

## ALLEGATO 4

RELAZIONE DEL PROF. ING. CARLO CLERICO

## **ALLEGATO 4**

*(aggiornamento al 9 febbraio 2018 della relazione con il medesimo titolo redatta in data 20/05/2013)*

### **PROCEDURE DI CAMPIONAMENTO DEL FRONTE NELLO SCAVO DI GALLERIE CON L'EVENTUALE PRESENZA DI ROCCE POTENZIALMENTE CONTENENTI AMIANTO**

**(relazione redatta dal prof. Carlo Clerici)**

#### **1. PREMESSA**

In questo documento si espongono alcune procedure per la campionatura di un fronte di scavo in galleria in cui siano presenti rocce indiziate di contenere amianto, al fine di valutarne quantitativamente il tenore.

La campionatura ha uno scopo di prevenzione; quando il fronte di scavo manifesta la presenza di matrici rocciose potenzialmente amiantifere, è necessario procedere alla campionatura al fine di confermare (od escludere) la presenza di minerali di amianto, quantificarne il tenore in modo da poter gestire in modo corretto il problema nei riguardi sia delle operazioni di scavo sia della gestione dei materiali da scavo.

Il documento è incentrato sulle operazioni di campionatura in quanto si ritiene che il solo “esame visivo” del fronte, peraltro indispensabile, non sia sufficiente a dirimere la questione. A parte le difficoltà di un simile esame quando venga effettuato in un ambiente sotterraneo, su fronti che possono presentarsi in condizioni inadatte ad un accurato esame visivo (presenza di polveri, scarsa luminosità, ecc.), le particolarità della distribuzione dell'amianto nelle rocce rendono indispensabili le indagini strumentali di laboratorio, da effettuarsi su campioni “rappresentativi” e con procedure corrette in quanto non tutti i metodi analitici utilizzabili in generale per l'amianto sono adatti allo scopo specifico, cioè la quantificazione del contenuto di amianto in matrici rocciose.

#### **2. ESAME DEL FRONTE DI ABBATTIMENTO**

Preliminare ad ogni operazione di campionatura mirata all'amianto è il riconoscimento delle rocce in cui viene effettuato l'avanzamento; questa operazione è necessariamente riservata al geologo.

Per questo scopo si può fare in prima approssimazione riferimento all'elenco riportato nel D.M. 14/05/96 – All. 4, che qui si riscrive per comodità di lettura:

“serpentiniti” s.l.; prasiniti; eclogiti; anfiboliti; scisti actinolitici; scisti cloritici, talcosi e serpentinosi; oficalciti.

Queste rocce vengono indicate genericamente con il nome di “Pietre verdi”.

Nell'elenco del D.M. non sono esplicitamente citate le zone “di discontinuità<sup>1</sup>” presenti nelle rocce citate, cioè zone dove si sono verificate nel tempo geologico intense azioni meccaniche con eventuale aggiunta di ulteriore metamorfismo. Ciò ha prodotto la frantumazione dei cristalli originari della roccia producendo una struttura a finissimi cristalli inglobanti relitti della roccia originaria. Tali zone sono meccanicamente abbastanza compatte, in quanto sottoposte durante al formazione a pressioni anche molto elevate, ma diventano incoerenti quando affiorano dal massiccio originario e giungono in superficie. In tali zone a volte si trovano le maggiori

---

<sup>1</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.

concentrazioni di amianto, pertanto queste zone vanno considerate con particolare attenzione. Si riporta a titolo di esempio in Fig. 1 la fotografia di una scarpata con presenza di serpentinite.



Fig. 1 - scarpata di serpentina, con materiale disgregato (in cui è presente tremolite d'amianto) e frammenti compatti di serpentinite.

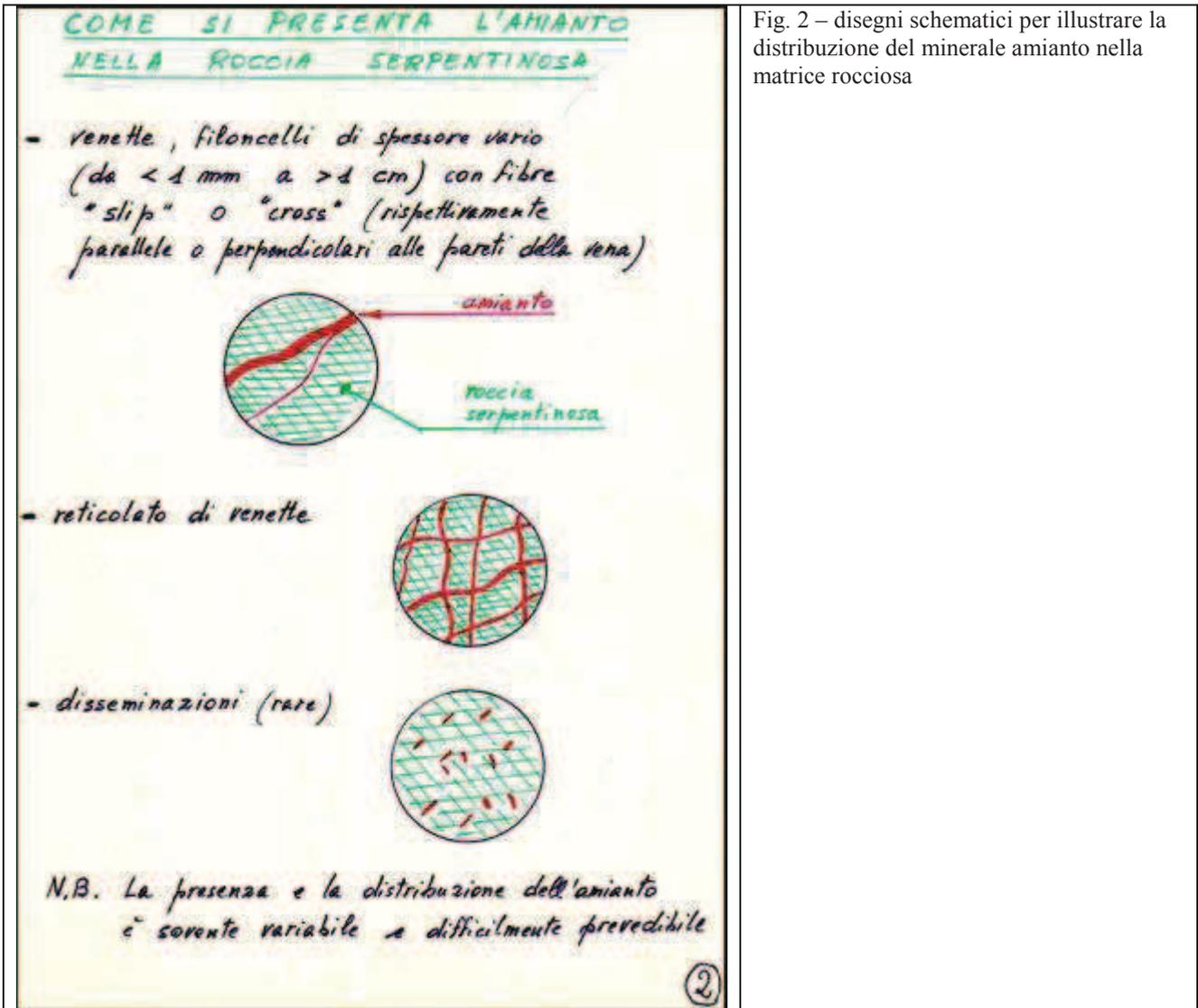


Fig. 2 – disegni schematici per illustrare la distribuzione del minerale amianto nella matrice rocciosa

### 3. COME SI PRESENTA L'AMIANTO NELLA ROCCIA

Riguardo alla distribuzione dell'amianto nella matrice rocciosa, si ha normalmente una distribuzione molto eterogenea. Il minerale si trova di solito come riempimento di fratture macro- o micro-; in dettaglio si può avere (Fig. 2 - 3 4):

- ✓ vene di svariato spessore, in cui le fibre sono disposte parallelamente alle salbende della vena ("slip") oppure ortogonalmente ("cross");
- ✓ reticolati di vene ("stockwork"), cioè numerose piccole vene di minerale distribuite irregolarmente nella matrice rocciosa;
- ✓ disseminazioni uniformi di fibre isolate nella matrice (situazione molto rara).

Quando si opera una comminuzione della roccia (operazione indispensabile per effettuare la campionatura) si ha però una marcata modificazione della distribuzione del minerale, in quanto le vene di amianto rappresentano le superfici di minor resistenza. La roccia si rompe in corrispondenza delle vene liberando così l'amianto dalla matrice. In questo caso l'amianto va nelle classi granulometriche fini, mentre la parte rocciosa rimane in frammenti più grossi. Si possono pertanto ottenere frammenti di roccia che si presentano "sterili" (privi di amianto). Va però ricordato che i frammenti di roccia, anche di grosse dimensioni, possono presentare spalmature superficiali di fibre, cioè non essere perfettamente "puliti" (Fig. 5).

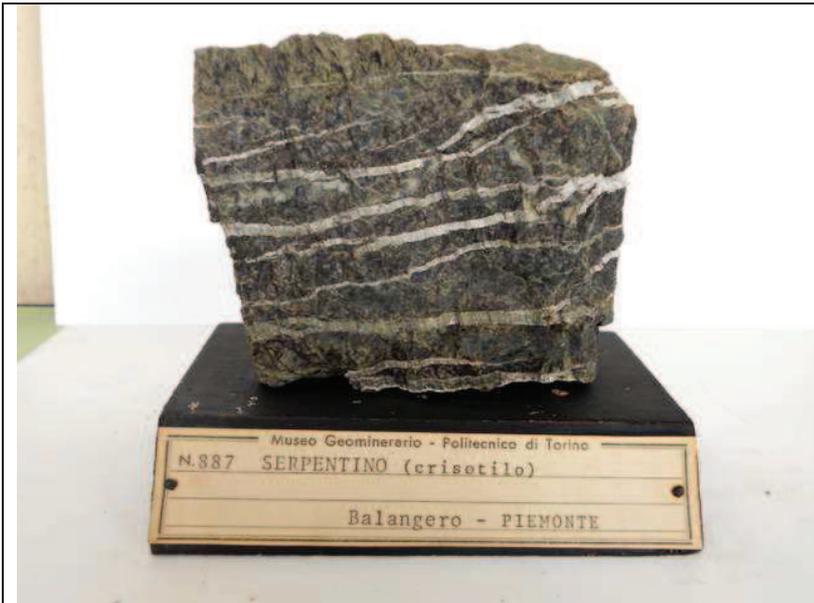
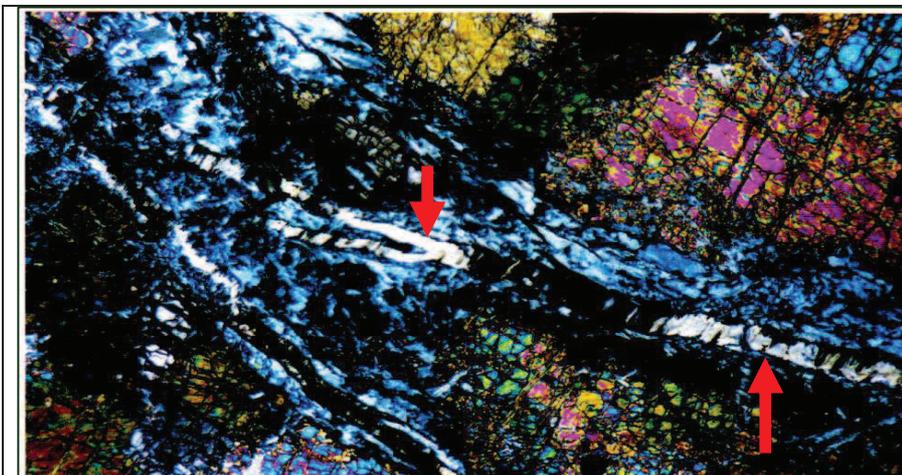
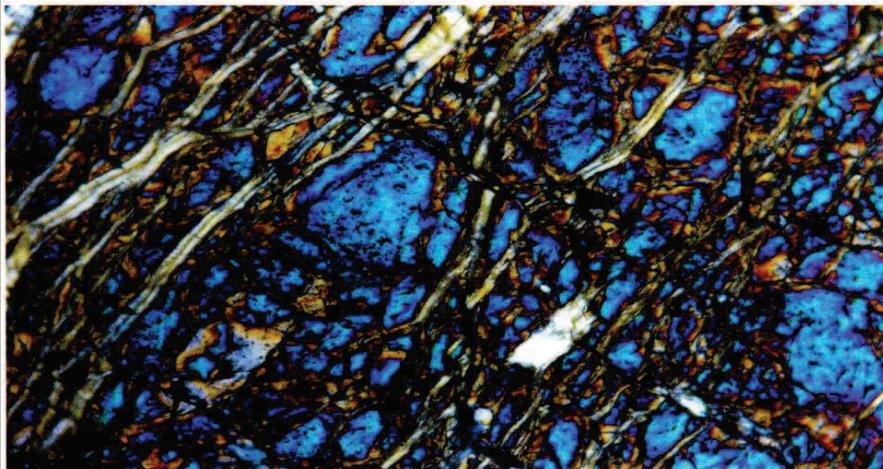


Fig. 3 – reticolato di vene di amianto nella matrice serpentinitica; le vene, di colore grigio chiaro, in questo caso sono sub-parallele



Peridotite parzialmente serpentinnizzata, con clasti di olivina primaria (colori vivi) avvolti da un feltro di antigorite (con colore grigio-bluastro). E' presente chrisotilo sia lungo microfratture nell'olivina, sia lungo vene nella matrice antigoritica. Analizzatore inserito; base della foto: 5 mm.



Dettaglio di una peridotite parzialmente serpentinnizzata. Clasto di olivina (colori vivi) tagliato da fratture finissime lungo le quali si è sviluppato chrisotilo (bianco-giallastro). Analizzatore inserito; base della foto: 1.3 mm.

Fig. 4 – microvene di chrisotilo viste in sezione sottile. Nella foto superiore la vena indicata da frecce rosse ha una larghezza massima di 0,15 mm. Nella foto inferiore le vene di chrisotilo hanno larghezza 0,02-0,04 mm.

*Fotografie al microscopio ottico in luce polarizzata (MOLP), con polarizzatori incrociati.*

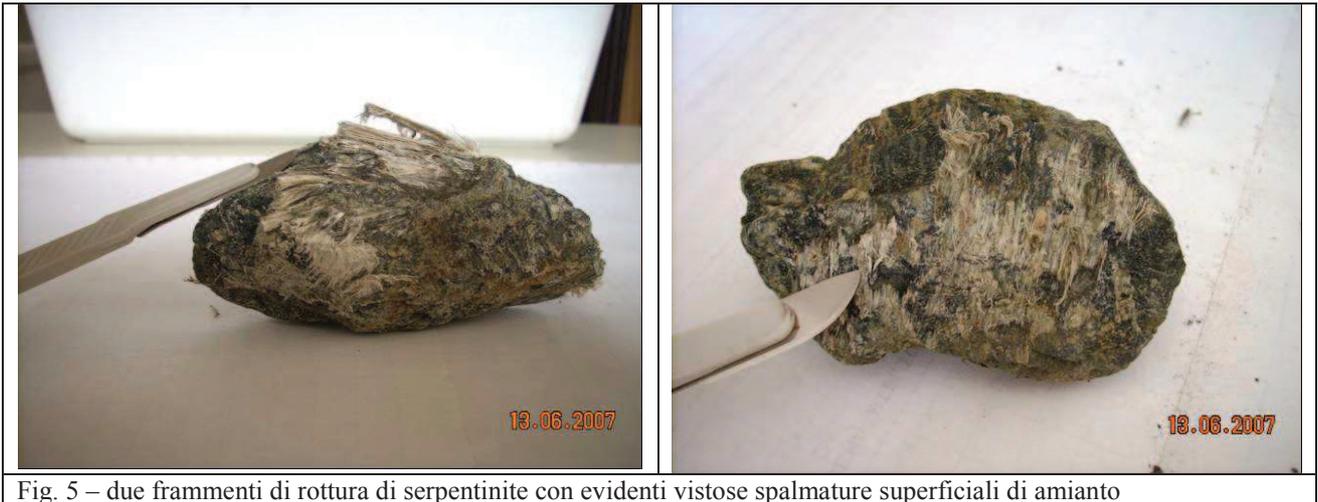


Fig. 5 – due frammenti di rottura di serpentinite con evidenti vistose spalmature superficiali di amianto

Nel caso di distribuzioni tipo “stockwork” va osservato che ad un esame macroscopico la distribuzione dell’amianto può apparire uniforme (cioè la roccia appare omogenea dal punto di vista del tenore in minerale, in quanto ogni volume elementare ideale di roccia ne contiene la medesima quantità). Ciò non vale più quando i volumi diventano piccoli (cioè, in pratica, quando si effettuano riduzioni granulometriche del materiale p.es. con una triturazione), perché anche in questo caso si ha la comminuzione lungo le vene, che sono sempre le superfici di minor resistenza meccanica. Un esempio di granulato di triturazione fino a dimensioni sub-centimetriche si ha in Fig. 6.



Fig. 6 – granulato derivante dalla macinazione di un campione di serpentinite asbestifera. Le frecce indicano alcuni ciuffi di crisotilo perfettamente “liberi” presenti nel granulato.

Si può anche notare la marcata eterogeneità di distribuzione spaziale dell’amianto (“segregazione”), che non è distribuito in modo uniforme nelle varie zone del piccolo cumulo.

Da quanto esposto si conclude che la distribuzione delle fibre di amianto in una roccia è molto varia. Anche il tenore presenta le medesime caratteristiche di variabilità; ad es. se si campiona una vena mineralizzata il tenore può essere molto alto, ma scende drasticamente se il campione deriva da un volume più ampio di roccia in cui si abbia una rara presenza di vene (le quali, prese singolarmente, darebbero valori diversi e molto maggiori).

Su di un fronte di scavo è necessario definire con precisione le rocce indiziate per amianto da quelle che invece non lo sono, in modo da includere nelle indagini anche le prime.

Ne deriva come conclusione di questa illustrazione preliminare che l’esame visivo del fronte di scavo (effettuato da un geologo) è assolutamente indispensabile per definire le matrici rocciose indiziate, ma nel contempo del tutto insufficiente per determinare il tenore (anche solo a livello semi-quantitativo, ad es. > oppure < di una soglia prefissata). Per quest’ultimo obiettivo è indispensabile la campionatura seguita da esami di laboratorio sui campioni prelevati.

#### 4. LA CAMPIONATURA DEL FRONTE

I metodi possibili sono, tra gli altri:

- a) campionatura del fronte prima dell'avanzamento (scavo in tradizionale con martellone o con esplosivo): campionatura con abbattitore meccanico
- b) campionatura del fronte durante l'avanzamento (scavo in meccanizzato con TBM/EPB): si campiona il marino dopo l'abbattimento della roccia.

Riguardo alla situazione del fronte, si hanno due casi differenti:

1. tutto il fronte è in rocce indiziate per amianto
2. solo una parte del fronte presenta rocce indiziate per amianto

#### 4.1. Campionatura del fronte prima dell'avanzamento (scavo in tradizionale con martellone o con esplosivo)

##### *4.1.1. Esame di un modello teorico*

I metodi di campionatura del fronte prima di effettuare l'avanzamento sono assimilabili ad una campionatura per punti (in realtà per piccoli volumi di materiale) di un lotto di materiale in posto che presenta una forma prismatica (o cilindrica nel caso di galleria circolare), con base corrispondente alla sezione della galleria (o parte di essa, nel caso indicato sopra al punto d) e altezza corrispondente alla profondità cui si vuole arrivare con la campionatura.

Nel caso in cui sia presente amianto, il fronte può presentare una marcata **eterogeneità** sia **di costituzione** (si hanno 2 costituenti: fibre d'amianto + roccia priva di fibre) sia **di distribuzione spaziale** (l'amianto è in vene ricche di fibre circondate da zone di roccia "sterile"). Questa eterogeneità non è facilmente valutabile con l'esame visivo del fronte, salvo il caso in cui vi sia presenza di macroscopiche vene di fibre o di evidenti zone di discontinuità. Inoltre non è ipotizzabile l'andamento delle fibre all'interno del massiccio, oltre la superficie piana rappresentata dal fronte (che è la base del prisma di materiale oggetto del campionamento), a causa della nota "capricciosità" della distribuzione dell'amianto.

Per questo motivo è indispensabile che i punti di prelievo siano abbastanza fitti e siano scelti secondo una griglia in modo sistematico e indipendente dall'osservazione del fronte.

Questo tipo di campionatura comporta in linea di principio alcuni errori <sup>(2)</sup> teorici.

Per una semplice spiegazione si veda l'esempio seguente.

Si ipotizzi di campionare il fronte di avanzamento di una galleria di diametro 6 m con 13 campioni presi al centro di maglie di dimensioni 2 x 1 m circa (Fig. 7).

Supponiamo anche che questi 13 campioni stiano lungo un "itinerario di campionatura" sul fronte indicato in Fig. 7 con una linea continua che va dal punto 1 al punto 13. Questo "itinerario di campionatura", nell'ipotesi che il fronte venga campionata lungo questa linea in modo continuo, punto dopo punto, con un numero molto grande di prelievi, è maggiormente rappresentativo del

---

<sup>(2)</sup> La dicitura "errori di campionatura richiede una precisazione di carattere linguistico (vedi i volumi di Pierre GY "L'échantillonnage des minerais en vrac" Tome 1 e Tome 2, Revue de l'Industrie Minière, numeri speciali del 15/01/67 e 15/09/71 - paragrafo 2.1.5. "Ecart 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".*

tenore “vero” del fronte, proprio grazie al numero di campioni molto maggiore dei 13 della nostra ipotesi.

Tralasciando lo scostamento tra il tenore “vero” del fronte e il tenore derivante dalle campionature effettuate in modo continuo lungo l’ “itinerario” prima descritto, si vuole analizzare lo scostamento tra il valore del tenore dell’ “itinerario” e il tenore derivante dai 13 punti di campionatura previsti.

In Fig. 8 viene indicata un ipotetico andamento della funzione “tenore” (nel nostro caso: tenore in amianto) lungo l’ “itinerario” (qui rappresentato come rettilineo sull’asse delle ascisse). Questa funzione ha un andamento sconosciuto (se lo si conoscesse non servirebbe la campionatura!!); l’obiettivo della campionatura mediante i 13 punti è proprio la conoscenza del valor medio della funzione.

In sintesi, la grandezza che interessa determinare è conosciuta attraverso l’analisi di un campione medio che viene costituito mediante campioni singoli prelevati in più punti. Ciò equivale dal punto di vista della matematica, ad un’operazione di integrazione per punti. per questo motivo questo errore teorico viene indicato ***errore di integrazione***.

In conclusione l’errore di campionatura equivale a quello che si fa integrando una funzione per punti (*integrale di una funzione = calcolo del valor medio della funzione*); qui l’operazione di calcolo della media consiste nella mescolanza fisica (nel recipiente dove vengono raccolti i 13 campioni) dei materiali derivanti dai singoli prelievi puntuali. L’errore è la differenza tra il valor medio “vero” della funzione (variazione del tenore lungo la linea “itinerario”; la funzione “tenore” peraltro è sconosciuta) ed il valor medio dei campioni singoli (in figura questi valori sono rappresentati dai punti di intersezione della funzione con le ascisse che partono da 1 fino a 13, ma in realtà non sono conosciuti in quanto i campioni singoli vengono tutti mescolati e si conosce solo il valor medio).

Dal punto di vista teorico, l’errore del modello di campionatura descritto non influisce in modo **sistematico** sul risultato, esattamente come avviene in matematica nell’integrazione per punti.

È un **errore teorico** puramente **aleatorio**, il che significa che, ripetendo l’operazione più volte con posizione ogni volta diversa dei punti di campionatura, si hanno valori sia superiori che inferiori al valore “vero” (peraltro non conosciuto). Facendo la media di più operazioni ci si avvicina al valore “vero”, riducendo l’aleatorietà.

Tuttavia, su di un materiale dotato di elevata eterogeneità, è necessario avere punti di campionatura abbastanza fitti per ridurre l’aleatorietà. Infatti nella pratica si effettua l’operazione di campionatura una volta sola, pertanto l’aleatorietà si manifesta nella differenza tra il valore medio dei punti di campionatura e il valore “vero” che si vuole conoscere.

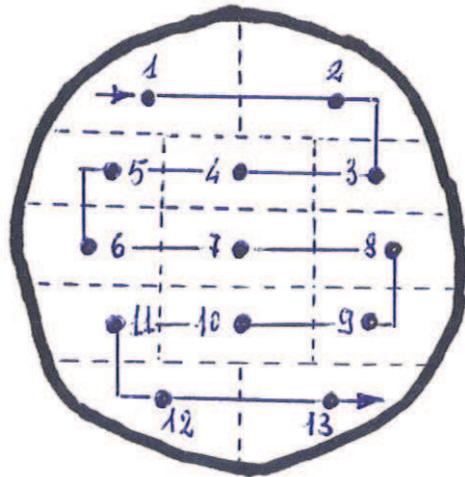


Fig. 7 – fronte di avanzamento in galleria di 6 m di diametro con griglia di campionatura di 2 x 1 m circa. I punti di campionatura, situati al centro della griglia, sono numerati da 1 a 13.

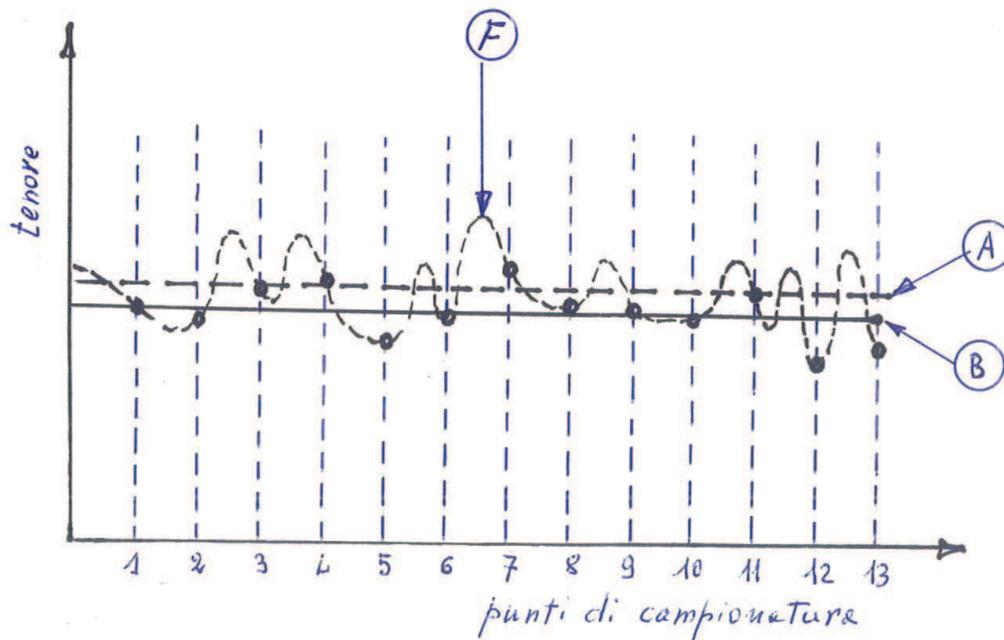


Fig. 8 – schematizzazione matematica dell'operazione di campionatura del fronte, effettuata con 13 punti di campionamento. Il grafico riporta una ipotetica variazione del tenore (F) lungo un "itinerario" di campionatura che passa per i 13 punti effettivi. La funzione F (sconosciuta) viene campionata per punti (ogni punto è il campione singolo prelevato) ma in realtà il valore del campione singolo non è conosciuto in quanto viene mescolato a tutti gli altri campioni; si conosce quindi solo il valor medio dei 13 punti.

A : valor medio della funzione F - B : valor medio dei 13 punti di campionatura

L'errore è indicato dallo scostamento tra A e B

#### 4.1.2. Esecuzione pratica dell'operazione <sup>(3)</sup>

Il modello teorico prima descritto definisce le condizioni per il prelievo di un campione “ideale”, ed è soggetto all’ “**errore teorico**” indicato.

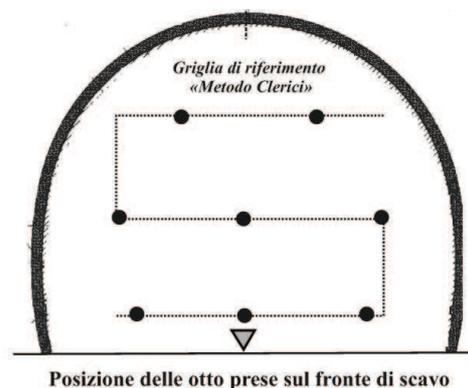
Quando si effettua il prelievo di un campione “reale” si hanno scostamenti dal modello teorico; questi scostamenti vengono chiamati “**errori operativi**”. Da questo tipo di errori derivano appunto i più importanti **errori sistematici** derivanti dalle operazioni di campionatura. Si riportano in appendice 1 ulteriori considerazioni teoriche sulla campionatura dei minerali in frammenti.

Le condizioni principali da rispettare per ridurre gli errori operativi sono:

- ✓ tutti i punti dello spazio occupati dal materiale da campionare devono avere uguali probabilità di essere toccati dall’organo che effettua il prelievo;
- ✓ l’organo che effettua il prelievo deve assicurare uguali probabilità a tutte le frazioni presenti nel materiale nel punto prescelto di campionatura (grani grossi e fini, pesanti e leggeri, zone compatte e friabili, ecc.) di essere prelevati nel campione;
- ✓ è necessario preservare l’integrità del campione, che non deve perdere né acquisire materia dopo il campionamento.

Le possibili procedure di campionatura vengono descritte nel seguito con particolare riguardo a queste indicazioni.

Si precisa che in galleria, vista la reale sezione di scavo (che non è mai una circonferenza perfetta) la scelta dei punti viene fatta come nello schema seguente, prelevando il campione da 8 punti scelti con criterio ragionato:



#### Campionatura del fronte mediante un sistema di abbattimento meccanico (martellone) in punti prefissati

Tale modalità di campionamento è utilizzata sia nel caso di scavo con martellone sia nel caso di scavo con esplosivo. L’operazione consiste nel prelevare i campioni in punti prefissati, secondo il criterio della griglia prima detto nella descrizione del modello teorico. La campionatura del fronte può essere realizzata, prima dell’avanzamento e secondo le frequenze definite dal Protocollo Gestione Amianto in funzione delle diverse litologie oggetto di scavo e delle modalità di scavo adottate (martellone o esplosivo), utilizzando un apposito demolitore (attrezzato di sistema di raccolta del campione) che raggiunga i vari punti della griglia di campionamento prefissata. La demolizione della roccia deve avvenire avendo cura di prelevare in ognuno dei punti la stessa quantità di materiale. Viene così raccolto un campione primario costituito da 8 incrementi scelti sul fronte di avanzamento con una griglia come quella riportata al par.4.1.2: I singoli incrementi vengono poi mescolati nel recipiente destinato a contenere il campione primario. Il campione

<sup>(3)</sup> in tutte le operazioni indicate è sottinteso che trattandosi di amianto è necessario rispettare tutte le prescrizioni nei riguardi della sicurezza degli operatori e della salvaguardia dell’ambiente di cantiere

primario è sottoposto alle operazioni descritte in appendice 3 al fine di ottenere il campione da portare in laboratorio.

#### *4.1.3. Campionatura quando solo una parte del fronte presenta rocce indiziate per amianto*

In questo caso particolare le operazioni di campionatura prima descritte devono essere eseguite secondo un criterio ragionato che dovrà prevedere il campionamento delle diverse litologie presenti, avendo cura di campionare sempre anche le porzioni di fronte con litologie in pietre verdi.

L'abbattimento integrale su tutta la sezione della galleria provoca una "diluizione" del tenore di amianto, che va valutata caso per caso. Per tale motivo si utilizzerà il metodo della griglia e dei punti sul fronte di scavo, con scelta degli stessi in modo ragionato in modo da non escludere eventuali porzioni di rocce indiziate di contenere amianto. Il numero dei punti di campionamento per ciascuna litologia dovrà essere definita tenendo in considerazione la loro estensione sul fronte di scavo. Dall'esperienza ad oggi maturata tale modalità di campionamento consente di individuare la presenza di amianto nell'analisi del campione qualora l'amianto sia effettivamente presente al fronte di scavo, anche nel caso in cui le pietre verdi siano presenti in piccole porzioni o nel caso in cui il tenore di amianto si presenta in basse concentrazioni. Si precisa che il geologo, in condizioni litologiche particolari, ha facoltà di eseguire degli approfondimenti comprensivi di ulteriori campionamenti puntuali delle pietre verdi affioranti al fronte. Si precisa che il contenuto di amianto determinato in tali campioni puntuali potrà essere utilizzato per la definizione del livello di pericolo, secondo le modalità definite al paragrafo 8 del protocollo amianto, ma non sarà rappresentativo della qualità ambientale del materiale da scavo ai fini della sua gestione ai sensi del DM 161/2012 e ss.mm.ii.

#### 4.2. Campionatura del fronte durante l'avanzamento (scavo in meccanizzato con TBM/EPB): abbattimento della roccia e successiva campionatura del marino

Tale modalità di campionamento è utilizzata nel caso di scavo in meccanizzato con TBM/EPB. Per l'illustrazione di questo punto si rimanda all'APPENDICE n. 2.

## **5. OPERAZIONI SUCCESSIVE ALLA PRESA DEL CAMPIONE PRIMARIO**

### 5.1. Campionatura secondaria

Con la dicitura "campionatura secondaria" si indicano le operazioni che trasformano il "campione primario", cioè il campione che deriva direttamente dal lotto che si vuole caratterizzare (in questo caso: dalla "campionatura del fronte prima dell'avanzamento" oppure dalla "campionatura del materiale abbattuto" - vedi capitolo 4) in un "campione di laboratorio", cioè un campione che può essere inviato direttamente al laboratorio che effettua le analisi.

Per una illustrazione dettagliata di queste operazioni si rimanda all'APPENDICE n. 3.

## 5.2. Operazioni di laboratorio

La campionatura è solo il primo passo verso l'obiettivo, cioè la determinazione del tenore in amianto del lotto in esame (la porzione di galleria che sarà interessata dall'avanzamento).

Il laboratorio cui vanno affidate le analisi deve essere dotato di adeguate attrezzature per la preparazione dei campioni e di adeguati strumenti analitici.

Trattandosi di amianto in matrici rocciose in cui sono presenti le fasi non fibrose dei minerali dell'amianto, è necessario basare l'analisi sui metodi microscopici:

- ✓ microscopia ottica in luce polarizzata (MOLP) e in contrasto di fase (MOCF-DC);
- ✓ microscopia elettronica analitica (SEM).

Poiché l'obiettivo è l'analisi quantitativa, è necessario misurare le fibre in modo da poter risalire al loro volume e quindi alla massa. Per far ciò è necessario che le fibre siano "libere" dalla matrice rocciosa e siano "pulite" per essere ben visibili.

Per questo scopo è necessario che il laboratorio sia attrezzato con apparecchiature di frantumazione, macinazione e setacciatura. Le macchine di comminazione sono indispensabili per "liberare" l'amianto, mentre la suddivisione in classi granulometriche mediante setacciatura (possibilmente ad umido) facilita molto le osservazioni microscopiche.

In linea di principio la microscopia ottica MOLP e MOCF-DC è indicata per le classi più grossolane ( $> 0,15$  mm, oppure anche  $> 0,075$  mm), in quanto caratteristiche peculiari della metodica sono la rapidità di indagine e la rappresentatività del campione che può essere analizzato.

La microscopia elettronica SEM s'impone, invece, per la facilità e nitidezza di visione e per la sicurezza del dato analitico per le classi più fini.

Ambedue le metodiche necessitano di un operatore esperto nell'analisi microscopica dell'amianto.

### **APPENDICE 1:**

**Considerazioni teoriche sulla campionatura dei minerali in frammenti**

### **APPENDICE 2:**

**La campionatura del materiale di scavo nel caso di avanzamento con scavo meccanizzato (TBM)**

### **APPENDICE 3:**

**Trattamento del campione primario**

appendice 1 alla relazione: procedure di campionamento del fronte nello scavo di gallerie con l'eventuale presenza di rocce potenzialmente contenenti amianto

### **Appendice 1 - Considerazioni teoriche sulla campionatura dei minerali in frammenti**

Le considerazioni di carattere teorico qui esposte derivano dalle pubblicazioni di Pierre GY, in particolare dai volumi Pierre GY “L'échantillonnage des minerais en vrac” Tome 1 e Tome 2, Revue de l'Industrie Minérale, numeri speciali del 15/01/67 e 15/09/71.

Pur senza approfondire in questa sede gli aspetti teorici delle teorie di campionatura di GY, si presenta una sequenza logica delle considerazioni esposte nelle teorie citate con il conseguente elenco dei possibili errori in un'operazione di campionatura e delle procedure più corrette per giungere ad una campionatura rappresentativa.

#### ***a. Considerazioni di carattere generale - definizione dei vocaboli utilizzati***

La campionatura è l'operazione che consente di estrarre da un lotto un campione rappresentativo nei riguardi di una caratteristica desiderata (ad es. un tenore) o anche di molte caratteristiche in contemporanea (ad es. granulometria, tenori in diversi elementi ecc.). Il lotto di partenza è un insieme eterogeneo di “individui” (nel campo dei minerali frammentati gli “individui” saranno frammenti rocciosi chiamati “grani”, “particelle”) diversi fra di loro nei riguardi di una determinata proprietà; anche il campione è un insieme di “individui”, molto più piccolo del lotto di partenza; affinché il campione sia **rappresentativo** è necessario che il valore della proprietà che si vuole determinare sia uguale nel campione e nel lotto di partenza.

L'errore di campionatura è la differenza tra il valore della grandezza in esame nel campione e il valore vero nel lotto di partenza.

E' necessaria una precisazione di carattere linguistico (vedi i volumi di GY citati, Tomo 1, paragrafo 2.1.5. “Ecartes 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”.*

Sempre GY definisce nel paragrafo successivo (2.1.6. “Justesse et fidélité; précision et représentativité”) cosa si intende per rappresentatività di una campionatura.

**La campionatura è giusta quando l'errore (o lo scarto, se si preferisce) è una variabile aleatoria di valor medio nullo. La campionatura è fedele quando i valori ottenuti in operazioni di campionatura ripetute sono strettamente raccolti intorno al valore medio. La campionatura è “precisa” o “rappresentativa” quando è allo stesso tempo giusta e fedele.** In pratica:

- quando una campionatura è giusta, la ripetizione delle operazioni e il successivo calcolo del valor medio dei valori consente di giungere alla conoscenza del valore vero. Sulla base di questo concetto si comprende il motivo per cui, nella compravendita di lotti di minerali, vengano presi 3 campioni: uno per il venditore, uno per il compratore e uno per l'arbitro (da utilizzare in caso di contestazioni).

- quando una campionatura è fedele, la ripetizione delle operazioni fornisce valori molto prossimi fra di loro (potrebbero essere però essere tutti anche molto lontani dal vero, se la campionatura non è nel contempo giusta).

In realtà, non si potrebbe sapere se una campionatura è stata giusta e fedele, cioè rappresentativa, in quanto il valore vero della grandezza in esame non è conosciuto (è l'obiettivo della campionatura!).

Quindi studiare la campionatura è inutile? Non è affatto così!

Il concetto ispiratore di GY è che gli studi sulla campionatura portano all'elaborazione di una teoria il cui scopo essenziale è comprendere i meccanismi che originano gli errori (o gli scarti). La conoscenza di questi meccanismi permette di elaborare regole pratiche che consentono di eliminare l'influenza degli errori, cioè di rendere l'operazione di campionatura giusta e fedele, quindi rappresentativa.

L'applicazione di queste regole permette di stabilire a priori se una campionatura è rappresentativa.

### ***b. Generalità sul concetto di eterogeneità***

Tutte le considerazioni che seguono hanno significato per un lotto eterogeneo nei riguardi di una determinata proprietà; eterogeneo significa che il valore della proprietà è diverso tra i vari "individui" del lotto.

Ad es. in una popolazione di sferette bianche e nere tutte di ugual natura (vetro) e di uguali dimensioni, ma di diverso colore (bianche oppure nere) si ha eterogeneità nei riguardi del colore, mentre il lotto è omogeneo nei riguardi della dimensione (tutte sferette di ugual diametro) e della composizione (tutte sferette di vetro).

Se la proprietà che interessa è, il tenore in sferette nere è necessario estrarre un campione dal lotto e analizzarlo, mentre una qualunque sferetta del lotto costituisce un campione rappresentativo della dimensione e della composizione.

In generale si ha che nel caso dei lotti di minerale si ha eterogeneità quando i vari grani costituenti il lotto presentano valori diversi della proprietà in esame; se un lotto invece è omogeneo qualunque grano costituisce un campione rappresentativo è quindi non ha più alcun interesse lo studio delle procedure di campionatura (le difficoltà stanno ovviamente nel sapere a priori che un lotto è omogeneo nei riguardi di una o più proprietà).

### ***c. La campionatura equiprobabile***

Il metodo più corretto per ottenere un campione da una popolazione è l'estrazione a sorte degli individui che devono costituire il campione. Questa operazione è chiamata ***campionatura equiprobabile*** in quanto dà a tutti gli individui della popolazione uguali probabilità di entrare nel campione. Quando la popolazione è eterogenea anche *l'estrazione a sorte non è una procedura esatta per definizione*; le probabilità che il valore della grandezza in esame del campione coincida con il valore vero del lotto di partenza sono ben studiate dalla statistica.

L'errore di una campionatura equiprobabile è una variabile aleatoria che può essere espressa con una gaussiana; il valore più probabile dell'errore è zero (coincidenza tra il valore vero della grandezza in esame nel lotto e il corrispondente valore nel campione) ma anche valori dell'errore molto diversi da zero (ciò succede quando si ha differenza tra il valore vero e quello nel campione) sono possibili ma meno probabili. La gaussiana esprime questo

concetto con l'associazione tra la deviazione standard  $\sigma$  e l'intervallo di fiducia. Le probabilità che il valore vero sia compreso nell'intervallo:

***valore nel campione  $\pm \sigma$***

sono del 67 %.

Nel caso della campionatura si preferisce considerare un intervallo di fiducia che dia più sicurezza, quindi

***valore nel campione  $\pm 2 \sigma$ ,***

che corrisponde ad un intervallo di fiducia del 95 %;

**cioè, in pratica, il valore determinato nel campione ha il 95 % di probabilità di coincidere con il valore vero del lotto di partenza.**

Da questo ragionamento appare evidente l'importanza della conoscenza della deviazione standard  $\sigma$  che è associata ad un'operazione di campionatura.

Per inciso si ricorda che il valore vero del lotto di partenza non è mai conosciuto; il conoscerlo è lo scopo della campionatura.

Una parte ampia della teoria di GY è dedicata alla valutazione della  $\sigma$  di una campionatura equiprobabile nel caso della campionatura di lotti di minerali che, come si intuisce facilmente, sono molto diversi da altri tipi di popolazioni più famigliari agli statistici.

GY è giunto a definire una formula che mette in correlazione la massa del campione, le proprietà granulometriche e di composizione mineralogica del materiale che costituisce il lotto, la precisione desiderata nell'operazione di campionatura (quest'ultima esprimibile con la  $\sigma$  prima definita che, come si è visto, è correlata ai livelli di probabilità).

La formula indica che la massa (**M**) del campione è proporzionale al cubo della dimensione massima del lotto (in realtà GY utilizza la dimensione **d** corrispondente al 5 % della curva granulometrica cumulativa, che è un po' minore della dimensione massima assoluta), è inversamente proporzionale al quadrato della precisione desiderata ( **$\sigma$** ), è direttamente proporzionale ad un parametro (**C**) legato alle caratteristiche composizionali del lotto (<sup>1</sup>).

**Non ha invece alcuna importanza la massa del lotto di partenza, che non influisce sulla massa del campione rappresentativo. La massa del campione rappresentativo è legata unicamente alle proprietà granulometriche e composizionali del minerale in esame.**

La formula ricavata da GY è:

$$M = C d^3 / \sigma^2$$

L'errore derivante dalla campionatura equiprobabile, che è in linea di principio il metodo più corretto per effettuare una campionatura, deriva dall'eterogeneità del materiale campionato; si tratta quindi di un errore che dovrebbe essere denominato errore di eterogeneità.

Poiché tale errore non è annullabile ma può solo essere ridotto (p. es. aumentando la massa di campione), esso è sempre presente. Per questo motivo GY preferisce chiamarlo "errore fondamentale" (EF).

Si ricorda quanto precisato al paragrafo **a**. Nella campionatura è invalsa l'abitudine di parlare di **errori** ma in realtà si tratta di **scarti statistici**, cioè di differenze tra il valore vero della grandezza ricercata nel lotto ed il corrispondente valore nel campione.

#### ***d. Complicazioni successive del modello teorico iniziale della campionatura equiprobabile***

---

(<sup>1</sup>) Per la definizione completa di C e per il calcolo della massa M nel caso in esame si veda l'Appendice 2.

La campionatura equiprobabile non è facilmente realizzabile nel campo dei minerali: bisognerebbe numerare tutti i grani di un lotto e procedere all'estrazione a sorte! (per inciso si ricorda che invece l'estrazione a sorte è utilizzata in tantissimi casi, anche riguardanti il controllo di qualità nelle produzioni industriali).

Nei lotti di minerale si effettua invece un campionamento per volumi predefiniti di materia; viene cioè realizzato il prelievo di tutti i frammenti contigui contenuti in un prefissato volume, molto piccolo rispetto a tutto il lotto. Nella pratica singoli "campioncini" vengono estratti dal lotto mediante un attrezzo di prelievo (benna, pala, tubo campionatore, ecc.); essi vengono poi mescolati per costituire il campione rappresentativo del lotto. Si opera cioè campionando per gruppi di frammenti contigui (operazione definita da GY "raggruppamento") e non mediante frammenti singoli tirati a sorte.

Inoltre i lotti di minerale sono sempre "segregati"; ciò significa che, in un lotto, grani con proprietà diverse tendono a smistarsi in punti differenti del lotto; è tipica ad esempio la segregazione granulometrica nei cumuli a piazzale: i grani grossi tendono a rotolare sui bordi dei cumuli, quelli fini a rimanere nel centro e a smistarsi sul fondo, passando negli interstizi tra i grani grossi. La segregazione non influisce sull'errore se i grani sono estratti a sorte (campionatura equiprobabile) ma va considerata nella campionatura per gruppi di frammenti contigui. Per questo motivo gli errori di segregazione e raggruppamento vanno sempre insieme.

Infine, la grandezza che interessa determinare è conosciuta attraverso l'analisi di un campione medio che viene costituito mediante campioni singoli prelevati in più punti. Per chiarire il concetto si vedano questi due casi tipici:

- a) si ha un lotto fermo (un cumulo in piazzale) che viene campionato ad es. mediante un attrezzo di prelievo che estrae un campione singolo in diversi punti indicati da una griglia di campionatura prefissata
- b) si ha un lotto in fase di trasporto continuo (ad es. un lotto in movimento su di un nastro trasportatore) dal quale viene estratto un campione con appositi attrezzi ed a intervalli di tempo prefissati in un punto fisso di osservazione e campionatura (p. es. in un punto di scarico).

Ciò equivale dal punto di vista della matematica, ad un'operazione di integrazione per punti. Infatti si campiona una funzione matematica rappresentata dalla variazione numerica della proprietà considerata (ad es. il tenore di un dato minerale). Tale variazione avviene nello spazio (caso a, in cui il tenore varia da punto a punto del cumulo) oppure nel tempo (caso b, in cui il tenore del materiale che passa davanti al punto fisso di osservazione e campionatura).

L'integrazione per punti è, come è noto dalla matematica, un'operazione che porta con sé un errore.

*L'esecuzione dell'operazione di campionatura nel campo dei minerali ci impone pertanto 3 differenze importanti rispetto al modello ideale della campionatura equiprobabile:*

- *Il raggruppamento: campionatura per gruppi di frammenti contigui, prelevati dall'attrezzo di campionatura;*
- *La segregazione: l'operazione avviene su lotti sempre segregati;*
- *L'integrazione: si realizza un'operazione assimilabile all'integrazione per punti.*

Queste differenze teoriche tra la campionatura equiprobabile e il modello ideale più complesso che è necessario applicare sui lotti di minerale fa' sì che vengano introdotti ulteriori errori, sempre teorici in quanto si riferiscono allo schema teorico dell'operazione, che sono chiamati:

EG = errore di raggruppamento (“groupement” in francese)

ES = errore di segregazione

EI = errore di integrazione

### *e. Errori operativi*

Il modello teorico che viene ipotizzato può essere realizzato in modo non corretto, introducendo così ulteriori errori detti operativi.

**Si hanno errori operativi ogni volta che vengono alterate le probabilità di prelievo delle diverse classi granulometriche e/o densimetriche.**

A titolo di esempio:

un campionamento su di un cumulo mediante tubo campionatore può introdurre errori operativi se il diametro del tubo è di dimensioni inferiori a quelle dei grani più grossi presenti nel lotto, che pertanto non possono essere prelevati dall’attrezzo di campionatura; in questo caso l’operazione pratica altera le probabilità di prelievo delle classi granulometriche grosse; ciò può comportare errori (in questo caso operativi) in quanto i grani grossi potrebbero avere un valore della proprietà esaminata diverso dai grani fini (ad es., nel caso di serpentiniti triturate, un minor tenore di amianto che, essendo un minerale friabile, tende a concentrarsi nelle classi granulometriche fini).

L’errore è strettamente operativo in quanto il modello di campionatura potrebbe essere ben definito dal punto di vista teorico (campionatura per prelievi singoli ben distribuiti nello spazio su di un lotto segregato, con massa finale del campione adeguata) ma mal realizzato.

### *f. Sintesi degli errori di campionatura (teorici ed operativi)*

Gli errori di carattere teorico in un’operazione di campionatura sono:

- l’errore fondamentale EF, insito in qualunque campionatura anche se effettuata con il metodo più giusto ipotizzabile cioè l’estrazione a sorte del campione;
- gli errori aggiuntivi EG, ES ed EI, derivanti dal modello teorico che è necessario ipotizzare, diverso da quello di un’estrazione a sorte.

Gli errori operativi possono essere molteplici; si indicano con la sigla EO.

In conclusione, l’errore totale ET può essere indicato nella seguente formula simbolica:

$$ET = EF + ES \times EG + EI + EO$$

**La teoria della campionatura equiprobabile permette il calcolo dell’errore fondamentale EF: è sufficiente conoscere le caratteristiche mineralogiche e composizionali del materiale, la sua granulometria e prestabilire la precisione desiderata per ricavare con la formula esposta nel paragrafo b la massa del campione rappresentativo.**

Gli altri errori sono di calcolo molto più complesso; tuttavia l’esame critico a priori delle procedure può consentire di indicare se essi influiscono in modo marcato sull’operazione di campionatura e, al limite, di annullarne o ridurne molto l’influenza.

**appendice 2 alla relazione:** procedure di campionamento del fronte nello scavo di gallerie con l'eventuale presenza di rocce potenzialmente contenenti amianto

## **Appendice 2 - La campionatura del materiale di scavo nel caso di avanzamento con scavo meccanizzato (TBM)**

### **Richiami di teoria della campionatura - Analisi dell'operazione nei riguardi dei possibili errori**

#### Precisazione

*In questo documento viene spesso scritta la parola "errore".*

*E' necessaria una precisazione di carattere linguistico (vedi i volumi di Pierre GY "L'échantillonnage des minerais en vrac" Tome 1 e Tome 2, Revue de l'Industrie Minérale, numeri speciali del 15/01/67 e 15/09/71 - paragrafo 2.1.5. "Ecart 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".*

### **1. Generalità: descrizione della situazione nei riguardi della campionatura**

Nel caso di scavo meccanizzato con TBM la campionatura del materiale di scavo può essere realizzata unicamente sul materiale abbattuto, non essendo il fronte di scavo accessibile e quindi ispezionabile dal geologo.

Il materiale da campionare (lo smarino) è costituito da frammenti della roccia abbattuta dalla fresa, in dimensioni assortite con granulometria estesa e continua (cioè sono rappresentate tutte le classi granulometriche) da una dimensione massima **d** fino alla polvere fine. Il materiale è umido, in quanto viene irrorato già durante l'abbattimento per facilitare le operazioni di smarino.

Lo smarino viene messo in movimento dalla macchina stessa per essere trasferito mediante una catena di nastri all'esterno.

Nei riguardi delle operazioni di campionatura, esso è assimilabile ad un lotto in fase di trasporto continuo, in quanto viene raccolto dal sistema di raccolta dell'abbattuto della TBM (coclea) e immesso su di un nastro trasportatore (o una successione di nastri) che provvede a trasportarlo alla fine della macchina di scavo. Lo smarino viaggia su di un nastro trasportatore a velocità costante; ogni tanto si hanno punti di caduta per il passaggio da un nastro al successivo oppure ad un contenitore finale (ciò dipende dal tipo di catena di nastri di cui è fornita la TBM).

La portata (cioè la massa di materiale trasportata nell'unità di tempo) con cui avviene il trasporto non è costante, perché dipende in modo marcato dalle modalità con cui viene effettuato lo scavo. Come prima ipotesi si può supporre che si abbiano intervalli di tempo a pieno carico separati da intervalli in cui non avviene lo scavo e quindi non si abbia produzione di smarino.

### **2. Richiami di teoria sulla campionatura di un materiale in fase di trasporto continuo**

#### **2.1. Caratteristiche intrinseche del materiale che influiscono sulla campionatura**

Sono qui esaminati alcuni parametri che influiscono sulla campionatura. Erano già descritti nella relazione "Procedure di campionamento del fronte nello scavo di gallerie con l'eventuale presenza di rocce potenzialmente contenenti amianto (relazione redatta dal prof. Carlo Clerici)" datata 2013 e ora rivista e inserita come ALLEGATO 4 nella relazione generale "Protocollo gestione amianto".

Vengono qui evidenziati gli aspetti che riguardano la campionatura con scavo meccanizzato.

### **a) dimensione d**

Il parametro  $d$  è legato alla dimensione massima del materiale, ma in realtà si tratta, secondo le indicazioni della teoria di Gy, di una dimensione un po' inferiore, pari alla dimensione corrispondente al 5 % di trattenuto nella curva granulometrica cumulativa.

Nel caso della TBM, sulla base delle informazioni acquisite nel corso dei lavori e dalle analisi granulometriche eseguite sui materiali già scavati, si ha che la dimensione massima assoluta di 150 mm è veramente rarissima. A titolo molto prudentiale si può assumere come dimensione di inizio della curva granulometrica cumulativa 100 mm, assumendo pertanto, per i calcoli,  $d = 80$  mm.

Sono anche disponibili altri dati. Due curve granulometriche fornite dal cantiere, datate marzo e luglio 2017, hanno come dimensione massima 31,5 e 63 mm. Quindi verranno calcolati anche altri valori, relativi alle dimensioni 30 e 60 mm.

Si ricorda che il valore  $d$  va espresso in cm nell'applicazione delle formule di Gy.

### **b) forma f**

Nelle formule di Gy è presente il parametro  $f$ ; è un coefficiente di forma adimensionale.

Per i materiali con forme dei grani per così dire "normali" (cioè non troppo diverse da forme isometriche) vale intorno a 0,5, mentre per i lamellari vale 0,2.

In questo caso il materiale si suppone tendenzialmente isometrico; per i calcoli si assume il valore 0,4. Si tenga presente che quando il materiale viene ridotto di dimensioni la forma tende a diventare un po' più lamellare, se si tratta di serpentiniti, e quindi il coefficiente  $f$  tende a diminuire.

### **c) distribuzione granulometrica g**

Il coefficiente  $g$ , funzione della distribuzione granulometrica del lotto, vale 0,25 per i materiali con distribuzione granulometrica estesa, come nel caso in esame.

### **d) grado di liberazione l**

Nelle formule di campionatura di Gy viene considerato il parametro  $l$ ; è un coefficiente adimensionale, funzione del grado di liberazione.

Bisogna quindi esaminare la distribuzione del minerale che interessa determinare (l'amianto) nella matrice rocciosa, in particolare se si presenta in "grani liberi", cioè in grani o particelle costituiti da ciuffi di fibre, privi o quasi di matrice, oppure in "grani misti", cioè con il minerale ancora legato alla matrice rocciosa (spalmature superficiali, ma aderenti al grano, oppure in vene inglobate nella roccia).

Il valore del parametro  $l$  è determinato dal rapporto tra la dimensione massima del materiale e la dimensione a cui si avrebbe la "liberazione" totale dell'amianto. Si presume che l'amianto si liberi macinando il materiale a dimensioni intorno a 1 mm o minori, mentre la dimensione massima del materiale è 100 oppure 80 mm come prima detto. con il rapporto che vale 80-100 il parametro  $l$  vale, secondo le tabelle di Gy, 0,05 -0,02. Per i calcoli si assume prudentialmente il valore 0,04.

Nel caso di dimensione  $d$  corrispondente a 60 e 30 mm, bisogna ipotizzare un leggero aumento del grado di liberazione della componente fibrosa. Sulla base della tabella 5.9 delle opere di Gy già citate, come valore di  $l$  va assunto 0,08 circa per  $d=60$  mm e 0,13 circa per  $d=30$ mm.

### **e) composizione mineralogica c**

Questo parametro, come dice il nome, è basato sulla composizione mineralogica e non su tenori in metalli, in elementi chimici, o altro.

Il parametro  $c$  è definito dall'equazione (per un grezzo a due costituenti):

$$c = [(1 - a) / a] * [(1 - a) * \delta_1 + a * \delta_2]$$

in cui  $a$  è il presunto tenore nel minerale considerato (espresso in decimali e non in %),  $\delta_1$  e  $\delta_2$  sono rispettivamente le masse volumiche del minerale considerato (l'amianto) e del secondo costituente (la roccia amiantifera).

Nel caso in esame si assume  $\delta_1 = \delta_2 = 2,7 \text{ g/cm}^3$  (le masse volumiche di amianto e matrice rocciosa sono simili, salvo l'eventuale presenza di minerali ferriferi tipo la magnetite nella matrice, come a volte succede nelle serpentiniti).

Per il valore di  $a$  si assume 1000 mg/kg (valore limite che ha importanza per la classificazione dello smarino) da cui  $a = 0,001$  (in valore numerico, che corrisponde a 0,1 %)

Con queste ipotesi il valore di  $c$  è  $2697 \text{ g/cm}^3$ .

## **2.2. Calcolo della massa di campione rappresentativo con un errore prefissato, sulla base dell'eterogeneità del materiale da campionare**

Il calcolo presentato in questo paragrafo determina la massa di campione che deve essere estratta da un lotto affinché nel campione il tenore sia compreso in un intervallo prefissato intorno al valore vero (sconosciuto) del lotto. Questo campione viene detto "rappresentativo" e il suo valore va associato all'intervallo di fiducia che è stato scelto per calcolarlo.

L'intervallo di fiducia è quantificato con il parametro  $\sigma_r$ .

- $\sigma_r$  è la deviazione standard relativa dell'errore di campionatura. Poiché normalmente si considera come più che accettabile un intervallo di fiducia al livello di probabilità del 95 % (che normalmente viene considerato un livello di sicurezza), la precisione che si desidera raggiungere nelle determinazioni analitiche è  $\pm 2 \sigma_r$ .
- Per i calcoli della presente relazione si assume come valore di  $\sigma_r$  il 10% ( $2 \sigma_r = 20\%$ ). Ciò significa ad es. che un risultato di 500 mg/kg viene ottenuto con il 95% di probabilità nell'intervallo 400 ÷ 600 mg/kg.  $\sigma_r$  va espresso in valori numerici (non in percentuale) quindi nei calcoli si ha  $\sigma_r = 0,1$ .

La massa che si ricava da questo calcolo deriva unicamente dall'eterogeneità del materiale, indipendentemente dalle modalità utilizzate per estrarre il campione.

In pratica si ipotizza che il metodo di prelievo non introduca ulteriori errori.

Come risulta da quanto esposto in Appendice 1 della relazione citata, la formula che consente di calcolare la massa di campione rappresentativo in relazione ad una precisione voluta è la seguente:

$$M = C \cdot d^3 / (\sigma_r)^2$$

La formula indica che la massa ( $M$ ) del campione è:

- proporzionale al cubo della dimensione  $d$  del lotto (la dimensione  $d$  corrispondente al 5 % di trattenuto della curva granulometrica cumulativa)
- è inversamente proporzionale al quadrato di un parametro legato alla precisione desiderata ( $\sigma_r$  = deviazione standard dell'errore, in valore relativo;  $\sigma_r$  va espresso in valore decimale, non in valore %),
- è direttamente proporzionale ad un parametro ( $C$ ) legato alle caratteristiche composizionali del lotto.

C è un parametro che dipende dalle caratteristiche del minerale da campionare prima definite; è esprimibile con il seguente prodotto:

$$C = f \cdot g \cdot l \cdot c$$

con i valori indicati al paragrafo 2.1. si ha  $C = 10,79 \text{ g/cm}^3$ , da cui

$$\text{per } d = 80 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad M = 552448 \text{ g} = 552 \text{ kg circa}$$

(questo valore è inferiore a quello calcolato nella relazione data 2013, in quanto i citati parametri di scavo ora sono basati su dati sperimentali).

Con i due valori di dimensione massima corrispondenti alle curve granulometriche riportate in documenti a parte si hanno i seguenti risultati:

$$\text{per } d = 60 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad C = 21,58 \text{ g/cm}^3 \quad \rightarrow \quad M = 466128 \text{ g} = 466 \text{ kg circa}$$

$$\text{per } d = 30 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad C = 35,06 \text{ g/cm}^3 \quad \rightarrow \quad M = 94665 \text{ g} = 95 \text{ kg circa}$$

A titolo prudenziale si ritiene che vada utilizzato il valore 550 kg come massa del campione primario, salvo verifica sperimentale quando si inizierà effettivamente lo scavo delle rocce potenzialmente asbestifere. Se le operazioni di scavo confermeranno una minor dimensione massima del materiale abbattuto, come al momento risulta dalle due curve granulometriche citate, si potrà ridurre la massa di campione primario.

Per facilità di lettura si riportano qui i calcoli analoghi già presenti nella relazione del 10/3/2013, riguardanti il campione da raccogliere durante lo scavo con demolitore idraulico:

$$\text{per } d = 100 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad C = 4,5 \text{ g/cm}^3 \quad \rightarrow \quad M = 405000 \text{ g} = 405 \text{ kg circa}$$

### **3. Realizzazione dell'operazione di campionatura**

#### **3.1. Modello teorico dell'operazione**

Come detto, si ha il materiale in movimento su di un nastro trasportatore.

Trattandosi di un **lotto in fase di trasporto continuo** la procedura classica di campionatura consiste nel prelievo di campioni ad intervalli temporali sistematici (oppure scelti sulla base di leggi di numeri casuali), con strumento di prelievo che attraversa il flusso di materiale in un punto di caduta (punto di passaggio da un nastro al successivo, oppure di scarico del materiale in una tramoggia).

Per fare praticamente questa operazione esistono numerosi tipi di campionatori. Sono attrezzature quasi sempre automatiche; le più utilizzate sono i campionatori a moto trasversale (ortogonale al flusso):

- ✓ cassettei traslanti con rovesciamento a fine corsa, oppure con fondo apribile sempre a fine corsa (**Fig. 1**); il campione viene trasferito dal cassetto in apposita tramoggia;
- ✓ cucchiaia traslante che, avendo il fondo aperto, trasferisce immediatamente il campione nella sua apposita tramoggia già nel corso del prelevamento (**Fig. 2**).
- ✓ alette deviatrici, che incanalano a intermittenza tutto il flusso per un brevissimo intervallo di tempo in un canale secondario che lo invia nella tramoggia di raccolta del campione (**Fig. 3**)

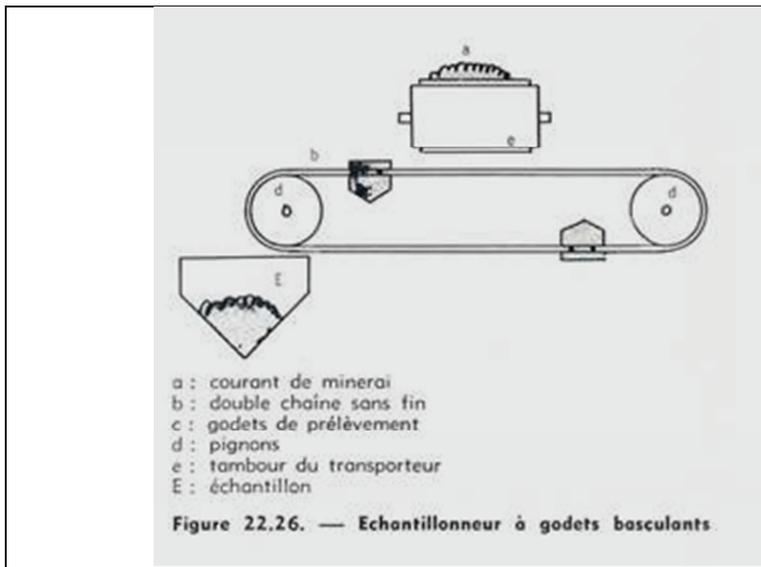


Fig. 1 – campionatore a cassetto basculante (vista di fronte al punto di scarico del nastro).

Il sistema di campionatura è posizionato nel punto di scarico di un nastro.

Il cassetto trasla con moto trasversale al flusso e si svuota automaticamente all'estremità sinistra del percorso, capovolgendosi al passaggio sul rullo *d*.

Nel suo percorso il cassetto si svuota automaticamente nella tramoggia di raccolta del campione (da P. Gy)

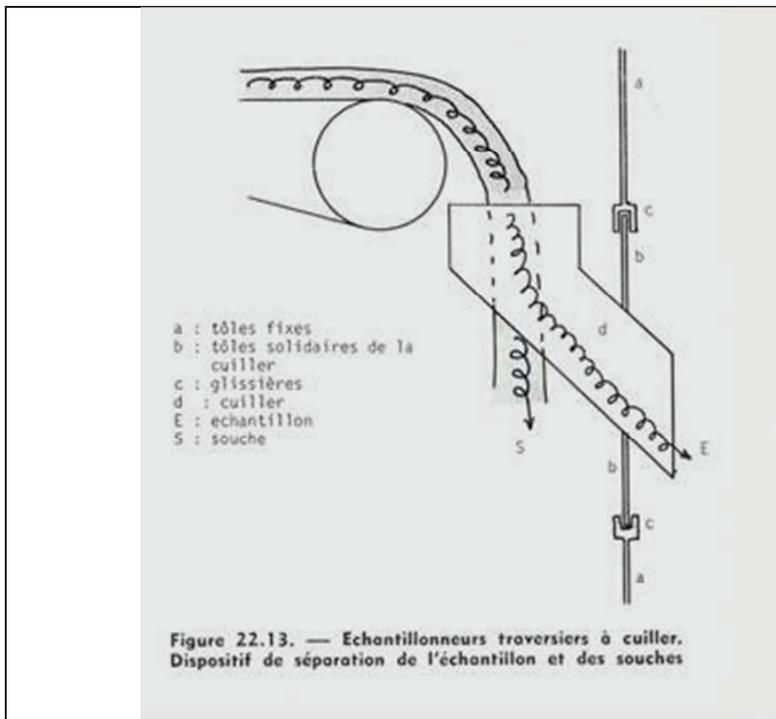


Fig. 2 – campionatore a cucchiaia.

La cucchiaia si muove di moto trasversale e attraversa il flusso nel punto di scarico di un nastro.

Durante il movimento la cucchiaia trasferisce con continuità il materiale prelevato nella tramoggia di raccolta del campione (da P. Gy)

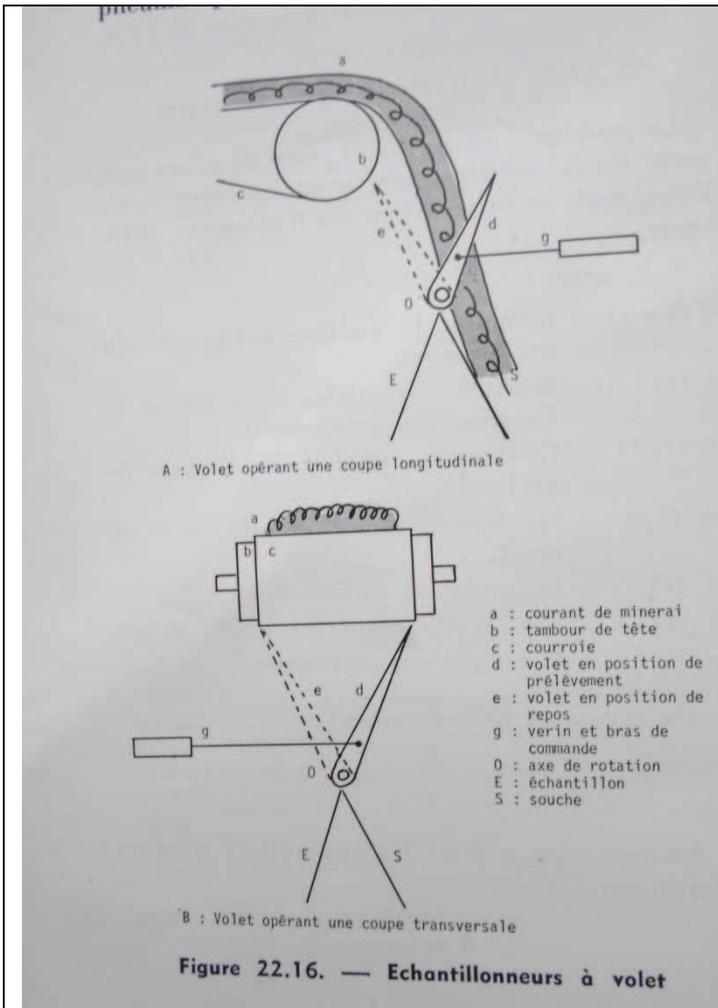


Fig.3 - Campionatore ad aletta

Un'aletta taglia il flusso di materiale deviandolo nella tramoggia di raccolta del campione (E)

Nella figura A l'aletta taglia il flusso effettuando un taglio longitudinale (lungo l'asse di movimento del materiale)

Nella figura B l'aletta effettua un taglio perpendicolare alla direzione di movimento del materiale

(da P. Gy)

L'operazione di campionatura di un materiale in corso di trasporto su di un nastro può essere schematizzata come nella figura che segue (**Fig. 4**).

Il materiale passa davanti ad un punto fisso dove agisce l'attrezzo di campionatura. Quest'ultimo funziona a intermittenza prelevando dal flusso campioni singoli che vanno a confluire in un contenitore, che rappresenta il campione medio del periodo di campionatura e quindi del corrispondente materiale di scavo.

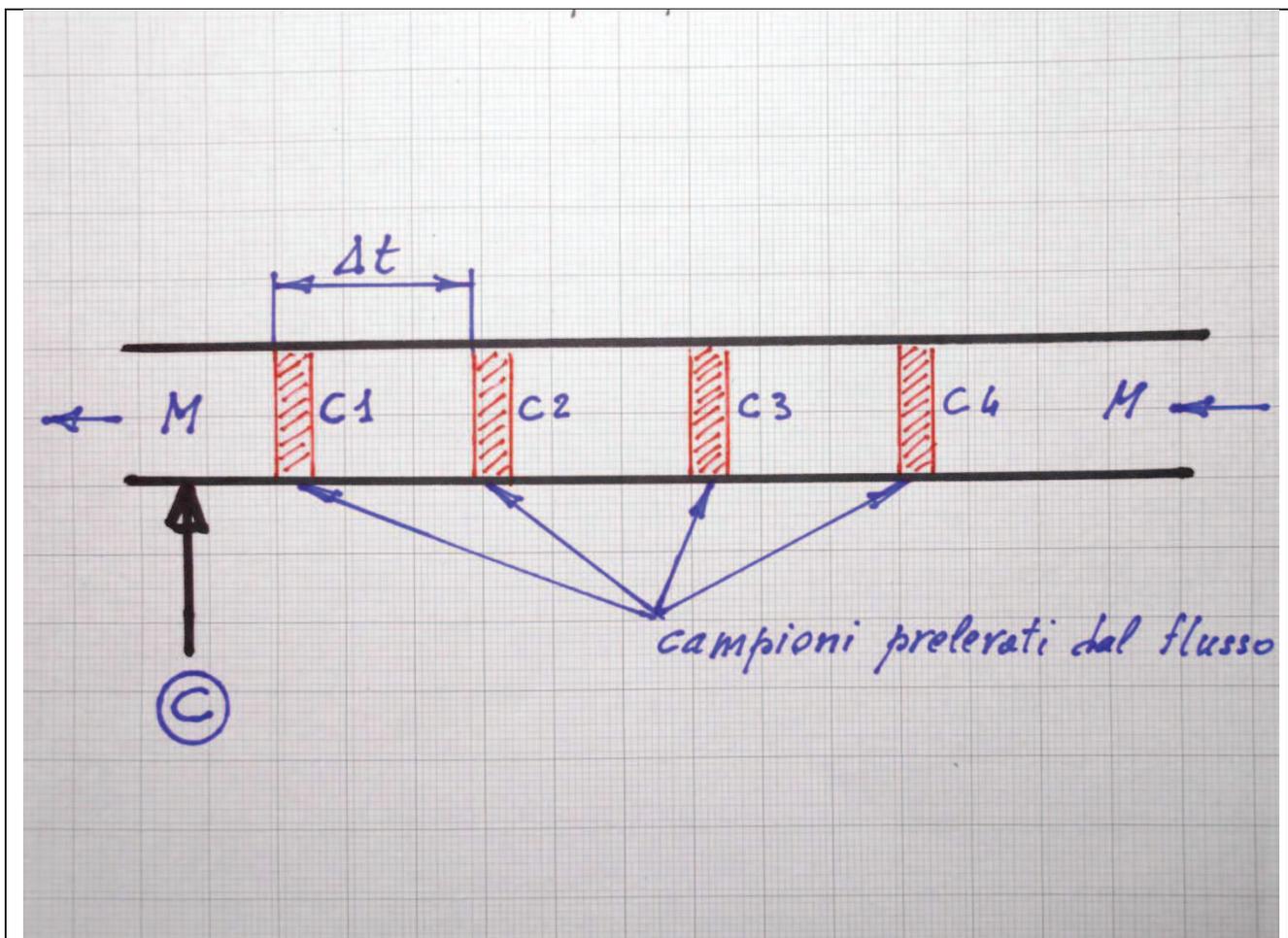


Fig. 4 - Schema teorico di campionatura su di un materiale in fase di trasporto continuo

M---M rappresenta il flusso di materiale; C il punto di azione del campionatore trasversale; C1, C2, C3 ..... i diversi prelievi di un campionatore a moto trasversale. L'area tratteggiata in rosso rappresenta il materiale prelevato dal flusso.

N.B. per necessità di disegno si sono indicate le porzioni di flusso di materiale prelevate nell'operazione come se il campionatore si muovesse lungo il materiale fermo, prelevando a distanza fissa i successivi campioni. Nella realtà il materiale M---M è in movimento e il campionatore è in un punto fisso, e attraversa il flusso M---M a intervalli di tempo prestabiliti; la distanza tra C1, C2 ... è in realtà un intervallo di tempo  $\Delta t$  e indica il tempo che intercorre tra un prelievo ed il successivo.

Si può ipotizzare che il tenore in amianto, misurato in ogni istante davanti al punto di campionatura C, vari secondo una funzione F (sconosciuta) il cui valore medio è il dato che interessa, cioè il tenore medio del materiale di scavo (in un periodo di tempo definito). Si cerca di conoscere il valor medio di F con l'operazione di campionatura, prelevando a intervalli piccole porzioni del flusso che vanno a costituire il campione medio.

Anche in questo caso si ha un possibile errore teorico, chiamato "errore di integrazione" che, lo si ricorda, è dato dallo scostamento tra il valor medio vero (ma sconosciuto) della funzione  $F$  e il valor medio (conosciuto) dei punti di campionatura. Si chiama errore di integrazione in quanto ricorda l'operazione matematica del calcolo di un integrale per punti. Si ricorda che è una variabile aleatoria, non sistematica; per ridurre l'influenza è necessario aumentare i punti utilizzati per il calcolo dell'integrale, cioè in pratica ridurre gli intervalli di prelievo.

Quanto detto è schematizzato visivamente in **Fig. 5**.

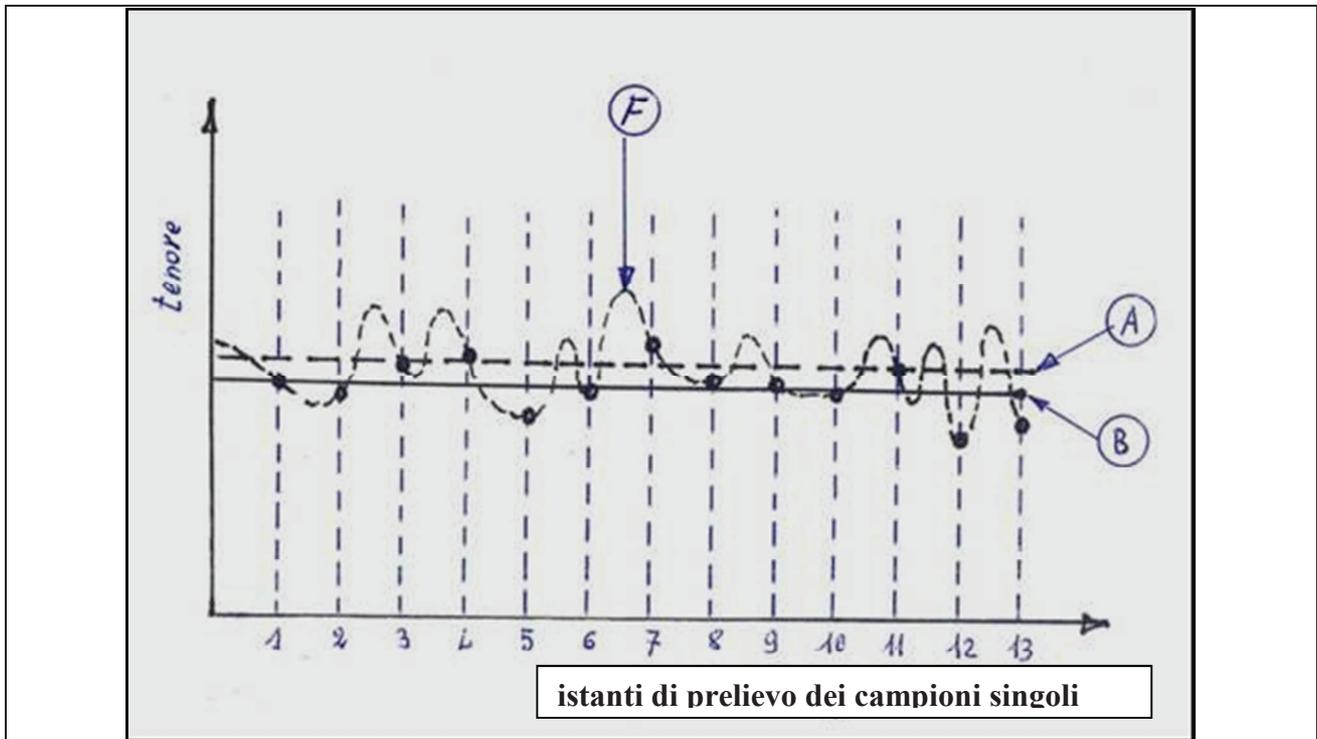


Fig. 5 – schematizzazione matematica dell'operazione di campionatura del materiale di scavo, Nella figura si ha un esempio di una campionatura effettuata con 13 campioni singoli prelevati a intervalli sistematici in un punto di scarico della catena di nastri trasportatori. Sulle ascisse sono riportati i tempi, sulle ordinate i tenori in amianto ( la figura ha validità generale, per qualunque minerale che si voglia determinare con la campionatura).

L'obiettivo è conoscere il tenore in amianto del materiale passato nel punto di campionatura nell'intervallo di tempo che va dal prelievo n° 1 fino al n° 13.

Il grafico riporta una ipotetica variazione del tenore ( $F$ ) nell'intervallo di tempo preso in considerazione. La funzione  $F$  (sconosciuta) viene campionata per punti (ogni punto è il campione singolo prelevato) ma in realtà non ha interesse conoscere il valore singolo dei 13 punti, ma il loro valor medio (l'operazione matematica di fare la media corrisponde nella realtà all'operazione di mescolare fisicamente i 13 campioni; ciò avviene in quanto i campioni singoli vanno tutti a confluire nel medesimo contenitore); con l'analisi del campione complessivo si conosce quindi solo il valor medio dei 13 punti.

A : valor medio della funzione  $F$ , peraltro sconosciuta. Quindi il valore medio "vero" non è conosciuto.

B : valor medio dei 13 punti di campionatura; risultato dell'analisi sul campione prelevato.

L'errore è indicato dallo scostamento tra A e B

### 3.2. Ulteriore approfondimento teorico per tener conto della portata

*Questo ulteriore approfondimento teorico è scritto in carattere più piccolo in quanto ritenuto di minore rilevanza dal punto di vista pratico rispetto ai punti trattati in precedenza. La conclusione importante dal punto di vista operativo è scritta in fondo a questo paragrafo (in carattere normale).*

Tutte le considerazioni finora esposte hanno sottinteso che la portata (= quantità di materiale che passa nell'unità di tempo davanti al punto di campionatura) sia costante.

In questo caso, se lo strumento di campionatura agisce ogni volta per il medesimo tempo, cioè asporta dal flusso ogni volta la stessa quantità di materia, la formula teorica che fornisce il risultato è quella che dà la semplice media aritmetica

$$t_{\text{medio}} = (t_1 + t_2 + \dots + t_i + \dots + t_n) / n \quad \text{con } n = \text{numero dei campioni singoli}$$

Analizzare i campioni mescolati equivale a fare il conto indicato nella formula.

Quando invece la portata non è costante, il problema diventa più complesso. Determinare il tenore medio sulla base di n campioni singoli prelevati da uno strumento di campionatura che agisce ogni volta per lo stesso tempo (apertura di una botola, spostamento di un'aletta, passaggio di un cassetto traslante attraverso il flusso, o altro; sarebbe comunque molto complicato far agire lo strumento di campionatura pogni volta per un tempo proporzionale alla portata istantanea) equivale ad applicare la seguente formula

$$t_{\text{medio}} = (t_1 m_1 + t_2 m_2 + \dots + t_i m_i + \dots + t_n m_n) / \sum m_i$$

con n = numero dei campioni singoli

Si tratta cioè di una media tenori ponderata secondo le masse dei singoli campioni prelevati.

La formula sopra scritta coincide con la precedente quando le masse  $m_i$  dei singoli campioni sono tutte uguali.

Quindi, nel caso di portata variabile, in teoria si campionano due grandezze indipendenti, ambedue variabili nel tempo:

- il tenore (in questo caso in amianto)
- la portata di materiale

Per un corretto risultato è necessario che le masse siano rappresentative dell'intervallo temporale di portata cui si riferiscono.

Questo errore è meno influente di quel che può apparire ad un primo esame. Infatti, in modo automatico, la massa di ogni campione singolo è proporzionale alla portata nell'istante del prelievo (ricordando l'ipotesi che il campionatore agisca ogni volta per un tempo costante); è minore quando si ha minor flusso e maggiore all'incontrario. Quindi i campioni che hanno maggior massa sono anche quelli che corrispondono a più materiale complessivamente passato e pertanto hanno giustamente maggior influenza (derivante appunto dalla maggior massa) e contano di più nella media.

Però può anche succedere che la portata nel brevissimo intervallo di tempo in cui si ha il prelievo effettivo del campione grazie all'azione dell'attrezzo di campionatura non sia rappresentativa dell'intero intervallo di competenza di quel singolo campione. La massa  $m_i$  del campione i-esimo deve essere rappresentativa di un intervallo di passaggio del materiale di scavo ben più lungo del tempo effettivo di prelievo del campione.

Ad esempio, se il prelievo è di 10 s ogni 10 min, e la portata varia dopo l'azione del campionatore, la massa del campioncino è rappresentativa della portata nei 10 s ma non del periodo di tempo di competenza (5 min prima e 5 min dopo l'azione del campionatore). In conclusione la procedura di campionatura più corretta è agire su di un flusso di materiale a portata costante, se così non è si può introdurre un ulteriore errore che Gy chiama "errore di portata".

Nel caso si esame si può ipotizzare che la portata vari da un valore massimo, costante, quando la TBM è in azione, mentre scende a zero quando l'operazione di scavo si ferma per l'esecuzione delle operazioni accessorie allo scavo vero e proprio.

In una situazione così particolare e poco prevedibile è consigliabile comandare a mano l'azione dello strumento di campionatura, in modo da operare solo quando si ha effettivo flusso di materiale di scavo, evitando così di prendere dei campioni vuoti nei periodi di portata nulla.

### **3.3. Realizzazione pratica dell'operazione**

Il criterio fondamentale per evitare che l'esecuzione pratica della campionatura aggiunga agli errori teorici prima analizzati altri ulteriori errori, definiti "operativi", cioè che derivano da come viene realizzata nella pratica l'operazione di prelievo del campione, è il seguente:

è necessario che la campionatura sia equiprobabile, cioè che tutti i frammenti di materia presenti nel lotto abbiano uguali probabilità di entrare a far parte del campione, senza che queste probabilità siano alterate dalla loro dimensione, dalla forma dei grani, dalla natura mineralogica, dalla posizione dei grani nel lotto.

*Ad esempio. La campionatura dei grani grossi può essere alterata da un attrezzo campionario con apertura di ingresso non adeguata (cioè troppo piccola da ostacolarne o addirittura impedirne l'ingresso), la campionatura dei grani fibrosi (e quindi di forma e natura mineralogica diversa) viene alterata quando il materiale è molto secco e si muove in correnti d'aria, in quanto queste particelle possono essere disperse nell'aria e sfuggire allo strumento di campionatura, ecc.*

Per una progettazione del sistema di campionatura bisogna analizzare il tipo di segregazione presente nel materiale.

Il lotto in esame è costituito da materiale in fase di trasporto continuo su di un nastro trasportatore. La segregazione può essere longitudinale e trasversale.

La segregazione longitudinale, cioè la variazione di composizione lungo l'asse di movimento del lotto, è inevitabile. Dipende dalla roccia di scavo che man mano viene abbattuta dalla TBM, la quale può essere molto diversa da punto a punto, anche se la TBM produce un notevole rimescolamento nel materiale abbattuto e quindi introduce un po' di omogeneizzazione. Ad esempio, l'incontro di una importante vena di amianto nel fronte produce un incremento di tenore nel lotto che viene trasportato, che poi scende a zero quando, magari anche solo dopo pochi decimetri di avanzamento, la fresa entra in roccia sterile.

La segregazione trasversale significa variazione di composizione nella sezione ortogonale al movimento del lotto. Ad esempio, un ciuffo di fibre che derivi da una vena importante riscontrata durante l'abbattimento può disporsi di lato oppure in centro al mucchio che viaggia sul nastro.

La segregazione longitudinale produce l'errore di campionatura che è stato chiamato "errore di integrazione" (vedi **Fig. 5**). Per ridurre l'importanza è necessario infittire i prelievi nel tempo. In via del tutto generale, e in riferimento agli impianti di trattamento dei grezzi di miniera, Gy indica come 20 minuti l'intervallo di tempo massimo tra un prelievo e il successivo (*vedi opere di Gy citate, paragrafo 15.2.3*).

Per evitare l'errore operativo derivante dalla segregazione trasversale è necessario che l'attrezzo di campionatura, quando entra in azione, tagli e prelevi tutto il flusso, raccogliendo materiale lungo tutta la sezione trasversale.

Le numerose regole pratiche cui deve sottostare l'attrezzo di prelievo, per non incorrere in errori operativi, sono sinteticamente:

- ✓ larghezza dell'apertura di prelievo pari a 3 volte la dimensione massima del materiale da campionare, per non alterare le probabilità di prelievo dei grani di maggiori dimensioni, che devono poter entrare agevolmente nel campionario;
- ✓ velocità di traslazione dell'attrezzo non superiore a 200 - 400 mm/s, per evitare di disturbare il flusso di materiale in caduta quando l'attrezzo di prelievo attraversa il flusso;
- ✓ non sbordare durante l'attraversamento del flusso;
- ✓ attraversare totalmente il flusso sia nella corsa di andata sia di ritorno

Queste regole sono riportate in dettaglio nei volumi di P. Gy già citati all'inizio del presente documento. Nel caso di rocce con amianto va posta particolare attenzione all'abbattimento delle polveri (eventuale umidificazione, se il materiale non è già umido di per sé) prima del punto di caduta in cui si opera la campionatura, per evitare di perdere dal flusso le eventuali fibre libere, che

sfuggirebbero così alla campionatura. D'altronde abbattere le polveri è indispensabile per la sicurezza.

### **3.4. Realizzazione pratica dell'operazione. Schema di massima di un campionatore ad aletta applicabile al caso in esame**

La TBM non è stata predisposta in fase progettuale e costruttiva di un sistema automatico di campionatura del materiale di scavo. Per quanto è a conoscenza degli estensori di questo documento, non risulta che al momento attuale le case costruttrici delle TBM prendano in considerazione il problema della campionatura.

Risulta pertanto indispensabile non modificare la macchina, essendoci i vincoli conseguenti alla marcatura CE, garanzie costruttive, ecc.

La modifica è pertanto attuabile solo nella tramoggia di scarico al termine del nastro trasportatore.

Il campionatore proposto (**Fig. 6**) consiste in una aletta disposta lateralmente sulla parete del canale situato sotto la tramoggia, appositamente incernierata e fornita di un sistema di movimentazione. L'aletta viene introdotta nel canale all'istante prescelto per il prelievo del campione in modo da recuperare la totalità del flusso per un breve periodo di tempo, deviando così il materiale in un canale laterale che lo deposita nell'apposita vasca di raccolta del campione.

L'operazione viene ripetuta più volte durante la fase di spinta della TBM, in modo da rappresentare in modo corretto il materiale di scavo. La scelta degli istanti in cui effettuare l'operazione di prelievo del campione singolo ("legge di designazione degli istanti di prelevamento dei campioni singoli" o "legge dei tempi") è consigliabile che sia di tipo sistematico. Per esempio il  $\Delta t$  di Fig. 4 potrebbe valere 10-15 minuti. Questa operazione deve essere coordinata con le operazioni di scavo, in modo da effettuare prelievi solo quando si ha flusso di materiale.

È anche importante infittire i campionamenti in modo da avere una buona rappresentatività di tutto il materiale scavato nella spinta presa in esame. La durata di ogni singolo campionamento deve essere molto breve; meglio molti campionamenti brevi a intervalli di tempo costanti che pochi campionamenti con molto materiale prelevato ogni volta (sarà assolutamente evitata la tendenza "comoda" di fare solo 1 o al massimo 2 campionamenti ravvicinati, magari all'inizio della spinta di cui si vuole caratterizzare il materiale scavato).

I parametri che determinano il campionamento sono:

- durata di ogni singolo prelievo
- legge di designazione degli istanti di prelevamento

Va ricordato che i singoli incrementi di materiale devono produrre un campione finale con massa di almeno 550 kg, come calcolato al paragrafo 2.2.

La legge di designazione degli istanti di prelevamento può essere definita nel modo seguente:

- ogni "spinta" della TBM corrisponde a circa 1 ora di scavo, corrispondente ad un avanzamento di 1,8 m (e quindi a  $142 \text{ m}^3$  abbattuti pari a 380 t circa di roccia).
- nei libri di Gy si consiglia di non superare l'intervallo di 20 minuti tra un prelievo e il successivo (considerazione di carattere generale, riferita agli impianti delle miniere).

Sulla base di ciò si stabilisce di effettuare circa 10 prelievi di campione (10 "incrementi") nelle prime 2 "spinte", quindi un incremento ogni 12 minuti circa. Per definire la quantità prelevata ad ogni "incremento" si stabilisce di segnare sul cassone di raccolta del campione primario dei livelli successivi, ognuno corrispondente ad una massa di 55 kg circa ( $55 \times 10 = 550 \text{ kg}$ ), in modo da orientare l'addetto alla campionatura sulla durata delle singole aperture dell'aletta a deviazione di flusso. In pratica, l'operatore deve tenere l'aletta in posizione di prelievo fino a quando il materiale sale di un livello nel cassone.

Analogamente alle modalità di campionamento adottate nel caso di scavo in tradizionale con martellone in pietre verdi o Formazione del Molare, ove il campione prelevato da un singolo fronte di scavo è considerato valido di tre fronti di scavo consecutivi, salvo elevata eterogeneità del fronte

di scavo o cambio litologico, nello scavo in meccanizzato il campione prelevato durante la realizzazione delle prime due spinte della TBM è considerato valido del volume di materiale scavato nel corso della stessa giornata lavorativa. Ciò consente di ottenere i risultati delle determinazioni circa il contenuto di amianto nella stessa giornata lavorativa permettendo di intervenire tempestivamente nella gestione del materiale scavato.

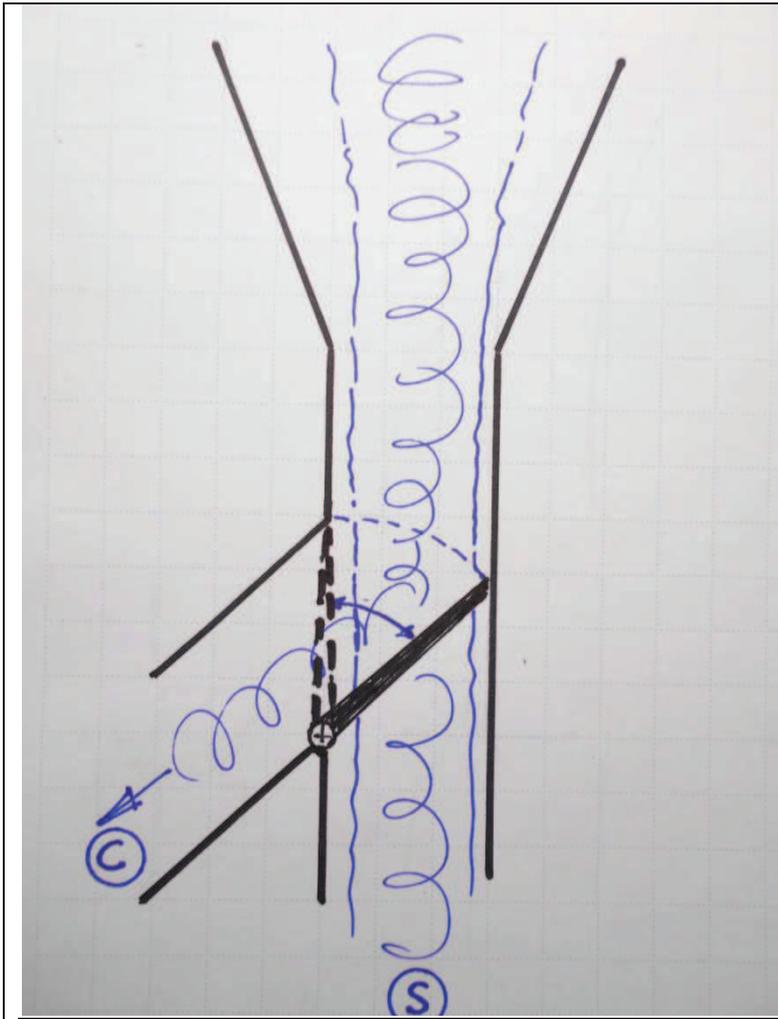


Fig. 6 - Schema di principio di un campionatore trasversale ad aletta che intercetta il flusso S deviandolo nel canale C di raccolta del campione. L'aletta è incernierata sulla parete del canale principale e viene azionata ad intermittenza.

Per gli errori operativi di campionatura è importante che l'apertura e la chiusura dell'aletta avvengano in modo rapido, altrimenti si ha un prelievo differenziato dei filetti del flusso di materiale, maggiore nella parte sinistra del flusso rispetto a quella di destra.

Ciò è importante per evitare errori operativi nel caso di segregazione trasversale del materiale.

Il materiale derivante dal "campionatore ad aletta" prende il nome di "campione primario".

**appendice 3 alla relazione: procedure di campionamento del fronte nello scavo di gallerie con l'eventuale presenza di rocce potenzialmente contenenti amianto**

**Appendice 3 - Trattamento del campione primario**

Le procedure che operano il passaggio dal "campione primario" al "campione di laboratorio" vanno sotto il nome di "campionatura secondaria" o, meglio "trattamento del campione primario".

Nei casi esaminati dalla presente relazione si hanno in sintesi due tipi di campioni primari:

- campione derivante dalla campionatura del fronte mediante martellone;
- campione del marino della TBM.

In ambedue i casi si ha un "campione primario" con massa alcune centinaia di kg e dimensione massima alcuni decimetri. La presenza di frammenti di dimensioni decimetriche è più probabile nella campionatura del fronte con martellone, quando si opera su roccia compatta, mentre nel caso della TBM l'esperienza ha finora indicato che le dimensioni massime sono molto ridotte (60 0 30 mm, vedi le curve granulometriche già citate al *paragrafo 2.1 dell'Appendice 2*).

Rimangono sempre validi i principi che evitano l'introduzione di errori operativi di campionatura:

- non va alterata l'equi-probabilità, cioè tutti i frammenti di materiale presenti nel campione primario devono avere uguali probabilità di entrare a far parte dell'ulteriore campione ("campione secondario"). Si rimanda all' *Appendice 1 - punto e* per l'illustrazione di questo principio.
- nel caso di lotti statici (ammassi, cumuli) tutti i punti del lotto devono avere la possibilità di essere raggiunti dall'attrezzo che effettua il prelievo degli incrementi (o dalla procedura che porta alla scelta del campione secondario)
- quando presenti, i frammenti più grossi vanno ridotti di dimensione prima dell'ulteriore campionatura (la presenza di questi frammenti nel "campione primario" è possibile soprattutto nel caso di campionamento del fronte mediante martellone).

Vanno inoltre tenute presenti due esigenze fondamentali:

- la sicurezza delle operazioni nei riguardi della dispersione di polveri nell'aria, in quanto è possibile la presenza di fibre di amianto nel materiale; è quindi necessario operare su materiale molto umido
- l'esigenza di fornire il risultato nel minor tempo possibile, per non ritardare le operazioni di cantiere

Nel caso dell'avanzamento con martellone il "campione primario" viene ottenuto con la procedura di campionamento del fronte di scavo descritta nel paragrafo 7.1.2. del "Protocollo gestione amianto".

Nel caso di avanzamento in meccanizzato il "campione primario" viene ottenuto con la procedura di campionamento dal nastro trasportatore descritta nel paragrafo 7.2.2 del "Protocollo gestione amianto".

Il campione ottenuto secondo le suddette modalità è posizionato su telo, ubicato direttamente in prossimità del fronte nel caso di scavo con martellone, o in prossimità del campionatore a sportello nel caso di scavo meccanizzato, e la riduzione di massa è realizzata secondo la norma UNI 10802-2013.

Il materiale, ove necessario, è irrorato con acqua nebulizzata per evitare la dispersione di polveri nell'aria, ed è rimescolandolo accuratamente per ottenere una massa omogenea.

Nel caso di scavo con martellone il "campione primario" potrebbe contenere elementi di dimensioni grossolane, in tal caso detti elementi saranno ridotti di dimensione utilizzando lo stesso martello impiegato nella fase di campionamento.

Nel caso dello scavo in meccanizzato (TBM) il "campione primario" si presenta inconsistente, ricco di fini e dall'aspetto plastico e fangoso, in conseguenza dell'acqua con additivi che viene

aggiunta durante l'abbattimento. La presenza di frammenti che hanno dimensioni prossime a 3 o 6 cm è assolutamente saltuaria, non sono pertanto necessarie ulteriori operazioni di riduzione del campione in cantiere come nel caso dello scavo con martello demolitore.

La geometria che viene data all'ammasso deve essere il più possibile regolare (ad esempio: cumulo di forma rettangolare in pianta ed a sommità piatta).

La campionatura del cumulo del campione primario viene realizzata utilizzando uno strumento (paletta) di dimensioni adeguate alla granulometria del materiale (vedi norma UNI citata). Gli incrementi vanno prelevati sia dalla superficie del cumulo sia dal suo interno, secondo una geometria predefinita. In linea di massima, si prospettano 5 incrementi dalla superficie e 5 dall'interno del cumulo. Questi ultimi vanno prelevati scavando un'apposita piccola trincea nel punto di prelievo, evitando con attenzione che il materiale sovrastante si mescoli a quello sottostante, che deve essere prelevato.

Il campione secondario così ottenuto avrà normalmente massa troppo grande per l'invio al laboratorio. Per l'ulteriore campionatura si può utilizzare il metodo dell'inquartatura (**Fig. 1**)

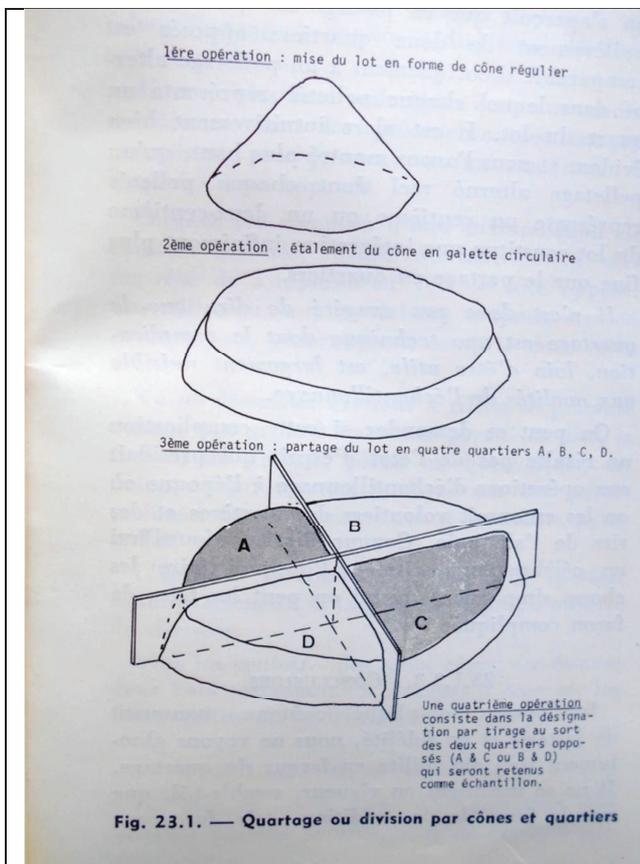


Fig. 1 - Divisione per coni e quarti (da Gy).

Un modo operativo consigliato da Gy prevede le seguenti fasi:

- costituire a fianco del lotto iniziale un lotto conico versando le palate prelevate dal lotto iniziale sulla sommità del lotto conico che si va formando progressivamente
- per dare al cono una distribuzione dei frammenti che abbia come asse di rivoluzione l'asse stesso del cono (evitare la segregazione è impossibile) è necessario versare le palate sulla punta del cono girandoci intorno
- abbassare il cono partendo dalla punta e spostando leggermente il materiale verso l'esterno, ma evitando di alterare la simmetria di rivoluzione che si è costituita
- dividere la torta così ottenuta in 4 parti, con un partitore lungo come il diametro e due lunghi come il raggio
- tirare a sorte le due parti opposte che costituiscono il campione, mentre le altre due sono lo scarto dell'operazione
- se la massa desiderata non è ancora stata raggiunta, ripetere l'operazione

Si ricorda infine che per l'operazione di "campionatura secondaria" è indispensabile che il personale addetto sia appositamente istruito.