

# LE MISURE DI LIVELLO

## -Seconda parte-



Il livello è un importante parametro misurato nei processi industriali. I sistemi di misura di livello e gli strumenti relativi dipendono dal tipo di apparecchiatura nella quale si vuol misurare il livello, dal fluido contenuto, dalle condizioni di esercizio

*A cura di Alessandro Brunelli\**

### Sommario

1. Misuratori capacitivi
2. Misuratori sonici
3. Misuratori ottici
4. Misuratori radioattivi
5. Misuratori a microonde
6. Misuratori a vibrazione
7. Misuratori a rotazione
8. Misuratori a massa
9. Caratteristiche riepilogative dei misuratori di livello

### Misuratori capacitivi

Questi misuratori si basano sulla variazione di capacità, provocata dalla variazione del livello da misurare, di un apposito sensore inserito verticalmente nel serbatoio metallico.

Variando il livello, varia la permittività relativa  $\epsilon_r$  interposta tra l'armatura dell'elettrodo centrale e l'armatura laterale metallica della superficie interna cilindrica del serbatoio, e quindi varia la capacità  $C$  rilevata dal sensore in modo direttamente proporzionale all'altezza del livello del liquido o del solido polverulento contenuto, mediante la seguente formula:

$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot A / d \text{ [F]}$$

dove:

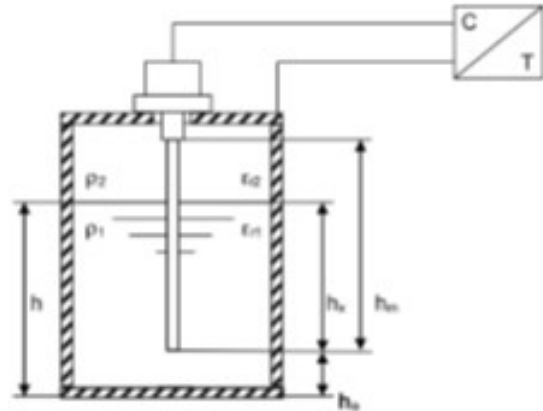
$\epsilon_0$  = permittività assoluta ( $8,854188 \cdot 10^{-12}$ ) [F/m]

$\epsilon_r$  = permittività relativa del mezzo interposto [-]

$A$  = area superfici affacciate agli elettrodi [ $m^2$ ]

$d$  = distanza tra gli elettrodi [m]

Sono adatti sia per liquidi conduttori e non, per applicazioni in serbatoi metallici e non, con particolari esecuzioni.



VANTAGGI	SVANTAGGI
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Indicazione continua e di stati di livello</li> <li>• Adatti per liquidi conduttivi e non</li> <li>• Adatti per liquidi e solidi polverulenti</li> <li>• Buona stabilità all'aggressione chimica</li> <li>• Buona precisione</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Taratura da eseguire in campo sul prodotto da misurare</li> <li>• Sensibilità alla variazione della permittività dielettrica e della conduttività elettrica del prodotto da misurare</li> </ul>

### Misuratori sonici

Questi misuratori, detti anche "SONAR" (SOund Navigation And Ranging) si basano sulla variazione del tempo di transito (o di percorrenza, o di volo) di un suono, o di un ultrasuono, provocato dalla variazione in altezza del livello nel serbatoio da misurare.

Il suono o ultrasuono viene solitamente emesso alla frequenza da 5 a 50 kHz, da un trasmettitore (cristallo piezoelettrico) posto alla sommità del serbatoio e viene riflesso dal pelo libero del livello del prodotto liquido o solido

nel serbatoio, in un eco di ritorno rilevato da un ricevitore (normalmente anch'esso un cristallo piezoelettrico) accoppiato al trasmettitore (T/R).

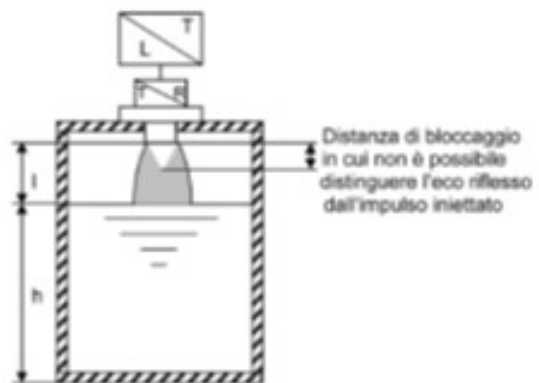
L'intervallo di tempo tra la trasmissione del suono e la ricezione dell'eco riflesso dal pelo libero livello t<sub>T/R</sub>, è dato dalla relazione seguente

$$t_{T/R} = 2 \cdot l / C \text{ [s]}$$

dove:

$l$  = abbassamento del livello [m]

$C$  = velocità del suono [m/s]



VANTAGGI	SVANTAGGI
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Indicazione continua e di stati di livello</li> <li>• Adatti per liquidi e solidi polverulenti</li> <li>• Sistema pretarabile e autotarabile in esercizio (con sensori con archetto di riferimento)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Imprecisione per variazioni termiche</li> <li>• Inadatti per serbatoi sottovuoto</li> <li>• Inadatti per solidi ad elevate pezzature</li> <li>• Sensibilità alla presenza di vapori</li> </ul>

### Misuratori ottici

Questi misuratori, sono analoghi a quelli sonici e sfruttano il fenomeno della riflessione della luce anziché quella del suono, però mentre la velocità del suono è di circa 3.102 m/s, la velocità della luce è di circa 3.108 m/s e quindi 106 volte superiore.

Sono pertanto dei misuratori molto rapidi che operano con ritardi di tempo dell'ordine dei nanosecondi ns, anziché dei millisecondi ms, come i sonici.

Solitamente vengono adoperati in misure critiche (con LASER), quando altri misuratori a contatto con l'atmosfera del serbatoio in misura, non sono impiegabili, sia per problemi fisici di pressione e temperatura, che per problemi chimici di corrosione del prodotto da rilevare.

La frequenza di propagazione della luce è ricavabile dalla seguente formula:

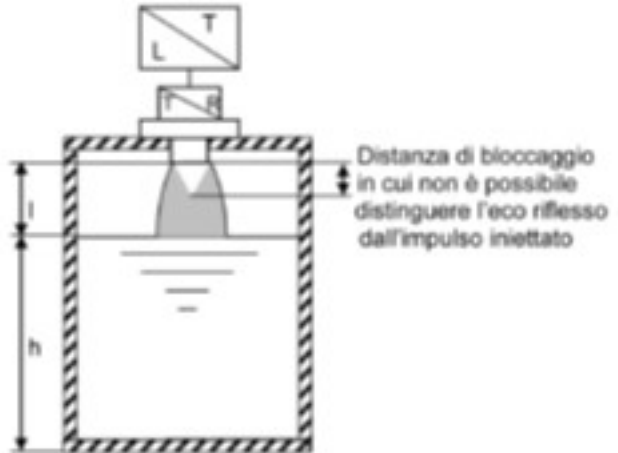
$$f = C / \lambda$$

dove:

f = frequenza in Hz

$\lambda$  = lunghezza d'onda in m

C = velocità della luce (299.792.458 m/s)



VANTAGGI	SVANTAGGI
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Indicazione continua e di stati di livello</li> <li>• Adatti per liquidi e solidi</li> <li>• Adatti per condizioni gravose e critiche</li> <li>• Possibilità di impiego di fibre ottiche in installazioni critiche e pericolose</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Il fascio luminoso non viene riflesso</li> <li>• da prodotti completamente trasparenti</li> <li>• Elevato costo nelle esecuzioni al LASER</li> </ul>

### Misuratori radioattivi

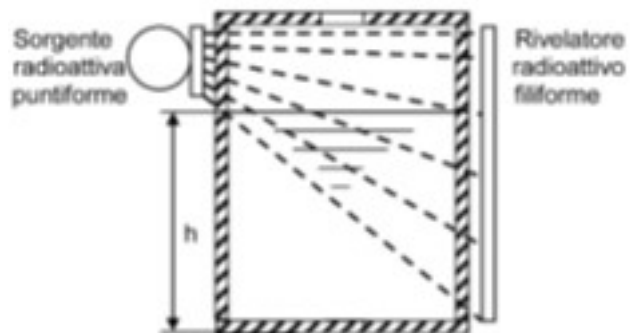
Questi altri misuratori "ottici" detti anche "nucleari", sfruttano l'assorbimento di radiazione nucleare provocato dalla presenza e quindi dal livello contenuto nel serbatoio da misurare.

Sono costituiti generalmente da una sorgente radioattiva (al Cesio o al Cobalto) puntiforme, posta all'esterno del serbatoio e da un rivelatore di radiazione filiforme (Geiger Muller), posto esternamente in posizione opposta; esistono comunque anche sistemi di misura con sorgenti filiformi e rivelatori puntiformi.

Le radiazioni emesse dalla sorgente e ricevute dal rivelatore, sono inversamente proporzionali al livello del prodotto presente nel serbatoio, nonché allo spessore delle pareti del serbatoio

stesso, e pertanto il segnale ricevuto dovrà essere opportunamente elaborato.

Come i precedenti ottici, vengono impiegati in applicazioni ove altri misuratori non sono adatti.



VANTAGGI	SVANTAGGI
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Indicazione continua e di stati di livello</li> <li>• Adatti per liquidi e solidi</li> <li>• Adatti per condizioni gravose e critiche</li> <li>• Misura non a contatto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Norme e regole di sicurezza da rispettare</li> <li>• Elevato costo</li> </ul>

### Misuratori a microonde

Questi misuratori "ottici" detti anche "RADAR" (RADio Detection And Ranging), sfruttano la riflessione di micro onde provocata dalla presenza e quindi dal livello del prodotto contenuto nel serbatoio da rilevare.

Sono costituiti, analogamente a quelli sonici, ottici e radioattivi, da una sorgente e da un rivelatore, posti esternamente e diametralmente opposti al serbatoio nel caso di misure di stati di livello, oppure analogamente a quelli sonici, da un trasmettitore/ricevitore (T/R) altrimenti detto antenna, posto alla sommità del serbatoio nel caso di misure continue di livello.

Inoltre, mentre nei sonici si opera a bassa frequenza (5-50 kHz) ed a bassa velocità di propagazione (quella del suono  $\approx 3 \cdot 10^2$  m/s), nei misuratori a micro onde si opera ad altissima frequenza (5-80 GHz) e ad altissima velocità (quella della luce  $\approx 3 \cdot 10^8$  m/s).

Questi misuratori vengono impiegati per misure di livelli di liquidi in genere, di solidi in polveri o in pezzature e di impasti di carta e legno, su contenitori in plastica o cemento, o su serbatoi metallici, aperti o chiusi, dal vuoto ad elevatissime pressioni.



VANTAGGI	SVANTAGGI
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Indicazione continua e di stati di livello</li> <li>• Adatti per liquidi e solidi polverulenti</li> <li>• Adatti per misure gravose e critiche</li> <li>• Misura non a contatto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inadatti per solidi ad elevate pezzature</li> <li>• Costo relativamente alto</li> </ul>

### Misuratori a vibrazione

Questi misuratori sono adatti per rilievi di stati di livello in liquidi, e quindi sono praticamente dei livellostati, adatti per liquidi puliti o anche sporchi e solidi polverulenti.

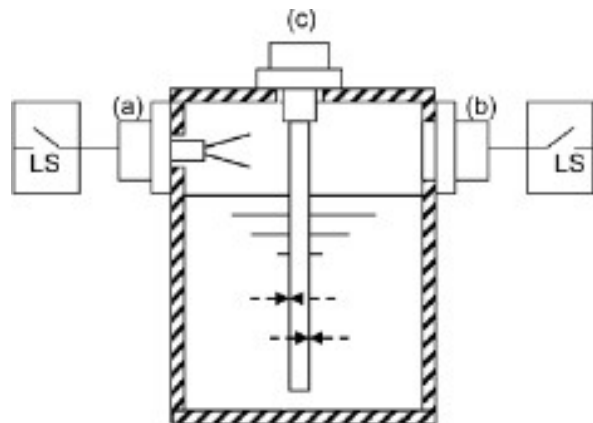
Si compongono essenzialmente di una sonda, a forcina (a) o a membrana (b) per liquidi e ad asta per polveri (c), che mantenuta in vibrazione alla sua naturale frequenza di risonanza in aria, varia la sua frequenza di vibrazione in presenza del liquido o solido polverulento da rilevare,

La sonda di misura viene fatta vibrare alle frequenze tipiche di:

- 400 Hz per i liquidi

- 80-160 Hz per i solidi polverulenti

da un elemento piezoelettrico alla propria naturale frequenza di risonanza in aria.



VANTAGGI	SVANTAGGI
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Non necessitano taratura</li> <li>• Buona ripetibilità</li> <li>• Basso costo</li> <li>• Adatti per liquidi puliti e sporchi, e polveri</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Indicazione solo di stati di livello</li> <li>• Non adatti per solidi grossi in pezzatura</li> </ul>

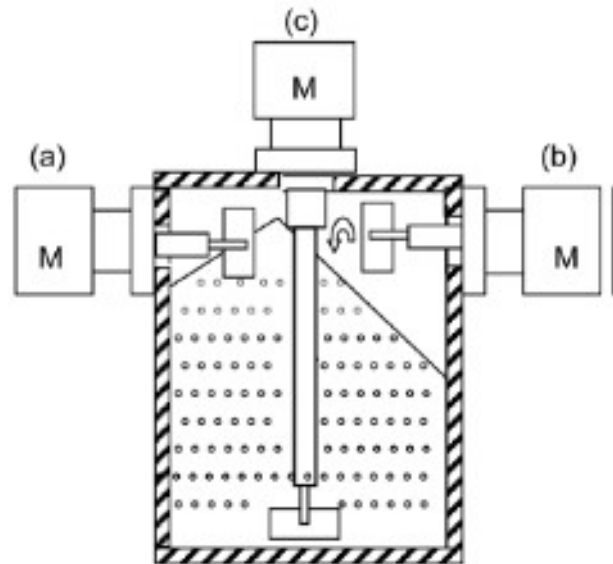
## Misuratori a rotazione

Questi misuratori sono adatti per rilievi di stati di livello prevalentemente in solidi polverulenti e quindi sono anch'essi come quelli a vibrazione praticamente dei livellostati. La figura a lato illustra schematicamente delle sonde di misura e i loro tipici montaggi.

La sonda di misura viene fatta ruotare da un motorino elettrico (M), e aumentando il livello, incontra maggior resistenza alla rotazione e pertanto l'aumento della coppia motrice di rotazione, viene rilevata da un dispositivo elettromeccanico o elettronico che ne segnala lo stato di livello raggiunto, ovvero opera da livellostato.

Sono dei misuratori adatti per solidi polverulenti e per rilevare solo stati di livello, per esempio:

- minimo (c)
- massimo (a) e (b)



VANTAGGI	SVANTAGGI
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Non necessitano taratura</li> <li>• Buona ripetibilità</li> <li>• Basso costo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Indicazione solo di stati di livello</li> <li>• Adatti solo per solidi polverulenti fini e granulosi</li> </ul>

## Misuratori a massa

Questi ultimi misuratori sono adatti per rilievi continui di livello di liquidi, miscugli e solidi.

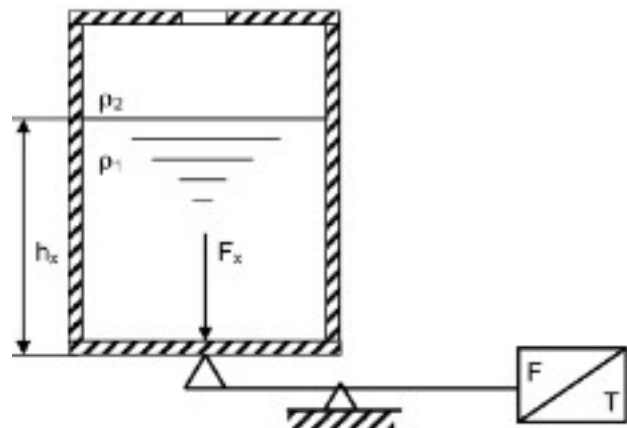
Si compongono essenzialmente di un sistema di misura a leva incernierata, sulla quale, da un lato grava la forza proporzionale alla massa del prodotto nel serbatoio da rilevare ( $F_x$ ), e dall'altro lato, è applicato un trasduttore (F/T), che rileva la forza di reazione della leva.

Sono pertanto dei misuratori indiretti di livello, in quanto la forza di reazione rilevata dal trasduttore (F/T) è direttamente proporzionale alla forza  $F_x$  esercitata dal prodotto contenuto nel serbatoio (essendo preventivamente azzerata la tara del serbatoio stesso), per cui se il serbatoio o recipiente è cilindrico, l'altezza del livello  $h_x$  di prodotto contenuto, è data dalla relazione seguente:

$$h_x = F_x / g \cdot \rho \cdot A_o$$

dove:

$g$  = accelerazione di gravità [ $m/s^2$ ];  $\rho$  = massa volumica del prodotto [ $kg/m^3$ ];  $A_o$  = area di base del serbatoio [ $m^2$ ]



VANTAGGI	SVANTAGGI
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Indicazione continua e di stati di livello</li> <li>• Misura non a contatto</li> <li>• Adatto per liquidi e solidi</li> <li>• Adatto per condizioni gravose</li> <li>• Ottima precisione nella misura della massa e buona/ottima precisione nella determinazione del livello se compensato</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Richiede opportuni supporti di vincolo e di appoggio per i trasduttori di misura (dinamometri o celle di carico)</li> <li>• Misura del livello sensibile alla variazione della densità del liquido, e di concentrazione del solido, se non correttamente compensata</li> </ul>

## Caratteristiche riepilogative dei misuratori di livello

Tipo di misuratore di livello	Altezze (m)	Applicabilità				Condizioni		Misura		Precisione (3)	
		Liquidi		Solidi		Press. (bar)	Temp. (°C)	Continua	Discontinua	Misura (%)	Rivel. (mm)
Visivi	10	X				200	400	X	(X)	2	1
A galleggiante	20	X	(X)	X	(X)	200	400	X	(X)	2	1
A pressione	20 (2)	X	(X)			200	100	X	(X)	0.2	1
A gorgogliamento	20 (2)	X	X			200	100	X	(X)	0.2	1
Resistivi	20	X	X	(X)		5	100	X	(X)	1	2
Conduttivi (1)	20 (2)	X	(X)	X	(X)	500	500		X		2
Capacitivi	20 (2)	X	(X)	X	(X)	500	500	X	(X)	1	2
Sonici	60 (2)	X	X	X	(X)	5	100	X	(X)	1	2
Ottici	60 (2)	X	X	X	(X)	500	500	X	(X)	0.5	1
Radioattivi	3 (2)	X	X	X	X	500	500	X	(X)	0.5	1
A microonde	60 (2)	X	X	X	X	500	500	X	X	0.1	0.5
A vibrazione	60 (2)	X	X	X	(X)	100	100		X		2
A rotazione	60 (2)	X	X	X	(X)	100	100		X		2
A massa	10	X	X	X	(X)	500	500	X	(X)	0.1	0.5

X Applicabile

(X) Normalmente applicabile

(1) Per liquidi conduttivi

(2) Oppure altezze maggiori

(3) IEC 62828-4 è la norma di riferimento sui Misuratori di Livello PMT (Process Measurement Transmitters)



### L'Autore\*

Alessandro Brunelli, Esperto in automazione, strumentazione, taratura e sicurezza degli impianti industriali. Segretario CEI SC65B: Misura e Controllo dei Processi Industriali