

# TechNote

T001 - page 1

## Sensori di precisione di spostamento non-a-contatto

### Introduzione

La richiesta di sensori per la misura dello spostamento nei suoi diversi aspetti (posizione, movimento, altezza, spessore, larghezza, diametro) è in continua crescita ed ha già aperto possibilità fino a ieri definite impossibili e raggiunto risoluzioni del nanometro.

Molte applicazioni di ricerca e sviluppo, di controllo qualità, automazione, controllo di processo e monitoraggio che si basano su sensori a contatto vengono ora più efficacemente risolte mediante sensori senza contatto.

Sempre più utilizzati nelle applicazioni particolari e difficili, vengono usati dove il target o una superficie non deve essere toccata o dove i sensori non devono causare usura per contatto. In pratica, oltre ai sensori capacitivi e confocali, anche i sensori a correnti parassite e i laser a triangolazione rispettano questa esigenza. I sensori non a contatto infatti sono disponibili in moltissime configurazioni e versioni.

Questi sensori raggiungono risultati molto precisi. A certi livelli di precisione l'offerta del mercato si riduce drasticamente.

Un sensore può essere detto "preciso" se soddisfa le seguenti caratteristiche

- Linearità	< 0.2% FSO
- Risoluzione	< 0.01% FSO
- Velocità di campionamento	> 5 kHz
- Deriva Termica	< 0.05% FSO/K

In qualità di specialisti nei sensori non a contatto, Micro-Epsilon ha nel suo catalogo molti sensori che possono essere definiti "precisi". Ottimizzare la soluzione di ciascuna specifica applicazione implica determinare il sensore più adatto. I fattori critici possono essere: disegno / dimensioni / condizioni ambientali / campo di misura / precisione / risoluzione / banda passante / stabilità termica e nel tempo / costi.

L'obiettivo di questa NotaTecnica è presentare i principi di misura delle varie tipologie di sensori ed aiutare nella futura scelta di quello più adeguato alle proprie esigenze di misura.

**Sommario:**

- Introduzione
- Sensori eddy-current
- Sensori capacitivi
- Sensori laser a triangolazione
- Sensori ottici confocali
- Confronto tra i principi di funzionamento



**Sensori Capacitivi**



**Sensori Confocali**



**Sensori a Correnti Parassite**



**Sensori Laser a triangolazione**

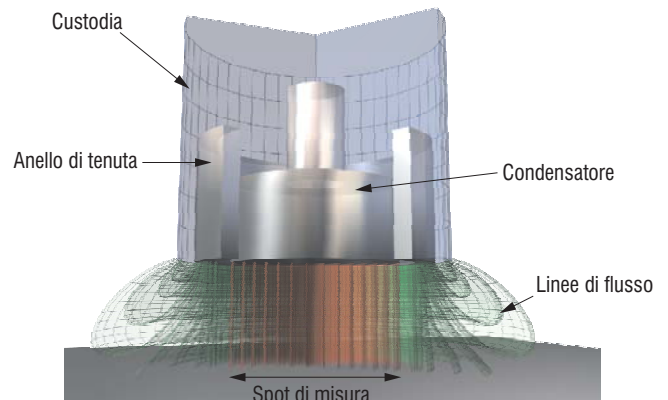
La notevole precisione raggiunta dal sistema non dipende solo dal sensore, ma anche da uno sviluppo accurato dell'elettronica e dalla gestione del segnale.



## Principio di funzionamento dei Sensori Capacitivi

Il principio di funzionamento dei sensori capacitivi si basa sul concetto del condensatore capacitivo ideale a facce piane parallele. Sensore e target sono le piastre del condensatore. Se una corrente alternata passa attraverso il sensore con una frequenza costante, l'ampiezza della tensione è proporzionale alla distanza tra sensore e target.

A causa della costruzione particolare del sensore si riesce a raggiungere una linearità ideale. Tuttavia per avere una misurazione costante è necessario che la costante dielettrica tra sensore e target rimanga costante. I sensori capacitivi misurano anche target isolanti e l'output lineare è raggiunto tramite un particolare condizionamento del segnale.



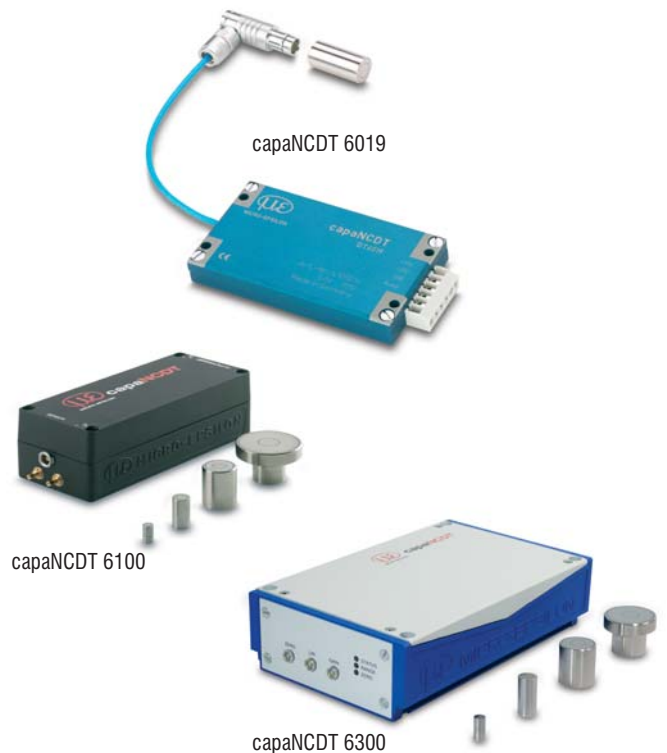
Principio di misura

### Vantaggi dei sensori capacitivi:

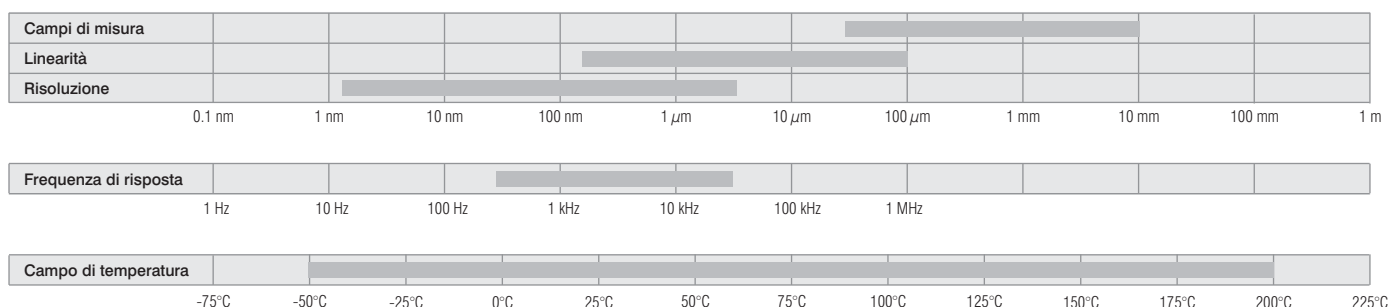
- Sensibilità e linearità costante su tutti i metalli
- Alta stabilità alla temperature, perchè i cambiamenti nella conduttività non provocano effetti
- Possibile misurare materiale isolante

### Restrizioni nelle applicazioni:

- Sensibile al cambiamento del dielettrico tra sensore e target, quindi utilizzabile solo in ambienti puliti ed asciutti.
- Lunghezza dei cavi limitata, a causa degli effetti della capacità del cavo sui circuiti elettronici.
- Il diametro del sensore aumenta con l'aumentare del campo di misura.



## Performance capaNCDT



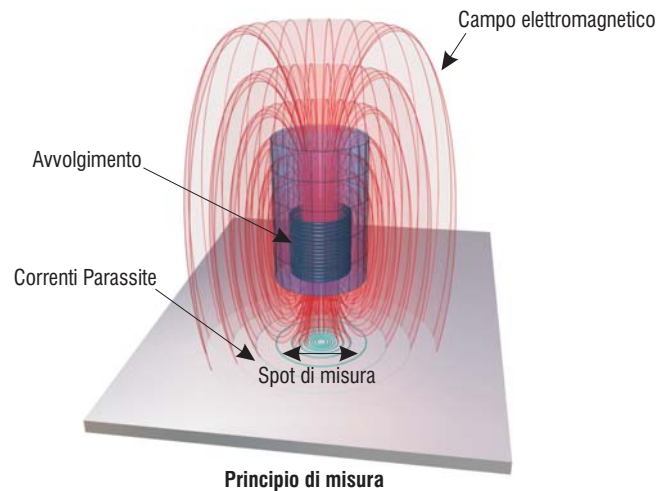


## Principio di funzionamento dei Sensori a Correnti Parassite (Eddy Current)

Le correnti parassite occupano una posizione piuttosto diversa tra i metodi induttivi.

Il principio di misura è basato sulla perdita di energia di un circuito oscillatore causata dalla generazione di correnti parassite in un target elettricamente conduttivo.

In pratica, una bobina interna al sensore viene percorsa da una corrente alternata ad alta frequenza; quando al sensore viene avvicinato un target metallico si generano in esso per induzione magnetica delle correnti dette parassite o di Foucault. Queste correnti parassite opponendosi al campo magnetico primario, provocano una variazione di impedenza e quindi un segnale funzione della distanza tra sensore e target.

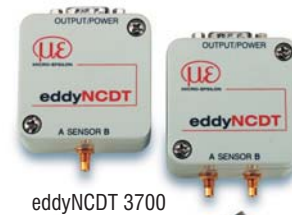


### Vantaggi della misura con sensori eddy-current:

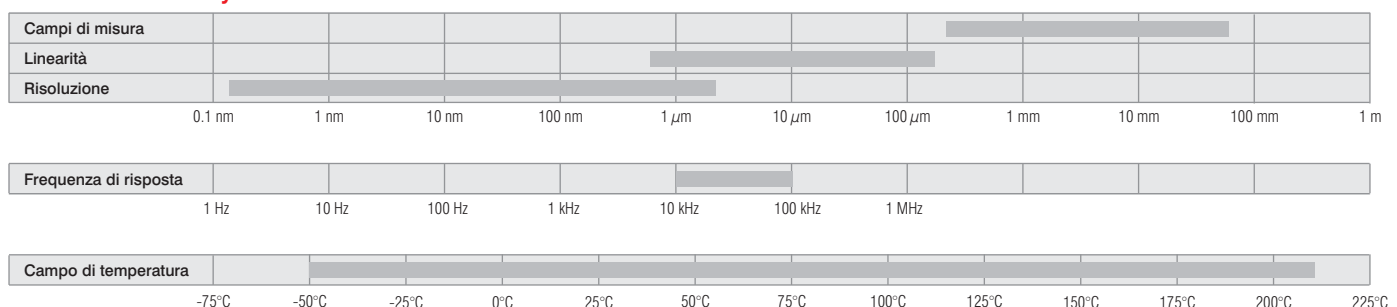
- Utilizzabile su tutti i materiali metallici elettricamente conduttivi (ferromagnetici e non-ferromagnetici)
- Piccole dimensioni del sensore
- Elevata temperatura di funzionamento
- Insensibile a polvere, sporcizia, umidità, olio, alta pressione e presenza di materiale dielettrico tra il sensore ed il target
- Elevata precisione

### Restrizioni nelle applicazioni:

- Uscita e linearità dipendono dalle caratteristiche elettriche e magnetiche del materiale del target
- Richiede calibrazione e linearizzazione finali
- Lunghezza massima del cavo 15 m
- Il diametro del sensore aumenta con l'aumentare del campo di misura



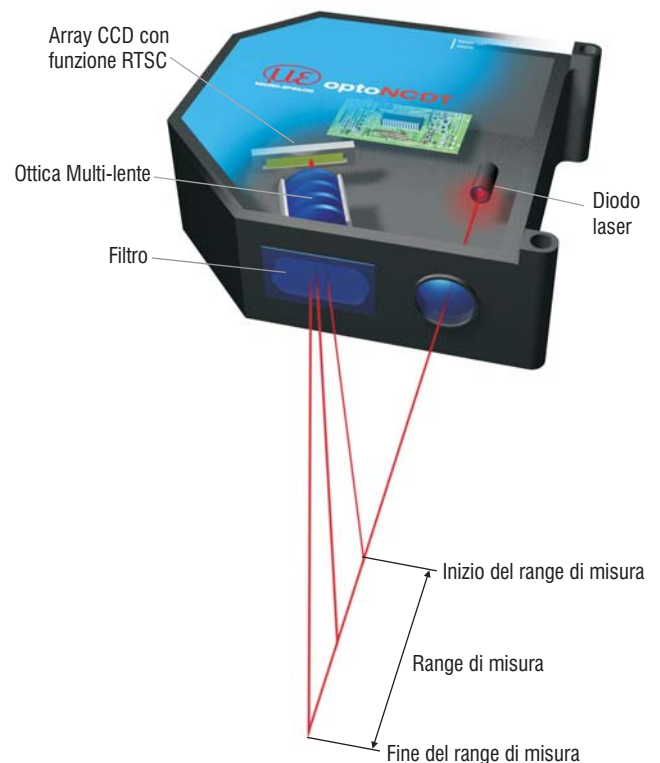
### Performance eddyNCDT





## Principio di funzionamento dei Laser a Triangolazione

Un diodo laser proietta un raggio sulla superficie del target. Il raggio riflesso è catturato dal sensore CCD/CMOS o PSD. L'intensità della luce riflessa dipende dal materiale del target. Per garantire un'alta qualità dell'uscita del segnale, la sensibilità dell'elemento ricevente è regolata istante per istante in tempo reale. La distanza del target sarà calcolata attraverso un semplice algoritmo geometrico. I dati sono analizzati dal controller interno o esterno e resi disponibili in uscita in diversi formati.



### Vantaggi dei laser a triangolazione:

- Piccolo spot di misura
- Possibilità di posizionare il sensore a grande distanza dal target
- Disponibilità di ampi campi di misura
- Praticamente indipendente dal materiale

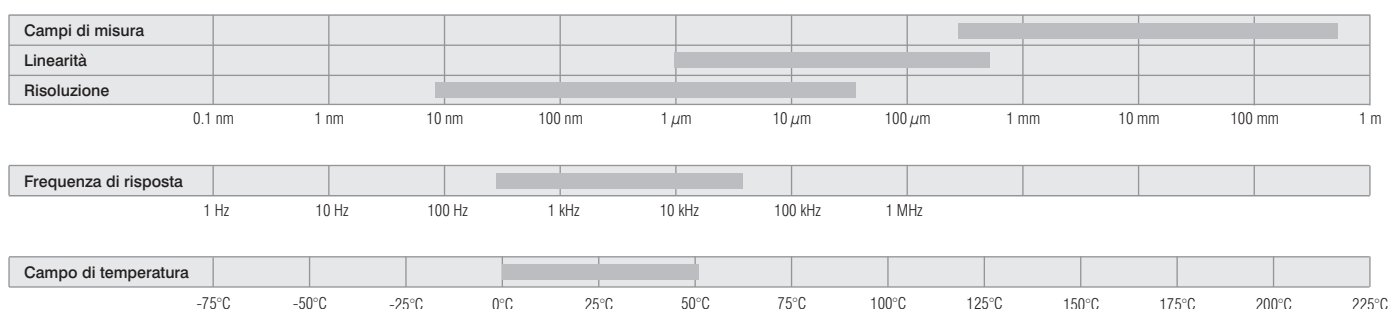
### Restrizione nelle applicazioni:

- Dipendente dal tipo di superficie
- Ambiente pulito almeno lungo il percorso del laser
- Di maggiori dimensioni se confrontate ai sensori confocali, capacitivi o eddy-current
- Per superfici riflettenti è utilizzabile con uno specifico angolo di allineamento

### Principio di misura



## Performance optoNCDT

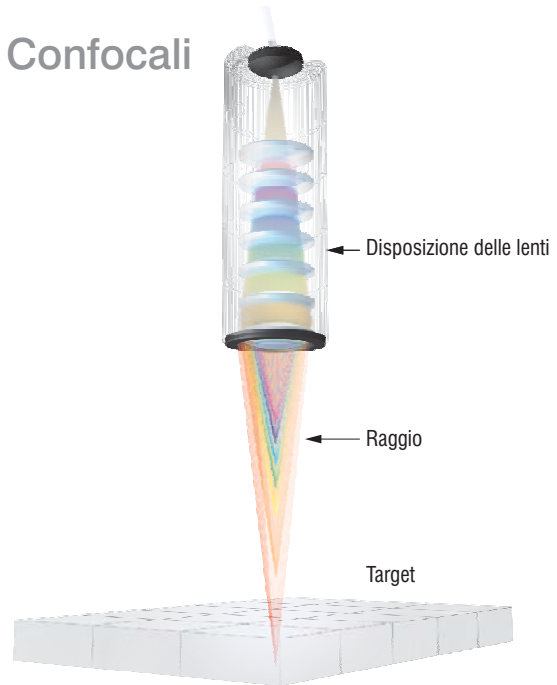


## Principio di funzionamento dei sensori Confocali

Durante la misurazione, una luce policromatica (luce bianca) passa attraverso la fibra ottica arrivando al sensore. Le lenti integrate nel sensore sono posizionate in modo tale che la luce viene divisa in diverse lunghezze d'onda monocromatiche.

Queste ottiche permettono di mettere a fuoco il target esclusivamente su una specifica lunghezza d'onda. Riflessa lungo il cavo a fibra ottica viene impressa sull'elemento sensibile. Qui si distingue la lunghezza spettrale caratteristica ed il segnale viene analizzato. A seconda della calibrazione dello strumento ogni lunghezza d'onda è associata ad una specifica distanza tra sensore e target.

Questo principio permette misurazioni in pratica tutti i tipi di superfici. Sui materiali trasparenti è anche possibile misurare lo spessore con un solo sensore distinguendo le due lunghezze d'onda riflesse dalle superfici.



Principio di misura

### Vantaggi dei sensori confocali:

- Risoluzione nanometrica
- Praticamente indipendente dal materiale
- Spot molto piccolo e costante
- Ottica estremamente ridotta per misure puntuali
- Misura dello spessore di materiali trasparenti con un solo sensore
- Sensore in miniatura in versione radiale per le misure interne a fori o gole
- Luce bianca al posto di laser
- Sensori miniatura in configurazione assiale e radiale



confocali in miniatura  
opto NCDT2402

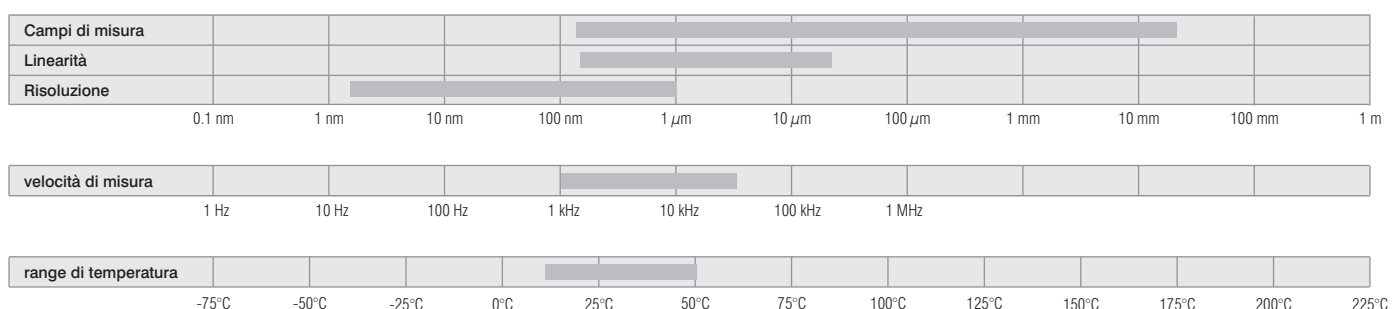
Sistema di spostamento  
confocale optoNCDT2400/2401

### Restrizioni nelle applicazioni:

- Distanza limitata tra sensore e target
- La misura richiede un ambiente pulito



### Performance optoNCDT 2400

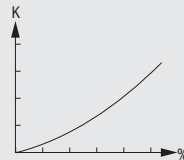




## Glossario, Definizioni

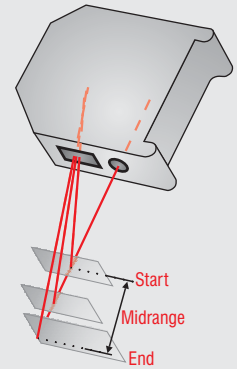
### Stabilità in temperatura

La stabilità in temperatura indica la percentuale di errore possibile nella misura espresso per unità di temperatura (°C o K). Questo errore è imputabile all'espansione termica dei componenti del sensore o agli effetti sui componenti elettrici. Questo effetto si evidenzia con una piccola deviazione della misura alle diverse temperature. La stabilità in temperatura è assolutamente decisiva per raggiungere misurazioni accurate in particolare modo nelle applicazioni industriali in cui possono verificarsi notevoli variazioni di temperatura.



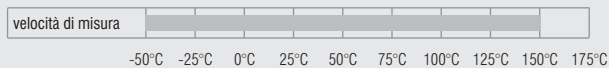
### Campo di misura

Il campo di misura indica lo spazio in cui l'oggetto da misurare deve essere collocato in modo da soddisfare le specifiche dichiarate. Le regioni estreme di questo campo determinano l'inizio e la fine del campo di misura. Alcune tipologie di sensori hanno una distanza fissa detta offset tra il campo di misura ed il sensore stesso.



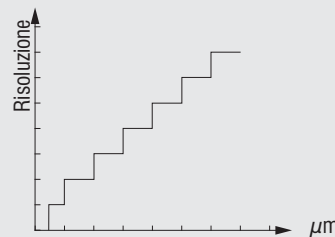
### Range di temperatura

Il campo di temperatura ambiente indica la minima e la massima temperatura in cui il sensore e l'elettronica possono essere utilizzati senza danni permanenti o cambiamenti nelle prestazioni.



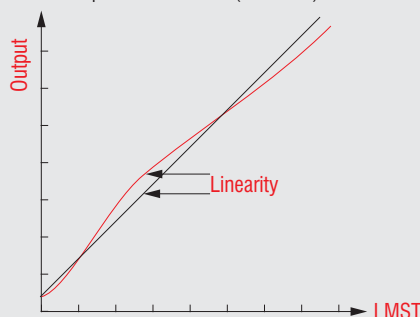
### Risoluzione

La risoluzione indica la più piccola variazione di misura che può essere apprezzata dal sensore.



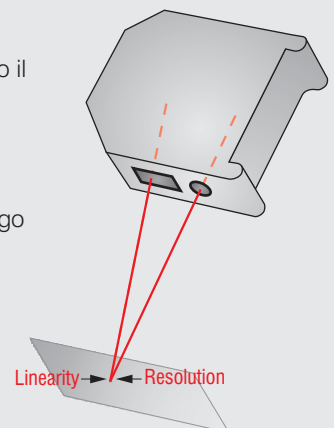
### Non-Linearità >> Linearità

La deviazione massima tra una caratteristica retta ideale e la retta reale è chiamata non-linearità o linearità. Il grafico mostra una percentuale di linearità riferita al fondo scala del campo di misura. (% FSO).



### Accuratezza

L'accuratezza è il massimo errore di misura preso in tutto il campo di misura. Questo parametro include linearità, risoluzione, stabilità in temperatura, stabilità nel lungo periodo ed errore statico.

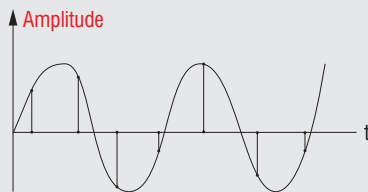




## Glossario, Definizioni

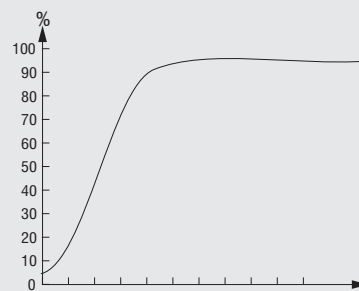
### Velocità di campionamento

La velocità di campionamento è la frequenza con cui il segnale analogico viene campionato durante la conversione analogico/digitale.



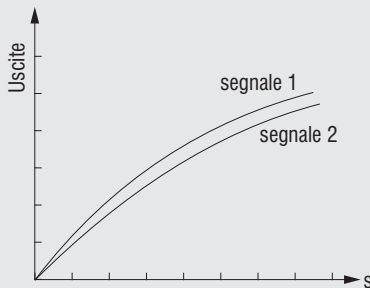
### Tempo di risposta

Il tempo di risposta è il tempo impiegato dal segnale di uscita per passare dal 10% al 90%. Con una apparecchiatura digitale è il tempo necessario per raggiungere un segnale stabile di misura.



### Ripetibilità

Specifica relativa alla differenza di valori di misurazioni svolte nelle medesime condizioni di misura in tempi diversi.



### Rapporto segnale/rumore (SNR)

Grandezza numeric ache mette in relazione la potenza del segnale utile rispetto a quella del rumore in qualsiasi sistema di acquisizione, elaborazione o trasmissione dell'informazione.



## Comparazione tra i criteri di scelta e le prestazioni dei sensori

Tutte le scelte hanno vantaggi e limitazioni. Le seguenti tabelle possono semplificare la decisione, in funzione all'applicazione, sui diversi sensori utilizzabili.

Le tabelle sono solamente indicative e mostrano solamente i principi generali e la tecnologia base. Molte applicazioni o modifiche possono essere sviluppate anche con tecniche differenti.

Metodo di misura	Eddy current	Capacitivo	Triangolazione	Confocale	
Accuratezza	+	+	+	+	
Risoluzione	+	+	+	+	
Alta temperatura	+	+	o	o	
Range di temperatura	fino a 40°C	+	+	+	
	fino a 90°C	+	+	+	
	fino a 150°C	+	+	+	
Dimensione sensore	+	o	-	o	
Spot di misura	o	o	+	+	
Compatibilità ambientale	+	-	-	o	
Lunghezza range	o	-	+	-	
Frequenza critica	+	o	o	o	
Target	Oggetti trasparenti	-	+	o	+
	Metalli	+	+	+	+
	Isolanti	-	o	+	+
	Finitura superficiale	+	+	o	+
	Run-out elettrico (Inomogeneità elettromagnetica del materiale)	-	+	+	+

+ buono o neutrale - problematico

Principio	Eddy current	Capacitivo	Triangolazione	Confocale	
Campo di misura	mm	0.4 - 80	0.05 - 10	0.5 - 750	0.12 - 25
Linearità	% FSO	± 0.2	< ± 0.1	± 0.03	< ± 0.05
Risoluzione massima	% FSO	0.005	0.004	< 0.005	< 0.004
Larghezza della banda	kHz	fino a 100	fino a 50		
Velocità di campionamento	kHz			fino a 10	fino a 30
Range di temperatura	°C	-50 ... 150	- 50 ... 200	0 ... 55	10 ... 50
Stabilità in temperatura	FSO/°C	< ± 0.015	< 0.01	< 0.01	< 0.01

FSO = Full Scale Output