ROMA TRE
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DIPARTIMENTO DI SCIENZE GEOLOGICHE

Relazione preliminare sull'assetto geologico-strutturale dell'area di cava denominata "Tana dei Banditi" in località Carpenara (Genova Pegli)



- Luglio 2009 -

Relazione preliminare sull'assetto geologico-strutturale dell'area di cava denominata "Tana dei Banditi" in località Carpenara (Genova Pegli)

Gianluca Vignaroli, Federico Rossetti, Renato Funiciello
Dipartimento di Scienze Geologiche, Università degli Studi Roma Tre
L.go S.L. Murialdo, 1- 00146 Roma

Gli autori:

Dott. Gianluca Vignaroli. È Dottore di Ricerca presso il Dipartimento di Scienze Geologiche dell'Università degli Studi ROMA TRE. Si occupa dello studio dell'evoluzione tettono-metamorfica dei complessi ofiolitici affioranti nel sistema Alpi-Appennino.

Dott. Federico Rossetti. È Ricercatore in Geologia Strutturale presso il Dipartimento di Scienze Geologiche dell'Università degli Studi ROMA TRE. Si occupa principalmente dello studio dei sistemi orogenici dell'area Mediterranea. Si è occupato a lungo dello studio dell'evoluzione tettono-metamorfica dei complessi ofiolitici affioranti nel sistema Alpi-Appennino.

Prof. Renato Funiciello. È Professore Ordinario di Geologia Strutturale presso l'Università degli Studi ROMA TRE, dove è anche direttore del Dipartimento di Scienze Geologiche.

Copertina: panoramica della cava "Tana dei Banditi".

INDICE

Premessa **pag. 3**

Obiettivi **pag. 4**

Il sito di coltivazione **pag. 6**

Inquadramento geologico **pag. 7**
Contesto geologico regionale pag. 7
Geologica dell'area di studio pag. 10

Metodologia **pag. 12**

Assetto geologico-strutturale **pag. 13**
Areale di coltivazione pag. 13
Relazioni tra il metagabbro e le fasce serpentinitiche pag. 16

Conclusioni **pag. 18**

Bibliografia citata **pag. 21**

Allegato I - Elaborati Cartografici
Tavola 1 - Planimetria e livelli di coltivazione
Tavola 2 - Carta geologico-strutturale

Allegato II - Dati Strutturali

Allegato III - Report Fotografico

PREMESSA

Nell'ambito della Convenzione di Ricerca stipulata tra la Società "Frantoio del Tigullio S.r.l." e il Dipartimento di Scienze Geologiche dell'Università degli Studi di Roma Tre in data 24 marzo 2009, viene redatta la presente relazione sull'assetto geologico-strutturale dell'area di coltivazione denominata "Tana dei Banditi" sita in località Carpenara, Via Varenna, Genova Pegli (GE), di proprietà della sopraindicata Società. In particolare, i risultati esposti in seguito si riferiscono alle fasi preliminari di raccolta dei dati durante i sopralluoghi sui fronti di coltivazione attualmente attivi. Tale relazione costituisce uno dei due documenti tecnici previsti per la prima fase di avanzamento della suddetta Convenzione. Il secondo documento, dal titolo "*Relazione sulle caratteristiche minero-petrografiche di alcuni campioni litoidi prelevati nell'area di cava denominata "Tana dei Banditi" in località Carpenara (Genova Pegli)*", presenta la descrizione minero-petrografica di campioni di roccia rappresentativi raccolti lungo i fronti di cava e analizzati con particolare riguardo alla normativa vigente in tema di impatto ambientale (Decreto del Ministero della Sanità n.178 del 14/5/1996; G.U. 25/10/1996). Si rimanda a tale documento consegnato contestualmente alla presente relazione, e che ne costituisce parte integrante, per il dettaglio dei tipi litologici e la loro descrizione petrografica.

OBIETTIVI

Questo studio, integrando finalità scientifiche ed applicative, si propone di fornire risposte operative alle problematiche geologico-strutturali connesse con le operazioni di escavazione del materiale roccioso durante i processi di avanzamento dei fronti di cava.

L'attività di coltivazione di un giacimento impone la piena conoscenza delle caratteristiche geologiche del sito, in modo da (i) permettere una adeguata progettazione per le modalità e i tempi di sviluppo dell'estrazione, ed (ii) evitare (o perlomeno ridurre al minimo) le eventuali conseguenze negative durante i lavori di escavazione (problematiche di sicurezza in cantiere, effetti di impatto ambientale). In questo quadro, tale ricerca vuole rappresentare uno strumento di base per la definizione delle principali caratteristiche geologico-strutturali del sito di coltivazione (caratterizzazione litologica, minero-petrografica e analisi del corteo di deformazione del volume roccioso scavato; assetto geologico-strutturale del giacimento; definizione dei rapporti geometrico-strutturali con le litologie circostanti il giacimento), al fine di consentire: (i) un migliore sfruttamento del giacimento e migliorare la qualità dei prodotti, (ii) un miglioramento dell'efficienza delle operazioni produttive e (iii) una condizione di sicurezza ambientale sia del personale direttamente coinvolto nelle operazioni connesse al ciclo di coltivazione/produzione inerti che delle realtà abitative e della popolazione nelle aree circostanti.

I risultati forniti in questa relazione si riferiscono alla Prima Fase di Studio specificata nell'Allegato Tecnico della Convenzione e riguardano in particolare:

a.1) l'inquadramento geologico regionale e locale;

a.2) il rilevamento geologico-strutturale preliminare finalizzato ai fronti di cava attivi.

L'inquadramento geologico regionale descriverà lo stato dell'arte sulle conoscenze scientifiche relative al settore orogenico nel quale si colloca il sito di coltivazione. L'inquadramento geologico locale tratterà con maggiore dettaglio le caratteristiche petrografiche e strutturali dei litotipi che definiscono il giacimento in questione e l'areale circostante. Il rilevamento geologico-strutturale preliminare condotto sui fronti di cava descriverà:

- i rapporti geometrico-strutturali tra il litotipo oggetto di coltivazione e le unità litologiche circostanti.
- i caratteri petrografici e l'assetto giaciturale del giacimento alla scala dell'affioramento;

- la geometria, l'orientazione spaziale e la cinematica delle principali strutture deformative che interessano i fronti di cava.

L'insieme di questi dati costituirà la base per formulare un modello geologico-strutturale di sintesi per l'areale di coltivazione e, al contempo, permetterà di fornire vincoli per la caratterizzazione dello stato di fratturazione e la valutazione delle proprietà geomeccaniche dell'ammasso roccioso al variare del contesto strutturale.

IL SITO DI COLTIVAZIONE

L'area di cava "Tana dei Banditi" è ubicata in località Carpenara (GE) a nord di Pegli, compresa tra la sponda sinistra del Torrente Varenna e la sponda destra del Rio Taggia. L'attività di coltivazione, eseguita dalla Società Frantoio del Tigullio, è attualmente disciplinata (i) dalle direttive della Regione Liguria con delibera del Consiglio Regionale 105/1996: "*Piano di protezione dell'ambiente, di decontaminazione, di smaltimento e di bonifica, ai fini della difesa dai pericoli derivanti dall'amianto* (L.257/92)" e (ii) dall'autorizzazione alla prosecuzione dell'esercizio estrattivo concessa dalla Regione Liguria con delibera della Giunta Regionale 239/2002.

Allo stato attuale, l'assetto della cava è composto da 8 livelli di coltivazione principali (Tav. 1 in Allegato I) che si sviluppano da una quota di circa 260 m.s.l.m. sino ad una quota circa 400 m.s.l.m., definendo una geometria convessa verso SSW dei fronti di cava. La direttrice di coltivazione (eseguita mediante abbattimento con esplosivo) avviene verso NNE.

Per la suddetta area di cava, l'inquadramento geomorfologico e idrogeologico, unitamente alla caratterizzazione geologico-geomeccanica del litotipo in escavazione e alla verifica di stabilità dei fronti, sono stati oggetto della documentazione presentata dallo Studio Tecnico Geologico Piaggi, con riferimento al progetto di variante al piano di coltivazione e di sistemazione finale approvato dalla Regione Liguria.

INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Contesto geologico regionale

La cava denominata "Tana dei Banditi" è localizzata nel settore orientale delle Alpi Liguri, a pochi chilometri a nord di Genova. Le Alpi Liguri definiscono un edificio orogenico di raccordo tra le Alpi Occidentali e l'Appennino Settentrionale, costituito da unità ad affinità sia oceanica che continentale (Vanossi et al., 1984). L'assetto attuale è il risultato di eventi tettonici legati alla dinamica dei processi di convergenza e collisione tra la placca Euroasiatica e la placca Africana, con subduzione e consunzione dell'interposto dominio oceanico Liguro-Piemontese di età Giurassica (Alvarez et al., 1974; Dewey et al., 1989). Tale sequenza di eventi tettonici ha dapprima causato il seppellimento di queste unità a differenti livelli crostali e, successivamente, guidato la loro esumazione verso la superficie. Sequenze sedimentarie derivanti dal progressivo smantellamento erosivo delle falde in esumazione colmano le principali depressioni strutturali (ad esempio il Bacino Terziario Piemontese; Gelati & Gnaccolini, 1998). Attualmente, l'area del Mar Ligure definisce uno dei settori tettonici dell'Appennino caratterizzato da attività sismica a media-bassa profondità (Eva et al., 2001). L'attività sismica viene generalmente correlata a processi di compressione all'interno del bacino ligure.

Il settore orientale delle Alpi Liguri è dominato dalla presenza di sequenze ofiolitiche considerate derivanti dal dominio oceanico Liguro-Piemontese. Il Gruppo di Voltri costituisce il più vasto di questi domini ofiolitici (Fig. 1a), comprendendo un'areale di circa 400 km^2, estendendosi da Varazze a Genova sulla costa e, verso l'interno, fino al confine con la regione Piemonte. Il Gruppo di Voltri si compone di potenti spessori di sequenze serpentinitiche associate a rocce eclogitiche, metasedimenti e lherzoliti variabilmente serpentinizzate (Chiesa et al., 1975; Vanossi et al., 1984). Ad ovest, il Gruppo di Voltri viene in contatto tettonico con i domini continentali del Massiccio di Savona; ad est è delimitato da due ulteriori sequenze ofiolitiche che ne costituiscono il limite tettonico con le falde dell'Appennino Settentrionale. Seguendo la recente Cartografia Geologica Regionale alla scala 1:25.000 (Capponi et al., 2006), la prima sequenza ofiolitica viene denominata "Unità tettono-metamorfica Palmaro-Caffarella" che si estende per un limitato settore a nord di Genova (Fig 1a). La seconda prende il nome di "Zona Sestri-Voltaggio" (Cortesogno & Haccard, 1984) e corrisponde ad un settore disposto in direzione meridiana dalla costa ligure sino all'abitato di Voltaggio (Fig 1a).

Tutti i domini ofiolitici delle Alpi Liguri sono caratterizzati da un'evoluzione tettono-metamorfica polifasica di età terziaria. Per le unità del Gruppo di Voltri sono state descritte associazioni minero-petrografiche relative a condizioni di alta pressione in *facies* eclogitica (circa 20 Kbar e 550° C; Liou et al., 1998; Federico et al., 2004; Vignaroli et al., 2005). Per l'Unità Palmaro-Caffarella e la Zona Sestri-Voltaggio sono state descritte associazioni mineralogiche di alta pressione e bassa temperatura in *facies* degli scisti blu (11-13 kbar e 400° C; Cortesogno & Haccard, 1984; Desmons et al., 1999). Queste condizioni termobariche sono da riferirsi appunto alla fase di progressivo seppellimento delle unità oceaniche durante i processi di subduzione. Molto diffusa in tutti questi litotipi è una sovrimpronta metamorfica di media pressione (*facies* degli scisti verdi: 5-6 kbar e 400° C), corrispondente alle fasi tettono-metamorfiche di esumazione (Hoogerduijn Strating, 1994; Capponi & Crispini, 2002; Vignaroli et al., 2009).

I principali contatti tettonici tra il Massiccio del Voltri, l'Unità Palmaro-Caffarella e la Zona Sestri-Voltaggio sono tutti definiti da fasce ad intensa deformazione duttile con ricristallizzazione metamorfica (fasce milonitiche), successivamente rielaborate da strutture deformative a carattere fragile (zone di taglio cataclastiche). Questa evoluzione dei caratteri deformativi si riscontra in vari contatti tettonici a scala regionale (con estensione anche di decine di chilometri), con caratteri geometrici, strutturali e cinematici di difficile interpretazione. Nella zona orientale delle Alpi Liguri, questi contatti tettonici mostrano una giacitura molto inclinata (a volte prossima alla verticale), sistematicamente immergente verso Est. Essi separano volumi di rocce con caratteristiche litologiche, strutturali e petrografiche differenti tra loro. Per questo settore delle Alpi Liguri, viene descritto un sistema di faglie dominante con direzione N-S e all'incirca corrispondente con i limiti tettonici occidentali e orientali della Zona Sestri-Voltaggio (Marini, 1982; Cortesogno & Haccard, 1984; Hoogerduijn Strating, 1994), attivatisi durante le fasi orogeniche finali. Questi sistemi di faglie producono fasce di deformazione localizzate, con intensa fratturazione associata e controllano il contesto morfologico attuale. La cinematica dominante di questo sistema di faglie risulta essere di tipo trascorrente, ossia con movimento di un blocco rispetto all'altro lungo la direzione del piano di rottura, con rigetti (entità dello spostamento) di importanza regionale (Federico et al., 2009).

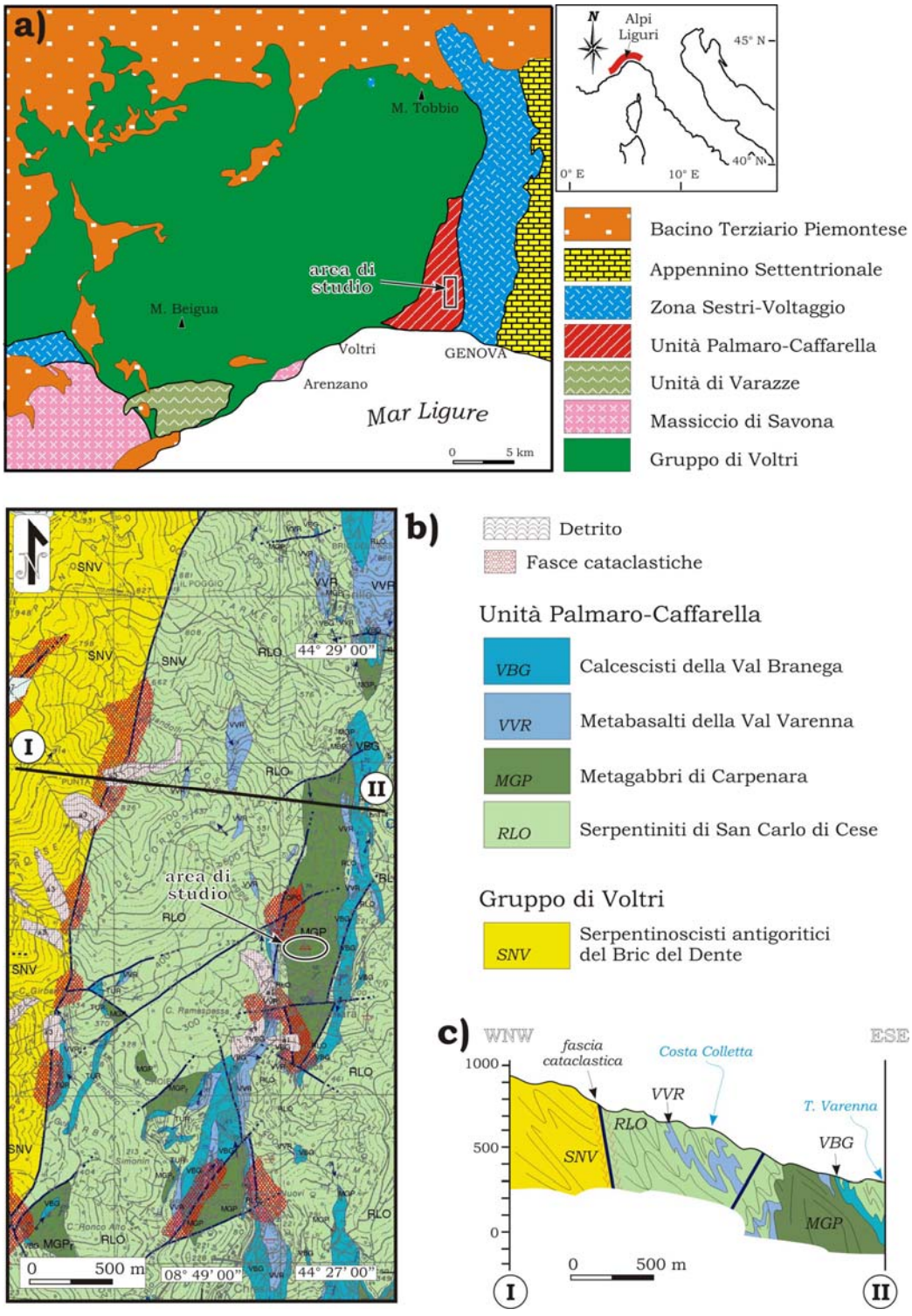


Fig. 1 - (A) Schema geologico del settore orientale delle Alpi Liguri (da Capponi et al., 2006, ridisegnata); (B) Stralcio della Carta Geologica "Elemento 213-3 Pegli, scala 1/25.000, Progetto CARG - Regione Liguria" (Capponi et al., 2006) dove è riportata l'ubicazione della cava "Tana dei Banditi"; (C) Sezione geologica mostrante le relazioni geologico-strutturali tra le unità affioranti nell'area circostante il sito in di studio (da Capponi et al., 2006, ridisegnata).

Geologia dell'area di studio

Seguendo la recente cartografia regionale (CARG; Capponi et al., 2006), il sito di coltivazione "Tana dei Banditi" si colloca all'interno dei *Metagabbri di Carpenara* dell'*Unità Palmaro-Caffarella* (Chiesa et al., 1977). L'*Unità Palmaro-Caffarella*, compresa tra il *Gruppo di Voltri* (ad Ovest) e la *Zona Sestri-Voltaggio* (ad Est), si costituisce unicamente di una sequenza di rocce pertinenti alla crosta oceanica Liguro-Piemontese. Le principali litologie sono rappresentate da (Capponi et al., 2006): (i) una spessa fascia di serpentiniti (*Serpentiniti di San Carlo di Cese*) caratterizzate da associazioni mineralogiche ad antigorite e magnetite che rielaborano strutture lherzolitiche relitte; (ii) metasedimenti mostranti una scistosità pervasiva (*Calcescisti della Val Branega*, *Quarzoscisti di Sant'Alberto*); (iii) metabasalti con grana fine (*Metabasalti della Val Varenna*); e (iv) metagabbri con grana da medio-fine a pegmatoide e strutture megmatiche relitte (*Metagabbri del Bric Fagaggia*, *Metagabbri di Carpenara*). Per tutti i litotipi citati vengono comunemente descritte due principali associazioni mineralogiche, ognuna delle quali è rappresentativa di un particolare evento tettono-metamorfico (Desmons et al., 1999; Federico et al., 2009): (i) la prima caratterizzata dalla presenza di minerali tipici della *facies* metamorfica degli scisti blu (anfibolo sodico, giadeite, lawsonite in litotipi basici, e cloritoide-fengite in litotipi pelitici) e relativi a condizioni di alta pressione/bassa temperatura sviluppatesi durante il processo di subduzione; (ii) la seconda contrassegnata dalla crescita di minerali tipici della *facies* metamorfica degli scisti verdi (clorite, albite, epidoto, muscovite) e rappresentativi delle condizioni di media-bassa pressione registrate durante le fasi di esumazione. Nelle sequenze metasedimentarie, la sovrimpronta metamorfica in *facies* degli scisti verdi è associata allo sviluppo di una scistosità pervasiva, a luoghi con spaziatura millimetrica. Nelle rocce a maggiore competenza (ad esempio metabasalti e metagabbri), tale stadio tettono-metamorfico si traduce nella formazione di microstrutture di reazione che interessano i minerali di alta pressione (strutture coronitiche, pseudomorfosi) e/o nella cristallizzazione di minerali di neoformazione in vene e diaclasi.

L'assetto strutturale dell'areale circostante i *Metagabbri di Carpenara* viene comunemente riferito ad una tettonica di tipo compressivo che genera elementi strutturali semi-fragili (sistemi di *thrust* o *reverse shear zones*). Queste strutture sono responsabili della giustapposizione tettonica di blocchi mafici (metabasalti e metagabbro) al di sopra delle masse serpentinitiche del *Gruppo di Voltri* (Hoogerduijn Strating, 1991; Vissers et al., 2001). Nella recente cartografia (Capponi et al., 2006), tali contatti tettonici vengono interpretati come strutture duttili milonitiche successivamente rielaborate da sistemi di faglie con

cinematica transpressiva a direzione prevalente N-S ed E-W (Federico et al., 2009). Non esiste accordo in letteratura a riguardo della cinematica di questi sistemi di faglia (vedasi Hoogerduijn Strating, 1991 e Federico et al., 2009).

METODOLOGIA

Le analisi geologico-strutturali, condotte su tutti i fronti di cava, sono state finalizzate alla caratterizzazione litologica e petrografica alla mesoscala (scala dell'affioramento) del *fabric* dell'ammasso roccioso. Il *fabric* di una roccia descrive le relazioni spaziali e geometriche esistenti fra le associazioni mineralogiche (sia principali che accessorie) e gli elementi di discontinuità di tipo planare (foliazioni: primarie o secondarie; tettoniti di tipo *S*), lineare (lineazioni mineralogiche o da intersezione; tettonici di tipo *L*), o composite (tettoniti di tipo *S*-*L*). Pertanto, in seguito si farà riferimento al *fabric* della roccia in termini di massivo o foliato (a seconda dell'assenza o della presenza di un sistema pervasivo di discontinuità planare, rispettivamente), isotropo o anisotropo (a seconda di una distribuzione delle associazioni mineralogiche in maniera casuale oppure orientata lungo direzioni preferenziali, rispettivamente), micro- o macro-cristallino (in relazione alla dimensione dei minerali presenti).

I risultati delle osservazioni di campagna sono sintetizzati nella carta geologico-strutturale allegata (Tav. 2 in Allegato I) dove sono cartografati gli affioramenti lungo i fronti attuali di cava (comprensivi della presenza di detrito o coltre di riempimento) e i principali contatti tettonici. L'indagine strutturale è stata incentrata sull'individuazione delle differenti tipologie di strutture deformative presenti nel litotipo in coltivazione e descritte in termini di reologia (duttile, semi-duttile, fragile), geometria, spaziatura, cinematica ed eventuale mineralizzazione associata. I dati strutturali sono stati elaborati mediante la rappresentazione in proiezioni stereografiche equiareali (reticolo di Schmidt, emisfero inferiore) e *rose diagrams* riportati in Allegato II, tramite l'utilizzo del software DAISY3.48 (Salvini, 2008). La definizione dei parametri delle discontinuità negli ammassi rocciosi è stata determinata anche in base alle specifiche tecniche riportate dall'*International Society for Rock Mechanics* (ISRM, 1978). In situazioni di particolare interesse, l'analisi strutturale è stata confrontata con i valori di resistenza alla compressione uniassiale ottenuti dall'utilizzo dello sclerometro (Mod. Geohammer) su pareti verticali dell'ammasso roccioso secondo una griglia di misure statisticamente significative, al fine di ottenere una verifica delle condizioni geomeccaniche del volume roccioso analizzato.

ASSETTO GEOLOGICO-STRUTTURALE

Al fine di conferire una maggiore chiarezza nell'esposizione dei dati raccolti durante il rilevamento geologico-strutturale preliminare, vengono esposte le considerazioni riguardanti (i) la porzione di ammasso roccioso in attuale coltivazione e (ii) le sue relazioni con le fasce serpentinitiche che lo confinano lateralmente secondo una direzione pressoché meridiana.

Il report fotografico in Allegato III documenta le osservazioni descritte di seguito nel testo.

Areale di coltivazione

Nella porzione centrale del giacimento (Foto 1a,b e Foto 2 in Allegato III), il metagabbro appare come un blocco litologicamente omogeneo e continuo attraverso gli otto livelli di coltivazione. All'interno del metagabbro, con maggiore frequenza nei livelli più alti del giacimento, si distinguono intrusioni di dolerite in filoni a giacitura variabile da sub-orizzontale (*sill*) a sub-verticale (dicco) (Foto 3 in Allegato III). I filoni di dolerite hanno uno spessore che può variare da qualche decimetro sino ad oltre 1 metro e mostrano dei bordi di contatto con l'incassante marcati dalla presenza di un sottile livello di alterazione, probabilmente dovuto agli effetti termici durante la loro messa in posto.

La meso-struttura del metagabbro consiste nella rielaborazione di un *fabric* primario da parte di un *fabric* tettonico secondario. In Tabella 1 sono riportate le principali strutture deformative (e relative mineralizzazioni) che caratterizzano i *fabric* cronologicamente distinti. In Figura 1 e Figura 2 (Allegato II) sono rappresentate le proiezioni stereografiche equiareali degli elementi strutturali misurati.

Il *fabric* primario ha un aspetto di tipo pegmatoide, caratterizzato dalla presenza di porfiroclasti di pirosseno, con dimensione sino a 4 centimetri di diametro (Foto 4 in Allegato III), e di olivina, con dimensioni inferiori al centimetro. Pirosseno ed olivina, a luoghi accompagnati da plagioclasio idiomorfo, definiscono relitti mineralogici rappresentativi del precursore igneo. Il *fabric* primario, a luoghi, evolve in una tessitura a grana fine dove le specie mineralogiche non sono distinguibili ad occhio nudo (Foto 5 in Allegato III).

Le meso-strutture pertinenti al *fabric* primario sono rielaborate e trasposte dal *fabric* tettonico secondario che mostra strutture sia di tipo duttile (*fabric* secondario duttile) che fragile (*fabric* secondario fragile). Il *fabric* secondario duttile è dominato dalla presenza di una foliazione sin-scisti verdi variamente penetrativa (tettoniti *S*) e definita dall'alternanza di

livelli mafici (costituiti soprattutto da anfibolo ed epidoto) e livelli a quarzo + plagioclasio che ammantano i porfiroclasti di pirosseno ed olivina. Localmente, la foliazione sin-scisti verdi ingloba livelli e porzioni discontinue (*boudins*) del volume roccioso con una spiccata colorazione bluastra e ricchi in anfibolo sodico, testimonianti del processo metamorfico di alta pressione (*facies* degli scisti blu).

Tabella1. Principali caratteri del *fabric* del metagabbro.

FABRIC	STRUTTURE	MINERALI PRINCIPALI	AMBIENTE DI FORMAZIONE
Primario	porfiroclasti, strutture relitte	pirosseno, plagioclasio ± olivina	magmatico igneo
Secondario duttile	foliazione (tettoniti *S*)	anfibolo blu, pirosseno omfacitico (Capponi et al., 2006)	metamorfico, sin-scisti blu
	foliazione e vene (tettoniti *S*)	plagioclasio, anfibolo verde, epidoto, quarzo	metamorfico, sin-scisti verdi
Secondario fragile	sistema 1 (fratture tensili, fratture/vene di taglio)	plagioclasio, quarzo, anfibolo verde	metamorfico, sin-scisti verdi
	sistema 2 (faglie trascorrenti e corteo di fratturazione associato)	ossidi	crosta superiore (reologia fragile)

Il *fabric* secondario duttile sin-scisti verdi mostra una foliazione media con direzione variabile da NW-SE a NE-SW, con inclinazione media di 50-55° verso Est (Figure 2a-3a in Allegato II). Questa giacitura sembra mantenersi abbastanza omogenea all'interno del giacimento e non subire variazioni significative in corrispondenza dei filoni di dolerite oppure delle strutture di deformazioni descritte in seguito. Locali variazioni della giacitura sono state osservate alla scala dell'affioramento e sono associate allo sviluppo di pieghe con geometria variabile da isoclinale ad aperta. Si osservano sistemi di vene di natura sin-metamorfica e, principalmente legate allo sviluppo del *fabric* polifasico sin-scisti verdi e con riempimento costituito da albite + anfibolo verde + quarzo ± epidoto (Foto 6 in Allegato III). La giacitura varia da concordante a discordante rispetto alla foliazione principale. Le vene parallele alla foliazione sono spesso deformate in pieghe isoclinali. Le vene discordanti sono invece caratterizzate da una morfologia tabulare che taglia obliquamente la foliazione con una giacitura blandamente immergente verso Sud (Figure 2b-3b in Allegato II). Entrambi le tipologie di vene presentano uno spessore variabile da alcuni centimetri fino a 10 centimetri.

Nelle porzioni massive, il metagabbro non fratturato (vedi sotto) mostra eccellenti proprietà meccaniche, con valori di resistenza alla compressione uniassiale superiori ai 200 MPa (valore dedotto dalla media di almeno 10 misure effettuate con sclerometro Geohammer su superfici circa verticali, per ogni stazione di misura).

Il *fabric* secondario fragile è costituito da due sistemi principali di faglie e fratture, i quali segmentano il metagabbro. Il primo sistema (sistema 1) mostra direzione media N90°E ed inclinazione 70° verso sud (Figure 2c-3c in Allegato II) e consiste sia di fratture tensili (fratture tipo modo I), che di fratture di taglio (fratture tipo modo II e modo III) (Foto 7a-d in Allegato III). In entrambi i casi si riconosce una mineralizzazione costituita da plagioclasio + quarzo con, raro, anfibolo verde associato. Nelle fratture tensili, la crescita dei minerali di riempimento avviene perpendicolarmente rispetto alle pareti della frattura, mentre nelle fratture di taglio sono presenti lineazioni di allungamento mineralogico orientate ortogonalmente alla direzione del piano di frattura. All'interno delle fratture tensili si possono riconoscere differenti livelli di accrescimento a testimonianza di una apertura polifasica nel tempo (apertura delle vene di tipo sintassiale predominante; Passchier & Trouw, 1996). Lo spessore dell'apertura delle fratture varia da qualche millimetro sino ad un massimo di 5 centimetri. La superficie della frattura ha una morfologia prettamente rugosa. La loro spaziatura è variabile da 10 centimetri sino a 2 metri. I valori medi di resistenza alla compressione uniassiale risultano strettamente dipendenti dalla spaziatura di tali fratture e possono essere così riassunti:

Spaziatura (cm)		*Res. Compr. Uniass. (MPa)*
< 20		25-60
20-100		75-150
> 100		> 200

Sulle superfici delle fratture si rinvengono pressoché sistematicamente strie di abrasione che postdatano la mineralizzazione, suggerendo che tale sistema di fratture sia stato successivamente riutilizzato da processi di fagliazione. È importante notare che questo sistema di fratturazione controlla la morfologia attuale dei fronti della cava. In particolare, l'esposizione dei fronti verso Sud è coincidente con la superficie di queste fratture che quindi permettono di individuare zone di discontinuità lungo le quali operare gli abbattimenti dei vari livelli.

Il secondo sistema (sistema 2) è riferibile a set di faglie a decorso circa meridiano ed E-W, con pendenze elevate, in media superiori ai 50° (Figure 2d-3d in Allegato II). Tale

sistema si caratterizza per la presenza di fasce ad elevata fratturazione, che corrispondono a zone di danneggiamento di spessore variabile che, a luoghi, raggiungono spessori decametrici (Foto 8a-d in Allegato III). Ogni superficie di taglio presenta un set di strie di abrasione meccanica dovute allo scivolamento di un blocco roccioso contro l'altro, che sistematicamente indicano movimenti di tipo trascorrente (*strike-slip* con *pitch* compreso fra 0-20° e 150-180°; Figura 4 in Allegato II). I piani di faglia principali sono corredati da piani di faglia secondari, sintetici al movimento principale (piani di Riedel). Mediante l'analisi degli indicatori cinematici (rigetti di livelli omologhi sul piano di faglia; strie di abrasione, *lunate fractures*, cunei di Riedel) è stato possibile determinare il movimento trascorrente di tipo destro e sinistro, rispettivamente per i sistemi a decorso meridiano ed E-W. A questo sistema di faglie (per il quale non sono state individuate mineralizzazioni rilevanti) si caratterizza per la presenza di importanti fasce cataclastiche, cui sono associate cataclasiti coesive e, localmente, *gouges* di faglia di spessore metrico. Le fasce di maggiore deformazione appartengono alle strutture orientate N-S, che bordano lateralmente il giacimento, ponendolo al contatto con sequenze di serpentiniti e serpentinoscisti in senso lato (vedi sotto). In queste fasce si osserva una pervasiva fratturazione meccanica del metagabbro con riduzione della granulometria in clasti dell'ordine di pochi centimetri ed immersi in una matrice fine. In queste porzioni maggiormente frammentate, si ottengono dei valori di resistenza alla compressione uniassiale nell'ordine di 20-30 MPa. Nelle porzioni di metagabbro caratterizzati da una spaziatura centimetrica della fratturazione, si ottengono invece dei valori di resistenza alla compressione uniassiale compresi tra 60 MPa e 80 MPa. Le faglie trascorrenti NE-SW sono associate a sistemi di fratturazione sub-verticali, con direzione variabile da N-S a NE-SW ed immersione prevalente verso i quadranti orientali. Sono generalmente caratterizzate da assenza di mineralizzazione (eccetto sporadici casi di presenza di un sottile livello di albite). La loro spaziatura è nell'ordine dei 10-20 centimetri. In questo caso i valori medi di resistenza alla compressione uniassiale variano da un minimo di 50-90 MPa nelle porzioni con spaziatura ristretta, ad un massimo di 150-200 MPa nelle porzioni a spaziatura maggiore.

Relazioni tra il metagabbro e le fasce serpentinitiche

Sulla riva destra del Rio Taggia affiorano le masse serpentinitiche relative alle *Serpentiniti di San Carlo di Cese*. A causa dell'abbondante presenza di copertura vegetale e di detrito alluvionale, non sono presenti affioramenti chiari che consentano l'identificazione

della natura e della geometria del contatto tra questa serpentiniti e il *Metagabbro di Carpenara*. Alcune sequenze di serpentiniti (comprendenti anche serpentinoscisti, talcoscisti e metavulcaniti) affiorano nelle porzioni laterali del giacimento in escavazione. Queste serpentiniti costituiscono delle fasce allungate in direzione media N20°E, con spessore massimo di 5 metri (sul lato occidentale del giacimento) che tende a rastremarsi lungo la direzione. Allo stato attuale delle conoscenze, non è possibile stabilire se tali sequenze ultramafiche siano da correlare alle *Serpentiniti di San Carlo di Cese* oppure rappresentino porzioni interne al metagabbro nell'originaria sequenza ofiolitica, successivamente serpentinizzate in seguito a processi di interazione fluido-roccia durante gli eventi tettono-metamorfici che hanno interessato l'area di studio.

I contatti tra il metagabbro e le fasce serpentinitiche sono costituiti da discontinuità di taglio di tipo fragile e associabili al sistema di faglie a decorso meridiano sopradescritto. Questi contatti mostrano direzione variabile da N-S a N20°E con una giacitura molto inclinata, prossima alla verticale (Foto 9a,b in Allegato III). Si riconoscono superfici di faglie associate a fasce cataclastiche dello spessore variabile da pochi centimetri ad un metro che marcano il passaggio da un litotipo all'altro. All'interno delle serpentiniti, la deformazione produce obliterazione della foliazione e crea laminazione lungo i piani di taglio sui quali si riconoscono concrescimenti di antigorite + clorite ± talco. All'interno del metagabbro si determinano delle fasce cataclastiche nelle quali si rinvengono frammenti di metagabbro immersi in una matrice fina (a luoghi con caratteri di un *gouge* di faglia). I clasti di metagabbro hanno dimensioni che non superano i 5 centimetri. Sui piani di faglia sono presenti indicatori cinematici del tipo strie di abrasione che indicano il movimento trascorrente di tali faglie a cinematica destra.

CONCLUSIONI

Le osservazioni di carattere geologico-strutturale condotte sui fronti di coltivazione della cava denominata "Tana dei Banditi" in località Carpenara (Genova Pegli) permettono di avanzare alcune considerazioni preliminari circa l'assetto geologico-strutturale del giacimento.

(1) Il litotipo oggetto dell'estrazione corrisponde ad un volume di roccia relativo ai *Metagabbri di Carpenara* (Capponi et al., 2006). Il metagabbro definisce un corpo continuo nell'areale di coltivazione. Sono presenti filoni e dicchi di dolerite che attraversano l'ammasso in oggetto. Il giacimento risulta confinato lateralmente da contatti tettonici a decorso meridiano, che lo pongono a contatto, mediante fasce cataclastiche di spessore variabile, con litologie serpentinizzate.

(2) Per il metagabbro è stato riconosciuto un *fabric* secondario (tettonico) di tipo polifasico e caratterizzato da strutture deformative sia duttili (foliazione sin-metamorfica) che fragili (sistemi di faglie e fratture), che si sovrimpone ad un *fabric* primario di natura magmatica.

(3) Sono stati individuati due principali sistemi di fratturazione/fagliazione, cronologicamente distinti. Il primo sistema (sistema 1) prevede orientazioni comprese fra NW-SE e E-W con immersione dei piani di frattura sistematicamente verso i quadranti meridionali (angolo di pendenza compreso fra 40° e 80°). Si tratta di fratture tensili e/o di taglio, cementate da una mineralizzazione a plagioclasio + quarzo ± anfibolo verde. Il secondo sistema (sistema 2), sovrapposto al primo, è costituito da faglie trascorrenti a decorso N-S ed E-W ad alto angolo di pendenza. L'analisi preliminare degli indicatori cinematici permette di individuare una cinematica trascorrente di tipo destro e sinistro, rispettivamente per i sistemi a decorso meridiano ed E-W. Questo sistema di faglie, e il relativo corteo di deformazione, presenta una spaziatura molto variabile (da centimetrica a decametrica) e produce zone di danneggiamento di spessore, consistenza e granulometria variabile (cataclasiti più o meno coesive e *gouges*). Questi sistemi di discontinuità sono stati e sono attualmente utilizzati per l'arretramento dei fronti di cava durante la coltivazione del giacimento (Foto 10a,b in Allegato III).

(4) Le faglie del sistema 2 (faglie N-S e NE-SW) sono responsabili del contatto tettonico che borda la massa metagabbrica dalle fasce serpentinitiche che inviluppano il giacimento. Allo stato attuale delle osservazioni non si può

escludere che tale sistema di faglie sia responsabile anche del contatto tra il metagabbro e le *Serpentiniti di San Carlo di Cese* che affiorano in riva destra del Rio Taggia. L'analisi strutturale preliminare sembra confermare l'ipotesi che il contatto tra le serpentiniti e il metagabbro in giacimento sia caratterizzato da una geometria prossima alla verticale, tale da non consentire una interdigitazione sub-orizzontale tra i due litotipi. Ciò è confermato dall'uniformità litologica del giacimento stesso. Pertanto, mantenendo costante l'attuale direzione di avanzamento dell'attività estrattiva, è plausibile ipotizzare che il giacimento coltivato non subisca variazioni dal punto di vista litologico all'interno dei limiti attuali di coltivazione.

(5) L'interferenza tra le varie strutture deformative fragili costituisce il fattore primario per una valutazione sia della futura pianificazione della coltivazione (tipologia del materiale estratto, pezzatura, ecc.) che per la messa in sicurezza dei fronti di cava. L'analisi dei dati strutturali può permettere di stabilire, infatti, le relazioni geometriche tra i differenti sistemi di discontinuità e quindi definirne gli aspetti di criticità nell'areale di cava. A titolo di esempio, risulta evidente che le aree di intersezione tra i segmenti di faglia del sistema 2 e/o tra i sistemi di faglie e i sistemi di fratture tensili rappresentino zone di particolare criticità per quanto attiene alle proprietà meccaniche dell'ammasso roccioso e della stabilità dei fronti di escavazione (Foto 11a,b in Allegato III). Le condizioni di criticità sono strettamente collegate all'intensità e persistenza (spaziatura e spessore delle zone di fratturazione) delle superfici di discontinuità fragile.

In conclusione, l'assetto strutturale, le proprietà geomeccaniche e l'omogenità litologico-composizionale indicano condizioni favorevoli allo sfruttamento del giacimento oggetto di studio, che lo rende particolarmente adatto al confezionamento di inerti da commercializzare. Queste proprietà geologico-geomeccaniche risultano, comunque, influenzate dal grado di persistenza del corteo di fratturazione secondario e dalla presenza di localizzate fasce deformative verso le terminazioni laterali del giacimento che includono sequenze variamente serpentinizzate.

Al fine di garantire un controllo dell'attività estrattiva in riguardo alla valutazione di impatto ambientale durante le operazioni di coltivazione, movimentazione e trattamento del materiale, le successive fasi di studio nell'ambito della presente Convenzione si prefiggono di definire:

(i) la variazione dello stato di fratturazione lungo i gradoni di coltivazione (correlazione fra elementi strutturali, geometrici e geomeccanici),

(ii) le relazioni tra la natura delle strutture deformative e la mineralizzazione associata,

(iii) l'interferenza tra i diversi sistemi di fratturazione/fagliazione in riguardo all'orientazione dei gradoni,

(iv) le relazioni tra le strutture deformative e la eventuale presenza di fasce serpentinitiche.

L'integrazione dei risultati ottenuti sarà finalizzata alla produzione di un modello geologico-strutturale tridimensionale che costituirà un modello di riferimento per un'attenta valutazione delle potenzialità (proprietà litologico-composizionali, cubatura del materiale estraibile) del sito di coltivazione.

BIBLIOGRAFIA CITATA

Alvarez, W., Cocozza, T., Wezel, F.C., 1974. *Fragmentation of the Alpine orogenic belt by microplate dispersal*. Nature, **248**, 309–314.

Capponi, G., Crispini, L., 2002. *Structural and metamorphic signature of alpine tectonics in the Voltri Massif (Ligurian Alps, Noth-Western Italy)*. Eclogae Geol. Helv., **95**, 31–42.

Capponi, G., Crispini, L. (with collaboration by Bonci M.C., Bruzzo D., Cortesogno L., Firpo M., Gaggero L., Garofano M., Lano M., Pacciani G., Piccazzo M., Ramella A., Vannucci G., Vigo E.), 2006. *Elemento 213-3 "Pegli", scala 1/25'000, Progetto CARG - Regione Liguria*, published online: http://www.cartografia.regione.liguria.it/apriFoglia.asp?itemID=30207&fogliaID=668&label=Carta%20Geologica%20Regionale%20(CARG)%20sc.%201:25000%20-%20Genova%20Pegli%20-%20tav.%20213.3

Chiesa, S., Cortesogno, L., Forcella, F., Galli, M., Messiga, B., Pasquaré, G., Pedemonte, G.M., Piccardo, G.B., Rossi, P.M., 1975. *Assetto strutturale ed interpretazione geodinamica del Gruppo di Voltri*. Boll. Soc. Geol. It., **94**, 555–581.

Cortesogno, L., Haccard, D., 1984. *Note illustrative alla carta geologica della Zona Sestri–Voltaggio*. Mem. Soc. Geol. Ital., **28**, 115– 150.

Desmons, J., Compagnoni, R., Cortesogno, L., 1999. *Alpine metamorphism of the Western Alps: II. High P/T and related pre-greenschist metamorphism*. Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt., **79**, 111-134.

Dewey, J.F., Helman, M.L., Turco, E., Hutton, D.H.W., Knott, S.D., 1989. *Kinematics of the western Mediterranean*. In: Coward, M.P., Dietrich, D. (Eds.), Alpine Tectonic. Geol. Soc. Spec. Publ. London, **45**, 265–283.

Eva, E., Solarino, S., Spallarossa, D., 2001. *Seismicity and crustal structure beneath the western Ligurian Sea derived from local earthquake tomography*. Tectonophysics, **339**, 495-510.

Federico, L., Capponi, G., Crispini, L., Scambelluri, M., 2004. *Exhumation of alpine high-pressure rocks: insights from petrology of eclogite clasts in the Tertiary Piedmontese basin (Ligurian Alps, Italy)*. Lithos, **74**, 21–40.

Federico L., Spagnolo C., Crispini L., Capponi G., 2009. *Fault-slip analysis in the metaophiolites of the Voltri Massif: constraints for the tectonic evolution at the Alps/Apennine boundary*. Geological Journal, **44**, 225-240.

Gelati R, Gnaccolini M., 1998. *Synsedimentary tectonics and sedimentation in the Tertiary Piedmont Basin, Northwestern Italy*. Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia, **104**, 193–214.

Hoogerduijn Strating, E.H., 1994. *Extensional faulting in an intraoceanic subduction complex—working hypothesis for the Palaeogene of the Alps–Apennine system*. Tectonophysics, **238**, 255–273.

I.S.R.M., 1978. *Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses*. Int. J. Rock Min. Sci. & Geomech. Abstr., **15**, 319-368.

Liou, J.G., Zhang, R., Ernst, W.G., Liu, J., McLimans, R., 1998. *Mineral parageneses in the Piampaludo eclogitic body, Gruppo di Voltri, western Ligurian Alps*. Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt., **78**, 317–355.

Marini M., 1982. *Distinzione di tre diverse serie-tipo nell'unità carbonatica della Zona Sestri-Voltaggio (Appennino Settentrionale)*. Boll. Soc. Geol. It., **101**, 17-26.

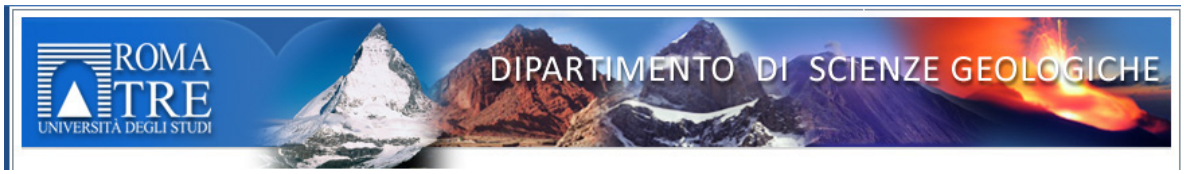
Passchier CW & Trouw RAJ, 1996. *Microtectonics*. Springer, Berlin, 325 pp.

Salvini F., 2008. *Daisy software*, Università Roma Tre, Italy.

Vanossi, M., Cortesogno, L., Galbiati, B.,Messiga, B., Piccardo, G., Vannucci, R., 1984. *Geologia delle Alpi Liguri: dati, problemi, ipotesi*. Mem. Soc. Geol. It., **28**, 5–75.

Vignaroli, G., Faccenna, C., Rossetti, F., 2009. *Retrogressive fabric development during exhumation of the Voltri Massif (Ligurian Alps, Italy): arguments for an extensional origin and implications for the Alps–Apennines linkage*. Int. J. Earth Sci., **98**, 1077-1093.

Vignaroli, G., Rossetti, F.,Bouybaouene, M., Massonne, H.J., Theye, T., Faccenna, C., Funiciello, R., 2005. *A counter-clockwise P–T path for the Voltri Massif eclogites (Ligurian Alps, Italy)*. J. Metamorph. Geol., **23**, 533–555.

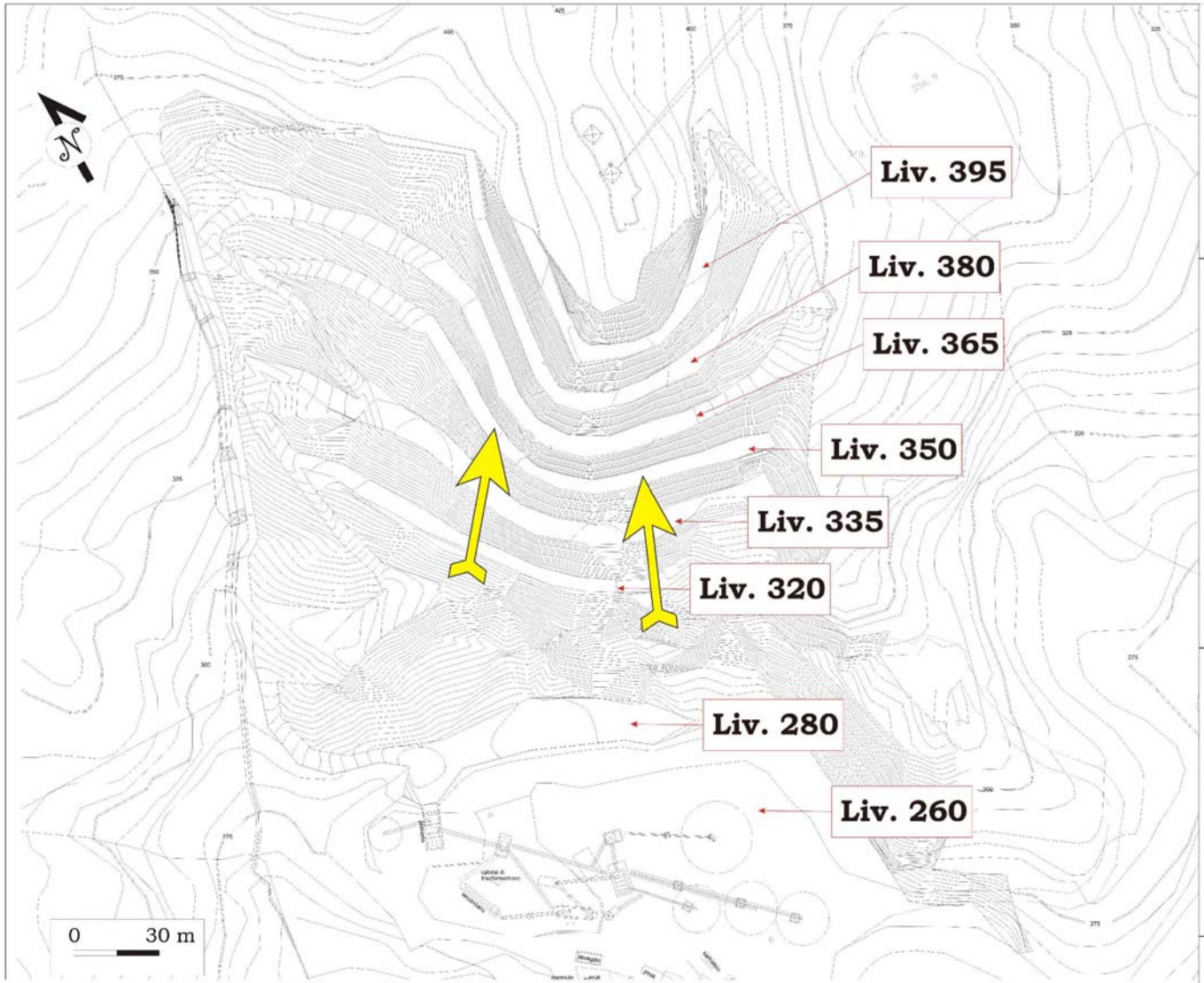


ALLEGATO I

Elaborati cartografici

TAVOLA 1

PLANIMETRIA E LIVELLI DI COLTIVAZIONE



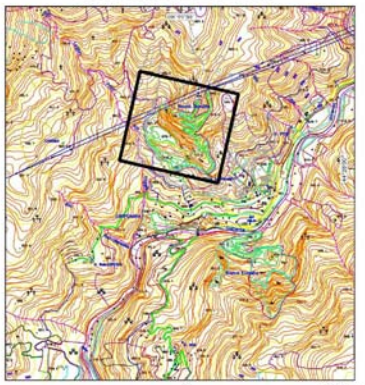
COMUNE DI GENOVA PEGLI

" CAVA TANA DEI BANDITI "

Frantoio del Tigullio S.r.l.

Rilievo topografico
aggiornato al 07/05/2009
(fornito da STUDIO BORRA)

Stralcio della CTR 1:5000



direzione di avanzamento durante la coltivazione

Liv. 350 quota approssimativa del gradone di coltivazione

- Luglio 2009 -

TAVOLA 2
CARTA GEOLOGICO-STRUTTURALE

ROMA TRE UNIVERSITÀ DEGLI STUDI — DIPARTIMENTO DI SCIENZE GEOLOGICHE



COMUNE DI GENOVA PEGLI

" CAVA TANA DEI BANDITI "

Frantoio del Tigullio S.r.l.

Rilievo topografico
aggiornato al 07/05/2009
(fornito da STUDIO BORRA)

LEGENDA

- Copertura vegetale o detrito
- Metagabbri di Carpenara
- Serpentiniti/serpentinoscisti all'interno dei metagabbri
- Serpentiniti di San Carlo di Cese

- giacitura foliazione metagabbro (con inclinazione)
- giacitura foliazione serpentinite (con inclinazione)
- foliazione verticale
- faglia con cinematica non determinata
- faglia con cinematica trascorrente destra
- faglia con cinematica trascorrente sinistra

- Luglio 2009 -

ALLEGATO II

Dati strutturali

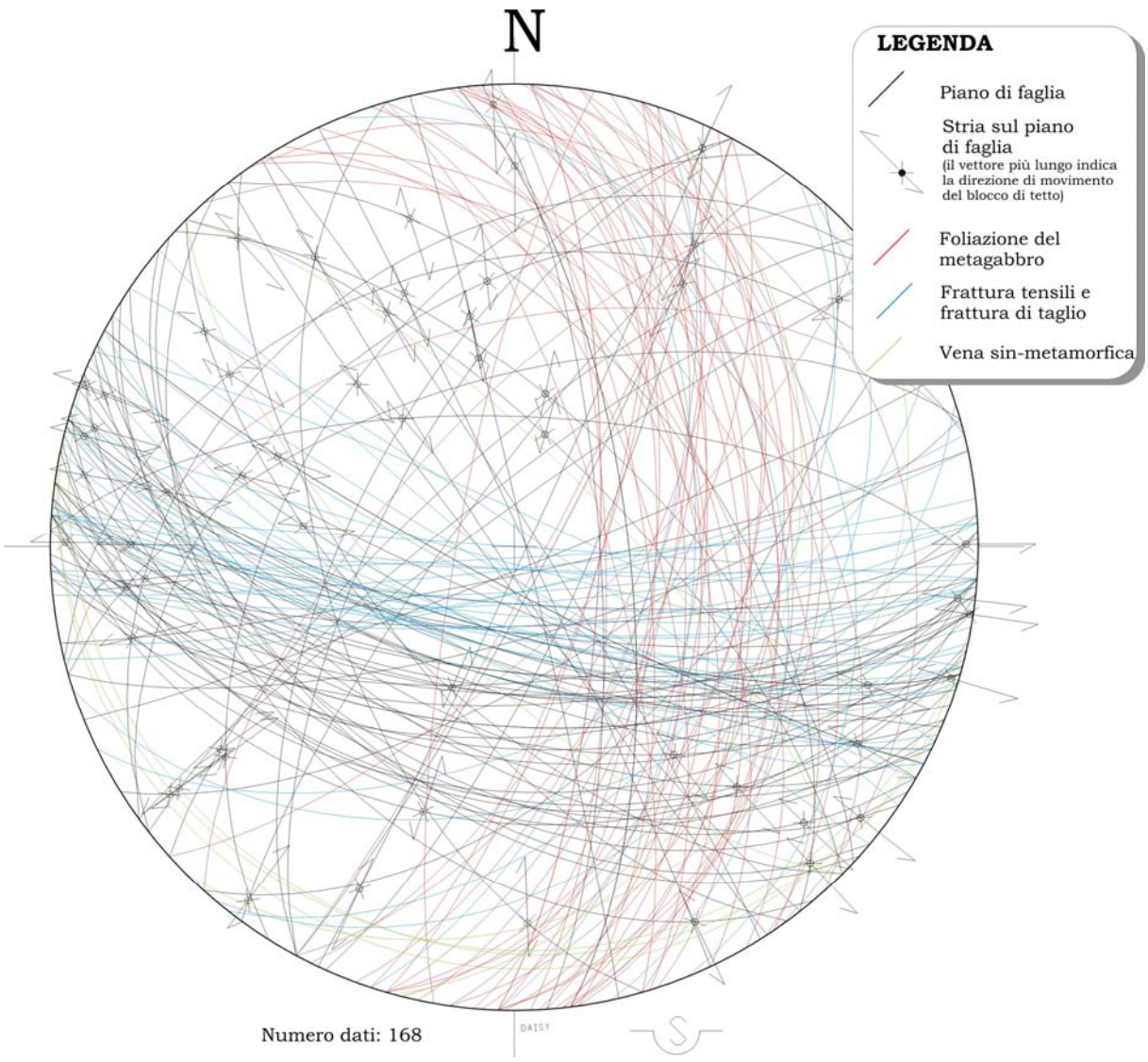


Figura 1 - Proiezione stereografica equiareale (reticolo di Schmidt, emisfero inferiore) di tutti gli elementi strutturali misurati.

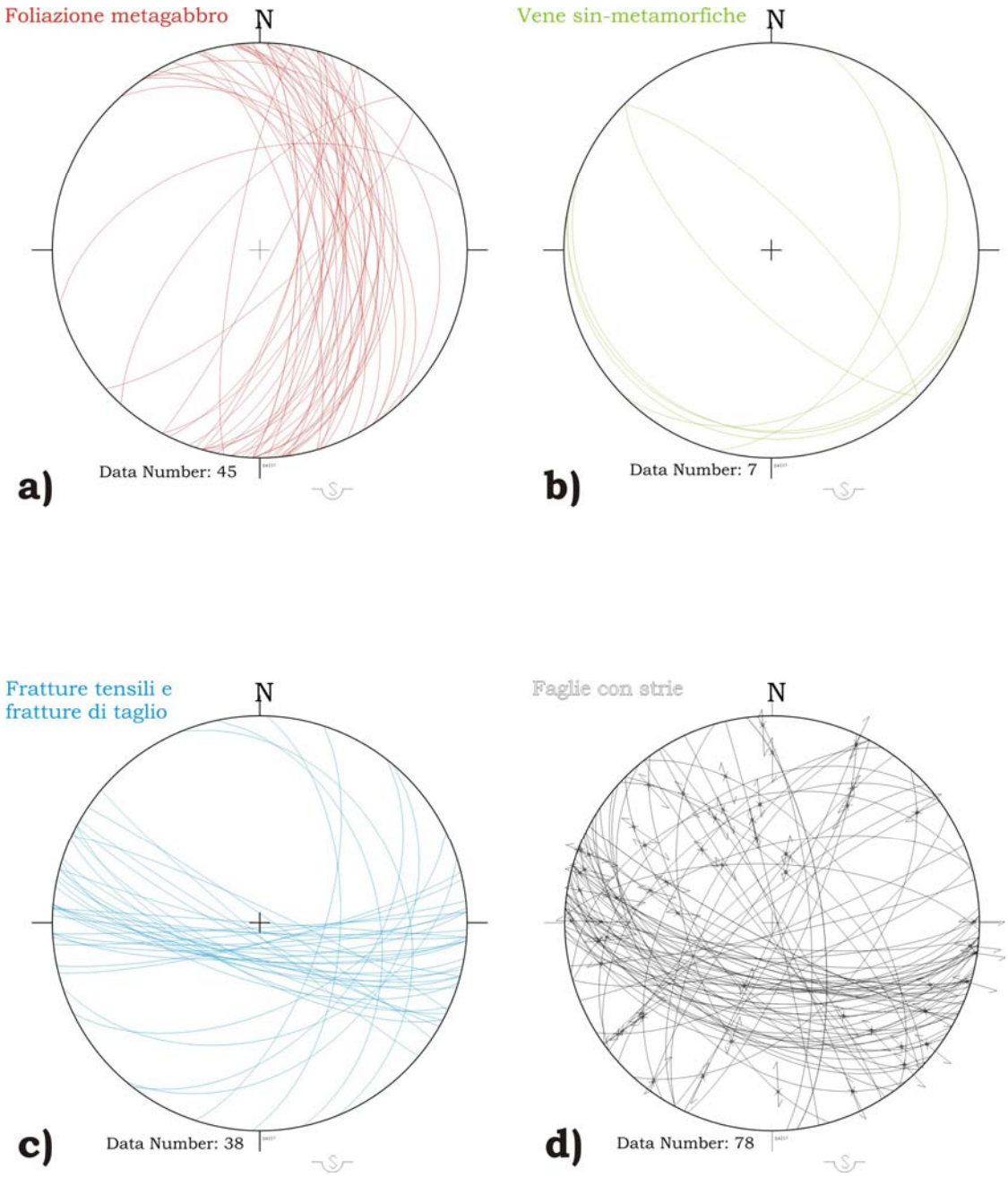


Figura 2 **-** Proiezioni stereografiche equiareali (reticolo di Schmidt, emisfero inferiore) relative a ciascuna tipologia di elemento strutturale misurato.

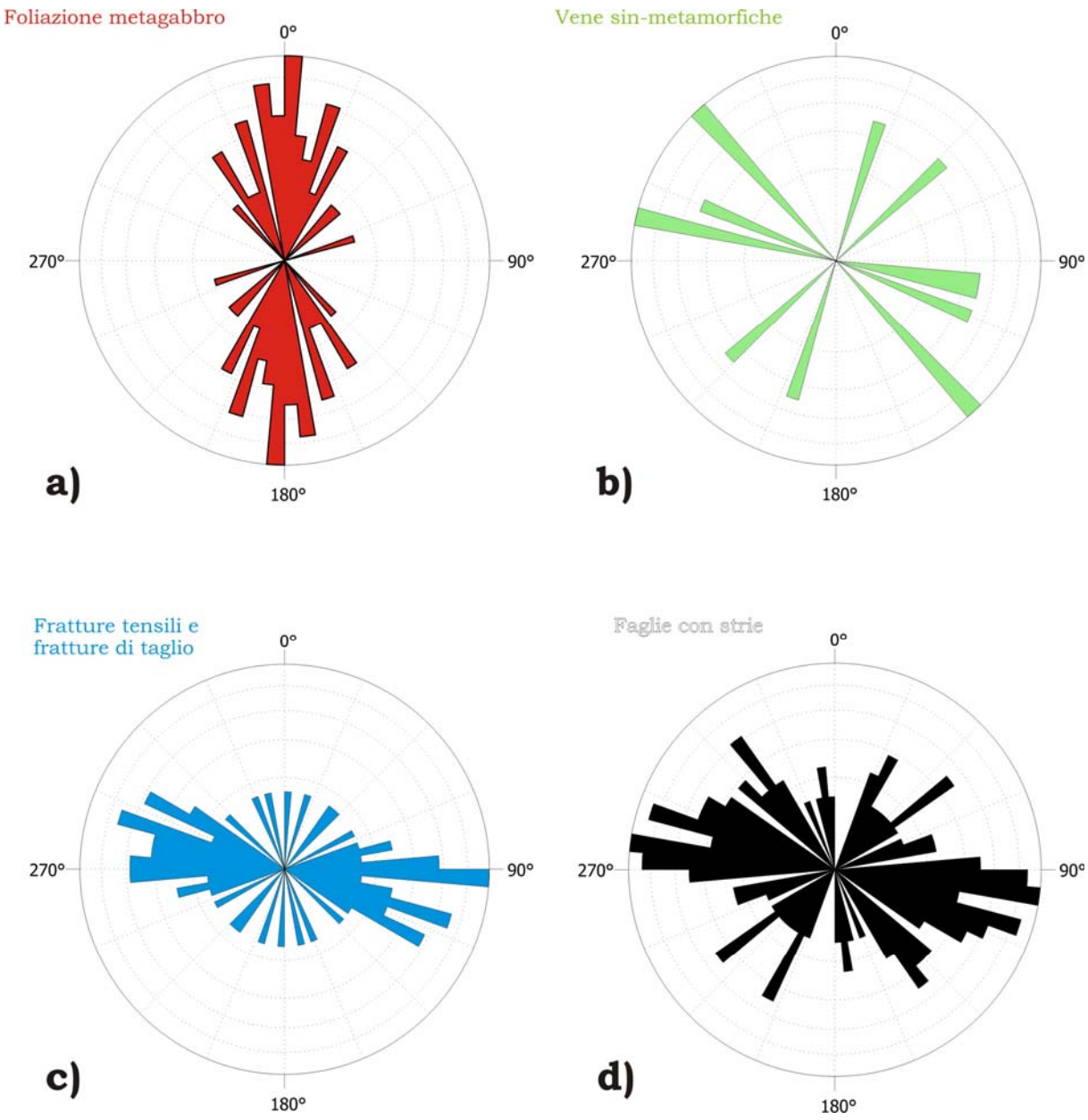


Figura 3 *- Rose diagrams* relativi agli azimuth degli elementi strutturali misurati.

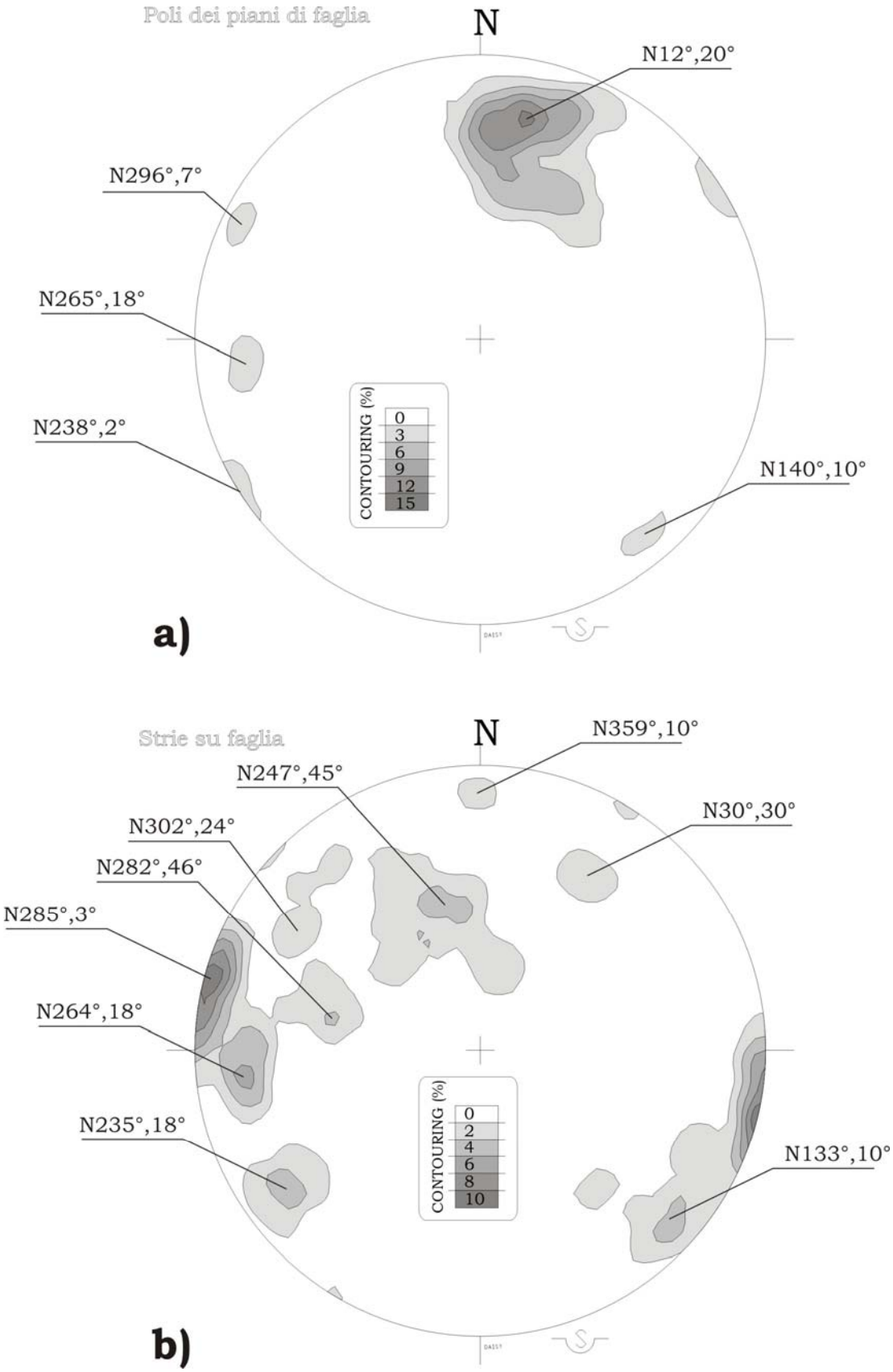


Figura 4 **-** Contour relativo ai poli dei piani di faglia (a) e alle strie di abrasione (b).

ALLEGATO III

Report fotografico

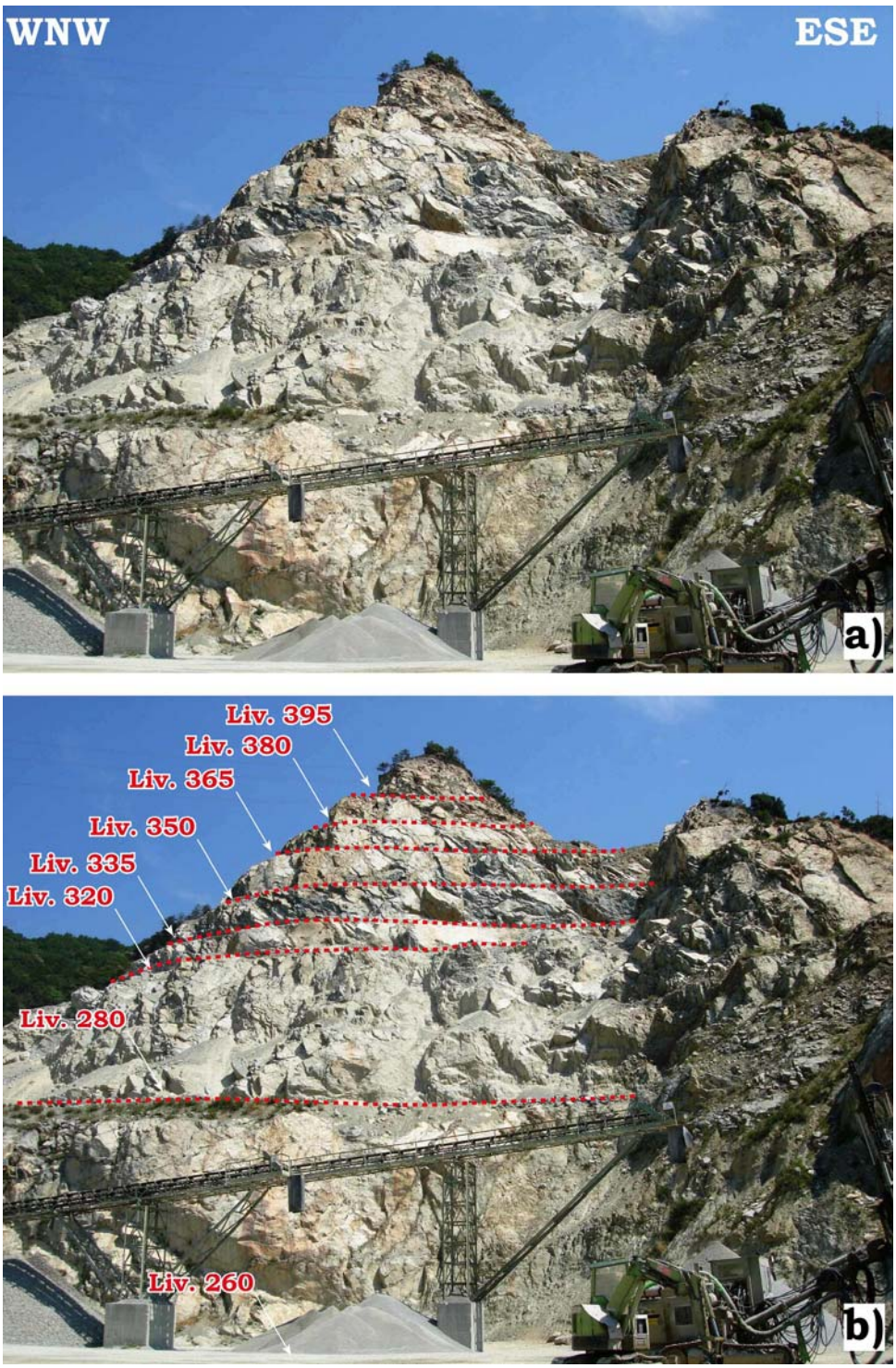


Foto 1 - (a) Panoramica della cava "Tana dei Banditi" con (b) individuazione degli attuali livelli di coltivazione.



Foto 2 - Panoramica del lato occidentale della cava ripresa dal Livello 350.

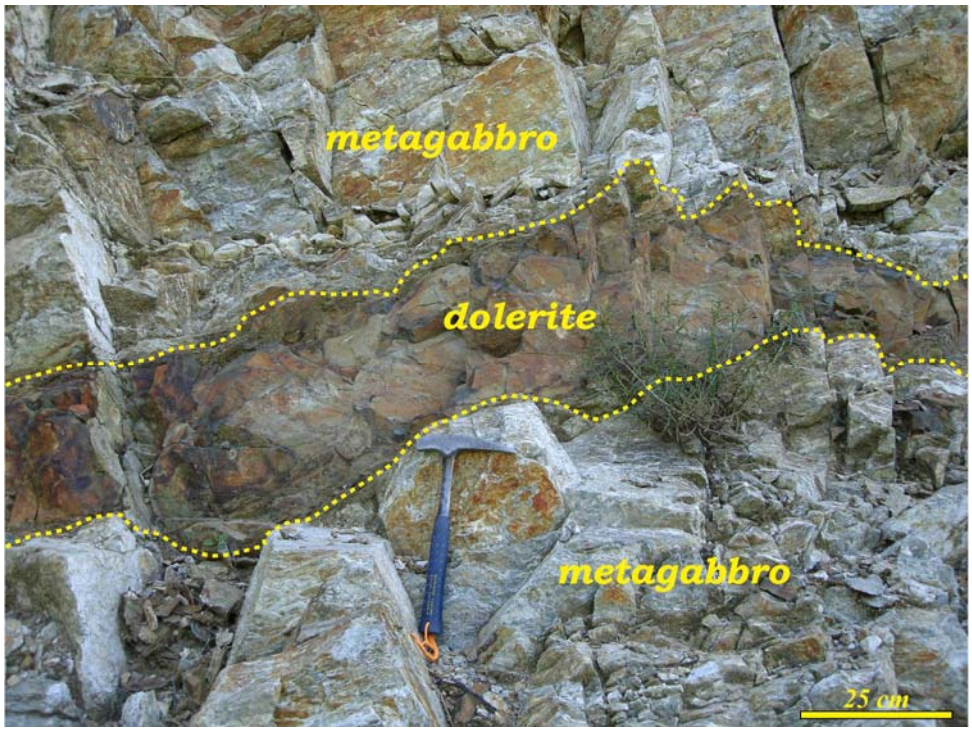


Foto 3 - Filone di dolerite all'interno del metagabbro.

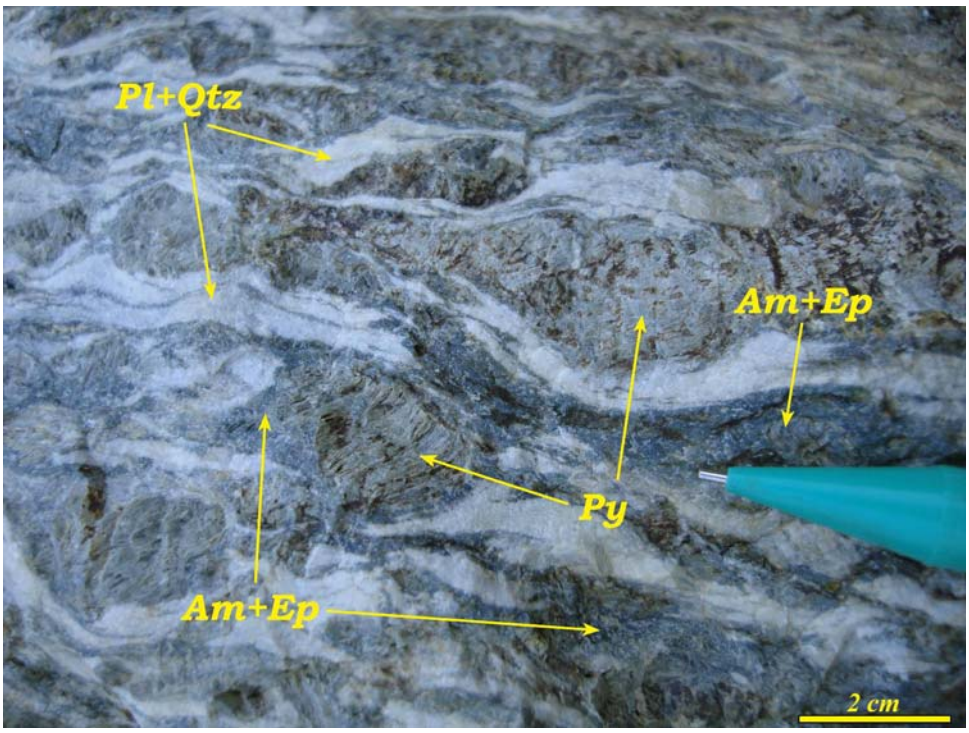


Foto 4 - Struttura pegmatoide del metagabbro composta da porfiroclasti di pirosseno igneo (Py) ammantati dal *fabric* secondario duttile definito da una foliazione sin-scisti verdi a plagioclasio (Pl), quarzo (Qtz), anfibolo verde (Am), epidoto (Ep).



Foto 5 - Metagabbro con struttura a grana fine.

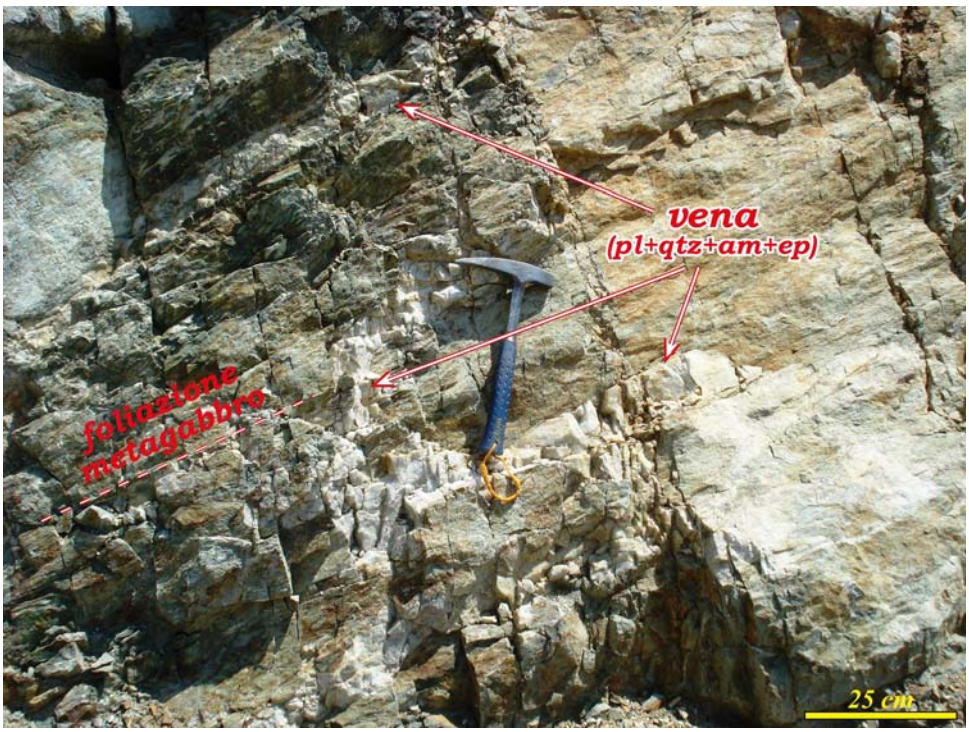


Foto 6 - Vene sin-metamorfiche a plagioclasio+quarzo+anfibolo verde+epidoto con giacitura concordante e discordate rispetto alla foliazione sin-scisti verdi del metagabbro.

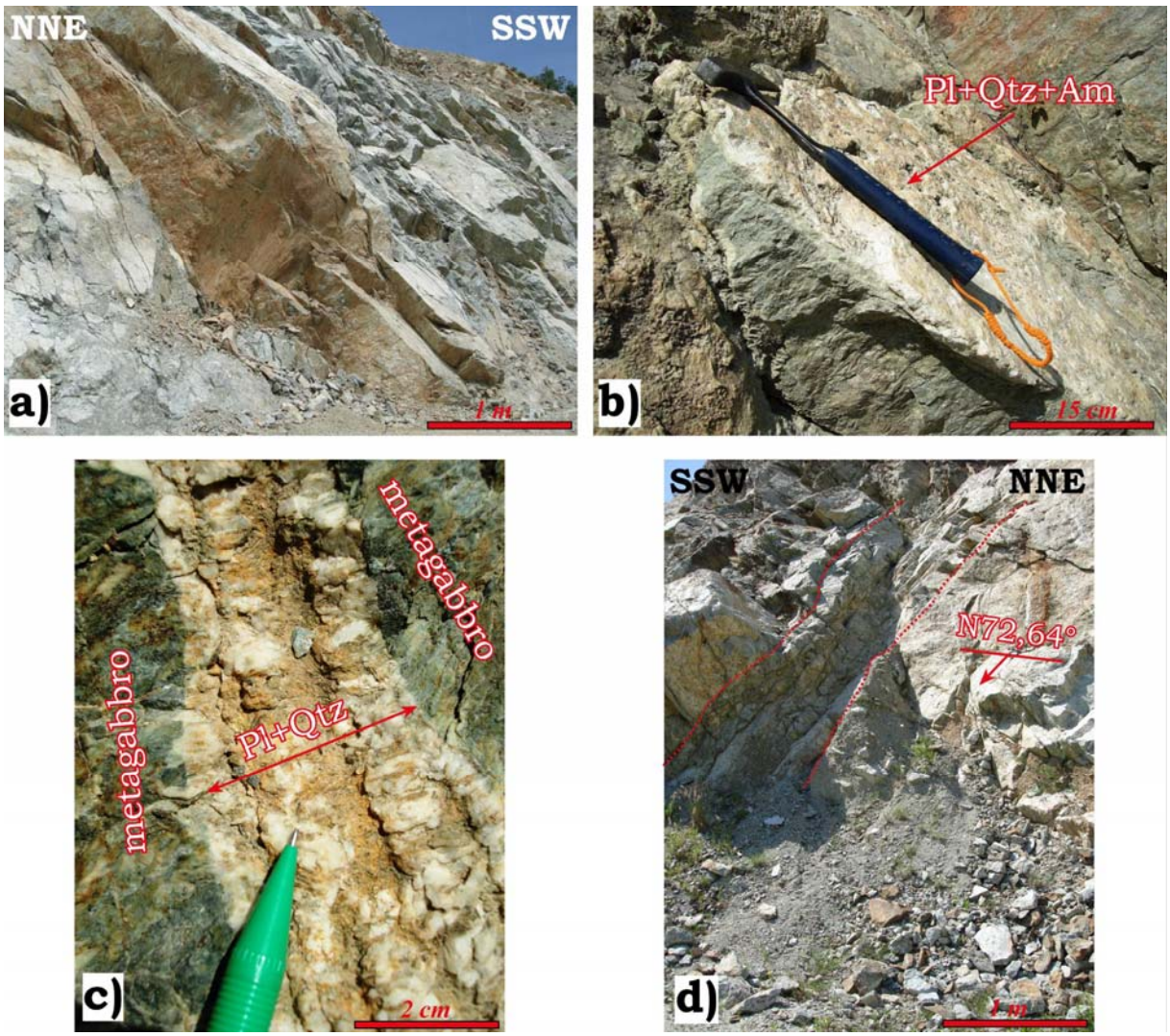


Foto 7 *- Fabric* secondario fragile: strutture deformative del sistema 1. (a) fratture tensili N90°,70° (Livello 335); (b) superficie della frattura tensile (modo I) caratterizzata dalla mineralizzazione a plagioclasio+quarzo+anfibolo verde (Pl+Qtz+Am) (Livello 260); (c) dettaglio sui minerali di riempimento (plagioclasio e quarzo) disposti perpendicolarmente alle pareti della frattura (Livello 380); (d) sistema di fratture con spaziatura decimetrica (tra le linee tratteggiate) associato alla faglia (Livello 380).

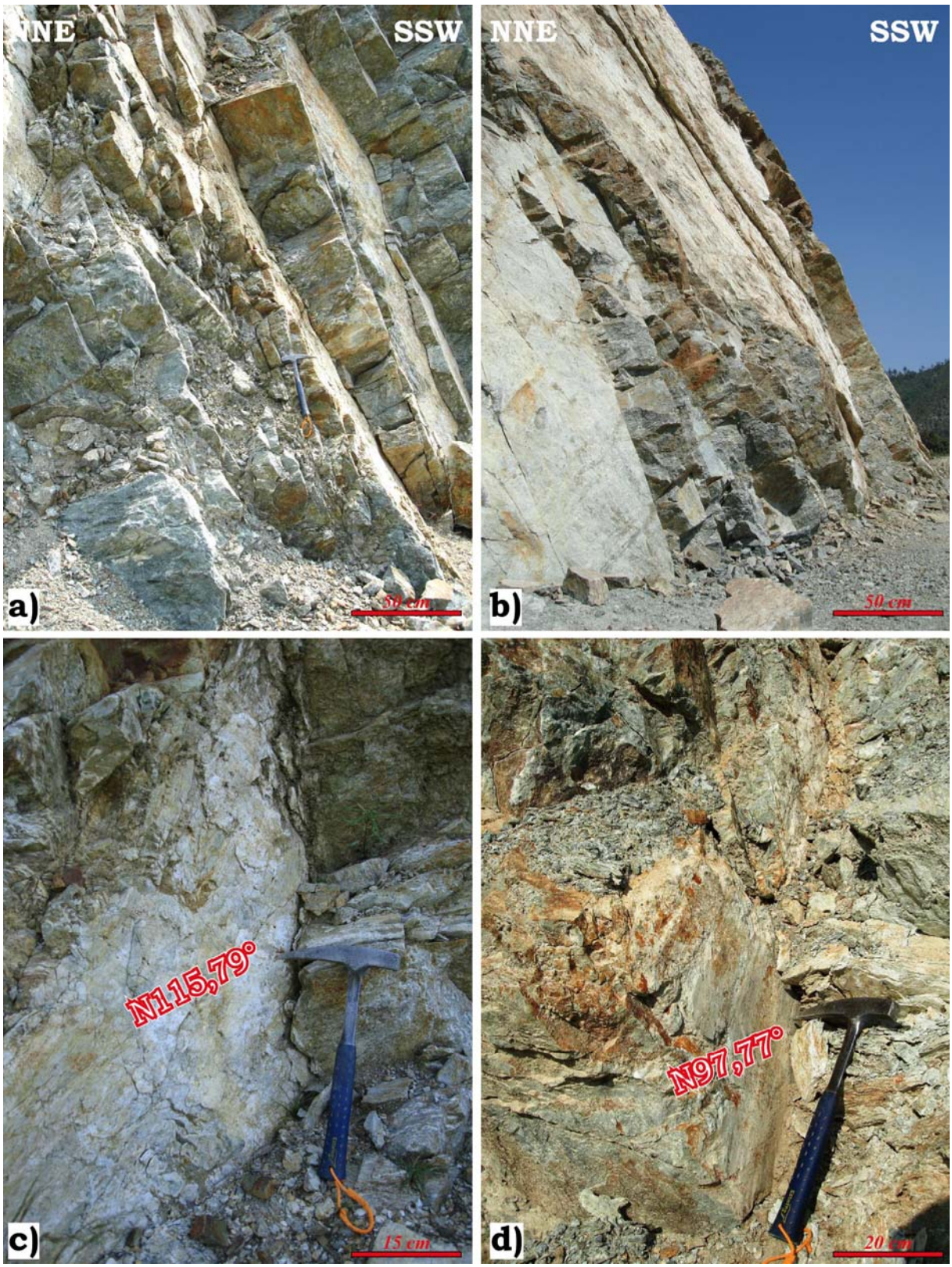


Foto 8 *- Fabric* secondario fragile: strutture deformative del sistema 2. (a) spaziatura del sistema di faglie N110° (Livello 365); (b) piano di faglia N105°,70° lungo il gradone del Livello 350; (c) e (d) particolari delle emergenze dei piani di faglia con strie di abrasione (Livello 395 e Livello 365, rispettivamente).

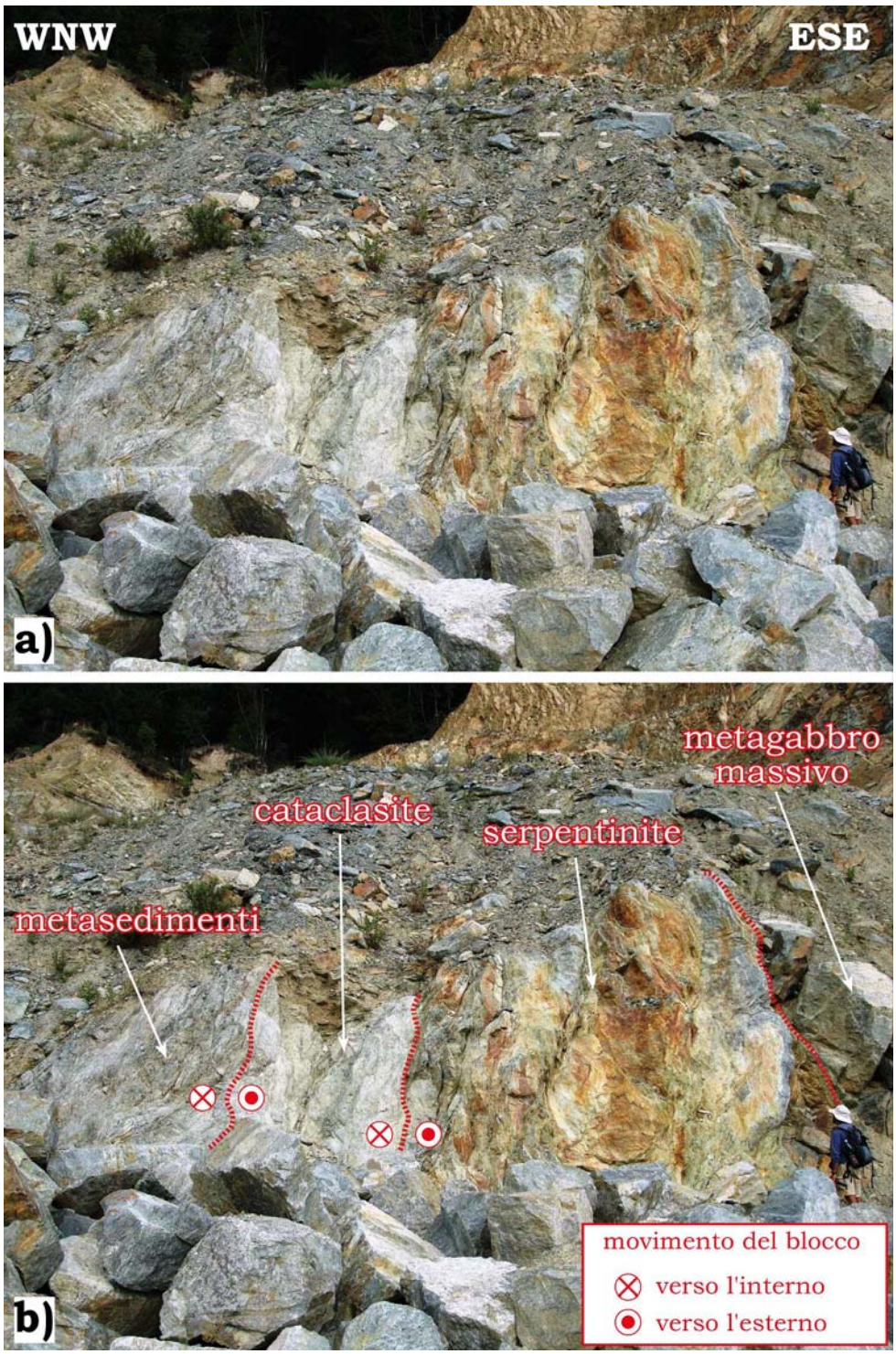


Foto 9 - Relazioni tra metagabbro e fasce serpentinitiche. (a) e (b) sistema di faglie NE-SW, con associata cataclasite, al contatto tra metagabbro e serpentinite (Livello 335).

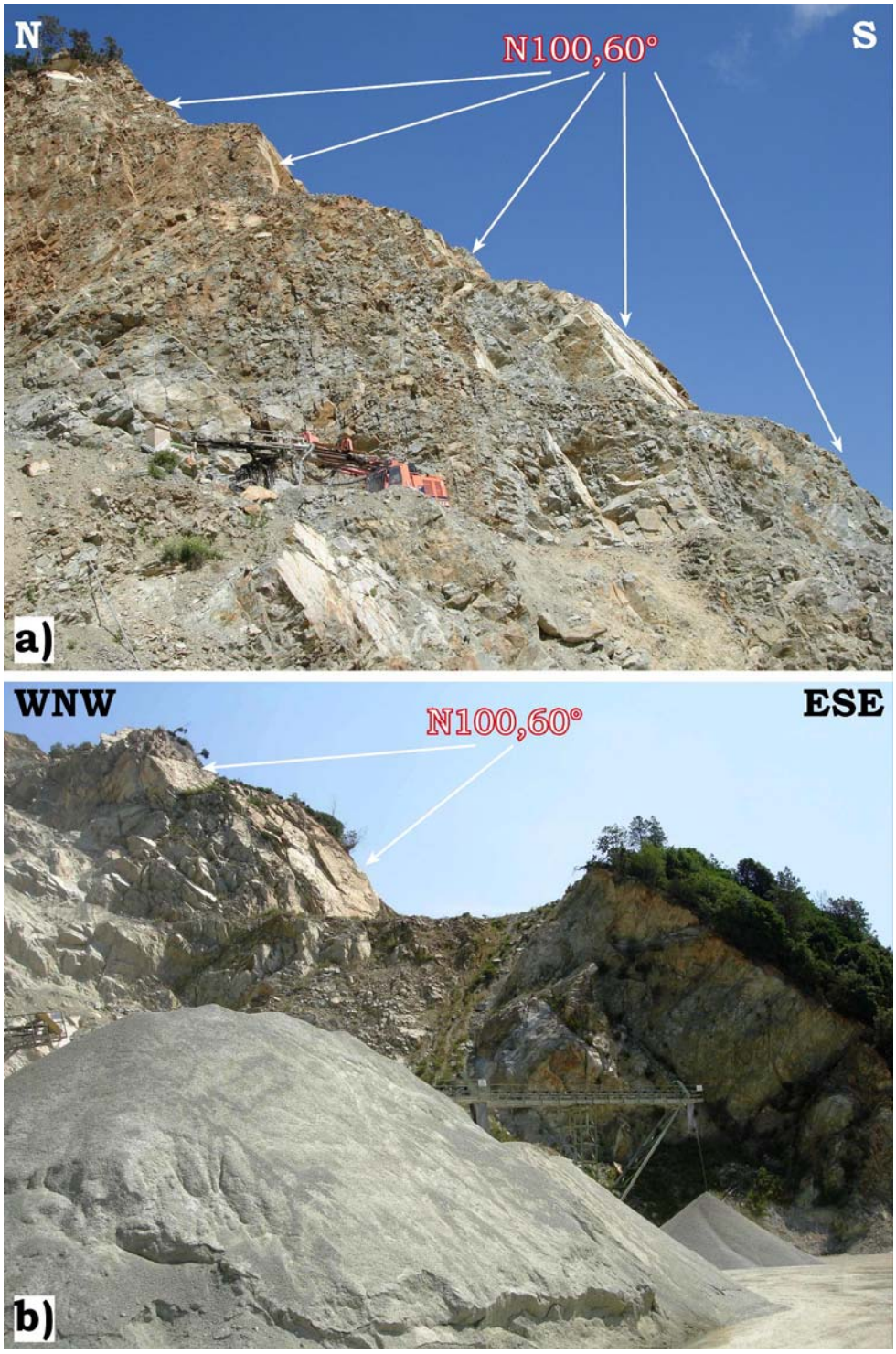


Foto 10 - (a) e (b) esempi della morfologia dei gradoni determinati dalle superfici del sistema di faglia N110°,60° (parte alta e bassa della cava, rispettivamente).

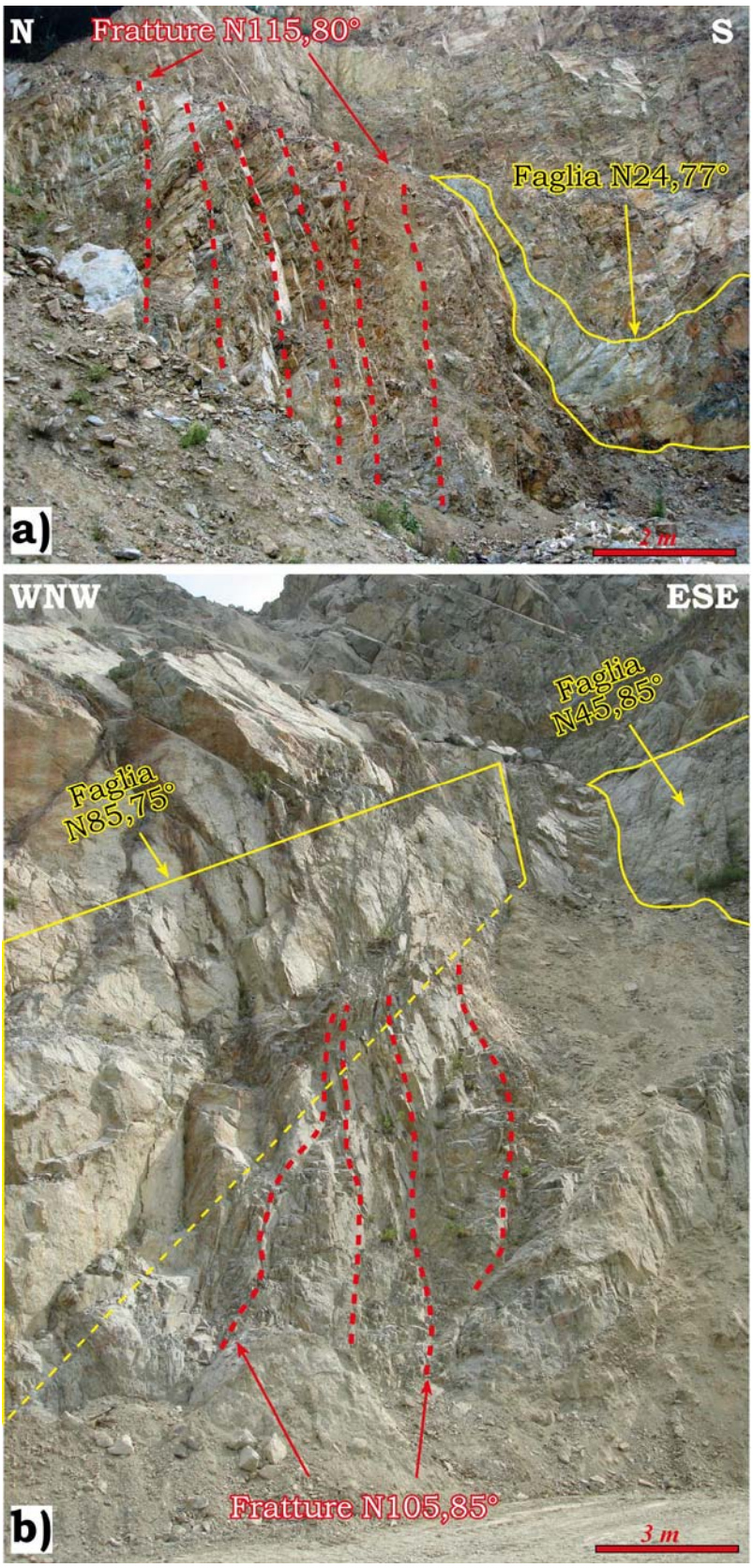


Foto 11 - (a) e (b) esempi di particolari situazioni di interferenza tra differenti elementi di discontinuità strutturale (Livello 365 e Livello 260, rispettivamente) che generano condizioni di instabilità del gradone.