

SICK AG WHITEPAPER

HDDM⁺ – TECNOLOGIA INNOVATIVA SICK PER LA MISURA DELLA DISTANZA

2017-11

AUTORE

Dr. Thorsten Theilig
Head of Product Unit Long Range Distance Sensors
SICK AG, Waldkirch, Germania

IN BREVE

Questo Whitepaper descrive i molteplici vantaggi della tecnica di misurazione ottica della distanza HDDM⁺ in diverse applicazioni. HDDM⁺ (High Definition Distance Measurement Plus) è un processo ad alta risoluzione basato sul tempo di volo per la misurazione della distanza senza contatto, impiegato sia in sensori di distanza sia in sensori 2D o 3D LiDAR. Questa tecnologia è indicata per la misurazione della distanza rispetto a oggetti a riflessione diffusa e a riflettori catari-frangenti in ambienti interni ed esterni. La distanza operativa massima dei sensori di distanza con HDDM⁺ è di 1,5 km su pellicola catarifrangente. Nel caso di HDDM⁺ si tratta di un processo di misurazione statistica, diversamente da tecnologie come a singolo impulso o correlazione di fase. Ciò significa che, per il calcolo di un valore di distanza, il sensore analizza statisticamente gli echi di diversi impulsi laser. Con HDDM⁺ è possibile realizzare inoltre sensori con capacità multi-eco. Se sono presenti diversi echi, è possibile identificare l'eco utile rilevante e selezionarla per l'analisi. In questo modo si possono eseguire misurazioni della distanza altamente attendibili anche in condizioni ambientali difficili.

Indice

Fondamenti tecnologici	2
Sensori ottici di distanza e LiDAR	2
Misurazione del tempo di propagazione della luce	2
Processo di misurazione a correlazione di fase	3
Misurazione ottica dell'impulso a tempo di volo	3
Processo di misurazione HDDM+	4

Fondamenti tecnologici

Sensori ottici di distanza e LiDAR

I sensori ottici di distanza e i sensori 2D e 3D LiDAR (ingl. LiDAR = forma abbreviata di light detection and ranging) vengono utilizzati in svariati settori e in un'ampia gamma di applicazioni. L'ambito di impiego spazia quindi dalla misurazione della distanza nell'ordine dei micrometri, ad es. nel controllo di qualità della produzione elettronica, al rilevamento pluridimensionale degli oggetti e alla determinazione della posizione con sensori 2D e 3D LiDAR in diverse macchine e impianti, fino ad arrivare alla determinazione della posizione di gru industriali o veicoli su rotaia. In base alla distanza, ai requisiti relativi alla precisione e alla ripetibilità e alle condizioni ambientali, si usano diversi principi di misura in modo tale da ottenere quello ottimale per ciascuna applicazione specifica.

Misurazione del tempo di propagazione della luce

La misurazione del tempo di volo (ingl.: time-of-flight measurement; ToF, ingl.: time-of-flight) è un processo indiretto per determinare la distanza rispetto a un oggetto misurato. Il sensore invia un raggio luminoso in direzione dell'oggetto misurato. Questo raggio luminoso consiste di norma in una luce laser con lunghezze d'onda nel campo visibile o nell'infrarosso vicino. Il sensore riceve la luce che l'oggetto misurato riflette. In base al tempo di volo della luce si calcola, conoscendo la velocità della luce, la distanza tra sensore e oggetto misurato.

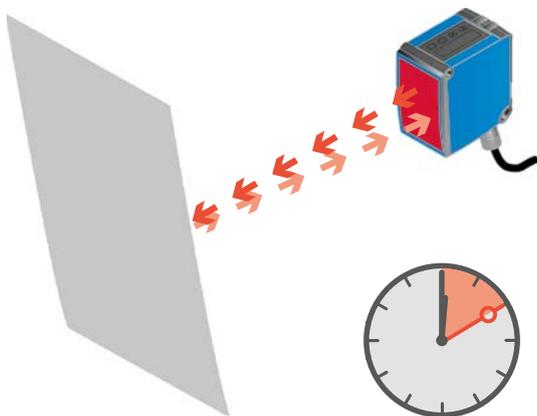


Fig. 1: rappresentazione di massima della misurazione del tempo di propagazione della luce.

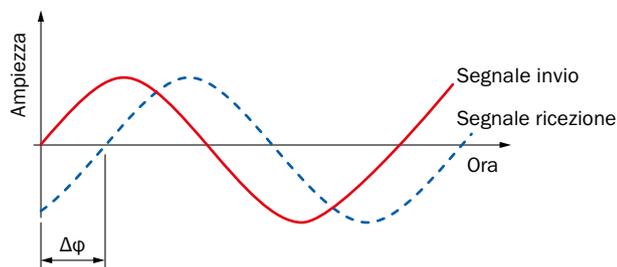
La misura della distanza è praticamente indipendente dalle caratteristiche della superficie dell'oggetto misurato. La misurazione del tempo di propagazione della luce è ideale quindi sia per la misurazione della distanza unidimensionale sia per la misurazione pluridimensionale con i sensori LiDAR che rilevano superfici e spigoli.

Quasi tutti i sensori LiDAR usati attualmente al mondo nelle applicazioni industriali operano secondo il seguente principio: il raggio laser del sensore rileva gli oggetti presenti nel suo campo di scansione, mentre l'unità di ricezione del sensore misura la luce riflessa. Sulla base dell'angolo con cui il sensore emette e riceve il raggio laser e sulla base del tempo di volo si realizza un'immagine del campo di rilevamento.

La luce a infrarossi nelle lunghezze d'onda spesso utilizzate nella misurazione del tempo di propagazione della luce di 850 nm e 905 nm è invisibile all'occhio umano. Ciò rappresenta un grande vantaggio in molte applicazioni. Ad es. i sensori 2D LiDAR a infrarossi vengono impiegati per la protezione delle opere d'arte nei musei. La luce laser invisibile agisce senza disturbare anche negli ambienti di lavoro. Per l'allineamento di un sensore di distanza a infrarossi sull'oggetto misurato viene attivato solitamente un laser visibile di direzione. I campi di scansione dei sensori LiDAR a infrarossi vengono visualizzati spesso per mezzo di dispositivi esterni di visualizzazione a infrarossi. Nella misurazione della distanza con luce visibile, il laser di misurazione può essere usato direttamente per l'allineamento meccanico del sensore.

Processo di misurazione a correlazione di fase

Nel processo di misurazione a correlazione di fase il sensore emette un raggio luminoso continuo modulato in ampiezza. La distanza tra sensore e oggetto misurato viene determinata in base allo sfasamento della modulazione tra la luce emessa e quella ricevuta.



$$s = \frac{a \cdot \lambda + R \cdot \lambda}{2}$$

a = Numero di periodi della lunghezza d'onda

λ = Lunghezza d'onda: $\lambda = c_0/f$

(c_0 = Velocità della luce nel vuoto, f = frequenza)

R = Frazione di una singola lunghezza d'onda: $R = \Delta\phi/2\pi$

($\Delta\phi$ = Sfasamento)

s = Valore di misura della distanza

Fig. 2: principio di funzionamento del processo di misurazione a correlazione di fase.

Il processo di misurazione a correlazione di fase è adatto in particolare per la misurazione altamente precisa e rapida della distanza dagli oggetti che si muovono in modo continuo lungo l'asse del laser. Questo tipo di tracciamento assiale dell'oggetto si ritrova ad es. nella determinazione della posizione di trasloelevatori nei magazzini completamente automatici. Il sensore di distanza si muove in genere con il trasloelevatore e misura la distanza rispetto a un riflettore fisso posto alla fine del corridoio di magazzino.

Misurazione ottica dell'impulso a tempo di volo

Nella misurazione dell'impulso a tempo di volo, il sensore emette brevi impulsi luminosi, che l'oggetto misurato in parte riflette. Il sensore rileva la differenza di tempo tra emissione e ricezione dell'impulso e calcola in questo modo la distanza tra sensore e oggetto. Nella misurazione dell'impulso a tempo di volo si distingue tra processi deterministici e processi statistici. Nei sistemi di misurazione dell'impulso a tempo di volo deterministici ("single pulse") il sensore manda singoli impulsi laser e calcola un valore di distanza in base al tempo di volo di ogni impulso. I sistemi di misurazione dell'impulso a tempo di volo statistici invece emettono una serie di impulsi in tempi molto brevi. Dagli echi ricevuti di una serie si calcola un valore di distanza con metodi statistici. In questo modo è possibile rilevare un valore valido di distanza con un'attendibilità elevata anche in caso di perdita di uno o più echi a causa di disturbi nell'ambiente di misura.

A differenza del processo di misurazione a correlazione di fase, in cui si usa un raggio di luce continuo, i singoli impulsi dei sistemi di misurazione dell'impulso a tempo di volo offrono un rendimento massimo nettamente superiore. Di conseguenza è possibile progettare sistemi di misurazione dell'impulso a tempo di volo che, proprio in virtù del loro principio di funzionamento, presentano una maggiore resistenza alla luce ambientale; un impiego tipico di tali sistemi sono le applicazioni in ambienti esterni.

Processo di misurazione HDDM+

HDDM+ (High Definition Distance Measurement Plus) è un processo ad alta risoluzione basato sul tempo di volo per la misura della distanza senza contatto, impiegato sia in sensori di distanza sia in sensori 2D o 3D LiDAR. Sviluppato a partire dalla comprovata tecnologia HDDM, HDDM+ è ideale per ambienti esterni e interni, oltre che per la misurazione della distanza rispetto a oggetti a riflessione diffusa e a riflettori catarifrangenti. La distanza operativa massima dei sensori di distanza con HDDM+ è di 1,5 km su catarifrangente. HDDM+ è un processo di misura statistico, diversamente da tecnologie come “single pulse” o correlazione di fase. Ciò significa che, per il calcolo di un valore di distanza, il sensore analizza statisticamente gli echi di diversi impulsi laser.

Con HDDM+ è possibile realizzare inoltre sensori con capacità multi-eco. In alcune applicazioni il sensore riceve diversi echi per via delle riflessioni multiple del raggio luminoso. La possibili cause di questi echi (di disturbo) sono ad es. i vetri di protezione usati per la misurazione, la pioggia, la neve, la nebbia o la polvere.

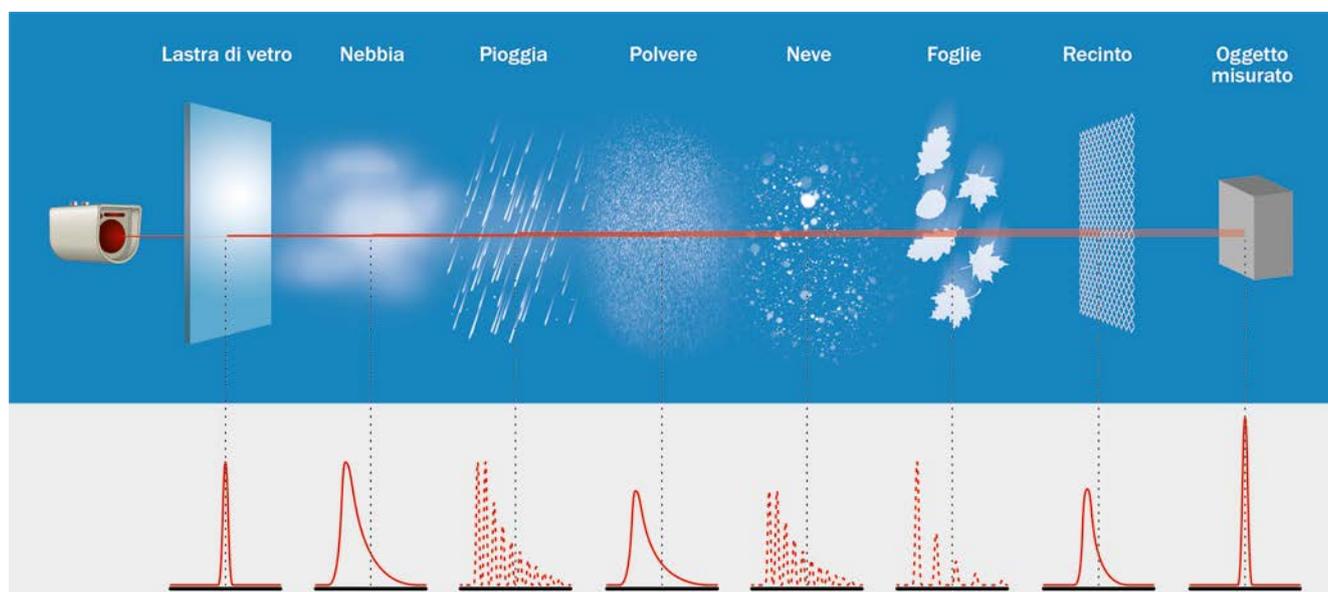


Fig. 3: il grafico mostra una rappresentazione simbolica della capacità multi-eco dei sensori di distanza SICK Dx1000, che possono distinguere a ogni misurazione fino a 8 echi generati da riflessioni lungo il tratto di misurazione.

Solo uno degli echi ricevuti rappresenta la distanza reale tra sensore e oggetto misurato. Gli echi rimanenti possono provocare misurazioni errate. Nel sensore di distanza Dx1000 e nel sensore 3D LiDAR MRS1000 la capacità multi-eco della tecnologia HDDM+ consente, in presenza di diversi echi, di identificare l'eco utile rilevante, di valutare solo questa e di trasmetterla all'unità di controllo collegata. Gli echi indesiderati possono essere esclusi.

Nell'esempio del sensore di distanza Dx1000, l'interfaccia utente SOPAS ET consente di rappresentare graficamente sul PC in modo chiaro gli echi rilevati come funzione della distanza dell'oggetto e di selezionare l'eco utile. Inoltre è possibile definire una "Region of Interest" (ROI). Gli echi che si trovano entro la ROI vengono analizzati, quelli al di fuori vengono ignorati. Così ad esempio è possibile misurare la distanza di oggetti lontani attraversando una grata impostando la ROI in maniera tale che l'eco utile dell'oggetto misurato e l'eco della grata si trovino rispettivamente all'interno e all'esterno della ROI. Inoltre è possibile selezionare per la valutazione la prima o l'ultima eco tra quelli presenti all'interno della ROI impostata.



Fig. 4: indicazione grafica e impostazione della Region of Interest del sensore di distanza SICK Dx1000.

In questo modo è possibile realizzare misurazioni di distanza anche su superfici riflettenti. Un esempio è la misurazione del livello dell'alluminio liquido. Se manca il film di ossido sull'alluminio liquido, il laser del sensore di distanza viene riflesso dalla superficie riflettente. Una riflessione diretta del raggio luminoso nell'ottica di ricezione provoca di solito misurazioni errate e disturbi in caso di sensori di distanza laser convenzionali. Per evitare tali inconvenienti, il sensore di distanza viene orientato di solito a pochi gradi angolari di distanza dalla normale della superficie. Il sensore riceve comunque un'eco dall'oggetto misurato. Poiché tuttavia una parte considerevole del raggio luminoso viene riflessa per mezzo della superficie riflettente sullo sfondo oltre l'ottica di ricezione del sensore, il sensore riceve di solito una seconda eco che proviene da una riflessione sullo sfondo, ad es. sul soffitto di un capannone. Con un sensore di distanza convenzionale con tecnologia a tempo di volo, il rilevamento contemporaneo di due echi provoca nella maggior parte dei casi misurazioni errate o addirittura disturbi. Con la tecnologia multi-eco HDDM+ invece è possibile identificare l'eco di disturbo, escluderla tramite un'impostazione adeguata del ROI e realizzare così una misurazione di distanza altamente attendibile sulla superficie riflettente.

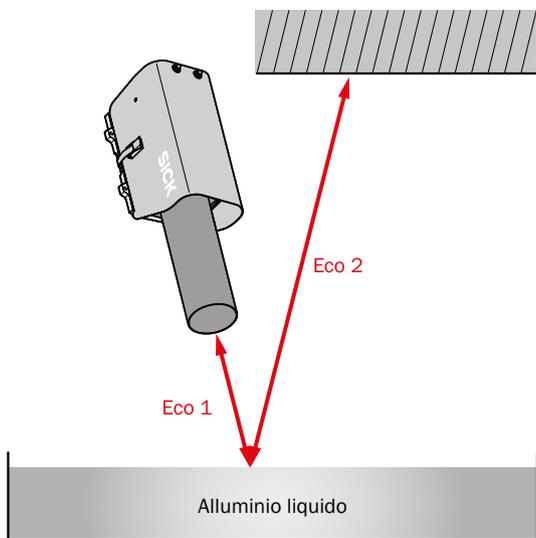


Fig. 5: echi multipli nella misurazione della distanza su una superficie di alluminio liquido.

Nei sensori LiDAR LMS1000, MRS1000 e TiM100, la funzionalità multi-eco consente alla tecnologia HDDM+ una rappresentazione straordinariamente precisa dei bordi dell'oggetto. Se il laser di misurazione colpisce il bordo dell'oggetto con il suo punto luminoso, la cui ampiezza aumenta verso l'estremità finale, un oggetto che si trova dietro emette di solito una seconda eco. La tecnologia multi-eco di HDDM+ impedisce in maniera affidabile la mescolanza di entrambi gli echi e fornisce un'immagine precisa del bordo dell'oggetto.

I sensori LiDAR e di distanza dotati di HDDM+ sono ideali soprattutto per l'impiego in ambiente esterno. Sono molto resistenti a luce ambientale, precipitazioni, nebbia o polvere nell'ambiente di misura. L'immunità rispetto alla luce ambientale risulta dall'analisi statistica degli echi. Gli echi errati dovuti a un elevato flusso indotto di luce ambientale del fotodiodo che possono provocare misurazioni sbagliate nei processi di misurazione single pulse vengono filtrati in modo efficace. Per una misurazione senza disturbi in presenza di pioggia o neve è anche possibile, grazie alla capacità multi-eco, filtrare in modo efficace le brevi riflessioni del laser di misurazione. Inoltre la tecnologia HDDM+ consente la soppressione efficace di eventuali riflessioni indesiderate provocate da nebbia o polvere nel campo di misura.

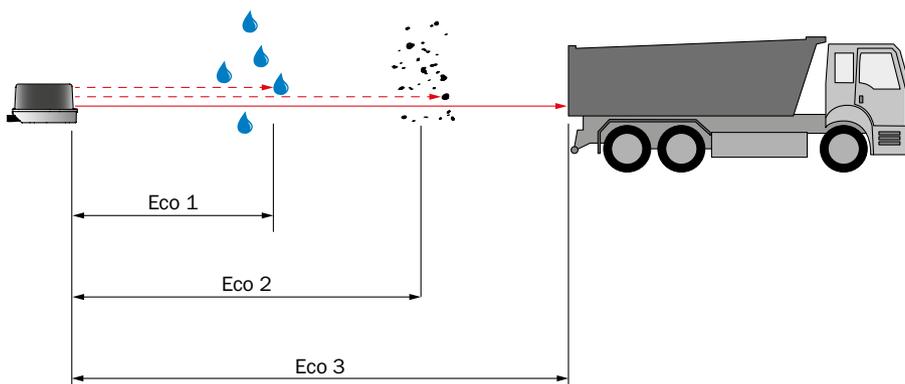


Fig. 6: rappresentazione di massima della capacità multi-eco dei sensori LiDAR SICK LMS1000 e MRS1000 con polvere, pioggia, neve o nebbia lungo il tratto di misurazione.

Nei porti ad esempio è possibile evitare collisioni di gru a portale con ruote (rubber tired gantry, RTG) monitorando costantemente la zona di spostamento con un sensore 3D LiDAR MRS1000. La tecnologia multi-eco permette la differenziazione affidabile tra gli echi di disturbo dovuti a pioggia o nebbia e gli echi dei serbatoi e di altri ostacoli nella zona di spostamento. In questo modo è possibile evitare le collisioni in modo affidabile e si ottiene contemporaneamente un'elevata disponibilità.

HDDM+ consente inoltre di adattare la distanza operativa di un sensore di distanza all'applicazione specifica selezionando un tempo di ciclo di misurazione adeguato. Lo stato dell'arte prevede un tempo minimo del ciclo di misurazione di 1 ms per applicazioni molto dinamiche. Laddove i requisiti primari della misurazione siano una distanza operativa elevata e la migliore precisione di ripetizione possibile, sarà sufficiente prolungare il tempo di ciclo della misurazione. In questo modo in base al coefficiente di riflessione dell'oggetto misurato è possibile realizzare distanze operative di alcune centinaia di metri nella misurazione della distanza su oggetti naturali. Il sensore di distanza DL1000 riconosce in modo sicuro riflettori come i riflettori adesivi "Diamond Grade" anche a una distanza di un chilometro e mezzo. Con lo stesso sensore è possibile misurare fino a una distanza minima di 20 cm. Con la tecnologia HDDM+ è possibile determinare in modo efficace un segnale di distanza a basso rumore anche con livelli di segnale estremamente diversificati.

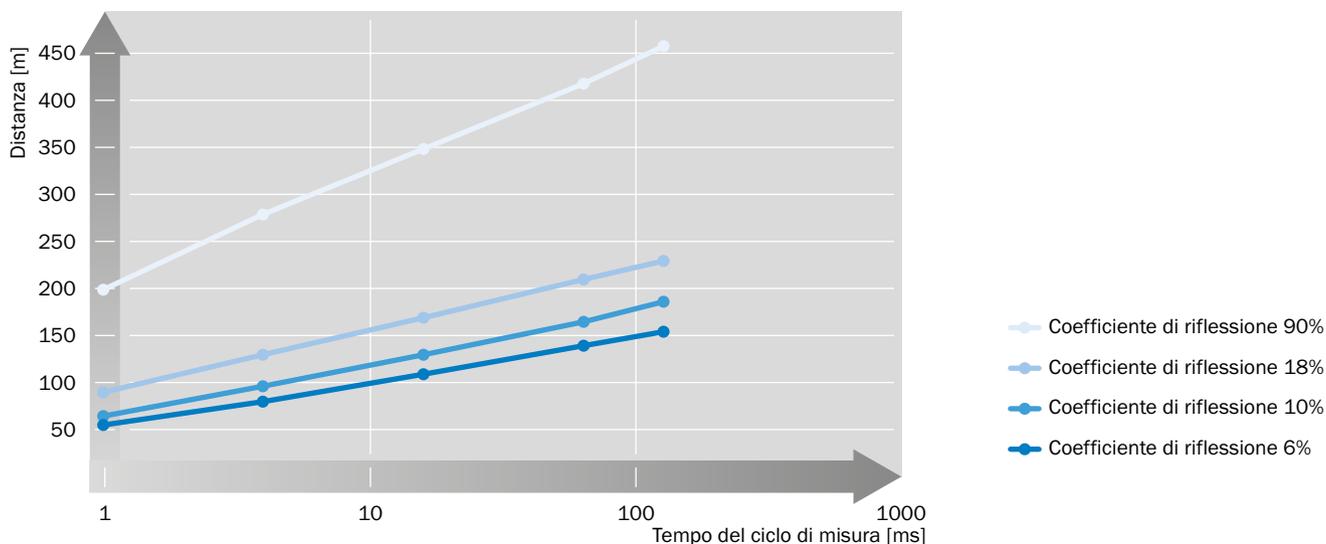


Fig. 7: tramite l'impostazione del tempo di ciclo di misurazione è possibile adattare alla specifica applicazione la distanza operativa del sensore di distanza SICK DT1000 per la misurazione su oggetti naturali (cioè oggetti non catarifrangenti). Il coefficiente di riflessione è una misura (in funzione dell'oggetto) della riflessione del laser di misurazione sull'oggetto misurato.

HDDM+ è adatto in particolare anche per la misurazione su superfici molto calde, ad es. per la misurazione del livello dell' acciaio liquido o la determinazione della posizione di bramme in acciaio nella colata continua. Oggetti con temperature a partire da circa 700 °C emettono, in base al grado di emissione, una percentuale significativa della loro radiazione di calore nel vicino infrarosso. In caso di processi a tempo di volo convenzionali basati sugli infrarossi, possono verificarsi misurazioni errate o addirittura un malfunzionamento del sensore.

Mentre il processo di misura a correlazione di fase è adatto in primo luogo per il tracciamento assiale dell'oggetto, con HDDM+ è possibile rilevare sia le distanze che cambiano costantemente sia le variazioni di distanza improvvise. Variazioni di distanza improvvise si verificano ad es. con l'introduzione laterale di oggetti nel laser di misura di un sensore di distanza o nel rilevamento di oggetti con un sensore LiDAR qualora vengano introdotti in senso perpendicolare al piano di rilevamento. Con un sensore LiDAR basato sulla misurazione deterministica dell'impulso a tempo di volo si assegna un valore di distanza a ogni singolo impulso laser. Con i sensori LiDAR dotati di tecnologia HDDM+, invece, numerosi impulsi laser per segmento angolare provocano una sovrapposizione dei punti luminosi e quindi un rilevamento completo del campo di scansione.

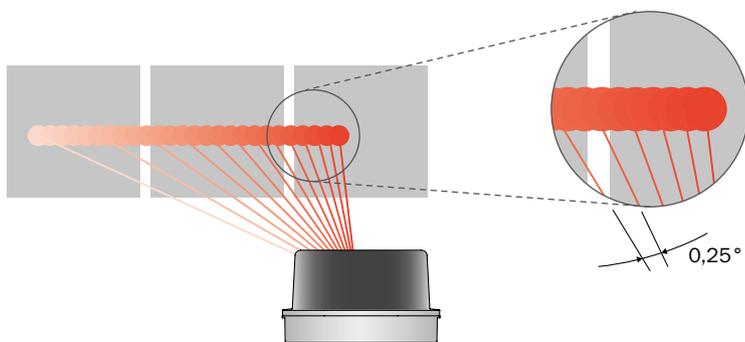


Fig. 8: rilevamento completo del campo di scansione con riferimento al sensore LiDAR MRS1000 SICK.

REFERENZE

→ www.sick.com/micron-to-mile