

## ALLEGATO 5

ISTRUZIONE OPERATIVA “PRELIEVO DI CAMPIONI DALLE  
CAROTE AI FINI DELLA QUANTIFICAZIONE DELL’AMIANTO”

**PRELIEVO DI CAMPIONI DALLE CAROTE PROVENIENTI DAI SONDAGGI**

*Documento di Istruzione Operativa*

**PRELIEVO DI CAMPIONI DALLE CAROTE  
AI FINI DELLA QUANTIFICAZIONE DELL'AMIANTO**

TAVOLO TECNICO "AMIANTO"

**REV. 02 DEL 28/10/2014**

## **Premessa**

In questo documento si riportano i metodi per la determinazione dei tenori di amianto nelle carote di sondaggio e le procedure di campionamento in presenza di pietre verdi. Il documento si divide in una prima parte che ha lo scopo di definire una procedura di campionamento, una seconda parte che ha lo scopo di fornire un inquadramento teorico della metodica di campionatura presentata e, a seguire, vengono fornite indicazioni di dettaglio per l'esecuzione pratica delle operazioni.

Il testo di seguito riportato è stato elaborato e aggiornato recependo le modifiche sostanziali e concettuali formulate dal Dipartimento di Geologia e Dissesto di Arpa Piemonte che ha seguito tutte le successive verifiche di ottemperanza alle prescrizioni formulate.

Inoltre, si fa presente che il campionamento sarà effettuato informando preventivamente Arpa Piemonte e facendo pervenire ad Arpa Piemonte i giornali di sonda e le stratigrafie di sondaggio delle carote con congruo anticipo.

# PARTE PRIMA

## Procedura di campionamento

### 1. Introduzione

L'amianto in un ammasso roccioso è quasi sempre distribuito in modo molto eterogeneo.

La concentrazione di amianto nella roccia può essere estremamente variabile ed è legata alla storia geologica che le litologie hanno subito: può variare in pochi centimetri da zero a valori di molti punti %, quando si passa dalla salbanda di una vena all'interno della stessa.

Va anche tenuto presente che l'amianto è un minerale friabile. Pertanto, la presenza di amianto è sovente associata a zone dell'ammasso roccioso caratterizzate da modesta resistenza meccanica ("zone di discontinuità s.l. quali: fratture, faglie e rocce di faglia, zone di taglio, vene/mineralizzazioni ecc.").

Nelle carote di un sondaggio ciò viene evidenziato principalmente dalla presenza di zone di discontinuità intensamente deformate per esempio caratterizzate da intensa foliazione metamorfica, da discontinuità derivanti da fratture mineralizzate, da alterazione con disgregazione della matrice rocciosa.

Nell'esame delle carote bisogna pertanto prestare particolare attenzione alla presenza ed alle caratteristiche di dette discontinuità.



Fig. 1 - Roccia mineralizzata di Balangero.

### 2. Indagine mediante campionatura delle carote di sondaggi

#### 2.1. Scopo dell'indagine

Lo scopo dell'indagine può essere di due tipi:

- a) Indagine geologico – petrografica con l'obiettivo di rilevare l'eventuale presenza di amianto

Lo scopo del lavoro è **qualitativo** ossia si tratta di definire se nei vari tratti di carote sono presenti amianti, ed in tal caso definire giacitura e tipologia delle fibre.

- b) Determinazione del tenore di amianto in corrispondenza di intervalli prefissati di progressive di sondaggio verticale o sub verticale.

La determinazione del **tenore di amianto** rappresenta solamente un valore previsionale del contenuto nell'ammasso roccioso interessato dai lavori di scavo. L'osservazione del fronte di scavo fornisce indicazioni ulteriori per definire lo scenario di lavoro effettivo.

#### 2.2. Procedura di campionatura

La procedura di campionatura viene svolta in tre fasi operative che di seguito vengono descritte.

Una volta ottenute le misure di laboratorio di contenuto di amianto viene svolto il calcolo sul tenore medio di amianto.

### **1° fase - Definizione dei tratti di carote indiziati per amianto**

Questa fase consiste in una caratterizzazione litologica delle progressive di carote derivata dai giornali di sonda corredati dalle osservazioni del geologo, in cui sono stati intercettati litotipi con probabilità di occorrenza di amianto ("Pietre Verdi" ai sensi del Protocollo di Gestione del Rischio Amianto).

### **2° fase - Campionatura selettiva delle carote nelle zone in cui si ha evidenza di fibre**

Questa campionatura viene realizzata con campioni "mirati" e "puntuali" per raggiungere l'obiettivo indicato al punto 2.1. a).

La procedura è la seguente.

Si opera la campionatura con prelievo di materiale in un tratto di limitata estensione ("puntuale" di alcuni centimetri di lunghezza) nei tratti in cui l'esame visivo della carota indica (campione scelto in modo "mirato") la presenza di:

- Discontinuità con riempimenti di materiale fibroso (quando presente è ben riconoscibile ad occhio o con lente d'ingrandimento); o sulle superfici di distacco costituito da patine diverse dalla roccia incassante.
- Vene in rocce meta-ofiolitiche
- Zone tettonizzate in rocce meta-ofiolitiche (roccia alterata e/o disgregata)
- Rocce meta-ofiolitiche ("pietre verdi" così come definito nel Protocollo amianto) debolmente deformate;

Di conseguenza ogni campioncino è rappresentativo soltanto di tratti di carota limitati a pochi centimetri di lunghezza.

L'analisi di laboratorio fornirà il tenore in amianto.

L'esecuzione di questa 2° fase permette di raggiungere l'obiettivo indicato al punto 2.1. a), cioè la semplice indagine geologico-petrografica mirata ad individuare la presenza o meno di amianto.

### **3° fase – Determinazione del "valore medio" del tenore in amianto su un tratto di carota**

In teoria la determinazione del "valore medio" può essere effettuata con 3 diverse procedure di campionatura alternative:

- Recupero della mezza carota mediante taglio longitudinale: mezza carota viene analizzata in laboratorio, l'altra metà rimane come testimone. Questa procedura è utilizzata in molti casi nella prospezione mineraria e nella ricerca oceanografica sul fondo marino. In questo caso risulta operativamente molto complessa, per la presenza di amianto, che richiede accurate predisposizioni per la sicurezza dei lavoratori e per l'ambiente; inoltre fornisce campioni di grande massa, non agevoli da gestire;
- Campionatura mediante prelievo di campioncini (o incrementi) scelti in modo sistematico (a distanze costanti) oppure in maniera casuale (utilizzando numeri casuali) lungo la carota: a causa della prevedibile marcata differenza di tenore da punto a punto, causata dall'eterogeneità della distribuzione dell'amianto nell'ammasso roccioso, questo tipo di campionatura non comporta errori solo se i campioncini (o incrementi) sono ad intervalli molto brevi, in modo da diminuire il cosiddetto "errore di integrazione";
- Campionatura di approfondimento con ulteriori prelievi "mirati" e "puntuali": in questo caso nei tratti di carota dove non si ha evidenza visiva di fibre La posizione dei campioncini (o incrementi) deve essere legata alla tipologia delle rocce. Trattasi nuovamente di campionatura selettiva, ora mirata alle zone dove non si ha evidenza di amianto. L'analisi di laboratorio fornirà il tenore di questi tratti, normalmente molto basso o con la dicitura "amianto non riscontrato".

Per poter giungere al calcolo del valore medio è però necessario il **rilievo sulle carote delle lunghezze** delle diverse tipologie di litotipi, distinte sinteticamente:

- zone con presenza di amianto, da cui i campioni prelevati in fase 2;
- zone in cui non si ha evidenza di fibre, da cui i campioni prelevati in fase 3.

Il rilievo suddetto permette di effettuare una media ponderata dei tenori.

#### **4° fase - Calcolo del tenore medio**

Si realizza con la media ponderata secondo la lunghezza dei tenori riscontrati in mg/kg nei diversi tratti di carota (per approfondimenti teorico-pratici sul campionamento si rimanda al documento: “Prelievo di campioni dalle carote – sintesi teorica e dettagli operativi”).

Si riporta nella figura seguente (Fig. 2) un esempio teorico di calcolo, su un tratto di carota oggetto di rilievo della lunghezza di circa 100 cm. Nell'esempio vengono prelevati campioni rappresentativi delle rocce nella carota con caratteristiche litologiche variabili dal tratto A al tratto E. Nella fig. 2 i tratti sono indicati tutti in centimetri.

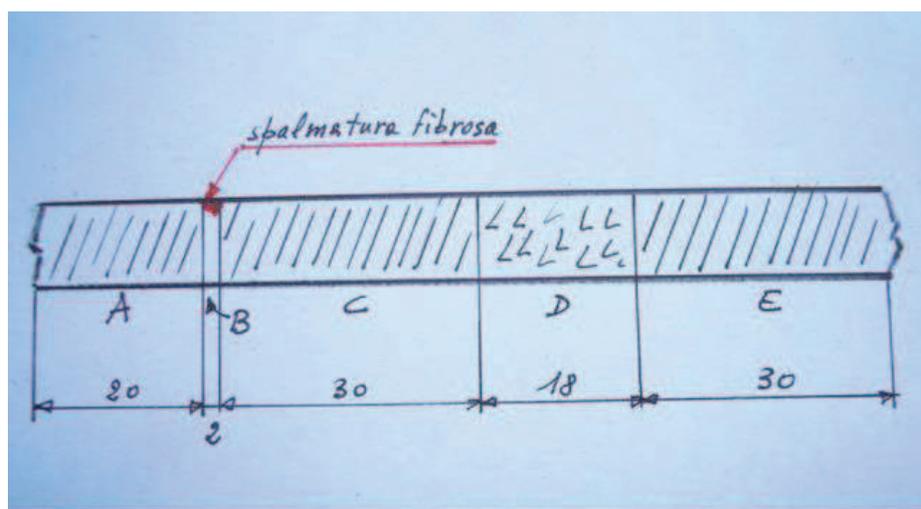


Fig. 2 - Esempio di carota lunga 100 cm con possibile presenza di amianto differenziata da tratto a tratto.

- A: zona di serpentina compatta: tenore di amianto pari a 20 mg/kg;
- B: tratto di serpentina con spalmatura fibrosa sulla superficie esterna della carota (vedi a titolo di esempio la Fig. 3): tenore di amianto pari al 2% (pari a 20.000 mg/kg);
- C: zone di roccia compatta con amianto in tracce: tenore di amianto pari a 2 mg/kg;
- D: zona alterata di serpentinoscisti: tenore di amianto pari al 2,5‰ (pari a 2.500 mg/kg);
- E: zona di roccia compatta, con amianto "non riscontrato": tenore di amianto pari a zero.

Calcolo del tenore medio della carota:

$$(20 \times 20 + 20.000 \times 2 + 2 \times 30 + 2.500 \times 18 + 0 \times 30) / 100 = 854,6 \text{ mg/kg, in 100 cm di carota indagata}$$



Fig. 3 - Campione di carota in serpentina compatta con spalmatura di amianto sull'esterno

### 3. Modalità operative. Sintesi.

Le attività di prelievo sono pianificate e condotte in modo da ottenere uno o più campioni rappresentativi dei differenti tratti di progressiva dei sondaggi e pertanto sono precedute dalle seguenti attività di studio:

- analisi dei giornali di sonda e delle stratigrafie per l'individuazione:
  - 1) dei tratti di progressiva che hanno attraversato rocce con probabilità di occorrenza di amianto;
  - 2) degli elementi geologico-strutturali maggiormente indiziali per la possibile presenza di amianto (zone di discontinuità s.l. quali: fratture, faglie e rocce di faglia, zone di taglio, vene/mineralizzazioni ecc.);
- pianificazione delle modalità di prelievo in relazione alla necessità di ottenere campioni rappresentativi (numero e posizione dei punti di prelievo) sulla base dei criteri teorici esposti nel paragrafo 2.

Le attività di campionamento verranno realizzate mediante l'utilizzo delle misure di salvaguardia per la tutela della salute e sicurezza degli operatori interessati.

Si propone di seguito uno schema dei possibili metodi applicabili.

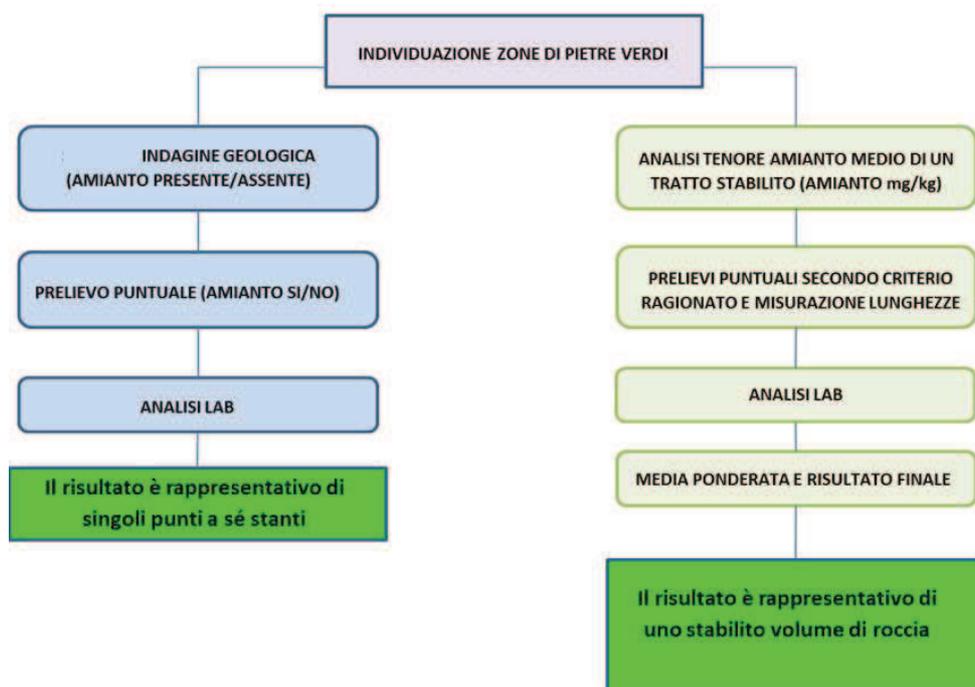


Fig. 4 – Schema dei possibili metodi applicabili.

## PARTE SECONDA

### Inquadramento teorico

#### PRELIEVO DI CAMPIONI DALLE CAROTE: SINTESI TEORICA

##### 1. Modello teorico della campionatura nel caso delle carote provenienti da sondaggi

Il problema in oggetto è la campionatura di un lotto (la carota) che è schematizzabile come un lotto ad 1 sola dimensione. Trattasi cioè di un lotto costituito da un solido di sezione costante ma con dimensioni trasversali piccole in confronto a quella longitudinale (l'asse della carota).

Sia  $a$  il tenore in amianto in un punto qualunque lungo l'asse della carota (asse  $x$ ). Il tenore varia da punto a punto, quindi si ha una funzione  $a(x)$ .

Il tenore medio  $a_m$  di un tratto definito di carota (da  $x_1$  a  $x_2$ ; si indica  $x_2 - x_1 = L$ ) è dato dall'integrale:

$$a_m = (1/L) \cdot \int a(x) dx$$

La valutazione di  $a_m$  si riconduce quindi ad un problema di integrazione della funzione  $a(x)$ .

Il problema deriva dal fatto che la funzione  $a(x)$  è sconosciuta, quindi è impossibile il calcolo diretto dell'integrale.

In matematica si dispone però della tecnica di "integrazione per punti", cioè di calcolo grafico approssimato degli integrali. Si può calcolare un integrale se si conosce una funzione, di per sé continua, mediante un numero finito di suoi punti.

Questo è proprio ciò che fa la campionatura per punti (<sup>1</sup>): mediante prelievi di materia (i campioni singoli) vengono conosciuti alcuni punti (<sup>2</sup>) della funzione  $a(x)$ .

Ricordando che dal punto di vista grafico-geometrico il calcolo di un integrale è il calcolo dell'area sottesa ad una funzione (l'area compresa tra la linea che rappresenta la funzione e l'asse  $x$ , per un dato intervallo  $x_1 \div x_2$ ), la campionatura consente il calcolo suddetto con il cosiddetto "metodo dei rettangoli", cioè suddividendo la funzione  $a(x)$  in tratti definiti sulle ascisse, che sono i tratti di riferimento dei singoli campioni (si vedrà nel seguito come definire questi tratti), e approssimando l'area  $i$ -esima sottesa dalla funzione con l'area di un rettangolo che ha come base il tratto di ascisse di riferimento e come altezza il valore del tenore  $a_i$  determinato nel corrispondente campione.

Nella pratica, per ogni intervallo in ascisse in cui vengono campionati tratti contigui di carota, il valore dell'area sottesa è dato dal valor medio delle diverse  $a_i$  moltiplicato per la lunghezza  $L$  in ascissa (somma delle lunghezze  $l_i$  corrispondenti - vedi Fig. 5) quando i tratti  $l_i$  sono tutti uguali.

**Se invece i campioni sono di "peso" diverso, cioè corrispondono a tratti di carota di diversa lunghezza, i singoli valori  $a_i$  vanno messi in relazione agli intervalli dell'asse  $x$  (cioè di lunghezza di carota) cui si riferiscono. In pratica, va effettuata la media delle  $a_i$  ponderata secondo le lunghezze.**

---

<sup>1</sup> Si ricorda che nella precedente relazione, citata in premessa, viene indicata anche la possibilità di campionare le carote con il metodo della "mezza carota", cioè con taglio longitudinale della carota, in modo che metà carota vada a costituire il campione di un tratto definito. Ovviamente questa metodica non è una campionatura per punti.

<sup>2</sup> In realtà "quasi-punti" in quanto i campioni derivano da prelievi di volumi  $\Delta v$  di roccia che non sono infinitesimi ma finiti. Per la precisione, il punto di campionatura andrebbe rappresentato sull'asse  $x$  con un trattino finito e non con un punto.

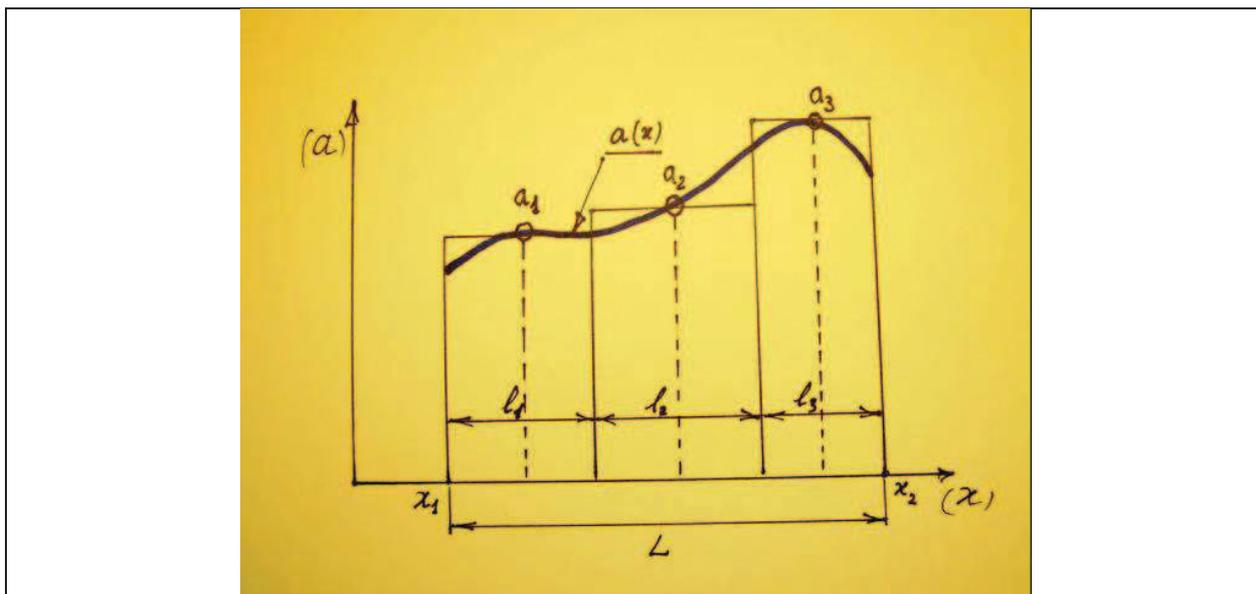


Fig. 5 - Calcolo grafico dell'integrale della funzione  $a(x)$  con il "metodo dei rettangoli". L'area sottesa della funzione  $a(x)$  è data da:

$a_1 \cdot l_1 + a_2 \cdot l_2 + a_3 \cdot l_3$  ; dividendo il risultato per  $L$  si ha il valor medio del tratto  $L$

Per decidere sulla scelta più idonea del metodo di campionatura sarebbe utile una conoscenza almeno intuitiva della funzione  $a(x)$ , cioè di come è distribuito l'amianto nella roccia.

I casi possibili sono tre:

- ✓ distribuzione omogenea. Carota costituita da roccia con caratteristiche geologiche omogenee. La definizione di omogeneità dipende (ovviamente) dalla scala di osservazione. Ad esempio, suddividendo il lotto (la carota) in tratti lunghi 1 m, se il tenore è uguale in tutti i tratti, in quanto la distribuzione del minerale nella matrice è puramente casuale (ad es. uniformemente diffuso), ciò significa che "il lotto è dotato di omogeneità di distribuzione tra le unità in cui viene suddiviso". Dal punto di vista della campionatura, ogni unità costituirebbe "per definizione" un campione rappresentativo del lotto;
- ✓ distribuzione eterogenea ("anarchica") <sup>(3)</sup>. Carota costituita da roccia con da caratteristiche geologiche variabili lateralmente ed esempio per la presenza di discontinuità s.l. con vene e/o mineralizzazioni di amianto. La distribuzione del minerale è eterogenea nello spazio (cioè lungo la carota), ma non si osserva alcun ordine nella successione spaziale dei successivi campionamenti; non si ha correlazione tra i tenori  $a_i$  e la posizione  $x_i$  lungo l'asse della carota. Ciò vale anche quando si suddivide il lotto in unità, come nel caso precedente (ad es. in tratti lunghi 1 m): i tenori dei vari tratti sono indipendenti fra di loro, non si osservano tendenze particolari nella variazione dei tenori al procedere lungo l'asse  $x$ ;
- ✓ distribuzione parzialmente ordinata (o "regionalizzata"). Carota costituita da roccia con caratteristiche geologiche con una variabilità laterale costante (esempio per la presenza di discontinuità s.l. con vene e mineralizzazioni di amianto distribuite ad intervalli regolari). Esiste una correlazione tra la posizione  $x$  del campionamento ed il valore del tenore: ad es. quando il tenore mostra una tendenza a scendere (o a salire, oppure a variare ciclicamente) man mano che si prosegue lungo l'asse  $x$  della carota <sup>(4)</sup>.

Per maggior chiarimento, in Fig. 6 e 7 sono rappresentati i 2 ultimi tipi di distribuzione dei tenori, (figure prese dalle pubblicazioni di P. GY<sup>8</sup> e relativi ai tenori in Zn in una laveria di miniera).

<sup>3</sup> "anarchica" è un aggettivo usato spesso nell'ambito della campionatura per indicare una distribuzione eterogenea del minerale "utile" (o comunque della sostanza o del minerale obiettivo della campionatura) in cui quest'ultimo è distribuito nella matrice in modo assolutamente irregolare e non prevedibile.

<sup>4</sup> Questo è un caso particolare del problema della stima delle variabili regionalizzate, argomento che venne studiato per primo da G. Matheron, inventore della geostatistica (inizio anni '60)

In conseguenza delle particolarità della presenza di amianto nell'ammasso roccioso, la distribuzione omogenea è da considerarsi improbabile. Gli altri due tipi di distribuzione sono ambedue possibili; si ritiene che il modello teorico di campionatura debba basarsi su di una distribuzione eterogenea, cioè con tenore di amianto piuttosto alto in corrispondenza delle zone di discontinuità s.l. (zone di faglia e roccia di faglia, fratture con riempimenti, vene, ecc.), mentre è prossimo a zero quando si hanno rocce compatte; il **passaggio** da alti tenori a tenori nulli avviene in tratti di carota molto piccoli, millimetrici o centimetrici (vedasi ad es. le foto di Fig. 8 e 9): La **successione** dei tenori non è prevedibile a priori: si possono avere zone con grande variabilità (presenza di successioni di vene di amianto in roccia sterile) e zone di tenore costante su lunghi tratti (carote prive di fibre), oppure anche con tenori significativi più o meno costanti (zone di discontinuità s.l. estese).

La distribuzione "regionalizzata" potrebbe esistere, ma ciò è verificabile solo a posteriori, quando si hanno in mano dati reali di campionatura.

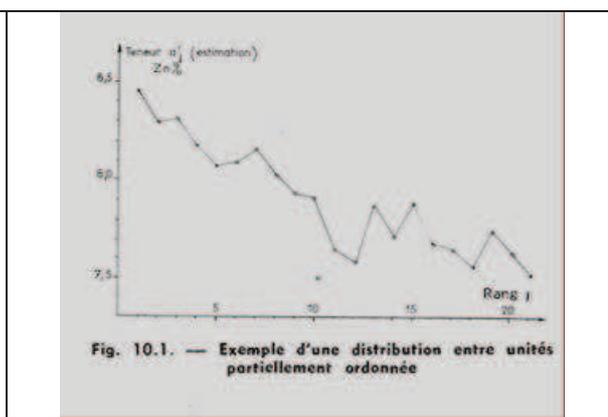
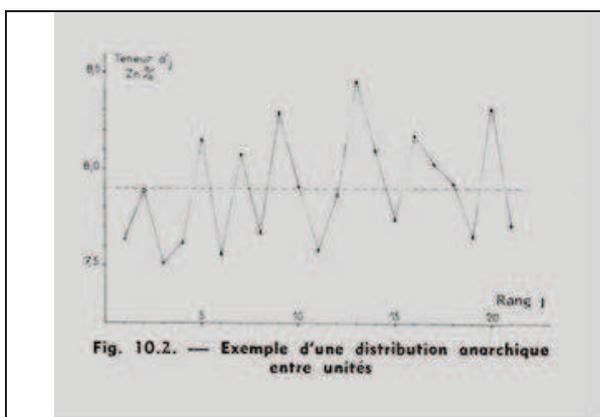


Fig. 6 - Esempio di una distribuzione di tenore di tipo "anarchico" - da P. GY

Fig. 7 - Esempio di una distribuzione di tenore parzialmente ordinata o "regionalizzata" - da P. GY

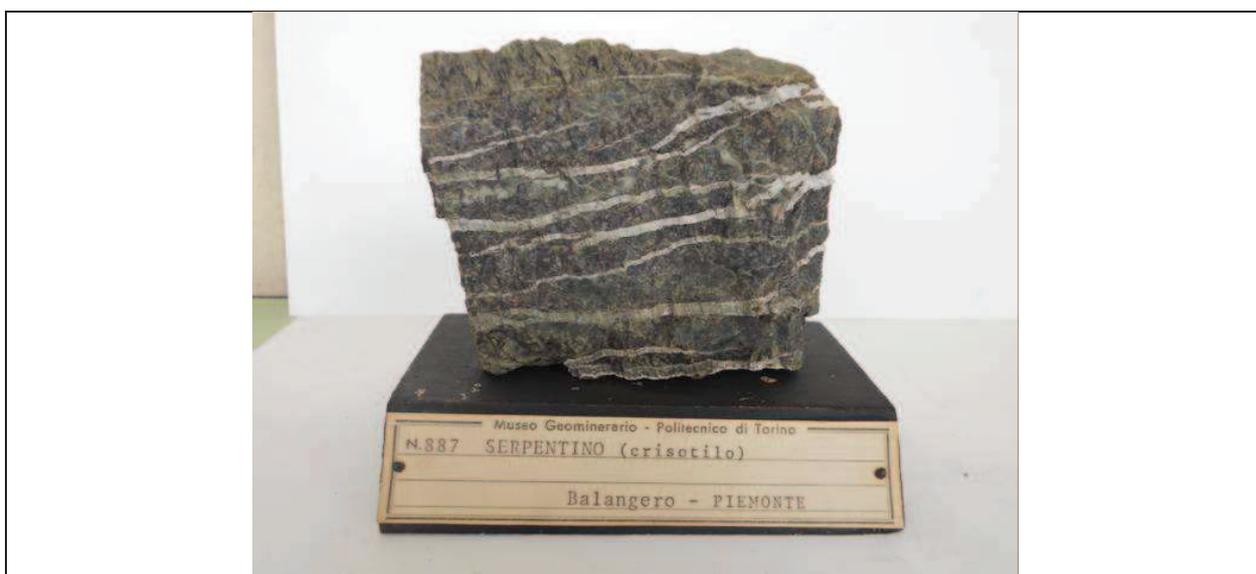


Fig. 8 – Frammento di serpentina mineralizzata. Distribuzione dell'amianto in vene grossolanamente sub-parallele, non equi-distanti; l'altezza del campione è circa 10 cm



Fig. 9 - Carota di sondaggio in serpentine. Nel punto indicato dalla freccia si ha passaggio repentino da alto tenore in amianto a tenore zero

La legge di designazione dei punti di campionatura ("quasi-punti", vedi nota 2), cioè per quale valore dell'ascissa  $x$  lungo l'asse della carota va prelevato il campione, riveste un ruolo importante.

L'esigenza teorica è il rispetto dell'equi-probabilità, cioè: tutti i punti del lotto in esame (la carota) devono avere uguali probabilità di entrare a far parte del campione.

Si hanno in linea di principio 3 possibilità:

- campionatura ad intervalli sistematici: i punti di campionatura sono scelti a intervalli costanti;
- campionatura in punti scelti a caso: i punti di campionatura sono determinati con l'aiuto di una tabella di numeri casuali;
- campionatura a caso su di un lotto "stratificato": campionatura in punti scelti a caso dopo suddivisione del lotto in "strati" (cioè in tratti distinti, ognuno dei quali viene campionato con la scelta di punti a caso all'interno dello "strato").

Le 3 leggi enunciate sono tutte statisticamente corrette in quanto assicurano il rispetto dell'equi-probabilità. Tuttavia, considerando che la distribuzione dei tenori di amianto potrebbe essere molto variabile sia nella posizione lungo l'asse  $x$  sia come valori  $a_i$ , risulta indispensabile la definizione a priori di una successione di punti di campionatura molto fitta.

Per chiarire questo punto si veda la Fig. 10 dove sono presentati graficamente due casi:

- tenore quasi costante
- tenore molto variabile

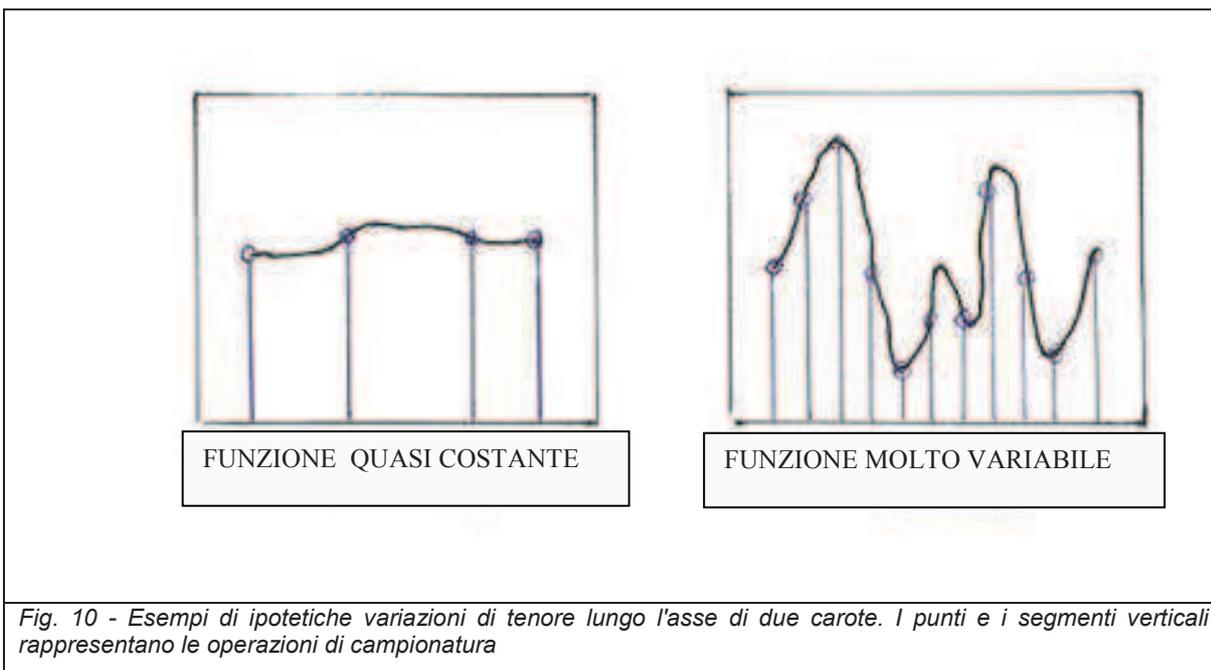


Fig. 10 - Esempi di ipotetiche variazioni di tenore lungo l'asse di due carote. I punti e i segmenti verticali rappresentano le operazioni di campionatura

Si vuole conoscere il tenore medio di amianto nell'intervallo indicato in ascisse.

Il valor medio dei punti di campionatura differisce dal valor medio vero della funzione; questo scarto è una variabile aleatoria e viene chiamato “errore” <sup>(5)</sup> di integrazione, in quanto simile all’errore che si fa in analisi matematica quando si calcola un integrale per punti.

Accettato che il tenore medio della linea sia un “estimatore” corretto <sup>(6)</sup> del tenore medio “vero”, intuitivamente si comprende che più si infittiscono i punti di campionatura, più diminuisce lo scarto tra il valore medio “vero” della funzione ed il nostro “estimatore”, cioè il valore medio dei punti di campionatura.

Appare anche intuitivo che, se la variabilità della funzione è scarsa, sono sufficienti pochi punti di campionatura per conoscere il valor medio. Se al contrario la funzione presenta notevoli variazioni bisogna avere numerosi punti di campionatura per ridurre l’errore di integrazione.

Non conoscendo la funzione (cioè la variazione del tenore in amianto) è necessario per doverosa cautela di campionatura (cioè per ridurre il possibile errore di integrazione) conservare uno schema a molti punti come standard operativo.

Si può tuttavia ipotizzare la riduzione del numero di punti quando si ha una ragionevole certezza di essere nella situazione con tenore di amianto poco variabile; ciò deriva dalle osservazioni geologiche, per es. quando risulta una litologia uniforme e assenza di zone “indiziate” per amianto (che sono, come già detto, zone di discontinuità s.l., oppure le zone con evidenza visiva di fibre).

Va infine ancora tenuto presente che, per una precisione rigorosa, i singoli campioni dovrebbero essere tutti di ugual massa, o almeno di ugual lunghezza assiale sulla carota, per evitare di arrivare alla media con campioni di diverso peso (si ricorda che l’obiettivo della campionatura è il valor medio).

## **2. Passaggio dalle considerazioni teoriche ad un modello pratico**

Da quanto scritto appare evidente che una procedura di campionatura che rispetti rigorosamente le indicazioni esposte risulterebbe in questo caso specifico molto complessa e di difficile realizzazione.

Se si opera mediante prelievi a intervalli sistematici, molto fitti come sopra detto, sarebbe necessario nei punti prefissati tagliare una fetta trasversale di carota per una lunghezza assiale fissa (ad es. 2-3 cm); il che implica, per le zone di materiale compatto, l’adozione di una sega circolare per rocce, con annessi e connessi (operazione a secco per non asportare eventuali fibre, protezione degli operatori, ecc.); l’operazione sarebbe più semplice, in quanto effettuabile manualmente, nelle zone di materiale disgregato.

Resta comunque la necessità di un gran numero di campioni.

Si propone quindi una campionatura “selettiva” basata sull’esame visivo, con prelievi “mirati e puntuali”, sia nelle zone dove si ha evidenza di fibre (per la loro definizione si veda la relazione precedente) sia in quelle non indiziate. Ciò va associato ad un accurato rilievo della lunghezza delle zone di carota corrispondenti ai campioni prelevati.

In questo modo le operazioni sono semplificate:

- in fase di campionamento, in quanto:
  - possono essere associati i campioncini (o incrementi) presi in tratti di roccia massiva, costituendo un unico campione analitico (p.es. 1 m di carota di serpentinite priva di discontinuità, compatta, senza apparenza visiva di fibre, può essere oggetto di 3 prelievi puntuali – all’inizio, in centro, alla fine – che vengono poi mescolati);
  - nei tratti fibrosi (vene, straterelli, discontinuità mineralizzate ecc.) un solo campioncino può essere sufficientemente rappresentativo in quanto:
    - normalmente si tratta di zone di limitata estensione lungo l’asse della carota,
    - si ha spesso una discreta omogeneità di composizione di questi tratti.

<sup>5</sup> E’ necessaria una precisazione di carattere linguistico (vedi P. GY – L’échantillonnage des minerais en vrac - tomo 1 - paragrafo 2.1.5. “Ecartis et erreurs”).

“L’abitudine degli operatori nel campo della campionatura ha consacrato l’uso del vocabolo errore, anche se è sottinteso che è possibile che non ci sia errore, mentre la statistica in campi analoghi preferisce l’uso del vocabolo scarto, che non implica in sé alcuna responsabilità..... Noi ci conformeremo all’uso corrente utilizzando la parola errore, ma depurandola da qualunque implicazione di colpevolezza”.

<sup>6</sup> Si tratta di un estimatore di ripiego del tenore “vero” di tutta la carota, che, lo si ricorda, è la grandezza che in realtà ci interessa.

- in fase di successiva analisi di laboratorio, la quale risulta molto più agevole su campioni omogenei, cioè o ricchi in fibra oppure sterili.

Per ritornare ai tipi di modello prima presentati, la campionatura "selettiva" qui descritta potrebbe essere indicata come una campionatura di un lotto "stratificato" in cui la stratificazione (cioè la suddivisione in tratti distinti che vengono campionati separatamente), è determinata dall'esame visivo, che permette, vista la particolarità del caso di avere "strati" del lotto con tenore presumibilmente abbastanza omogeneo.

In definitiva, la procedura indicata consente il calcolo dell'integrale di  $a(x)$  su di un tratto  $L$  di carote con il metodo dei rettangoli, avendosi rettangoli estremamente disuguali sia nel valore di  $a_i$  sia nel tratto corrispondente  $l_i$  in ascissa. Ciò è esplicitato graficamente in Fig. 11.

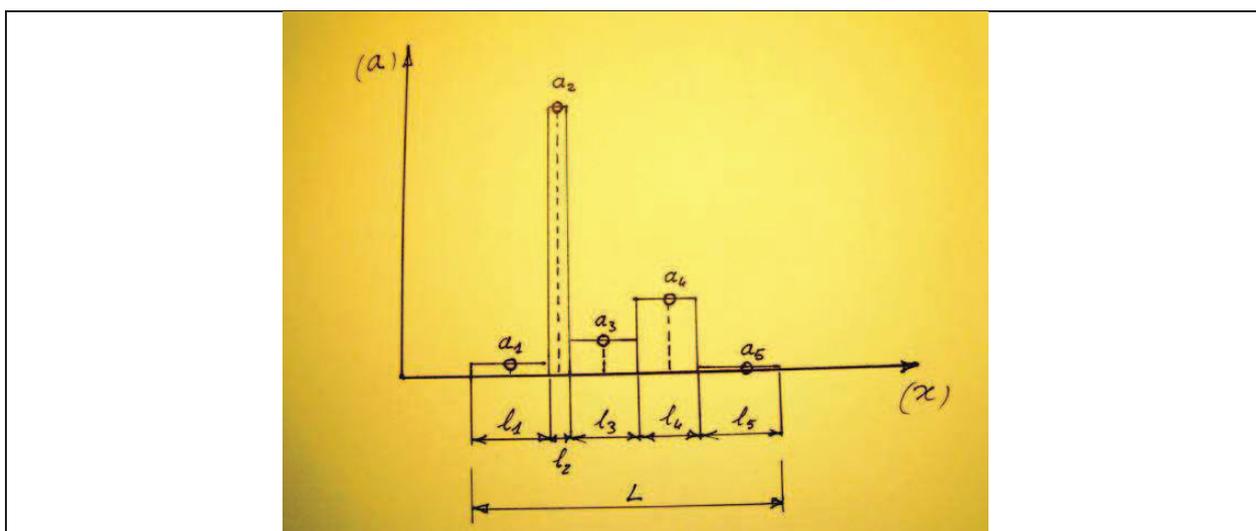


Fig. 11 - Calcolo del valor medio nel tratto di carota  $L$  di cui si conoscono i valori dei singoli campioni  $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$ . I tratti di carota di riferimento dei singoli campioni sono i tratti  $l_i$  indicati sull'asse  $x$ . Il risultato ottenuto ( $\sum a_i \cdot l_i$ ) deve essere diviso per  $L$  per ottenere il valor medio.

Il caso presentato in figura potrebbe corrispondere a:

tratto  $l_1$ , serpentinite con tracce minime di amianto; tratto  $l_2$ , sottile vena fibrosa, ricca in amianto; tratto  $l_3$ , serpentinite con tracce sensibili di amianto; tratto  $l_4$ , zona di discontinuità s.l. con fibre; tratto  $l_5$ , pietra verde sterile

### **3. Analogia tra la campionatura "selettiva" proposta per le carote e la campionatura negli impianti di arricchimento dei minerali metalliferi.**

Negli impianti di arricchimento annessi alle miniere di minerali metalliferi (p.es. solfuri di Pb, Zn, Cu, ecc.) si ha necessità di campionare i flussi di minerale in ingresso e in uscita; l'impianto effettua la separazione tra minerale utile e minerali di ganga, quindi i flussi di materiale sono, per semplificare, l'alimentazione dell'impianto, il concentrato mercantile e lo sterile del trattamento. Le caratteristiche dei flussi sono:

- nell'alimentazione minerale utile e ganga sono ambedue presenti e mescolati;
- nei prodotti in uscita si ha il concentrato costituito in assoluta prevalenza dal minerale utile, mentre lo sterile è costituito dai minerali di ganga con tracce residue di minerale utile.

Dal punto di vista della campionatura, l'operazione è complessa sul flusso di alimentazione, caratterizzato da marcata eterogeneità di costituzione, mentre è relativamente semplice sui flussi in uscita, omogenei come composizione. È molto più facile campionare un materiale omogeneo che uno eterogeneo.

Per questo motivo l'alimentazione dell'impianto, la cui conoscenza è importante perché rappresenta il tout-venant prodotto dalla miniera, viene spesso "ricostruita" sulla base della campionatura dei prodotti in uscita, calcolandola come media ponderata; è ovviamente necessario conoscere il bilancio di massa (i pesi o le rese % dei prodotti).

Trattasi di una campionatura "stratificata", che viene considerata da P. GY <sup>(7)</sup> come un'operazione corretta e addirittura consigliabile. Scrive GY "Al limite, se si arriva a separare le specie mineralogiche in frazioni omogenee e di massa nota, la campionatura stratificata di un lotto diventerebbe un'operazione esatta". La complicazione deriva dalla necessità di conoscere la massa di ogni "strato".

Negli impianti di arricchimento dei minerali la "stratificazione" consiste nella divisione del flusso di alimentazione che realizzata dall'impianto di separazione, il quale divide il minerale utile dalla ganga sterile. Si campionano così dei prodotti omogenei ad alto tenore quando si opera sui concentrati, a basso tenore invece quando si tratta di sterili; quindi le operazioni sono più semplici e precise. La ricostruzione del tenore di partenza (per questa operazione è necessario conoscere le masse, quindi le rese in massa dei prodotti in uscita) consente poi di ricavare con il calcolo il tenore medio dell'alimentazione in ingresso nell'impianto.

Il modello di campionatura "selettiva" proposto per le carote ha molte analogie teoriche con le campionature eseguite negli impianti di arricchimento dei minerali.

La suddivisione in "strati" viene realizzata:

- ✓ negli impianti di trattamento da complesse operazioni di impiantistiche che separano il minerale utile dalla ganga;
- ✓ nelle carote con esame visivo, che individua i tratti "indiziati" per fibre da quelli presumibilmente sterili (per la loro definizione si veda il documento "Prelievo di campioni dalle carote provenienti dai sondaggi" citato in premessa).

La campionatura degli "strati" differenti viene realizzata in modo indipendente tra i vari "strati":

- negli impianti di arricchimento si hanno campionatori automatici sui flussi, normalmente operanti su materiali in fase di trasporto continuo; i criteri di definizione delle metodiche sono definiti in base alla tipologia dei materiali;
- nelle carote si opera con prelievi puntuali eseguiti manualmente

La determinazione delle masse degli "strati" viene realizzata:

- negli impianti di arricchimento con apposite strumentazioni: bilance su nastro, flussimetri sulle torbide, ecc.
- sulle carote grazie all'esame visivo, che individua i tratti diversi, da campionare separatamente, e rileva metricamente la loro lunghezza

Infine, il calcolo del tenore medio (tenore dell'alimentazione negli impianti, tenore medio in tratti definiti di carota) viene realizzato in modo del tutto analogo:

- media ponderata secondo le masse per gli impianti di arricchimento;
- media ponderata secondo le lunghezze (che, sono proporzionali alle masse quando il diametro delle carote è costante; altrimenti bisogna valutare da caso a caso: ad es. i tratti disgregati hanno minor massa volumica di quelli in roccia compatta) nel caso delle carote.

## **PRELIEVO DI CAMPIONI DALLE CAROTE: DETTAGLI OPERATIVI**

### **4. Dettagli operativi sui punti di campionatura**

Le attività di prelievo vanno condotte in modo tale da lasciare traccia, sui testimoni di sondaggio, dei punti a ridosso dei quali sono stati prelevati i campioncini (o incrementi) di roccia.

Ai fini di documentazione, è utile che i dettagli delle operazioni di prelievo vengano riportati in apposito verbale riassuntivo. Un esempio di scheda di prelievo è riportato in allegato al presente documento.

Le attività di campionamento delle progressive dei sondaggi indiziate per la presenza di amianto comportano il prelievo da ogni cassetta contenente i testimoni di una serie di campioncini (incrementi) di roccia. Tale attività viene realizzata mediante l'asportazione ad umido (cioè su roccia preventivamente bagnata), o manualmente, se possibile, oppure mediante blande azioni meccaniche.

In definitiva per ogni cassetta di sondaggio interessante da rocce afferenti alle "pietre verdi" vengono prelevati uno o più campioni (costituiti da uno o più incrementi puntuali localizzati in punti specifici o da

---

<sup>7</sup> P. GY - "L'échantillonnage des minerais en vrac", tomo 1, cap. 13, paragrafo 13.2 "Justification de la stratification"

una serie di campioni puntuali diffusi lungo tratti di testimoni di sondaggio) della massa approssimativa massima di alcuni etti ciascuno.

In sintesi ciò significa:

- nelle litologie appartenenti alle “pietre verdi” ed in cui all’atto dell’apertura della cassetta mediante esame visivo delle carote abbondantemente bagnate con acqua si evidenzia la presenza di fibre presenti in vene, letti, straterelli, filoncelli, riempimento di discontinuità, oppure fibre sparse all’interno di zone discontinuità, viene prelevata una serie di campioni puntuali nelle zone a visibile presenza di fibra (a costituire un primo campione) e una seconda serie di campioni puntuali (a costituire un altro campione) nelle zone a non visibile presenza di fibra;

nelle litologie appartenenti alle “pietre verdi” ed in cui l’esame visivo delle carote abbondantemente bagnate con acqua non evidenzia la presenza di fibre vengono prelevati uno o più campioni (costituiti da più campioni puntuali diffusi) in funzione dell’omogeneità delle carote rispetto ai litotipi presenti.

**Nel dettaglio, le operazioni dovranno seguire la seguente procedura** (come definita nel Tavolo Tecnico ristretto del G.d.L. Amianto – vedi verbale del 09/09/2014):

- per ogni sondaggio vengono considerati i singoli tratti di carota di lunghezza pari a 1 m (ogni cassetta contiene 5 tratti);
- nel tratto di 1 m vengono individuati intervalli omogenei dal punto di vista geologico;
- da ciascun intervallo omogeneo viene prelevato un campione da sottoporre ad analisi, eventualmente formato da 2 o più incrementi (il numero di incrementi sarà funzione della complessità litologico-strutturale del tratto di carota definito geologicamente omogeneo, si veda in dettaglio il paragrafo seguente);
- con il metro viene misurato ogni intervallo di roccia omogenea, determinandone la lunghezza assiale.

**A titolo di esemplificazione vengono presentate delle casistiche geologiche** che si possono presentare nelle carote durante le operazioni di campionatura. Si possono formulare le seguenti indicazioni (si ribadisce che sono relative al campionamento di carote con rocce appartenenti alle “pietre verdi” così come definite nel Protocollo amianto)

**a) tratto di roccia massiva o debolmente fratturata:**

- si preleva uno o più incrementi a formare un campione di parti già frantumate o, mediante scalpellamento, da tratti massivi;

**b) tratto di roccia con zone discontinuità s.l.<sup>8</sup> ma prive di riempimento:**

- si prelevano due campioni uno costituito da incrementi tratti da parti abbastanza massive e uno campione costituito da incrementi direttamente prelevati dalle zone di discontinuità s.l.;

**c) tratto di roccia con zone discontinuità s.l. con riempimenti:**

- si prelevano tre campioni uno costituito da incrementi tratti da parti abbastanza massive, uno campione costituito da incrementi direttamente prelevati dalle zone di discontinuità s.l. e uno campione costituito da incrementi direttamente prelevati nei riempimenti e a contatto con le discontinuità s.l.;

**d) tratto di roccia con evidente presenza di vene/mineralizzazioni con sfrangiature tipiche di silicati fibrosi:**

- si prelevano due campioni distinti, uno costituito da incrementi prelevati nella zona dove è visibile la presenza di fibre, l’altro costituito da incrementi tratti da parti dello stesso litotipo in cui è stata riscontrata la presenza di fibre ma dove non è visibile la presenza di fibre.

---

<sup>8</sup> Si definiscono zone di discontinuità s.l. nella accezione più ampia del termine porzioni di roccia tettonicamente deformate quali: zone con alta densità di fratturazione o intensamente foliate, con faglie e rocce di faglia, zone di taglio fragile-duttile, vene/mineralizzazioni ecc.”).

Le operazioni di campionamento devono essere associate al rilievo delle lunghezze dei tratti di carota corrispondenti ai diversi campioni. Ai fini della determinazione del tenore medio si ritiene sufficiente la determinazione della lunghezza assiale (che rappresenta il "peso" con cui viene effettuata la media ponderata dei tenori); la determinazione, in alternativa, della massa di carota corrispondente ai diversi campioni si presenta invece molto laboriosa come effettuazione pratica, senza aggiungere con ciò ulteriore precisione al risultato finale desiderato.

Si raccomanda la documentazione fotografica e descrittiva, nella quale risultino le indicazioni relative ai campionamenti (litotipi, caratteristiche geologico-strutturali, sigle dei punti di campionamento, lunghezze dei tratti corrispondenti ai campioni ecc.). Per una migliore visione della litologia le carote devono essere fotografate bagnate.

Nelle figure seguenti viene illustrata, a titolo di esempio, l'esecuzione di alcune delle modalità descritte, relative a campionature di carote eseguite in passato.



*Cassetta di sondaggio con indicazione dei punti di campionamento*



*Bagnatura delle carote mediante spruzzi d'acqua*



*Prelievo manuale di campione*



*Prelievo di campione mediante scalpello*

Infine, a titolo di controllo della metodica proposta, si propone di effettuare la seguente verifica sperimentale sul tratto 160 -161 m della cassetta BOX 33, a ridosso del cavo, relativa al sondaggio L2-A-S4bis.

Le 3 fotografie seguenti illustrano visivamente il tratto di carota sopra indicato (come si nota dal riferimento metrico, si ha un po' di sovrapposizione tra i fotogrammi).



Carota 160 – 161 :  
tratto 0 – 53 cm

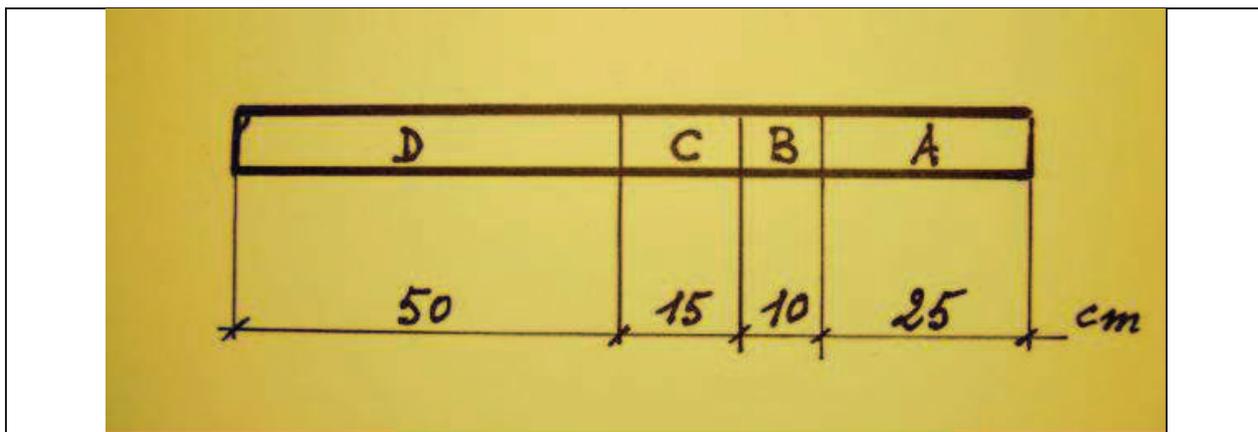


Carota 160 – 161:  
tratto 43 – 86 cm



Carota 160 – 161:  
tratto 68 – 100 cm

Il metro di carota 160 – 161 è rappresentato schematicamente nel disegno seguente:



Schema della carota 160 - 161: suddivisione ideale della carota in 4 tratti omogenei dal punto di vista litologico

Si prelevano i seguenti campioni:

- D: diaspro con vene di calcite compatta di colore rossatro → 1 campione (mediante prelievo di 2 incrementi)
- A e C: metabasite con vene di calcite compatta verde → 1 campione (mediante prelievo di 2 incrementi: 1 in A e 1 in C)
- B: roccia di faglia di metabasite disgregata verde → 1 campione (prelievo di 1 incremento)

Al fine di verificare l'attendibilità dei dati ottenuti mediante il campionamento dei tratti di carota sopra descritti, si propone di confrontare i risultati analitici con quelli derivati mediante analisi complessiva dell'intero metro di carota macinato e considerato come unico lotto di campionamento.

### Allegato 1 - Esempio di scheda di campionamento

Si rappresentano le informazioni minime da riportare nella scheda di campionamento.  
 Allegare alla scheda fotografie complessive del tratto descritto, con eventuali foto di dettaglio.

Specifiche dei campionamenti effettuati in data _____, presso _____ riguardanti prelievi di campioni di testimoni di sondaggio dalle casse afferenti a sondaggi attraversanti rocce classificabili come pietre verdi indiziate per amianto.						
Sondaggio cod. . _____						
Da _____ m a _____ m						
<b>Legenda</b>						
a) tratto di roccia massiva o debolmente fratturata						
b) tratto di roccia con zone di discontinuità s.l. ma prive di riempimento						
c) tratto di roccia con zone di discontinuità s.l. con riempimenti						
d) tratto di roccia con evidente presenza di vene/mineralizzazioni con sfrangiature tipiche di silicati fibrosi						
N° cassa	Progressive [m]	Sigla campione*	Tipo di campione	Tipo di roccia		Osservazioni
				Stratigrafia giornale di sonda	Stratigrafie dei sondaggi (tavola .....)	
16	57,80 – 62,30	.....	3 campioni puntuali	(D)	Metabasiti – Scisti cloritici	Le carote sono costituite da rocce riconoscibili come afferenti le tipologie descritte nel giornale di sonda e nella stratigrafia. I 3 campioni sono costituiti da clasti prelevati da tratti fratturati.