

UNIVERSITÀ DI PISA

Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali

CORSO DI LAUREA SPECIALISTICA IN SCIENZE GEOLOGICHE



TESI DI LAUREA SPECIALISTICA

**VARIAZIONI AREALI E CARATTERISTICHE GRANULOMETRICHE DEI
RAVANETI DI CARRARA (MS)**

Relatori: Prof Carlo Baroni, Dott. Adriano Ribolini

Correlatore: Dott. Roberto Giannecchini

Controrelatore: Dott. Giacomo D'Amato Avanzi

Candidato: Gianluca Nicolai

ANNO ACCADEMICO 2008-2009

INDICE

1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOMORFOLOGICO.....	1
2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO.	7
2.1 IL COMPLESSO METAMORFICO DELLE ALPI APUANE.	7
3 I MARMI.....	11
3.1 VARIETÀ MERCEOLOGICHE.	11
3.2 I MARMI SOTTO UN PROFILO COMMERCIALE.	15
4 LE CAVE DI MARMO DI CARRARA.....	17
4.1 BACINI MARMIFERI.....	17
4.2 CENNI DI STORIA DELLA LAVORAZIONE DELLE CAVE.....	29
4.3 MACCHINE DA TAGLIO NELLE CAVE DI MARMO.....	34
5 I RAVANETI.....	38
5.1 COSTRUZIONE E CLASSIFICAZIONE DEI RAVANETI.....	39
5.2 SFRUTTAMENTO A FINI COMMERCIALI DEL RAVANETO.	43
6 MATERIALI E METODI.....	46
6.1 RACCOLTA E ANALISI DEI DOCUMENTI CARTOGRAFICI.	46
6.2 INFORMATIZZAZIONE DATI (G.I.S.).....	48
6.3 STRUTTURA DEI DATI.	50
6.4 MODELLO 3D PER IL CALCOLO DEI VOLUMI.	51
6.5 RACCOLTA ED ANALISI DEI CAMPIONI.	52
6.6 ANALISI GRANULOMETRICA.	55
6.7 LIMITI DI ATTERBERG.....	57
7 RISULTATI.....	59
7.2 ESPANSIONE DELLE SUPERFICI COPERTE DA RAVANETO.....	61
7.2.1 PESCHINA-BOCCANAGLIA.	62
7.2.2 TORANO.	64
7.2.3 MISEGLIA.....	66
7.2.4 COLONNATA.....	68
7.3 VALUTAZIONE DEI VOLUMI DEI RAVANETI DI MONTE BETOGLI.....	70
7.4 ANALISI GRANULOMETRICHE.	73
7.5 LIMITI DI ATTERBERG.....	76
8 DISCUSSIONE DEI RISULTATI.....	78
9 CONCLUSIONI.....	82
BIBLIOGRAFIA.....	89

INTRODUZIONE

I bacini marmiferi apuani e nella fatti specie quello carrarese presentano una delle più intense e sviluppate attività estrattive a livello mondiale volta all'estrazione di materiali lapidei sia a fini ornamentali che industriali. Questa grande attività sviluppatasi nel corso dei secoli ha lasciato notevoli tracce nella morfologia del rilievo, portando oramai a una forte e irreversibile modifica di tutto ciò che era naturale. Questo è riscontrabile osservando sia le cave dove sovente abbiamo alti fronti verticali (tecchie) e estesi piazzali di lavorazione, che gli imponenti ammassi detritici degli scarti di lavorazione chiamati localmente ravaneti, che abbandonati sui versanti vanno a colmare le valli. I ravaneti conservano memoria delle lavorazioni avvenute, infatti ad ogni metodologia succeduta nel tempo corrisponde la produzione di un detrito caratteristico. Questa massiccia e costante modifica del rilievo ha portato a un globale disequilibrio dei versanti provocando sovente fenomeni di dissesto e di conseguenza elementi di rischio geomorfologico. I fenomeni di dissesto sono prevalentemente riconducibili a frane di crollo per le cave e colate rapide di detrito (*debris flow*) per i ravaneti. In particolare i movimenti detritici in massa sono un fenomeno caratteristico di ravaneti prodotti dalle tecniche di lavorazione attualmente in uso. Il lavoro di tesi si è posto così l'obiettivo di ricostruire l'evoluzione areale dei ravaneti utilizzando documenti cartografici di vario tipo, partendo dalla cartografia di fine 1800 sino all'attuale. La conoscenza dell'evoluzione (sovrapposizione, giustapposizione) dei vari ravaneti permette di individuare nello spazio i vari depositi, così da rendere possibile una pianificazione sotto il piano industriale e di bonifica degli stessi.

Inoltre ci siamo posti il problema di verificare se le matrici (elementi con diametro inferiore ai 25 mm) presenti nei ravaneti siano con certezza fonte dei problemi di dissesto avvenuti in questi. Abbiamo quindi campionato vari depositi rintracciabili nel complesso estrattivo, sia sulla base della cartografia storica sia sulla base della Carta Geomorfologica dei Bacini Marmiferi di Carrara. Le prove eseguite hanno avuto come scopo la classificazione della granulometria secondo le norme AGI (1977) e la classificazione della parte fine (diametro inferiore a 0.425 mm) secondo i limiti di Atterberg. L'esecuzione di questo lavoro di laboratorio è finalizzata quindi alla verifica di una possibile relazione fra le caratteristiche granulometriche e geotecniche rispetto alla stabilità dei ravaneti.

1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOMORFOLOGICO.

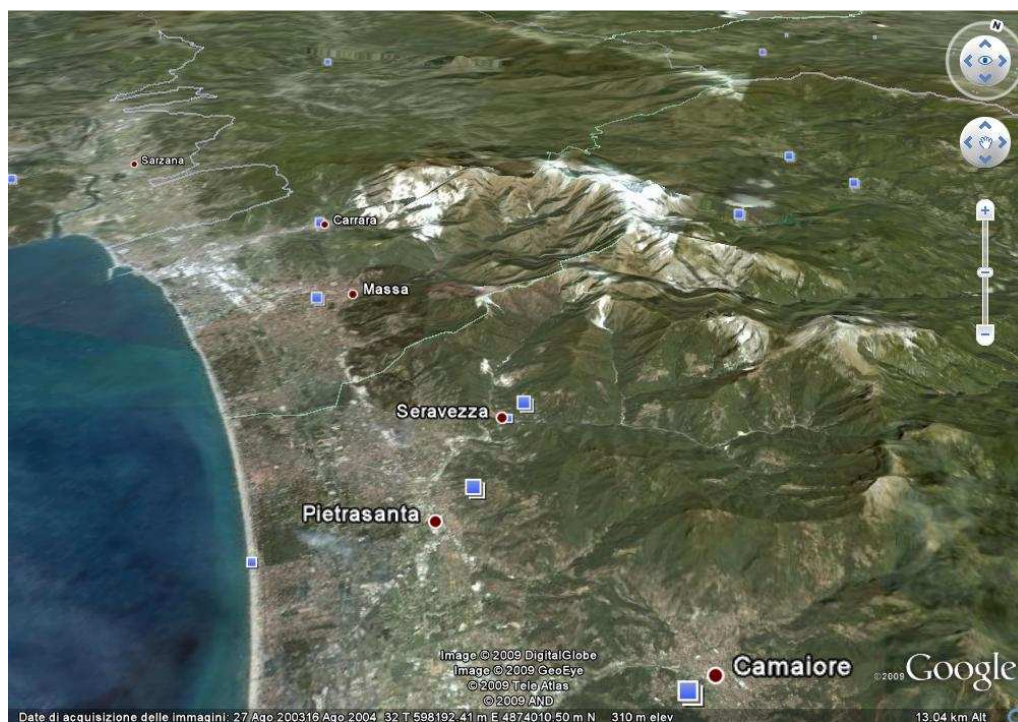


Figura 1: Le Alpi Apuane, (immagine Google Earth 13,04 Km.)

Il massiccio montuoso delle Alpi Apuane si erge nel settore Nord Ovest della Toscana, precisamente fra le provincie di Massa Carrara e Lucca. Oltre a questi confini amministrativi possiamo assegnare dei confini geografici bene individuabili quali i bacini del Fiume Magra a Nord, del Fiume Serchio a Est e Sud ed infine la costa tirrenica a Ovest (Figura 1).

Le Apuane così delimitate presentano una forma grossolanamente ellittica con degli ipotetici assi tracciabili nel seguente modo: uno che va da Nord- Ovest verso Sud-Est di circa 58 Km e l'altro da Nord-Est a Sud-Ovest di circa 28 Km. Il sistema montuoso così delimitato, presenta un'estensione areale stimabile sui 1300 Km²: il dato comprende anche le fasce collinari limitrofe, mentre se consideriamo il solo massiccio montuoso, si aggira attorno a circa 800 Km². I rilievi di maggior importanza individuabili all'interno del complesso montuoso apuano si ergono principalmente nel settore centro orientale: Monte Pisanino (1946 m s.l.m.m.) e Monte Tambura (1890 m s.l.m.m.), uniti alla presenza di altre cime superiori a mille metri.

La presenza di queste cime ha fatto sì che durante l'ultima massima espansione glaciale sulle Apuane (Würm), si manifestasse la presenza di ghiacciai. Questi, a testimonianza del loro passaggio, hanno lasciato forme più o meno sviluppate quali morene, massi erratici, circhi glaciali e valli sospese, quasi elusivamente nel settore interno della catena.

Il massiccio montuoso è situato inoltre a breve distanza dal mare facendo sì che la pianura costiera difficilmente superi i 10 Km di lunghezza. Questo comporta che, unitamente alla circolazione atmosferica sia di carattere locale sia generale, vi siano i presupposti per la

formazione di una barriera alle masse umide provenienti dal mare (effetto orografico). La risalita così forzata delle masse umide, causa abbondanti precipitazioni che possono arrivare fino a 3000 mm/anno sulle vette più alte, mentre nelle zone costiere si aggira attorno ai 1500 mm/anno (D'Amato Avanzi *et al.*,2008). Il regime pluviometrico è quindi riferibile al tipo Appenninico Mediterraneo con traslazione al sub costiero, caratterizzato da estati asciutte e inverni freddi con picco principale di pioggia in autunno e due secondari in inverno e primavera (Rapetti & Rapetti, 1996). La presenza di piogge abbondanti, legata alla presenza di estesi affioramenti di rocce carbonatiche, ha fatto sì che potessero avere luogo ben marcati fenomeni carsici. Possiamo infatti trovare estesi complessi all'interno del Monte Corchia, le Grotte di Equi e di Tenerano, oppure ancora le Grotte del Vento presso Fornovolasco, per citare quelli più imponenti. I bacini marmiferi carraresi, nel contesto generale del massiccio montuoso apuano sono situati nella parte costiera Nord Ovest del sistema montuoso e sono individuabili tramite le quattro valli principali del monte Maggiore.

Passeremmo adesso ad una descrizione delle forme morfologiche riscontrabili all'interno dei bacini marmiferi carraresi, per una descrizione più dettagliata dei bacini marmiferi rimandiamo al capitolo 4.

Forme glaciali presenti nei bacini marmiferi di Carrara

Le tracce dell'ultima glaciazione all'interno del carrarese sono ben poco sviluppate, causa l'esposizione prevalente delle montagne verso il mare; si possono comunque individuare alcune forme, anche se di modeste dimensioni nella zona del Sagro. In questa zona, precisamente in località Foce di Pianza, sembra rilevabile l'azione di un ghiacciaio sui marmi affioranti, inoltre, sempre in queste località, sono state rinvenute alcune morene (Zaccagna, 1932). Oltre a queste, si possono rinvenire forme di carattere crionivale: queste si sono sviluppate durante l'ultimo grande periodo climatico freddo. L'azione erosiva di questi nevai persistenti ha lasciato sul terreno nicchie ampie anche diverse decine di metri (Baroni *et al.*, 2008).

Idrografia della valle del Carrione

Il corso d'acqua più importante presente nel comune di Carrara è il torrente Carrione (12 Km di lunghezza), il quale si snoda in un bacino di circa 51 Km². con una portata variabile tra i 400 e 1000 l/sec (<http://sira.arp.at.toscana.it> 31/03/09; <http://www.comune.carrara.ms.it>31/03/09). Il corso d'acqua nasce nella regione marmifera e precisamente dalle sorgenti del Monte Spallone (1650 m s.l.m.m.). Viene quindi alimentato da sorgenti e canali, fra i quali i più importanti sotto il profilo dell'apporto idrico sono il: Canale di Bedizzano, Canale di Porcinaccia, che confluisce nel Canale di Ravaccione e assieme danno vita al Canale di Torano che, in località Vezzala, confluisce nel Carrione. A Carrara riceve inoltre il Canale di Gragnana. Altre sorgenti degne di nota, che riversano cospicue quantità di acqua nel torrente, sono quelle delle Canale che, per la loro importanza, sono captate per alimentare il sistema idrico cittadino. A valle di Carrara, il Carrione riceve altri affluenti come il canale di Fossola e di Valenza. Lo scorrere del

torrente Carrione e dei suoi affluenti ha lasciato varie forme tra cui una serie di terrazzi fluviali. Partendo dalla valle di Colonnata troviamo il terrazzo con quota più alta (900 m s.l.m.m.). Scendendo individuiamo il terrazzo del Tarnone (400 m s.l.m.m.); sempre andando verso valle, troviamo i terrazzi di Bedizzano e Miseglia rispettivamente a 300 e 250 m.s.l.m.m. Giunti a Carrara in località Monterosso, troviamo l'ultimo lembo terrazzato con quota 90 m.s.l.m.m. (Zaccagna,1932).

I terrazzi presenti nella valle di Torano si individuano nei seguenti luoghi: a La Piastra 300 m.s.l.m.m. e a Torano 150 m.s.l.m.m. Anche il canale di Porcinaccia ha prodotto un terrazzo a quota 250 m.s.l.m.m. all'interno dell'omonima valle. Per quanto concerne il canale di Gragnana, non si individuano lembi terrazzati se non in località Linara 150 m.s.l.m.m.

Proseguendo poi verso mare, la valle inizia ad allargarsi e a colmarsi di sedimenti alluvionali. All'altezza dell'attuale stazione ferroviaria si poteva individuare lo sbocco nella piana costiera caratterizzato da un vasto cono di deiezione (Zaccagna,1932).

Forme carsiche nei bacini marmiferi

Le litologie carbonatiche dell'Unità delle Apuane, ovvero i Marmi e i Grezzoni ai quali si vanno ad aggiungere i Calcari Selciferi caratterizzati però da una permeabilità relativamente minore, non riescono a dare vita ad un carsismo particolarmente sviluppato, sono infatti poche le cavità importanti conosciute. Tra queste la principale cavità è la Buca di Foce Luccica (profondità totale 450 m), aperta nei Grezzoni presso Cima d'Uomo (Doveri 2008; Piccini & Pranzini, 1989). Qui in tabella riportiamo cavità e grotte censite dal Comune di Carrara.

<i>Cavità carsiche censite</i>	
<i>Nome</i>	<i>Località</i>
Tana di Bedizzano	Bedizzano
Tanella Bedizzano	Bedizzano
Tana dei Saloni	Bedizzano
Tana Forata	Fosso di Buccetta
Tanone di Torano	Torano
Bucone di Colonnata	Colonnata
Riparo sopra Carrara	Codena
Buca della Polla della Martana	Bedizzano
Riparo sopra Torano	Fosso di Buccetta
Tana della Volpara	Bedizzano
Tecchia sotto la Gabellaccia	La Tecchia
Tecchia sopra la Gabellaccia	la Gabellaccia
Buca di Quarceta	Bergiola Foscina
Abisso del Falegname	M. la Faggiola
Cavità C1	M. Ballerino
Cavità C2	M. Ballerino
Cavità C4	M. Ballerino
Abisso Cenerone	Morlungo
Grotta della nana muta	Faggiola

Tabella 1: Sistema di grotte nel comune di Carrara(Agenda 21,2001 modificato)

Oltre a queste forme ipogee di importanza dal punto della risorsa idrica disponibile, troviamo una serie di forme minori epigee visibili sia nei marmi che in altre formazioni carbonatiche. Si possono così osservare frequentemente in superficie scannellature e impronte. Oltre a queste superficiali, in aree di cava, si possono osservare molto bene sezioni di crepacci carsici (Figura 2) che si originano in corrispondenza di discontinuità o di fratture (Castiglioni, 1979).



Figura 2: Bancata con presenza di fratture e segni di carsismo (Cava in località Canaloni, 2009).

Forme Antropiche

Il trascorrere dei secoli ha lasciato nel bacino marmifero carrarese numerose forme e depositi di origine antropica. Questi possono essere suddivise in base alla loro genesi (Baroni *et al.*, 2008). Troviamo così forme di erosione riconducibili a fronti di escavazione, che si differenziano in base alle tecniche adottate, le tecchie, i limiti di cava (Figura 3) e da circa 40 anni oltre a queste forme epigee troviamo la presenza di cave in sotterraneo. Le forme di erosione producono anche in questo caso forme di accumulo, che vanno sotto il nome di ravaneti. Essi si sono differenziati in base all'epoca di escavazione come andremo a descrivere nel proseguo della tesi. Oltre a queste forme abbiamo la presenza di una fitta rete stradale costruita sui ravaneti e la presenza di una serie di impianti atti allo svolgimento delle attività di cava. La presenza di tutte queste forme antropiche ha portato sovente a problemi d'instabilità. Nelle aree di cava questi fenomeni sono dovuti a varie tipologie di frane, tra cui quella sicuramente più frequente è la frana di crollo, le cause d'innescio sono riferibili alla fratturazione dall'ammasso roccioso e alle notevoli e continue sollecitazioni di carattere antropico cui è sottoposto. I ravaneti, invece sono sovente soggetti a fenomeni di trasporto in massa (*debris flow*). Essendo i ravaneti oggetto della nostra tesi, andremmo a spiegare in dettaglio il fenomeno qui citato.



Figura 3:Panoramica del bacino di Torano ripreso dal Morlungo, evidenziate alcune forme antropiche presenti (2008).

Debris flow

Le colate detritiche sono fenomeni diffusi nella maggior parte delle fasce climatiche, dalle regioni desertiche a quelle alpine e rivestono una notevole importanza sia per la loro influenza sull'evoluzione morfologica dei bacini idrografici nei quali avvengono, sia per il rischio potenziale che determinano (Castiglioni,1979).

Questa capacità distruttiva è data dalla elevata concentrazione di materiale detritico, che si muove verso valle con velocità variabili da pochi cm/sec sino a 25 m/s (Iverson *et al.*,1997).

Il materiale trasportato ha granulometria molto variabile ed un singolo fenomeno si manifesta frequentemente con ondate successive (pulsazioni) dovute a temporanee ostruzioni del canale di trasporto. Le cause di questo fenomeno sono da riferirsi ad aumenti improvvisi di disponibilità idrica, dovuti comunemente a piogge intense, non rare sulle Apuane, o alla rapida fusione di nevai, unita ad una sufficiente energia potenziale (Castiglioni,1979; Iverson *et al.*,1997).

Nel bacino marmifero carrarese abbiamo quindi tutti i presupposti per la genesi di questi fenomeni. Nel settembre 2003 le forti piogge hanno indotto l'innesco di molteplici frane nelle coltri detritico colluviali superficiali dei versanti naturali e soprattutto hanno mobilitato grandi quantitativi di materiale sciolto accumulato in prossimità delle cave di marmo, nel solo ravaneto di Fosso Borrone-Monte Betogli si mobilizzò un volume di materiale pari a 45000 m³ (Baroni *et al.*, 2001; D'Amato Avanzi *et al.*, 2008).

Un corpo detritico sciolto come un ravaneto, si contrae aumentando la p_{H_2O} nei pori e causando l'innesco di un processo di liquefazione, che legato alla trasformazione dell'energia di volume traslazionale in energia di fluttuazione granulare, va ad aumentare la fluidità della massa in movimento (Baroni *et al.*, 2000; Iverson *et al.*,1997).

Sul terreno il fenomeno è osservabile tramite l'individuazione all'interno di un ravaneto delle seguenti forme descritte da Baroni *et al.*, (2000).

La zona d'innescò (Figura 4), è solitamente posta ai bordi di zone sub orizzontali, caratterizzata da una scarpata metrica semicircolare accompagnata da fratture di trazione. Alla base della scarpata si genera un canale a V corrispondente alla traccia di flusso.

Sempre da Baroni *et al.*,(2001) è stato notato come questi processi di innescò si sviluppino quasi esclusivamente sugli strati superficiali dei ravaneti attivi, mentre in ravaneti antichi il fenomeno resta estremamente limitato. Tale fenomeno potrebbe essere imputabile alla presenza di materiale fine (<1 cm) che in ravaneti moderni si aggira attorno al 50% del campione totale, mentre in ravaneti antichi risulta attorno al 30% del campione (Figura 5). Questa abbondante presenza viene anche riscontrata tramite gli accumuli dei processi di dilavamento, che tendono ad asportare la matrice ed a creare accumuli sabbiosi o limosi al piede dei ravaneti più recenti (Baroni *et al.*,2000, 2008)



Figura 4: *Debris flow* in un ravaneto 20/02/09.

Per concludere i lobi deposizionali possono assumere varie forme, si passa infatti da appiattite a semicircolari, con dimensioni volumetrica estremamente variabile (Baroni *et al.*, 2000).

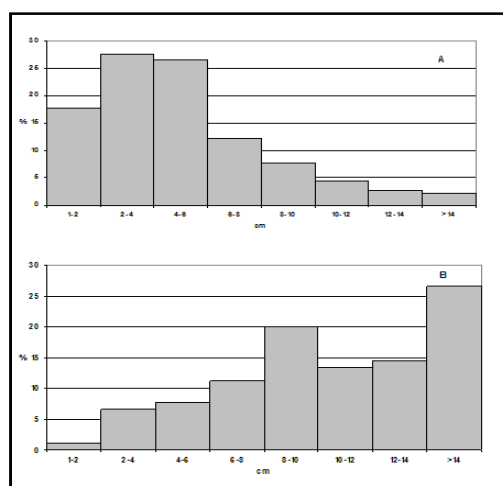


Figura 5: Granulometria superficiale di un ravaneto attivo (A) e di un ravaneto antico (B) (Baroni *et al.*, 2000).

2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO.

2.1 Il Complesso metamorfico delle Alpi Apuane.

Le Alpi Apuane sono costituite da i livelli più profondi affioranti nell'Appennino Settentrionale (Figura 6). Questi livelli trovano origine da rocce sedimentarie relative ad un settore della Placca Adria, che durante l'Oligocene-Miocene inferiore furono coinvolte in movimenti tettonici di tipo accrezione/collisione, provocati dallo spostamento del Microcontinente brianzonese verso Est (rispetto alle coordinate attuali), il quale collise con il Margine apulo e indi per cui individuò un piano di subduzione con vergenza Ovest (Carmignani *et al.*, 1994, 2007a; Molli & Meccheri, 2000).

Il processo di subduzione, provocò l'arretramento flessurale dello *slab* in subduzione determinando così lo sviluppo di bacini di retroarco, in concomitanza, si verificò la migrazione verso E della zona di subduzione e quindi della zona di collisione e deformazione (Carmignani *et al.*, 2007a).

L'evoluzione strutturale delle Apuane, ha quindi portato alla genesi di vari eventi tettonico metamorfici di cui sicuramente due principali che vanno sotto il nome di: D1 e D2 (Carmignani & Kligfield, 1990; Carmignani *et al.*, 2007a; Molli & Meccheri, 2000).

I due eventi sopracitati hanno portato all'individuazione di particolari strutture le quali possono essere descritte come segue.

D1: è l'evento principale coevo alla sovrapposizione delle principali unità tettoniche, questo viene confermato dalla presenza di accavallamenti chilometrici, pieghe isoclinali di ogni dimensione e una scistosità penetrativa sin-metamorfica S1 ad ogni scala che spesso traspone completamente l'originaria stratificazione (Carmignani *et al.* 2007a; Cortopassi *et al.*, 2006).

D2: ha formato le strutture più recenti, che si sono sviluppate a partire dal Miocene medio. Queste potrebbero essere associate ad una fase distensiva provocata dal collasso gravitativo del complesso apuano, il quale ha fatto sì che la crosta ispessita si riequilibrasse (Carmignani *et al.* 2007a; Cortopassi *et al.*, 2006).

Durante questi eventi le precedenti strutture vengono deformate da differenti generazioni di pieghe che variano da aperte a chiuse con un clivaggio di crenulazione di piano assiale generalmente sub orizzontale, gli stadi finali dell'evento D2 sono invece 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 (Carmignani *et al.*, 2007a; Cortopassi *et al.*, 2006; Molli & Meccheri, 2000).

All'interno di questi eventi deformativi i marmi apuani hanno avuto un ruolo fondamentale.

Le rocce carbonatiche 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 (Carmignani *et al.*, 2007a).

L'insieme dei vari eventi ha portato così alla presenza di una Sinclinale detta di Carrara, la quale ha provocato, tramite ripetizioni tettoniche uno spessore di marmi stimabile attorno ai 500-600 m, la presenza di queste ripetizioni tettoniche è dimostrabile osservando le strutture presenti nell'alta valle di Colonnata (Carmignani *et al.*,2007a). In questa zona, infatti, almeno tre chiusure di pieghe isoclinali D1 sono evidenziate da altrettanti nuclei di Calcari Selciferi. (Carmignani *et al.*,2007a).

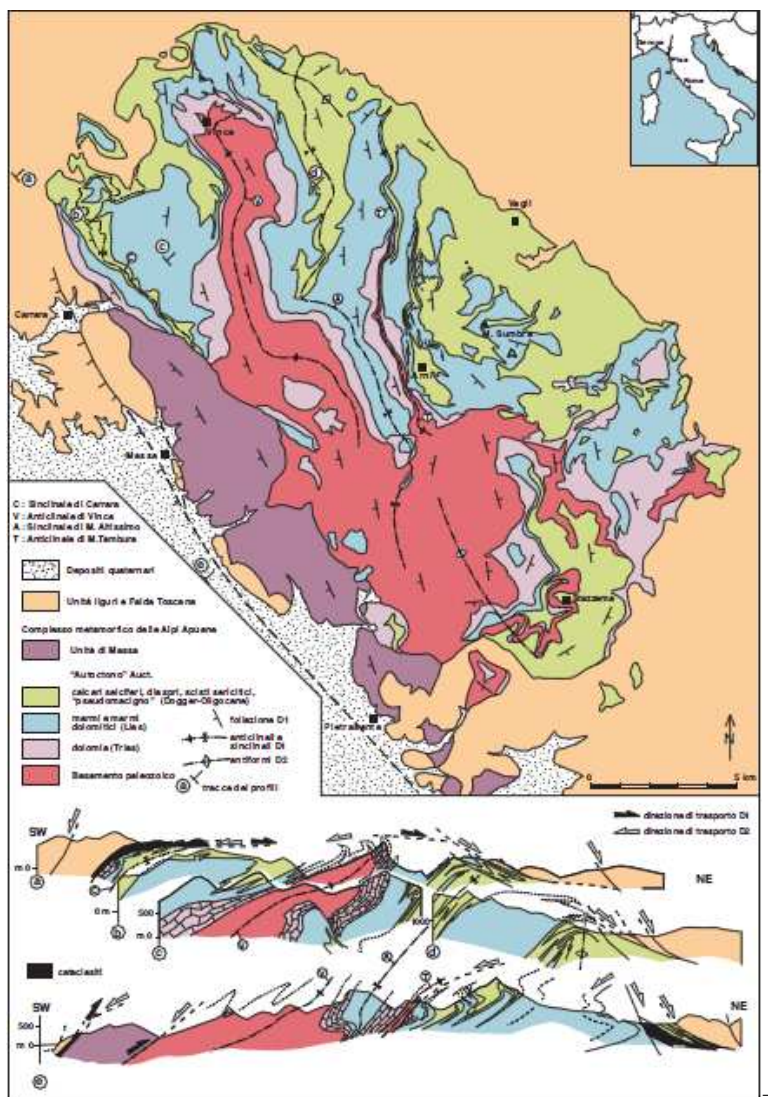


Figura 6: Schema tettonico delle Alpi Apuane (Carmignani *et al.*, 2007a)

La catena è così formata da due unità tettoniche sovrapposte: Unità di Massa che affiora esclusivamente nella porzione occidentale della finestra tettonica e Unità delle Apuane, geometricamente inferiore all'Unità di Massa (Otrria & Molli, 2000)

Unità di Massa

Visibile nella parte Sud-Ovest delle Alpi Apuane, è caratterizzata dalla presenza di un basamento paleozoico sul quale poggia una spessa sequenza metasedimentaria triassica, caratterizzata dalla presenza di metavulcaniti basiche del Trias Medio.

Le rocce appartenenti alla copertura mesozoica sono costituite da metaconglomerati quarzosi, associati a metarenarie, metasiltiti e filladi nere. Procedendo verso l'alto seguono livelli di rocce prevalentemente carbonatiche con intercalazioni di metabasiti alcaline, le quali testimoniano un vulcanismo basico interplacca legato al rifting medio-triassico (Carmignani *et al.*, 2004, 2007a). La successione si chiude con livelli di metaconglomerati a prevalenti clasti di quarzo, quarziti e filladi.

L'Unità di Massa (Figura 7) si caratterizza quindi per 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 condizioni di pressione e temperatura durante il metamorfismo alpino sono stimate tra 0.6-0.8 GPa e 420-500 °C (Franceschelli *et al.*, 1986; Molli *et al.*, 2000a, 2002).

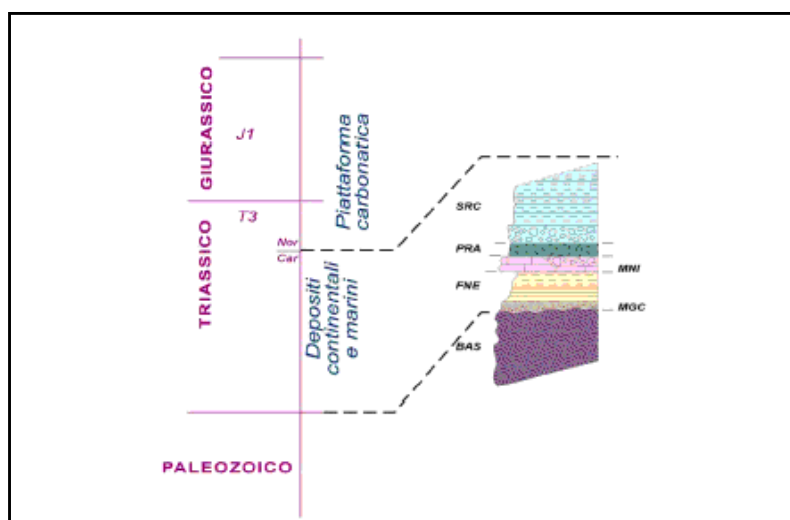


Figura 7: Colonna litostatigrafica dell'Unità di Massa. Basamento ercinico (BAS); Metaconglomerati basali (MGC); Filladi nere e quarziti (FNE); Marmi a Crinoidi e metabrecce a elementi marmorei (MNI); Prasinititi (PRA); Filladi sericitiche ed Anageniti (SRC) (Carmignani *et al.*, 2007).

L'Unità delle Apuane

Questa è formata da un basamento Paleozoico con rocce dello stesso tipo di quelle che formano l'Unità di Massa, e con il medesimo grado legato all'orogenesi ercinica del tutto simile. A queste formazioni (Figura 8) sono sovrapposti metasedimenti riferibili ad un ambiente deposizionale di tipo transizionale, da continentale a marino costiero con età che va dal Permiano fino all'Oligocene (Carmignani *et al.*, 2007a, 2007b). Di seguito troviamo la presenza di dolomie (Grezzoni) provenienti dalla piattaforma carbonatica tardo-triassica. Proseguendo lungo la colonna stratigrafica incontriamo 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. Sopra queste formazioni si sono depositi i vari marmi più o meno dolomitizzati, che rappresentano lo sviluppo di una nuova piattaforma carbonatica. 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). Il metamorfismo dell'Unità delle Apuane è caratterizzato da paragenesi metamorfiche tipiche delle zone a clorite e biotite della facies scisti verdi, dove le temperature massime sono tra 350-450 °C e le pressioni di picco del metamorfismo sono comprese tra 0,4-0,6 GPa (Carmignani *et al.*, 2007a, 2007b; Franceschelli *et al.*, 1986; Molli *et al.*, 2002).

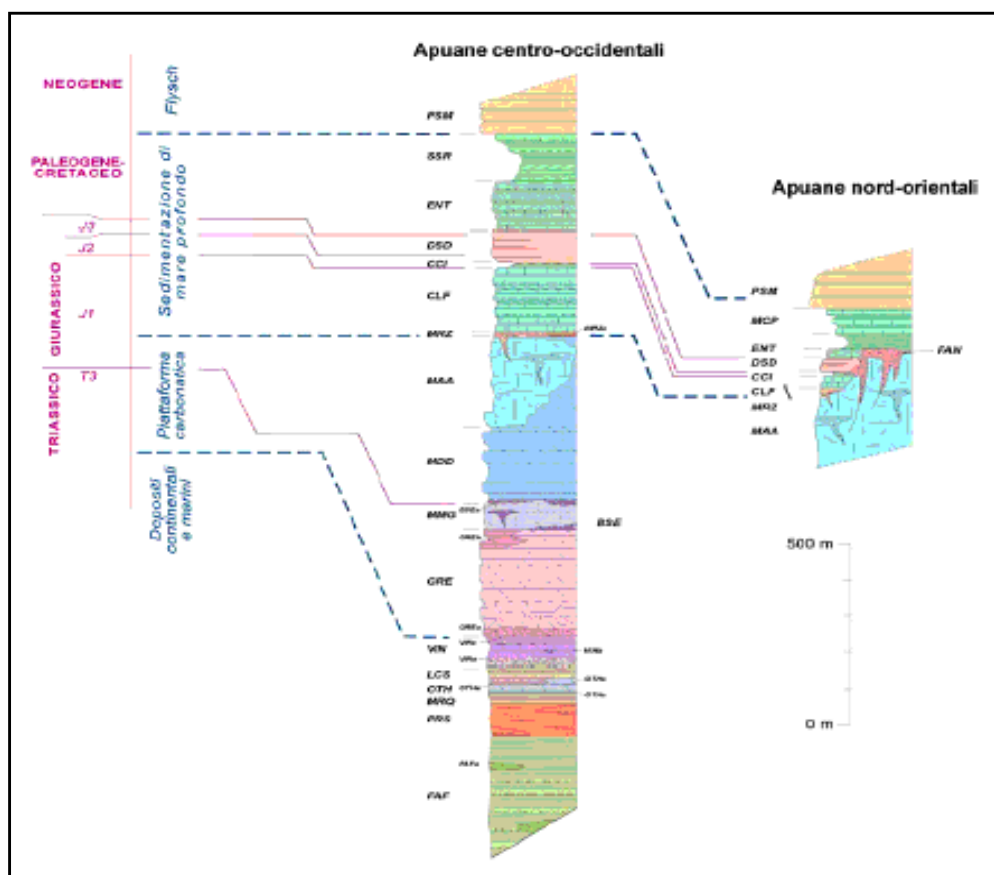


Figura 8 Colonna litostratigrafica dell'Unità delle Apuane. Filladi Inferiori (FAF) con intercalazioni di metavulcaniti basiche (FAFa); Porfiroidi e scisti porfirici (PRS); Quarziti e filladi superiori (MRQ); Dolomie ad Orthoceras (OTH) con livelli a predominanti filladi grafiche nere e quarziti scure (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). (Carmignani *et al.*, 2007).

3 I MARMI.

I marmi presenti nel Complesso metamorfico delle Alpi Apuane hanno origine da differenti orizzonti stratigrafici. Dalle colonne sopra riportate troviamo marmi che caratterizzano sia formazioni triassiche sia formazioni del Giurassico inferiore. Oltre a ciò, troviamo litotipi simili al marmo, ma meno puri assieme a metabrecce poligeniche e calcescisti in diverse formazioni della copertura mesozoico terziaria (Carmignani *et al.*, 2007a).

Passando adesso ad un'analisi di dettaglio dei marmi presenti nel bacino carrarese, possiamo ricondurre secondo la letteratura corrente, i marmi bianchi a settori della piattaforma carbonatica caratterizzati da condizioni ottimali per la crescita degli organismi biocostruttori e con apporti di materiale pelitico estremamente scarso. In particolare, i litotipi più omogenei secondo alcuni autori 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 ("fenestrate") e cavità carsiche in conseguenza a fasi di locale emersione. Terminando, i marmi grigi potrebbero coincidere con aree di piattaforma contraddistinte da condizioni relativamente riducenti, nelle quali il materiale organico poteva essere più facilmente preservato dai processi di ossidazione. Queste particolari condizioni si verificano 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 (Carmignani *et al.*, 2007a 2007b; Ottria & Molli, 2000).

3.1 Varietà merceologiche.

Con il termine "pietra ornamentale" intendiamo l'insieme delle rocce che possono essere utilizzate nell'industria delle costruzioni come elementi con funzioni portante o decorativa. Un giacimento di "pietre ornamentali" non si presenterà mai, in tutta l'estensione con caratteristiche chimiche, fisiche e meccaniche omogenee, oltre che cromatiche tali da renderlo interessante dal punto di vista commerciale. Nelle Alpi Apuane, le pietre utilizzate a fine ornamentale, appartengono soprattutto all'Unità delle Apuane, ma troviamo anche alcune varietà appartenenti all'Unità di Massa e alla Falda Toscana. Sono documentati inoltre prelievi e lavorazioni lapidee di materiali di formazione quaternaria, come nel caso di detriti di falda cementati e depositi di grotta, impropriamente definiti "onici" o "alabastrini". Tra le molte curiosità del passato estrattivo delle Apuane, vale la pena ricordare la coltivazione di alcuni giganteschi massi erratici marmorei, che si trovavano tra i depositi morenici nei dintorni di Vagli Sopra (Autori vari, 2002).

Osservando in particolare i marmi, alcuni studi hanno calcolato le superfici complessive di affioramento. Sono stati così individuati circa 71 km² 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 (rocce utilizzate in passato a fini ornamentali e oggi non più coltivate). 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 attualmente alcun interesse da un punto di vista merceologico (Figura 9) (Carmignani *et al.*, 2007a).

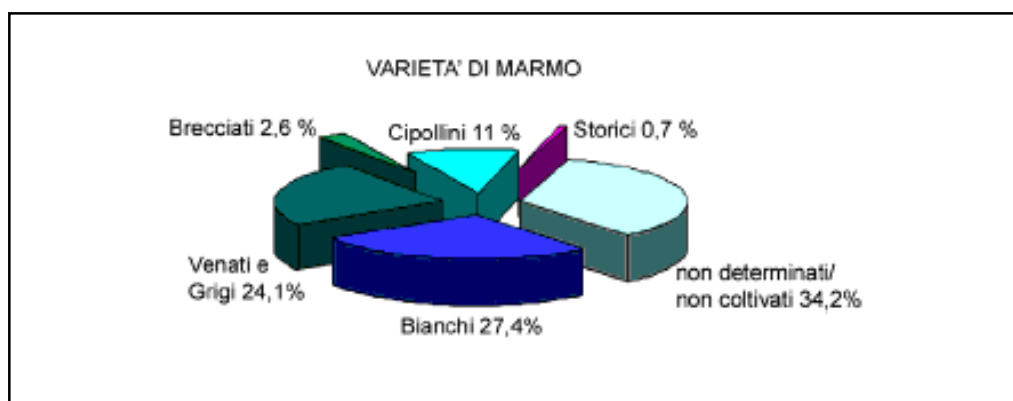


Figura 9: Diagramma relativo alla ripartizione in percentuale delle principali tipologie di marmo nelle Alpi Apuane (Carmignani *et al.*, 2007a).

Per quanto concerne il grafico sovrastante è bene precisare che all' interno dei marmi 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 10).

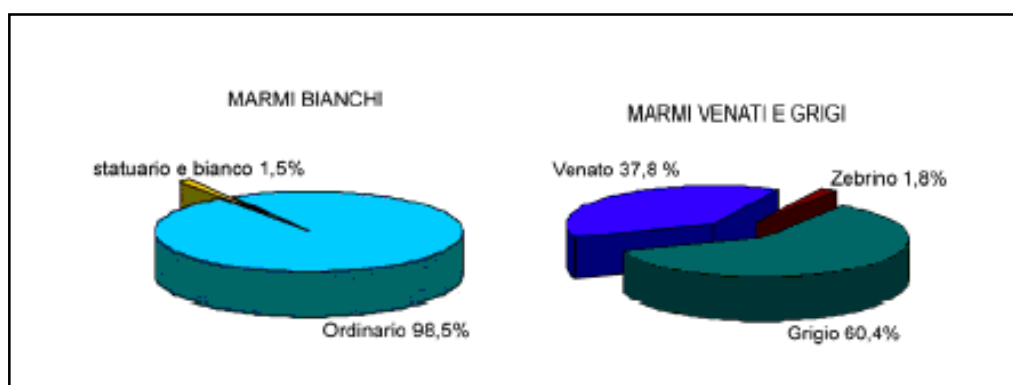


Figura 10: Diagrammi relativi alle distribuzioni in percentuale, nelle Alpi Apuane, delle varietà statuario, bianco, ordinario, venato, grigio e zebrino all'interno dei loro rispettivi gruppi di appartenenza (Carmignani *et al.*, 2007a).

Passando adesso in dettaglio alle pietre estratte nel territorio carrarese troviamo sicuramente i marmi, ma in passato all'interno del comprensorio comunale venivano cavate altre pietre ornamentali (Marmi storici) che attualmente non trovano più alcun impiego. Qui di seguito porremo un elenco dei materiali che sono stati e che sono cavati.

Pietre ornamentali oggi non più cavate all'interno del territorio comunale carrarese (Marmi storici).

Diaspri

Rosso e Violetto di Castelpoggio

Grezzoni

Bardiglio screziato, Nero di Colonnata

Calcari selciferi

Grigio, Nero di Pescina-Boccanaglia

Macigno

Macigno

Pietre ornamentali cavate all'interno del territorio comunale carrarese

Marmi s.s.

Arabescato (con la varietà Bianco brouillé), Bardiglio (compreso B. venato, B. fiorito e B. imperiale), Ordinario, Calacatta, Nuvolato, Paonazzo, Statuario (compreso S. venato), Venato, Zebrino (compreso il Crema e il Crema delicato).

Di seguito, proporremo la descrizione delle varietà di marmi estratti nel bacino di Carrara secondo Meccheri (1996), pubblicata nella "Carta geologico -strutturale delle varietà merceologiche dei marmi del Carrarese. L'autore di tale descrizione si pose l'obiettivo di raggruppare in grandi famiglie con caratteristiche comuni le varie tipologie di marmo.

Marmo ordinario

Metacalcare di colore bianco perlaceo, a grana da fine a mediogrossa, a fondo omogeneo oppure cosparso di piccole macchie e vene grigie, irregolarmente distribuite e dovute a presenza di pirite microcristallina. La frequente identità di ornamentazioni e, soprattutto, di colore con il venato rende spesso arbitrario distinguere queste due varietà.

Marmo venato

Metacalcare di colore variabile dal bianco perlaceo al grigio chiaro, a grana media, con venature quasi regolari di colore grigio scuro dovute a presenza di pirite microcristallina. In generale si passa da assetti quasi identici a quelli delle metabrecce ad alternanze piuttosto regolari che possono essere considerate come le tracce della primitiva stratificazione.

Marmo nuvolato

Metacalcare grigio a grana da fine a media, attraversato da vene e bandature più chiare e più o meno sfumate. Il colore grigio è dovuto a pirite microcristallina variamente diffusa. Entro questo tipo si trovano frequenti passaggi ad apparenti corpi bardigliacei, di non facile delimitazione, e tasche di metabrecce tendenti a tipi arabescati.

Marmo bardiglio

Metacalcare a grana fine di colore grigio scuro dovuto a diffusa pirite microcristallina. La presenza di venature (in genere ancora più scure) in questo litotipo dominante dà luogo al bardiglio venato. Entrambi i tipi possono contenere bande dolomitiche grigie.

Marmo statuario

Metacalcare molto puro a grana grossa e di colore bianco avorio (presenza di muscovite microcristallina omogeneamente diffusa), a volte con piccole e sparse macchie grigie dovute a quantità infinitesime di pirite microcristallina. Ove queste impurità (insieme a quantità più consistenti di fillosilicati) sono organizzate in vene sottili e variamente anastomizzate, il tipo principale lascia posto allo statuario venato.

Marmo calacatta

Metabreccia a clasti marmorei bianco-giallastri molto chiari, talora con velature verdoline chiare, in matrice metacalcare (a muscovite e clorite) appena più pigmentata degli elementi nei toni gialli ocracei e verdognoli. Sono frequenti volumi in cui bassi tenori di impurità primarie e l'amalgama dovuto a metamorfismo hanno determinato un sottotipo assai ricercato, il calacatta macchia oro, distinguibile dallo statuario solo per la presenza di tenui venature o aloni ocraceo dorati. La natura clastica del protolite è di solito meno evidente rispetto all'arabescato, ove invece questo aspetto si fa più deciso il calacatta ha forte somiglianza con la varietà dello statuario venato.

Marmo arabescato

Metabreccia a clasti marmorei eterometrici, bianchi o chiari, in subordinata matrice metacalcare grigia più o meno scura. I metaclasti sono riferibili a tutte le varietà, ma soprattutto a bianco, venato e nuvolato/bardiglio. In alcuni bacini di Carrara e Massa, affiora un sottotipo definito come bianco brouillé, caratterizzato da una ornamentazione più marcata legata alla regolarità di taglia e distribuzione dei metaclasti, nonché alla netta separazione fra questi e la matrice grigia scura, uniformemente anastomizzata.

Marmo paonazzo

Metabreccia a clasti marmorei tipo statuario e/o calacatta, in subordinata matrice fillosilicatica di colore da grigio nerastro a rosso violaceo. Quest'ultima è di solito ricca di prodotti feriferi che generano frequenti aloni violacei di impregnazione entro i metaclasti.

Marmo zebrino

Per lo più costituito da livelli decimetrici di metacalcare biancastro giallognolo regolarmente alternati ad intervalli centimetrici di metacalcare grigio verde ricco di fillosilicati (clorite e muscovite). A luoghi le componenti carbonatica e fillosilicatica sono più mescolate, generando un aspetto più simile al calcescisto. I livelli marmorei possono amalgamarsi per formare corpi omogenei di discrete dimensioni, quasi privi di impurità e molto somiglianti al tipo statuario, denominati cremo e cremo delicato.

3.2 I marmi sotto un profilo commerciale.

I marmi, come tanti altri materiali di consumo, seguono l'andamento del mercato che impone l'utilizzo di alcuni materiali rispetto ad altri in base al cromatismo.

Di questo è vittima anche un materiale pregiato e con una storia estrattiva lunghissima, come il marmo di Carrara. Oltre ad un fattore puramente estetico quale il colore, nei materiali lapidei apuani esiste una serie di "difetti", che deprezzano o rendono invendibile il materiale estratto. Nei marmi apuani sostanzialmente troviamo due categorie di "difetti". In una potremmo inserire tutti quegli elementi che provocano un peggioramento delle caratteristiche fisico-meccaniche del materiale, mentre nell'altra sono inserite quelle caratteristiche, che portano alcuni inestetismi sul materiale, ma che non compromettono le caratteristiche fisico-meccaniche. Bensì questi non dovrebbero essere considerati difetti, ma caratteristiche intrinseche dei marmi apuani e con tale dare un marchio di originalità al prodotto tale da difenderlo dalle contraffazioni che si verificano e che si possono verificare visto il costante aumento dei prodotti lapidei disponibili sul mercato mondiale. Qui di seguito andremo a elencare i vari "difetti" secondo la descrizione proposta da Bradley e Criscuolo nel 1998, e basata sulla nomenclatura usata comunemente dai commercianti apuani (Tabella 2). In base al numero ed entità di "difetti" che si possono rinvenire in un blocco, si suddividono in: sani, poco difettosi e difettosi. Questa classificazione si basa sulla perdita di lastre utili una volta segato il blocco. Oltre alle caratteristiche intrinseche, i blocchi cavati acquistano valore o lo perdono in base alle loro dimensioni; qui di seguito elencheremo le varie dimensioni commerciali, sempre raccolte da Bradley e Criscuolo 1998.

Blocco: dimensioni variabili tra i 2,20-3,50 m di lunghezza, altezza e spessore tra 1,20-2,00. Queste misure sono imposte dalle dimensioni del telaio della segheria.

Blocco piccolo: le dimensioni variano attorno alle seguenti misure, 1,80x1,00x0,40.

Semisquadrati: $\frac{3}{4}$ delle facce del blocco sono lavorate.

Informi: $\frac{1}{2}$ delle facce sono squadrate

“Difetti” del marmo apuano			
“Difetto” nome locale	Nome scientifico	Descrizione	Effetto principale
<i>Magrosità</i>	Micro fratture	Minute escoriazioni	Maggior possibilità di degrado
<i>Macchia di ruggine</i>	Ossidazione	Macchie e aloni giallo bruni	Deprezzamento
<i>Strappi</i>	Micro frattura	Minute fratture che si mostrano come linee chiare da lunghezza cm a dm	Diminuzione resistenza meccanica Deprezzamento
<i>Durea</i>	Concentrazione di Silice/Dolomia	Aree grige/brune	Deprezzamento
<i>Tarolo</i>	Cavità	Piccole cavità dovute alla scomparsa di particelle organiche residuali.	Deprezzamento
<i>Lucica</i>	Cristalli di calcite spatica o geodi occlusi parzialmente o totalmente da calcite o quarzo	Riflessi dovuti ai cristalli di dimensioni maggiori	Deprezzamento
<i>Frescume</i>	Cristalli di dolomite	Rigature o macchie biancastre/giallastre	Deprezzamento
<i>Peli furbi</i>	Microfratture	Fratture	Possibile apertura durante la lavorazione
<i>Peli ciechi</i>	Microfratture	Fratture	Possibile apertura durante la lavorazione
<i>Macchie lente</i>	Letti di fillosilicati	Colorazione verde/violacea	Deprezzamento
<i>Macchie di tabacco</i>	Venatura legata alla paleo stratificazione	Colorazione bruna	Deprezzamento

Tabella 2: Difetti del marmo di Carrara (Bradley Criscuolo, 1998).

4 LE CAVE DI MARMO DI CARRARA.

4.1 Bacini marmiferi.



Figura 11: Panoramica dei bacini marmiferi, con relativi toponimi rosso (immagine Google Earth 4,25 km Alt.).

I bacini marmiferi presenti nel territorio comunale di Carrara hanno un'estensione complessiva di circa 2000 ha. Da un punto di vista geografico possiamo individuarli tramite le quattro valli principali che si aprono a monte della città di Carrara (Figura 11). Partendo da Ovest verso Est individueremo il bacino di Pescina Boccanaglia, il bacino di Torano, il bacino di Miseglia ed infine il bacino di Colonnata. Nel 2001 nel Comune di Carrara erano presenti 90 cave ripartite nei 4 bacini. Passeremo adesso ad una breve descrizione dei 4.

Torano e Pescina-Boccanaglia

Il bacino di Torano, nel quale comprenderemo anche il limitrofo bacino di Pescina-Boccanaglia, viste le ridotte dimensioni di quest'ultimo, hanno un'estensione complessiva di circa 900 ettari (Bradley, 1991).

Assieme i due bacini producono marmi di qualità tra le più pregiate quali lo statuario, il calacata, il cremo, l'arabescato e naturalmente il bianco Carrara.

Superato il paese di Torano a circa un chilometro, si trova sul lato occidentale il gruppo delle cave di Pescina-Boccanaglia, a cui si accede dal bivio per Pulcinacchia. Il bacino ospita un numero esiguo di cave, le quali però forniscono marmi pregiati. Qui possiamo vedere molti ravaneti antichi e al limite superiore del bacino osserviamo i resti di un antico terrazzo fluviale. Proseguendo la strada entriamo nel bacino marmifero di Torano, giungendo a Grotta

Colombara troviamo un sistema di cavità naturali poco profonde, attualmente sommerse di detriti (Dolci, 1980).

Salendo ancora fino al Pianello giungiamo alla strada di arroccamento costruita su ravaneto che conduce alle cave di Calocara e dei Betogli. Questi ravaneti hanno una lunga storia, difatti Calocara ospitava una cava romana utilizzata in seguito anche nel periodo medioevale (Dolci, 1980).

Proseguendo si giunge alle cave di Lorano, le quali mostrano un imponente ravaneto a testimonianza della secolare attività. Sul versante opposto a Lorano è possibile osservare il ravaneto e le cave del Battaglino, caratterizzati dalla spettacolare strada di arroccamento che sale ripida lungo il ravaneto fino alla sommità del monte verso la cima della Verdichiara e le cave della Nicciola (Bradley, 1991).

Proseguendo verso monte giungiamo alle storiche cave del Polvaccio, dove si vuole che Michelangelo selezionasse i marmi per le proprie opere. Inoltre alcuni storici sostengono che perfino la colonna Traiana sia stata scolpita con questo marmo (Dolci, 1980).

Arrivati in località Ravaccione dove un tempo era collocata una delle stazioni della ferrovia Marmifera (455 metri s.l.m.), possiamo osservare a ovest le cave del Canal Bianco e ad est quelle del Torrione. Salendo si giunge nelle località Ravalunga e Rutola. Tutte queste località sono coperte dai ravaneti accumulatisi nel tempo e dovuti per lo più all'intensivo uso del sistema della "varata". Proponiamo 4 immagini che mostrano il Torrione e Canal Bianco ad un secolo di distanza. Notiamo che confrontando figura 12 e 13, osserviamo come la cima principale del Torrione sia rimasta inalterata, ma al contrario la cima sulla sinistra sia stata completamente asportata. Inoltre vediamo l'ampliamento dei fronti di cava, e come il ravaneto sia tutt'ora presente. In figura 14 e 15, osserviamo il Canal Bianco, qui vediamo sempre un complessivo ampliamento delle zone di cava, e come i ravaneti siano rimasti nella loro sede originale. In particolare nel ravaneto evidenziato riscontriamo la dimensione dei clasti definita a "testa d'uomo", caratteristica della prima metà del 1900, è quindi plausibile presupporre che il ravaneto presente oggi sia il medesimo di un secolo fa.

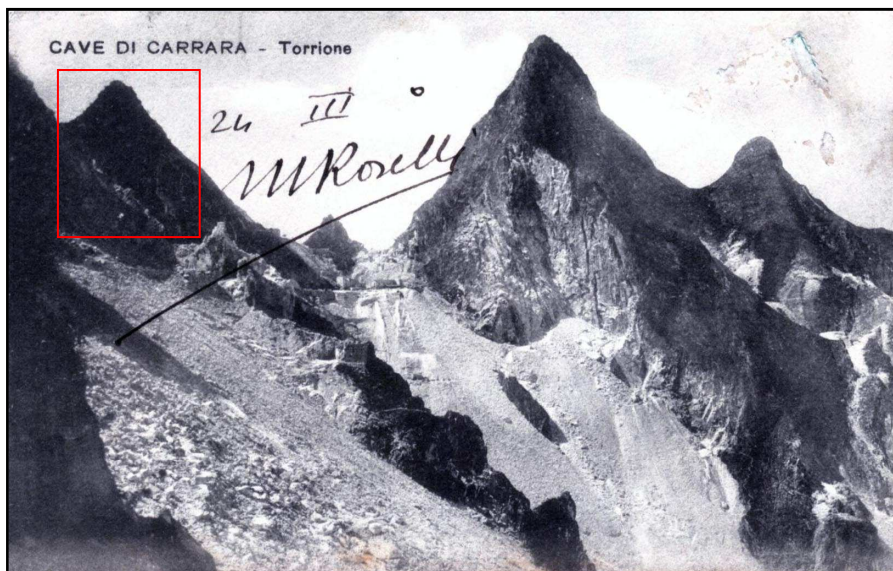


Figura 12:Foto che ritrae la cima dalla stazione di Ravaccione, evidenziato osserviamo una cima oggi completamente asportata (Comune di Carrara, Settore Marmo).



Figura 13: Torrione (8/03/09) evidenziata la totale asportazione della cima.

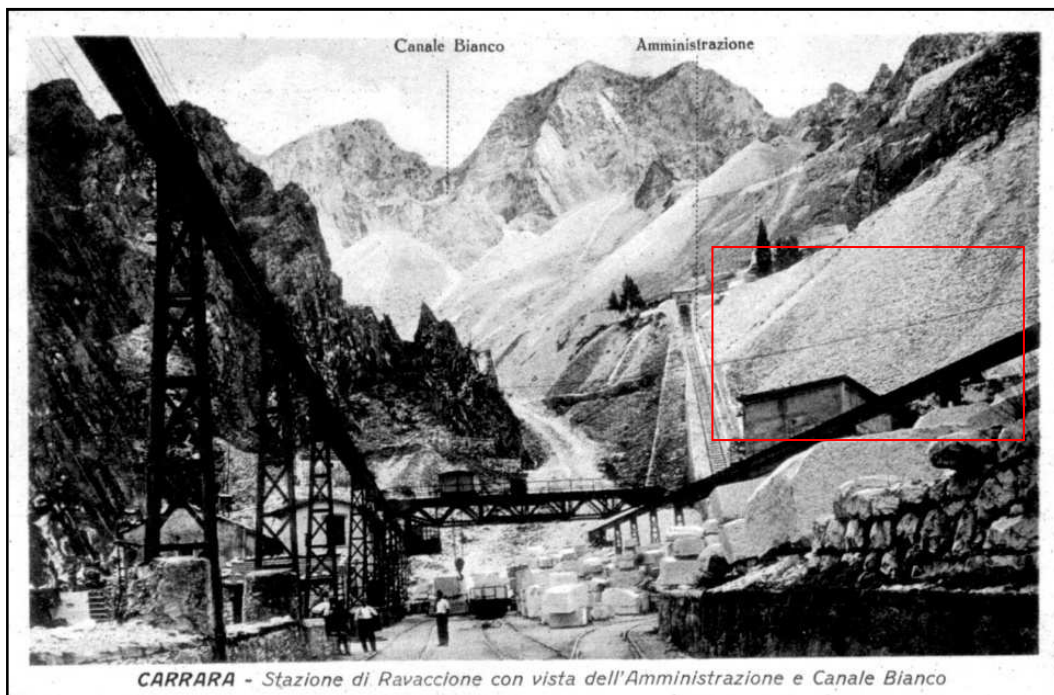


Figura 14: Canal Bianco da Ravaccione evidenziati ravaneti storici tutt'ora presenti e riscontrabili nella foto sottostante (Comune di Carrara, Settore Marmo).



Figura 15: Canal Bianco da Ravaccione 8/03/09.

Miseglia

Il bacino di Miseglia ha una superficie di circa 300 ettari e trova come confine naturale lo spartiacque superficiale segnalato nei suoi limiti estremi dalle cime del: M. Betogli, M. Maggiore e M. d'Oro (Bradley, 1991).

Partendo dall'abitato di Miseglia possiamo osservare subito due imponenti ravaneti, frutto del M. Betogli e delle cave di Calocara. Questi due corpi detritici sono stati più volte stabilizzati, causa l'insorgere di fenomeni di dissesto (*debris flow*), inoltre cosa che li rende particolarmente pericolosi è la breve distanza che separa i ravaneti dall'abitato di Miseglia. Giungendo all'imbocco del bacino possiamo osservare subito i Ponti di Vara (Figura 16 e 17), rimasti a testimonianza dell'antica rete ferroviaria adibita al trasporto marmi, la quale fu dismessa agli inizi degli anni "60".

Lasciando alle spalle i ponti e proseguendo lungo la valle, la strada comunale si snoda lungo un ravaneto costituito da clasti di dimensioni variabili, frutto delle diverse fasi di lavorazione. Si possono osservare grossi massi frutto di varate o elementi a grandezza "testa d' uomo", frutto del lavoro di riquadratura dei blocchi e pulizia del piazzale di cava durante il periodo di applicazione del filo elicoidale (Figura 18, 19).

Giunti a Fantiscritti, ci troviamo in un luogo dove si incrociano 2000 anni di storia. In questa località possiamo trovare antiche tagliate romane, che hanno custodito per secoli un basso rilievo di epoca romana rappresentante antiche divinità, antichi muri a secco lasciati a testimonianza del duro lavoro manuale precedente alla meccanizzazione ed infine troviamo l'ultima evoluzione del lavoro di cava. Qui nel 1972 entro in attività la prima cava in sotterraneo (Pandolfi *et al.* 1989).

Proseguendo il viaggio all'interno del bacino ci troviamo di fronte a due valli secondarie denominate Canal Grande (Figura 20, 21) e Fossa Carbonera. Oggi queste due valli sono sede di due imponenti ravaneti frutto anch' essi della sovrapposizione di materiale lapideo avvenuta nei secoli. In queste luoghi si sono incrociati importanti avvenimenti sia dal punto di vista scientifico che storico. Partendo dal più recente nel 2003 nella Fossa Carbonera fu portato alla luce un suolo sepolto sotto detriti, il quale datato con il metodo del ^{14}C mise alla luce che il marmo di Carrara era coltivato già prima dell'arrivo dei romani (Bruschi *et al.*, 2003).

Sempre in questa località nel 1928 fu cavato il più grande blocco integro mai estratto dalle cave di Carrara. Il "Monolite" (Figura 22,23) destinato all'allora Foro Mussolini misurava 19 m di lunghezza e aveva larghezza e spessore di 3 m e un peso che si aggirava sulle 480 ton. L'estrazione e il trasporto fino a Roma furono un'impresa epica, specialmente se commisurata ai mezzi a disposizione. La fase di trasporto dalla cava al porto, solo 11Km, comportò 8 mesi di lavoro (Bradley, 1991). Durante questa fase il blocco fu lizzato lungo le pendici del monte e trainato, una volta giunto a valle, da un tiro di oltre 30 paia di buoi. Per far sì che il blocco arrivasse integro al porto fu necessaria la creazione di una gabbia che racchiudesse il "Monolite", questa fu realizzata con legno e ferro e raggiunse un peso complessivo di 64 tonnellate (Bradley, 1991). Cosa eccezionale per l'epoca fu che durante tutte le fasi di lavorazione nessun uomo impiegato perse la vita. Un'ultima curiosità riguardante questi luoghi è la credenza che l'indovino etrusco Aronte avesse dimora in una grotta situata nella valle .

*Aronta è ch'al ventre li s'atterga,
che ne' monti di Luni, dove ronca
lo Carrarese che di sotto alberga,
ebbe tra ' bianchi marmi la spelonca
per sua dimora; onde a guardar le stelle
e 'l mar no li era la veduta tronca.*

Dante Alighieri, La Divina Commedia, Inferno, Canto XX

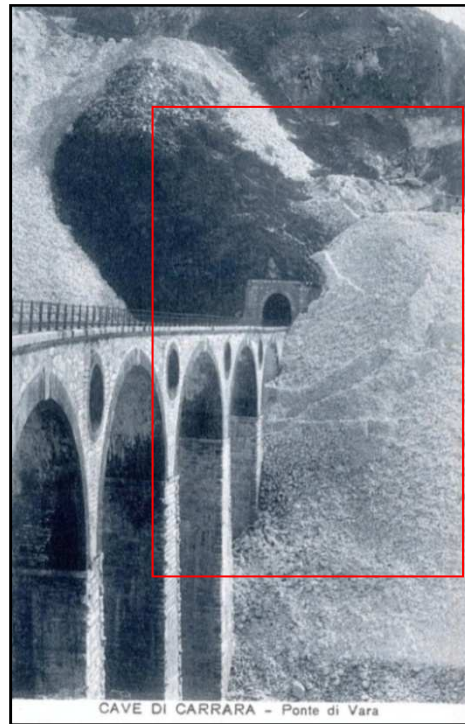


Figura 16: Particolare di un ponte di Vara ai primi del 900 (Comune di Carrara, Settore Marmo).



Figura 17: Particolare di un ponte di Vara, 8/03/09, la parte evidenziata mostra la totale asportazione del ravaneto, avvenuta di recente.

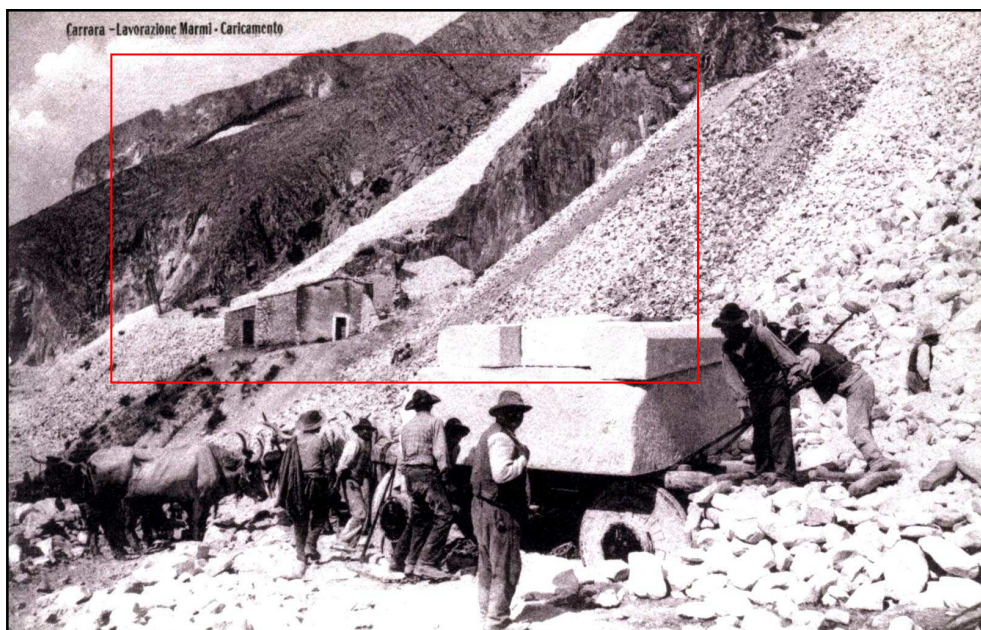


Figura 18: Particolare del ravaneto di Fossa dei Leoni nei primi del 900, possiamo vedere nella zona evidenziata in primo piano della roccia affiorante e sullo sfondo il monte Betogli (Comune di Carrara, Settore Marmo).



Figura 19: Particolare del ravaneto di Fossa dei Leoni 8/03/09, osserviamo pareti verticali al posto di una morfologia “naturale”, inoltre osserviamo modifiche nel profilo del rilievo del monte Betogli.

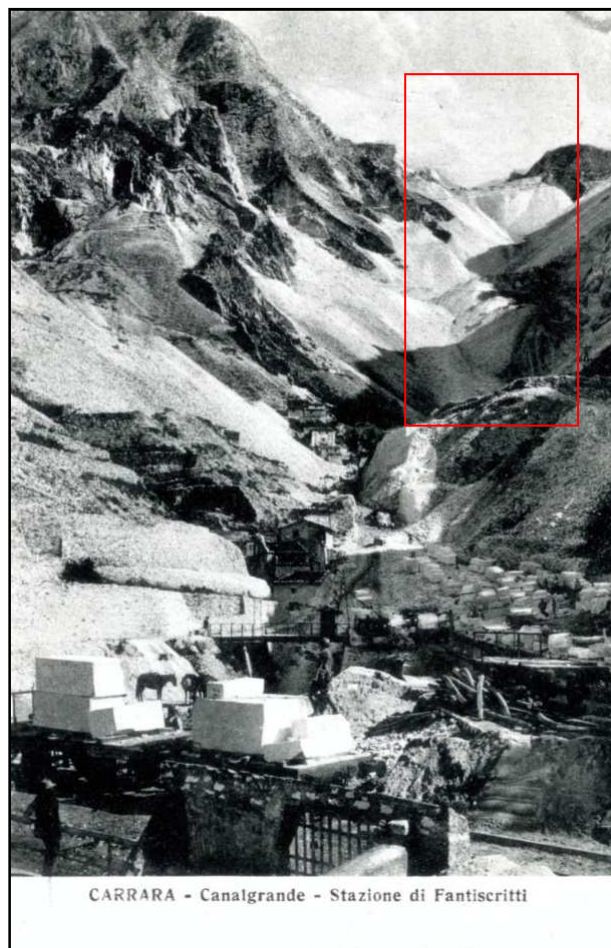


Figura 20: Particolare di Canal Grande ai primi del 900, notare la presenza di ravaneti, si può osservare che ancora non colmano la valle (Comune di Carrara, Settore Marmo).



Figura 21: Particolare della valle di Canal Grande, 8/03/09, si può notare come oggi sia colmata da detriti.



Figura 22: Lizzatura del monolite (Comune di Carrara, Settore Marmo).



Figura 23: Traino del monolite da parte dei buoi (Comune di Carrara, Settore Marmo).

Colonnata.

La parte più orientale del comprensorio marmifero è costituita dal bacino di Colonnata, che vanta una superficie di circa 500 ha (Bradley, 1991).

Questo fornisce la maggior produzione di marmo di tutto il comprensorio. I marmi in assoluto più estratti sono in questo caso il Bianco Ordinario e il Bianco Venato, ma è tipico di questo bacino il Bianco broullè.

La prima cava che incontriamo una volta entrati nel bacino è quella della Piana, questa è una delle cave sviluppatasi a pozzo e in seguito lavorata in galleria. Salendo, si giunge al Calagio, da dove si può andare in località Fossacava. Qui sono ancora visibili le tagliate romane articolate nei vari sistemi antichi di taglio: formelle, trincee, fori utilizzati per l'introduzione di cunei di legno, che bagnati per più giorni, ingrossavano permettendo il distacco dei blocchi lungo le naturali linee di fratturazione, purtroppo allo stato attuale delle cose la cava è colma di detriti lasciando il tutto a uno stato d'abbandono più totale (Bradley 1991; Dolci 1980).

Proprio in questa località furono ritrovati la maggior parte di reperti di epoca romana.

Proseguendo verso Colonnata, si osservano innumerevoli ravaneti di varie epoche sui fianchi delle montagne. Arrivati in località Gioia osserviamo una delle più grandi cave presenti all'interno del territorio, la strada di accesso anche in questo caso è costruita sull'antico ravaneto. Dall'altra parte della valle abbiamo le cave dei Campanili: la zona prendeva il nome da due alti speroni di roccia residui delle lavorazioni subite dall'antica cresta di spartiacque e abbattuti per motivi di sicurezza (Bradley, 1991).

Anche in questa località troviamo grandi corpi di detrito, sui quali sono state costruite strade d'accesso. Il bacino di Colonnata termina alle pendici del Sagro in località Vallini.

Mostriamo anche in questo caso delle immagini risalenti a un secolo fa e confrontate con immagini attuali. Possiamo così vedere un generale mutamento della morfologia del rilievo, inoltre si può apprezzare come i ravaneti non più coltivati possano ospitare forme di vegetazione (Figure 24,25,26,27).

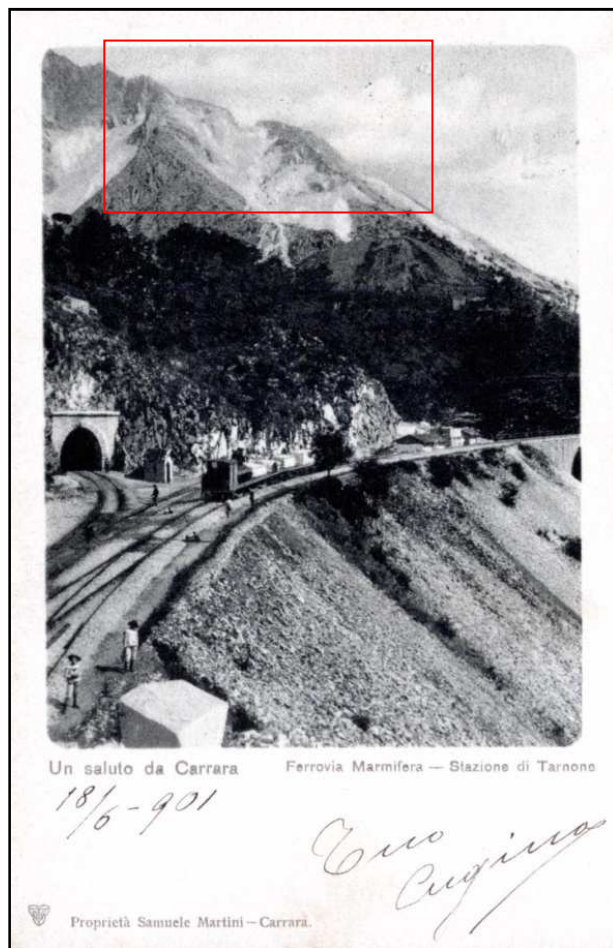


Figura 24: Fossa del Cardellino vista dal Tarnone primi del 900 (Comune di Carrara, Settore Marmo).



Figura 25: Fossa del Cardellino vista dal Tarnone 8/03/09.

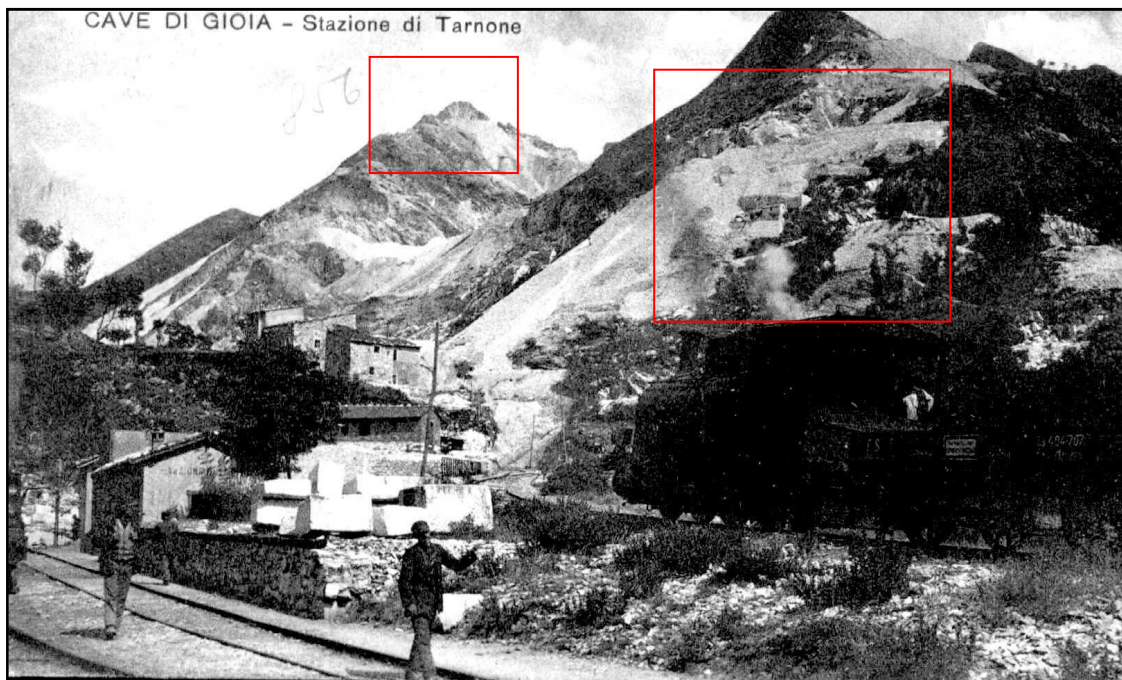


Figura 26: In primo Piano il Monte Zuccone e sullo sfondo Cima Gioia. (Comune di Carrara, Settore Marmo).



Figura 27: :In primo Piano il Monte Zuccone e sullo sfondo Cima Gioia 8/03/09.

4.2 Cenni di storia della lavorazione delle cave.

Epoca Romana.

L'inizio dello sfruttamento degli agri marmiferi carraresi, è sempre stato considerato in concomitanza con la fondazione della città di Luni 48 a.c. Questo veniva avvalorato sia da evidenze fisiche (basso rilievi, tagliate ecc.) che cartacee lasciate dai cronisti dell'epoca, i quali illustrarono il lavoro di cava (Dolci 1980; Jervis, 1862). Oggi giorno al contrario si è scoperto che le popolazioni che risiedevano in zona prima della conquista da parte dei romani, avevano incominciato a sfruttare il marmo.

Questo è stato evidenziato da recenti scoperte scientifiche, che hanno focalizzato la loro attenzione su reperti in marmo di età etrusca. L'analisi di questi reperti da un punto di vista mineralogico petrografico, li collegava nell'area apuana (Cantisani *et al.*, 2003). La conferma di questa scoperta, e nella fatti specie la lavorazione di marmi carraresi è arrivata nel momento in cui sono stati esumati paleosuoli intercalati nelle discariche di cava e quindi è stato possibile effettuare datazioni tramite il metodo del $\delta^{14}\text{C}$ (Bruschi *et al.*, 2003 Paribeni, 2003).

A parte ciò le lavorazioni più significative in epoca antica, si ebbero da parte dei romani, i quali diffusero l'escavazione in tutti e quattro i bacini, fino ad una quota di 700 metri sul livello del mare (Pandolfi *et al.*, 1989).

La suddivisione del lavoro di cava può essere descritta in maniera riassuntiva qua di seguito.

In una cava trovavano posto vari tipi di maestranze. Quella sicuramente più numerosa era quella dei forzati ai quali erano assegnati i lavori più duri e pericolosi. Oltre a questi trovavano posto altre figure professionali assegnate a uomini liberi. Questi avevano assunto capacità e conoscenze tali da poter coltivare l'agro marmifero in modo ordinato (Dolci 2003; Pandolfi *et al.*, 1989). Quindi troviamo le figure dei "caesores" addetti al distacco, i "quadratarii" addetti alla sagomatura dei blocchi o i "maquinarii" esperti delle tecniche di trasporto a valle attraverso slitte frenate dette "lizze", preposti poi anche alla carico sopra carri dalle ruote di legno pieno ferrato il cosiddetto "carro romano" (Pandolfi *et al.*, 1989).

Le maestranze addette al lavoro di cava qui citate usavano per il compimento della loro opera utensili semplici ma estremamente efficaci, anche se con gran dispendio di fatica e lavoro.

Questi primi cavaatori probabilmente eseguivano tagli al monte a distanza prestabilita dal ciglio del fronte di abbattimento e lunga quanto l'intero blocco da ribaltare. La scanalatura "cesurae" così creata seguiva il verso, frattura naturale secondo cui il corpo lapideo si distacca più facilmente. Eseguita quest'opera, era inserita al suo interno tronchi di legno, i quali bagnati costantemente si dilatavano esercitando una pressione sulla massa marmorea da distaccare. Altra metodologia probabilmente utilizzata, la quale poteva fornire blocchi di dimensioni prestabilite, era alla tecnica della "formella". (Pandolfi *et al.*, 1989).

Tale procedura consisteva nel praticare lungo la linea di taglio una scanalatura profonda 15-20cm, nella quale si inserivano cunei di ferro sempre più grandi, che percossi ripetutamente e a tempo, determinavano il distacco dei blocchi, i quali potevano essere scalzati o avere come base un piano di fratturazione opportunamente individuato. Una volta eseguita l'operazione di distacco, il blocco veniva subito lavorato in cava per evitare il trasporto a valle di carichi destinati sicuramente a discarica (Dolci 2003; Pandolfi *et al.*, 1989).

La cosa straordinaria da notare è come le tecniche e le maestranze ideate dai romani siano state utilizzate con successo praticamente sino all'avvento della meccanizzazione e come tutt'oggi alcuni principi di lavoro se pur rivisitati siano i medesimi.

Dal 500 ai primi del 900.

Nel 1570 nelle cave di marmo venne applicata per la prima volta la polvere pirica per caricare le mine. Questo avvenimento fu considerato talmente memorabile che l'allora signore di Carrara Alberico Cybo Malaspina decise di coniare una moneta d'argento avente incisi su una faccia un barile di polvere infiammata e sull'altra la scritta in tedesco "*Von Gutten in Pesser*" (Gemignani *et al.*, 2004). Alla fine del 1627 in tutti i comprensori estrattivi italiani ed europei l'utilizzo delle mine era ormai pratica consolidata (Pandolfi *et al.*, 1989).

Questa tecnica all'interno del comprensorio carrarese prese il nome di varata (Figura 28).

Questa operazione per far sì che fosse efficace richiedeva una buona conoscenza dell'area di monte da abbattere, verificando l'estensione e la direzione delle discontinuità naturali presenti nell'ammasso roccioso. Se le discontinuità naturali non erano ritenute sufficienti, si procedeva alla messa in opera di piani di distacco artificiali previo la creazione di trincee.

Delimitato l'ammasso, si piazzavano le cariche, composte da 0,064 Kg di esplosivo per ogni m³ di marmo da far brillare (Pandolfi *et al.*, 1989). Le mine così caricate erano piazzate o in pozzetti scavati in postazioni opportune, oppure inseriti in fratture naturali (Mina a fendere).

La deflagrazione provocava l'abbattimento di una grossa porzione di monte, che anche se delimitata come sopra descritto spesso si distaccava senza uno schema geometrico ben preciso. Queste grandi quantità di materiale si accumulavano verso valle dove venivano cernite e selezionate cercando di utilizzare solo le parti migliori (Primavori, 1999).

La porzione di monte rimasta in situ era però compromessa dall'esplosione, ciò comportava che la prossima varata avesse potenza tale da poter rimuovere la parte compromessa e distaccare una parte integra.

Questo sistema portò così alla produzione di una grandissima quantità di detriti stimati attorno all'90% dell'estratto (Zaccagna, 1905). La composizione dei detriti era estremamente eterogenea, infatti si passava dal blocco compromesso di dimensioni superiori al m³ ai frammenti dovuti alla deflagrazione con dimensioni inferiori al cm. Il materiale così accumulato e la tecnica di lavoro dirompente incominciò a far mutare il paesaggio di cava.



Figura 28: La varata (Comune di Carrara, Settore Marmo).

Primi del 900.

Il metodo di coltivazione secondo varata, era altamente distruttivo per il materiale lapideo, ma sicuramente più efficace di una lavorazione totalmente manuale. Questa metodologia venne progressivamente abbandonata, grazie al regolamento che entrò in vigore il 14/01/1894 che consentiva l'uso di questa tecnica unicamente previo parere dell'Ufficio del distretto minerario competente, onde evitare sprechi di risorse lapidee, l'ultima varata ebbe così luogo nel 1936 sul Monte Torrione (Pandolfi *et al.*, 1989; Zaccagna 1905).

L'abbandono della varata è inoltre da attribuirsi a due fattori: l'introduzione dell'aria compressa e del filo elicoidale (Figura 29) inventato nel 1854 dall'ingegnere belga Enrico Chevalier, e successivamente migliorato dall'ing. Monticolo che nel 1897 inventò la puleggia penetrante (Bradley, 1991; Pandolfi *et al.*, 1989).

Si trattava di un disco d'acciaio caratterizzato sulla circonferenza da una scanalatura e da piccoli denti diamantati. Questo strumento permetteva la creazione di un foro guida, nel quale tramite un apposito strumento a cremagliera chiamato macchinetta veniva trasportato il filo elicoidale all'interno della bancata senza dover eseguire uno sbancamento preliminare. Il filo elicoidale era costituito da fili elementari di acciaio avvolti a elica, i quali formavano un unico cavo con diametro di circa 5 mm. Compito del filo elicoidale era di trasportare la sabbia silicea estratta dal lago di Massaciucoli (Viareggio, LU), e successivamente sostituita o mescolata con il Carborudum (SiC), all'interno della bancata da incidere e far sì che si provocasse un taglio tale da poter distaccare una massa marmorea di dimensioni variabili da 2.000 a 30.000 m³ dal resto del monte (Pandolfi *et al.*, 1989).

Questo "monolite" sarebbe stato successivamente ribaltato sul piazzale di cava tramite l'ausilio di mine a fendere oppure con martinetti idraulici o mezzi meccanici.

Prima di tutto ciò, era necessario stendere il filo elicoidale, il quale richiedeva un circuito lungo dagli 800 ai 1200 m steso lungo il piazzale e il monte circostante, tramite l'utilizzo di pulegge di rinvio sistemate su dei pali di ferro ancorati al terreno chiamati localmente “poteaux”(Pandolfi *et al.*,1989).

Lo stendimento doveva essere calcolato in base alle superfici da tagliare, infatti essendo un impianto fisso il suo spostamento era un'operazione lunga e antieconomica, quindi una volta messo in opera doveva essere sfruttato per il maggior tempo possibile. Ad azionare il meccanismo vi era un motore, in principio diesel e successivamente elettrico, il quale per mezzo di una frizione collegata a una serie di pulegge montate su un telaio fisso imprimeva il movimento al filo (Bradley,1991).

La velocità di scorrimento variava da 5 a 6 m/sec, e così provocando un'incisione di 20 cm l'ora (Pandolfi *et al.*,1989). L'utilizzo di tale pratica, comportò l'introduzione della lavorazione secondo bancate. Oltre a ciò, tale pratica portò a produrre i primi materiali di scarto fini, mentre la pulizia del piazzale di cava dal materiale inutilizzato portava alla creazione di sassi con dimensioni omogenea paragonabili alla grandezza di una “testa d' uomo”, questo era dovuto alla necessità di dover movimentare tutto il materiale a mano. Oltre all'introduzione del filo, inizio una prima modernizzazione e meccanizzazione del lavoro tramite l'introduzione di martelli pneumatici e gru per la movimentazione dei blocchi che andarono a rimpiazzare i secolari e pericolosi argani a mano chiamati localmente Grapauds “grapò” (Gemignani *et al.*, 2004). Oltre a questi due strumenti entrarono in funzione martinetti idraulici e per il trasporto del detrito le vecchie cariole in legno vennero abbandonate a favore dei carrelli scorrenti su rotaia soprannominati “decauville” (Gemignani *et al.*, 2004).

Tutto ciò consentì che nelle cave di marmo la media di produzione per cavatore aumentò sulle 30 ton anno (Pandolfi *et al.*,1989).



Figura 29:Cava lavorata con filo elicoidale (Comune di Carrara, Settore Marmo).

Attuale.

Negli anni 70 del 900, in cava si ebbe un'ulteriore rivoluzione con l'introduzione delle macchine a filo diamantato e delle tagliatrici a catena. Questi due macchinari diedero un nuovo impulso all'industria marmifera facendo sì che giacimenti considerati esauriti o difficilmente accessibili tornassero appetibili da un punto di vista economico, mentre quelli in funzione aumentarono vertiginosamente la propria produzione. Grazie inoltre alla tagliatrice a catena iniziò la coltivazione in sotterranea da parte del sig. Dell' Amico, il quale sfruttò la galleria in disuso della ferrovia marmifera in località Fantiscritti per accedere al giacimento marmifero (Pandolfi *et al.*, 1989). Questa nuova tecnica, visto il successo ottenuto venne adottata anche da altri, che trovandosi in condizioni di lavoro complesse, sottotecchia, videro nella creazione di una cava in sotterraneo un ottima soluzione ai fini della produzione.

Il successo dei nuovi mezzi, oltre all'ottima resa è dovuto anche al fatto che a differenza del filo elicoidale, non hanno necessità di un impianto fisso, ma possono essere spostati dove le esigenze di lavorazione ne richiedono l'utilizzo. Grazie all'ausilio di questi macchinari l'uso degli esplosivi non fu più necessario, se non per rimuovere porzioni di montagna nella quale il materiale lapideo risulta inadatto alla commercializzazione e quindi antieconomico lavorarlo con i macchinari descritti. I nuovi mezzi hanno inoltre la possibilità di lavorare in tutte le direzioni, anche se la tagliatrice a catena viene usata principalmente per tagli orizzontali di circa 3 m, causa flessione della lama, e per tagli verticali quando è necessario aprire una nuova bancata in condizioni particolari. Questo è l'utilizzo classico nelle cave a cielo aperto (Figura 30), mentre in sotterraneo trova uso praticamente su ogni tipo di taglio.

Il filo può essere usato in tutti i tipi di taglio grazie alla sua flessibilità, il volano della macchina può lavorare in qualsiasi direzione senza grossi problemi, e per fare passare il filo dentro alle bancate è necessario creare semplicemente un foro guida, il quale viene fatto rapidamente da macchine perforatrici. Una volta segata la bancata e ribaltata tramite pale meccaniche e cuscini pneumatici, i più usati sono quelli metallici a perdere, è possibile sezionarla in maniera rapida in blocchi commerciali, sempre tramite macchine a filo. Una volta estratti i blocchi, rimangono gli scarti della lavorazione. Questi sono di varia natura, infatti troviamo sia materiali fini dovuti al taglio sia materiale lapideo proveniente da blocchi fratturati in modo naturale oppure da quelle porzioni di bancata che non forniscono blocchi sufficientemente grandi o di qualità da poter essere commercializzati.



Figura 30: Cava del Polvaccio 8/03/09.

4.3 Macchine da taglio nelle cave di marmo.

Filo diamantato

La configurazione standard di un filo diamantato può essere descritta nel seguente modo.

Si tratta di un cavo d'acciaio con diametro di 5 mm il quale ha il compito di sostenere le perline e assorbire le varie sollecitazioni sia di natura statica sia dinamica (Figura 31). La perlina è un elemento di forma cilindrica con diametro di 10 mm inserita a modo di collana sul filo con frequenza variabile da 33-40 per metro lineare (Primavori, 1998).

Le perline diamantate possono essere deposte sul supporto in due modi: sinterizzate o elettrodeposte.

- Sinterizzate: le perline sono fissate con un legante tale, che permette al diamante usurato si abbandonare l'impasto consentendo a quello sottostante di fuoriuscire.
- Elettrodeposte: il supporto cilindrico è rivestito elettroliticamente da uno strato di legante metallico, il quale trattiene i granuli di diamante sino alla totale usura.

Oltre a questi elementi principali atti al taglio su un cavo di filo diamantato si rinvencono molle distanziatrici necessarie ad attutire gli urti e le variazioni di attrito che si possono riscontrare durante un taglio.

Assieme alle molle vi sono anche anelli metallici atti a fornire una corretta disposizione dei supporti delle perline. Il circuito del filo così composto, è infine chiuso con un anello metallico, quest'operazione, al fine di garantire la sicurezza, va eseguita con pinze efficienti e adeguate, inoltre accanto al connettore, prima della perlina, deve essere presente un fermo (Primavori, 1998). Il filo così costituito ha velocità di tagli variabili da 9 a 15 m²/h.

Questo strumento veloce ed efficace, comporta però seri pericoli connessi alla rottura del filo, con conseguenti: colpo di frusta derivante, ad esempio, da una cattiva regolazione della tensione del filo; proiezione di perline a elevata velocità (fino a 150 km/h).

Per ovviare a questi rischi connessi all'utilizzo della macchina si provvede alla messa in opera di un nastro protettivo, da fissare sul margine superiore del blocco da tagliare; un posizionamento corretto di quest'ultimo prevede una distanza di 10-15 cm dal filo

(Comitato attività estrattive di superficie
http://ec.europa.eu/employment_social/health_safety/docs/ornemental_it.pdf).

Dietro la macchina inoltre si disporrà un pannello di legno atto ad assorbire l'urto di un possibile colpo di frusta dovuto all'improvvisa rottura del filo.

Durante la rottura vi potrebbe essere la proiezione delle perline, più probabile quanto più lungo il periodo di taglio, il quale incide sull'usura del filo.

Oltre al filo diamantato tradizionale, in commercio si trova anche il così detto filo protetto costituito, come quello tradizionale, da un cavetto d'acciaio flessibile, da un numero definito di perline (33-40 per metro lineare) montate sul cavetto e talora separate da molle, tutto questo è rivestito da una copertura di plastica (Primavori, 1998). Le differenze fra il filo diamantato e quello protetto, risiede anche nel fatto che: il cavo protetto ha bisogno di una maggiore quantità di acqua poiché è formato da plastica o gomma, materiali che risentono maggiormente della temperatura, ma anche perché l'acqua non riesce a entrare a diretto contatto con il cavo, causa motivi costruttivi (Primavori, 1998). L'esperienza indica però che il filo a cavo protetto è sostanzialmente più sicuro di quello tradizionale, in quanto, in caso di rottura, la probabilità di proiezioni di perline o frammenti di queste in seguito all'impatto dovuto al colpo di frusta è molto ridotta, anche se non completamente eliminata (Primavori, 1998).



Figura 31: Filo diamantato messo in opera durante un taglio al monte

Tagliatrice a catena.

Le segatrici a catena sono costituite da un corpo macchina, dotato di un braccio mobile a movimento calante che monta una catena di taglio (Figura 32).

Questa macchina ha trovato con il passare degli anni largo utilizzo nelle cave di marmo apuano. La ragione può essere ricondotta al fatto che la macchina in questione può essere utilizzata sia per tagli verticali sia orizzontali, inoltre un utilizzo corretto fa aumentare la produzione e riduce le perdite di materiale durante nuovi sbancamenti. I modelli disponibili di queste macchine sono in parte simili, anche se i vari costruttori apportano alcune modifiche in base al tipo di roccia e all'utilizzo che se ne vuole fare. La rotaia su cui scorre la macchina è sistemata a una distanza prestabilita dal fronte verticale, questa varia secondo la lunghezza della lama. Il taglio al monte può raggiungere varie velocità in virtù della roccia che si taglia rispetto alla macchina che si utilizza, nei marmi si raggiungono in media da 6 m²/h sino a 11.5 m²/h in base alle condizioni dei denti (Pandolfi, 1989; Copur *et al.*, 2008).

Durante il taglio per una miglior esecuzione è bene irrorare la lama con abbondanti quantità d'acqua, anche se la catena può lavorare in assenza totale di acqua. I denti della catena possono essere equipaggiati con placchette in carburo di tungsteno tipo "widia" o in policristallino tipo "stratapax"; le prime sono utilizzate per tagliare materiali più o meno teneri, mentre le seconde sono specifiche per pietre particolarmente dure (Copur *et al.*, 2008).

Per quanto concerne la sicurezza, non sono riscontrati problemi come nel filo, e la rottura della catena è un'eventualità rarissima che non comporta pericoli per le maestranze.



Figura 32: Messa in opera di una tagliatrice a catena, per l'esecuzione di un taglio alla base della bancata.

Perforatrici.

Per perforazione si intende la realizzazione di fori nel materiale lapideo con macchine manuali o utensili pneumatici o idraulici. Le macchine utilizzate oggi in cava sono generalmente oleodinamiche o ad aria compressa, sono provviste di una serie di utensili con denti in widia o diamante, di vario diametro con aste di perforazione congiungibili. La velocità di perforazione è influenzata dal diametro del foro, più il diametro è piccolo maggiore è la velocità di avanzamento. Un esempio: un foro da 90 mm avanza di 6 m/h, mentre un foro da 205 mm, procede a una velocità di 1,4 m/h (Pandolfi *et al.*,1989).



Figura 33: Esempio di una macchina perforatrice attiva nelle cave di marmo (PERFORANTE PNEUMATICA A PERCUSSIONE mod. DTH180.)

5 I RAVANETI.

I ravaneti attualmente per il territorio apuano rappresentano una grande risorsa sotto il profilo economico, ma anche una delle principali fonti di rischio geomorfologico che insistono sulle aree di cave e sovente sulle aree limitrofe (Figura 34).



Figura 34: Ravaneto di Val Bona 15/02/09.

Tramite la parola ravaneto viene indicato l'accumulo di materiale lapideo non più utilizzabile ai fini del commercio ornamentale. In discarica quindi termina il materiale che non supera la verifica agli standard commerciali, come colorazione, dimensioni del blocco e presenza di "difetti" in precedenza descritti. Oltre a questo materiale in discarica finisce tutto il materiale lapideo interessato dalla fratturazione naturale. La somma dei due fattori porta così a una media di scarto pari al 70% dell'intero estratto di una cava. Questo potrebbe sembrare piuttosto alto, ma basti pensare che nel periodo storico in cui sulle Apuane vigeva l'utilizzo della grande varata si poteva raggiungere anche il 90% del materiale estratto. Ad ogni modo i volumi maggiori di materiali riversati all'interno dei ravaneti, durante la millenaria attività estrattiva, si sono verificati dal secondo dopo guerra a oggi. Basti considerare che adesso dal comprensorio marmifero apuano sono estratti in media annualmente 1.400.000 ton/anno di blocchi a fini ornamentali, e per estrarre questi si producono 2.100.000 ton/anno di "scarti" (Carmignani *et al.*, 2007a).

La parola "scarti" attualmente è impropria, considerando i nuovi utilizzi che sono stati trovati per questi materiali. Infatti, anche da un punto di vista normativo viene chiamato "materiale primario secondario". Questo rimpiego è dovuto a due fattori. Uno puramente legale, vista la presenza di normative che ne incentivano l'utilizzo, mentre l'altro è di natura economica. La particolare purezza dei marmi apuani ($\text{CaCO}_3 > 98\%$), li rende appetibili da un punto di vista industriale e molte società prelevano il pezzame dei ravaneti per trasformarlo in carbonato di calcio in polvere o liquido da poter utilizzare nei più disparati settori industriali.

Nei ravaneti oltre al pezzame, da circa un secolo terminano anche i residui del taglio. Questi residui dai primi del 1900 fino agli anni 70 erano dovuti al filo elicoidale, mentre dagli anni 70 in poi, vi è stata l'introduzione di nuovi macchinari per il taglio, quali: macchine a filo diamantato e tagliatrici a catena. I materiali prodotti da questi mezzi hanno dimensioni granulometriche molto variabili, infatti, si passa da sabbie ad argille. Precisiamo che l'utilizzo del termine argilla, è utilizzato esclusivamente per definire il limite granulometrico.

5.1 Costruzione e classificazione dei ravaneti.

Costruzione.

La costruzione dei ravaneti è sempre stata eseguita tramite lo scarico di materiale dall'alto verso il basso (Figura 35), facendo sì che i materiali coinvolti andassero ad adagiarsi in dipendenza di vari fattori come: angolo di attrito interno, per i materiali in questione siamo sui 40°-45°, scabrosità, irregolarità di forma, dimensione del materiale e del pendio originario.

Inoltre con le lavorazioni attuali nel ravaneto finiscono le matrici derivanti dal taglio e dalla vagliatura del pezzame che viene recuperato per farne carbonato di calcio.

Troviamo quindi lo strato più superficiale di un ravaneto attivo circa i primi 2 metri, è composto di molta materia fine, mescolata in modo caotico a materiale grossolano, dando così origine alla genesi di grosse "conoidi detritiche artificiali". La così costruzione provoca una rilevante riduzione della permeabilità e delle caratteristiche geotecniche del materiale favorendo anche nel caso di piogge di modesta entità la saturazione del corpo detritico e quindi l'innesco di un fenomeno franoso (Baroni *et al.*, 2000; Dino & Fornaro, 2005; D'Amato Avanzi & Verani, 1998). E' bene però puntualizzare che fino agli inizi del secolo scorso prima della massiccia meccanizzazione delle aree di cava si trovavano anche ravaneti disposti in modo ordinato tramite la creazione di imponenti muri a secco formati da detriti di dimensioni omogenee simili alla grandezza di una "testa d' uomo". Ciò principalmente era dovuto alla necessità di movimentare il materiale tutto a mano, inoltre i ravaneti così costituiti erano adibiti ad aumentare la stabilità del versante e a permettere il passaggio agevole di uomini, bestie da soma e lizze. Qui sotto riportiamo una tabella dove mostriamo l'estensione dei ravaneti (Tabella 3).

<i>Copertura areale ravaneti 2001.</i>	
<i>Tipologia</i>	<i>Superficie in ha</i>
Attivi	84,9
Inattivi	152,8
Storici	13,7
Vecchi	264,2
Totale	515,6

Tabella 3: Superficie dei ravaneti rilevata dal Comune di Carrara –Settore Marmo 2001



Figura 35: Ravaneto Canal Piccino, ripresa dell'istante in cui la cava culminale scarica i detriti. 3/03/09

Classificazione.

Come già detto in base all'epoca storica esistevano tecniche estrattive diverse le quali hanno prodotto varie tipologie di ravaneto. Una ipotetica colonna stratigrafica potrebbe essere descritta nel seguente modo:

Ravaneti attuali: corpi molto caotici con granulometria che varia da grossi blocchi a matrici derivanti dal *cutting* del marmo.

Ravaneti dai primi del 1900 al secondo dopo guerra (Figura 36): clasti molto ben classati con dimensioni decimetrica "testa d'uomo".

Ravaneti rinascimentali fino ai primi del 1900: caratterizzati dal sistema della grande varata hanno dimensioni molto eterogenea, si passa da "informi" a "sassi".

Ravaneti da pre romani a medioevali: dimensioni limitate e non rilevanti da un punto di vista dello sfruttamento commerciale, quando vengono rintracciati sono riconoscibili per i clasti di

piccole dimensioni con forme spigolose, sovente si rinvengono associati ad essi manufatti scultorei.

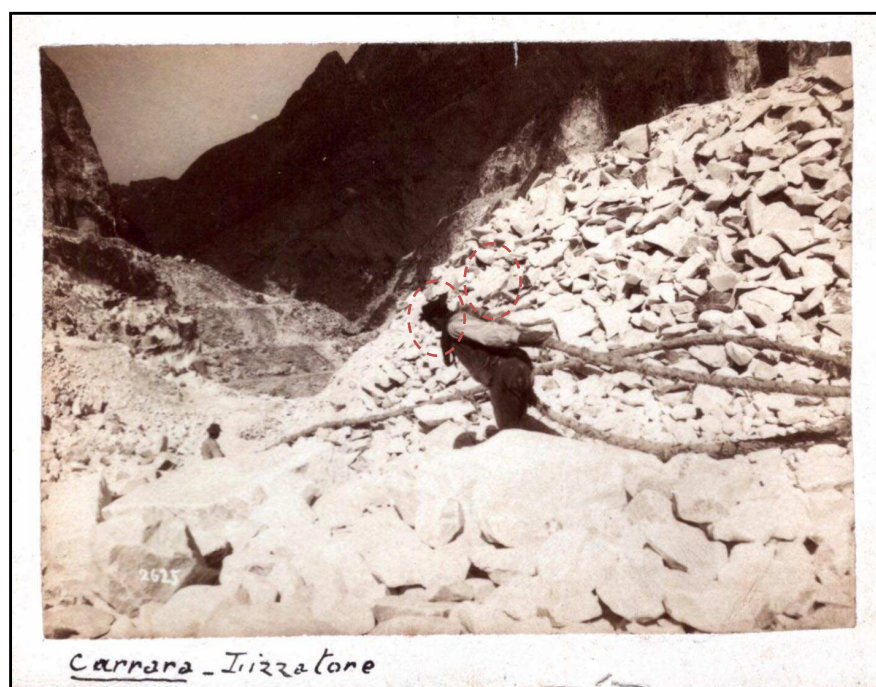


Figura 36: In questa immagine dei primi del 900 possiamo osservare le dimensioni umane rispetto ai clasti messi in posto, a formare un muro a secco (Comune di Carrara, Settore Marmo).

Qui di seguito andremo a descrivere le varie pezzature in ordine decrescente rintracciabili nei ravaneti del comparto estrattivo di Carrara (Figura 37), sulla base della nomenclatura proposta da Baroni *et al.*, (2008) e tramite la dicitura locale.

- Grandi blocchi “*informi*”: Hanno un asse minore con dimensioni maggiori o uguali a 50 cm; sono definiti “*informi*” i blocchi la cui forma irregolare non consente la riquadratura per fini commerciali oppure blocchi di pessima qualità che non vale la pena di riquadrare.
- Media “*pezzame*”: clasti con dimensioni variabili dai 50 ai 30cm.
- “Testa d’uomo” “*sassi*”: clasti di dimensione variabile tra i 30 e i 10 cm (Figura 36).
- Fine: clasti con dimensioni inferiori ai 10 cm.
- Matrici “*terre*”: elementi con dimensioni variabili nell’intervallo che va dalle ghiaie alle argille.



Figura 37: In queste foto possiamo vedere dall'alto in basso: Muri a secco (Fantiscritti), Grandi blocchi derivanti dalle varate (Fossa dei Leoni), Ravaneto moderno con abbondante presenza di matrici "terre" (La Piastra).
Le foto sono state scattate nel mese di marzo 2009.

5.2 Sfruttamento a fini commerciali del ravaneto.

Normative riguardante i ravaneti.

La lavorazione dei ravaneti, come del resto le altre attività di cava, è un tema molto complicato dal punto di vista della sicurezza del lavoro, della sicurezza ambientale e del territorio e infine della compatibilità con altre attività economiche come il turismo. Nel passato la creazione dei ravaneti e lo scarico dei detriti in questi, era un'operazione assolutamente normale, addirittura approvata sui progetti di escavazione presentati alle autorità comunali competenti, infatti le leggi regionali in vigore: Lr 36/1980 e la Lr 78/1998 sulle attività estrattive non ponevano divieti espliciti a queste operazioni, e ad ogni modo anche la normativa nazionale era tale da concedere ampie deroghe. A partire dal 1999 la Conferenza dei Servizi, che rilascia le autorizzazioni allo scavo (ai sensi della LR 78/1998), ha cambiato rotta, autorizzando l'utilizzo dei ravaneti solo come scivolo per lo scarico dei detriti, che in seguito dovranno essere raccolti e trasportati da ditte che provvedono al loro riutilizzo.

Qui di seguito citeremo gli articoli del Testo Unico in materia di cave, torbiere, miniere, recupero di aree escavate e riutilizzo di residui che si occupano di questa tematica (legge regionale n. 78 del 30 novembre 1998, Pubblicata su Bollettino Ufficiale Regionale n. del 12 novembre 1998).

Titolo I

PRINCIPI GENERALI

Art. 01 - Finalità. La Regione favorisce e incentiva il recupero delle aree di escavazione dismesse e in abbandono e il riutilizzo dei residui provenienti dalle attività estrattive e di quelli ad essi assimilabili derivanti da altre attività, anche al fine di minimizzare il prelievo delle risorse non rinnovabili, in relazione agli obiettivi della legge regionale 18 maggio 1998, n. 25 (Norme per la gestione dei rifiuti) e della programmazione in materia.

Art. 02 - Classificazione dei materiali di cava e assimilabili

I materiali di cava sono classificati, in base alla loro destinazione d'uso, in due gruppi:

a) materiali per usi industriali quali calcari, dolomie, pomici, gessi, farine fossili, sabbie silicee, terre coloranti, argille, torbe e materiali per costruzioni e opere civili quali sabbie, ghiaie e altri materiali per granulati, pezzame, conci, blocchetti.

b) materiali ornamentali destinati alla produzione di blocchi, lastre e affini quali marmi, cipollini, arenarie, graniti, sieniti, alabastri, ardesie, calcari, travertini, tufi, trachiti, basalti, porfidi, ofioliti.

2. Ai fini della programmazione dell'attività estrattiva sono assimilabili ai materiali di cava di cui al punto a) del comma 1, i residui, derivanti da altre attività, suscettibili di riutilizzo, definiti dal decreto ministeriale 5 febbraio 1998 (Individuazione dei rifiuti non pericolosi sottoposti alle procedure semplificate di recupero ai sensi degli artt. 31 e 33 del decreto legislativo 5 febbraio 1997, n. 22).

Art. 03 - Definizione

1. Il Piano Regionale delle Attività Estrattive, di Recupero delle aree escavate e di riutilizzo dei residui recuperabili, in seguito denominato PRAER, è l'atto di programmazione settoriale con cui la Regione stabilisce gli indirizzi e gli obiettivi di riferimento per l'attività di pianificazione

in materia di cave e torbiere, di recupero delle aree di escavazione dismesse o in abbandono, nonché di recupero e riciclaggio dei materiali assimilabili di cui al comma 2 dell'art. 2, di competenza delle Province e dei Comuni ferme restando le competenze in materia attribuite agli Enti Parco dalla legislazione vigente.

Quindi il ravaneto cambiava destinazione d'uso e si passa da discarica permanente a scivolo per lo scarico dei detriti, o al limite ne è consentito l'utilizzo per lo stoccaggio temporaneo degli scarti, considerando quale obiettivo primario la stabilità.

Ad ogni modo tutti i detriti dovevano essere in seguito recuperati da ditte che ne prevedano il riutilizzo.

Per incentivare questa attività di recupero vi è inoltre una Sentenza della Corte di Giustizia CE (seconda sezione) dell'11 novembre 2004, la quale ammette che:

“un bene, un materiale o una materia prima, derivante da un processo di fabbricazione o di estrazione che non è principalmente destinato a produrlo, può costituire non un residuo, bensì un sottoprodotto del quale l'impresa non ha intenzione di “disfarsi”... ma che essa intende sfruttare o commercializzare a condizioni per lei favorevoli, in un processo successivo, senza operare trasformazioni preliminari...”

Quindi la sentenza viene in ausilio alle normative vigenti, e incentiva il pieno sfruttamento delle risorse naturali non rinnovabili, cercando di trovare una destinazione d'uso anche a quei materiali ritenuti di “scarto”.

Coltivazione.

La coltivazione dei materiali di scarto, può avvenire in due modi: direttamente nei piazzali di cava rimuovendo i detriti della lavorazione, oppure si può procedere alla rimozione di ravaneti antichi o moderni. Ad ogni modo a fini di conservare e tutelare una memoria storica, sarebbe buona regola non coltivare i resti dei ravaneti storici e delle vie di lizza ad essi connessi.

Alcuni autori inoltre considerano i ravaneti storici come importanti moderatori di portata in caso di precipitazioni intense, infatti si pensa che essi siano in grado di assorbire una notevole quantità di precipitazione rilasciandola gradualmente e quindi rallentando i tempi di corrivazione e indi per cui laminare fenomeni di piena (D'Amato Avanzi & Verani, 1998; D'Amato Avanzi *et al.*, 2008). Tornando alla coltivazione, essa avviene con pale e escavatori e considerando che ci troviamo in una tipologia di “cava” a cielo aperto, sarebbe buona regola aggredire il giacimento dall'alto verso il basso (Zamboni, 1999).

Ai fini di tale affermazione l'A.S.L. numero 1 di Massa Carrara fece stilare dall'Unità Operativa di Ingegneria Mineraria (U.O.I.M.) le seguenti norme di buon utilizzo.

- Stima delle dimensioni della discarica (definire lunghezza, larghezza e area sia su base cartografica sia mediante rilievo in situ.)
- Stima dello spessore della discarica

- Descrizione della litologia (specificare il tipo litologico dei clasti e la natura del fine (terroso, argilloso, limo-sabbioso, ...) con indicazioni sulla maturità del ravaneto (specificare in percentuale sull'area se ossidato, rinaturalizzato da essenze vegetali e se presenta segni di ringiovanimento.)
- Valutazione delle caratteristiche granulometriche del detrito (la granulometria deve essere valutata su più porzioni significative del deposito mediante rilievo in situ. Effettuare inoltre una descrizione dettagliata dell'eventuale stratigrafia con stima dello spessore dei diversi strati (ad ogni strato dovrà corrispondere una descrizione granulometrica). Per i clasti di dimensioni inferiori a 0.2 m si consiglia di applicare le classificazioni normalmente usate in geotecnica, in particolare per le classificazioni in situ si consiglia di adottare le norme del "Code of Practice for Site Investigation", mentre per i clasti di dimensioni maggiori dovrà essere il progettista ad individuare quelle classi che meglio descrivono la tipologia granulometrica del deposito
- Stima della permeabilità del deposito distinta tra parte grossolana e matrice fine e substrato roccioso
- Valutazione dell'angolo di riposo medio del detrito e dell'angolo di riposo massimo del detrito (con estensione area a massima pendenza)
- Descrizione di eventuali evidenze di instabilità (nicchie di frana, massi pericolanti, sbancamenti, segni di erosione, ...) con relativa cartografia.

La rimozione di queste discariche (Figura 38), può portare alla luce parti ingenti, non ancora sfruttate di giacimento che si trovano sepolte sotto tonnellate di detrito. Si stima che circa il 50% dei giacimenti marmiferi carraresi sfruttabili sia sepolto sotto ravaneti (Dino & Fornaro, 2005; Carmignani *et al.*, 2007a).

Quindi per iniziare il recupero sistematico degli scarti è necessario accertarne la fattibilità economica in termini di costi/benefici. I costi sono dovuti principalmente a operazioni di carico, trasporto e trattamento. I benefici devono riguardare invece i proventi di impresa derivanti dalle vendite dei sottoprodotti, i vantaggi ambientali, il risparmio di "risorse non rinnovabili" e l'economia di territorio. Una volta portati via i "sassi" rimangono in situ prodotti provenienti dalla vagliatura di quest'ultimi e dal taglio del materiale lapideo, Zamboni nel 1999 constatò già la presenza del problema, suggerendo che anche queste "terre" dovevano essere rimosse e il materiale lapideo restante in situ doveva essere ripulito da queste.

In seguito Baroni *et al.*, (2000) evidenziarono le conseguenze dell'immissione lungo i versanti di questi residui di vagliatura.



Figura 38: Località Battaglino, mezzi al lavoro per "il recupero del ravaneto".

6 MATERIALI E METODI.

6.1 Raccolta e analisi dei documenti cartografici.

Il processo che ha portato alla ricostruzione dei perimetri e quindi delle superfici dei ravaneti e di alcuni volumi di discariche selezionate, ha comportato varie fasi di lavoro. In primo luogo è stato necessario recuperare la cartografia esistente rappresentate i bacini marmiferi carraresi. Qui di seguito proponiamo l'elenco della cartografia individuata e reperita ai fini del nostro lavoro.

Materiale già presente in formato digitale:

- Carta IGM Foglio 96 della Carta d'Italia III NE (Monte Sagro) scala 1:25000 Levata 1878
- Carta IGM Foglio 96 della Carta d'Italia III SE (Massa) scala 1:25000 Levata 1878
- Carte dell R. Corpo delle Miniere Regione Marmifera Carrarese Tavole: I II III V VI VII VIII X XI XII XIV XV XVI XVII XVIII XX scala 1:2000 rilevate da P. Fossen 1886 1887 (Figura 39)
- Carta IGM Foglio 96 della Carta d'Italia III NE (Monte Sagro) scala 1:25000 Levata 1878 aggiornamento 1911
- Carta IGM Foglio 96 della Carta d'Italia III SE (Massa) scala 1:25000 Levata 1878 aggiornamento 1911
- Carta IGM Foglio 96 della Carta d'Italia III NE (Monte Sagro) scala 1:25000 Levata 1878 aggiornamento 1928
- Carta IGM Foglio 96 della Carta d'Italia III SE (Massa) scala 1:25000 Levata 1878 aggiornamento 1928

- Carte del Comune di Carrara Fogli 20 21 22 27 28 scala 1:2000 anno 1966
- CTR Regione Toscana elemento 249060 scala 1:10000 anno 2003
- CTR Regione Toscana elemento 249100 scala 1:10000 anno 2003
- Carta delle tipologie merceologiche dei ravaneti elementi 249060 249100 scala 1:10000 redatta dalla Università di Siena Centro di Geotecnologie 2007 basata sui CTR 2003.
- Carta geomorfologica dei bacini marmiferi di Carrara 2007 elementi 249060, 249100.

Materiale in formato cartaceo poi successivamente scansionato:

- CTR Regione Toscana elemento 249062 (Monte Sagro) scala 1:5000 anno 1975
- CTR Regione Toscana elemento 249063 (Gragnana) scala 1:5000 anno 1975
- CTR Regione Toscana elemento 249101 (Colonnata) scala 1:5000 anno 1975
- CTR Regione Toscana elemento 249104 (Carrara) scala 1:5000 anno 1975
- Carte del Comune di Carrara Fogli 10 11 12 14 15 16 17 scala 1:2000 anno 1980
- Carte del Comune di Carrara Fogli 10 11 12 14 15 16 17 20 21 22 27 28 scala 1:2000 anno 1987

Il materiale sopra citato è stato fornito gentilmente dai seguenti enti:

Comune di Carrara, Settore Ambiente.

Comune di Carrara, Settore Marmo.

Comune di Carrara, Settore Urbanistica

Unità Operativa di Ingegneria Mineraria (U.O.I.M.) dell' ASL 1 di Massa e Carrara

Provincia di Massa e Carrara, Ufficio SIT.

La gestione del materiale reperito in formato cartaceo ha comportato una fase preliminare di trasformazione in digitale. Questo è avvenuto tramite scansione, con risoluzione 300 dpi. Tutto il materiale scansionato, è stato quindi oggetto di operazioni di elaborazione delle immagini. Questo si è reso necessario ai fini di correggere imperfezioni dovute alla scansione e all'usura del tempo, inoltre abbiamo rimosso parti che non presentavano topografia. Tutte le operazioni di elaborazione delle immagini sono state eseguite tramite il software Corel Draw v. 13.

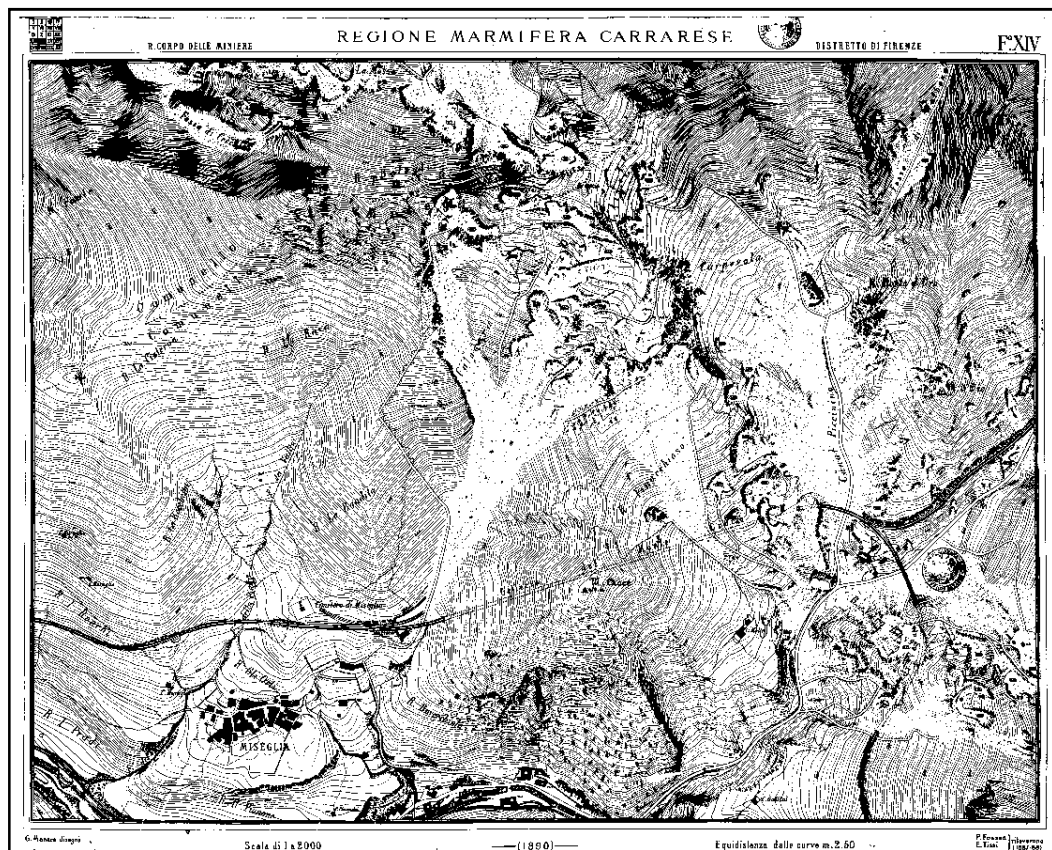


Figura 39: Foglio 14 carta Fossen e Tissi (Monte Betogli).

6.2 Informatizzazione dati (G.I.S.).

Lo sviluppo di questa tesi trova come base la gestione di numerose informazioni cartografiche ottenute da dati geografici rilevati nel corso di 3 secoli. Per una corretta e agevole gestione di tutti questi dati è stato necessario avvalersi di un Sistema Informativo Geografico (G.I.S.).

Un G.I.S. si avvale di diversi modelli di dati al fine di gestire le informazioni geografiche, durante lo svolgimento del lavoro di tesi ci siamo trovati così a gestire informazioni cartografiche sia di natura *Vector* che *Raster*, qui di seguito spiegheremo brevemente il significato di questi termini.

Vector:

La cartografia vettoriale prevede una rappresentazione di tutti gli elementi territoriali sotto forma di semplici primitive (*feature*). Le primitive geometriche di base che gestiscono questo formato sono: punti, linee e aree

Punti: Il punto in un formato vettoriale è rappresentato da una coppia numerica che ne stabilisce la posizione nello spazio. Gli oggetti che siano singoli o riuniti in gruppi devono essere distinguibili gli uni dagli altri, in virtù di ciò, ad ogni oggetto viene assegnato un codice numerico univoco (Chirici, 2005).

Linee: Questo elemento è gestito come un insieme di punti. Quindi i punti che compongono la linea sono gestiti come singoli punti, mentre la linea ha un indicatore univoco di riconoscimento (Chirici, 2005).

Aree: Un'area è rappresentata come una linea in cui la coordinata del primo e dell'ultimo punto coincidono. Le aree hanno specifiche necessità gestionali rispetto a punti o linee, infatti non tutte le linee chiuse costituiscono obbligatoriamente un'area(Chirici, 2005).

Raster.

Nella cartografia raster lo spazio geografico è rappresentato sotto forma di matrice numerica composta da un certo numero di righe e colonne. La cella formata dall'intersezione prende il nome di pixel (*picture element*), essa rappresenta l'unità minima e indivisibile della matrice (Chirici, 2005). Questa si presenta georeferenziata, ed il suo contenuto informativo è rappresentato dal valore numerico del pixel. Un'immagine di tipo raster può essere di due tipi:

Quantitativa: ciò si verifica nel caso in cui i valori della matrice siano espressi in una determinata unità di misura, e risultano frutto di misure o stime.

Qualitativi: qui i valori numerici non rappresentano variabili continue, ma bensì classi discrete, le quali raggruppano pixel aventi le medesime caratteristiche. Un discorso a parte va fatto per le *immagini derivanti da scansione* dove valori numerici memorizzati nei pixel hanno la natura di dati quantitativi anche senza avere un significato fisico diretto.

I dati descritti (*Vector-Raster*) per lavorare correttamente all'interno di un G.I.S. devono essere collocati esattamente nello spazio, quindi il *software* richiederà che tutto il materiale inserito sia georeferenziato in un sistema di riferimento reale, oppure il sistema operativo ne creerà uno fittizio. Passeremo adesso a descrivere brevemente le procedure utilizzate per georeferenziare i dati. Possiamo considerare questa una delle fasi più importanti per la buona riuscita del lavoro. La georeferenziazione è la procedura con cui viene trasformato il sistema di coordinate di un dataset vettoriale, o più comunemente di un'immagine raster. Quest'operazione si rende necessaria in modo tale che i dati prodotti da diversi operatori possano essere immediatamente integrati tra di loro. Il processo può assumere due direzioni; nel caso in cui ci troviamo di fronte ad una carta con sistema noto e vogliamo portarla in un altro sistema, oppure nel caso in cui la carta inserita in un G.I.S., non possieda un ben precisato sistema cartografico. Nel primo caso il software correttamente istruito provvederà a calcolare le nuove coordinate. Il nostro caso non ha previsto quest'operazione, considerando che abbiamo adoperato per tutte le fasi di georeferenziazione le CTR 249060 249100 scala 1:10000 della regione Toscana già riferite al Sistema Geodetico Nazionale Roma 40 in coordinate Gauss Boaga, Fuso Ovest.

Nel secondo caso in cui fra le coordinate non è nota una funzione di passaggio questa deve essere creata appositamente, tramite l'acquisizione di un numero (per la Regione Toscana sono 16) di punti di controllo (GCP – *Ground Control Point*) con coordinate note comuni alle due carte (Dainelli *et al.*, 2008).

Quindi si valuterà la qualità della georeferenziazione applicando la funzione di passaggio ai G.C.P., dove il *software* calcolerà lo scarto quadratico medio (RMSE *Root Mean Square Error*) tra la coordinata nota e quella assegnata. Nel nostro caso la procedura di georeferenziazione è stata eseguita tramite il software ArcMap e ha rispettato i seguenti criteri. Per le carte datate 1966 e anni successivi, sono state assegnate inizialmente le coordinate dei 4 vertici. Nel caso in cui la distorsione dovuta al processo di georeferenziazione avesse determinato un errore non trascurabile (scarto quadratico medio > 2), era necessario individuare

nuovi punti di controllo: cime, opere architettoniche e nodi del reticolo chilometrico. Tale necessità si è verificata con maggior preponderanza nel caso in cui il materiale cartografico presentava uno stato di conservazione non ottimale.

L'individuazione di un numero sempre crescente di punti di controllo ha permesso di poter applicare correzioni al materiale in fase di georeferenziazione tramite polinomi di 1° 2° e 3°.

Per le carte antecedenti al 1966 è doveroso fare una distinzione. Il materiale si suddivide in sei carte dell'IGM scala 1:25.000 e in 16 carte scala 1:2.000 (vedere elenco). Le carte alla scala 1:25.000 hanno richiesto una grado di attenzione particolarmente alto visto e considerato il rapporto di scala; inoltre a questo si aggiunge il grado di conservazione non ottimale. A parte ciò, abbiamo tentato di essere il più accurati possibili, cercando elementi architettonici presenti all'epoca e tutt'ora esistenti i quali sono stati adibiti a punti di controllo a terra. Ben altra situazione si è presentata per i 16 fogli rilevati da P. Fossen e E. Tissi e disegnati da G. Manara per conto dell' allora Reale Corpo delle Miniere (Pandolfi *et al.*, 2003).

Queste carte sono state rilevate fra il 1886 e il 1887 e stampate nel 1892, hanno curve di livello con equidistanza 2,50 m e presentano un eccezionale bellezza topografica, inoltre sono ricche di dettagli e riferimenti toponomastici oggi non più segnalati sul territorio comunale (Pandolfi *et al.*, 2003).

Quindi anche se il lavoro di georeferenziazione di queste carte non è stato per nulla semplice visto il secolo che ci separa, il quale ha mutato profondamente i luoghi cartografati, il prodotto finale una volta georeferenziato ha fornito un risultato veramente soddisfacente non di molto inferiore alla cartografia recente. Questa testimonia la grande qualità del prodotto cartografico allora redatto. Al termine delle operazioni di georeferenziazione troviamo un errore attorno a 1 metro sulle carte datate 1966 e successive, per quanto riguarda la "carta del Fossen" l'errore è stimato attorno ai 2 metri.

6.3 Struttura dei dati.

Eseguita la fase di georeferenziazione, abbiamo focalizzato l'attenzione sulla struttura dei dati. Il popolamento di una banca dati deve avere come scopo l'uso dei dati e non il solo immagazzinamento. Per rendere quindi gestibile il sistema da più utenti possibili si dovrebbe porre delle gerarchie e relazioni tra tabelle e *features* create.

Con tabella intendiamo una matrice, costituita da un certo numero di righe (record) e di colonne (campi). Nei campi riporteremo gli attributi qualitativi o quantitativi descrittivi di ogni elemento (record) considerato. Ogni campo è identificato da un nome, in una stessa tabella non possono esistere due campi con lo stesso nome. E' stata così ideata una prima tabella riferita ai bacini marmiferi, con numero progressivo del bacino e rispettivo nome, e una seconda tabella, per i ravaneti con numero progressivo e nome. Causa aumenti progressivi delle superfici dei ravaneti è stato necessario porre il seguente vincolo. Nel caso in cui due entità distinte diventino un unico corpo, si assegnava un nuovo numero progressivo, mentre il nome dato al singolo ravaneto, nel momento di unione di due o più corpi diventava la somma dei nomi. Passando adesso a descrivere la procedure di digitalizzazione dei ravaneti al fine del calcolo delle aree possiamo dire che: in primo luogo abbiamo creato un database denominato Progetto_ravaneti, nel quale sono state inserite informazioni ed entità atte alla procedura di

digitalizzazione (Punti, Linee, Poligoni). Abbiamo creato così *feature class* di tipo lineare, per ogni anno di cui si possedeva la cartografia. A questo punto abbiamo iniziato a digitalizzare i vari ravaneti presenti sulle diverse serie cartografiche sotto forma di elementi lineari. Una volta terminata la fase di digitalizzazione, abbiamo creato una *Feature class* di carattere puntuale al fine di assegnare informazioni all'elemento disegnato. All'elemento puntuale sono stati così assegnati degli attributi quali, bacino di appartenenza e numero progressivo del ravaneto in quel determinato anno. Assegnato il centroide a ogni elemento, abbiamo eseguito il controllo topologico. Questo è stato eseguito al fine di segnalarci ogni fattore da noi selezionato tale poi da essere rimosso o corretto, onde evitare problematiche nelle fasi successive. Così fatto abbiamo creato i poligoni che hanno indicato le aree dei ravaneti digitalizzati nel susseguirsi degli anni. Il calcolo delle aree è stato fatto su ogni serie cartografica fatta eccezione di quelle 1:25.000 dove l'area trovata non sono state utilizzate a fini statistici, ma solo e unicamente come presa visione dell'esistenza di un determinato ravaneto nell'anno di levata o aggiornamento della carta.

6.4 Modello 3D per il calcolo dei volumi.

Nell'ambiente di lavoro G.I.S. è possibile eseguire operazioni di vario genere tra cui la stima del volume di un qual si voglia corpo. La stima dei detriti presenti in discarica è stata eseguita procedendo nel seguente modo: inizialmente abbiamo delimitato la massima area d'espansione del ravaneto e all'interno di quella superficie abbiamo digitalizzato le isoipse rilevate nelle varie levate. Questa procedura è stata applicata al fine di ridurre l'area di digitalizzazione e indi per cui limitare al minimo i possibili errori di digitalizzazione. Alle isoipse così acquisite abbiamo assegnato la rispettiva quota altimetrica. L'operazione così svolta ha fornito la base per creare un modello 3D del terreno. Il primo passo dopo questa operazione è stato quello di creare un TIN (*Triangular Irregular Network*) del terreno per ogni anno disponibile, procedura che come si evince dal nome prevede la creazione di una maglia irregolare di triangoli adiacenti (Dainelli *et al.*, 2008). Eseguita questa operazione potremmo eseguire la differenza di volume fra due livelli informativi aventi età diverse e indi per cui ottenere il volume del ravaneto totale se il primo modello del terreno non presenta ravaneto, o parziale nel caso in cui vi sia già una discarica presente con riferimenti altimetrici. Oltre a questa metodologia abbiamo affrontato il problema tramite operazioni di *map algebra*. Per eseguire qual si voglia operazione di questo genere occorre convertire i TIN in DEM (*Digital Elevation Model*), questi ultimi sono dati *raster* quantitativi, dove ad ogni pixel viene attribuita una quota. Durante questa operazione possiamo attribuire la grandezza dei pixel, più piccolo sarà maggiore sarà l'accuratezza del modello. Questa operazione viene eseguita per rendere il dato continuo e generalizzato sull'intera superficie (Dainelli *et al.*, 2008). Possedendo adesso il D.E.M. per ogni levata in tutte le discariche analizzate possiamo passare a calcolare il materiale accumulato. In questo caso abbiamo eseguita la procedura proposta da Price 2004. Eseguito il Menu presente in ArcGis, *Surface Analysis > cut/fill*. Questo fornirà un nuovo livello informativo dove verranno evidenziati: *net loss* in blu gli scavi e *net gain* in rosso i riporti. Il dato ottenuto dai due sistemi risulta concordante anche se si possono apprezzare lievi differenze.

6.5 Raccolta ed analisi dei campioni.

Campionamento.

Il campionamento previsto all'interno della tesi è stato focalizzato al recupero delle matrici presenti nel ravaneto. Questa procedura è stata fatta la fine di classificare e osservare le possibili differenze granulometriche e di comportamento tramite i limiti di Atterberg in vari depositi riscontrabili nei bacini marmiferi Carraresi. E' di uso comune chiamare queste matrici "terre", anche se improprio, in questo caso vista la natura del materiale, possiamo comunque intendere con questa parola un corpo formato da granuli non legati tra loro o che possono essere separati tramite modeste sollecitazioni. Le operazioni di campionamento hanno avuto luogo in vari settori del bacino marmifero carrarese. Le matrici campionate, sono state prelevate fra i clasti che compongono i primi 50 cm del corpo detritico, inoltre sono stati prelevati i residui del *cutting* delle macchine da cava. Qui di seguito riporteremo l'elenco dei punti di campionamento, con una breve descrizione del luogo basata sulla carta geomorfologica dei bacini marmiferi di Carrara redatta da Baroni *et al.*, (2008), oltre a ciò segnaleremo in carta l'ubicazione dei medesimi (Allegato 2). Oltre a questa mostreremo i punti di prelievo sul CTR scala 1:10000 con evidenziate le superfici dei ravaneti 1886-1887 e 2008 (Allegato 1).



Figura 40: *Cutting* di una macchina perforatrice Figura 41: *Cutting* prodotto dal filo diamantato.



Figura 42: Matrice presente in un ravaneto moderno (Canal Piccino)

Figura 43: Matrici di un ravaneto antico (Canal Piccino Piazzale di cava)

- 20/11/08 1 Ravaneto Canal Piccino (Antico piazzale di cava) (Figura 43)
- 20/11/08 2 Ravaneto Canal Piccino (Antico piazzale di cava)
- 20/11/08 3 Ravaneto Canal Piccino (Antico piazzale di cava)
- 20/11/08 4 Ravaneto Canal Piccino (Antico piazzale di cava)
- 20/11/08 5 Ravaneto Canal Piccino (Antico piazzale di cava)
- 20/11/08 6 Ravaneto Canal Piccino (Antico piazzale di cava)
- 20/11/08 7 Ravaneto Canal Piccino (Ravaneto a testa d'uomo con presenza di matrice)
- 20/11/08 8 Ravaneto Canal Piccino (Ravaneto a testa d'uomo con presenza di matrice)
- 20/11/08 9 Ravaneto Canal Piccino (Ravaneto a grandi blocchi)
- 20/11/08 10 Ravaneto Canal Piccino (Ravaneto a grandi blocchi)
- 20/11/08 11 Ravaneto Canal Piccino (Ravaneto a grandi blocchi, deposito alluvionale)
- 20/11/08 12 Ravaneto Canal Piccino (Ravaneto a grandi blocchi)
- 16/01/09 17 Ravaneto Canal Piccino (Ravaneto moderno) (Figura 43)
- 16/01/09 16 Ravaneto Canal Grande (Ravaneto moderno coltivato)
- 16/01/09 13 Ravaneto Canal Grande (Ravaneto moderno, zona distacco debris flow)
- 16/01/09 14 Ravaneto Canal Grande (Vaglio)
- 16/01/09 15 Ravaneto Canal Grande (Ravaneto moderno)
- 14/02/09 18 Ravaneto Fossa del Cardellino (Ravaneto a testa d'uomo presenza di matrice)
- 14/02/09 19 Ravaneto Fossa del Cardellino (Ravaneto a testa d'uomo presenza di matrice)
- 14/02/09 20 Ravaneto Fossa del Cardellino (Ravaneto moderno, deposito alluvionale)
- 14/02/09 21 Ravaneto Fossa Cobiato (Ravaneto moderno)
- 14/02/09 22 Ravaneto Fossa Cobiato (Ravaneto moderno)
- 14/02/09 23 Ravaneto Fossa Cobiato (Vaglio)
- 15/02/09 24 Ravaneto Belgia (Ravaneto moderno, zona distacco debris flow)
- 15/02/09 25 Ravaneto Belgia (Ravaneto grandi blocchi)
- 15/02/09 26 Ravaneto Belgia (Vaglio)
- 15/02/09 27 Ravaneto La Farnesina (Piazzale di cava, materiali fini)
- 15/02/09 28 Ravaneto La Farnesina (Piazzale di cava, materiali fini)
- 20/02/09 29 Ravaneto Campanili (Ravaneto a testa d'uomo presenza di matrice)
- 20/02/09 30 Ravaneto Campanili (Ravaneto antico con presenza di arbusti)
- 20/02/09 31 Ravaneto Querciolaia (Ravaneto a testa d'uomo)
- 20/02/09 32 Ravaneto Pizzagallo (Ravaneto a grandi blocchi, presenza di matrice fine)
- 23/02/09 33 Ravaneto Il Canalone (Tagliatrice a catena)
- 23/02/09 34 Ravaneto Il Canalone (Filo diamantato)
- 23/02/09 35 Ravaneto Il Canalone (Macchina perforatrice)

- 23/02/09 36 Ravaneto Il Canalone (Ravaneto a grandi blocchi, presenza di matrice fine)
- 23/02/09 37 Ravaneto Il Canalone (Ravaneto a testa d'uomo)
- 28/02/09 38 Ravaneto Boccanaglia (Ravaneto a testa d'uomo)
- 28/02/09 39 Ravaneto Crestola (Ravaneto a testa d'uomo, con presenza di terre riportate)
- 28/02/09 40 Ravaneto Crestola (Ravaneto a testa d'uomo, con presenza di terre riportate)
- 28/02/09 41 Ravaneto Crestola (Ravaneto a testa d'uomo, con presenza di terre riportate)
- 28/02/09 42 Ravaneto Belgia-Mortarola (Ravaneto inattivo con presenza di vegetazione)
- 28/02/09 43 Ravaneto Mortarola (Deposito alluvionale)
- 28/02/09 44 Ravaneto Calocara (Ravaneto moderno)
- 17/03/09 45 Ravaneto Crestola (Filo diamantato)
- 17/03/09 46 Ravaneto Crestola (Tagliatrice a catena)
- 17/03/09 47 Ravaneto Crestola (Macchina perforatrice) (Figura 40)
- 17/03/09 48 Ravaneto Calocara (Filo diamantato) (Figura 41)
- 17/03/09 49 Ravaneto Calocara (Tagliatrice a catena)
- 17/03/09 50 Ravaneto Calocara (Macchina perforatrice)

Le fasi di campionamento, inizialmente eseguite sia su ravaneti attivi sia dismessi sono state volte al fine di raffrontare le matrici presenti. Tutte le matrici sono state campionate nei primi 50 cm di spessore del deposito. Nelle zone di prelievo abbiamo riscontrato la presenza di matrice negli interstizi presenti fra un clasto e l'altro. In seguito al campionamento del ravaneto siamo passati a campionare l'area sorgente di queste matrici, e nella fattispecie i *cutting* delle macchine operanti nel piazzale di cava. Qui sono stati raccolti prodotti provenienti dal taglio di macchine a filo diamantato, tagliatrici a catena, perforatrici e il materiale proveniente dalla vagliatura dei detriti per utilizzarli a fini commerciali. Per terminare il campionamento abbiamo inoltre pensato di eseguire il recupero di alcuni campioni trasportati dal ruscellamento di acque piovane, in punti dove vi potesse essere accumulo, ai fini di individuare la parte più fine proveniente dalle aree di cava e dai ravaneti. Tutti questi materiali sono stati successivamente oggetto di prove granulometriche e nei casi in cui era possibile sono state sottoposte, alla individuazione dei limiti di Atterberg.

6.6 Analisi Granulometrica.

Lo scopo dell'analisi granulometrica è quello di raggruppare, in classi di grandezza, le particelle che costituiscono un terreno, e quindi di individuare le percentuali in peso secco del campione iniziale. La normativa ASTM (American Society for Testing and Materials), ci fornisce indicazioni su come eseguire queste suddivisioni per classi, mentre la normativa USCS riportata in Italia nelle raccomandazioni AGI (1977) suddivide le particelle caratterizzanti il terreno in determinate classi a secondo dei loro diametri.

- Ciottoli ϕ (diametro delle particelle) > 60 mm
- Ghiaia 60 mm - ϕ - 2 mm
- Sabbia 2mm - ϕ - 0.06 mm
- Limo 0.06 mm- ϕ -0.002 mm
- Argilla $\phi <0.002$ mm

Quindi tramite analisi granulometrica siamo riusciti a classificare le varie matrici raccolte. Secondo la norme AGI (1977) in base alle classe granulometrica con percentuale maggiore abbiamo dato il nome al terreno, seguita dalle successive classi con l'aggiunta del suffisso con se $>25\%$, oso tra 15% e 25%, debolmente oso tra 5% e 15%, nessuna dizione $<5\%$.

Passeremo a descrivere brevemente le due procedure eseguite al fine dell'analisi granulometrica.

Granulometria per vagliatura (ci permette di classificare i terreni in cui le particelle costituenti hanno un diametro >0.075 mm).

Granulometria per sedimentazione (ci permette di classificare i terreni in cui le particelle costituenti hanno un diametro <0.075 mm).

Granulometria per vagliatura.

Questa operazione si esegue tramite una serie di setacci, di apertura decrescente, che vengono sovrapposti e fatti vibrare (Figura 44), in modo da separare i granuli e dividerli in frazioni di dimensioni pressoché uguali, ciascuna trattenuta al corrispondente setaccio.

La preparazione del campione, consiste nel prendere un campione significativo del terreno da analizzare e quindi successivamente metterlo in stufa ad una temperatura di 110° C per 24 h, in modo da eliminare tutta l'acqua presente nel terreno. Successivamente il campione secco viene pesato e quindi si procede a setacciatura.

La setacciatura viene eseguita tramite una pila di setacci aventi maglie costituite da fili di acciaio più o meno fittamente incrociate, in modo da realizzare aperture quadrate di determinate dimensioni, con aperture decrescenti. Nel nostro caso si partiva con apertura massima di 25 mm e di seguito venivano posti setacci con le seguenti aperture: 12.5 mm, 6,3 mm, 2 mm, 1 mm, 0,425 mm, 0,250 mm, 0,150 mm, 0,106 mm fino ad un minimo di 0.075 mm. Terminata l'operazione di setacciatura, questa si conclude quando non si verifica più il passaggio di materiale dal singolo setaccio sottoposto a sollecitazioni meccaniche, si procede a pesare ogni singolo setaccio in modo da avere i pesi lordi di ogni singola frazione. Dopo di che

si procede all'eliminazione delle tare precedentemente pesate, ottenendo così i pesi netti. Avendo così le percentuali di trattenuto possiamo ottenere la percentuale di terreno passante ad ogni singolo setaccio.

Le informazioni ottenute vengono poste sotto forme di curve in un grafico avente sull'asse delle ascisse (in scala logaritmica) i diametri dei granuli ed in ordinate la percentuale di passante. (Colombo *et al.*, 1996)



Figura 44: Setacciatura.

Granulometria per sedimentazione.

La seguente prova permette di determinare la distribuzione granulometrica del terreno le cui particelle presentano diametro dei granuli inferiori a 0.075 mm, legando la velocità di sedimentazione di una particella in sospensione al diametro della stessa. La deposizione delle singole particelle presenti in un fluido è caratterizzabile tramite velocità di sedimentazione V_s ; questa se diretta verticalmente, è definita dalla legge di Stokes :

$$V_s = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{1800 \eta L} d^2$$

Essa dipende dal diametro d della particella, dal suo peso per unità di volume γ_s , dal peso per unità di volume del fluido γ_w e dalla costante di viscosità di quest'ultimo ηL .

Eseguendo misure di densità a diversi intervalli di tempo e conoscendo il peso specifico dei grani è possibile ricavare il diametro equivalente e la percentuale in peso delle particelle rimaste in sospensione e quindi aventi diametro equivalente inferiore a quelle sedimentate. Utilizzando questi dati è così possibile completare la curva granulometrica.

La prova consiste nel misurare la velocità di caduta delle particelle, vale a dire il tempo che la singola particella impiega per percorrere una determinata distanza. Quindi dopo un opportuno trattamento che evita la formazione di aggregati di particelle, il materiale viene versato in un

cilindro di deposizione, nel quale in diversi istanti temporali si misura la densità della soluzione utilizzando un densimetro graduato. Nella fattispecie abbiamo adoperato un volume d'acqua pari a 250 ml nel quale veniva versata una soluzione anti flaucculante composta da 8.7 g di sodio esametafosfato (NaPO_3)₆ e 1.75 g di sodio carbonato anidro Na_2CO_3 . In questa soluzione venivano posti a sedimentare 10 g di frazione passante a 0.075 mm. Il tutto veniva opportunamente mescolata per 15 minuti, dopo di che si procede ad eseguire misurazioni con il densimetro a intervalli di tempo regolari, sino alla totale sedimentazione del tutto. Nel nostro caso, abbiamo effettuato questa prova su tutti i campioni che mostravano un passante maggiore del 10% all'ultimo setaccio, le misure densimetriche sono state eseguite nei seguenti intervalli di tempo: 0, 30'', 1', 2', 3', 5', 10', 15', 30', 1, 2, 4, 8 e 24. Ottenuto le misure abbiamo potuto correlare le densità con i tempi di sedimentazione, e ottenere così la curva granulometrica per l'intervallo che va da 0.075 mm a 0.002 mm. Tutte le procedure hanno seguito le raccomandazioni AGI (1977).

6.7 Limiti di Atterberg.

I limiti di Atterberg sono i valori del contenuto d'acqua che caratterizzano convenzionalmente i passaggi di una terra coesiva dal comportamento liquido a quello plastico (limite di liquidità W_L) e dallo stato plastico a quello semisolido (limite di plasticità W_p). A queste variazioni di stato possiamo abbinare una variazione della risposta deformazionale del terreno. I limiti vengono determinati sulla frazione di terra passante al setaccio ASTM (American Society Standard Material) 40 ovvero 0.425mm (Colombo *et al.*, 1996).

Limite liquido (W_L).

Il limite di liquidità si determina tramite l'utilizzo del cucchiaio di Casagrande e si esegue secondo le seguenti modalità. Si crea un impasto con materiale passante al setaccio n. 40 (0.425 mm) e acqua distillata. L'impasto viene successivamente disposto a strati nel cucchiaio e una volta riempito si procede a praticare un solco nella zona centrale con una apposito utensile. Il cucchiaio viene quindi lasciato cadere ripetutamente, a intervalli di tempo regolari, da un'altezza prefissata su una base di materiale standardizzato e vengono contati i colpi necessari a far richiudere il solco. Viene così prelevata una porzione di campione e pesato. La procedura viene ripetuta più volte variando la quantità di acqua nell'impasto, in modo tale da ottenere la chiusura del solco con un numero sempre maggiore di colpi.

I valori del contenuto d'acqua in funzione del numero di colpi vengono poi ricalcolati ad un corrispondente pari a 25 colpi che rappresenta convenzionalmente il limite liquido, W_L . Questo ricalcolo viene eseguito inserendo in un grafico sulle ascisse il numero di colpi e in ordinate la percentuale del contenuto d'acqua. Dopo di che si farà passare una linea di tendenza per i tre punti, e tramite l'equazione di questa retta si otterrà il W_{L25} .

Limite plastico (W_p).

Il limite plastico, W_p , è il contenuto d'acqua in corrispondenza del quale il terreno perde il suo comportamento plastico. Questo parametro viene determinato prelevando del materiale impiegato per eseguire l'ultima prova tramite il cucchiaio di Casagrande. Si formeranno manualmente dei cilindri di dimensioni attorno ai 3 mm di diametro. Questi cilindri vengono fatti rotolare su una lastra di materiale poroso fino a quando non incominciano a fessurarsi, per perdita progressiva d'acqua. Quindi andranno pesati ed inseriti in stufa fino alla totale perdita d'acqua, quindi saranno nuovamente ripesati dopo 24 ore, tempo necessario alla totale essiccazione, per la valutazione del contenuto in acqua. Generalmente si fanno 3 determinazioni e si assume come W_p il valor medio.

Indice di plasticità (IP).

Questo indice (Tabella 4) si ottiene per differenza del limite di liquidità W_L e del limite di plasticità W_p , e indica il campo di contenuto d'acqua nel quale il terreno è allo stato plastico.

$$IP = W_L - W_p$$

Questo consiste nel fatto che un terreno può essere deformato o rimaneggiato senza cambio di volume o senza fessurarsi.

Il valore di IP cresce con la percentuale di argilla

<i>IP</i>	<i>Terreno</i>
0-5	Non plastico
5-15	Poco plastico
15-40	Plastico
>40	Molto plastico

Tabella 4: Indice di Plasticità.

La valutazione di tale indice riveste importanza in quanto alcune terre possono cambiare molto rapidamente le proprie caratteristiche per un aumento relativamente piccolo del contenuto d'acqua, infatti possiamo osservare come terre con indice di plasticità molto piccolo pur presentando un limite di liquidità medio, possono modificare velocemente le proprie caratteristiche. Al contrario i terreni con elevata percentuale di elementi fini (contenenti più del 30% di elementi inferiori a 2 micron) ed il cui indice di plasticità risulta elevato sono poco permeabili e richiedono un considerevole aumento del contenuto d'acqua per cambiare di consistenza, ma per contro se il loro contenuto d'acqua naturale è troppo elevato non potranno essere utilizzate ai fini di utilizzi edili (Facciorusso *et al.*, 2008).

7 RISULTATI.

7.1 Valutazione della produzione dei detriti.

Durante il nostro lavoro di tesi ci siamo confrontati con le variazioni areali dei ravaneti, ma quanto materiale potrebbe essere accumulato nei quattro bacini?

Noi nel nostro lavoro abbiamo provato a valutare le tonnellate di detriti accumulate nei bacini in base alle stime o ai dati reali raccolti da vari autori sulla produzione di materiale lapideo.

Sappiamo che per cavare del materiale lapideo abbiamo un certo quantitativo di materiale inutilizzabile a fini ornamentali. Quindi partendo da una base bibliografica abbiamo assegnato il 90% di detrito rispetto all'estratto per i materiali sicuramente cavati con grande varata e 80% al materiale lapideo cavato con il filo elicoidale (Pandolfi *et al.*, 1989; Zaccagna, 1905).

In seguito partendo da gli anni "70", periodo in cui sono stati introdotti i nuovi mezzi da taglio, ad oggi abbiamo assegnato il 70% di scarto rispetto al volume estratto. Sulla base dei dati raccolti da Jervis (1862), abbiamo stimato i detriti dal 1838 al 1858, calcolandoli sulla base della lavorazione a grande varata. Sulla base dei dati raccolti da Pandolfi (1989) abbiamo stimato i detriti dal 1874 al 1987. Questi dati sono stati elaborati sulla base di tre lavorazioni: 1874-1895 varata, 1895-1970 filo elicoidale, 1970-2005 lavorazioni attuali.

La scelta di questi intervalli è stata così fatta: il filo elicoidale entrò in funzione per la prima volta nel 1895 e la varata fu proibita nel 1894, per quanto riguarda il 1970 non esiste alcun documento che ci dica realmente quando il filo fu dismesso in tutte le cave, ma si sa che negli anni "70" entrarono in funzione le macchine a filo diamantato e le tagliatrici a catena (Gemignani *et al.* 2004; Pandolfi *et al.* 1987; Zaccagna 1905).

Quindi alla luce di ciò abbiamo calcolato 136.000.000 ton di detriti prodotti dal 1838 al 2005 distribuiti all'interno dell'agro marmifero carrarese. Questo dato non considera ad ogni modo il prelievo in atto, questo è dovuto alla mancanza di dati riguardanti questo fenomeno. Una precedente pubblicazione di Coli *et al.*, 2000 stimava 80.000.000 ton di detrito. Proponiamo l'immagine con la stima dei detriti nel tempo (Figura 45).

- 1838-1894: 3.597.788 ton di marmo estratto
- 1895-1970: 16.160.752 ton di marmo estratto.
- 1971-2005: 28.828.267 ton di marmo estratto.

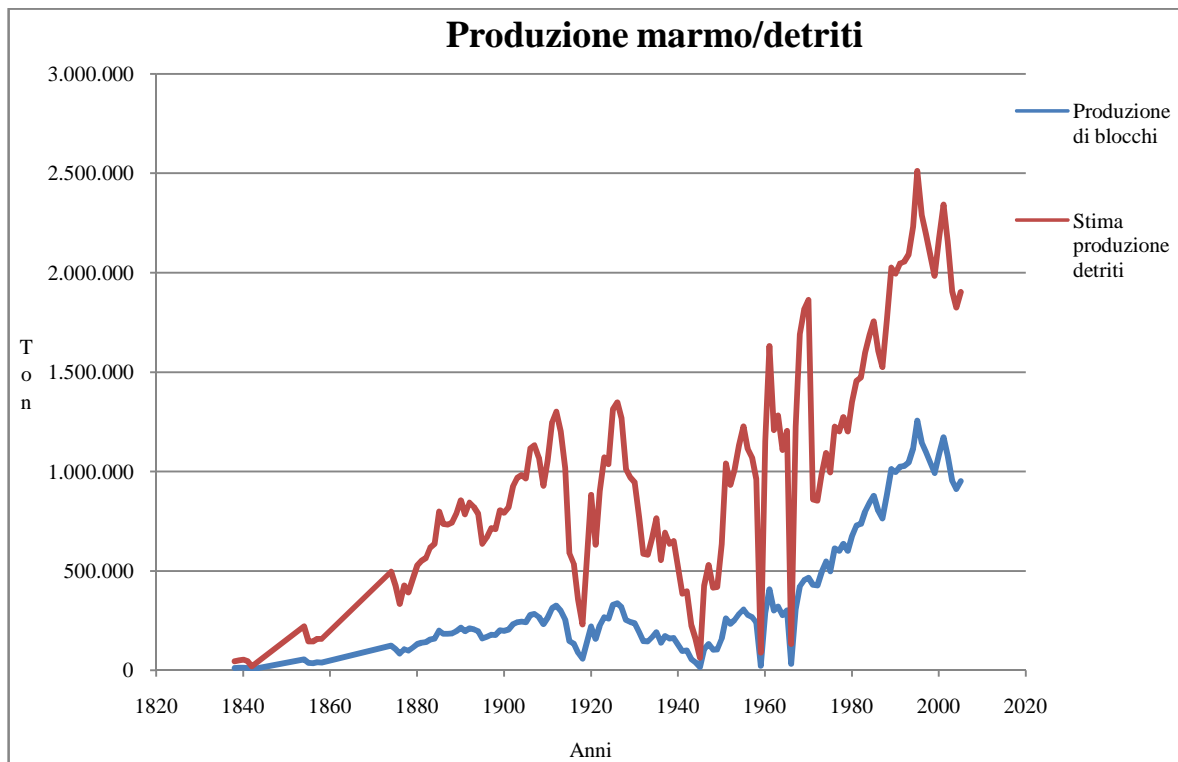


Figura 45: Produzione di blocchi e detriti

7.2 Espansione delle superfici coperte da ravaneto.

L'elaborazione della cartografia ci mostra come le superfici abbiano subito modifiche in circa un secolo di lavorazione. Possiamo osservare in modo generale come i corpi detritici si siano generalmente espansi, fatta eccezione per alcuni casi particolari, sino al 2003. Il rilevamento successivo 2007, ci mostra una contrazione generale dei ravaneti. Il bacino maggiormente colpito da questo fenomeno è quello di Colonnata, mentre per gli altri tre si registrano variazioni lievi e addirittura nel bacino di Torano si registra un lieve aumento di superficie. Questo fenomeno è visibile dal grafico, dove proponiamo l'andamento areale generale dei 4 bacini (Figura 46), inoltre proponiamo anche i dati acquisiti in tabella 5.

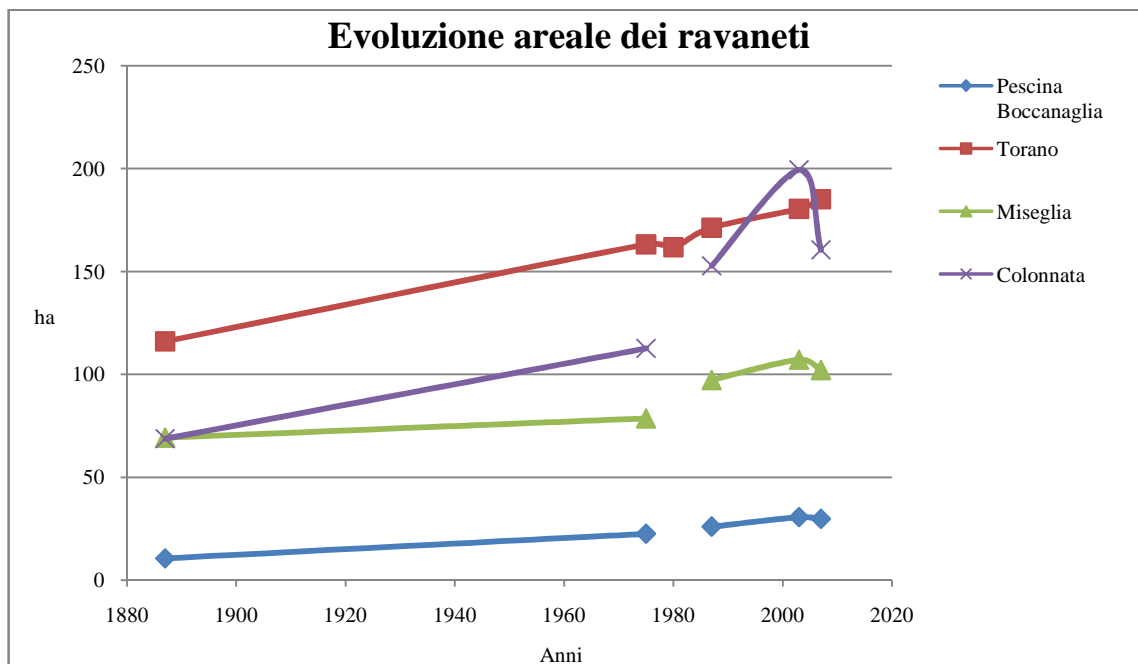


Figura 46: Copertura areale dei ravaneti nei 4 bacini marmiferi.

<i>Superficie dei ravaneti</i>					
<i>Anno</i>	<i>Pescina Boccanaglia</i>	<i>Torano</i>	<i>Miseglia</i>	<i>Colonnata</i>	<i>Copertura totale</i>
1887	11	116	69	69	265
1975	22	163	79	113	377
1980		162			162
1987	26	171	97	153	447
2003	31	180	107	199	518
2007	30	185	102	161	478

Tabella 5: Copertura areale dei ravaneti nei 4 bacini marmiferi. Tutte le misure sono espresse in ha.

Di seguito descriveremo i dati elaborati all'interno di ogni bacino marmifero e mostreremo tramite alcuni grafici la storia evolutiva di alcuni ravaneti selezionati per la loro completezza di dati e rilevanza morfologica.

7.2.1 Pescina-Boccanaglia.

Nelle serie cartografiche 1:25.000 dell' I.G.M. (1878, 1911, 1928) i ravaneti presenti in questo bacino non sono evidenziati fatta eccezione per la serie del 1928, dove viene segnalata per la prima volta la presenza dei ravaneti in località Crestola.

Seguendo l'ordine cronologico, la prima carta a grande dettaglio è quella di: Fossen e Tissi (1886-1887). Inerente a questo bacino troviamo un foglio pubblicato e una bozza mai andata in stampa, questi segnalano la presenza di un ravaneto in località Calacata Boccanaglia (Figura 47), con una superficie calcolata attorno ai 4 ettari, e dei ravaneti in località Crestola (Figura 48) e Faggetta con superfici rispettive attorno ai 5,70 ha per il primo e 0,50 ha per il secondo ravaneto con una superficie complessiva attorno agli 11 ha. Successivamente si fa un balzo in avanti di quasi secolo, questo purtroppo è una situazione che accomuna tutti bacini visto che le carte di maggior dettaglio si ripropongono solo nel 1966 e unicamente con copertura parziale del bacino marmifero carrarese. Arrivando alle serie cartografiche del 1975 otteniamo una visione completa del bacino nel quale ci vengono segnalati 6 ravaneti con superficie complessiva di 22 ettari. Il ravaneto denominato Calacata Boccanaglia dopo poco più di un secolo ha una superficie di 5,5 ettari. La serie cartografica seguente datata 1980 mostra una visione parziale del bacino, nella fatti specie i ravaneti che interessano le zone di cava di: Crestola, Faggeta e Piastraccioni. La serie cartografica successiva risale al 1987, anche questa ci fornisce la visione completa del bacino marmifero, indicandoci un'estensione areale complessiva di circa 26 ettari e un incremento di circa 3 ettari per il ravaneto Calacata Boccanaglia. Procedendo, si giunge al 2003 dove vediamo una situazione delle coperture complessive attorno ai 30 ettari. Concludendo l'ultima stima datata 2007 ci indica una copertura totale attorno sempre ai 30 ettari e una superficie del ravaneto Calacata Boccanaglia attorno ai 2,8 ettari.

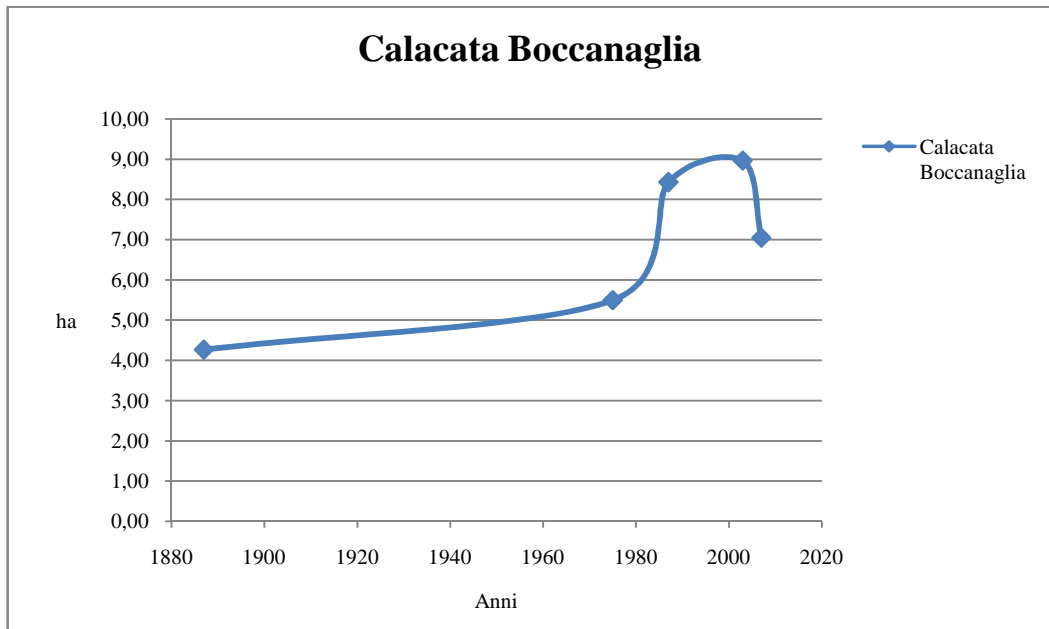


Figura 47: Ravaneto Calcata Boccanaglia

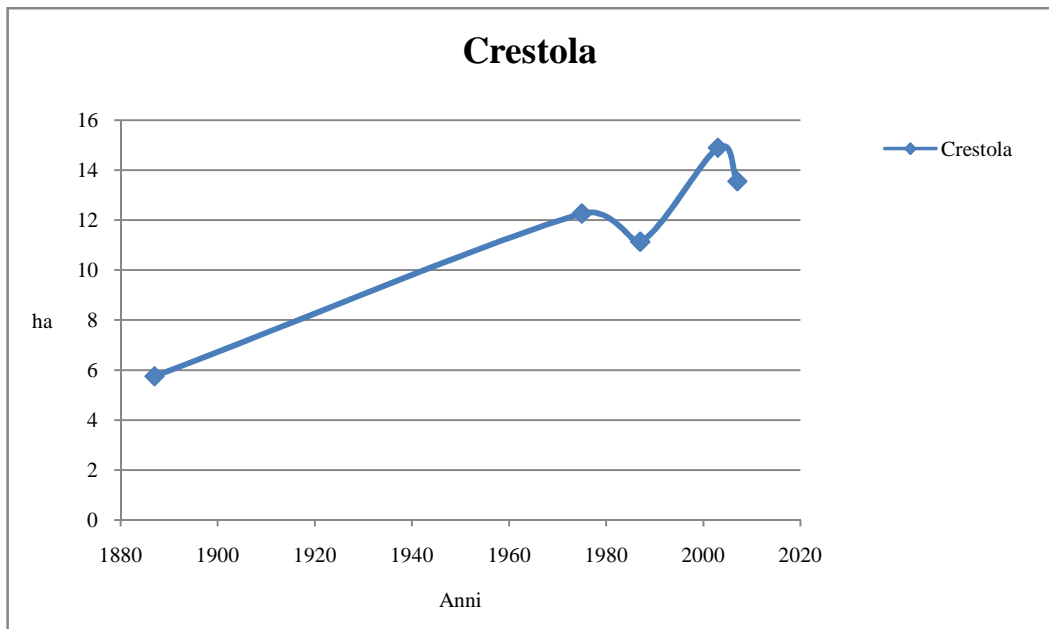


Figura 48: Ravaneto di Crestola

7.2.2 Torano.

Torano è da sempre sede di un'intensa attività estrattiva che ha modificato profondamente la morfologia del rilievo e della valle.

Le carte I.G.M. (1878, 1911, 1928) individuano e collocano i ravaneti presenti nel bacino marmifero, in virtù della loro imponenza. Questo comunque non permette ugualmente il calcolo della superficie considerando il rapporto di scala e lo stato di usura delle carte.

Passando ora a carte di maggior dettaglio troviamo i rilevamenti di Fossen e Tissi che mostrano estesi corpi detritici suddivisibili in 13 corpi, denominati in base alla località su cui sono riversati. Questi presentano una superficie totale stimabile attorno ai 120 ha. La serie successiva datata 1975 mostra come i ravaneti si siano espansi, portando la superficie complessiva a 163 ha. L'espansione ha avuto luogo tramite l'accumulo di nuovo materiale su ravaneti storici facendo così aumentare le superficie oltre che i volumi. Di conseguenza ravaneti limitrofi si sono fusi tra loro. Osserviamo che il ravaneto di Ravaccione diventa unica entità con quello di Rutola. Oltre all'aumento della superficie abbiamo anche una parziale rimozione del ravaneto del Polvaccio (Figura 49) eseguita probabilmente per far fronte a esigenza di espansione del fronte di cava. Le modifiche subite dal bacino, non interessano solo zone già interessate da lavorazione, ma le carte ci mostrano anche l'apertura di nuove cave in località Morlungo. Queste cave anche se di limitata importanza hanno creato una serie di piccole discariche. Progredendo di 5 anni in avanti arriviamo al 1980, questa serie ci mostra tutti i ravaneti principali, lasciando fuori i ravaneti marginali del Morlungo. Questo non lo dobbiamo considerare come un fattore limitante per lo studio generale dei ravaneti presenti nel bacino, viste le ridotte dimensioni delle cave presenti, che molto probabilmente non hanno prodotto grandi quantità di blocchi e detriti, queste cave oggi sono chiuse. La cartografia datata 1980 in conclusione ci illustra così la presenza di 8 grandi corpi detritici, di questi 6 risultano entità ancora distinte dal 1887 gli altri 2 sono di neoformazione dovuti alla fusione dei ravaneti posti nelle località della Piastra e Colle stretto e dei ravaneti presenti nelle località di Ravaccione, Rutola, Ravalunga e Canal Bianco. L'estensione totale va così ad aggirarsi sui: 160 ha. Il 1987 presenta un'espansione dei corpi facendo sì che i ravaneti continuino il loro accorpamento ed espansione raggiungendo la superficie di 170 ha. L'anno 2003 mostra la presenza di un grande ravaneto, 180 ha lungo tutta la valle, e la presenza di 3 ravaneti distinti localizzati nelle zone del: Morlungo, la Farnesina e il ravaneto creato (Betogli Torano) dall'unione dei corpi detritici di Poggio Silvestre e Fossa del Borrone (Figura 50).

Il rilevamento del 2007 nel bacino di Torano mostra sostanzialmente i ravaneti presenti nel 2003, ma notiamo una controtendenza rispetto agli altri bacini, i ravaneti in questo caso continuano ad avere una superficie invariata.

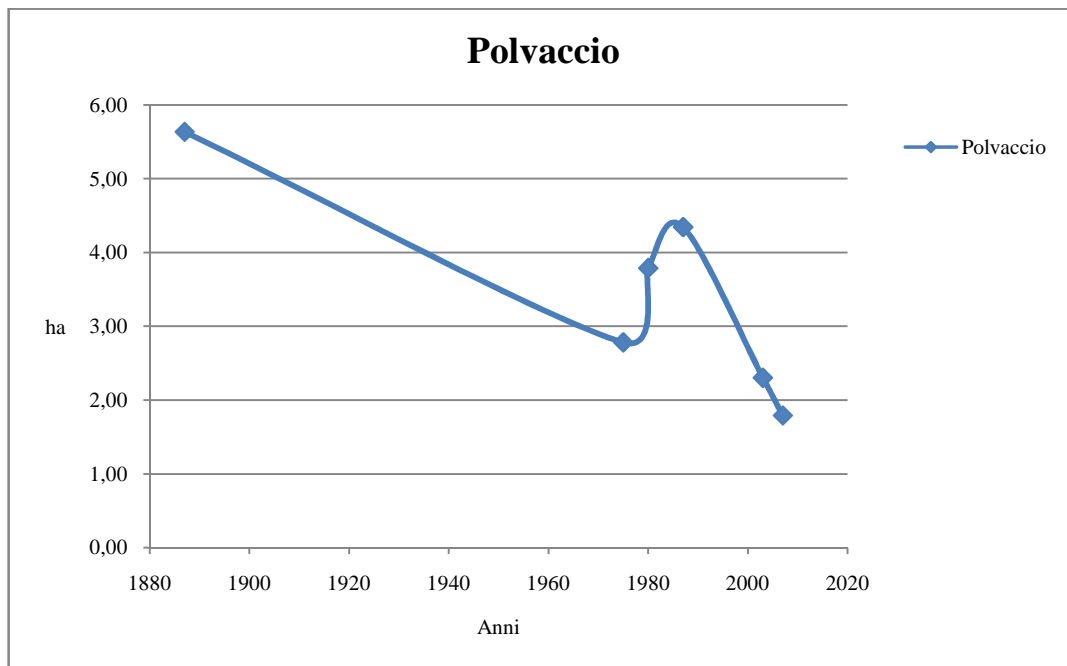


Figura 49: Ravaneto del Polvaccio

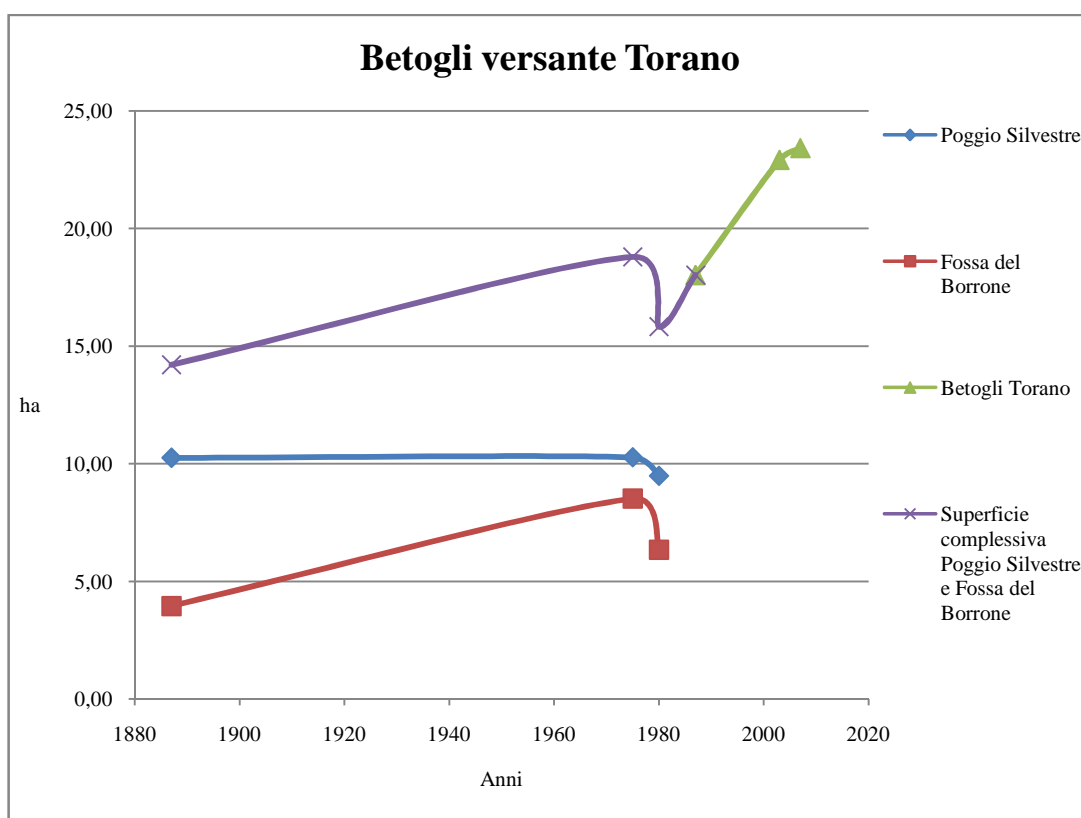


Figura 50: Ravaneti del monte Betogli.

7.2.3 Miseglia.

Anche per questo bacino le carte I.G.M. (1878, 1911, 1928) ci mostrano la presenza dei ravaneti principali dell'interno bacino quali quelli di Canal Grande e Betogli.

Procedendo con le carte a grande dettaglio possiamo evincere la presenza di estesi ravaneti, con superficie totale pari a 69 ha già nella serie di fine ottocento di Fossen e Tissi. Il ravaneto sicuramente più esteso e importante si trova nelle località Canal Grande, Carbonera e Torrione (Figura 51), il quale risulta già un'unica entità. Attualmente è sede della strada di arroccamento e quindi praticamente immutabile. In località Fantiscritti il ravaneto appare isolato rispetto a quelli limitrofi e così rimane ancora oggi. In località Val Bona abbiamo un piccolo ravaneto. I Betogli presentano ravaneti già molto sviluppati frutto di un'attività millenaria volta a cavare i materiali presenti nei due monti (Figura 52). La cartografia risalente al 1966 ci mostra il bacino in modo parziale, evidenziando tutti i ravaneti escludendo però le località Canal Grande e Carbonera. Nel 1975 la cartografia ci offre l'intero bacino mettendo in mostra un'espansione generale di tali entità (78 ha) e la creazione di un nuovo ravaneto sui Betogli. Nel 1980, possediamo una copertura parziale del bacino marmifero, e possiamo osservare unicamente il ravaneto di Canal Grande e Carbonera, dove osserviamo un aumento superficiale. Nel 1987 abbiamo una nuova copertura totale con superficie complessiva areale stimata attorno a 87 ha. Anche in questo caso abbiamo espansione fino al 2003, raggiungendo circa 107 ha. Nel 2007 è stata verificata una riduzione delle superfici 102 ha, dove abbiamo il ravaneto di Val Bona come uno dei più asportati (Figura 53). Questa riduzione viene mostrata nei grafici proposti qui sotto, inoltre in figura 18 e 19 (Capitolo 4), mostriamo un ravaneto presente ad inizio secolo ed esistente fino a pochi anni fa e oggi rimosso. Gli unici ravaneti ancora in espansione sono quelli del monte Betogli, dove l'attività estrattiva è probabilmente più intensa rispetto alla rimozione degli scarti.

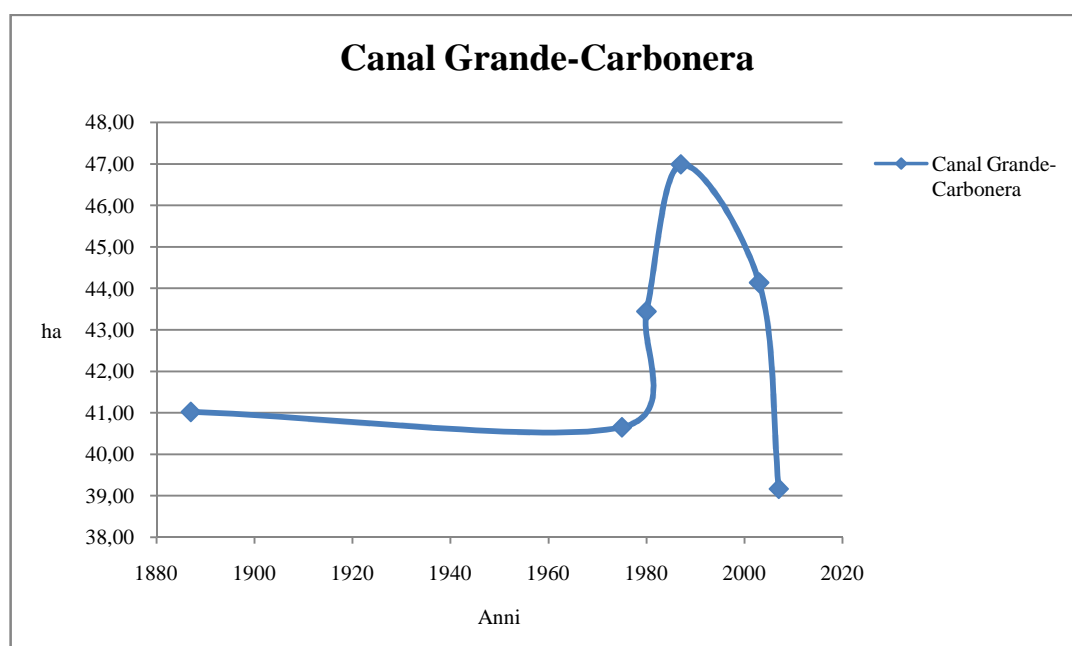


Figura 51:Ravaneto Canal Grande- Carbonera

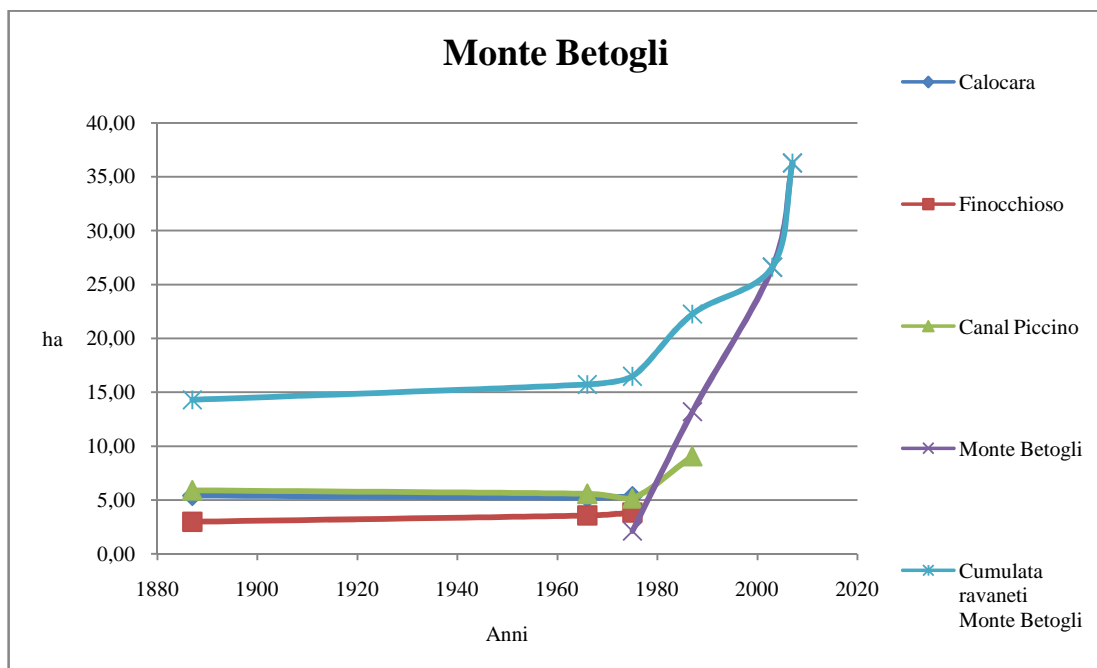


Figura 52: Monte Betogli, versante di Miseglia

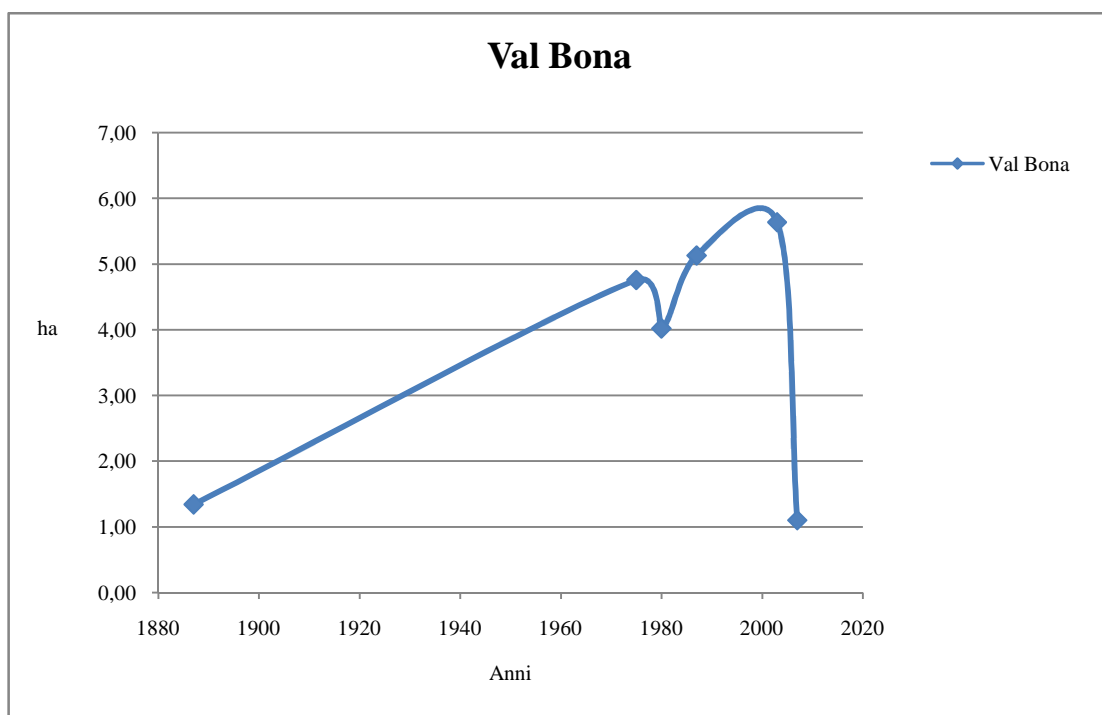


Figura 53: Ravaneto Val Bona.

7.2.4 Colonnata.

Colonnata è il bacino più esteso di tutto il comprensorio. Le serie cartografiche ci hanno permesso di localizzare a scala 1:25000 (1878, 1911, 1928) i ravaneti presenti, anche in questo caso vediamo i corpi più estesi come i ravaneti di Gioia e altri di medesima importanza. Le serie successive a scala di dettaglio maggiore ci permettono anche in questo caso di calcolare le superfici. La serie cartografica redatta da Fossen e Tissi (1886-1887), ci mostra molto bene il bacino marmifero. Purtroppo abbiamo l'assenza di un foglio il quale avrebbe potuto mostrare la situazione nelle zone di Belgia e La Piana. Ad ogni modo è stato possibile verificare lo stato delle lavorazioni nel resto del bacino, individuando la presenza di 12 ravaneti con copertura areale di circa 68 ha. Il bacino di Colonnata dispone anche di una parziale coperture nel 1966, che mostra le zone di Belgia e Fossa del Cardellino (Figura 54-55). Passando successivamente al 1975, abbiamo una visione completa ed un'estensione totale di 112 ha, questo incremento è da imputarsi all'apertura di nuovi siti nelle zone più remote del bacino, probabilmente poco accessibili ai primi del secolo causa difficoltà d'accesso. Inoltre sempre nella carta del 1975 possiamo osservare come in alcune aree di cava il ravaneto venga totalmente trasposto per far posto ai nuovi fronti di cava, questa operazione è veramente ben visibile nell' area della cava Olmo. Anche in questa valle come del resto nelle altre si ha uno sviluppo progressivo areale dei vari ravaneti che portano alla fusione di più entità nel 1987, con copertura complessiva pari a 150 ha e alla completa copertura della valle seconda la cartografia del 2003 con una superficie pari a 200 ha. Passando poi al rilevamento del 2007 i ravaneti vengono aggrediti e ridotti a circa 160 ha. Anche in questo caso non tutti i ravaneti sono sede di escavazione come per esempio i ravaneti di Campanili e Querciola (Figura 56) i quali crescono sino al 2000 e dopo di che mantengono inalterata la propria area virtù della strada d'accesso alle omonime cave che vi è stata costruita sopra. Proponiamo di seguito alcuni grafici d'evoluzione areale di alcuni ravaneti presi a campione.

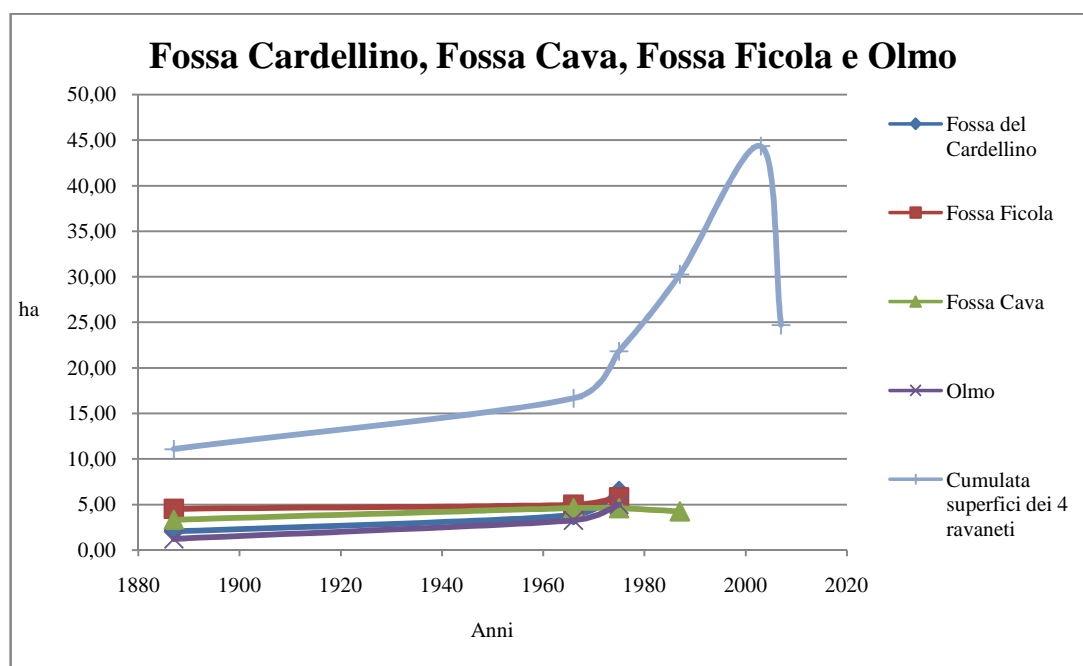


Figura 54:Ravaneti F. Cardellino, F. Ficola, F. Cava e Olmo.

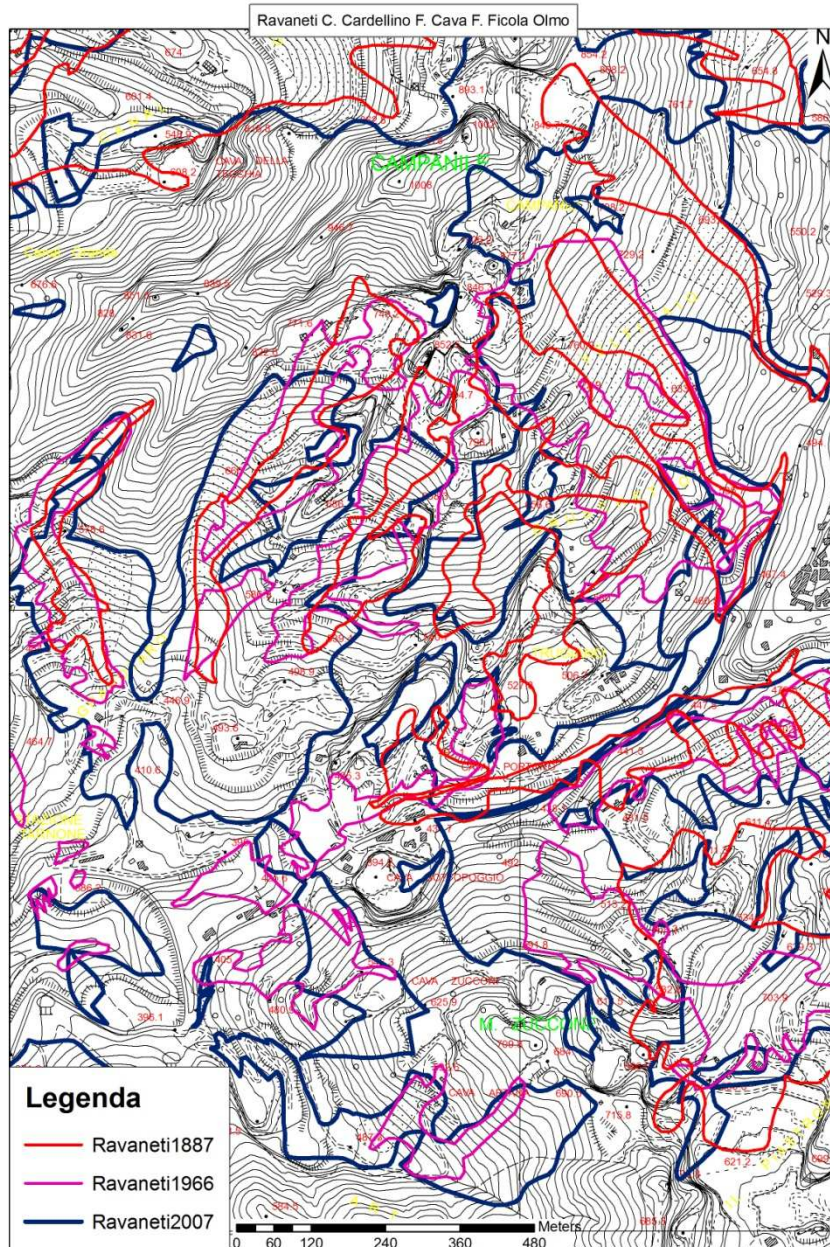


Figura 55: Stralcio CTR, particolare di alcuni ravaneti nella valle di Colonnata

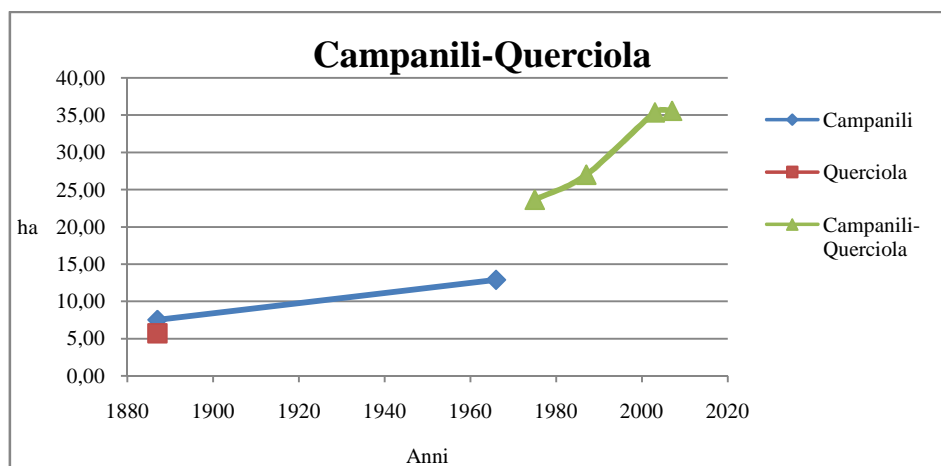


Figura 56: Ravaneti Campanili e Querciola

7.3 Valutazione dei volumi dei ravaneti di Monte Betogli.

Le fasi di tesi ci hanno condotto verso il tentativo di calcolare i volumi di alcuni ravaneti. Quindi abbiamo optato per eseguire questi calcoli sulle discariche di materiale lapideo del monte Betogli, situati all'interno del bacino di Miseglia, dove possiamo individuare i ravaneti di:

- Calocara.
- Monte Betogli.
- Finocchioso e Canal Piccino.

Questi ravaneti sono stati scelti per la loro completezza di dati rispetto ad altri, inoltre questi rappresentano tre casi ideali per i seguenti motivi. Il ravaneto di Calocara è presente già nella serie cartografica di fine 1800 ed è dismesso dagli anni "60", quello di Monte Betogli è stato costituito a partire dagli anni "60". L'ultimo ravaneto Finocchioso e Canal Piccino, è attivo e la sua presenza è segnalata già a partire dalle carte di fine 1800.

Quindi per le analisi di volume abbiamo ottenuto il volume totale solo per il ravaneto Monte Betogli, mentre per gli altri due abbiamo potuto ottenere solo i volumi parziali raffrontando i modelli creati per le levate 1966, 1987 e 2003. Non è stato possibile creare un modello del ravaneto di fine 1800 visto che la cartografia non presentava riferimenti altimetrici sopra i corpi detritici. Tutti i calcoli di volume sono stati eseguiti utilizzando come base il modello più vecchio e sottraendoci i modelli più recenti.

Mostriamo nelle tabelle 6 e 7 i volumi ottenuti per i vari ravaneti rispettivamente tramite operazione di *map algebra cut/fill* e differenza di TIN.

<i>Stima dei detriti tramite l'utilizzo di un dato raster</i>				
	<i>1887</i>	<i>1966</i>	<i>1987</i>	<i>2003</i>
Calocara	-		7200 m ³	7600 m ³
Monte Betogli	0	19000 m ³	400000 m ³	592000 m ³
Fin.& C. Piccino	-		98000 m ³	128000 m ³

Tabella 6: stima dei volumi tramite operazione cut/fill

<i>Stima dei detriti tramite l'utilizzo di un dato TIN</i>				
	<i>1887</i>	<i>1966</i>	<i>1987</i>	<i>2003</i>
Calocara			7000 m ³	6900 m ³
Monte Betogli	0	19400 m ³	411000 m ³	594000 m ³
Fin.& C. Piccino			98600 m ³	128900 m ³

Tabella 7: Stima dei volumi tramite operazione TIN Difference.

Alla luce dei dati ottenuti possiamo osservare una buona correlazione fra i dati, anche se osserviamo variazioni di volume fra i due metodi di calcolo. Dalle tabelle notiamo così come il ravaneto di Calocara non presenti variazioni volumetriche, inoltre eseguendo una differenza fra i modelli 1987-2003 otteniamo una variazione pari a 0 m^3 . Lo stato di quiescenza del ravaneto è visibile anche dal fatto che non si sono registrate variazioni areali degne di note di questa entità. Il ravaneto denominato Monte Betogli (Figura 57-58) creato negli anni “60” fornisce informazioni sul suo volume totale, anche in questo caso le variazioni fra i due metodi sono poco rilevanti. L’ultimo ravaneto considerato è quello di Finocchioso e Canal Piccino, questa è l’unica entità attiva della zona, dove osserviamo un incremento di volume notevole, osservando poi le tabella 6 e 7 notiamo che i due metodi in questo caso forniscono dati presso che uguali nel volume 1987.

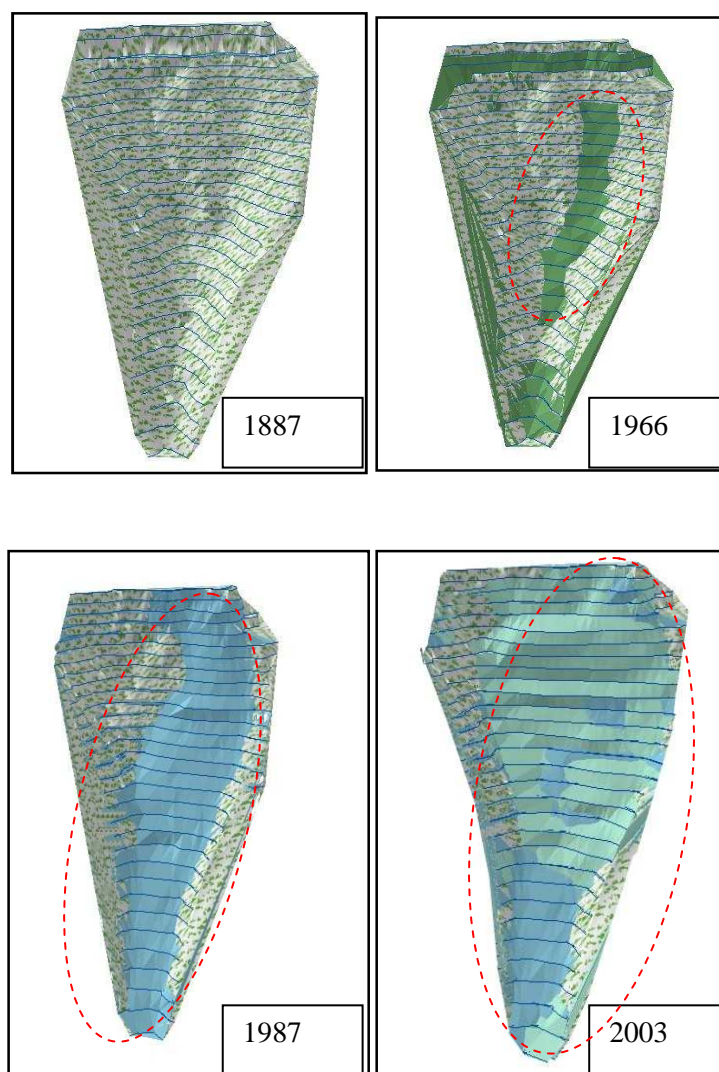


Figura 57: TIN del ravaneto monte Betogli, con evidenziata la presenza del ravaneto e del suo sviluppo areale.

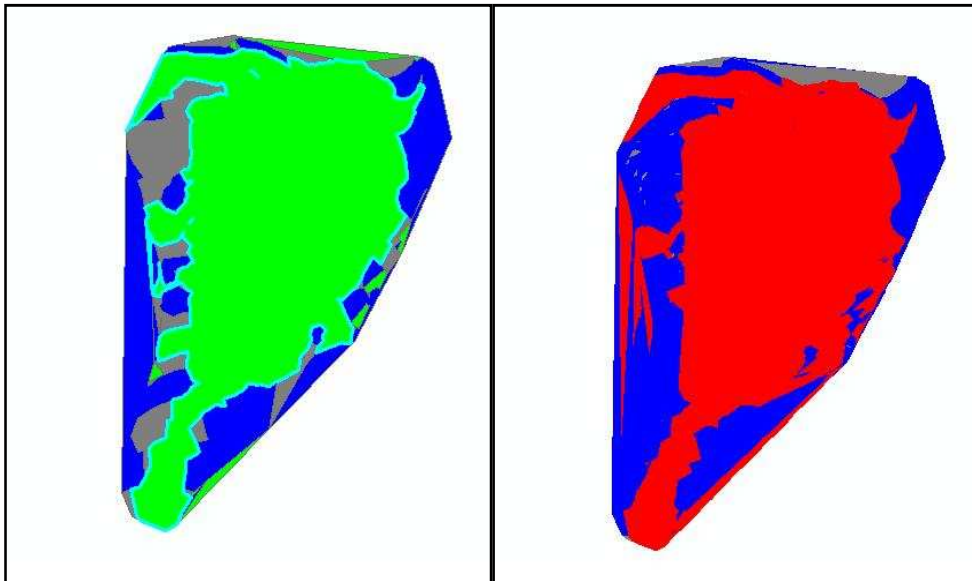
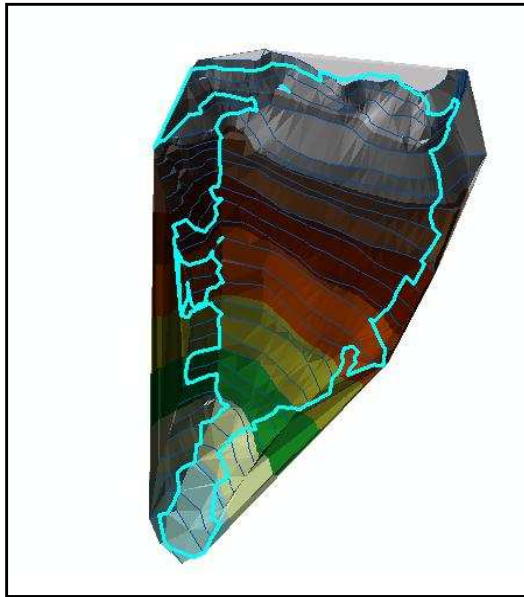


Figura 58:In sequenza dall'alto in basso: TIN monte Betogli anno 2003 con evidenziato il ravaneto, di seguito immagine restituita tramite operazione TIN difference tra TIN monte Betogli 1887-2003 e immagine monte Betogli elaborata tramite operazione cut/fill tra raster monte Betogli 1887-2003.

7.4 Analisi granulometriche.

L'analisi granulometrica ha permesso di classificare le matrici rinvenute all'interno dei ravaneti campionati. Precisiamo che le matrici da noi considerate abbracciano il *range* granulometrico che va dalla ghiaia all'argilla. La classificazione di tutti i campioni secondo le norme AGI (1977) sono presentate in allegato 3. Tramite analisi granulometrica abbiamo quindi costatato ciò che ci accingiamo a descrivere. Le matrici rinvenute in ravaneti antichi, sono stati prelevati 19 campioni, sono classificabili generalmente secondo le norme AGI (1977) come sabbie con contenuti di ghiaie e limi più o meno abbondanti. I ravaneti moderni campionati (22), presentano matrici tali da essere definite anch'essi sabbie, ma qui troviamo maggiori contenuti di elementi limosi e si possono trovare contenuti di elementi con granulometria riferibile al campo delle argille. Osservando poi gli accumuli provocati dal dilavamento delle acque meteoriche presenti al piede di ravaneti moderni, notiamo notevoli concentrazioni di elementi con granulometrie inferiori a 0,06 mm.

Proponiamo in figura 59 il fuso granulometrico realizzato con i 41 campioni prelevati dai ravaneti ed elaborati. Oltre a questo proponiamo in figura 60 il confronto in peso percentuale di elementi con diametro inferiore a 0,006 mm di 12 campioni 6 ravaneti antichi (in rosso) recuperati in una cava con presenza di via di lizza e i 6 campioni moderni (in blu) sono stati recuperati in ravaneti di cave attive. Eseguita l'analisi delle matrici prelevate in ravaneto abbiamo cercato di individuare i vari produttori e in che maniera apportassero il loro contributo.

L'analisi dei *cutting* delle macchine ci ha fornito così preziose informazioni indicando il filo diamantato come maggior produttore di elementi limo-argillosi.

Classificando quindi gli sfridi delle macchine con il sistema proposto otteniamo in generale le seguenti matrici, in figura 61 mostriamo le curve di questi mezzi:

- Tagliatrice a catena- Ghiaia con sabbia
- Macchina perforatrice- Sabbia debolmente limosa e debolmente argillosa.
- Filo diamantato Limo con argilla.

Oltre ad analisi dei *cutting* di macchine attuali, abbiamo ricercato da basi bibliografiche lo sfrido prodotto dal filo elicoidale il quale usava sabbia silicea miscelata alle volte con Carborundum (SiC) come abrasivi per tagliare il marmo, proponiamo quindi la curva granulometrica anche di queste indicando con "sabbia nuova" la sabbia silicea pre taglio e "sabbia usata" post taglio (Figura 62) (Pandolfi *et al.*, 1989).

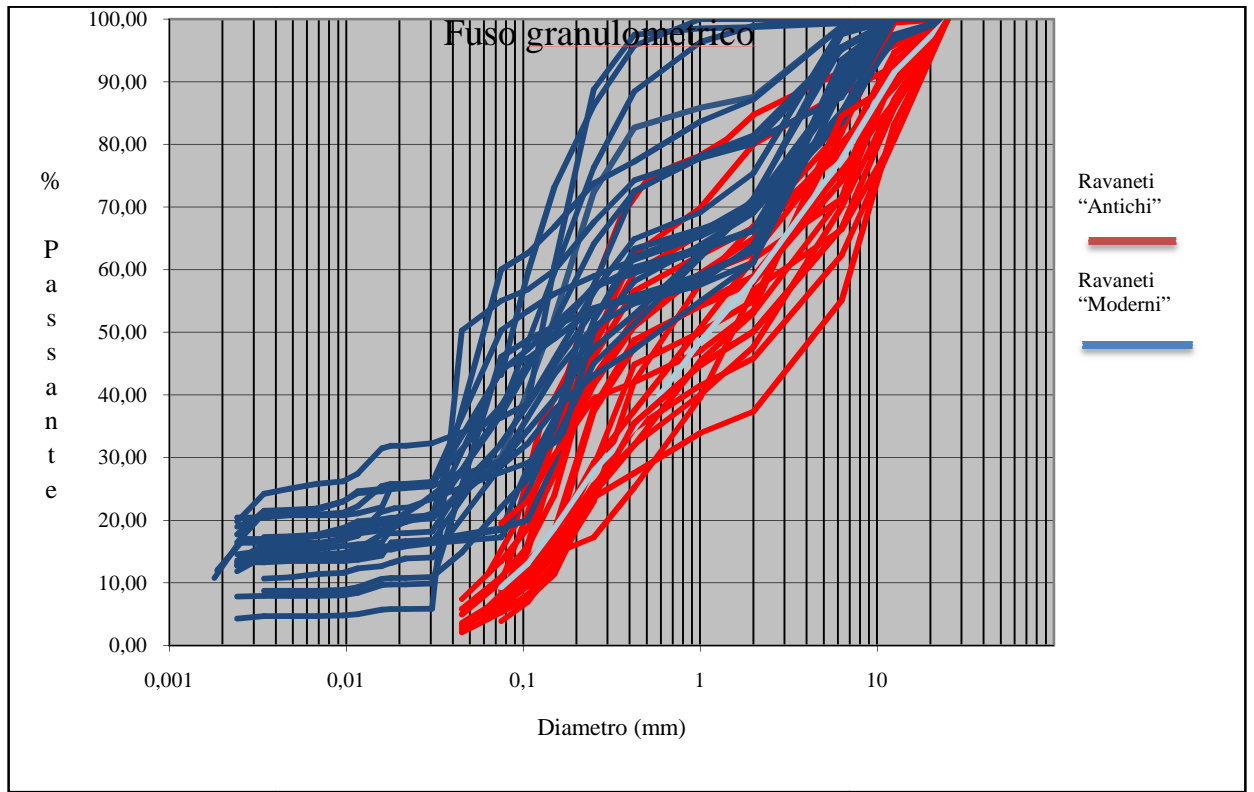


Figura 59: Curve granulometriche antichi(rosso) e moderni(blu).

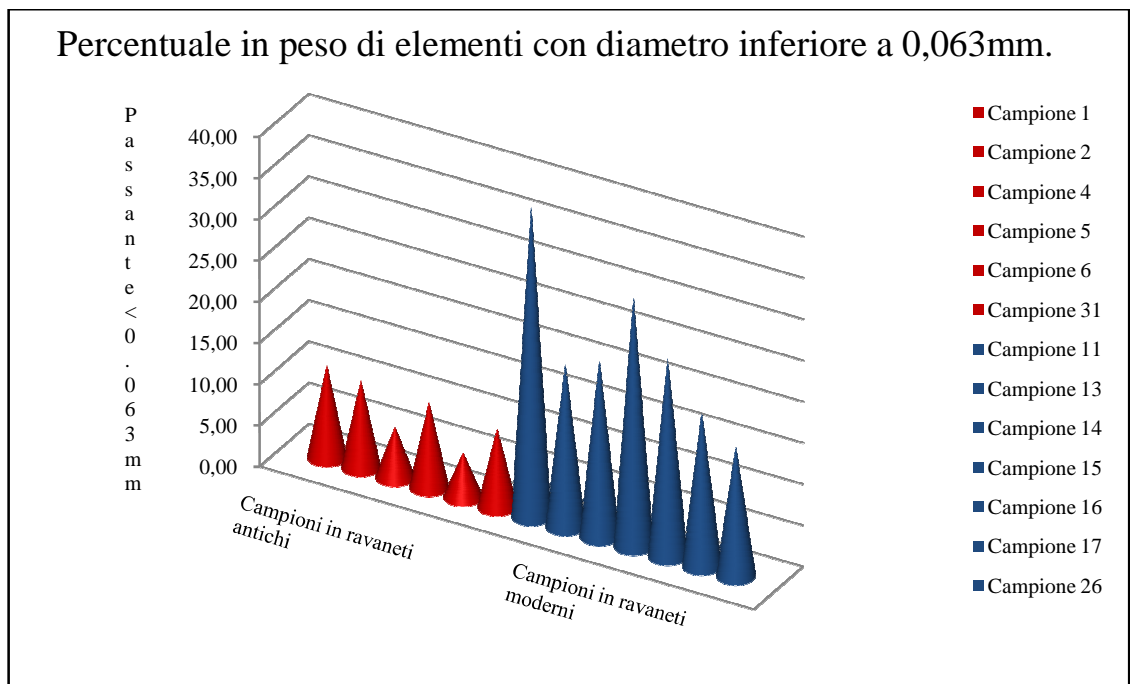


Figura 60: Percentuale di elementi con diametro < 0,063 mm in rosso ravaneti antichi in blu ravaneti moderni.

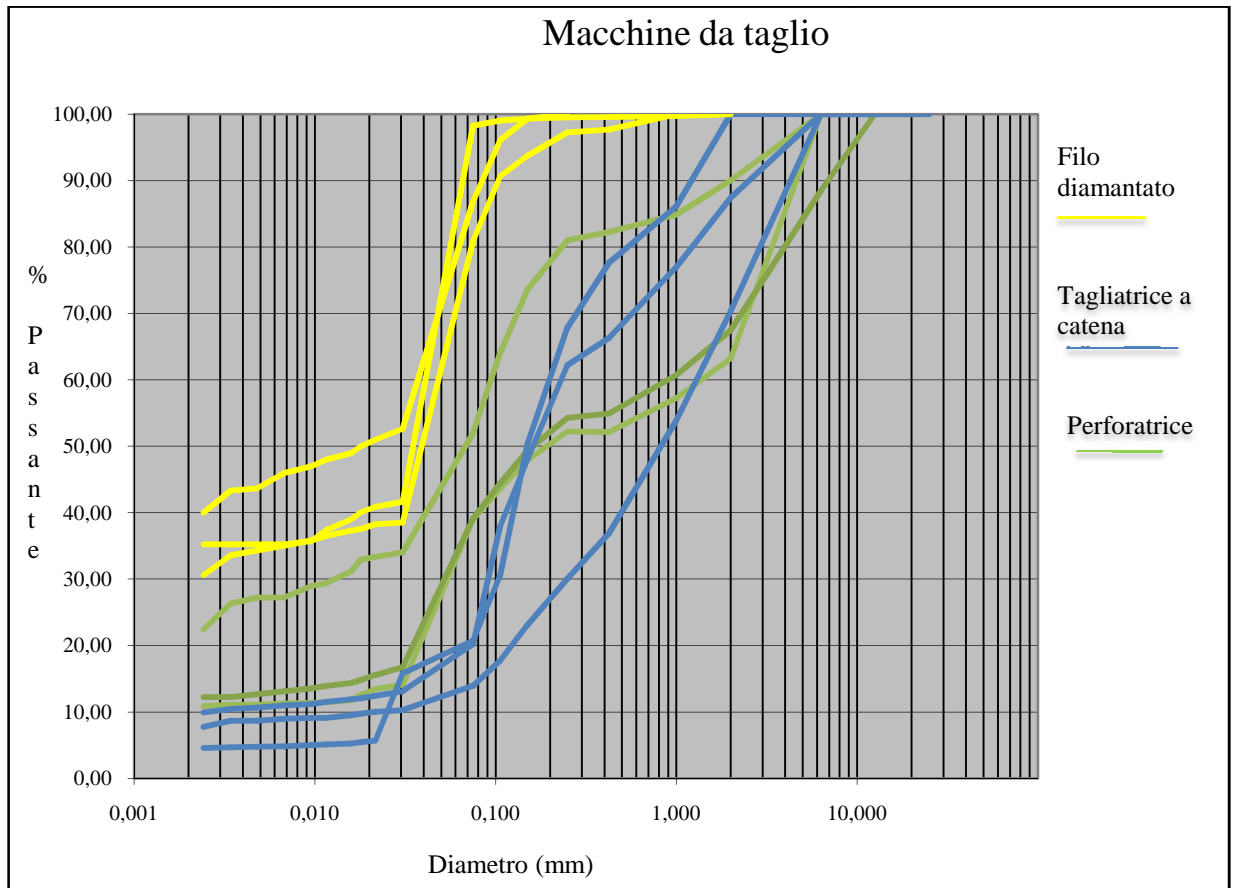


Figura 61: Curve granulometriche dei 3 macchinari da taglio.

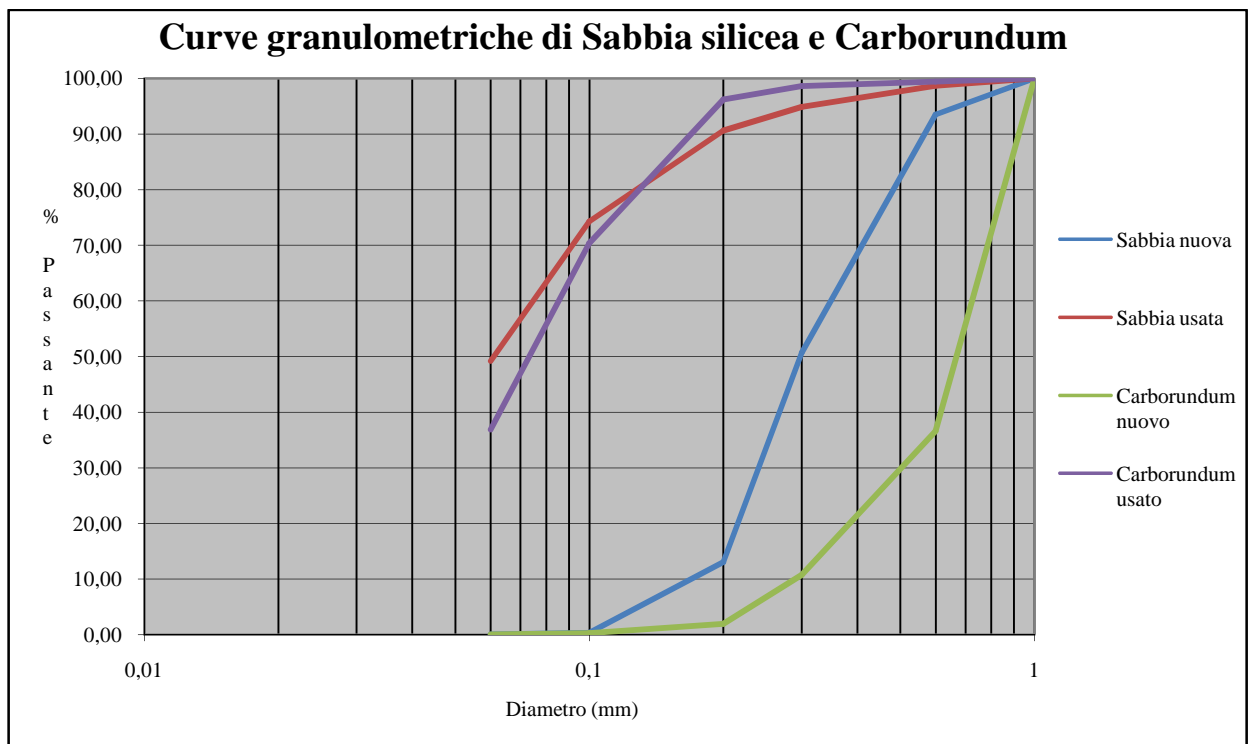


Figura 62: Curve granulometriche sabbia e carborundum (Pandolfi et al., 1989).

7.5 Limiti di Atterberg.

Procedendo con i limiti di Atterberg abbiamo ottenuto i limiti di liquidità e plasticità su ravaneti moderni, mentre su ravaneti antichi, i limiti non sempre sono stati possibili e sovente la prova è stata annullata.

Mostriamo inoltre la carta di plasticità di Casagrande per classificare limi ed argille, che si basa sui limiti di Atterberg.

Il diagramma riporta in ordinate IP (Indice di Plasticità) ed in ascisse il W_L (Limite di Liquidità) è diviso in oltre da una retta inclinata di equazione $IP=0.73*(W_L-20)$ e da due linee verticali con equazione rispettivamente $W_L=30$ $W_L=50$. I campioni collocati al di sopra della retta $IP=0.73*(W_L-20)$ appartengono alla classe delle argille inorganiche, quelli collocati al di sotto possono appartenere alla classe dei limi inorganici oppure dei limi e delle argille organiche. Un distinzione viene eseguita basandosi sul valore del limite di liquidità, se minore o maggiore del 50%: quindi abbiamo (SIGMA,1985) (Figura 63):

1. Limi inorganici di bassa plasticità.(CL)e(ML)
2. Limi inorganici di media compressibilità e limi organici.(ML)e(OL)
3. Limi inorganici di media alta compressibilità e argille organiche.(MH) e (OH)
4. Argille inorganiche di bassa plasticità.(CL)
5. Argille inorganiche di media plasticità.(CL)
6. Argille inorganiche di alta plasticità.(CH)

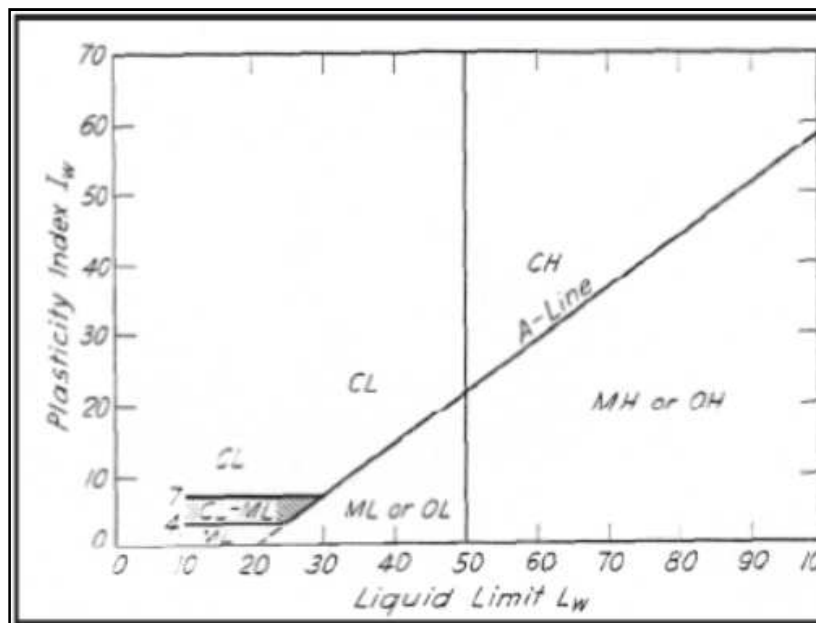


Figura 63: Carta di Plasticità di Casagrande modificata (SIGMA 1985).

Possiamo osservare come i campioni recuperati sia in ravaneto (41 campioni) sia dal *cutting* delle macchine (9 campioni) ricadono principalmente nella zona di transizione (ML) (CL) tra limi ed argille (Figura 64), entrambi inorganici e di bassa plasticità. Possiamo osservare inoltre come i campioni recuperati in ravaneti moderni abbiano un indice di plasticità (IP) maggiore rispetto a quelli antichi e come l'unico indice di plasticità superiore a 5 sia quello del *cutting* del filo diamantato, dove gli elementi con granulometrie rientranti nel campo delle argille sono molto concentrati. Inoltre è bene ricordare che alcuni campioni prelevati all'interno di ravaneti non moderni hanno dato esito negativo alle prove di Atterberg. Concludendo in tabella 8 mostriamo il valore massimo e minimo degli indici di W_L W_P IP, inoltre proponiamo il valore medio ottenuto dai vari campioni analizzati.

Limiti di Atterberg						
	<i>Matrice presente in ravaneti moderni</i>			<i>Matrice presente in ravaneti antichi</i>		
	W_L	W_P	IP	W_L	W_P	IP
Valore massimo	24	17	7	20	16	4
Valore medio	20	15	5	17	14	3
Valore minimo	14	12	2	18	11	1

Tabella 8: Valori medi ottenuti tramite i limiti di Atterberg.

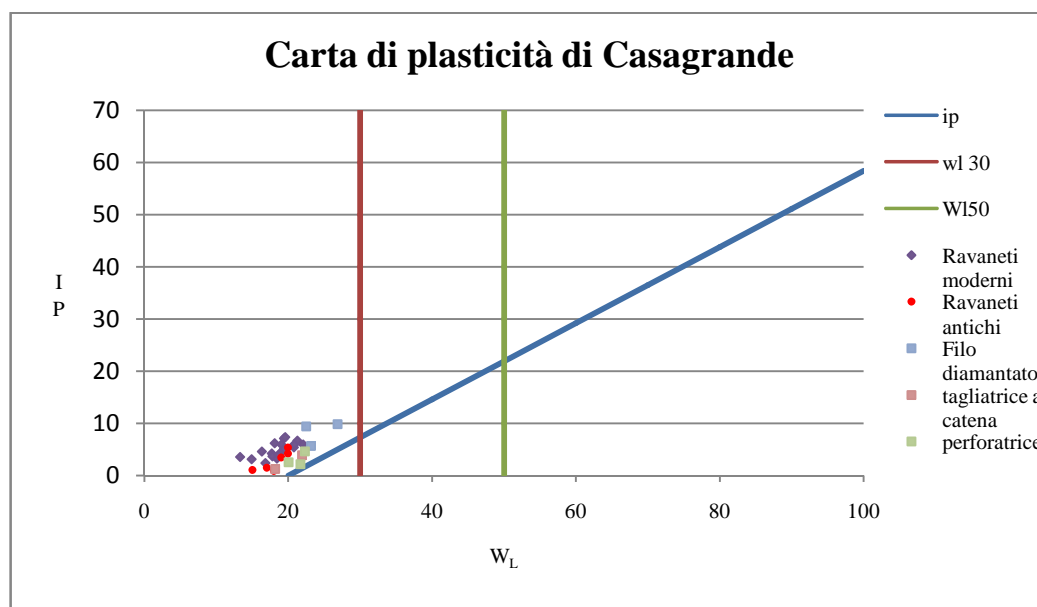


Figura 64: Carta di plasticità di Casagrande basata sui limiti di Atterberg adattata al sistema unificato (USCS).

8 DISCUSSIONE DEI RISULTATI

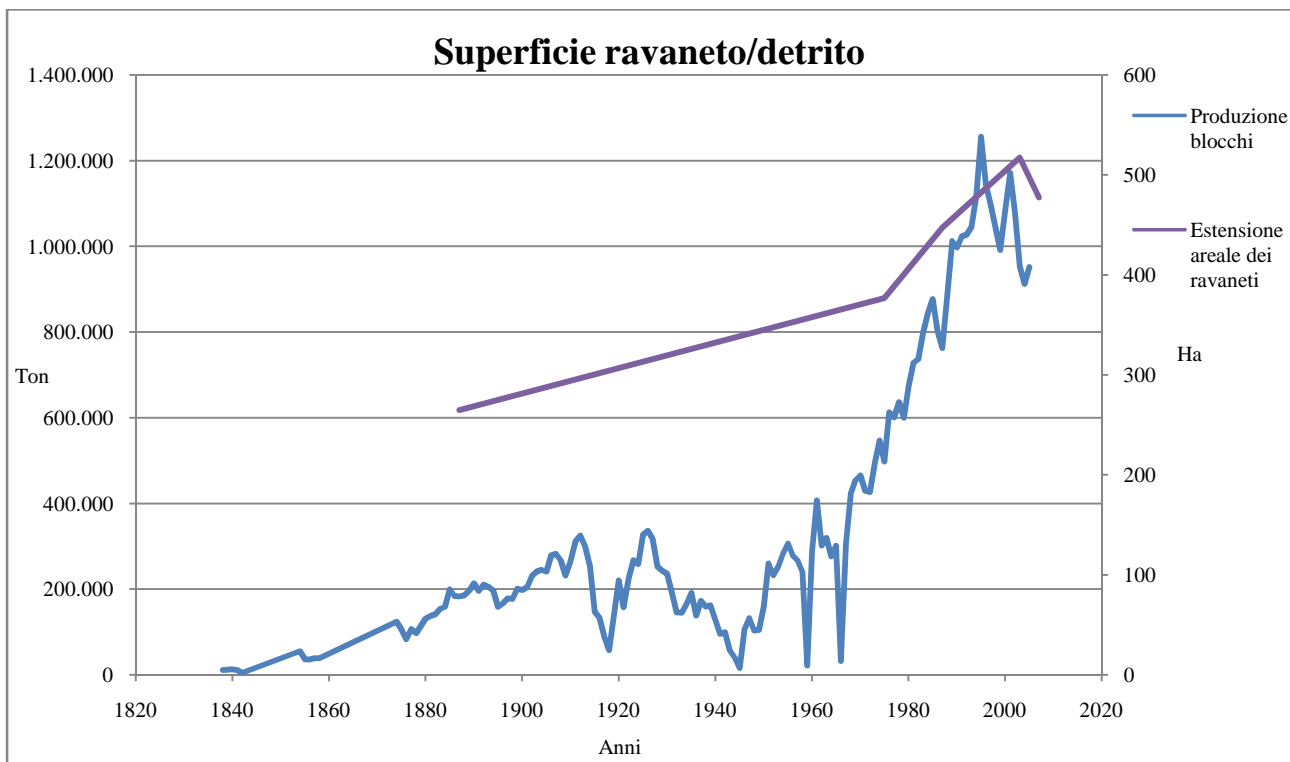


Figura 65: Confronto ettari di coperture produzione marmo.

Partendo dalle elaborazioni sulle variazioni areali dei ravaneti possiamo fare delle considerazioni generali su espansione delle aree nel tempo rispetto al materiale lapideo prodotto. Prendendo visione del grafico (Figura 65) nel quale abbiamo inserito la somma complessiva delle superfici dei ravaneti presenti nei quattro bacini nei vari anni e raffrontandola con la stima delle produzioni di materiale lapideo, al quale corrisponde un certo quantitativo di detrito, possiamo osservare come l'aumento di produzione porti ad un'espansione delle aree del ravaneto.

Osservando la produzione lapidea notiamo alti e bassi di produzione, con picchi negativi legati ad eventi quali la prima guerra mondiale, la crisi del '29 e seconda guerra mondiale per poi risalire sino agli anni '60 ed avere nuovamente un periodo di crisi. Passati gli anni "60" si registra un aumento vertiginoso di produzione legato all'introduzione del filo diamantato, sino ad oggi dove nuovamente sembra verificarsi un calo di produzione.

L'analisi delle aree coperte da ravaneto non ci fornisce dati dettagliati della loro variazione rispetto alla produzione, ma ci permette comunque di osservare come le superfici siano aumentate in modo regolare sino agli anni '60 del 1900 e poi come abbiano avuto un notevole aumento sino alla fine del secolo scorso, successivamente notiamo una contrazione areale. La spiegazione di questo fenomeno potrebbe essere spiegato in questo modo: in questo periodo come già constatato, abbiamo un calo di produzione lapidea. Quindi la diminuzione areale è spiegabile dal fatto che nel bacino marmifero carrarese sono attive imprese che recuperano e riutilizzano i detriti, i quali sono recuperati sia in cava sia in ravaneto, di conseguenza le

imprese di recupero hanno aggredito i ravaneti esistenti per colmare l'abbassamento di produzione e rispondere alla domanda di materia prima da parte dell'industria.

Osservando sempre i ravaneti il cambio di tecnologia estrattiva oltre ad un'evoluzione areale ha portato ad un cambiamento del detrito. Possiamo notare come i depositi attuali contengano al loro interno abbondanti quantità di matrice rispetto a quelli coltivati con filo elicoidale e come la dimensione degli elementi litoidi sia estremamente più eterogenea.

Quindi prelevando e analizzando matrici presenti in depositi moderni, 21 campioni, e antichi, 19 campioni, abbiamo osservato delle differenze granulometriche rilevanti. Infatti i campioni moderni presentano percentuali di elementi limosi di gran lunga superiori a ravaneti antichi, inoltre in depositi moderni riscontriamo la presenza di elementi argillosi. Eseguendo poi analisi sui *cutting* delle macchine da taglio attuali (3 campioni filo diamantato, 3 campioni tagliatrice a catena e 3 campioni perforatrice), e confrontandoli con analisi su *cutting* del filo elicoidale recuperati da basi bibliografiche possiamo osservare delle differenze.

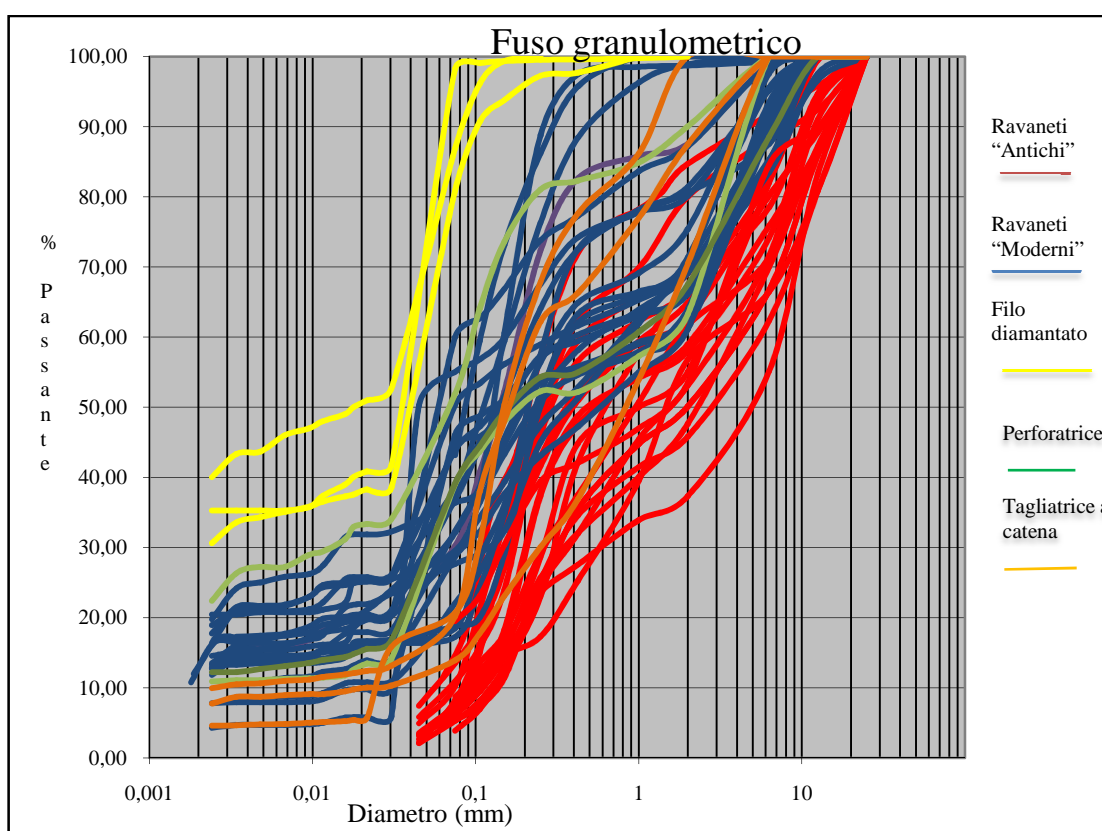


Figura 66: Curve granulometriche di macchinari e ravaneti.

Dal grafico (Figura 66) infatti vediamo come il filo diamantato sia il maggior produttore di elementi fini, di seguito troviamo la sabbia silicea “usata” campionata durante un taglio con filo elicodale da Pandolfi *et al.*, (1989) (Figura 62), anch’essa si mostra come produttrice di elementi fini, ma è plausibile pensare che difficilmente potrà produrre percentuali di elementi argillosi simili al filo diamantato osservando l’andamento della curva granulometrica. Possiamo inoltre osservare (Figura 66) come la tagliatrice a catena e la perforatrice producano uno sfrido molto simile. Osservando poi le matrici dei ravaneti, possiamo vedere come un ravaneto moderno produca una curva nella quale al proprio interno si ritrovano tutti gli elementi prodotti dalle macchine, con abbondanti presenze di materiale fine, mentre in un ravaneto antico gli elementi fini sono una parte modesta.

Relativamente ai limiti di Atterberg determinati, possiamo confermare tramite la carta di plasticità di Casagrande che il materiale fine rientra nel campo dei limi-argille inorganiche di bassa plasticità, inoltre è stato possibile osservare come i campioni prelevati in ravaneti “antichi” abbiano una risposta diversa ai contenuti d’acqua. Il limite di liquidità (W_L), il limite di plasticità (W_P) e l’indice di plasticità (IP) sono superiori nei ravaneti moderni in virtù della presenza di elementi con granulometria rientrante anche nei campi delle argille (Tabella 9). I limiti eseguiti anche sulle macchine da taglio ci mostrano come il filo diamantato sia ricco di elementi argillosi restituendo gli indici illustrati in tabella 10.

<i>Limiti di Atterberg medi</i>					
<i>Matrici presenti in ravaneti moderni.</i>			<i>Matrici presenti in ravaneti antichi.</i>		
W_L	W_P	IP	W_L	W_P	IP
20	15	5	17	14	2

<i>Limiti di Atterberg</i>					
<i>Matrici presenti in ravaneti moderni.(Baroni et al., 2000)</i>			<i>Matrici presenti in ravaneti antichi (Baroni et al., 2000)</i>		
W_L	W_P	IP	W_L	W_P	IP
20.4	15.6	4.8	20.2	16	4.2

Tabella 9: Valori medi ottenuti tramite i limiti di Atterberg, a confronto con i valori ottenuti da Baroni et al 2000.

Limiti di Atterberg			
Macchine da taglio			
	W _L	W _p	IP
Filo diamantato	37	27	10
	31	22	9
	29	23	6
Tagliatrice a catena	22	17	5
	18	17	1
	22	18	5
Perforatrice	22	18	4
	22	17	5
	20	18	2

Tabella 10: Limiti di Atterberg su macchine da taglio.

IP	Terreno
0-5	Non plastico
5-15	Poco plastico
15-40	Plastico
>40	Molto plastico

Tabella 11: Indice di Plasticità

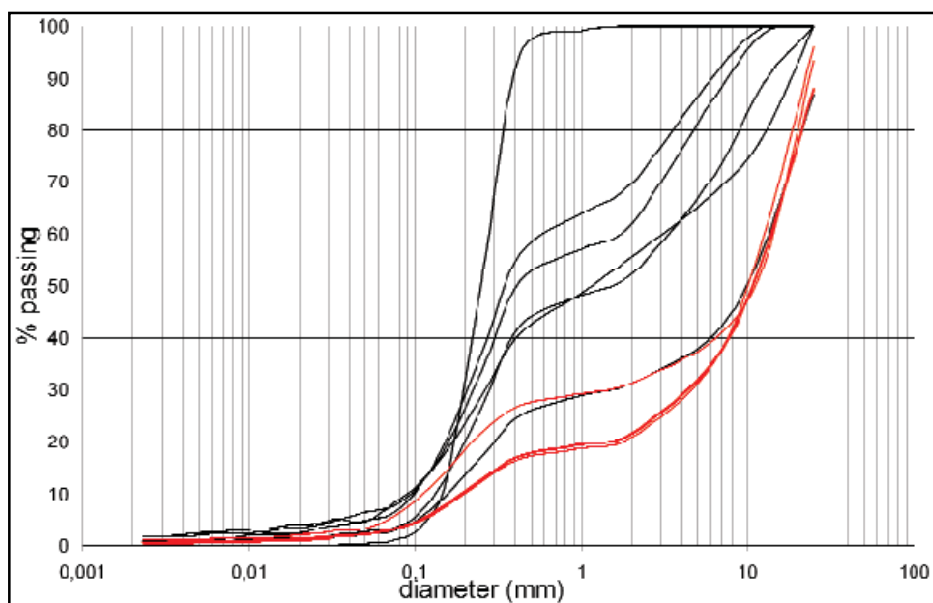


Figura 67: Curve granulometriche relative alla matrice di 9 campioni (in nero, i 6 campioni raccolti in ravaneti recenti; in rosso, i 3 campioni raccolti in ravaneti antichi) (D'Amato Avanzi *et al.*, 2008).

Confrontando i nostri dati con quelli ottenuti da studi precedenti effettuati da (Baroni *et al.*, 2000 e 2001) e (D'Amato Avanzi *et al.*, 2008), notiamo una buona corrispondenza fra i dati. Mettendo a confronto le curve granulometriche (Figura 66- 67) notiamo come i ravaneti antichi sostanzialmente producano la medesima curva, mentre quelli moderni campionati da noi mostrano percentuali di poco maggiori di elementi limo argillosi rispetto a quelli di D'Amato Avanzi *et al.*, (2008). Per quanto concerne i limiti di Atterberg osserviamo in tabella 9 come i limiti elaborati in questa tesi corrispondano ai limiti eseguiti da Baroni *et al.*, (2000).

9 CONCLUSIONI.

Alla luce dei dati raccolti e qui sopra esposti e analizzati possiamo trarre le seguenti conclusioni. Partendo dall'analisi foto storiche confrontate con immagini attuali, possiamo analizzare un profondo mutamento di tutto l'ambiente di cava avvenuto nell'arco di un secolo. Si può osservare la presenza di ravaneti dove attualmente sono stati rimossi, la totale asportazione di alcune cime e un generale rimodellamento di tutto ciò che è presente nel bacino marmifero. Siamo quindi passati ad analizzare la cartografia per verificare se questi mutamenti riscontrati su base fotografica fossero visibili anche qui. Abbiamo quindi potuto apprezzare incrementi sempre maggiori di superficie dei ravaneti in quasi tutti i casi, solo in circostanze eccezionali si verificava una diminuzione areale probabilmente dovuta ad esigenze di lavorazione che hanno previsto la rimozione del ravaneto per aprire nuovi fronti di cava, solo nella cartografia recente osserviamo per la prima volta una contrazione delle aree di alcuni ravaneti, riscontrabile nell'andamento delle superfici totali dei ravaneti dell'intero bacino marmifero (Tabella 12). Questo fenomeno non è più provocato come in passato da pure esigenze lavorative, che quindi non incidevano sull'andamento dei volumi totali degli scarti, ma dalla sistematica rimozione di detriti che vengono massicciamente utilizzati per finalità commerciali.

<i>Coperture dei ravaneti nei bacini marmiferi</i>					
<i>Anno</i>	<i>Pescina Boccanaglia</i>	<i>Torano</i>	<i>Miseglia</i>	<i>Colonnata</i>	<i>Copertura totale</i>
1887	11	116	69	69	265
2003	31	180	107	199	518
2007	30	185	102	161	478

Tabella 12: Copertura areale dei ravaneti nei 4 bacini marmiferi. Tutte le misure sono espresse in ha.

Tramite osservazioni di terreno, e dalla cartografia analizzata, abbiamo osservato che quasi tutti i ravaneti potrebbero avere una base storica (Allegato 1). L'evidenza della presenza di questi ravaneti storici è confermata dagli affioramenti ritrovati in alcune poli estrattivi. La presenza di questi corpi storici implica quindi che anche la cartografia più antica 1886-1887 non può mostrare le forma delle valli naturali, ma si presenta un ambiente già fortemente

alterato dall'azione antropica. Questo si traduce nell'impossibilità di eseguire calcoli totali dei volumi dei ravaneti, ma bensì solo analisi parziali, cioè relative alla serie cartografica più vecchia solo in alcuni casi fortuiti si riescono ad individuare aree in cui il ravaneto è stato scaricato in tempi recenti, rendendo così possibile un'analisi totale del volume. Questa operazione è stata eseguita per l'area dei Betogli tramite moduli G.I.S. di calcolo dei volumi.

Tuttavia per poter valutare pienamente i volumi in gioco, si renderanno necessarie indagini di tipo geognostico, per valutare gli spessori e le loro variazioni in più punti dei ravaneti, in modo da pianificare futuri piani estrattivi ed eseguire piani di bonifica e messa in sicurezza di queste discariche.

I ravaneti sono quindi corpi estremamente caotici con caratteristiche fisiche molto diverse a seconda del tipo di metodo di coltivazione che è stato impiegato. Una sezione ideale attraversante i vari corpi detritici prodotti dal succedersi del tempo e delle tecnologie estrattive potrebbe essere costituita da:

- Un livello basale generato da coltivazione con esplosivo, con assenza di matrici e clasti con dimensioni molto variabili, asse minore variabile da 100 a 1 cm.
- Clasti con dimensioni decimetriche “testa d'uomo” frutto della coltivazione con filo elicoidale, con presenza di matrice dovute a sabbia silicea (abrasivo) e sfridi di marmo. La dimensione caratteristica dei clasti era dovuta all'assenza di macchina movimento terra le quali hanno fatto la comparsa in cava solo negli ultimi anni di utilizzo del filo.
- Ravaneti moderni, presenza di materiale lapideo estremamente eterogeneo. Si passa infatti da “informi” a matrici con elementi aventi diametri variabili che vanno dal campo delle ghiaie al campo delle argille. La presenza delle matrici in ravaneti moderni è stata ricondotta ai mezzi da taglio attuali. Quindi troviamo la tagliatrice a catena come produttrice di elementi con dimensioni di sabbie e limi, mentre il filo produce elementi con diametri riferibili al campo dei limi e delle argille (Figura 69).

Quindi ci troviamo di fronte ad un corpo permeabile nei suoi strati inferiori, mentre negli strati superiori abbiamo una caduta di permeabilità. Attualmente il recupero di materiale lapideo prevede una vagliatura di quest'ultimo per ripulirlo dalle matrici le quali rimangono accumulate in ravaneto, visto che il mercato delle “terre” (così vengono dette commercialmente le matrici) ha un giro d'affari estremamente inferiore a quello dei “sassi”. Ciò produce un disequilibrio nella distribuzione della permeabilità, facendo sì che in casi di precipitazioni anche non particolarmente intense si possa verificare l'insorgere di debris flow secondo il modello suggerito per i ravaneti di Carrara da Baroni *et al.*, (2000; 2001). Per tanto è plausibile pensare, che quanto più lungo sia il periodo di permanenza in cava delle “terre”, tanto più alta sarà la possibilità dell'insorgere di questi problemi di instabilità. Inoltre accadrà la presa in carico di queste matrici dalle acque meteoriche che le porteranno nei letti dei corsi d'acqua (Figura 68) provocando un alto trasporto di materiale in sospensione, e una non del tutto remota possibilità d'impermeabilizzazione dell'alveo nelle zone inferiori delle aste fluviali, dove cominciano a prevalere i processi di deposizione.

<i>Grado di permeabilità relativa</i>	<i>Coefficiente di permeabilità</i>	<i>Tipi di terre</i>
<i>alto</i>	$K > 10^{-2}$	Ghiaie
<i>medio</i>	$10^{-2} > K > 10^{-4}$	Sabbie
<i>basso</i>	$10^{-4} > K > 10^{-9}$	Sabbie fini, limi
<i>impermeabile</i>	$K > 10^{-9}$	Argille

Tabella13: coefficiente di permeabilità (K) m/s (Colombo et al., 1996).

La tabella 13, sebbene generale e da applicare con cautela alla situazione contingente ci mostra le permeabilità di alcuni tipi di terre. Possiamo osservare come le matrici dei ravaneti moderni da noi campionate rientrino in un grado di permeabilità basso.



Figura 68: Alveo di un torrente in località Tarnone, si può vedere il materiale fine (Sabbie, limo e argille) depositato sul fondo 15/02/09.

I limiti di Atterberg determinati hanno restituito informazioni sulla risposta delle matrici al contenuto d'acqua. Abbiamo osservato come le matrici attualmente prodotte presentino un comportamento poco plastico, mentre le matrici dei ravaneti antichi forniscano un IP non plastico e non sempre forniscono un esito positivo.

Da ciò può essere dedotto che a seguito di forti precipitazioni la risposta in termini di plasticità delle matrici dei ravaneti moderni e quelli più antichi favorisca di più l'instabilità di questi accumuli rispetto a quelli più antichi.

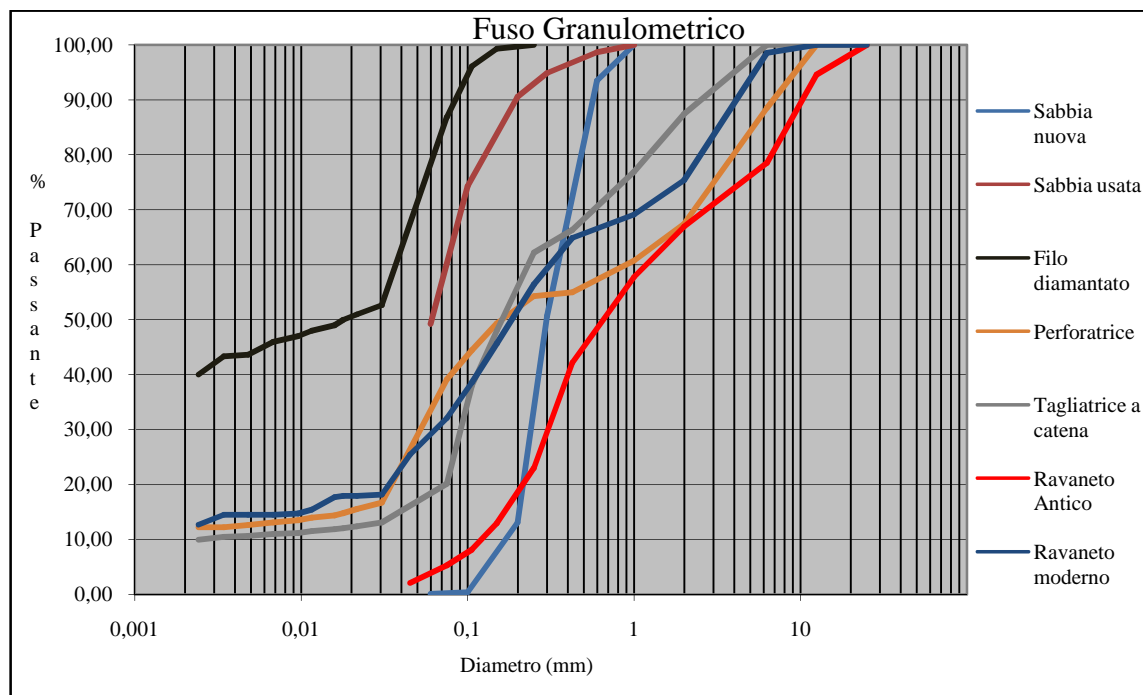


Figura 69 : Curve granulometriche caratteristiche di macchinari e ravaneti.

I risultati di questo lavoro confermano quindi che i ravaneti rappresentano una sorgente di rischio geomorfologico che rende necessari interventi di bonifica e messa in sicurezza, che principalmente si devono indirizzare verso gli accumuli che contengono percentuali maggiori di matrici limoso-argillose. I prelievi di ravaneto per motivi industriali-commerciali rappresentano una risorsa economica, tuttavia cautela deve essere impiegata nella gestione delle terre provenienti dai processi di vagliatura, evitando che si disperdano lungo i versanti, dove aumenterebbero la suscettività al dissesto e potrebbero portare a fenomeni di impermeabilizzazione degli alvei fluviali.

Una possibile funzione di queste “terre” potrebbe essere il loro impiego secondo il D.M. del 05/02/98 il quale prevede:

7.2 Tipologia: rifiuti di rocce da cave autorizzate

7.2.1 Provenienza: attività di lavorazione dei materiali lapidei.

7.2.2 Caratteristiche del rifiuto: materiale inerte in pezzatura e forma varia, comprese le polveri

7.2.3 Attività di recupero:

a) cementifici

b) utilizzo del granulato per produzione di conglomerati cementizi e bituminosi

c) utilizzo per isolamenti e impermeabilizzazioni e ardesia espansa

d) ove necessario frantumazione; macinazione, vagliatura; eventuale omogeneizzazione e integrazione con materia prima inerte, anche nell'industria lapidea

e) utilizzo per recuperi ambientali (il recupero è subordinato all'esecuzione del test di cessione sul rifiuto tal quale secondo il metodo in allegato 3 al presente decreto)

f) utilizzo per realizzazione di rilevati e sottfondi stradali e ferroviari e aeroportuali, piazzali industriali previo eventuale trattamento di cui al punto d) (il recupero è subordinato

all'esecuzione del test di cessione sul rifiuto tal quale, secondo il metodo in allegato 3 al presente decreto)

7.2.4 Caratteristiche delle materie prime e/o dei prodotti ottenuti:

a) cemento nelle forme usualmente commercializzate;

b) e c) conglomerati cementizi e bituminosi e malte ardesiache.

Per la natura del materiale gli impieghi migliori potrebbero essere quelli di ottenere “terriccio vegetale” per recuperi ambientali, oppure altro possibile impiego di queste “terre” potrebbe essere quello di creare rilevati, dove le caratteristiche richieste sono in genere relativamente poco restrittive e riguardano sostanzialmente sia la distribuzione granulometrica, che deve essere il più possibile estesa, sia la necessità che il materiale non contenga un'eccessiva percentuale di limi ed argille. In linea di massima si chiede che il materiale utilizzato appartenga alle categorie A1, A2 e A3, secondo la classificazione stradale HRB–AASHTO (Figura 70). Il materiale da noi analizzato rientra in parte nella categoria A2 (ravaneti antichi) e in parte nella categoria A4 (ravaneti moderni) che prevedono entrambe limite di liquidità (WL) minore di 40 e indice di plasticità (IP) minore di 10. Quindi previo trattamento potremmo modificare le caratteristiche in modo tale da far rientrare tutti i materiali nella categoria A2 e poterli adoperare a fini edili.

I materiali comunque dovranno essere sottoposti prima di ogni possibile utilizzo a test di cessione sul rifiuto, come riportato in Allegato 3 del D.M. del 05/02/98, o a test equivalente di riconosciuta valenza europea (UNI 10802). Questi test prevedono analisi volte a rintracciare elementi inquinanti quali metalli e idrocarburi pesanti.

Classificazione dei terreni HRB-AASHTO (CNR-UNI 10006)

Classificazione generale	Terre ghiaia - sabbiosa						Terre limo - argillose						Torbe e terre organiche palustri
	Frazione passante al setaccio 0,075 UNI 2332 $\leq 35\%$						Frazione passante al setaccio 0,075 UNI 2332 $>35\%$						
Gruppo	A1		A3	A2		A4	A5	A6	A7		A8		
Sottogruppo	A1 a	A1 b		A2-4	A2-5	A2-6	A2-7						
Analisi granulometrica - Frazione passante al setaccio													
2 UNI 2332 %	≤ 80												
0,4 UNI 2332 %	≤ 30	≤ 80	≥ 80										
0,075 UNI 2332 %	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35		
Caratteristiche della frazione passante al setaccio 0,4 UNI 2332													
Limite liquido	0			≤ 40	> 40	≤ 40	> 40	≤ 40	> 40	≤ 40	≤ 40	≤ 40	
Indice di plasticità	≤ 6	N.P.	≤ 10	≤ 10 max	> 10	> 10	≤ 10	≤ 10	> 10	> 10 ($IP > LL_{30}$)	> 10 ($IP > LL_{30}$)		
Indice di gruppo	0	0	0			≤ 4		≤ 8	≤ 12	≤ 18	≤ 20		
Tipi usuali dei materiali caratteristici del gruppo	ghiaia e breccia, sabbione, sabbia grossa, pomice, scorie vulcaniche, pozzolane		Sabbia fine	ghiaia e sabbia limosa e argillosa				Limo poco compressibili	Limo fort. compressibili	Argille poco compressibili	Argille fort. compressibili med. plastiche	Argille fort. compressibili fort. plastiche	Torbe di recente o remota formazione, detriti organici di origine palustre
Qualità portante quale terreno di sottofondo in assenza di gelo	da eccellenti a buone						Da mediocre a scadente						Da scartare come sottofondo

Azione del gelo sulla qualità portanti del terreno di sottofondo	Nessuna o lieve		Media	media	elevata	Media	elevata	Media	
Ritiro o rigonfiamento	Nulla		Nulla o lieve	Lieve o media		elevato	elevato	molto elevato	
Permeabilità	Elevata		Media o scarsa			Scarsa o nulla			
Identificazione dei territori in sito	Facilmente individuabili a vista	Aspri al tatto Incoerenti allo stato asciutto	La maggior parte dei granuli sono individuabili ad occhio nudo - Aspri al tatto - Una tenacità media e elevata allo stato asciutto indica la presenza di argilla	Reagiscono alla prova di scuotimento - Polverulenti o poco tenaci allo stato asciutto - Non facilmente modellabili allo stato umido		Non reagiscono alla prova di scuotimento - Tenaci allo stato asciutto - Facilmente modellabili in bastoncini sottili allo stato umido			Fibrosi di colore bruno a nero - facilmente individuabili a vista

Figura 70: Classificazione dei terreni HRB-AASHTO.

Bibliografia.

A.G.I. (1977): *Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche*. Associazione Geotecnica Italiana, Roma, 96

Autori vari (2001): *Agenda 21 Rapporto sullo Stato dell'ambiente della città di Carrara*. 1-23
www.agenda21carrara.it

Autori vari (2002): *Allegato "attività estrattive" Stralcio "aree contigue di cava delle Alpi Apuane" del Piano regionale integrativo per i materiali ornamentali.1-38*
http://www.parcapuane.toscana.it/documenti/Piano/Documenti/documenti%202002/rel_cave.pdf
df 23/07/2002.

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

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

Baroni, C., Mannucci P., Bruschi, G. & Ribolini, A. (2008): *Carta geomorfologica dei bacini marmiferi di Carrara e note illustrative*. L.A.C. Firenze

Bradley F. (1991), *Guida alle Cave di Marmo di Carrara*. Internazionale Marmi e Macchine Carrara. 1-91.

Bradley F., & Criscuolo A., (1998): *Valutazione economica e norme di compravendita dei marmi di Carrara*. *Marmo macchine*, 143, 194-212

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*, 2, 26-32.

Cantisani, E., Fratini, F., Molli, G. & Pandolfi, L. (2003): *Sulla provenienza apuana del marmo di cippi funerari etruschi*. *Acta apuana*, 2, 19-25.

Carmignani L. & Kligfield, R. (1990): *Crustal extension in the Northern Apennines: the transition from compression to extension in the Alpi Apuane core complex*. *Tectonics*, 9, 1275-1303.

- Carmignai L., Conti P., Disperati L. Fantozzi P., Giglia G., & Meccheri M. (2000): Carta geologica del Parco delle Alpi Apuane scala 1:50000.
- Carmignai L., Meccheri M. & M., Prmavori (2005): *Marbles and other ornamental stones from Auane Alps*. *Giornale di Geologia Applicata* 1, 233-246
- Carmignani L., Conti P., Meccheri M., Mancini S., Massa G., Simoncini D. & Vaselli L. (2007a): *Relazione finale Progetto Marmi Alpi Apuane* 1-57. Dipartimento di Scienze della Terra, Centro di GeoTecnologie, Università di Siena. www.marmiapuane.info
- Carmignani L. Conti P., Fantozzi P., Mancini S., Massa G., Molli G. & Vaselli L. (2007b): *I marmi delle Alpi Apuane*. *Geoitalia* 21, 19-29
- Castiglioni G. (1979): *Geomorfologia*. UTET, Torino 87-128 208-253
- Chirici G. (2005): *Appunti di Geomatica*. geoLAB – Laboratorio di Geomatica Dipartimento di Scienze e Tecnologie Ambientali Forestali Università degli Studi di Firenze 1-54
- Coli M., Appelius V. & Pini G. (2000): *Studi sui ravaneti dei bacini marmiferi industriali del comune di Carrara - I: ubicazione, tipologia e consistenza*. GEAM, atti del Convegno “le cave di pietre ornamentali”, Torino 28-29/11/2000, 59- 63.
- Colombo P. & Colleselli F. (1996): *Elementi di geotecnica*. Zanichelli. 11-31
- Comitato attività estrattive di superficie (2001): *Linee guida per la tutela della salute e della sicurezza dei lavoratori durante la coltivazione delle cave di pietre ornamentali*. 1-15
http://ec.europa.eu/employment_social/health_safety/docs/ornemental_it.pdf
- Copur H., Balci C., Bilgin N., Tumac D., Feridunoglu C. & Dincer T. (2008): *Cutting Performance of Chain Saws in Quarries and Laboratory*. Istanbul Technical University, Mining Engineering Department, 34469, Maslak, Istanbul-TURKEY. 1-6
- Cortopassi A., Molli G., Ottria G. (2006): *Study of the brittle deformation in the Fantiscritti basin (Apuan Alps, Carrara, Italy) for the paleostress reconstruction*. T& A 1-2/2006 27-41.
- Dainelli N., Bonechi F., Spagnolo M. & Canessa A. (2008): *Cartografia Numerica*. Dario Flaccovio Editore. 23-31 95-107
- D’Amato Avanzi G., Cortopassi P.F., Daddi M., Giannecchini R., Lattanzi G., Merlini. & Milano P.F., (2008): *Discariche di cava e instabilità deiversanti: Valutazione preliminare di alcuni fattori nel bacino marmifero di Carrara (Italia)*. *Italian Journal of Engineering Geology and Enviroment*, Special Issue. 1-20.

- D'Amato Avanzi, G. & Verani, M. (1998): *Valenze ambientali ed economiche dei ravaneti delle Alpi Apuane (Toscana)*. Memorie della Società Geologica Italiana, 53, 489-501.
- De Castro C.(1894): *Distretto di Carrara*. Rivista Servizio Miniere. 65-104.
- Dino G. & Fornaro M. (2005): *L'utilizzo integrale delle risorse lapidee negli aspetti estrattivi, di lavorazione e di recupero ambientale dei siti*. Giornale di Geologia Applicata 2 320-327.
- Dolci E. (2003): *Carrara Cave Antiche*. Materiali Archeologici. Viareggio.
- Dolci E. (2003): *Archeologia Apuana*. Lions club Massa e Carrara Host 15-31
- Doveri M. (2008): *Studio idrogeologico e idrogeochimico dei sistemi acquiferi carbonatici nel bacino del Torrente Carrione (Alpi Apuane nord-occidentali)*.1-10 <http://www.ogt-annoterra2008.info>
- Di Prisco C., Secondi M.,(2003): *Studio dei problemi di stabilità di fronti di scavo connessi allo svuotamento di vasche di decantazione*. Dipartimento di Ingegneria Strutturale del Politecnico di Milano (D.I.S.) 12-23.
- ERTAG Regione Toscana (1980): *I Marmi Apuani*. Nuova Grafica Fiorentina, Firenze.
- Facciorusso J., Madaia C., Vannucchi G. (2008) : *Dispense di Geotecnica Università degli Studi di Firenze*. Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale – Sezione Geotecnica 1-20
- Franceschelli, M., L. Leoni, I. Memmi, and M. Puxeddu (1986): *Regional distribution of Al-silicates and metamorphic zonation in the low-grade Verrucano metasediments from the northern Apennines, Italy*. Journal Metamorphic Geology, 4, 309 – 321.
- Gemignani B. & Borgioli M. (2004): *Carrara e la sua gente*. Società Editrice Apuana. 1 , 16-28, 51-63.
- Il Ministero dell'Ambiente (1998): *Individuazione dei rifiuti non pericolosi sottoposti alle procedure semplificate di recupero ai sensi degli articoli 31 e 33 del decreto legislativo 5 febbraio 1997, n. 22*. Decreto Ministeriale del 05/02/1998
- Iverson R. (1997): *The Physics of debris flows* . Reviews of Geophysics, 35, 3 / August 1997 245–296
- Jervis W. (1862): *Mineral Resources of central Italy*. Digitized by Google.. 1-25.

- 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.
- Molli, G., G. Giorgetti, and M. Meccheri (2000a), *Structural and petrological constraints on the tectono- metamorphic evolution of the Massa Unit* (Alpi Apuane, NW Tuscany, Italy), *Geological Journal*, 35, 251 –264.
- Molli, M. & Meccheri, M. (2000b): *Geometrie di deformazione nell'alta valle di Colonnata: un esempio di strutturazione polifasica e composita nelle Alpi Apuane*. *Bollettino della Società Geologica Italiana*, 119, 379-394.
- Molli, G., G. Giorgetti, and M. Meccheri (2002): *Tectono-metamorphic evolution of the Alpi Apuane metamorphic complex*. New data and constraints for geodynamic models, *Bollettino della Società Geologica Italiana*, 1, 789 – 800, spec. v.
- 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*, 12, 52-59.
- Pandolfi D. & Pandolfi O. (1989): *La Cava*. Belforte grafica (LI) 313-447
- Pandolfi D. & Pandolfi O. (1997): *La Cava 2*. Graphin s.r.l. Sarzana (SP). 373-429
- Pandolfi D. & Pandolfi O. (2003): *La Cava 3*. Media Print (LI) 36-78.
- Paribeni E. (2003): *Problemi del marmo in età preromana*. *Acta apuana* 2, 11-16.
- Piccini L. & Pranzini G. (1989). *Idrogeologia e carsismo del bacino del fiume Frigido (Alpi Apuane)*. *Atti della Società Toscana di Scienze Naturali Residente in Pisa*, Memorie, Serie A, 96, 107-158.
- Price M., (2004): *Modeling Bauxite Thickness and Volume in ArcGis*. 44-49
http://www.esri.com/news/arcuser/0404/files/jamaica_1.pdf
- Primavori P., (1998): *20 Anni di filo diamantato*. *Marmo macchine*, 141, 238-270
- Rapetti C. & Rapetti F. (1996): *L'evento pluviometrico eccezionale del 19 giugno 1996 in alta Versilia (Toscana) nel quadro delle precipitazioni delle Alpi Apuane*. *Atti della Società Toscana di Scienze Naturali Residente in Pisa*, Memorie, Serie A, 103, 143-159.
- Repetti E., (1820): *Sopra L'Alpe Apuana ed i marmi di Carrara*. Dalla Badia Fiesolana.

SIGMA (1985): *Prove geotecniche di laboratorio*. SIGMA Etruria Livorno

Zaccagna D., (1905): *Condizioni geologiche ed industriali degli agri marmiferi della regione del Canal Bianco e del Murlungo*. Estratto della Rassegna Mineraria e della Industria Chimica. 23, 1-19

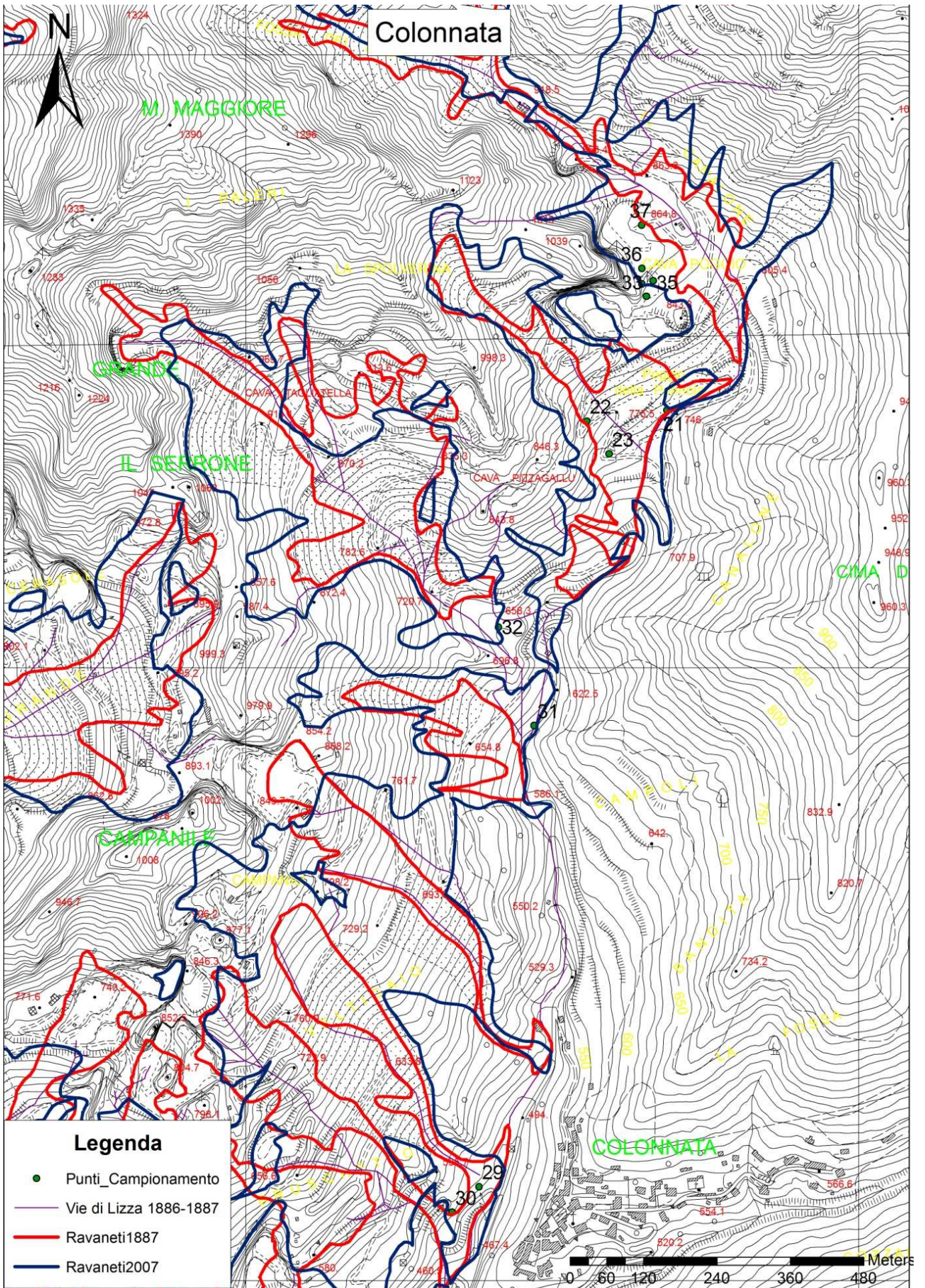
Zaccagna D., (1932): *Descrizione Geologica delle Alpi Apuane*. Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia, 25, Roma, 440

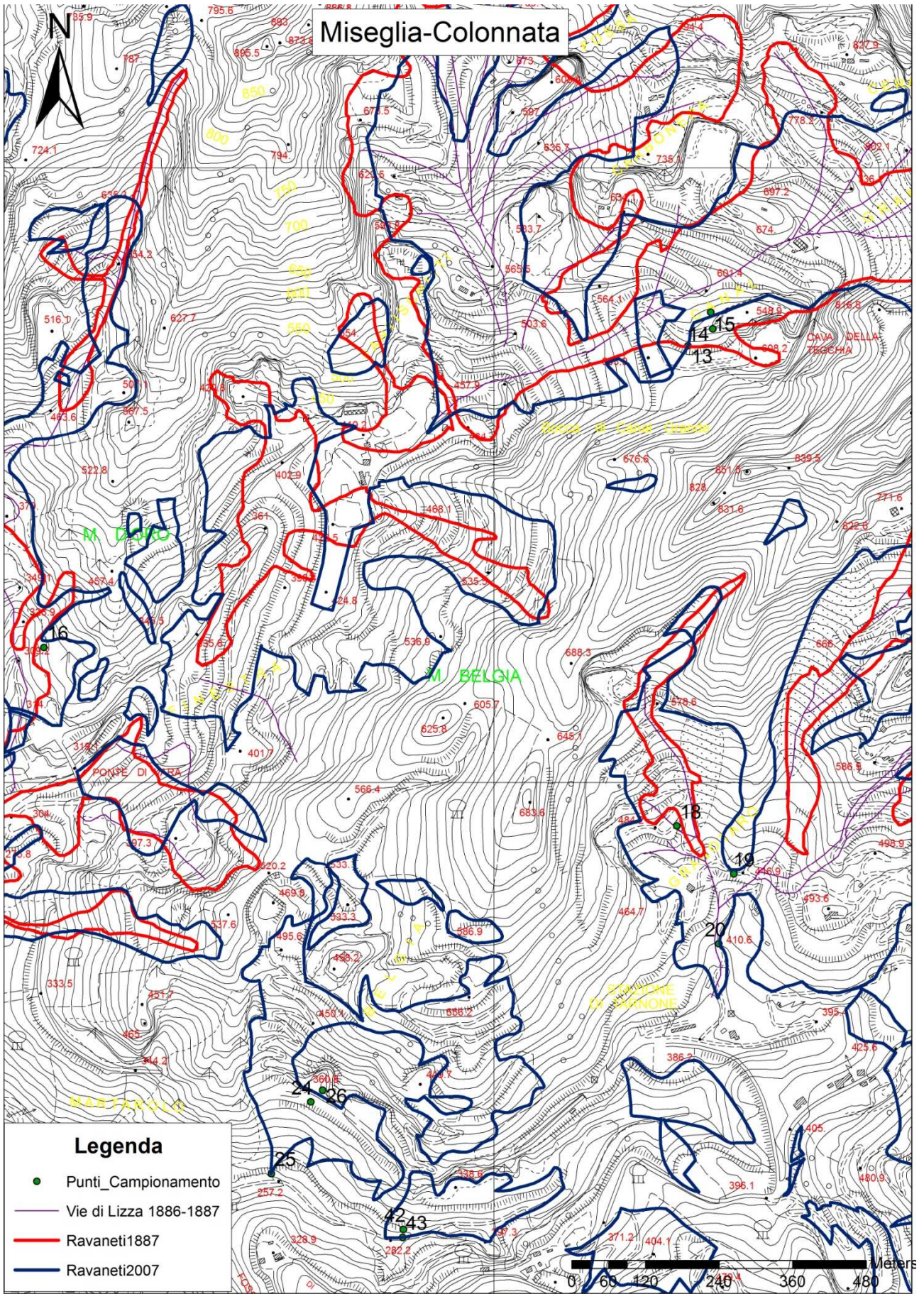
Zamboni M. (1999): *I Ravaneti Marmo macchine*, 150, 130-132.

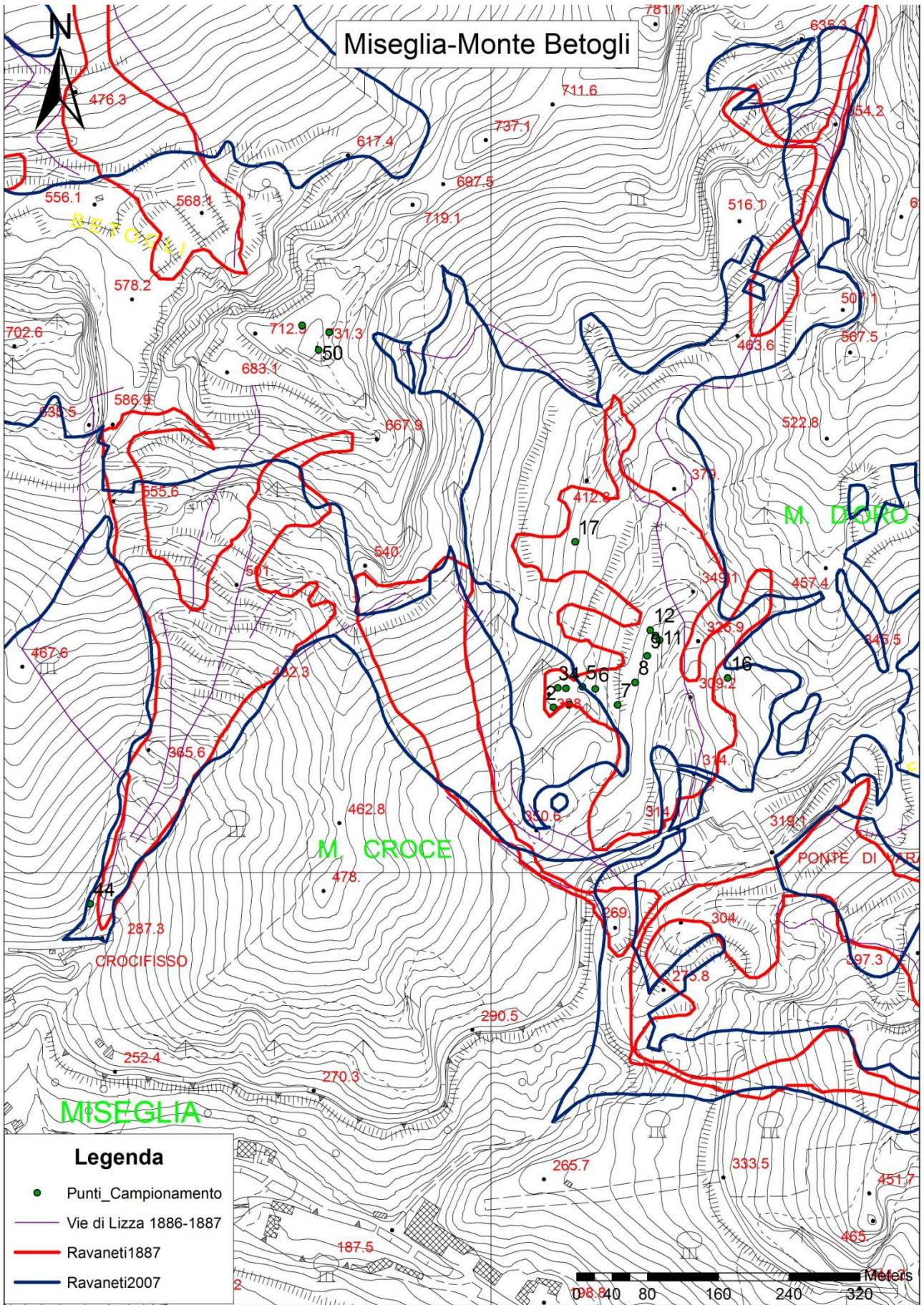
<http://www.comune.carrara.ms.it> 17/03/09

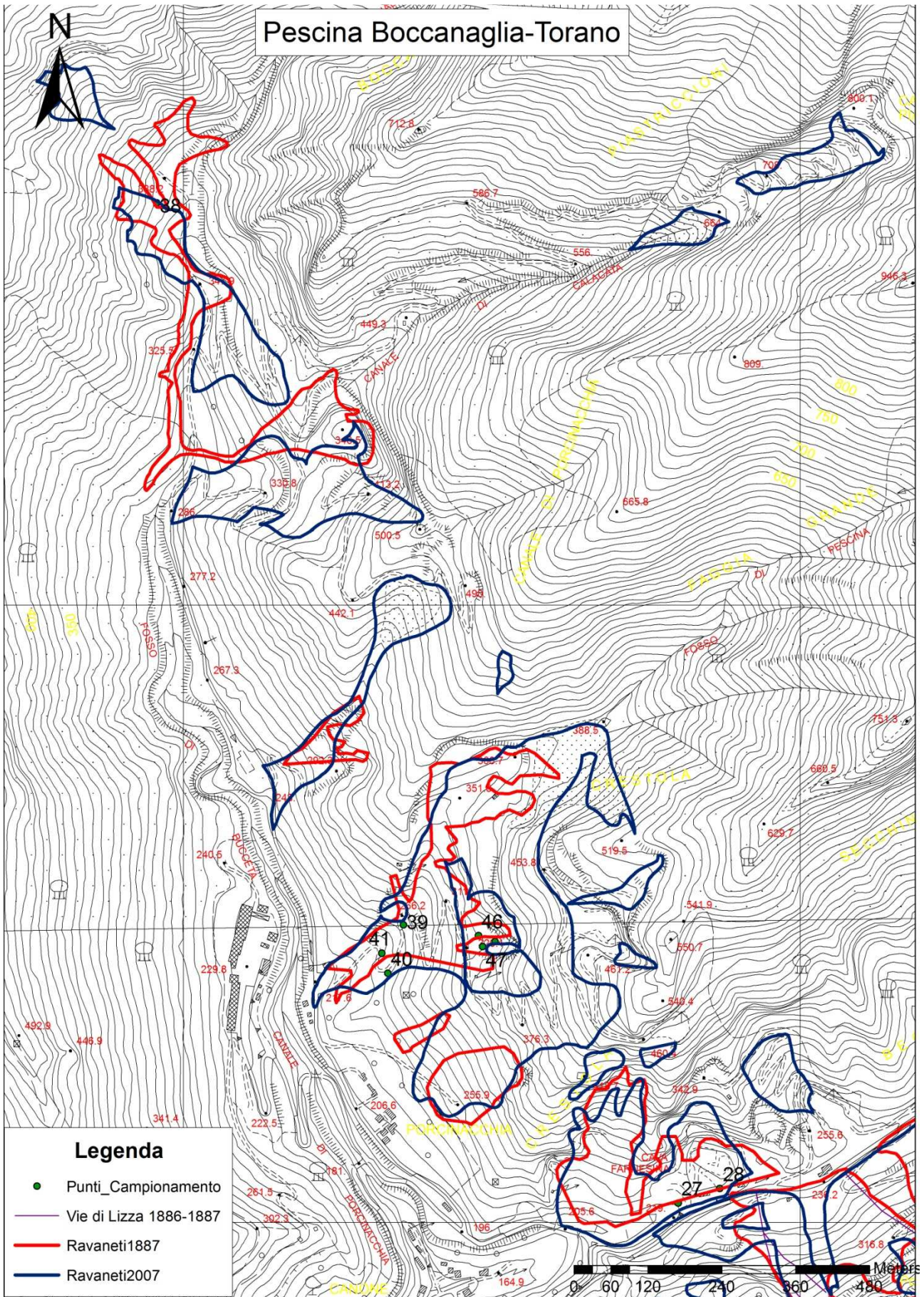
<http://portale.provincia.ms.it> 3/12/08.

<http://sira.arp.at.toscana.it> 10/12/08





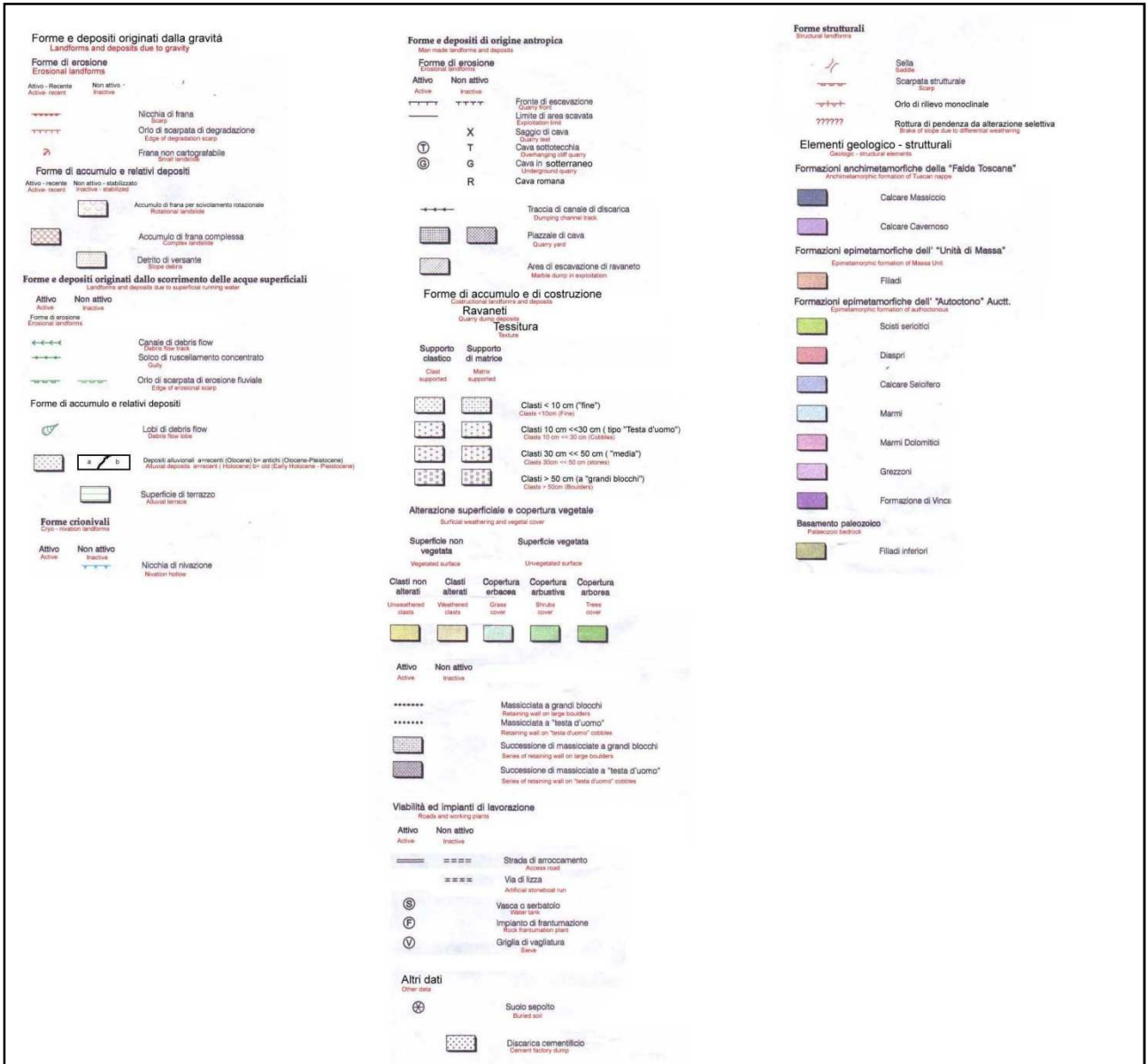


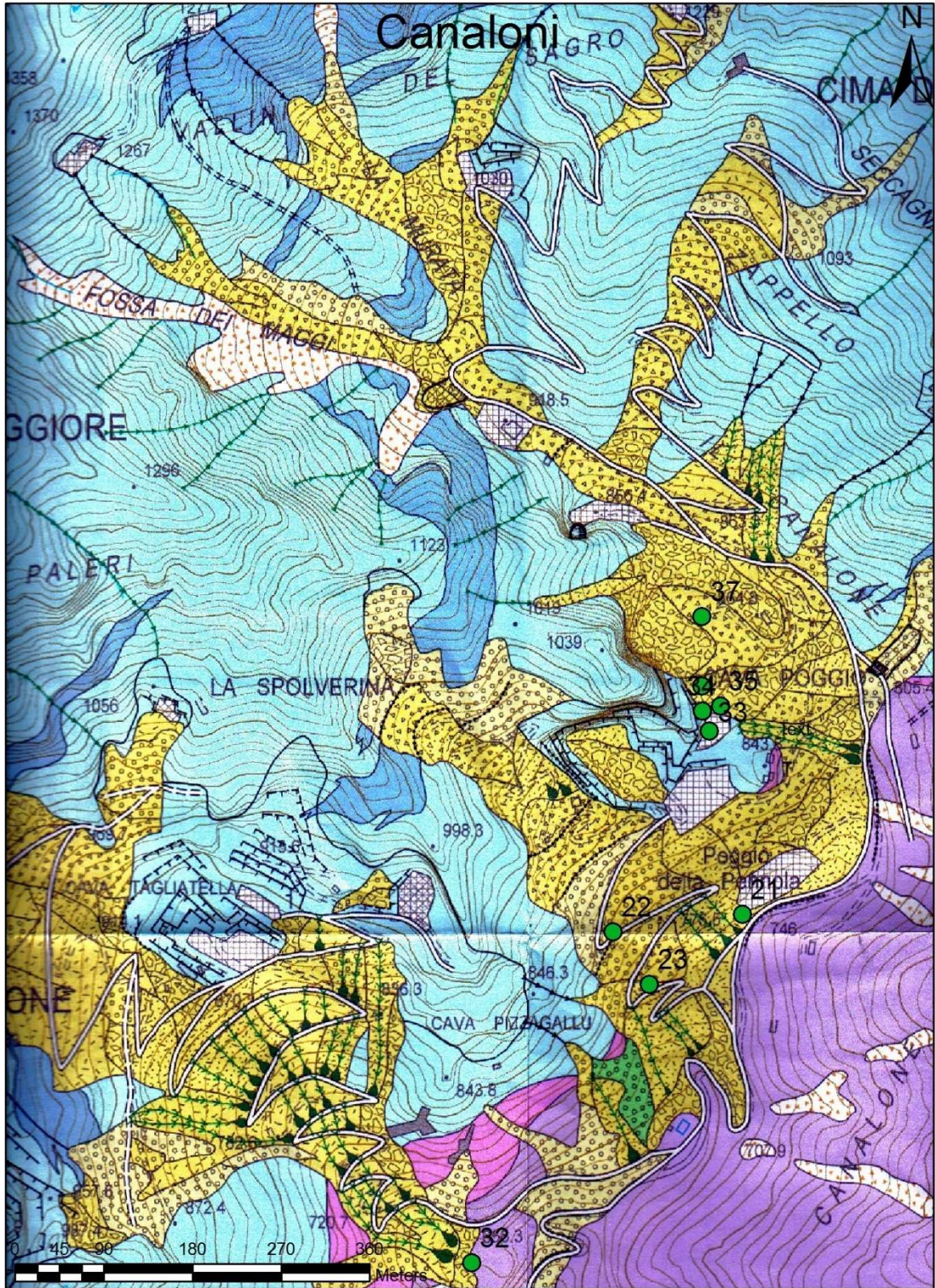


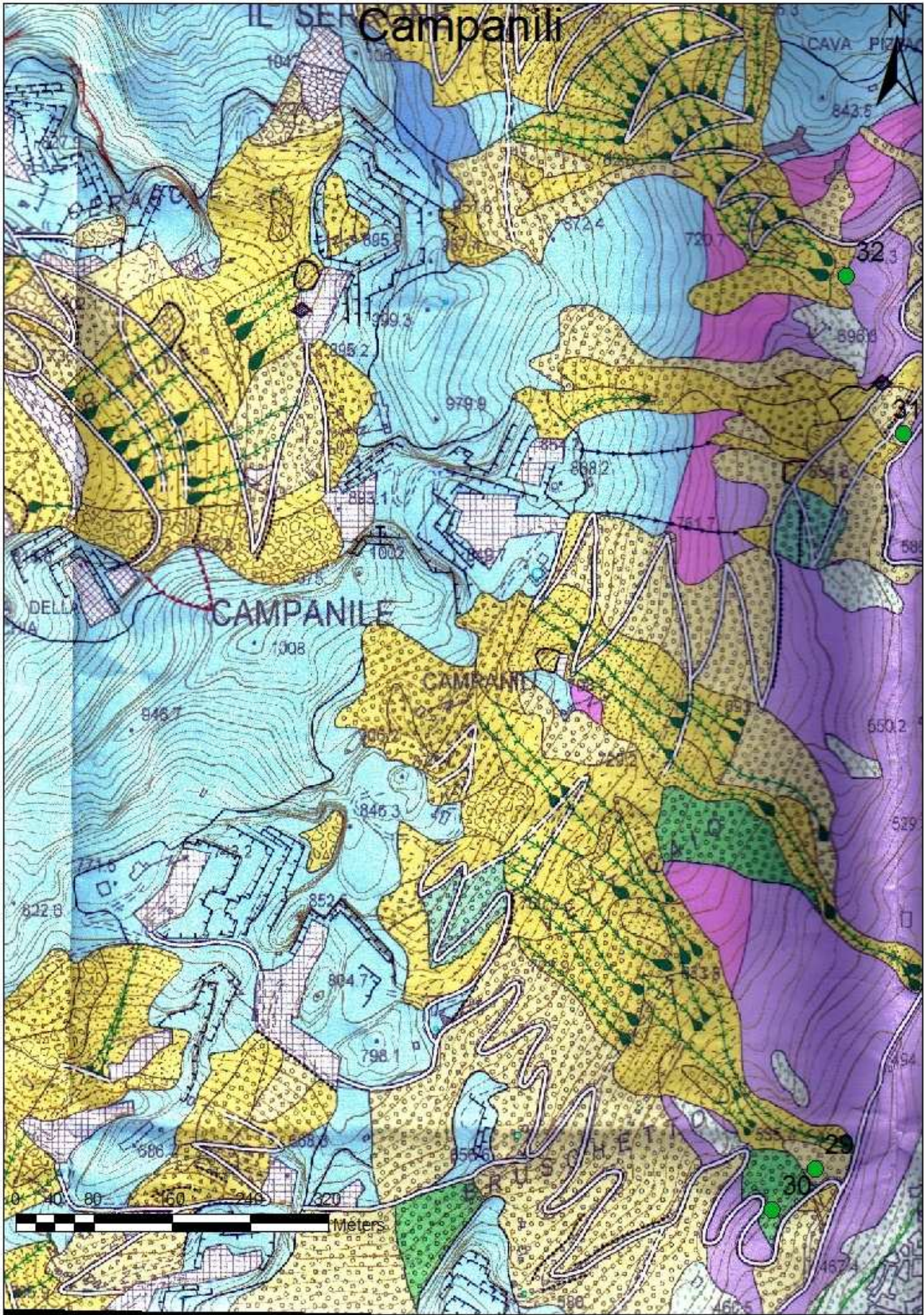
Allegato 2: Stralci della Carta Geomorfológica dei Bacini Marmiferi di Carrara scala 1:5000

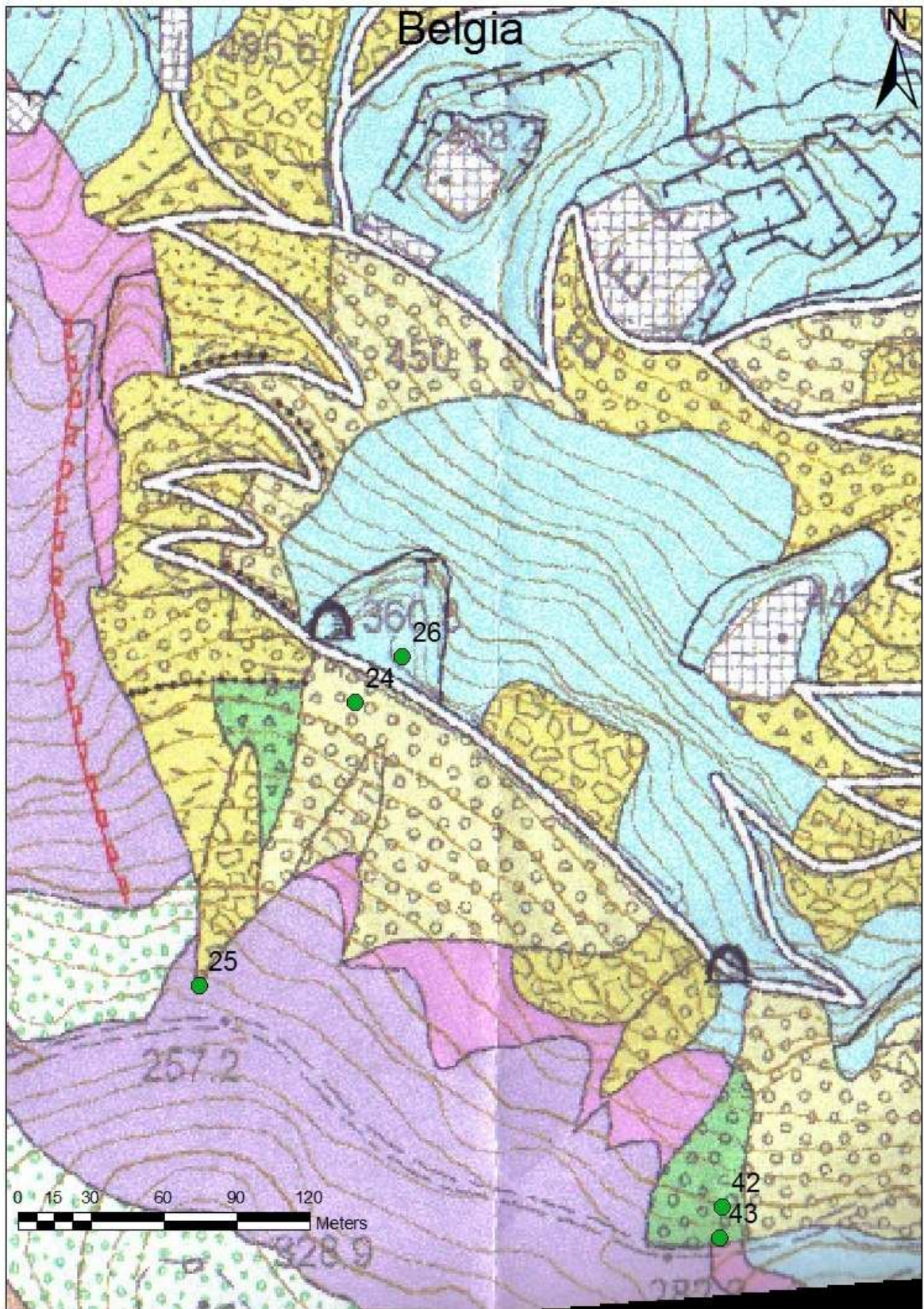
Baroni *et al.*, 2008.

● :Punti di campionamento



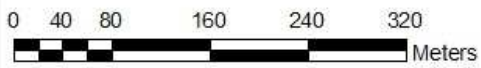
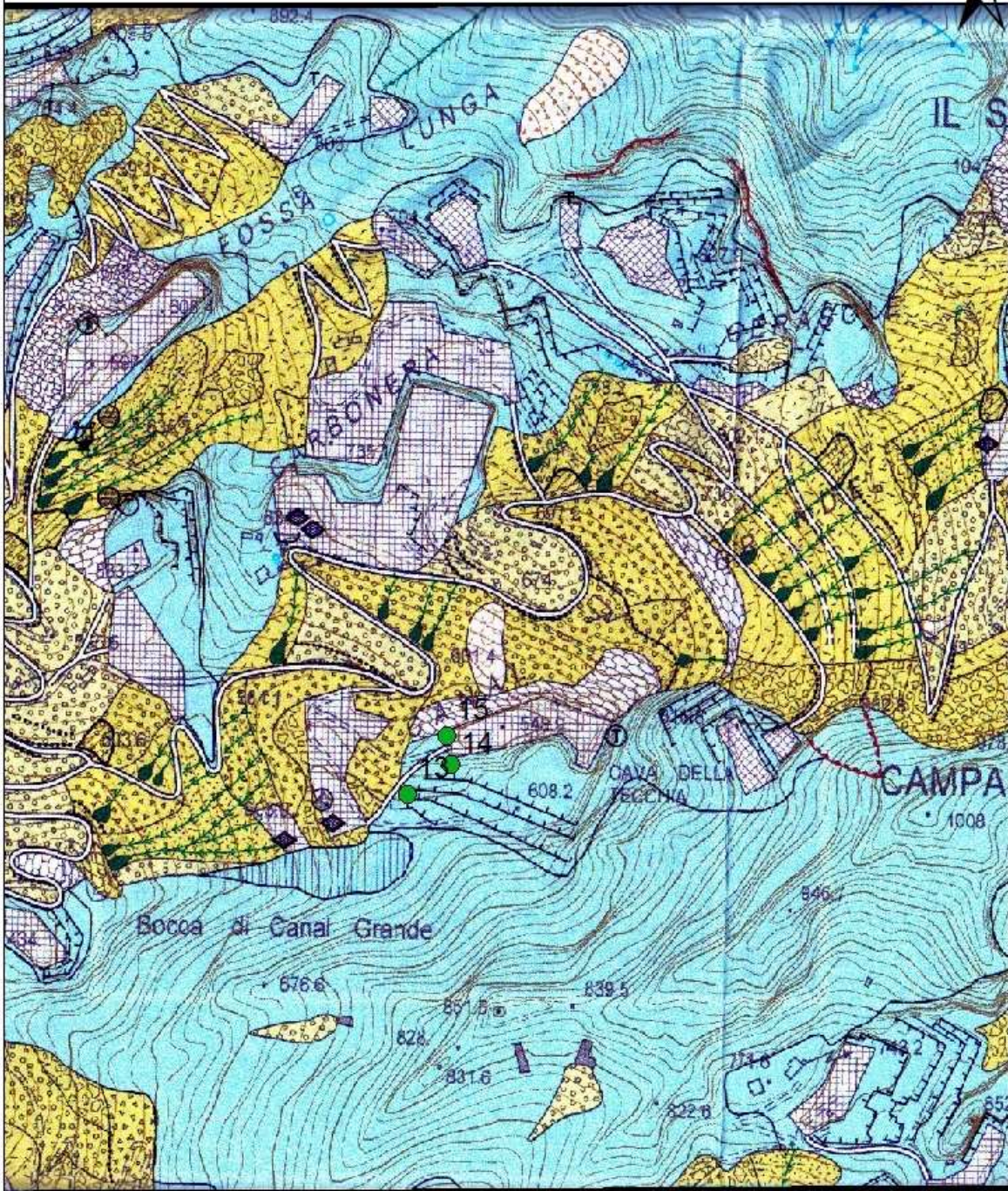


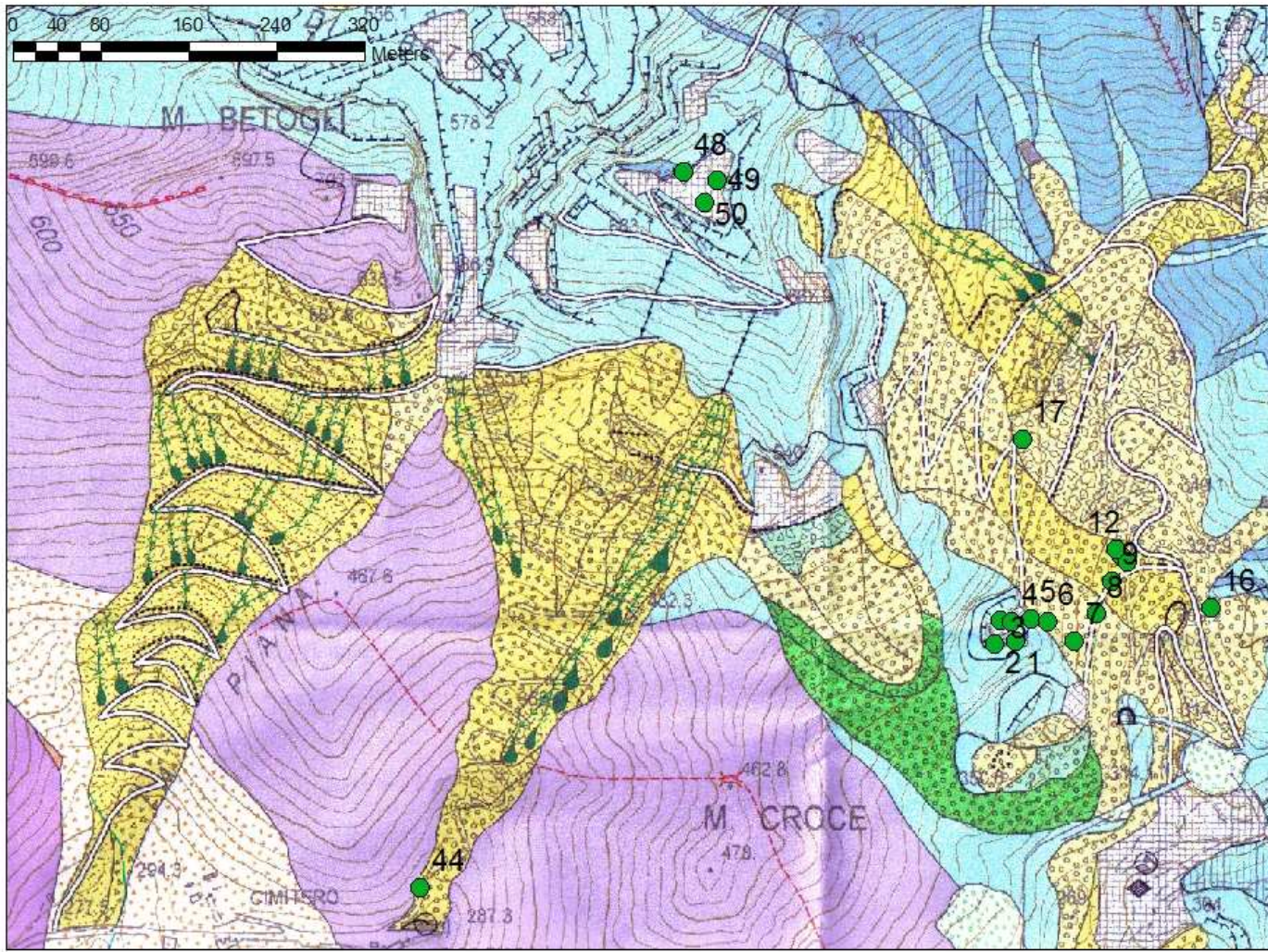


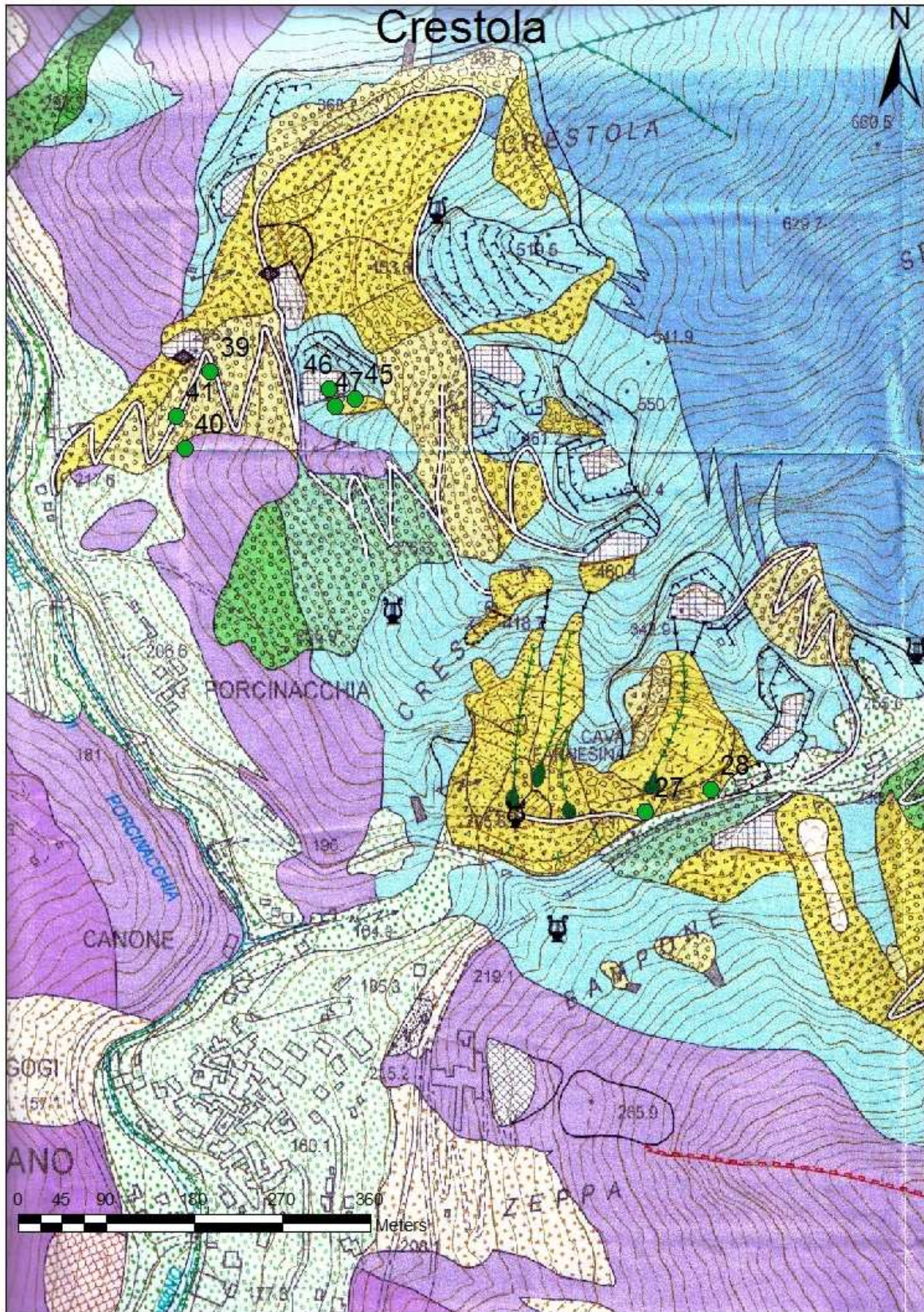


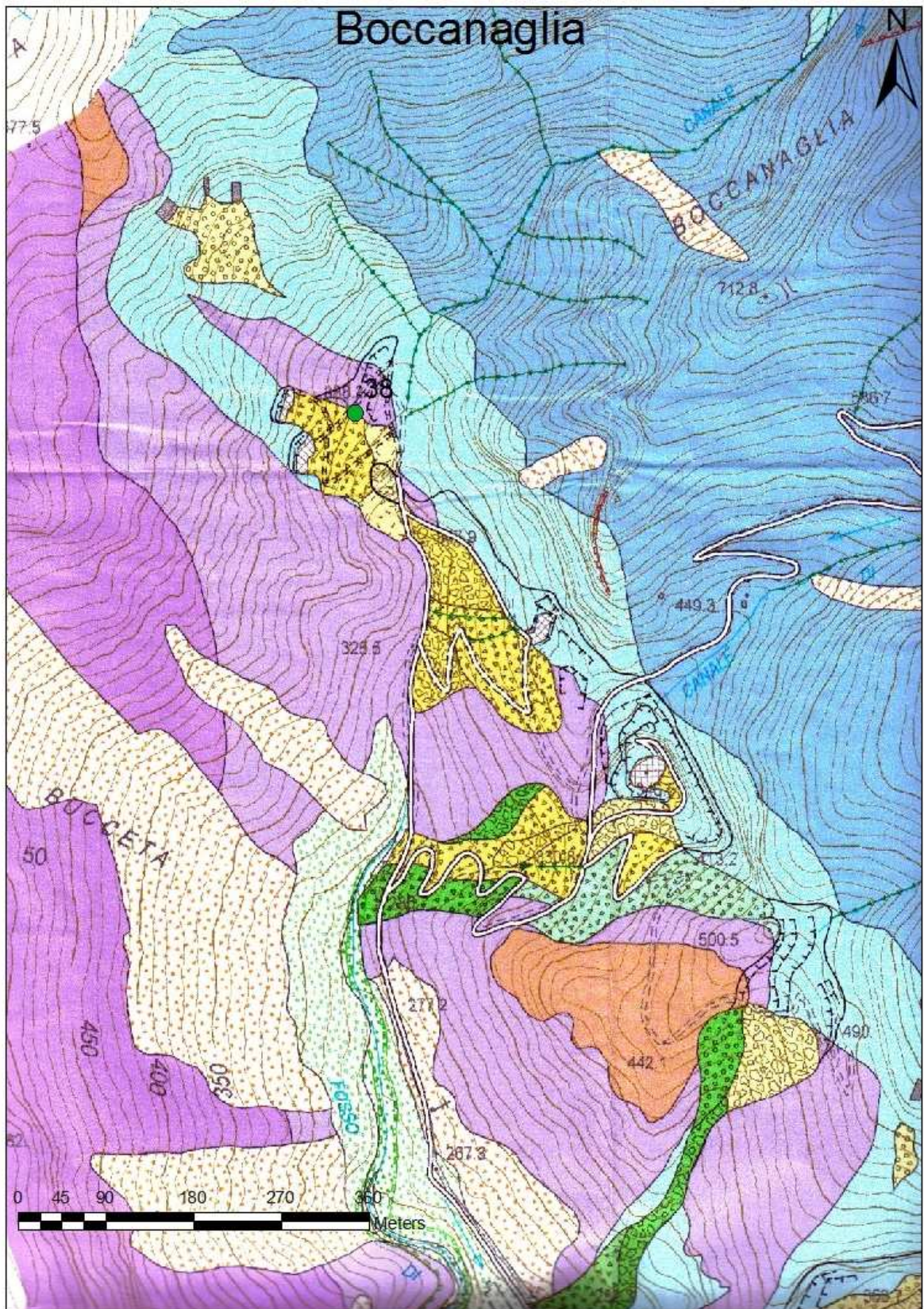


Canal Grande









Allegato 3

Nome Campione	% Ghiaia	% Sabbia	% Limo	% Argilla	AGI
20/11/08 1 Ravaneto Canal Piccino	40	60			Sabbia con ghiaia
20/11/08 2 Ravaneto Canal Piccino	37	62			Sabbia con ghiaia
20/11/08 3 Ravaneto Canal Piccino	34	65			Sabbia con ghiaia
20/11/08 4 Ravaneto Canal Piccino	45	53			Sabbia con ghiaia
20/11/08 5 Ravaneto Canal Piccino	24	75			Sabbia ghiaiosa
20/11/08 6 Ravaneto Canal Piccino	26	73			Sabbia con ghiaia
20/11/08 7 Ravaneto Canal Piccino	51	48			Ghiaia con sabbia
20/11/08 8 Ravaneto Canal Piccino	45	54			Sabbia con ghiaia
20/11/08 9 Ravaneto Canal Piccino	45	54	15		Sabbia con ghiaia con sabbia limosa
20/11/08 10 Ravaneto Canal Piccino	38	61	7		Sabbia con ghiaia debolmente limosa
20/11/08 11 Ravaneto Canal Piccino	1	70	16	11	Sabbia limosa debolmente argillosa
20/11/08 12 Ravaneto Canal Piccino	41	56			Sabbia con ghiaia
16/01/09 13 Ravaneto Canal Grande	29	47	12	10	Sabbia con ghiaia debolmente limosa/argillosa
16/01/09 14 Ravaneto Canal Grande	4	58	23	12	Sabbia limosa debolmente argillosa
16/01/09 15 Ravaneto Canal Grande	1	38	45	14	Limo con sabbia debolmente argilloso
16/01/09 16 Ravaneto Canal Grande	24	49	12	12	Sabbia ghiaiosa debolmente limosa/argillosa
16/01/09 17 Ravaneto Canal Piccino	29	53	4	12	Sabbia con ghiaia debolmente argillosa

Nome Campione	% Ghiaia	% Sabbia	% Limo	% Argilla	AGI
14/02/09 18 Ravaneto Fossa del Cardellino	46	47			Sabbia con Ghiaia
14/02/09 19 Ravaneto Fossa del Cardellino	15	27	50	6	Limo con sabbia ghiaiosa debolmente argillosa
14/02/09 20 Ravaneto Fossa del Cardellino	1	82	16	19	Sabbia limosa/argillosa
14/02/09 21 Ravaneto Fossa Cobiato	30	18	29	20	Ghiaia con limo sabbiosa/argillosa
14/02/09 22 Ravaneto Fossa Cobiato	36	16	38	7	Limo con ghiaia sabbiosa
14/02/09 23 Ravaneto Fossa Cobiato	33	27	17	20	Ghiaia con sabbia argillosa/limosa
15/02/09 24 Ravaneto Belgia	19	25	50	4	Limo con sabbia ghiaiosa
15/02/09 25 Ravaneto Belgia	19	58	13	8	Sabbia ghiaiosa debolmente limosa/argillosa
15/02/09 26 Ravaneto Belgia	30	53	5	12	Sabbia ghiaiosa debolmente argillosa /limosa
15/02/09 27 Ravaneto La Farnesina	38	31	13	16	Ghiaia con sabbia argillosa debolmente limosa
15/02/09 28 Ravaneto La Farnesina	36	22	26	17	Ghiaia con limo sabbiosa/argillosa
20/02/09 29 Ravaneto Campanili	46	33	19		Ghiaia con sabbia limosa
20/02/09 30 Ravaneto Campanili	52	38	8		Ghiaia con sabbia debolmente limosa
20/02/09 31 Ravaneto Querciolaia	62	29	8		Ghiaia con sabbia debolmente limosa
20/02/09 32 Ravaneto Pizzagallo	37	30	19	13	Ghiaia con sabbia limosa debolmente argillosa
23/02/09 33 Ravaneto Il Canalone	29	56	6	7	Sabbia ghiaiosa debolmente limosa/argillosa
23/02/09 34 Ravaneto Il Canalone	11	1	63	35	Limo con argilla

Allegato 3

Nome Campione	% Ghiaia	% Sabbia	% Limo	% Argilla	AGI
23/02/09 35 Ravaneto II Canalone	36	24	28	10	Ghiaia con limo sabbiosa debolmente argillosa
23/02/09 36 Ravaneto II Canalone	36	19	30	14	Ghiaia con limo sabbiosa debolmente argillosa
23/02/09 37 Ravaneto II Canalone	38	54	7		Sabbia con ghiaia debolmente limosa
28/02/09 38 Ravaneto Boccanaglia	49	43	6		Ghiaia con sabbia
28/02/09 39 Ravaneto Crestola	26	42	16	13	Sabbia con ghiaia limosa debolmente argillosa
28/02/09 40 Ravaneto Crestola	38	32	19	9	Ghiaia con sabbia limosa debolmente argillosa
28/02/09 41 Ravaneto Crestola	41	49	9		Sabbia con ghiaia debolmente limosa
28/02/09 42 Ravaneto Belgia- Mortarola	54	41	3		Ghiaia con sabbia
28/02/09 43 Ravaneto Mortarola		56	25	17	Sabbia con limo argillosa
28/02/09 44 Ravaneto Calocara	12	57	16	13	Sabbia limosa Debolmente ghiaiosa /argillosa
17/03/09 45 Ravaneto Crestola		13	46	39	Limo con argilla debolmente sabbioso
17/03/09 46 Ravaneto Crestola	12	67	12	7	Sabbia debolmente ghiaiosa/limosa/argillosa
17/03/09 47 Ravaneto Crestola	32	28	26	12	Ghiaia con sabbia e limo debolmente argillosa
17/03/09 48 Ravaneto Calocara		19	47	33	Limo con argilla sabbiosa
17/03/09 49 Ravaneto Calocara	13	70	8	7	Sabbia ghiaiosa debolmente limosa/argillosa
17/03/09 50 Ravaneto Calocara	33	29	24	12	Ghiaia con sabbia limosa debolmente argillosa

Nome Campione	WL	WP	IP
20/11/08 1 Ravaneto Canal Piccino	0	0	0
20/11/08 2 Ravaneto Canal Piccino	0	0	0
20/11/08 3 Ravaneto Canal Piccino	0	0	0
20/11/08 4 Ravaneto Canal Piccino	0	0	0
20/11/08 5 Ravaneto Canal Piccino	0	0	0
20/11/08 6 Ravaneto Canal Piccino	0	0	0
20/11/08 7 Ravaneto Canal Piccino	17	14	3
20/11/08 8 Ravaneto Canal Piccino	15	14	2
20/11/08 9 Ravaneto Canal Piccino	17	15	2
20/11/08 10 Ravaneto Canal Piccino	18	17	1
20/11/08 11 Ravaneto Canal Piccino	19	14	5
20/11/08 12 Ravaneto Canal Piccino	22	17	4
16/01/09 13 Ravaneto Canal Grande	19	12	7
16/01/09 14 Ravaneto Canal Grande	18	12	6
16/01/09 15 Ravaneto Canal Grande	20	12	7
16/01/09 16 Ravaneto Canal Grande	17	14	2
16/01/09 17 Ravaneto Canal Piccino	19	15	4
14/02/09 18 Ravaneto Fossa del Cardellino	15	14	1
14/02/09 19 Ravaneto Fossa del Cardellino	15	14	1
14/02/09 20 Ravaneto Fossa del Cardellino	22	16	6
14/02/09 21 Ravaneto Fossa Cobiato	18	13	4
14/02/09 22 Ravaneto Fossa Cobiato	18	14	4
14/02/09 23 Ravaneto Fossa Cobiato	19	14	5
15/02/09 24 Ravaneto Belgia	18	15	3
15/02/09 25 Ravaneto Belgia	15	12	3
15/02/09 26 Ravaneto Belgia	22	17	5

Nome Campione	WL	WP	IP
15/02/09 27 Ravaneto La Farnesina	19	15	4
15/02/09 28 Ravaneto La Farnesina	21	15	5
20/02/09 29 Ravaneto Campanili	21	15	7
20/02/09 30 Ravaneto Campanili	0	0	0
20/02/09 31 Ravaneto Querciolaia	0	0	0
20/02/09 32 Ravaneto Pizzagallo	16	12	4
23/02/09 33 Ravaneto Il Canalone	22	18	4
23/02/09 34 Ravaneto Il Canalone	37	27	10
23/02/09 35 Ravaneto Il Canalone	22	18	4
23/02/09 36 Ravaneto Il Canalone	21	15	6
23/02/09 37 Ravaneto Il Canalone	13	13	0
28/02/09 38 Ravaneto Boccanaglia	0	0	0
28/02/09 39 Ravaneto Crestola	20	15	5
28/02/09 40 Ravaneto Crestola	19	15	4
28/02/09 41 Ravaneto Crestola	20	16	4
28/02/09 42 Ravaneto Belgia-Mortarola	0	0	0
28/02/09 43 Ravaneto Mortarola	21	15	6
28/02/09 44 Ravaneto Calocara	25	21	4
17/03/09 45 Ravaneto Crestola	32	22	9
17/03/09 46 Ravaneto Crestola	18	17	1
17/03/09 47 Ravaneto Crestola	22	17	5
17/03/09 48 Ravaneto Calocara	29	23	6
17/03/09 49 Ravaneto Calocara	22	18	5
17/03/09 50 Ravaneto Calocara	20	18	2