

**ISTITUTO NAZIONALE di FISICA NUCLEARE  
LABORATORI NAZIONALI DI FRASCATI**

---

**LNF-90/071 (NT)  
21 Settembre 1990**

A. Cecchetti, S. Cerioni, B. Dulach:

**INFORMAZIONI E CRITERI DI SCELTA DEI MISURATORI DI  
PORTATA PER IMPIANTI SPERIMENTALI**

## **INFORMAZIONI E CRITERI DI SCELTA DEI MISURATORI DI PORTATA PER IMPIANTI SPERIMENTALI**

A. Cecchetti, S. Cerioni, B. Dulach  
INFN-Laboratori Nazionali di Frascati, P.O. Box 13,00044 Frascati (Italy)

### **ABSTRACT**

The purpose of this publication is to yield more simple and rapid the selection of flow-meters with tables who makes evident advantages and disadvantages, and the best application to experimental - equipment.

Lo scopo della presente e' quello di rendere piu' semplice e rapida la scelta di un misuratore di portata, facendo uso di tabelle riassuntive che evidenziano i vantaggi gli svantaggi e la migliore applicabilita' ai sistemi che operano sugli impianti degli apparati sperimentali.

### **PREMESSA**

Il campo delle misure di portata sta' vivendo e sperimentando in questi ultimi anni notevoli idee innovative, sia in termini di miglioramento delle metodologie gia' note, che in termini di applicazioni di nuovi principi di misura.

Nei misuratori tradizionali volumetrici e venturimetrici si sta' sempre piu' affermando la tecnica digitale a microprocessori.

Negli altri misuratori il microprocessore e' ancor piu' presente perche' consente da un lato, l'applicazione di principi di misura che richiedono particolari elaborazioni sul segnale proveniente dai sensori e dall'altro lato un display della misura sempre piu' flessibile sia in termini di visualizzazione diretta, che di colloquio (acquisizione dati, calcolatori di supervisione, ecc.).

Accanto ai misuratori tradizionali tratteremo quelli della nuova generazione: magnetici e a vortici con le loro attuali prestazioni, e quelli della nuovissima generazione, i sonici, nella versione a tempo di transito e a effetto Doppler, i termici a termocoppia e a termistore ed i massici ad effetto Coriolis.

Di tutti i misuratori, tradizionali e non, verra' illustrata l'evoluzione del principio di misura, le tecniche realizzative, le attuali prospettive e prestazioni, e la loro applicabilita' in funzione del tipo di fluido e dei relativi parametri fisici.

Informazioni sulla normativa tecnica e fiscale di riferimento nazionale e internazionale e della normalizzazione delle misure (Sistema Internazionale di unita' SI).

## 1. - INTRODUZIONE

La maggior parte dei misuratori di portata presenti sul mercato sono dei misuratori di velocita' che risalgono alle misure di flusso con accorgimenti per la conformazione del profilo di velocita'.

Profilo di velocita' che gioca due ruoli fondamentali nella misura di portata. Il primo perche' fornisce la relazione matematica tra la velocita' rilevata dal sensore e la velocita' media del flusso nel condotto, il secondo perche' influenza la precisione della misura in funzione delle condizioni di esercizio quali : cambiamenti di regime da laminare a turbolento e viceversa.

Nota il reale profilo di velocita', la portata volumica e' direttamente proporzionale all'area di efflusso, mentre la portata massica e' direttamente proporzionale alla massa volumica del fluido, entrambi dipendono dai diversi parametri chimici e fisici quali: composizione molecolare, pressione, temperatura.

Queste considerazioni hanno portato a studiare dispositivi di misura basati su leggi diverse, anziche' cinematiche di velocita', dinamiche di forza e quindi di massa, cioe' i misuratori massici, oppure utilizzare le stesse leggi cinematiche con quelle dinamiche di massa per realizzare sensori integrati al silicio, che sfruttando lo scambio termico del fluido in moto, forniscono un segnale di uscita elaborato da microprocessore, direttamente in portata massica.

## 2. - MISURATORI TRADIZIONALI (1)

Ai misuratori tradizionali venturimetrici e volumetrici in questi ultimi decenni si sono affiancati dapprima le turbine, quindi i magnetici e quelli a effetto vortice e poi ultimamente i sonici, i termici ed i massici.

### 2.1 - VENTURIMETRICI

I misuratori venturimetrici a pressione differenziale tipo diaframmi, boccagli, venturimetri, Pitot classici, Pitot speciali, palette o bersagli, ecc. sono ancora largamente impiegati nelle applicazioni sui liquidi, gas e vapori, grazie al loro costo ed alla loro versatilita' e facilita' di installazione.

Inoltre l'impiego sempre piu' diffuso del calcolatore di portata associato, permette un miglioramento della misura rendendo il misuratore insensibile al carico parziale, alla viscosita' del fluido, alla comprimibilita' del fluido ecc.

Nell'ambito dei misuratori a tubo di Pitot, c'e' da segnalare la presenza dei Pitot speciali, che a differenza dei classici, influenzati dal regime di moto e dal profilo di velocita' del fluido, garantiscono miglior insensibilita' ai fattori influenti, data la loro geometria ed il tipo e la locazione delle prese di pressione dinamica in direzione del flusso su quattro punti diametrali, e statica in direzione opposta del flusso.

**TABELLA I - Vantaggi e svantaggi dei misuratori a dispositivo di strozzamento.**

VANTAGGI	SVANTAGGI
- Dispositivo di misura fisso	- Campo di lavoro
- Elevata flessibilita'	- Precisione influenzata dalla viscosita'
- Prezzo relativamente basso	del fluido in misura
- Semplicita' di costruzione	- Elevata perdita di carico nei diaframmi
- Adatto per misure di liquidi	e boccagli, limitata nei venturimetri
gas e vapori	
- Fabbricati in vasta gamma	
di dimensioni e forme	
- Non richiede calibrazione	

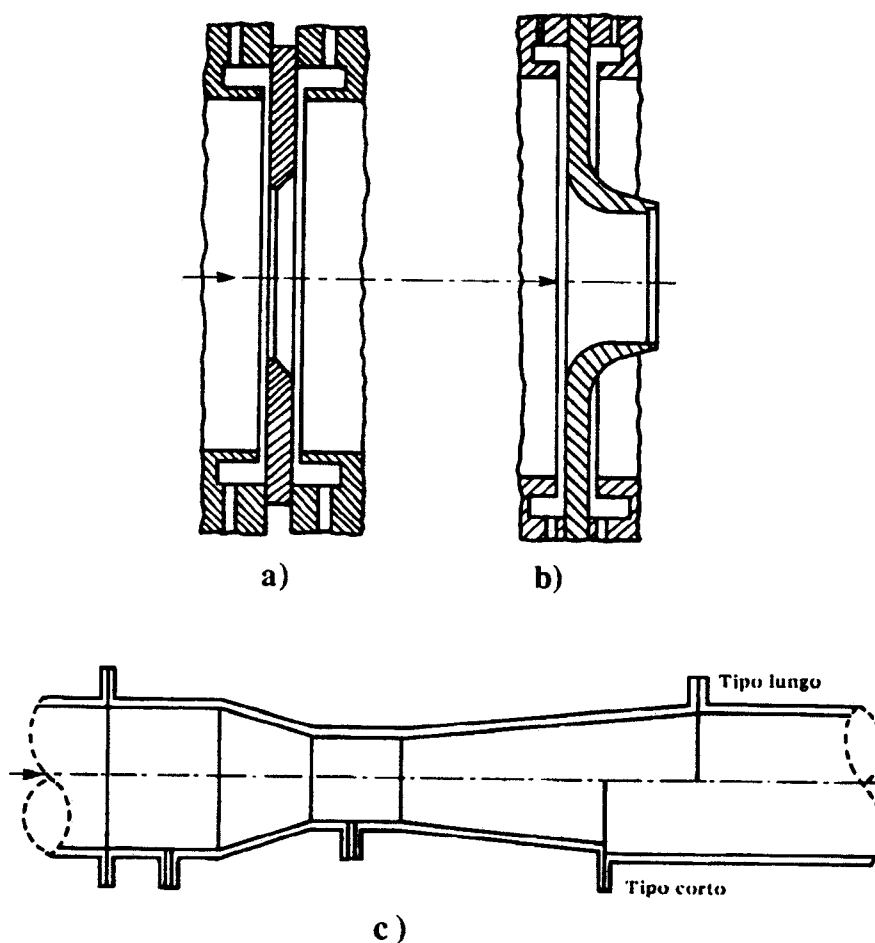


FIG. 1 - Dispositivi di strozzamento normalizzati: - a) Diaframma - b) Boccaglio - c) Venturimetro

TABELLA II - Vantaggi e svantaggi dei tubi di Pitot classici.

VANTAGGI	SVANTAGGI
- Basso costo	- Campo di lavoro limitato
- Adatto per misure di portata in grosse tubazioni	- Bassa precisione
- Adatto per misure di liquidi e gas	- Richiede calibrazione
- Bassissime perdite di carico	

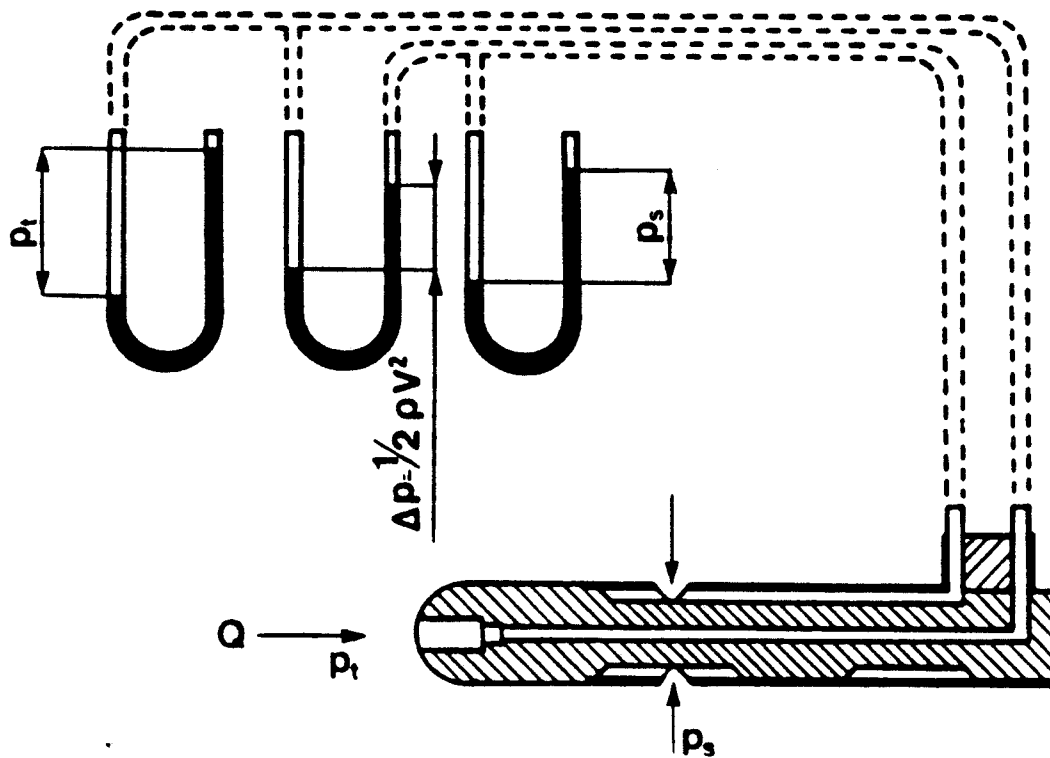


FIG. 2 - Tubo di Pitot classico.

## 2.2 - VOLUMETRICI

Questi misuratori rimasti inalterati come costruzione (a palette, ruote ovali, pistoni ecc.) hanno migliorato ultimamente il metodo di rilievo della misura da meccanico ad ingranaggi, ad elettronico a dinamo tachimetrica, ad effetto Hall ecc. ecc.

Data la loro elevata precisione vengono utilizzati in misure fiscali di liquidi e di gas.

VANTAGGI	SVANTAGGI
- Elevata precisione	- Dispositivo di misura mobile
- Elevato campo di lavoro	e soggetto a deterioramento
- Adatto per misure di fluidi ad alta viscosita'	- Non adatto per liquidi sporchi e abrasivi
- Indicazione di portata istantanea o totalizzata	- Elevato costo
	- Elevate perdite di carico
	- Richiede manutenzione
	- Richiede calibrazione

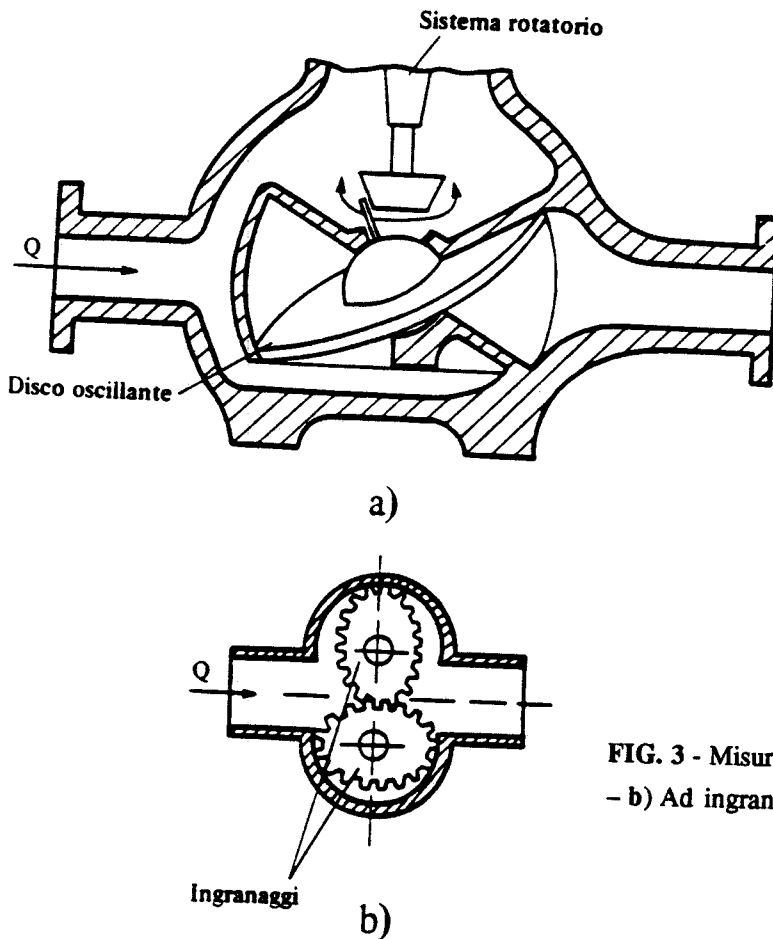


FIG. 3 - Misuratori volumetrici: - a) A disco oscillante  
- b) Ad ingranaggi.

### 2.3 - MISURATORI AD AREA VARIABILE

Il principio di funzionamento si basa sulla legge di Bernoulli; sono misuratori che mantenendo costante la pressione differenziale tra monte e valle dell'elemento sensibile, al variare della portata, variano l'area di passaggio del fluido in misura.

La variazione dell'area di passaggio provoca una variazione di posizione (altezza) dell'elemento sensibile (galleggiante) che viene indicata localmente e/o trasdotta in un segnale pneumatico o elettrico.

VANTAGGI	SVANTAGGI
- Basso costo	- Bassa precisione
- Adatto per portate molto basse di liquidi e gas	- Dispositivo di misura mobile
- Elevato campo di lavoro	- Non adatto per fluidi ad elevata pressione
- Lettura diretta della portata	- Limitazioni sulla quantità di flusso
- Perdite di carico costanti	- Deve essere montato verticalmente
	- Non adatto per fluidi sporchi
	- Richiede calibrazione

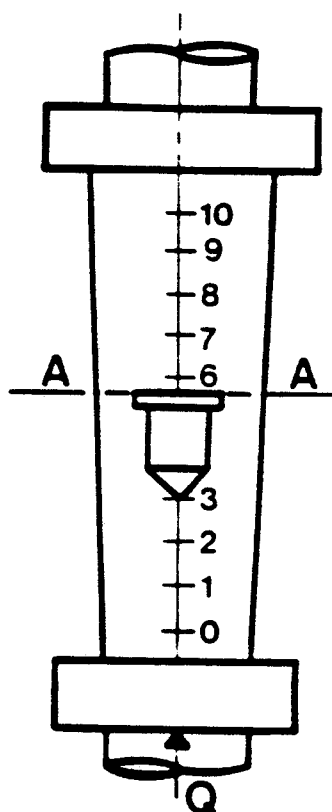


FIG. 4 - Misuratore ad area variabile.

### 3. - MISURATORI DI NUOVA GENERAZIONE (2)

#### 3.1 -TURBINE

Questi misuratori in alcuni paesi sono ritenuti fiscali come i volumetrici trovano applicazione in misure di gas e liquidi puliti e poco viscosi in regime di moto turbolento.

Si compongono di un distributore a monte, di una girante e di un condizionatore del fluido a valle.

Il trasduttore del numero di giri della turbina e' del tipo elettronico, ad effetto Hall.

La linearita' migliore di tali misuratori si raggiunge e si mantiene entro standards elevati in regime di moto assolutamente turbolento.

VANTAGGI	SVANTAGGI
- Elevata precisione	- Dispositivo di misura mobile
- Elevato campo di lavoro	e soggetto a deterioramento
- Adatto per liquidi e gas	- Non adatto per fluidi ad
- Adatto per applicazioni	elevata viscosita'
particolarmente gravose	- Elevato costo
- Perdite di carico basse	- Richiede filtraggio del fluido
	- Richiede calibrazione

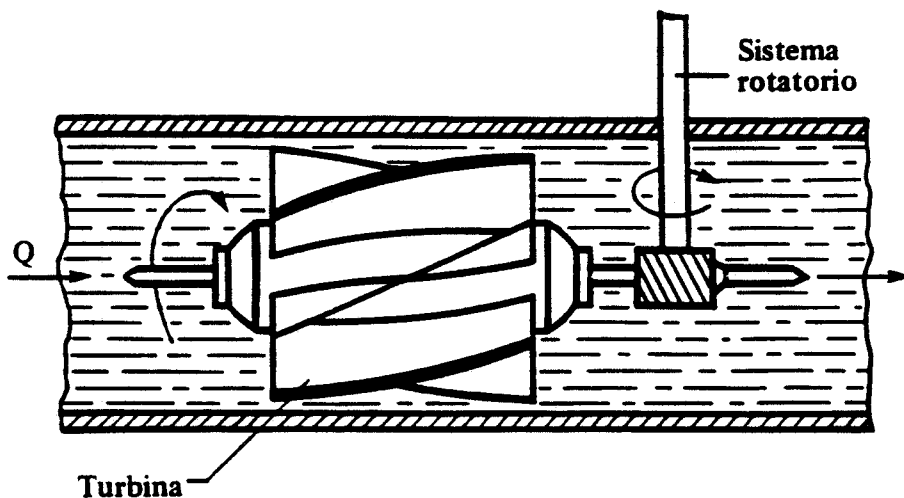


FIG. 5 - Misuratore a turbina.

### 3.2 -MAGNETICI

Sono misuratori basati sulla legge dell'induzione magnetica di Faraday: un liquido conduttore attraversando un campo magnetico produce ai suoi estremi (agli elettrodi di misura) una forza elettromotrice proporzionale alla velocità di efflusso, ovviamente il fluido in misura deve essere un liquido conduttore.

L'alimentazione delle bobine di campo magnetico è del tipo alternato per evitare fenomeni di polarizzazione, o del tipo a tensione continua pulsante che ha il pregio di eliminare i disturbi di rete migliorando pertanto la precisione di tali misuratori.

VANTAGGI	SVANTAGGI
- Buona precisione	- I liquidi devono essere conducibili
- Elevato campo di lavoro	conducibili
- Adatto per liquidi sporchi e abrasivi	- Non adatto per gas
- Perdita di carico nulla	- Elevato costo per piccole e grosse dimensioni
- Dispositivo di misura fisso	- Richiede calibrazione
- Nessuna limitazione sulla viscosità del fluido	



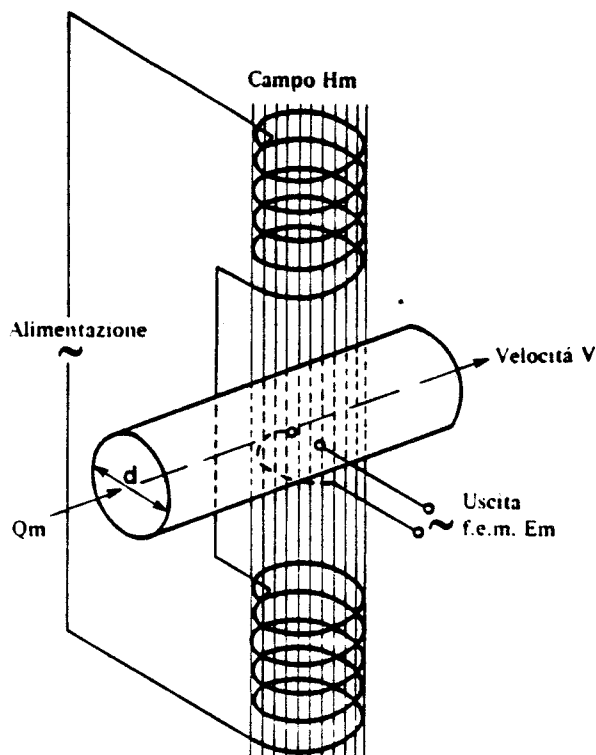


FIG. 6 - Misuratore magnetico.

### 3.3 - VORTICI

Questi recenti misuratori sfruttano l'effetto di formazione de vortici provocati da un corpo opportunamente sagomato posto al centro della tubazione.

Tale fenomeno, noto come via dei vortici di Karmaan, e' la relazione tra la frequenza di formazione dei vortici e la velocita' di efflusso del fluido in misura.

Nati come soli misuratori per liquidi, oggi si applicano con successo anche su misure di gas e piu recentemente di vapori, date le nuove tecniche di rilievo della frequenza di formazione dei vortici, non piu' tramite sensori inseriti direttamente nella tubazione, ma con sensori installati esternamente alla tubazione e pertanto meno sensibili ai parametri influenti quali : temperatura, vibrazioni, ecc.

VANTAGGI	SVANTAGGI
- Buona precisione	- Non adatto per fluidi sporchi ed abrasivi
- Elevato campo di lavoro	- Non adatto per liquidi viscosi
- Adatto per gas e liquidi	- Limiti dimensionali
- Perdita di carico nulla	- Limiti di pressione e temperatura
- Dispositivo di misura fisso	- Richiede calibrazione
- Costo relativamente basso	
- Perdite di carico basse	

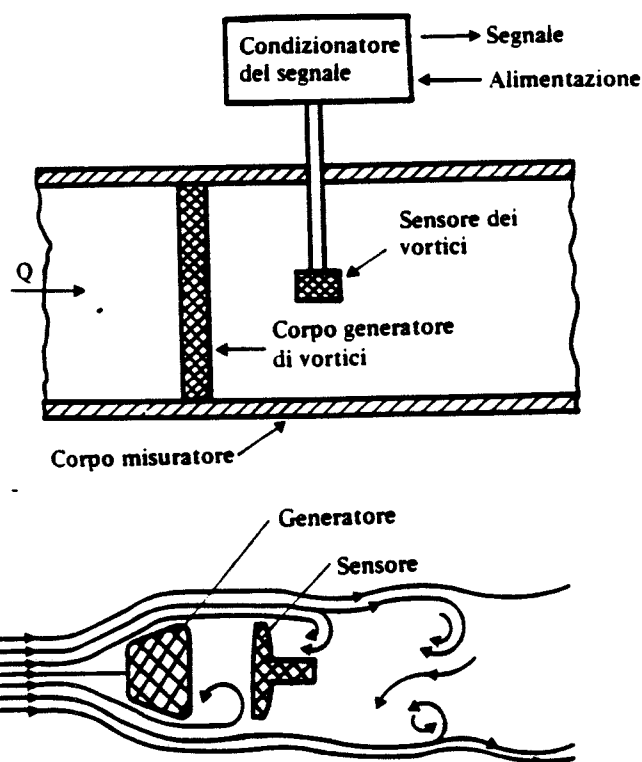


FIG. 7 - Misuratore a vortici.

b) Via dei vortici ( di Karman )

### 3.4 - SONICI

Sono misuratori della nuova generazione che sfruttano le proprietà dei fluidi a propagare il suono : pulsazioni di pressione. Composti da uno o due emettitori e uno o due ricevitori, rilevano la velocità del fluido comparando opportunamente il segnale sonico emesso e quello ricevuto.

Tra le diverse tecniche di misura si segnalano le seguenti:

- a tempo di transito ( si confrontano i tempi di transito de suono nel fluido )
- a variazione di frequenza ( si confrontano le frequenze di transito, aniche' i tempi di transito)
- a variazione di fase ( si confrontano le fasi dei segnali inviati)
- a passi multipli ( il segnale trasmesso e' costretto a percorrere un percorso a zig-zag, allo scopo di migliorare la precisione della misura specialmente nelle piccole tubazioni ).

Tali misuratori operano su fluidi puliti ; su fluidi sporchi operano invece i misuratori sonici ad effetto Doppler nei quali la frequenza del segnale trasmesso viene variata dalla velocità delle particelle presenti nel fluido.

VANTAGGI	SVANTAGGI
- Buona precisione	- Precisione della misura influenzata
- Elevato campo di lavoro	dal regime del fluido
- Adatto anche per fluidi sporchi ed abrasivi	- Per applicazioni di precisione si
- Perdita di carico nulla	richiede la calibrazione

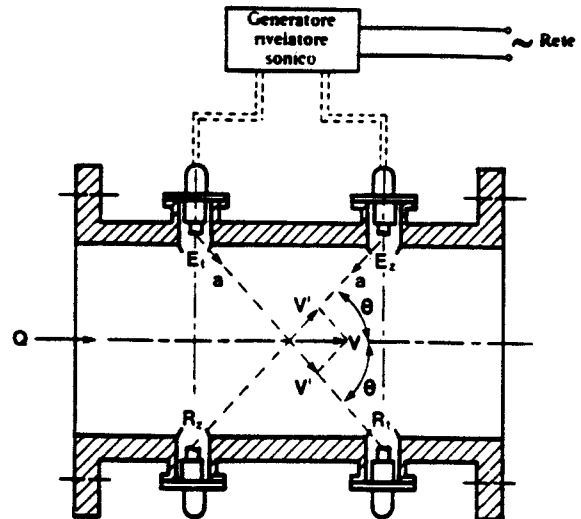


FIG. 8- Misuratore sonico a tempo di transito.

#### 4 - MISURATORI DI NUOVISSIMA GENERAZIONE

Oltre ai misuratori già presentati, si segnala la presenza sul mercato di altri misuratori che trovano impiego in speciali applicazioni :

##### 4.1 - TERMICI

Sono tipicamente dei misuratori puntuali di velocità e pertanto possono fornire un segnale di velocità media e quindi di portata solo conoscendo l'esatto profilo di velocità del fluido in misura. Sono presenti attualmente sia sensori a filo sia sensori a semiconduttore associati a microprocessore che forniscono direttamente un segnale di portata volumica o massica.

##### 4.2 - A EFFETTO DOPPLER-LASER

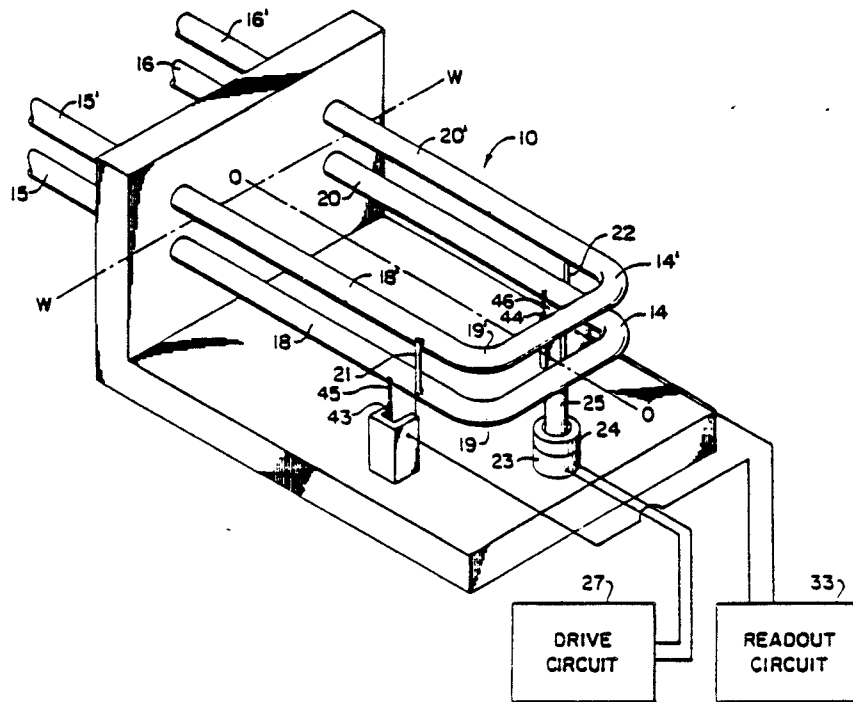
Sono uguali a quelli sonici con differenza che impiegano un segnale luminoso tipo Laser, anziché sonoro e sono adatti in applicazioni di misura di bassissime portate, difficilmente misurabili con altri misuratori.

##### 4.3 - A CORRELAZIONE DI SEGNALI

Questi misuratori trovano applicazione su fluidi puliti e su fluidi sporchi correlando segnali iniettati nel fluido, la lettura dei segnali viene effettuata in due punti diversi della tubazione e pertanto il tempo di correlazione fornisce un'indicazione della velocità media del fluido in misura.

##### 4.4 - MASSICI

Tali misuratori sfruttano l'effetto di Coriolis che si manifesta quando un fluido attraversa un sistema di misura in rotazione, che è composto da un tubo ad U o di forma ovale nel quale si generano le forze di Coriolis che vengono rilevate da sensori. Un'unità provvede a rilevare ed elaborare i segnali dei sensori fornendo direttamente la portata massica.



## 5 - CRITERI DI SCELTA

La scelta di un misuratore di portata va condotta tenendo conto dei seguenti fattori:

- Condizioni del fluido
- Prestazioni della misura
- Costo del misuratore

Per condizioni del fluido si intendono tutte quelle proprietà e caratteristiche inerenti il fluido da misurare quali :

- Portata da misurare
- Stato chimico
- Stato fisico : liquido, gas o vapore
- Bifasicità: liquidi in gas e gas in liquidi
- Solidi in sospensione
- Condizioni di esercizio : pressione, temperatura, viscosità
- Regime di moto : laminare o turbolento

Le prestazioni della misura sono essenzialmente due :

- Precisione della misura
- Rangeability della misura

Costo del misuratore

- Costo iniziale
- Costo dell'installazione
- Costo di esercizio e di manutenzione

## 6 - - NORMALIZZAZIONE

A seguito delle sperimentazioni eseguite in diversi laboratori, sono state redatte le prime norme applicative nazionali e internazionali :

-UNI 1559-1605	per diaframmi e boccagli
-UNI 2323-2330	per venturimetri
-ISO / R 541	per diaframmi e boccagli
-ISO / R 781	per venturimetri

Con il contributo dei diversi enti normatori nazionali e' stata messa a punto l'ultima norma internazionale sugli elementi primari di misura tipo diaframmi, boccagli e venturimetri (ISO 5162) e sono state nel frattempo emesse le attuali normative praticamente equivalenti :

-CNR -UNI	10023	in Italia nel 1979
-AFNOR-NFX	10 / 102	in Francia nel 1980
-DIN	1952	in Germania nel 1982
-BS	1042	in Inghilterra nel 1981

### Bibliografia

- (1) Tratto dal Seminario : Misure di portata A.I.S.
- (2) Tratto dal Seminario : Misure di portata A.I.S.
- (3) Tratto dal Seminario : Misure Industriali di portata di fluidi A.I.S.