

3.4. I LIVELLI

I livelli sono strumenti a cannocchiale orizzontale, con i quali si realizza una **linea di mira orizzontale**. Vengono utilizzati per misurare dislivelli con la tecnica di **livellazione geometrica** (a visuale orizzontale).

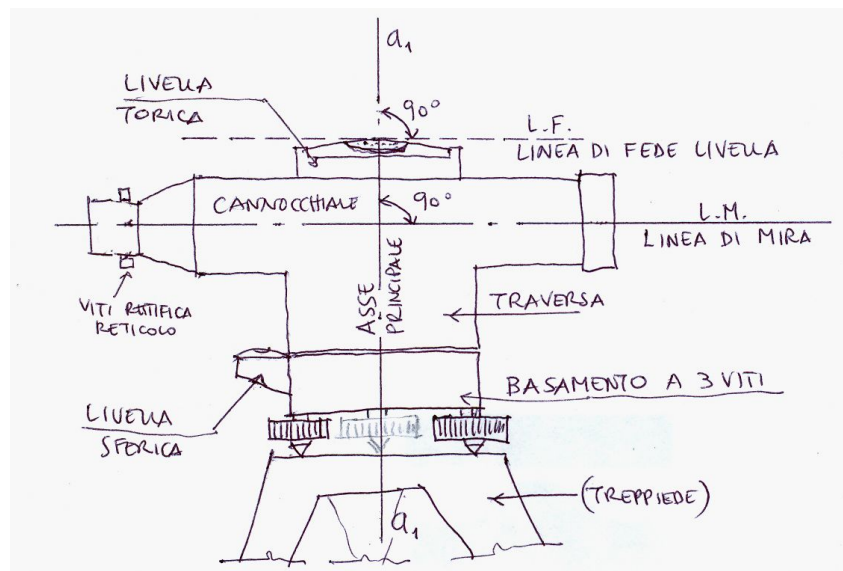
La misura (v. par. 3.3) avviene effettuando con il livello letture su una **stadia** (livellazione geometrica da un estremo) o una **coppia di stadi** (livellazione geometrica dal mezzo).

Esistono diversi tipi di livelli, che possono essere raggruppati in tre principali categorie:

- ❖ **LIVELLI MANUALI** (orizzontalità della linea di mira ottenuta manualmente). Nel corso del tempo ne sono stati ideati e realizzati molti tipi, ma quelli principali utilizzati ancora oggi sono riconducibili a due sottocategorie: livelli a cannocchiale fisso **senza vite di elevazione** e **con vite di elevazione**.
- ❖ **AUTOLIVELLI** (orizzontalità ottenuta in maniera automatica);
- ❖ **LIVELLI DIGITALI** (orizzontalità e lettura alla stadia ottenute in maniera automatica).

3.4.1. LIVELLI MANUALI SENZA VITE DI ELEVAZIONE

Sono composti da 3 parti principali: un **basamento** a 3 viti, simile a quello del teodolite (viene fissato a un treppiede), una parte superiore girevole detta **traversa** (che in sostanza è un'alidada semplificata) alla quale è collegato rigidamente il **cannocchiale**. Vengono anche definiti **livelli monoblocco** perché la traversa e il cannocchiale sono un pezzo unico, essendo connessi rigidamente senza articolazioni.



Questo tipo di livelli, tra tutti, è il più semplice costruttivamente. Essendo economico e robusto, viene utilizzato prevalentemente in misure di cantiere senza grandi requisiti di precisione. Alcuni livelli di questo tipo hanno anche un **cerchio graduato azimutale**, osservabile direttamente o attraverso un microscopio, da utilizzare per l'esecuzione di semplici rilievi e tracciamenti all'interno di piccoli cantieri.

L'asse di rotazione della traversa viene detto **asse principale**, in modo analogo a quello del teodolite. Le **condizioni di esattezza** per un livello senza vite di elevazione sono le seguenti:

- l'asse principale deve essere verticale;
- la linea di mira deve essere **perpendicolare all'asse principale**, in modo tale da risultare orizzontale quando l'asse principale è stato verticalizzato;
- la linea di fede della livella torica deve essere perpendicolare all'asse principale, per poterlo verticalizzare (come nel teodolite).

Analogamente a quanto avviene con i teodoliti, la verticalità dell'asse principale viene ottenuta in prima approssimazione con una **livella sferica** (tramite le tre viti di base) ed affinata con la livella torica, controllando che quest'ultima sia rettificata (eventualmente rettificandola per metà con la vite di rettifica della livella e per l'altra metà con le viti di base).

Utilizzo del livello senza vite di elevazione:

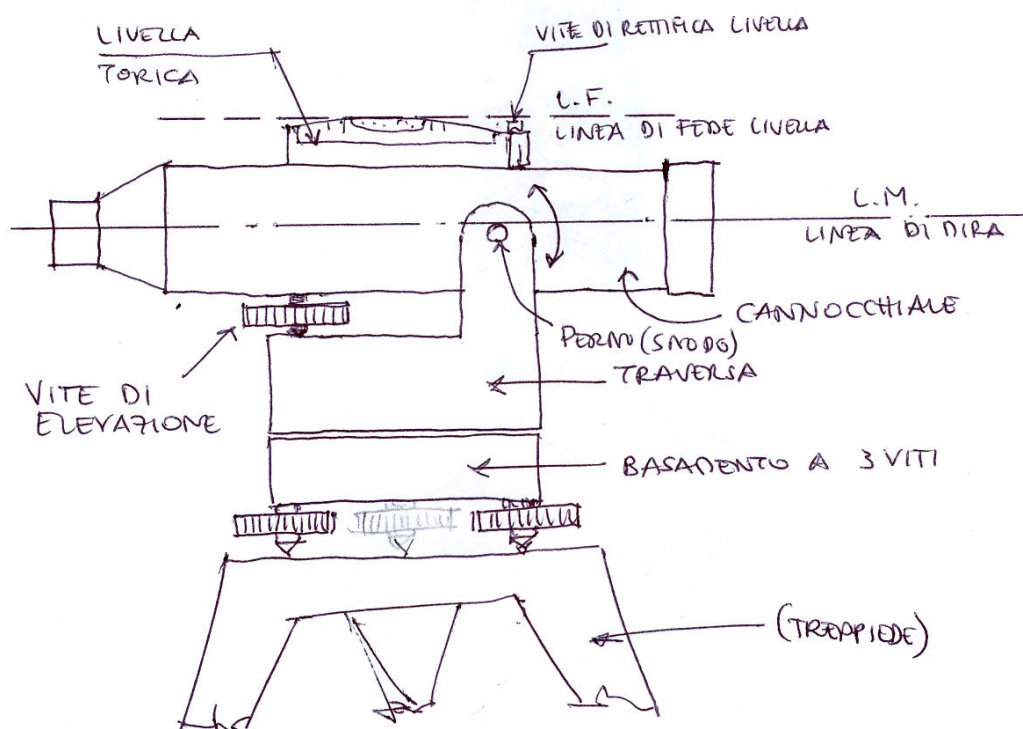
Il livello viene posto in stazione verticalizzandone l'asse principale mediante le tre viti di base, con l'ausilio della livella sferica e poi di quella torica. A questo punto, se lo strumento è rettificato (asse di collimazione perpendicolare all'asse principale), la linea di mira risulta orizzontale, e ruotando la traversa descrive un **piano orizzontale**, motivo per cui questo tipo di livello viene anche detto **livello su un piano**.

Di solito, questo tipo di livelli viene usato per livellazioni da un estremo nell'ambito di un cantiere, a distanze inferiori a 100 m, con stadie ordinarie (non di invar). Se dotato di cerchio azimutale può essere utilizzato per piccoli rilievi e tracciamenti.

Questi livelli monoblocco sono stati molto diffusi in passato per la loro economicità, ma tendono oggi a scomparire, sostituiti dai tipi più economici di autolivello, che sono altrettanto robusti e poco costosi.

3.4.2. LIVELLI MANUALI CON VITE DI ELEVAZIONE

Sono composti da 3 parti principali: un **basamento** a 3 viti, una parte superiore girevole detta **traversa** e un **cannocchiale** collegato alla traversa mediante un perno che gli consente piccole rotazioni verso l'alto o verso il basso, rotazioni che si ottengono ruotando una apposita vite di manovra detta **vite di elevazione**. A differenza del tipo precedente, il cannocchiale e la traversa non sono rigidamente connessi ma sono due elementi distinti.



Rispetto al precedente, questo tipo di livelli è un po' più complesso costruttivamente. Viene utilizzato di norma in misure di livellazione dal mezzo di precisione e di alta precisione, e non presenta quasi mai un cerchio azimutale graduato.

L'asse di rotazione della traversa è sempre detto asse principale, ma perde importanza in questo tipo di livelli, in quanto è sufficiente che esso sia reso approssimativamente verticale (basta la livella sferica).

Le **condizioni di esattezza** (o di **rettifica**) per un livello senza vite di elevazione si riducono a **una sola**:

- la **linea di mira** deve essere **parallela alla linea di fede della livella**, in modo tale da risultare orizzontale quando la livella è centrata.

Utilizzo del livello con vite di elevazione:

Il livello viene posto in stazione verticalizzandone approssimativamente l'asse principale mediante le tre viti di base, con l'ausilio della sola livella sferica. Il cannocchiale viene puntato verso la stadia e, **prima di effettuare la lettura alla stadia**, la livella torica montata sul cannocchiale viene centrata ruotando la vite di elevazione. La livella torica di questi strumenti è di solito del tipo *a coincidenza di immagini* per ottenere una maggiore sensibilità.

A questo punto, se lo strumento è rettificato (linea di mira parallela alla linea di fede della livella), la linea di mira risulta orizzontale. Questo tipo di livello viene anche detto **livello su una linea** perché l'orizzontalità della L.M. viene controllata solo nella direzione effettiva di osservazione, immediatamente prima di effettuare la misura. Per questo motivo, questi livelli sono più precisi del tipo precedente, l'orizzontalità della L.M. che si ottiene è più accurata.

Di solito, questo tipo di livelli viene usato per livellazioni dal mezzo, a distanze inferiori a 50 m dalla stadia, con stadie da livellazione di precisione (con graduazione su nastro di invar).

Questi livelli con vite di elevazione sono stati molto diffusi in passato per l'esecuzione di livellazioni di precisione, ma tendono oggi a scomparire, sostituiti dai tipi più precisi di autolivello, che sono altrettanto accurati ed affidabili.

3.4.3. AUTOLIVELLI

Sono composti anch'essi dalle solite 3 parti principali: un **basamento** a 3 viti, una parte superiore girevole detta **traversa** e un **cannocchiale** collegato alla traversa, apparentemente in modo rigido come nel livello monoblocco, ma in realtà dotato all'interno di un sistema ottico-meccanico di *compensazione* che dispone **automaticamente orizzontale la linea di mira**, da cui il nome di **autolivello**.

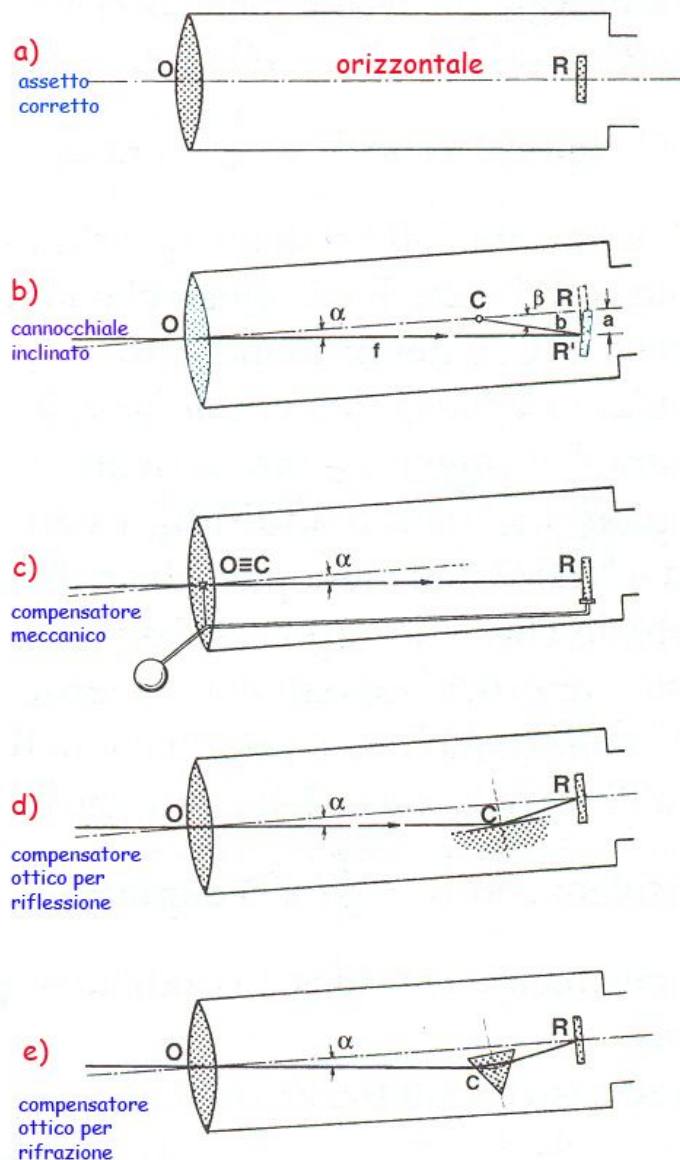
I primi autolivelli (anni 1940-1950) erano complessi e costosi, poi il progresso tecnico ha consentito di produrne a costo pari o inferiore a quelli dei livelli manuali, e con altrettanta affidabilità, per cui questi strumenti si sono diffusi moltissimo per la loro grande comodità d'uso. Ne esistono di varie categorie di precisione, si va da economici autolivelli da cantiere ad autolivelli per livellazione di alta precisione.

Sistemi di compensazione degli autolivelli

Gli automatismi, detti anche *compensatori* sono azionati dalla forza di gravità, e garantiscono l'orizzontalità della linea di mira anche con leggere inclinazioni del cannocchiale.

La figura seguente mostra il funzionamento di vari tipi di compensatore:

In figura a è rappresentato un livello con asse di collimazione OR orizzontale (si ricorda O = centro dell'obiettivo, R = centro del reticolo). Se il cannocchiale si inclina di un piccolo angolo α , l'asse di collimazione sarà sempre OR, ma il raggio orizzontale per O incontrerà il reticolo in un punto R' diverso da R (fig. b). Per fare in modo che anche in questo assetto il raggio orizzontale passi per R è possibile utilizzare un compensatore *meccanico* che sposta il reticolo nella posizione corretta (fig. c), o un compensatore *ottico* che devia il raggio per *riflessione* (fig. d) o per *rifrazione* (fig. e).



L'asse di rotazione della traversa è sempre detto asse principale, ma perde importanza in questo tipo di livelli, in quanto è sufficiente che esso sia reso approssimativamente verticale (basta la livella sferica).

Le **condizioni di esattezza** (o di **rettifica**) per un autolivello si riducono a **una sola**:

- la **linea di mira** deve risultare **orizzontale a compensatore stabilizzato** (quando si muove il cannocchiale verso la stadia il compensatore subisce delle piccole oscillazioni temporanee che devono cessare, cosa che avviene in pochissimi secondi, in pratica quasi istantaneamente).

Utilizzo dell'autolivello:

Lo strumento viene posto in stazione verticalizzandone approssimativamente l'asse principale mediante le tre viti di base, con l'ausilio della sola livella sferica. Il cannocchiale viene puntato verso la stadia. Il compensatore rende orizzontale automaticamente la linea di mira, per cui si può subito effettuare la lettura alla stadia.

Come già detto, esistono tanti tipi di autolivelli, da quelli più semplici adatti a operazioni di cantiere a quelli più accurati per misure di livellazione di alta precisione.



Autolivello Topcon da cantiere



Zeiss Ni-1 : Autolivello per livellazioni di alta precisione con micrometro a lamina pianparallela
Sensibilità di lettura 1/100 di mm

3.4.4. LIVELLI DIGITALI

I **livelli digitali** sono la più recente generazione di livelli (anni 1990 circa). Oltre ad essere autolivellanti, hanno un sistema di lettura automatica della stadia.

La **stadia** riporta su un lato una graduazione codificata costituita da una serie di barre trasversali nere e bianche di diversa ampiezza, che seguono una sequenza prestabilita corrispondente a una sequenza binaria (00110101000011001...), in modo analogo ai codici a barre utilizzati nel commercio. Ogni modello di livello digitale funziona quindi solo con la propria stadia codificata.

Il cannocchiale del livello digitale contiene un sistema di lettura che effettua una scansione di un tratto della stadia emettendo un fascio di luce infrarossa, e confronta la sequenza binaria ottenuta con una sequenza in memoria, effettuando prima una correlazione approssimata e quindi una correlazione fine. Il risultato della correlazione viene tradotto in *lettura della stadia* con lo stesso significato di quella che si effettua su una stadia convenzionale (altezza dal tallone della stadia al punto in cui cade la linea di mira). La risoluzione di questi sistemi di lettura arriva, nei livelli digitali di precisione, a circa 1/100 di millimetro.

Con questo tipo di livelli l'utente deve effettuare solo il puntamento e la messa a fuoco della stadia. Il risultato della lettura elettronica è visualizzato su un display assieme a un valore della **distanza**, anch'esso stimato dalla scansione della graduazione a barre della stadia. Questi valori vengono memorizzati su una scheda di memoria, da cui sono poi scaricati su un PC per l'elaborazione.



3.4.5. STADIE E SISTEMI DI LETTURA DELLA STADIA

Il livello, come visto, è solo uno strumento a cannocchiale che realizza una linea di mira orizzontale. L'elemento metrico nella misura di dislivello è la **stadia** (o la **coppia di stadie** nella livellazione dal mezzo).

Le stadie sono aste graduate, lunghe da 1 a 3 m e larghe circa 10 cm, munite di livella sferica per garantirne la verticalità durante le operazioni di misura. Possono essere in legno, alluminio o fibra di vetro.

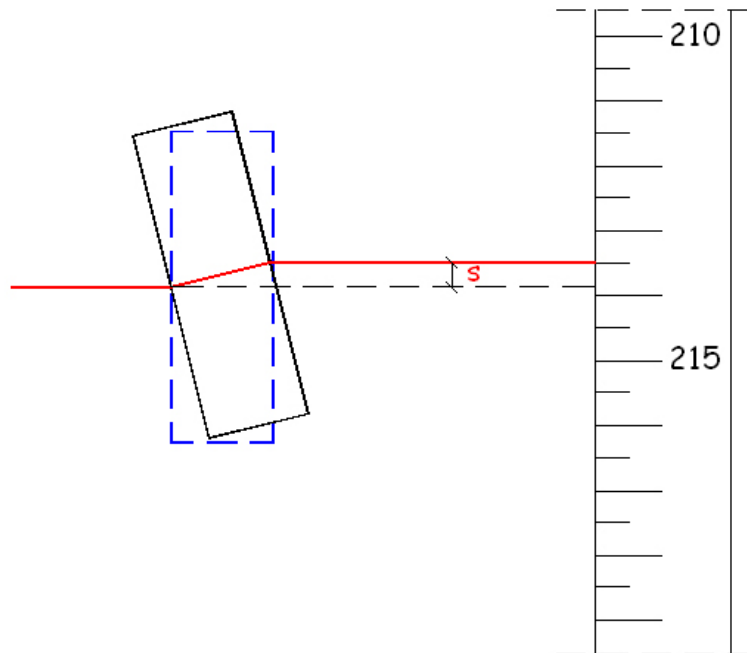
Per misure di livellazione di precisione si usano stadie con corpo in alluminio ma con la graduazione stampata su un nastro di **invar**, acciaio speciale (lega composta da ferro al 64%, nickel al 36%, tracce di carbonio e cromo) avente un basso coefficiente di dilatazione termica (circa $1.5 \cdot 10^{-6}$ contro $13 \cdot 10^{-6}$ del comune acciaio, quindi circa 10 volte inferiore). Il nastro di invar viene tenuto in trazione costante da una molla. Queste stadie di precisione vengono calibrate in laboratorio per cui se ne conosce la esatta lunghezza in ogni tratto della graduazione.

I livelli digitali, come visto, utilizzano speciali stadie **codificate**.

Le stadie di tipo **classico** hanno una **graduazione in cm**, generalmente disegnata a tratti neri o rossi dello spessore di 1 cm (unità di stadia), intercalati da tratti bianchi dello stesso spessore. I metri e i decimetri vengono letti direttamente, i centimetri si ottengono contando le unità di stadia e i millimetri vengono valutati a stima dall'operatore come frazione dei cm. La sensibilità di lettura è quindi di 1 mm, per cui queste stadie sono adatte solo per livellazioni di bassa precisione e semplici operazioni da cantiere.

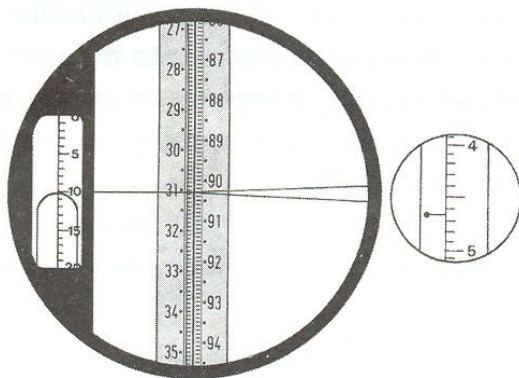


Precisioni maggiori di lettura alla stadia (fino a un limite massimo di 1/100 di mm) sono ottenute con il *sistema di lettura micrometrico*: una lastra a facce pian parallele posta davanti all'obiettivo trasla l'asse di collimazione, mantenendolo sempre orizzontale, di una quantità s proporzionale all'angolo di rotazione della lamina.

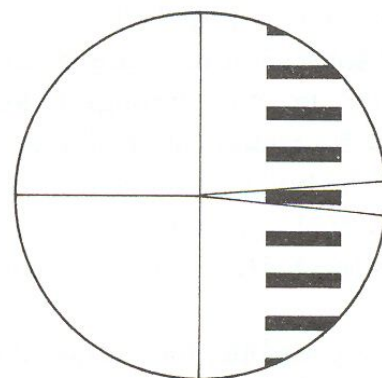


Solidale alla lastra vi è un cerchio graduato, che viene osservato da un apposito oculare posto vicino al cannocchiale. La lamina viene ruotata fino ad ottenere la coincidenza tra il filo orizzontale del reticolo (di solito realizzato a forma di cuneo orizzontale come nella figura sottostante, per meglio apprezzare la coincidenza) e una tacca della graduazione della stadia. La traslazione verticale massima dell'asse è di 1 cm, per cui si riesce sempre a far coincidere il reticolo con una tacca. Esistono livelli con traslazione max di 0,5 cm che richiedono una stadia diversa.

La lettura si ottiene come somma del valore della tacca su cui è stata imposta la coincidenza (valore in cm) più una parte piccola (mm e frazioni di mm fino al limite di 1/100 di mm) letta sulla scala del cerchio del micrometro.



lettura alla stadia con livello a bolla graduata e con lamina pian parallela



reticolo a cuneo

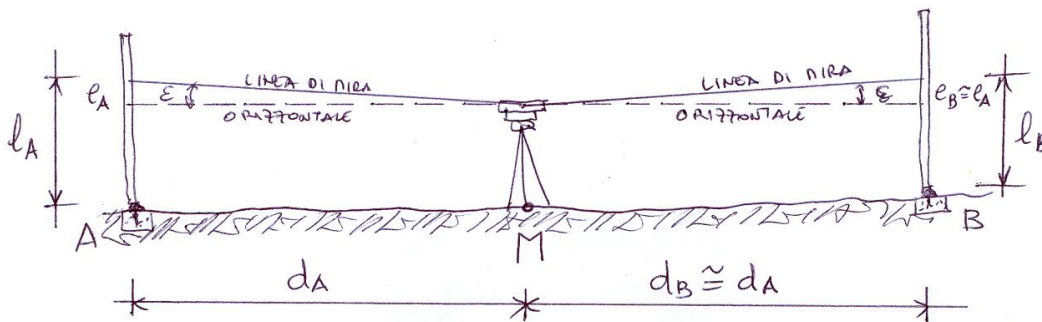
3.4.6. VERIFICA E RETTIFICA DEI LIVELLI

Come visto, le condizioni di rettifica dei livelli sono leggermente diverse da un tipo all'altro di questi strumenti. In ogni caso, l'effetto e lo scopo della rettifica, per qualunque tipo di livello, è quello di avere una linea di mira orizzontale, con la miglior approssimazione possibile.

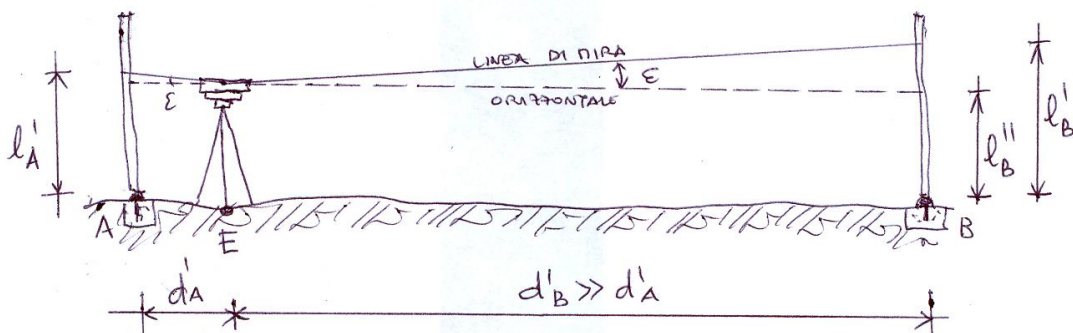
Per **verificare** se un livello è rettificato e, se necessario, **rettificarlo**, si può procedere come segue:

- Si sceglie una zona di terreno pianeggiante e stabile e vi si posizionano due caposaldi A e B a distanza di qualche decina di metri l'uno dall'altro, realizzando così una **base di rettifica** (si possono usare anche due caposaldi esistenti o, in mancanza d'altro, due piastre poggiate ben assestate);
- (Fig. 1) si misura il dislivello tra A e B con una **battuta di livellazione dal mezzo**, curando bene che la stazione sia effettivamente equidistante dalle due stadi; il dislivello $\Delta_{AB} = l_A - l_B$ così ottenuto è esente dall'eventuale errore di rettifica del livello;
- (Fig. 2) si misura il dislivello tra gli stessi punti A e B da una **stazione fortemente eccentrica**, molto vicina a uno dei due estremi; a causa dell'asimmetria di misura il dislivello $\Delta'_{AB} = l'_A - l'_B$ ottenuto da questa seconda battuta risente dell'errore di rettifica del livello, se tale errore è presente;

① LIVELLAZIONE DAL MEZZO



② LIVELLAZIONE ECCENTRICA



- **VERIFICA** : Si confrontano i due valori del dislivello ottenuti nella prima e nella seconda misura, i casi sono due:
 - a) se $\Delta'_{AB} = \Delta_{AB}$ (a meno di una tolleranza che dipende dalla precisione dello strumento: ad esempio $0.2 \div 0.3$ mm), il livello si può considerare rettificato e non necessita di interventi;
 - b) se $\Delta'_{AB} \neq \Delta_{AB}$ (differenza oltre la tolleranza fissata), è presente un errore di rettifica che deve essere eliminato.
- **RETTIFICA** : Se siamo nel caso b), il livello deve essere rettificato. A tale scopo, sulla base del dislivello calcolato dal mezzo si calcola la **lettura corretta** che si farebbe alla stadia più lontana (B) nella seconda misura se l'errore di rettifica non ci fosse:

$$l''_B = l'_A - \Delta_{AB}$$

(si è trascurato l'errore commesso sulla stadia più vicina data la brevissima distanza)

Dalla stazione eccentrica, si punta il cannocchiale del livello verso la stadia B. A questo punto, la procedura di rettifica si differenzia a seconda del tipo di livello:

LIVELLO MANUALE SENZA VITE DI ELEVAZIONE: si impone la lettura l''_B agendo sulle viti di rettifica del reticolo (operazione molto delicata perché il reticolo è molto sottile e fragile);

LIVELLO MANUALE CON VITE DI ELEVAZIONE: si impone la lettura l''_B con la vite di elevazione, e si riporta in centro la livella con la vite di rettifica della livella;

AUTOLIVELLO: si impone la lettura l''_B agendo sulle viti di rettifica del reticolo (operazione come si è detto molto delicata); in alcuni livelli è possibile agire su una vite di regolazione del compensatore; in altri ancora è presente un *cuneo ottico* (lamina di vetro a facce leggermente convergenti) davanti all'obiettivo, ruotando il quale si può inclinare leggermente la linea di mira;

LIVELLO DIGITALE: la rettifica viene effettuata mediante il software interno dello strumento, non è necessario operare manualmente su parti meccaniche e ottiche. Si utilizza un *programma di rettifica* che sulla base delle misure fatte (con la procedura mostrata sopra o con 2 stazioni a 1/3 e 2/3 della distanza) determina via software la correzione da apportare.

La rettifica del livello è molto importante perché nella pratica della livellazione difficilmente si riesce a fare stazione esattamente nel mezzo in tutte le battute. Nei lavori importanti, il livello deve essere rettificato **almeno 1 volta al giorno** (di solito la mattina, prima di iniziare le misure).