

MARMORA

AN INTERNATIONAL JOURNAL
FOR ARCHAEOLOGY, HISTORY
AND ARCHAEOOMETRY OF
MARBLES AND STONES

9 · 2013

ESTRATTO



PISA · ROMA
FABRIZIO SERRA EDITORE
MMXV

Direttore · *Editor*

LORENZO LAZZARINI · Università I.U.A.V. (Venezia)

★

Comitato scientifico internazionale · *International Scientific Committee*

Archeologia e Storia dell'Arte · *Archaeology and History of Art*

CLAYTON J. FANT · Università di Akron (OH, U.S.A.)

ANNA MARIA GIUSTI · Opificio delle Pietre Dure (Firenze)

OLGA PALAGIA · Università di Atene

PATRIZIO PENSABENE · «Sapienza» Università di Roma

ISABEL RODÀ · Università Autonoma di Barcellona

ROLF M. SCHNEIDER · Università di Monaco di Baviera

Archeometria · *Archaeometry*

AURELIO ÁLVAREZ PEREZ · Università Autonoma di Barcellona

VINCENT BARBIN · Università Reims-Champagne-Ardenne (F)

CLAUDIO D'AMICO · Università di Bologna

JAMES A. HARRELL · Università di Toledo (OH, U.S.A.)

MARINO MAGGETTI · Università di Friburgo (CH)

MYRSINI VARTI-MATARANGAS · I.G.M.E. (Atene)

★

«Marmora» is an International Peer-Reviewed Journal.

The eContent is Archived with *Clockss* and *Portico*.

STUDIO DI ALCUNE COLONNE GRANITICHE DELLA CITTÀ ROMANA DI UTHINA (TUNISIA) E SULLE LORO ANTICHE CAVE DEL NORD SARDEGNA

MICHELE AGUS* · STEFANO CARA*
CARLO GARBARINO** · CARLO MATZUZZI*

ABSTRACT

This paper presents a detailed petrochemical and minerochemical study on some Roman granite columns from the archaeological site of Uthina an ancient Roman city located about 30 km sw from Tunis (Tunisia), near the village of Oudhna. Some of the sampled columns show a very similar macroscopic aspect to the pinkish-grey granites outcropping in the ancient quarry area of Capo Testa, in northern Sardinia (Italy). In order to provide a comparison between the archaeological samples and the granite of these quarries a detailed geo-archaeological survey and sampling of the Capicciolu, Li Petri Taddati, Cala Romana, Cava Grande del Torre *loci* (Capo Testa peninsula) and of the two La Marmorata Island *loci* were carried out. The results of the analyses showed that three of the sampled columns (these pinkish-grey in colour) have a strong resemblance with the samples of La Marmorata quarries. This demonstrates that, during the II-III centuries AD, the granite of North Sardinia quarries had a diffusion beyond the regional limits, confirming the identification of several granite artifacts discovered in monuments of the ancient Rome and in some other cities of the North Africa provinces.

KEYWORDS: Granite Columns, Uthina, Sardinia, Roman Quarries.

INTRODUZIONE

NEL quadro di un protocollo d'accordo con l'Agence de Mise en Valeur du Patrimoine et de Promotion Culturelle (Ministère de la Culture et de la Sauvegarde du Patrimoine de Tunisie) è stato affrontato lo studio sistematico di provenienza dei materiali lapidei ornamentali e da costruzione nell'area della città romana di Uthina (Tunisia). I primi risultati di queste indagini, con particolare riferimento ai marmi propriamente detti, sono riportati in alcuni capitoli (AGUS *et alii* 2007) di una monografia sull'attività di ricerca condotta dal 2001 al 2007 dall'Institut National du Patrimoine di Tunisi e dall'Università di Cagliari con la collaborazione dell'Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria del CNR.

Uthina è situata a ca. 30 km a sud-ovest di

Tunisi in prossimità dell'attuale cittadina di Oudhna, su un'altura che domina una fertile pianura agricola attraversata dallo Oued Meliane. La sua estensione territoriale in epoca imperiale, ca. 70 ettari, la poneva dietro solo a Cartagine 260 ha, Thysdrus (El Jem) e Hadrumète (Sousse) 130 ha (FIG. 1).

Sull'età di fondazione della città gli elementi storico archeologici a disposizione sono ancora oggi controversi. Nella sua area sembra peraltro accertata l'esistenza di un agglomerato berbero-punico a cui si sovrappose, già nel I secolo a.C. la *Colonia Iulia Uthina* come testimoniato da una iscrizione recentemente pubblicata (BESCHAOUCH 2004), e successivamente popolata dai veterani della XIII legione di Ottaviano. Citata nel I secolo d.C. da Plinio il Vecchio come una delle più antiche colonie d'Africa essa ebbe il suo periodo di maggior splendore nei secoli II-III ed inizi

* *Indirizzi per corrispondenza:* Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria del CNR-UOS di Cagliari, c/o DICAAR, Via Marengo 2, I 09123 Cagliari (Italy). cara@unica.it ** DICAAR, Facoltà di Ingegneria, Università di Cagliari, Via Marengo 2, I 09123 Cagliari (Italy).

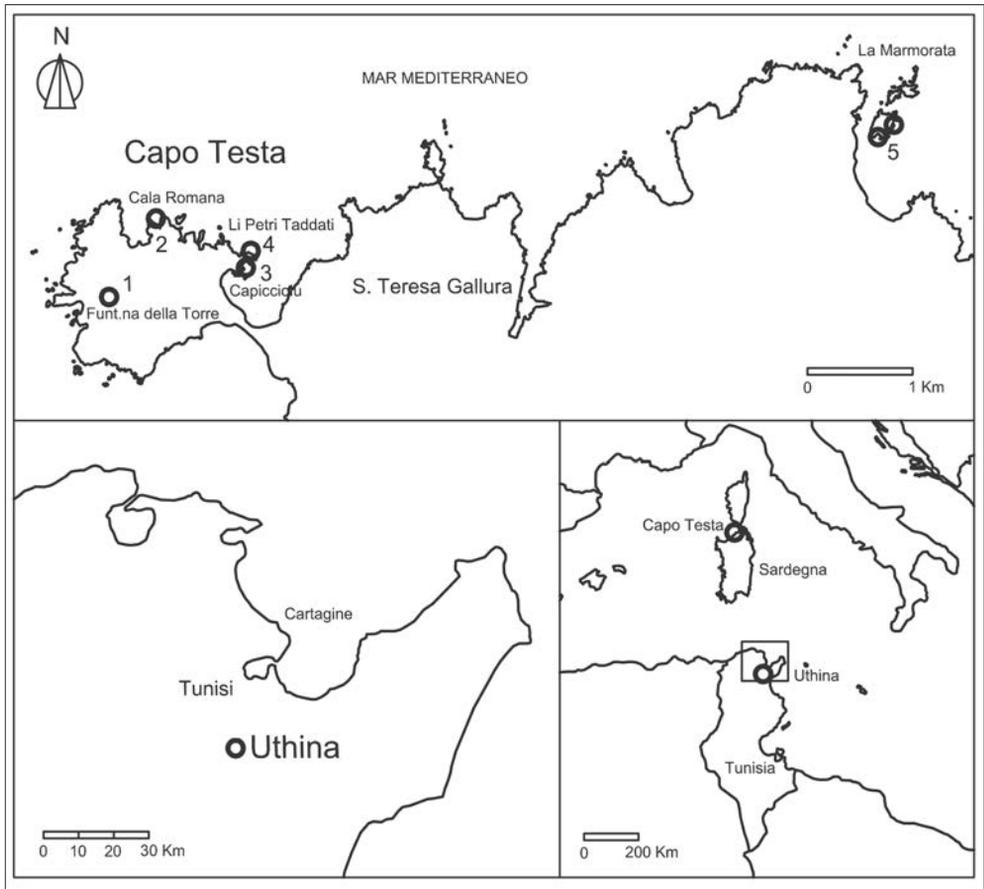


FIG. 1. Inquadramento cartografico delle aree di cava campionate (Capo Testa e La Marmorata, Sardegna settentrionale) e del sito archeologico di Uthina (Tunisia).

del IV d.C. Splendore testimoniato dalla grande abbondanza e varietà di marmi impiegati negli edifici pubblici e nelle dimore private provenienti da tutte le principali cave sfruttate in epoca romana. Di notevole pregio artistico anche i numerosi mosaici policromi rinvenuti nelle ville più prestigiose della città. Ebbe quindi una lenta ed inesorabile decadenza nei secoli successivi sino a ridursi a modesto insediamento nell'epoca arabo-musulmana.

Nel presente lavoro viene affrontato lo studio di alcune colonne costituite da rocce granitoidi sia di colore grigio sia rosato che, all'esame macroscopico, mostrano strette analogie con le rocce granitoidi affioranti nella Sardegna settentrionale che, come è noto, è stata importante sede estrattiva in

epoca romana dagli inizi del II secolo d.C., allorché colonne di questo materiale si diffondono in ambito regionale e sulla terraferma (a Roma sono state individuate diverse colonne di granito sardo tra cui alcune nell'area delle Terme di Caracalla in un contesto degli inizi del III secolo d.C.: POGGI, LAZZARINI 2005; WILLIAMS-THORPE 2008). La datazione dell'attività estrattiva è avvalorata dal rinvenimento in prossimità di alcuni di quei *loci* estrattivi, in particolare in quello di 'Capicciolu', di numerosi frammenti ceramici e sepolture attribuibili alla metà del II secolo d.C. (BRUNO 2002).

Nel lavoro si fa specifico riferimento alle aree di Capo Testa e dell'Isola di La Marmorata con i siti estrattivi di Cava Grande del Torre (CT10), Cala Romana (CT11), Capic-

ciolu (CT12, CT13, CT14), Li Petri Taddati (CT15) e La Marmorata (LM16, LM30, LM31) rispettivamente, dove è stata effettuata una prospezione geoarcheologica di dettaglio e la relativa campionatura.

Sui campioni delle cave sarde e su quelli prelevati dalle colonne a Uthina è stato impostato uno studio mineralogico, petrografico e geochimico di dettaglio nell'intento di individuare sensibili parametri di confronto idonei a stabilire eventuali relazioni di parentela, e quindi possibili relazioni di provenienza tra reperti e campioni di cava.

In particolare sono state analizzate le biotiti presenti in tutti i campioni dal momento che, come riportato da diversi autori nella recente letteratura, la loro composizione dipende strettamente dalla natura del magma da cui cristallizzano e riflette le condizioni chimico-fisiche di formazione delle rocce magmatiche che le ospitano.

CAMPIONATURA E NOTE ANALITICHE

Al fine di individuare in dettaglio le caratteristiche compositive delle biotiti di Capo Testa e La Marmorata in ciascuna cava sono stati raccolti dieci campioni, in prossimità dei segni ancora visibili delle antiche lavorazioni, contrassegnati dalla lettera A alla lettera L in aggiunta alle sigle principali CT10, CT11, CT12, CT13, CT14, CT15 e LM16, LM30, LM31 rispettivamente (FIGG. 8-10).

Per Uthina la campionatura è stata eseguita tenendo conto delle limitazioni imposte dalla necessità di non deturpare visibilmente le colonne prelevando da ciascuna colonna un solo campione in quantità strettamente sufficiente per eseguire tutte le analisi mineralogiche e petrografiche necessarie. Sono state campionate tredici colonne e i campioni sono stati siglati UTF01, UTF04, UTF05, UTF05B, UT1, UT2, UT3, UT6, UT7, UT8, UT9, UT22, UT23 (FIGG. 8-11).

La composizione in elementi maggiori delle biotiti è stata determinata presso i laboratori IGAG-CNR della UOS di Cagliari con una microsonda elettronica ARL modello SEMQ-95 dotata di sei spettrometri a dispersione di lunghezza d'onda ed operante nelle seguenti condizioni strumentali: potenziale di accelerazione 15 kV, corrente di campione

(sc) sull'ottone 20 nA, *standards* di riferimento ossidi e silicati naturali, righe analitiche $K\alpha$ per tutti gli elementi analizzati, tempi di conteggio sul picco e sul fondo 10 sec., riduzione dei dati in linea secondo lo schema di correzione ZAF.

Lo studio EPMA è stato realizzato in sezioni sottili lucide eseguendo su ciascuna lamella di biotite di ogni campione la media di un numero variabile di punti, da tre a sei, col duplice scopo di testare sia il grado di omogeneità delle lamelle stesse sia di rigettare eventualmente i punti analisi che avessero mostrato segnali anomali di $TiK\alpha$, $CaK\alpha$ e $PK\alpha$ per la presenza di minute inclusioni sommerse di minerali di Titanio e di Apatite non visibili all'osservazione ottica microscopica.

Le stesse sezioni sottili lucide usate per l'analisi EPMA sono state impiegate anche per la caratterizzazione petrografica dei campioni con il microscopio polarizzatore.

In vista delle considerazioni petrochimiche di rito e con l'ausilio delle risultanze analitiche di microsonda elettronica sono stati selezionati in totale quattordici campioni da sottoporre ad analisi chimica per i principali elementi maggiori mediante XRF ed in traccia con tecnica ICP-OES e ICP-MS presso i laboratori ACTLABS Ltd. (Ontario, Canada): tre campioni provenienti da Capo Testa, due dall'Isola di La Marmorata e nove da Uthina.

MINEROCHIMICA DELLA BIOTITE

Le medie analitiche EPMA di ciascun campione unitamente alla numerosità n dei cristalli di biotite francamente magmatica analizzati e alla deviazione *standard* (*std*) per tutti gli ossidi, ad eccezione di CaO e Na₂O perché prossimi al limite di rivelabilità, sono riportati in Tabella 1.

Si ricorda che, come già detto sopra, per tutti i campioni ciascuno degli n cristalli di biotite è rappresentato già da una media eseguita su un numero di punti variabile da tre a sei per cristallo.

L'origine francamente magmatica dei cristalli di biotite analizzati è supportata dal diagramma triangolare $10TiO_2$ -FeO*-MgO (FIG. 11) (NACHIT *et alii* 2005) che vede ricadere tutti i punti nel campo A; fanno eccezione solo quattro punti-analisi che cadono nel



FIG. 2. Capo Testa, loc. Funtana della Torre: segni di lavorazione in un blocco erratico.



FIG. 3. Capo Testa, loc. Cala Romana: fronte di cava con numerosi frammenti di blocchi, colonne semilavorate e *debris*.



FIG. 4. Capo Testa, loc. Capicciolu (baia di Santa Reparata): evidenze di coltivazione antica e frammento di colonna con scapo.



FIG. 5. Capo testa, loc. Li Petri Taddati: fronte di cava coltivato a gradoni con frammento di colonna sbazzata ancora *in situ*.



FIG. 6. Isola di La Marmorata: fronte e piazzale di cava antica nel settore sud.



FIG. 7. Isola di La Marmorata: fronte e piazzale di cava con blocchi e pilastri semilavorati nel settore est.



FIG. 8. Sito archeologico di Uthina: lapidario delle colonne nell'area del foro.

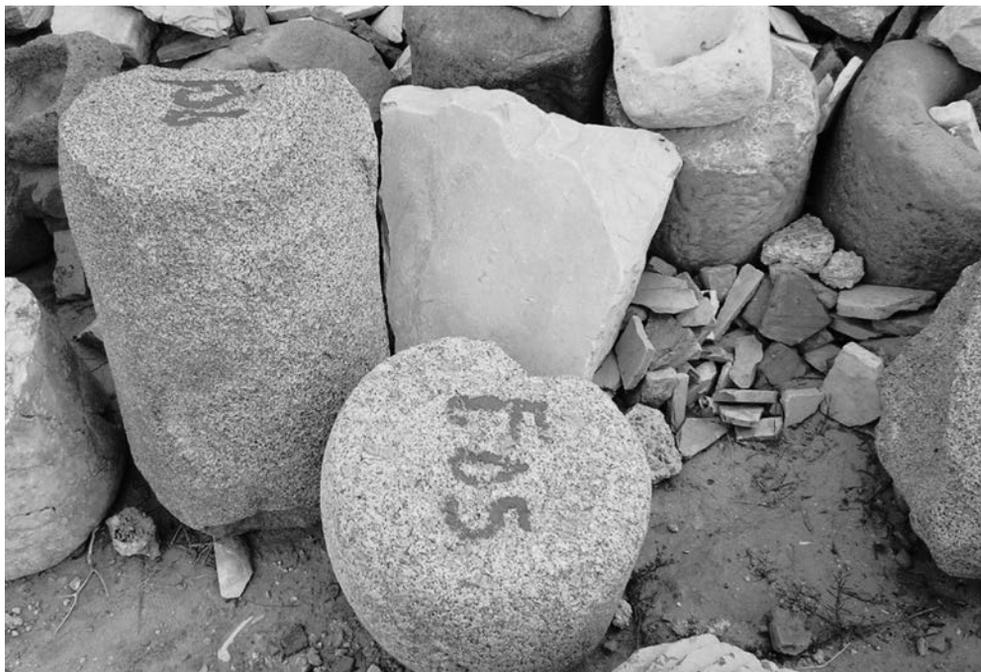


FIG. 9. Come in Figura 8, alcuni dei frammenti di colonna in granito rosa e grigio campionati provenienti dall'edificio delle Terme Pubbliche (c.d. Grandi Terme).



FIG. 10. Frammento di colonna in granito rosa (campione UT22).

campo B delle biotiti riequilibrata da fenomeni magmatici tardivi e che sono stati preventivamente eliminati prima del calcolo delle medie generali dei campioni interessati.

Dall'esame dei dati esposti in Tabella 1 si può osservare come in ciascun campione e per gli ossidi più importanti i valori di deviazione *standard* sono sempre contenuti anche per le numerosità *n* più piccole, indice questo di grande omogeneità compositiva dei cristalli di biotite. Quando invece si confrontano tra di loro i vari campioni si possono osservare due raggruppamenti omogenei distinti: uno costituito dai campioni di Capo Testa e un altro dai campioni dell'Isola di La Marmorata ai quali si associano alcuni campioni provenienti dall'area archeologica di Uthina.

Lontano dall'intenzione di sviluppare approfondite discussioni di carattere petrologico ma solo per efficacia di rappresentazione i dati di Tabella 1 relativi agli ossidi Al_2O_3 , $\text{FeO}^*(= \text{FeO}_{\text{tot}})$ e MgO sono stati proiettati nei tre diagrammi discriminanti MgO/FeO^* , $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{FeO}^*$ e $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{MgO}$ di Abdel-Rahman (1994) di Figura 12.

I punti rappresentativi dei campioni, proiettati nei diagrammi $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{MgO}$ e MgO/FeO^* , ricadono tutti nel campo delle rocce calcoalcaline; così anche nel diagramma $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{FeO}^*$ ma i punti della serie CT sono praticamente coincidenti con il punto triplo a meno di alcuni punti centesimali procurando qualche piccolo problema di attribuzione. In ogni caso i punti rappresentativi si riuniscono costituendo due accumulazioni distinte, una per i campioni siglati CT e l'altra per i campioni siglati LM. A queste due accumulazioni distinte corrispondono, come si vedrà più avanti nel paragrafo relativo alla petrografia, distinti parametri classificativi che competono alle rocce granitoidi affioranti nelle cave sarde dei due siti archeologici.

I campioni di Uthina si aprono invece in una nuvola più dispersa che solo in parte si sovrappone, con i quattro campioni UTF05, UTF05B, UT22 e UT23, all'accumulazione dei campioni sardi di La Marmorata accusandone una certa similitudine sia per la composizione della biotite che per i para-

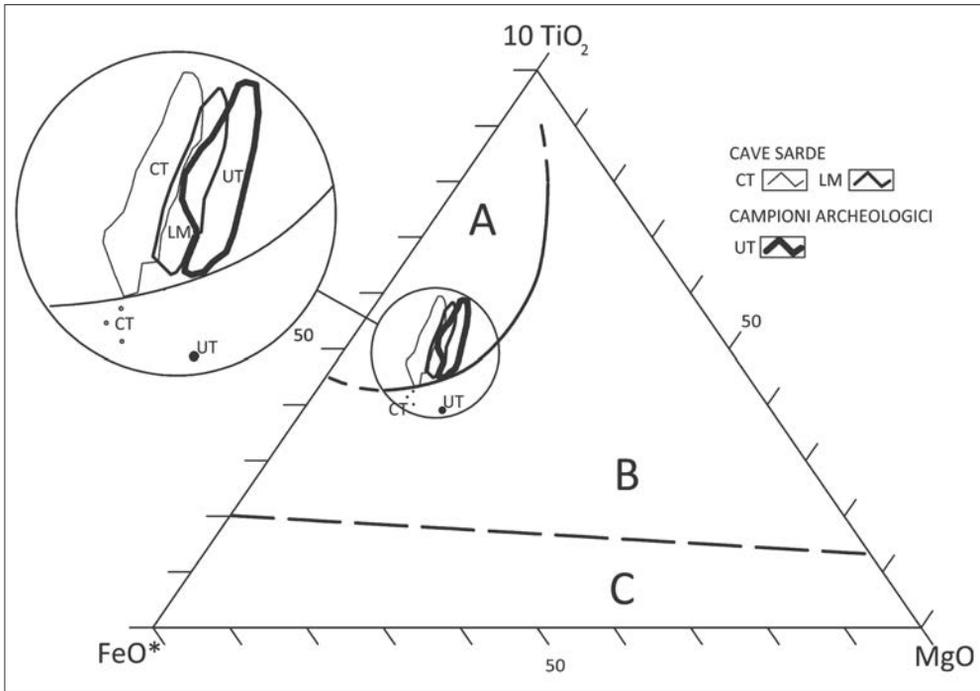


FIG. 11. Diagramma triangolare delle biotiti, francamente magmatiche A, riequilibrata B e neoformate C.

metri petrografici classificativi. I restanti punti rappresentativi della nuvola di Uthina, pur avendo simili parametri petrografici classificativi, contengono però biotiti a composizione sensibilmente diversa.

Le formule strutturali, calcolate sulla base di 22 ossigeni e riportate in Tabella 2 unitamente ad alcuni parametri classificativi, sono state ottenute mediante il programma LIMICA (YAVUZ 2001) dai valori degli ossidi riportati in Tabella 1; così anche la definizione delle biotiti mediante i parametri classificativi Mg_{li} (Mg-Li) e Fe_{al} ($\text{Fe}_{\text{tot}} + \text{Mn} + \text{Ti} - \text{Al}^{\text{VI}}$).

Tutte le biotiti analizzate ricadono nel quadrante I, Li-Fe Micas (FIG. 13) e sono classificate Fe-biotiti (campo 11) ad eccezione di due campioni provenienti da Uthina per i quali le biotiti sono classificate Mg-biotiti (campo 10). Anche al solo esame macroscopico questi due campioni mostrano di non appartenere alla famiglia delle rocce granitoidi e, pertanto, si rivelano di scarso interesse per le successive discussioni (FIG. 13).

L'uniformità compositiva delle biotiti del-

le cave romane di Capo Testa è ulteriormente confermata dai valori praticamente costanti dell'indice di arricchimento in ferro IE , compreso tra 0.68 e 0.69, e del numero di magnesio $\text{mg}\#$ compreso tra 0.31 e 0.32. Anche all'Isola di La Marmorata si osserva la stessa uniformità compositiva ma, rispetto a Capo Testa, si ha un leggero impoverimento in ferro e un corrispondente arricchimento in magnesio: IE 0.66-0.64, $\text{mg}\#$ 0.35-0.37.

La stessa uniformità compositiva non può essere ugualmente attribuita alle biotiti dei campioni archeologici provenienti da Uthina perché queste mostrano parametri classificativi molto più dispersi: Mg_{li} 1.46-1.72, Fe_{al} 3.14-3.70. All'interno di questo gruppo sono però presenti, come già detto a proposito dei diagrammi di Abdel-Rahman (*op. cit.*), quattro campioni (UTF05, UTF05B, UT22, UT23) che mostrano i parametri classificativi della biotite del tutto simili a quelli riscontrati per le biotiti delle cave romane dell'Isola di La Marmorata (LM16, LM30, LM31); lo stesso dicasi per l'indice di arricchimento in ferro IE ,

compreso tra 0.64 e 0.65, e il numero di magnesio #mg compreso tra 0.35 e 0.37.

PETROGRAFIA E PETROCHIMICA

Quattordici campioni selezionati provenienti dalle cave romane di Capo Testa e La Marmorata e dal sito archeologico di Uthina sono stati analizzati per gli ossidi maggiori (% in peso) ed elementi in traccia (ppm); i risultati sono riportati nella Tabella 3 e Tabella 4 rispettivamente. Ancora in Tabella 3 è riportata la norma molecolare secondo Niggli da cui sono stati ricavati i parametri di classificazione petrografica ANOR ($= 100 \times \text{An}/(\text{An}+\text{Or})$) e Q' ($= 100 \times \text{Q}/(\text{Q}+\text{Or}+\text{Ab}+\text{An})$) proposti da Streckeisen, Le Maitre (1979).

Sono stati calcolati anche gli indici A/NK ($= \text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O} \text{ molar})$) e A/CNK ($= \text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO}-1.67 \times \text{P}_2\text{O}_5+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O} \text{ molar})$).

I campioni analizzati appartenenti alla serie CT ricadono nel campo 3b dei monzograniti, mentre quelli delle serie LM e UT si proiettano tutti nel campo 4 delle granodioriti (FIG. 14). Allo stesso risultato di classificazione petrografica si perviene usando i parametri P ($= \text{K}/(\text{Na}+\text{Ca})$) e Q ($= \text{Si}/3 \cdot (\text{K}+\text{Na}+2\text{Ca}/3)$) proposti da Debon e Le Fort (1983), riportati in Tabella 3 ma non impiegati nel presente lavoro per la proiezione nel corrispondente diagramma.

Monzograniti

I monzograniti affioranti nella penisola di Capo Testa nella Sardegna settentrionale sono stati in passato oggetto di studio da parte di diversi autori (BRALIA *et alii* 1982). Sono rocce a struttura granulare, a grana medio-grossa, di colore rosa chiaro per la presenza di megacristalli di K-feldspato rosato, rappresentato sia da ortoclasio micropertitico sia da microclino, ai quali si accompagnano plagioclasti, quarzo, moderate quantità di biotite (5-8%) e sporadicamente anche scarsa orneblenda verde.

I plagioclasti, a composizione oligoclasico-andesinica, si presentano in cristalli da subeudrali a eudrali con frequenti orli a composizione albitica e talora mostrano segni di alterazione sericitica. Il quarzo si presenta per lo più in individui anedrali e la biotite in

lamelle eudrali talora interessate da fenomeni di alterazione cloritica. Quali accessori più comuni figurano apatite, allanite, zircone, titanite e magnetite.

Granodioriti

Nei granitoidi classificati come granodioriti nel diagramma di Streckeisen, Le Maitre (1979) si costituiscono, per le loro caratteristiche mineralogico-compositive, strutturali e tessiturali di macro, meso e microscala, due gruppi distinti. Un primo gruppo, omogeneo, annovera i campioni della serie LM provenienti dalle cave romane dell'Isola di La Marmorata e i campioni UTF05B, UT22 e UT23 provenienti dal sito archeologico di Uthina. Un secondo gruppo, non ugualmente omogeneo, comprende i restanti campioni di Uthina: UT1, UT2, UT6, UT7, UT8 e UT9.

Le granodioriti del primo gruppo sono rocce di colore grigio-rosato a struttura eterogranulare ipidiomorfa. La composizione mineralogica è data principalmente da plagioclasio usualmente eudrale e zonato, più o meno interessato da fenomeni di sericitizzazione. Segue il quarzo in individui anedrali e il K-feldspato, generalmente micropertitico in cristalli subeudrali, si mostra talora in cristalli rosati di dimensione centimetrica; quali minerali femici sono presenti lamelle eudrali di biotite accompagnata da piccoli cristalli di orneblenda verde. Minerali accessori apatite, zircone, allanite, titanite e magnetite.

Le granodioriti del secondo gruppo sono rocce di colore francamente grigio a grana generalmente media, talora tendente a piccola, costituite principalmente da abbondante plagioclasio usualmente eudrale, spesso zonato ed anche con variabile grado di sericitizzazione. Tra i sialici seguono subordinati il quarzo in plaghe anedrali interstiziali e il K-feldspato pertitico, ancora anedrale, talora anche come microclinopertite. I minerali femici, tendenzialmente eudrali, sono molto più abbondanti, ma variabili da campione a campione, e sono sempre dati da lamelle eudrali di biotite accompagnata da cristalli, ancora più o meno eudrali, di orneblenda verde. Accessori comuni sono apatite, zircone, minerali opachi e spesso anche epidoti secondari.

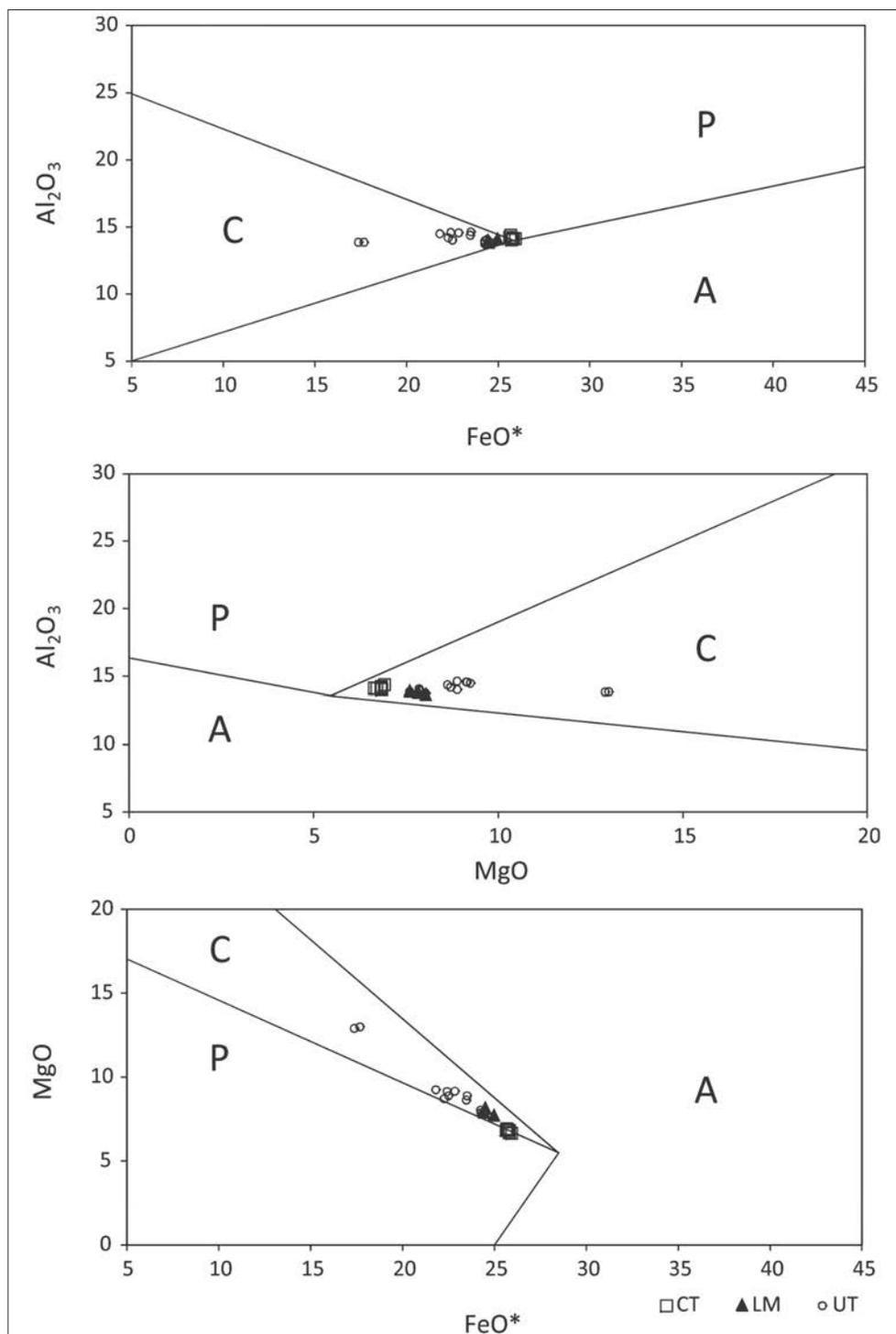


FIG. 12. Diagrammi discriminanti delle biotiti secondo Abdel-Rahman (1994) per le serie magmatiche alcaline (A); calcalkaline (C) e peraluminose (P).

Campione	CT10	std	CT11	std	CT12	std	CT13	std	CT14	std	CT15	std	LM16	std	LM30	std	LM51	std
SiO2	35.05	0.41	35.13	0.51	35.01	0.40	35.47	0.49	35.32	0.28	34.79	0.49	35.27	0.71	35.10	0.60	34.85	0.46
TiO2	3.57	0.25	3.64	0.28	3.57	0.31	3.59	0.29	3.68	0.24	3.67	0.29	3.60	0.25	3.48	0.24	3.71	0.21
Al2O3	14.13	0.39	14.10	0.28	14.16	0.30	14.03	0.29	14.23	0.29	14.39	0.29	14.08	0.19	13.98	0.20	13.85	0.21
FeO	25.94	0.55	25.81	0.47	25.82	0.41	25.74	0.44	25.63	0.46	25.69	0.44	24.97	0.36	24.44	0.41	24.49	0.38
MnO	0.71	0.05	0.69	0.06	0.64	0.06	0.70	0.05	0.69	0.07	0.65	0.06	0.80	0.06	0.72	0.07	0.71	0.06
MgO	6.65	0.21	6.72	0.23	6.82	0.18	6.85	0.21	6.83	0.18	6.93	0.22	7.61	0.16	7.83	0.21	8.04	0.22
CaO	0.02		0.01		0.01		0.02		0.03		0.01		0.03		0.01		0.02	
Na2O	0.04		0.04		0.03		0.03		0.03		0.03		0.03		0.02		0.03	
K2O	9.64	0.18	9.66	0.15	9.56	0.14	9.66	0.16	9.67	0.12	9.77	0.16	9.33	0.17	9.79	0.35	9.66	0.18
Totale	95.75		95.80		95.62		96.09		96.11		95.93		95.72		95.37		95.15	
n	145		131		136		132		108		107		23		100		107	
Campione	UTF01	std	UTF04	std	UTF05	std	UTF05B	std	UT1	std	UT2	std	UT3	std	UT6	std	UT7	std
SiO2	36.30	0.40	36.60	0.26	35.06	0.30	35.06	0.25	35.45	0.71	35.67	0.55	35.33	0.26	35.88	0.28	35.95	0.47
TiO2	4.21	0.25	4.36	0.10	3.55	0.22	3.59	0.28	3.49	0.40	3.55	0.71	3.85	0.21	3.83	0.12	3.82	0.25
Al2O3	13.86	0.23	13.85	0.20	13.76	0.10	13.88	0.16	14.59	0.59	14.57	0.57	14.38	0.29	14.02	0.37	14.19	0.26
FeO	17.67	0.48	17.37	0.25	24.24	0.59	24.84	0.26	22.41	0.28	22.84	0.42	23.47	0.31	22.50	0.47	22.27	0.33
MnO	0.39	0.06	0.37	0.02	0.68	0.03	0.71	0.07	0.59	0.04	0.50	0.10	0.59	0.06	0.51	0.04	0.59	0.15
MgO	13.00	0.25	12.90	0.18	8.04	0.17	7.61	0.12	9.14	0.49	9.16	0.24	8.63	0.22	8.89	0.26	8.72	0.31
CaO	0.03		0.06		0.03		0.02		0.01		0.07		0.02		0.00		0.02	
Na2O	0.10		0.12		0.02		0.03		0.01		0.01		0.01		0.03		0.04	
K2O	9.64	0.12	9.47	0.17	9.68	0.11	9.70	0.17	9.73	0.13	9.63	0.13	9.58	0.09	9.51	0.13	9.55	0.15
Totale	95.20		95.10		95.06		95.44		95.42		96.00		95.86		95.17		95.15	
n	9		9		5		14		7		8		5		10		11	
Campione	UT8	std	UT9	std	UT22	std	UT23	std										
SiO2	35.56	0.29	35.19	0.41	35.20	0.57	34.72	0.66										
TiO2	3.49	0.57	3.53	0.53	3.48	0.29	3.73	0.27										
Al2O3	14.50	0.66	14.64	0.27	14.08	0.21	13.96	0.15										
FeO	21.81	0.55	23.50	0.50	24.38	0.28	24.26	0.45										
MnO	0.49	0.05	0.60	0.05	0.66	0.06	0.73	0.07										
MgO	9.25	0.19	8.89	0.27	7.86	0.20	7.87	0.19										
CaO	0.04		0.02		0.03		0.04											
Na2O	0.02		0.01		0.02		0.04											
K2O	9.87	0.08	9.65	0.13	9.69	0.05	9.67	0.04										
Totale	95.03		96.03		95.40		95.02											
n	8		10		20		10											

TAB. 1. Analisi medie EPMA delle biotiti di tutti i campioni.

n: numero di cristalli di biotiti primarie cioè non riequilibrati secondo Nachit *et alii* (2005), analizzati in ciascun campione; std: deviazione standard.

Sample	CT10	CT11	CT12	CT13	CT14	CT15	LM16	LM30	LM31	UT10	UT14	UT18	UT22	UT23	UT40
Si	5.51	5.52	5.51	5.54	5.51	5.47	5.51	5.51	5.48	5.47	5.48	5.51	5.44	5.51	5.50
Al ^{IV}	2.49	2.48	2.49	2.46	2.49	2.53	2.49	2.49	2.52	2.53	2.52	2.49	2.56	2.49	2.50
Al ^{VI}	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.00
Ti	0.42	0.43	0.42	0.42	0.43	0.43	0.42	0.41	0.44	0.44	0.44	0.41	0.41	0.41	0.49
Fe2+	3.41	3.39	3.40	3.36	3.35	3.37	3.26	3.21	3.22	3.23	3.22	3.21	3.04	3.19	3.18
Mn	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.11	0.10	0.09	0.05	0.05	0.09	0.08	0.05	0.05
Mg	1.56	1.57	1.60	1.59	1.59	1.62	1.77	1.83	1.88	1.92	1.88	1.83	1.88	1.83	2.89
Li c	0.32	0.33	0.31	0.39	0.37	0.27	0.36	0.33	0.28	0.53	0.58	0.36	0.28	0.53	0.58
somma Tx	5.94	5.95	5.96	5.98	5.96	5.92	6.02	5.97	6.20	6.20	6.19	6.02	5.97	6.20	6.19
Ca	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Na	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
K	1.93	1.93	1.92	1.92	1.93	1.96	1.86	1.96	1.94	1.85	1.81	1.96	1.94	1.85	1.81
somma Ty	1.95	1.95	1.93	1.94	1.94	1.97	1.87	1.97	1.95	1.89	1.86	1.97	1.95	1.89	1.86
OH	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Calcolo dei parametri classificativi															
Tca	15.89	15.88	15.88	15.91	15.90	15.89	15.89	15.94	15.92	16.09	16.04	15.94	15.92	16.09	16.04
mgli	1.24	1.24	1.29	1.20	1.22	1.35	1.41	1.50	1.60	2.40	2.31	1.50	1.60	2.40	2.31
feal	3.79	3.79	3.78	3.75	3.74	3.76	3.69	3.63	3.71	2.75	2.72	3.63	3.71	2.75	2.72
I.E.	0.69	0.69	0.69	0.68	0.68	0.68	0.66	0.64	0.64	0.44	0.44	0.66	0.64	0.44	0.44
mg#	0.31	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.35	0.36	0.37	0.57	0.57	0.36	0.37	0.57	0.57
Mica-group	I:Mg-Fe														
Mica name	Fe,biotite														
Sample	UTf05	UTf05b	UT1	UT2	UT3	UT6	UT7	UT8	UT9	UT22	UT23	UT9	UT22	UT23	UT9
Si	5.51	5.51	5.48	5.48	5.47	5.54	5.55	5.50	5.50	5.44	5.51	5.50	5.44	5.51	5.48
Al ^{IV}	2.49	2.49	2.52	2.52	2.53	2.46	2.46	2.50	2.50	2.56	2.49	2.50	2.56	2.49	2.52
Al ^{VI}	0.07	0.08	0.14	0.12	0.09	0.10	0.13	0.15	0.15	0.11	0.11	0.15	0.11	0.11	0.07
Ti	0.42	0.42	0.41	0.41	0.45	0.44	0.44	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.44
Fe2+	3.19	3.26	2.90	2.93	3.04	2.91	2.87	2.82	2.82	3.04	3.19	3.20	3.04	3.19	3.20
Mn	0.09	0.09	0.08	0.07	0.08	0.07	0.08	0.06	0.06	0.08	0.09	0.06	0.08	0.09	0.10
Mg	1.88	1.78	2.11	2.10	1.99	2.05	2.01	2.13	2.13	2.05	1.83	2.05	2.05	1.83	1.85
Li c	0.32	0.32	0.39	0.42	0.37	0.46	0.48	0.41	0.41	0.34	0.35	0.41	0.34	0.35	0.41
somma Tx	5.97	5.96	6.01	6.05	6.01	6.03	6.01	5.99	6.03	6.03	5.98	5.99	6.03	5.98	5.93
Ca	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01
Na	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01
K	1.94	1.94	1.89	1.89	1.89	1.88	1.85	1.95	1.95	1.91	1.94	1.95	1.91	1.94	1.95
somma Ty	1.95	1.96	1.92	1.90	1.90	1.88	1.90	1.96	1.96	1.91	1.95	1.96	1.91	1.95	1.97
OH	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Calcolo dei parametri classificativi															
Tca	15.93	15.92	15.94	15.95	15.90	15.91	15.90	15.95	15.94	15.92	15.89	15.95	15.94	15.92	15.89
mgli	1.56	1.46	1.72	1.68	1.62	1.59	1.53	1.72	1.71	1.48	1.59	1.72	1.71	1.48	1.59
feal	3.63	3.70	3.25	3.29	3.47	3.32	3.14	3.26	3.42	3.58	3.67	3.14	3.42	3.58	3.67
I.E.	0.64	0.65	0.59	0.59	0.61	0.59	0.60	0.57	0.60	0.60	0.64	0.57	0.60	0.60	0.64
mg#	0.37	0.35	0.42	0.42	0.40	0.41	0.40	0.43	0.40	0.36	0.37	0.43	0.40	0.36	0.37
Mica-group	I:Mg-Fe														
Mica name	Fe,biotite														

Tab. 2. Analisi EPMA di Capo Testa, La Marmorata e Uthina calcolate mediante il programma LIMICA (YAVUZ 2011). Cationi normalizzati secondo 22 ossigeni. Mgli = Mg - Li; Feal = Fetot + Mn + Ti - Al VI, IE = indice di arricchimento in ferro (Fe + Mn)/(Fe + Mn + Mg); mg# (numero di magnesio) = Mg/[(Mg + Fe2+ + (Fe3+)].

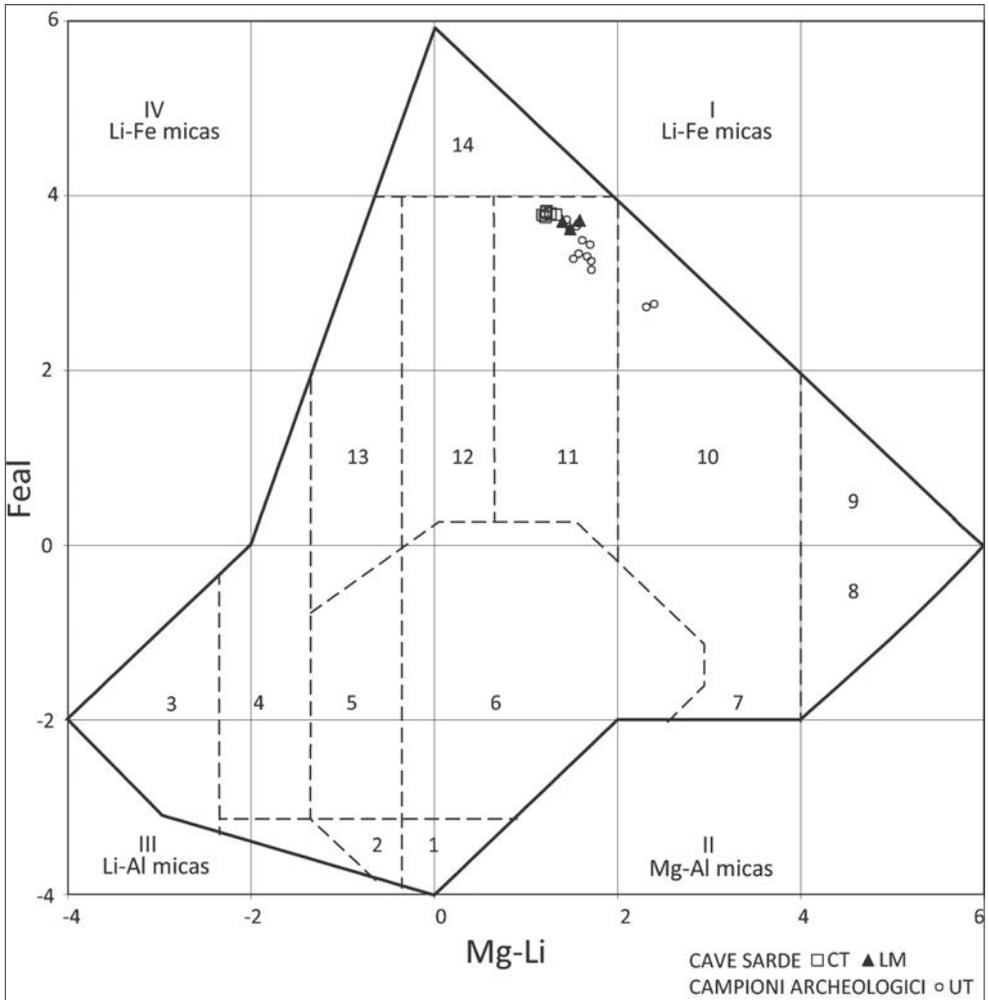


FIG. 13. Diagramma classificativo delle miche secondo Yavuz (2001) 1. Muscovite, 2. Li Muscovite, 3. Lepidolite, 4. Zinwaldite, 5. Li Phengite, 6. Phengite, 7. Alluminio-Mg Biotite, 8. Alluminio-Phlogopite, 9. Phlogopite, 10. Mg Biotite, 11. Fe Biotite, 12. Siderophyllite, 13. Protolithyonite, 14. Lepidomelano.

Nella Figura 15 sono riportati i diagrammi di variazione delle percentuali di alcuni ossidi principali in funzione della percentuale in TiO_2 . Il Titanio è stato impiegato come indice di frazionamento poiché è normalmente un elemento poco mobile tra gli elementi maggiori e quindi idoneo a valutarne la mobilità.

In tutti i diagrammi esposti si può osservare come si costituiscono due gruppi distinti di campioni in relazione ai contenuti in TiO_2 . Un primo gruppo, meno disperso, è

caratterizzato da contenuti in TiO_2 compresi tra 0.25 e 0.33% e comprende i campioni dei siti sardi di estrazione di sigla CT e LM, ai quali si aggiungono ancora i campioni archeologici di Uthina siglati UTF05B, UT22 e UT23 che, come già sopra osservato e rappresentato nei diagrammi di Abdel-Rahman (*op. cit.*), contengono biotiti di composizione sovrapponibile a quelle della serie LM; il secondo gruppo, con contenuti in TiO_2 compresi tra 0.340% e 0.54%, è rappresentato dai restanti campioni di Uthina (UT1, UT2, UT6,

	CT10	CT11	CT12	LM30	LM31	UT1	UT2	UTF05B	UT6	UT7	UT8	UT9	UT22	UT23
SiO ₂	73.80	73.85	74.02	73.83	72.80	67.69	68.51	69.08	66.26	68.41	72.14	66.03	71.92	75.02
TiO ₂	0.25	0.28	0.30	0.28	0.30	0.46	0.41	0.33	0.54	0.39	0.42	0.45	0.30	0.32
Al ₂ O ₃	12.62	12.54	12.30	12.42	13.08	14.71	14.11	15.10	14.88	15.01	12.16	15.41	13.40	11.38
Fe ₂ O ₃	0.56	0.72	0.46	0.18	0.89	1.00	1.39	1.13	0.67	0.53	0.66	1.21	1.13	0.68
FeO	1.50	1.60	1.90	2.10	1.50	2.80	2.20	1.80	3.70	2.50	2.70	2.60	1.50	2.00
MnO	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.09	0.09	0.08	0.10	0.07	0.08	0.11	0.07	0.06
MgO	0.45	0.51	0.59	0.67	0.77	1.33	1.18	0.80	1.53	1.04	1.15	1.40	0.75	0.76
CaO	1.76	1.60	1.99	2.18	2.70	3.67	3.58	2.82	3.81	3.40	3.13	4.01	2.56	2.35
Na ₂ O	3.08	2.96	2.91	3.02	3.39	3.40	3.33	3.81	3.40	3.42	2.94	3.49	3.22	2.92
K ₂ O	3.80	4.16	3.78	3.17	2.50	2.73	2.50	3.26	2.77	3.24	2.07	2.72	3.36	2.16
P ₂ O ₅	0.09	0.09	0.10	0.09	0.09	0.14	0.12	0.09	0.15	0.11	0.12	0.10	0.09	0.10
LOI	0.67	0.38	0.77	0.61	0.66	0.91	0.96	0.67	0.76	0.73	1.00	0.96	0.80	0.96
Total	98.81	98.95	99.40	98.87	98.93	99.26	98.65	99.18	99.00	99.16	98.89	98.81	99.29	98.97
<i>norma molecolare</i>														
Q	34.64	34.27	34.78	35.58	34.39	25.04	28.25	25.06	22.34	24.56	35.98	22.44	31.63	41.01
Or	23.14	25.32	22.94	19.33	15.19	16.48	15.22	19.60	16.78	19.54	12.67	16.45	20.33	13.24
Ab	28.49	27.38	26.83	27.98	31.29	31.19	30.80	34.80	31.29	31.33	27.35	32.08	29.60	27.19
An	8.39	7.57	9.47	10.56	13.17	17.20	16.67	13.64	17.60	16.38	14.38	18.80	12.40	11.42
C	0.52	0.54	0.05	0.31	0.12	0.00	0.00	0.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.24
Dwo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19	0.33	0.00	0.31	0.04	0.36	0.36	0.00	0.00
Den	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.20	0.00	0.15	0.02	0.18	0.21	0.00	0.00
DFs	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.13	0.00	0.16	0.02	0.18	0.15	0.00	0.00
En	1.28	1.45	1.67	1.91	2.19	3.65	3.15	2.25	4.18	2.91	3.11	3.75	2.12	2.18
Fs	1.72	1.72	2.35	2.92	1.42	3.12	1.95	1.70	4.62	3.11	3.20	2.65	1.26	2.36
Mt	0.60	0.78	0.49	0.19	0.96	1.07	1.50	1.20	0.72	0.57	0.72	1.30	1.21	0.74
Il	0.36	0.40	0.43	0.40	0.43	0.66	0.59	0.47	0.77	0.55	0.61	0.64	0.43	0.46
Ap	0.20	0.38	0.22	0.20	0.20	0.31	0.26	0.20	0.33	0.24	0.27	0.22	0.20	0.22
ANOR	26.62	23.02	29.22	35.32	46.44	51.06	52.28	41.04	51.20	45.60	53.16	53.33	37.90	46.31
Q'	36.59	36.25	36.99	38.07	36.58	27.85	31.06	26.92	25.39	26.76	39.81	25.00	33.66	44.17
P	-50.1	-35.7	-49.1	-69.0	-104.5	-117.2	-118.2	-104.0	-118.8	-102.2	-106.7	-126.4	-69.0	-104.5
Q	208.4	206.8	212.8	218.9	209.3	164.2	177.0	157.5	153.7	159.9	224.2	148.3	218.9	209.3
A/NK	1.375	1.338	1.386	1.479	1.580	1.721	1.725	1.542	1.733	1.644	1.719	1.775	1.500	1.594
ACNK	1.029	1.030	0.994	1.014	1.000	0.977	0.970	1.019	0.970	0.989	0.964	0.972	0.994	1.008

TAB. 3. Analisi XRF degli elementi maggiori (% ossidi in peso) di campioni selezionati.
 CT: Cave di Capo Testa; LM: Cave di La Marmorata; UT: campioni dal sito archeologico di Uthina.
 Norma molecolare secondo Niggli e parametri petrografici classificativi.

UT7, UT8, UT9) ed è sensibilmente più disperso, come del resto già risultava nei diagrammi di Abdel-Rahman (*op. cit.*) delle biotite.

Con l'aumento della concentrazione in TiO₂ nei grafici degli ossidi Fe₂O_{3tot}, MgO e CaO si osserva una buona correlazione positiva probabilmente da mettere in relazione alla comparsa e/o all'aumento, oltre la biotite, di altri minerali femici, verosimilmente anfiboli, passando dai campioni del primo a quelli del secondo gruppo.

Per quanto riguarda i diagrammi di varia-

zione degli ossidi Na₂O e K₂O non traspare alcuna significativa correlazione, mentre per il diagramma di SiO₂ si nota una leggera correlazione negativa con diminuzione della concentrazione in silice passando dal primo al secondo gruppo.

In ogni caso i campioni del secondo gruppo hanno un contenuto più elevato degli ossidi Fe₂O_{3tot}, MgO e CaO, mentre la concentrazione di SiO₂, eccetto che per il campione UT8, è più bassa.

Altro criterio distintivo tra i due gruppi è messo in evidenza dal diagramma di Figura

	CT10	CT11	CT12	LM30	LM31	UT1	UT2	UTF05B	UT6	UT7	UT8	UT9	UT22	UT23
Li	66.6	49.6	63.6	44.1	37.5	33.5	29.3	43.9	34.7	26.6	27.0	70.2	40.0	41.8
V	17.0	18.0	28.0	30.0	16.0	38.0	28.0	14.0	68.0	44.0	48.0	54.0	28.0	32.0
Cr	7.5	4.8	13.3	12.6	5.4	8.3	11.8	7.9	11.0	10.8	9.7	9.3	9.4	7.5
Mn	329.0	342.0	397.0	447.0	387.0	571.0	592.0	493.0	696.0	524.0	545.0	757.0	473.0	497.0
Fe	1.6	1.8	1.9	1.8	1.6	2.9	2.7	2.0	3.0	2.3	2.6	2.9	1.9	2.0
Hf	1.8	1.9	1.3	1.6	1.2	1.2	0.9	1.2	1.5	1.5	1.9	0.4	1.6	2.2
Er	2.4	2.4	3.0	2.2	2.1	2.1	2.2	2.4	1.6	1.2	1.8	1.6	2.2	2.2
Be	3.7	2.5	3.5	2.9	2.9	2.7	2.7	2.4	2.3	2.2	1.9	2.1	2.3	2.7
Ho	0.9	0.9	1.0	0.7	0.7	0.7	0.7	0.8	0.5	0.4	0.6	0.5	0.8	0.7
Cs	4.7	3.7	4.7	2.0	2.0	2.4	2.0	2.4	2.1	2.5	2.2	4.9	2.1	2.3
Co	2.6	2.6	3.3	3.4	3.3	7.3	6.5	4.2	8.1	5.3	6.0	8.0	3.6	3.8
Eu	0.8	0.8	0.9	0.7	0.7	0.8	0.9	0.8	0.5	0.6	0.8	0.8	0.7	0.6
Se	0.5	<0.1	1.0	0.9	0.5	0.8	0.8	0.6	0.8	<0.1	<0.1	0.5	0.2	<0.1
Zn	46.1	44.8	57.2	49.3	40.5	65.2	65.1	45.9	70.6	51.6	57.9	78.4	42.5	51.6
Ga	14.9	17.0	23.3	18.8	12.7	17.1	18.2	15.7	18.0	17.2	15.3	17.9	13.9	16.3
Rb	121.0	103.0	134.0	119.0	99.1	105.0	84.5	126.0	52.3	64.1	66.7	84.7	89.8	74.6
Y	22.4	21.6	30.6	21.8	18.5	20.2	20.6	24.2	11.9	10.5	15.6	15.5	19.6	20.5
Sr	124.0	98.7	161.0	160.0	154.0	209.0	206.0	157.0	184.0	160.0	145.0	229.0	139.0	118.0
Zr	56.0	50.0	51.0	55.0	34.0	47.0	35.0	33.0	58.0	48.0	55.0	13.0	48.0	61.0
Nb	5.2	4.4	6.0	5.0	0.7	4.0	1.6	0.6	10.4	5.4	6.0	7.2	7.7	7.5
Ba	643.0	507.0	824.0	695.0	413.0	545.0	547.0	402.0	572.0	559.0	339.0	387.0	657.0	284.0
La	40.0	32.9	43.0	25.9	21.4	33.4	23.0	33.3	14.0	6.2	27.8	25.1	28.4	23.8
Ce	81.1	73.2	90.7	56.1	47.0	66.8	46.5	66.6	33.4	13.0	56.6	46.4	59.5	50.9
Pr	8.9	8.2	10.2	6.2	4.8	7.1	5.4	7.3	3.5	1.7	6.5	4.9	6.2	5.8
Nd	31.5	30.4	37.1	21.9	16.2	23.5	19.3	25.6	12.3	7.3	23.4	16.6	22.2	21.5
Sm	6.3	6.4	7.2	4.3	3.4	4.4	4.1	4.9	2.5	1.9	4.4	3.2	4.4	4.4
Gd	5.5	5.7	5.9	3.7	3.3	3.9	3.6	4.4	2.3	2.1	3.8	3.0	4.3	4.0
Tb	0.8	0.8	0.9	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.4	0.3	0.5	0.4	0.6	0.6
Dy	4.4	4.4	5.0	3.3	3.4	3.5	3.3	4.2	2.4	2.1	3.0	2.6	3.8	3.5
Tm	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.2	0.3	0.3
Yb	2.1	2.5	2.7	2.1	1.9	2.0	2.1	2.2	1.5	1.2	1.9	1.4	2.1	2.3
Lu	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.2	0.3	0.4
Pb	23.8	24.7	25.8	21.7	17.6	14.5	20.0	21.8	15.0	18.8	14.0	27.9	19.4	16.6
Sc	6.0	7.0	7.0	6.0	5.0	11.0	10.0	8.0	9.0	6.0	9.0	8.0	7.0	6.0
Th	16.2	16.5	17.3	13.5	12.1	11.6	7.9	13.9	4.6	2.7	14.1	10.4	12.9	12.8
U	4.2	3.7	2.3	2.5	2.3	3.1	1.8	2.5	1.8	1.0	3.2	2.0	1.9	3.6

TAB. 4. Analisi ICP/ICP-MS di elementi in traccia (ppm) di campioni selezionati dalle cave. CT: cave di Capo Testa; LM: cave di La Marmorata; UT: campioni dal sito archeologico di Uthina.

16 dove è possibile osservare che alcuni punti rappresentativi del primo gruppo di granitoidi (CT10, CT11, LM30, UTF05B, UT23) hanno valori dell'indice ASI (SHAND 1943) di poco superiori all'unità e quindi debolmente peralluminosi, mentre altri (CT12, LM31, UT22), con valori dell'indice ASI strettamente più prossimi all'unità, sono sostanzialmente alluminosaturi. Il secondo gruppo ricade francamente nel campo metalluminoso

e in tutti i campioni di questo gruppo, come già detto, compaiono anfibioli in quantità più abbondanti relegati, invece, allo stato di accessori oppure del tutto assenti nel primo gruppo. Tutto ciò in accordo con i dati di norma molecolare di Tabella 3 dove si può osservare che i campioni definiti peralluminosi mediamente esprimono, anche se in piccole quantità, corindone normativo al contrario di quelli definiti metalluminosi che non ne

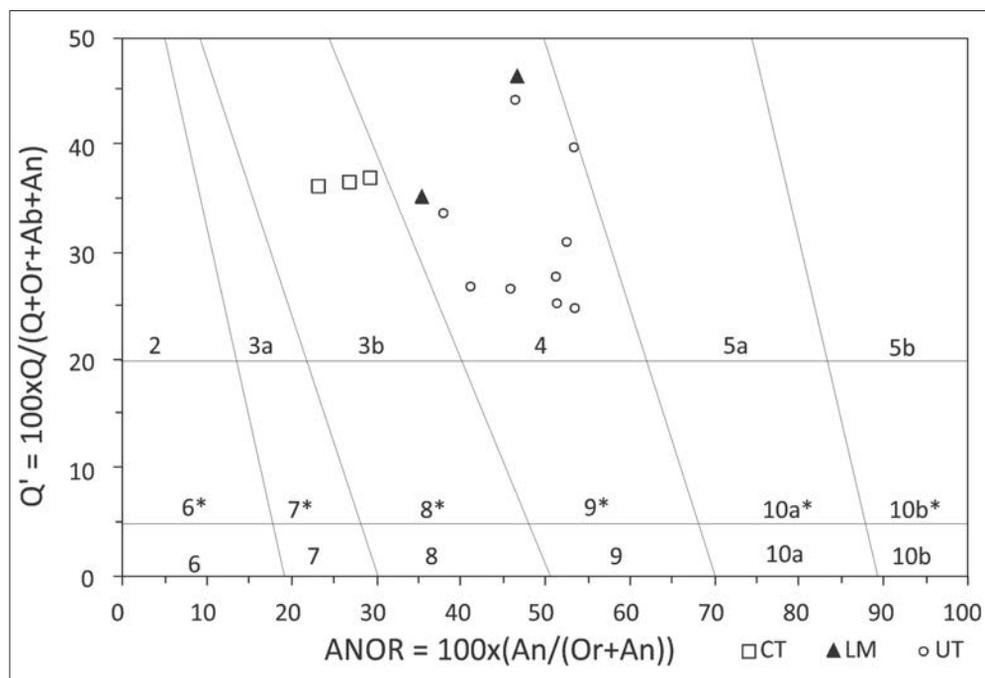


FIG. 14. Diagramma classificativo delle rocce ignee secondo Streckeisen, Le Maitre (1979).
3b. Monzograniti, 4. Granodioriti.

esprimono affatto o al massimo ne esprimono qualche punto centesimale, queste ultime quantità non significative da mettere verosimilmente in relazione all'imprecisione analitica. Ancora i campioni peralluminosi non mostrano clinopirosseno normativo ed esprimono quantità modeste di ortopirosseno; quelli metalluminosi invece esprimono quantità più importanti sia di clino che di ortopirosseno.

I diagrammi delle REE, normalizzate alla condrite (SUN, McDONOUGH 1989), dei 14 campioni selezionati di granitoidi analizzati sono riportati nella Figura 17A, B e C.

Nella Figura 17A sono rappresentati i campioni di monzogranito della serie CT e i campioni di granodiorite della serie LM provenienti dall'area di Capo Testa e La Marmorata rispettivamente. Le curve spezzate di dispersione delle REE sono abbastanza simili, sub-parallele, con pendenze leggermente differenti: in media $(La/Yb)_N$ pari a 11.49 per la serie CT e a 8.44 per la serie LM. Evidente è un generale arricchimento in

LREE e uno più moderato in HREE con contenuti di ciascun elemento raro costantemente più elevati nella serie CT rispetto alla serie LM; l'anomalia negativa in Eu, sempre presente, è più importante per la serie CT (Eu/Eu^* mediamente uguale a 0.39) che per la serie LM (Eu/Eu^* mediamente uguale a 0.58). Tra i *patterns* delle due serie si stabilisce così, in aggiunta a quanto già evidenziato per le differenze compositive della biotite e per la classificazione petrografica, un'altra caratteristica sensibile che distingue queste due litologie simili di granitoidi che appartengono allo stesso distretto magmatico.

Nella Figura 17B i tracciati di dispersione delle REE dei campioni di granodiorite UTF05B, UT22 e UT23 delle colonne di Uthina mostrano evidenti similitudini ed anche sovrapposizioni con i *patterns* delle granodioriti LM30 e LM31 delle cave romane dell'Isola di La Marmorata. Queste caratteristiche petrochimiche evidenziate dai diagrammi *spider*, aggiunte ai diagrammi di dispersione degli ossidi maggiori (FIG. 15), alla

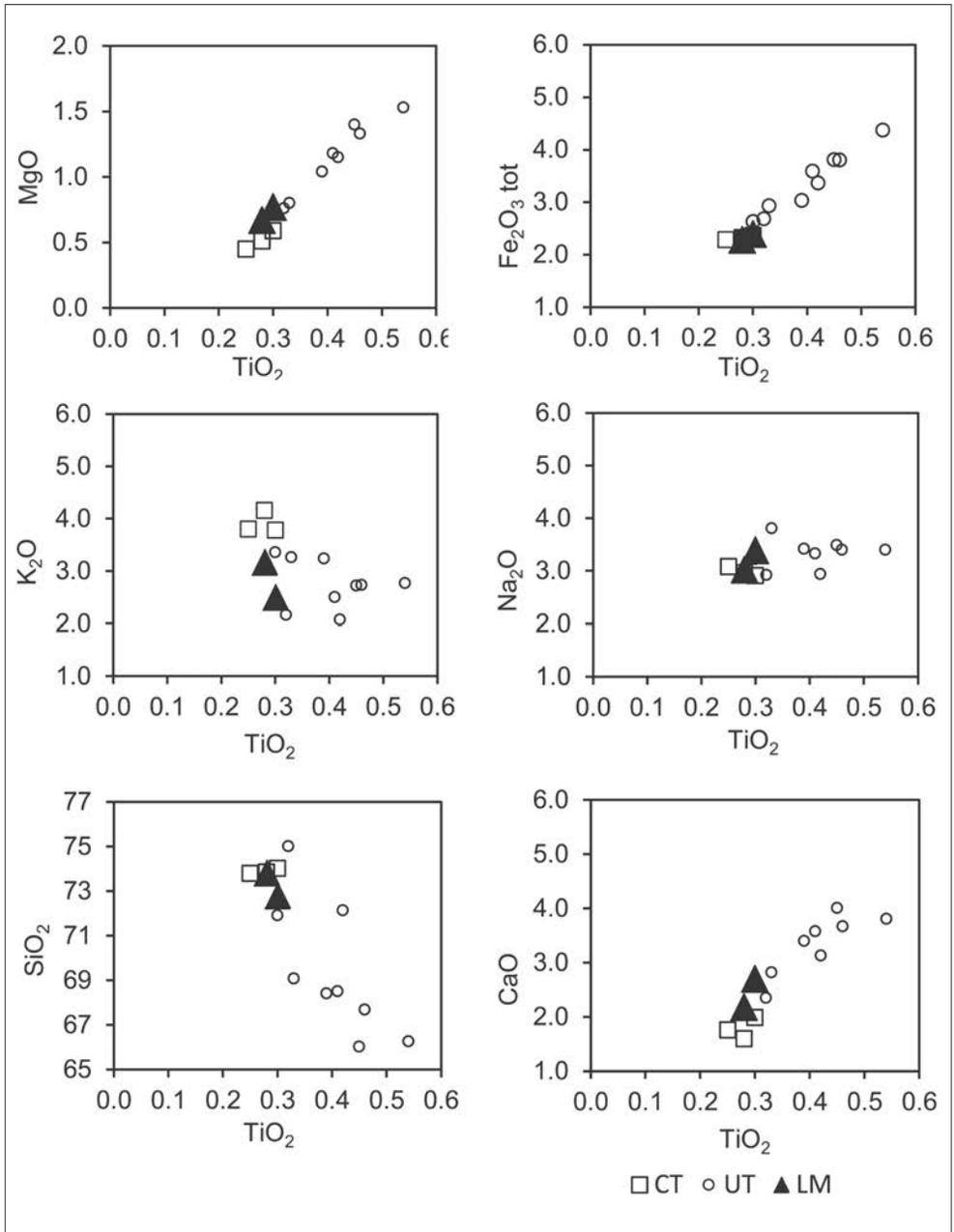


FIG. 15. Diagrammi di variazione delle percentuali di alcuni ossidi principali in funzione della percentuale in TiO₂.

minerochimica delle biotiti contenute e alle evidenze petrografiche di macro, meso e microscala, sembrano sufficienti a introdurre tra questi campioni una relazione magmati-

ca parentale molto stretta, e a rendere molto probabile una loro origine comune verosimilmente anche geografica.

Per quanto riguarda i restanti campioni

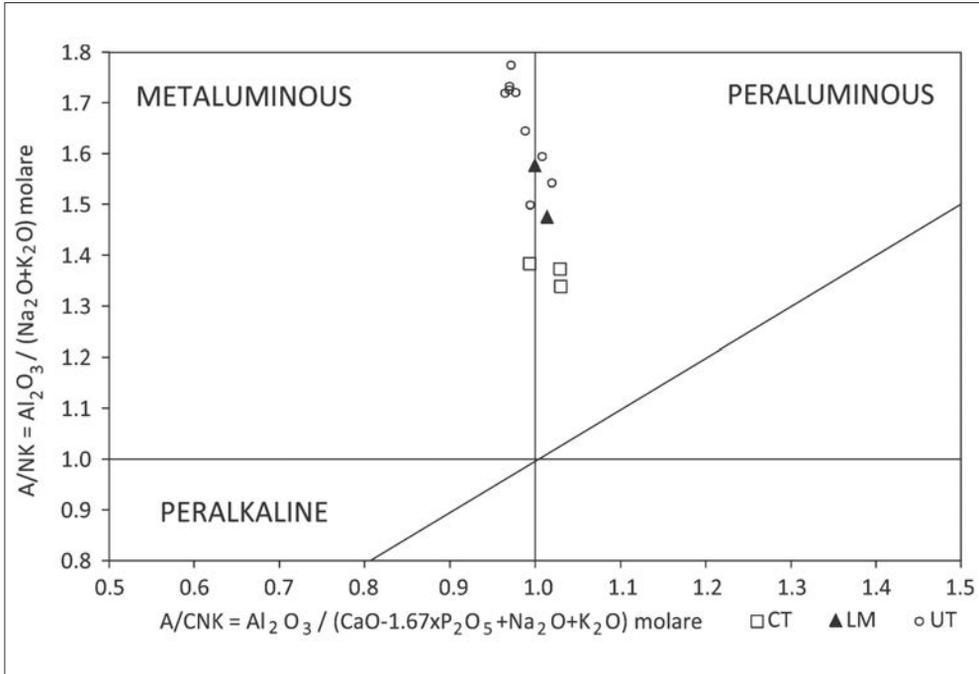


FIG. 16. Diagramma classificativo delle rocce ignee secondo Shand (1943).

provenienti dalle colonne di Uthina si può trarre, osservando la Figura 17C, che i diagrammi di dispersione delle REE sono molto più articolati e dispersi di quanto si è visto nei casi precedenti. L'anomalia negativa in Eu è praticamente assente nel campione UT7 con un rapporto $\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0.97$; negli altri campioni si hanno valori variabili compresi tra 0.58 (UT8) e 0.73 (UT9) e valori di pendenza $(\text{La}/\text{Yb})_N$ dei *patterns* delle REE compresi tra il minimo 3.69 di UT7 e il massimo 12.91 di UT9. Tutte queste considerazioni, unitamente ad altre caratteristiche petrochimiche e alla mineralogica delle biotiti contenute, non depongono, per questi campioni, a favore di relazioni magmatiche parentali certe e verosimilmente di correlazioni con i campioni delle cave romane né di Capo Testa né di La Marmorata.

Ai risultati dello studio mineralogico e petrochimico sopra riportati, si aggiunge anche la similitudine del parametro geometrico (diametro) delle colonne di Uthina (UTF05B-UT22-UT23), compreso tra 42 e 45 cm, con quello rilevato direttamente nelle

colonne ancora presenti nel *locus* estrattivo di Marmorata che, mediamente, hanno un diametro compreso tra i 40 e i 55 cm; questo in sintonia con quanto rilevato anche da altri autori (POGGI, LAZZARINI 2005; WILLIAMS-THORPE 2008).

CONCLUSIONI

I risultati delle indagini petrochimiche e mineralogiche hanno permesso di individuare per i tre campioni di colonne grigio-rosate di Uthina (UTF05B-UT22-UT23) una stretta similitudine con i campioni di cava del Nord Sardegna e, specificatamente, con quelli del *loco* estrattivo dell'isola di La Marmorata. Questo a conferma della diffusione, nel corso dei secoli II-III d.C., del granito sardo in un ambito ben più vasto di quello regionale, in accordo con quanto già osservato per numerosi manufatti in granito rinvenuti in monumenti dell'antica Roma (POGGI, LAZZARINI 2005; WILLIAMS-THORPE 2008) e per altri provenienti da alcune città romane del Nord Africa (POGGI, LAZZARINI 2005).

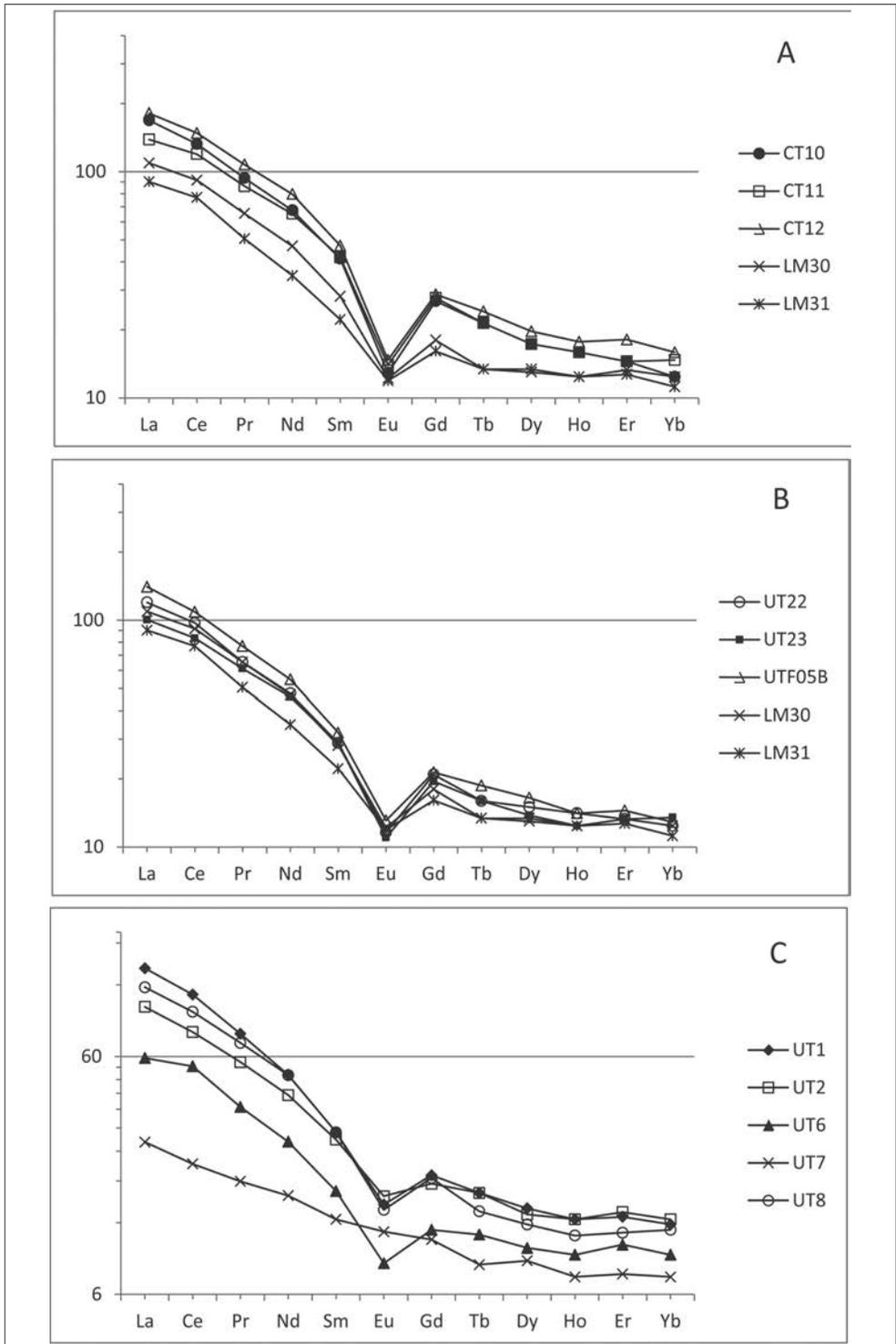


FIG. 17. Diagrammi delle REE, normalizzate alla condrite secondo Sun, McDonough (1989).

BIBLIOGRAFIA

- ABDEL-RAHMAN A. M. 1994, *Nature of biotites from Alkaline, Calc-alkaline, and Peraluminous Magmas*, «Journal of Petrology», 35, 2, 525-541.
- AGUS M., GARBARINO C., LAZZARINI L., TURI B. 2007, *I marmi bianchi di Uthina: indagine archeometrica sui reperti provenienti dal settore di scavo*, in G. Sotgiu, H. Ben Hassen, A. M. Corda (a cura di), *Scavi archeologici ad Uthina (2001-2007)*, 2 voll., Ortacesus (CA)-Tunis: 1, 359-374.
- AGUS M., CARA S., LAZZARINI L., CORDA A. M. 2007, *I marmi colorati di Uthina*, in G. Sotgiu, H. Ben Hassen, A. M. Corda, *Scavi archeologici ad Uthina (2001-2007)*, 2 voll., Ortacesus (CA)-Tunis: 1, 375-394.
- BEN HASSEN H., MAURIN L. 2004, *Oudhna (Uthina) colonie de vétérans de la XIII^e légion. Histoire, urbanisme, fouilles et mise en valeur des monuments*, Santander (AUSONIUS, MAISON DE L'ARCHÉOLOGIE, «Mémoires», 13), 23-45.
- BESCHAOUCH A. 2004, *L'histoire de la colonie: inscription nouvelles*, in *Oudhna (Uthina) colonie de vétérans de la XIII^e légion. Histoire, urbanisme, fouilles et mise en valeur des monuments*, Santander (AUSONIUS, MAISON DE L'ARCHÉOLOGIE, «Mémoires», 13), 15-22.
- BRALIA A., GHEZZO C., GUASPARRI G., SABATINI G., *Aspetti genetici del batolite sardo-corso*, «Rendiconti Società Italiana di Mineralogia e Petrografia», 38, 2, 701-764.
- BRUNO M. 2002, *Il mondo delle cave in Italia: considerazioni su alcuni marmi e pietre usati nell'antichità*, in M. De Nuccio, L. Ungaro (a cura di), *I marmi colorati della Roma imperiale*, Veggiano (PD), 277-289.
- DE ALBUQUERQUE C. A. R. 1971, *Petrochemistry of a series of granitic rocks from northern Portugal*, «The Geological Society of America Bulletin», 82, 2783-2798.
- DE ALBUQUERQUE C. A. R. 1973, *Geochemistry of biotites from granitic rocks, northern Portugal*, «Geochimica Cosmochimica Acta», 37, 1779-1802.
- DEBON, F., LE FORT P. 1983, *A chemical-mineralogical classification of common plutonic rocks and associations*, «Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh», 73, 135-149.
- DE VECCHI G., LAZZARINI L., LUNEL T., MIGNUCCI A., VISONÀ D. 2000, *The genesis and characterisation of 'Marmor Misium' from Kozak (Turkey), a granite used in antiquity*, «Journal of Cultural Heritage», 1, 145-153.
- MACCIONI L., OPPI G., ROSSETTI V. 1968, *Osservazioni geopetrografiche sui graniti di Capo Testa (Sardegna Settentrionale)*, «Resoconti della Associazione Mineraria Sarda», 73, 70-86.
- NACHIT H., IBHI A., ABIA E. H., BEN OHOUD M. 2005, *Discrimination between primary magmatic biotites, reequilibrated biotites and neoformed biotites*, «Comptes Rendus Geoscience», 3337, 1415-1420.
- POGGI D., LAZZARINI L. 2005, *Il granito sardo: cave e cavatura, usi, diffusione e aspetti archeometrici*, «Marmorata», 1, 49-68.
- SHAND S. J. 1943, *The Eruptive Rocks*, 2nd edn., New York.
- STRECKEISEN A. L., LE MAITRE R. W. 1979, *Chemical approximation to the modal QAPF classification of the igneous rocks*, «Neues Jahrbuch für Mineralogie-Abhandlungen», 136, 169-206.
- SUN S. S., McDONOUGH W. F. 1989, *Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes*, London («Geological Society of London Special Publications», 42), 313-345.
- WILLIAMS-THORPE O., RIGBY I. J. 2006, *Roman granites of Sardinia: geochemical and magnetic characterisation of columns and quarries, and comments on distributions in the Mediterranean area*, «Marmorata», 2, 83-112.
- WILLIAMS-THORPE O. 2008, *A thousand and one columns: observations on the Roman granite trade in the Mediterranean area*, «Oxford Journal of Archaeology», 27, 1, 73-89.
- YAVUZ F. 2001, *LIMICA: a program for estimating Li from electron-microprobe mica analyses and classifying trioctahedral micas in terms of composition and octahedral site occupancy*, «Computer & Geosciences», 27, 215-227.

COMPOSTO IN CARATTERE DANTE MONOTYPE DALLA
FABRIZIO SERRA EDITORE, PISA · ROMA.
STAMPATO E RILEGATO NELLA
TIPOGRAFIA DI AGNANO, AGNANO PISANO (PISA).

★

Febbraio 2015

(CZ 3 · FG 22)



Tutte le riviste Online e le pubblicazioni delle nostre case editrici
(riviste, collane, varia, ecc.) possono essere ricercate bibliograficamente e richieste
(sottoscrizioni di abbonamenti, ordini di volumi, ecc.) presso il sito Internet:

www.libraweb.net

Per ricevere, tramite E-mail, periodicamente, la nostra newsletter/alert con l'elenco
delle novità e delle opere in preparazione, Vi invitiamo a sottoscriverla presso il nostro sito
Internet o a trasmettere i Vostri dati (Nominativo e indirizzo E-mail) all'indirizzo:

newsletter@libraweb.net

★

Computerized search operations allow bibliographical retrieval of the Publishers' works
(Online journals, journals subscriptions, orders for individual issues, series, books, etc.)
through the Internet website:

www.libraweb.net

If you wish to receive, by E-mail, our newsletter/alert with periodic information
on the list of new and forthcoming publications, you are kindly invited to subscribe it at our
web-site or to send your details (Name and E-mail address) to the following address:

newsletter@libraweb.net

Rivista annuale · *A yearly Journal*

*

Indirizzo redazione scientifica · *Scientific Committee Address*
LORENZO LAZZARINI · L.A.M.A. (Dip. di Storia dell'Architettura),
Università I.U.A.V., San Polo 2468, I 30125 Venezia, tel. + 39 041 2571413, -459,
fax +39 041 2571434, lorenzo@iuav.it

*

Amministrazione e abbonamenti · *Administration & Subscriptions*

FABRIZIO SERRA EDITORE®, Pisa · Roma

Casella postale n. 1, Succursale n. 8, I 56123 Pisa,
tel. +39 050 542332, fax +39 050 574888, fse@libraweb.net

Uffici di Pisa: Via Santa Bibbiana 28, I 56127 Pisa, fse@libraweb.net

Uffici di Roma: Via Carlo Emanuele I 48, I 00185 Roma,
tel. +39 06 70493456, fax +39 06 70476605, fse.roma@libraweb.net

I prezzi ufficiali di abbonamento cartaceo e/o Online sono consultabili
presso il sito Internet della casa editrice www.libraweb.net.

*Print and/or Online official rates are available
at Publisher's website www.libraweb.net.*

I pagamenti possono essere effettuati tramite versamento su c.c.p. n. 17154550
o tramite carta di credito (*American Express, Visa, Eurocard, Mastercard*).

*

Autorizzazione del Tribunale di Pisa n. 11 del 15 · 04 · 2005

Direttore responsabile: FABRIZIO SERRA

A norma del codice civile italiano, è vietata la riproduzione, totale o parziale (compresi estratti, ecc.), di questa pubblicazione in qualsiasi forma e versione (comprese bozze, ecc.), originale o derivata, e con qualsiasi mezzo a stampa o internet (compresi siti web personali e istituzionali, academia.edu, ecc.), elettronico, digitale, meccanico, per mezzo di fotocopie, pdf, microfilm, film, scanner o altro, senza il permesso scritto della casa editrice.

Under Italian civil law this publication cannot be reproduced, wholly or in part (included offprints, etc.), in any form (included proofs, etc.), original or derived, or by any means: print, internet (included personal and institutional web sites, academia.edu, etc.), electronic, digital, mechanical, including photocopy, pdf, microfilm, film, scanner or any other medium, without permission in writing from the publisher.

Proprietà riservata · All rights reserved

© Copyright 2015 by Fabrizio Serra editore®, Pisa · Roma.

Fabrizio Serra editore incorporates the Imprints *Accademia editoriale, Edizioni dell'Ateneo, Fabrizio Serra editore, Giardini editori e stampatori in Pisa, Gruppo editoriale internazionale* and *Istituti editoriali e poligrafici internazionali*.

Stampato in Italia · Printed in Italy

www.libraweb.net

ISSN 1824-6214

ISSN ELETTRONICO 1826-8072

SOMMARIO

SUSAN KANE, <i>Necrology: Norman Herz (1923-2013)</i>	11
LORENZO LAZZARINI, <i>Norman Herz, un ricordo personale</i>	15

SAGGI

JAMES A. HARRELL, PER STOREMYR, <i>Limestone and sandstone quarrying in ancient Egypt: tools, methods, and analogues</i>	19
AMEUR YOUNÈS, <i>Les marbres des thermes de Ruspina (Henchir Tennir, Monastir, Tunisie)</i>	45
MYRSINI VARTI-MATARANGAS, DIONYSIS MATARANGAS, <i>Ancient marble quarries in Lesvos Island (Greece): geological and petrographical characteristics</i>	53
ANTONIO MESISCA, LORENZO LAZZARINI, MONICA SALVADORI, <i>Studio ed analisi archeometrica degli elementi marmorei ritrovati nel ninfeo romano di Aeclanum (Mirabella Eclano, Avellino, Italia)</i>	73
MICHELE AGUS, STEFANO CARA, CARLO GARBARINO, CARLO MATZUZZI, <i>Studio di alcune colonne granitiche della città romana di Uthina (Tunisia) e sulle loro antiche cave del Nord Sardegna</i>	87
SILVIA MICHELUCCI, <i>Elementi architettonici marmorei di reimpiego nella chiesa di San Sisto in Pisa</i>	109

NOTE E DISCUSSIONI

LORENZO LAZZARINI, <i>Natura e origine della pietra del carico Bacàn 1 naufragato nel xv secolo alla bocca del Lido di Venezia</i>	131
--	-----

RECENSIONI

FILIPPO VENTURINI, <i>I mosaici di Cirene di età ellenistica e romana (Malacrino)</i>	143
Paolo Coen, Giovan Battista Fidanza (a cura di), <i>Le pietre rivelate. Lo studio di molte pietre di Pier Leone Ghezzi, Manoscritto 322 della Biblioteca Universitaria Alessandrina (Lazzarini)</i>	145