Università
degli
Studi
di Siena

CGT
Centro di GeoTecnologie

Convenzione Regione Toscana - Università di Siena

CARTA GIACIMENTOLOGICA DEI MARMI DELLE ALPI APUANE A SCALA 1:10.000 E SUA INFORMATIZZAZIONE

Relazione Finale

Responsabile della Convenzione: **L. CARMIGNANI** *
Direttori del Rilevamento: **P. CONTI** * , **M. MECCHERI** **
Rilevatori: **L. VASELLI** *, **S. MANCINI** *, **G. MASSA** *
Informatizzazione, banche dati e webgis: **L. VASELLI** *, **G. MASSA** *, **D. SIMONCINI** *

* Centro di GeoTecnologie, Università di Siena, San Giovanni Valdarno (AR)
** Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Siena, Siena

con contributi di

A. Criscuolo (Comune di Carrara)
L. Canessa, C. Masetti (Comune di Stazzema)
A. Tenerini (Comune di Seravezza)
A. Bartelletti, A. Amorfini, A. Spazzafumo (Parco delle Alpi Apuane)
G. Molli (Università di Pisa)
P. Blasi (Internazionale Marmi e Macchine)
L. Galeotti, L. Barsi (Consorzio Cosmave)
U. Ronchieri (Consorzio CAM)
A. Giannini, I. Rossi, L. Giuntini (GEOSER)

San Giovanni Valdarno, Marzo 2007

Via Vetri Vecchi, 34 - 52027 - San Giovanni Valdarno (AR)- Italy
Tel. +39 055 911.94.1
Fax +39 055 911.94.39
geotecnologie@unisi.it
C.F.: 80002070524 - P.iva: IT00273530527

www.geotecnologie.unisi.it

Sommario

1 Premessa 4

2 Introduzione. 5

3 Inquadramento geologico delle Alpi Apuane 11
3.1 Le Alpi Apuane e l'Appennino Settentrionale 11
3.2 Il Complesso metamorfico delle Alpi Apuane 11
3.2.1 Unità di Massa 13
3.2.2 "Autoctono" Auct. 14
3.3 Evoluzione tettonica del Complesso metamorfico delle Alpi Apuane . . 15
3.3.1 Strutture D1 16
3.3.2 Strutture D2 18
3.3.3 Relazioni tra metamorfismo e deformazione 20
3.3.4 Età della deformazione 20

4 I marmi delle Alpi Apuane 22
4.1 Caratteristiche geologico-strutturali dei marmi apuani 22
4.2 Caratteristiche microstrutturali dei marmi apuani 25
4.2.1 Microfabric Tipo-A 26
4.2.2 Microfabric Tipo-B 26
4.2.3 Microfabric Tipo-C 27
4.3 Evoluzione delle microstutture dei marmi apuani 28

5 Le varietà merceologiche e commerciali dei marmi delle Alpi Apuane . . . 30
5.1 Carte dei marmi apuani 30
5.2 Definizione di "varietà merceologica" 35
5.3 Le varietà merceologiche dei marmi delle Alpi Apuane 36
5.3.1 Marmi bianchi 39
5.3.1.1 Ordinario 39
5.3.1.2 Statuario 40
5.3.1.3 Bianco 40
5.3.2 Marmi grigi e venati 40
5.3.2.1 Grigio 42
5.3.2.2 Venato 42
5.3.2.3 Zebrino 43
5.3.3 Marmi brecciati 43
5.3.3.1 Arabescato 43
5.3.3.2 Calacatta 45
5.3.3.3 Breccia rossa 45
5.3.3.4 Fantastico 45
5.3.4 Marmi cipollini 47
5.3.4.1 Cipollino 47

5.3.5 Marmi storici 48
5.3.5.1 Breccia di Seravezza 48
5.3.5.2 Rosso rubino 48
5.3.5.3 Nero di Colonnata 49
5.4 Le varietà commerciali dei marmi delle Alpi Apuane. 50

6 I ravaneti delle Alpi Apuane 54
6.1 Caratteristiche generali dei ravaneti apuani 54
6.2 La Legenda della Carta delle Tipologie Merceologiche dei Ravaneti . . 56

7 La campagna di rilevamento e le carte tematiche prodotte. 58
7.1 La campagna di rilevamento 58
7.2 La Carta Giacimentologica degli Agri Marmiferi 60
7.3 La Carta Strutturale degli Agri Marmiferi. 65
7.4 La Carta delle Tipologie Merceologiche dei Ravaneti 65

8 La Banca dati GIS e la Banca dati Cave 67
8.1 Il Sistema Informativo Territoriale 67
8.2 La Banca dati GIS 67
8.2.1 Acquisizione dati e procedura di georeferenziazione 68
8.2.2 Digitalizzazione topologica, costruzione del geodatabase e stampa delle carte tematiche 69
8.3 La Banca dati Cave Alpi Apuane. 75
8.4 Sistema per la gestione in rete delle banche dati prodotte 79
8.4.1 ArcIMS 9 ESRI 79
8.4.2 Architettura client/server di ArcIMS 9 80
8.4.3 FGViewer 80

9 Bibliografia 83

ALLEGATI 88

A Elenco cave 89

1 Premessa

Questo documento rappresenta la Relazione Finale relativa alla Convenzione tra la REGIONE TOSCANA e l'UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI SIENA per la realizzazione della "CARTA GIACIMENTOLOGICA DEI MARMI DELLE ALPI APUANE A SCALA 1:10.000 E DELLA SUA INFORMATIZZAZIONE".
La Convenzione ha per obiettivo l'aggiornamento delle conoscenze geologico-tecniche degli agri marmiferi apuani finalizzato a una valorizzazione della risorsa lapidea di superficie e del sottosuolo, ad una minimizzazione dei costi ambientali, per gestire il passaggio in atto dalle cave di superficie alle cave in sotterraneo valorizzando la risorsa, minimizzando l'impatto ambientale e garantendo sicurezza alle maestranze.
La convenzione comprende attività finalizzate :

a) alla raccolta e aggiornamento dei dati geologico-tecnici sulla risorsa marmifera delle Alpi Apuane;
b) alla strutturazione e implementazione di un sistema informatizzato per una efficace gestione tecnica e amministrativa di questi dati territoriali;
c) a garantire una adeguata diffusione dei dati a mezzo stampa e con tecnologie telematiche.

La Convenzione è stata portata a termine dal seguente personale dell'Università di Siena:
Responsabile della Convenzione: **L. CARMIGNANI** *
Direttori del Rilevamento: **P. CONTI** * e **M. MECCHERI** **
Rilevatori: **L. VASELLI** *, **S. MANCINI** *, **G. MASSA** *
Informatizzazione, banche dati e webgis: **L. VASELLI** *, **G. MASSA** * e **D. SIMONCINI** *

Molte sono le persone che hanno fornito importanti contributi alla realizzazione di questa Convenzione, tra cui:

A. Criscuolo (Comune di Carrara)
L. Canessa, C. Masetti (Comune di Stazzema)
A. Tenerini (Comune di Seravezza)
A. Bartelletti, A. Amorfini, A. Spazzafumo (Parco delle Alpi Apuane)
G. Molli (Università di Pisa)
P. Blasi (Internazionale Marmi e Macchine)
L. Galeotti, L. Barsi (Consorzio Cosmave)
U. Ronchieri (Consorzio CAM)
A. Giannini, I. Rossi, L. Giuntini (GEOSER)

Alle presente Relazione sono allegate:

- 16 sezioni a scala 1:10.000 della "Carta Giacimentologica degli Agri Marmiferi";
- 16 sezioni a scala 1:10.000 della "Carta Strutturale degli Agri Marmiferi";
- 16 sezioni a scala 1:10.000 della "Carta delle Tipologie Merceologiche dei Ravaneti".

Tutto il presente materiale e la banca dati GIS è liberamente scaricabile e consultabile dal sito web: **http://www.marmiapuane.info**

2 Introduzione

I marmi delle Alpi Apuane rappresentano certamente i materiali lapidei più conosciuti al mondo. In questa regione l'estrazione di pietre ornamentali è caratterizzata da una storia secolare, con produzione di una grande varietà di marmi che non trova eguali altrove.
In base alle molte testimonianze della presenza etrusca nelle aree limitrofe (Versilia, Pisa e Volterra) e alle analisi mineralogiche e petrografiche condotte sui numerosi manufatti funerari in marmo (i cosiddetti "cippi") rinvenuti lungo la valle del fiume Versilia, è possibile, secondo recenti studi [11], far risalire all'epoca pre-romana i primi impieghi dei marmi apuani. In particolare, la concentrazione di questi reperti archeologici nel territorio versiliese depone a favore di uno sfruttamento dei marmi locali sin dal VI e II secolo a.C., così come la datazione, con il metodo del ^{14}C di un livello di paleosuolo all'interno di un ravaneto in località Carbonera [10], indica che anche i marmi del bacino di Carrara erano conosciuti ed utilizzati in quell'epoca.
Mentre per il periodo pre-romano non si hanno testimonianze dirette dello sfruttamento delle cave di marmo delle Alpi Apuane, l'attività estrattiva è ben documentata in epoca romana oltre che dai numerosi ritrovamenti archeologici (tagliate romane, blocchi riquadrati, capitelli, basi, rocchi di colonna, spesso dotati di marchi di cava) anche da diverse fonti letterarie [34, 35, 36].
Famosa è la descrizione di Plinio il Vecchio (Naturalis historia, XXXVI, 48) circa l'utilizzo del marmo lunense per la costruzione della casa romana di Mamurra, risalente al 48 a.C.: "primum totis aedibus nullam nisi e marmore columnam habuisse etomnes solidas e Carystio aut Luniensi" ("[Mamurra] fu il primo nella cui casa non c'era una sola colonna che non fosse di marmo – ed erano tutte di marmo pieno, di Caristo o di Luni": trad. di A. Corso, R. Mugellesi, G. Rosati, cit. bibl.). In epoca romana la colonia di Luni (fondata nel 177 a.C., vicino all'antica linea di costa e a circa 5 km ad Est dell'attuale città di Carrara) rappresentava un porto di mare in posizione strategica per il trasporto e commercio dei marmi provenienti dai vicini giacimenti, tanto che, nella letteratura classica, questi materiali sono indicati con il nome di "marmi lunensi". Oggi questo termine è utilizzato esclusivamente in senso storico in riferimento ai marmi estratti al tempo dei romani, prevalentemente nel bacino marmifero di Carrara. Durante il I secolo a.C., infatti, in conseguenza di un forte rinnovamento dell'architettura pubblica e privata di Roma ci fu un notevole incremento della produzione di marmo che veniva estratto, per la maggior parte, da cave poste presso i fondovalle dei quattro principali bacini marmiferi del carrarese (Bacino di Boccanaglia, di Torano, di Miseglia e di Colonnata). All'epoca tutte le fasi dell'attività estrattiva erano già accuratamente programmate e pianificate: il materiale estratto subiva una prima lavorazione direttamente in cava, mentre i detriti di scarto erano adoperati per costruire le "vie di lizza" sulle quali venivano fatti scendere a valle i blocchi di marmo. Le tecniche di escavazione si basavano sullo sfruttamento delle principali linee di fatturazione presenti nel marmo: utilizzando martelli e scalpelli metallici venivano eseguiti nella roccia dei tagli a trincea ("cesurae") che successivamente venivano allargati per mezzo di cunei di ferro o legno. Quest'ultimi erano continuamente bagnati in modo tale che la spinta generata dal rigonfiamento del legno fosse capace di determinare il distacco del blocco. I marmi lunesi erano molto apprezzati soprattutto per le opere di architettura e solo successivamente furono utilizzati per la scultura. In epoca romana i materiali più ricercati erano il marmo "bianco" e l' "azzurro variegato", materiali oggi commercializzati, rispettivamente, con i nomi di bianco Carrara e bardiglio o nuvolato. La caduta dell'Impero Romano e la conseguente crisi economica e sociale che caratterizzò il Medioevo determinarono una forte contrazione dell'attività estrattiva che proseguì rimanendo di fatto solo un'attività locale.
Dal XII secolo ci fu una moderata ripresa dell'attività estrattiva ma solo in epoca rinascimentale si assistette nuovamente ad una netta ripresa della produzione [34]. In particolare, a partire dalla seconda metà del XV secolo, l'attività estrattiva fu allargata anche ai bacini marmiferi più interni, come quello della Versilia, dove vennero aperte nuove cave nelle zone di Trambiserra, del

Monte Altissimo e Ponte Stazzemese, e dove furono scoperti nuovi materiali non presenti nei bacini marmiferi di Carrara, quali brecce policrome (es: brecce di Seravezza), marmi statuari e bardigli fioriti. Soprattutto dal tardo Rinascimento in poi, a seguito del rinnovamento culturale ed artistico, questi lapidei "colorati" furono largamente adoperati sia nelle ristrutturazioni di edifici religiosi e arredi sacri che nei rivestimenti e decori dei palazzi dell'epoca. L'attività estrattiva, tuttavia, si avvaleva ancora di tecniche tradizionali manuali (Figura 1) ed era condotta in modo artigianale e gestita a livello familiare o di comunità.



Figura 1 Tagliata a mano dei primi dell'800 (Cava Messette; M. Alto).

Il risultato di questo periodo storico fu una fortissima frammentazione fondiaria che portò spesso a coltivare giacimenti di spessore molto ridotto e scarsa continuità laterale, con conseguenti modesti, o scarsi, risultati produttivi. L'introduzione nel XVIII secolo dell'esplosivo nelle tecniche estrattive se, da un lato, aveva il pregio di velocizzare l'estrazione al monte e di alleviare le fatiche del cavatore, dall'altro non prendeva in considerazione né i problemi ambientali, né i danni che venivano arrecati al materiale ancora da estrarre o il gran quantitativo di detriti prodotti. Questa tecnica determinò un enorme incremento dei volumi di scarto, con il conseguente aumento dei ravaneti che andarono a ricoprire (e coprono ancora oggi) aree potenzialmente sfruttabili, dando così inizio al sostanziale mutamento paesaggistico delle Alpi Apuane (Figura 2).
Nella seconda metà del XIX secolo anche il territorio della Garfagnana, grazie soprattutto al miglioramento dei collegamenti e delle infrastrutture, venne coinvolto nel processo di industrializzazione del marmo e della ricerca estrattiva, con le prime attività estrattive nei bacini marmiferi dell'Acquabianca a Gorfigliano. In questo periodo in tutti i bacini marmiferi apuani si



Figura 2 Detriti di scarto della coltivazione ("ravaneti") nel Canal Bianco (bacino marmifero di Carrara).

assistette alla concentrazione di un gran numero di cave gestite da alcune grosse società italiane ed estere (Nord-Carrara poi Montecatini poi IMEG, Henraux, Walton). Questo fatto, unitamente alle maggiori richieste del mercato sia nazionale che estero ed al supporto di nuove tecnologie (filo elicoidale e linee ferroviarie), portò ad una rapida ascesa della quantità del materiale prodotto e nel 1872 la produzione di blocchi di marmo raggiunse le 150000 tonnellate [63]. In questi anni il marmo cominciò ad essere visto come un materiale industriale a cui dedicare studi sia geologici, per prospezione mineraria, sia ingegneristici per innovazioni tecnologiche. Questa tendenza proseguì fino agli anni precedenti la seconda guerra mondiale, quando contingenti ragioni politiche prima, belliche poi, quasi azzerarono l'attività estrattiva del marmo.
Negli anni successivi alla seconda guerra mondiale l'attività estrattiva nell'area apuana andò sempre più espandendosi sia arealmente sia come volumi di materiali estratti (Tabella 1).
Le moderne tecniche di taglio introdotte nell'ultimo ventennio, basate principalmente sull'utilizzo del filo diamantato o tagliatrici a catene diamantate (Figura 3) azionate da potenti macchinari capaci di lavorare sia in piano che secondo angoli prestabiliti, hanno completamente rivoluzionato il lavoro in cava.
In particolare la sempre più spinta automazione del lavoro ha portato ad una progressiva riduzione del numero degli addetti all'attività estrattiva. L'escavazione del marmo è quindi passata nel tempo, dal punto di vista occupazionale, da un'attività decisamente di massa ad un'attività più ristretta. Il numero degli addetti, stimabile agli inizi del '900 intorno alle 9000 unità, è sceso al disotto delle 1000 unità dei giorni nostri.



Figura 3 Tagliatrice a catena posizionata per il taglio orizzontale delle bancate.

Allo stesso tempo la produzione di marmo è aumentata in modo vertiginoso (Tabella 1): agli inizi degli anni ottanta viene superato il milione di tonnellate annue e a metà degli anni novanta il milione e mezzo. Queste produzioni fanno del comprensorio apuano la maggiore realtà italiana nel campo estrattivo dei lapidei ornamentali. Ancor più accentuata è la crescita della produttività, essendo passata dalle 70 t/anno per addetto del dopo guerra a le oltre 1000 t/anno per addetto attuali [63].

Tabella 1 Marmo scavato nelle Alpi Apuane; quantità in tonnellate (fonte: elaborazione Camera di Commercio Massa - Carrara su dati Regione Toscana Servizio Attività Estrattive). N.B. per il 1998 non esistono dati mentre per gli anni successivi (*) alcuni dati sono frutto di stime.

Anno	Carrarese	Massese	Totale	Versilia	Garfagnana	Totale	Totale Alpi Apuane	Variazionie % con l'anno precedente
1950	159.030	26.799	**185.829**	32.650	12.600	**45.250**	**231.079**	-
1951	260.459	29.825	**290.284**	42.586	13.200	**55.786**	**346.070**	49,76
1952	233.164	32.294	**265.458**	38.944	12.544	**51.488**	**316.946**	-8,42
1953	252.400	36.918	**289.318**	63.650	14.520	**78.170**	**367.488**	15,95

Tabella 1 (continua) Marmo scavato nelle Alpi Apuane; quantità in tonnellate (fonte: elaborazione Camera di Commercio Massa - Carrara su dati Regione Toscana Servizio Attività Estrattive). N.B. per il 1998 non esistono dati mentre per gli anni successivi (*) alcuni dati sono frutto di stime.

Anno	Carrarese	Massese	Totale	Versilia	Garfagnana	Totale	Totale Alpi Apuane	Variazionie % con l'anno precedente
1954	283.167	44.308	**327.475**	75.878	13.555	**89.433**	**416.908**	13,45
1955	306.842	45.091	**351.933**	88.529	13.878	**102.407**	**454.340**	8,98
1956	278.654	46.949	**325.603**	92.101	15.093	**107.194**	**432.797**	-4,74
1957	267.410	31.192	**298.602**	84.118	15.445	**99.563**	**398.165**	-8
1958	240.549	34.675	**275.224**	86.864	15.677	**102.541**	**377.765**	-5,12
1959	222.400	39.240	**261.640**	84.025	19.796	**103.821**	**365.461**	-3,26
1960	288.240	40.708	**328.948**	104.380	12.504	**116.884**	**445.832**	21,99
1961	407.594	51.500	**459.094**	125.539	21.932	**147.471**	**606.565**	36,05
1962	302.165	49.677	**351.842**	136.240	28.990	**165.230**	**517.072**	-14,75
1963	320.463	48.117	**368.580**	153.292	28.500	**181.792**	**550.372**	6,44
1964	277.150	54.200	**331.350**	165.500	37.382	**202.882**	**534.232**	-2,93
1965	301.400	51.845	**353.245**	146.531	29.480	**176.011**	**529.256**	-0,93
1966	330.100	54.851	**384.951**	162.910	30.246	**193.156**	**578.107**	9,23
1967	386.730	54.640	**441.370**	161.300	28.000	**189.300**	**630.670**	9,09
1968	422.665	55.930	**478.595**	157.200	32.474	**189.674**	**668.269**	5,96
1969	454.750	58.900	**513.650**	151.300	35.150	**186.450**	**700.100**	4,76
1970	465.915	53.360	**519.275**	140.805	41.300	**182.105**	**701.380**	0,18
1971	430.300	49.280	**479.580**	105.540	40.790	**146.330**	**625.910**	-10,76
1972	427.329	48.000	**475.329**	128.121	40.350	**168.471**	**643.800**	2,86
1973	493.500	49.000	**542.500**	124.500	32.000	**156.500**	**699.000**	8,57
1974	547.010	48.700	**595.710**	114.310	26.480	**140.790**	**736.500**	5,36
1975	498.120	46.400	**544.520**	115.420	26.000	**141.420**	**685.940**	-6,86
1976	584.093	78.102	**662.195**	136.447	70.658	**207.105**	**869.300**	26,73
1977	601.300	51.400	**652.700**	124.300	93.000	**217.300**	**870.000**	0,08
1978	607.000	63.000	**670.000**	136.000	94.000	**230.000**	**900.000**	3,45
1979	600.613	93.293	**693.906**	111.344	95.317	**206.661**	**900.567**	0,06
1980	675.028	130.671	**805.699**	123.717	84.562	**208.279**	**1.013.978**	12,59
1981	728.521	136.762	**865.283**	134.923	103.583	**238.506**	**1.103.789**	8,86
1982	736.848	112.447	**849.295**	115.512	105.386	**220.898**	**1.070.193**	-3,04

Tabella 1 (continua) Marmo scavato nelle Alpi Apuane; quantità in tonnellate (fonte: elaborazione Camera di Commercio Massa - Carrara su dati Regione Toscana Servizio Attività Estrattive). N.B. per il 1998 non esistono dati mentre per gli anni successivi (*) alcuni dati sono frutto di stime.

Anno	Carrarese	Massese	Totale	Versilia	Garfagnana	Totale	Totale Alpi Apuane	Variazionie % con l'anno precedente
1983	798.735	120.628	**919.363**	119.584	102.546	**222.130**	**1.141.493**	6,66
1984	844.508	143.484	**987.992**	159.968	87.015	**246.983**	**1.234.975**	8,19
1985	877.886	140.604	**1.018.490**	121.711	82.202	**203.913**	**1.222.403**	-1,02
1986	802.744	121.762	**924.506**	182.151	66.251	**248.402**	**1.172.908**	-4,05
1987	762.978	116.180	**879.158**	104.392	57.727	**162.119**	**1.041.277**	-11,22
1988	881.912	131.810	**1.013.722**	89.784	71.443	**161.227**	**1.174.949**	12,84
1989	1.012.815	149.125	**1.161.940**	127.892	94.742	**222.634**	**1.384.574**	17,84
1990	997.685	137.852	**1.135.537**	120.722	72.816	**193.538**	**1.329.075**	-4,01
1991	1.023.700	149.346	**1.173.046**	119.341	79.785	**199.126**	**1.372.172**	3,24
1992	1.027.293	160.699	**1.187.992**	123.122	68.429	**191.551**	**1.379.543**	0,54
1993	1.045.785	155.097	**1.200.882**	123.113	62.724	**185.837**	**1.386.719**	0,52
1994	1.116.544	190.098	**1.306.642**	96.966	80.691	**177.657**	**1.484.299**	7,04
1995	1.256.221	214.183	**1.470.404**	104.149	85.859	**190.008**	**1.660.412**	11,87
1996	1.144.807	189.537	**1.334.344**	89.284	73.512	**162.796**	**1.497.140**	-9,83
1997	1.097.679	161.742	**1.259.421**	77.408	72.629	**150.037**	**1.409.458**	-5,86
1999*	992.000	137.565	**1.129.565**	63.063	70.000	**133.063**	**1.262.628**	-10,42
2000*	1.087.393	137.110	**1.224.503**	62.286	70.000	**132.286**	**1.356.789**	7,46
2001*	1.171.966	111.610	**1.283.576**	52.547	66.983	**119.530**	**1.403.106**	3,41
2002*	1.079.145	105.975	**1.185.120**	55.473	67.000	**122.473**	**1.307.593**	-6,81

3 Inquadramento geologico delle Alpi Apuane

3.1 Le Alpi Apuane e l'Appennino Settentrionale

L'Appennino settentrionale è una catena a thrust e pieghe formatasi durante il Terziario in conseguenza dell'accavallamento da W verso E delle Unità liguri sui domini esterni toscani e umbro-marchigiani (Figura 4).
Le Unità Liguri, caratterizzate dalla presenza di rocce ofiolitiche e dai sovrastanti sedimenti di mare profondo, rappresentano parte dell'Oceano ligure-piemontese (o Tetide Alpina), i domini esterni toscani e umbro-marchigiani costituiscono il margine continentale della microplacca Apula e sono formati da un basamento ercinico e dalla sovrastante copertura Mesozoico-Terziaria.
Nell'Oligocene superiore il movimento verso E (rispetto alle coordinate attuali) del Microcontinente brianzonese (in origine appartenente alla Placca europea) determina la sua collisione con il Margine apulo e l'individuazione di un piano di subduzione immergente verso W. Durante l'Oligocene-Miocene la strutturazione dell'Appennino settentrionale avviene quindi in conseguenza della subduzione della litosfera apula al di sotto del Blocco sardo-corso. Successivamente, l'arretramento flessurale dello slab in subduzione determina lo sviluppo di bacini di retroarco e la formazione di crosta oceanica nel Bacino algero-provenzale, prima, e nel Tirreno dopo, contemporaneamente alla migrazione verso E della zona di subduzione e della zona di collisione e deformazione.
Le unità che compongono l'Appennino settentrionale hanno subito quindi una complessa evoluzione tettonica nella quale, ad una prima fase di deformazione e metamorfismo, inquadrabile all'interno di un contesto geodinamico di tipo collisionale, segue una seconda fase deformativa che si esplica prevalentemente attraverso lo sviluppo di zone di taglio a basso angolo e faglie normali collegate ad un regime tettonico di tipo distensivo e che determinano sollevamento ed esumazione delle unità strutturali più profonde.

3.2 Il Complesso metamorfico delle Alpi Apuane

Il Complesso metamorfico delle Alpi Apuane costituisce uno dei livelli strutturali più profondi (Unità metamorfiche toscane) affioranti nelle porzioni interne dell'Appennino settentrionale e per questo rappresenta un'area chiave per la comprensione dei meccanismi e processi geodinamici che hanno portato alla formazione della catena stessa. In particolare all'interno della finestra tettonica della regione apuana è possibile distinguere due unità tettono-metamorfiche sovrapposte: l'"Autoctono" auct., in posizione geometricamente inferiore, e la sovrastante Unità di Massa, la quale affiora esclusivamente nella porzione occidentale della finestra tettonica (Figura 4). All'interno delle sequenze metasedimentarie che caratterizzano le due Unità sono presenti, a differenti livelli stratigrafici marmi, metabrecce marmoree e calcescisti dai quali viene estratta la vasta gamma di pietre ornamentali di questa regione.

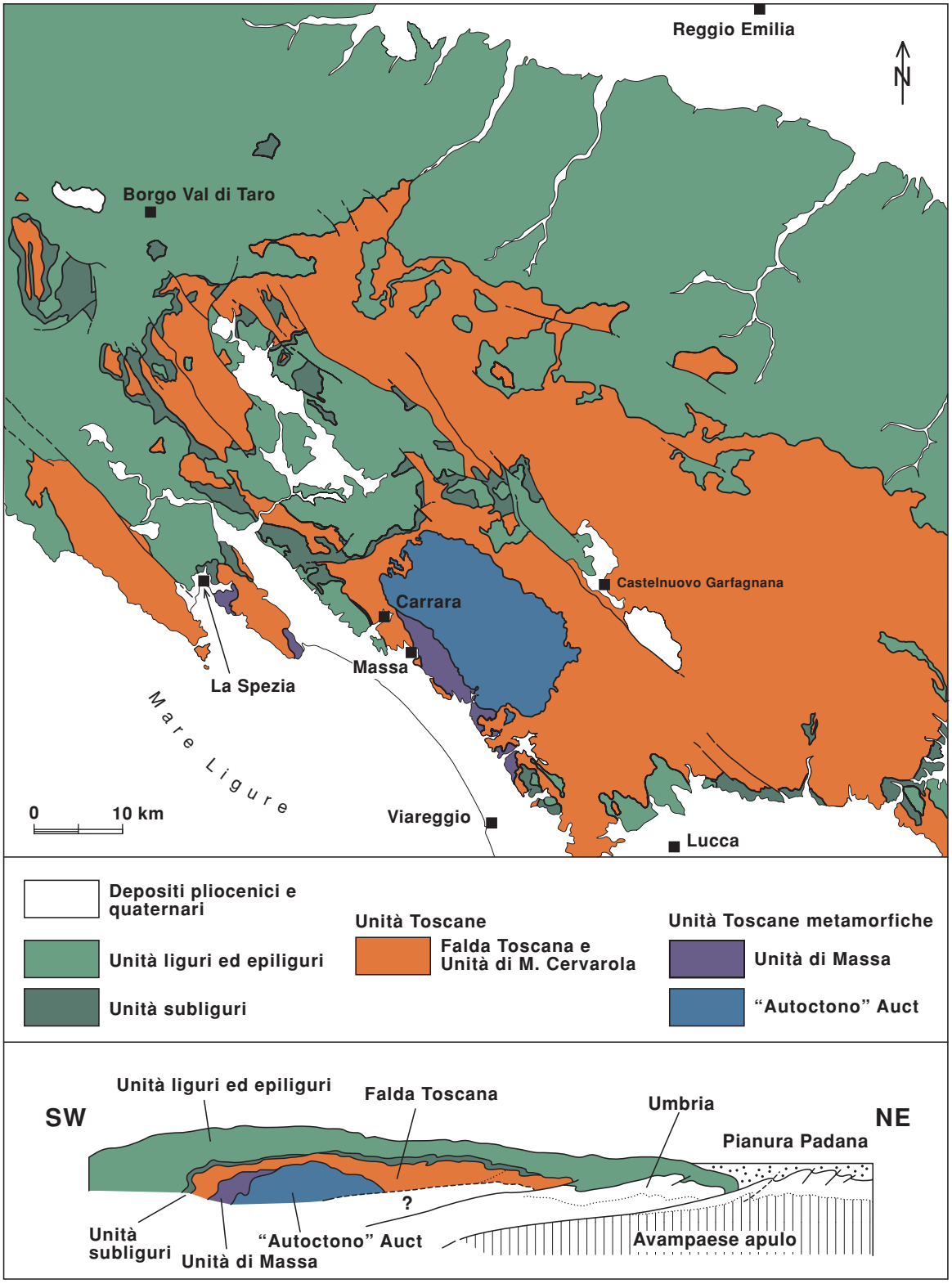


Figura 4 Schema tettonico dell'Appennino settentrionale e sezione schematica interpretativa.

3.2.1 Unità di Massa

L'Unità di Massa è caratterizzata da un Basamento paleozoico sul quale poggia in discordanza una spessa sequenza sedimentaria triassica, caratterizzata dalla presenza di metavulcaniti basiche del Trias medio (Figura 5).

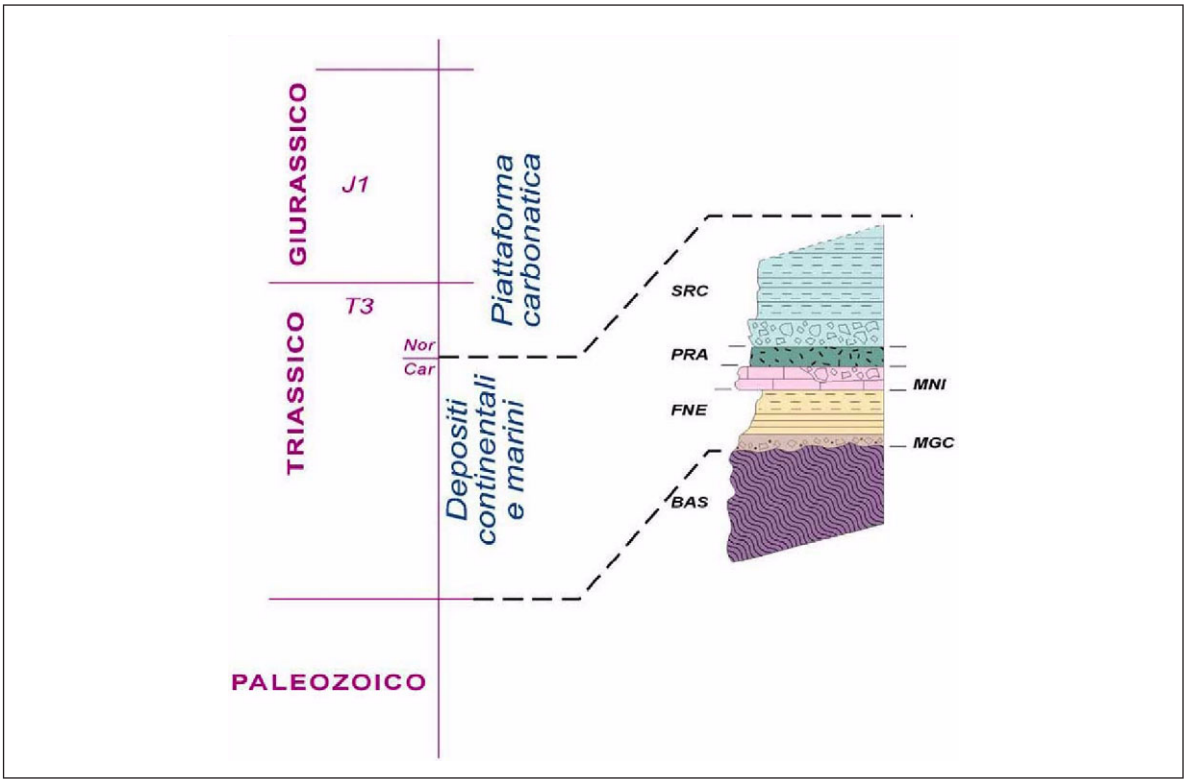


Figura 5 Colonna litostratigrafica dell'Unità di Massa. Basamento ercinico (BAS); Metaconglomerati basali (MGC); Filladi nere e quarziti (FNE); Marmi a Crinoidi e metabrecce a elementi marmorei (MNI); Prasiniti (PRA); Filladi sericitiche ed Anageniti (SRC).

Le rocce della copertura mesozoica sono costituite da metaconglomerati quarzosi, granulo-sostenuti, associati a metarenarie, metasiltiti e filladi nere interpretabili come depositi silicoclastici continentali e/o costieri (Conglomerati basali e Filladi nere e quarziti, Figura 5). Verso l'alto seguono livelli di rocce prevalentemente carbonatiche (marmi, metabrecce, calcescisti e filladi carbonatiche: Formazione dei Marmi a crinoidi) derivate da depositi carbonatici di piattaforma ristretta e da successivi depositi neritico-pelagici con intercalazioni di metabasiti alcaline (Prasiniti e scisti verdi). Quest'ultime testimoniano un vulcanismo basico interplacca legato al rifting medio-triassico. La successione si chiude con livelli di metaconglomerati a prevalenti clasti di quarzo, quarziti e filladi di origine continentale-litorale (Filladi sericitiche ed Anageniti).
La successione è caratterizzata da un metamorfismo alpino con paragenesi di facies scisti verdi di alta pressione (cianite+cloritoide+fengite), mentre le rocce del basamento paleozoico sono interessate anche da deformazioni e metamorfismo pre-alpino in facies scisti verdi. Le condizione di pressione e temperatura durante il metamorfismo alpino sono stimate tra 0.6-0.8 GPa e 420-500 °C [40, 45, 42, 51].

3.2.2 "Autoctono" Auct.

La successione dell'"Autoctono" Auct. è costituita da un Basamento paleozoico sul quale poggia in discordanza una successione metasedimentaria del Trias sup.-Oligocene (Figura 6).

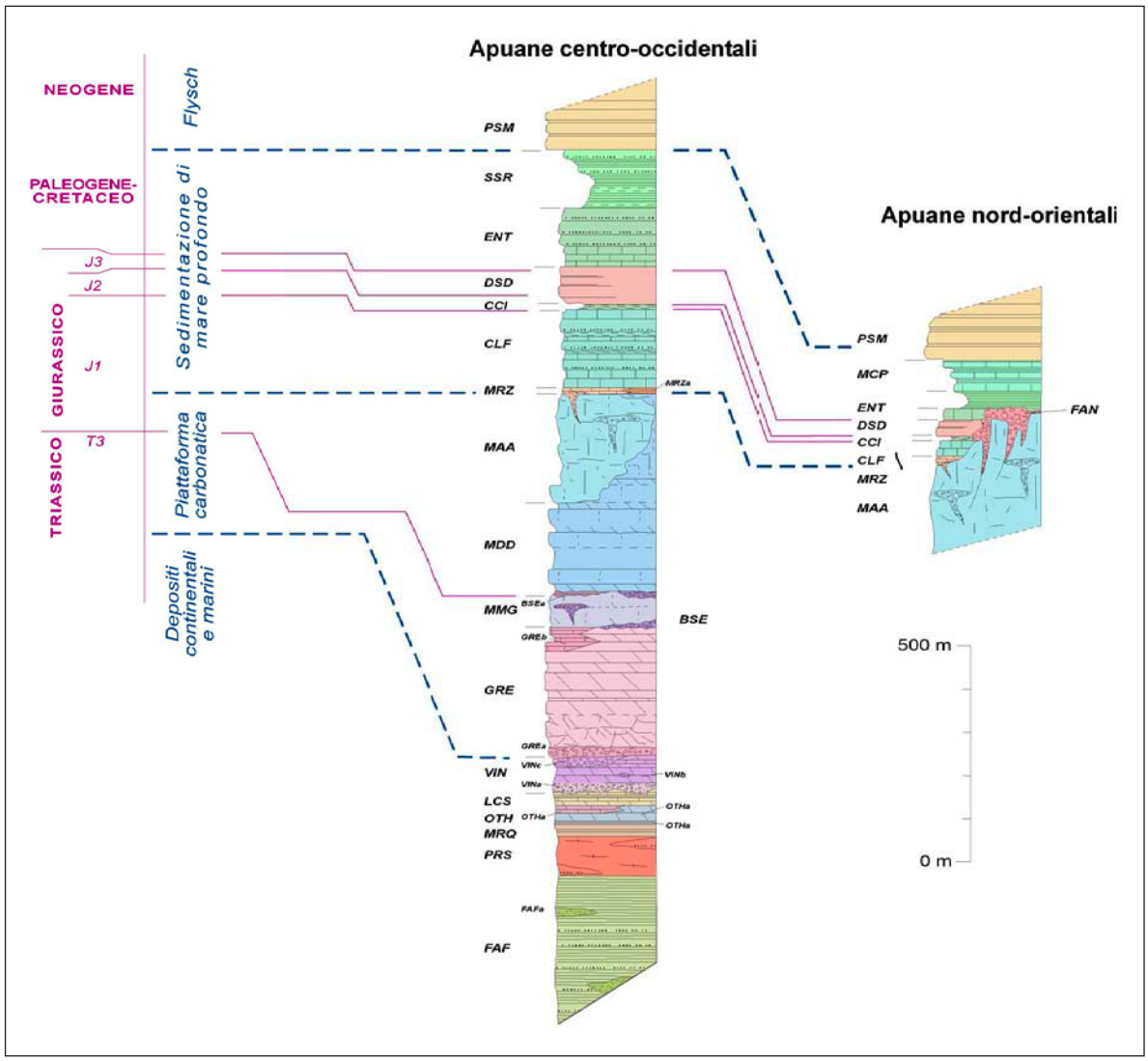


Figura 6 Colonna litostratigrafica dell'"Autoctono" Auct.. Filladi Inferiori (FAF) con intercalazioni di metavulcaniti basiche (FAFa); Porfiroidi e scisti porfirici (PRS); Quarziti e filladi superiori (MRQ); Dolomie ad Orthoceras (OTH) con livelli a predominanti filladi grafitiche nere e quarziti scure (OTHa), dolomie cristalline grigio scure (OTHb) e metacalcari rossi nodulari (OTHc); Calcescisti e dolomie scistose (LCS); Formazione di Vinca: filladi e metaconglomerati (VINa), dolomie (VINb), marmi (VINc). Grezzoni (GRE), con livelli di dolomie brecciate (GREa) e marmi neri ("Nero di Colonnata") (GREb); Marmi a Megalodonti (MMG); Brecce di Seravezza (BSE) con livelli di filladi a cloritoide (BSEa); Marmi dolomitici (MDD); Marmi (MAA); Marmo Zebrino (MRZ) con livelli di marmi a muscovite e calcescisti (MRZa); Formazione di Arnetola (FAN); Calcari Selciferi (CLF); Calcescisti (CCI); Diaspri (DSD); Calcari Selciferi a Entrochi (ENT); Scisti sericitici (SSR); Cipollini (MCP); Pseudomacigno (PSM).

Le rocce del Basamento paleozoico sono del tutto correlabili con quelle presenti nel basamento dell'Unità di Massa e, analogamente a queste, registrano una deformazione e metamorfismo in facies scisti verdi legato all'Orogenesi ercinica. Le rocce della copertura mesozoica sono rappresentate da metaconglomerati poligenici, metarenarie calcaree e dolomie silicoclastiche con in-

tercalazioni di metabrecce riferibili ad un ambiente deposizionale di tipo transizionale, da continentale a marino costiero (Formazione di Vinca), seguiti dalle dolomie della piattaforma carbonatica tardo-triassica dei Grezzoni. Verso l'alto seguono i metacalcari micritici fossiliferi dei Calcari e marne di Colonnata (membro della formazione dei Grezzoni) e i marmi più o meno muscovitici della Formazione dei Marmi a Megalodonti, intercalati a metabrecce poligeniche (Brecce di Seravezza) e Scisti a cloritoide. Le metabrecce poligeniche e i livelli di scisti a cloritoide testimoniano episodi d'emersione della piattaforma carbonatica con formazione di livelli lateritico-bauxitici e deposizione di debris flow ai piedi di scarpate attive di origine tettonica.
Marmi più o meno dolomitizzati, dolomie cristalline, marmi e metabrecce monogeniche caratterizzano le sovrastanti formazioni dei Marmi Dolomitici e dei Marmi, le quali rappresentano lo sviluppo di una nuova piattaforma carbonatica successiva quella tardo-triassica dei Grezzoni. verso l'alto seguono marmi rosati, metacalcari con selci, calcescisti e quarziti (Marmo Zerbino, Calcari Selciferi, Calcescisti e Diaspri) riferibili alle fasi di annegamento della piattaforma carbonatica dei marmi e impostazione di una sedimentazione di tipo emipelagico. In analogia con la successione della Falda toscana [38], possibili sfasamenti cronologici tra i diversi blocchi subsidenti determinano l'istaurarsi di ambienti deposizionali molto diversificati, con successioni lacunose e/o condensate testimoniate dalla presenza di metabrecce poligeniche in prevalente matrice filladica (Formazione di Arnetola).
Chiudono la successione metacalcari con liste e noduli di selce, calcescisti, filladi sericitiche e metarenarie quarzo-feldspatiche (Calcari Selciferi a Entrochi, Cipollini, Scisti sericitici e Pseudomacigno) riferibili a depositi pelagici e di avanfossa precedenti la strutturazione dell'area apuana all'interno della catena appenninica.
Il metamorfismo alpino nell'"Autoctono" Auct. è caratterizzato da paragenesi metamorfiche tipiche delle zone a clorite e biotite della facies scisti verdi [44, 14] o, basandosi sui silicati di alluminio, della zona a pirofillite+quarzo [40]. Le temperature massime sono tra 350-450 °C e le pressioni di picco del metamorfismo sono comprese tra 0,4-0,6 GPa [33, 41, 51]. Condizioni termiche analoghe sono proposte da Jolivet et al. [45], accompagnate però da condizioni di pressione di circa 0,8 GPa.

3.3 Evoluzione tettonica del Complesso metamorfico delle Alpi Apuane

Le geometrie di deformazione che caratterizzano il Complesso metamorfico delle Alpi Apuane sono il risultato di due principali eventi tettono-metamorfici (Fasi D1 e D2 di Carmignani e Kligfield, [17]), inquadrabili all'interno di una storia di deformazione progressiva sviluppatasi attraverso gli stadi collisionali e post-collisionali che hanno caratterizzato l'evoluzione tettonica delle porzioni interne dell'Appennnino Settetrionale.
Durante l'evento D1 si ha la messa in posto delle unità tettoniche più superficiali non metamorfiche (Unità liguri s.l. e Falda Toscana), accomapagnata dalla deformazione, underthrusting e iniziale esumazione delle unità tettoniche più profonde. Durante la fase D2 le precedenti strutture vengono deformate da differenti generazioni di pieghe alle quali sono associate localizzate zone di taglio ad alta deformazione. Queste strutture determinano sia il progressivo unroofing delle unità metamorfiche che il completamento dei processi di esumazione delle stesse verso livelli strutturali più superficiali.
Mentre esiste un sostanziale accordo tra i ricercatori appartenenti a differenti scuole circa il quadro geologico regionale entro cui si colloca il Complesso metamorfico delle Alpi Apuane, differenti e spesso contrastanti opinioni persistono riguardo il significato da attribuire ad alcune strutture presenti all'interno dell'"Autoctono" Auct.. In particolare negli ultimi anni il dibattito

si è focalizzato sui possibili meccanismi di esumazione e il loro contesto geodinamico [13, 14, 15, 17, 45, 51, 55].
Secondo i primi lavori di geologia strutturale della fine degli anni '70 [13, 14] le pieghe D2 si formano successivamente all'impilamento delle diverse unità tettoniche dell'Appennino Settentrionale in un regime tettonico di tipo compressivo. In particolare esse si sviluppano come risultato del collasso del cuneo orogenetico in risposta all'overthrusting su superfici di rampa profonde e dell'interferenza ad alto angolo tra due sistemi di pieghe. Carmignani & Giglia [15, 16] interpretano le strutture D2 come *reverse drag fold* che si sovrappongono a pieghe fortemente non-cilindriche (*sheath fold*) D1 durante le fasi di riequilibrio isostatico della crosta ispessita. Negli anni novanta Carmignani & Kligfield [17] interpretano le Alpi Apuane come una struttura regionale tipo *core-complex*, da inserire in un quadro geodinamico di estensione crostale post-collisionale (Figura 7). In tale contesto la strutturazione delle pieghe D2 avviene all'interno di sistemi coniugati di zone di taglio dirette che accomodano la distensione crostale.
Questo schema è presente anche in successivi lavori [18, 19] ed è stato di recente leggermente modificato [20] prospettando l'esistenza di una zona di taglio orientata NE-SW che accomoda il movimento differenziale delle principali faglie dirette poste alla periferia orientale ed occidentale del complesso metamorfico.
Secondo Jolivet et al. [45] le strutture D2 sono ancora da riferirsi ad un contesto tettonico di tipo compressivo dove l'impilamento delle unità tettoniche, secondo una direzione di trasporto orientata in generale verso Est, determina lo sviluppo di zone di taglio antitetiche immergenti verso Ovest (strutture tipo "domino"). Infine, Molli & Vaselli [55], interpretando le Alpi Apuane come una "*pop-up structure*" connessa a livelli di scollamento crostali profondi, evidenziano come il raccorciamento verticale di un duomo, conseguente al progressivo *underplating* crostale all'interno del prisma di accrezione, sia in grado di generare pieghe di collasso analoghe a quelle osservate nell'Autoctono Auct..

3.3.1 Strutture D1

Un'evidente anisotropia planare caratterizza la maggior parte delle rocce del Complesso metamorfico delle Alpi Apuane e rappresenta la foliazione metamorfica principale legata alla fase deformativa D1. Questa foliazione metamorfica risulta essere di piano assiale di pieghe isoclinali fortemente non cilindriche (*sheath fold*), di dimensioni da millimetriche a plurichilometriche, ed è associata ad una lineazione di estensione (L1) interpretata come la principale direzione di trasporto delle unità tettoniche dell'Appennino Settentrionale.
Il rovesciamento verso E delle strutture plicative D1, le relazioni angolari tra la foliazione principale e i contatti tettonici di primo ordine, così come la lineazione di estensione L1 costantemente orientata SW-NE, sono in accordo con il senso di trasporto, da SW verso NE delle varie unità tettoniche. Nell'"Autoctono" Auct. le principale strutture plicative osservabili alla scala dell'intera finestra tettonica (Figura 9) sono, da W verso E: la Sinclinale di Carrara, l'Anticlinale di Vinca-Forno, la Sinclinale di Orto di Donna - M. Altissimo - M. Corchia e l'Anticlinale di M. Tambura.
Le due principali antiformi-anticlinali hanno al proprio nucleo rocce del Basamento paleozoico, mentre le sinclinali presentano al nucleo i termini più giovani della successione metasedimentaria (Scisti Sericitici e Pseudomacigno).
Le geometrie di deformazione, la distribuzione dello strain all'interno delle diverse rocce che compongono il Complesso metamorfico delle Alpi Apuane e i dati cinematici disponibili permettono di interpretare la storia deformativa D1 come il risultato di due principali fasi:

- Fase di piegamento principale (D1a): sviluppo di pieghe isoclinali coricate di dimensioni chilometriche associate ad una foliazione di piano assiale penetrativa.

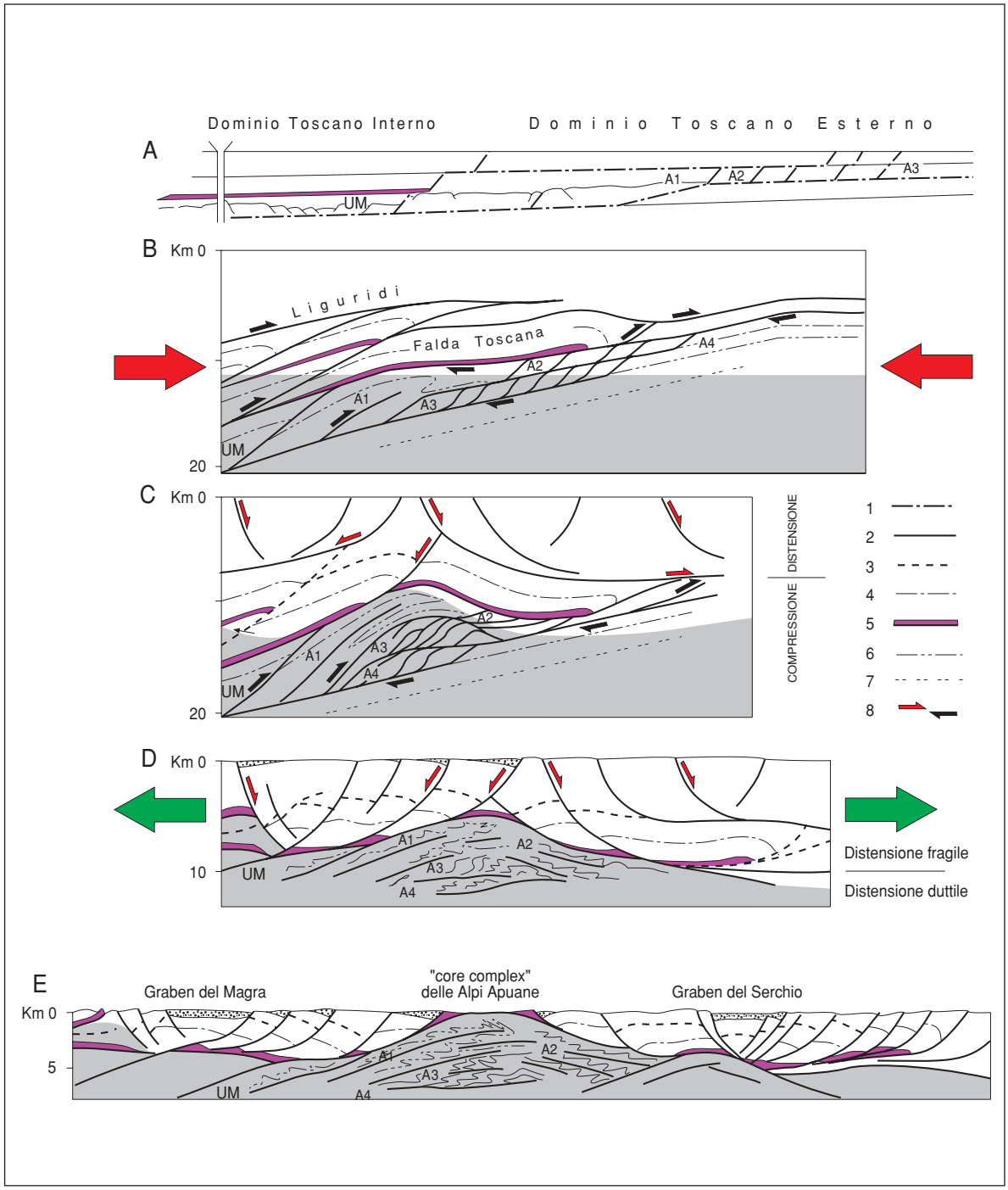


Figura 7 Schema dell'evoluzione tetonica delle Alpi Apuane, da Carmignani & Kligfield [17], modificato. (a) geometria pre-collisionale con le tracce restaurate dei principali accavallementi. (b) Sviluppo del "duplex" apuano (oligocene inferiore). (c) Sviluppo di "antiformal stack" nel Complesso metamorfico delle Alpi Apuane e possibile inizio della tettonica distensiva (Miocene inferiore). (d) Individuazione del "core complex" apuano. Il thrust di base della Falda toscana è riattivato come faglia normale, esso separa settori estesi principalmente mediante faglie listriche e rotazione di blicchi (Falda toscana e Unità liguri) da settori estesi mediante zone di taglio duttile sin-metamorfiche (Unità di Massa e "Autoctono" Auct.) (Miocene medio-superiore). (e) esposizione delle metamorfiti per denudazione e sollevamento connessi con ulteriore assottigliamento crostale (Pliocene-Pleistocene). UM=Unità di Massa, AU="Autoctono" Auct..

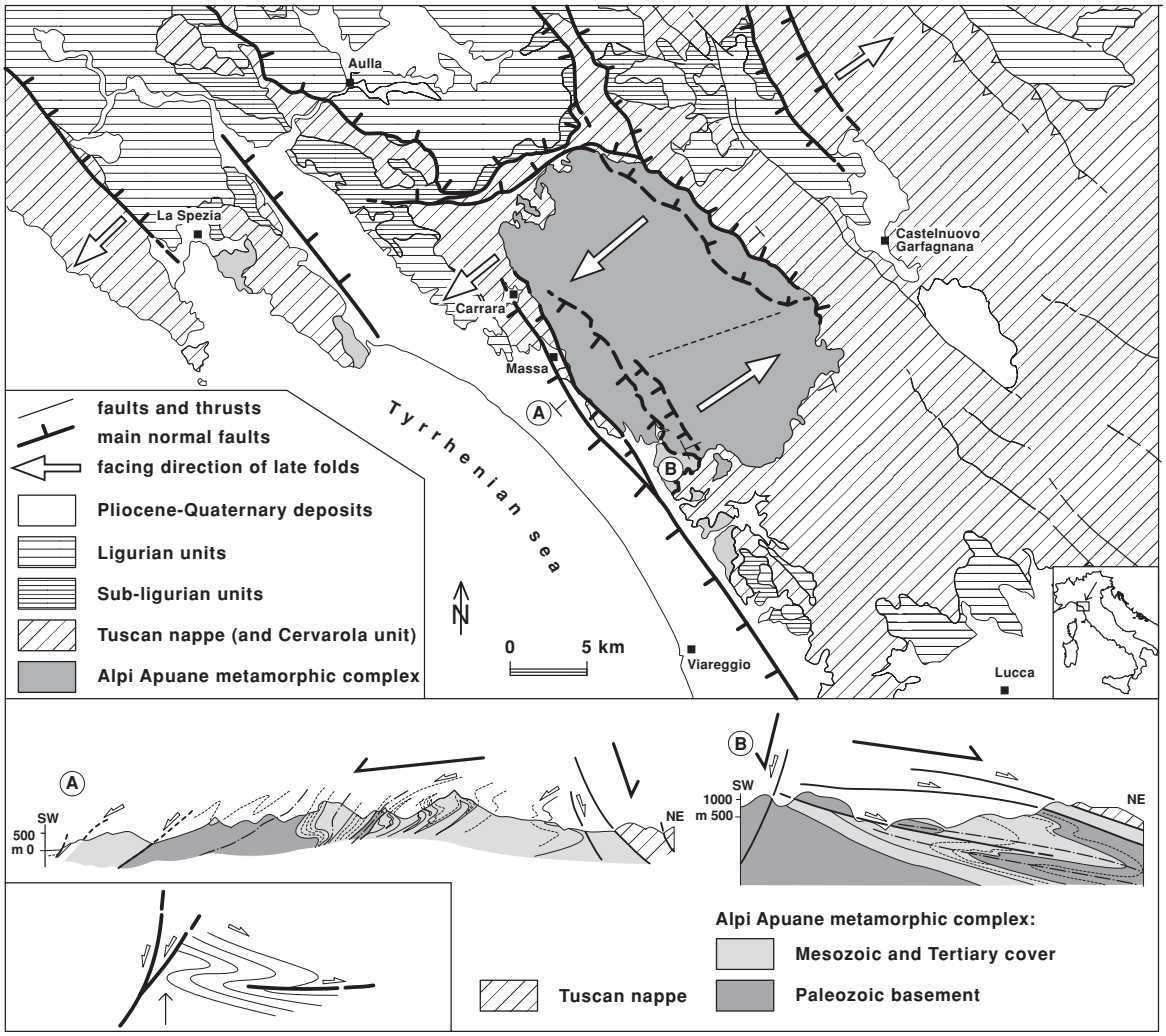


Figura 8 Schema tettonico dell'Appennino settentrionale; sono evidenziati i principali lineamenti e strutture legate all'evoluzione quaternaria dell'area. Da [20].

- Fase di accavallamento e iniziale esumazione (antiformal stack phase, D1b): amplificazione e piegamento delle precedenti strutture D1a e sviluppo di zone di taglio, con senso di movimento "top-to-the-NE", legate ad accavallamenti interni al prisma di accrezione e underplating crostale di elementi strutturali profondi.

3.3.2 Strutture D2

L'evento deformativo D2 è caratterizzato dallo sviluppo di pieghe da aperte a chiuse, di dimensioni da centimetriche a pluriettometriche, variamente non cilindriche ed associate ad un clivaggio di crenulazione di piano assiale generalmente suborizzontale. La variabilità di morfologie ed orientazioni di queste strutture è funzione del contrasto di competenza e posizione strutturale all'interno del multylayer creato dalla tettonica a pieghe isoclinali e delle relazioni spaziali rispetto alle principali strutture D1. In accordo con le classiche interpretazioni [14, 15, 17] le pieghe D2 deformano i fianchi di una complessa mega-antiforme di scistosità (con orientazione all'incirca appenninica, N 130° - 170° E) di dimensione pari a quella dell'intera finestra tettonica delle Alpi Apuane e mostrano tipicamente un senso di rovesciamento verso E e verso

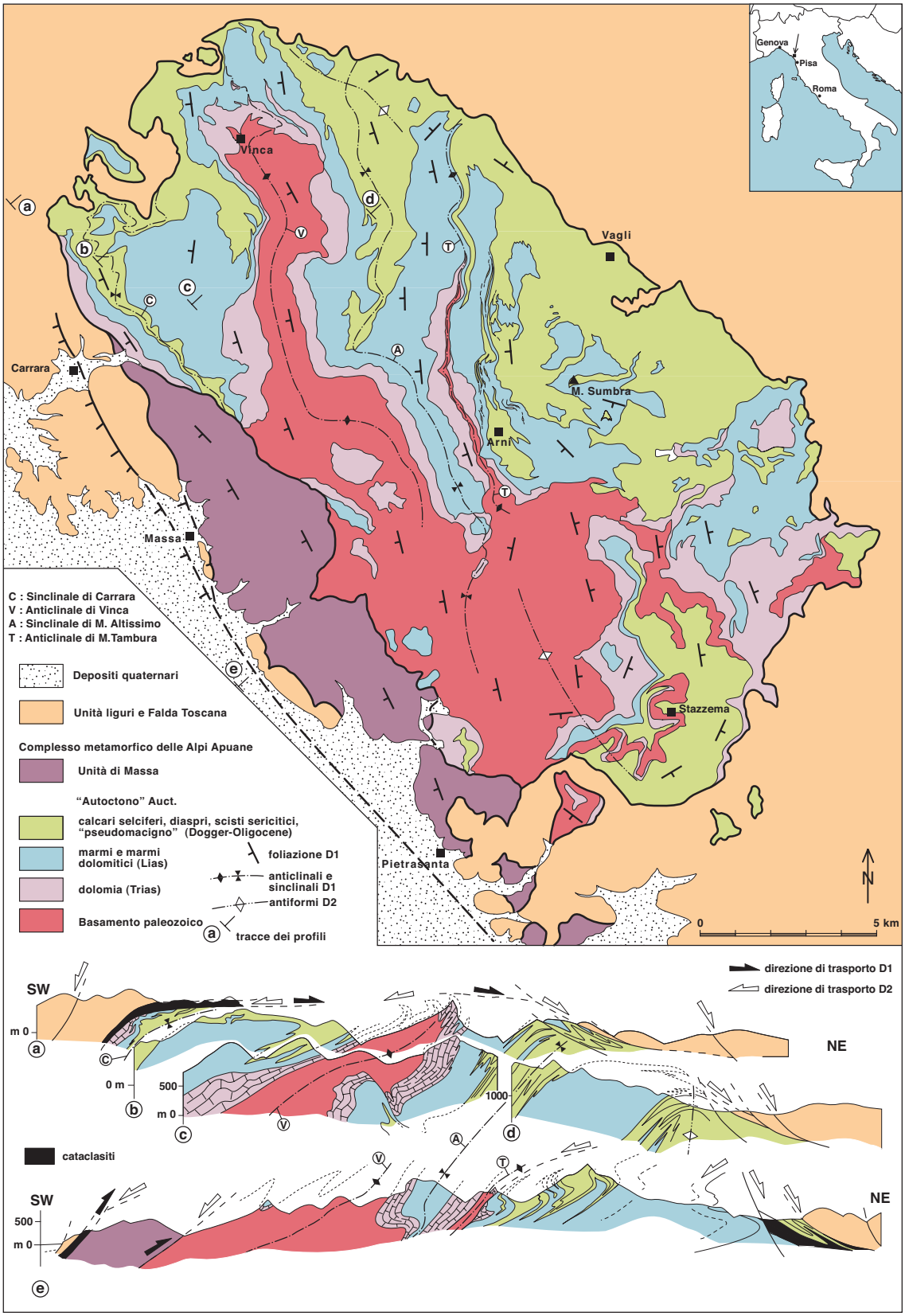


Figura 9 Schema tettonico delle Alpi Apuane.

W, rispettivamente, lungo i fianchi orientali ed occidentali dell'antiforme stessa. Queste pieghe sono legate all'attività delle faglie bordiere del nucleo metamorfico (Figura 8).
Gli stadi finali dell'evento D2 sono caratterizzati dallo sviluppo di strutture da semi-fragili a fragili rappresentate da pieghe aperte o tipo kink con piano assiale sub-verticale e da faglie dirette a basso e alto angolo. In particolare, in base ad analisi meso e microstrutturali [53, 56] è possibile osservare come le principali strutture fragili presenti nel Complesso metamorfico delle Alpi Apuane siano il risultato di storia deformativa polifasica nella quale, ad un primo stadio caratterizzato dall'interferenza tra sistemi di faglie stike-slip e normali, segue un secondo in cui predominano faglie dirette orientate all'incirca NW-SE.

3.3.3 Relazioni tra metamorfismo e deformazione

Nel Complesso metamorfico delle Alpi Apuane la presenza in rocce idonee di minerali indice (es: cloritoide e cianite) permette di studiare le relazioni temporali tra la crescita dei minerali metamorfici e lo sviluppo delle principali strutture deformative. Nell'Unità di Massa il cloritoide è osservato crescere in maniera sin-cinematica allo sviluppo della foliazione principale, mentre solo alcuni campioni suggeriscono la sua crescita durante gli stadi iniziali di nucleazione del clivaggio di crenulazione tardivo. Inoltre crescite post-cinematiche di cloritoide sulla foliazione tardiva non sono mai state descritte. La cianite è stata osservata sulla foliazione principale dove risulta anche essere inclusa in cristalli di cloritoide. Perciò può essere supposta anche la crescita di cianite sin dai primi stadi di formazione della foliazione principale. Nell'Autoctono Auct. il cloritoide in associazione con pirofillite [41] può essere osservata in relazioni sin- e post- cinematiche rispetto alla foliazione principale.
Nei livelli strutturali più elevati (es: Campo Cecina) il cloritoide in genere pre-data il clivaggio di crenulazione , mentre nei livelli geometricamente più profondi (es: valle di Forno) esso mostra chiare relazioni sin- e post-cinematiche rispetto alla foliazione tardiva. Questa situazione testimonia come in differenti posizioni geometriche all'interno della stessa unità tettonica sia possibile osservare una diversa storia termica.

3.3.4 Età della deformazione

Nelle Alpi Apuane le rocce più giovani coinvolte nei processi deformativi e metamorfici alpini sono rappresentate dalle metarenarie dello Pseudomacigno. Queste rocce sono alternate, nella parte inferiore, a calcareniti caratterizzate da un'associazione a Lepidocycline dell'Oligocene superiore [31]. I dati radiometrici disponibili (K-Ar e Ar-Ar) forniscono età comprese tra i 27 e i 20 Ma per le prime fasi deformative D1, mentre, gli stadi precoci della deformazione D2 si sviluppano a temperature superiori ai 250 °C tra gli 11 e 8 Ma [46, 54].
La storia più recente di esumazione del Complesso metamorfico apuano è data dalle tracce di fissione in zirconi (ZFT) e apatite (AFT) e dalle analisi (U-Th)/He (ZHe) sui minerali stessi [1, 4]. Questi dati indicano l'intersezione con l'isograda di 70 °C tra i 5 e i 2 Ma ad una profondità stimabile, in base al gradiente geotermico supposto, ad una profondità di 4-5 km (Figura 10).
Da 2 Ma all'attuale, le Alpi Apuane e le aree circostanti dell'Appennino settentrionale sono oggetto della fase morfogenetica più significativa, caratterizzata da movimenti verticali di importanza regionale che, nella sua articolazione dinamica spazio-temporale, sono registrati nei record sedimentari dei bacini della Lunigiana, della Garfagnana e della Versilia [7, 2, 57] e nei sistemi carsici apuani [58] dove sono stati recentemente datati speleotemi più vecchi di circa 1 Ma [73].

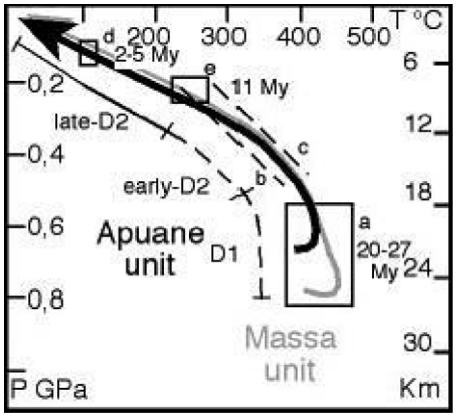


Figura 10 P-T-t path nel Complesso metamorfico delle Alpi Apuane. Il percorso per l'Unità di Massa è riportato in grigio, mentre per l'Autoctono Auct. è indicato in nero. Da [55, 46, 1, 51, 54, 4].

4 I marmi delle Alpi Apuane

4.1 Caratteristiche geologico-strutturali dei marmi apuani

Come già sottolineato, le Alpi Apuane rappresentano una delle aree chiave per la comprensione dei processi geodinamici che hanno portato alla formazione dell'Appennino Settentrionale. In quest'area infatti affiorano unità metamorfiche (Unità di Massa e Autoctono Auct.) deformate e metamorfosate a livelli strutturali medio-profondi che, più direttamente di quelle superficiali (Falda Toscana e Unità Liguri), possono dare utili informazioni circa il contesto geodinamico che le ha prodotte.
In particolare i marmi apuani hanno avuto un ruolo fondamentale nei processi di deformazione crostale di questo settore della catena appenninica: le rocce carbonatiche infatti sono capaci di accomodare elevate quantità di strain e di deformarsi in modo plastico anche in condizioni di basse pressioni e temperature. In molte catene orogenetiche (es: Alpi) le principali zone di taglio si sviluppano all'interno di rocce carbonatiche con conseguente formazione di miloniti.
Lo studio delle caratteristiche tessiturali e microstrutturali di rocce carbonatiche deformate in modo duttile permette di ricavare la cinematica, il regime di stress e strain e i meccanismi di deformazione attivi all'interno di tali shear zones e la loro evoluzione nel tempo. I marmi apuani per questi motivi e per la loro particolare composizione (rocce quasi monominaraliche) sono stati oggetto in passato di diversi studi di carattere geologico, mineralogico e petrografico [72, 9, 29, 27] e di numerosi studi sperimentali di deformazione delle rocce [64, 21, 69, 67, 68, 70, 43, 32, 65, 28, 61, 62].
I marmi presenti nelle sequenze metasedimentarie del Complesso metamorfico delle Alpi Apuane derivano da differenti orizzonti stratigrafici. All'interno dell'Autoctono Auct. litologie marmoree (marmi e metabrecce mono o poligeniche) caratterizzano sia formazioni triassiche (Formazione di Vinca, Brecce di Seravezza, Marmi a Megalodonti; Figura 11) che formazioni del Giurassico inferiore (Formazione dei Marmi Dolomitici, Marmi s.s e Marmo Zerbino; Figura 12). Litotipi marmorei più o meno puri, metabrecce poligeniche e calcescisti si trovano in diverse formazioni della copertura mesozoico-terziaria (Calcescisti, Formazione di Arnetola e Cipollini; Figura 13). Nell'Unità di Massa litologie marmoree caratterizzano invece la Formazione dei Marmi a Crinoidi.
Il bacino marmifero delle Alpi Apuane viene classicamente suddiviso nelle seguenti principali aree estrattive (Figura 14):

- Bacino di Carrara;
- Bacino di Equi;
- Bacino di Orto di Donna;
- Bacino di Gorfigliano;
- Bacino di Arni-Arnetola;
- Bacino del M.Corchia;
- Bacino delle Madielle-M.Costa;
- Bacino del M.Altissimo-Alberghi.

All'interno di ciascuna di queste aree è possibile inoltre effettuare ulteriori ripartizioni in base a criteri geologico-giacimentologici eo infrastrutturali.
I due principali eventi deformativi che caratterizzano il Complesso metamorfico delle Alpi Apuane generano sistemi di pieghe e zone di taglio che nell'insieme compongono un pattern deformativo eterogeneo. I marmi apuani risultano quindi essere coinvolti in complesse geometrie di deformazione che, nei casi più semplici, determinano un raddoppio del loro originario spessore o una loro totale elisione tettonica.



Figura 11 Cava abbandonata nella Formazione di Vinca (Carnico -?Norico) in località La Risvolta (Stazzema). Pochi metri sopra i fronti di coltivazione abbandonati contatto con la sovrastante formazione dei Grezzoni. Varietà merceologica coltivata: rosso rubino.



Figura 12 Cava attiva nella formazione dei marmi Dolomitici (Lias inf.) in località orto di Donna (Minucciano). Varietà merceologica coltivata: ordinario.



Figura 13 Cava abbandonata nella formazione dei Cipollini (?Eocene-Oligocene) in località Campagrina (Seravezza. Varietà merceologica coltivata: cipollino.

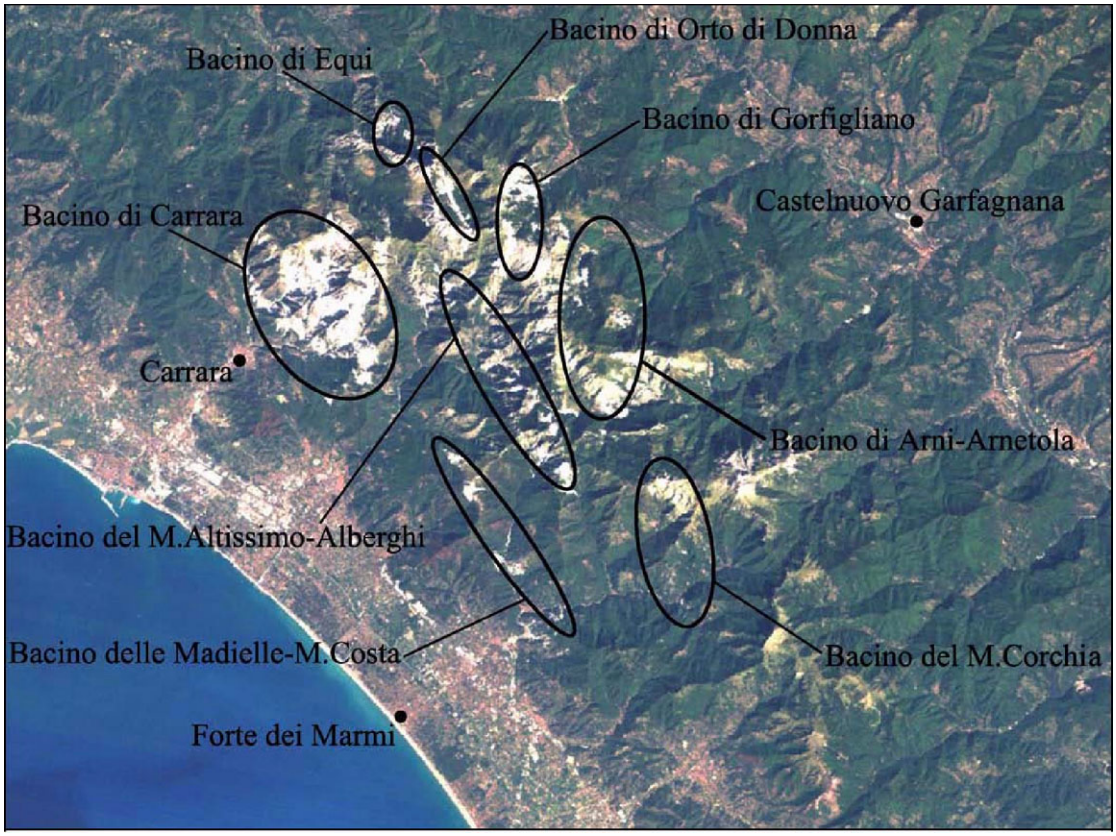


Figura 14 Immagine Landsat con indicati i principali bacini marmiferi delle Alpi Apuane.

Come è possibile osservare in Figura 9, tutte le principali strutture plicative D1 interessano le formazioni marmoree delle Alpi Apuane:

a) la Sinclinale di Carrara presenta al proprio nucleo marmi in prevalenza appartenenti alla Formazione dei Marmi. Nel Carrarese lo spessore dei marmi (500-600 m) è dovuto a ripetizioni tettoniche, come è dimostrabile osservando le strutture presenti nell'alta valle di Colonnata. In questa zona, infatti, almeno tre chiusure di pieghe isoclinali D1 sono evidenziate da altrettanti nuclei di Calcari Selciferi. Questa strutturazione determina un considerevole spessore apparente dei sottostanti marmi, causato da perlomeno cinque ripetizioni tettoniche dell'originario spessore;
b) l'anticlinale di Vinca-Forno è caratterizzata in prossimità della sua terminazione settentrionale da marmi appartenenti prevalentemente alla Fm. dei Marmi Dolomitici. Nella sua prosecuzione meridionale, invece, una serie di pieghe minori di dimensioni pluri-ettometriche coinvolgono marmi e metabrecce delle Fm. delle Brecce di Seravezza e dei Marmi;
c) la sinclinale di Orto di Donna - M. Altissimo - M. Corchia, estendendosi in direzione N-S per oltre 15 Km, interessa tutte le formazioni marmoree dell'Autoctono Auct. . In particolare in prossimità del M. Altissimo e del M. Corchia le formazioni delle Brecce di Seravezza, dei Marmi a Megalodonti e dei Marmi risultano coinvolte in numerose pieghe a geometria complessa con diverse strutture minori e ripetizioni tettoniche;
d) il fianco rovesciato dell'Anticlinale della Tambura è caratterizzato da un notevole spessore di marmi appartenenti prevalentemente alla formazione dei Marmi. Questi marmi tuttavia sono interessati da zone di taglio di spessore variabile che coinvolgono anche calcescisti e metabrecce della copertura mesozoico-terziaria (Formazione di Arnetola, Calcescisti e Cipollini);
e) le strutture del settore nord-orientale del Complesso metamorfico delle Alpi Apuane sono caratterizzate da complesse geometrie di interferenza tra le pieghe dell'evento D1 e quelle della fase deformativa D2. In quest'area i marmi sono caratterizzati da pattern di affioramento molto complicati e in genere di forma lenticolare in conseguenza delle opposte terminazioni laterali di pieghe fortemente non cilindriche (*sheat fold*). I litotipi marmorei affioranti, prevalentemente metabrecce mono- e poligeniche e calcescisti, appartengono alla parte alta della formazione dei Marmi e alle Formazione di Arnetola e dei Cipollini.

4.2 Caratteristiche microstrutturali dei marmi apuani

In numerosi studi sperimentali di deformazione delle rocce sono stati utilizzati campioni di marmo provenienti della Alpi Apuane. Questo perché i marmi apuani sono comunemente considerati, dal punto di vista microscopico, come un esempio di materiale naturale che ha subito un completo processo di *annealing* cioè di ricristallizzazione statica post-deformazione. A questo processo è dovuta la tipica struttura granoblastica poligonale con debole o assente orientazione cristallografica preferenziale (Figura 15a).
All'interno di questo tipo di fabric microscopico è però possibile evidenziare una certa variabilità, già notata da Zaccagna [72] e da successivi autori [29, 33, 23, 11], collegata ad un aumento nella granulometria media che passa da 80-100 μm nelle porzioni orientali e centrali a 150-300 μm nelle porzioni più occidentali del complesso metamorfico. Questa variabilità granulometrica è stata associata [33] ad un aumento delle temperature calcitedolomite che passano dai 340-360 °C delle zone orientali ai 430-450 °C di quelle occidentali. Solo recenti studi [50, 52] hanno messo in evidenza la presenza all'interno dei marmi apuani di microstrutture collegabili a processi deformativi e di ricristallizzazione dinamica. In particolare, è possibile riconoscere tre principali microstrutture (microfabric tipo-A, tipo-B e tipo-C) che rappresentano i termini estre-

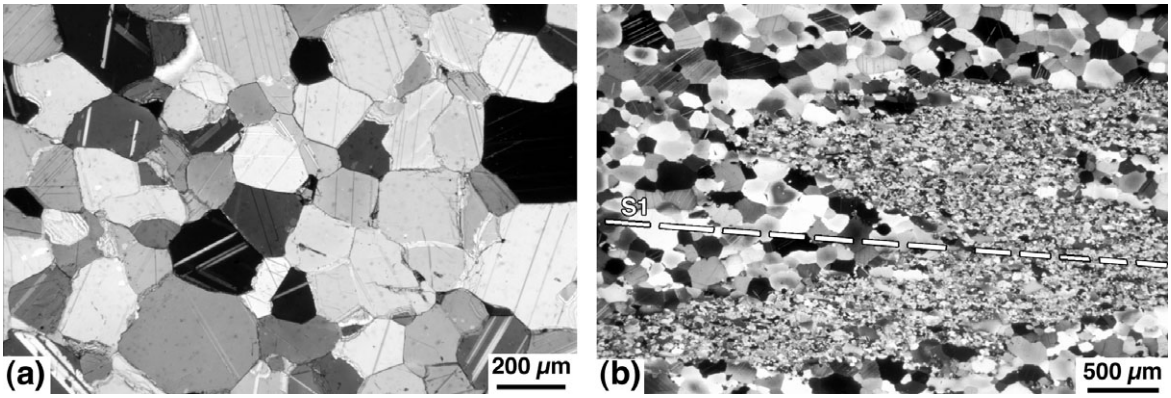


Figura 15 (a) Esempio di microstruttura granoblastica nel marmo delle Alpi Apuane. Notare i limiti tra i granuli che formano tra loro angoli di circa 120° (Carrara). (b) Piega isoclinale nei marmi. I cristalli di calcite hanno una microstruttura statica non orientata.

mi di una vasta gamma di tipologie intermedie in molti casi osservabili in relazioni di chiara sovrapposizione l'una sull'altra.

4.2.1 Microfabric Tipo-A

Questo tipo di microfabric è caratterizzato da una microstruttura granoblastica poligonale ("foam microstructure"), ovvero da un aggregato di cristalli equigranulari con limiti granulari diritti o leggermente curvi che terminano in punti tripli con angoli prossimi a 120°. Gli assi cristallografici *c* dei cristalli di calcite sono privi di una orientazione preferenziale.
Queste microstrutture sono osservabili in livelli di marmo coinvolti in pieghe isoclinali plurichilometriche D1 e relative pieghe minori di dimensioni da metriche a millimetriche. La presenza di microfabric di tipo-A in simili contesti strutturali dimostra che la principale fase di ricristalizzazione metamorfica della calcite avviene dopo la principale fase di piegamento D1 e oblitera le precedenti microstrutture ad essa associate (Figura 15b). Tuttavia in alcuni casi è stato possibile riconoscere microstrutture collegate alle storia di deformazione pre-annealing [47].
I marmi con microfabric di tipo-A sono comunemente osservabili in tutti i bacini marmiferi apuani e, come già sottolineato, mostrano una variazione delle dimensioni medie dei cristalli di calcite che passa dai 300-150 μm, nei settori occidentali, ai 100-80 μm, nei settori centro-orientali.

4.2.2 Microfabric Tipo-B

All'interno di questo microfabric è possibile riconoscere due principali tipologie:
a) Microfabric tipo-B1: microstrutture con cristalli di calcite con limiti granulari molto irregolari (suturati) e da una forte orientazione preferenziale di forma (sub-parallela alla foliazione principale osservabile in campagna) e cristallografica (Figura 16a, 16b e 16c);
b) Microfabric tipo-B2: microstrutture caratterizzate da un'associazione di cristalli di calcite in genere più minuti e con limiti granulari dritti o debolmente curvi, dalla quale spiccano cristalli di maggiori dimensioni. Anche in questo caso è evidente una forte orientazione preferenziale di forma e cristallografica (Figura 16d, 16e e 16f).

Questi due tipi di microstrutture possono essere collegate a processi di ricristallizzazione dinamica in condizioni di alta temperatura (350-400 °C) ed alti tassi di strain. In particolare, mentre predominanti fenomeni di ricristallizzazione per migrazione dei limiti granulari (*grain boundary migration recrystallisation*) possono essere invocati per i microfabric di tipo-B1, rotazione di sub-

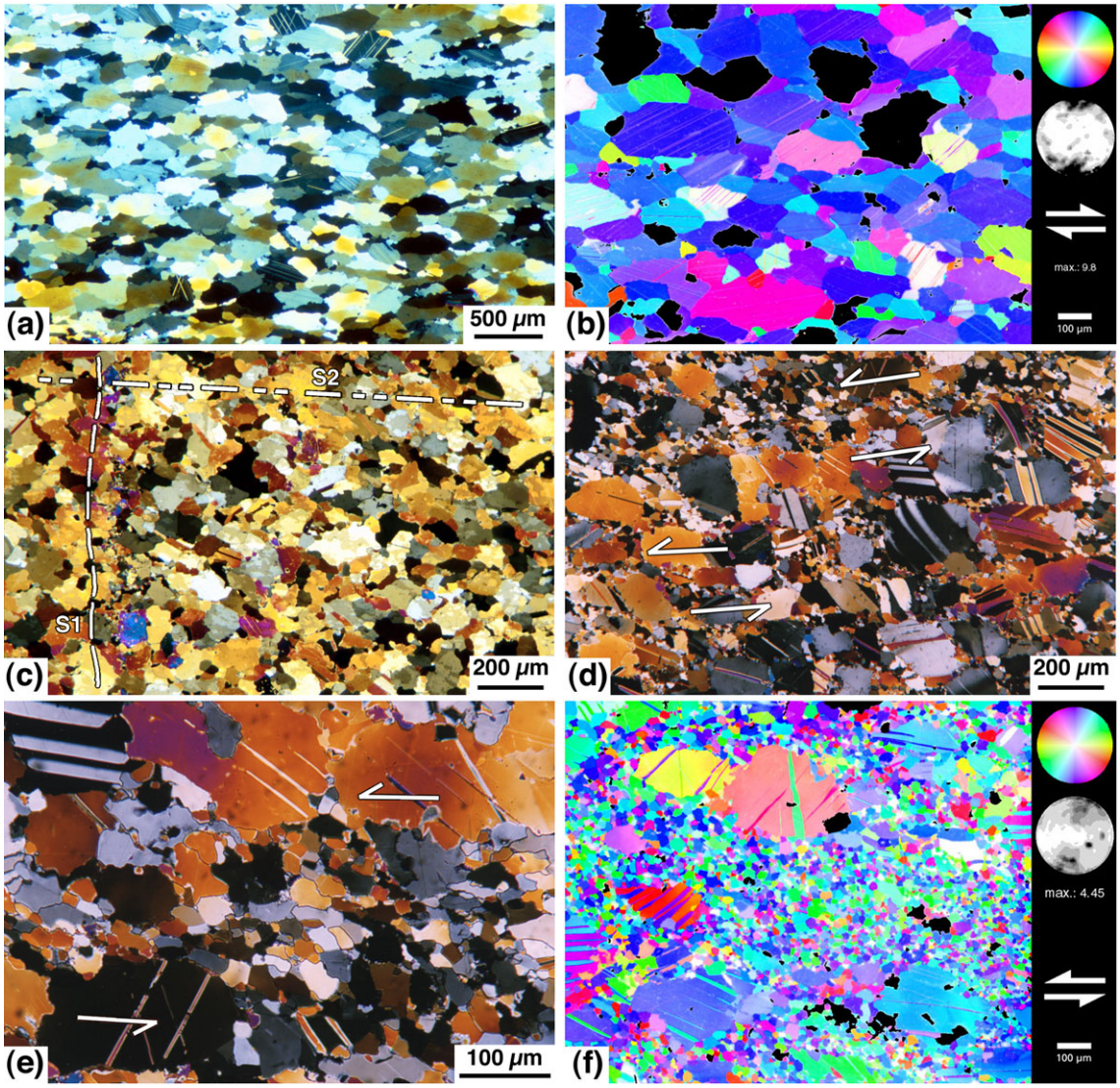


Figura 16 (a) Marmi con orientazione preferenziale della forma dei grani (Arni). (b) Orientazione cristallografica preferenziale nel solito campione. (c) Marmo con grani allungati parallelamente alla foliazione S2 e ortogonali alla foliazione S1 (Arni). (d) e (e) marmo con livelli ricristallizzati per rotazione dei grani (Colonnata). (f) Orientazione cristallografica preferenziale in marmo ricristallizzato per rotazione (Colonnata). Da [52].

grain (*sub-grain rotation*) e ricristallizzazione dei limiti granulari svolgono un ruolo importante nei microfabric di tipo-B2.

4.2.3 Microfabric Tipo-C

Questo terzo tipo di microfabric è collegato a meccanismi di deformazione cristallo-plastica che si realizzano in condizioni di temperatura molto bassa. Esso è caratterizzato dalla presenza di strette e rettilinee lamelle di geminazione che in genere si sviluppano all'interno dei cristalli di maggiori dimensioni, in quanto lo sviluppo e crescita dei geminati è ostacolato dai limiti granulari.
Il microfabric di tipo-C si sviluppa in molti marmi apuani alla fine della storia deformativa e caratterizza in realtà buona parte di marmi andando di fatto a sovrapporsi alle precedenti microstrutture.

4.3 Evoluzione delle microstutture dei marmi apuani

Questa variabilità microstrutturale è stata associata a strutture geologiche (pieghe e zone a deformazione localizzata) ed inserita all'interno di un modello tettonico evolutivo (Figura 17).

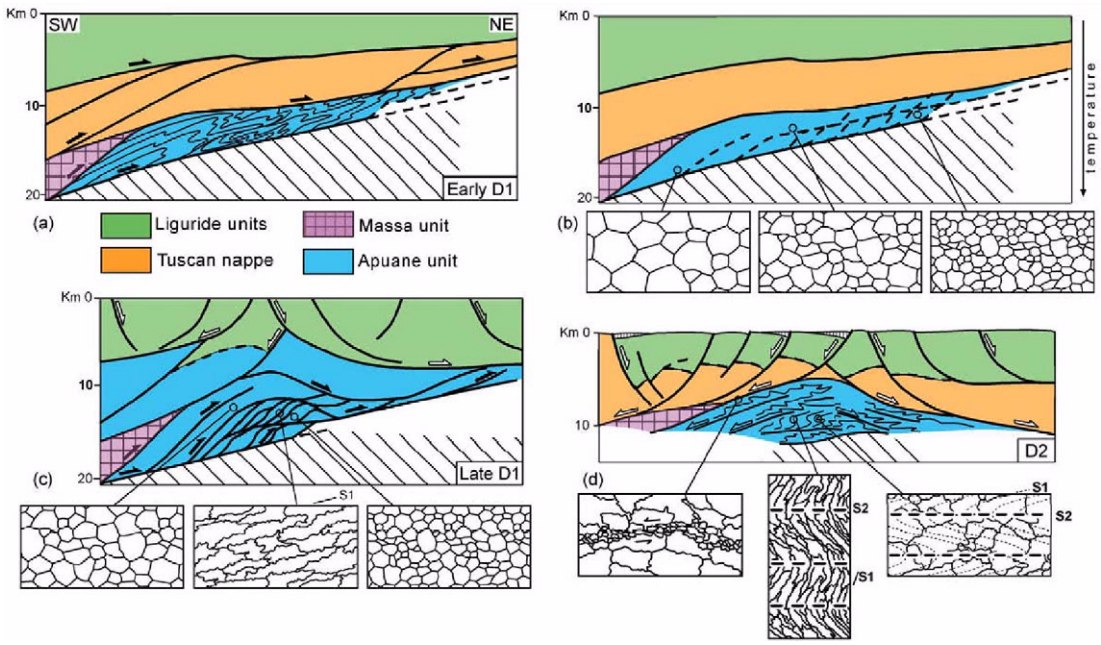


Figura 17 Modello tettonico evolutivo delle microstrutture dei marmi apuani, da [52]. a) Fase deformativa D1 con formazione di pieghe isoclinali di dimensioni chilometriche e sviluppo della foliazione metamorfica principale.; b) In conseguenza del riequilibrio termico all'interno del prisma di accrezione, fenomeni di ricristallizzazione statica obliterano all'interno dei marmi le precedenti microstrutture dinamiche. Si ha in questa fase sviluppo di microfabric di tipo-A caratterizzati da una variazione delle dimensioni medie dei cristalli di calcite lungo la trasversale E-W; c) Fasi finali della deformazione D1 con rielaborazione in zone di taglio "top-to-the-NE" delle microstrutture di tipo-A e sviluppo del microfabric di tipo-B1; d) Sviluppo di zone di taglio D2 e relative microstrutture di tipo-B2.

Durante la prima fase deformativa (D1) si ha la messa in posto delle unità tettoniche, con conseguente sviluppo di microfabric dinamici (Figura 17a). Dopo gli stadi iniziali della deformazione, in conseguenza del riequilibrio termico all'interno del prisma di accrezione e/o diminuzione del tasso di strain, fenomeni di ricristallizzazione statica determinano nei marmi la formazione di microfabric di tipo-A (Figura 17b). Nel Complesso metamorfico delle Alpi Apuane i marmi appartenenti a livelli strutturali più profondi (settori occidentali) sviluppano cristalli di calcite di dimensioni maggiori e mostrano temperature di equilibrio Ca/Do più alte rispetto agli analoghi litotipi in posizioni geometriche più elevate (settori orientali).
Durante gli stadi finali della fase deformativa D1 (Figura 17c) l'individuazione di zone di alta deformazione (shear zone), di dimensioni da metriche a pluridecametriche, determina lo sviluppo di marmi con microfabric di tipo dinamico e la parziale rielaborazione delle predenti microstrutture statiche. Queste shear zones sono probabilmente collegate alla iniziale esumazione e trasporto dei livelli strutturali occidentali più profondi verso NE, ovvero, verso livelli strutturali più superficiali.
Alla storia di deformazione D2 è associata la competa esumazione e il metamorfismo retrogrado dell'Autoctono Auct.. In particolare, all'interno di shear zone legate alle principali strutture plicative della D2, le temperature di ricristallizzazione più basse registrate producono ancora processi di ricristallizzazione dinamica che determinano lo sviluppo di una seconda generazio-

ne di miloniti di marmo con microfabric di tipo-B (Figura 17d). La differenza di temperatura durante l'evento D2 (380 °C nei settori orientali e 340 °C in quelli occidentali) può essere spiegata considerando la posizione strutturale più profonda dei settori orientali negli stadi iniziali della fase deformativa in questione.

5 Le varietà merceologiche e commerciali dei marmi delle Alpi Apuane

5.1 Carte dei marmi apuani

La prima rappresentazione moderna dell'attività estrattiva dei marmi delle Alpi Apuane è una carta manoscritta scala 1:25000 dell'area di Carrara di D. Zaccagna databile, in base al contenuto e allo stile del disegno, tra la fine del XIX secolo e gli inizi del '900 e conservata nell'Archivio storico del Servizio Geologico d'Italia (Figura 18). Su questa carta le diverse tipologie di marmo appartenenti alla formazione marmifera risultano cartograficamente indistinte. Esse, infatti, facevano tutte parte della cosiddetta Zona dei Marmi, descritta come "Marmi bianchi, statuari e bardigli; dolomie saccaroidi", mentre le cave sono distinte in cave di "marmo bianco comune", "marmo statuario", "marmo bardiglio comune" e "marmo brecciato o mischio (paonazzetto)". Inoltre in questa carta vengono riportati l'andamento dei principali filoni e giacimenti metalliferi, la ferrovia marmifera e i piani inclinati.
Malgrado il grande valore socio-economico dei marmi apuani nella regione e l'interesse che da sempre le Alpi Apuane suscitano nel mondo scientifico, è singolare osservare come fino alla metà degli anni '70 nessuno studio abbia avuto come obiettivo quello di distinguere cartograficamente i diversi materiali presenti all'interno della formazione dei marmi.
In quegli anni mancava ancora qualsiasi strumento di pianificazione dell'attività estrattiva e la profonda crisi economica che stava attraversando l'intero settore spinse la Regione Toscana, attraverso l'ERTAG, (Ente Regionale Toscano Assistenza Tecnica e Gestionale) ad avviare un progetto interdisciplinare, l'allora Progetto Marmi, con lo scopo di contribuire allo sviluppo e alla razionalizzazione dell'industria marmifera. Il Progetto Marmi non è stato solo un progetto di ricerca, ma prevedeva tutta una serie di azioni finalizzate allo sviluppo dell'industria del marmo che andavano dalla sicurezza del lavoro, alla formazione professionale, alla promozione e ricerca di mercato in Italia e all'estero, all'attuazione delle quali furono impiegati gli Enti Pubblici, le forze sociali e la Fiera Internazionale Marmi e Macchine di Carrara. Dal 1974 al 1979 vennero quindi svolte ricerche di base finalizzate ad approfondire le conoscenze geologiche e geologico-economiche dell'intero bacino estrattivo. In particolare, nell'ambito dello studio geologico-giacimentologico e dell'analisi dell'attività estrattiva, furono svolti rilevamenti geologico-strutturali con delimitazione delle varietà merceologiche dei marmi, individuazione dei principali sistemi di fatturazione ed indicazione dei siti con tensioni residue, caratterizzazione fisico-meccanica e chimico-mineralogica delle diverse tipologie di marmo e censimento delle cave attive ed inattive attraverso apposite schede.
Sempre all'interno di questo progetto vennero poi elaborate diverse cartografie tematiche quali carte geologico-strutturali della formazione dei marmi, carte delle varietà merceologiche (Figura 19), carte dell'acclività, carte della scistosità e carte delle fratture e furono inoltre raccolte in una pubblicazione le schede tecniche delle diverse varietà merceologiche [37].
Il Progetto marmi dell'ERTAG rappresentò soprattutto il primo intervento di pianificazione economica applicato al settore estrattivo apuano: lo scopo principale del progetto era quello di individuare attraverso il confronto tra dati geologico-giacimentologici e socio-economici ed infrastrutturali aree omogenee dal punto di vista dell'organizzazione del ciclo produttivo (dall'escavazione al trasporto e lavorazione). Furono quindi definite 33 aree o "Comparti" all'interno dei quali vennero individuate e progettate le diverse tipologie di intervento volte allo sviluppo dell'attività estrattiva. La frammentazione del bacino marmifero apuano in Comparti, se da un lato si dimostrò un efficace strumento per la pianificazione territoriale, dall'altro

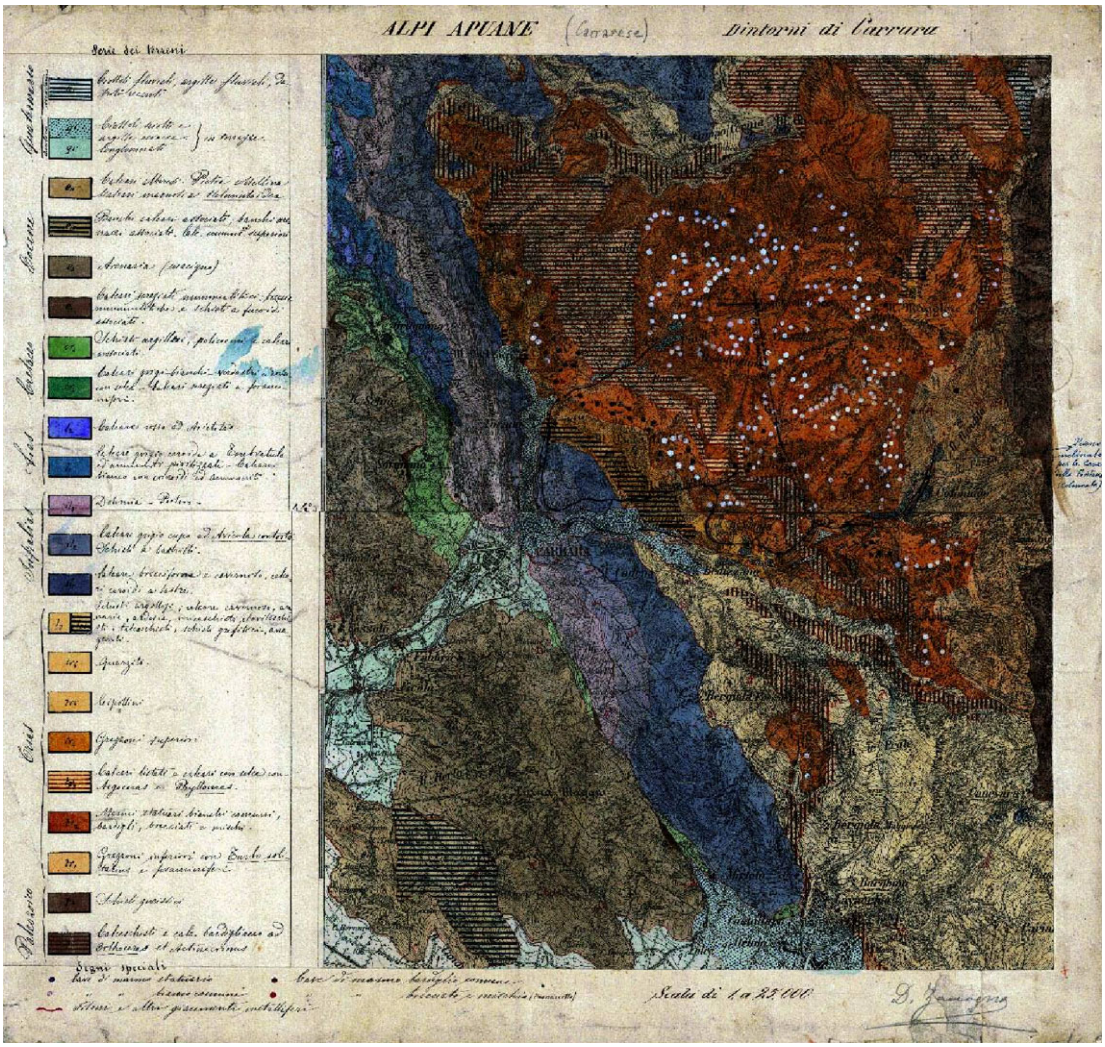


Figura 18 Carta geologica del bacino marmifero di Carrara a cura di Domenico Zaccagna. data di realizzazione sconosciuta (fine 1800 - inizio 1900), dall'Archivio storico del Servizio Geologico Italiano, Roma.

comportò l'utilizzo di una vasta gamma di nomi per le diverse tipologie di marmo (eredità storica delle diverse aree estrattive), nomi che in molti casi risultavano differenti per omologhe varietà merceologiche, oppure, uguali per materiali diversi in differenti Comparti.
La Carta Geologico-Strutturale del Complesso Metamorfico delle Alpi Apuane (Foglio Nord) pubblicata da Carmignani nel 1985 [12] rappresenta, dal punto di vista cartografico, la sintesi a scala 1:25.000 delle ricerche scientifiche condotte fino ad allora e dei risultati ottenuti dagli studi promossi dall'ERTAG. All'interno della formazione dei marmi in questa carta sono state distinte tre varietà merceologiche:

- marmi brecciati: arabescato, breccia rossa, calacatta, fantastico;
- marmi bianchi: ordinario, statuario, venato;
- marmi grigi: bardiglio, bardiglietto e nuvolato.

Questa suddivisione è resa in carta con leggeri sovrassegni e sigle differenti su uno stesso colore di fondo, senza limiti certi fra le varietà merceologiche (Figura 20).
Successivamente carte di dettaglio delle varietà merceologiche dei marmi sono state realizzate da Coli et al. [22] per la valle di Orto di Donna (Minucciano) e da Coli [24] per la zona di Boana.
Per l'area di Carrara un progresso rispetto alla citata carta di Carmignani [12] è rappresentato dalla Carta Geologico Strutturale delle Varietà Merceologiche dei Marmi del Carrarese realizza-

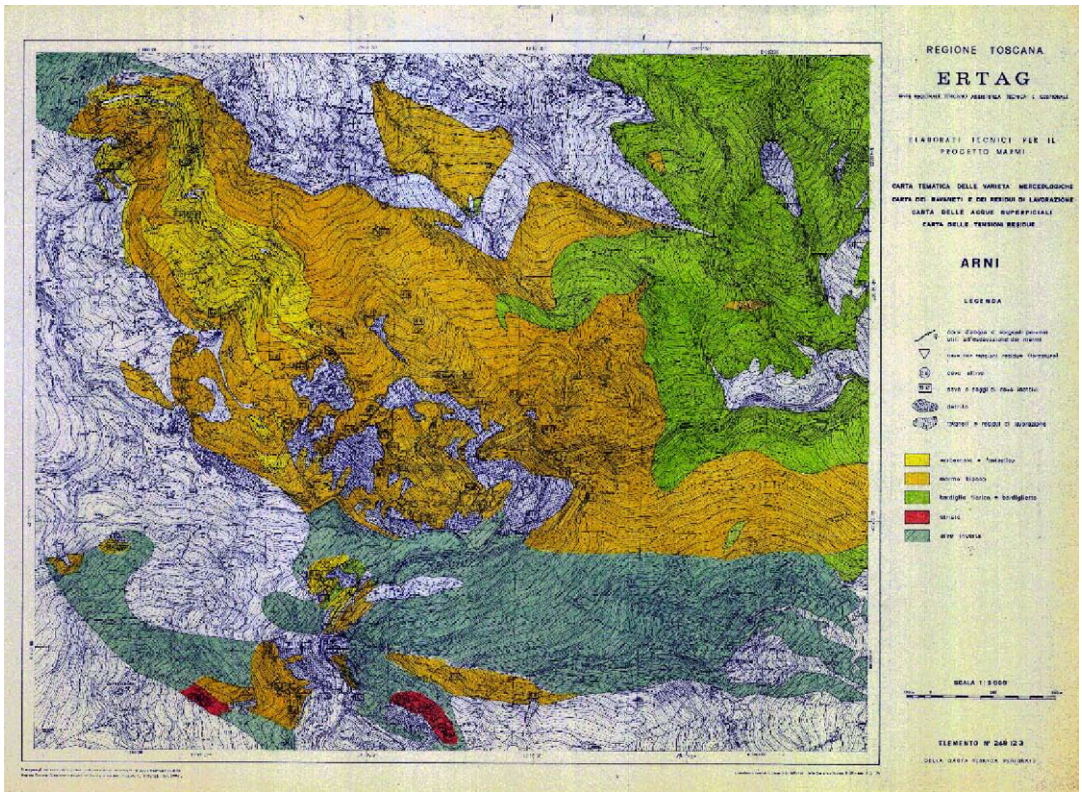


Figura 19 Carta delle varietà merceologiche dei marmi prodotta dal Progetto marmi dell'ERTAG (Regione Toscana).

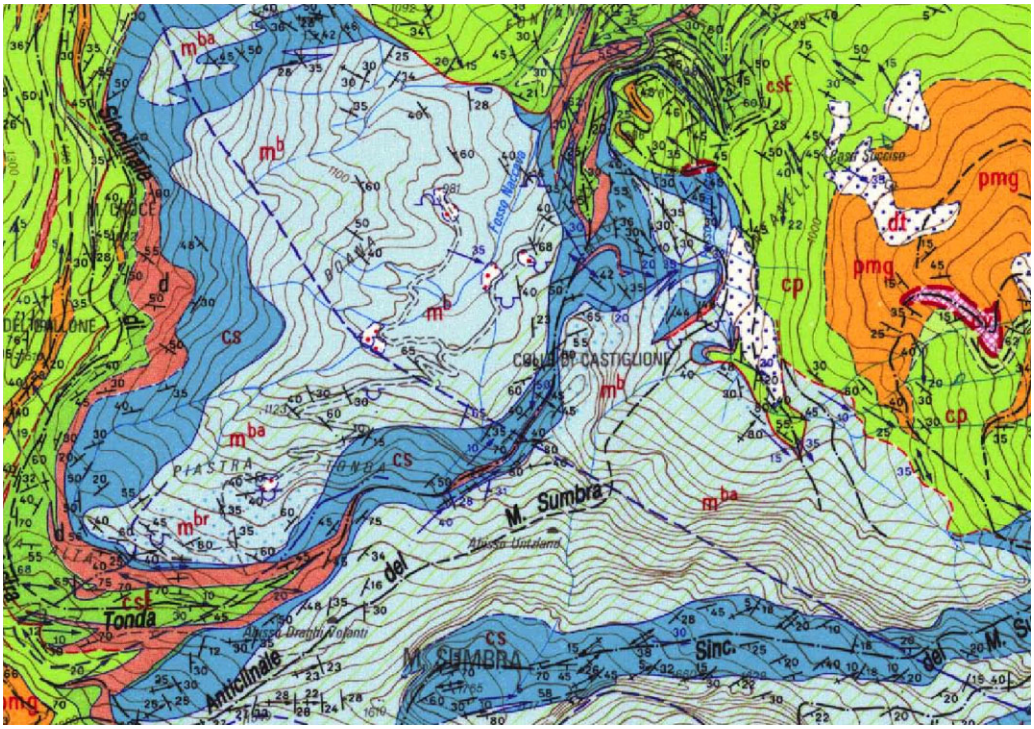


Figura 20 Particolare della Carta geologico-Strutturale del Complesso metamorfico delle Alpi Apuane (Foglio Nord) [12].

ta da Meccheri [48], alla quale sono poi seguiti gli studi promossi dal Comune di Carrara nel 2002 [26].
Infine recentemente è pubblicata da Meccheri et al., la Carta Geologico-Strutturale dei Marmi del Monte Altissimo (Alpi Apuane centrali, Toscana) [49].
In generale in queste carte finora pubblicate il problema del riconoscimento dei litotipi presenti all'interno dei marmi apuani è affrontato da un punto di vista più strettamente geologico. I caratteri litologici, stratigrafici e mineralogici vengono infatti considerati non solo a scopo classificativo, ma anche al fine di definire una successione stratigrafica delle diverse varietà merceologiche individuate. Le differenti tipologie di marmo sono state quindi correlate con altrettante variazioni litostratigrafiche primarie che caratterizzavano la piattaforma carbonatica del Lias Inferiore del dominio toscano. In particolare per le varietà arabescato, calacatta, paonazzo, etc., sono stati ipotizzati, come originari protoliti, brecce sedimentarie derivate da accumuli di clasti calcarei, di dimensioni eterometriche, alla base di scarpate e piani di fagli sin-sedimentarie. Tuttavia in alcuni casi è evidente la loro origine da corpi filoniani sin-sedimentari, interessati da processi di tipo carsico (es: silt vadosi, fantasmi di pisoliti, ecc.), riconducibili a sistemi di fatturazione della piattaforma carbonatica (Figura 21) [38, 39, 8, 25].



Figura 21 Filone breccioide che taglia ad alto angolo la stratificazione (Cava la Mossa, SW di M. Altissimo)

I marmi bianchi (es: ordinari) vengono fatti generalmente corrispondere dai precedenti autori a settori della piattaforma carbonatica caratterizzati da condizioni ottimali (acque ben ossigenate e pulite) per la crescita degli organismi biocostruttori e dove risultano molto scarsi gli apporti di materiale pelitico. In particolare, i litotipi più omogenei e puri (es: bianco P, statuario) sono riferiti a sistemi di barre oolitiche di ambiente marginale o a canali di marea. I marmi venati rappresenterebbero depositi di ambiente inter-sottotidale caratterizzati dallo sviluppo di strutture di disseccamento ("fenestrae") e cavità carsiche in conseguenza a fasi di locale emersione.
Infine, i marmi grigi (es: bardiglio e nuvolato) coinciderebbero con aree di piattaforma contraddistinte da condizioni relativamente riducenti, nelle quali il materiale organico poteva essere più facilmente preservato dai processi di ossidazione. Queste condizioni si possono realizzare

nella parte più interna, a circolazione ristretta delle acque, della piattaforma carbonatica, oppure all'esterno in zone più depresse al di sotto del livello di base dell'onda.
In questo quadro, tuttavia, non mancano ipotesi circa l'origine tettonica di alcune varietà merceologiche di marmo. Secondo Coli [23], alcune varietà di marmo (es: arabescato, nuvolato, fantastico, fior di pesco etc…) possono essere fatte corrispondere a zone di laminazione od interdigitazione tettonica duttile originatesi in seguito agli eventi deformativi sin-metamorfici (fasi D1 e D2) che caratterizzano il Complesso metamorfico delle Alpi Apuane. In particolare la varietà nuvolato sarebbe derivata da nuclei di ultrasinclinali di metacalcari selciferi (Formazione dei Calcari Selciferi) più o meno sradicati e trasposti all'interno della formazione dei Marmi e oggetto di una sorta di amalgamazione meccanica con i litotipi più chiari della formazione marmorea stessa.
Il tentativo di assimilare a determinate facies sedimentarie le diverse tipologie di marmo presenti all'interno della successione metamorfica apuana ha portato, in realtà, all'utilizzo di una nomenclatura per le diverse varietà merceologiche estremamente disomogenea che spesso si allontana dai termini "classici" in uso nel commercio di questi materiali. Questo, associato al fatto che spesso non viene seguito un univoco criterio di classificazione delle diverse tipologie di materiali presenti all'interno dei marmi apuani conduce a:

a) nomi uguali che indicano varietà merceologiche diverse in aree differenti delle Alpi Apuane;
b) nomi differenti che indicano lo stesso tipo di marmo estratto in aree diverse delle Alpi Apuane.

E' interessante sottolineare come la situazione sopra descritta sia anche in parte legata alla lunga storia di estrazione e commercio che ha interessato questi materiali. Il primato dei marmi apuani nella produzione lapidea italiana è infatti frutto di una storia secolare durante la quale gli imprenditori del marmo si sono sempre inevitabilmente scontrati con i mutevoli orientamenti del mercato: gusti e mode di ogni tempo hanno avuto riflessi immediati sulle quantità dei materiali estratti e soprattutto sul rinvenimento, sull'abbandono e sulla riscoperta di varietà merceologiche spesso non più coltivate da secoli.
Questo fatto, unito oggi alla crescente concorrenza in un mercato sempre più aperto verso nuove frontiere (e quindi alla presenza di nuovi materiali), ha determinato da parte degli imprenditori e commercianti del marmo una corsa verso la ricerca di nomi e termini commerciali da utilizzare per identificare e valorizzare oltre modo i propri prodotti. Soprattutto negli ultimi anni quindi sono stati introdotti e/o riscoperti nomi a volte piuttosto fantasiosi e accattivanti (es: Bianco Extra, Corallo Rosa, Bleu Venato d'Italia, Cipollino Capriccioso Verde Tirreno Classico, etc.) altre volte molto simili ai termini tradizionalmente adoperati (es: Arabescato Cervaiole; Bianco Fondone, Bianco Moschettato, etc.), allo scopo di differenziare i prodotti provenienti da un determinato bacino marmifero o una certa cava dagli analoghi materiali presenti nel commercio e ritagliarsi così una propria fetta di mercato. E' nata in questo modo una vasta nomenclatura commerciale di questi materiali all'interno della quale gli studiosi e gli stessi addetti ai lavori trovano non poche difficoltà nell'orientarsi. Inoltre in molti casi si sono adoperati in modo improprio termini "classici" ormai universalmente riconosciuti per identificare materiali che in realtà non possiedono tali requisiti, determinando così incomprensioni e difficoltà nelle operazioni di mercato.

Il presente progetto della Regione Toscana e dell'Università di Siena ha proprio come principale obiettivo la realizzazione di una cartografia dei marmi delle Alpi Apuane omogenea alla scala dell'intera regione estrattiva. Questa cartografia è basata su alcune varietà merceologiche (Tabella 2), mentre le varietà commerciali riscontrate in ogni cava (Tabella 3) sono riportate solo nella Banca dati (accessibile anche dal sito web del progetto).

5.2 Definizione di "varietà merceologica"

Per relizzare in questo Progetto una cartografia tematica dei marmi delle Alpi Apuane omogenea alla scala dell'intera regione estrattiva ci si scontra subito con il problema di definire una legenda da seguire durante la campagna di rilevamento delle varietà merceologiche (Tabella 2).

Tabella 2 Le 14 varietà merceologiche dei marmi delle Alpi Apuane cartografate in questo progetto.

Tipo di marmo	Varietà merceologica	Sigla
MARMI BIANCHI	ORDINARIO	or
	STATUARIO	st
	BIANCO	bi
MARMI GRIGI E VENATI	GRIGIO	gr
	VENATO	zb
	ZEBRINO	ve
MARMI BRECCIATI	ARABESCATO	ar
	CALACATTA	ca
	BRECCIA ROSSA	fa
	FANTASTICO	br
MARMI CIPOLLINI	CIPOLLINO	cp
MARMI STORICI	BRECCIA DI SERAVEZZA	bs
	ROSSO RUBINO	rb
	NERO DI COLONNATA	co
	VARIETA' NON DETERMINATA / MARMI NON COLTIVATI	nc

Da un'accurata revisione delle precedenti carte prodotte è evidente come nella letteratura scientifica non sia presente una definizione chiara ed univoca riguardo il termine di "varietà merceologica" di marmo, varie sono infatti le interpretazioni date circa il significato geologico delle diverse qualità di marmo e diversi i criteri utilizzati per il loro riconoscimento. Tutto questo suggerisce la necessità di precisare ciò che si intende, in questo lavoro, per varietà merceologica di marmo e quali sono stati i criteri seguiti per la loro identificazione e rilevamento in campagna.
In questo Progetto una varietà merceologica è stata considerata una "unità litostratigrafica informale" come definita dall'International Stratigraphic Guide [66] a pag. 36.
Per per unità litostratigrafica formali (supergruppo, gruppo, formazione, membro, strato) si intendono corpi rocciosi definiti sulla base delle loro caratteristiche litologiche e della loro posizione stratigrafca. Le unità litostratigrafiche informali invece rappresentano corpi rocciosi distinguibili e separabili da quelli adiacenti in funzione di una generale omogeneità litologica ma anche per la presenza di altri caratteri peculiari, quali per esempio la loro utilità o interesse economico (es: acquiferi, sabbie petrolifere, livelli carboniosi, giacimenti minerari, ecc).

Una certa varietà merceologica di marmo può infatti essere completamente descritta, riconosciuta e separata da quelle adiacenti in base a caratteri che sono, da un lato, strettamente litologici (es: metacalcare, metabreccia, calcescisto etc…), dall'altro propriamente commerciali-estetici (es: colore e disegno), a prescindere dal significato geologico o cronostratigrafico attribuibile ad una certa tipologia di marmo. Il concetto cronostratigrafico, infatti, gioca in generale un ruolo minore nell'identificazione di un'unità litostratigrafica e dei suoi limiti: i caratteri litologici di una roccia sono comunemente legati, più che all'età, alle modalità di formazione della roccia stessa; similari tipi di rocce sono ripetuti nel tempo e nelle sequenze stratigrafiche e i limiti di quasi tutte le unità litostratigrafiche tagliano attraverso le isocrone quando vengono tracciati lateralmente [66].
Le varietà merceologiche di marmo vengono quindi trattate in questo lavoro come unità litostratigrafiche informali. Questo ha come diretta conseguenza il fatto che una stessa varietà merceologica può trovarsi in diverse posizioni stratigrafiche all'interno della successione metamorfica apuana, ovvero, la stessa varietà merceologica di marmo può essere riconosciuta e distinta all'interno di formazioni che, pur presentando caratteristiche litologiche simili, si trovano in differenti posizioni nella colonna stratigrafica dell'Autoctono Auct. (Figura 22).
Sono 14 le unità litostratigrafiche informali che rappresentano le diverse varietà merceologiche riconosciute e cartografate all'interno dei marmi delle Alpi Apuane; esse sono riportate nella Tabella 2.
Queste 14 varietà merceologiche possono essere raggruppate in base alle loro caratteristiche generali in 5 gruppi:

- marmi brecciati
- marmi bianchi
- marmi grigi e venati
- marmi cipollini
- marmi storici

Durante la campagna di rilevamento in alcune aree, a causa dell'inaccessibilità degli affioramenti, non è stato possibile identificare la tipologia di marmo presente; in altre invece il marmo, in conseguenza di un'intensa dolomitizzazione secondaria, non presenta le caratteristiche litologiche idonee per il suo sfruttamento. Oltretutto, proprio per tali motivi, queste aree in passato non sono mai state soggette a coltivazione, ad eccezione di alcuni saggi esplorativi e/o piccole cave aperte occasionalmente e per brevi periodi, l'attività estrattiva è sempre stata poco significativa se non nulla. Queste zone sono state quindi cartografate come aree nelle quali le varietà merceologiche non sono determinate e/o aree non interessate storicamente da un'importante attività estrattiva (in carta sono indicate con la sigla "nc").
Di seguito vengono descritte le diverse varietà merceologiche riconosciute e cartografate all'interno dei marmi delle Alpi Apuane.

5.3 Le varietà merceologiche dei marmi delle Alpi Apuane

Le principali caratteristiche litologiche ed estetiche dei materiali sono frutto di osservazioni fatte prevalentemente a scala dell'affioramento ed integrate da successive analisi al microscopio ottico.
I caratteri litologici presi in considerazione riguardano il litotipo predominante (es: marmo, marmo impuro, metabreccia mono- o poligenica, calcescisto etc…), la microstruttura (es: dimensione media dei cristalli di calcite), la struttura della roccia (es: roccia omogenea o anisotropa), la composizione mineralogica e, nel caso di metabrecce, il rapporto tra clasti e matrice (tessiture grain-supported o matrix-supported).

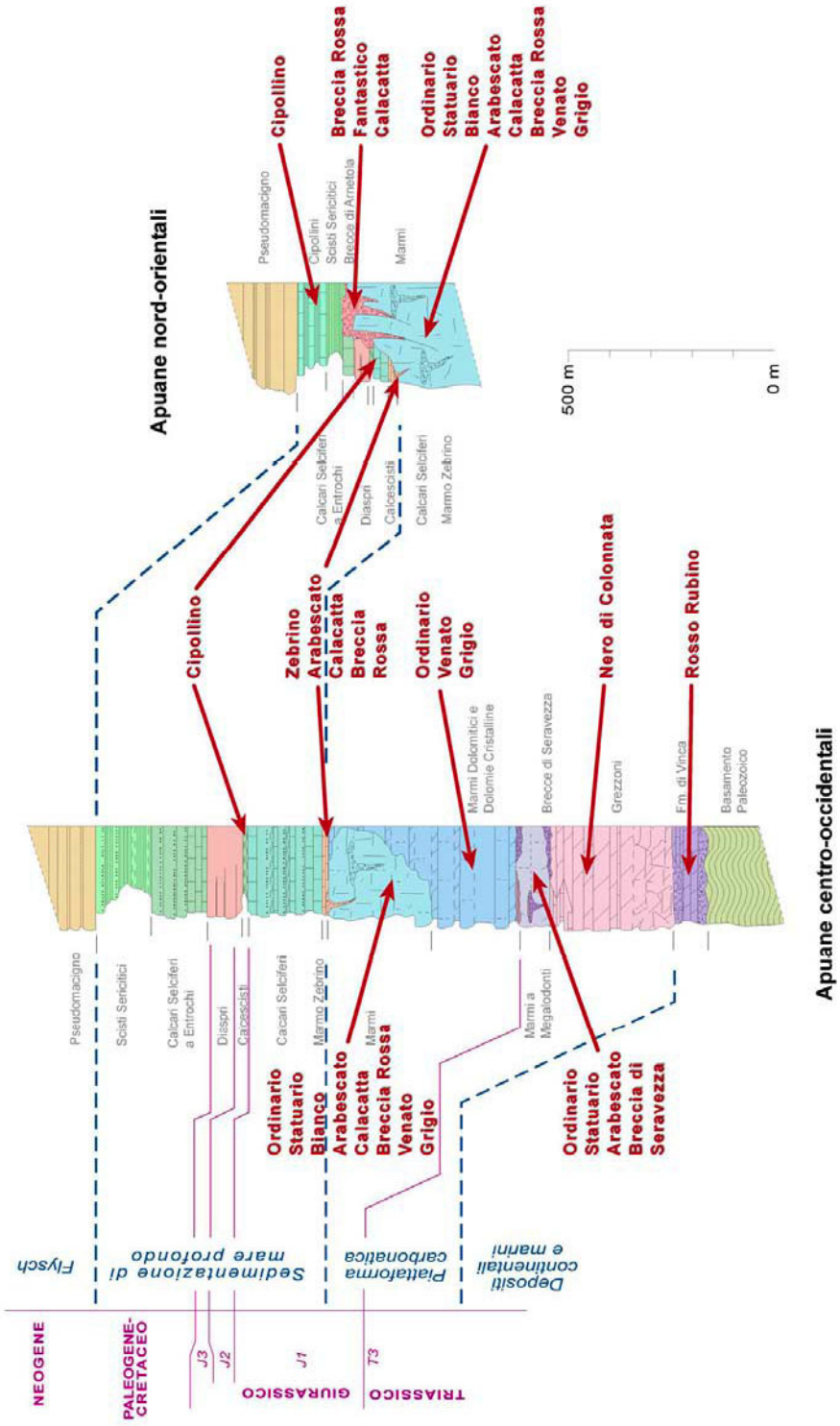


Figura 22 Le varietà merceologiche dei marmi nella colonna litostratigrafica delle Alpi Apuane.

I parametri estetici presi in considerazione sono invece rappresentati dal colore e dal disegno. Il colore risulta molto spesso un fattore discriminante e, nei marmi, è in genere dovuto alla presenza di microcristalli di ematite (colorazione dal rosa al rosso vivo), ossidi di manganese (dal rosso scuro al viola), idrossidi di ferro (dall'arancione al giallo), clorite (toni del verde) etc., omogeneamente diffusi all'interno della roccia o concentrati nella matrice. Il disegno è definito dalla dimensione, forma, orientazione e disposizione relativa degli elementi che sostituiscono il materiale e nel caso di rocce metamorfiche è un parametro molto importante ai fini di una classificazione merceologica.
I marmi apuani, infatti, sono stati sottoposti durante la loro storia geologica ad intense deformazioni, con conseguente sviluppo di strutture lineari o planari (superfici di clivaggio o di scistosità, lineazioni mineralogiche e di estensione) che conferiscono alla roccia un fabric orientato. In funzione del tipo ed entità della deformazione subita, tutti gli elementi costituenti il marmo sono stati quindi deformati e ruotati parallelamente a queste strutture, ovvero parallelamente al piano XY e all'asse X dell'ellissoide della deformazione finita (Figura 23).

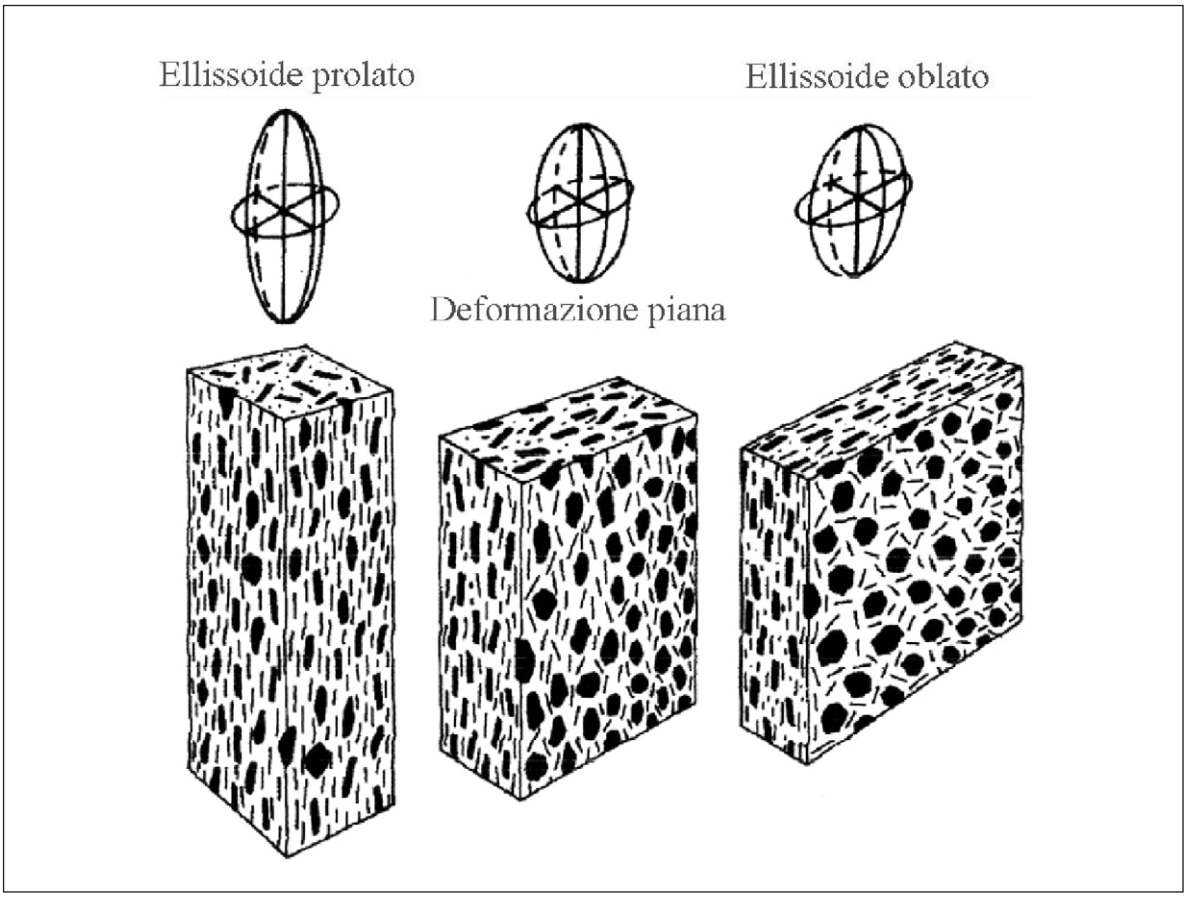


Figura 23 Tre differenti tipi di deformazione (strain) e fabric risultante. I blocchi sono stati ottenuti attraverso dei tagli orientati parallelamente alle superfici principali dell'ellissoide della deformazione finita (XY, XZ, ZY). E' evidente la differenza di aspetto delle diverse superfici di taglio conseguente alla deformazione subita. Poiché ogni ellissoide della deformazione finita ha almeno due sezioni circolari (superfici sulle quali la deformazione finita è nulla) dovranno esistere sempre almeno due sezioni sulle quali la roccia mostrerà gli elementi costituenti con la loro forma iniziale pre-deformazione.

Questo è particolarmente evidente nel caso delle metabrecce marmoree (es: arabescati, calacatta, brecce rosse, etc.) dove i clasti risultano tipicamente appiattiti e allungati sulla foliazione metamorfica principale. Questo fatto determina la possibilità di ottenere dalla stesso blocco di mar-

mo lastre con disegni ed ornamentazioni molto differenti, semplicemente variando la direzione del taglio rispetto a quella dell'ellissoide della deformazione finita (Figura 24). In alcuni casi le differenze del disegno ed ornamentazione possono essere tali da determinare la possibilità di ottenere distinte varietà merceologiche tagliando lo stesso materiale con diverse orientazioni.



Figura 24 Tagli diversamente orientati in marmo arabescato della solita cava. Il taglio sulla sinistra è orientato all'incirca parallelamente alla superficie XZ dell'ellissoide della deformazione finita e mostra i clasti della breccia fortemente appiattiti e allungati secondo una direzione preferenziale (parallelamente alla foliazione principale e alla lineazione di estensione). Il taglio sulla destra invece non mostra un'evidente orientazione preferenziale della forma dei clasti di marmo e la natura clastica del protolite è facilemente ancora riconoscibile. Da un punto di vista merceoogico questi tagli sono quelli sui quali si ottiene la migliore "fioritura" del materiale, cioè un'ornamentazione all'incirca priva di orientazioni preferenziali di clasti e della matrice. Dato che per questa tipologia di marmo un taglio secondo la migliore fioritura ha maggior valore commerciale, grande cura è dedicata ad individuare questa orientazione sia in cava che fase di segagione del blocco in segheria.

5.3.1 Marmi bianchi

Con il termine marmi bianchi s'intendono tutti quei litotipi marmorei di composizione estremamente omogenea e colori molto uniformi che variano dal bianco al bianco avorio, dal bianco perlaceo al grigio chiaro.

5.3.1.1 Ordinario

Marmi a grana fine o media-grossa, di colore bianco perlaceo fino a grigio chiaro, in genere piuttosto omogeni o variamente punteggiati da macchie grigie più o meno ampie e sfumate dovute a presenza di pirite microcristallina. Raramente si osservano irregolari trame di vene di colore grigio chiaro o scuro. L'aspetto più comune è quindi quello di una roccia massiva e compatta priva di distribuzioni preferenziali degli elementi che la compongono (Figura 25).



Figura 25 Blocchi di marmo ordinario (Cava del Fagiano, Carrara).

5.3.1.2 Statuario

Marmi a grana grossa, di colore bianco avorio, a volte tendente al giallo-beige molto chiaro, e generalmente assai uniforme. Queste colorazioni sono date da tracce di muscovite microcristallina omogeneamente distribuita nella prevalente matrice carbonatica. Localmente piccole e sparse macchie grigie, dovute a deboli concentrazioni di pirite e fillosilicati, si possono organizzare in sottili vene variamente anastomizzate interrompendo di fatto la generale uniformità del materiale (Figura 26).

5.3.1.3 Bianco

Marmi a grana fine o media, estremamente omogenei e di colore dal bianco puro al bianco perlaceo. In genere risultano privi o quasi di qualsiasi ornamentazione, tuttavia localmente presentano macchie scure più o meno isorientate o piccole vene e plaghe più chiare riempite da calcite micritica (Figura 27).

5.3.2 Marmi grigi e venati

A questo gruppo appartengono tutti quei materiali caratterizzati da un colore di fondo da bianco a bianco perlaceo e venature grigie, di dimensioni che vanno dai pochi mm a decine di cm e marmi da grigio chiari a grigio scuri con vene più chiare o scure.

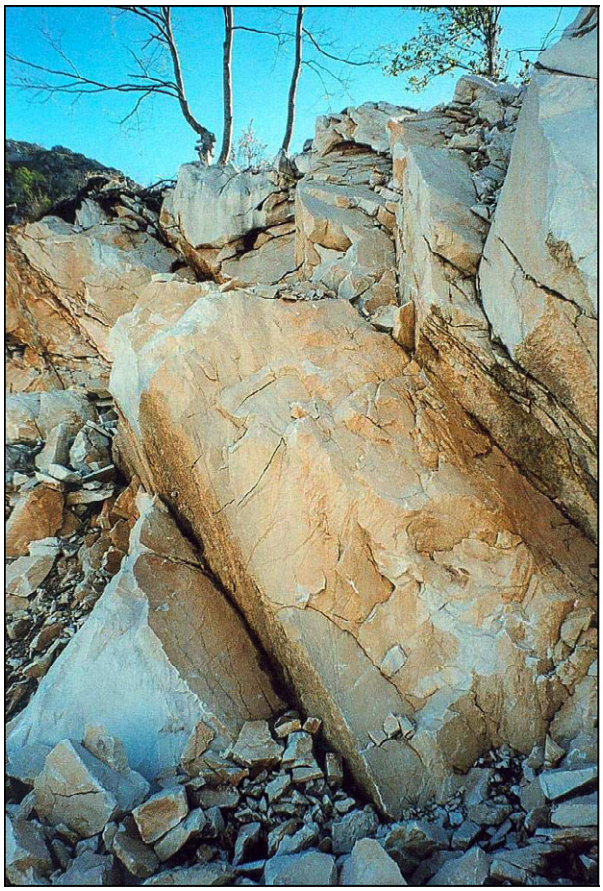


Figura 26 Corso di marmo statuario dello spessore di circa 2 m (Cava Buca, M. Altissimo).



Figura 27 Blocco di marmo bianco (Cava Romana, Forno).

5.3.2.1 Grigio

Marmi a grana fine o media, di colore da grigio chiaro a grigio scuro attraversati da vene grigie più scure o più chiare fino a biancastre.
L'ornamentazione risulta estremamente variabile pur rimanendo all'interno di un tipo generale: si può infatti passare da litotipi con aspetto molto eterogeneo e variegato, dato da alternanze più o meno irregolari di livelli grigi e biancastri, a materiali molto omogenei, con colori che vanno dal grigio-bluastro al grigio scuro con sottili venature più scure. Il colore scuro più o meno uniforme dell'insieme è dato da pirite microcristallina e/o pigmento carbonioso. Non di rado sono presenti masse e/o strati dolomitici più o meno regolari e continui e livelli ocracei con pirite (Figura 28).



Figura 28 Corso di marmo grigio (Cava Bora, Forno).

5.3.2.2 Venato

Marmi a grana media, di colore dal bianco al bianco perlaceo, fino a grigio chiaro, con venature più scure da molto regolari ad anastomizzate e spesse in media dal mm al cm. Non sono rare macchie grigie di forma irregolare talvolta caratterizzate da una certa isorientazione.
Le macchie e le vene sono tipicamente organizzate secondo un sistema di superfici sub-parallele alla foliazione principale, identificate dai cavatori con il termine "verso di macchia". L'espressione si è poi estesa anche alle altre varietà merceologiche nei casi in cui queste presentano forti venature. Questa varietà è caratterizzata da un'ampia gamma di ornamentazioni determinata dalla diversa orientazione, frequenza e spessore delle vene e delle macchie grigio scuro (Figura 29).



Figura 29 Tagli in marmo venato (Cava A, Orto di Donna).

5.3.2.3 Zebrino

Marmi a grana fine, in genere da biancastri a color avorio, talora leggermente rosati, caratterizzati dalla presenza di interstrati filladici ricchi in fillosilicati, quarzo, pirite e dolomite. Localmente sono rappresentati da marmi grigi o grigio-verdi alternati a livelli di calcescisti verdastri con noduli o liste di selce da chiara a rosata (Figura 30).

5.3.3 Marmi brecciati

In questo gruppo ricadono gran parte delle metabrecce di composizione prevalentemente carbonatica presenti a differenti altezze nella successione litostratigrafia delle Alpi Apuane. In genere sono rappresentate da metabrecce clasto-sostenute ad elementi di marmo e matrice variamente colorata dal grigio al verde, dal rosso al viola. A causa della deformazione subita, i clasti di queste metabrecce hanno assunto una forma fortemente appiattita e allungata sulla foliazione metamorfica principale, determinando la possibilità da parte di questi materiali di assumere aspetti completamente differenti su tagli di cava diversamente orientati.

5.3.3.1 Arabescato

Metabrecce a clasti eterometrici di marmo immersi in una matrice, di composizione prevalentemente calcarea, di colore dal grigio più o meno scuro al verde scuro. La matrice è in genere nettamente subordinata alla frazione clastica ed è caratterizzata da locali arricchimenti in pirite microcristallina, fillosilicati, dolomite, quarzo, etc., sempre in quantità accessorie rispetto alla



Figura 30 Blocco di marmo zebrino (Ponti di Vara, Carrara).

calcite. I clasti sono tipicamente grigio chiari-bianchi e in funzione della loro taglia, colore, disposizione relativa e rapporto con la matrice circostante determinano per questa varietà un'ampia gamma di aspetti e ornamentazioni di solito ben esposti nei diversi tagli di cava (Figura 31).



Figura 31 Tagli in marmo arabescato (Cava Piastraio, M. Corchia).

5.3.3.2 Calacatta

Metabrecce a clasti marmorei bianco-giallastri molto chiari, talora con deboli colorazioni verde-chiaro, in matrice calcareo-fillosilicatica di colore generalmente giallo-ocra e meno frequentemente verde. In genere la scarsa percentuale di matrice rende poco evidente la natura clastica del materiale (Figura 32).



Figura 32 Fronti di coltivazione in marmo calacatta (Cava III SAM, Arnetola).

5.3.3.3 Breccia rossa

Metabrecce poligeniche a prevalenti elementi marmorei e subordinate selci, in matrice a dominante composizione fillosilicatica di colore variabile dal verde scuro al rosso scuro, dal rosso violaceo al viola scuro (Figura 33). I clasti di marmo sono di vario tipo, da bianchi a grigio-chiari, da nocciola a rosati, spesso ricchi in frammenti e articoli di crinoidi e frammenti di belemniti. In generale queste metabrecce hanno una struttura clasto-sostenuta anche se localmente la matrice può diventare la frazione più importante della roccia (struttura matrix-supported).

5.3.3.4 Fantastico

Metabrecce poligeniche ad elementi marmorei e rare selci, in matrice filladico-carbonatica di colore variabile dal verde scuro al rosso scuro, dal rosso violaceo al viola scuro. I clasti di marmo, da bianchi a grigio-chiari da nocciola a rosati, si presentano tipicamente deformati in modo tale da determinare un vario e caratteristico disegno dei blocchi estratti (Figura 34. Quest'ultimo aspetto è in realtà ciò che contraddistingue questa varietà da quella delle Brecce Rosse.



Figura 33 Fronti di coltivazione nella breccia rossa (Cava IV, Arnetola).



Figura 34 Tagli in marmo fantastico (Cava Collettino SAIMI, Arni).

5.3.4 Marmi cipollini

In questo gruppo ricadono i litotipi marmorei impuri, presenti prevalentemente nella parte alta della successione litostratigrafia delle Alpi Apuane. In genere si tratta di calcescisti caratterizzati da un'ampia gamma di colorazioni e disegni, in funzione delle diverse relazioni spaziali e rapporti quantitativi tra gli elementi costituenti la roccia stessa.

5.3.4.1 Cipollino

Calcescisti e marmi a clorite da grigio-verdi a verdi, alternati a livelli di filladi carbonatiche e filladi muscovitiche di colore da verde scuro a rosso violaceo. I livelli filladici risultano subordinati rispetto a quelli prevalentemente carbonatici caratterizzati, in genere, dalla presenza di numerose vene e noduli variamente deformati e piegati (Figura 35). Le variazioni cromatiche, i differenti rapporti tra le componenti filladica e carbonatica, il diverso disegno determinato dalle vene e noduli di quarzo e/o calcite presenti, determinano per questa varietà un'ampia gamma di aspetti e ornamentazioni di solito molto evidenti nei tagli di cava.



Figura 35 Blocco di marmo cipollino (Cava Penna dei Corvi, Boana).

5.3.5 Marmi storici

Con il termine "marmi storici" ci si riferisce a marmi con peculiari caratteristiche cromatiche e di disegno oggi non più soggetti a coltivazione, ma che in passato sono stati estratti e largamente impiegati per decori e rivestimenti in generale.

5.3.5.1 Breccia di Seravezza

Metabrecce poligeniche a prevalenti clasti di marmo di colore bianco-grigio chiaro e subordinati clasti di dolomia da grigia a giallastra, immersi in una scarsa una matrice filladica (struttura clasto-sostenuta). Il colore della matrice varia notevolmente passando dal grigio-verde al verde scuro, dal rosso mattone al rosso violaceo, e la sua composizione è prevalentemente fillosilicatica, con muscovite, clorite, quarzo, epidoto, calcite, ematite e vari minerali accessori. Localmente sono presenti cristalli di cloritoide di dimensioni millimetriche e rare selci (Figura 36).

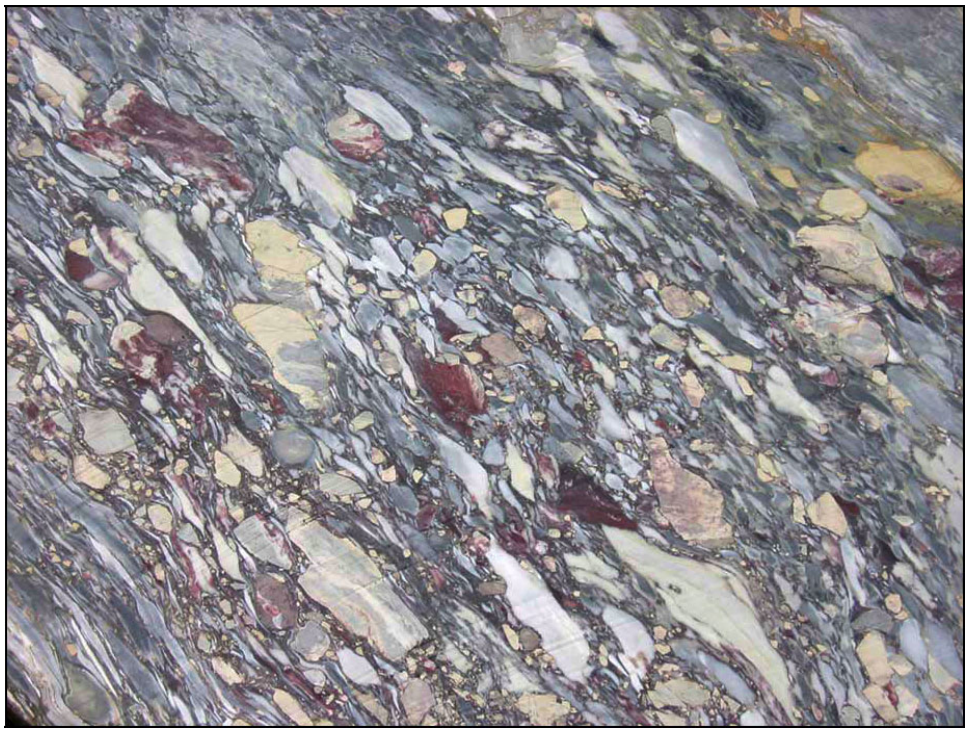


Figura 36 Particolare taglio nella breccia di Seravezza (Cava abbandonata, M. Corchia).

5.3.5.2 Rosso rubino

Marmi e marmi dolomitici, di colore da rosso scuro a rosso violaceo spesso interessati da sottili livelli filladici verdi dello spessore di pochi mm (Figura 37). Localmente sono presenti metabrecce a preponderanti clasti di marmo immersi in una matrice di composizione prevalentemente carbonatica colorata dal giallo al rosso fino al rosso scuro-viola. Tipicamente queste metabrecce mostrano una struttura clasto-sostenuta.

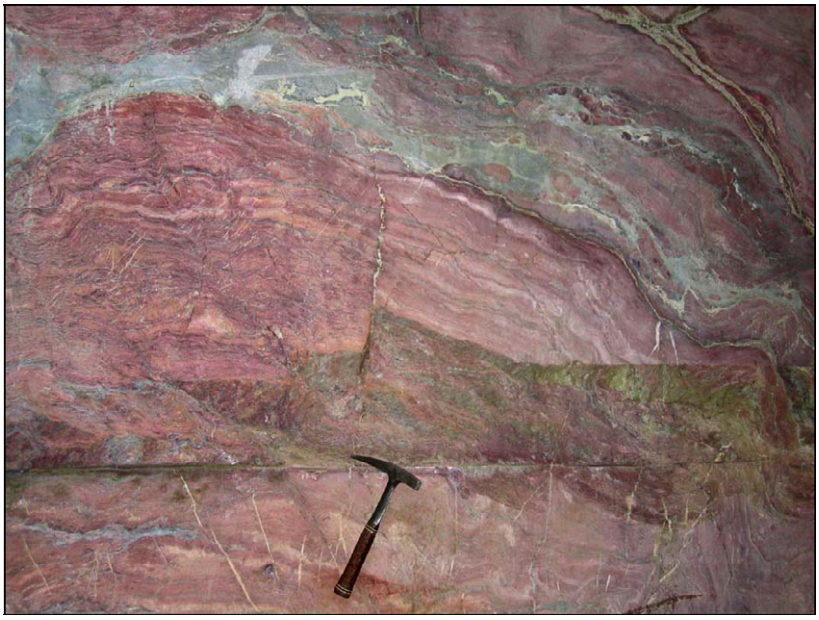


Figura 37 Taglio di cava nel rosso rubino (Cava La Risvolta, Pontestazzemese).

5.3.5.3 Nero di Colonnata

Marmi grigio scuri o neri a grana fine caratterizzati da interstrati metapelitici giallastri ed alternati a bancate metriche di dolomie cristalline grigie più o meno scure. Spesso all'interno dei marmi è possibile riconoscere strutture tipo "wavy bedding", "burrow" e orizzonti a lumachelle (Figura 38).

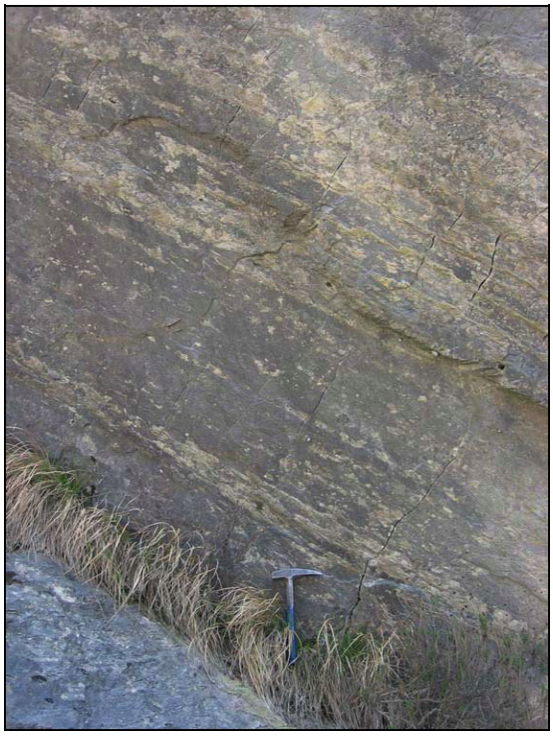


Figura 38 Taglio nel marmo nero di Colonnata (Cava abbandonata, Colonnata).

5.4 Le varietà commerciali dei marmi delle Alpi Apuane

Durante il rilevamento in campagna si è potuto verificare come, oltre alle diverse varietà merceologiche di marmi già riportate in Tabella 2 a pag. 35, molti tipi di marmi sono denominati con nomi locali, nomi basati su parametri estetici, nomi storici, nomi legati alla società che gestisce la cava, ecc. Tutti questi nomi hanno valore estremamente locale e non è raro che il solito nome indichi tipi di marmo diversi in aree differenti delle Alpi Apuane e, al contrario, il solito marmo abbia nomi diversi anche in aree distanti solo pochi km. Questi nomi, alcuni dei quali molto diffusi, sono indicati in questo progetto come "varietà commerciali".
Data la diffusione estremamente locale di questi termini non è stato possibile cartografare nella Carta Giacimentologica degli Agri Marmiferi le varietà commerciali dei marmi (sono state cartografate solo le varietà merceologiche), ma esse sono state inserite nella Banca dati.
Consultando la Banca dati è possibile risalire alle cave in cui una certa varietà commerciale è presente.
La lista di tutte le varietà commerciali di marmo riconosciute e censite è riportata in Tabella 3.

Tabella 3 Varietà commerciali dei marmi delle Alpi Apuane censite ed inserite nella Banca dati.

acquabianca	alga marina	arabescato
arabescato arlecchino	arabescato	boana
arabescato bozzo	arabescato canale delle gobbie	arabescato carcaraia
arabescato cervaiole	arabescato collettino	arabescato colubraia
arabescato corchia	arabescato faniello	arabescato fichetto
arabescato la piana	arabescato madielle	arabescato mossa
arabescato pellerano	arabescato piastreta	arabescato piastriccioni
arabescato tombaccio	arabescato vagli	ardesia apuana
bardiglietto	bardiglio	bardiglio bora
bardiglio borella	bardiglio cappella	bardiglio carrara
bardiglio cervaiole	bardiglio costa	bardiglio fiorito
bardiglio imperiale	bardiglio imperiale cappella	bardiglio nuvolato
bardiglio prunelli	bardiglio tigrato	bardiglio unito
bardiglio vagli	belgia storm	bergiola dorato
bianco	bianco altissimo	bianco arni
bianco assoluto porracci	bianco b piastrone	bianco b polla
bianco boana	bianco bora	bianco buca
bianco campaccio	bianco carrara	bianco carrara c
bianco carrara c campanili	bianco carrara c carbonera	bianco carrara c la piastra
bianco carrara c piastriccioni	bianco carrara c ravaccione	bianco carrara c bianco carrara
fantiscritti	bianco carrara c/d	bianco carrara c/d campanili
bianco carrara fantiscritti	bianco carrara lorano	bianco carrara ravaccione

Tabella 3 (continua) Varietà commerciali dei marmi delle Alpi Apuane censite ed inserite nella Banca dati.

bianco carrara strinato	bianco cattani	bianco ceragiola
bianco d bastogne	bianco delicato	bianco extra
bianco fanaccia	bianco fondone	bianco forno
bianco francia	bianco gobbie	bianco lavagnina
bianco macchiato	bianco madielle	bianco moschettato
bianco ordinario	bianco ordinario arnetola	bianco ordinario boana
bianco ordinario carchio	bianco ordinario carrara	bianco ordinario carrara c
bianco ordinario sagro	bianco ordinario taneta	bianco ordinario vagli
bianco ordinario vestito	bianco orto di donna	bianco p
bianco pianellaccio	bianco piastraccia	bianco piastramarina
bianco piastrone	bianco pisanino	bianco poggio della neve
bianco porracci	bianco ps (p)	bianco san nicola trambiserra
bianco scaglia	bianco tre fiumi	bianco ugliano
bianco unito	bianco valsora	bianco venatino
bianco venatino	bianco venato	bianco venato carrara
bianco venato carrara c	bianco venato carrara c/d	bianco venato gioia
bianco venato madielle	bianco venato piastraccia	bianco vestito
biancospino	blu moderno	blu argentato
blue tedeschi	bluette	brecce della rossola
brecce di seravezza	brecce rosse	breccia
breccia arlecchina	breccia capraia	breccia costa
breccia del fornetto	breccia di petarocchia	breccia di seravezza
breccia di stazzema	breccia fior di pesco	breccia gialla
breccia gialla-viola	breccia luana	breccia medicea
breccia medicea acqua santa	breccia montalto	breccia onice
breccia rio serra	breccia rossa	breccia rossa arnetola
breccia smirne	breccia violetta	breccia onice
brecciato	broccatello liberty	bronzino
brouillé	c/d	c/d lorano
calacata	calacata arni	calacata castellina
calacata dorato	calacata grigio	calacata grotte bianche
calacata luccicoso	calacata macchia oro	calacata piastreta r
calacata r	calacata tova	calacata vagli

Tabella 3 (continua) Varietà commerciali dei marmi delle Alpi Apuane censite ed inserite nella Banca dati.

calacata vagli rosato	calacatta	calacatta betogli
calacatta crestola	calacatta fantasia	calacatta luccicoso
calacatta sponda	calacatta vagli	capriolo dorato
carcerato (venato largo)	cipollino	cipollino apuano
cipollino apuano classico	cipollino arni	cipollino capriccioso
cipollino classico	cipollino classico grigio e verde	cipollino del cardoso
cipollino rosso sumbra	cipollino rosso zonato	cipollino verde italiano
cipollino verde versilia	cipollino zonato	corallo rosa fossa di san viano
corallo rosa san viano	cremo	cremo crestola
cremo delicato	cremo tirreno	fantastico
fantastico arni	fantastico arni verde	fantastico arni viola
filettato rosso	fior di pesco	fior di pesco classico
fiorito arabescato	fiorito prunelli	fiorito rosa
fiorito vagli	flowers belgia	grigio
grigio cielo	grigio garfagnana	grigio trambiserra
macchia grigia	mischio	mischio di petarocchia
moschettato	nero di colonnata	nuvolato
nuvolato apuano	nuvolato carrara	nuvolato carrara strinato
onice (alabastrite)	ordinario	ordinario altissimo
ordinario vagli	paonazzetto	paonazzo
persichino	persichino brecciato	persichino della rava
persichino zonato	pietra bianca di volegno	pietra di stazzema
rosa arnetola	rosa brecciata	rosso apache
rosso luana	rosso rubino	rosso sumbra
rosso venato	rosso vinca	selcifero
statuarietto	statuarietto venatino	statuario
statuario betogli	statuario carrara	statuario extra
statuario michelangelo	statuario miele	statuario tacca bianca
statuario venato	statuario venato	striato
striato argento	strigato	venatino
venatino c	venatino carrara	venatino equi
venatino orto di donna	venatino pencilvein	venato
venato (striato) giardino	venato belgia	venato carrara

Tabella 3 (continua) Varietà commerciali dei marmi delle Alpi Apuane censite ed inserite nella Banca dati.

venato corchia	venato crocicchio	venato del togno
venato fantastico	venato gioia	venato mossa
venato nocicoso	venato piastraio	venato ugliano
venatogiardino	verde cipollino classico	verde luana
verde tirreno classico	verdello	zebrino

6 I ravaneti delle Alpi Apuane

6.1 Caratteristiche generali dei ravaneti apuani

In conseguenza di un'attività estrattiva intensa e prolungata nel tempo, i bacini marmiferi apuani sono caratterizzati da enormi volumi di detrito di scarto della coltivazione, i cosiddetti "ravaneti", che vengono riversati lungo i versanti adiacenti alle aree di cava e che costituiscono oramai un elemento tipico del paesaggio delle Alpi Apuane (Figura 39) [30].



Figura 39 Immagine paronamica dei ravaneti della valle di Colonnata.

Attualmente il materiale di scarto derivante dall'attività estrattiva rappresenta circa i 2/3 dello scavato a monte; pertanto, a fronte di una produzione totale per l'intero bacino marmifero apuano che negli ultimi anni si è attestata attorno ai 1400000 t/anno di blocchi di marmo (vedi Tabella 1 a pag. 8), si ha la messa a ravaneto di circa 2100000 t/anno.
Tale ingente quantitativo di materiale di scarto della lavorazione costituisce una risorsa primaria di lapideo sciolto di alta qualità ($CaCO_3 > 98\%$), che trova oggi nel mercato una grande richiesta in ragione di una vasta gamma di applicazioni. Inoltre il prelievo di tali materiali costituisce una fondamentale operazione di recupero e gestione razionale dei giacimenti stessi che in molti casi risultano totalmente, o in parte, coperti da queste spesse coltri di detrito.
I ravaneti tuttavia rappresentano oggi anche una delle principali fonti di dissesto idrogeologico che insistono sulle aree estrattive e su alcuni centri abitati. Negli ultimi anni, infatti, molti ravaneti sono stati interessati da fenomeni di frana rappresentati in prevalenza da trasporti in massa di materiale detritico (Figura 40).
In particolare recenti lavori [5, 6] identificano e descrivono questi dissesti come colate di *debris flow*, ovvero, come rapidi movimenti di una miscela di detrito, acqua e aria che si comportano come un fluido viscoso. Lo studio dei dati pluviometrici registrati in concomitanza dei dissesti ha evidenziato come siano sufficienti 60 mm di pioggia in 5 ore, con intensità di soli 14 mm in un'ora, perché si arrivi all'innesco di tali movimenti e quindi come sia molto bassa la soglia per l'attivazione dei *debris flow*.
Inoltre questi lavori [5, 6] mettono in evidenza che l'aumento, negli ultimi anni, della frequenza di questa tipologia di dissesti è collegato all'introduzione di materiale fine all'interno dei ravaneti. In molti casi, infatti, è possibile osservare come il corpo detritico del ravaneto sia costituito

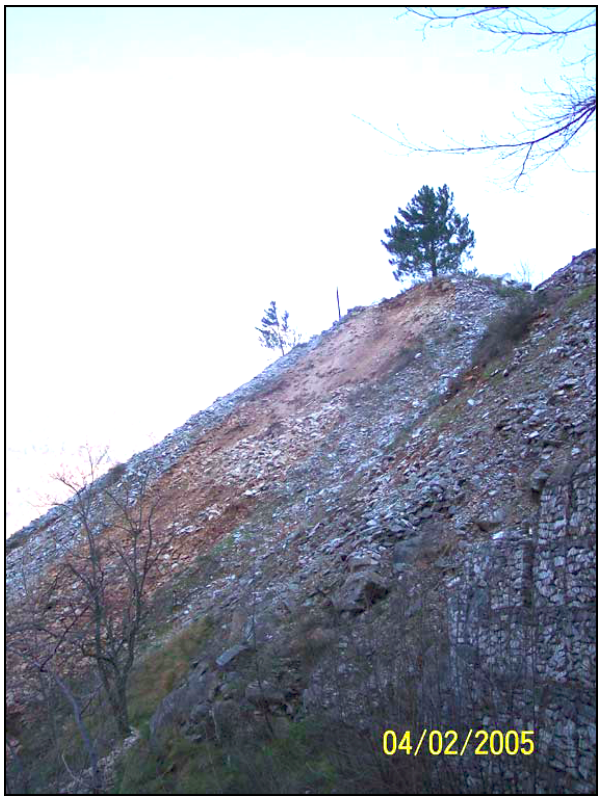


Figura 40 *Debris flow* in un ravaneto.

dalla sovrapposizione di strati a differente composizione granulometrica e permeabilità. Blocchi grossolani con scarsa matrice sabbiosa e livelli a pezzatura più uniforme costituiscono gli strati più profondi (e quindi più antichi), mentre gli strati più superficiali risultano costituiti, oltre che da blocchi e massi di dimensioni eterogenee, anche da una grande quantità di materiale fine (limi) che diminuisce la permeabilità dell'accumulo (Figura 41).

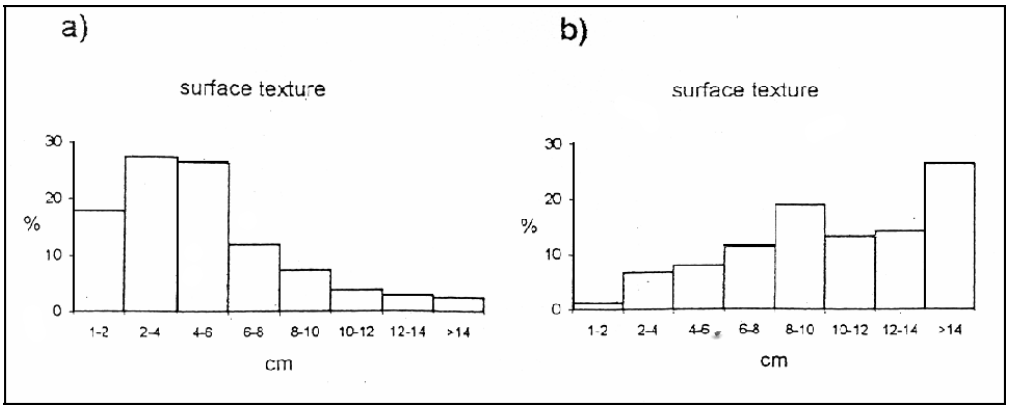


Figura 41 Distribuzione granulometrica della parte superficiale di un ravaneto attivo (a) e di uno antico (b).

Questa situazione è frutto delle diverse tecniche di estrazione del marmo e di recupero degli scarti della lavorazione che sono state impiegate nel tempo nei bacini marmiferi apuani. L'introduzione del filo diamantato (anni '70) ha determinato infatti la produzione di notevoli quantità di polveri fini (granulometria dei limi), la cosiddetta "marmettola", alle quali, recentemente, si

sommano le terre derivanti dalle operazioni di vagliatura dei clasti recuperati per la produzione del carbonato di calcio. Lo strato più superficiale dei ravaneti attivi (circa 2 metri di spessore) rappresenta quindi un livello nel quale l'incremento della frazione fine determina una drastica riduzione della permeabilità e delle caratteristiche geotecniche del materiale favorendo, anche nel caso di piogge non particolarmente intense, la saturazione del corpo detritico e conseguente innesco di dissesti. E' quindi evidente come i ravaneti costituiscano per l'industria del marmo una risorsa primaria di indubbia valenza economica, che deve essere opportunamente considerata e valorizzata ma allo stesso tempo rappresentino anche fonte di seri problemi ambientali e di pericolo per la sicurezza gli addetti ai lavori e non solo.

6.2 La Legenda della Carta delle Tipologie Merceologiche dei Ravaneti

Nell'ottica di una corretta pianificazione delle operazioni di recupero e riutilizzo dei materiali di scarto dell'attività estrattiva e di un sistema di prevenzione e mitigazione dei rischi idrogeologici derivanti dalla loro presenza sul territorio, tutti i ravaneti presenti all'interno del bacino marmifero apuano sono stati cartografati e descritti in base alle loro principali caratteristiche fisico-geologiche e al loro stato di attività. In particolare durante la campagna di rilevamento essi sono stati distinti e classificati in base a 5 principali parametri:

1. TIPOLOGIA: in base all'osservazione macroscopica dei clasti costituenti il ravaneto e al litotipo estratto nelle cave che hanno generato il ravaneto medesimo e in accordo con gli attuali criteri di prelievo, è stato possibile distinguere i seguenti litotipi:
    - BIANCHI: accumuli di materiali costituiti prevalentemente da clasti di marmo di colore da bianco a bianco-avorio, con rare venature grigie, e da clasti di color bianco con venature grigio scure. Questi ravaneti si generano in conseguenza dell'estrazione di varietà merceologiche di marmo tipo bianco, statuario, ordinario, venato, calacatta e arabescato.
    - GRIGI: accumuli di materiali costituiti prevalentemente da clasti di marmo di color da grigio a grigio scuro derivanti fondamentalmente dell'estrazione di marmi grigi.
    - COLORATI: ravaneti costituiti prevalentemente da clasti di marmo di color da bianco a bianco-avorio o grigio, con venature da verdi a rosso-violacee. In questi litotipi la componente filladica presente nell'accumulo è rilevante. Questi ravaneti derivano dalla coltivazione di varietà merceologiche di marmo tipo breccia di Seravezza, breccia rossa, fantastico, rosso rubino e nero di Colonnata.
    - CIPOLLINI: accumuli di materiali costituiti prevalentemente da clasti di marmi impuri e calcescisti derivanti fondamentalmente dalla coltivazione di marmi cipollini.
    - PIETRA DEL CARDOSO: ravaneti costituiti prevalentemente da clasti di metarenarie ed ardesie derivanti dall'estrazione della Pietra del Cardoso.
    - DOLOMIA: accumuli di materiali costituiti prevalentemente da clasti di dolomia o marmi dolomitici.
2. GRANULOMETRIA: in base alle dimensioni prevalenti dei clasti costituenti i ravaneti sono state definite e riconosciute le seguenti classi granulometriche:
    - INFORMI: blocchi la cui forma irregolare non consente la riquadratura e quindi uno sfruttamento economico; clasti di forma irregolare con volumi maggiori o uguali al m^3.
    - PEZZAME: clasti con dimensioni medie uniformi comprese tra i 30 cm e 1 m.
    - SASSI: clasti con dimensioni medie tra i 5 e i 30 cm.
    - PEZZAME E SASSI: clasti con granulometria prevalente del pezzate (tra i 30 cm e 1m) e dei sassi (5 e i 30 cm).

- MISTO: sono presenti due o più classi granulometriche.

3. PERMEABILITÀ: in funzione della granulometria dei materiali presenti nel ravaneto e dei loro reciproci rapporti volumetrici sono state distinte le seguenti classi di permeabilità:
    - ALTA: netta prevalenza di materiali grossolani rispetto alle frazioni più fini.
    - MEDIA: materiali grossolani prevalenti con una frazione più fine presente in quantità apprezzabili.
    - BASSA: più categorie granulometriche presenti in rapporti quantitativamente comparabili.
4. ATTIVITÀ: in considerazione dello stato di attività del ravaneto al momento del rilevamento (anni 2004-2006) sono stati suddivisi in:
    - ATTIVI: ravaneti sede di discarica attiva legata all'attività estrattiva di una o più cave o oggetto di prelievo di materiale.
    - INATTIVI: ravaneti che mostrano segni di un'attività recentemente dismessa.
    - VECCHI E/O STORICO ARTISTICI: ravaneti che mostrano un'attività dismessa da molti anni (ravaneti vecchi) e/o presentano un valore estetico quali l'accatastamento manuale che conferisce loro l'aspetto di muro a secco.
5. PRELIEVO: in base alla presenza o meno di attivitˆ di prelievo e recupero dei materiali messi a discarica sono stati distinti ravaneti soggetti a:
    - PRELIEVO IN ATTO: al momento del rilevamento è in atto qualsiasi tipo di prelievo del materiale del ravaneto (prelievo di informi, di pezzame scelto, tout venant etc).
    - NESSUN PRELIEVO IN ATTO: al momento del rilevamento non è in atto alcun prelievo del materiale del ravaneto.

L'analisi e l'incrocio di tutti questi elementi ha permesso di individuare diverse tipologie di ravaneti che, attraverso un'opportuna simbologia, sono state riportate nella relativa cartografia tematica.

7 La campagna di rilevamento e le carte tematiche prodotte

7.1 La campagna di rilevamento

La campagna di rilevamento ha avuto una durata di circa due anni (dal Marzo 2004 al Febbraio 2006) ed è stata estesa a tutti i principali affioramenti di marmo presenti all'interno del Complesso metamorfico delle Alpi Apuane. L'area rilevata ha quindi un'estensione che supera gli 80 km^2 e ricade all'interno di quattro Fogli IGM a scala 1:50.000, occupando quasi interamente il Foglio 249 Massa, i margini occidentale del Foglio 250 Castelnuovo Garfagnana e quello nord-occidentale del Foglio 261 Lucca e la parte settentrionale del Foglio 260 Viareggio (Figura 42, Figura 43).

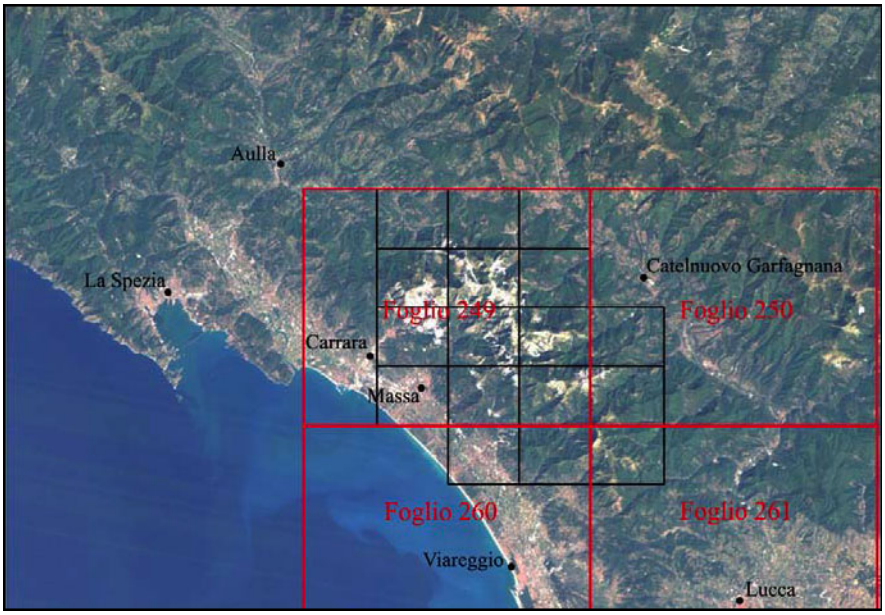


Figura 42 Quadro di unione dei 4 Fogli IGM e delle 16 Sezioni a scala 1:10.000 della Carta Tecnica Regionale (CTR) della Regione Toscana che ricoprono l'area oggetto del rilevamento.

Il lavoro di campagna è stato preceduto da una fase preliminare nella quale è stato raccolto il materiale tecnico di supporto alle attività di rilevamento:

a) basi cartografiche esistenti (topografie vettoriali, scala 1:10000, della Carta Tecnica Regionale realizzata dalla Regione Toscana);
b) foto aeree e ortofoto a colori (Eira, AIMA; Figura 44);
c) immagini satellitari (Landsat, Quickbird, ecc.).

Inoltre sono state condotte ricerche bibliografiche al fine di raccogliere tutti i lavori presenti in letteratura riguardo ai marmi delle Alpi Apuane e tutte le precedenti carte a tematismo merceologico pubblicate.
Durante questa fase è stato possibile recuperare parte degli elaborati realizzati dal precedente Progetto ERTAG della Regione Toscana, questo materiale è rappresentato da carte tematiche di vario tipo, in alcuni casi terminate, in altri ancora allo stadio di "bozze", e da relazioni tecniche sui principali bacini (o "comparti") marmiferi apuani (Figura 45).

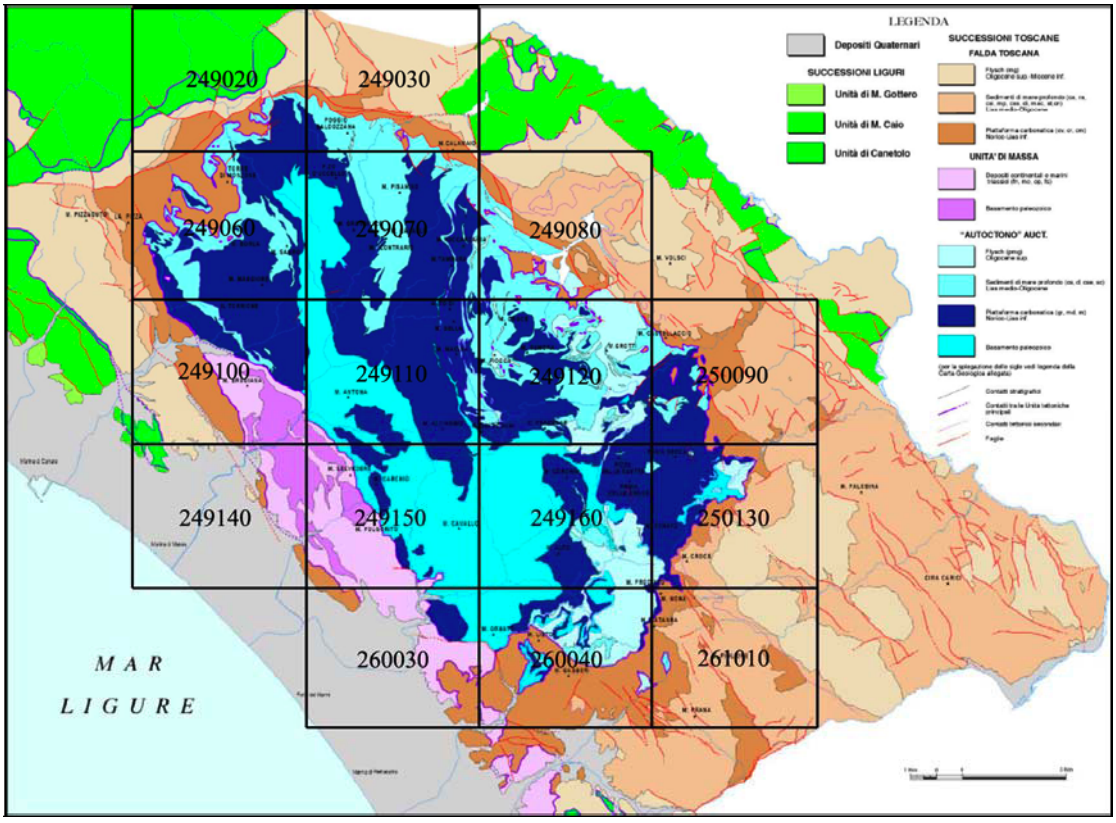


Figura 43 Particolare del quadro di unione delle 16 Sezioni a scala 1:10.000 che coprono l'area di rilevamento. Nella carta geologica semplificata riportata in figura gli affioramenti di marmo presenti nel Complesso metamorfico delle Alpi Apuane sono indicati in blu scuro.

Questi elaborati si sono rivelati di fondamentale importanza per risalire a informazioni dettagliate di cave ormai abbandonate da più di 20 o 40 anni (nome della cava, tipologia di marmo estratto, qualità del materiale, ecc.) e delle quali altrimenti sarebbe stato piuttosto difficile, se non impossibile, reperire oggi notizie di qualsiasi tipo. Essi inoltre sono stati un utile documento con il quale confrontarsi e da cui prendere spunto per la compilazione della legenda delle varietà merceologiche dei marmi delle Alpi Apuane. Infine sono stati recuperati presso i diversi Comuni i piani di coltivazione delle principali cave attive presenti sul loro territorio.
Durante il lavoro di campagna oltre a svolgere le consuete attività di rilevamento geologico-strutturale, con raccolta delle misure relative a superfici di scistosità, assi di pieghe, lineazioni di estensione, piani di fatturazione (joint e faglie), piani assiali delle pieghe maggiori e minori ecc., e con il riconoscimento e delimitazione dei principali corsi di marmo, sono state reperite utili informazioni circa la qualità del materiale estratto, le problematiche di coltivazione e la storia del sito di estrazione, intervistando direttamente il personale di cava. Inoltre per ogni sito estrattivo visitato sono state scattate una serie di foto dei principali fronti di coltivazione che sono andate a formare un archivio fotografico con più di 1500 immagini. I materiali di scarto messi a ravaneto sono stati identificati e descritti in base alle caratteristiche fisico-geologiche individuate dalla relativa legenda elaborata ed è stata presa nota se, al momento del rilevamento, il detrito era oggetto o meno di attivitàdi prelievo e recupero di materiale.
Al termine della campagna di rilevamento sono state redatte, sulla base topografica scala 1:10000 della Carta Tecnica Regionale della Regione Toscana, le seguenti 48 carte manoscritte (originali d'autore):
a) le 16 sezioni della Carta delle Tipologie Merceologiche dei Ravaneti;
b) le 16 sezioni della Carta Giacimentologica degli Agri Marmiferi;

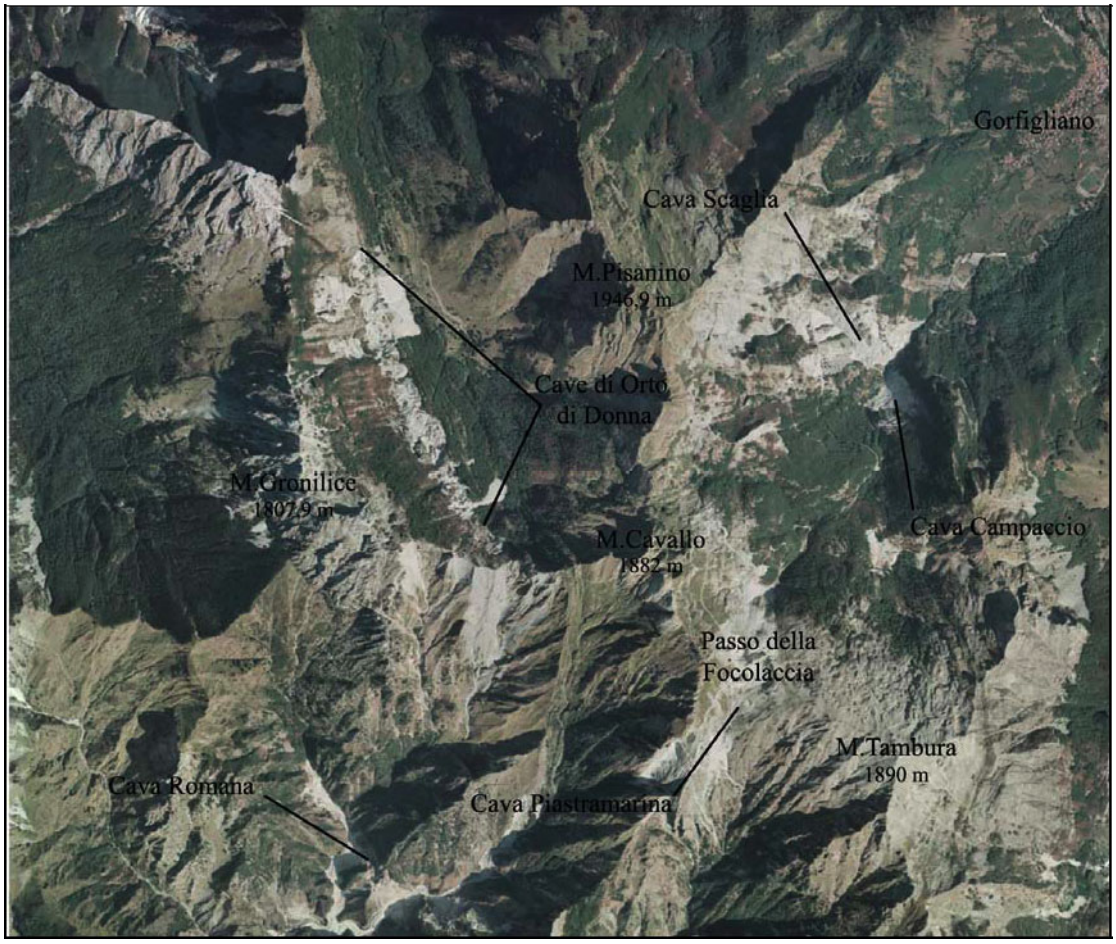


Figura 44 Ortofoto a colori relativa alla Sezione 249070, scala 1:10.000.

c) le 16 sezioni della Carta Strutturale degli Agri Marmiferi.
Un esempio di uno di questi elaborati è riportato in Figura 46.
In queste carte i dati raccolti sono rappresentati attraverso l'utilizzo di un'adeguata simbologia: determinati simboli sono adoperati per rappresentare gli elementi strutturali misurati e l'ubicazione dei siti di estrazione; le varie tipologie di contatti tra le qualità di marmo sono identificate per mezzo di linee con appropriati colori e un differente colore di fondo contraddistingue le aree di affioramento delle diverse varietà merceologiche di marmo. Le informazioni raccolte sui ravaneti sono riportate in carta attraverso un sovrassegno per lo stato di attività e un diverso colore di fondo per il litotipo, mentre granulometria, permeabilità e prelievo sono indicati con una serie di tre lettere maiuscole.
Le 48 carte realizzate sono state in seguito informatizzate secondo le procedure indicate nel successivo Capitolo 8 "La Banca dati GIS e la Banca dati Cave".

7.2 La Carta Giacimentologica degli Agri Marmiferi

Le 16 sezioni della Carta Giacimentologica degli Agri Marmiferi consentono di ricavare l'estensione in affioramento delle principali qualità di marmo e il loro assetto tridimensionale nel sottosuolo. In particolare le geometrie di deformazione che caratterizzano i diversi corsi di marmo



Figura 45 Esempio di carta manoscritta a scala 1:10.000 relativa all'area di M. Corchia realizzata nell'ambito del progetto ERTAG della Regione Toscana.

sono descritte attraverso una serie di sezioni geologiche dei principali bacini marmiferi (Figura 47).
Gli elaborati permettono di avere una visione globale della distribuzione delle diverse varietà merceologiche di marmo presenti all'interno del bacino marmifero apuano. Nelle Alpi Apuane gli affioramenti di questi materiali lapidei raggiungono un'estensione totale di poco superiore ai 71 km^2 dei quali il 27 % è rappresentato da marmi bianchi, il 24 % da marmi grigi e/o venati, il 10 % da marmi cipollini, il 2,5 % da marmi brecciati e da meno dell'1 % da marmi storici (Figura 48). Le aree restanti (34 %) sono fondamentalmente costituite da affioramenti di marmo inaccessibili o da marmi debolmente ricristallizzati o caratterizzati da un'intensa dolomitizzazione secondaria che non presentano alcun interesse da un punto di vista merceologico.
All'interno dei marmi bianchi la varietà merceologica più rappresentata è il marmo ordinario, il quale costituisce il 98,5 % degli affioramenti, mentre le varietà statuario e bianco assieme raggiungono solo il 1,5 % (Figura 49.
I marmi ordinari si trovano in quasi tutti i principali bacini marmiferi apuani, costituendo la varietà più diffusa nei bacini di Carrara, del M. Costa, del M. Altissimo-Alberghi e di Arni-Arnetola e lungo l'allineamento M. Sella - M. Tambura - M. Roccandagia. In genere si tratta di giacimenti di considerevole spessore e continuità laterale e nel settore centrale sono tipicamente alternati a bancate metriche più scure e venate. Le varietà statuario e bianco risultano molto meno diffuse e caratterizzate, in genere, da affioramenti dello spessore di pochi metri (2 - 4 m) e con continuità laterale dell'ordine delle centinaia di metri (200 - 300 m). I principali corsi di questi materiali sono localizzati nei bacini di Carrara, del M. Altissimo-Alberghi e del M. Corchia,

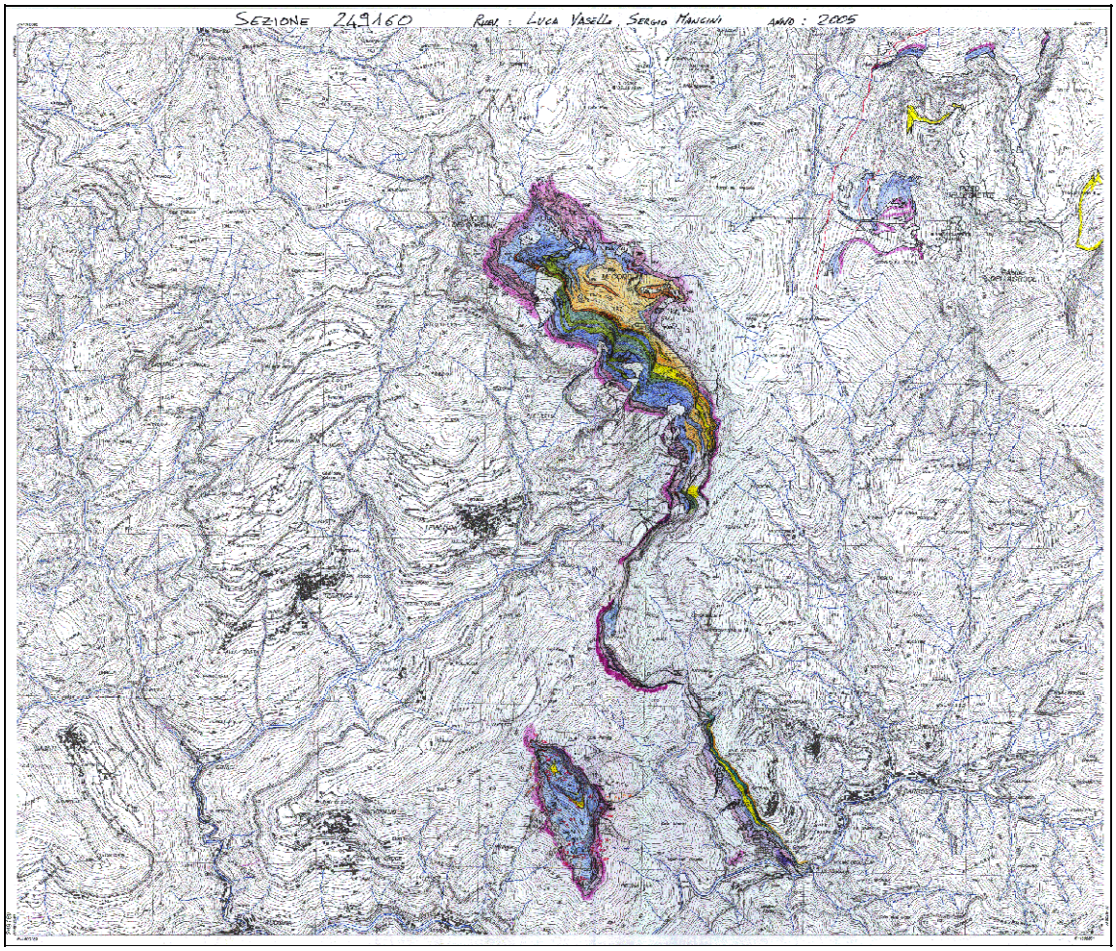


Figura 46 Esempio di originale d'autore della Carta Giacimentologica degli Agri Marmiferi relativa alla sezione 249160.

per lo Statuario, mentre per il bianco è possibile individuare una fascia centrale a cavallo dei bacini del M. Altissimo-Alberghi, di Orto di Donna e di Gorfigliano.
Come mostrato in Figura 49 all'interno del gruppo dei marmi grigi e/o venati i litotipi grigi rappresentano il materiale predominante (60 %). Essi si trovano in tutti i principali bacini marmiferi apuani, costituendo affioramenti di notevole spessore ed estensione prevalentemente nei settori orientali e sud-orientali delle Alpi Apuane. Anche i marmi venati (38 %) risultano ampiamente diffusi nei settori centrali e sud-orientali, mentre sono del tutto assenti (eccezione fatta per la zona di Boana) nelle aree nord-orientali. La varietà zerbino (2 %), invece, è rappresentata da corsi di modesto spessore localizzati in prevalenza nel settore occidentale del bacino di Carrara e nelle aree nord-orientali delle Alpi Apuane.
Tra i marmi brecciati (Figura 50) la varietà arabescato, oltre ad essere la più rappresentata (40 %), è anche quella distribuita in modo più omogeneo nei diversi bacini marmiferi; inoltre è possibile osservare come, nei settori centro-orientale e sud-orientale, questo materiale raggiunga spessori maggiori ed una certa continuità laterale. I principali corsi della varietà calacatta (11 %) caratterizzano in prevalenza il bacino di Carrara e quello di Arni-Arnetola, mentre quelli delle varietà breccia rossa e fantastico risultano confinati quasi esclusivamente nel bacino di Arni-Arnetola.
I marmi cipollini contraddistinguono i bacini marmiferi orientali e sud-orientali costituendo giacimenti di notevole spessore ed estensione. Infine tra i marmi storici la breccia di Seravezza

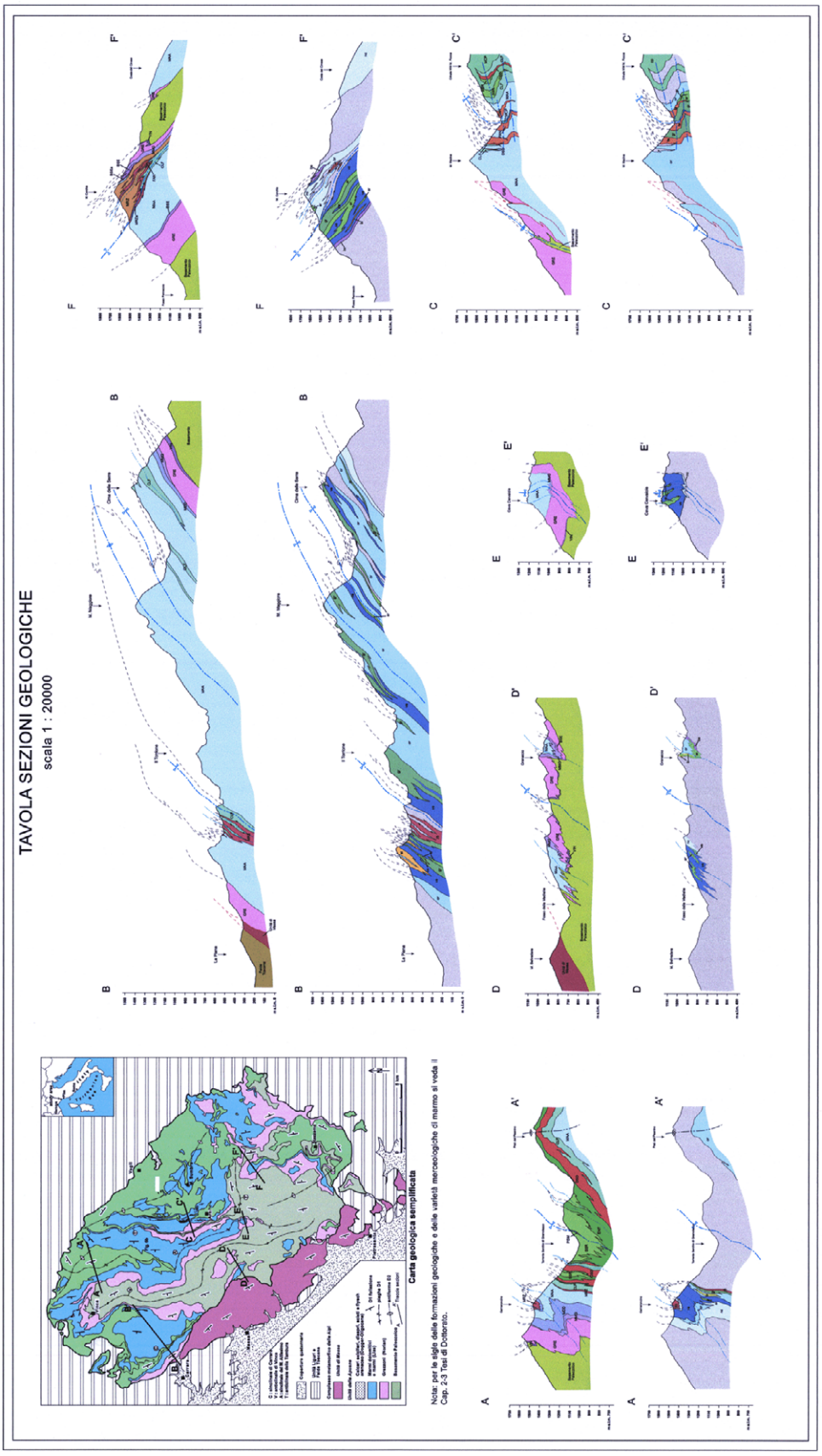


Figura 47 Sezioni geologiche attraverso i principali affioramenti di marmo delle Alpi Apuane.

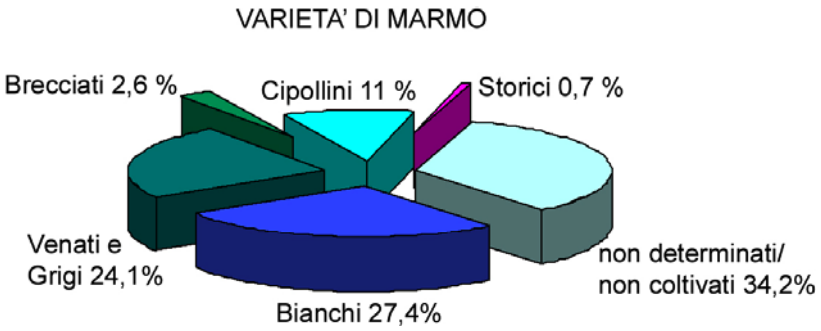


Figura 48 Diagramma relativo alla ripartizione in percentuale delle principal tipologie di marmo nelle Alpi Apuane.

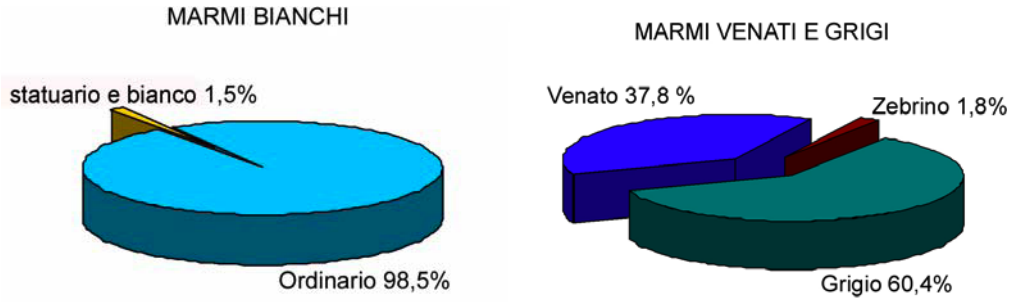


Figura 49 Diagramma relativo alle distribuzioni in percentuale delle varietà statuario, bianco, ordinario, venato, grigio e zebrinno all'interno dei loro rispettivi gruppi di appartenenza (marmi bianchi, venati e grigi, vedi Tabella 2 a pag. 35).

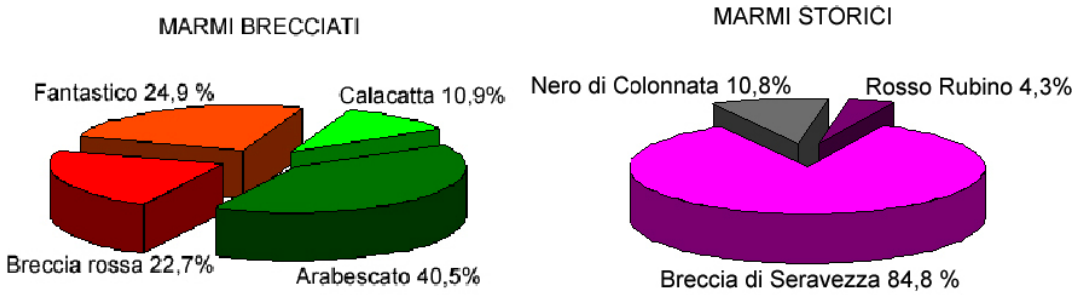


Figura 50 Diagrammi relativi alle distribuzioni in percentuale delle varietà fantastico, breccia rossa, calacatta, arabescato, nero di Colonnata, rosso rubino e breccia di Seravezza, all'interno dei loro rispettivi gruppi di appartenenza (marmi brecciati e marmi storici).

rappresenta circa l'85 % degli affioramenti contro l'11 % del nero di Colonnata e il 4 % del rosso rubino (Figura 50).

7.3 La Carta Strutturale degli Agri Marmiferi

La Carta Strutturale degli Agri Marmiferi riporta tutte le informazioni geologico-strutturali raccolte durante durante la campagna di rilevamento. La Carta riporta misure degli elementi strutturali planari (scistosità, clivaggio, ecc.), lineari (assi di pieghe, lineazioni di estensione e di intersezione, ecc.), andamento dei contatti tettonici (faglie, sovrascorrimenti), piani assiali delle pieghe, e altre informazioni strutturali.
Questa carta riporta anche informazioni già presenti nella Carta Giacimentologica degli Agri Marmiferi (varietà merceologiche dei marmi, ubicazione cave, ecc.).

7.4 La Carta delle Tipologie Merceologiche dei Ravaneti

Come ampiamente discusso nel Capitolo 6, i ravaneti rappresentano oggi non solo una risorsa primaria di grande importanza economica, ma anche una delle principali fonti di dissesto idrogeologico che insistono sul territorio apuano e nelle aree estrattive in modo particolare.
Le carte delle tipologie merceologiche dei ravaneti redatte in questo lavoro costituiscono un documento fondamentale ai fini della progettazione delle operazioni di recupero e riutilizzo di questi materiali di scarto. Esse rappresentano noltre un primo tentativo di caratterizzazione di tutti i ravaneti presenti all'interno del bacino marmifero apuano in base alle loro principali proprietà fisiche e geologiche, risultando così di supporto a successivi e più approfonditi studi volti a definire un sistema di prevenzione e mitigazione dei rischi idrogeologici derivanti dalla loro presenza sul territorio.
In tutto il bacino marmifero apuano sono stati cartografati 630 ravaneti che occupano in totale un'area superiore ai 10 km^2. In genere questi accumuli di detrito ricoprono gli stessi affioramenti di marmo ed è possibile stimare in circa il 13 % della superficie totale i giacimenti marmorei oggi non accessibili in superficie a causa della loro presenza. Tuttavia questa percentuale in tutti i principali bacini estrattivi risulta notevolmente maggiore, raggiungendo valori del 50 % nel bacino marmifero di Carrara. Su 630 ravaneti solo 81, al momento del rilevamento, risultano attivi, ovvero, sede di discarica legata all'attività estrattiva di una o più cave o oggetto di recupero di materiale, mentre 225 sono quelli inattivi. Più della metà risultano invece dismessi da molti anni e in parte soggetti a rinaturalizzazione con presenza o meno della tipica patina di alterazione nerastra dovuta alla presenza di licheni (ravaneti vecchi e/o storico-artistici; Figura 51).
Il prelievo di materiale per la produzione del carbonato di calcio riguarda il 16 % dei ravaneti per un'area di intervento di circa 3 km^2. I ravaneti formati da clasti di marmo bianco o grigio prevalgono nettamente sulle altre tipologie, rappresentando rispettivamente il 52 % e il 44 % del totale, mentre la classe granulometrica più rappresentata è quella del pezzame (Figura 51). La maggior parte dei ravaneti presentano una permeabilità media o alta, rispettivamente il 44 % e il 39 %; tuttavia il 17 % mostra una significativa frazione fine che ne determina una drastica riduzione (Figura 51).

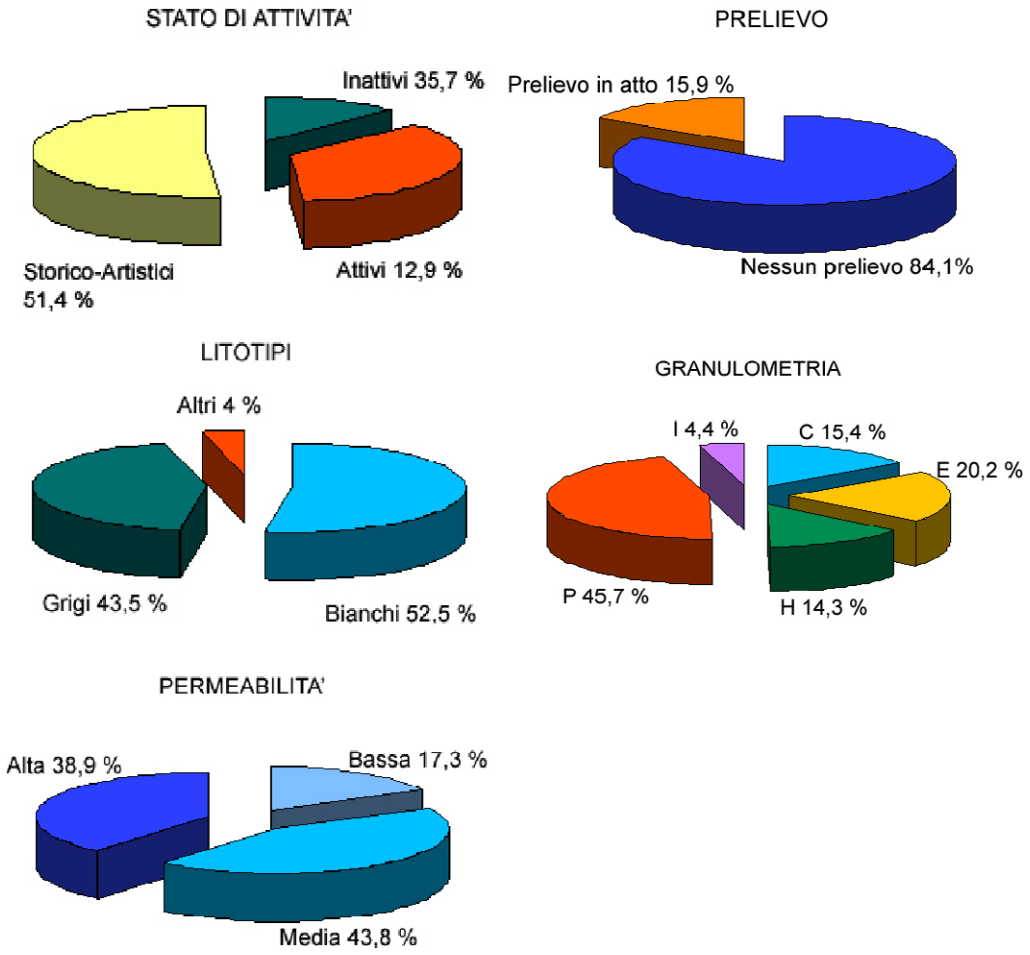


Figura 51 Distribuzione in percentuale dei principali caratteri fisici e geologici dei ravaneti delle Alpi Apuane.

8 La Banca dati GIS e la Banca dati Cave

8.1 Il Sistema Informativo Territoriale

Per "sistema informativo" si intende qualsiasi strumento che permette di gestire i dati disponibili in modo da poter estrapolare informazioni utili per perseguire gli obiettivi preposti. Tra le diverse tipologie di dati per i quali si può rendere necessaria l'archiviazione, consultazione ed elaborazione, i dati spaziali presentano caratteristiche e proprietà peculiari che richiedono particolari sistemi di gestione: i Sistemi Informativi Geografici o GIS (detti anche Sistemi Informativi Territoriali o SIT). Quindi un GIS (o SIT) è una tipologia particolare di sistema informativo. Worboys [71] definisce un GIS come un sistema informativo computerizzato che permette l'acquisizione, la modellazione, la manipolazione, l'interrogazione, l'analisi e la presentazione di dati geograficamente referenziati. Le moderne tecnologie informatiche consentono oggi di elaborare SIT in grado di gestire le complesse informazioni contenute all'interno delle diverse cartografie geotematiche.
Nell'ambito della geologia importanti risultati sono stati conseguiti negli ultimi anni nell'ambito dell'informatizzazione della cartografia geologia e geotematica collegata al Progetto CARG del Servizio Geologico Nazionale, il quale prevede il rilevamento e la costruzione di una banca dati geologica di tutto il territorio nazionale alla scala 1:25.000.
La costruzione di archivi geografici georeferenziati consente di consultare, gestire ed elaborare i dati derivati dalla cartografia geotematica in modo rapido ed efficace, rendendo i dati stessi maggiormente fruibili non solo ai fini specifici della geologia applicata e dell'ingegneria, ma anche a quelli più generali della pianificazione e gestione del territorio. In questa ottica, quindi, si è resa di fondamentale importanza la strutturazione di tutte le informazioni raccolte durante il lavoro svolto all'interno di una banca dati GIS. Tuttavia, le informazioni presenti nelle carte tematiche prodotte (Carta Giacimentologica degli Agri Marmiferi, Carta Strutturale degli Agri Marmiferi, Carta delle Tipologie Merceologiche dei Ravaneti) contengono solo una parte dei dati raccolti. Durante la campagna di rilevamento, infatti, tutte le cave attive, inattive o abbandonate presenti sul territorio sono state censite e corredate da una documentazione tecnica, fotografica e storica in parte recuperata dalla bibliografia disponibile e dai piani di coltivazione delle cave. Questi dati sono stati archiviati all'interno di una banca dati descrittiva esterna che si va ad aggiungere, completandola, alla banca dati GIS relativa alle carte tematiche prodotte (vedi Capitolo 8.2).
Il processo di informatizzazione dei dati ha quindi richiesto, non solo la progettazione di una banca dati geotematica capace di gestire tutte le informazioni riportate nelle carte redatte, ma anche la strutturazione di una banca dati esterna in modo tale da permettere l'archiviazione di dati non necessariamente georeferiti, evitando la duplicazione degli stessi nella banca dati GIS.

8.2 La Banca dati GIS

La struttura fisica della banca dati GIS realizzata, la sua organizzazione in strati informativi, le regole topologiche e le relazioni di tipo spaziale tra i dati in essa contenuti, sono progettati in modo tale da consentire un facile confronto e integrazione con le banche dati esistenti, o di prossima disponibilità, presso amministrazioni pubbliche locali e regionale, ed in particolare, con quelle collegate al Progetto CARG del Servizio Geologico Nazionale per la realizzazione della

Carta Geologica d'Italia a scala 1:50000 [3] e al Progetto di Cartografia Geologica Regionale a scala 1:10000 della Regione Toscana.
Lo sviluppo e l'editazione della banca dati GIS sono stati effettuati attraverso l'utilizzo del software *ESRI ArcGIS versione 9*. ESRI ArcGIS è una suite di applicazioni software per sistemi operativi Windows che consente la realizzazione, la gestione e l'analisi di sistemi informativi territoriali ed è costituito da due principali applicazioni: *ArcCatalog* e *ArcMap*. All'interno di queste applicazioni si può operare con una terza applicazione, *ArcToolbox*, dedicata alla gestione totale dei dati.
ArcCatalog consente la ricerca, il preview e l'editing di dati geografici ed in particolare, tramite questa applicazione, è possibile consultare e creare anteprime dei dati presenti, aggiungere o eliminare dati, copiare e spostare dati. ArcCatalog è finalizzato alla creazione del geodatabase, ovvero, della banca dati del Sistema Informativo Territoriale, rappresentato da un file in formato Microsoft Access (estensione ".mdb"), ed alla assegnazione dei sistemi di riferimento cartografici. L'applicazione ArcMap consente, invece, di realizzare mappe a partire da informazioni di tipo geografico organizzate in livelli informativi, attribuire colori e simboli a ogni entità costituente un determinato livello, eseguire selezioni di entità per via grafica o tramite interrogazioni SQL, stabilire ed analizzare eventuali relazioni spaziali intercorrenti tra entità diverse appartenenti allo stesso livello, o a livelli diversi, e creare layout di stampa. Infine, l'applicazione ArcToolBox consente di eseguire tutte le operazioni di conversione del formato dei file (Conversion Tools) e di definizione e trasformazione dei sistemi di riferimento cartografico (Data Management Tools).

8.2.1 Acquisizione dati e procedura di georeferenziazione

Come precedentemente illustrato, al termine della campagna di rilevamento sono state prodotte:
- 16 sezioni a scala 1.10.000 manoscritte (originali d'autore) per la Carta Giacimentologica degli Agri Marmiferi;
- 16 sezioni a scala 1.10.000 manoscritte (originali d'autore) per la Carta Strutturale degli Agri Marmiferi;
- 16 sezioni a scala 1.10.000 manoscritte (originali d'autore) per la Carta delle Tipologie Merceologiche dei Ravaneti.

Tutti questi 48 elaborati sono stati redatti sulla base topografica della Carta Tecnica Regionale (CTR) della Regione Toscana.
Il primo passo per procedere all'informatizzazione di questo grande quantitativo di dati raccolti è stato quindi quello di acquisire tutti gli originali d'autore e le relative basi topografiche in un formato idoneo per il loro successivo inserimento all'interno della banca dati GIS. In particolare i diversi elaborati, tutti su supporto cartaceo, sono stati acquisiti in formato digitale mediante scansione, realizzata con una risoluzione di 400 DPI, in modalità 256 colori per gli originali d'autore e modalità Bitmap per le basi topografiche. Le cartografie digitali sono state georeferenziate con il sistema Arc/Info, secondo le procedure standard, utilizzando le coordinate dei quattro punti di vertice. L'errore commesso espresso come RMS (Rooth Mean Square) è risultato sempre inferiore a 0.1 - 0.2 mm su carta e quindi inferiore a 2 m sul terreno. Il sistema di riferimento geografico utilizzato è basato sul Sistema Geodetico Nazionale Roma 40 in coordinate Gauss Boaga, Fuso Ovest (Figura 52).

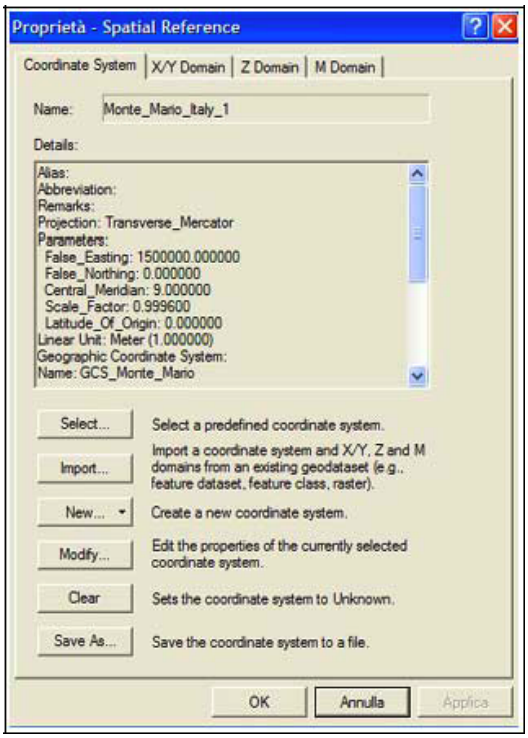


Figura 52 Finestra di ArcCatalog relavita alle coordinate di riferimento.

8.2.2 Digitalizzazione topologica, costruzione del geodatabase e stampa delle carte tematiche

In generale dal punto di vista geometrico qualsiasi carta geotematica può essere suddivisa in elementi poligonali, lineari e puntuali, considerati come entità elementari della rappresentazione cartografica e bidimensionale in genere.
Nelle carte prodotte gli elementi poligonali sono rappresentativi delle aree d'affioramento delle diverse varietà merceologiche di marmo riconosciute e cartografate all'interno del bacino marmifero delle Alpi Apuane (esempio: arabescato, venato, breccia di Seravezza etc…), dei depositi quaternari e delle coperture detritiche naturali e/o antropiche (es: ravaneti) presenti sul territorio e dei principali corpi di frana (Figura 53).
Gli elementi lineari (archi) sono stati utilizzati per i contatti stratigrafici e/o tettonici fra le diverse unità litostratigrafiche cartografate, per delimitare i corpi detritici e/o di frana, per marcare il limite dei depositi quaternari e per indicare i principali orli di scarpata antropica presenti nelle aree di cava (Figura 54).
Gli elementi puntuali sono stati utilizzati per rappresentare l'ubicazione dei siti di estrazione (es: cave attive, inattive o abbandonate) e i dati strutturali raccolti quali, ad esempio, piani di stratificazione, superfici di clivaggio, assi di pieghe, ecc. (Figura 55).
Nella Figura 56 sono infine rappresentati gli elementi puntuali, lineari e poligonali sovrapposti in un'unica vista.
Le immagini raster (.tif), relative alle basi topografiche georeferenziate, sono state utilizzate come sfondi di riferimento nell'applicazione ArcMap per consentire l'acquisizione a video delle informazioni geometriche (punti, linee) contenute negli originali d'autore. Utilizzando l'applicazione ArcMap è stata realizzata l'editazione dei dati su *feature class* contenute nel *geodatabase*. Ciascuna *feature class* contenuta all'interno del geodatabase rappresenta classi di oggetti aventi tutti la stessa primitiva geometrica (punti, linee o poligoni).

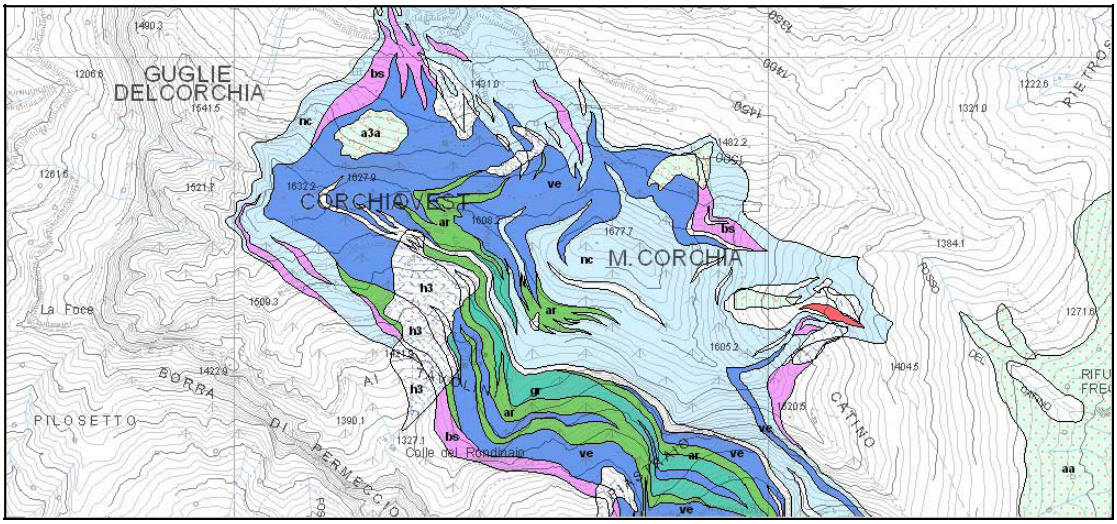


Figura 53 Elementi poligonali rappresentativi delle diverse varietà merceologiche di marmo cartografate nel bacino marmifero del M. Corchia. Ad ogni poligono nella figura è associata la sigla della varietà merceologica corrispondente.

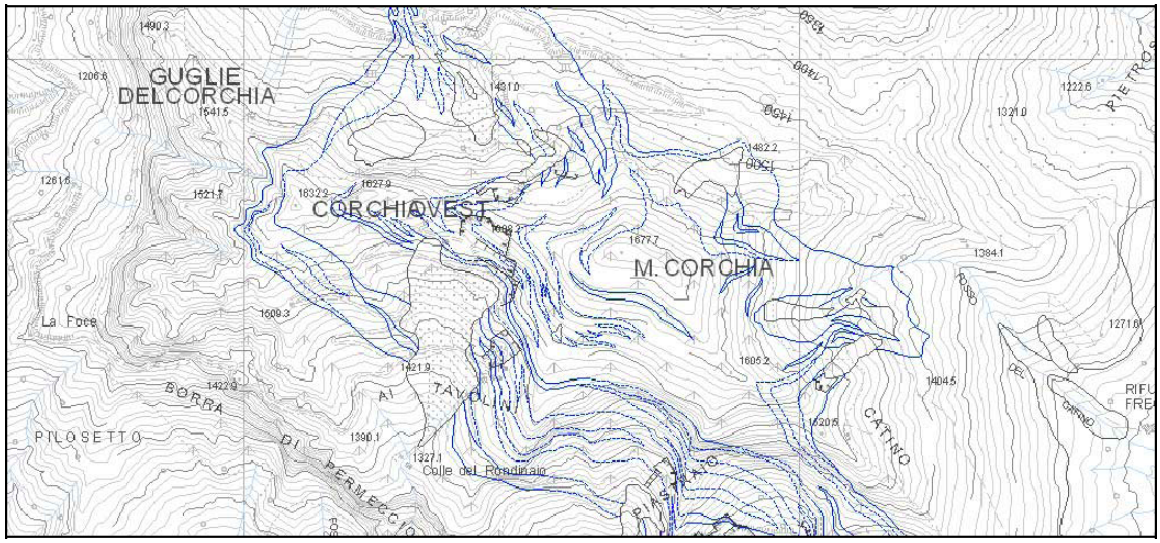


Figura 54 Elementi lineari rappresentativi dei contatti fra i diversi corsi di marmo affioranti nel bacino marmifero del M. Corchia.

Le operazioni di digitalizzazione sono state distinte in base alla tipologia delle entità rilevate, utilizzando distinte *feature class* per entità puntuali ed entità lineari denominate rispettivamente *st0_1* e *st0_2* (Figura 57).
Il disegno a video degli archi è stato eseguito ad un ingrandimento minimo dell'800%, secondo la tipologia arco-nodo mediante procedure di snapping sui nodi, con un sistema denominato *centerline* che consente di utilizzare un numero opportuno di punti per la descrizione di ciascun raggio di curvatura della linea stessa e con un verso di digitalizzazione funzionale alla orientazione degli archi in rapporto al loro significato simbolico. La fase di digitalizzazione topologica è stata preceduta da un'analisi dei requisiti attraverso uno studio delle caratteristiche geometriche, geografiche e geologiche degli originali d'autore e delle legende allegate, finalizzata alla realizzazione di un archivio temporaneo (o Banca Dati Locale) che opportunamente elaborata

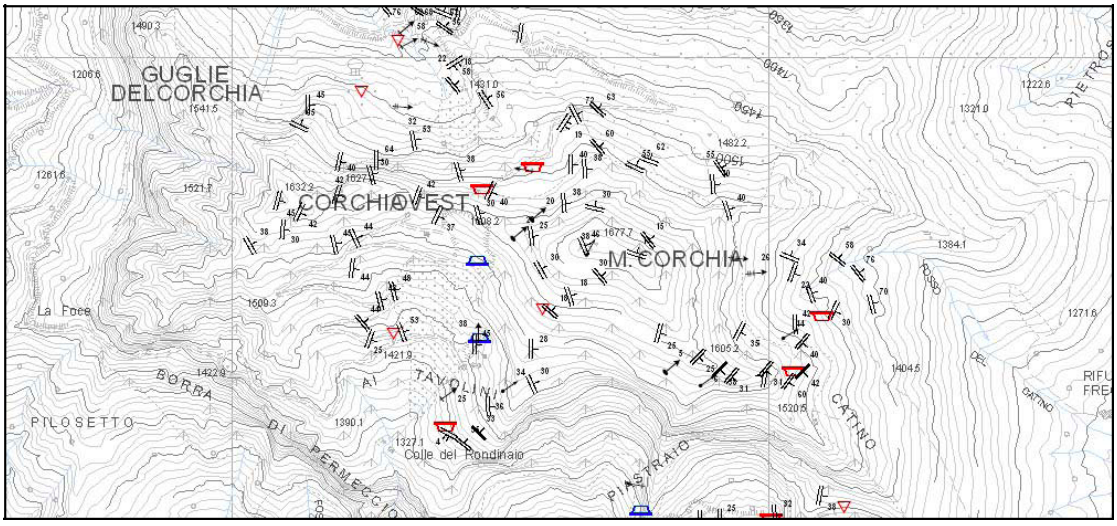


Figura 55 Rappresentazione in carta di unità puntuali relative a cave attive, superfici di scistosità e assi di pieghe (bacino marmifero del M. Corchia).

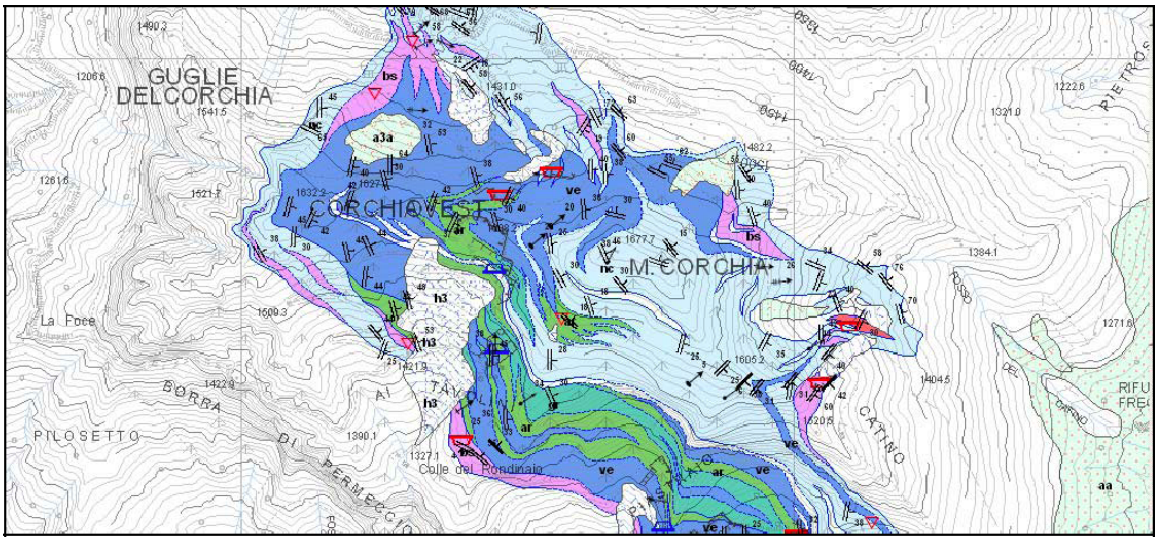


Figura 56 Rappresentazione d'insieme degli elementi puntuali, lineari e poligonali del bacino marmifero del M. Corchia.

permetta di costruire la banca dati che si intende utilizzare in forma definitiva o quale semplice formato di fornitura.
L'input dei dati è avvenuto secondo una struttura fisica derivata dalla Banca Dati CARG [3]. Le informazioni relative alle entità puntuali e lineari sono state infatti caricate in un geodatabase nel quale tutti gli elementi puntuali (es: risorse e prospezioni, elementi strutturali) sono strutturati all'interno di uno strato informativo di tipo puntuale (st01), mentre tutti gli elementi lineari (es: elementi geomorfologici e geologici s.l.) sono organizzati in uno strato informativo di tipo lineare (st02). Tutte le entità poligonali presenti nelle carte tematiche prodotte (quali ad esempio le aree d'affioramento delle diverse varietà merceologiche di marmo, ecc.) sono state ottenute automaticamente dagli archi dello strato lineare, attraverso la costruzione delle funzioni topologiche supportate dal *Geodatabase* di Arcgis 9.0, ottenendo così la perfetta corrispondenza fra i limiti delle entità poligonali e gli archi degli elementi lineari.

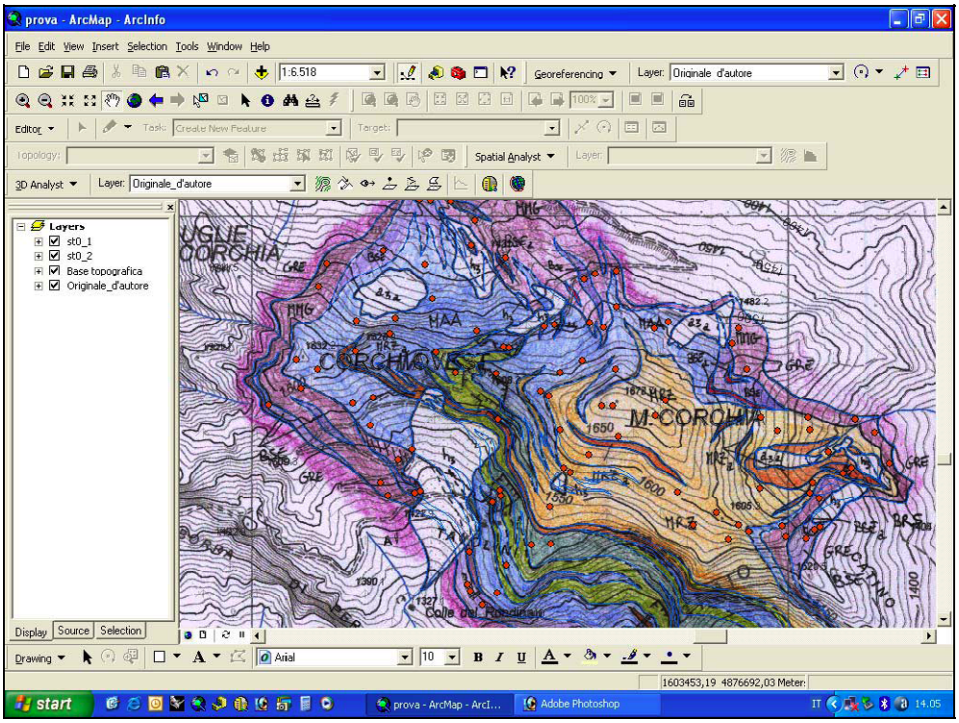


Figura 57 Archi relativi allo strato 2 di tipo lineare (linee in blu) e le informazioni puntuali (cerchi in rosso) dello strato 1. Lo sfondo di riferimento è costituito da una vista dell'originale d'autore manoscritto della sezione 249160.

In particolare tramite l'applicazione *ArcCatalog* è stato possibile costruire un insieme di regole topologiche da attribuire alle feature class che partecipano alla topologia stessa. Al fine di ottenere la congruenza topologica tra gli elementi delle features class lineari (rappresentati ad esempio dai contatti tra le diverse varietà merceologiche di marmo) con i limiti dei poligoni (rappresentati dalle aree di affioramento delle varietà merceologiche stesse), sono state imposte alcune regole topologiche (Figura 58):

- assenza di nodi (*Must not have dangles*);
- assenza d'intersezione o sovrapposizione di archi in punti che non siano nodi (*Must not intersect or touch interior*);
- assenza d'intersezione delle linee su se stesse (*Must not self intersect*).

La prima regola impone che non devono esistere archi appesi: il punto "finale" di una linea deve quindi terminare e corrispondere al punto "iniziale" della linea successiva. La seconda e la terza assicurano che le linee digitalizzate non si sovrappongano su loro stesse e su altre linee della stessa feature class.
Le regole topologiche applicate ai sistemi informativi territoriali sono uno strumento che permette di gestire in modo efficiente importanti informazioni quali ad esempio adiacenza, connettività, prossimità e coincidenza dei dati spaziali. Risulta quindi uno strumento essenziale per eseguire operazioni di controllo e correzione sui dati sia in modo manuale che automatico, soprattutto in presenza di dataset voluminosi.
Il Sistema Informativo Territoriale realizzato è costituito infatti da quasi 7000 poligoni, da più di 28600 archi e da circa 4400 informazioni puntuali. Al fine di consentire una più semplice gestione, interrogazione, e stampa dei dati digitalizzati, è stato costruito un nuovo e più articolato geodatabase denominato "Progetto_marmi", in cui gli elementi geometrici puntuali, lineari e poligonali sono stati organizzati in varie *feature class* (Figura 59).
Per mezzo di interrogazioni per attributi, sono stati selezionati dallo strato informativo st0_1 gli elementi puntuali relativi ai dati strutturali ed ai siti di cava e mediante l'applicazione *ArcCata-*

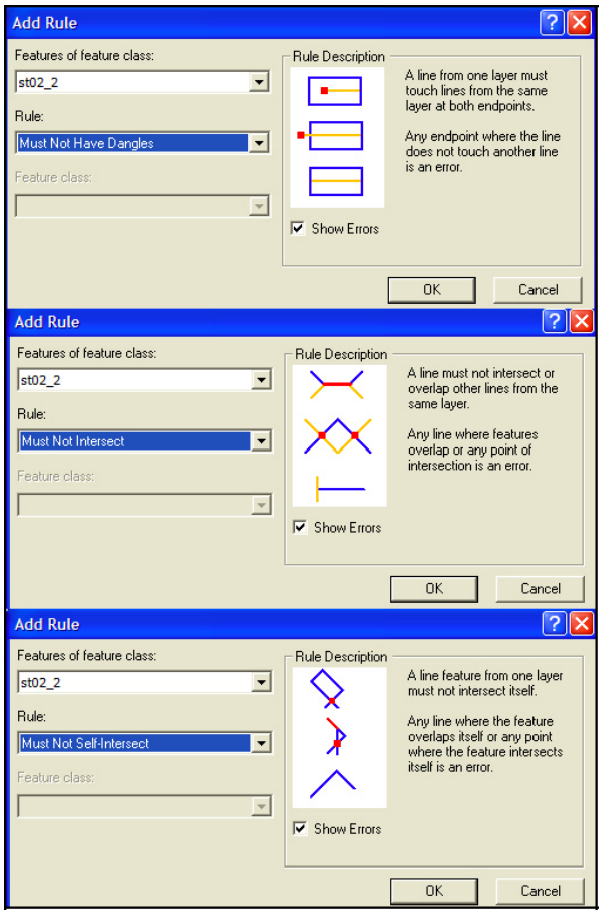


Figura 58 Visualizzazine delle regole topologiche imposte.

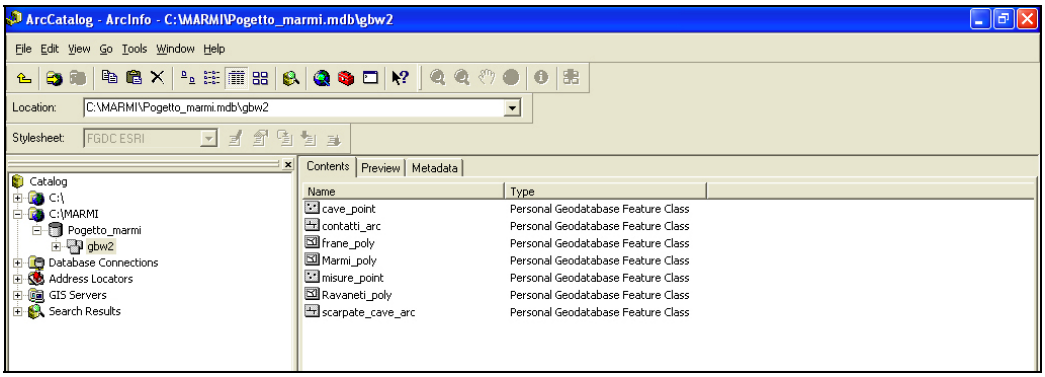


Figura 59 Contenuto del *geodatabase* "Progetto_marmi".

log sono stati esportati in *feature class* denominate rispettivamente *misure_point* e *cave_point*. Dallo strato st0_2 sono stati estratti ed importati all'interno della *feature class contatti_arc* gli elementi lineari relativi ai contatti tra le diverse varietà merceologiche di marmo e limiti dei depositi e coperture detritiche presenti, mentre gli orli di scarpata di cava sono stati esportati all'interno della *feature class* denominata *scarpate_cava_arc*. Gli elementi poligonali sono stati organizzati in tre feature class:

1. *marmi_poly;*
2. *frane_poly;*

3. ravaneti_poly.

Le caratteristiche degli elementi geometrici (*features*), contenuti nel geodatabase sono rappresentate nelle tabelle degli attributi di ogni *feature class*. All'interno di queste ad ogni riga corrisponde univocamente un elemento, ed i valori presenti nelle colonne ne rappresentano gli attributi. Questi possono essere di diverso tipo e caratterizzati da diverse categorie di valori.
All'interno della tabella collegata alla feature class *misure_point* gli attributi presenti per ogni *feature* descrivono la tipologia dell'elemento strutturale misurato (es: asse di piega, superficie di clivaggio di prima fase o di seconda fase, ecc.) e la sua giacitura, ovvero l'inclinazione e l'orientazione rispetto al nord (Figura 60). La tabella legata alla feature class *cave_point* riporta informazioni circa lo stato di attività e tipologia del sito di estrazione (es: cava a cielo aperto attiva o in sotterraneo non attiva, saggio di cava, ecc.), il nome (es: Cava Faniello, Cava Romana, ecc.) e un numero identificativo per ogni cava (Figura 61).

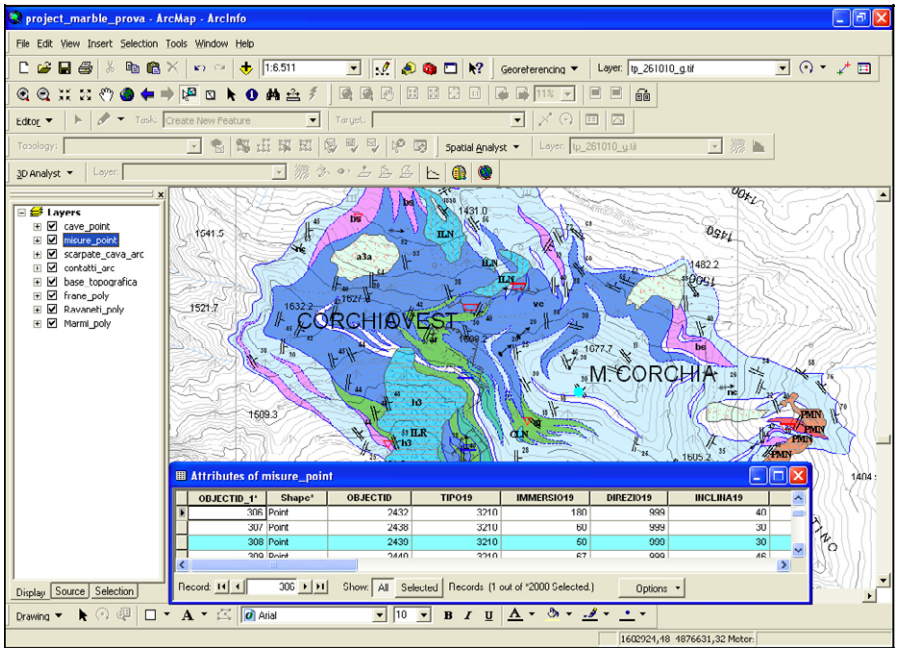


Figura 60 Selezione di una misura (*feature misure_point*) nella vista e nella relativa tabella degli attributi.

La tabella degli attributi della *feature class* lineare *contatti_arc* descrive la diversa tipologia dei contatti, affioranti o interpretati al di sotto delle coperture quaternarie, tra le varietà merceologiche di marmo (es: contatto litostratigrafico certo affiorante, contatto tettonico sinmentamorfico incerto sepolto, faglia diretta certa affiorante, ecc., Figura 62), mentre quella relativa alla *feature class scarpate_cava_arc* riporta la lunghezza dei fronti di coltivazione (Figura 63).
La *feature class marmi_poly* contiene all'interno della relativa tabella informazioni riguardo al tipo di deposito e/o copertura detritica (es: deposito di versante, debris flow, ecc.) e alla varietà di marmo (es: ordinario, calacatta, cipollino, ecc.), rappresentati da ogni elemento poligonale presente (Figura 64).
Infine gli attributi della tabella collegata alla *feature class frane_poly* descrivono il tipo di movimento di frana (es: crollo, colamento, ecc.; Figura 65) e la direzione di scivolamento rispetto al nord, mentre quelli relativi alla tabella della *feature class ravaneti_poly* caratterizzano lo stato di attività (es: attivo, inattivo, soggetto a prelievo, ecc.), la litologia (es: clasti di marmo bianco, grigio, cipollino, ecc.), la tessitura (es: informi, pezzame, sassi, ecc.) e la permeabilità (es: alta, media, bassa) di tutti i ravaneti presenti nella banca dati GIS (Figura 66).

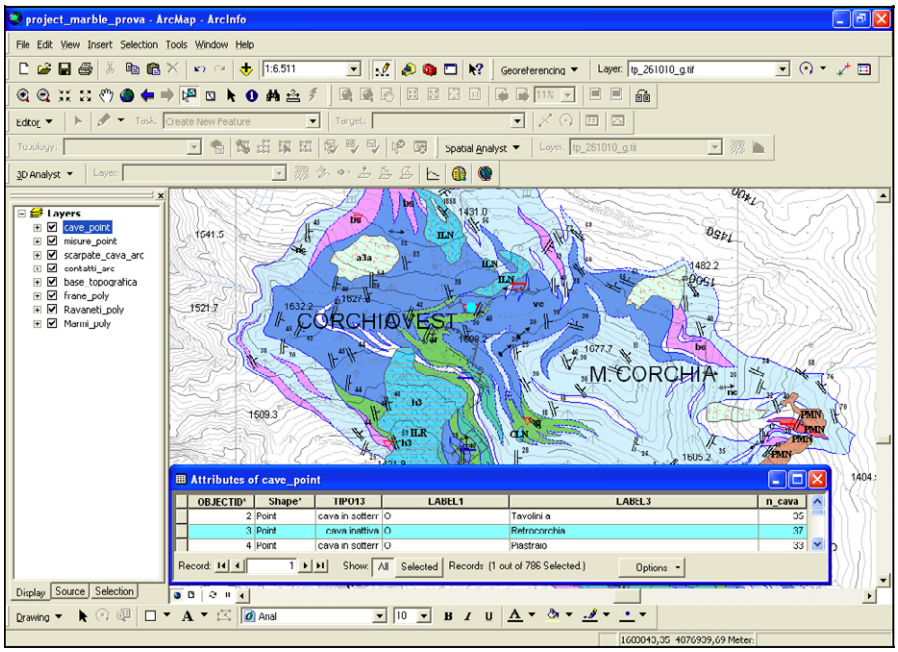


Figura 61 Selezione di una cava (*feature cave_point*) nella vista e nella relativa tabella degli attributi.

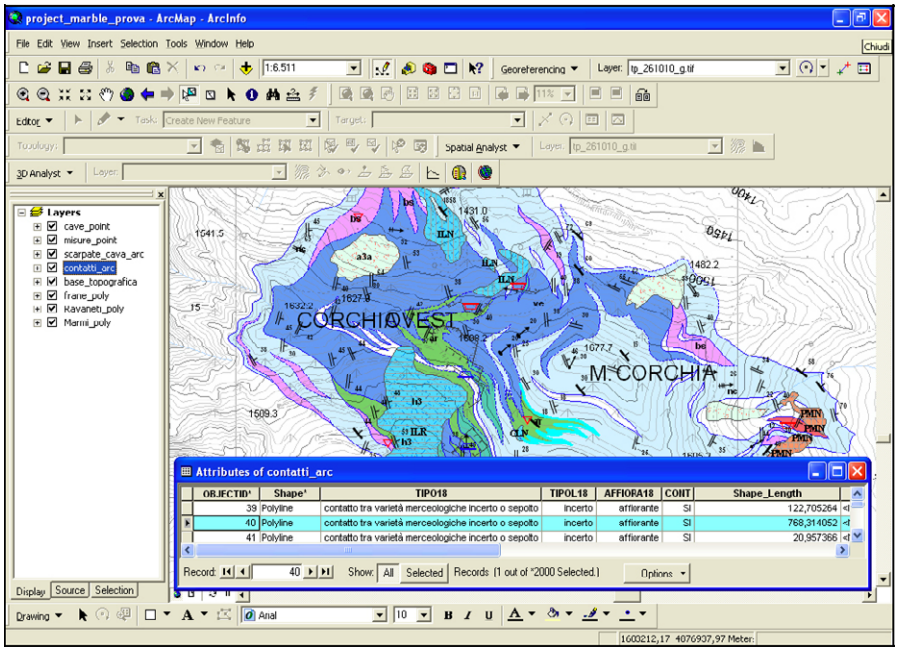


Figura 62 Selezione di un contatto (*feature contatti_arc*) nella vista e nella relativa tabella degli attributi.

8.3 La Banca dati Cave Alpi Apuane

Come già sottolineato, durante la campagna di rilevamento sono state censite tutte le cave attive, inattive o abbandonate presenti sul territorio e sono state corredate da un'ampia documentazione tecnica, fotografica e storica recuperata in parte dalla bibliografia disponibile (materiale ERTAG e piani di coltivazione cave) e in parte raccolta direttamente sul posto. Queste informa-

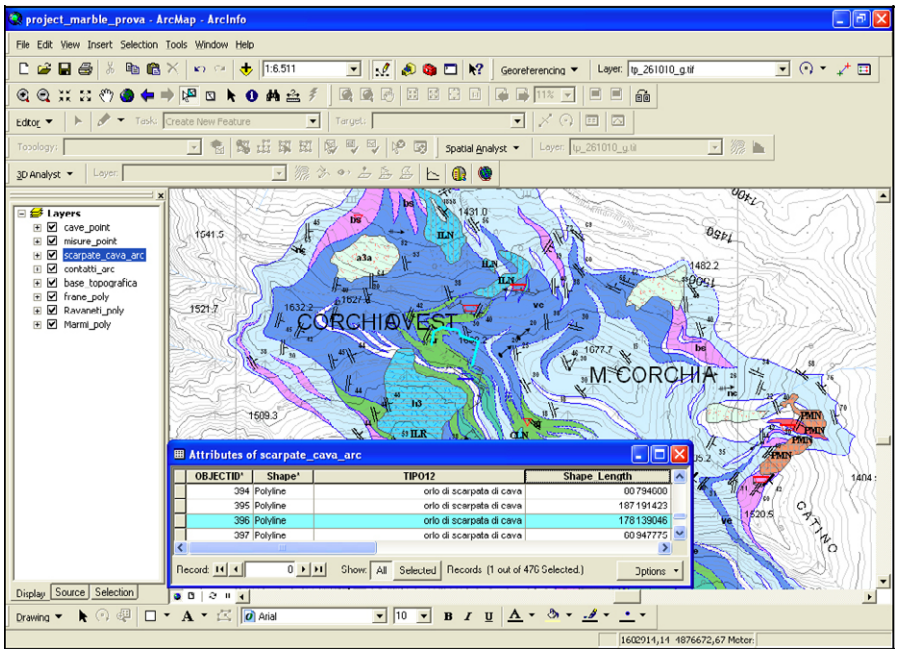


Figura 63 Selezione di un orlo di scarpata di cava *(feature scarpate_cava_arc*) nella vista e nella relativa tabella degli attributi.

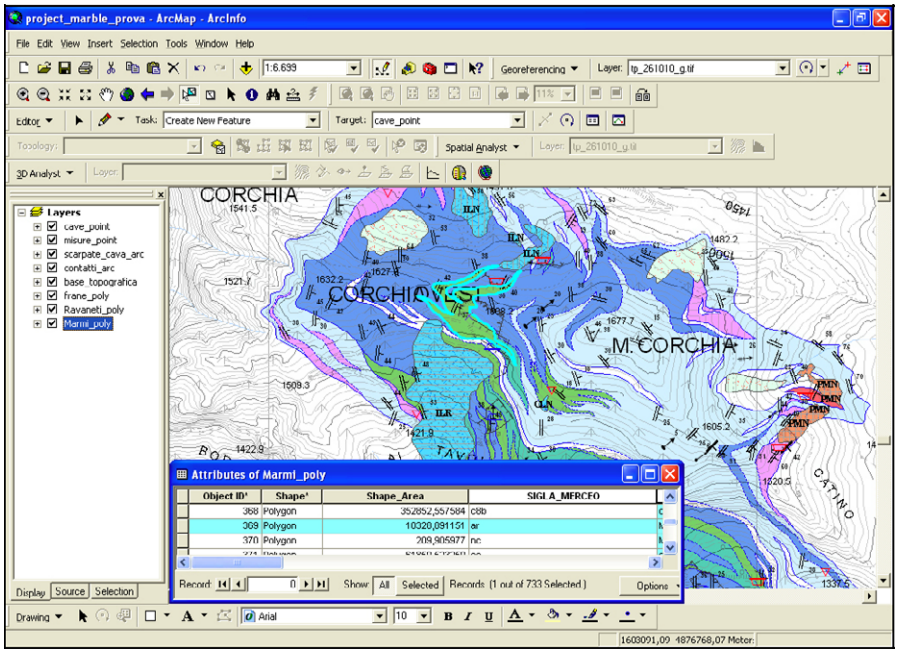


Figura 64 Selezione di un poligono appartenente ad una varietà merceologica di marmo (*feature class marmi_poly*) nella vista e nella relativa tabella degli attributi.

zioni sono state inserite all'interno di una banca dati descrittiva esterna, denominata Banca dati Cave Alpi Apuane, che va a completare la Banca dati GIS relativa alle carte tematiche.
La strutturazione di una banca dati esterna, contenente i soli dati descrittivi relativi agli elementi georiferiti cave, ravaneti e varietà merceologiche di marmo, così come la sua successiva normalizzazione, si sono rese necessarie al fine di evitare la duplicazione di dati all'interno della Banca dati GIS. Questo ha permesso di ridurre significativamente la sue dimensioni in termini

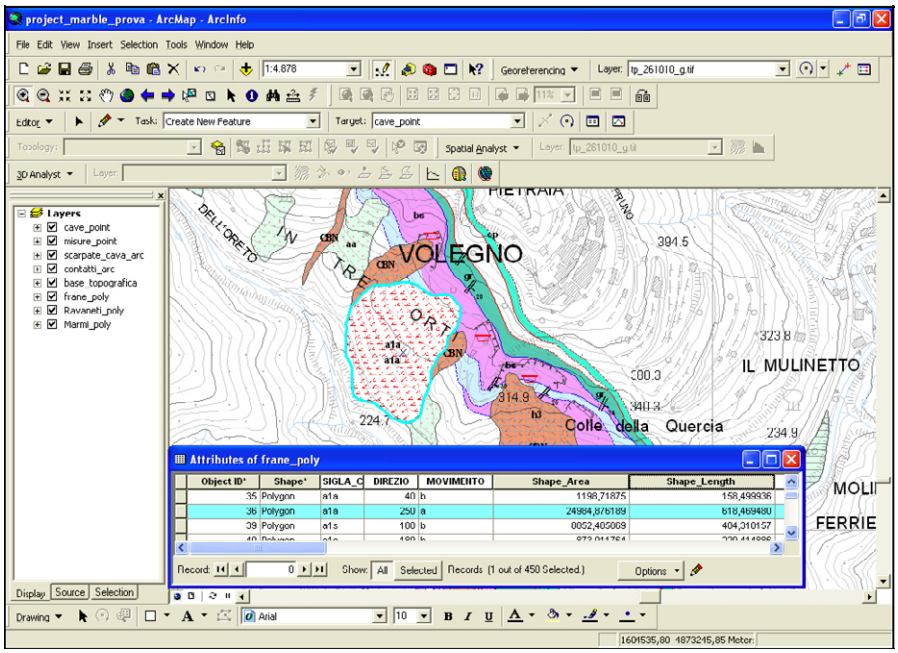


Figura 65 Selezione di una frana (*feature frane_poly*)

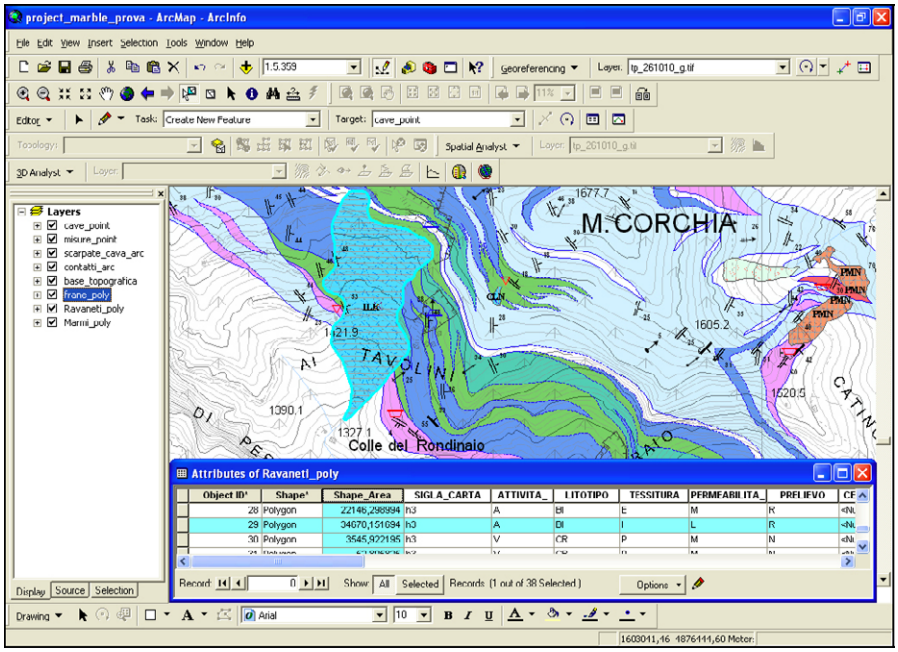


Figura 66 Selezione di un ravaneto (*feature ravaneti_poly*) nella vista e nella relativa tabella degli attributi.

di memoria e dimensione sul server, ed incrementarne le prestazioni in fase di ricerca (vedi Capitolo 8.4 "Sistema per la gestione in rete delle banche dati prodotte").
La normalizzazione è un procedimento volto alla eliminazione della ridondanza e del rischio di inconsistenza dal database. Questo processo si basa su un semplice criterio: se una relazione presenta più concetti tra loro indipendenti, la si scompone in relazioni più piccole, una per ogni concetto. Esistono vari livelli di normalizzazione che certificano la qualità dello schema del database, nel caso della Banca dati Cave Alpi Apuane il processo di normalizzazione è stato spinto fino al livello 3.

Le informazioni presenti nella Banca dati Cave Alpi Apuane sono state quindi strutturate all'interno di 15 tabelle collegate secondo gli schemi riportati in Figura 67.

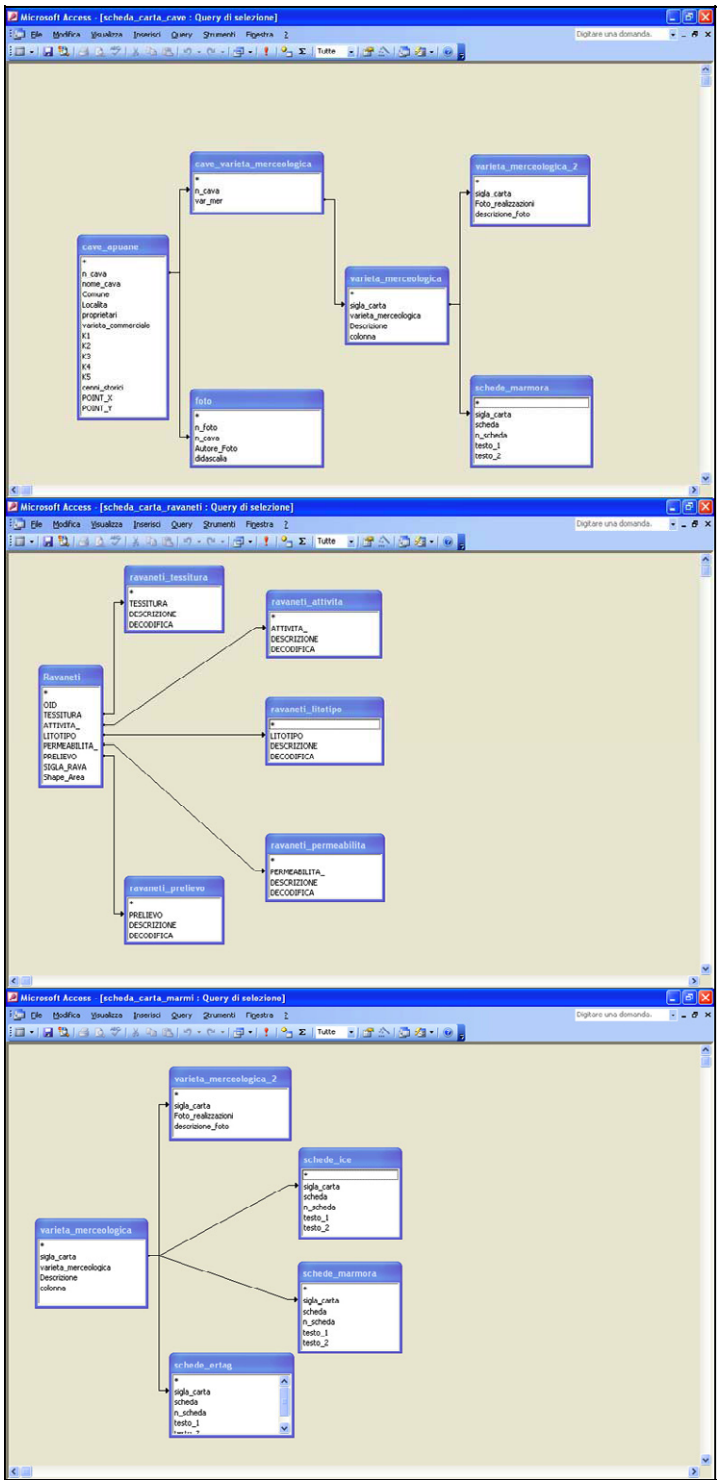


Figura 67 Schemi di collegamento tra le 15 tabelle della Banca dati Cave Alpi Apuane.

La tabella *cave_apuane* contiene 785 record ognuno dei quali rappresenta una cava attiva, inattiva o abbandonata censita durante il rilevamento di campagna.

Per ogni sito estrattivo oltre alla relativa posizione geografica, tipologia (es: cava a cielo aperto o sotterraneo) e stato di attività, sono riportate informazioni circa la ditta proprietaria, le caratteristiche estetiche e tecniche dei materiali estratti e i nomi con i quali vengono commercializzati, i principali sistemi di fratturazione presenti, una documentazione fotografica dei fronti di coltivazione ed una breve storia dell'attività estrattiva (Figura 68).

	n_cava	nome_cava	POINT_X	POINT_Y	Comune	Localita	proprietari	varieta_commerciale	K1	K2	K3	K4	K5	cenni_storici
	343	Taneta	1597760,904	4880371,874	Massa	Renara		Bianco Ordinario Taneta	N40 E	N50 6	N165 (	N55	N80	
	344	Valsora	1597882,237	4880013,971	Massa	Valsora	De Angeli sr	Bianco Valsora, Venato	N140	N65 9	N30 6(	N60	N90	Cava attiva fino :
	345	Valsora Alta	1598164,571	4880078,143	Massa	Valsora	F.lli Ciari	Bianco Valsora, Venato						
	346	Giacceto (Diacce	1597993,655	4880059,735	Massa	Valsora	Ronchieri M	Bianco Ordinario, Bianco	N55 7	N50 8	N170 (	N120		
	347	Palazzolo	1598408,777	4879991,175	Massa-Ser	Monte Pelat	Ronchieri M	Bianco Ordinario, Bianco	N70 E	N45 9	N65 2(	N10	N160	
	348	Gobbie (Pelato)	1598616,06	4879585,875	Seravezza	Monte Pelat	Henraux Spa	Bianco Vestito	N70 7	N65 8	N40 9(	N80	N170	
	349	Zucco Pelato	1598549,449	4879486,919	Massa-Ser	Monte Pelat	Henraux Spa	Bianco Ordinario Vestito,	N60 E	N30 8	N20 7(	N170	N50	
	350	Vestito	1598600,076	4879861,387	Seravezza	Monte Pelat	Henraux Spa	Bianco Ordinario Vestito,	N30 E	N60 6	N45 9(	N165	N30	In queste cave fi
	351	Terrone	1598438,317	4879339,996	Seravezza	Monte Pelat	Henraux Spa	Bianco Vestito, Bianco G	N30 E	N170	N70 5(	N140	N65	In queste cave fi
	352	Poggio della Nev	1598681,327	4878652,742	Seravezza	Monte Altiss	Henraux Spa	Bianco Poggio della Neve	N165	N50 7	N80 8(	N110	N100	Marmi utilizzati
	353	Dell'Ancino	1598653,743	4879256,276	Seravezza	Monte Altiss	Henraux Spa	Bianco Venato	N20 7	N70 4				
	354	Pennacci	1598921,885	4878828,16	Seravezza	Monte Altiss	Henraux Spa	Ordinario Altissimo, Bian	N95 E					
	355	Cave Rava	1599069,471	4879065,412	Seravezza	Monte Altiss	Henraux Spa	Persichino della Rava, Fi	N50 E					
	356	Piastrone	1599087,786	4878827,249	Seravezza	Monte Altiss	Henraux Spa	Ordinario Altissimo, Bian	264 /	245 /	320 / (	285 /	47 /	I marmi di quest
	357	Porracci	1599269,013	4878560,071	Seravezza	Monte Altiss	Henraux Spa	Bianco Altissimo, Biancc	N20 E	N60 7	N150 '	N50	N100	Tra le realizzazi
	358	Granolesa	1599279,271	4878410,242	Seravezza	Monte Altiss	Henraux Spa	Bianco Altissimo, Biancc	N70 E	N60 4	N50 8(	N90		
	359	Cava Buca	1599422,888	4878260,811	Seravezza	Monte Altiss	Henraux Spa	Bianco Buca, Statuario, I	N60 9	N70 8	N60 7(			I marmi di quest
	360	Della Rana (Alla	1599497,098	4878430,165	Seravezza	Monte Altiss	Henraux Spa	Fior di Pesco	N100	N40 5	N20 6(	N60		
	361	Di Borghino	1599510,085	4878119,759	Seravezza	Monte Altiss	Henraux Spa	Bianco Ordinario, Venato	N180	N80 4				
	362	Mossa	1599162,903	4877570,587	Seravezza	Monte Altiss	Henraux Spa	Arabescato Mossa, Vena	N70 7	N80 8	N130 '	N40	N100	
	363	Vasaione	1599145,327	4877655,183	Seravezza	Monte Altiss	Henraux Spa	Arabescato						
✎	364	La Piastra	1599159,015	4877547,144	Seravezza	Monte Altiss	Henraux Spa	Breccia Rio Serra						
	365	Vincarella	1599253,506	4877575,188	Seravezza	Monte Altiss	Henraux Spa	Bianco Ordinario	N90 7					In questa cava è
	366	Macchietta	1598898,517	4877838,155	Seravezza	Monte Altiss	Henraux Spa	Bianco Ordinario, Bianco	N80 E	N30 8	N60 8(			
	367	Fitta	1598946,681	4877873,762	Seravezza	Monte Altiss	Henraux Spa	Bianco Porracci, Bianco	N60 E	N120				Cave aperte nei
	368	Tacca Bianca	1598936,36	4877909,541	Seravezza	Monte Altiss	Henraux Spa	Statuario Tacca Bianca,	N6 6(	N75 7	N70 8(	N10	N60	Cava attiva dal 1
	369	Colonnoni	1598834,872	4877879,438	Seravezza	Monte Altiss	Henraux Spa	Bianco Ordinario, Bianco	N90 E	N70 8	N50 6(	N70		
	370	Tela	1598936,36	4878033,305	Seravezza	Monte Altiss	Henraux Spa	Statuario Tacca Bianca,	N80 9					
	371	Cave dell'Onda	1598825,411	4878121,806	Seravezza	Monte Altiss	Henraux Spa	Statuario Tacca Bianca,	N80 9	N130	N80 9(	N60	N70	
	372	Cervaiole	1599716,334	4877095,205	Seravezza	Monte Altiss	Henraux Spa	Arabescato Cervaiole, Nu	N70 E	N80 9	N90 8(	N160	N80	Cave culminali s
	373	Giardino (Cavette	1599845,918	4876228,196	Seravezza	Monte Altiss	Henraux Spa	Venato (Striato) Giardino	N60 2	N30 5	N5 55(	N20	N160	Cave attive fino :
	374	Zampognone A	1599636,156	4876325,844	Seravezza	Monte Altiss	Henraux Spa	VenatoGiardino, Bianco (	N10 9	N50 8	N150 (			Cave attive fino :
	375	Zampognone B	1599650,692	4876384,654	Seravezza	Monte Altiss	Henraux Spa	VenatoGiardino, Bianco (	N70 7	N160	N20 8(			Cave attive fino :
	376	Tagghio	1599719,492	4876446,08	Seravezza	Monte Altiss	Henraux Spa	Venato (Striato) Giardino	N60 7	N70 8	N40 8(	N160	N140	Cave attive fino :

Record: 364 di 812

Figura 68 Esempio di una delle 15 tabelle che compongono la Banca dati Cave Alpi Apuane.

Nella tabella ravaneti sono presenti le informazioni riguardanti lo stato di attività, la litologia, la granulometria, la permeabilità e l'estensione areale dei 630 ravaneti cartografati durante il rilevamento. Nella tabella varietà_merceologiche sono inserite le immagini di lastre e realizzazioni per ogni tipologia di marmo. Sono inoltre riportate tutte le varietà commerciali di marmi riconosciute.

8.4 Sistema per la gestione in rete delle banche dati prodotte

Al fine di divulgare nel modo più efficace e veloce tutti i dati raccolti e gli elaborati prodotti è stato progettato un sistema per la gestione in rete delle banche dati realizzate. Con lo sviluppo della rete Internet, infatti, la rete è diventata uno dei principali componenti del GIS. I principali vantaggi derivanti dall'utilizzo della rete sono rappresentati da una facile accessibilità da parte degli utenti ad una visualizzazione dinamica e interattiva di una grande quantità di dati che tramite il Web possono essere facilmente integrati ed aggiornarti in ogni momento.

8.4.1 ArcIMS 9 ESRI

Con il termine Web Cartography si intende l'utilizzo delle regole per l'allestimento cartografico ristretto al WWW come mezzo di diffusione. La Web Cartography affronta anche i problemi re-

lativi al mezzo tecnologico in modo da definire l'architettura del sistema di diffusione cartografico, l'usabilità delle interfacce e l'influenza del mezzo e della banda passante sulla dimensione fisica degli oggetti pubblicati e quindi il suo impatto sulla risoluzione delle immagini, tipologia dei dati ecc.
Tra i prodotti che consentono la pubblicazione di dati in rete (ArcIMS, Autodesk Map Guide, Map Server, Degree, etc) si è scelto di ricorrere alla soluzione ArcIMS 9 ESRI per la progettazione, la realizzazione e l'amministrazione dei siti Internet cartografici con funzionalità di visualizzazione, produzione mappe ed analisi dei dati spaziali.

8.4.2 Architettura client/server di ArcIMS 9

L'architettura client/server e le funzionalità di ArcIMS 9 sono state specificatamente studiate e realizzate per pubblicare carte, metadati e dati sul Web. L'architettura è stata disegnata secondo una struttura multilivello che consiste in:
a) livello di presentazione: comprende client viewers per accedere, visualizzare analizzare dati geografici;
b) livello business-logic: per gestire le richieste e amministrare il sito ArcIMS;
c) livello dati: possibili sorgenti dati disponibili per ArcIMS.
Il processo di richiesta/risposta può essere riassunto in questo modo:

Richiesta Client -> Web Server -> Connettori -> Application Server -> Spatial Server
Risposta Spatial Server -> Application Server -> Connettori -> Web Server -> Client

Il ruolo dei connettori è quello di rendere comprensibili all'Application Server e allo Spatial Server le richieste dei client e successivamente tradurre le risposte di quest'ultimo al Web Server. Per fare questo, i connettori utilizzano un liguaggio ArcXML (implementazione di XML) specifico per la trattazione dei dati geografici. Esistono diversi tipi di connettori, nel nostro caso è stato installato TomCat.

8.4.3 FGViewer

Il viewer utilizzato per la pubblicazione del progetto è stato realizzato in Adobe Flash ed è denominato FGViewer. L'utilizzo del FGViewer è stato scelto per risolvere i problemi di cross-platforming tra i vari sistemi operativi normalmente presenti sul web. Ad oggi infatti, Adobe (in passato Macromedia) permettono lo scarico e l'utilizzo gratuito del player Flash mettendone a disposizione versioni per praticamente tutti i sistemi operativi esistenti, compresi sistemi Symbian (es. Nokia, Motorola, Sony Ericsson).
Il FGViewer permette:
1. Navigazione attraverso differenti tematismi (es: Carta Giacimentologica degli Agri Marmiferi,Carta Strutturale degli Agri Marmiferi, Carta delle Tipologie Merceologiche dei Ravaneti) mantendo il continuo territoriale su 16 sezioni.
2. Possibilità di consultare ed interrogazione le diverse carte tematiche e la Banca dati Cave Alpi Apuane sia direttamente sulla mappa che tramite finestre d'interrogazione.

L'FGViewer è configurabile attraverso sei parametri principali, per mezzo dei quali vi è modo di dichiarare i tre principali servizi gestiti:
- il servizio di overview;
- il servizio GIS principale;
- un servizio GIS secondario attivabile come sfondo del principale.

L'uso di questi parametri rende l'FGViewer uno strumento di facile utilizzo di interfaccia per qualunque progetto ArcMap distribuito su piattaforma ArcIMS.
Il software sfrutta come cuore per la gestione delle immagini rese da ArcIMS, la suite di componenti sviluppata da Jan Bliki (http://www.bliki.com, progetto FlashIMS) integrandola poi con codice Macromedia ActionScript 2.0, in particolare attraverso gli XMLObjects, per la generazione e la successiva gestione delle richieste ArcXML lato server.
Le principali funzionalità messe a disposizione per gli utenti web dall'FGViewer possono essere suddivise in funzionalità di navigazione e d'interrogazione del servizio. Per le funzionalità di navigazione il software prevede l'uso di tre diversi metodi di spostamento oltre che il sistema di zoom.
Per lo spostamento all'interno della visualizzazione proposta, l'utente potrà sia spostare direttamente la carta visualizzata attraverso un click and drop del mouse, sia utilizzare la mappa di overview, resa attiva al click del mouse, trascinando direttamente il quadrante di visualizzazione o ridefinendone la larghezza attraverso gli appositi punti di ancoraggio.
Per effettuare spostamenti ridotti, è previsto anche l'uso di quattro pulsanti direzionali posti ai limiti estremi della carta, cliccando su questi si effettuerà uno spostamento della carta nella relativa direzione. Per effettuare degli zoom invece, il sistema prevede sia l'uso dei due appositi pulsanti, zoom-in e zoom-out, sia la selezione di una delle scale predefinite nell'apposita casella drop-down posta sopra la mappa di overview.
In ambito di funzionalità di interrogazione, selezionando l'apposito strumento, l'FGViewer permette sia un interrogazione di tipo click and get, sia una ricerca testuale. Quest'ultima viene effettuata attraverso la selezione del campo, dell'operatore, ed infine del valore da cercare.
La lista dei campi e la relativa selezione dell'operatore viene ricavata direttamente attraverso richieste ArcXML, escludendo gli attributi di tipo [GEOMETRY] (Field Type -98, -99), ed interpretandone il Field Type.
Al momento, l'FGViewer prevede per i campi di testo (Field Type 1, 12, 13, 14,15) gli operatori:

Operatore FGViewer	**Operazione SQL**
Inizia per	[attributo] LIKE "[valore cercato]*"
Finisce per	[attributo] LIKE "*[valore cercato]"
Contenente	[attributo] LIKE "*[valore cercato]*"
Uguale a	[attributo] = "[valore cercato]"

Mentre per i numeri e per le date (Field Type -5, 4, 5, 6, 8) prevede invece:

Operatore FGViewer	**Operazione SQL**
Minore di	[attributo] < [valore cercato]
Maggiore di	[attributo] > [valore cercato]
Uguale a	[attributo] = [valore cercato]

Attraverso la parametrizzazione dei livelli di ricerca e della tabella attributi, l'FGViewer permette la ricerca contemporanea su più livelli, generando per ogni livello dichiarato una richie-

sta al server e successivamente scremando per i soli livelli visibili od aventi un extent che rientri all'interno di quello attualmente visualizzato dall'utente.
I risultati delle richieste, sia che queste siano effettuate via mouse sia per quelle effettuate per selezione su di un campo, possono essere infine consultati dall'utente all'interno della relativa tabella comune riportante il livello di provenienza, così da omogeneizzare tutte le risposte in un'unica finestra comune, contenente un numero ridotto di attributi.
L'FGViewer permette infine, cliccando su di ogni singola riga, di accedere alla scheda completa della feature selezionata comprensiva, dove dichiarato, di link esterno.
Oltre a queste funzioni, sono messe a disposizione poi altre utilità tra cui:

- la possibilità per l'utente, attraverso l'apposito strumento di effettuare misure lineari;
- l'esportare in qualunque momento di un layout di stampa in pdf dell'attuale visualizzazione;
- la possibilità di attivare un secondo servizio GIS, od un gruppo di livelli dichiarati in parametrizzazione, da utilizzare come base raster del primo;
- l'utilizzo di un set di coordinate comuni, dichiarato in base al parametro name-space, ed il mantenimento di questo su chiusura e riapertura dell'FGViewer.

Tali utilità, insieme all'uso di un linguaggio compilato come Macromedia ActionScript, hanno permesso di ottenere un sistema di distribuzione di dati GIS interamente *cross-platform* e, attraverso la gestione delle dimensioni dello Stage di visualizzazione, semplicemente integrabile in qualunque pagina o sito web pre-esistente.

9 Bibliografia

[1] Abbate, E., Balestrieri, M.L., Bigazzi, G., Norelli, P. & Quercioli, C. 1994: Fission-track dating and recent rapid denudation in Northern Apennines, Italy. Memorie della Società Geologica Italiana, v. 48, pp. 579-585.

[2] Argnani, A., Barbacini, G., Bernini, M., Camurri, F., Ghielmi, M., Papani, G., Rizzini, F., Rogledi, S. & Torelli, L. 2003: Gravity tectonics driven by Quaternary uplift in the Northern Apennines: insights from the La Spezia-Reggio Emilia geo-transect. Quaternary International, v. 101-102, pp. 13-26.

[3] Artioli, G.P., Bonansea, E., Cara, P., Cavallin, A., Fantozzi, P.L., Forlati, F., Garberi, M.L., Guzzetti, F., Righini, G., Spaziani, A., Tommasi, G., Ventura, F.A. & Visicchio, F. 1992: Linee guida per la realizzazione della banca dati geologici e per l'allestimento per la stampa della banca dati. Quaderni serie III, v. 6, Servizio Geologico Nazionale, Roma, 142 pp.

[4] Balestrieri, M.L., Bernet, M., Brandon, M.T., Picotti, V., Reiners, P. & Zattin, M. 2003: Pliocene and Pleistocene exhumation and uplift of two key areas of the Northern Apennines. Quaternary International, v. 101-102, pp. 67-73.

[5] Baroni, C., Bruschi, G. & Ribolini, A. 2000: Human-induced hazardous debris flows in Carrara marble basins (Tuscany, Italy). Earth Surface Processes and Landforms, v. 25, pp. 93-103.

[6] Baroni, C., Bruschi, G., Criscuolo, A. & Ribolini, A. 2001: Il rischio geomorfologico indotto dall'attivita estrattiva nei bacini marmiferi apuani (Alpi Apuane, Toscana). Atti della Societa Toscana di Scienze Naturali Residente in Pisa, Memorie, Serie A: Processi Verbali, v. 107, pp. 87-96.

[7] Bartolini, C. 2003: When did the Northern Apennine become a mountain chain? Quaternary International, v. 101-102, pp. 75-80.

[8] Boccaletti, M., Gosso, G. & Moratti, G. 1981: Indizi di paleocarsismo nel marmo delle Alpi Apuane settentrionali. Rendiconti della Società Geologica Italiana, v. 4, pp. 315-316.

[9] Bonatti, S. 1938: Studio Petrografico delle Alpi Apuane. Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia, v. 26, Roma, 116 pp.

[10] Bruschi, G., Criscuolo, A. & Zanchetta, G. 2003: Stratigrafia delle discariche di detrito dei bacini marmiferi di Carrara. I ravaneti antichi di Carbonera, Strinato, Gioia e Scalocchiella. Acta apuana, v. 2, pp. 26-32.

[11] Cantisani, E., Fratini, F., Molli, G. & Pandolfi, L. 2003: Sulla provenienza apuana del marmo di cippi funerari etruschi. Acta apuana, v. 2, pp. 19-25.

[12] Carmignani, L. 1985: Carta geologico-strutturale del Complesso Metamorfico delle Alpi Apuane, Foglio Nord, 1:25.000, Litografia Artistica Cartografica, Firenze.

[13] Carmignani, L. & Giglia, G. 1977: Analisi mesostrutturale della zona occidentale delle Apuane metamorfiche. Bollettino della Società Geologica Italiana, v. 96, pp. 429-450.

[14] Carmignani, L., Giglia, G. & Kligfield, R. 1978: Structural evolution of the Apuane Alps; an example of continental margin deformation in the northern Apennines, Italy. Journal of Geology, v. 86, pp. 487-504.

[15] Carmignani, L. & Giglia, G. 1979: Large scale reverse "drag folds" in the late Alpine building of the Apuane Alps (N. Apennines). Atti della Società Toscana di Scienze Naturali, Memorie, Serie A, v. 86, pp. 109-126.

[16] Carmignani, L. & Giglia, G. 1983: Il problema della doppia vergenza sulle Alpi Apuane e la struttura del Monte Corchia. Memorie della Società Geologica Italiana, v. 26, pp. 515-525.

[17] Carmignani, L. & Kligfield, R. 1990: Crustal extension in the Northern Apennines: the transition from compression to extension in the Alpi Apuane core complex. Tectonics, v. 9, pp. 1275-1303.

[18] Carmignani, L., Decandia, F.A., Fantozzi, P.L., Lazzarotto, A., Liotta, D. & Meccheri, M. 1994: Teriary extensional tectonics in Tuscany (Northern Apennines, Italy). Tectonophysics, v. 238, pp. 295-315.

[19] Carmignani, L., Decandia, F.A., Disperati, L., Fantozzi, P.L., Kligfield, R., Lazzarotto, A., Liotta, D. & Meccheri, M. 2001: Inner Northern Apennines. In: Vai, G.B. & Martini, I.P. (Eds.), Anatomy of an Orogen: the Apennines and Adjacent Mediterranean Basins. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 197-214.

[20] Carmignani, L., Conti, P., Cornamusini, G. & Meccheri, M. 2004: The internal Northern Apennines, the Northern Tyrrhenian Sea and the Sardinia-Corsica Block. In: Crescenti, U., D'Offizi, S., Merlino, S. & Sacchi, L. (Eds.), Geology of Italy. Società Geologica Italiana, Roma, pp. 59-77.

[21] Casey, M.S., Rutter, E.H., Schmid, S.M., Siddans, A.W.B. & Whalley, J.S. 1978: Texture development in experimentally deformed calcite rocks. In: Gottstein, G. & Lücke, K. (Eds.), Proceedings 5th International Conference on Textures of Materials. Springer Verlag, Berlin, pp. 231-240.

[22] Coli, M., Grandini, G. & Matteini, L. 1987: Carta Strutturale del bacino marmifero di Orto di Donna (Alpi Apuane), 1:5.000, SELCA, Firenze.

[23] Coli, M. 1989: Litho-structural assemblage and deformation history of "Carrara marble". Bollettino della Società Geologica Italiana, v. 108, pp. 581-590.

[24] Coli, M. 1992: Carta Strutturale del Bacino Marmifero di Boana (Alpi Apuane), 1:5.000, SELCA, Firenze.

[25] Coli, M. & Fazzuoli, M. 1992: Considerazioni sulla litostratigrafia e sull'evoluzione sedimentaria delle formazioni retico-liassiche del nucleo metamorfico apuano. Atti Ticinensi di Scienze della Terra, v. 35, pp. 43-60.

[26] Coli, M., Pini, G., Piccini, L., Mariottoni, E., Frosini, S., Rossi, M.L., Livi, V., Appelius, V., Carmignani, L., Meccheri, M., Fantozzi, P.L., Sciuto, P.F., Bocci, M., Antompaoli, L., Chiereghin, F., Graziosi, B., Fornaro, M., Lovera, E. & Bergamasco, L. 2002: Studi Conoscitivi sui Bacini Marmiferi Industriali di carrara: Un Contributo per la gestione Pianificata dell'Attività. GEAM - Geoingeneria Ambientale e Mineraria, v. 24, 104 pp.

[27] Cortecci, G., Dinelli, E., Indrizzi, M.C., Susini, C. & Adorni Braccesi, A. 1999: The Apuane Alps metamorphic complex, northern Tuscany: chemical and isotopic features of Grezzoni and Marmi dolomitici. Atti della Società Toscana di Scienze Naturali, Memorie, Serie A, v. 106, pp. 79-89.

[28] Covey-Crump, S.J. 1997: The high temperature static recovery and recrystallization behaviour of cold-worked Carrara marble. Journal of Structural Geology, v. 19, pp. 225-241.

[29] Crisci, G.M., Leoni, L. & Sbrana, A. 1975: La formazione dei marmi delle Alpi Apuane (Toscana); studio petrografico, mineralogico e chimico. Atti della Società Toscana di Scienze Naturali, Memorie, Serie A, v. 82, pp. 199-236.

[30] D'Amato Avanzi, G. & Verani, M. 1998: Valenze ambientali ed economiche dei ravaneti delle Alpi Apuane (Toscana). Memorie della Società Geologica Italiana, v. 53, pp. 489-501.

[31] Dallan Nardi, L. 1976: Segnalazione di Lepidocycline nella parte basale dello "Pseudomacigno" delle Alpi Apuane. Bollettino della Società Geologica Italiana, v. 95, pp. 459-477.

[32] De Bresser, J.H.P. 1991: Intracristalline deformation of calcite. Geologica ultraiectina, v. 79, Utrecht, 191 pp.

[33] Di Pisa, A., Franceschelli, M., Leoni, L. & Meccheri, M. 1985: Regional variation of the metamorphic temperatures across the Tuscanid 1 Unit and its implications on the alpine metamorphism (Apuan Alps, N-Tuscany). Neues Jahrbuch für Mineralogie, Abhandlungen, v. 151, pp. 197-211.

[34] Dolci, E. 1980: Carrara Cave Antiche. Materiali Archeologici. Viareggio.

[35] Dolci, E. 1985: I marmi lunensi: tradizione, produzione, applicazioni. Quaderni del Centro Studi Lunensi, v. 11, pp. 405-463.

[36] Dolci, E. 2003: Archeologia Apuana. Lions Club, Aulla.

[37] ERTAG Regione Toscana 1980: I Marmi Apuani. Nuova Grafica Fiorentina, Firenze, 126 pp.

[38] Fazzuoli, M. 1980: Frammentazione ed annegamento della piattaforma carbonatica del Calcare massiccio (Lias inferiore) nell'area toscana. Memorie della Società Geologica Italiana, v. 21, pp. 181-191.

[39] Fazzuoli, M. & Sguazzoni, G. 1981: Presenza di facies tipo "rosso ammonitico" e di forme paleocarsiche al tetto dei Marmi in localita' Pianellaccio (M. Pisanino; Alpi Apuane). Bollettino della Società Geologica Italiana, v. 100, pp. 555-566.

[40] Franceschelli, M., Leoni, L., Memmi, M. & Puxeddu, M. 1986: Regional distribution of Al-silicates and metamorphic zonation in the low-grade Verrucano metasediments from the Northern Apennines, Italy. Journal of Metamorphic Geology, v. 4, pp. 309-321.

[41] Franceschelli, M., Memmi, I., Carcangiu, G. & Gianelli, G. 1997: Prograde and retrograde chloritoid zoning in low temperature metamorphism, Alpi Apuane, Italy. Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen, v. 77, pp. 41-50.

[42] Franceschelli, M. & Memmi, I. 1999: Zoning of chloritoid from kyanite-facies metapsammites, Alpi Apuane, Italy. Mineralogical Magazine, v. 63, pp. 105-110.

[43] Fredrich, J.T., Evans, B. & Wong, T.F. 1989: Micromechanics of the brittle to plastic transition in Carrara Marble. Journal of Geophysical Research, v. 94, pp. 4129-4145.

[44] Giglia, G. & Radicati wdi Brozolo, F. 1970: K/ Ar age of metamorphism in the Apuane Alps (Northern Tuscany). Bollettino della Società Geologica Italiana, v. 89, pp. 485-497.

[45] Jolivet, L., Faccenna, C., Goffé, B., Mattei, M., Rossetti, F., Brunet, C., Storti, F., Funiciello, R., Cadet, J.P., D'Agostino, N. & Parra, T. 1998: Midcrustal shear zones in postorogenic extension: example from the northern Tyrrhenian Sea. Journal of Geophysical Research, v. 103, pp. 12123-12160.

[46] Kligfield, R., Hunziker, J., Dallmeyer, R.D. & Schamel, S. 1986: Dating of deformation phases using K-Ar and 40Ar/39Ar techniques; results from the Northern Apennines. Journal of Structural Geology, v. 8, pp. 781-798.

[47] Leiss, B. & Molli, G. 2003: "High-temperature" texture in naturally deformed Carrara marble from the Alpi Apuane, Italy. Journal of Structural Geology, v. 25, pp. 649-658.

[48] Meccheri, M. 1996: Carta Geologico-Strutturale delle Varietà Merceologiche dei Marmi del Carrararese, 1:10.000, Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Siena, Siena.

[49] Meccheri, M., Bellagotti, E., Berretti, G., Conti, P., Dumas, F., Mancini, S. & Molli, G. 2007: The Mt. Altissimo marbles (Apuane Alps, Tuscany): commercial types and structural setting. Bollettino della Società Geologica Italiana, v. 126, pp. 25-35.

[50] Molli, G. & Heilbronner Panozzo, R. 1999: Microstructures associated with static and dynamic recrystallization of Carrara marble (Alpi Apuane, NW Tuscany Italy). Geologie en Mijnbouw, v. 78, pp. 119-126.

[51] Molli, G., Giorgetti, G. & Meccheri, M. 2000: Structural and petrological constrains on the tectono-metamorphic evolution of the Massa Unit (Alpi Apuane, NW Tuscany, Italy). Geological Journal, v. 35, pp. 251-264.

[52] Molli, G., Conti, P., Giorgetti, P., Meccheri, M. & Oesterling, N. 2000: Microfabric study on the deformational and thermal history of the Alpi Apuane marbles (Carrara marbles), Italy. Journal of Structural Geology, v. 22, pp. 1809-1825.

[53] Molli, M. & Meccheri, M. 2000: Geometrie di deformazione nell'alta valle di Colonnata: un esempio di strutturazione polifasica e composita nelle Alpi Apuane. Bollettino della Società Geologica Italiana, v. 119, pp. 379-394.

[54] Molli, G., Giorgetti, G. & Meccheri, M. 2002: Tectono-metamorphic evolution of the Alpi Apuane Metamorphic Complex: new data and constraints for geodynamic models. Bollettino della Società Geologica Italiana, v. volume speciale n. 1, pp. 789-800.

[55] Molli, G. & Vaselli, L. 2006: Structures, interference patterns, and strain regime during midcrustal deformation in the Alpi Apuane (Northern Apennines, Italy). Geological Society of America Special Paper, v. 414, pp. 79-93.

[56] Ottria, G. & Molli, G. 2000: Superimposed brittle structures in the late orogenic extension of the Northern Apennine: results from the Carrara area (Alpi Apuane, NW Tuscany). Terra Nova, v. 12, pp. 52-59.

[57] Perilli, N., Puccinelli, A., Sarrti, G. & A., D.A. 2005: Villafranchian deposit of the Barga and Castelnuovo Garfagnana basin (Tuscany, Italy): Lithostratigraphy and sedimentary features. Il Quaternario, v. 17, pp. 45-85.

[58] Piccini, L. 1994: Caratteri morfologici ed evoluzione dei fenomeni carsici profondi nelle Alpi Apuane (Toscana, Italia). Natura Bresciana, v. 30, pp. 45-85.

[59] Piccini, L. 2005: Morfologia ed evoluzione dei sistemi carsici delle Alpi Apuane. Atti del Convegno: Le grotte raccontano: un milione di anni di storia naturale conservato nei sistemi carsici delle Alpi Apuane, Castelnuovo Garfagnana (LU)- 11/12 dicembre 2004, pp. 33-54.

[60] Piccini, L., Zanchetta, G., Drysdale, R., Isola, I. & Bruschi, G. 2005: I depositi fisici e chimici delle grotte delle Alpi Apuane. Atti del Convegno: Le grotte raccontano: un milione di anni di storia naturale conservato nei sistemi carsici delle Alpi Apuane, Castelnuovo Garfagnana (LU)- 11/12 dicembre 2004, pp. 101-118.

[61] Pieri, M., L. Burlini, L., Kunze, K., Stretton, I. & Olgaard, D.L. 2001: Rheological and microstructural evolution of Carrara marble with high shear strain: results from high temperature torsion experiments. Journal of Structural Geology, v. 23, pp. 1393-1413.

[62] Pieri, M., Kunze, K., Burlini, L., Stretton, I., Olgaard, D.L., Burg, J.-P. & Wenk, H.-R. 2001: Texture development of calcite by deformation and dynamic recrystallization at 1000°K during torsion experiments of marble to large strains. Tectonophysics, v. 330, pp. 119-140.

[63] Pinna, S. 1999: Il comprensorio apuano del marmo. Memorie della Società Geografica Italiana, v. 57.

[64] Rutter, E.H. 1972: The influence of interstitial water on the rheological behaviour of calcite rocks. Tectonophysics, v. 14, pp. 13-33.

[65] Rutter, E.H. 1995: Experimental study of the influence of stress, temperature, and strain on the dynamic recrystallization of Carrara marble. Journal of Geophysical Research, v. 100, pp. 24651-24663.

[66] Salvador, A. 1994: International Stratigraphic Guide. A Guide to Stratigraphic Classification, Terminology, and Procedure. The International Union of Geological Sciences and The Geological Society of America, Boulder, 214 pp.

[67] Schmid, S.M., Paterson, M.S. & Boland, J.N. 1980: High temperature flow and dynamic recrystallization in Carrara marble. Tectonophysics, v. 65, pp. 245-280.

[68] Schmid, S.M., Panozzo, R. & Bauer, S. 1987: Simple shear experiments on calcite rocks: rheology and microfabric. Journal of Structural Geology, v. 9, pp. 747-778.

[69] Spiers, C.J. 1979: Fabric development in calcite polycrystals deformed at 400 °C. Bulletin de Minéralogie, v. 102, pp. 282-289.

[70] Wenk, H.-R., Takeshita, T., Bechler, Erskine, B.G. & Matthies, S. 1987: Pure shear and simple shear calcite textures. Comparision of experimental, theoretical and natural data. Journal of Structural Geology, v. 9, pp. 731-745.

[71] Worboys, M. 1995: GIS: A Computing Perspective. Taylor and Francis, London.

[72] Zaccagna, D. 1932: Descrizione Geologica delle Alpi Apuane. Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia, v. 25, Roma, 440 pp.

[73] Zanchetta, G., Drysdale, R.N., Hellstrom, J., Fallick, A.E., Isola, I., Bruschi, G. & Concioni, A. 2005: L'archivio climatico preservato all'interno delle stalagmiti dell'Antro del Corchia (Alpi Apuane, Italia centrale). Atti del Convegno: Le grotte raccontano: un milione di anni di storia naturale conservato nei sistemi carsici delle Alpi Apuane. Castelnuovo Garfagnana (LU), 11-12 Dicembre 2004. Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia, Serie II, v. 18, Bologna.

Allegati

A Elenco cave

Di seguito è riportato l'elenco delle cave inserite nella banca dati e nelle carte, aggiornato a Dicembre 2006. Per alcune cave non è noto il nome.

n_cava	Nome_cava	Coordinata_X	Coordinata_Y
1	FRANCIA	1599405	4871587
2	SBASSO CONFINE	1599263	4871647
3	BARGHETTI	1598821	4871784
4	COSTACCIA	1599866	4871044
5	CERAGIOLA	1599024	4870996
6	CERAGIOLA ALTA	1599106	4870905
7	UCCELLIERA	1598641	4871560
8	FRANZONI	1598486	4871479
9	TOGNETTI	1598805	4870921
10	CASTELLO	1598876	4870851
11	DELLA PAPINA	1599022	4870924
12	LE GROTTICELLE	1599504	4871152
13	GIARDINO	1599011	4870805
14	BIGGI	1598687	4871518
15	SOLAIO	1598970	4870704
16	BORGO	1598925	4870552
17	GROTTE DI VITOIO	1599840	4870551
18	CAVETTE	1597197	4874055
19	PITONE	1597254	4873570
20	CAVONE (CANALA)	1597201	4873815
21	BIAGI	1597267	4873636
22	BELVEDERE	1598345	4873514
23	CAPPELLA	1598159	4873547
24	ACERI	1597976	4873921
26	RIO (GIUSTAGNANA)	1598522	4873031
27	BORRA LARGA	1604248	4875221
28	USSACCIO	1604140	4875136
29	ANTRO	1604212	4875557
30	DELLA BEBICE	1604188	4875901
31	ACERETO	1603401	4876312
32	ALLE BRECCE	1603710	4876092
33	PIASTRAIO	1603764	4876156
34	PIASTRICCIONI	1603823	4876116
35	TAVOLINI A	1603459	4876621
36	TAVOLINI B	1603464	4876478
37	RETROCORCHIA	1603469	4876756
38	CATINO ALTO	1604047	4876415
39	PIASTRAIO	1604243	4872109
40	RONDONE	1604187	4871974
41	LA FONTANA	1604044	4871666
42	LE GROTTELLE	1604096	4871854
43	AL VENAIO	1604023	4871750
44	PIDOCCHIO	1604196	4872278

45	COLLE DI MEZZOGIORNO	1603895	4871952
46	BUCA DELLA VENA	1604736	4872686
47	POTOTTORI	1604505	4872618
48	FONTANACCIA	1604307	4872401
49	DEL MARTINETTO	1604057	4872231
50	CAVE DEL TIMO	1604273	4872282
51	AL TIGRATO DI TOVANI	1604424	4872082
52	TASCETO	1605488	4870293
53	PISCIAROTTE (LUPAIE)	1603391	4871624
54	LA RISVOLTA (ROSSO RUBINO)	1603396	4872614
55	FORNETTO	1603534	4872106
56	LUCHERA	1603601	4873104
57	MESSETTE 1 (MONTALTO)	1603469	4873393
58	AIOLA	1603645	4873562
59	DEL GABBRO	1603730	4873347
60	BARSANTI (BELVEDERE)	1605546	4873729
61	PIASTRONE	1605983	4873458
62	BUCINO	1605329	4873812
63	CASALINA	1606353	4873760
64	COL DAL TOVO	1605167	4873814
65	LA PENNA	1605446	4873428
66	LA RATTA	1605903	4870084
67	LE BUCHE (CARPINETO)	1606285	4871059
68	LOPPIETO (BATTELLI)	1605457	4873704
69	LOPPIETO (GUIDI)	1605459	4873651
70	SPONDACCIA	1606499	4871294
71	LA CREPATA	1604870	4874416
72	PETAROCCHIA	1604899	4873054
73	PETAROCCHIA	1604728	4873225
74	POLLETTA	1604863	4872980
75	GROTTE BIANCHE	1604463	4873644
76	TRE ORTI	1604659	4873286
77	FREDDA	1604399	4873805
78	QUERCIA	1604583	4873439
79	CULICCHIAIA	1604903	4874082
80	SOLLIONI	1603963	4874144
81	GUIDI	1603956	4874480
82	FICAIO	1606214	4872156
83	PIASTRA NERA	1606111	4872036
84	PIASTRONE	1606164	4872076
85	PENDIA TANA	1604574	4879176
86	GUFONAGLIA	1604204	4879016
87	SUMBRA	1603860	4879938
88	PIANO DEL LIPPO	1604094	4879368
90	PALANCONI	1605008	4880299
91	FONTANELLE	1604883	4880168
92	PENNA DEI CORVI 1	1602604	4883072
93	PENNA DEI CORVI 2	1602548	4883078

94	ONTANELLI	1602998	4882644
95	FOSSO BITETO	1602682	4882605
96	DEL TOGNO	1601574	4878289
97	CAMPANICE	1601708	4878201
98	CROCICCHIO	1601254	4878349
99	CARPINACCIO	1601073	4878364
100	CULACCIO	1601086	4878062
101	TICCHIO	1601246	4878806
102	PECORARECCIA	1600926	4878310
103	PECORARECCIA ALTA	1600784	4878275
104	BOGHETTO	1600416	4878911
105	BALDINI	1601569	4879079
106	CAVONE	1601203	4879438
107	LE TAGLIATE	1601890	4879147
108	AI PILONI	1602018	4879526
109	ROCCHETTA	1601826	4879480
110	LA VOLTACCIA-FURETTO	1602277	4879175
111	CAMPACCIO	1603672	4879483
112	TURRITE	1603166	4879799
113	PIASTRONE	1601436	4879450
114	PIASTRACCIA	1601168	4879622
115	CAMPO	1601268	4879395
116	BORRELLE CAMPO	1601290	4879451
117	BORRELLE PIASTRACCIA	1601078	4879397
118	CAPANNA	1601337	4879571
119	COSTA DELLA LAMA	1601286	4879776
120	COL DI CAPO	1601750	4879068
121	CIPOLLINO ARNI (CAMPAGRINA)	1600513	4879180
122	LA ROCCHETTA	1600509	4879553
123	DEL VERDE	1600233	4880252
124	BECCACCIA	1600654	4880491
125	BOZZO	1599748	4880442
126	TOMBACCIO	1599736	4881017
129	LE CONCHE	1599933	4881036
130	SERRA DELLE VOLTE	1599849	4881084
131	FANIELLO	1600073	4881029
132	CONCA CASTELLINA	1600006	4879203
133	PIASTRAIO CASTELLINA	1599922	4879226
134	RIGO	1600000	4879102
135	CASTELLACCIO	1599721	4879333
136	COLLETTINO VAGLI	1599834	4881347
137	COLLETTINO SAIMI	1599976	4881156
138	NOCELLAIO	1599685	4880923
139	CHIESA DEL DIAVOLO	1599031	4881015
140	BUCHETTA	1598890	4881603
141	PIASTRETA	1599142	4882459
142	BAGNOLI	1599097	4882675
143	FOCOLA DEL VENTO	1598877	4882536

144	PIASTRE DELLA TRASANDA	1598876	4882156
145	GRUZZE (CRUZE)	1598962	4883457
146	III SAM	1600507	4884132
147	IV	1600639	4883907
148	V	1600632	4884149
149	VI	1600572	4884297
150	L2	1600589	4884113
151	COOPERATIVA APUANA	1600563	4884064
152	BANCAIO BASSO (LORENZINI ANNINA)	1600278	4883164
153	COLORATI FAETO	1600413	4883008
154	FRANCESCA BALDUCCI	1600099	4883212
155	PIASTRA BAGNATA (IMEG)	1600597	4883952
156	BANCAIO	1600282	4883216
157	BANCAIO ALTO (CAVA MUSEO)	1600292	4883022
158	FOSSA DEI TOMEI	1600109	4883464
159	COL DI BETETO	1600729	4882853
160	BORELLA (CAVA TEATRO)	1600634	4883001
161	CURVA	1600179	4883172
162	COLUBRAIA	1599679	4883842
163	TAMBURA	1599140	4884061
165	PALLERINA	1600638	4883283
166	MINERVA	1600449	4884393
167	PRUNELLI (LAME FREDDE)	1600790	4884895
169	DEL FIORITO	1600580	4883870
170	DEL CORALLO	1600198	4884630
171	SAN VIVIANO	1600385	4885222
173	RIPANAIA	1600073	4882536
174	PIAZZA D'ARMI	1602067	4882597
175	BOANA	1601921	4882252
176	INTERMARMI	1602242	4882340
177	CASTELLETTO	1602075	4882408
178	BITETO II	1602740	4882370
179	BOANA ALTA	1601382	4881721
180	PIASTRA TONDA	1601635	4881845
181	PUNGITOPO	1598154	4887281
182	FREDDIA - BACOLAIO	1598184	4887225
183	SCAGLIA - BARDIGLIO	1598589	4887195
184	CAMPACCIO	1598908	4886760
185	TESO	1598915	4887235
186	DELLA ROSSOLA	1598755	4887331
188	BLU ARGENTATO	1599245	4887272
189	PIANELLACCIO	1598435	4888891
190	FANACCIA	1597305	4888987
191	CARCARAIA (EX IMEG-MA.BI.CO)	1598639	4885800
192	CARCARAIA (VAGLI)	1598922	4885802
193	COLTELLI	1597648	4885711
194	FOCOLACCIA	1597763	4885239
195	PIASTRAMARINA	1597811	4884949

196	BIAGI	1597590	4884675
197	PADULELLO	1597368	4884665
198	CAVE DELLA FOSSA DELLA FAME	1597491	4884367
199	CAVA B (EX CAVA 4-5)	1595466	4887408
200	CAVA A (EX CAVA 1-2)	1595398	4887645
201	CAVA H (EX CAVA 18)	1595140	4887383
202	CAVA F (EX CAVA 16)	1595830	4886505
203	CAVA 17	1595228	4887144
204	CAVA 3	1595439	4887504
205	CAVA 6	1595478	4887347
206	CAVA 7	1595466	4887309
207	CAVA 8	1595496	4887262
208	CAVA 9	1595543	4887177
209	CAVA 10	1595531	4887042
210	CAVA 11	1595495	4886797
211	CAVA 12	1595605	4886847
212	CAVA 13	1595629	4886812
213	CAVA 13 BIS	1595643	4886769
214	CAVA 14	1595715	4886784
215	CAVA 15	1595800	4886574
216	CAVA 16	1595882	4886426
217	CAVA 16 BIS	1595731	4886507
218	CAVA 19	1595229	4887320
219	CAVA 23	1595890	4886377
220	CAVA 24	1595766	4886448
221	CAVA 25	1595979	4886170
222	CAVA 25 BIS	1596026	4886117
223	CAVA 26	1595929	4886313
224	CAVA 27	1596123	4885960
225	CAVA 28	1595577	4886676
226	CAVA 29	1596303	4885898
227	CAVA 30	1596228	4885855
228	CAVA 32	1595841	4886350
229	CAVA 33	1595263	4887099
230	CAVA DEL GIOGO DI VINCA	1595003	4887305
231	COLORATI	1594163	4889880
232	COL PELATO	1594215	4889545
233	POGGIO DI SANTE	1594079	4889272
234	CAPRADOSSO	1594382	4889042
235	CANTONACCIO	1594490	4888746
236	CATTANI	1593679	4889760
237	LISCIATA	1593453	4889702
238	VALTREDI	1593431	4890028
239	CAVA DEL MISCHIO (PIZZACCIO)	1593481	4889350
241	MONTE GRANDE	1593030	4890411
242	CAVE DI NOLIA	1593534	4890200
243	CAVA PEGHINI (CANALE D'ARPA)	1589017	4887032
244	CAVA BALZONE	1591448	4886933

245	CAVE TRONCONE	1591608	4887689
248	CAVE DI VAL DE ROSSO	1591147	4888311
249	CAVA VITTORIA	1591927	4885653
250	CAVA VALCONTRADA	1591865	4885888
251	CAVE CASTELBAITO-FARNESINA (C. Mussolini)	1591250	4886138
252	CAVE FRATTETA	1591496	4886010
253	CAVE CRESPINA II	1591769	4885277
254	CAVE CRESPINA I - III	1591880	4885146
255	CAVE TANA	1591618	4885189
256	CAVE BARDIGLIO	1591950	4885939
257	SOTTO LE SERRE	1593117	4884144
258	VALLIN DEL BARBONE	1593105	4884301
259	VERZOLINA	1593100	4884234
260	DELLA CANALA	1593023	4884639
261	DEI PISANI	1593095	4884750
262	DEL MALIGIO	1593061	4884912
263	DELLA TECCHIARELLA	1593102	4885097
265	BORRE MUCCHIETO	1596328	4884154
266	CAVA ROMANA	1595477	4883925
267	CAVA LA RAVA	1595559	4883866
268	CAVA LA DOLFA	1595522	4883838
269	BORRE CERIGNANO	1596296	4883528
270	PUNTELLO BORE (CAVA BORA)	1595979	4883552
271	CAVA FONDO (SOTTO) SCALE	1595725	4883778
272	CAVA DI CERIGNANO	1595712	4883605
273	CAVA ESCAVAZIONE MARMI FORNO (al Ficaro)	1595026	4883624
274	CIMA DELLA CROCE	1596022	4883213
275	MANDRIOLA (FONTANA GUERRA)	1596416	4883153
276	SOTTOVETTOLINA (DELLE VETTOLINE)	1596317	4883988
277	FONDONE	1595054	4884360
278	CAVA DEI FILONI	1595158	4884300
279	CARPANO DI SOTTO	1596402	4884310
280	CARPANO DI SOPRA	1596353	4884585
281	CAVE DI MACCAGLIONE (PRATACETTI)	1595737	4884960
282	CAVE DI GRIGOLA	1595390	4884607
283	CAVE DEGLI ALBERGHI	1596243	4885158
284	BITTICINI (COLLE DEI BOTTICINI)	1594892	4883058
285	AL BIGIONE	1594973	4882745
286	CAVE DI CELIA CALDIA	1595041	4882887
288	CAVE DEI CORNIALETTI	1595810	4882788
289	CAVE DI SORDOLA	1595538	4883267
290	MONTE TALLINO	1595140	4882715
291	COLLE DELLE SCOPE	1594770	4883721
292	MADIELLE 1	1595716	4877428
293	MARIANNA-MADIELLE	1595678	4877541
294	CAMPO FRANCESCO	1595467	4877811
296	PIZZO BANDITELLO	1595287	4878006
297	CARPENETO D'ANTONA	1595001	4878212

298	COSTA DEGLI ILCI	1596237	4877283
299	CAVE DEL CANALACCIO	1594924	4878066
300	CAMPACCIO	1595913	4877288
301	CAPRAIA (CAPRARA)	1597106	4877811
302	GRANAIOLA	1597171	4877702
303	AL PIANELLO	1596250	4877229
304	CAVE DEL CARCHIO	1596307	4876345
305	CAVE GUERRA	1596281	4876411
306	CARCHIETTO	1596331	4876569
307	CAVA DELLA CARDELLA	1596587	4876816
308	LAVAGNINA	1592297	4880933
309	VITTORIA	1592736	4881203
311	PIASTRONE GIOIA (SBASSO)	1592635	4881252
312	ROCCHETTA-SAINETO	1592450	4880560
313	CALACATTA	1592349	4880145
314	CALDIA	1592340	4880503
315	FICHETTO	1592297	4881080
317	CAVA BIANCOSPINO	1592199	4880256
318	CAVA CAPRIOLO	1592126	4880448
319	CAVE DEL PIZZONE	1597185	4882476
320	CAVE DEI CAMPANILETTI	1597761	4882908
321	CAVE DEI VERNACCHI	1597937	4882609
322	CAVE DEI PIASTRICCIONI	1597281	4882785
323	CAVE DELLA VETTOLINA	1596903	4883581
324	CAVE DEL COLLETTINO (VANDELLI)	1597604	4883376
325	PIAN DEI SANTI	1595243	4881549
326	NIDO DEL CORVO (CASANIA)	1596092	4881556
327	MANDRIOLA	1596306	4883399
328	CIMETTA	1597672	4881564
331	POGGIO BRUNAZZO	1597255	4881775
332	CANAL BERTONE-CASTRONE	1596889	4881423
333	CAVE ZUCCO DEL PIANELLO	1597506	4881471
334	CAVE DEL VALOCCHIONE	1597975	4881777
335	COLLE (SERRA) DELLE ROSE	1597376	4880494
336	AL FICALE (FICARO)	1594798	4883199
337	CAVA SERRONI	1594620	4883160
338	RENARA	1597554	4880962
339	DOLOMITE RENARA	1596934	4880846
340	AL FIOR DI PESCO	1597432	4880891
342	CAVE DELL'USCIOLO	1597883	4880493
343	TANETA	1597761	4880372
344	VALSORA	1597882	4880014
345	VALSORA ALTA	1598165	4880078
346	GIACCETO (DIACCETO)	1597994	4880060
347	PALAZZOLO	1598409	4879991
348	GOBBIE (PELATO)	1598616	4879586
349	ZUCCO PELATO	1598549	4879487
350	VESTITO	1598600	4879861

351	TERRONE	1598438	4879340
352	POGGIO DELLA NEVE	1598681	4878653
353	DELL'ANCINO	1598654	4879256
354	PENNACCI	1598922	4878828
355	CAVE RAVA	1599069	4879065
356	PIASTRONE	1599088	4878827
357	PORRACCI	1599269	4878560
358	GRANOLESA	1599279	4878410
359	CAVA BUCA	1599423	4878261
360	DELLA RANA (ALLA BRECCIA)	1599497	4878430
361	DI BORGHINO	1599510	4878120
362	MOSSA	1599163	4877571
363	VASAIONE	1599145	4877655
364	LA PIASTRA	1599159	4877547
365	VINCARELLA	1599254	4877575
366	MACCHIETTA	1598899	4877838
367	FITTA	1598947	4877874
368	TACCA BIANCA	1598936	4877910
369	COLONNONI	1598835	4877879
370	TELA	1598936	4878033
371	CAVE DELL'ONDA	1598825	4878122
372	CERVAIOLE	1599716	4877095
373	GIARDINO (CAVETTE)	1599846	4876228
374	ZAMPOGNONE A	1599636	4876326
375	ZAMPOGNONE B	1599651	4876385
376	TECCHIA	1599710	4876446
378	PIASTRONE	1607429	4878157
379	BORELLE	1607924	4878168
380	LA PIANACETTA	1607210	4878030
382	PIGLIONICO	1607555	4878329
383	SCHIAPPETTA	1607282	4877928
385	TEVERONE	1605506	4878409
389	CORONESSA	1607821	4878289
390	CAVA COCCIO	1591796	4880063
391	CAVE DEL CASTELLARO	1591801	4880151
392	ALTA FRANCE'	1591197	4879721
393	MESSETTE 2	1603508	4873292
394	CATINO BASSO	1604101	4876519
395	CAMPACCIO ALTA	1603648	4879381
396		1598789	4882133
397		1599022	4882638
398		1599606	4883908
399		1599773	4883752
400		1599617	4883596
401		1599835	4884135
402		1599659	4883985
403	CORALLO ROSA	1600299	4885159
404	CALACATA	1588240	4884299

405	PIASTRICCIONI C	1588889	4884629
406	PIASTRICCIONI B	1589120	4884828
407	RUGGETTA A	1588695	4883454
408	BOCCANAGLIA A	1588691	4885427
409	RUGGETTA B	1588499	4883452
410	COMBRATTA	1591559	4880263
411	COMBRATTA ALTA	1592063	4880713
412	BUCA DEL FAGIANO	1592640	4884251
413	CAMPANELLA	1592525	4883824
414	TACCA	1592628	4883645
415	ORTENSIA	1592536	4883588
416	RAVALUNGA	1591793	4883519
417	PIZZAGALLO A	1592225	4883408
418	TAGLIATELLA	1592328	4883449
419	PIZZAGALLO B	1592417	4883362
420	QUERCIOLA	1592046	4882793
421	FOSSAFICOLA A	1591846	4882483
422	VETTICICAIO ALTO	1591904	4882355
423	FOSSA FICOLA B	1591699	4882219
424	FOSSA CAVA	1591769	4882117
425	FOSSO CARDELLINO A	1591171	4882202
426	VENEDRETTA C	1592253	4881474
427	NOVELLA B	1590921	4881548
428	CANCELLI DI GIOIA	1592258	4881349
429	VENEDRETTA A	1592743	4881454
430	CIMA DI GIOIA	1592634	4881331
431	GIOIA CANCELLI	1592133	4881254
432	GIOIA PIANELLO	1592225	4881222
433	GIOIA PIASTRONE	1592376	4881215
434	LA PIANA A	1591123	4881172
435	ARTANA B	1591571	4881201
436	PIASTRONE I	1592370	4881141
437	FIORDICHIARA A	1590979	4883280
438	CIRESUOLA B	1591649	4883123
439	FIORDICHIARA B	1590743	4883157
440	TAGLIATA ORSINI	1591008	4883023
441	TAGLIATA ALTA	1591087	4883148
442	CARBONERA B	1591360	4883025
443	CANALGRANDE ALTO	1591940	4883140
444	STRINATO B	1591087	4882919
445	VALBONA A	1590250	4882961
446	CANALGRANDE B	1591453	4882735
447	CANALGRANDE A	1591945	4882779
448	SCALONI B	1590874	4882649
449	BOCCA CANALGRANDE	1590998	4882549
450	VARA ALTA	1590612	4882058
451	FOSSALUNGA	1591263	4883374
452	CIRESUOLA A	1591544	4883200

453	GALLERIA RAVACCIONE	1590700	4883105
454	FANTISCRITTI A	1590762	4883055
455	VERDICHIARA	1590776	4882991
456	FANTISCRITTI B	1590839	4882802
457	VALBONA B	1590274	4882754
458	VARA BASSA	1590387	4882093
459	CALOCARA A	1589607	4882554
460	CALOCARA B	1589663	4882521
461	CALOCARA C	1589764	4882604
462	CARPEVOLA B	1589880	4882621
463	FINOCCHIOSO	1589890	4882374
464	FINESTRA A	1591119	4882303
465	VARA	1590444	4881857
466	BELGIA B	1590655	4881762
467	BELGIA C	1590753	4881697
468	NOVELLA A	1590895	4881688
469	SECCAGNA B	1592741	4884255
470	PIRINEA	1592477	4883687
471	TRUGIANO	1592027	4881940
472	FOSSO CARDELLINO C	1591174	4881904
473	OLMO	1591822	4881837
474	SCALOCCHIELLA	1592177	4881643
475	LA PIANA C	1591338	4881145
476	CALAGIO	1591788	4881564
477	LA PIANA B	1590998	4881244
478	BELGIA BASSA	1590720	4881523
479	GRILLETTO	1590619	4881649
480	PONTI DI VARA B	1590262	4881995
481	BELGIA A	1590967	4882092
482	CANAL PICCININO A	1590402	4882678
483	ORTONOVO	1590931	4883251
484	CIRESUOLA C	1591747	4883088
485	CARPENETELLA	1592547	4883005
486	VALLINI A	1592131	4884338
487	PIASTRONE II	1592392	4881142
488	CANAL D'ABBIA	1588641	4885691
489	PRATAZZOLO A	1589065	4885230
490	PIASTRICCIONI A	1589242	4885176
491	BOCCANAGLIA B	1587973	4884702
492	BUCCETTA	1587925	4884583
493	PRATAZZOLO B	1588174	4884394
494	FAGGETA	1588461	4884036
495	CARBONARA	1588298	4883738
496	PESCINA A	1588446	4883763
497	PESCINA B	1588610	4883613
498	LORANO	1589505	4884475
499	POGGIO DOVIZIA	1589880	4883704
500	RONCO	1589909	4883534

501	CRESTOLA BASSA	1588608	4883084
502	VASARO II	1590458	4884711
503	PIAZZOLA	1590971	4884619
504	FAGGIOLA	1591801	4884416
505	VALLINI	1592014	4884197
506	SECCAGNA C	1592887	4883959
507	VERZOLINA	1593012	4883896
508	PALERI	1592097	4883665
509	FOSSO COBIATO	1592504	4883426
510	PIZZAGALLO C	1592375	4883205
511	SERRONE	1592016	4883127
512	NARANA	1592054	4883094
513	CARBONERA A	1591464	4883242
514	NOCCIOLA B	1590736	4883383
515	FOSSO DEL MORETTO B	1590745	4883723
516	GALLERIA FANTISCRITTI	1590720	4883011
517	CIMA CAMPANILI	1591901	4882604
518	CAMPANILI	1591924	4882557
519	VETTICICAIO BASSO	1592050	4882196
520	SCALONI A	1590569	4882621
521	CARPEVOLA A	1589717	4882389
522	PONTI DI VARA C	1590104	4882099
523	CANAL PICCININO B	1590309	4882202
524	LA PARA	1590495	4882282
525	FINESTRA B	1590712	4882255
526	CALAGIO ALTO	1591744	4881399
527	ZUCCONI	1591949	4881454
528	ARTANA A	1591740	4881188
529	FOSSO CARDELLINO B	1591182	4882005
530	VENEDRETTA B	1592611	4881538
531	CRESTOLA B	1588564	4883272
532	FOSSAGRANDE	1591499	4884388
533	RUTOLA A	1591391	4884396
534	FOSSA DEL LUPO	1590772	4884629
535	CANALBIANCO A	1590557	4884713
536	LORANO II	1589713	4884801
537	LORANO I	1590011	4884310
538	GRANDONESA	1590483	4884346
539	AMMINISTRAZIONE	1590831	4883996
540	TECCHIONE	1591247	4883644
541	BUCA DI RAVACCIONE	1590566	4883883
542	POLVACCIO	1590487	4883734
543	LA FACCIATA	1589977	4884017
544	TORRIONE	1590942	4883443
545	BETTOGLI B	1589744	4882704
546	BETTOGLI ZONA MOSSA	1589420	4882727
547	BETTOGLI A	1589553	4882706
548	POGGIO SILVESTRE A	1589236	4882799

549	CRESTOLA C	1588756	4883318
550	LA MADONNA	1588853	4883248
551	BATTAGLINO A	1590446	4883592
552	COLLESTRETTO	1590372	4883876
553	BATTAGLINO B	1590437	4883686
554	VAL PULITA	1589930	4883113
555	CANALCHIOSA	1591312	4883842
556	RAVALUNGA	1591313	4883994
557	FOSSO DEL MORETTO A	1590835	4883621
558	NOCCIOLA A	1590812	4883445
559	MANDRIA	1589071	4883165
560	CAMPACCIO	1590173	4884369
561	VASARO I	1590353	4884612
562	CONCA	1591033	4884409
563	CANALBIANCO B	1590962	4884545
564	PAOLINA	1591015	4884724
565	BOSCACCIO	1591671	4884561
566	MURLUNGO A	1590569	4885259
567	MURLUNGO B	1590732	4885268
568	MURLUNGO C	1590960	4885179
569	MURLUNGO D	1590993	4885367
570	BATTAGLINO C	1590234	4883332
571	CARBONERA	1591421	4883104
572	LA PIASTRA 1	1589756	4883492
573	PIANELLO PIASTRA	1589625	4883554
574	ORTONOVO	1590850	4883222
575	LA MADONNA	1588961	4883104
576	CANALONI	1592724	4884061
577	ZAMPONE	1588886	4882963
578	OLMO	1592036	4882068
579	CARPENETELLA	1592866	4883487
581		1596141	4883228
582		1594883	4883003
583		1594875	4882781
584		1595726	4883179
585		1596747	4882780
586		1596743	4882914
588		1596874	4883296
589		1597182	4882770
590		1597638	4882959
591		1597869	4882872
592		1597911	4882849
593		1598018	4882977
594		1597924	4882374
595		1597593	4882385
596		1597227	4881804
597		1597433	4881949
598		1597215	4882081

599		1597241	4881413
600		1597297	4881461
601		1597293	4881367
602		1597374	4881375
603		1597444	4881383
604		1597627	4881638
605		1598017	4881825
606		1597608	4880982
607		1597447	4881017
608		1597484	4881098
609		1597166	4881040
610	CAVA DOLOMITE APUANA	1595151	4883243
611		1597312	4880685
612		1597708	4880413
613		1597786	4880337
614		1597838	4880322
615		1597910	4880345
616		1597875	4880257
617		1597946	4880224
618		1598019	4880242
619		1597913	4880296
620		1597983	4880177
621		1597941	4880173
622		1597742	4880124
623		1597916	4880099
624		1597743	4880542
625		1598222	4880029
626		1598054	4880095
627		1598030	4880040
628		1597944	4880081
629		1598349	4880017
630		1598472	4879981
631		1598408	4879945
632		1598234	4879818
633		1598092	4879835
634		1598120	4879857
635		1598009	4879763
636		1597934	4879635
637		1598034	4879505
638		1598431	4879513
639		1598418	4879470
640		1598445	4879451
641		1598492	4879488
642		1598914	4879010
643		1598789	4878493
644		1598803	4878897
645		1598910	4879209
646		1599297	4878658

647	1599198	4878277
648	1598796	4877673
649	1599200	4877563
650	1599126	4877680
651	1599357	4877518
652	1599064	4877505
653	1598970	4877294
654	1599675	4876914
655	1599618	4876951
656	1599630	4877082
657	1599568	4877085
658	1599831	4877043
659	1599759	4877111
660	1599667	4877187
661	1599697	4877283
662	1599702	4876487
663	1599652	4876300
664	1596655	4875908
665	1596621	4875922
666	1596554	4876022
667	1596324	4876174
668	1596358	4876219
669	1596341	4876254
670	1596224	4876588
671	1596296	4876778
672	1596638	4876761
673	1596426	4877060
674	1596269	4877108
675	1595988	4877233
676	1596077	4877291
677	1596099	4877418
678	1595907	4877330
679	1596005	4877555
680	1595780	4877620
681	1595730	4877645
682	1595830	4877673
683	1595445	4877750
684	1595220	4878051
685	1595207	4878167
686	1594847	4878076
687	1594903	4878136
688	1597226	4877654
689	1597265	4877764
690	1597304	4877677
691	1597275	4877618
692	1593511	4889420
693	1593497	4889082
694	1593636	4888902

695		1594185	4889418
696		1594191	4889498
697		1594194	4889125
698		1591660	4889064
699		1591572	4889100
700		1591464	4885898
701		1591728	4886037
702		1591705	4885081
703		1591540	4885329
704		1591445	4886240
705		1591218	4888430
706		1591382	4886914
707		1591278	4885468
708		1598565	4871392
709		1598634	4871311
710		1598705	4871188
711		1598784	4871261
712		1599160	4871044
713		1599585	4870407
714		1599624	4870388
715		1599105	4870609
716		1599237	4871383
717		1599128	4871440
718		1599618	4871263
719		1599324	4871427
720		1599398	4871347
721		1599428	4871326
722		1599488	4871366
723		1599601	4871415
724		1599219	4871593
725		1599090	4871543
726		1599032	4871590
727		1599041	4871777
728	ALLA BRECCIA	1598906	4871830
729		1598571	4871777
730		1598678	4871594
731		1598932	4871482
732		1598892	4871539
733		1598725	4871394
734		1602362	4870968
735		1603519	4871802
736		1603899	4871743
737		1604123	4871791
738		1604079	4871801
739		1604475	4872070
740		1604241	4872217
741		1604385	4872516
742		1605519	4870458

743		1604984	4870391
744		1588852	4887190
745		1588620	4887589
746		1589109	4886962
747		1589678	4886732
748		1592959	4890373
749		1607911	4878046
750		1598762	4885939
751		1601237	4879839
752		1595427	4887574
753	MADIELLE 3	1595868	4877525
754	BORA	1596003	4883688
755		1599822	4876005
756		1599809	4875979
757		1599367	4887169
758		1599568	4887122
759		1598852	4887171
760		1598058	4886985
761		1598113	4887468
762		1598476	4887355
763		1598557	4887368
764		1598975	4886976
765		1598923	4885988
766		1599001	4885829
767		1599041	4885893
768		1598909	4887992
769		1603581	4876530
770		1603563	4876798
771		1603244	4876934
772		1603312	4877030
773		1604142	4876160
774		1604108	4875908
775		1604197	4875701
776		1603947	4875960
777		1604005	4876141
778		1603976	4874994
779		1603585	4873172
780		1603666	4872933
781		1603706	4872937
782		1603745	4873009
783		1603723	4873037
784		1603674	4873258
785		1603632	4873481
786		1603751	4873413
787		1603725	4873362
788		1603570	4873619
789		1603545	4873212
790		1603298	4872646

791	TIGLIETA	1604743	4874506
792	COLLE A IAPOLI	1604725	4874272
793		1604957	4874360
794		1603303	4876483
795		1604151	4875256
796		1603745	4874374
797		1603796	4874244
798		1604425	4873681
799		1604424	4873795
800		1604430	4873749
801		1604453	4873715
802		1601287	4878504
803		1601139	4878321
804		1601115	4878342
805		1601023	4878473
806		1601368	4878314
807		1592870	4883564
808		1593333	4881899
809		1592484	4882294
810		1592606	4882995
811		1592749	4882995
812	SIMI	1603761	4876005