



*Università degli Studi di Napoli "Parthenope"*  
*Dipartimento di Scienze e Tecnologie*

*Corso di Topografia e Idrografia*

*Lezione 4*

# **La misura delle distanze**

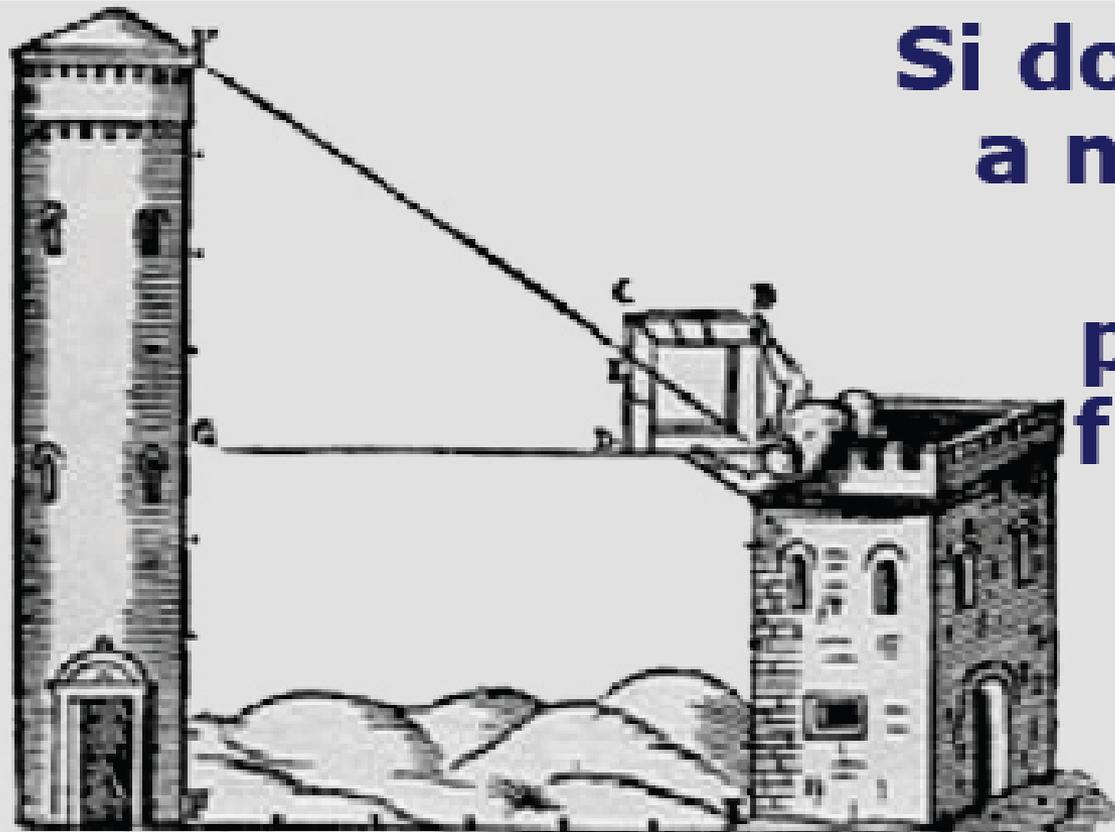
## **Il distanziometro elettronico**

*Claudio Parente*

# Argomenti della lezione

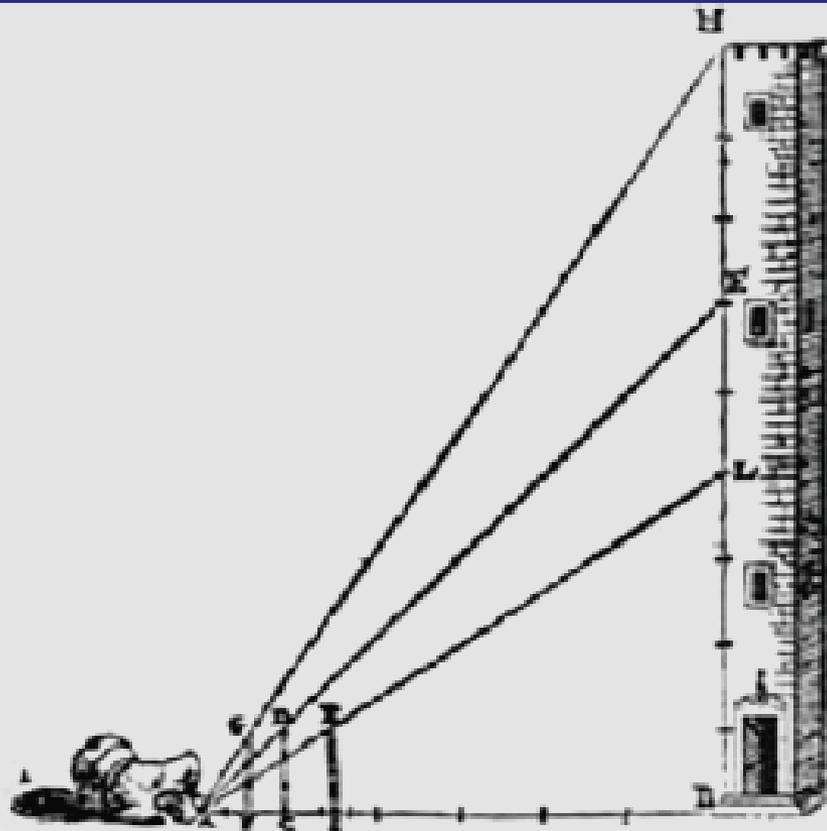
- **Strumenti per la misura di distanze**
  - **I distanziometri elettronici**
  - **Gli strumenti integrati**

**La misura delle distanze è sempre stata nel passato un grosso problema operativo per il topografo**



**Si doveva ricorrere  
a metodi indiretti  
basati sulla  
proporzionalità  
fra figure simili**

**La misura delle distanze è sempre stata nel passato un grosso problema operativo per il topografo**



**Si doveva ricorrere a metodi indiretti basati sulla proporzionalità fra figure simili**

**Anche con metodi basati  
su triangolazioni o intersezioni  
non si riusciva a superare  
la precisione di  $10^{-3}$**

**Solo con complessi sistemi di  
sospensione e tensione di fili di invar  
si conseguivano precisioni migliori**

**Anche con metodi basati  
su triangolazioni o intersezioni  
non si riusciva a superare  
la precisione di  $10^{-3}$**

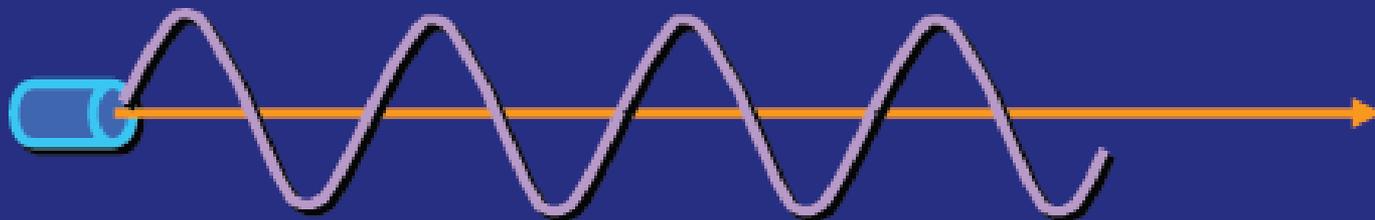
**A partire dagli anni '60 del secolo  
scorso, con l'avvento dell'elettronica  
la misura delle distanze cessò di  
essere un ostacolo per il topografo**



# **I distanziometri elettronici**

# Richiami sulle onde elettromagnetiche

Un'onda elettromagnetica è un flusso di energia che viene originato da una sorgente e si propaga nello spazio



**direzione di propagazione**

# Richiami sulle onde elettromagnetiche

L'intensità con la quale il flusso viene emesso non è costante ma varia tra un minimo e un massimo



**Un'onda elettromagnetica  
è caratterizzata dai seguenti  
parametri:**

**T (sec)**

**Periodo dell'onda**

**Ossia intervallo di tempo  
nel quale l'intensità dell'onda  
compie un ciclo completo**

Un'onda elettromagnetica  
è caratterizzata dai seguenti  
parametri:

$f$  (1/sec)

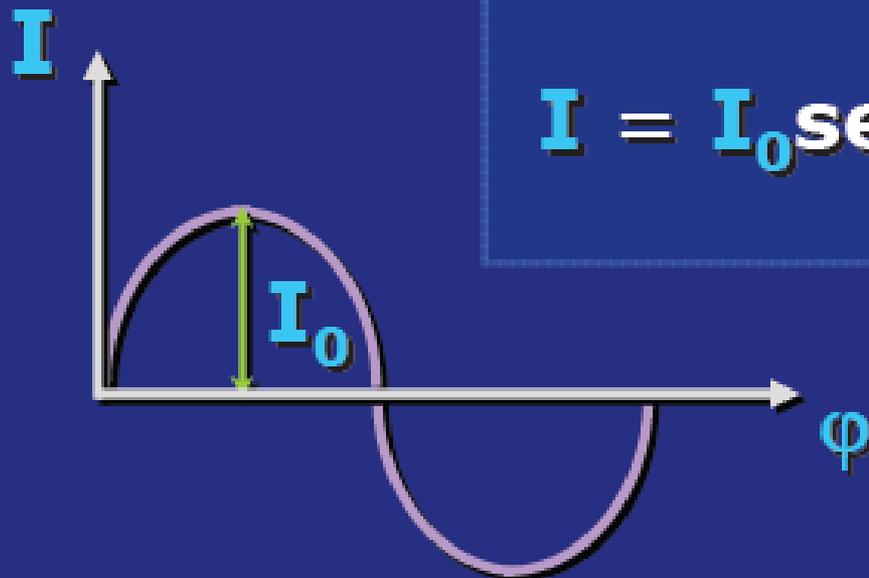
Frequenza

Numero di cicli al secondo

$I$

Intensità istantanea

La rappresentazione del **valore istantaneo dell'intensità dell'onda** è la seguente:



$$I = I_0 \text{sen}\left(2\pi \frac{t}{T}\right) = I_0 \text{sen}\varphi$$

$$\varphi = 2\pi \frac{t}{T}$$

**La frequenza, numero di cicli al secondo, si misura in Hertz**

<b>Ha frequenza</b>	<b>L'onda che compie</b>
<b>1 Hz</b>	<b>1 ciclo in 1 sec</b>
<b>1 KHz</b>	<b>1 ciclo in <math>1/10^3</math> sec</b>
<b>1 MHz</b>	<b>1 ciclo in <math>1/10^6</math> sec</b>

$\lambda$

## Lunghezza dell'onda

È lo spazio percorso dal fronte d'onda in un tempo pari al periodo  $T$

Si assume che le o.e. si propaghino alla velocità di propagazione della luce nel vuoto  $c$

$\lambda$  è legata alla frequenza  $f$  e al periodo  $T$  dalle relazioni

$$\lambda = cT = \frac{c}{f}$$

Essendo  $c$  la velocità della luce nel vuoto  
e  $T = 1/f$

# Esempi

La luce visibile ha una lunghezza d'onda variabile tra

**$0,4 \mu\text{m}$  e  $0,7 \mu\text{m}$**

con frequenza variante tra

**$75,10 \text{ MHz}$  e  $45,10 \text{ MHz}$**

# Esempi

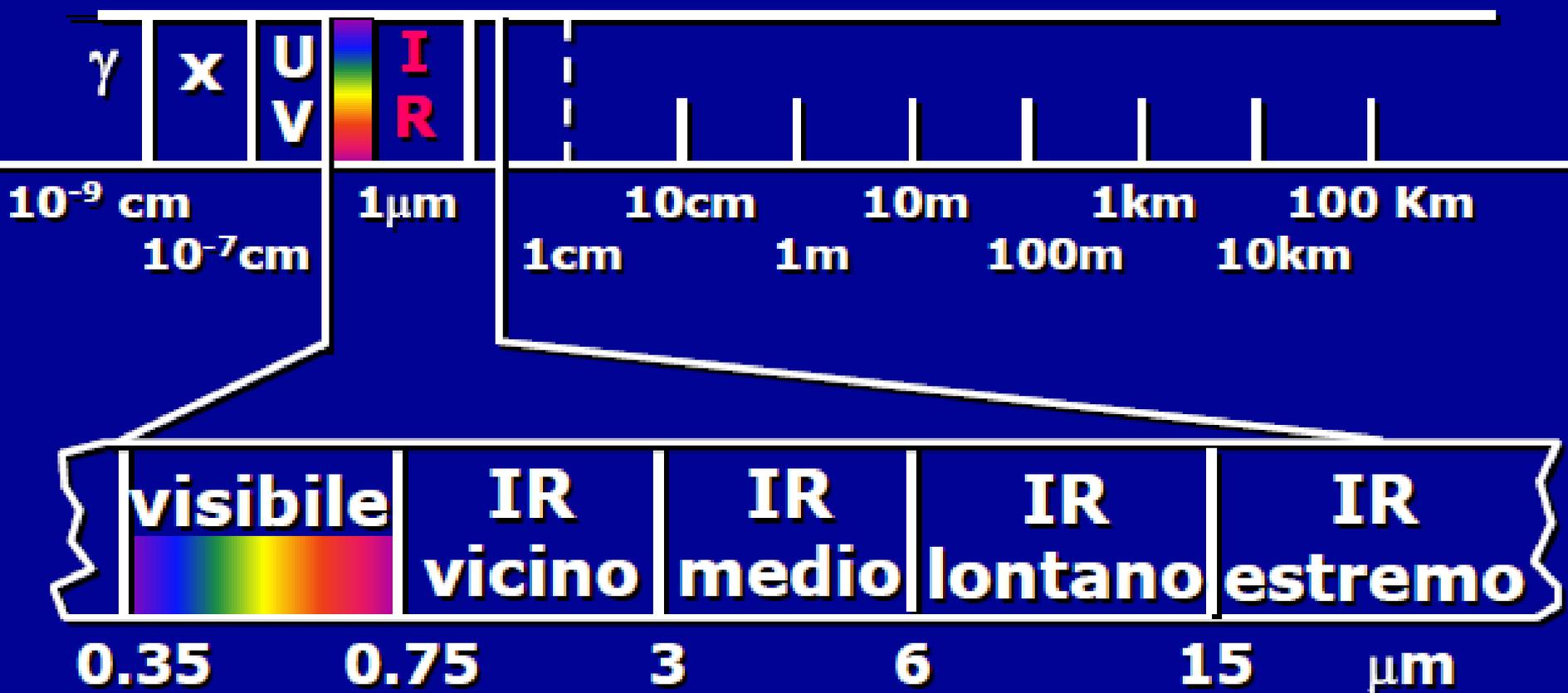
Le onde elettromagnetiche che seguono immediatamente nello spettro quelle della luce visibile sono dette onde infrarosse e hanno lunghezza d'onda variabile tra

**0,7  $\mu\text{m}$  e 1,1  $\mu\text{m}$**

Parte dell'Infrarosso vicino

**raggi**

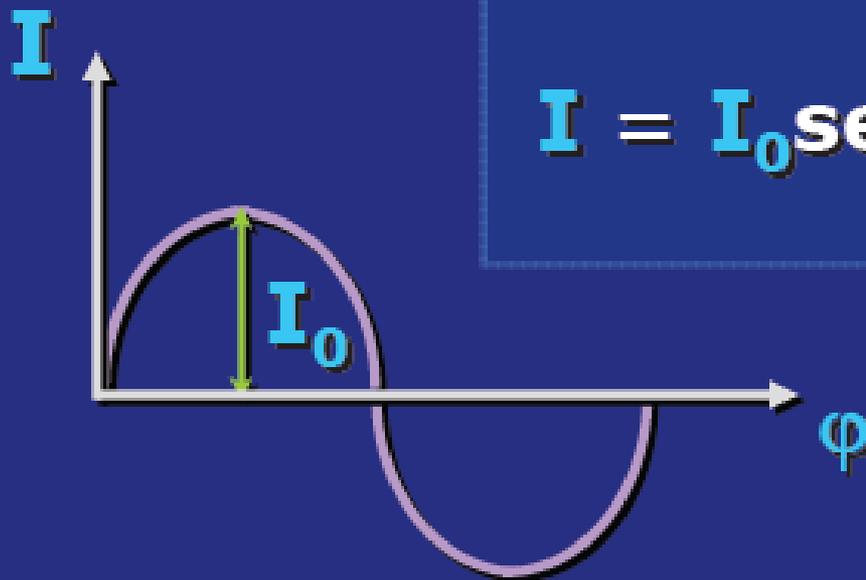
**onde radio**



**La luce visibile ha lunghezza d'onda  
0.4  $\div$  0.75  $\mu$ m**

Ipotizziamo che a un tempo  $t=0$  inizi l'emissione di un'onda

Indichiamo con  $\varphi$  (fase) l'argomento del seno dell'intensità di un'onda:



$$I = I_0 \text{sen}\left(2\pi \frac{t}{T}\right) = I_0 \text{sen}\varphi$$

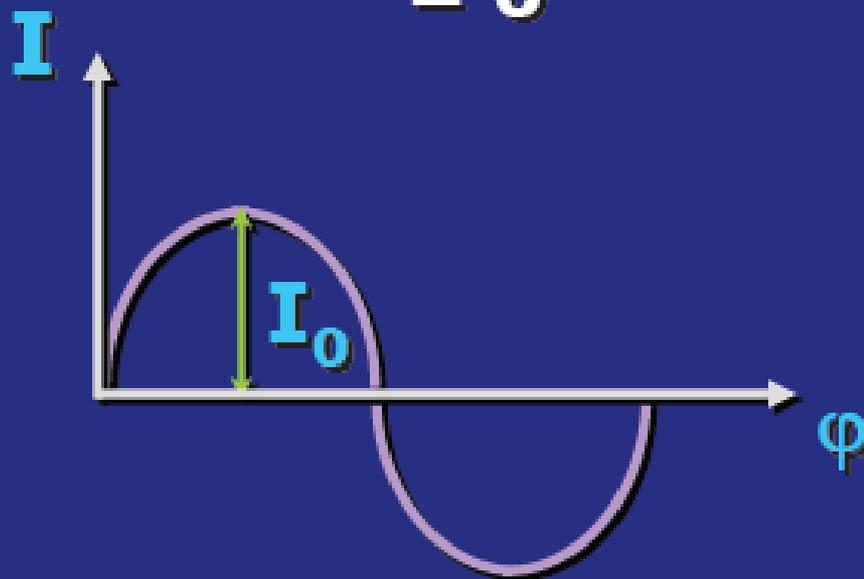
$$\varphi = 2\pi \frac{t}{T}$$

Lo spazio percorso da un'onda in un tempo  $t'$  con  $0 < t' < T$  è proporzionale alla fase a alla lunghezza d'onda

spazio percorso



= 0



$$d = \lambda \frac{\varphi}{2\pi}$$

$$t = 0$$

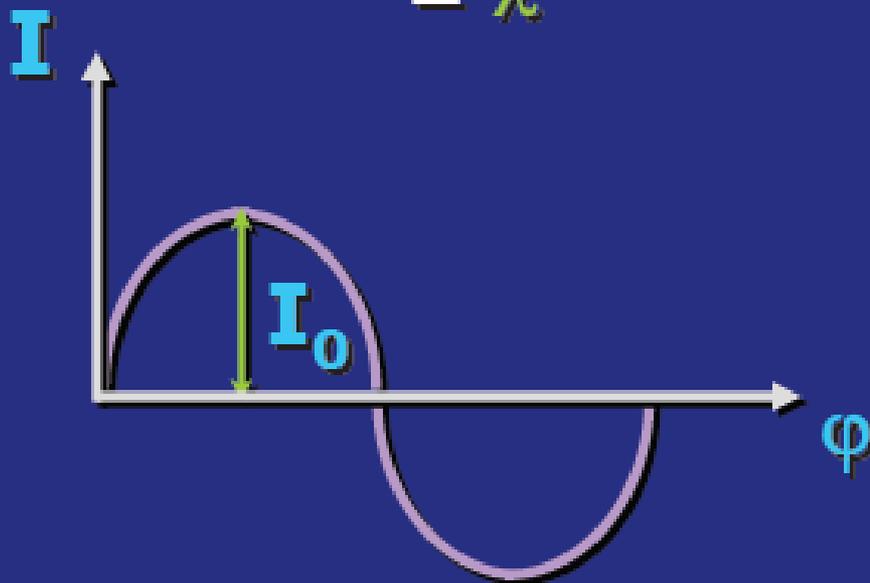
$$\varphi = 2\pi \frac{t}{T} = 0$$

Lo spazio percorso da un'onda in un tempo  $t'$  con  $0 < t' < T$  è proporzionale alla fase a alla lunghezza d'onda

spazio percorso



$$= \lambda$$



$$d = \lambda \frac{\phi}{2\pi}$$

$$t = T$$

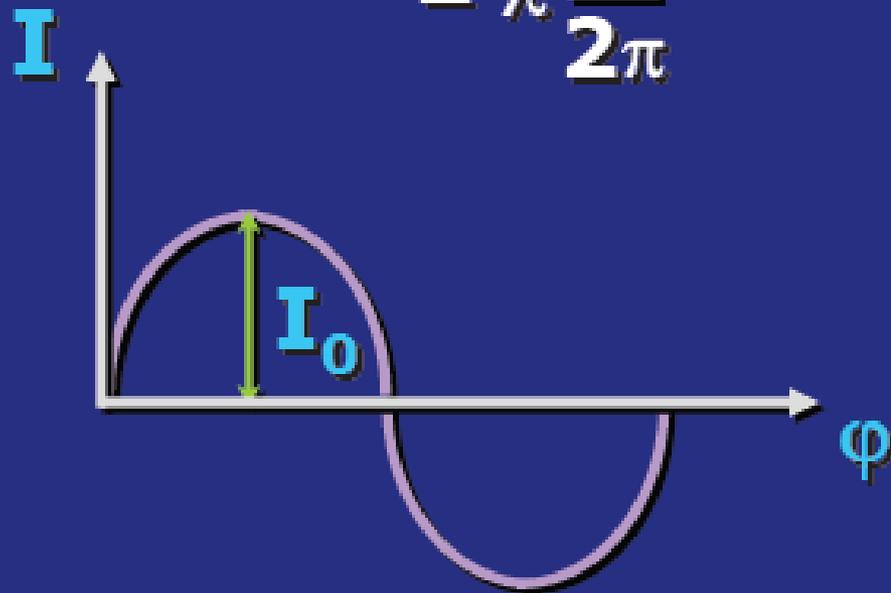
$$\phi = 2\pi \frac{t}{T} = 2\pi$$

Lo spazio percorso da un'onda in un tempo  $t'$  con  $0 < t' < T$  è proporzionale alla fase a alla lunghezza d'onda

spazio percorso



$$= \lambda \frac{\varphi}{2\pi}$$



$$d = \lambda \frac{\varphi}{2\pi}$$

$$t = t'$$

$$\varphi = 2\pi \frac{t}{T} = 2\pi \frac{t'}{T}$$

**Al tempo  $t'$**

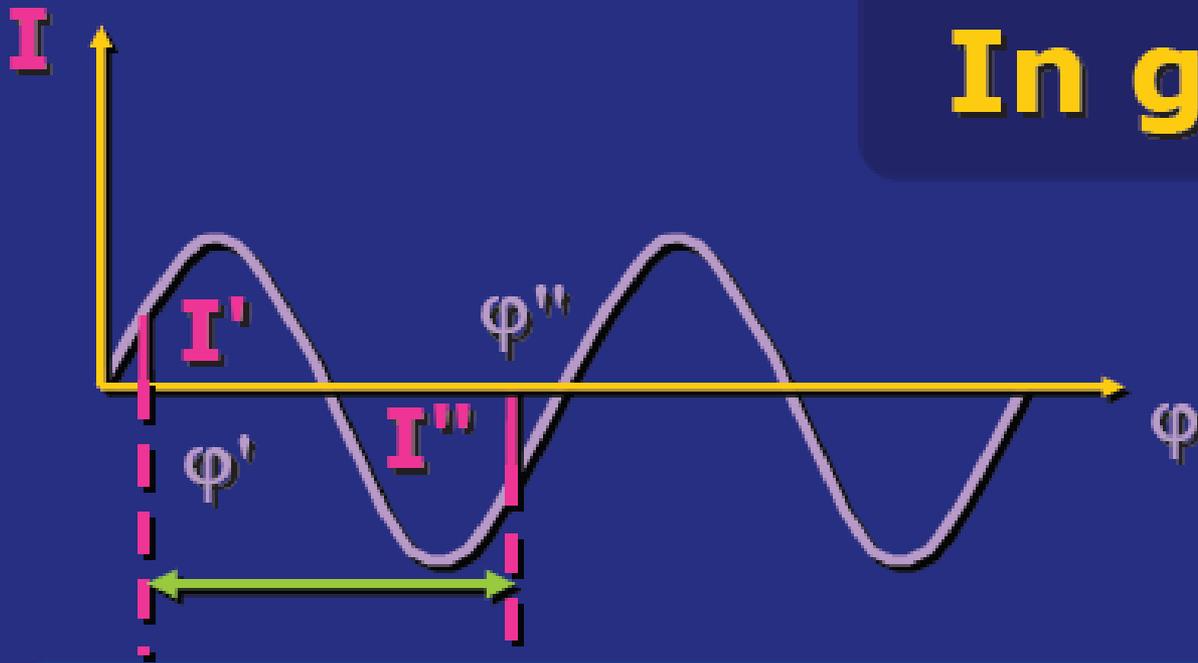
**Ad una certa intensità dell'onda  $I$**

**Corrisponde una fase  $\varphi$**

**Che corrisponde alla distanza percorsa dall'onda dall'istante  $t = 0$  all'istante  $t'$**

$$d = \lambda \frac{\varphi}{2\pi}$$

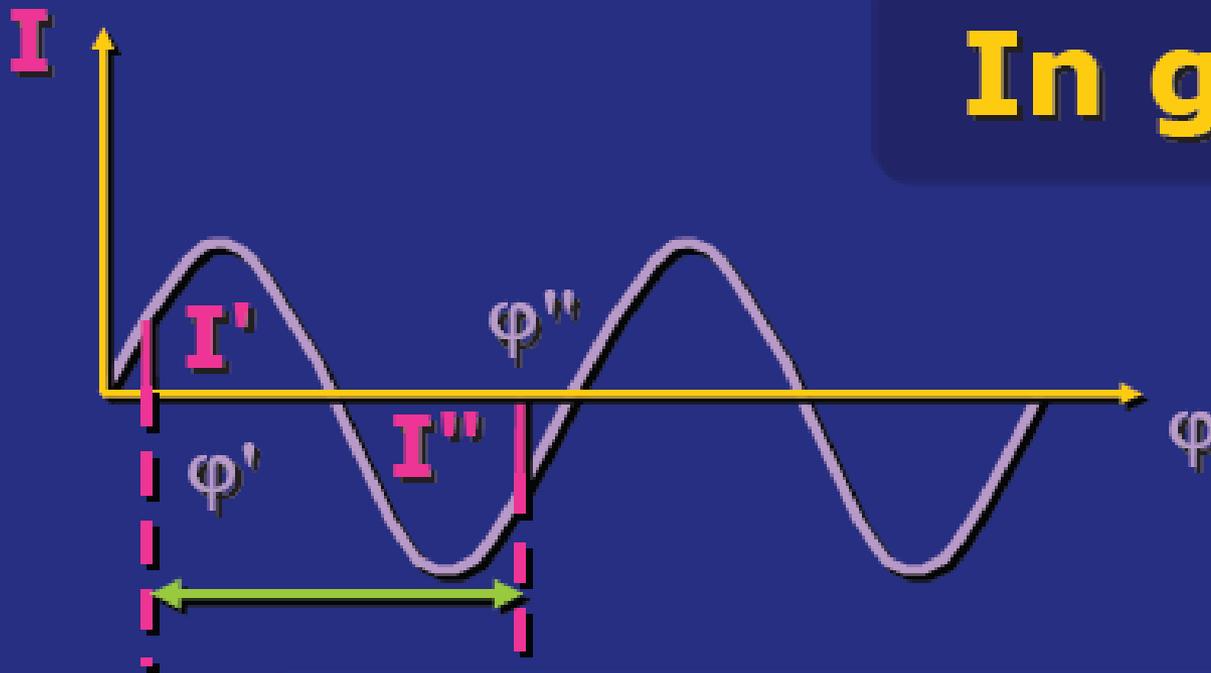
# In generale



Dal valore di 2 intensità  $I'$  e  $I''$

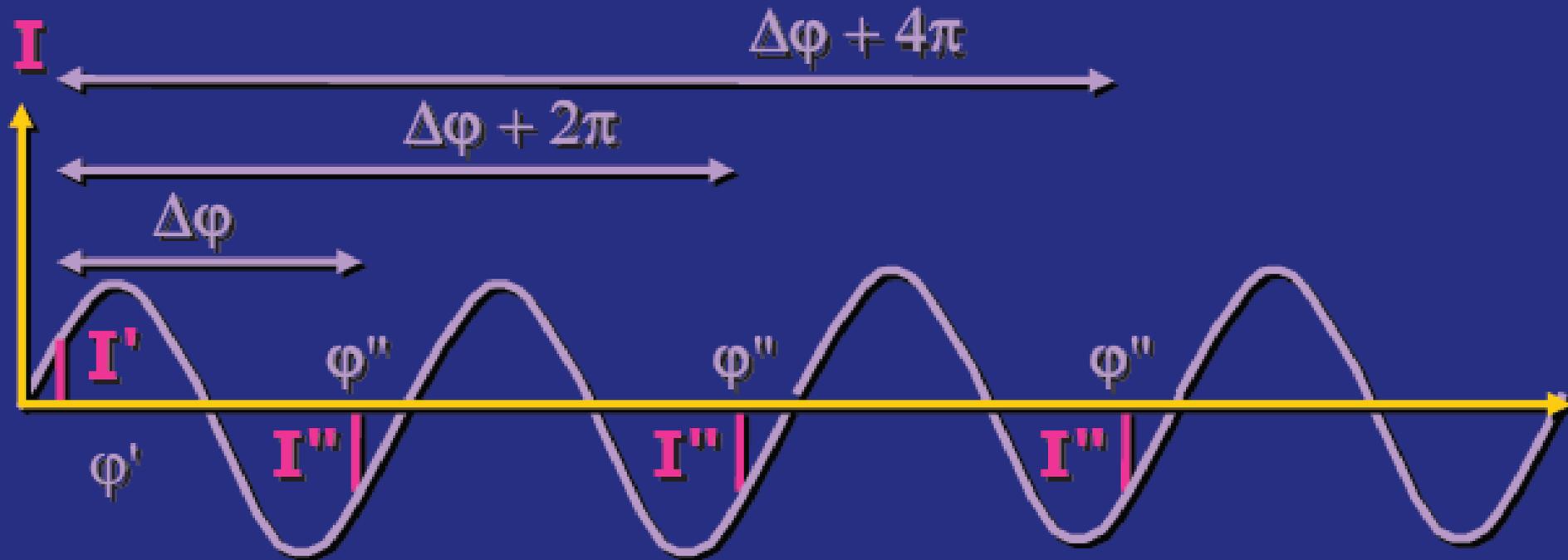
Risaliamo alle fasi  $\phi'$  e  $\phi''$  e alla distanza  $d$  percorsa dall'onda fra il verificarsi delle 2 intensità

# In generale



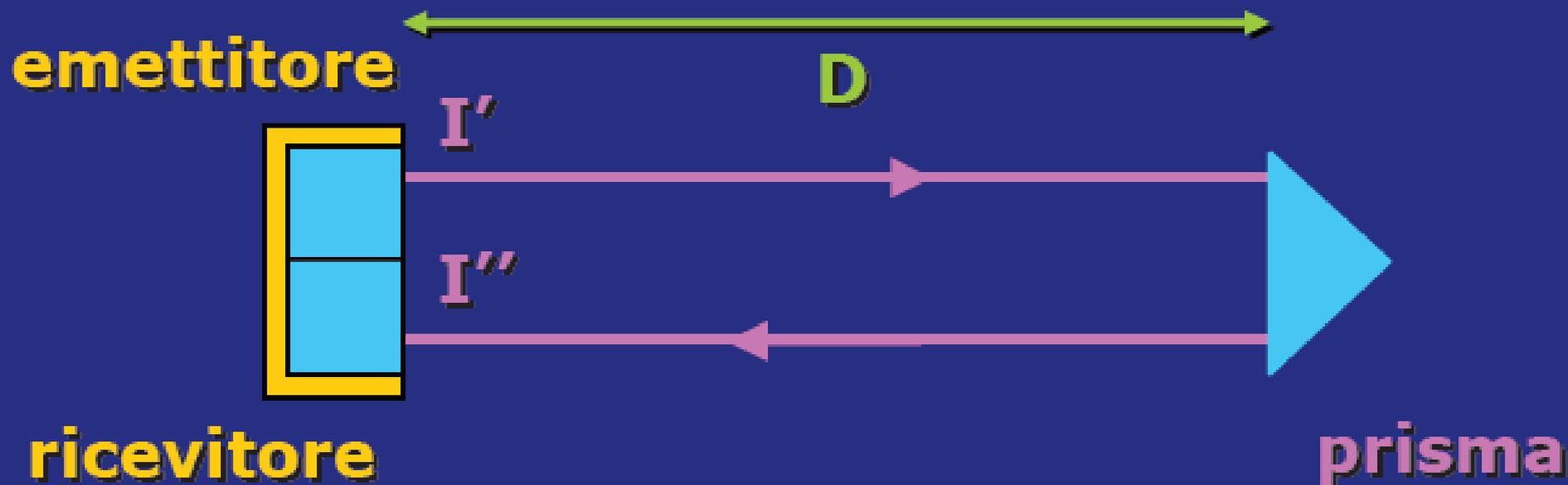
Dallo sfasamento  $\Delta\varphi$

Risaliamo alla **distanza**



**Però lo stesso sfasamento  
si presenta ciclicamente**

Mi metto nell'ipotesi di sfruttare  
la misura della differenza di fase  
per determinare  
la **distanza** fra due punti

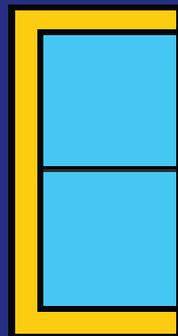


Per determinare  $D$  a partire dallo sfasamento deve essere

$$2D < \lambda$$

$$2D = \frac{\Delta\varphi}{2\pi} \lambda$$

emettitore



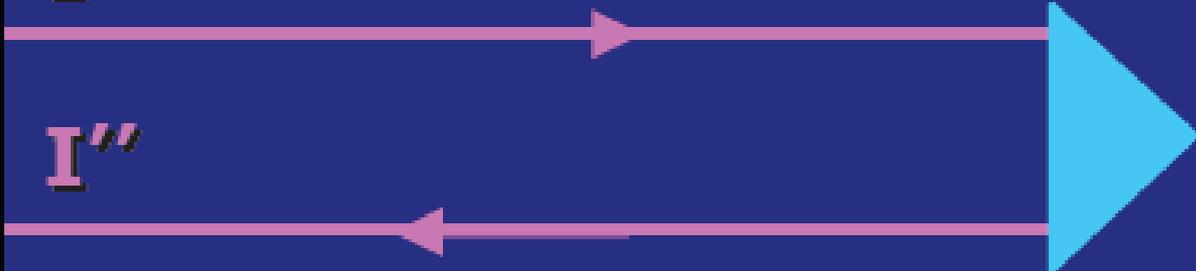
$I'$

$I''$

$D$

ricevitore

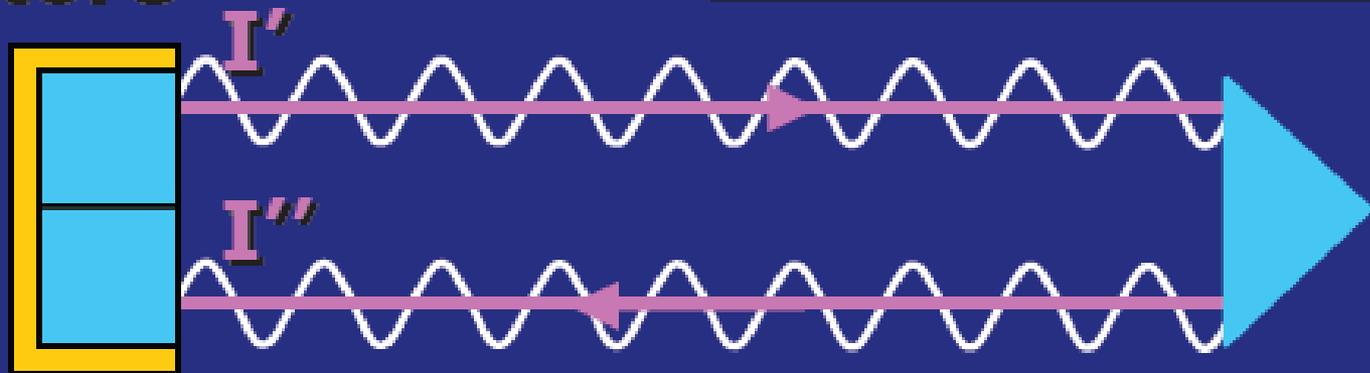
prisma



Le onde che si utilizzano sono  
invece onde dell'infrarosso  
(pochi  $\mu\text{m}$  di lunghezza d'onda)

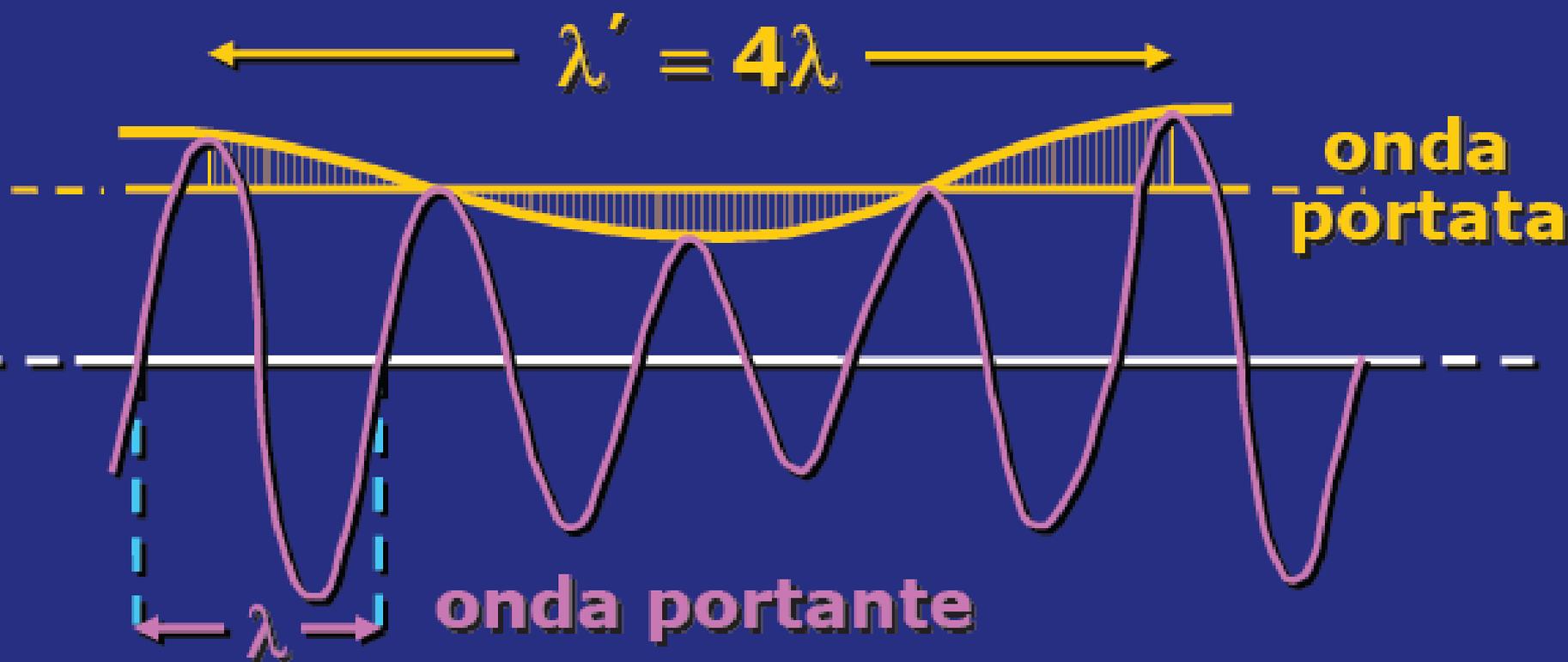
$$2D = \frac{\Delta\phi}{2\pi} \lambda + K \lambda$$

emettitore



ricevitore

prisma



**Per risolvere questo problema si ricorre all'artificio della modulazione in ampiezza dell'onda**



# Componenti di un distanziometro

## Generatore di corrente continua

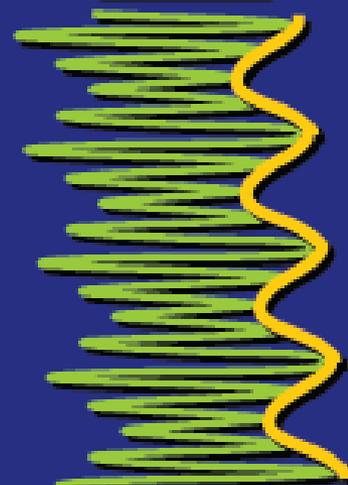
**GENERATORE DI FREQUENZA.**  
Con un oscillatore al quarzo si fa variare la tensione da inviare al diodo con legge sinusoidale

**DIODO FOTOEMITTENTE**  
Percorso da corrente emette luce infrarossa con intensità proporzionale alla corrente di eccitazione

GF



D



## Apparato ricevente

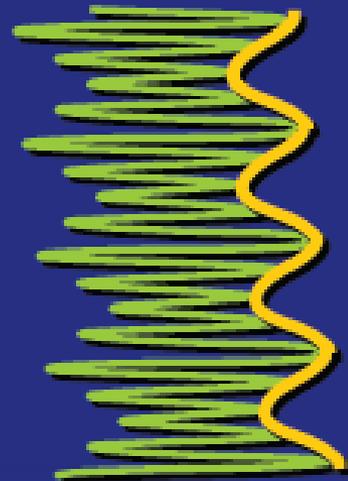
Attua il processo inverso e cioè trasforma il segnale luminoso in segnale elettrico

Un misuratore di fase misura lo sfasamento corrispondente a 2 diversi valori di intensità dell'onda

GF



D



La frequenza del quarzo piezoelettrico si chiama frequenza fondamentale

Generalmente la frequenza fondamentale è di 15 MHz

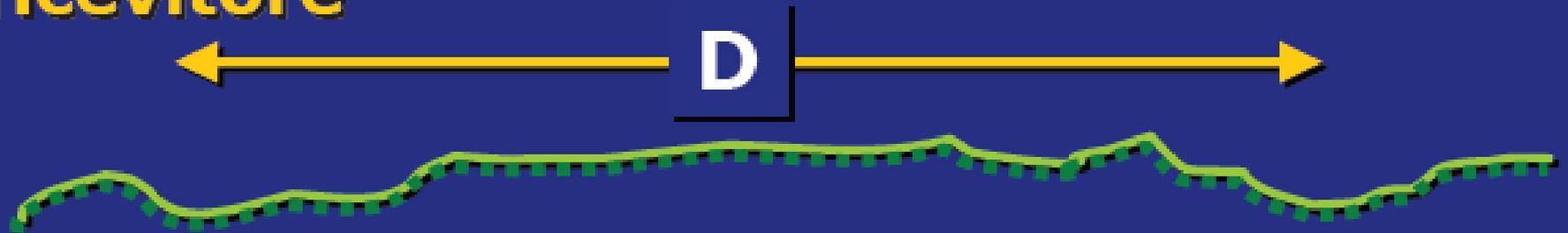
$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{300.000.000 \text{ m/sec}}{15.000.000 \text{ periodi/sec}} = 20 \text{ m}$$



**emettitore**



**ricevitore**



$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{300.000.000 \text{ m/sec}}{15.000.000 \text{ periodi/sec}} = 20 \text{ m}$$

$$2D = \frac{\Delta\varphi}{2\pi} \lambda + K \lambda$$

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{300.000.000 \text{ m/sec}}{15.000.000 \text{ periodi/sec}} = 20 \text{ m}$$

**Un divisore di frequenza divide la  
frequenza fondamentale per 100**

**15 MHz = 15.000 KHz**

**15.000 KHz / 100 = 150 KHz**

**Questa frequenza si chiama**

**SECONDARIA**

**Alla frequenza secondaria  
di 150 KHz**

**corrisponde una lunghezza  
d'onda**

$$\lambda'' = \frac{c}{f} = \frac{300.000.000 \text{ m/sec}}{150.000 \text{ 1/sec}} = 2000 \text{ m}$$

emettitore



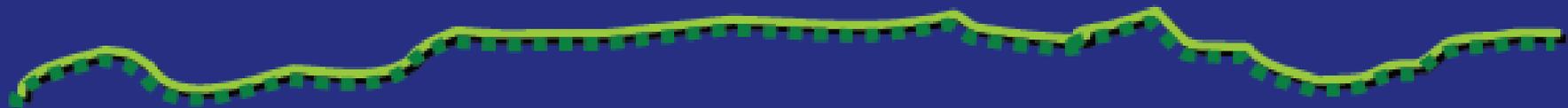
prisma



ricevitore



D



$$\lambda'' = 2000 \text{ m}$$

$$2D = \frac{\Delta\varphi}{2\pi} \lambda''$$

## Per misurare una distanza il distanziometro...

**1** Emette luce infrarossa con  
frequenza secondaria  
**(150 KHz  $\lambda'' = 2000$  m)**

**2** Allo stesso istante  $t$   
misura le intensità  
 $I'$  dell'onda emessa  
 $I''$  dell'onda ricevuta

## Per misurare una distanza il distanziometro...

- 3 Sulla base delle intensità  $I'$   
dell'onda emessa e  $I''$   
dell'onda ricevuta  
calcola la differenza di fase  $\Delta\varphi$

$$2D = \frac{\Delta\varphi}{2\pi} \lambda''$$

$$D = \frac{\Delta\varphi}{4\pi} \lambda''$$

**Per misurare una distanza  
il distanziometro...**

**D è determinata con  
l'approssimazione del metro**

$$D = \frac{\Delta\varphi}{4\pi} \lambda''$$

Per misurare una distanza  
il distanziometro...

4 Emette luce infrarossa  
con frequenza primaria  
(15 MHz  $\lambda' = 20$  m)

$$2D = \frac{\Delta\varphi}{2\pi} \lambda'' + K \lambda''$$

## Per misurare una distanza il distanziometro...

- 4** **K** non è più incognito  
perché il valore di **D**  
è già noto con  
l'approssimazione del metro

$$2D = \frac{\Delta\varphi}{2\pi} \lambda'' + K \lambda''$$

## Per misurare una distanza il distanziometro...

**5** Allo stesso istante  $t$   
misura le intensità  
 $I'$  dell'onda emessa  
 $I''$  dell'onda ricevuta

**6** Sulla base delle intensità  
 $I'$  dell'onda emessa e  
 $I''$  dell'onda ricevuta  
calcola la differenza di fase  $\Delta\varphi$

$$2D = \frac{\Delta\varphi}{2\pi} \lambda'$$

$$D = \frac{\Delta\varphi}{4\pi} \lambda'$$

**D è determinata con  
l'approssimazione del centimetro**

**Con la prima serie di operazioni si ha  
il valore della distanza fino alle  
decine di metri**

$$D = 92x.xx \text{ m}$$

Con la seconda serie di operazioni  
si affina il risultato fino ai centimetri

$$D = \text{xx}7.28 \text{ m}$$

Il valore della distanza sarà

$$D = \text{xxx}.xx \text{ m}$$



$$D = 927.28 \text{ m}$$

**Al comando dell'operatore la misura viene ripetuta migliaia di volte**



**alternando in cicli successivi le due diverse frequenze**



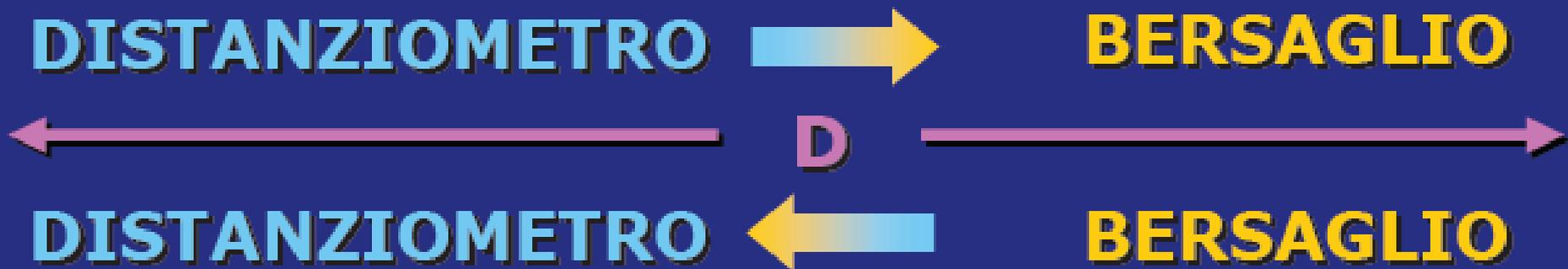
**ottenendo valori medi con e.q.m. dell'ordine dei mm**

**Il risultato di migliaia di misure si ottiene in qualche secondo**

# Metodo di misura ad impulsi

Concettualmente più facile

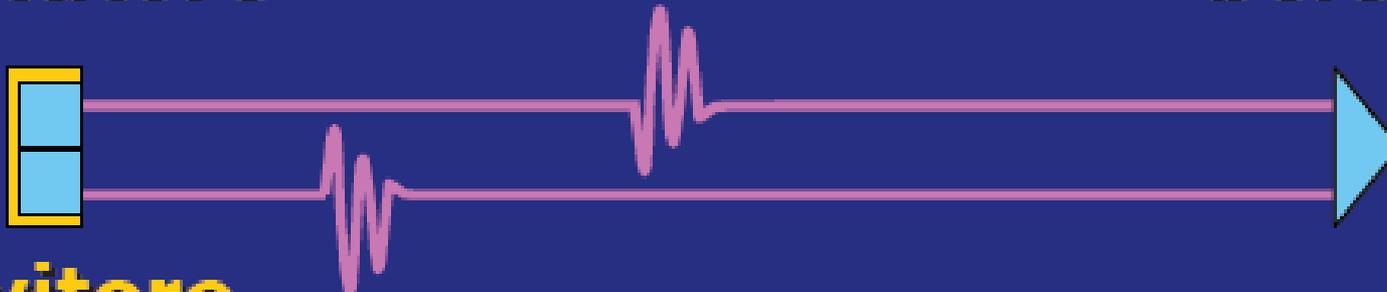
Si misura il tempo  $t$  impiegato da un impulso luminoso attuare il percorso  $2D$



# Metodo di misura ad impulsi

**emettitore**

**bersaglio**



**ricevitore**

**DISTANZIOMETRO**



**BERSAGLIO**



**D**



**DISTANZIOMETRO**

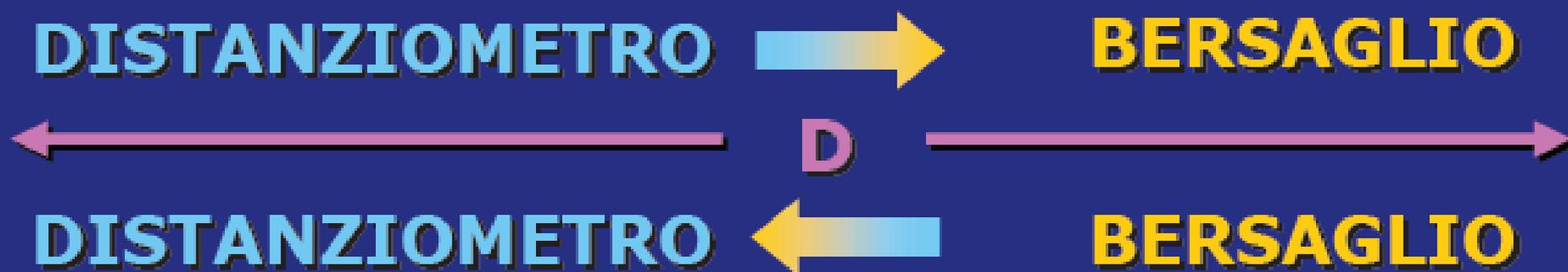


**BERSAGLIO**

# Metodo di misura ad impulsi

$$2D = v t$$

$$D = \frac{v t}{2}$$



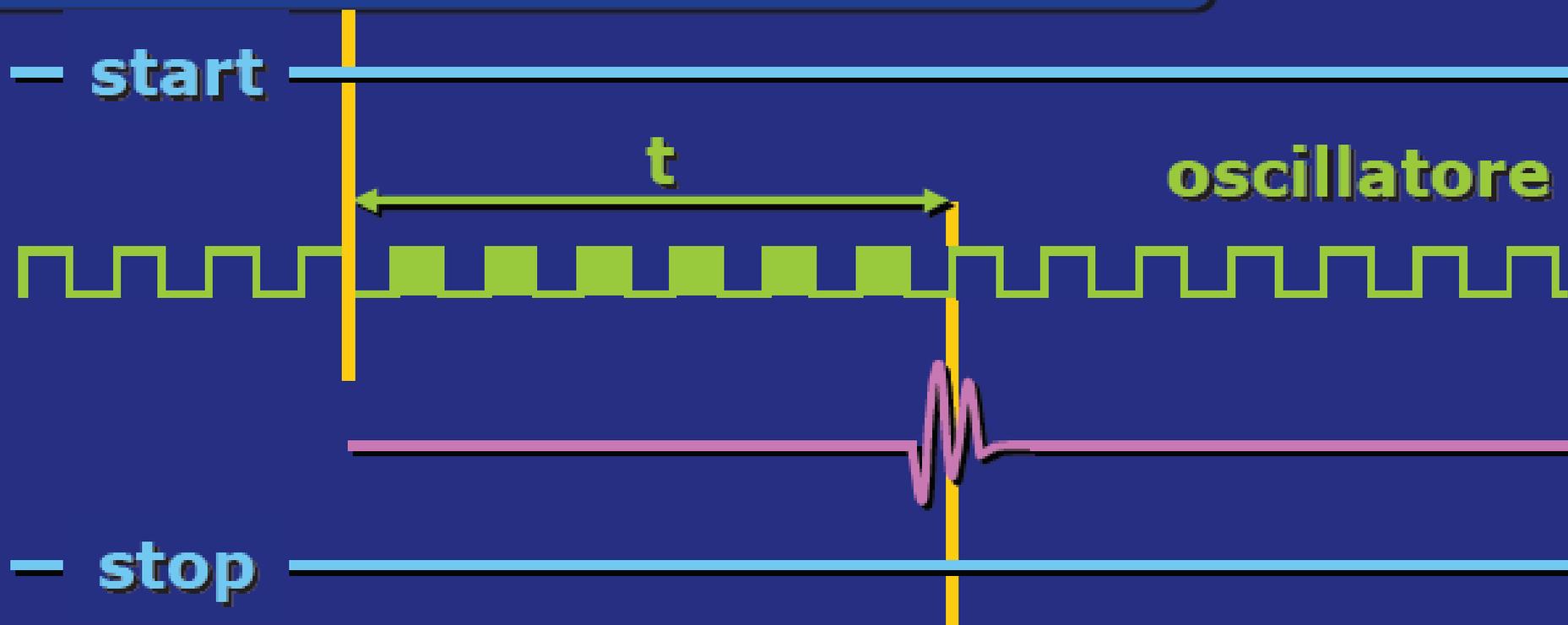
## Metodo di misura ad impulsi

$$2D = v t$$

$$D = \frac{v t}{2}$$

La misura del tempo avviene per mezzo di un **oscillatore al quarzo**

## Metodo di misura ad impulsi



La misura del tempo avviene per mezzo di un **oscillatore al quarzo**

# Metodo di misura ad impulsi

start

bersaglio

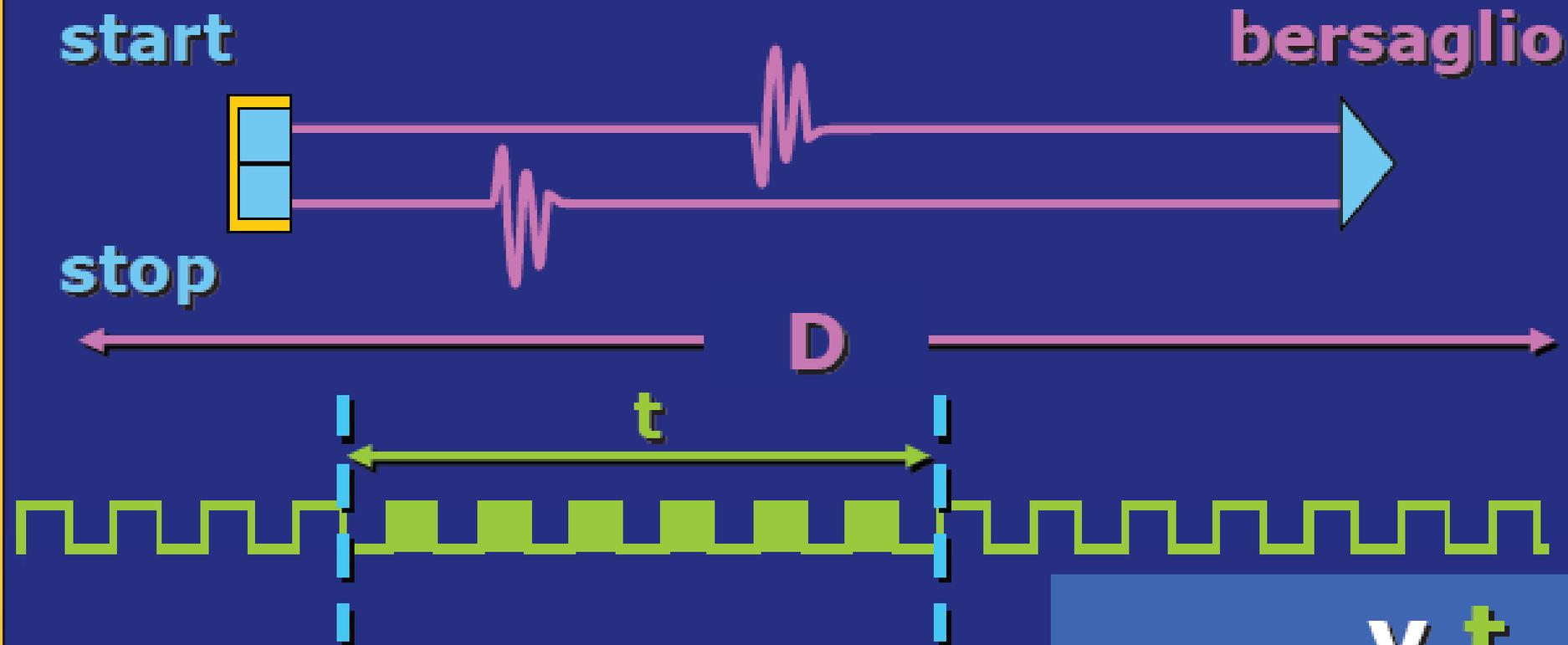


stop

D

t

$$D = \frac{v t}{2}$$



## **Metodo di misura ad impulsi**

**Il metodo ad impulsi offre la possibilità di realizzare distanziometri operativi anche senza riflettore**

**Questo è dovuto alla possibilità nell'ottica ricevente di attivare lo stop nella misura del tempo anche con segnali di ritorno molto deboli**

I distanziometri sono misuratori  
di **distanze**

Nelle operazioni topografiche  
è però essenziale avere  
strumenti che misurino

**angoli**

**distanze**

# Strumenti integrati



