

# B4

## Strumenti e dispositivi semplici

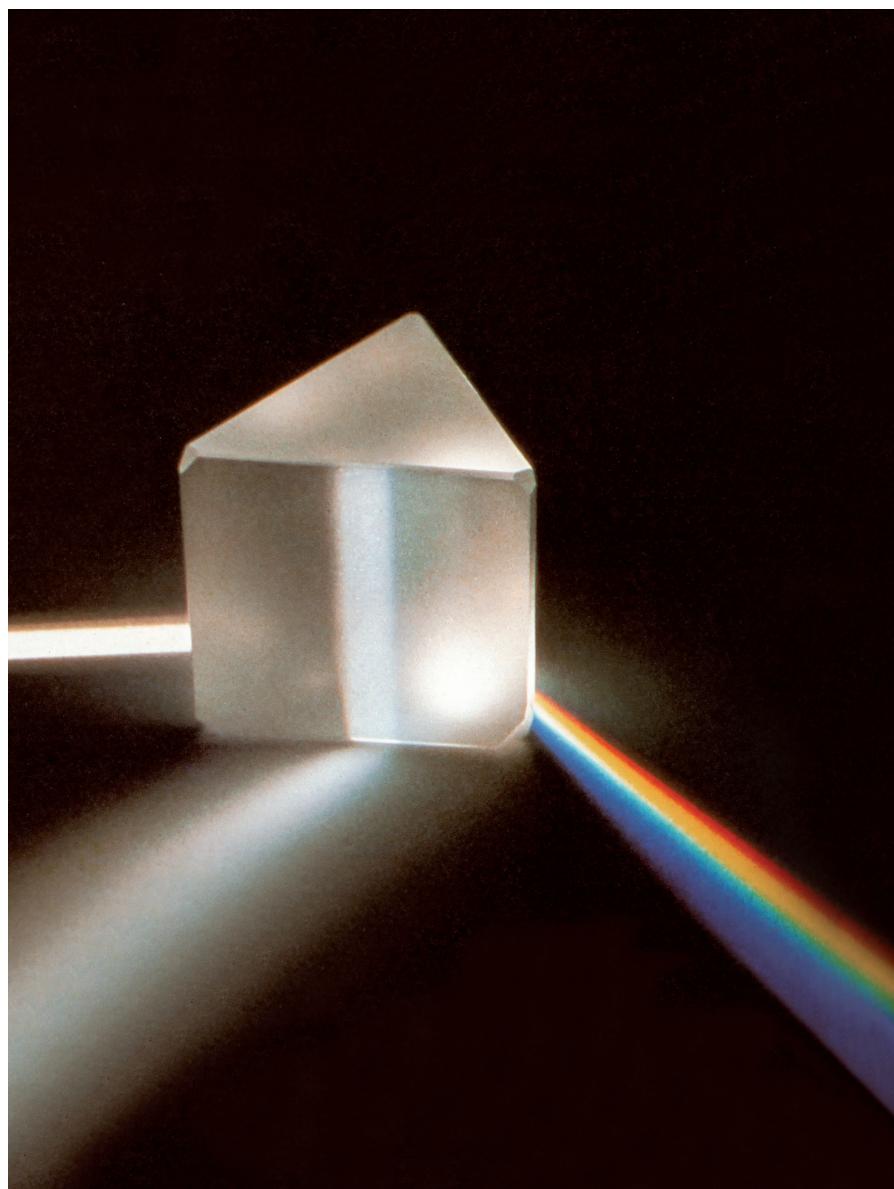


### TEORIA

- 1 Introduzione
- 2 Il filo a piombo
- 3 La diottra
- 4 Gli squadri
- 5 La livella sferica
- 6 La livella torica
- 7 I microscopi di lettura

### RIASSUMENDO

### AUTOVALUTAZIONE



Il prisma è un dispositivo usato in molti apparecchi ottici e topografici. Fondamentale è anche la sua importanza da un punto di vista storico: verso il 1670 Newton dimostrò, utilizzando un prisma di vetro, che la luce bianca era in realtà costituita da una miscela di colori diversi, quelli a tutti noti che compongono l'arcobaleno.

## 1. Introduzione

Per la misura di grandezze geometriche sul terreno (**distanze, angoli, dislivelli**), vengono usati appositi strumenti, alcuni dei quali sono abbastanza complessi.

In questo ambito ci si limiterà alla trattazione di strumenti e dispositivi molto semplici, privi di apparati elettronici, che tuttavia possono essere impiegati fin da ora durante le operazioni di campagna meno impegnative.

Alcuni di questi strumenti non fanno ormai più parte della dotazione del moderno topografo, e attualmente conservano solo valenze storiche; tuttavia lo studente non ne deve sottovalutare l'importanza didattica. Infatti in essi si possono riconoscere in modo semplificato (quindi in modo più facile da apprendere) tutti quei concetti e quei principi che poi si ritroveranno anche negli strumenti più complessi e moderni.

## 2. Il filo a piombo

Il **filo a piombo** è il più semplice strumento che si conosca. È costituito da un filo di fibra sintetica (nylon), a un'estremità del quale è attaccato un peso in acciaio zincato variabile da 150 a 300 g, modellato secondo diverse forme ma sempre provvisto di punta (►FIGURA 1).

Il filo a piombo si dispone secondo le *linee di forza* della gravità ed è il mezzo più comodo, e forse più antico, per materializzare la **verticale** (direzione della forza di gravità) passante per un punto. La sua precisione indicativa è  $\pm 2'$ .

In topografia può essere usato per svariate operazioni pratiche; le più frequenti consistono nel:

- *determinare la verticalità* di una palina;
- *proiettare sul terreno* un punto sovrastante.

## 3. La diottra

La **diottra** è uno strumento antico che ci permette di introdurre il concetto di **collimazione**. Essa è costituita da un'asta di legno o metallica chiamata **regolo**, di lunghezza variabile da 30 a 50 cm, ai cui estremi si innalzano perpendicolarmente due **alette** (*pinnule*), sulle quali sono ricavate opportune aperture. Le alette sono spesso piegabili mediante una cerniera per rendere la diottra meno voluminosa e più facilmente trasportabile.

La diottra viene utilizzata per tracciare su un piano da disegno (*tavoletta*), mediante la **linea di fede LL**, parallela alla **linea di collimazione CC** (►FIGURA 2a), le tracce delle direzioni ai punti collimati. La diottra in passato era uno strumento **a traguardo**, cioè un dispositivo che determina una *linea*, oppure il *piano*, di *mira* o di *collimazione* senza dispositivi ottici.

**Collimare** o **mirare** a un punto (o a una linea verticale) significa far coincidere la **linea** (o il piano) **di mira** con la visuale diretta al punto (o alla linea).

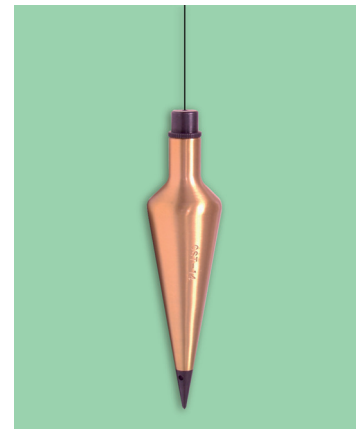


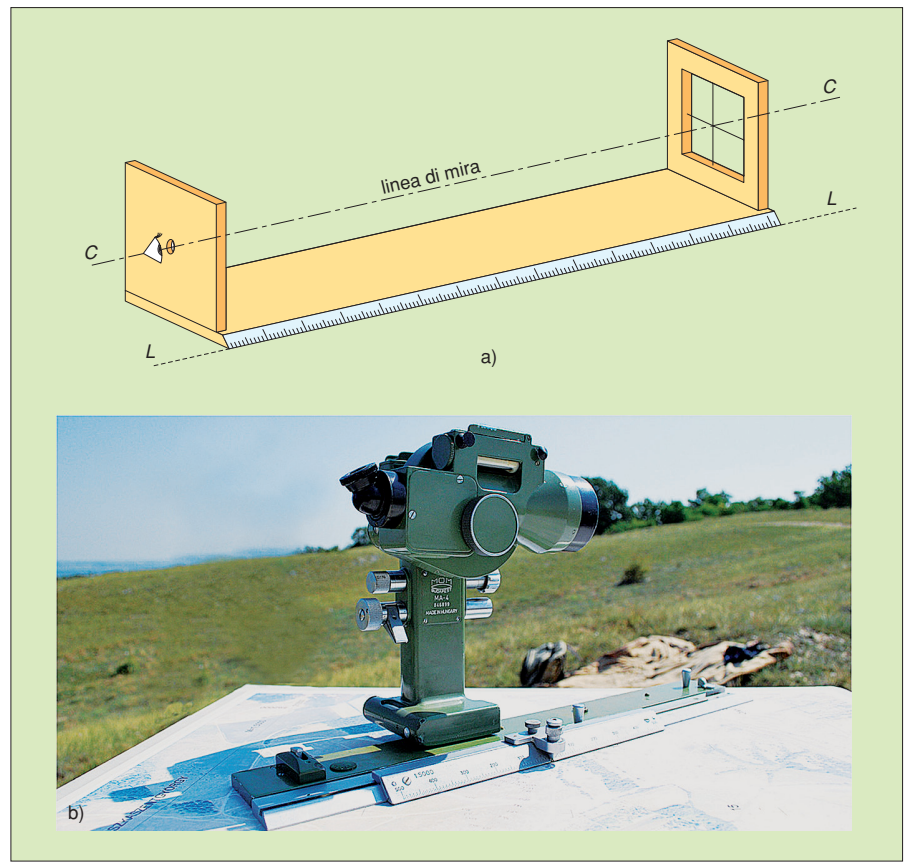
FIGURA 1 Filo a piombo.

### FAQ

► **Quale concetto topografico venne introdotto dalla diottra?**

Il concetto di collimazione, cioè di una linea (detta di mira) portata a passare per un punto assegnato.

**FIGURA 2** La diottra antica (a); con essa viene introdotto il concetto di traguardo e di collimazione. La diottra più recente (b) viene montata su una tavoletta per eseguire in campagna rilievi speditivi.



Nello schema di diottra di ►FIGURA 2a si nota il *foro oculare* a sinistra e la *finestrella obiettivo* a destra, nella quale è riportata una croce con fili sottilissimi. Con questa diottra si realizzano una **linea di mira** (la congiungente il centro del foro oculare con il centro della crocetta) e due **piani di mira**, perpendicolari tra loro, dei quali uno verticale e l'altro orizzontale. Quello verticale è dato dal centro del forellino oculare e dal filo verticale; quello orizzontale dal centro del foro oculare e dal filo orizzontale della finestrella.

In tempi più recenti sono state utilizzate diottrici con collimatore a cannocchiale (►FIGURA 2b) da montare su **tavolette** per rilievi speditivi.

## 4. Gli squadri

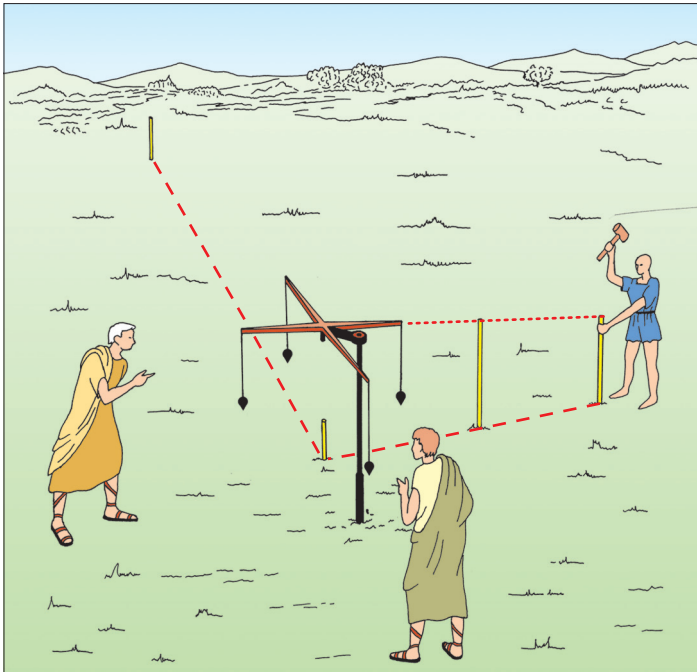
Il tracciamento di due allineamenti **ortogonali tra loro**, oppure il riporto sul terreno di **angoli retti**, costituiscono operazioni pratiche frequentemente richieste durante il rilievo topografico; tali operazioni sono sempre possibili con l'impiego di **goniometri** che verranno studiati in seguito. Tuttavia queste operazioni possono essere effettuate rapidamente (anche se con minore precisione) con l'impiego di strumenti adatti solamente a questo scopo specifico chiamati genericamente **squadri**.

In questi strumenti, alla possibilità di tracciare angoli retti, si abbina spesso quella di tracciare angoli di  $45^\circ$  e di  $180^\circ$ . In quest'ultimo caso è possibile determinare un punto appartenente a un allineamento prestabilito; in questo caso lo squadro si chiama **allineatore**.

### FAQ

► **Cos'è e a cosa serve un allineatore?**

È un dispositivo in grado di generare allineamenti a  $180^\circ$ , dunque sulla stessa direzione. Con esso è possibile individuare un punto appartenente a un allineamento assegnato.



**FIGURA 3** Utilizzo della groma. Con essa era possibile tracciare allineamenti ortogonali.

## ■ La groma

La **groma** veniva impiegata dagli agrimensores dell'antica Roma imperiale nella **centuriazione** del territorio e nel tracciamento di strade e di altri manufatti. La **groma** fu il primo squadra ed era costituita da due barre di bronzo incrociate e ortogonali, montate in cima a un'asta che veniva infissa nel terreno. Alle estremità le barre recavano due fili a piombo, uno per parte, attraverso i quali si realizzavano due *piani di traguardo* (**cardo** e **decumano**) tra loro ortogonali. Aveva dimensioni ragguardevoli e veniva utilizzata come schematizzato in

► FIGURA 3.

## ■ Gli squadri agrimensores

Lo **squadro agrimensorio** classico era costituito essenzialmente da un bossolo metallico, del diametro compreso tra 8 e 10 cm, e altezza compresa tra 12 e 15 cm; altre volte assume la forma di un *prisma* a sezione ottagonale con analoghe dimensioni. Di fatto lo squadra agrimensorio appare come la sintesi della **groma** e della **diottra**.

Nella parte superiore il bossolo è chiuso con un coperchio munito di una **livella sferica** che si utilizza per rendere verticale l'**asse generale** dello squadra.

Gli squadri agrimensores vengono utilizzati su **treppiedi** leggeri (► FIGURA 4a); questi, sono forniti di una parte terminale che permette l'innesto dello squadra in corrispondenza del **manicotto** tronco-conico presente alla sua base. Tale manicotto rimane solidale al treppiede, mentre al bossolo metallico può essere impressa una **rotazione**, rispetto al manicotto, a mezzo di un'apposita vite. Questa rotazione avviene secondo un asse (**asse generale**) coincidente per costruzione con l'asse del cilindro, o del prisma, che costituisce lo squadra.

Lungo le generatrici del cilindro (o delle facce del prisma in quelli ottagonali), sono praticate 4 coppie di *fenditure* diametralmente opposte, che costituiscono i **traguardi** dello squadra agrimensorio, disposte su piani passanti per l'asse del ci-

### FAQ

► **A cosa serve lo squadra agrimensorio?**

Ha la funzione di permettere il tracciamento sul terreno di allineamenti ortogonali.



**FIGURA 4** Squadro agrimensorio con treppiede e bastone di montaggio (a). Particolare delle finestrelle di traguardo (b).



**FIGURA 5** Squadro agrimensorio con traguardo a cannocchiale.

#### FAQ

##### ► Quali sono le condizioni di esattezza dello squadro agrimensorio?

1. Ogni coppia di fessure opposte deve formare un piano di traguardo verticale passante per l'asse generale dello squadro.
2. Due coppie di fessure consecutive lunghe, o due coppie di fessure consecutive corte, devono formare due piani di traguardo ortogonali.

#### FAQ

##### ► Che cosa sono gli squadri a prisma?

Sono piccoli strumenti, di dimensioni tanto ridotte da poter essere trasportati in tasca, costituiti da prismi di vetro di diverse forme e che fondano il loro funzionamento sui principi ottici della riflessione e della rifrazione. Essi svolgono la stessa funzione degli squadri agrimensori, cioè servono a tracciare sul terreno allineamenti ortogonali.

lindro (asse generale); riterremo la complanarità delle coppie di fessure con l'asse generale soddisfatta per costruzione (► FIGURA 4b).

Analogamente a quanto visto per la diottra, ogni traguardo risulta realizzato da una coppia di fenditure diametralmente opposte. Una di esse, detta *oculare*, presenta una larghezza di circa 0,4 mm, e termina con due allargamenti circolari chiamati *fori cercatori*, capaci di ampliare il *campo di visuale*. Quella diametralmente opposta è più larga, fino a 3-5 mm, e porta nella sua parte centrale un sottilissimo filo d'acciaio (un tempo venivano usati crini di cavallo).

Dei quattro traguardi (coppia di fenditure), due si estendono per tutta l'altezza dello squadro, mentre gli altri due sono più corti, circa metà dei precedenti. Le fenditure lunghe formano due piani di traguardo perpendicolari tra loro. Anche le fenditure corte costituiscono piani di traguardo perpendicolari, e inoltre bisecano a 45° i quattro diedri formati dalle fenditure lunghe. Le fenditure corte poi, permettono la *visuale reciproca* (per funzionare cioè come **allineatore**) secondo le due direzioni diametralmente opposte.

Gli squadri agrimensori prodotti attualmente (► FIGURA 5) sono provvisti di **cannocchiale collimatore** che consente di ottenere dei traguardi con un campo di visibilità migliore rispetto a quelli classici. La graduazione orizzontale permette di tracciare allineamenti che formano tra loro qualsiasi angolo (di fatto sono piccoli goniometri). La possibilità di ruotare il cannocchiale sul piano verticale ( $\pm 30^\circ$ ) rende questo tipo di squadro particolarmente adatto all'impiego su terreni accidentati.

## ■ Gli squadri a prisma

Gli **squadri a prisma** sono una serie di piccoli strumenti, di dimensioni tanto ridotte da poter essere definiti **tascabili**, che fondano il loro funzionamento sui principi ottici della *riflessione* e della *rifrazione*.

Con essi è possibile localizzare i punti di intersezione fra direzioni normali, e la funzione di questo tipo di squadri è quella di tracciare allineamenti ad angolo retto. Si tratta senza dubbio di strumenti dal costo contenuto, ma anche di **limitata precisione**, in quanto spesso semplicemente sostenuti a mano da parte

TABELLA 1 Gli squadri a prisma

### ■ Prisma triangolare

È un prisma, la cui sezione normale è un triangolo isoscele retto, inserito in un corpo metallico aperto in corrispondenza dei *cateti* (che costituiscono le facce di *entrata* e di *uscita* dei raggi luminosi e che formano un angolo di  $45^\circ$  con l'ipotenusa) e chiuso sul lato dell'ipotenusa, che è resa *riflettente* tramite argentatura.

Il suo funzionamento si basa sul fatto che un raggio *luminoso incidente* subisce una doppia riflessione interna su pareti formanti un angolo di  $45^\circ$ , con una *deviazione* finale di  $90^\circ$ .

Serve a realizzare sul terreno due allineamenti tra loro *ortogonali*; il primo definito dal punto di *stazione* del prisma e da un secondo punto segnalato da una palina  $P_1$  che verrà osservata a occhio nudo. L'allineamento in «squadro» verrà ottenuto interponendo il prisma all'occhio, che continua a collimare la palina  $P_1$ , e osservando in una delle due facce libere (orientando il lato chiuso verso destra o verso sinistra). In questa fase l'operatore deve *guidare* un collaboratore a collocare una seconda palina  $P_2$  nella posizione in cui una parte della sua immagine diviene visibile sulla faccia del prisma e *allineata* con la prima palina  $P_1$  osservata a occhio nudo.



### ■ Prisma pentagonale

È un prisma, inserito in una scatola metallica, la cui sezione è pentagonale, ma che funziona come se la sezione fosse quadrilatera in quanto utilizza solo quattro delle cinque facce.

Le due facce d'*incidenza* e di *emergenza* sono libere alla vista e formano tra loro un angolo *retto*, mentre i prolungamenti delle due facce *riflettenti* (adiacenti alle precedenti e rese speculari mediante argentatura), formano un angolo di  $45^\circ$ . Ciò è alla base del funzionamento del prisma, che provoca una deviazione complessiva tra raggio *incidente* e raggio emergente di  $90^\circ$ , e dunque funziona da «squadro».

Il suo funzionamento operativo è del tutto simile a quello del prisma triangolare descritto in precedenza.



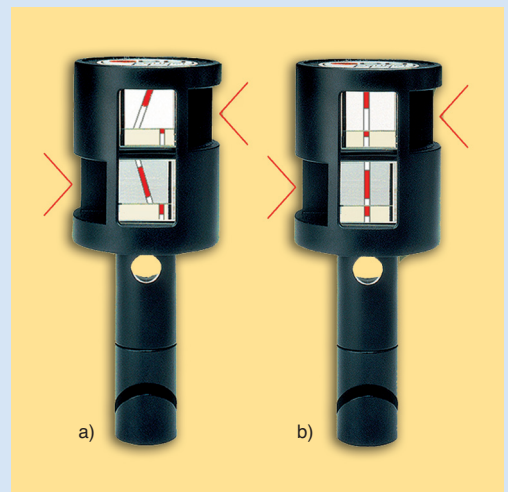
### ■ Croce di prismi

Con gli squadri a prisma semplici è possibile, nell'ambito di una sola collimazione, realizzare gli allineamenti ortogonali solo a *destra* o solo a *sinistra*, rispetto all'allineamento di partenza. Per compiere *contemporaneamente* l'allineamento in «squadro» sia a destra sia a sinistra, è necessario utilizzare una *croce di prismi*.

Essi sono costituiti da *due prismi* semplici sovrapposti (per esempio due prismi pentagonali), montati in modo speculare, per accedere a entrambe le direzioni all'allineamento, e contenuti nello stesso corpo metallico. I due prismi non sono a contatto, ma *separati* da uno spazio vuoto (circa 7-8 mm), che viene utilizzato per traguardare a occhio nudo una porzione della palina che definisce l'allineamento di partenza. Lo stesso spazio viene poi ricreato anche nella parte inferiore, o in quella superiore, per migliorare la precisione della collimazione.

Possiamo anche dire che gli squadri a *croce di prismi* sono strumenti *allineatori*.

In figura: a) posizione approssimata iniziale; b) posizione corretta finale.



**FAQ**

► **La livella sferica è idonea per eseguire operazioni di precisione?**

No, gli errori che si commettono usando questo tipo di livella sono dell'ordine dei 10', compatibili solo con operazioni approssimative.

dell'operatore stesso. Tuttavia, essi permettono di sviluppare le operazioni descritte in precedenza con grande **rapidità** e **semplicità**, per cui sono da preferire allo squadro agrimensorio. Per operazioni più accurate possono essere montati anche su treppiedi leggeri o bastoni. In ogni caso, per la loro *scarsa precisione*, l'impiego pratico degli squadri a prisma è limitato a **operazioni speditive** nelle quali, per esempio, si debba determinare velocemente il piede di una perpendicolare a una retta assegnata passante per un punto.

Questi tipi di squadro sono costituiti essenzialmente da un *prisma di vetro* con diverse forme geometriche, ma che presenta sempre **due facce** a formare un *angolo retto*. Dalla prima di esse (*faccia incidente*) entra un raggio luminoso che, dopo aver subito all'interno del prisma **due riflessioni**, esce dall'altra (*faccia emergente*) deviato di 90°. I più noti tra questi piccoli strumenti sono illustrati nella ►TABELLA 1.

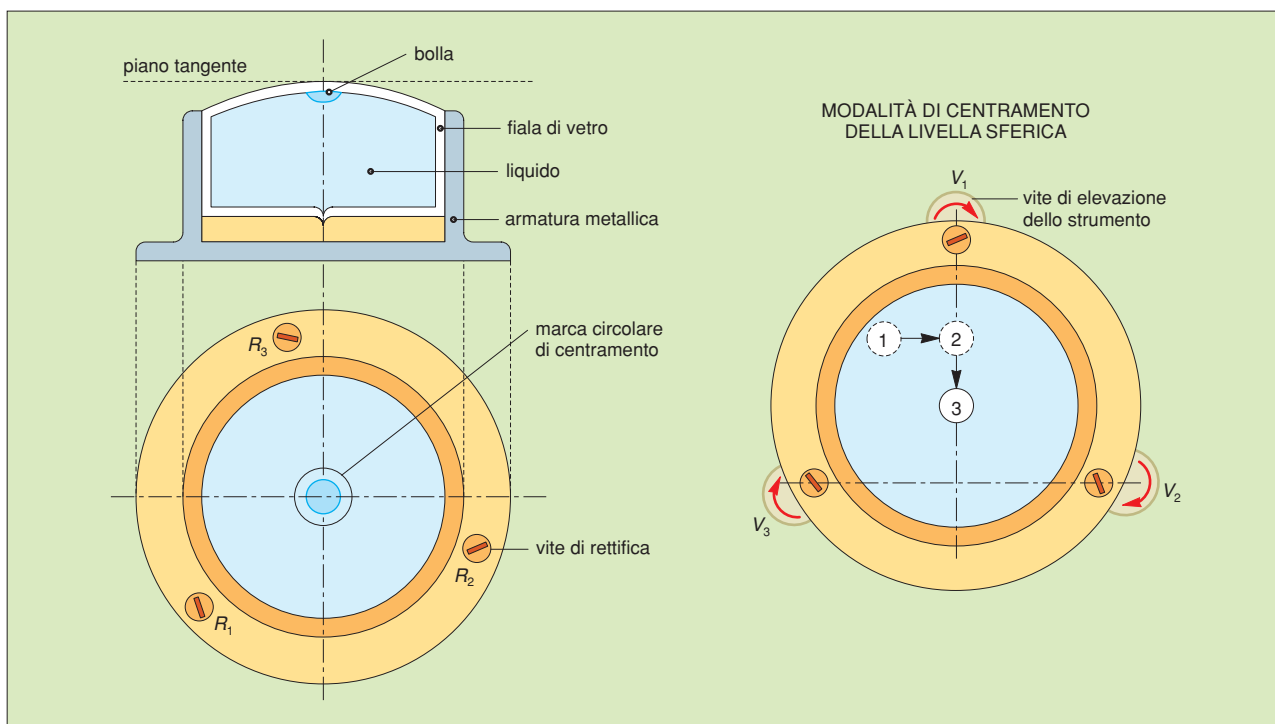
## 5. La livella sferica

La livella sferica è una *fiala di vetro* cilindrica la cui parte superiore è sagomata a forma di *calotta sferica* (►FIGURA 6). È contenuta in un'armatura metallica che lascia visibile all'operatore solamente la calotta sferica superiore, e può, generalmente, subire degli spostamenti per mezzo di tre **viti di manovra** ( $V_1, V_2, V_3$ ) disposte secondo i vertici di un triangolo equilatero. Sulla parte superiore della calotta sferica viene inciso un piccolo **cerchietto** che permetterà il centramento della livella.

La fiala è riempita quasi completamente di un liquido mobilissimo come *alcol*, *etere solforico*, ecc. Lo spazio rimanente è occupato dai vapori dello stesso liquido e costituisce la **bolla** della livella.

**FIGURA 6** Schema di livella sferica e modalità di centramento della bolla nella marca circolare.

La livella si dice **corretta** (rettificata) quando il *piano tangente* nel vertice della calotta sferica è *parallelo* al piano d'appoggio dell'armatura metalli-





7



8



9

FIGURA 7 Livella sferica da piano.

FIGURA 8 Vista dall'alto di una livella sferica con in evidenza la marca circolare di centrimento della bolla.

FIGURA 9 Livella sferica da applicare allo spigolo di una mira da rendere verticale.

ca. Per correggere eventuali errori, la livella è provvista di tre viti dette di **rettifica** ( $R_1, R_2, R_3$ ).

### ■ Impieghi della livella sferica

La livella sferica serve a rendere **orizzontale un piano** (► FIGURE 7, 8) o, se opportunamente montata, a rendere **verticale un asse** (► FIGURA 9). Nel primo caso l'armatura esterna è lavorata in modo da formare una base d'appoggio piana. Nel secondo caso è fissata all'asse da rendere verticale rispetto al quale, però, si possono dare piccoli spostamenti. Si dice **corretta** quando il *piano tangente* è *perpendicolare* all'asse.

La livella sferica si usa come livella ausiliaria per dare una **grossolana orizzontalità** ( $5' \div 10'$ ) a un piano, o una **approssimativa verticalità** a un asse.

Se una livella sferica è corretta, per rendere orizzontale un piano, o verticale un asse, non resta che agire sulle viti di sostegno del piano, o dell'asse, fino a centrare la bolla nel cerchio inciso sulla parte superiore della calotta sferica.

## 6. La livella torica

Ricordiamo che una superficie **torica** si realizza facendo ruotare un cerchio, detto *cerchio direttore*, attorno a un asse che giace sul suo piano ma che non taglia il cerchio stesso. In ► FIGURA 10 la traccia di tale asse è il punto  $O$ .

La *livella torica* è costituita da un tubo di vetro (detto **fiala**), chiuso ermeticamente alle estremità, piegato in modo tale da costituire una porzione di superficie torica. Il piccolo tubo viene riempito quasi totalmente con un liquido facilmente evaporabile, quindi *mobilissimo* (come etere, alcol o analoghi). Lo spazio non occupato dal liquido viene saturato dai vapori dello stesso liquido dando luogo alla **bolla** della livella.

Questa, essendo più **leggera** del liquido, si porta sempre nella parte alta del tubo. Se il suo punto centrale, indicato in ► FIGURA 10 con  $C$ , è il più alto, la bolla si disporrà *simmetricamente* rispetto a  $C$ ; in questa posizione il raggio  $R$  di curvatura, passante per  $C$ , si disporrà verticalmente e la tangente alla superficie torica in  $C$  sarà *orizzontale*.

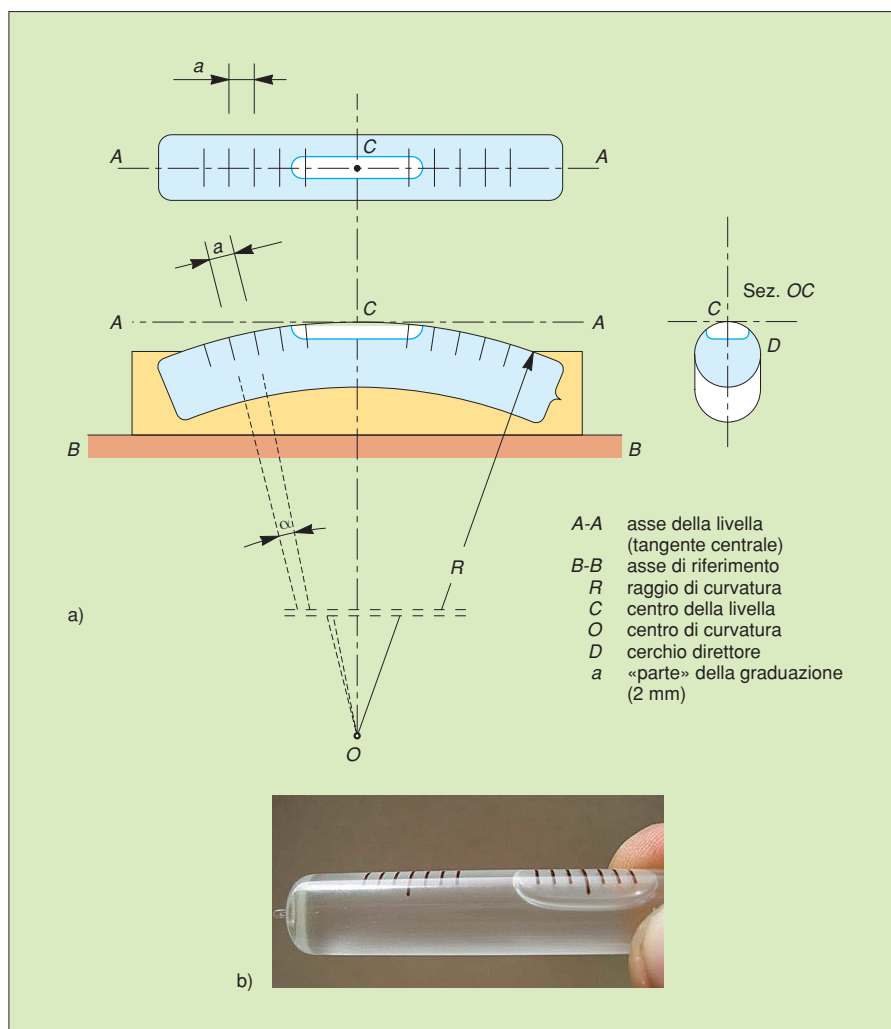
### FAQ

► **In quale condizione la bolla di una livella torica è centrata?**

La bolla è centrata quando il suo punto medio coincide con il punto centrale della graduazione, il che equivale a dire: quando le letture sui menischi laterali sono uguali.



**FIGURA 10** Schema di livella torica.



Questa tangente viene chiamata *asse della livella* oppure, e in modo equivalente, **tangente centrale**. Sulla parte superiore della fiala è incisa una *graduazione* i cui tratti sono posti a una distanza di  $a = 2 \text{ mm}$  (detta **parte**); tuttavia, nelle livelle di recente costruzione, il tratto centrale della fiala (lungo circa quanto la bolla) è privo di graduazione, come evidenziato in ►FIGURA 10. Ciò in quanto il centramento della bolla avviene attraverso i *menischi laterali* rendendo inutile la parte centrale della stessa graduazione.

Diremo che la bolla è **centrata** quando il suo centro coincide con il centro  $C$  della graduazione, cioè quando le letture sui menischi laterali sono uguali.

**FAQ**

► **Che cos'è la sensibilità di una livella?**

È l'angolo, espresso in secondi, di cui deve ruotare la livella affinché la bolla si sposti di 1 mm; essa dunque è calcolabile con la seguente espressione:

$$\alpha'' = \frac{1}{R} 206\,265$$

■ **Sensibilità della livella torica**

Appare evidente che esiste *proporzionalità* tra gli spostamenti della bolla e la rotazione della livella; in effetti possiamo facilmente calcolare l'angolo di cui deve ruotare la livella perché la bolla si sposti di un intervallo di graduazione (*angolo della parte*). Con riferimento alla ►FIGURA 10 ed esprimendo tale angolo in secondi sessagesimali si ha:

$$\alpha'' = \frac{a}{R} 206\,265$$

Si definisce **sensibilità** della livella torica l'angolo, espresso in secondi, di cui deve ruotare la livella perché la bolla si sposti di 1 mm; essa è calcolabile con l'espressione precedente semplicemente sostituendo ad  $a$  il valore 1 mm.

Tuttavia, nei cataloghi illustrativi degli strumenti si osservano notazioni del tipo: «sensibilità della livella 40"/2 mm», il che sta a significare che la graduazione ha parti di 2 mm e che la sensibilità è perciò di 20".

Naturalmente la sensibilità è inversamente proporzionale al raggio  $R$  di curvatura; perciò, fissata la sensibilità che si vuole assegnare a una livella, è possibile calcolare il corrispondente *raggio di curvatura*. Per esempio, se si vuole una livella con sensibilità di 10" il raggio di curvatura, dalla precedente relazione, sarà  $R = 20,62$  m.

Le livelle montate sugli strumenti topografici presentano sensibilità comprese tra 10" e 40" in funzione delle caratteristiche dello strumento. Le livelle con sensibilità inferiore ai 10" sono **instabili** (la bolla non raggiunge mai una posizione di equilibrio), pertanto, di fatto, inutilizzabili.

### ■ Impiego della livella torica per rendere orizzontale un asse

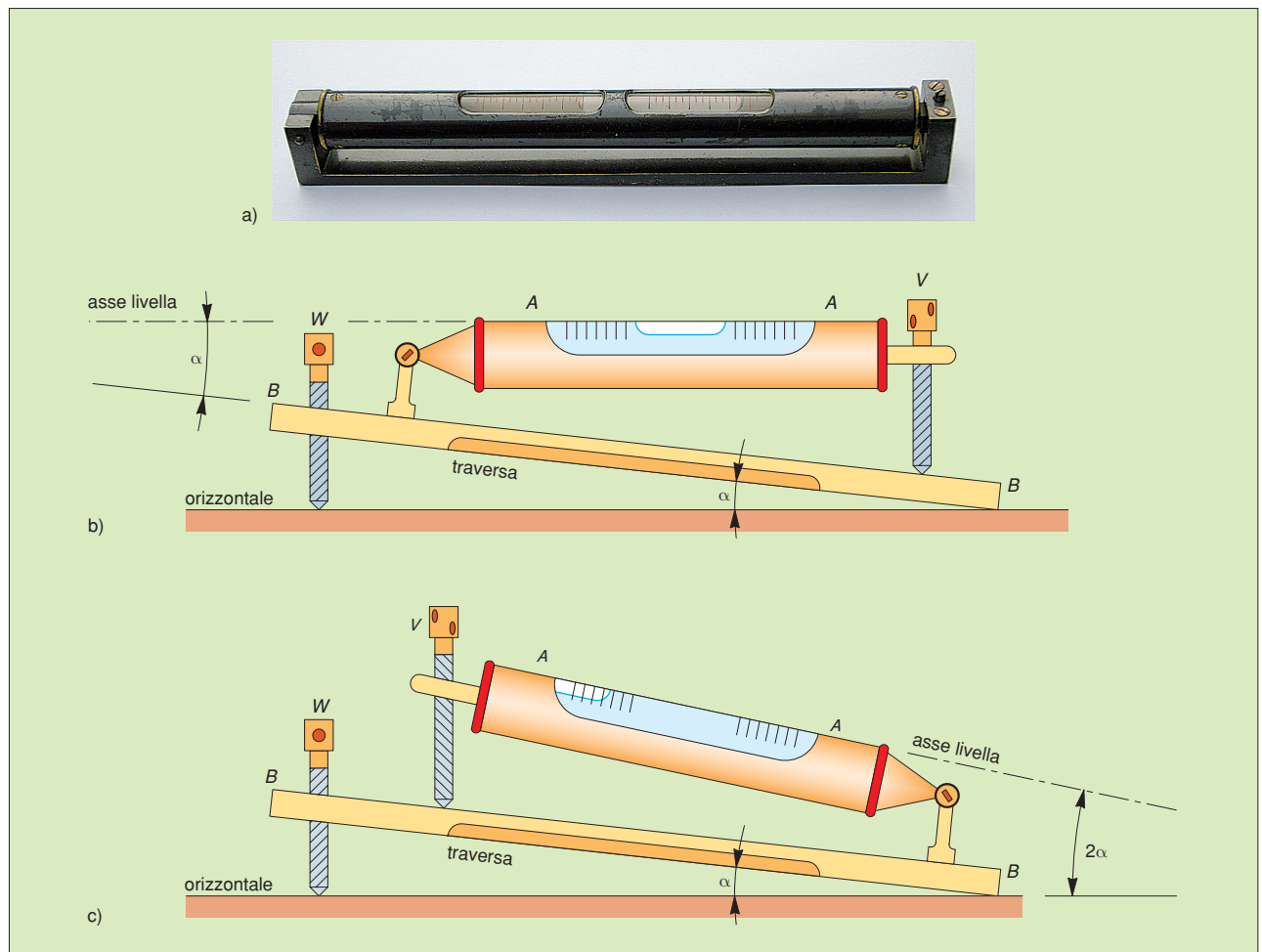
In genere la livella torica viene impiegata per rendere **orizzontale un asse**. In questo caso la fiala viene racchiusa in un *cilindro metallico*, che a sua volta è vin-

#### FAQ

► In una livella torica con bolla centrata, è possibile affermare che la retta d'appoggio è orizzontale?

No, lo è se la livella è corretta, cioè se esiste parallelismo tra retta d'appoggio e tangente centrale. Dunque il semplice centramento della bolla non garantisce l'orizzontalità della retta d'appoggio.

**FIGURA 11** Rettifica della livella torica per rendere orizzontale un asse.



## FAQ

## ► Quando una livella torica si dice rettificata o corretta?

Una livella è rettificata quando la tangente centrale risulta parallela alla retta d'appoggio.

colato a un supporto con *due montanti*; in uno il vincolo è costituito da una *cerniera*, mentre nell'altro è presente una vite *V* di *rettifica* (► FIGURA 11) che consente di variare l'*assetto* della fiala rispetto alla **linea di appoggio**. Perché sia possibile rendere orizzontale un asse, occorre disporre di una livella **rettificata**.

Una livella è **rettificata** quando la *tangente centrale* è *parallela* alla linea d'appoggio.

In questo caso è facile rendere orizzontale un asse; in effetti basta appoggiare la livella sull'asse, quindi far ruotare quest'ultimo finché la bolla sia centrata.

## ■ Verifica e rettifica della livella torica

Immaginiamo di considerare la livella di ► FIGURA 11b e di appoggiarla su di una traversa *B-B* regolabile a mezzo di una vite *W*.

Agendo sulla vite *W* della traversa centriamo la bolla; se la livella *non è rettificata*, la tangente centrale forma un generico angolo  $\alpha$  con la traversa, e quest'ultima forma lo stesso angolo con l'orizzontale. Invertiamo ora la posizione della livella sulla traversa, girandola di un angolo piatto. L'angolo  $\alpha$  rimane costante in valore, ma cambierà di segno, per cui la tangente centrale sarà ruotata rispetto all'orizzontale di  $2\alpha$ , dovuto alla mancata rettifica della livella e all'inclinazione della traversa (► FIGURA 11c).

Se la bolla si è spostata di  $n$  parti, la si dovrà allora ricondurre verso il centro di  $n/2$  parti con la vite *V* di **rettifica** della livella (così facendo si metterà la tangente centrale parallela alla linea degli appoggi), infine si centererà la bolla agendo sulla vite *W* della traversa. In tal modo si raggiunge il doppio scopo di rettificare la livella e di mettere orizzontale la traversa.

## ■ Impiego della livella torica nei goniometri

Nei goniometri la livella torica svolge la funzione di rendere orizzontale il **piano** contenente il cerchio orizzontale con il quale si misurano gli angoli.

In questo caso il piano da rendere orizzontale è provvisto di *tre viti calanti* (disposte a triangolo equilatero) agendo sulle quali si modifica l'*assetto* spaziale del piano stesso (► FIGURA 12).

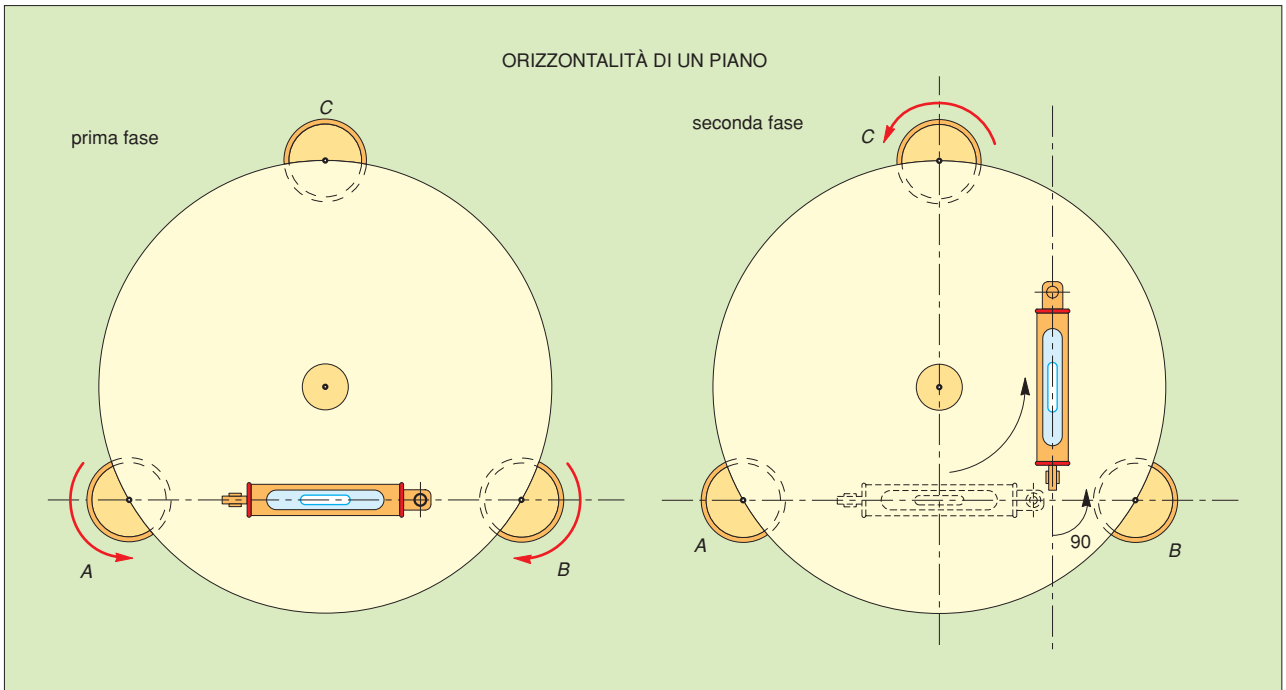
La procedura si sviluppa in **due fasi**; nella prima si dispone la livella parallela alla *coniungente* di due delle tre viti calanti, per esempio *A* e *B*, e si rende orizzontale la retta *AB* del piano nel modo prima descritto. Nella fase successiva si dispone la livella, *girandola di un angolo retto*, secondo una direzione *parallela* alla terza vite *C*, e si centra la bolla agendo **solo** su quest'ultima vite. In tal modo si sono rese *orizzontali* due rette, non parallele, del piano quindi si è reso orizzontale il piano stesso.

Negli strumenti elettronici più recenti la livella torica viene sostituita da una **livella elettronica**, il cui centramento virtuale viene eseguito su un display, la cui funzione, tuttavia, rimane del tutto immutata.

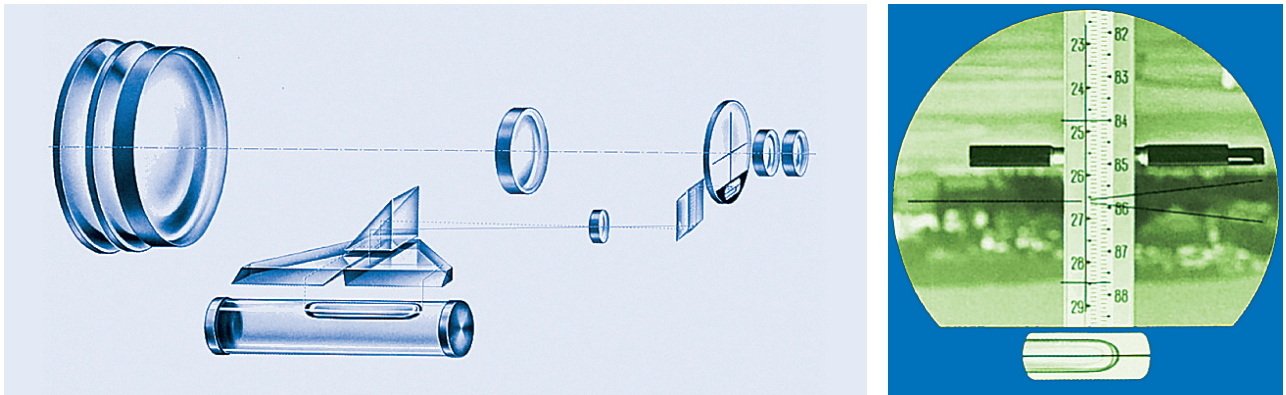
## ■ Livella a coincidenza di immagini

Allo scopo di migliorare decisamente la precisione con la quale si esegue il centramento della bolla, è stata ideata la **livella a coincidenza di immagini**.

Questa livella è costituita da una normale fiala, che, però, è priva di ogni graduazione. Essa viene osservata attraverso un **sistema ottico** costituito essenzialmente da tre prismi che, esplorando le due estremità della bolla, ne consentono il centramento facendone coincidere i menischi estremi (► FIGURA 13). Quando le



**FIGURA 12** Procedura per rendere orizzontale un piano, regolabile con tre viti calanti, con una livella torica.



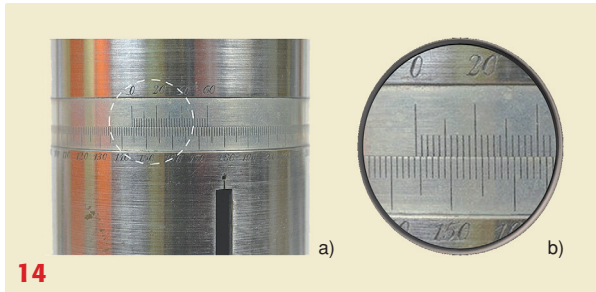
**FIGURA 13** Livella a coincidenza di immagini.

immagini delle due estremità della bolla coincidono, la livella è centrata; quando invece appaiono sfalsate, allora la bolla è fuori centro.

## 7. I microscopi di lettura

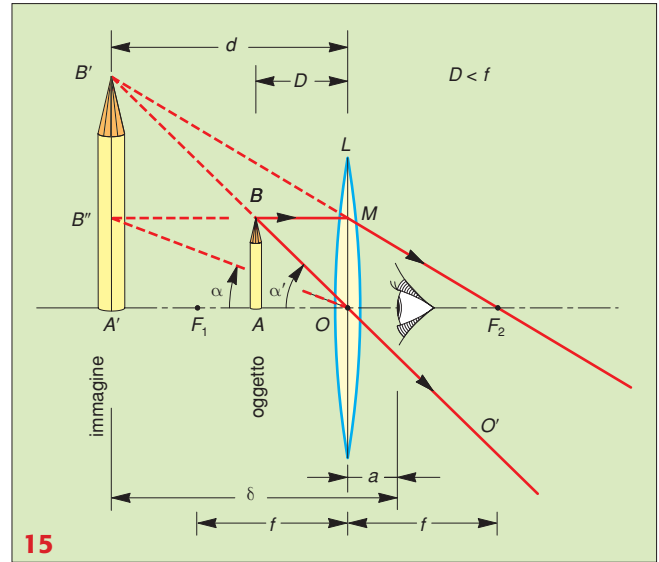
In passato le **misure** (*angoli e distanze*) venivano in genere effettuate con strumenti provvisti di **graduazioni** che consentivano l'esecuzione delle misure stesse. Allo scopo di eseguire nel modo migliore la lettura sulla scala delle graduazioni, questa non veniva osservata direttamente a occhio nudo, ma esplorata mediante apparati ottici, detti **microscopi**, la cui funzione era quella di **ingrandire** una **piccola porzione** di graduazione allo scopo di favorire una lettura più sicura (►FIGURA 14).

Nei moderni strumenti di misura, la presenza della componentistica **elettronica** consente la lettura **automatica** alle graduazioni. Pertanto, in essi, non sono presenti



**FIGURA 14** Graduazione (a) e ingrandimento di una sua porzione con un microscopio semplice (b).

**FIGURA 15** Schema ottico del microscopio semplice. L'oggetto deve essere compreso tra lente e fuoco, e la sua immagine è virtuale diritta e ingrandita.



i dispositivi di ingrandimento sopra citati, che, di seguito, saranno brevemente proposti unicamente per completezza della trattazione didattica e per interesse storico.

### ■ Microscopio semplice

Il *microscopio semplice* (lente di ingrandimento) serve per osservare oggetti vicini ma piccoli, la cui percezione, a occhio nudo, sarebbe incerta e confusa. È costituito, essenzialmente, da una lente convergente a piccola distanza focale  $f$  (pochi millimetri), e l'oggetto da osservare deve essere collocato tra la lente e il suo primo fuoco  $F_1$ , dunque a una distanza  $D$  inferiore alla stessa distanza focale  $f$  della lente ( $D < f$ ).

Con riferimento allo schema di ► FIGURA 15, l'oggetto  $AB$  da osservare (nel nostro ambito era un piccolo tratto di graduazione) viene collocato a una distanza  $D$  compresa fra il primo fuoco e la lente. In questo contesto all'occhio dell'osservatore, posto davanti alla lente, appare un'immagine virtuale, diritta e ingrandita, che si formerà a una distanza  $d$  dalla lente.

Affinché l'immagine sia percepita nelle condizioni di migliore visibilità, la distanza tra l'occhio e l'immagine ingrandita  $A'B'$  deve essere uguale alla cosiddetta **distanza della visione distinta**  $d$  (mediamente 250 mm). Perché ciò avvenga è necessario che l'operatore effettui una semplice **manovra** detta di *adattamento alla vista* così definita:

l'**adattamento alla vista** è un'operazione che consiste nell'imporre piccoli spostamenti alla lente (o all'oggetto) finché l'immagine  $A'B'$  non si forma alla **distanza della visione distinta**, dunque fintanto che essa viene vista nitida e senza sforzo.

Il microscopio semplice, come detto, produce un *ingrandimento* dell'oggetto osservato; per quantificare l'entità di tale ingrandimento si considera l'**ingrandimento lineare** del microscopio, definito come rapporto tra una dimensione dell'immagine e la corrispondente dimensione dell'oggetto:

$$I_l = \frac{A'B'}{AB} = \frac{d}{D}$$

#### FAQ

► **In cosa consiste l'adattamento alla vista in un microscopio semplice?**

In una manovra che prevede piccoli spostamenti della lente o dell'oggetto che dovrà portare l'immagine a formarsi a una distanza uguale alla distanza della visione distinta.

#### FAQ

► **Per quale ragione viene definito l'ingrandimento normale del microscopio semplice?**

Perché esso dipende solo dalla lente (microscopio), attraverso la sua distanza focale  $f$ ; dunque è un parametro distintivo del microscopio.

Così definito, però,  $I_l$  (detto anche **ingrandimento attuale**) non è una costante peculiare per un dato microscopio, essendo  $d$  e  $D$  variabili nei vari contesti con cui si osserva l'oggetto. Allora, per ottenere un parametro di ingrandimento **unico e specifico** per ogni microscopio, si calcola il precedente ingrandimento nella particolare configurazione, in cui l'occhio dell'osservatore si trova sul secondo fuoco  $F_2$  della lente. In tale contesto (tralasciando la dimostrazione) la formula precedente (con  $f$  in mm) assume la seguente forma, il cui valore viene detto **ingrandimento normale o convenzionale**:

$$I_n = \frac{\delta}{f} = \frac{250}{f \text{ (mm)}}$$

L'**ingrandimento normale**  $I_n$ , pertanto, non dipende più dalla posizione dell'oggetto, ma solo dalle caratteristiche della lente.

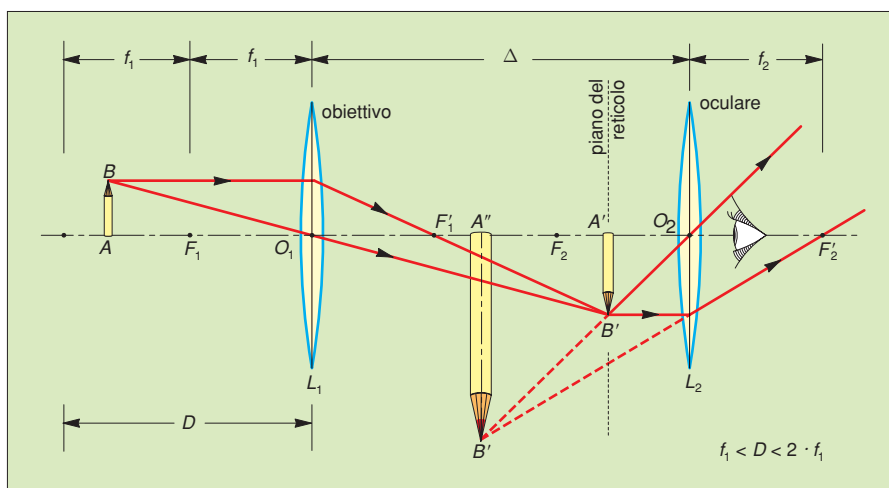
In pratica con il microscopio semplice possono solo ottenere ingrandimenti inferiori a  $10\times$ . Superare questo valore comporterebbe sensibili aberrazioni e un critico adattamento alla vista. Esso, come detto, era applicato nei vecchi strumenti topografici per eseguire le letture alle graduazioni; veniva montato su un tubicino e poteva subire piccoli spostamenti per *adattarlo alla vista* dell'operatore nell'osservazione della graduazione che si trovava in posizione fissa (► FIGURA 16).

## ■ Microscopio composto

In questo caso lo strumento è costituito dai seguenti due sistemi di lenti, **entrambi convergenti** e di **piccola** distanza focale, montati alle estremità di due tubicini coassiali scorrevoli (per consentire l'adattamento alla vista):

- **obiettivo**  $L_1$ , orientato verso l'oggetto da osservare;
- **oculare**  $L_2$ , dalla parte dell'occhio dell'osservatore.

L'oggetto da osservare (una porzione di graduazione) si trova a una **distanza fissa**  $D$  dall'obiettivo  $L_1$  compresa tra  $f_1$  e  $2f_1$ . In questo caso, come è noto, l'immagine fornita dall'obiettivo è reale, capovolta, ingrandita (► FIGURA 17). L'oculare  $L_2$  è posto in una posizione tale che l'immagine fornita dall'obiettivo venga a trovarsi a una distanza (dallo stesso oculare) inferiore alla sua distanza focale  $f_2$ . Quindi rispetto a questa immagine, pensata come oggetto, l'oculare funziona come un *microscopio semplice*. In definitiva si avrà un'immagine *virtuale, capovolta, ingrandita*.



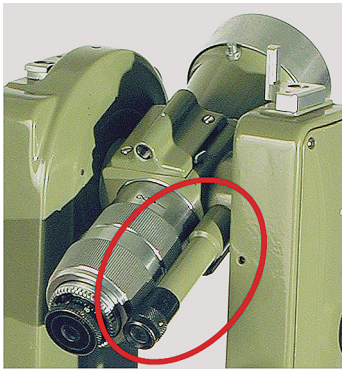
**FIGURA 16** Microscopio semplice utilizzato in un goniometro ottico per ingrandire un tratto di graduazione di un cerchio.

### FAQ

#### ► Cosa contiene il reticolo (o micrometro) di un microscopio composto?

**L'indice di lettura.** Si tratta di una semplice linea o un complesso di linee molto sottili, incise su un minuscolo vetrino collocato sul piano di formazione dell'immagine dell'obiettivo. Tali linee si vedranno sovrapposte all'immagine della graduazione, quindi ingrandite con essa dall'oculare. L'indice di lettura consente di eseguire la lettura alla graduazione con la precisione prevista.

**FIGURA 17** Schema ottico del microscopio composto; l'oggetto osservato è molto piccolo e si trova a una distanza fissa dall'obiettivo compresa tra  $f_1$  e  $2f_1$ .



**FIGURA 18** Microscopio composto utilizzato in un goniometro ottico per ingrandire un tratto di graduazione dei cerchi.

Anche nel microscopio composto, per quantificare l'ingrandimento dell'immagine ottenuta, viene utilizzato l'**ingrandimento lineare**  $I_l$  fornito dal prodotto degli ingrandimenti  $I_1$  dell'obiettivo e  $I_2$  dell'oculare:

$$I_l = I_1 \cdot I_2$$

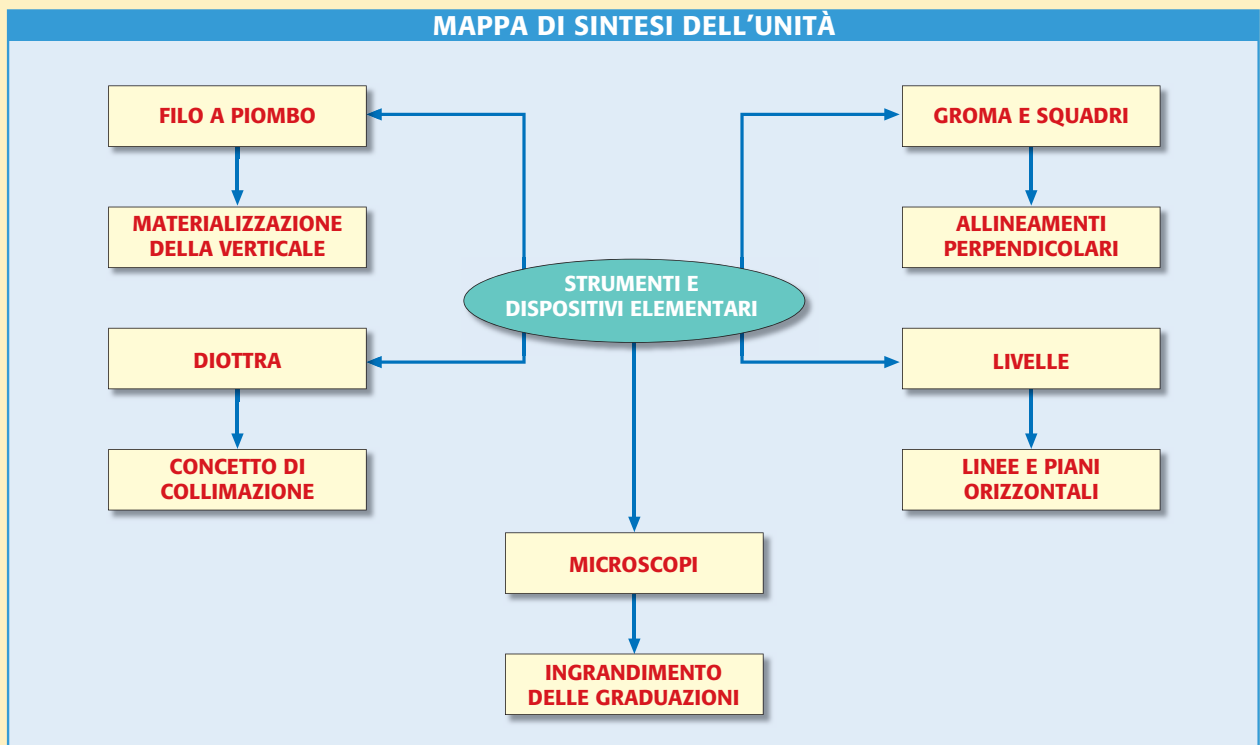
Con un microscopio composto si possono ottenere ingrandimenti fino a  $2000\times$ , tuttavia il microscopio composto che veniva utilizzato negli strumenti topografici non superava i  $100\times$ . Come nel microscopio semplice, anche nel microscopio composto è necessario effettuare l'**adattamento alla vista** facendo scorrere leggermente l'oculare rispetto all'obiettivo, il quale si trova in **posizione fissa**, dovendo rimanere invariata la sua distanza  $D$  dall'oggetto.

Negli strumenti topografici il microscopio composto veniva utilizzato nell'osservazione per trasparenza delle graduazioni incise su cerchi di vetro (►FIGURA 18).

Per poter effettuare le letture era necessario che vi fosse un **indice di lettura** (più o meno complesso) che materializzava il punto su cui eseguire la lettura stessa. Questo era costituito da una *semplice linea*, oppure da una struttura più complessa di *linee sottilissime*, incise su un **vetrino** collocato nel piano in cui si forma l'immagine dell'oggetto fornita dall'obiettivo (la prima), che appaiono all'osservatore sovrapposte all'immagine della graduazione, e in corrispondenza delle quali venivano effettuate le **letture**.

Tale vetrino con le relative incisioni prendeva il nome di **reticolo** o **micrometro**.

## Riassumendo

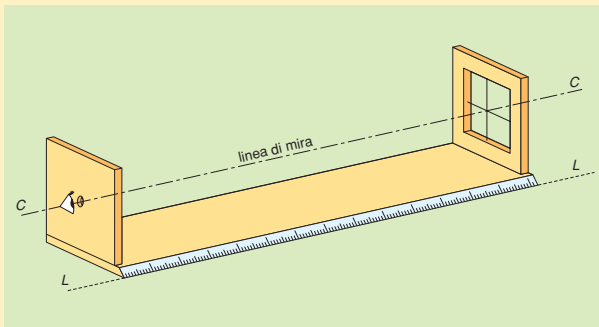


**Il filo a piombo:** è una massa metallica, sagomata a punta e sospesa a un sottile filo di nylon. Quest'ultimo si dispone lungo la direzione della forza di gravità, materializzando, pertanto, la *verticale* passante per un punto.

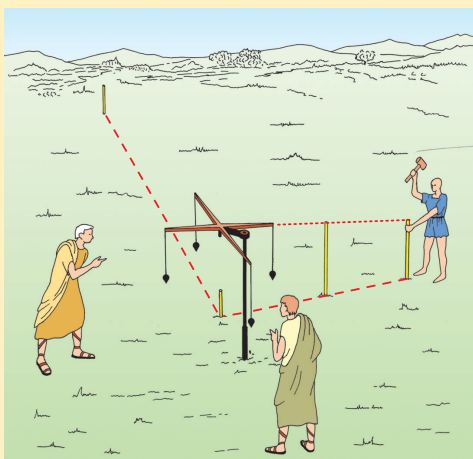
- In topografia trova svariate applicazioni. In effetti ogniquale sia necessario disporre della direzione della verticale passante per un punto, è possibile l'utilizzo del filo a piombo.
- La precisione con cui si definisce la verticale col filo a piombo è mediamente di 2'.

**La diottra classica:** era costituita da un *regolo* ai cui estremi si innalzano perpendicolarmente due *alette*, con opportune aperture. Si tratta di uno strumento antico, che serviva per tracciare su un piano da disegno (*tavoletta*), mediante la *linea di fede* predisposta sul regolo, parallela alla *linea di collimazione*, le tracce delle direzioni ai punti collimati. La diottra classica è uno strumento *a traguardo*, cioè un dispositivo che determina una *linea*, oppure il *piano di mira* o di *collimazione*.

- L'importanza attuale della diottra è solo di carattere didattico, per introdurre il concetto di traguardo e di collimazione.



**La groma:** è uno dei più antichi strumenti topografici, essendo stata utilizzata dagli agrimensori della Roma impe-



riale. Era costituita da una croce di bronzo sostenuta da un grosso bastone conficcato nel terreno. Alle estremità dei bracci della croce venivano sospese due coppie di fili a piombo che generavano due coppie di piani di traguardo verticali: il *cardo* e il *decumano*. Con essa si tracciavano allineamenti tra loro ortogonali.

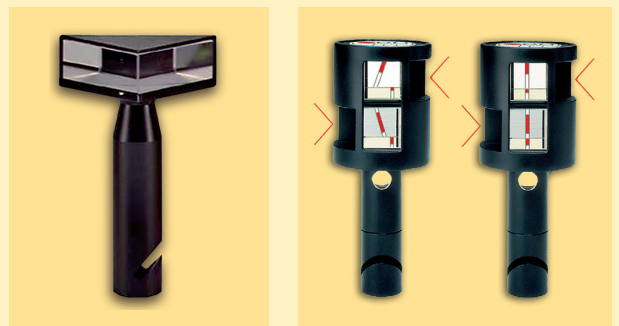
- Aveva notevoli dimensioni; al pari della diottra, il suo interesse attuale è unicamente didattico.

**Lo squadro agrimensorio:** è la versione più recente, con dimensioni ridotte, della groma romana. Esso è costituito da un bossolo metallico, di forma sferica o a prisma ottagonale, sulla cui superficie laterale sono ricavate quattro coppie di fessure, ciascuna delle quali costituisce un *piano di traguardo* verticale. Alternativamente queste coppie di traguardi sono ortogonali, quindi permettono di tracciare sul terreno allineamenti ortogonali.

- Lo squadro agrimensorio viene montato su treppiedi leggeri o su bastoni. Il suo asse di rotazione, detto *asse generale*, deve essere reso verticale con l'ausilio di una livella sferica.



**Gli squadri a prisma:** sono piccolissimi ed elementari strumenti topografici che svolgono la stessa funzione degli squadri agrimensori, cioè servono a tracciare sul terreno *allineamenti ortogonali*. Essi sono basati sulla presenza di prismi, di diversa forma. Un raggio luminoso penetra all'interno del prisma da una faccia di incidenza, quindi si riflette successivamente su altre due facce e infine esce da

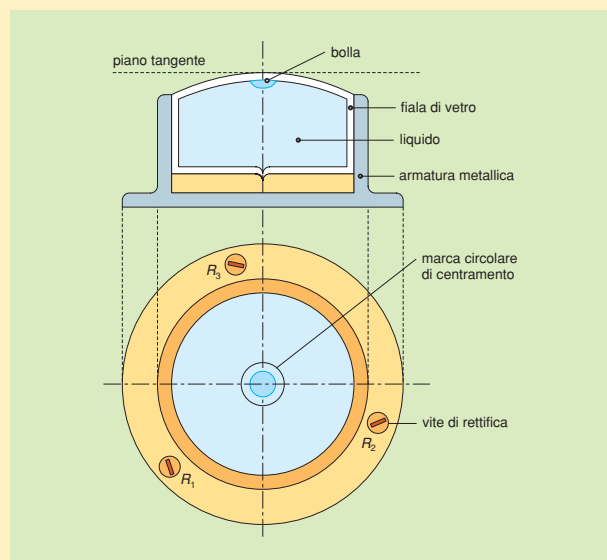




un'altra faccia (detta di emergenza); esso viene deviato di un angolo uguale a quello formato dalle facce di incidenza e di emergenza. Se questo angolo è di  $90^\circ$  il prisma funziona da squadra.

- Gli squadri più usati sono quelli che utilizzano due prismi sovrapposti in posizione speculare, detti a *croce di prismi*. Con essi si può facilmente collocare lo strumento su un allineamento presente sul terreno, quindi definire l'allineamento ortogonale.
- Sono strumenti leggeri, tascabili, di rapido impiego, di basso costo ma di modesta precisione, quindi il loro impiego deve essere limitato a operazioni di carattere approssimativo e speditivo.

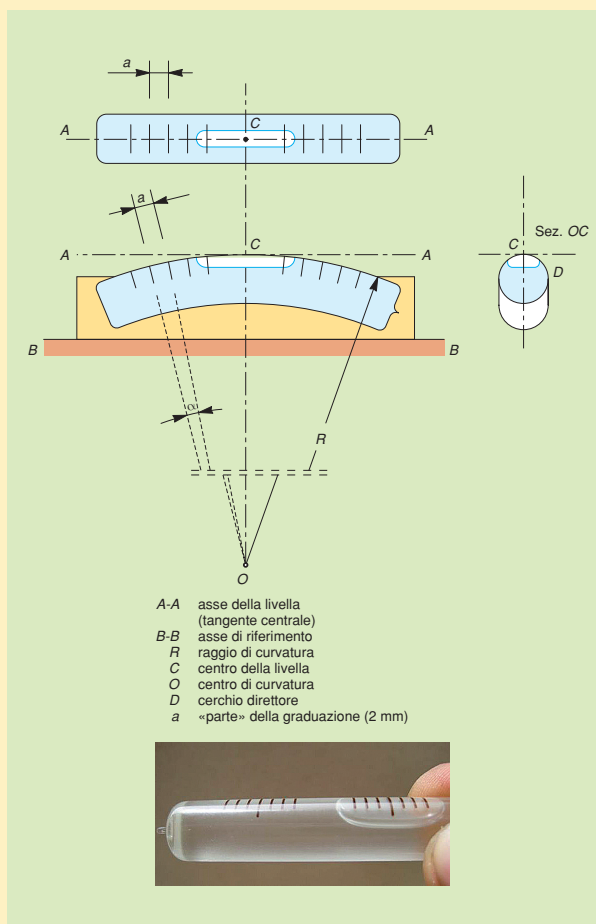
**La livella sferica:** è una piccola fiala di vetro cilindrica, chiusa nella parte superiore da una calotta sferica, in cima alla quale è inciso un piccolo cerchietto di centrimento. La fiala viene riempita non completamente con un liquido molto volatile. Lo spazio vuoto viene occupato dai vapori dello stesso liquido e costituisce la bolla della livella. La fiala viene montata solidalmente su un'armatura metallica che lascia visibile all'operatore solamente la calot-



ta sferica superiore. Una livella sferica serve a rendere orizzontale un piano, e, se montata in modo opportuno, a rendere verticale un asse. La livella sferica è corretta quando il piano tangente nel vertice della calotta sferica è parallelo al piano d'appoggio dell'armatura metallica.

- Una livella corretta rende orizzontale un piano (o verticale un asse) quando la bolla si trova centrata nel cerchio inciso sulla sommità della calotta sferica.

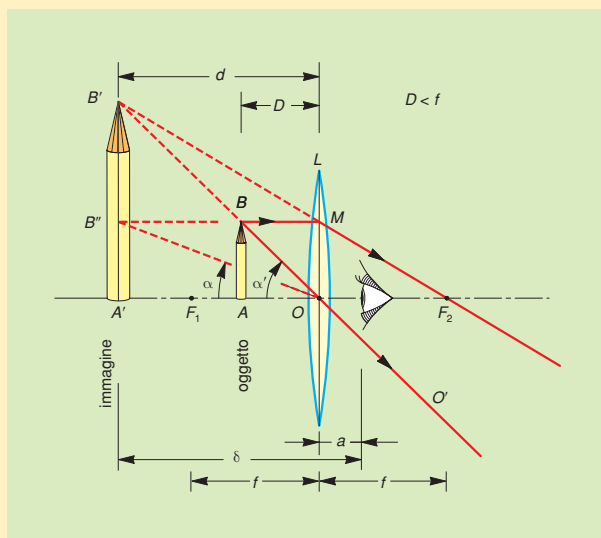
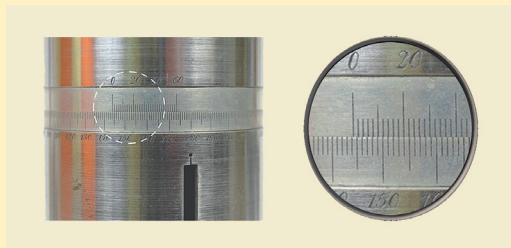
**La livella torica:** è una piccola fiala di vetro costituita da un tratto di superficie torica, riempita non completamente con un liquido molto volatile. Il restante spazio vuoto viene occupato dai vapori dello stesso liquido e costituisce la bolla della livella. La fiala viene montata solidalmente su un'armatura metallica (cilindro cavo) che lascia visibile all'operatore solamente la parte centrale superiore su cui è incisa una graduazione simmetrica con intervalli di 2 mm chiamati *parte*. Una livella torica è *corretta* quando la tangente alla superficie torica nel centro della graduazione è parallela alla base d'appoggio dell'armatura metallica. La bolla della livella è *centrata* quando il centro della bolla coincide con il centro della



graduazione. Una livella torica viene impiegata per rendere orizzontale una linea; tuttavia, rendendo orizzontali due linee complanari non parallele, con essa è possibile rendere orizzontale anche un piano. Quando una livella è corretta, per rendere orizzontale una linea basta disporre la livella lungo questa linea e centrare la sua bolla.

- Si definisce *sensibilità* della livella torica l'angolo, espresso in secondi, di cui deve ruotare la livella affinché la bolla si sposti di 1 mm; essa è calcolabile con la seguente espressione:  $\alpha'' = (1/R) 206265$ , essendo  $R$  il raggio di curvatura della superficie torica. Dunque la sensibilità è inversamente proporzionale al raggio  $R$ .
- Più piccolo è il valore della sensibilità (cioè l'angolo  $\alpha''$ ), maggiore è la precisione della livella. Tuttavia le livelle più precise, quindi con grande raggio di curvatura, sono anche molto instabili.
- In topografia le livelle toriche presentano sensibilità comprese tra  $8''$  e  $40''$ .
- Raramente le livelle toriche trovano impiego autonomo nell'ambito topografico; esse, invece, sono inserite come dispositivi su quasi tutti gli strumenti topografici.

**Microscopio semplice:** veniva usato nei vecchi strumenti per ingrandire piccole porzioni di *graduazioni*, al fine di rendere la conseguente lettura più sicura e affidabile. È costituito, da una lente *convergente* a *piccola*



*distanza focale*  $f$ , e l'oggetto da osservare deve trovarsi tra la lente e il suo primo fuoco  $F_1$ , cioè a una distanza  $D$  minore della distanza focale  $f$ .

- Per quantificare l'entità dell'ingrandimento viene usato l'ingrandimento lineare calcolato in una particolare configurazione (*ingrandimento normale* o *convenzionale*), fornito dalla seguente espressione:

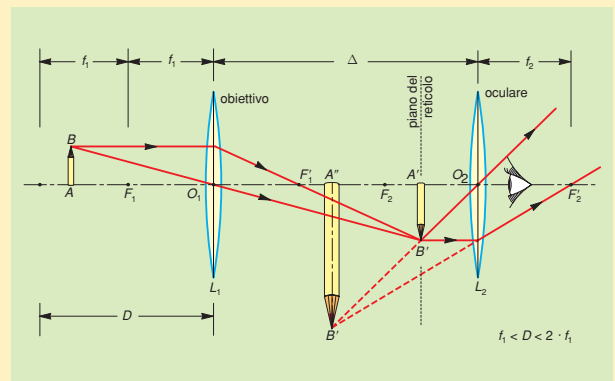
$$I_n = \frac{\delta}{f} = \frac{250}{f}$$

**Adattamento alla vista:** è una *manovra* con cui si impongono piccoli spostamenti alla lente, rispetto alla graduazione osservata, affinché l'immagine si formi alla *distanza della visione distinta*, cioè quando essa appare nitida e senza sforzo.

**Microscopio composto:** svolgeva la stessa funzione del microscopio semplice, ma con maggior efficienza. È costituito da due sistemi di lenti, *entrambi convergenti* e di *piccola distanza focale*, montati alle estremità di due tubicini coassiali scorrevoli (per consentire l'adattamento alla vista): l'*obiettivo* (con focale  $f_1$ ) e l'*oculare* (con focale  $f_2$ ). La piccola porzione di graduazione da ingrandire si doveva trovare a una distanza  $D$  *fissa* dall'obiettivo compresa tra  $f_1$  e  $2f_1$ .

- Per quantificare l'entità dell'ingrandimento viene usato l'*ingrandimento lineare* ottenuto dal prodotto degli ingrandimenti di obiettivo e oculare:

$$I_l = I_1 \cdot I_2$$



**Indice di lettura:** materializzava il punto su cui eseguire la lettura. Era costituito da una semplice linea, o da una serie più complessa di linee sottilissime, incise su un *vetri- no* collocato nel piano in cui si forma l'immagine dell'oggetto fornita dall'obiettivo e che consentiva di eseguire la *lettura* sulla graduazione. Tale sistema di linee viene detto *reticolo* o *micrometro*.

# Autovalutazione

## A. Verifica delle conoscenze

### QUESITI A RISPOSTA SINGOLA

- 1** Descrivere il principio di funzionamento degli squadri a prisma.
- 2** In che cosa consiste una croce di prismi, e qual è la particolarità del suo impiego?
- 3** Dare una descrizione sommaria di una livella sferica.
- 4** A che cosa serve una livella sferica, e quale precisione fornisce?
- 5** Descrivere parti e funzionamento di una livella torica.
- 6** Che cos'è la sensibilità di una livella torica?
- 7** Descrivere la procedura di verifica e rettifica di una livella torica.
- 8** Descrivere la procedura per rendere orizzontale un piano con una livella torica.
- 9** Cosa si deve spostare per adattare alla vista un microscopio semplice?
- 10** Descrivere il funzionamento ottico del microscopio composto quando si osserva un oggetto.
- 11** Perché per adattare alla vista un microscopio composto è sufficiente dare piccoli spostamenti alla lente oculare?

### QUESITI A RISPOSTA MULTIPLA

- 12** Con quale errore medio si realizza la verticalità di un asse utilizzando il filo a piombo?
  - a  $2^\circ$
  - b  $2'$
  - c  $2''$
  - d  $20''$
- 13** Con quale strumento è possibile disegnare in campagna le tracce dei punti collimati durante le operazioni di misura?
  - a con la groma
  - b con la diottra
  - c con lo squadra agrimensorio
  - d con nessuno dei precedenti

- 14** Con quale strumento è possibile realizzare in campagna allineamenti tra loro ortogonali?
  - a con la groma
  - b con lo squadra agrimensorio
  - c con lo squadra a croci di prisma
  - d con tutti i precedenti
- 15** Quale delle seguenti condizioni permette di affermare che una livella torica è corretta?
  - a la bolla è centrata
  - b la tangente centrale è orizzontale
  - c la tangente centrale è parallela alla linea di appoggio
  - d nessuna delle precedenti condizioni
- 16** Quale raggio di curvatura deve avere la superficie torica affinché una livella abbia una sensibilità di  $30''$ ?
  - a 6,9 m
  - b 30 m
  - c 3 m
  - d 70 cm
- 17** Una livella torica ha il raggio di curvatura della superficie torica di 12 m. Qual è la sua sensibilità?
  - a  $12''$
  - b  $17''$
  - c  $12'$
  - d  $24''$
- 18** Una livella torica ha sensibilità di  $20''$ ; se la sua bolla si è spostata di 3 parti di graduazione, quanto è inclinato il piano d'appoggio della livella?
  - a  $60''$
  - b  $3'$
  - c  $2'$
  - d nessuno dei precedenti
- 19** Una livella torica ha il raggio di curvatura di 20,62 m. Se la sua bolla si è spostata di 2 parti di graduazione, quanto è inclinato il piano d'appoggio della livella?
  - a  $40''$
  - b  $4'$
  - c  $2'$
  - d  $2'40''$
- 20** Con quale precisione si rende orizzontale un piano utilizzando una livella sferica?
  - a qualche secondo
  - b qualche decina di secondi
  - c qualche primo
  - d qualche decina di primi

**21** Quale parte manca in una livella torica a coincidenza di immagini?

- a) la bolla
- b) il supporto metallico
- c) la graduazione
- d) nessuno dei precedenti

**22** Quale, tra le seguenti livelle toriche, è più precisa?

- a) livella con sensibilità 20''
- b) livella con sensibilità 10''
- c) livella a coincidenza con sensibilità 10''
- d) hanno tutte la stessa precisione

**23** Se  $\delta$  è la distanza della visione distinta e  $f$  è la distanza focale, l'ingrandimento normale di un microscopio semplice è dato da

- a)  $1 + \delta/f$
- b)  $f/\delta$
- c)  $\delta/f$
- d)  $\delta \cdot f$

**24** L'ingrandimento di un microscopio composto con l'obiettivo che ingrandisce 6 volte e l'oculare 10 volte, sarà

- a)  $16\times$
- b)  $60\times$
- c)  $32\times$
- d)  $120\times$

**25** La prima immagine della graduazione dei cerchi data dall'obiettivo di un microscopio composto si forma sempre

- a) alla distanza della visione distinta
- b) sul piano del reticolo
- c) sul primo fuoco dell'oculare
- d) sul secondo fuoco dell'obiettivo

#### Risultati dei quesiti a risposta multipla

12b, 13b, 14d, 15c, 16a, 17b, 18c, 19a, 20c, 21c, 22c, 23c, 24b, 25b.