *et al.* 1981, Bertotti 1990). Durante le fasi di rifting il margine passivo comprendente le Alpi Meridionali, sottoposto a subsidenza, si differenzia in bacini, alti sottomarini, *plateaux* e piattaforme carbonatiche. In tale contesto, si instaurano due bacini principali: il Bacino di Belluno a est e il Bacino Lombardo a ovest, separati dalla piattaforma di Trento, sommersa nel Giurassico e divenuta un *plateau* sottomarino. Il Bacino Lombardo si differenzia a sua volta in una serie di «alti» e «sottobacini» delimitati da faglie normali sinsedimentarie (Bernoulli 1964, Kälin e Trümpy 1977, Bernoulli *et al.* 1979). Tra questi, all'interno del Bacino del Monte Generoso, delimitato a ovest dalla «Soglia di Lugano» (Bernoulli op. cit.) si accumula quella che può probabilmente essere definita la più potente sequenza sedimentaria di rift del margine passivo meridionale della Tetide.

## Raccolta e descrizione dei campioni

Nel presente lavoro sono state eseguite analisi chimiche quantitative e analisi diffrattometriche su campioni di minerali pesanti estratti per mezzo di batea dai depositi sciolti del fiume Breggia.
Indagini chimiche e diffrattometriche sono pure state eseguite su campioni rappresentati da ciottoli di dimensione centimetrica (campioni MCSN 10682A, MCSN 10682B e MCSN 10680, MCSN 10478, MCSN 10689, MCSN 10688 e 11059).
Tutti i campioni (cfr. tab. 1) appartengono alla collezione del Museo cantonale di storia naturale di Lugano e sono stati raccolti fra il 1990 e il 1993 (collezione Christian Joye).
Allo scopo di determinare la composizione petrografica e mineralogica del detrito è stata campionata una piccola barra di sabbia del fiume Breggia in prossimità del sentiero che costeggia il cementificio (campione S2180, fig. 1).

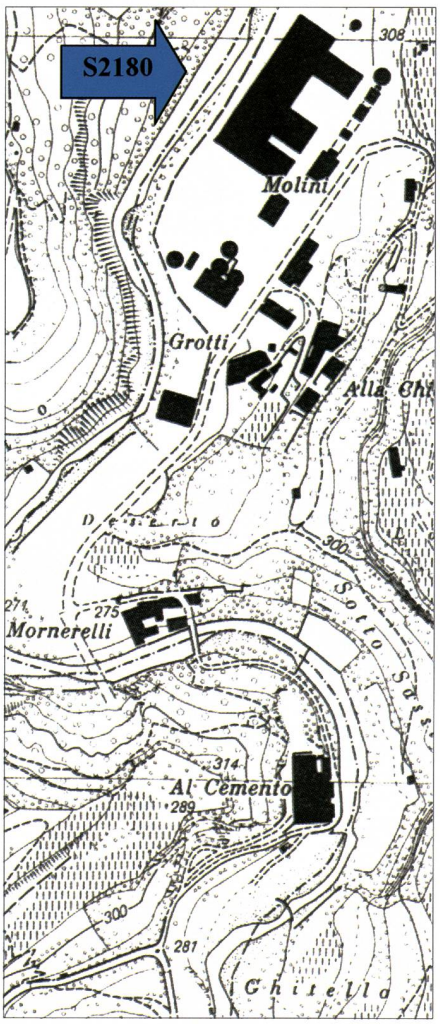



Fig. 1 – Ubicazione del prelievo del campione di sabbia (S2180), utilizzato per le analisi di paragone.

## Metodi di campionamento e tecniche analitiche

Nello studio dei minerali pesanti detritici della sabbia è stato utilizzata la frazione con granulometria 0.063-

Tab. 1 – Elenco dei campioni impiegati per le analisi (Collezione Joye, Museo cantonale di storia naturale).

(*) Analisi chimica quantitativa.
(**) Analisi chimica quantitativa e analisi qualitativa in diffrazione di polveri.

| Campione | Descrizione | Analisi | Composizione |
|---|---|---|---|
| MCSN 10689 | Cristalli arrotondati di dimensioni millimetriche di colore rosso-bruno. | (*) | granato |
| MCSN 11058A | Cristalli arrotondati di dimensioni millimetriche di colore rosso-bruno. | (*) | granato |
| MCSN 11058B | Cristalli arrotondati di dimensioni millimetriche di bruno con tonalità rosse. | (*) | granato |
| MCSN 10476 | Cristallo singolo con abito ottaedrico di colore nero e lucentezza metallica. | (*) | spinello |
| MCSN 10685A | Grani spigolosi e cristalli arrotondati di dimensioni millimetriche e colore prevalente nero. | (*) | spinello |
| MCSN 10685B | Cristalli ad abito ottaedrico o cubico e frammenti di cristallo di colore nero oppure giallo ottone con lucentezza metallica. | (*) | spinello |
| MCSN10687 | Cristalli e grani di dimensione submillimetrica, colore nero e lucentezza vitreo-metallica. | (*) | spinello |
| MCSN 11060 | Cristalli e grani di dimensione submillimetrica, colore nero e lucentezza vitreo-metallica. | (*) | spinello |
| MCSN 10686 | Cristalli e grani di dimensione submillimetrica, colore nero e lucentezza vitreo-metallica. | (*) | ilmenite |
| MCSN 11061 | Cristalli e grani di dimensione submillimetrica, colore nero e lucentezza vitreo-metallica. | (*) | ilmenite |
| MCSN 10688 | Granuli sub arrotondati di diametro inferiore al millimetro e colore bruno scuro. | (*) | rutilo |
| MCSN 11059 | Granuli sub arrotondati di diametro inferiore al millimetro e colore bruno scuro. | (*) | rutilo |
| MCSN 10682A | Ciottolo ben arrotondato con dimensione massima di 6 centimetri di colore verde grigio chiaro con cristalli di granato rosso-bruni. | (**) | eclogite |
| MCSN 10682B | Ciottolo ben arrotondato con dimensione massima di 7 centimetri di colore verde scuro con cristalli di granato rosso-bruni. | (**) | cloritoscisto a granato |
| MCSN 10680 | Ciottolo ben arrotondato con dimensione massima di 4 centimetri in cui spiccano cristalli di granato bruni in matrice grigio chiara. | (**) | talcoscisto a granato |
| MCSN 10478 | Ciottolo ben arrotondato con dimensione massima di 4 centimetri di colore nero omogeneo con porzioni ossidate ocracee. | (**) | ematite |
| MCSN 10683 (A e B) | Ciottoli ben arrotondati di circa 3 cm di diametro di colore nero brunastro. | (*) | magnetite |
| MCSN 10698 | Granuli poco arrotondati da 1 a 5 mm di diametro di colore rosso rubino, alcuni risultano lavorati. Presenza di cristalli di epidoto e clinozoisite verdi e gialli. | (*) | corindone |
| MCSN 10690 MCSN 12118 | Pagliuzze appiattite con diametro variabile, il campione MCSN 12118 contiene una lamina di oro ripiegata di circa 10 mm. | (*) | oro |

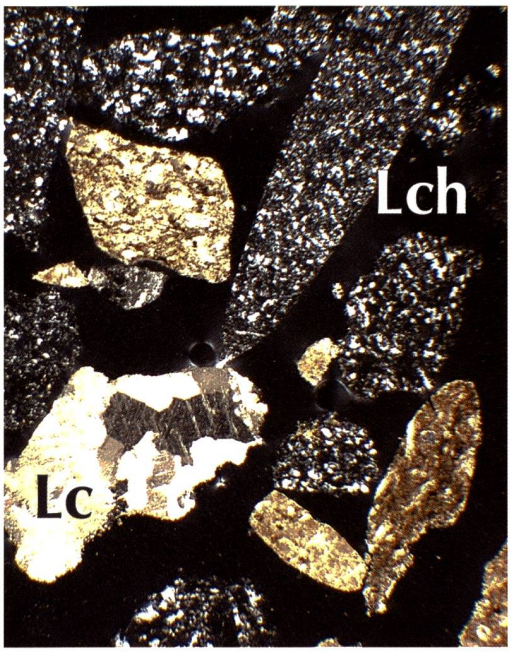
0.25 mm (molto fine a fine). Dopo opportuna preparazione del campione, l'analisi quantitativa delle specie presenti è stata effettuata al microscopio polarizzatore mediante il conteggio di 239 minerali pesanti trasparenti con il metodo denominato «Flett methods» (Mange e Maurer 1992).
L'analisi dei minerali pesanti detritici è stata eseguita mediante le procedure standard di separazione ed analisi (Parfenoff *et al.* 1970, Mange e Maurer 1992) ed effettuate presso il Laborato-rio di Sedimentologia del Dipartimento di Geologia di Milano-Bicocca.
Le immagini in elettroni retro-diffusi («back-scattered electrons-BSE») e le analisi chimiche quantitative sono state eseguite su sezioni lucide, metallizzate per mezzo di un microscopio elettronico a scansione (SEM) equipaggiato con una microsonda elettronica a dispersione di energia (EDS).
I diffrattogrammi di polveri sono stati raccolti per mezzo di un diffrattometro automatico per polveri.

## Composizione petrografica-mineralogica delle sabbie del fiume Breggia

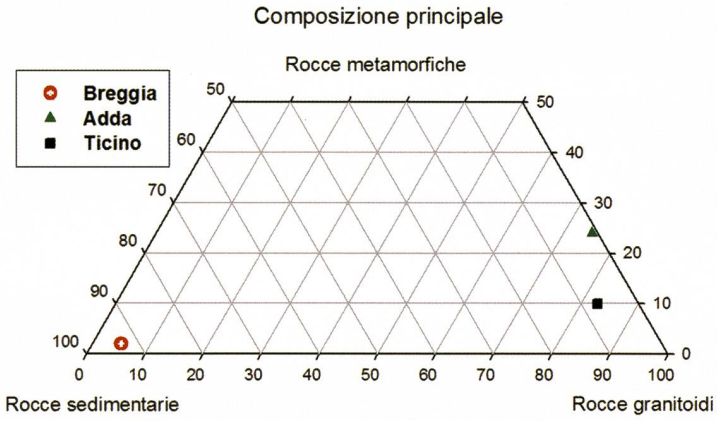
### *Parametri composizionali*

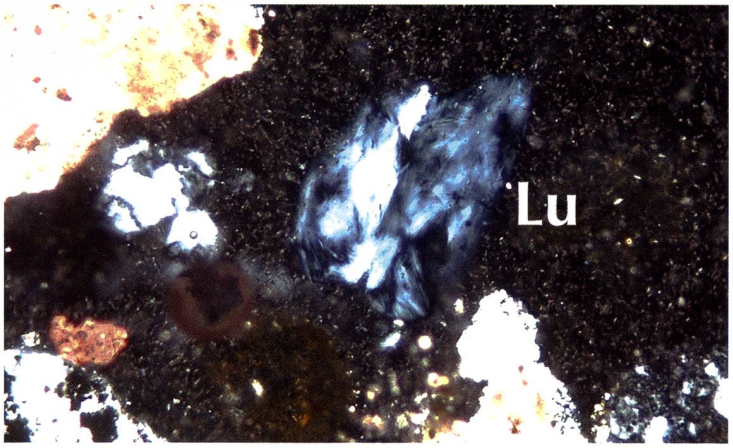
La descrizione dei frammenti roccia presenti nei sedimenti delle sabbie è basata su 9 parametri composizionali utilizzati comunemente negli studi relativi alla provenienza dei sedimenti (tav. 1), mentre per la descrizione dell'associazione di minerali trasparenti rinvenuti nella sabbia, sono stati impiegati 10 indici mineralogici. Le caratteristiche del detrito sono rappresentate in un diagramma ternario nel quale, a titolo di confronto, sono state indicate le composizioni «medie»

Tav. 1 – I frammenti di roccia del fiume Breggia




| Campione | Quarzo | Feldspati | Granitoidi | Vulcanici | Carbonatici | Terrigeni | Selce | Metamorfici | Serpentiniti | Totale |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| S2180 | 5 | 0 | 0 | 0 | 24 | 17 | 53 | 2 | 0 | 100.0 |




**Lc** Litici carbonatici
**Lch** Selce
**Lu** Serpentinite

delle sabbie dei fiumi Ticino e Adda (tav. 2). L'abbondanza dei minerali pesanti presenti nel sedimento (trasparenti; opachi; torbidi) e di quelli trasparenti è stata espressa mediante l'indice HMC («Heavy Mineral Concentration index») e tHMC («transparent Heavy Mineral Concentration index») (Garzanti e Andò 2007).

%HM =
ZTR+T&+Hb+&A+CPX+OPX+OS+
LgM+Gt+HgM
(Total transparent dense minerals)

## Analisi chimiche e diffrattometriche su campioni estratti con la batea

### *Granati*

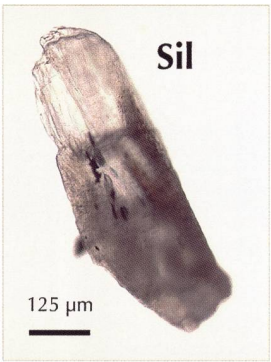
Le analisi chimiche eseguite su frazioni rappresentative dei granati dei campioni MCSN 10689, MCSN 11058A e MCSN 11058B (tab. 2) hanno rivelato una composizione chimica riferibile alla serie almandino-spessartina con percentuali variabili ma basse di piropo. Tali composizioni (fig. 2), indicano una provenienza da rocce metamorfiche di vario tipo appartenenti al basamento cristallino delle Alpi Meridionali.

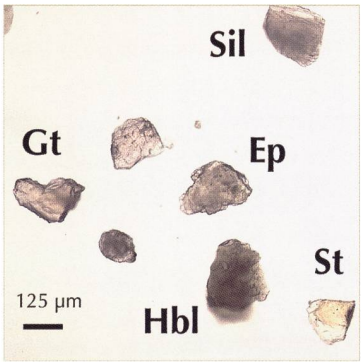
### *Spinelli*

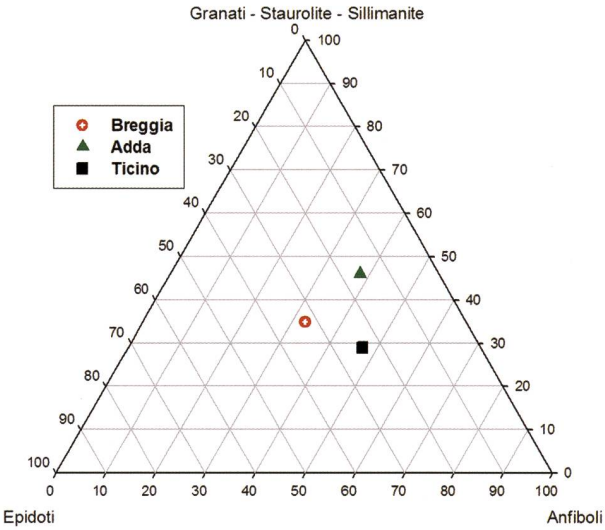
Le analisi chimiche eseguite su frazioni rappresentative degli spinelli relativi ai campioni MCSN 10476, MCSN 10685A, MCSN 10685B, MCSN10687 e MCSN 11060 (tab. 3) hanno fornito composizioni variabili da magnetite a cromite (fig. 3).
In particolare le analisi relative ai campioni MCSN 10476 e MCSN 10685B risultano omogenee tra loro e ricadenti nel campo della magnetite; il campione MCSN 10685B ha dato composizioni variabili tra magnetite pura e magnetite da poco a fortemente cromifera; i campioni MCSN10687 e MCSN

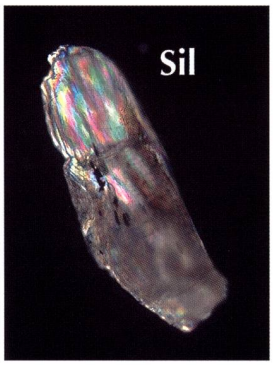
Tav. 2 – I minerali pesanti del fiume Breggia

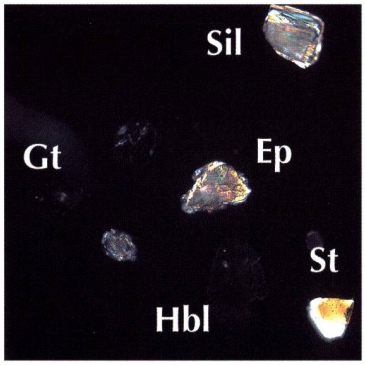
| Campione | GSZ (micron) | GSZ (phi) | HMC | % transparenti | % opachi | % torbidi | Totale | Dravite | Schorlite | Titanite | anatasio | Apatite | Barite | Altri | Ornblenda verde-blu | Ornblenda verde | Ornblenda verde-bruna | Ornblenda bruna | Ornblenda blu-nera | Attinolite | Diopside | Diallagio | Altri clinopirosseni | Epidoto | Clinozoisite | Zoisite | Altri epidoti | Pumpellite | Chloritoide | Granato | Staurolite | Andalusite | Sillimanite | Totale Transparenti |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| S2180 | 223 | 2.2 | 0.33 | 71.8 | 6.0 | 22.2 | 100.0 | 1.3 | 0.8 | 3.8 | 2.5 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 16.7 | 1.7 | 4.6 | 0.8 | 0.4 | 3.3 | 3.3 | 0.4 | 0.8 | 24.7 | 0.4 | 1.3 | 0.8 | 0.4 | 0.8 | 22.6 | 4.6 | 0.4 | 2.1 | 100.0 |

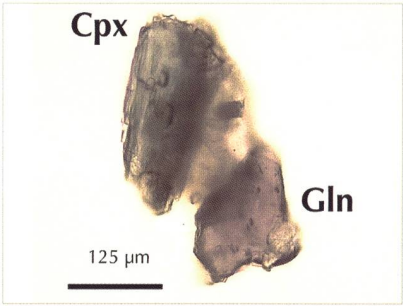


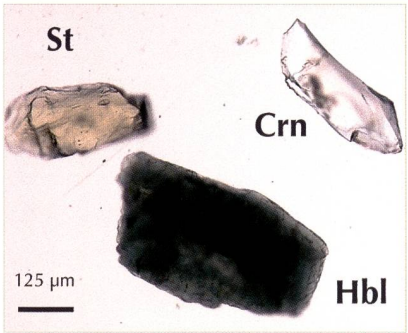



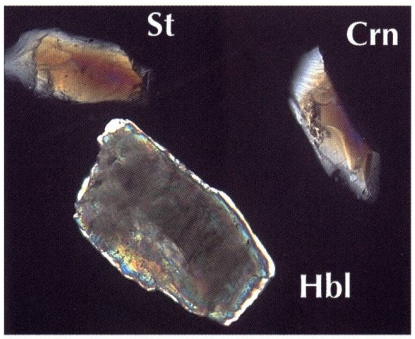



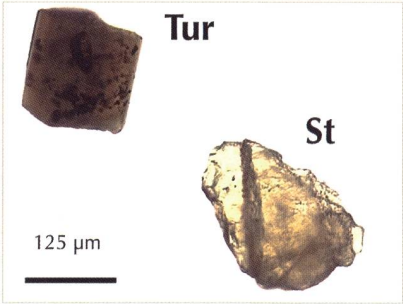



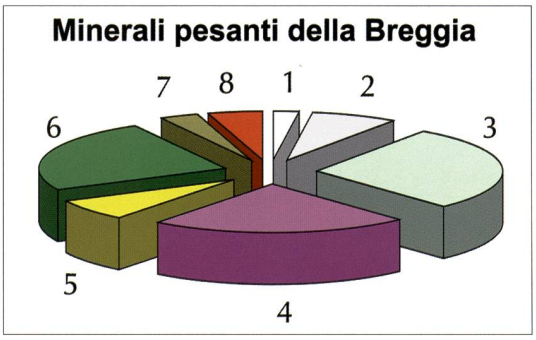




**Cpx** Clinopirosseno
**Cm** Corindone
**Ep** Epidoto
**Gln** Glaucofane
**Gt** Granato
**Hbl** Orneblenda
**St** Staurolite
**Sil** Sillimanite
**Tur** Tormalina




| | | % |
|---|---|---|
| 1 | Tormalina | 2.1 |
| 2 | Titanite - Anatasio | 7.5 |
| 3 | Epidoti-Cloritoide-Pumpellite | 28.5 |
| 4 | Granati | 22.6 |
| 5 | Staurolite-Andalusite-Sillimanite | 7.1 |
| 6 | Orneblende | 24.3 |
| 7 | Altri anfiboli | 3.3 |
| 8 | Clinopirosseni | 4.6 |

| | MCSN 10689 | MCSN 10689 | MCSN 10689 | MCSN 10689 | MCSN 10689 | MCSN 10689 | MCSN 10689 | MCSN 10689 | MCSN 10689 | MCSN 11058A | MCSN 11058A | MCSN 11058A | MCSN 11058A | MCSN 11058A | MCSN 11058A |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $SiO_2$ | 37.50 | 37.17 | 37.57 | 37.57 | 37.50 | 37.60 | 37.94 | 37.50 | 37.90 | 37.73 | 37.77 | 37.37 | 37.85 | 37.35 | 37.32 |
| $Al_2O_3$ | 21.02 | 21.01 | 21.12 | 21.49 | 21.14 | 21.39 | 21.52 | 20.98 | 21.05 | 21.35 | 21.39 | 21.33 | 21.39 | 21.45 | 21.25 |
| $Fe_2O_3$ (*) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| FeO | 33.65 | 32.95 | 34.08 | 35.96 | 32.59 | 32.41 | 33.54 | 34.92 | 33.84 | 29.15 | 34.87 | 32.83 | 33.31 | 37.38 | 33.45 |
| MnO | 1.91 | 5.46 | 2.48 | 0.91 | 4.76 | 3.30 | 0.80 | 1.22 | 2.59 | 7.06 | 0.64 | 4.15 | 2.04 | 0.42 | 3.93 |
| MgO | 1.51 | 2.15 | 2.83 | 2.62 | 2.42 | 3.27 | 2.90 | 2.19 | 1.85 | 3.03 | 2.19 | 3.19 | 2.33 | 2.68 | 2.71 |
| CaO | 4.02 | 0.87 | 1.51 | 1.05 | 1.19 | 1.63 | 2.89 | 2.80 | 2.37 | 1.48 | 2.94 | 0.93 | 2.88 | 0.51 | 1.14 |
| Totale | 99.61 | 99.61 | 99.59 | 99.60 | 99.60 | 99.60 | 99.59 | 99.61 | 99.60 | 99.80 | 99.80 | 99.80 | 99.80 | 99.79 | 99.80 |
| Normalizzate su 7 cationi e 24 cariche | | | | | | | | | | | | | | | |
| Si | 3.043 | 3.027 | 3.039 | 3.043 | 3.043 | 3.028 | 3.052 | 3.039 | 3.078 | 3.038 | 3.049 | 3.013 | 3.052 | 3.025 | 3.018 |
| Al | 2.010 | 2.016 | 2.014 | 2.051 | 2.022 | 2.030 | 2.040 | 2.004 | 2.015 | 2.026 | 2.035 | 2.027 | 2.033 | 2.047 | 2.025 |
| $Fe^{3+}$ | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| $Fe^{2+}$ | 2.284 | 2.244 | 2.306 | 2.436 | 2.212 | 2.183 | 2.256 | 2.366 | 2.299 | 1.963 | 2.354 | 2.214 | 2.247 | 2.532 | 2.262 |
| Mn | 0.131 | 0.377 | 0.170 | 0.062 | 0.327 | 0.225 | 0.055 | 0.084 | 0.178 | 0.482 | 0.044 | 0.283 | 0.139 | 0.029 | 0.269 |
| Mg | 0.183 | 0.261 | 0.341 | 0.316 | 0.293 | 0.393 | 0.348 | 0.265 | 0.224 | 0.364 | 0.264 | 0.383 | 0.280 | 0.324 | 0.327 |
| Ca | 0.350 | 0.076 | 0.131 | 0.091 | 0.104 | 0.141 | 0.249 | 0.243 | 0.206 | 0.128 | 0.254 | 0.080 | 0.249 | 0.044 | 0.099 |
| Grossularia | 0.12 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.04 | 0.05 | 0.09 | 0.08 | 0.07 | 0.04 | 0.09 | 0.03 | 0.09 | 0.02 | 0.03 |
| Almandino | 0.78 | 0.76 | 0.78 | 0.84 | 0.75 | 0.74 | 0.78 | 0.80 | 0.79 | 0.67 | 0.81 | 0.75 | 0.77 | 0.87 | 0.77 |
| Piropo | 0.06 | 0.09 | 0.12 | 0.11 | 0.10 | 0.13 | 0.12 | 0.09 | 0.08 | 0.12 | 0.09 | 0.13 | 0.10 | 0.11 | 0.11 |
| Spessartina | 0.05 | 0.13 | 0.06 | 0.02 | 0.11 | 0.08 | 0.02 | 0.03 | 0.06 | 0.16 | 0.02 | 0.10 | 0.05 | 0.01 | 0.09 |
| Andradite | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

| | MCSN 11058A | MCSN 11058A | MCSN 11058A | MCSN 11058A | MCSN 11058A | MCSN 11058B | MCSN 11058B | MCSN 11058B | MCSN 11058B | MCSN 11058B | MCSN 11058B | MCSN 11058B | MCSN 11058B | MCSN 10682B |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $SiO_2$ | 38.81 | 36.93 | 37.76 | 37.59 | 37.45 | 37.42 | 37.79 | 37.46 | 37.26 | 37.60 | 37.86 | 36.95 | 37.66 | 37.93 |
| $Al_2O_3$ | 22.22 | 21.37 | 21.33 | 21.38 | 21.53 | 21.18 | 21.32 | 20.87 | 20.48 | 21.39 | 21.34 | 20.84 | 21.33 | 21.89 |
| $Fe_2O_3$ (*) | 0.00 | 0.14 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| FeO | 29.92 | 36.10 | 33.32 | 35.73 | 35.64 | 36.14 | 29.47 | 24.57 | 35.36 | 36.79 | 32.63 | 35.21 | 33.78 | 37.10 |
| MnO | 1.27 | 1.10 | 3.02 | 1.81 | 1.16 | 1.92 | 1.59 | 9.65 | 2.70 | 0.88 | 0.78 | 1.41 | 3.97 | 1.29 |
| MgO | 5.44 | 3.18 | 3.18 | 2.34 | 2.97 | 1.48 | 0.80 | 0.89 | 1.20 | 1.38 | 4.41 | 1.65 | 1.83 | 2.47 |
| CaO | 2.14 | 1.00 | 1.19 | 0.95 | 1.05 | 2.01 | 9.40 | 6.36 | 2.25 | 2.69 | 1.90 | 2.49 | 1.87 | 0.56 |
| Totale | 99.80 | 99.82 | 99.80 | 99.80 | 99.80 | 100.15 | 100.37 | 99.80 | 99.25 | 100.73 | 98.92 | 98.55 | 100.44 | 101.24 |
| Normalizzate su 7 cationi e 24 cariche | | | | | | | | | | | | | | |
| Si | 3.059 | 2.980 | 3.041 | 3.047 | 3.021 | 3.036 | 3.018 | 3.030 | 3.059 | 3.030 | 3.042 | 3.039 | 3.039 | 3.031 |
| Al | 2.064 | 2.032 | 2.025 | 2.042 | 2.047 | 2.026 | 2.007 | 1.989 | 1.981 | 2.032 | 2.021 | 2.020 | 2.029 | 2.061 |
| $Fe^{3+}$ | 0.000 | 0.008 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| $Fe^{2+}$ | 1.972 | 2.436 | 2.244 | 2.422 | 2.405 | 2.452 | 1.968 | 1.662 | 2.428 | 2.480 | 2.193 | 2.422 | 2.280 | 2.479 |
| Mn | 0.085 | 0.075 | 0.206 | 0.124 | 0.079 | 0.132 | 0.108 | 0.661 | 0.188 | 0.060 | 0.053 | 0.098 | 0.271 | 0.087 |
| Mg | 0.639 | 0.382 | 0.382 | 0.283 | 0.357 | 0.179 | 0.095 | 0.107 | 0.147 | 0.166 | 0.528 | 0.202 | 0.220 | 0.294 |
| Ca | 0.181 | 0.086 | 0.103 | 0.083 | 0.091 | 0.175 | 0.804 | 0.551 | 0.198 | 0.232 | 0.164 | 0.219 | 0.162 | 0.048 |
| Grossularia | 0.06 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.06 | 0.27 | 0.19 | 0.07 | 0.08 | 0.06 | 0.08 | 0.06 | 0.02 |
| Almandino | 0.69 | 0.82 | 0.77 | 0.83 | 0.82 | 0.84 | 0.66 | 0.56 | 0.82 | 0.84 | 0.75 | 0.82 | 0.78 | 0.85 |
| Piropo | 0.22 | 0.13 | 0.13 | 0.10 | 0.12 | 0.06 | 0.03 | 0.04 | 0.05 | 0.06 | 0.18 | 0.07 | 0.08 | 0.10 |
| Spessartina | 0.03 | 0.03 | 0.07 | 0.04 | 0.03 | 0.05 | 0.04 | 0.22 | 0.06 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.09 | 0.03 |
| Andradite | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

Note: (*) calcolato per stechiometria

Tab. 2 – Analisi chimiche dei granati.

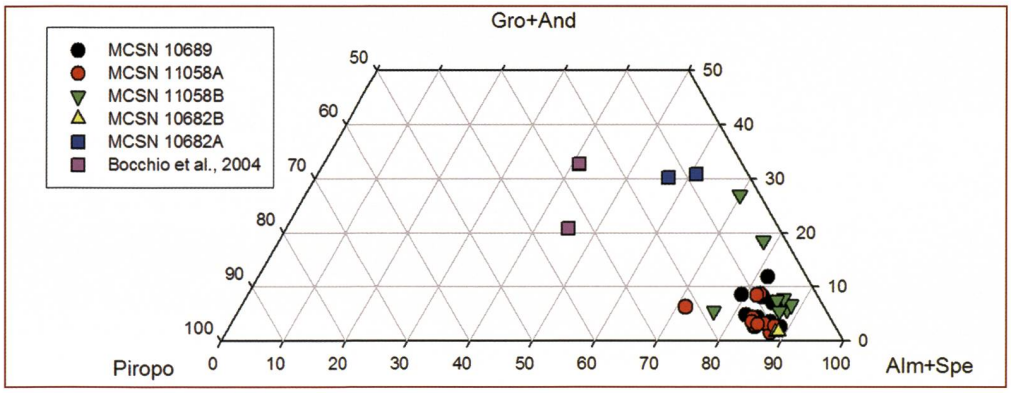



Fig. 2 – Diagramma triangolare di classificazione dei granati.

| | MCSN 10476 (*) | MCSN 10476 (*) | MCSN 10685A (*) | MCSN 10685A (*) | MCSN 10685A (*) | MCSN 10685B (*) | MCSN 10685B (**) | MCSN 10685B (**) | MCSN 10685B (**) | MCSN 10685B (**) | MCSN 10685B (**) | MCSN 10687 (***) | MCSN 10687 (***) | MCSN 10687 (***) | MCSN 10687 (***) | MCSN 11060 (***) | MCSN 11060 (***) | MCSN 11060 (***) | MCSN 11060 (***) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $SiO_2$ | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.52 | 0.20 | 0.26 | 0.19 | 0.13 | 0.20 | 0.07 | 0.00 | 0.11 | 0.08 | 0.18 |
| $TiO_2$ | 0.15 | 0.20 | 0.21 | 0.28 | 0.10 | 0.18 | 0.12 | 0.54 | 0.16 | 0.70 | 1.02 | 0.77 | 0.77 | 0.76 | 0.75 | 1.25 | 0.78 | 0.68 | 0.65 |
| $Al_2O_3$ | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.30 | 0.21 | 0.19 | 16.14 | 16.10 | 16.01 | 14.96 | 15.34 | 16.45 | 15.82 | 14.21 |
| $Cr_2O_3$ | 0.20 | 0.20 | 0.09 | 0.12 | 0.19 | 0.26 | 11.91 | 10.47 | 21.83 | 29.25 | 9.16 | 46.36 | 47.05 | 44.46 | 43.64 | 44.20 | 46.62 | 44.95 | 42.84 |
| $Fe_2O_3$ (1) | 67.14 | 66.77 | 67.27 | 66.95 | 71.79 | 71.61 | 54.86 | 56.67 | 41.38 | 39.06 | 58.02 | 5.10 | 4.10 | 5.83 | 5.57 | 6.27 | 6.08 | 5.28 | 5.26 |
| FeO | 30.57 | 30.49 | 30.45 | 30.31 | 31.65 | 31.31 | 29.78 | 27.27 | 28.70 | 23.71 | 29.24 | 20.32 | 22.02 | 18.70 | 19.31 | 23.32 | 18.71 | 18.29 | 18.21 |
| MnO | 0.00 | 0.00 | 0.23 | 0.26 | 0.68 | 1.09 | 0.37 | 1.14 | 0.68 | 2.27 | 1.12 | 0.34 | 0.27 | 0.62 | 0.46 | 0.44 | 0.32 | 0.58 | 0.23 |
| ZnO | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.63 | 1.32 | 0.37 | 0.33 | 0.39 | 0.49 | 0.60 | 0.12 | 0.70 | 0.55 | 0.20 |
| MgO | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.06 | 0.13 | 0.14 | 0.21 | 1.68 | 1.26 | 3.43 | 1.30 | 9.24 | 8.13 | 9.54 | 8.35 | 7.24 | 10.31 | 9.44 | 8.76 |
| Totale | 98.07 | 97.66 | 98.25 | 97.98 | 104.54 | 104.58 | 97.25 | 97.77 | 97.46 | 100.15 | 100.68 | 98.79 | 98.96 | 96.61 | 93.71 | 98.18 | 100.09 | 95.67 | 90.54 |
| Normalizzati sulla base di 3 cationi e 8 cariche | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Si | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.058 | 0.007 | 0.010 | 0.006 | 0.004 | 0.007 | 0.002 | 0.000 | 0.004 | 0.003 | 0.006 |
| Ti | 0.004 | 0.006 | 0.006 | 0.008 | 0.003 | 0.005 | 0.004 | 0.016 | 0.005 | 0.019 | 0.029 | 0.019 | 0.019 | 0.019 | 0.020 | 0.032 | 0.019 | 0.017 | 0.018 |
| Al | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.014 | 0.009 | 0.008 | 0.623 | 0.625 | 0.630 | 0.612 | 0.606 | 0.623 | 0.628 | 0.599 |
| Cr | 0.006 | 0.006 | 0.003 | 0.004 | 0.006 | 0.008 | 0.370 | 0.320 | 0.663 | 0.853 | 0.272 | 1.201 | 1.226 | 1.173 | 1.198 | 1.172 | 1.185 | 1.198 | 1.212 |
| $Fe^{3+}$ | 1.985 | 1.982 | 1.985 | 1.980 | 1.989 | 1.983 | 1.623 | 1.649 | 1.197 | 1.084 | 1.642 | 0.126 | 0.102 | 0.146 | 0.145 | 0.158 | 0.147 | 0.134 | 0.142 |
| $Fe^{2+}$ | 1.004 | 1.006 | 0.999 | 0.996 | 0.974 | 0.963 | 0.979 | 0.882 | 0.923 | 0.731 | 0.920 | 0.557 | 0.607 | 0.522 | 0.561 | 0.654 | 0.503 | 0.516 | 0.545 |
| Mn | 0.000 | 0.000 | 0.008 | 0.009 | 0.021 | 0.034 | 0.012 | 0.037 | 0.022 | 0.071 | 0.036 | 0.009 | 0.008 | 0.018 | 0.014 | 0.013 | 0.009 | 0.017 | 0.007 |
| Zn | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.046 | 0.036 | 0.010 | 0.008 | 0.010 | 0.012 | 0.015 | 0.003 | 0.017 | 0.014 | 0.005 |
| Mg | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.004 | 0.007 | 0.008 | 0.012 | 0.097 | 0.072 | 0.189 | 0.073 | 0.451 | 0.399 | 0.474 | 0.432 | 0.362 | 0.494 | 0.474 | 0.467 |
| Spinello | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.15 | 0.13 | 0.16 | 0.14 | 0.11 | 0.16 | 0.16 | 0.14 |
| Hercinite | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.17 | 0.18 | 0.16 | 0.17 | 0.19 | 0.15 | 0.16 | 0.16 |
| Mg-Ferrite | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.08 | 0.05 | 0.11 | 0.06 | 0.03 | 0.02 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.03 |
| Magnetite | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 0.98 | 0.97 | 0.95 | 0.79 | 0.71 | 0.59 | 0.41 | 0.74 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.05 | 0.04 | 0.03 | 0.04 |
| Cromite | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.03 | 0.09 | 0.01 | 0.28 | 0.25 | 0.29 | 0.27 | 0.22 | 0.31 | 0.30 | 0.29 |
| Mg-Cromite | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.18 | 0.14 | 0.33 | 0.32 | 0.12 | 0.32 | 0.36 | 0.29 | 0.33 | 0.36 | 0.29 | 0.30 | 0.32 |
| Ulvospinello | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |

Note: (1) calcolato per stechiometria
(*) magnetite
(**) magnetite cromifera
(***) cromite

Tab. 3 – Analisi chimiche degli spinelli.

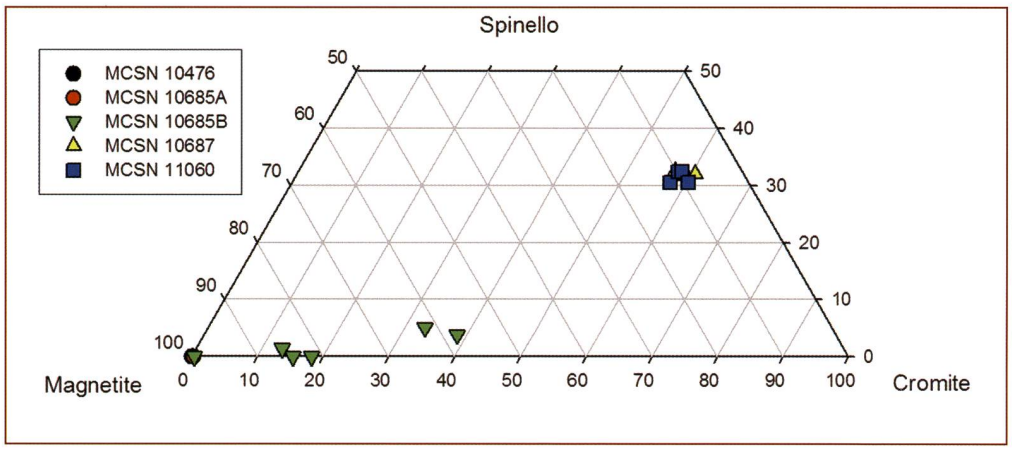



Fig. 3 – Diagramma triangolare di classificazione degli spinelli.

Tab. 4 –Analisi chimiche delle ilmeniti.

| | (*) MCSN 10476 | (*) MCSN 10476 | (*) MCSN 10686 | (*) MCSN 10686 | (*) MCSN 10686 | (*) MCSN 11061 | (*) MCSN 11061 | (*) MCSN 11061 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $TiO_2$ | 49.53 | 49.36 | 60.38 | 65.41 | 59.59 | 55.78 | 56.01 | 59.33 |
| $Cr_2O_3$ | 0.11 | 0.11 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| $Fe_2O_3$ (*) | 6.61 | 7.09 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| FeO | 40.90 | 40.83 | 31.55 | 28.49 | 35.98 | 34.26 | 38.26 | 35.55 |
| MnO | 2.45 | 2.54 | 0.81 | 0.66 | 0.85 | 0.61 | 0.91 | 1.86 |
| MgO | 0.65 | 0.55 | 0.85 | 0.27 | 0.00 | 6.47 | 0.63 | 0.08 |
| Totale | 100.25 | 100.48 | 93.59 | 94.83 | 96.42 | 97.12 | 95.81 | 96.82 |
| Normalizzate sulla base di 2 cationi e 6 cariche | | | | | | | | |
| Ti | 0.936 | 0.932 | 1.232 | 1.330 | 1.185 | 1.039 | 1.111 | 1.174 |
| Cr | 0.002 | 0.002 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Fe3+ | 0.125 | 0.134 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Fe2+ | 0.860 | 0.857 | 0.716 | 0.644 | 0.796 | 0.710 | 0.844 | 0.782 |
| Mn | 0.052 | 0.054 | 0.019 | 0.015 | 0.019 | 0.013 | 0.020 | 0.041 |
| Mg | 0.024 | 0.021 | 0.034 | 0.011 | 0.000 | 0.239 | 0.025 | 0.003 |
| Ematite | 0.06 | 0.07 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Ilmenite | 0.86 | 0.86 | 1.15 | 1.28 | 1.16 | 0.77 | 1.06 | 1.11 |
| Geikielite | 0.02 | 0.02 | 0.06 | 0.02 | 0.00 | 0.26 | 0.03 | 0.00 |
| Mn-Ilmenite | 0.05 | 0.05 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.01 | 0.03 | 0.06 |

Note: (*) calcolato per stechiometria

11060 possiedono composizioni molto omogenee tra loro, ricadenti nel campo della cromite ricca in alluminio (magnesiocromite fortemente alluminifera).

### *Ilmenite*

Le analisi chimiche delle ilmeniti si riferiscono a cristalli inclusi nel cristallo di magnetite appartenente al campione MCSN 10476 e a porzioni rappresentative dei campioni MCSN 10686 e MCSN 11061. Tali analisi non hanno rivelato caratteristiche peculiari, ad eccezione di un debole contenuto di MnO nel campione MCSN 10476 (tab. 4).

## Indagini chimiche e diffrattometriche su macrocampioni (clasti centimetrici)

### *MCSN 10682A*

Il campione è costituito da un ciottolo di circa 7 centimetri, ben arrotondato e con elevata densità. Macroscopicamente si distinguono cristalli di granato rosa-rosso, di

2-5 mm di diametro, immersi in una massa di fondo di colore verde grigiastro. L'analisi quantitativa in diffrazione di polveri (fig. 4) evidenza la seguente composizione modale:

| Minerale | % in peso |
|---|---|
| Plagioclasio | 22 |
| Pirosseno | 36 |
| Anfibolo | 13 |
| Granato | 26 |
| Titanite | 2 |
| Rutilo | tracce |
| Ilmenite | 1 |

Le immagini in elettroni retrodiffusi evidenziano una tessitura particolare in cui si distinguono fenoblasti di granato immersi in una matrice a grana fine costituita da aggregati mirmechitici di plagioclasio (85% Ab) e edenite (tab. 5, fig. 5). All'interno di questa matrice fine sono presenti relitti di pirosseno con composizione Di 47.6 % Jd 41.1 % (Diopside, Jadeite). Molto evidenti sono masserelle millimetriche costituite da titanite con inclusioni di rutilo ed ilmenite. La composizione modale della roccia e la composizione chimica dei silicati evidenziano la natura eclogitica del campione. In particolare la composizione chimica del granato (fig. 2) e dei relitti di pirosseno si avvicinano molto a quelle descritte da Bocchio *et al.* (2004) per le eclogiti dell'Alpe Arami a Gorduno (tab. 5). La particolare tessitura della massa di fondo costituita da anfibolo e plagioclasio indica una riequilibratura del pirosseno eclogitico a condizioni metamorfiche di più bassa pressione.

### *MCSN 10682B e MCSN 10680*

I due campioni sono costituiti rispettivamente da cloritoscisto a granato e talcoscisto a granato. In entrambe i casi si tratta di ciottoli ben arrotondati di dimensione pluricentimetrica. Il campione MCSN 10682B è costituito da clinocloro e da un granato con prevalente molecola almandino e subordinata molecola piropo (tab. 2). L'analisi quantitativa ha fornito la seguente composizione: clinocloro 90% e granato 10%, mentre il campione MCSN 10680 presenta la seguente composizione (in massa): talco 42% , granato 52%, clinocloro 3% e quarzo 2%.

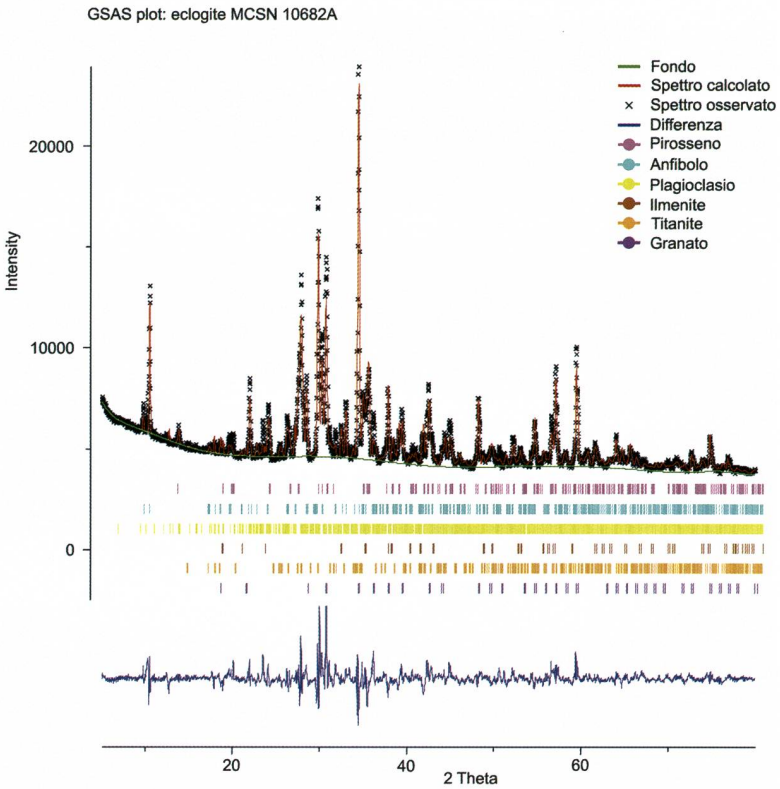



Fig. 4 – Analisi quantitativa in diffrazione di polveri dell'eclogite.

### *MCSN 10478*

Il campione MCSN 10478 è costituito prevalentemente da ematite parzialmente ossidata in goethite.

### *MCSN 10683 A e B*

I campioni MCSN 10683 A e B sono costituiti in gran parte da magnetite con tracce di antigorite.

### *MCSN 10690 e 12118*

I campioni MCSN 10690 e 12118 sono

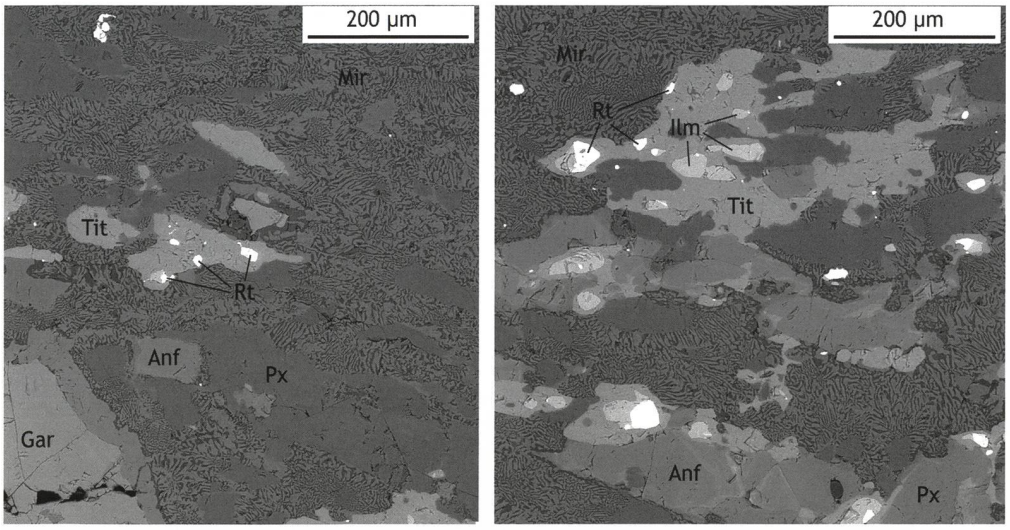



Fig. 5 – Immagini in elettroni retrodiffusi del campione MCSN 10682A.

**Mir** = Mirmechite di plagioclasio (scuro) e anfibolo (chiaro).
**Gar** = Granato.
**Anf** = Anfibolo.
**Px** = Pirosseno.
**Tit** = Titanite.
**Ilm** = Ilmenite.
**Rt** = Rutilo.

| | plagioclasio | anfibolo | | pirosseno | pirosseno | pirosseno | | granato | granato | granato | granato | granato | titanite |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | MCSN 10682A | MCSN 10682A | | MCSN 10682A | B. 2004 | B. 2004 | | MCSN 10682A | MCSN 10682A | MCSN 10682A | B. 2004 | B. 2004 | MCSN 10682A |
| $SiO_2$ | 65.77 | 53.45 | | 56.58 | 55.1 | 54.60 | | 39.84 | 38.89 | 38.74 | 39.56 | 39.40 | 31.42 |
| $TiO_2$ | 0.00 | 0.00 | | 0.09 | 0.16 | 0.14 | | na | na | na | 0.002 | 0 | 33.52 |
| $Al_2O_3$ | 20.89 | 4.18 | | 9.09 | 12.9 | 12.40 | | 21.88 | 21.19 | 20.78 | 22.47 | 23.00 | 5.40 |
| $Fe_2O_3$ (*) | 0.72 | 0.00 | | 1.04 | 0 | 0.00 | | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.06 |
| FeO | 0.00 | 6.71 | | 3.33 | 3 | 3.40 | | 25.78 | 25.94 | 17.41 | 19.20 | 19.90 | 0.45 |
| MnO | 0.10 | 0.11 | | 0.21 | 0.09 | 0.08 | | 0.00 | 1.43 | 0.27 | 0.49 | 0.82 | 0.07 |
| MgO | 0.51 | 11.43 | | 8.33 | 8.5 | 9.00 | | 3.32 | 2.10 | 6.30 | 9.80 | 9.60 | 0.05 |
| CaO | 3.31 | 21.20 | | 15.41 | 13.4 | 14.40 | | 10.73 | 10.80 | 11.02 | 8.05 | 8.20 | 28.94 |
| $Na_2O$ | 10.44 | 1.91 | | 6 | 7.1 | 6.50 | | na | na | na | na | | 0.00 |
| Totale | 101.74 | 98.99 | | 100.08 | 100.25 | 100.52 | | 101.55 | 100.35 | 94.52 | 99.59 | 100.92 | 100.87 |
| | a | b | | c | c | c | | d | d | d | d | d | e |
| Si | 2.846 | 7.608 | | 2.0224 | 1.937 | 1.921 | | 3.076 | 3.066 | 3.124 | 2.992 | 2.947 | 0.997 |
| Ti | 0.000 | 0.000 | | 0.0024 | 0.004 | 0.004 | | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.000 | 0.800 |
| Al | 1.065 | 0.701 | | 0.3829 | 0.534 | 0.514 | | 1.991 | 1.969 | 1.975 | 2.003 | 2.010 | 0.202 |
| $Fe^{3+}$ | 0.024 | 0.000 | | 0.028 | 0.068 | 0.079 | | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.011 | 0.078 | 0.001 |
| $Fe^{2+}$ | 0.000 | 0.799 | | 0.0996 | 0.02 | 0.021 | | 1.664 | 1.710 | 1.174 | 1.204 | 1.167 | 0.012 |
| Mn | 0.004 | 0.013 | | 0.0064 | 0.003 | 0.002 | | 0.000 | 0.096 | 0.018 | 0.031 | 0.052 | 0.002 |
| Mg | 0.033 | 2.425 | | 0.4438 | 0.445 | 0.472 | | 0.382 | 0.247 | 0.757 | 1.105 | 1.071 | 0.002 |
| Ca | 0.153 | 3.233 | | 0.5902 | 0.505 | 0.543 | | 0.888 | 0.912 | 0.952 | 0.652 | 0.657 | 0.984 |
| Na | 0.876 | 0.527 | | 0.4158 | 0.484 | 0.443 | | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Anortite | 0.149 | | Diopside | 47.6 | 44.4 | 47.2 | Grossularia | 30.2 | 30.8 | 32.8 | 21.0 | 17.1 | |
| Albite | 0.851 | | Jadeite | 41.1 | 41.6 | 36.4 | Almandino | 56.7 | 57.7 | 40.5 | 40.8 | 43.7 | |
| Ortoclasio | 0.000 | | | | | | Piropo | 13.0 | 8.3 | 26.1 | 36.6 | 33.9 | |
| | | | | | | | Spessartina | 0.0 | 0.3 | 0.1 | 1.0 | 1.6 | |
| | | | | | | | Andradite | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.6 | 3.7 | |

B. 2004 = Bocchio *et al.* 2004

Note: a =normalizzato su 5 cationi e 16 cariche; b = normalizzato su 23 ossigeni; c = normalizzato su 6 ossigeni; d = normalizzato su 7 cationi e 24 cariche; e = normalizzato su 3 cationi e 10 cariche; (*) calcolato per stechiometria

Tab. 5 – Analisi chimiche quantitative dei minerali costituenti l'eclogite.

costituiti da pagliuzze di oro nativo che all'analisi chimica quantitativa hanno rivelato un contenuto in argento medio del 15%. Nel campione MCSN 12118 è presente una lamina ripiegata costituita da oro in lega con rame e argento di circa 10 mm derivante sicuramente da attività antropica.
Sono state inoltre condotte analisi chimiche qualitative su alcuni granuli del campione MCSN 10689 che hanno rivelato la presenza di corindone nella sua varietà rossa (rubino) (fig. 7) e dei campioni MCSN 10688 e 11059 che hanno rivelato la presenza di rutilo con deboli tracce di Fe e Nb.

Fig. 6 – Un banco di ghiaia e sabbia nel letto della Breggia.

## Conclusioni

L'analisi dei dati mineralogici e petrografici riguardanti i depositi presenti nell'alveo del fiume Breggia, fornisce interessanti spunti riguardanti la storia geologica recente e sull'attività antropica in Valle di Muggio.
L'analisi in sezione sottile dei frammenti di roccia (tav. 1) indica una provenienza dei sedimenti del fiume dalle rocce calcaree e selcifere affioranti all'interno del Parco.
Il confronto con la composizione dei sedimenti trasportati attualmente dal Ticino e dall'Adda evidenzia l'assenza completa di relazioni tra questi due grandi corsi idrici e il fiume Breggia, ad eccezione di un unico punto di contatto rappresentato da un frammento detritico di serpentinite, roccia tipica delle Alpi Centrali e non presente nel Parco.
L'associazione dei singoli minerali pesanti del fiume Breggia è invece molto simile a quella del Ticino e dell'Adda, come evidenziato nel diagramma ternario (tav. 2).
L'assenza di rocce affioranti all'interno del bacino idrografico della Breggia contenenti tali minerali, implica l'intervento di qualche «agente» sedimentario, responsabile del trasporto all'interno del Parco.
Come interpretare, dal punto di vista dell'evoluzione geologica, la provenienza locale dei frammenti di roccia in contrapposizione con la provenienza dei minerali pesanti dai basamenti cristallini delle Alpi Centrali? Occorre correlare queste composizioni con

l'attività dei ghiacciai durante l'ultima glaciazione (~22'000 anni orsono), quando la Valle di Muggio era sommersa dai ghiacci responsabili del trasporto all'interno del bacino, di frammenti di rocce e minerali provenienti dalle parti più interne della catena alpina. In concomitanza con l'inizio della deglaciazione (~18'000 anni orsono) i fenomeni erosivi collegati allo scorrimento delle acque, come ad esempio le piogge, hanno agito sempre più profondamente sulle rocce sedimentarie della serie del Parco. Paral-lelamente le acque della Breggia hanno trasportato e depositato sedimenti di composizione «locale», fino a raggiungere la composizione rilevata dalle analisi (tav. 1).
Nel trasporto con acqua corrente, i minerali pesanti si comportano diversamente dai frammenti di roccia favorendo la conservazione dei depositi, consentendo quindi lo studio, l'analisi delle singole specie e l'interpretazione della loro presenza all'interno delle sabbie fluviali.

Il coinvolgimento dell'attività glaciale è pure confermata dalle analisi dei minerali pesanti estratti tramite batea. Tutti i minerali e i frammenti di roccia esaminati (tab. 1) non sono presenti nella serie sedimentaria della Breggia, attestando le origini extra-bacinale e il trasporto glaciale. Le analisi chimiche dei granati indicano una provenienza da rocce sedimentarie metamorfosate (paragneiss e micascisti) presenti in abbondanza nel basamento cristallino delle Alpi Meridionali in Valtellina e sul Lago di Como. La massiccia presenza di cromite e magnetite crocifera nei minerali del gruppo degli spinelli è tipica per le rocce ultrabasiche della Valtellina e Val Chiavenna. Queste osservazioni confermano il contributo fondamentale del ghiacciaio dell'Adda nel trasporto dei minerali. Le analisi effettuate sui campioni di ilmenite e rutilo, minerali caratteristici di rocce cristalline, confermano un'origine extra-bacinale, senza tuttavia fornire chiare indicazioni sulla loro provenienza.
Le indagini chimiche e diffrattometriche eseguite sul macrocampione di eclogite MCSN 10682A suggeriscono la sua probabile provenienza dall'Alpe Arami, a indicare un contributo tangibile del ghiacciaio del Ticino, seppur più modesto rispetto a quello del ghiacciaio dell'Adda, nella composizione dei sedimenti della Breggia. Questa influenza è confermata dalla presenza, nei sedimenti della Breggia, di modeste quantità di oro nativo sotto forma di pagliuzze. Tale metallo, praticamente assente nei sedimenti dell'Adda, è invece assai diffuso in quelli del Ticino.
L'attività antropica nella Valle di Muggio è attestata dalla presenza nei depositi del fiume di corindone nella sua varietà nobile rossa (rubino), praticamente assente nell'intero arco Alpino, ma impiegata nella manifattura di orologi. L'intervento dell'attività umana è ulteriormente confermata dalla presenza di grani semilavorati nel campione MCSN 10689 (fig. 7) e dalla presenza (campione MCSN 12118) della lamina d'oro con composizione chimica e caratteristiche morfologiche incompatibili con una provenienza naturale.
Uno studio relativo al contenuto di minerali pesanti nel Flysch cretaceo (Bernoulli e Winkler 1990) ha incluso un campione prelevato dal fiume Breggia (campione MH275), rivelando la seguente composizione mineralogica:

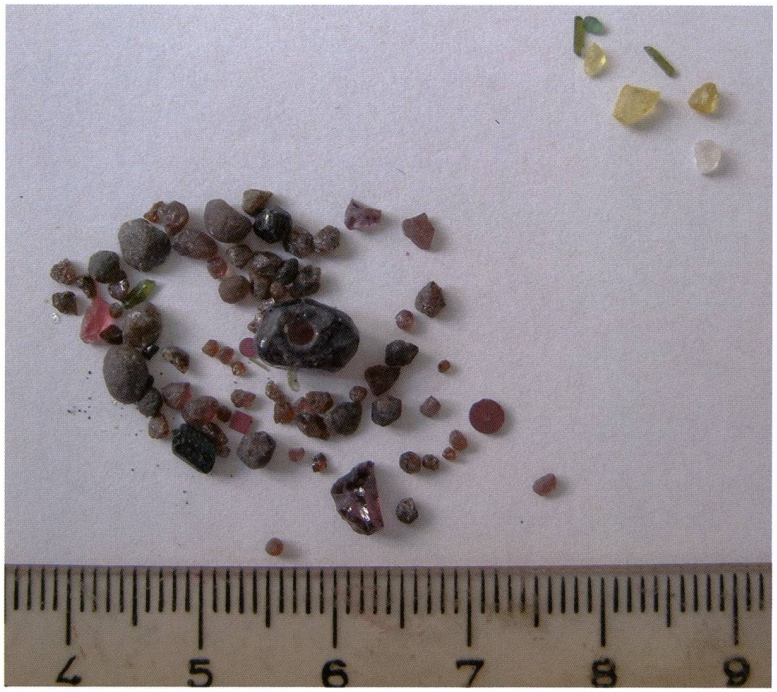



Fig. 7 – Macrofotografia di corindoni (varietà rossa), con evidenze di lavorazione artificiale.

| Minerale | % in peso |
|---|---|
| Tormalina | 34.1 |
| Zircone | 22.7 |
| Rutilo | 4.5 |
| br/an/ti | 6.8 |
| Cromite | 4.5 |
| Granato | 20.5 |
| Staurolite | 6.8 |

Il Flysch è situato stratigraficamente sopra la serie della Scaglia e può teoricamente rappresentare una sorgente di minerali. Tuttavia, l'assenza completa di anfiboli, pirosseni e epidoti, la limitata estensione areale di questa formazione e la sua posizione geografica, nella parte inferiore del Parco, suggeriscono un contributo insignificante per le associazioni dei minerali pesanti presenti nella Breggia.

Attraverso le analisi di provenienza sui frammenti di roccia e sui minerali detritici presenti oggi nel bacino del fiume Breggia è possibile ricostruire gli eventi climatici e sedimentari che hanno interessato il Parco delle Gole del Breggia durante gli ultimi 20'000 anni.

## Bibliografia


Bally A.W., Bernoulli D., Davis G.A. and Montadert L. 1981. *Listric Normal Faults.* Oceanologica Acta, Proc. int. geol. Congr. Geology of continental margins: 87-102.

Bocchio R., De Capitani L. and Ottolini L. 2004. *New chemical data on the clinopyroxene-garnet pair in the Alpe Arami eclogite, Central Alps, Switzerland.* Can. Mineral., 42, 1205-1219.

Bernoulli D. 1964. *Zur Geologie des Monte Generoso (Lombardische Alpen).* Beitr. Geol. Karte Schweiz N.F.118, 1-134.

Bernoulli D., Caron C., Homewood P., Kälin O. and Van Stuyvenberg J. 1979. *Evolution of continental margins in the Alps.* Schweiz. mineral. petrogr. Mitt., 59:165-170.

Bernoulli D., Winkler W. 1990. *Heavy mineral assemblage from Upper Cretaceous South- and Austroalpine flysch sequences (Northern Italy and Southern Switzerland): source terrain and palaeotectonic implications.* Eclogae geolg. Helv. 83/2: 287-310.

Bertotti G. 1990. *The deep structure of the Monte Generoso Basin: an extensional basin in the South-Alpine Mesozoic passive continental margin.* Mèmoires de la Société Géologique de France, 156: 303-308.

Deconinck J.F. and Bernoulli D. 1991. *Clay mineral assemblage of Mesozoic pelagic and flysch sediments of the Lombardian Basin (Southern Alps): implications for palaeotectonics, palaeoclimate and diagenesis.* Geol. Rundschau 80/1:1-17.

Garzanti E. e Andò S. 2007. *Heavy mineral concentration in modern sands: implications for provenance interpretation.* In: M. Mange, D. Wright (Eds.), *Heavy Minerals in Use, Developments in Sedimentology Series.* Elsevier, Vol. 58, 517-545.

Garzanti E., Andò S. e Vezzoli G. 2006. *The continental crust as a source of sand (Southern Alps cross-section, Northern Italy).* Journal of Geology 114, 533–554.

Garzanti E., Doglioni C., Vezzoli G. and Andò S. 2007. *Orogenic Belts and Orogenic Sediment Provenance.* The Journal of Geology, vol. 115, p. 315–334.

Ingersoll R. V., Bullard T. F., Ford R. L., Grimm J. P., Pickle J. D. and Sares S. W. 1984. *The effect of grain size on detrital modes: a test of the Gazzi-Dickinson point-counting method.* J. Sediment. Petrol. 54: 103–116.

Kälin O. und Trümpy D.M. 1977. *Sedimentation und Paläotektonik in den westlichen Südalpen: Zur triassisch-jurassischen Geschichte des Monte Nudo-Beckens.* Eclogae Geol. Helv., 70(2): 295-350.

Larson A.C. and Von Dreele R.B. 2000. *General Structure Analysis System (GSAS).* Los Alamos National Laboratory Report, LAUR, 86-748.

Mange M. A. and Maurer H. F.W. 1992. *Heavy minerals in colour.* London, Chapman & Hall, 147 p.

Parfenoff A., Pomerol C. et Tourenq J. 1970. *Les mineraux en grains-methodes d'etude et determination.* Paris, Masson, 578 p.

Toby B.H. 2001. *A graphical user interface for GSAS.* J. Appl. Cryst., 34, 210-221.


## Immagini

Autori.

### I noduli di selce nella Maiolica (Biancone)

In alcuni livelli del Biancone sono presenti numerosi noduli di selce di colore grigio - marrone - nocciola con dimensioni fino ad alcuni decimetri. La selce ricavata da questi noduli, in tempi preistorici, è stata usata per fabbricare utensili (*immagine F. Gianola a sinistra, P. Oppizzi a destra*).