



## *Manuale Sistema laser per allineamento MACCHINE UTENSILI*

**Serie L-730 & L-740**

*Marzo 2010*



**HAMAR  
LASER**®

HAMAR LASER INSTRUMENTS, INC  
[www.hamarlaser.com](http://www.hamarlaser.com)

Distribuito in Italia da:  
LASER METROLOGY  
Via Veneto 5  
20044 Bernareggio (MI) - ITALY  
Tel: 0396093618 Fax: 0396800147

## NOTE IMPORTANTI

### **PRESTARE ATTENZIONE!**

#### ***Protetta da sovratensioni e fulminazioni.***

*Per garantire una lunga vita del laser, è importante collegare l'adattatore A/C in una surge-protected power source. Nonostante la protezione contro la sovratensione interna, un aumento di potenza di grandi dimensioni potrebbe bruciare il diodo laser, richiedendo così l'invio del laser alla fabbrica per essere riparato.*

*L'uso di una sorgente di rete non protetta dalle sovratensioni comporta il decadimento della garanzia.*

Si prega di fare attenzione al fatto che il laser è stato calibrato dopo essere stato completamente riscaldato. Consigliamo di riscaldare il laser per almeno 30 minuti per un laser a piano singolo (L-730 o L-740) e fino a 45 minuti per un laser a multipiano (L-732, L-742, L-733 e L-743), in modo tale da assicurare una corretta calibrazione.

Questo non significa che il laser necessiti di essere messo in rotazione; solo che il raggio laser deve essere lasciato acceso per il tempo necessario.

Il laser può essere usato nel frattempo per allineare i riferimenti. Tuttavia, durante questa operazione potrebbero verificarsi piccoli spostamenti del laser. Di conseguenza, se lo si usa prima di essere completamente riscaldato, si raccomanda di ricontrollare i riferimenti prima di iniziare a prendere le misure di allineamento. Per un risultato migliore, non iniziare le misurazioni prima che sia passato il periodo di riscaldamento.

Infine, risulta sempre una buona pratica metrologica controllare periodicamente i punti di riferimento per assicurarsi che il laser o la base a cui il laser è appoggiato (supporti dello strumento, tavola o altri supporti) non siano spostati.

Si prega di fare attenzione al fatto che la maggior parte dei problemi di disallineamento sono causati dal supporto del laser e non dallo spostamento del laser stesso (dopo il periodo di riscaldamento).

Grazie.

## GARANZIA ORIGINALE DEL PRODUTTORE

Hamar Laser Instrument, Inc., garantisce che ogni strumento e altri articoli dell'attrezzatura da essa fabbricati è esenti da difetti nei materiali e nella lavorazione, in condizioni normali di uso e servizio, la sua responsabilità durante questo periodo di garanzia, è limitata dal ricevimento in fabbrica dei beni sottoposti a garanzia, entro un anno dalla spedizione, gli articoli devono essere spediti integri e nell'imballo originale, con trasporto pagato. Hamar laser dopo aver esaminato gli apparati, determinerà a sua univoca discrezione, il tipo di divieto e se questo è determinato o no da negligenza nell'uso e quindi l'applicazione della garanzia.

Hamar laser, oltre a questa espressa garanzia, non assume né autorizza qualsiasi altra persona a obblighi legati alla vendita di questo prodotto.

Questa garanzia non è applicabile a strumenti o altri oggetti di attrezzature prodotte da altre aziende e limitati da una garanzia che si estende per meno di un anno. In tal caso, la garanzia più limitata si applica a detto strumento o articolo dell'attrezzatura.

Questa garanzia non è applicabile ad ogni strumento o altri articoli dell'attrezzatura, che è stato riparato o modificato al di fuori della fabbrica Hamar Laser, né che è stato oggetto di uso improprio, negligenza, o l'uso non in accordo con istruzioni fornite dal fabbricante.

Il software descritto in questo manuale viene fornito con un contratto di licenza e può essere usato o copiato solo in conformità con i termini del contratto.

E' contro la legge copiare il software su qualsiasi mezzo per qualsiasi motivo diverso dall'utilizzo personale dell'acquirente.

Le informazioni presenti sul manuale sono soggette a modifiche senza preavviso.

Nessuna parte di questo manuale può essere riprodotta con qualsiasi mezzo, elettronico o meccanico, senza autorizzazione scritta da Hamar Laser Instruments, Inc.

## INDICE:

SISTEMI LASER PER ALLINEAMENTI GEOMETRICI - Serie L-730 & L740	pag. 5
- Perché un allineamento laser	Pag. 6
- Utilizzi dell'allineamento geometrico Hamar	pag. 6
- Scelta del sistema laser	pag. 7
- Caratteristiche L-730 & L-740	pag. 7
SISTEMI SERIE L-730	pag. 8
- Sistemi di allineamento Laser di alta precisione ad un prezzo abbordabile	pag. 8
- Proprietà e vantaggi	pag. 8
- Proprietà della serie L-730	pag. 8
SISTEMI SERIE L-740	pag. 9
- Sistemi laser per applicazioni complesse e di altissima precisione	pag. 9
- Proprietà e vantaggi	pag. 9
- Proprietà della serie L-740	pag. 9
- Come scegliere il laser più adatto	pag.10
- Software di analisi dei dati	pag.11
- Accessori	pag.11
INTRODUZIONE ALL'ALLINEAMENTO LASER	pag.12
PREPARAZIONE PER EFFETTUARE UN ALLINEAMENTO	pag.13
Settaggio dei sensori wireless	pag.13
Lettura delle bolle di livello di precisione	pag.13
Calibrazione delle bolle di livello di precisione	pag.13
Azzeramento sensori	pag.15
Determinazione del punto di livello	pag.15
Settaggio della prima bolla di precisione	pag.16
Settaggio della seconda bolla di precisione	pag.16
Controllo precisione livelle	pag.16
Messa in bolla rispetto al piano di gravità.	pag.17
-	
ALLINEAMENTO LASER	pag.18
Allineamento a tre punti (planarità)	pag.19
Allineamento a due punti (rettilineità)	pag.21
Allineamento vicino confrontato con l'allineamento remoto	pag.21
Allineamento vicino	pag.22
Allineamento remoto	pag.22
INFLUENZA DEGLI EFFETTI ATMOSFERICI	pag.25
Ridurre effetti atmosferici con i ventilatori	pag.26
Ventilatori consigliati	pag.26
Smorzamento elettronico	pag.26

# Sistemi Laser per allineamenti geometrici

## **Serie L-730/740**

Singolo asse/Multi asse - Analisi e allineamenti precisi



## PERCHE' UN ALLINEAMENTO LASER?

Prima o poi ogni cosa ha bisogno di essere allineata.

Macchinari e linee di montaggio, quando propriamente allineati, funzionano meglio, più a lungo, richiedono meno manutenzione, abbassando così i costi di produzione e aumentando la produttività.

I sistemi HAMAR LASER offrono più vantaggi rispetto ai tradizionali dispositivi di allineamento:

- velocità superiore del 70%;
- allineamenti multi asse simultanei;
- altissima precisione con ridotte impostazioni;
- aggiornamento automatico dei dati ad ogni spostamento dei sensori;

Come leader nella tecnologia dell'allineamento laser, oggi HAMAR LASER è inimitabile nell'accuratezza e versatilità dei sistemi, nelle impostazioni veloci, nella facilità nell'utilizzo e nell'immediatezza con cui si ottengono i dati di allineamento.

### UTILIZZI DELL'ALLINEAMENTO GEOMETRICO HAMAR

#### Planarità

- Tavole e superfici separate
- Basamenti di macchine e sistemi in movimento
- Guide, colonne verticali e rollio di barre trasversali
- Piani di controllo
- Misure angolari di beccheggio e rollio

#### Perpendicolarità

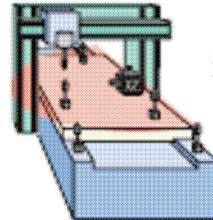
- Colonne verso piani e guide
- Asse X verso Y, Asse Z verso X, Asse Z verso Y
- Sistemi gandy

#### Rettilinearità

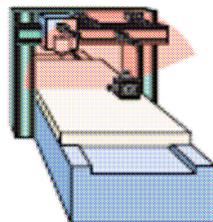
- Basamenti di macchine e linee in movimento
- Movimento di colonne
- Misura dell'angolo di imbardata
- Bracci e altre strutture

#### Parallelismo

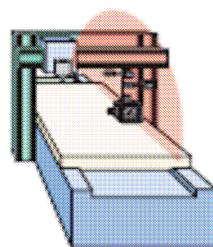
- Guida principale rispetto guida secondaria
- Assi A,B,C e W rispetto all'asse principale
- Da rullo a rullo
- Da piano a piano



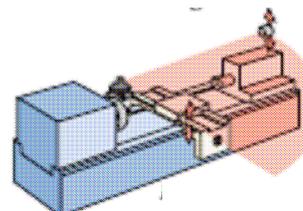
PLANARITA'



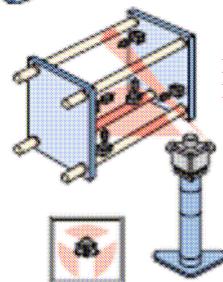
PERPENDICOLARITA'



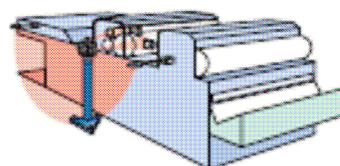
RETTILINEITA'



PLANARITA'  
ROTAIE



PARALLELISMO E  
PERPENDICOLARITA'



PARALLELISMO  
DITTI

## SCelta DEL SISTEMA LASER

Differenti operazioni richiedono differenti livelli di precisione, ecco perché sono state sviluppate due linee base di sistemi laser di allineamento.

### **Serie L-730.**

Ideale per lavori di precisione dove la tolleranza non è così critica.

### **Serie L-740.**

Ultra precisa, utilizzata per lavori più critici, ad esempio per allineamenti geometrici di complesse macchine utensili.

Ogni famiglia di laser è disponibile nelle versioni a singola, doppia e tripla scansione. Molte caratteristiche e molti accessori sono comuni per entrambe le famiglie. La vera differenza è nel livello di precisione. Per esempio: con la serie L-730 la misura di planarità è precisa a 0.01mm/M; con la serie L-740 è di 0.0025mm/M.

Minore è la tolleranza, maggiore è il livello di precisione, maggiore dovrebbe essere il prezzo. Di conseguenza, la serie L-730 risulta essere una scelta economica perfettamente adatta ad effettuare un vasto range di misure di allineamento che non richiedono una altissima precisione, ottenibile invece con la serie laser L-740.

## CARATTERISTICHE SERIE L-730 & L-740

- ☞ Dati in tempo reale
- ☞ Piani laser continuamente rotanti con un raggio di 30.5 m
- ☞ Misura di squadra con precisione fino a 5 $\mu$ m (solo per laser a più piani)
- ☞ Più sensori leggibili simultaneamente per un allineamento e settaggio più veloce.
- ☞ Raccolta dati simultanea di planarità e rettilineità.
- ☞ Lavoro 70% più veloce rispetto ad interferometri, teodoliti e altri metodi tradizionali.
- ☞ Semplice da imparare e da usare
- ☞ In grado di collezionare dati geometrici sulla maggior parte delle macchine in meno di 90 minuti.



## SISTEMI SERIE L-730

### SISTEMI DI ALLINEAMENTO LASER DI ALTA PRECISIONE AD UN PREZZO ABBORDABILE

#### *Proprietà e vantaggi*

I sistemi laser, serie L-730, a singolo, doppio e triplo piano, adattano le innovazioni della metrologia Hamar ad applicazioni con richieste di allineamento meno “rigorose”, come allineamento di strutture, allineamento di rulli tessili, macchine per legno.

Si riescono così ad ottenere i vantaggi di sistemi laser ad altra precisione ad un prezzo più sostenibile.



**L-730**, Sistema Laser di livellamento di precisione



**L-732**, Sistema di allineamento rulli di precisione



**L-733**, Sistema di allineamento geometrico di precisione a tripla scansione

#### *Proprietà della serie L-730*

- ☞ Possiede uno, due o tre piani auto-rotanti
- ☞ Precisione di 0.01 mm/m
- ☞ Ortogonalità del piano laser: 0.01 mm/m
- ☞ Livelle retro-illuminate con precisione di 0.01 mm/m
- ☞ Possibilità di misura dell'altezza tramite dei distanziali calibrati
- ☞ Viti di regolazione per i 3 assi per un settaggio veloce

In aggiunta, le serie laser L-730 presentano due possibili sensori:

1. L' A-1532 o A-1533 con visualizzatore integrato, con un campo di misura fino a 75mm, e risoluzione di 0.02mm.
2. L' A-1519 con comunicazione radio (a PDA), un campo di misura fino a 25mm, risoluzione di 0.05  $\mu$ m e scaricamento immediato nel nostro software per la geometria delle macchine e analisi di superficie.

## SISTEMI SERIE L-740

### SISTEMI LASER PER APPLICAZIONI COMPLESSE E DI ALTISSIMA PRECISIONE

#### **Proprietà e vantaggi**

I sistemi Laser ad altissima precisione serie L-740, rappresentano l'apice del successo nella tecnologia laser di allineamento. Con il Laser L-743 a tripla scansione, attraverso un unico settaggio, si misurano contemporaneamente planarità, rettilineità e perpendicolarità.

Il potente software di analisi geometrica della macchina scarica automaticamente i dati di allineamento, corregge gli errori di pendenza del laser e dello zero del punto di riferimento e produce una relazione globale di allineamento.



**L-740** Laser di livellamento ad altissima precisione



**L-741** Laser di livellamento ad altissima precisione (con raggio a piombo)



**L-742** Laser di ad altissima precisione a doppia scansione



**L-743** Laser di ad altissima precisione a tripla scansione

#### **Proprietà della serie L-740**

- ∞ Uno, due o tre piani laser auto rotanti.
- ∞ Precisione di 0.0025mm/m
- ∞ Ortogonalità del piano Laser: 0.005mm/m
- ∞ Livelle retroilluminate integrate
- ∞ Viti di regolazione per i 3 assi per un settaggio veloce

Il sistema arriva con due possibili sensori wireless:

1. L'A-1519 con un range di misura di 25mm e una risoluzione di 0.0005mm
2. L'A-1520 con un range di misura di 10mm e una risoluzione di 0.00025mm

Il visualizzatore senza fili R-1310 riesce a visualizzare fino ad otto sensori, di cui 4 simultaneamente. L'interfaccia radio A-910, collegata al PC, può scaricare dati dai sensori, fino a 99 contemporaneamente.

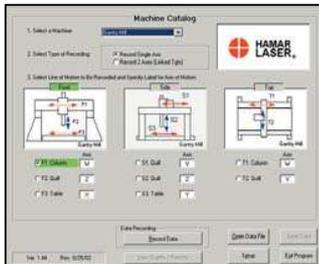
**COME SCEGLIERE IL LASER PIU' ADATTO**

<b>SERIE DI PRECISIONE</b>				<b>SERIE AD ALTISSIMA PRECISIONE</b>			
	L-730	L-732	L-733	L-740	L-741	L-742	L-743
<i>N° piani laser</i>							
	1	2	3	1	1	2	3
<b>MISURAZIONI</b>							
Planarità	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Planarità letto macchina	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Perpendicolarità		✓	✓		✓	✓	✓
Rettilineità		✓	✓		✓	✓	✓
Parallelismo	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Parallelismo rotaia		✓	✓			✓	
<b>APPLICAZIONI TIPICHE</b>							
Geometria macchine utensili					✓	✓	✓
Allineamento rulli		✓	✓			✓	✓
Macchine pressofusione		✓	✓			✓	✓
Assemblaggi aerospaziali	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Planarità della superficie				✓	✓	✓	✓
Allineamento di grosse parti	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Allineamento e fabbricazione di apparecchiature	✓	✓	✓				
<b>LIVELLI DI PRECISIONE</b>							
Planarità superficie laser	0.01 mm/m			0.025 mm/m			
Perpendicolarità piani	non app.	0.01 mm/m		non app.	non app.	0.005 mm/m	
<b>PARAMETRI DI REGOLAZIONE</b>							
Regolazione grossolana	± 3.0 gradi			± 3.0 gradi			
Regolazione fine	non app.			± 3.0 gradi			
Risoluzione regolazione grossolana	0.25 mm in 30.5 m			0.25 mm in 30.5 m			
Risoluzione regolazione fine	non app.			0.025 in 30.5 m			
<b>OPZIONI SENSORE / ELABORAZIONE</b>							
<b>Sensore</b>							
A-1532 & A-1553	std.	std.	std.	non app.	non app.	non app.	non app.
A-1519 & A-1520 wireless	opt.	opt.	opt.	std.	std.	std.	std.
N° consigliato	1	2-3	3-4	1	1	2-3	3-4
<b>Elaborazione</b>							
Livelle	std.	std.	std.	non app.	non app.	non app.	non app.
Wireless	opt.	opt.	opt.	std.	std.	std.	std.

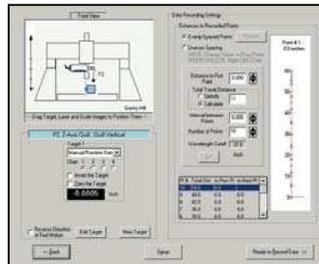
## SOFTWARE DI ANALISI DEI DATI

Il software di allineamento, rilasciato da Hamar Laser, combinato con una nuova interfaccia wireless, rende più veloce e semplice la collezione e l'analisi dei dati di allineamento. Il software è basato su windows e fornisce grafici colorati, grandi e leggibili.

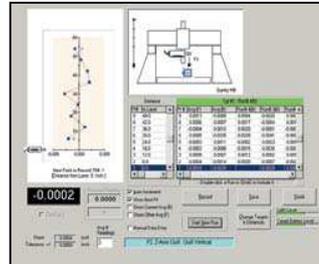
Vediamo un esempio di tipiche schermate con l'elaborazione dei dati.



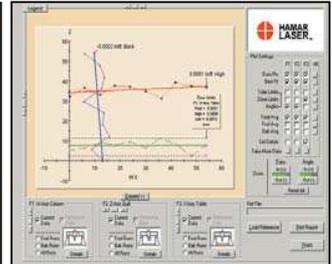
**Geometria macchina utensile – Schermata settaggio macchina**  
Scelta tra più configurazioni.  
Usata per calibrazioni di centraggio macchina



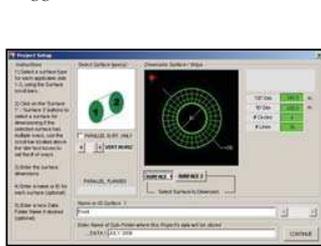
**Geometria macchina utensile – Schermata settaggio assi.**  
Settaggio di ogni linea di movimento per il numero di punti misurati.



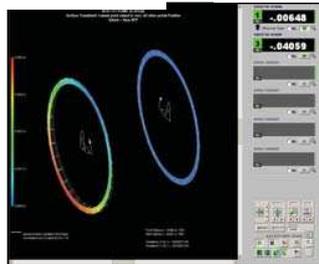
**Geometria macchina utensile – schermata raccolta dati.**  
Registra fino a 10 corse bidirezionali per ogni asse..



**Geometria macchina utensile – Schermata grafici.**  
Mostra l'errore assoluto, il Parallelismo e l' Ortogonalità tra assi



**Plane5 – Proiet setup screen**  
Configurazione forma e n° punti fino a 7 superfici. Usato per misurare planarità, perpendicolarità e parallelismo di superfici machined



**Plane 5 – Schermata Grafico**  
Grafico 3D della planarità di due o più superfici



**Plane 5 – Schermata tabella**  
Tabella completa sui dati di planarità, perpendicolarità e parallelismo di tutte le superfici misurate.

## ACCESSORI



**A-910 Ricevitore Radio**  
Ricevitore Wireless (900MHz o 2.4GHz) per laptop analisi



**Lettore R-1310 PDA**  
Wireless (900MHz o 2.4GHz), mostra fino a 4 sensori simultaneamente



**Sensori Universali A-1519/A-1520**  
Trasmissione Wireless dei dati (900MHz o 2.4GHz) con 2 possibili risoluzioni e un largo range di misura



**L-106 Piattaforma strumento**  
Leggero, di altezza variabile per un settaggio più flessibile

# INTRODUZIONE ALL'ALLINEAMENTO LASER

L'allineamento laser è un metodo semplice e accurato per allineare macchinari.

Un sistema per l'allineamento laser consiste di un laser, un sensore (o più sensori) e un display (o un computer palmare o un interfaccia computer). Il laser fornisce un raggio di luce intenso e concentrato che rimane focalizzato fino ad oltre 30m . Il sensore è una cella fotosensibile in grado di identificare il centro assoluto del raggio laser. Quando il sensore viene posizionato in linea col raggio laser, il display legge la deviazione tra il centro del raggio laser e il centro della cella del sensore, sia graficamente che numericamente.

Hamar Laser, in aggiunta ai laser che producono un raggio rettilineo, fabbrica laser che producono continuamente un piano continuante rotante. Questi piani vengono generati piegando un raggio laser di esattamente 90°, tramite l'uso di un penta prisma ottico. Il piano laser si usa per gli allineamenti, posizionandolo parallelo (allineandolo) a tre punti di riferimento o a un piano dato, utilizzando i sensori per misurare le deviazioni da questi 3 punti. Una volta che il laser risulta allineato, ogni punto dentro il campo operativo del sistema laser (fino a 30.5m di raggio) può essere allineato al piano di riferimento.

I laser multi-piano di Hamar Laser, come l' L-733 e l' L-743, generano fino a 3 piani laser ultra piatti (sia orizzontali che verticali) e possono essere usati con vari sensori su più assi per verificare l'allineamento. Questo, nella maggior parte dei casi, richiede un solo settaggio.

Per *allineamento laser* si intende l'aggiustamento di un piano laser o un raggio laser in modo che risulti parallelo alla superficie misurata (una tavola, un piano di riscontro, o delle guide).

L'allineamento di un piano laser a una superficie di riferimento richiede 3 punti.

L'allineamento di una linea retta a una linea di riferimento ne richiede 2 (esempio linea centrale).

Per la maggior parte dei centri di lavoro il processo di allineamento inizia allineando il laser a 5 punti di riferimento, 3 per il piano orizzontale (solitamente la tavola della macchina) e 2 per uno dei piani verticali.

I due punti di riferimento per il piano verticale vengono solitamente scelti o sullo spostamento della macchina lungo l'asse X o lungo l'asse Y.

Il piano orizzontale viene misurato usando i sensori montati verticalmente e il piano verticale usando sensori montati orizzontalmente.

Beccheggio, rollio e imbardata dei piani laser vengono aggiustati attraverso l'uso di manopole posizionate alla base del laser.

Dopo l'allineamento, si sposta il sensore su vari punti lungo la superficie dove viene misurata la deviazione dal piano laser di riferimento.

Per la perpendicolarità, un sensore viene posizionato (solitamente orizzontale) su un lato della colonna e azzerato.

La colonna viene, quindi, misurata verso l'alto o verso il basso e ogni deviazione diventa una misura della perpendicolarità poichè il piano laser usato per la misura è perpendicolare al piano laser di riferimento.

Questo manuale tratterà le 3 procedure che sono necessarie per utilizzare un sistema di allineamento HAMAR LASER:

1. Lettura e calibrazione delle bolle di livello di precisione del Laser.
2. Allineamento a 3 punti
3. Allineamento a 2 punti

Ogni allineamento richiede una o più di queste procedure. Questo manuale spiegherà queste procedure e come svolgerle. Attraverso una piena comprensione delle procedure, si è in grado di allineare virtualmente ogni macchina, transfer o attrezzature per la produzione.

# PREPARAZIONE PER EFFETTUARE UN ALLINEAMENTO

## **SETTAGGIO DEI SENSORI WIRELESS:**

I sensori wireless A-1519 e A-1520 trasmettono dati ogni qualvolta il raggio laser raggiunge il sensore ottenendo così una nuova lettura.

I sensori sono etichettati su 2 lati con una sequenza di lettere (A-D), o numeri 1-2-3.

Quando i sensori sono troppo vicini o abbastanza in linea con il raggio laser, potrebbe risultare complicato determinare quale sensore sia primo nella sequenza. In tal caso settarne uno alla volta. Se il lettore del sensore precedente non segna nulla o mostra N/A all'aggiunta di un nuovo sensore, vuol dire che non risultano in sequenza.

Spostare quindi i sensori come richiesto fino a quando vengono visualizzate le letture di tutti i sensori.

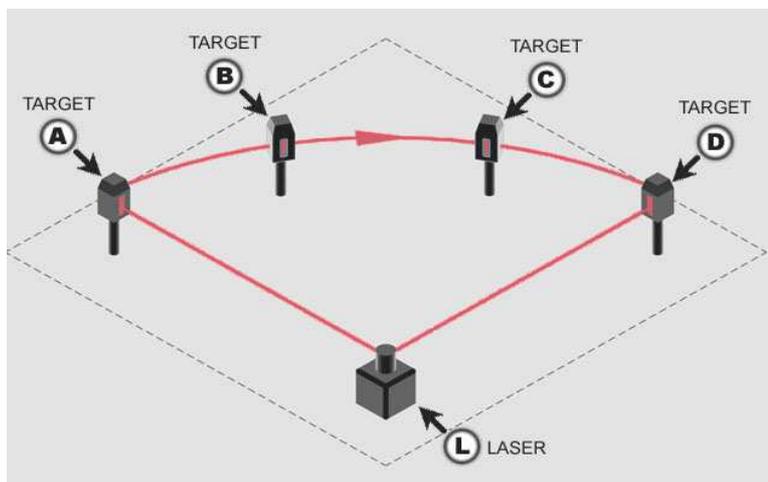


Fig. 1 - Rotazione oraria del raggio laser. Il sensore A viene scannerizzato per primo, a seguire il sensore B, ecc....

Se i sensori sono raggiunti dal raggio laser e trasmettono si accendono in modo continuativo le lampade rosse sul fronte.

## **LETTURA DELLE BOLLE DI LIVELLO DI PRECISIONE:**

Fissare il Laser Base L-127 a una superficie metallica girando la manopola della base magnetica su ON. Una volta che il laser risulta in posizione, accenderlo e illuminare le bolle di livello usando l'interruttore localizzato sul pannello di controllo principale.

Usare le manopole di aggiustamento posizionate sulla base del laser per portare le bolle al centro di entrambe le finestre di livello.

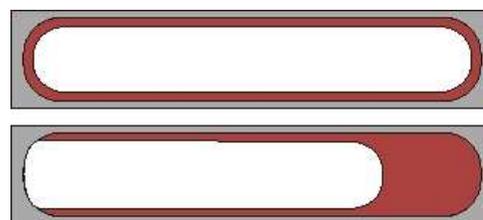


Fig. 2 - Bolla di precisione centrata (in alto) e non centrata (in basso)

## **CALIBRAZIONE DELLE BOLLE DI LIVELLO DI PRECISIONE**

La procedura di calibrazione include una serie di passi per aggiustare il raggio laser in modo tale da risultare livellato rispetto al piano di gravità. Poiché il processo di livellamento è soggetto a molte variabili, ripetere la procedura per accertare la precisione una volta prese le letture iniziali e fatti gli aggiustamenti. Una tipica sequenza potrebbe essere quella che segue:

- Determinare il SETPOINT e azzerare il primo asse.
- Usare il valore di SETPOINT per azzerare il secondo asse.
- Controllare sia il primo e che il secondo asse. Azzerare le livelle se necessario.

Nel caso in cui le livelle siano azzerate, fare un controllo finale per determinare se l'errore del livellamento laser è accettabile.

Durante la calibrazione delle bolle di livello di precisione, lavorare su una superficie che è livellata alla gravità con una precisione da 5 a 15 centesimi per metro. L'ideale sarebbe una superficie da 3 a 6 m di lunghezza.

Se si stanno usando i sensori a range esteso A-1532 o A-1533, la lettura viene settata premendo DISPLAY.

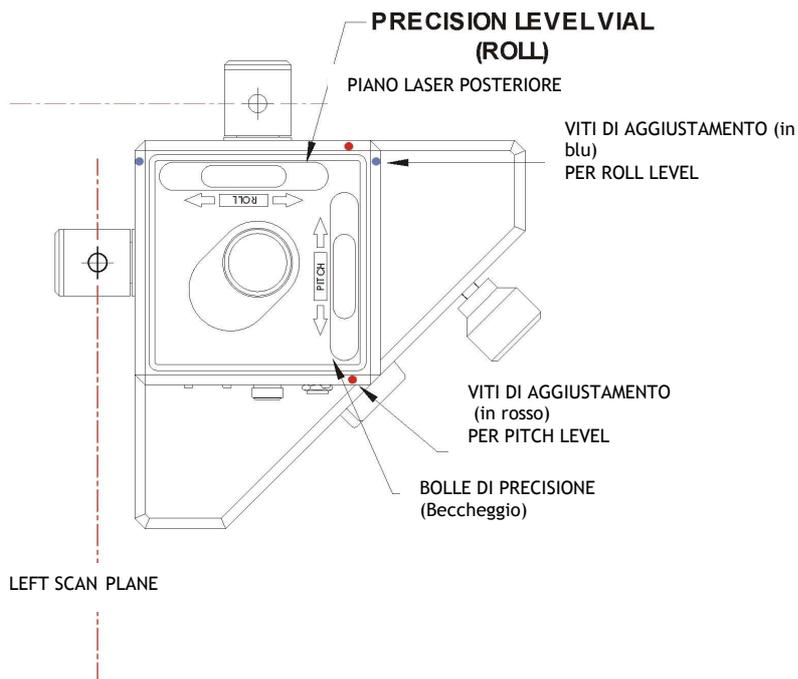


Fig. 3 - L-733 (dall'alto). Posizione delle bolle di precisione e le corrispondenti manopole di aggiustamento.

Quando si calibra su una superficie corta usare il visualizzatore con la risoluzione millesimale.

Se si stanno usando i sensori Wireless A-1519 e A-1520 con il sistema R-1309 o con i programmi di allineamento Hamar Laser, settare il display di lettura attraverso il software.

Prima di iniziare la procedura, registrare la distanza tra la posizione vicino e la posizione lontano.

NOTA: questa procedura calibra solo una bolla di livello di precisione alla volta e deve essere ripetuta per gli altri assi. Il setup iniziale per la calibrazione delle bolle di precisione è mostrato in fig.4.

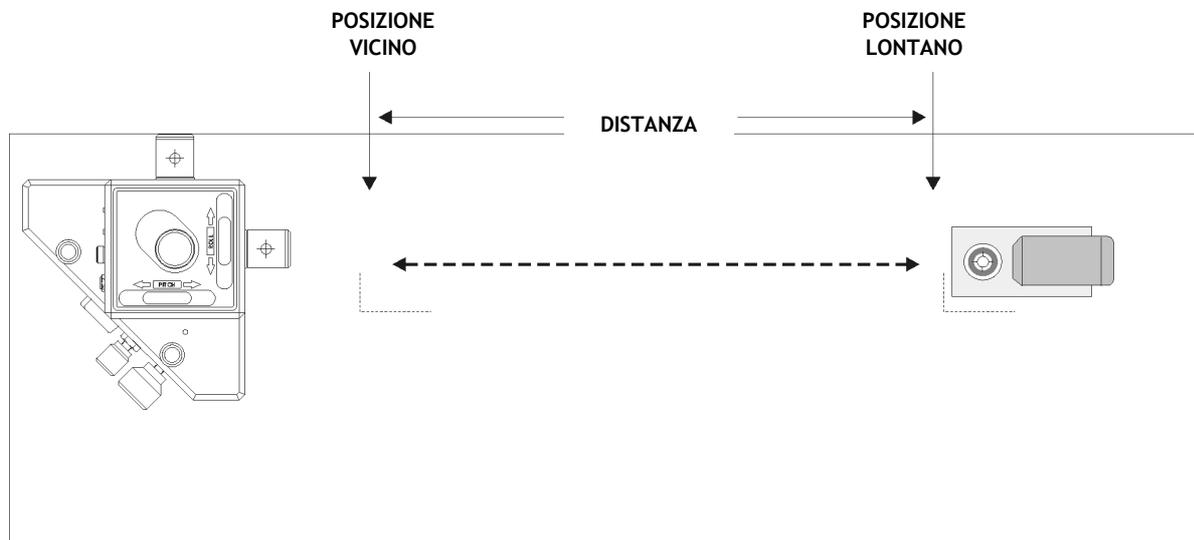


Fig. 4 - Settaggio del laser e del sensore per la calibrazione delle bolle di precisione.

#### AZZERAMENTO DEI SENSORI:

La prossima sezione si riferisce all'azzeramento del sensore.

Quando un sensore viene azzerato, la lettura viene azzerata nel punto in cui il raggio laser in quell'istante colpisce la cella del sensore.

- Se si usano i sensori Universali A-1519/A-1520 l'azzeramento viene effettuato attraverso il software READ 9 (o tramite altri programmi di allineamento Hamar Laser).
- Se si usano i sensori Universali a range esteso l'azzeramento viene effettuato col il tasto MODE.

Questa lettura viene memorizzata e sottratta alle letture successive.

Una volta azzerato il sensore, le letture successive mostreranno solo la differenza dalla lettura originale.

#### **DETERMINAZIONE DEL PUNTO DI LIVELLO:**

##### **1. Mettere in bolla il laser.**

Utilizzando le manopole di aggiustamento mettere in bolla il laser in modo che il livelli di beccheggio e rollio siano esattamente in bolla.

##### **2. Azzerare il sensore nella posizione vicina.**

Posizionare il sensore a singolo asse in un punto vicino al laser. Segnare questo punto in modo da poter rimettere il sensore sempre allo stesso punto. (vedi parte superiore della fig.5).

Azzerare il sensore.

##### **3. Determinare la lettura lontana 1.**

Spostare il sensore nel punto più lontano, segnare il punto e registrare la lettura del sensore.

Questa sarà la *lettura lontana 1*.

##### **4. Determinare la lettura lontana 2.**

Ruotare l'intera unità laser di 180°. Rimettere in bolla il laser attraverso le manopole di aggiustamento in modo tale che i livelli di beccheggio e rollio siano esattamente in bolla. Riportare il sensore nella posizione vicina, assicurandosi che sia posizionato nella posizione precedente. Riazzerare il sensore in questo punto. Muovere il sensore nella posizione lontana, assicurandosi nuovamente che sia la stessa posizione di prima. Registrare la lettura del sensore. Questa sarà la *lettura lontana 2*.

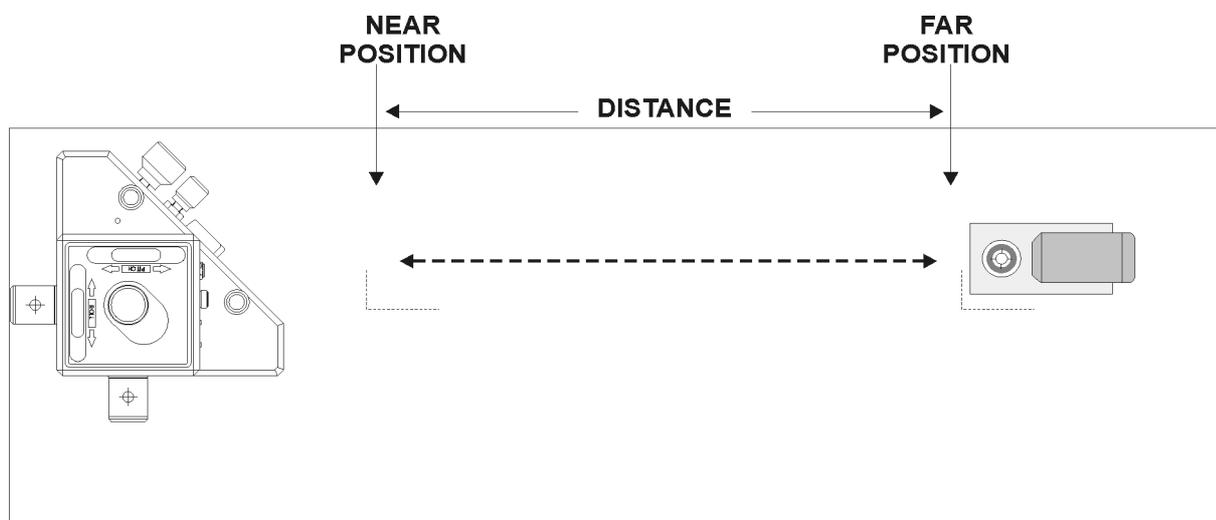


Fig 5 - Settaggio dopo rotazione del laser di 180°.

##### **5. Calcolare il livello di set point.**

Se le due letture lontane sono uguali, le livelle sono calibrate. Se non lo sono, sommare le due letture e dividere per 2.  
Questo numero sarà quello di setpoint.

ES:            +0.020 (Lettura lontana 1)  
               -0.010 (Lettura lontana 2)  
               -----  
               +0.010/2=+0.005 (setpoint)

#### **SETTAGGIO DELLA PRIMA BOLLA DI PRECISIONE:**

1. **Con il sensore posto nella *postazione Lontana*, inclinare il laser aggiustando le manopole appropriate poste sulla base del laser, fino a quando il lettore mostrerà il set point calcolato.** Riportare quindi il sensore nella *postazione vicina* e riazzerarlo. Spostarlo nuovamente nella postazione lontana e inclinare nuovamente il laser con le manopole di aggiustamento fino a quando il lettore segnerà il setpoint calcolato. Ripetere fino a quando il sensore segnerà 0 nella *postazione vicina* e il valore di setpoint nella *postazione lontana*.
2. **Regolazione della bolla.**  
Collocare la chiave a brugola nelle viti incassate e regolare la finestra fino a quando la bolla di livello risulta centrata nella finestra.  
Per ES: per muovere la bolla a sinistra, allentare la vite a sinistra e stringere la vite a destra. Quando la bolla è centrata, stringere la vite di sinistra fino a quando la bolla sarà ferma. Controllare il lavoro effettuato ripetendo i medesimi passi e assicurandosi che la livella sia calibrata all'interno delle tolleranze specificate.

#### **SETTAGGIO DELLA SECONDA BOLLA DI PRECISIONE:**

1. **Messa in bolla del laser.**  
Ruotare l'intero laser di 90°. Mediante le manopole di aggiustamento, livellare il laser in modo tale che beccheggio e rollio siano esattamente livellati.
2. **Azzeramento del sensore nella *Postazione Vicino*.**  
Risettare il sensore nella Postazione Vicino determinata precedentemente e riazzerarlo.
3. **Inclinare il laser fino a quando il sensore leggerà il valore di setpoint calcolato.**  
Muovere il sensore nella precedente Postazione Lontana e annotare la lettura.  
Inclinare il laser usando l'aggiustamento fine micrometrico fino a quando il sensore leggerà il valore di setpoint calcolato. Riportare il sensore nella posizione vicina e azzerarlo.  
Ripetere questi passi fino a che il display del sensore leggerà zero nel punto vicino e il valore di set point nel punto lontano.
4. **Aggiustare il livello.**  
Per esempio:  
per spostare la bolla a sinistra allentare la vite a sinistra e stringere quella a destra.  
Quando la bolla risulta centrata, stringere la vite a sinistra fino a quando la bolla è stazionaria.  
Controllare il lavoro ripetendo la procedura e assicurandosi che il livello sia calibrato alle specifiche tolleranze.

#### **CONTROLLO PRECISIONE LIVELLE:**

Per controllare per precisione, ripetere i passi di settaggio delle bolle di precisione.

Il set point dovrebbe essere lo stesso del precedente setpoint. Se non è così, calcolarne uno nuovo e riaggiustare.

#### **MESSA IN BOLLA RISPETTO AL PIANO DI GRAVITA':**

1. Posizionare il laser su qualsiasi superficie stabile d'acciaio come il basamento della macchina o il supporto.
2. Ruotare la leva magnetica in posizione ON. Questo blocca con sicurezza il laser sulla superficie.
3. Accendere il laser.
4. Aggiustare l'inclinazione del laser tramite l'uso delle manopole di aggiustamento in modo che le bolle di livello siano esattamente centrate.
5. Posizionare il sensore sull'unità che necessita di essere livellata o allineata. Sistemare l'altezza del sensore in modo tale che il raggio laser passi vicino a metà della cella del sensore. Azzerare il lettore.
6. Settare il sensore su varie posizioni della superficie che deve essere livellata e regolare l'unità fino a quando il lettore leggerà zero. Una volta che il laser viene livellato e il sensore settato sullo zero, queste due unità non dovrebbero più essere regolate. Qualsiasi aggiustamento verrà fatto nell'unità da livellare.

*NOTE: Alcuni utenti preferiscono prendere le letture a vari punti livellati per trovare il punto più alto, e quindi usarlo per settare il sensore a zero e portare tutti gli altri punti fino a quell'altezza.*

# ALLINEAMENTO LASER

Per *allineamento laser* si intende l'aggiustamento di un piano laser o un raggio laser in modo che risulti parallelo alla superficie misurata (una tavola, un piano di riscontro, o delle guide).

L'allineamento di un piano laser a una superficie di riferimento richiede 3 punti.

L'allineamento di una linea retta a una linea di riferimento ne richiede 2 (esempio linea centrale).

## ALLINEAMENTO A 3 PUNTI (PLANARITA'):

La procedura di allineamento a 3 punti richiede l'aggiustamento del piano laser in modo tale che risulti parallelo alla superficie da misurare; per esempio, una tavola, una superficie o una guida.

Sono richiesti 3 punti in modo da relazionare un piano all'altro. Può essere usata qualsiasi terna di punti sulla superficie, tuttavia Hamar Laser raccomanda il setup illustrato in figura 6.

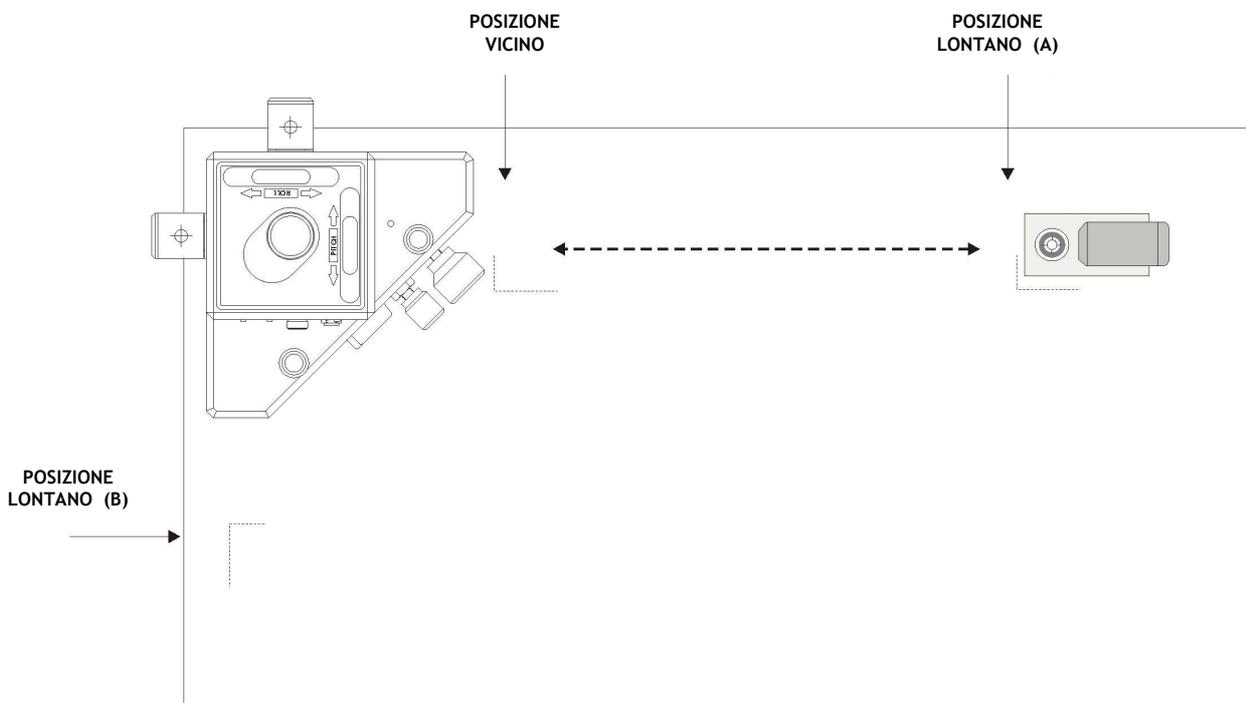


Fig 6 - Allineamento a tre punti con l'utilizzo di un solo sensore

Durante questa procedura è opportuno posizionare la sorgente laser in una posizione che sia più vicina possibile alla posizione del sensore vicino.

La terza posizione del sensore dovrebbe essere approssimativamente a 90 gradi rispetto questi 2 punti.

Questa risulta essere la configurazione più semplice per questa procedura, anche se non sempre possibile.

## PROCEDURA DI ALLINEAMENTO A TRE PUNTI UTILIZZANDO UN SENSORE:

### Montaggio dell'attrezzatura

#### 1. Posizionare e fissare il laser.

Posizionare il laser come mostrato in figura e ruotare la leva sulla base magnetica su ON per fissarlo con sicurezza alla base metallica.

#### 2. Allineare grossolanamente il laser.

Accendere il laser e usare il controllo della velocità di rotazione sul pannello di controllo per abbassare la velocità fino a quando si può vedere il raggio laser passare sopra il sensore (più il sensore è posizionato lontano più deve essere lenta la velocità). Accendere l'illuminazione delle bolle.

Usando le manopole di aggiustamento e osservando la posizione delle bolle di precisione, livellare grossolanamente il laser in modo tale che il piano laser sia approssimativamente parallelo alla superficie.

#### 3. Posizionare e fissare il sensore.

Posizionare il sensore nella posizione Vicino (vedi fig.6). Muoverlo sulla sua base magnetica fino a quando il raggio laser colpisce la posizione di mezzo del sensore e ruotare la leva posta sulla base magnetica su ON per fissarlo con sicurezza alla superficie metallica.

*Nota: Marcare la superficie dove è sistemata la base del sensore, quando viene posizionato nella posizione Vicino, nella posizione Lontano A e nella posizione Lontano B, in modo tale possano essere riposizionanti ogni volta nello stesso punto.*

#### 4. Settare il lettore.

Se si stanno usando i sensori a range esteso A-1532 o A-1533, settare il lettore attraverso i pulsanti del DISPLAY.

Se si stanno usando i sensori wireless A-1519 o A-1520 con il sistema R-1309 o con i programmi di allineamento Hamar Laser, settare il display del lettore attraverso il software. Utilizzando software READ 9 si potrebbe aver bisogno di aggiustare l'andamento (velocità) di campionamento per smorzare gli effetti della turbolenza atmosferica (o per qualsiasi programma di allineamento Hamar Laser si stia utilizzando).

Se si stanno usando i sensori A-1532 o A-1533, i pulsanti del display possono permettere di spostarsi ad una risoluzione più grossolana che potrà aver un simile effetto smorzante sulla lettura.

*Nota: si consiglia di usare uno smorzamento minimo durante le fasi di allineamento in modo da accelerare la risposta del sensore ai cambiamenti imposti dalla regolazione.*

### Procedura Allineamento a tre punti:

#### 1. Centrare il sensore nella posizione Vicino.

Azzerare il sensore posizionato nella posizione Vicino.

#### 2. Spostare il sensore nella posizione Lontano A e inclinare il raggio laser fino a quando il lettore indica zero.

Con il sensore nella posizione Lontano A, inclinare il raggio laser utilizzando le manopole di

aggiustamento del laser fino a quando il lettore indica zero. Assicurarsi di usare esclusivamente le manopole poste dal lato del sensore. (Negli esempi di fig.6 sarebbe la regolazione *roll*).

*Nota: Quando il sensore è nella posizione Vicino, usare sempre l'appropriata funzione zero per azzerare la fotocellula del sensore. Quando il sensore è nella posizione lontana, usare sempre le manopole di aggiustamento per inclinare il raggio laser. Questo può essere facilmente ricordato memorizzando la frase "Centro Vicino, Inclina Lontano"*

**3. Ripetere i passi 1 e 2 fino a quando il lettore indica zero senza aggiustamenti.**

Continuare a spostare il sensore dalla posizione Vicino alla posizione Lontana A, azzerando il sensore nella posizione Vicino e inclinando il raggio laser, attraverso le manopole di aggiustamento, nella posizione Lontana A fino a quando il lettore indica zero senza aggiustamenti.

**4. Spostare il sensore nella posizione Lontana B e inclinare il laser fino a quando il lettore indica zero.**

Assicurarsi di usare solo le manopole di aggiustamento poste dal lato del sensore quando viene allineato il raggio laser. (Il settaggio mostrato in fig.6, la manopola da usare sarebbe la regolazione *pitch*)

**5. Ricontrollare le letture della posizione Vicino e delle posizioni Lontano A e B e, se necessario aggiustare a zero.**

Quando tutte le letture sono a zero senza più aggiustamenti, il piano laser risulterà parallelo alla superficie.

**PROCEDURA DI ALLINEAMENTO A TRE PUNTI USANDO SENSORI MULTIPLI**

Questo metodo richiede l'utilizzo di tre sensori. La procedura è circa la stessa utilizzata per l'utilizzo di un sensore, ma si risparmia il tempo richiesto per spostare un singolo sensore nelle 3 postazioni.

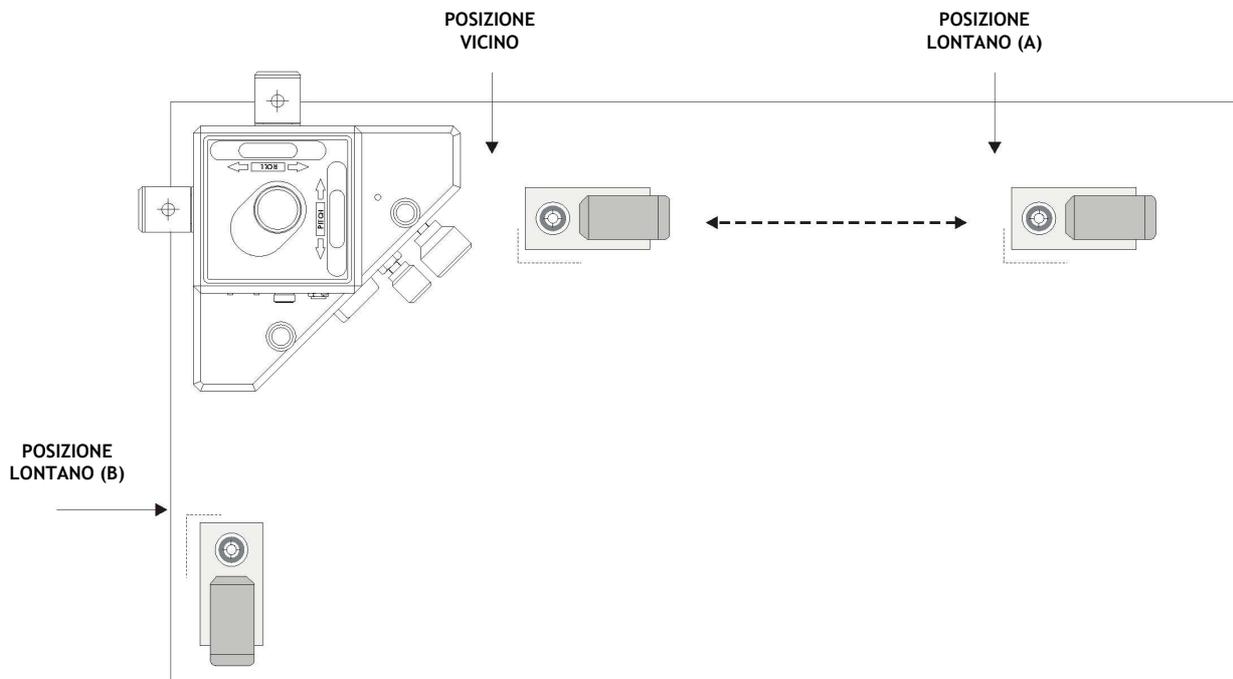


Fig 7 - Allineamento a tre punti con l'utilizzo di più sensori

3. Inclinare o raddrizzare il laser fino a quando tutte e tre le letture indichino gli stessi numeri e lo stesso segno.
4. Quando le tre letture sono uguali, il piano laser risulterà parallelo a tutti i tre punti.

## ALLINEAMENTO A DUE PUNTI (RETTILINEITA')

Un raggio laser viene spesso usato come una “riga campione” per misurare la rettilineità. Ne sono esempi la misura delle vie di corsa delle macchine utensili o la misura della rettilineità dei fori. Il raggio laser deve essere aggiustato in modo tale che risulti parallelo o coincidente con il bordo o la linea centrale. Il procedimento per effettuare questo aggiustamento si chiama “allineamento”. Questa sezione descrive due tipi di allineamento: **Vicino** (più semplice) e **Remoto** (più difficile).

Due punti nello spazio definiscono un'unica linea retta; per questo sono necessari due punti di riferimento per determinare la posizione di un raggio laser rispetto ad una superficie o la linea centrale. Possono essere scelti due punti qualsiasi (l'adeguatezza dei punti può essere stabilita solo dopo che è stata fatta la misura). I punti vengono solitamente scelti vicino le estremità del manufatto, per sicurezza. L'allineamento a due punti mette il raggio laser parallelo a questi due punti. Sarebbe ideale porre la sorgente del laser in una posizione più vicino possibile alla posizione vicino del sensore. Orientare il sensore in modo tale che sia l'asse lungo della base quello corto siano paralleli alle posizioni Vicino e Lontano.

### ALLINEAMENTO VICINO CONFRONTATO ALL' ALLINEAMENTO REMOTO

Esistono due procedure per allineare un laser:  
allineamento vicino e  
allineamento remoto.  
La procedura utilizzata dipende dalla relazione tra le due distanze: la distanza tra l'unità laser e il primo sensore, e la distanza tra il primo e il secondo sensore.  
L'allineamento vicino è più semplice; l'allineamento remoto viene utilizzato in situazioni in cui l'utilizzo dell'allineamento vicino è praticamente impossibile.

La fig.8 mostra la regola generale per determinare quale metodo utilizzare. L1 rappresenta la distanza dal laser al primo sensore. L2 rappresenta la distanza tra i due sensori.  
Se L1 risulta minore del dieci per cento di L2, viene utilizzata la procedura di allineamento vicino.  
Se L1 risulta maggiore del dieci per cento di L2, potrebbe essere utilizzata la procedura di allineamento remoto.  
Nel dubbio o se la procedura di allineamento vicino non dovesse riportare dei buoni risultati, usare la procedura remota.

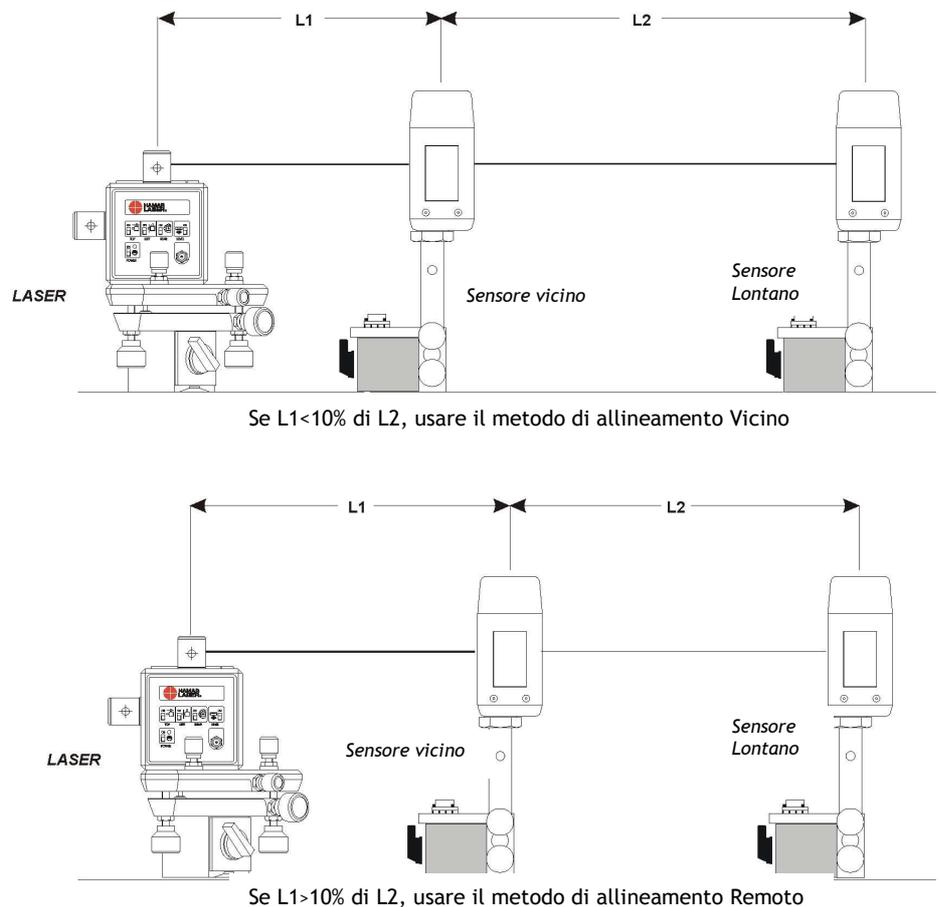


Fig. 8 - Allineamento vicino confrontato all'allineamento remoto.

## ALLINEAMENTO VICINO

La procedura di allineamento vicino può essere ricordata con la seguente regola: “Zero vicino, Punto lontano”. Allineare il raggio laser azzerandolo sul sensore Vicino, quindi “puntare” il raggio laser, utilizzando le appropriate manopole di aggiustamento, verso il *centro* del sensore lontano. Ripetere entrambi i passi fino a quando entrambe le letture dei sensori segnano zero.

## ALLINEAMENTO REMOTO

Quando la distanza tra il laser e il sensore vicino aumenta mantenendo la distanza tra i due sensori, l'allineamento tramite la procedura vicino diventa praticamente impossibile. Per questi situazioni è stata sviluppata una speciale procedura remota.

L'allineamento remoto utilizza le semplici regole di geometria per rendere il raggio laser parallelo alla linea centrale dei due sensori, e per poi centrare il raggio su quella linea. La figura 9 illustra il metodo.

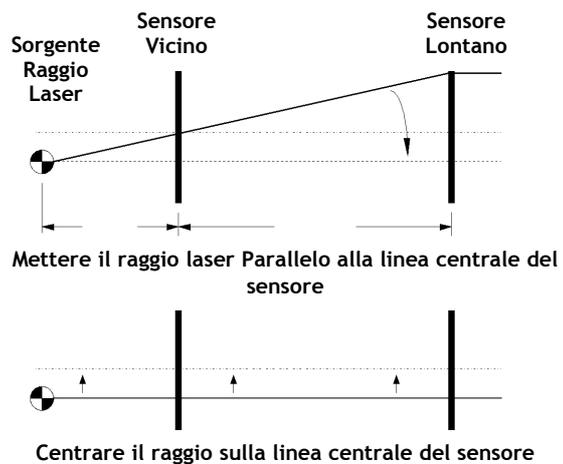


Fig. 9 - Allineamento remoto

A differenza dell'allineamento vicino, dove il laser è regolato a zero sul sensore lontano, la procedura remota azzer il punto lontano attraverso l'uso di un punto di mira o settaggio. Il punto di settaggio (o setpoint) è la differenza tra il raggio laser allineato ed il centro del sensore vicino.

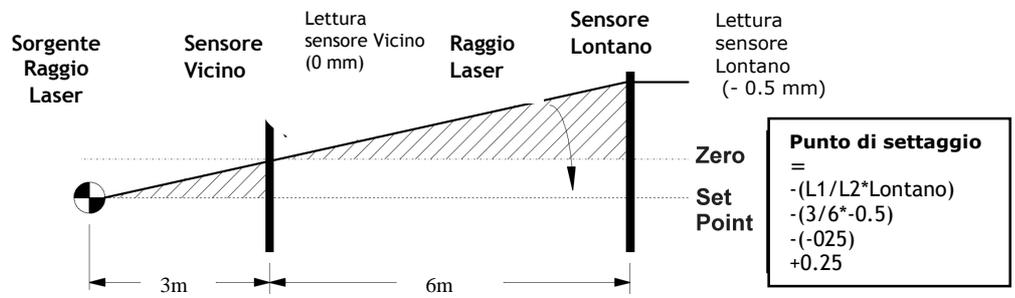


Fig. 10 - Calcolo del punto di settaggio

Il raggio non allineato, il raggio allineato e la distanza tra i due raggi (settaggio) formano un triangolo.

Il raggio non allineato, la retta parallela al raggio allineato passante per il punto zero del sensore vicino e la distanza tra lo zero e la lettura nel sensore lontano formano un secondo triangolo. I due triangoli sono triangoli simili, hanno gli stessi angoli (vedi fig.10).

La relazione tra questi due triangoli può essere stabilita nella seguente formula:

“Il setpoint sta a L1 come la lettura lontana sta a L2”.

Matematicamente:

$$\text{Set}/L1 = \text{Lettura lontana}/L2$$

Se L1, L2 e la lettura lontana sono noti, il setpoint può essere calcolato dalla seguente formula:

$$\text{Setpoint} = -1 * (\text{Lettura lontana} * L1 / L2)$$

(Nota: questa è una formula semplificata per i casi in cui il raggio laser è azzerato nel sensore vicino).

Nell'allineamento remoto, attraverso lo zero al setpoint. Questo significa spostare il laser fino a quando si leggerà il valore di setpoint cambiato di segno sul sensore vicino. Facendo così, verrà conservato il segno del numero (negativo o positivo) sarà rovesciato.

La figura 10 mostra, attraverso un esempio di letture, come si calcola il setpoint. (Notare che la lettura lontana è un numero negativo e il setpoint un numero positivo così si passa attraverso lo zero.). Questo risulta in un raggio laser parallelo al raggio allineato ma spostato della distanza di setpoint.

Se il setpoint calcolato esce dal range lineare del sensore, (25mm) bisogna spostare il laser della quantità pari al setpoint. Riprendere le misure per entrambi i sensori e calcolare un nuovo setpoint.

La figura 11 mostra come muovere il laser a seconda del segno del valore di setpoint calcolato. (Nota: se il laser è montato su una piattaforma regolabile a vite, ogni giro della manopola alza o abbassa la piattaforma di 3mm.)

Una volta che il raggio laser risulta parallelo a ma spostato dalla linea centrale del sensore, centrare il raggio nel sensore vicino. I sensori dovrebbero avere la stessa lettura, sia di numero che segno, sia per gli assi verticali che orizzontali. Se non fosse così, ricalcolare il setpoint e riallinearlo.

Nella maggior parte dei casi, l'allineamento remoto può essere compiuto in 2 o 3 passi.

Questo metodo funzionerà anche nel caso in cui L1 è molto più grande di L2, o quando il raggio laser non colpisce il sensore (in tali casi la lettura lontana può essere presa usando un righello per misurare la distanza del raggio dal centro del sensore).

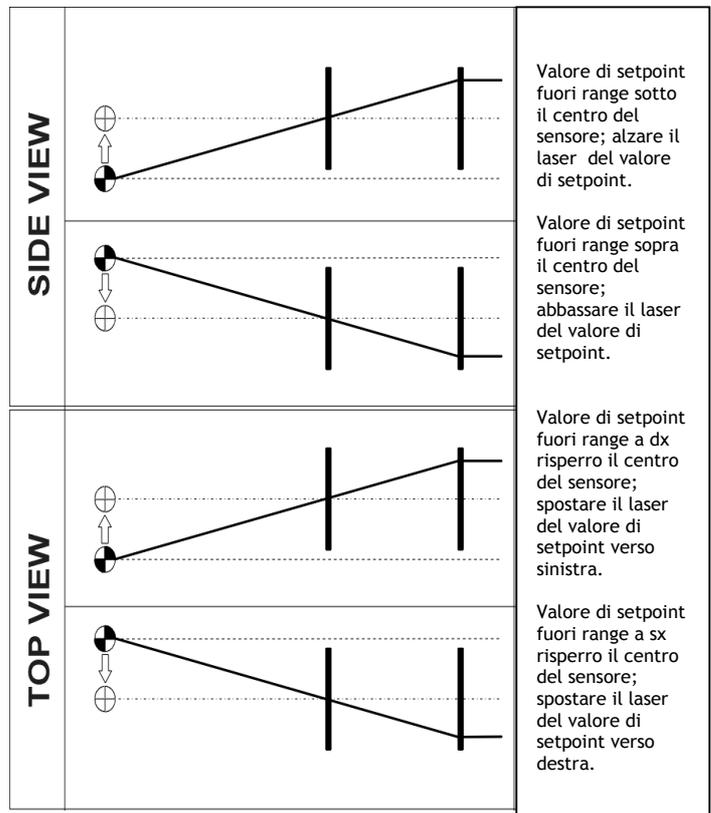


Fig. 11 - Spostamento del laser quando il valore di setpoint esce dal range della cella del sensore.

Il fattore determinante per la scelta di quale metodo usare può essere riassunto come segue:

- Usare l'allineamento vicino se la distanza tra il laser e il primo sensore è meno di un decimo della distanza tra i due sensori.

Quando si usa l'allineamento con il metodo vicino la regola è: **Zero vicino, Punto lontano.**

Allineare il raggio laser azzerandolo nel sensore vicino, e successivamente puntare il raggio laser usando le appropriate manopole di aggiustamento per centrarlo nel sensore lontano. I due passi vengono ripetuti fino a quando i due valori sono a zero.

- Usare l'allineamento remoto se la distanza tra il laser e il primo sensore è più di un decimo della distanza tra i due sensori, o se il primo metodo non è efficiente.

La regola è: **Puntare attraverso lo zero per allineare.**

Azzerare il sensore vicino, determinare il setpoint (assicurandosi che il segno sia corretto) e aggiustare il raggio laser attraverso le appropriate manopole, non a zero ma al valore di setpoint sul sensore lontano.

Ripetere se necessario fino a quando entrambi i sensori leggono zero o lo stesso valore.

- Il raggio laser è ora allineato nei punti di riferimento definiti dai due sensori.

# INFLUENZA DEGLI EFFETTI ATMOSFERICI

La prestazione di un sistema laser è affetto da turbolenza nell'atmosfera. La precisione di un sistema, tra il laser e il sensore in condizioni tipiche di officina è di  $2.5 \mu\text{m}$  per una distanza di 3m. Questa precisione può essere abbassata di un fattore di 2 in inverno quando l'aria è fredda e densa, e può crescere di un fattore di 2 in estate quando l'aria è calda, umida e non così densa.

## 1) TURBOLENZA

Una turbolenza è causata da una sacche di aria ad una temperatura leggermente più alta o più bassa che quando attraversano il raggio laser agiscono come deboli lenti, causandone una leggera inclinazione. Questo provoca un effetto angolare; più è lontano il sensore, maggiore è l'effetto. E' simile allo "sfarfallio" che può essere visto d'estate sopra una calda strada asfaltata.

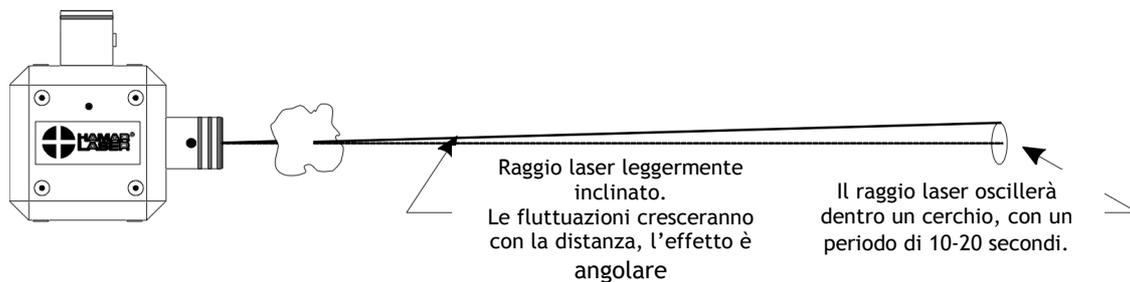


Fig. 12 Turbolenza

## 2) STRATIFICAZIONE

Un altro effetto è causato dal gradiente di temperatura verticale, o rifrazione. In un ambiente chiuso la temperatura dell'aria è più calda più vicino al soffitto rispetto al livello del pavimento. Questa condizione può spostare il raggio laser verso il basso anche di  $0.2\text{mm}$  in 12 m ad una temperatura dell'ambiente di  $10^\circ\text{C}$ . Lo stesso fenomeno accade con attrezzature ottiche o teodoliti. L'effetto si presenta solamente quando l'aria in un laboratorio è davvero immobile e può essere riconosciuto da un improvviso spostamento nella lettura verticale del sensore quando, per esempio, viene aperta una porta o viene creata una leggera brezza. Solitamente quando sono presenti errori del gradiente verticale, la turbolenza è molto leggera.

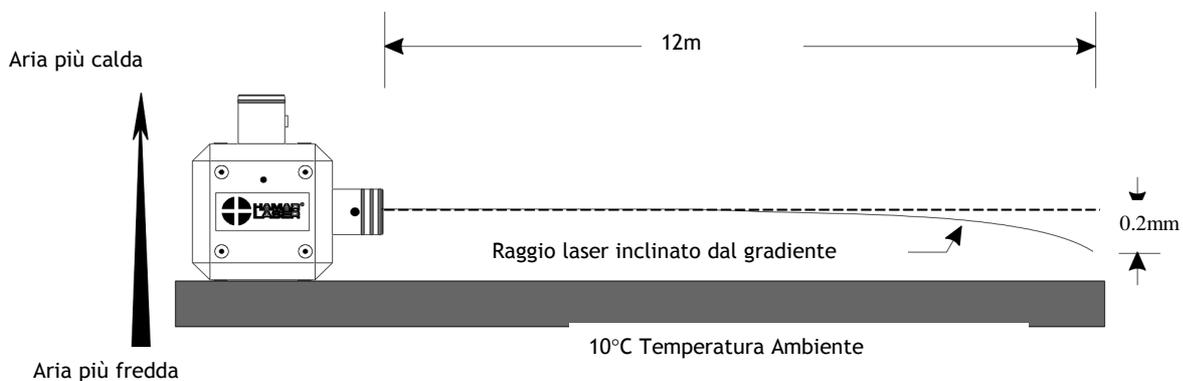


Fig.13 Gradiente di temperatura verticale

**Nota:** La turbolenza ha un'oscillazione con una durata di 10 o 20 secondi ritornando al valore precedente, e quando è presente si effettua un'accurata lettura facendo la media tra il limite alto e quello basso delle fluttuazioni.

## RIDURRE GLI EFFETTI ATMOSFERICI CON I VENTILATORI

Il metodo principale per l'eliminazione del gradiente di Temperatura verticale e per ridurre le fluttuazioni causate dalla turbolenza è quello di posizionare un ventilatore dietro il sensore di modo che l'aria vada diretta verso il laser. Quando i ventilatori vengono usati con la regolazione situata sul lettore, sistemato nella posizione "risponso lento", gli effetti della turbolenza possono essere ridotti fino a un fattore di 10 e il gradiente di temperatura può essere eliminato.

**Nota:** quando viene richiesta la massima precisione del sistema è estremamente importante usare sia i ventilatori che lo smorzamento elettronico.

In estate, quando si lavora con una precisione 0.025mm su 6m, non sono necessari l'uso dei ventilatori e dello smorzamento elettronico. L'uso dei ventilatori sarà comunque necessario se si lavora con precisioni di 0.002mm. In inverno i ventilatori sono sempre necessari.

## VENTILATORI CONSIGLIATI

Vengono consigliati due tipi di ventilatori. Il meno costoso e più consigliato è il comune ventilatore rettangolare da finestra disponibile nei grandi magazzini o in un negozio di accessori elettrici. Questo tipo di ventilatore è in grado di generare un cilindro d'aria,

invece che un cono d'aria prodotto da ventilatori più costosi, e produce il massimo rimescolamento di aria.

Un solo ventilatore a finestra può essere utilizzato ad una distanza di circa 7,5m. Maggiore è la distanza coinvolta maggiore sarà il numero di ventilatori da usare e da posizionare come mostrato in fig.

L'uso dei ventilatori migliorerà sempre la precisione delle letture ad eccezione di quando si utilizzerà un tipo di ventilatore sbagliato o quando non si userà un numero sufficiente di ventilatori.

Se la turbolenza peggiora con l'uso del ventilatore, sono necessari più ventilatori.

Il secondo tipo di ventilatore, particolarmente pratico, è il grande ventilatore da uffici. Questi ventilatori sono solitamente efficaci a 15m o più ma non sono trasportabili come i ventilatori a finestra.

I ventilatori oscillanti con pale arrotondate ed i ventilatori da ufficio non lavorano bene.

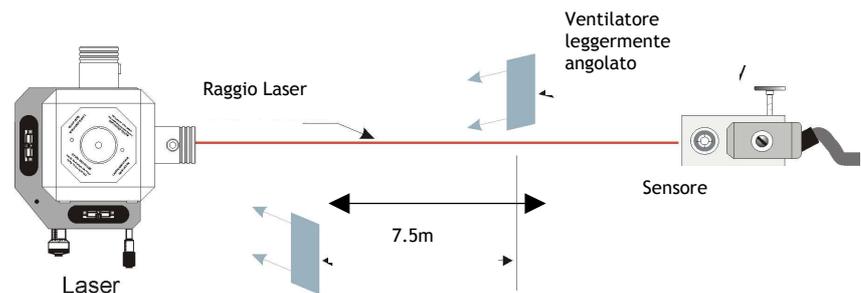


Fig.14 Uso di ventilatori

## SMORZAMENTO ELETTRONICO

Lo smorzamento elettronico implica aggiustamenti del regolatore posto sul display.

Normalmente, tutti gli allineamenti vengono eseguiti con i regolatori settati su "risponso veloce".

Quando viene impostato su "risponso lento", smorzamento addizionale, o media elettronica, si riducono sostanzialmente le intensità delle fluttuazioni causate dalla turbolenza dell'aria.

Appena viene impostato il "risponso lento", le letture cambieranno lentamente e bisogna aspettare alcuni secondi prima di leggere la misura dopo uno spostamento (10-20sec.).

Le fluttuazioni possono essere ancora presenti, ma saranno ridotte fortemente.

Prendere le letture osservando i limiti e facendone la media.

Questa procedura funziona per le turbolenze, ma non ha effetto sul gradiente di temperatura verticale.