

## 3) TELEMETRIA IMPULSIVA

$$T_p = 10 \text{ ns} \text{ (durata impulso)} \quad P_R = 10 \text{ mW} \rightarrow P_S = ?$$

$$1 \text{ km} < L < 10 \text{ km} = L_{\max, p}$$

$$\text{N.C. } \delta = 0,2 \text{ (DIFFUSIVITÀ)}$$

$$\alpha = 0,05 \text{ km}^{-1}$$

$$\partial_S = 0,2 \text{ mrad}$$

$$D_R = 20 \text{ cm}$$

→ CALCOLO  $T_{\text{off}}$  NEL CASO PEGGIORE, CIOÈ PER  $L_{\max}$

$$\frac{P_R}{P_S} = T_{\text{off}} \cdot e^{-2\alpha L_{\max, p}} \cdot \frac{\delta D_R^2}{4 L_{\max, p}^2} = T_{\text{off}} \cdot \frac{\delta D_R^2}{4 L_{\text{eq}}^2} = A$$

$$\text{con } L_{\text{eq}} = \frac{1}{e} L_{\max, p} \quad L_{\max, p} = 16,5 \text{ km}$$

$$G P_S = \frac{P_R}{A} = \frac{10 \text{ mW}}{7,5} = 1,36 \text{ MW}$$

$$\eta_{\text{EL/OTF}} = 2\% \quad T_{\text{imp, max}}?$$

PRESENZA DI FORMINE AL LAVORO?

→ IL TEMPO DI Volo MAX È  $T_n = \frac{2 L_{\max}}{c} = 66,7 \text{ } \mu\text{s}$   
CHE È PARIA AL TEMPO DI RIPETIZIONE MASSIMO

$$G P_L = \frac{P_S \cdot T_p}{T_{\text{imp}} \eta_{\text{EL/OTF}}} = 10,2 \text{ kW}$$

$$\odot L_{\min} = 10 \text{ m}$$

$$L_{\max} = 100 \text{ m}$$

$\Delta L \leq 1 \text{ cm}$  SU TUTTO IL CAMPO DI MISURA

CAMPO DI VALORI FREZ. DI MODULAZIONE?  $[F_M]$

$$\Delta f = 0,01$$

[TELEMETRIA A ONDA CONTINUA]

→ MISURANDO LA FASE:  $P = 2\pi f_M \cdot \frac{2L}{c}$

$$G L = \frac{1}{2\pi f_M} \cdot \frac{1}{2} \cdot c \quad \text{DA CUI}$$

$$\Delta L = \frac{1}{2\pi f_M} \cdot \frac{c}{2} \Delta f$$

LIMITE SUPERIORE ALLA FREZ. DI MODULAZIONE È DATO DALLA DISTANZA DI NON ALLINEAMENTO CHE DEV'ESSERE  
NOI GIUSTO DI  $L_{\max}$ :

$$\frac{2 L_{\max}}{c} \leq \frac{1}{f_M} \Rightarrow f_M \leq \frac{c}{2 L_{\max}} = 1,5 \text{ MHz} \quad \text{DEV'ESSERE} < \text{DI } 2\pi$$

LIMITE INFERIORE È DATO DALLA SPECIFICA SULLA RISOLUZIONE:  $\Delta L < 1 \text{ cm} \Rightarrow f_M > 9,17 \text{ MHz}$

CONVIENE DIMENTICARE SCEGLIERE QUEL VALORE PER AVERE UNA RISOLUZIONE MIGLIORE...

# INTERFEROMETRIA

NUMEROLO SFAVORENTE RICHIAMO DI DUE CORRETTI. (UNO DI RIFERIMENTO E UNO CHE DIFENDE DALLA POSIZIONE DEL MISURANDO O CHE DALLA GEOMETRIA DA MISURARE)

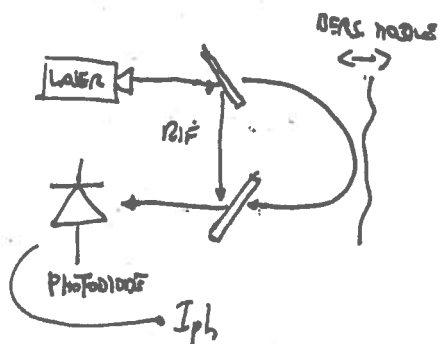
POSSO DISTRIBUIRE  $\Delta n$  TANTO CHE  $2\pi \Delta n \cdot \frac{1}{\lambda} = 2\pi \Rightarrow \Delta n = 1$

CON  $\frac{\Delta \lambda}{\lambda} \sim 10^{-8}$  ( $10^{-6}$  A SINCR.)

(ELEVATA RISOLUZIONE CON REVOLUZIONARIA ACCURATEZZA!)

IL FOTOODIO CHE RILEVA L'INTENSITA' DELLA SOMMA DEI DUE CORRETTI LAVORO SEMPRE IN REGIME QUANTICO, OVELO IL RUMORE DOVUTO AL CORRENTE FOTOGENERATO E' DOMINANTE RISPETTO ALLE ALTRE SORGENTI DI RUMORE ( $G_{ph}^2 \gg G_{th}^2 + G_{th}$ )

IN QUESTO STATO  $(\frac{S}{N})^2 = \frac{I_{ph}^2}{2q I_{ph} B} = \frac{I_{ph}}{2q B}$  DIPENDE SOLO DEL LIVELLO DEL SEGNALE!



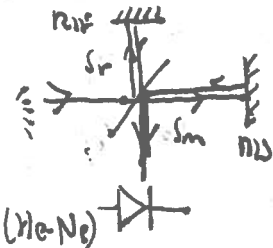
SE ENTRAMBI IL RUMORE TERMICO (O DELA CORRENTE DI GUO) SIAMO INMELE IN REGIME TERMICO. QUESTO AVVIENE SE HO POUOI FUORI SUL RILEVATORE

PIU' DI INTERFEROMETRIA: MICHELSON, PALM-RENDER (~SENSIBILI IN FIORA PER PRESSIONE, ...), SAGNAC (~GIROSCOPIO LASER)

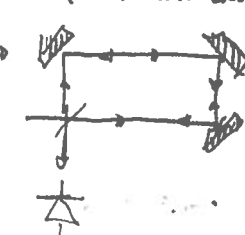
USAREMO QUESTO STATO:

$\lambda = \frac{hc}{q \cdot \frac{q \lambda}{h c}} \approx \frac{\lambda [nm]}{1.24}$

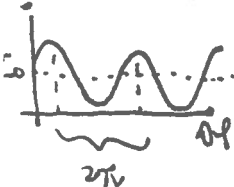
0.5 A/W @ 632.8 nm (He-Ne)



PARTE DEL SEGNALE GIRO IN SEPO ORARIO E PARTE IN SENSO ANTIORARIO SE IL DISPOSITIVO E' IN UNO CIRCOLARE I DUE CORRETTI SI SFASANO TRA LORO...



$I_{ph} = I_m + I_r + 2 \sqrt{I_m I_r} \cos(2K(s_m - s_r)) = I_0 \cdot [1 + \cos(2K(s_m - s_r))]$  CON  $I_0 = 2I_m = 2I_r \cdot R \cdot \frac{1}{2G}$

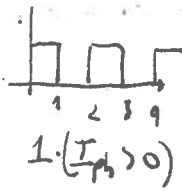
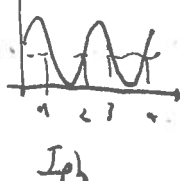


POSSO RIVOLVERE

$\Delta n \cdot \Delta l = 2\pi \Rightarrow \frac{q \pi}{\lambda} \cdot \Delta n = 2\pi \Rightarrow \Delta n = \frac{\lambda}{2}$

(LO SFAVORENTE DEL SEGNALE DEV' ESSERE  $> \pi \cdot \frac{\lambda}{2}$  RISPETTO AL RIF)

COME RISOLVO? ELABORAZIONE DEL SEGNALE:



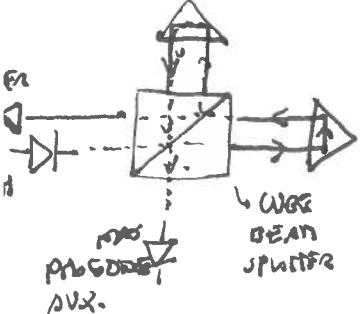
CON LE S RUTINE E QUINDI CON IL NUMERO DELLE FRANGE  $\frac{d}{dt} (1(I_{ph} > 0))$

PROBLEMI: ALLINEAMENTO DELLA SPECULI, BEAM SPLITTER CON SPERDITE FINITE } PROBLEMI DI FINE

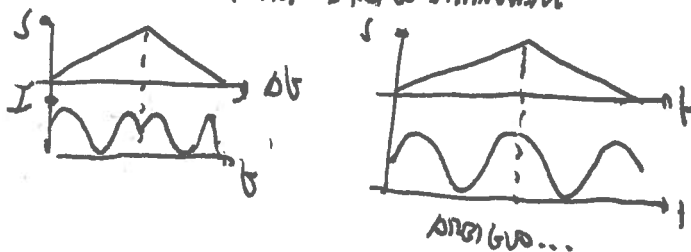


RISOLUZIONE RETRODIFFUSIONI IN LAVORO LASER... DANNEGGIO IL LASER (A O DIMENTICARE TUTTA COSA)

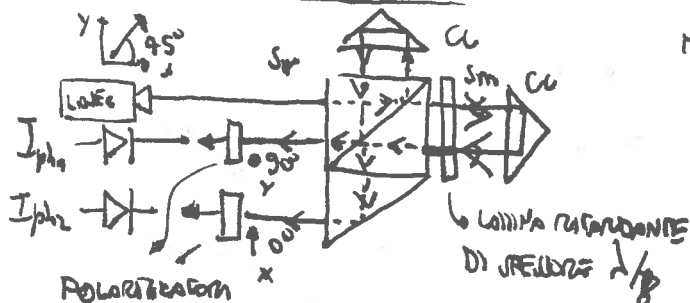
RISOLUZIONE CON INTERFEROMETRIA DI TYPICAL-GREEN.



ALTRO PROBLEMA: ANALIZZARE SUL VERSO DELLO SPOSTAMENTO  $\Rightarrow$  IL CANTO È PIÙ E PIÙ DIMINUIRE  
 IN NON ALTRA SE TI SE ANCHEMANO A ALLONTANATO  
 NB: NON È SEMPRE PIÙ PIÙ, SOLO SE  $\Delta \phi_{\text{eff}} = \pi - 2\pi$

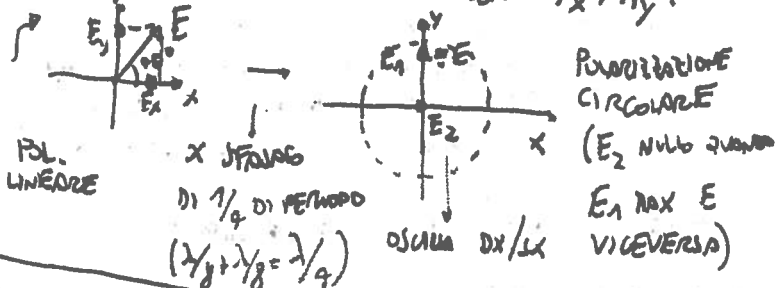


### INTERFEROMETRO A DOPPIO FASCI



HO DUE CANALI EFFETTIVI, UNO PER CIASCUNA POLARIZZAZIONE

È UN CRISTALLO BIRIFRANGENTE CON  $n_x > n_y$ :



$$I_{ph1} = I_0 (1 + \cos(2\pi(S_m - S_r)))$$

$$I_{ph2} = I_m + I_r + 2\sqrt{I_m I_r} \cos(2\pi(S_m + \lambda/8 - S_r)) = I_0 (1 - \sin(2\pi(S_m - S_r)))$$

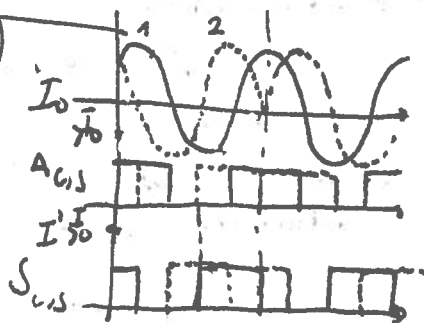
Gb: RICONOSCERE IL VERSO DELLO SPOSTAMENTO  $S_m - S_r$

CONTEGGIO DI INDIRIZZO:  $V = \bar{A}_S \oplus S_C + A_C \oplus S_S$ ,  $1 = UP$   
 $0 = DOWN$

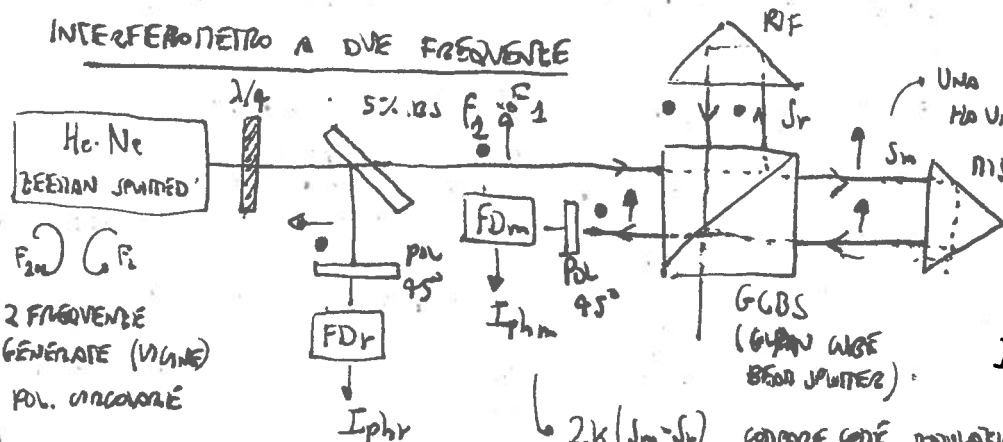
LONG IN UNITÀ DI  $\lambda/8 \rightarrow$  ALTA SENSIBILITÀ (+ DI  $\lambda/2$ !)

NB: È UNA MISURA DIFFERENZIALE

- PROBLEMI:
  - BANDA: MISURA IN CAMPO BASE E NON PIÙ LONTANO IN LONTANA (MIN. DIFFERENZIALE, DEVO FARE UNA DERIVATA QUINDI UN HPF)
  - LIMITE A VELOCITÀ DI SPOSTAMENTO  $BERTRAND - V_{max} \frac{1}{8} \text{ BW}_{el} \rightarrow$  LIMITE DI BANDA DELL'ELETTRONICA ( $10 \text{ MHz} \rightarrow 0.8 \text{ m/s}$ )
  - SE SI INTERROMPE IL FASCI LA MISURA NON È + CORRETTA MAI PERDIO I CONTEGGI
  - ALTA SENSIBILITÀ A VIBRAZIONI AMBIENTALI
  - DIFFICILE SEGUIRE  $I_0 \times 1$  CONTROLLATORI



### INTERFEROMETRO A DUE FREQUENZE



UNA DUE DUE POLARIZZAZIONI  
 HA UNA DIFF. DI FASE DUE ALLA  
 DIFFERENZA DI PERCORSO  
 RISPETTO AL RIFERIMENTO

$$I = I_0 (1 + \sin(2\pi \Delta \phi))$$

$2\pi(S_m - S_r)$  CONTERE CONE MODULAZIONE DI FASE INTORNO ALLA  
 FREQUENZA PORTANTE  $F_1 - F_2 = 5 \text{ MHz}$

COME RISPONDO L'INFO SULLA FASE? O RUMORE  $\cos(2\pi(S_m - S_r))$  E  $\sin(2\pi(S_m - S_r))$  (A DOPPIO FASCI DI MANO)  
 OPPURE (VEGLIA) CONTO I PERIODI DI  $I_{ph1}$  RISPETTO AL RIFERIMENTO

CONT. RIF:  $\int_0^T (F_1 - F_2) dt = T \cdot (F_1 - F_2)$  (MVA PERIODI IN T)

CONT. TRS:  $\int_0^T ((F_1 - F_2) + \frac{2K}{2\pi} \frac{ds_m}{dt}) dt = (F_1 - F_2)T + \frac{2\Delta s_m}{\lambda}$

~~$\frac{dF}{dt} = \frac{2K}{2\pi} \frac{ds_m}{dt}$~~   $F = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{d\phi}{dt} \Rightarrow F dt = \frac{1}{2\pi} 2K \cdot ds_m$

CONT TRS > CONT RIF SE  $\Delta s_m$  È POSITIVO (~ BERNOULLI DI MONTANA)

RISULTANTE:  $\lambda/2$  (opp.  $\lambda/4$  SE CONCO ANCHE I SEMIPERIODI) → POSS. AUMENTARE LA RISOLUZIONE SE

VANTAGGI: - ELIMINO LA CONTINUA → SUGGERO A.O.

- SEGNALE MODULATO E NON IN BANDA BASE

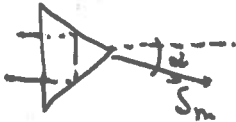
- NENO SENSIBILITÀ AL DISTRURTO XREF DO @ SMt

- RICONALTO JUSTO L'INTERFERENZA DEL FALSO (POLEVA UNA CONTINUA)

→ POSS. AUMENTARE LA RISOLUZIONE SE  
 → max con  $f_a = (f_1 - f_2) + \Delta f_a$   
 OTTEVA SEGNAL @  $\Delta f_a$  NUNO BANDA (=  $\Delta f_a$ )  
 IN RISOLTO  $\frac{\lambda}{2} \cdot \frac{(f_1 - f_2)}{\Delta f_a}$

### LIMITAZIONI GENERALI DEGLI INTERFEROMETRI:

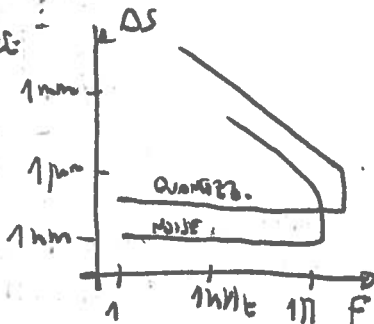
ERRORE DEL CAMBIO:



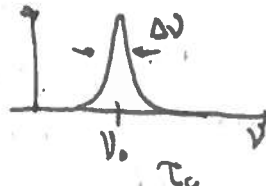
NUOVO LO SPOSTAMENTO  $K \cdot s_m$  COSÌ CHE  $\Delta F \neq 0$  DAVO  
 SPOSTAMENTO REALE SE IL SPOSTAMENTO È ALLINEATO CON  
 LO SPOSTAMENTO ⇒ ERRORE SISTEMATICO, SI PUÒ AGGIUSTARE

BANDA E ANNORE:

FRÉTTIZIONE:



COERENZA TEMPORALE DELLA SORGENTE



$\tau_c = \frac{1}{\pi \Delta \nu}$  LARGHEZZA DI RIBB  
 $L_c = c \cdot \tau_c = \frac{c}{\Delta \nu}$



DEVE ESSERE  $|s_m - s_r| < L_c$   
 ALTERNATIVAMENTE SI HA SOLO RISONANZA...  
 (VALORI DI FASE A COSO...)

(E INOLTRE SI HA UN'ASSORBIMENTO DELLA VIBRAZIONE  
 RELLE FRANGE)

LA NED DI FASE

$\Delta \phi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta s$

QUALI LA MINIMA LARGHEZZA RISONANZA A LUNGA  
 DELLA LARGHEZZA DI RIBB NON NULLA?

$\nu(\nu) = \nu_0 + \Delta \nu(\nu) \Rightarrow \phi(\nu) = 2\pi \nu \Delta s = \frac{4\pi}{\lambda} \nu \Delta s$

$= \phi_0 + \Delta \phi(\nu)$  con  $\Delta \phi(\nu) = \frac{4\pi}{\lambda} \nu \Delta s$  (VARIANTE DI FASE) DA UN

$\Delta s = \frac{\Delta \phi}{2K} = \frac{\lambda_0}{\pi} \cdot \frac{(s_m - s_r)}{L_c} \quad \left( = (s_m - s_r) \cdot \frac{\Delta \nu}{\nu_0} \right)$

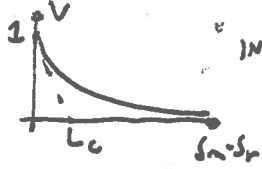
(NE), NON È EQUIVALENT DISPLACEMENT

$\Delta s$  È  $L_c$  + PICCOLA LARGHEZZA CHE POSSO  
 DISTINGUERE IN REZZO ALTERNANZA DI FASE

DIFFERENZE DI POLARIZZAZIONE: X INTERFERENZE SEPE: I DUE FASCI DEVONO AVERE LA STESSA POLARIZZAZIONE

VISIBILITÀ DELLE FRANGE:  $V = e^{-(s_m - s_r)/L_c}$

(A LASER SINGUE MODE A RIBB LORENTZIANA)



IN GENERALE

$V = \frac{I_{ph \max} - I_{ph \min}}{I_{ph \max} + I_{ph \min}}$

## RUMORE QUANTICO

02/12

SE SI RIESCE AD AGGANCIARE IL SEGNALE A UNA FRANGIA SI POSSONO MISURARE LUNGHEZZE  $\ll \lambda$

OVERO SE MIURO:  $I_{ph} = I_0 (1 + \cos(2Ks_m - \pi/2))$  MI PIETO IN UNA CONDIZIONE

TALE CHE  $2Ks_m = \pi/2 \Rightarrow I_{ph} = I_0 (1 + V \cdot \cos(2Ks_m - \pi/2)) = I_0 (1 + V \cdot \sin(2Ks_m)) \approx I_0 (1 + V \cdot 2Ks_m)$

LA INTENSITÀ AUMENTA IN QUESTE CONDIZIONI (SEGNALE IN QUADRATURA) È DIRETTAMENTE PROPORZIONALE A  $s_m$

OGNI INTERFEROMETRO LASER È UN RIVELATORE IN ORDINATA E LAVORA SEMPRE AL LIMITE QUANTICO DI RIVELAZIONE

IL RUMORE CHE SI HA CHIEDENDO IL RIVELATORE SU UNA R DI CARICO È:  $N_h^2 = 2q(I_{ph} + I_b)B \approx 2qI_{ph}B$   
(RUMORE TERMICO TRASMISSIVO)

$$\left(\frac{S}{N}\right)^2 = \frac{(I_0 \cdot V \cdot 2Ks_m)^2}{2qI_0B} \Rightarrow NEF_{s_m} = \frac{\lambda}{2\pi V} \cdot \left(\frac{qB}{2I_0}\right)^{1/2} = \frac{\lambda}{2\pi V} \cdot \left(\frac{h\nu \cdot B}{2q\rho}\right)^{1/2} \text{ È EQUIVALENTE}$$

IN FASE:  $NEF_{\phi} = 2K \cdot NEF_{s_m} = \left(\frac{2h\nu B}{V \cdot \rho}\right)^{1/2}$  MA: CON  $\frac{1mW}{p}$  E  $\frac{1Hz}{3}$  HO  $NEF = 1 \mu m$  !!  
 $NEF_h = 15^8 \mu m$

DI SOLITO LAVORO CON IL RUMORE DI FASE, A PENSARE CHE NON SIA  $s_m = s_r$  (INTERFEROMETRO BILANCIATO)

QUESTO È QUANTICO, NON È DOWNS ALLA COERENZA DELLA SORGENTE

## SPECKLE PATTERN

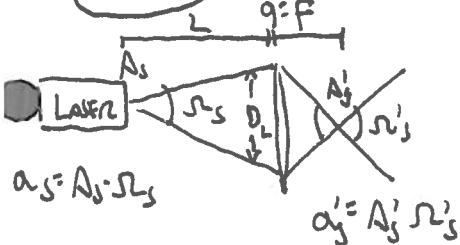
IL CAMPO IRRAGGIATO IN OGNI PUNTO DI UN SETTORIO DA UN DIFFUSORE ILLUMINATO DA LUCE COERENTE È DATA DALLA SOMMA DEI CONTRIBUTI DI CIASCUN PUNTO DELLA SUPERFICIE DIFFONDENTE NEL PUNTO CONSIDERATO.

(IL NUNO AUMENTA I GRADI DI LIBERTÀ DEL FASCO INCIDENTE, OVERO HA UN'ACCETTAZIONE ~~DEL~~ DEL FASCO LASER INCIDENTE)

L'ACCETTAZIONE È DEFINITA COME  $\alpha = A \cdot \Omega$  SORGENTI:  $\Omega$  = ANGOLO DI EMISSIONE

RICEVITORI:  $\Omega$  = ANGOLO DI VISTA DELLA SORGENTE DAL RICEVITORE

PER LA LEGGE DELLE LENTI SOTTILI  $\frac{1}{L} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}$  SE  $L \gg f$   
RISULTA  $q = f$



$$\frac{A'_s}{A_s} = \frac{f^2}{L^2} \text{ (RILAZIONE RA ESPRIMENDO PROPAGAZIONE FASCI GAUSS. IN CAMPO LONTANO)}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \Omega_s = \pi \frac{D_s^2}{4} \cdot \frac{1}{L^2} \\ \Omega'_s = \pi \frac{D_s^2}{4} \cdot \frac{1}{f^2} \end{array} \right.$$

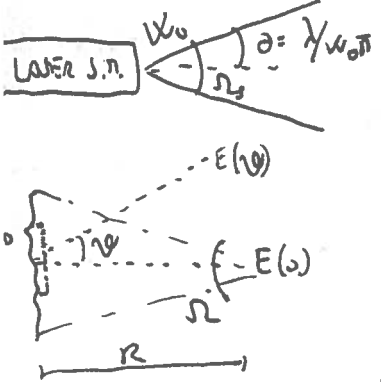
ME DEFINIVA CHE  $\alpha_s = \alpha'_s \sim$  L'ACCETTAZIONE SI CONSERVA

LA BRILLANTEZZA SI DEFINISCE COME:  $B_s = \frac{P_s}{A_s \cdot \Omega_s} = \frac{P_s}{\alpha_s}$

ANCHE LA BRILLANTEZZA SI CONSERVA QUINDI LA POTENZA SUL RICEVITORE SI PÒ CALCOLARE COME  $P_R = B_s \cdot \alpha_R$

TUTTO CIO IN UN SISTEMA IDEALE. ALTERNATIVAMENTE:

- L'ACCETTAZIONE POTREBBE AUMENTARE (DIFFUSIONE)
- LA BRILLANTEZZA POTREBBE DIMINUIRE (ASSORBIMENTO)



$$\alpha_{He-Ne_{SH}} = \pi W_0^2 \cdot \pi \theta^2 = \pi^2 W_0^2 \cdot \frac{\lambda^2}{\pi^2 W_0^4} = \lambda^2$$

PER RICEVERE TUTTA L'INFORMAZIONE L'ACCETTAZIONE DEL RICEVITORE DEV'ESSERE MINORE PARIA A QUELLA DELLA SORGENTE

QUANTO VALGONO LE INTENSITÀ \$|E(0)|^2\$ E \$|E(\theta)|^2\$?

$$I(0) = B_0 \cdot \Omega = B_0 \cdot A_0 \cdot \frac{1}{R^2} \quad ; \quad I(\theta) = B_0 \cdot \frac{A_0 \cos \theta}{R^2}$$

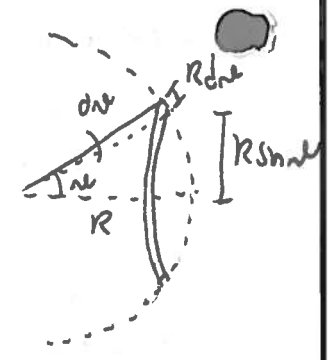
QUANT'È LA POTENZA COMPLESSIVA RACCOLTA DAL RICEVITORE?

$$P_0 = \int_0^{\pi/2} B_0 \cdot A_0 \frac{\cos \theta}{R^2} \cdot R \sin \theta \cdot 2\pi \cdot R d\theta = 2\pi B_0 A_0 \int_0^{\pi/2} \cos \theta \sin \theta d\theta = B_0 A_0 \cdot \pi \quad (\text{E NON } 2\pi!)$$

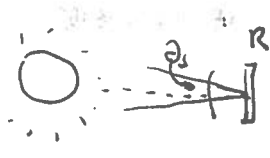
ORA  $\begin{cases} A_0 > A_S & (\text{IL RICEVITORE È PIÙ GRANDE DELLA SORGENTE}) \\ \Omega_0 = \pi > \pi \theta_S^2 \end{cases}$

$$\Rightarrow \alpha_0 > \alpha_S \Rightarrow B_0 = \frac{P_S}{\alpha_0} < B_S = \frac{P_S}{\alpha_S} \quad (\text{BRILLANZA MINORE})$$

$$N_{\text{MODI}} = \frac{\alpha_0}{\lambda^2} > 1 \Rightarrow N^{\circ} \text{ di modi radianti}$$



LUCE SOLARE:

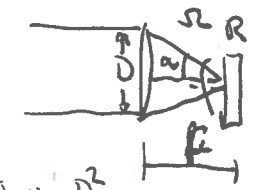


$$\theta_S = 4.5 \text{ mrad}$$

$$I_S = B_S \cdot \pi \theta_S^2$$

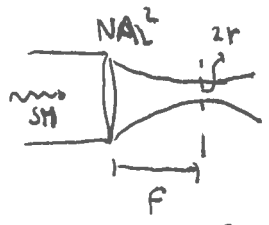
$$B_S = B_{SB} \cdot \frac{\Omega_{SOL}}{\pi}$$

E SE METTO UNA LENTE? POSSIAMO APPROSSIMARE CHE LA LUCE ARRIVI COLLIMATA SULLA LENTE (mrad)  
CANGIA L'ANGOLUS SOLIDO FORO IL QUALE VEDI IL SOLE:



$$I_L = B_S \cdot \pi \cdot NA_L^2 \quad \text{ESSENDO } NA_L^2 = \sin^2 \alpha = \frac{D^2}{4f^2}$$

IN GENERALE \$NA \sim \omega\_S \Rightarrow I\_L = \frac{25K}{2} \cdot I\_S!\$ (~ CONCENTRO LA LUCE 12500 VOLTE IN +)

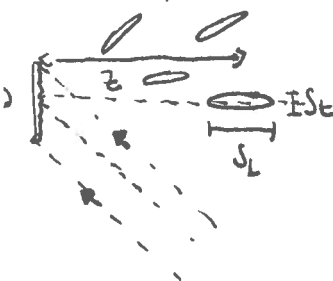


$$\alpha_{\text{RICEVITORE}} = \pi R^2 \cdot \pi NA_L^2 \quad \text{E DEVE ESSERE} \quad \alpha_{SH} = \alpha_{\text{RICEVITORE}} = \lambda^2 \Rightarrow \boxed{r = \frac{\lambda}{\pi NA_L}}$$

(~ UN MICROSCOPIO RISOLVE DISTANZE CIRCA PARIA ALLA LUNGHEZZA D'ONDA)  
(L'APERTURA NUMERICA DI UNA LENTE È \$NA\_L = \frac{D}{2F}\$ [POTREMO \$F = \frac{F}{D} = \frac{1}{2NA\_L}\$])

$$S_E = \frac{\lambda^2}{D}$$

$$S_L = \lambda \cdot \left(\frac{2F}{D}\right)^2 \gg S_E$$



QUALUNQUE SPECCHIO È UNA FONTE SPERALE A SINGOLA MODALITÀ ACCIDENTALE \$\alpha \sim \lambda^2\$ :  $\begin{cases} \Omega = \pi \cdot \left(\frac{D}{2f}\right)^2 \\ A = \pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2 \end{cases}$   
SE SI PONE \$A \cdot \Omega = \lambda^2\$ SI HA \$S\_E = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{\lambda^2}{D}\$ DA QUESTO OBTENIAMO LA DISTANZA LONGITUDINALE

$$\text{LUNGE: } S_L = \frac{S_E}{\theta} \quad , \quad \theta = \frac{D}{2f} \quad \Rightarrow \quad S_L = \lambda \cdot \left(\frac{2f}{D}\right)^2$$

$$\odot P_L = 1 \text{ mW}$$

$$D = 2,5 \text{ mm}$$

$$z = 0,5 \text{ m}$$

$$\lambda = 632,8 \text{ nm}$$

$$D_{\text{for}} = 10 \text{ mm}$$

$$\rightarrow S_L = \frac{\lambda z}{D} = 126 \mu\text{m}$$

$$S_L = \lambda \left( \frac{2z}{D} \right)^2 = 25 \text{ mm}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{LA BRILLANZA DEL DIFFUSORE È } B = \frac{P_L}{\frac{\pi D^2}{4} \cdot \pi} \\ \text{L'ACCETTAENZA DEL RICEVITORE È: } \Omega_{\text{for}} = A_{\text{for}} \cdot S_L = \frac{\pi D_{\text{for}}^2}{4} \cdot \frac{\pi D^2}{4 z^2} \end{array} \right.$$

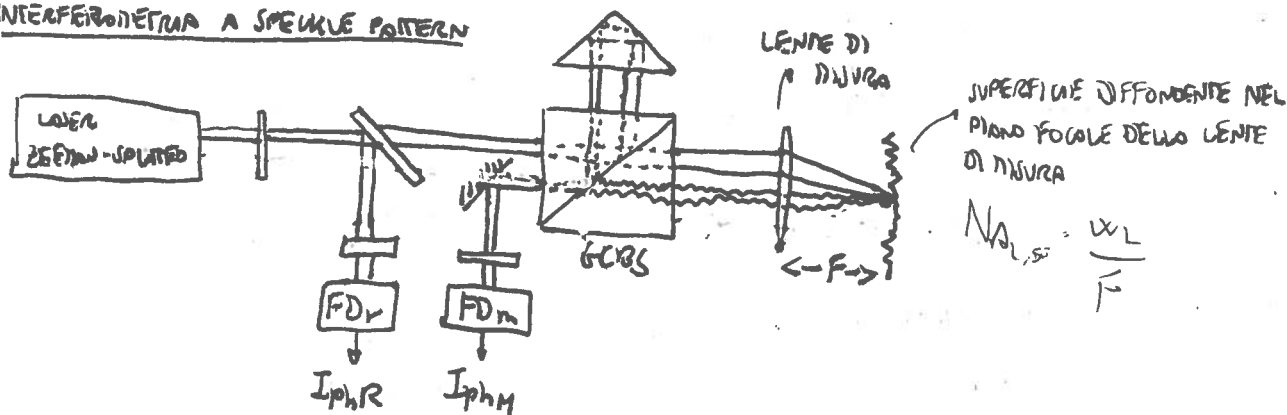
LA POTENZA SUL RICEVITORE È DATA QUINDI DA:  $P_r = B \cdot \Omega_{\text{for}} \approx 9,1 \mu\text{W}$

IL N° DEI NODI CHE VENGONO DIFFUSI DAL LUNGO È DATO DAL RAPPORTO DELLE ACCETTAENZE (DEL DIFFUSORE E DEL SINGOLO NODO):  $N_{\text{nodi}} = \frac{\Omega_D}{\lambda^2} = \frac{\frac{\pi D^2}{4} \cdot \pi}{\lambda^2} \approx 4 \cdot 10^8$

LA POTENZA UTENZIALE È DIVISA A PIÙ SPECULES ... IL N° DI SPECULES SUL RICEVITORE LO TROVAMO FACENDO IL RAPPORTO DELLE RELATIVE AREE (SOLIDI ANGOLI):  $N_s = \frac{\frac{\pi D_{\text{for}}^2}{4}}{\frac{\pi \cdot S_L^2}{4}} = \left( \frac{D_{\text{for}}}{S_L} \right)^2 = 6300$

IL SINGOLO SPECULE PORTA QUINDI  $P_s = \frac{9,1 \mu\text{W}}{6300} = 1,5 \text{ pW}$   
(POTENZA BASSA MA SONO MOLTE WAVELENGTHS)

### INTERFEROMETRIA A SPECKLE PATTERN



IL FASCO LASER HA SEGNALIZZAZIONE  $w_L$ . QUAL È LA DIMENSIONE DI UN SINGOLO SPECULE NEL GCRS (BEAM SPLITTER)?  $S_L = \frac{\lambda z}{D_0}$  CON LA LENTE  $z = F$  E  $D_0 = \frac{2\lambda}{\pi NA_{\text{eff}}}$  (DIMENSIONE DELLA MACCHIA SUL DIFFUSORE) (FR LUCE LASER PARIALLA PRIMA)

$$\Rightarrow S_L = \frac{\pi}{2} w_L \approx 2 w_L$$

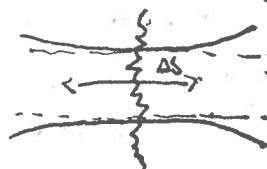
$$\left\{ \begin{array}{l} w_L = 5 \mu\text{m} \\ F = 10 \text{ mm} \end{array} \right.$$

IL FASCO LASER ANCOPISTRA LA DISTRIBUZIONE DI SPECKLE E INTERFERISCE CON UNO SOLO!

NS: ORO UNIFORME SEMPRE LO STESSO SPECULE PERCHÉ I  $\neq$  SPECULES SONO SEPARATI EQUIVALENTE

SI DEFINISCE  $MED_{\phi} \approx \lambda \cdot \frac{\Delta S}{S_L}$  con  $\Delta S = \frac{\lambda}{\pi NA_{\text{eff}}^2}$

IN QUELLO CASO  $\Delta S = \frac{\lambda F^2}{\pi w_L^2} = 8 \text{ nm}$

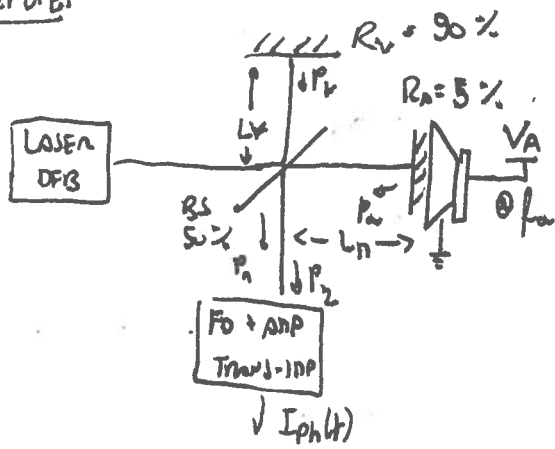


CHIEDENDO  $S_{L1} = \frac{\pi w_L^2}{\lambda} \approx 89 \text{ nm} \Rightarrow MED_{\phi} = 130 \text{ nm} (\approx \lambda/8)$

SE CONGRUO LENTE:  $2 \begin{cases} W_L = 100 \mu m \\ F = 10 mm \end{cases} \Rightarrow \Delta L_2 = 2 mm$  (DIMINUISCE LA DINAMICA DA UNA ALTERNANZA)  
 $S_L = 156 mm \Rightarrow NED_{p,2} = 8 nm$  (MIGLIORI PRESSIONI!)

RIASSUNTO: POTENZA BASSA AINGNO SPECKLES  $\rightarrow$  FOLLOWER DI DEBBO  
 STAGNANDO TRA  $\neq$  SPECKLES  $\Rightarrow$  NO INFLUENZA DI GRADUI SPACIAMENTI (BASSA DINAMICA)

SERVIZI



$\lambda_0 = 1550 nm$   
 $P_0 = 10 mW$   
 $\Delta V = 700 uV$   
 $G_{ph} = 0.5 A/W$   
 $L_n = 1 m$   
 $L_r = 0.5 m$   
 $f_a = 100 Hz$   
 $V_A = 5 V_{pp}$   
 $\chi = 2635 nm/W$   
 a)  $P_{max}$ ?  
 $P_{min}$ ?  
 b)  $I_{ph}(t)$   
 c) RESOLUZIONE?  
 d) N° FRANGE x UN'ELIMINAZIONE DELL'AUTOPRULANTE?  
 e) BANDA MINIMA

$\rightarrow P_2 = \frac{P_0}{2} \cdot 5\% = 0.25 mW$   
 $P_1 = P_0/2 \cdot 90\% = 4.5 mW$   
 $P_2 = P_0/2 = 0.125 mW$   
 $P_1 = P_0/2 = 2.25 mW$

$G P_{max} = P_1 + P_2 + 2\sqrt{P_1 P_2} = 3.435 mW$  /  $P_{min} = P_1 + P_2 - 2\sqrt{P_1 P_2} = 1.319 mW$  (E' UN COSENO...)

ANDAMENTO DELLA FUGA CORRENTE NEL TEMPO?

$V_f(t) = R I_{ph}(t) = R \cdot G_{ph} \cdot P(t) = R \cdot G_{ph} \cdot [P_1 + P_2 + 2\sqrt{P_1 P_2} \cos(\underbrace{2\kappa(L_n W) - 2\kappa(L_r W)}_{\phi})]$

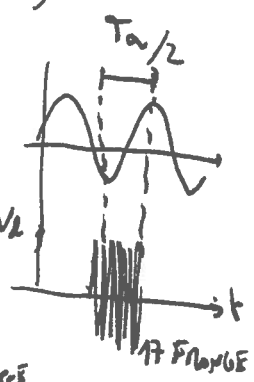
EQUILIBRIAMO  $\phi = 2\kappa(L_n + S_0 \cos 2\pi f_a t - L_r)$  con  $S_0 = \frac{V_{ax}}{2} \cdot \chi = 6.587 \mu m$

SE CONO LE FRANGE INTERFERENZIALI  $\Delta L_n = \lambda/2$  (SE CONO LE DIFFERENZE  $\Delta L_n = \lambda/4$ )  
 SEGUENDO LA FRANGIA  $\Rightarrow \Delta S = \lambda/2$  DIPENDE DA LONGHEZZA FRANGIA  $V_f$   
 $2S_0 \approx 13 \mu m$

1)  $\Delta P_{max} = 2\kappa(2S_0) = 106.76 rad \Rightarrow N_{FRANGE} = \frac{\Delta P_{max}}{2\pi} = 17 FRANGE = \frac{2S_0}{\Delta S} = \frac{2S_0}{\lambda/2}$

2)  $T_{FR} = \frac{T_a}{2} \cdot \frac{1}{N_{FRANGE}} \Rightarrow B_{MIN} = \frac{1}{T_{FR}} = 3.4 kHz$

QUESTA RISULTA INTERESSANTE DOVE SCELTA IN c)! SE CONO LE DIFFERENZE DEI FAS  $2 \cdot N_{FRANGE}$  CONTENUTI IN  $T_a/2$  E QUINDI NO BISOGNO DI BANDA COMPLETA



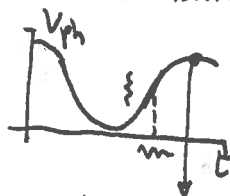
3)  $\Delta \lambda = 20 pm$  INTERNO A  $\lambda_0$   
 VARIATIONE DI  $\lambda$  ALLA STESSA FREQ. DI VIBRAZIONE (100 Hz)  
 LONGHEZZA SULLA RISORSA?

$\Delta P = -\frac{9\pi}{\lambda^2} \cdot \Delta \lambda (L_n - L_r) = 52.279 rad \approx 5\% \Delta P_{max}$  PER ELIMINARE QUESTO ERRORI SULLA FASE L'INTERFEROMETRO BILANCIATO... ( $L_n = L_r$ )



g) MISURA DI VIBRAZIONI  $1 \div 100 \text{ nm}$ . COME MODIFICARE LO SCHEMA DI LETTURA?

→ AGGIUNGO A RETTA FRONTE.



QVI LA RISONANZA SARA DETTATA DALLA NED (QUANTITÀ DI FASE)

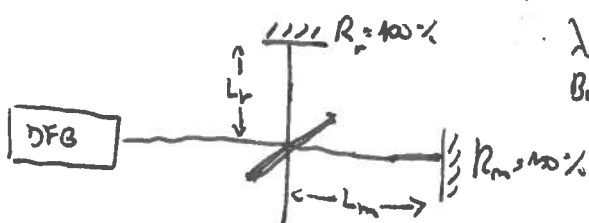
NG: SE SO A RETTA FRONTE DEV' ESSERE  $L_m \neq L_r$ ! NON POSSO ELIMINARE LA NED DI FASE.

$$NED_{FASE} = (L_m \cdot L_r) \frac{\Delta V}{V_0} \quad !$$

$$NED_g = \frac{\lambda_0}{2\pi V} \cdot \sqrt{\frac{9 B_{min}}{2 I_{ph}}} = 3,73 \text{ fm}$$

IN REALTÀ SI LAVORA IN CONDIZIONE DEL PICO ( $L_m = L_r$ ) E RISPONDIAMO DA DISTINGUERE QUELLO NECESSARIO PER NON PERDERE QUESTA CONDIZIONE.

CONDIZIONE FRONTE  $V = \frac{P_{max} \cdot P_{min}}{P_{max} + P_{min}} = 0,45$  (DA FACILITARE FINA DA 1...)



$$\lambda_0 = 800 \text{ nm}$$

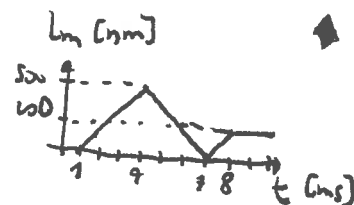
$$B_{min} = 3,4 \text{ KHz}$$

$$L_0 = 0,2 \text{ m}$$

$$\Delta V = 10 \text{ MHz}$$

$$L_m = L_0 + L_m(t)$$

$$L_R = L_0$$

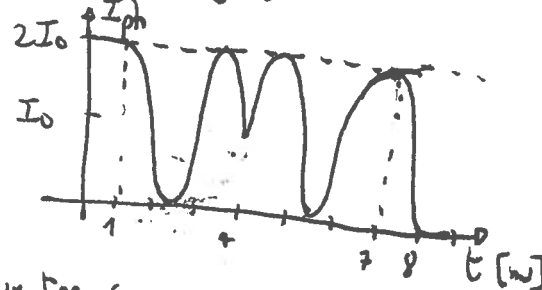


$$I_{ph}(t) = I_0 (1 + \cos(2\pi (L_m(t) - L_R)))$$

UNA FRONTE È  $\Delta \phi = 2\pi \Rightarrow \frac{\lambda}{2} = \Delta L = 400 \text{ nm}$

IL PASSO DI  $2\pi + \frac{\pi}{2}$  ( $400 \text{ nm} = \frac{1}{4}$  DI PERIODO). IN TQ SINO A RETTA DEL PICO  $\Rightarrow I_0$

$$\left. \begin{array}{l} g = 500 \text{ mA/V} \\ P_0 = 10 \text{ mW} \end{array} \right\} I_0 = 2,5 \text{ mA}$$





## CONFIGURAZIONE INTERNA:

GLI SPECCHI COSTITUISCONO DUE CAVITÀ LASER IN CUI OSCILLANO DUE MODI SUL FOTODIODO C'È BATTIMENTO TRA I DUE MODI → LEGGO IL CAMBIO OTTICO ATTRAVERSO LA FREQUENZA:

$$\Delta f = \frac{c}{2L} \cdot \Delta S / \lambda_c \rightarrow I = I_0 \cos(2\pi \Delta f t)$$

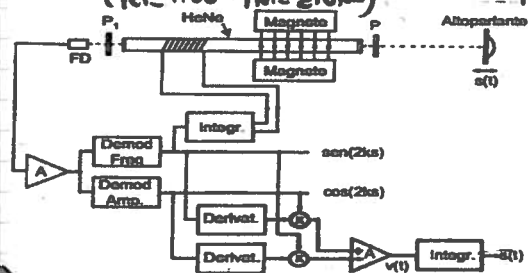
CI GUARDIAMO IN SENSIBILITÀ:

$$\frac{\Delta f}{\Delta S} = \frac{c}{\lambda L} \quad (\sim 2,7 \text{ MHz/mm})$$

max spostamento x max angolarità:  $\Delta s_{\text{max}} = \lambda/2$

## CONFIG. SELF-MIXING (RETRO-INIEZIONE)

IL CAMBIO DI INDIRIZZO VIENE RE-INIETTRATO IN CAVITÀ E VA A MODULARE IL CAMBIO SORGENTE SIA IN AMPIEZZA CHE IN FREQUENZA!



$$E_0 \rightarrow E = E_0 e^{j\omega t} \rightarrow \frac{\partial}{\partial t} = 2\pi \nu (S_0 + S(t))$$

NEL FOTODIODO SI AVrà:

$$I_{ph} = I_0 (1 + m_{am}) \cos[(1 + m_{fm}) \omega t] \quad \text{con} \quad \begin{cases} m_{am} = A \cos(2\pi \nu) \\ m_{fm} = B \sin(2\pi \nu) \end{cases}$$

COME FACILIO A LEGGERE LE MODULAZIONI? SONO A FREQUENZA OTTICA (ALTA) DEVO DEMODULARE.

FACILIO INTERFERENZA CON UN MOD. CHE NON VIENE MODULATO (IL POLARIZZATORE P LO FA STARE IN CAVITÀ):

$$I_{ph} = I_0 (1 + A \cos(2\pi \nu)) \cdot \cos(2\pi (\nu_1 - \nu_2) t + B \sin(2\pi \nu))$$

OTTENGO COSÌ LA PORTANTE A BASSA FREQUENZA ( $\nu_1 - \nu_2$ )

N.B.: DERIVANDO LE DUE DEMODULAZIONI E POI SOTTRAENDONE SI OTTIENE  $\frac{ds}{dt}$  (VELOCITÀ!)

SE HO PIÙ SPECCHIES QUANTO PRENDO?

es:  $S_0 = 90 \text{ cm}$

$L_{\text{HeNe}} = 20 \text{ cm (CAVITÀ)}$

$P_c = 0,5 - 1 \text{ mW}$

DIAMETRO MODULO SUL DIFFUSORE?  $D = 2\theta \cdot S_0 = \frac{2\lambda}{\pi \nu_0} \cdot S_0$

LE DIMENSIONI SPECCHIE:  $S_c = \frac{\lambda S_0}{D} = \frac{\pi \nu_0}{2}$

INDIPENDENTEMENTE DALLA DISTANZA (SENZA FOCALIZZAZIONE) AVrà SEMPRE E SOLO UN SOLO SPECCHIO COMPLETO CHE INTERFERISCE IN CAVITÀ



RETRO-INIEZIONE CON LASER A SEMICONDUCTORE: NON POSSO USARE LA MODULAZIONE IN FREQUENZA PERCHÉ NON HO SUFFICIENTE STABILITÀ IN FREQUENZA

$$I_{ph} = I_0 (1 + m F(2\pi \nu)) \dots$$

SE  $F(2\pi \nu)$  FORSE  $= A \cos(2\pi \nu)$  SARREI NELLA SITUAZIONE DI PURA SINTESI PERÒ LA MOD. IN FREQUENZA È QUINDI ANCHE ANNULLATA DALLA DIREZIONE DELLA SPARTELLATURA

$F(2\pi \nu)$  DIPENDE DAL PARAMETRO  $C = \frac{S_0 \sqrt{1 + \alpha^2}}{L_1 L_2}$

$\alpha$  È IL FATTORE DI AMPLIFICAMENTO DI GAIN ( $\alpha = 1 \text{ He-Ne}$ ,  $\alpha \approx 6$  (SEMICONDUCTOR))

GRAZIE VARIABILI LASER A SEMICONDUCTORE: POSSO LA PORTANTE DI INDIRIZZO MODULANDO LA CORRENTE!

misura ASSOLUTA DI DISTANZA:  $\Delta \phi = -\frac{4\pi}{\lambda^2} \Delta L \cdot S_0$   
 $\frac{\Delta \phi}{2\pi} = \underbrace{N^\circ \text{ FRANGE}}_{N_F} = \frac{4\pi}{2\pi} \cdot \frac{\Delta L}{\lambda^2} S_0 \quad \text{con} \quad S_0 = \frac{N_F \cdot \lambda^2}{2\Delta L}$   
 POSSO LA CORRENTE ( $\rightarrow \Delta I$ ) E INGIRO LE FRANGE  $\Delta \phi / 2\pi$  OTTENGO LA DISTANZA ASSOLUTA  $S_0$ !!

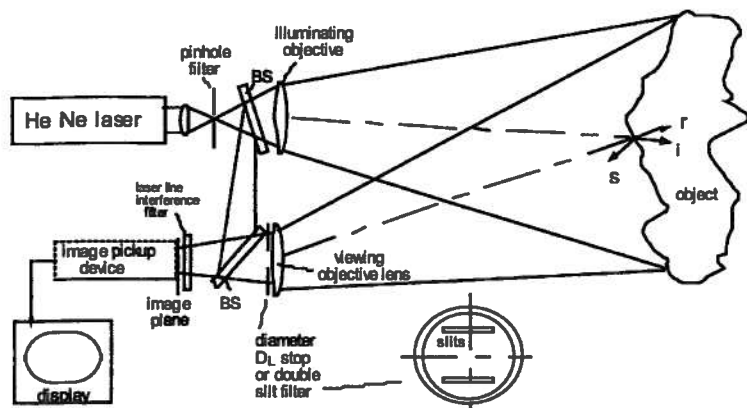


# ESPI

lunedì 20 gennaio 2014

ABBIAMO CONSIDERATO UNO SPECULUM COME UN SINGOLO CANALE DI MISURA INTERFEROMETRICA  
 CON DIMENSIONI LIMITATE ALLA DIMENSIONE LONGITUDINALE DELLO SPECULUM:  $AS_m < S_L$

POSSO VEDERE UNO SPECULUM ANCHE COME UN PIXEL DI UN'IMMAGINE (FORNITA DA TANTI SPECULUM):



SETUP SIMILE AL GENERATORE DI OLIVETTI

CREO UN RIFERIMENTO DI RIFERIMENTO CHE INTERFERISCE CON LO SPECULUM POSTO CHE ARRIVA DALL'OGETTO DIFFONDENTE.

GRANDE DIFFERENZA RISPARSA A FORMA: IMMAGINE DI FARE UN'ANALISI INTERFEROMETRICA SU UN SINGOLO PUNTO (~ 1 SPECULUM) LA FACILITÀ SULL'INTERO OGETTO.

OUTPUT: SEQUENZA DI IMMAGINI STATICHE  
 (DA SOLI NON SONO INFO...  
 DOBBIAMO CONSERVARE)

① TIME AVERAGING

② FRAME SUBTRACTION

① MEDIA SUI FOTOGRAFICI: LE PARTI DEL GUSCIO CHE VIBRANO SONO SCURE (~ ANTIMODI), LE PARTI FISSI (NODI DEL SISTEMA VIBRANTE) SONO CLARE (MEDIA DI UNA COSTANTE).  
 → ANALISI NODALE DEL SISTEMA, NON VEDO PERÒ L'AMPIEZZA DELLE OSCILLAZIONI

② SOTTRAZIONE TRA RIFERIMENTO (OGETTO INDEFORMATO) E IMMAGINE (OGETTO DEFORMATO)  
 → PROFILLO DI INTERFERENZA RISTABILISCE IL CONTO DI DEFORMAZIONE

NB: OGNI IMMAGINE PORTA ANCHE INFO DI FASE PERCHÉ, INTERFERISCE CON IL CONTO SOGGETTO (PUNTA DI FORMARE L'IMMAGINE)  
 LO SPECULUM

PROBLEMA: AMBIGUITÀ DEL CONTO: NON SO SE MI SPOSTO AVANTI O INDIETRO... 2 SOLUZIONI:

- HW: SHIFT DI FASE: SPOSTO DI  $\lambda/6$  IL BS → OTTENGO PROFILLO DI INTERFERENZA SPOSTATO NODI ( $\lambda/8$ )  
 RUOTATO AL PIANO → OTTENGO SIN, COS

- SW: ELABORAZIONE IMMAGINE DI FASE (OLTRE CHE AVERE DI INTENSITÀ CHE CONTIENE LE FRANGE)

