

B5

Il cannocchiale collimatore



TEORIA

- 1 L'apparato collimatore
- 2 L'occhio umano e la visione
- 3 Il cannocchiale
- 4 Effetto pratico del cannocchiale
- 5 Obiettivi e oculari nei cannocchiali
- 6 La collimazione assistita da camera digitale

RIASSUMENDO

AUTOVALUTAZIONE



Gli strumenti più sofisticati della pratica topografica, sia di interesse storico, sia di impiego attuale, hanno fra le loro componenti fondamentali il cannocchiale. L'immagine mostra un grande teodolite geodetico, classico strumento per la misurazione degli angoli, fabbricato a Londra nei primi anni del Novecento. Il cerchio verticale sul cannocchiale ha un diametro di 11 pollici.

1. L'apparato collimatore

Il concetto di *collimazione* è già stato introdotto nella precedente unità C3. Si tratta di un'operazione eseguita sistematicamente nel nostro contesto che può essere così sintetizzata:

la **collimazione** è quella manovra con cui l'operatore impone il passaggio della **linea di mira** del collimatore per un *punto* o un *riferimento* (asse verticale o orizzontale) appartenente a un elemento topografico (segnale, mira o particolare) (► FIGURA 1).

Negli strumenti antichi questa operazione veniva compiuta con un **apparato collimatore a traguardo**, dispositivo attraverso il quale il *riferimento* dell'oggetto da collimare veniva osservato a **occhio nudo**, dunque con evidenti limitazioni relative sia alle distanze, sia alla precisione dell'operazione.

A partire dalla seconda metà del Settecento, tale operazione ebbe un notevole miglioramento a seguito della sostituzione dei traguardi con il **cannocchiale** (sviluppato da Lippershey, Galileo e Keplero).

Con esso, infatti, gli oggetti osservati sono percepiti più **ravvicinati** (dunque i riferimenti possono essere osservati più chiaramente); inoltre, con l'effetto di aumentare il **potere separatore** naturale dell'**occhio** umano (v. paragrafo successivo), potenzia drasticamente la qualità e la rapidità dell'operazione di collimazione.

Tuttavia, l'operazione di collimazione, pur facendo affidamento su un dispositivo ottico molto efficiente come il cannocchiale, non è una operazione automatica, ma richiede l'azione dell'uomo che valuta le sue manovre utilizzando le sensazioni che gli derivano dai suoi **occhi**. Pertanto è necessario, prima di descrivere l'*apparato collimatore a cannocchiale*, soffermarci brevemente sulle proprietà dell'**occhio** umano che entrano in gioco durante la fase di **collimazione**.



FIGURA 1 Il cannocchiale, con la sua linea di mira, consente di collimare, in modo efficiente, punti e riferimenti di segnali e mire.

FAQ

► Quali tipi di collimatore si conoscono?

1. Il *collimatore a traguardi*, utilizzato negli strumenti antichi, con cui l'oggetto veniva osservato a occhio nudo, quindi con le sue dimensioni reali, e con evidenti limiti di impiego per distanze che non fossero modeste.

2. Il *collimatore a cannocchiale*, utilizzato a partire dal Settecento, che tuttora equipaggia i moderni strumenti topografici, con il quale possono essere osservati oggetti anche molto lontani conservando, comunque, una buona qualità della collimazione.

FAQ

► Perché l'occhio umano è dotato di potere di adattamento?

Per poter variare la distanza focale del cristallino in modo che l'immagine degli oggetti osservati si formi sempre sulla retina.

2. L'occhio umano e la visione

Prescindendo da ogni valutazione biologica, possiamo grossolanamente assimilare il funzionamento dell'**occhio** umano a quello di una *macchina fotografica*. In effetti i raggi luminosi, provenienti dall'oggetto osservato, attraversano la *cornea*, il **cristallino**, l'*umor acqueo* e l'*umor vitreo*, si proiettano sulla *retina*, che si comporta come la pellicola sensibile o un pannello CCD, con evidente analogia con la macchina fotografica (►FIGURA 2).

Il **cristallino** è una minuscola **lente** di tessuto umano trasparente le cui facce hanno raggi di curvatura sensibilmente diversi. Appositi muscoli, agendo sui **processi ciliari**, producono deformazioni alle facce del cristallino variandone i rispettivi raggi di curvatura, dai quali dipende la distanza focale *f*. Pertanto il cristallino si comporta come una **lente a distanza focale variabile**. Tale deformabilità è un elemento importantissimo per osservare gli oggetti alle diverse distanze. Infatti, per il cristallino è valida l'equazione (*equazione delle lenti sottili*):

$$\frac{1}{D} + \frac{1}{d} = \frac{1}{f}$$

In essa *d* (distanza fra cristallino e immagine) è **costante** in quanto *le immagini, per poter essere viste nitidamente, si devono sempre formare esattamente sulla retina*. Poiché invece *D* (distanza tra cristallino e oggetto) è **variabile**, dovrà essere **variabile** anche la distanza focale *f*.

Quando l'oggetto osservato si trova molto **lontano** (all'infinito) il secondo fuoco del cristallino cade sulla retina. Quando si osserva un oggetto **vicino**, *D* diminuisce e quindi anche la distanza focale *f* deve diminuire, tanto da permettere che *d* rimanga costante e cioè che l'immagine si formi sempre sulla retina; la diminuzione di *f* è causata dai *processi ciliari*, che aumentano la curvatura delle facce del cristallino. Questa operazione richiede buona tonicità dei muscoli che agiscono sui processi ciliari, tanto che a una certa età (in genere verso i quarant'anni), essa non avviene più in modo soddisfacente.

Quello descritto è il **potere di adattamento** dell'occhio, che è non solo completamente automatico, ma anche indipendente dalla volontà: non si può, cioè, *guardare senza vedere*.

Immaginiamo di mettere un oggetto molto vicino all'occhio e poi di allontanarlo. Dapprima lo si vedrà confuso poi, a una certa distanza, lo si vedrà nitido col **massimo sforzo** di adattamento; a questa distanza cade il **punto prossimo**. Se

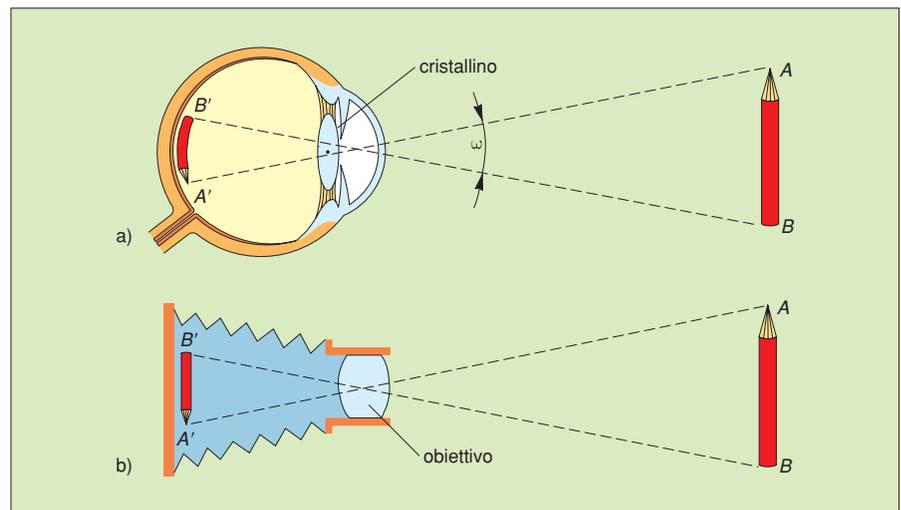


FIGURA 2 Formazione dell'immagine sulla retina dell'occhio e su una lastra fotografica: l'analogia dei due contesti è evidente.

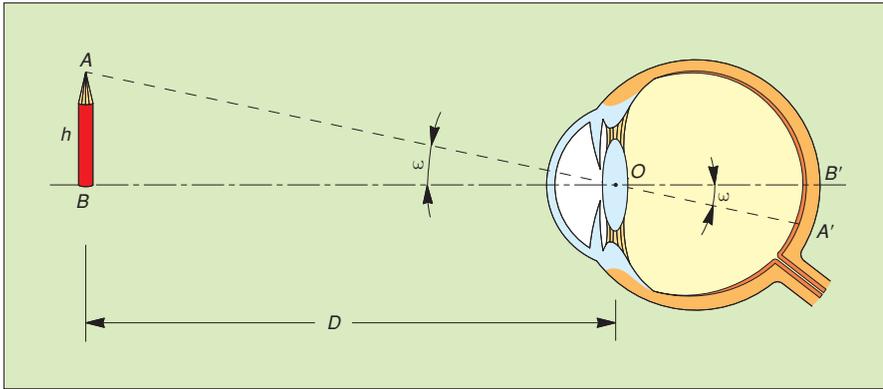


FIGURA 3 Schema per la definizione della grandezza apparente di un oggetto.

si allontana ancora l'oggetto, lo si vede sempre nitido ma sempre più piccolo; il punto all'infinito è detto **punto remoto**. Il potere di adattamento è limitato da questi due punti.

Tra il punto prossimo e il punto remoto si colloca un terzo punto che individua la **distanza della visione distinta**, cioè la distanza a cui si vede nitidamente un oggetto col minimo sforzo di adattamento; in pratica è la distanza a cui si legge un libro o un giornale.

Per un occhio giovane il **punto prossimo** si trova a circa 10 cm dal cristallino e la **distanza della visione distinta** è di circa 25 cm. In realtà questi valori variano da individuo a individuo.

■ Grandezza apparente

La **grandezza apparente** sotto cui si vede un oggetto è l'angolo ω che gli estremi dell'oggetto sottendono al centro del cristallino (► FIGURA 3).

Dal triangolo rettangolo ABO si può scrivere:

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{\overline{AB}}{D}$$

L'angolo ω è molto piccolo e quindi si può anche scrivere:

$$\omega'' = \frac{\overline{AB}}{D} \cdot 206\,265'' \quad (1)$$

Dalla (1) si deduce che la *grandezza apparente dipende dalle dimensioni dell'oggetto osservato e dalla distanza dall'osservatore a cui è collocato.*

■ Limite di visibilità

Al disotto di un certo valore di ω , che viene definito **minimo visibile** (o **limite di visibilità**), l'occhio non riesce più a distinguere la presenza o meno di un oggetto; se la *grandezza apparente* di un oggetto è *inferiore* al *minimo visivo*, non vi sarà nessuna percezione. I test per misurare il *minimo visibile* effettuati in condizioni di *massimo contrasto* (linea nera o punto nero su sfondo bianco) dimostrano che il **limite di visibilità** di un oggetto si ha in corrispondenza di un valore medio del *minimo visibile* di circa 20"; in condizioni normali tale valore aumenta.

FAQ

► **L'occhio viene sottoposto a uno sforzo maggiore per osservare oggetti lontani o vicini?**

Per oggetti vicini. Infatti in questa situazione i muscoli interessati alla deformazione del cristallino devono produrre il massimo sforzo.

■ Potere separatore

Il **minimo angolo di risoluzione** (o **potere separatore**) è il limite della facoltà dell'occhio di percepire come **oggetti separati** due punti o due linee parallele.

Questo **potere separatore** dell'occhio dipende dalla sua efficienza e può essere migliorato a seconda degli elementi osservati, dai colori e dalle condizioni dello sfondo. In pratica il *minimo angolo di risoluzione* esprime la *grandezza apparente* della più *piccola distanza* necessaria per poter osservare ben *distinte due linee parallele*. Il *potere separatore* assume valori maggiori di quelli del *limite di visibilità*: in un occhio normale e privo di difetti il *minimo angolo di risoluzione* assume mediamente il valore di circa $60''$; due linee nere parallele su sfondo bianco non appaiono più separate quando la loro distanza fa scendere la *grandezza apparente* sotto i $60''$. Se nella (1) si pone $\omega = 60''$ e si esplicita AB si ottiene:

$$AB = D \cdot \frac{60''}{206\,265''} \cong 0,00029 \cdot D$$

Quindi, per esempio, due linee parallele poste alla distanza di 100 m dovranno essere distanti circa 3 cm per poter essere osservate ben distinte in modo sicuro a **occhio nudo**.

■ Acuità di allineamento

La **localizzazione** (o **acuità di allineamento**) è il *minimo spostamento* percepibile tra *due tratti allineati* tra loro.

Questo tipo di acuità esprime la *grandezza apparente* della più *piccola distanza* tra i *due tratti neri* affinché l'osservatore possa identificare un **mancato allineamento**. Il *valore medio dell'acuità di allineamento* è di circa $5''$; quando si vuole giudicare se due tratti sono l'uno la prosecuzione dell'altro, o quando si vuole apprezzare se un sottilissimo filo è equidistante da altri due (► FIGURA 4), il *potere separatore* migliora notevolmente rispetto a quello dell'acuità di risoluzione.

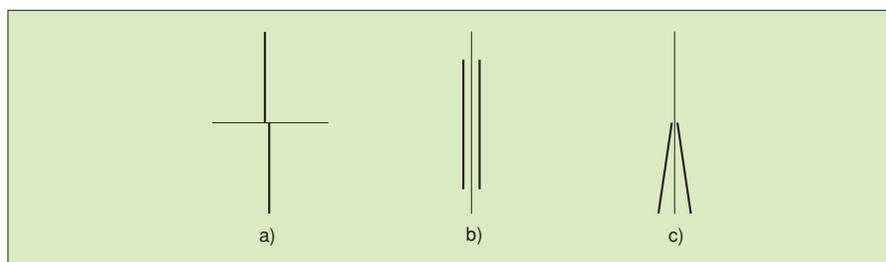
Anche l'osservazione degli oggetti con un **cannocchiale**, come si vedrà in seguito, migliora decisamente il *potere separatore* dell'occhio umano.

3. Il cannocchiale

■ Introduzione

Tra i componenti dei più moderni strumenti topografici, quello più longevo (unitamente alle livelle) è sicuramente il **cannocchiale** con funzioni di **collimatore**. Esso, infatti, dopo continui sviluppi e i miglioramenti ultrasecolari, nella sostanza

FIGURA 4 L'occhio presenta un significativo miglioramento del *potere separatore* quando valuta se due tratti sono o meno in prosecuzione tra loro (a) oppure se un filo è equidistante da altri due (b, c).





mantiene inalterate le sue caratteristiche di funzionamento. La ►FIGURA 5 illustra l'evoluzione degli aspetti esteriori che hanno subito i cannocchiali collimatori in oltre due secoli.

Il **cannocchiale topografico** viene utilizzato per osservare *oggetti lontani* e comunque posti a una *distanza* decisamente *maggiore* del *doppio della distanza focale* dell'obiettivo. Inoltre la *distanza* alla quale si trovano i vari oggetti osservati è, naturalmente, **variabile**. L'effetto è quello di farli vedere **ravvicinati**, quindi con una **maggiore grandezza apparente**.

Il **cannocchiale topografico** è un *apparato ottico* impiegato sugli *strumenti topografici* per consentire di osservare in **dettaglio** oggetti lontani e di **collimare** punti e riferimenti di segnali, cioè di *traguardarli* attraverso una **linea di mira**.

Fino alla seconda metà dell'Ottocento, negli strumenti topografici veniva montato come *collimatore* il **cannocchiale astronomico** a lunghezza variabile (o **cannocchiale di Keplero**) (►FIGURA 5a). Questo era composto essenzialmente da due lenti (**obiettivo** e **oculare**) e un **reticolo** portati ciascuno da un *tubo scorrevole* rispetto agli altri, in modo che i necessari *adattamenti* potessero essere effettuati variando la lunghezza del cannocchiale. La possibilità di far scorrere i tubi richiedeva che tra gli stessi vi fosse un *piccolissimo gioco* che non permetteva la perfetta ermeticità dello strumento alla *polvere* e all'*umidità*. Queste, entrando nel cannocchiale, causavano gravissimi *inconvenienti*, specialmente nei riguardi della *visibilità* dei *fili del reticolo* e della *chiarezza delle immagini*. Per rimediare vi è stato concepito il cannocchiale a **lunghezza costante** che da allora viene usato in tutti i goniometri, compresi i più moderni.

■ Descrizione

Il cannocchiale a **lunghezza costante** è uno strumento ottico costruito con l'**obiettivo** e il **reticolo** montati sullo stesso tubo in modo che la loro **distanza rimanga invariata**. Tra l'**obiettivo** e il **reticolo** è inserita una **lente divergente**, detta **collettiva**, portata da un supporto interno che si può far scorrere per mezzo di una **ghiera** esterna (►FIGURE 6 e 7).

La lente collettiva fa parte di fatto del **sistema obiettivo** ed è mobile rispetto alla lente più esterna (obiettivo vero e proprio). Quando alla *lente collettiva* si imprime uno **spostamento**, il complesso delle lenti, costituenti l'obiettivo, varia le sue caratteristiche ottiche, e conseguentemente varia la *distanza focale* del sistema risultante. Possiamo dire allora che in un cannocchiale a lunghezza costante l'**obiettivo è a distanza focale variabile**.

FIGURA 5 Aspetto esteriore dei cannocchiali nella loro evoluzione: (a) cannocchiale a lunghezza variabile di inizio '800, (b) cannocchiale a lunghezza costante montato su un teodolite di metà '900; (c) cannocchiale assemblato su una moderna stazione totale elettronica.

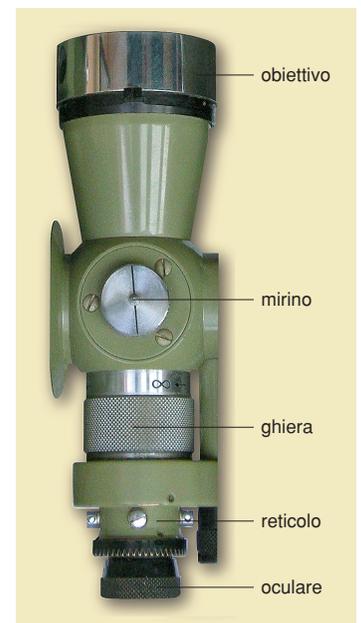
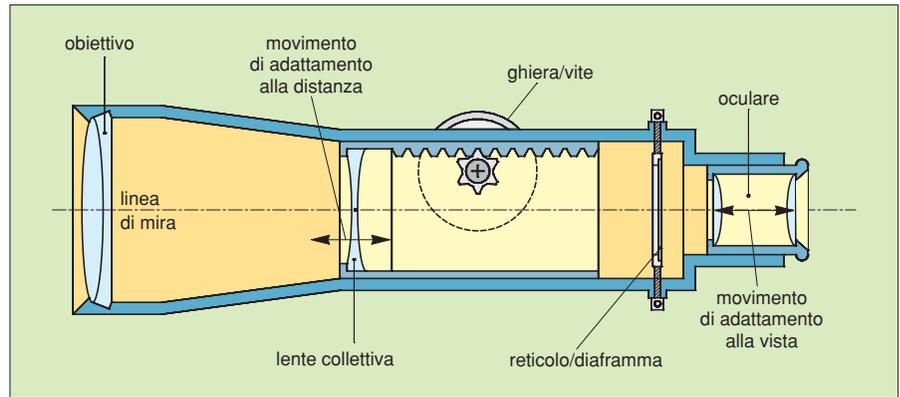


FIGURA 6 Cannocchiale topografico a lunghezza costante vista esterna.

FIGURA 7 Schema in sezione di un cannocchiale topografico.



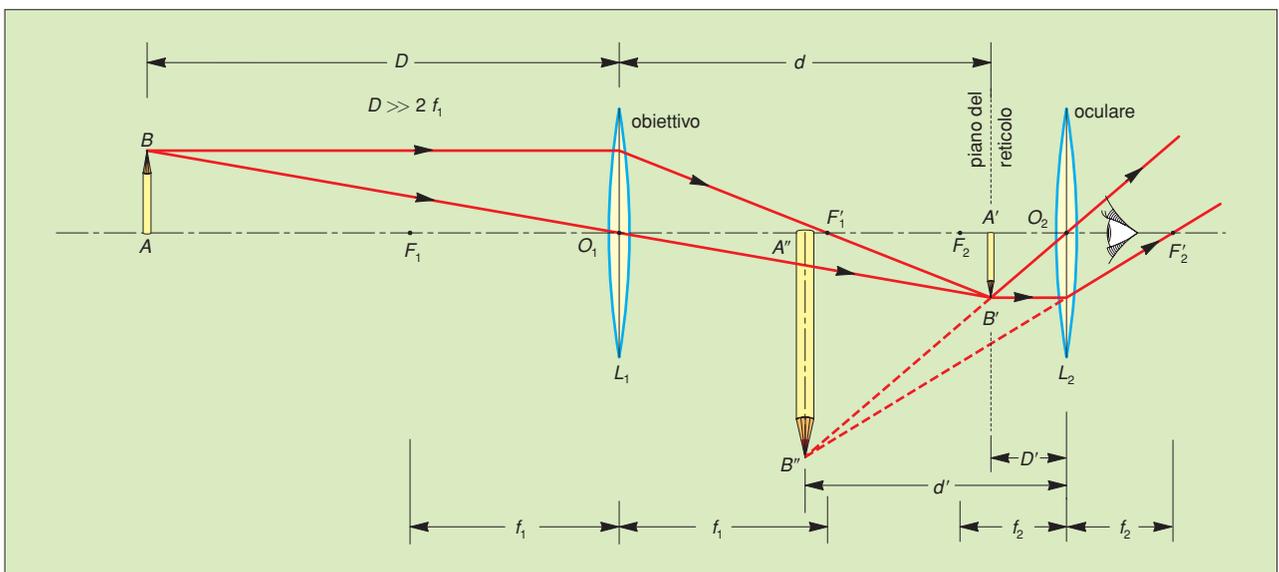
Quando si osserva un oggetto attraverso il cannocchiale, variando la distanza focale del sistema obiettivo spostando la lente collettiva per mezzo della ghiera (adattamento), si fa in modo che la *prima immagine* reale dell'oggetto data dall'*obiettivo* si formi sempre sul piano del reticolo. L'immagine viene poi ripresa dall'*oculare* che costruisce una *seconda immagine* dell'oggetto insieme a quella dei *fil del reticolo*. L'immagine finale fornita dallo strumento è *virtuale, ingrandita e capovolta* rispetto all'oggetto. Lo schema è riprodotto nella ►FIGURA 8, dove, per semplificare, è stata eliminata la lente collettiva che modifica soltanto la distanza focale dell'obiettivo.

Il **reticolo** è costituito da un vetrino su cui sono praticate delle sottilissime incisioni le cui intersezioni consentono di materializzare la linea di mira del cannocchiale. I tipi di reticolo più comuni sono quelli illustrati in ►FIGURA 9.

Il punto in cui si intersecano i fili si chiama **centro del reticolo**. Poiché l'obiettivo viene considerato come una lente di *spessore trascurabile*, l'**asse di collimazione** (o **linea di mira**) è la retta ideale che unisce il **centro del reticolo** con il **centro ottico dell'obiettivo**.

FIGURA 8 Formazione delle immagini nel cannocchiale topografico. Gli oggetti osservati si trovano a distanze variabili e molto più grandi del doppio della distanza focale dell'obiettivo.

Il piccolo vetrino su cui è stato fotoinciso il *reticolo* viene poi applicato al **diaframma** in corrispondenza del suo foro centrale. Come si è detto nella precedente unità C1, il *diaframma* è costituito da un disco metallico (dunque opaco) con



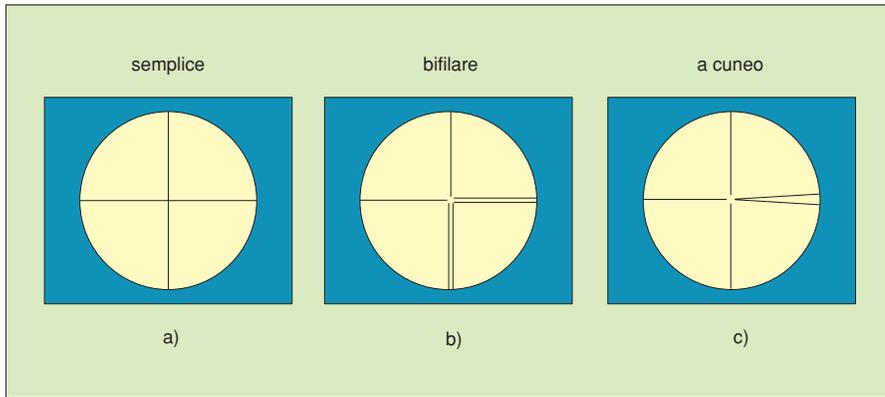


FIGURA 9 Tipi di reticolo per cannocchiale topografico: a) semplice; b) bifilare; c) a cuneo. Con essi il cannocchiale diventa un apparato collimatore.

un **foro centrale**, che pertanto lascia passare solo i raggi prossimi all'asse ottico dell'oculare, limitando l'**aberrazione sferica**.

Dato poi che il reticolo **materializza** la *linea di mira* del cannocchiale, per correggere un eventuale suo cattivo assetto, al *diaframma* (dunque anche al *reticolo*) possono essere imposti piccolissimi spostamenti tramite quattro **viti a contrasto** accessibili dall'esterno.

■ Ingrandimento convenzionale

Il cannocchiale produce l'effetto di **avvicinare** gli oggetti osservati (che pertanto appaiono più grandi) facendoli vedere sotto **angoli maggiori** di quelli che si sarebbero presentati se l'oggetto fosse osservato a occhio nudo. Per questa ragione il parametro di ingrandimento di un cannocchiale sarà di tipo **angolare** (rapporto tra l'angolo ω' sotto cui si osserva l'immagine e l'angolo ω sotto cui si osserva l'oggetto a occhio nudo).

Per ottenere un parametro unico e peculiare (dunque distintivo) di un dato cannocchiale, si fa riferimento a un particolare *ingrandimento angolare*, detto **ingrandimento normale** o **convenzionale**, determinato in una particolare configurazione del cannocchiale.

Tale configurazione, detta **telescopica**, si ottiene quando si osservano oggetti posti a **distanza infinita** (in pratica, tuttavia, tale configurazione si ottiene anche per distanze di qualche centinaio di metri). In questo caso l'immagine fornita dall'**obiettivo** si forma in prossimità del suo secondo fuoco, che viene a coincidere con il primo fuoco dell'**oculare**. In tale situazione si dimostra che l'*ingrandimento normale* è fornito dalla seguente relazione, tipica di ciascun cannocchiale:

$$I_n = \frac{f_1}{f_2}$$

In essa f_1 è la distanza focale del sistema obiettivo e f_2 quella dell'oculare. L'ingrandimento normale (come tutti gli ingrandimenti) è una grandezza adimensionale che nei cannocchiali montati sugli strumenti topografici varia da $30\times$ a $50\times$.

■ Adattamenti del cannocchiale

Prima di iniziare a usare un cannocchiale l'operatore deve **adattare** lo strumento alla propria *vista*. Infatti ogni occhio umano ha la *propria distanza della visione distinta*, diversa da quella degli altri, quindi il cannocchiale deve essere regolato in modo che le *immagini* che costruisce si formino in una posizione per cui l'os-

FAQ

► Quale funzione svolge il reticolo in un cannocchiale?

Materializza la linea di mira del cannocchiale consentendo l'operazione di collimazione dei punti o dei riferimenti di mire e segnali.

FAQ

► Perché ciascun operatore deve adattare alla vista il cannocchiale del goniometro?

Perché deve fare in modo che l'immagine dei fili del reticolo si formi alla propria distanza della visione distinta, che varia da individuo a individuo.



FIGURA 10 I fili del reticolo dopo avere effettuato l'adattamento alla vista.

servatore le possa vedere **nitidamente**. L'adattamento del cannocchiale richiede le seguenti due operazioni:

- l'**adattamento alla vista**, che riguarda l'*immagine del reticolo* data dalla *lente oculare*, viene effettuato preliminarmente e di norma non viene ripetuto;
- l'**adattamento alla distanza** (messa a fuoco), che riguarda l'*immagine dell'oggetto* prodotta dal *sistema obiettivo*, deve essere effettuato dopo l'adattamento alla vista, e deve essere ripetuto tutte le volte che cambia l'oggetto della collimazione (dunque la distanza).

Per **adattare alla vista** un cannocchiale bisogna **spostare l'oculare** fino a quando si vede *nitida l'immagine dei fili del reticolo*, cioè fino a che questa non si forma alla *distanza della visione distinta* dell'osservatore.

Per un buon adattamento alla vista, conviene dirigere il cannocchiale verso il cielo, o verso una parete chiara, o posizionare un foglio bianco davanti all'obiettivo, in modo che l'occhio possa concentrare tutta l'attenzione sui fili del reticolo. (► FIGURA 10).

Effettuato l'adattamento alla vista, si dirige il cannocchiale verso l'oggetto da osservare. L'immagine di quest'ultimo si vede confusa, e ciò è segno che la prima immagine dell'oggetto, data dal sistema obiettivo, **non si forma sul piano del reticolo**. Bisognerà allora effettuare l'*adattamento alla distanza*, che consiste nella seguente manovra.

Per **adattare alla distanza** un cannocchiale a lunghezza costante bisogna *spostare*, per mezzo di una ghiera, la **lente collettiva** rispetto alle altre lenti del sistema obiettivo, fino a quando l'*immagine dell'oggetto* appare *nitida* insieme a quella dei fili del reticolo, cioè fino a quando l'immagine finale dell'oggetto si forma alla *distanza della visione distinta* dell'operatore, insieme a quella dei fili del reticolo.

Poiché il cannocchiale è stato adattato alla vista, l'*immagine finale* dell'oggetto appare *nitida* solo quando la sua *prima immagine* si forma sul **piano del reticolo**.

■ Funzionamento del cannocchiale a lunghezza costante

Vediamo perché, al *variare* della distanza dell'*oggetto*, occorre *spostare* la lente collettiva di un cannocchiale a lunghezza costante affinché la prima immagine dell'oggetto, data dal sistema obiettivo, si formi sempre sul **piano del reticolo**.

Consideriamo l'apparato ottico di un cannocchiale a lunghezza costante. Siano f_1 ed f_c le *distanze focali fisse* delle lenti L_1 , convergente, ed L_c , divergente, che costituiscono il *sistema obiettivo*, e sia Δ la *distanza variabile* tra le due lenti. Ovviamente il reticolo rimane a *distanza invariata* l dalla L_1 (► FIGURA 11).

Il funzionamento del sistema obiettivo può essere analizzato considerando separatamente l'effetto delle lenti L_1 ed L_c che lo compongono. Siano A e A^* due punti *coniugati* rispetto alla lente L_1 . Indicando con D e d le distanze, rispettivamente, tra la lente L_1 e i punti oggetto e immagine, tra di loro sussiste l'*equazione delle lenti sottili*:

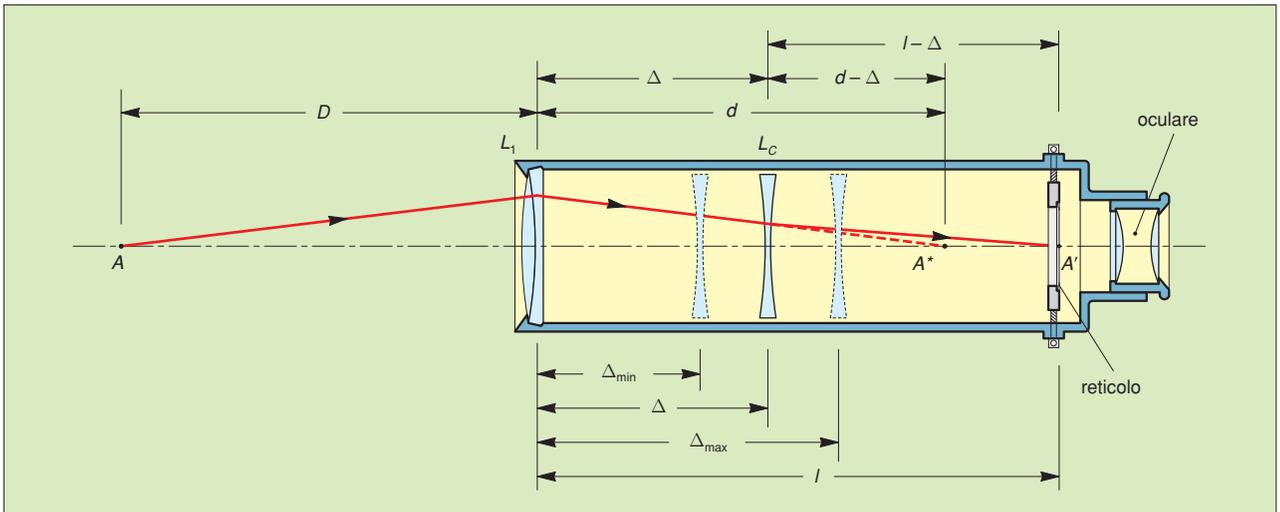
$$\frac{1}{D} + \frac{1}{d} = \frac{1}{f_1} \quad (2)$$

La presenza della lente L_c impedisce la formazione dell'immagine A^* : infatti, il raggio che dovrebbe convergere in A^* viene deviato dalla L_c (che sarà posizionata nella corretta posizione distante Δ da L_1), e convergerà nel punto A' situato sul piano del reticolo. Il punto A' è l'**immagine** di A rispetto al complesso delle due lenti, ed è anche l'immagine di A^* rispetto alla lente L_c . Pertanto anche le

FAQ

► **Perché a ogni collimazione è necessario adattare alla distanza il cannocchiale del goniometro?**

Perché cambiando la posizione dell'oggetto collimato cambia anche quella della prima immagine fornita dall'obiettivo, che deve essere riportata sul piano del reticolo per poterla vedere alla distanza della visione distinta.



distanze tra la lente L_c e i punti A' e A^* sono legate dall'equazione delle lenti sottili che, nello specifico, diventa (*equazione della lente collettiva*):

$$\frac{1}{l - \Delta} - \frac{1}{d - \Delta} = -\frac{1}{|f_c|} \quad (3)$$

dove per f_c il segno meno è stato messo in forma esplicita.

La prima immagine di A cade sul reticolo solo quando sono soddisfatte contemporaneamente la (2) e la (3). Quando si osserva un altro oggetto posto in una posizione diversa da quella di A , nella (2) cambia il valore di D e quindi deve cambiare anche quello di d ; ma la variazione di d comporta che la (3) risulta soddisfatta soltanto se viene modificato anche il valore di Δ perché le altre grandezze sono costanti.

Adattando il cannocchiale alla distanza, il valore di Δ può assumere una gamma di valori a seconda della posizione dell'oggetto. Il **valore massimo** di Δ si ha quando il cannocchiale è adattato per **distanze molto piccole** (2-3 m), mentre il **valore minimo** di Δ si ha quando il cannocchiale è adattato per **distanze grandissime**.

■ L'errore di parallasse

Effettuati gli adattamenti alla vista e alla distanza, i *fili del reticolo* e l'*immagine dell'oggetto* fornita dall'obiettivo debbono essere perfettamente coincidenti, cioè devono appartenere allo stesso piano. Se la coincidenza non sussiste, ciò si può facilmente scoprire concentrando l'attenzione su un filo e osservando se, spostando l'occhio davanti all'oculare, l'*immagine del filo resta fissa* o no rispetto a quella dell'oggetto. Se le immagini giacciono sullo stesso piano, comunque si muova l'occhio, il *filo apparirà sempre nella stessa posizione rispetto all'oggetto*; altrimenti il filo apparirà in posizioni diverse rispetto all'oggetto, secondo la posizione dell'occhio dell'osservatore. Nel secondo caso la collimazione è affetta da **errore di parallasse** (► FIGURA 12).

Per eliminare l'**errore di parallasse** bisogna **ripetere** le operazioni di *adattamento alla vista* e di *adattamento alla distanza* fino alla completa eliminazione dell'inconveniente, che è **temibile** in molte operazioni topografiche.

■ Cannocchiali a immagine dritta

Abbiamo visto che l'*immagine* fornita dal cannocchiale topografico è *capovolta* rispetto all'oggetto collimato. Anche se l'osservazione di immagini rovesciate non

FIGURA 11 Adattamento alla distanza di un cannocchiale a lunghezza costante. La posizione della lente divergente collettiva varia nell'intervallo tra Δ_{\min} (per oggetti molto distanti) e Δ_{\max} (per oggetti molto vicini).

FAQ

► Quando si presenta l'errore di parallasse?

Quando l'immagine dell'oggetto collimato fornita dall'obiettivo e quella dei fili del reticolo non si formano sullo stesso piano.

FAQ

► Come si elimina l'errore di parallasse?

Occorre ripetere con cura le operazioni di adattamento alla vista e di adattamento alla distanza, controllando il risultato con un leggero movimento dell'occhio davanti all'oculare.

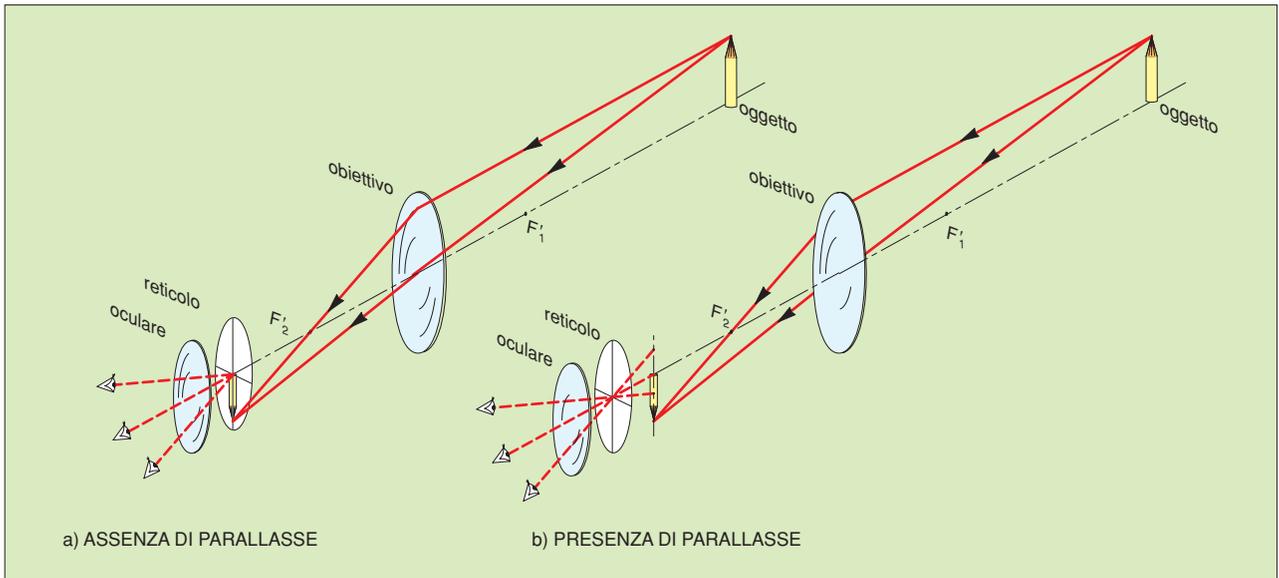


FIGURA 12 La collimazione è esente da parallasse (a) quando l'immagine dell'oggetto data dall'obiettivo e i fili del reticolo sono sullo stesso piano; in caso contrario (b), è affetta da parallasse.

comporta particolari difficoltà, operare con immagini diritte *facilita* e rende *più spedite le collimazioni*, perché la ricerca degli oggetti viene effettuata in un contesto non rovesciato. Per questo nei cannocchiali dei moderni strumenti topografici viene effettuato il **raddrizzamento dell'immagine**.

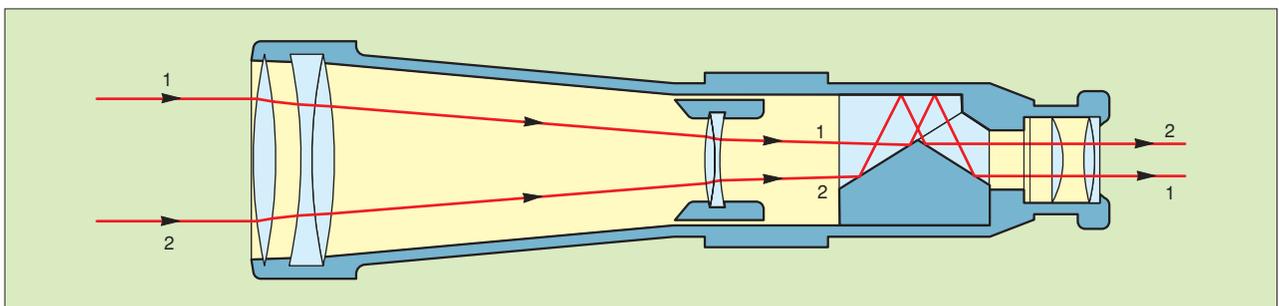
L'immagine viene **raddrizzata** mediante un *sistema prismatico* di forma particolare collocato tra la lente di focamento e il reticolo (► FIGURA 13).

Il raggio che proviene dall'obiettivo penetra nel prisma attraverso la prima faccia, che è perpendicolare a esso; incontra, quindi, la seconda faccia, che è inclinata in modo tale che l'angolo d'incidenza sia *superiore all'angolo limite*. Si ha, così, una *prima riflessione* sulla prima faccia inclinata del prisma che è stata resa speculare; quindi si ha una *seconda riflessione* che invia il raggio sulla seconda faccia inclinata, dove subisce la *terza riflessione* perché il suo angolo di incidenza è *maggiore dell'angolo limite*. Dopo la terza riflessione il raggio esce senza ulteriori deviazioni perché l'ultima faccia è perpendicolare al raggio. È evidente come la posizione dei raggi 1 e 2, rispetto all'asse del cannocchiale, dopo la terza riflessione sia rovesciata di 180° con il conseguente *raddrizzamento dell'immagine*.

■ Le fasi della collimazione

FIGURA 13 Schema ottico di un cannocchiale a lunghezza costante e immagine diritta.

La **collimazione** di un punto con l'impiego del cannocchiale (immaginando di avere già effettuato l'*adattamento alla vista* dei fili del reticolo) avviene con le seguenti tre azioni:



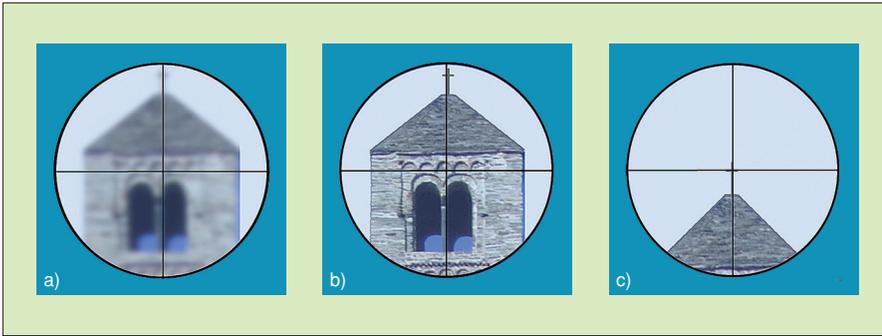


FIGURA 14 Le tre fasi con le quali si esegue la collimazione con il cannocchiale.

- portare il punto da collimare nel **campo** del cannocchiale con il **mirino** meccanico esterno, imprimendo al cannocchiale movimenti a mano: l'oggetto a cui appartiene il punto apparirà **sfuocato** o non apparirà affatto (► FIGURA 14a);
- eseguire l'**adattamento alla distanza** (messa a fuoco) agendo sull'apposita ghiera o tamburo fin quando si può osservare **nitidamente** l'oggetto (► FIGURA 14b);
- eseguire il **centramento** preciso del punto con le viti dei **piccoli movimenti** di cui è provvisto il goniometro su cui è montato il cannocchiale (► FIGURA 14c).

FAQ

► **Qual è l'effetto pratico di un cannocchiale sull'oggetto osservato?**

È quello di aumentarne la grandezza apparente, cioè di avvicinarlo a una distanza pari a quella effettiva divisa per il numero degli ingrandimenti del cannocchiale.

4. Effetto pratico del cannocchiale

Supponiamo di osservare un oggetto a occhio nudo; sia O il centro dell'occhio e AB la dimensione dell'oggetto posto alla distanza D dall'occhio (► FIGURA 15). Sappiamo che la **grandezza apparente** dell'oggetto è rappresentata dall'angolo ω . Essendo in pratica D molto grande in confronto alle dimensioni dell'oggetto, abbiamo visto che, esprimendo ω in secondi sessagesimali, si ha:

$$\omega'' = \frac{\overline{AB}}{D} \cdot 206\,265'' \quad (4)$$

Guardando lo stesso oggetto \overline{AB} attraverso il **cannocchiale**, vedremo l'immagine $A'B'$ sotto l'angolo ω_1 , maggiore di ω .

Sappiamo che l'**ingrandimento angolare** è il rapporto tra ω_1 e ω ; esprimendo gli angoli in secondi sessagesimali, si ha $I_a = \omega_1''/\omega''$ e cioè $\omega_1'' = I_a \cdot \omega''$. Sostituendo in quest'ultima espressione la (4) in luogo di ω'' si ottiene:

$$\omega_1'' = \frac{\overline{AB}}{D/I_a} \cdot 206\,265'' \quad (5)$$

Confrontando la (4) e la (5), si vede che esse sono uguali a meno del denomina-

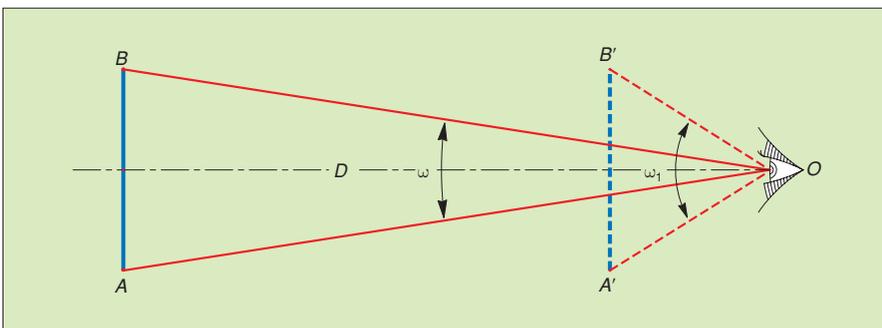


FIGURA 15 Grandezza apparente di un oggetto visto a occhio nudo (ω) e attraverso il cannocchiale (ω_1).

tore. Assumendo per I_a il valore dell'**ingrandimento normale** ($I_a = I_n$), possiamo formulare il seguente enunciato:

se un oggetto è alla distanza D da un osservatore, l'angolo sotto cui si vede attraverso il cannocchiale è uguale a quello sotto cui si vedrebbe a occhio nudo **avvicinando** lo stesso oggetto a una distanza dall'occhio pari al rapporto D/I_n .

In pratica, l'effetto del ravvicinamento è anche quello di **aumentare** il *potere separatore dell'occhio*, il cui valore medio, come abbiamo visto, si può ritenere di $60''$. Guardando attraverso un cannocchiale d'ingrandimento I_n , questo potere diventerà $60''/I_n$.

Dalla formula (5) possiamo ricavare la **distanza** AB che devono avere due oggetti per essere **percepiti separatamente** (*potere separatore*) alla distanza D guardando con un cannocchiale d'ingrandimento I_n . Risolvendo rispetto ad AB e ponendo $60''$ al posto di ω_1' , dalla (5) si ottiene:

$$\overline{AB} = \frac{60'' \cdot D}{206\,265'' \cdot I_n} \quad (6)$$

Dunque, il cannocchiale produce anche l'effetto di **aumentare** il potere separatore dell'occhio (mediante $60''$), diminuendo l'angolo sopra il quale gli oggetti sono percepiti in modo distinto a $60''/I_n$.

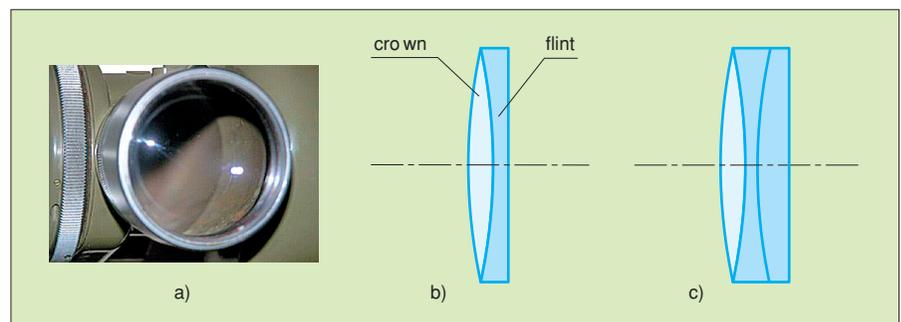
5. Obiettivi e oculari nei cannocchiali

L'obiettivo dei cannocchiali topografici deve essere costruito in modo da attenuare l'**aberrazione cromatica**; non si considerano le **aberrazioni di sfericità** in quanto il **diaframma** fa sì che arrivino all'oculare solo i raggi centrali. Per questo gli obiettivi dei cannocchiali sono costituiti, per lo più, da due (o tre) lenti a contatto: quella di sinistra, convergente, formata da vetro *crown* (ai sali di sodio) è rivolta all'esterno; quella di destra, divergente, è formata da vetro *flint* (ai sali di piombo) (► FIGURA 16). Con questo accoppiamento si ottiene un sistema di lenti *acromatico*, cioè con l'*aberrazione cromatica* pressoché nulla. In qualche cannocchiale l'obiettivo è formato da tre lenti, delle quali una convergente di crown, e due divergenti di flint; con questo sistema il cromatismo risulta ancora più contenuto (*apocromatico*).

Anche l'oculare del cannocchiale non è mai formato da una lente, ma, in generale, da due o più lenti (► FIGURA 17), opportunamente accoppiate per attenuare sia le **aberrazioni di sfericità** che le **aberrazioni di cromatismo**. In ogni caso le *aberrazioni di sfericità* vengono parzialmente eliminate facendo entrare soltanto i raggi luminosi prossimi all'asse ottico. Gli oculari possono essere **a fuoco esterno** (*oculari positivi*) o **a fuoco interno** (*oculari negativi*).

Negli oculari a fuoco esterno, il primo fuoco della lente risultante non è compreso tra le due lenti, ma esternamente a queste e precisamente a sinistra della prima lente se la luce viene da sinistra.

FIGURA 16 a) Obiettivo di un cannocchiale topografico. b, c) Schemi di obiettivi per cannocchiali. Sono costituiti da due o più lenti di vetro con diversa densità, dunque diverso indice di rifrazione: doppietto acromatico (b) e tripletto apocromatico (c).



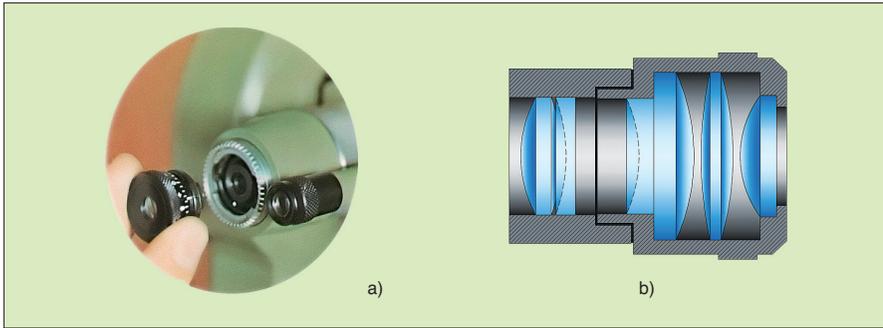


FIGURA 17 a) Oculare di un cannocchiale topografico. b) Schema di oculare per cannocchiali.

6. La collimazione assistita da camera digitale

In precedenza si è affermato che il cannocchiale costituisce, ormai da due secoli, l'**apparato collimatore** degli strumenti topografici. Tuttavia, negli strumenti attuali più sofisticati (ma anche più costosi), dotati di **movimenti motorizzati** controllabili anche a distanza, e che verranno esaminati nella seconda parte del corso, la manovra di **collimazione** può essere assistita da una **camera digitale**.

In effetti questi strumenti sono dotati di una **camera digitale** grandangolare (5-8 megapixel, zoom ottico), con la quale, oltre a **documentare** il rilievo con **immagini**, è anche possibile eseguire, a certe condizioni, vere e proprie **collimazioni a video** (dunque senza l'uso del cannocchiale), sfruttando le caratteristiche **touch-screen** del display su cui viene inviata l'immagine degli oggetti antistanti lo strumento (►FIGURA 18).

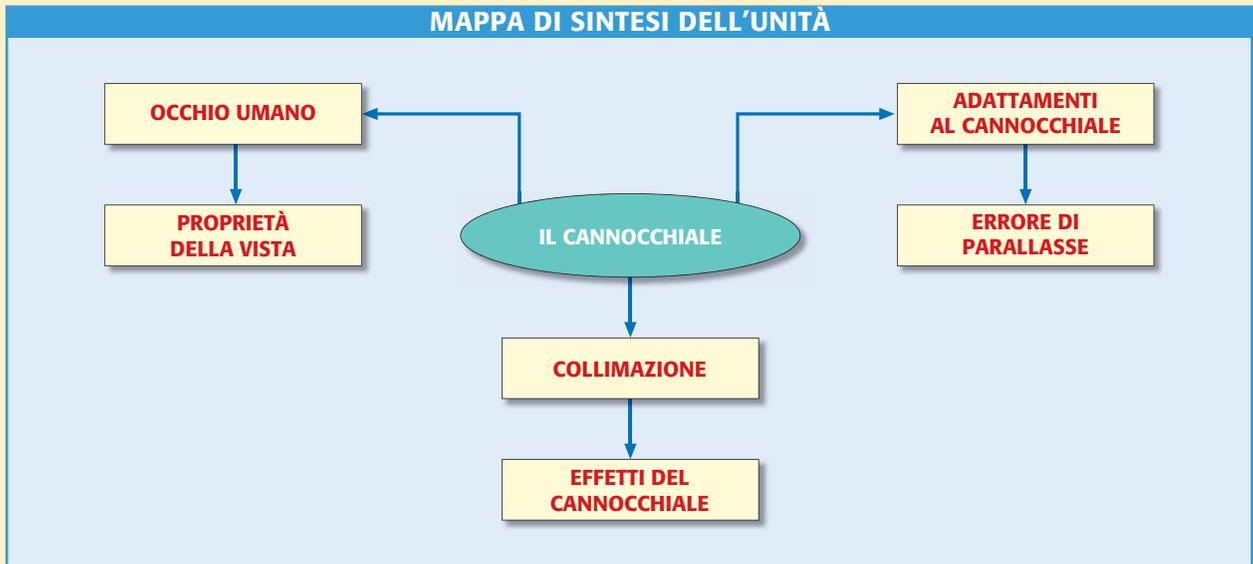
La manovra consiste nel **selezionare** sul display, con lo stilo, la parte dell'oggetto desiderato, migliorando via via la scelta utilizzando lo zoom della camera, e lo strumento si posizionerà sul punto scelto pronto a eseguire le misure necessarie.

Naturalmente tale apparato digitale non sostituisce il cannocchiale (indispensabile per le collimazioni di precisione e a grandi distanze), ma si affianca a esso per migliorare la **produttività** delle operazioni topografiche eseguite con tali strumenti.



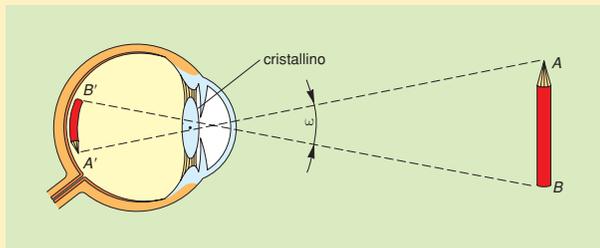
FIGURA 18 a) Moderno strumento topografico in cui il cannocchiale è affiancato da una camera digitale, con la quale, oltre a documentare il rilievo, è possibile rendere più rapida la collimazione dei punti. b) Display touch-screen dello strumento topografico illustrato nella figura precedente; utilizzando l'apposita funzione è possibile effettuare, a certe condizioni, collimazioni a video, migliorando la produttività dello strumento.

Riassumendo



Strumenti ottici: dispositivi che vengono montati sugli *strumenti topografici* per *ingrandire* i particolari degli oggetti osservati secondo le leggi dell'*ottica geometrica*.

Funzionamento ottico dell'occhio umano: osservando un oggetto, fornisce sulla *retina*, mediante il *cristallino* che funziona come una minuscola *lente*, una *immagine capovolta e rimpicciolita* rispetto all'oggetto.



Potere di adattamento: capacità dell'occhio umano di modificare la curvatura del *cristallino* per *variarne* la *distanza focale* in modo che l'*immagine* di un oggetto osservato si formi *sempre* sulla *retina*.

- Indicando con D la distanza variabile tra l'occhio e un oggetto osservato, con d la distanza sempre uguale tra l'immagine e il cristallino, e con f la distanza focale del cristallino, la costruzione dell'immagine avviene secondo l'equazione:

$$\frac{1}{D} + \frac{1}{d} = \frac{1}{f}$$

Poiché D varia mentre d è costante, deve variare anche f perché tale equazione possa essere soddisfatta.

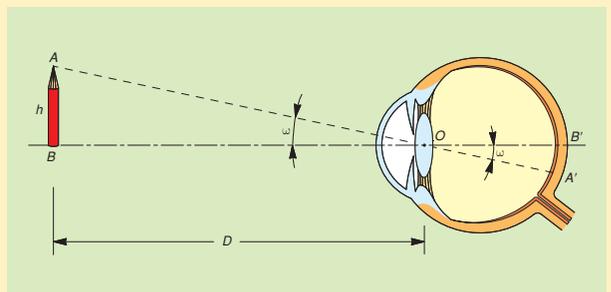
Distanza della visione distinta: è la *distanza* a cui un osservatore vede *nitidamente* un oggetto col *minimo sforzo* di adattamento.

- La distanza della visione distinta è *variabile* da individuo a individuo; per un occhio normale è mediamente di circa 25 cm.

Grandezza apparente: è l'*angolo* che gli *estremi* di un oggetto osservato *sottendono* al *centro del cristallino*.

- Indicando con D la distanza tra l'oggetto e il cristallino di un osservatore, se la lunghezza dell'oggetto è AB , la sua *grandezza apparente* ω in secondi sessagesimali è data da:

$$\omega'' = \frac{AB}{D} 206265''$$



- La *dimensione minima* che deve avere un oggetto ben «contrastato» per poter essere visto chiaramente è l'*acuità di visibilità*, corrispondente alla grandezza apparente $\omega'' = 20''$.

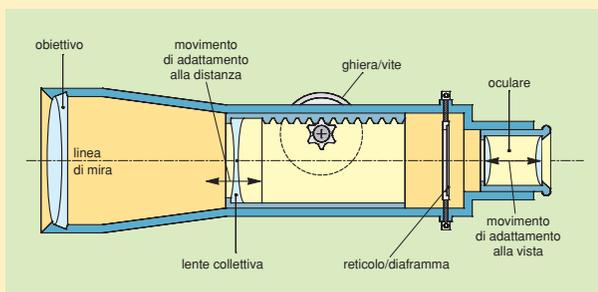
Potere separatore: è il limite della capacità dell'occhio di vedere distinti due punti o due tratti paralleli.

- La *distanza minima* tra due punti o due tratti paralleli per apparire separati, osservandoli a occhio nudo, è quella corrispondente alla grandezza apparente $\omega'' = 60''$.

Collimazione: è un'operazione (eseguita in tre fasi) con cui si impone il passaggio della *linea di mira* del collimatore per un *punto* o un *riferimento* appartenente a un elemento topografico (segnale, mira o particolare). Negli strumenti topografici, a partire dal Settecento, il collimatore è costituito dal *cannocchiale*, mentre nell'antichità veniva utilizzato un apparato a *traguardi* in cui i punti da collimare venivano osservati a occhio nudo, dunque con minor precisione.



Cannocchiale: è uno strumento ottico costruito con l'*obiettivo* (lente convergente a *grande* distanza focale) e il *reticolo* montati sullo stesso tubo, in modo che la loro distanza rimanga invariata, mentre l'*oculare* (lente convergente a *piccola* distanza focale) può scorrere leggermente rispetto al reticolo. Tra l'obiettivo e il reticolo è inserita una lente divergente, detta *collettiva*, portata da un supporto interno che si può far scorrere per mezzo di una ghiera esterna, per consentire l'*adattamento alla distanza*. Lo strumento consente di osservare in dettaglio oggetti lontani e di *collimare* i punti e i segnali, tralasciandoli attraverso la sua *linea di mira* materializzata dal centro del *reticolo*.

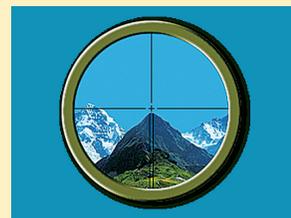


- Gli oggetti osservati con il cannocchiale si trovano sempre a distanze superiori al doppio della distanza focale dell'obiettivo e, soprattutto, si trovano a *distanze variabili*. Ciò impone la soluzione del problema dell'*adattamento* alle varie distanze, che negli attuali cannocchiali (a lunghezza costante) viene risolto dalla *lente collettiva*.



Reticolo del cannocchiale: è costituito da una *croce di due fili* riportati per fotoincisione su un piccolo vetrino, che poi viene collocato in corrispondenza del foro centrale del *diaframma*. Il punto di intersezione dei fili del reticolo viene collocato sull'asse ottico obiettivo-oculare del cannocchiale e la sua funzione è quella *materializzare* la *linea di mira* dello stesso cannocchiale per consentire di effettuare le *collimazioni*.

- Per correggere un eventuale cattivo posizionamento del reticolo, al *diaframma*, che lo sostiene, possono essere imposti piccolissimi spostamenti tramite quattro *viti a contrasto* accessibili dall'esterno.



Adattamento alla vista di un cannocchiale: riguarda il suo oculare (che di fatto si comporta come un *microscopio semplice*) e consiste nel portare l'immagine dei fili del *reticolo* alla *distanza della visione distinta* (visione migliore senza sforzo). Essa dipende unicamente dall'operatore (o, meglio, dai suoi occhi), pertanto è necessario eseguirla *una volta sola* all'inizio della sessione di lavoro, e comunque prima di eseguire l'adattamento alla distanza.

- L'*adattamento alla vista* è una semplice *manovra* con la quale l'operatore ruota leggermente l'oculare su una

filettatura, che a sua volta ne provoca una lieve traslazione che ne modifica la *distanza dal piano del reticolo*, ottenendo quanto descritto sopra.

Adattamento alla distanza di un cannocchiale: consiste nell'imporre all'immagine fornita dall'obiettivo di formarsi esattamente sul *piano del reticolo*. In questo modo l'oculare (già *adattato alla vista*) fornirà l'immagine finale dell'oggetto osservato che, insieme all'immagine dei fili del *reticolo*, verrà a formarsi alla *distanza della visione distinta*. Questa operazione dipende dalla distanza dell'oggetto osservato, pertanto essa deve essere *ripetuta* tutte le volte che cambia la distanza di osservazione.

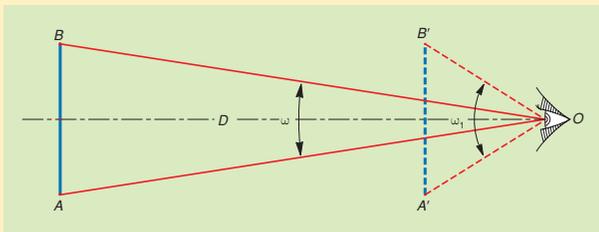
- Anche l'*adattamento alla distanza* è una semplice *manovra* con la quale l'operatore ruota una ghiera o un anello zigrinato, posto davanti all'oculare, che a sua volta provoca una traslazione della *lente collettiva* che consente l'adattamento.

Lente collettiva: è una lente divergente collocata all'interno del cannocchiale, coassiale con l'obiettivo e l'oculare, traslabile lungo lo stesso asse tramite una ghiera esterna. La sua funzione è quella di consentire l'*adattamento alla distanza* del cannocchiale, cioè di permettere la formazione sul *piano del reticolo* dell'immagine fornita dall'obiettivo.

Ingrandimento normale o convenzionale: è un ingrandimento di tipo *angolare* calcolato quando il cannocchiale si trova in posizione *telescopica*, cioè quando collima punti all'infinito (molto lontani). Esso ha il grande vantaggio di non dipendere dalla posizione degli oggetti osservati, ma unicamente dalle caratteristiche del cannocchiale, del quale, pertanto, rappresenta un *parametro distintivo*. L'*ingrandimento normale* è fornito dal rapporto tra la distanza focale f_1 dell'obiettivo e quella dell'oculare f_2 :

$$I_n = \frac{f_1}{f_2}$$

Effetto pratico del cannocchiale: osservare un oggetto di dimensione AB , posto alla distanza D con un *cannocchiale* provvisto di un numero I di ingrandimenti, è come vederlo *a occhio nudo* a una distanza dall'osservatore pari a D/I . In pratica l'effetto di un cannocchiale è quello di *avvicinare l'oggetto* osservato o di *aumentarne la gran-*



dezza apparente. Se la grandezza apparente dell'oggetto osservato a occhio nudo è ω'' , quella dello stesso oggetto visto attraverso il cannocchiale diventa:

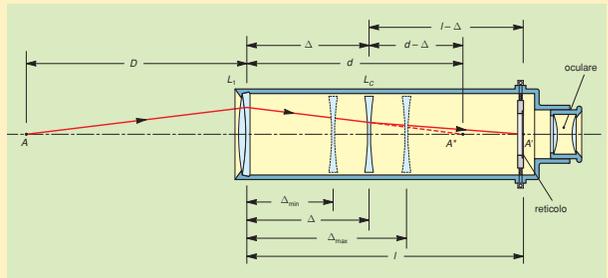
$$\omega_1'' = \frac{AB}{D/I} \cdot 206265''$$

- L'effetto è anche quello di aumentare il *potere separatore (acuità di risoluzione)* dell'occhio; osservandoli con un cannocchiale, la *distanza minima* tra due punti o due tratti paralleli per apparire *separati* non è più di $60''$ ma si riduce a:

$$\omega'' = \frac{60''}{I}$$

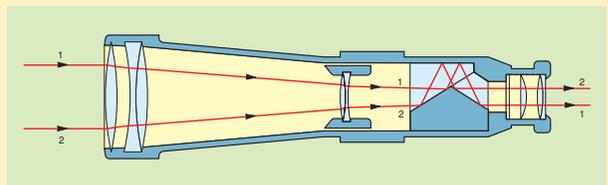
Funzionamento ottico del cannocchiale: la lente *obiettivo*, che è *fissa*, e la *lente divergente*, che è detta *collettiva* ed è *mobile*, costituiscono il *sistema obiettivo* montato sullo stesso tubo del *reticolo*, anche quest'ultimo *fisso*. Osservando un oggetto, il *sistema obiettivo* ne crea una *prima immagine*, immagine ripresa poi dall'*oculare* che costruisce una *seconda immagine* dell'*oggetto* insieme a quella dei *fili del reticolo*.

- Lo strumento fornisce una immagine finale *virtuale, ingrandita e capovolta* rispetto all'oggetto. In alcuni tipi di cannocchiale apposti *prismi* collocati tra la lente divergente e il *reticolo* *raddrizzano* l'immagine.



Errore di parallasse: si verifica quando l'*immagine* dei *fili del reticolo* e la *seconda immagine* dell'*oggetto* non si formano sullo stesso piano. Per *eliminare* l'errore di *parallasse* bisogna *ripetere* le operazioni di *adattamento alla vista* e di *adattamento alla distanza*.

- È sufficiente osservare un *filo* e *spostare l'occhio* davanti all'oculare; se l'immagine del *filo* si *muove* rispetto a quella dell'*oggetto* la collimazione è affetta da *parallasse*.



Autovalutazione

A. Verifica delle conoscenze

QUESITI VERO/FALSO

- | | V | F |
|---|--------------------------|--------------------------|
| 1 L'occhio umano forma le immagini sempre sul cristallino | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2 Il potere di adattamento è la capacità dell'occhio di far entrare più o meno luce | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3 La distanza della visione distinta per un occhio normale è di circa 25 cm | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4 La grandezza apparente di un oggetto è una grandezza angolare inversamente proporzionale alla distanza dalla quale viene osservato | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 5 Il potere separatore è la grandezza apparente della più piccola distanza tra due linee parallele necessaria per vederle distinte | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 6 L'acuità di allineamento vale circa 5" | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 7 L'effetto pratico di un cannocchiale è quello di avvicinare l'oggetto osservato | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 8 Il cannocchiale a lunghezza costante non viene più montato come collimatore nei moderni strumenti topografici | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 9 Nel cannocchiale a lunghezza costante si può modificare la distanza focale della lente obiettivo | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 10 Adattare alla distanza un cannocchiale a lunghezza costante consiste nel portare la prima immagine dell'oggetto sul piano in cui si trova il reticolo | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 11 La presenza dell'errore di parallasse è segnalata dalla scarsa visibilità dei fili del reticolo | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

QUESITI A RISPOSTA SINGOLA

- 12** Perché l'occhio deve modificare la curvatura del suo cristallino per fare in modo che l'immagine di un oggetto osservato si formi sempre sulla retina?
- 13** Che cos'è la distanza della visione distinta?

- 14** Qual è la differenza tra limite di visibilità e potere separatore?
- 15** Che cos'è l'acuità di allineamento.
- 16** Da quali punti è definito l'asse di collimazione?
- 17** Perché in effetti il cannocchiale aumenta la grandezza apparente dell'oggetto osservato?
- 18** Descrivere il funzionamento ottico del cannocchiale a lunghezza costante.
- 19** Come si effettua l'adattamento alla vista di un cannocchiale a lunghezza costante?
- 20** Perché il cannocchiale a lunghezza costante viene adattato alla distanza spostando la lente collettiva?
- 21** Cosa deve fare l'operatore nel caso in cui rileva che la collimazione è affetta dall'errore di parallasse?
- 22** Per quale motivo sia gli obiettivi sia gli oculari dei cannocchiali vengono realizzati con piastre di lenti a contatto?

QUESITI A RISPOSTA MULTIPLA

- 23** Il funzionamento dell'occhio umano è simile a quello di una lente
- | | |
|----------------------------|-----------------------------|
| <input type="checkbox"/> a | convergente |
| <input type="checkbox"/> b | divergente |
| <input type="checkbox"/> c | a distanza focale fissa |
| <input type="checkbox"/> d | a distanza focale variabile |
- 24** La grandezza apparente di un oggetto alto 50 cm visto in modo chiaro a occhio nudo da 300 m misura in secondi sessagesimali
- | | | | |
|----------------------------|-------|----------------------------|-------|
| <input type="checkbox"/> a | 344" | <input type="checkbox"/> b | 34,4" |
| <input type="checkbox"/> c | 3,44" | <input type="checkbox"/> d | 3440" |
- 25** Il limite di visibilità per un occhio normale in condizioni di massimo contrasto mediamente vale:
- | | | | |
|----------------------------|----|----------------------------|-----|
| <input type="checkbox"/> a | 2" | <input type="checkbox"/> b | 20" |
| <input type="checkbox"/> c | 2' | <input type="checkbox"/> d | 20' |
- 26** La localizzazione è il minimo spostamento percepibile tra due linee fra di loro
- | | | | |
|----------------------------|----------------|----------------------------|-----------|
| <input type="checkbox"/> a | perpendicolari | <input type="checkbox"/> b | parallele |
| <input type="checkbox"/> c | allineate | <input type="checkbox"/> d | inclinate |
- 27** In un cannocchiale topografico, la misura della distanza focale dell'obiettivo rispetto a quella dell'oculare è
- | | | | |
|----------------------------|--------|----------------------------|----------|
| <input type="checkbox"/> a | minore | <input type="checkbox"/> b | uguale |
| <input type="checkbox"/> c | doppia | <input type="checkbox"/> d | maggiore |

28 Vedere un oggetto alla distanza di 450 m da un cannocchiale provvisto di ingrandimento $30\times$ è come vederlo a occhio nudo distante

- a 100 m b 10 m
 c 150 m d 15 m

29 Lo spostamento della lente collettiva di un cannocchiale a lunghezza costante causa la variazione

- a della distanza focale dell'oculare
 b della distanza focale del cannocchiale
 c della distanza focale del sistema obiettivo
 d della distanza della visione distinta

30 L'errore di parallasse si ha quando

- a reticolo e oggetto hanno immagini su piani diversi
 b l'immagine del reticolo si vede confusa
 c le immagini non sono a distanza della visione distinta
 d l'immagine dell'oggetto si vede confusa

31 L'accoppiamento di più lenti negli obiettivi dei cannocchiali ha la finalità di

- a eliminare l'aberrazione di cromatismo
 b rendere più nitide le immagini
 c aumentare l'ingrandimento del cannocchiale
 d eliminare l'aberrazione di sfericità

32 L'obiettivo di un cannocchiale ha una distanza focale di 60 cm e quella del suo oculare di 20 mm. Qual è il suo ingrandimento normale?

- a $3\times$ b $20\times$
 c $30\times$ d $60\times$

33 Qual è l'angolo minimo necessario a distinguere due linee parallele osservate con un cannocchiale avente un ingrandimento normale di $20\times$?

- a $20''$ b $2''$
 c $3'$ d $3''$

34 Un cannocchiale presenta un ingrandimento normale di $40\times$ e il suo obiettivo ha una distanza focale di 80 cm. Qual è la distanza focale dell'oculare?

- a 2 cm b 20 cm
 c 20 mm d 40 mm

35 Osservando due linee parallele distanti 4 cm con un cannocchiale che presenta un ingrandimento normale di $30\times$, a quale distanza le due linee sono ancora percepite distinte?

- a 3125 m
 b 2535 m
 c 3550 m
 d nessuna delle precedenti

36 A quale parte del cannocchiale, di solito, viene fissato il vetrino su cui è inciso il reticolo del cannocchiale?

- a all'oculare b al diaframma
 c alla lente collettiva d nessuna delle precedenti

37 I reticoli dei cannocchiali moderni presentano una o due linee bifilari. Qual è la funzione di questa soluzione?

- a rende più chiara l'immagine
 b migliora il potere separatore
 c elimina il parallasse
 d nessuna delle precedenti

B. Verifica delle competenze

● Esercizi e problemi

38 Calcolare la grandezza apparente di un oggetto alto 120 cm posto alla distanza di 600 m dall'osservatore.
 $[\alpha'' = 412'',53]$

39 Un oggetto si trova alla distanza di 300 m da un osservatore. Assumendo come limite di visibilità quello corrispondente ad $\omega'' = 20''$, calcolare la lunghezza che deve avere l'oggetto per poter essere osservato a occhio nudo.
 $[AB = 2,90 \text{ cm}]$

40 Un oggetto di dimensioni 5 cm viene osservato a un microscopio semplice con distanza focale di 30 cm. Sapendo che l'oggetto si trova alla distanza di 12 cm dalla lente, calcolare a quale distanza dalla lente si forma l'immagine e la sua dimensione.
 $[d = 20 \text{ cm}; I = 1,67; A'B' = 8,33 \text{ cm}]$

41 Un oggetto viene osservato con un cannocchiale provvisto di 20 ingrandimenti. Calcolare la distanza dalla quale può essere osservato nitidamente se la sua dimensione è di 30 mm. Si assuma $\omega_1 = 20''$.
 $[D = 6187,95 \text{ m}]$

42 Calcolare l'ingrandimento che deve avere un cannocchiale per consentire di vedere nitidamente un oggetto di 20 cm posto alla distanza di 25 km. Si assuma $\omega_1 = 20''$.
 $[I = 12,12]$

43 Determinare la distanza D da cui un osservatore con un cannocchiale provvisto di 20 ingrandimenti percepisce separate due linee parallele distanti fra loro di $AB = 1 \text{ cm}$; si assuma in $\omega = 60''$ il valore del potere separatore.
 $[D = 687,55 \text{ m}]$

Risultati dei quesiti vero/falso

1F, 2F, 3V, 4V, 5V, 6V, 7V, 8F, 9F, 10V, 11F.

Risultati dei quesiti a risposta multipla

23d, 24a, 25b, 26c, 27d, 28d, 29c, 30a, 31a, 32c, 33d, 34c, 35d, 36b, 37b.