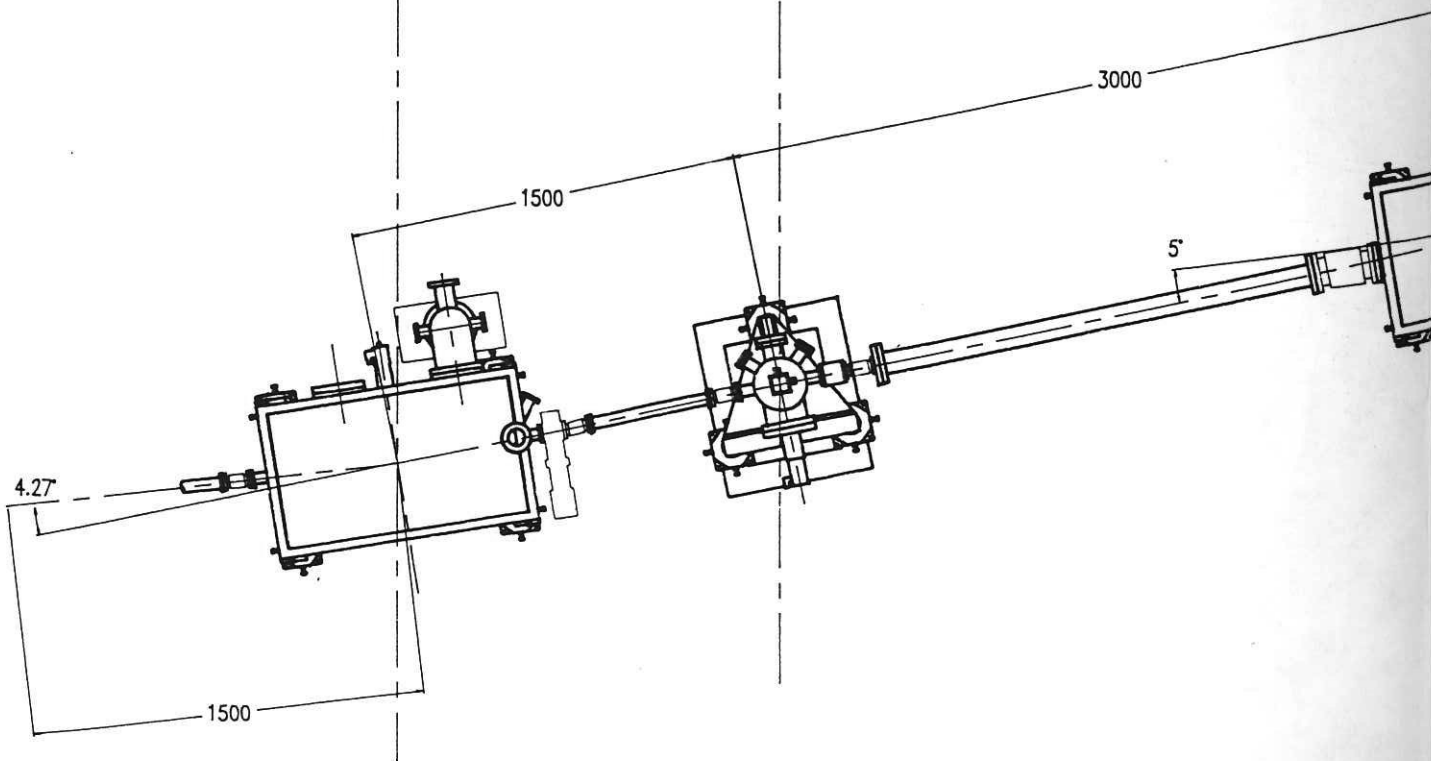
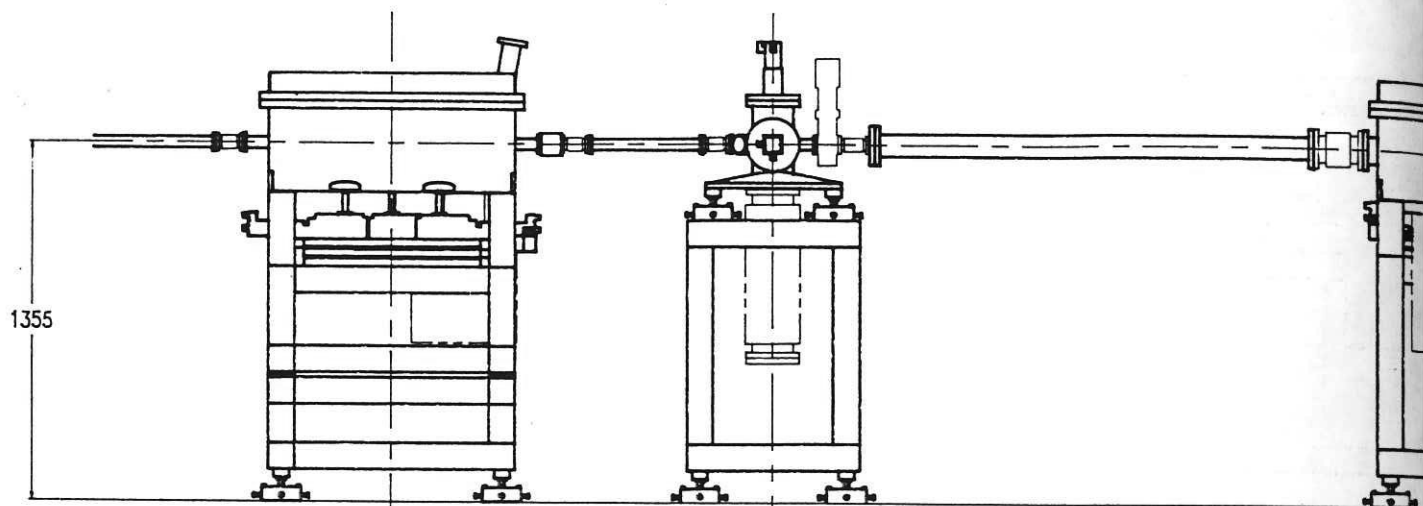




PROGETTO CONCETTUALE DEL MONOCROMATORE  
PER LA BEAM LINE BEAR (X-MOSS)

E

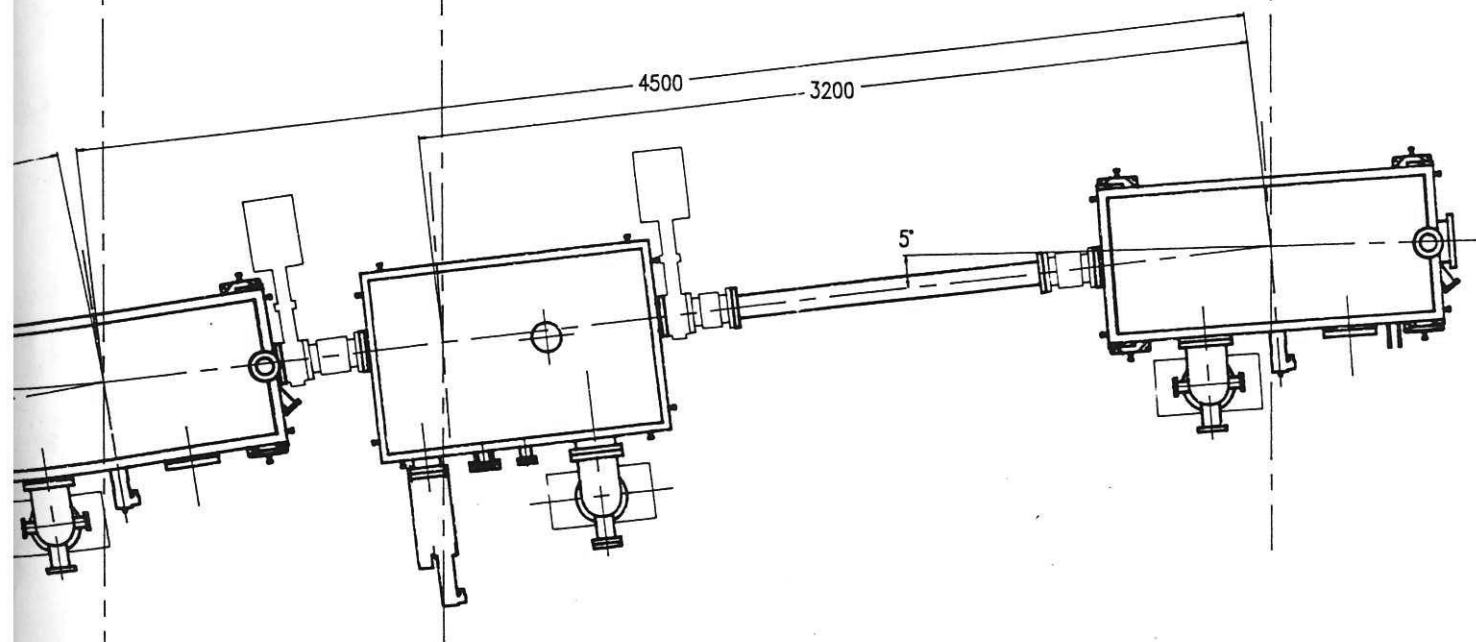
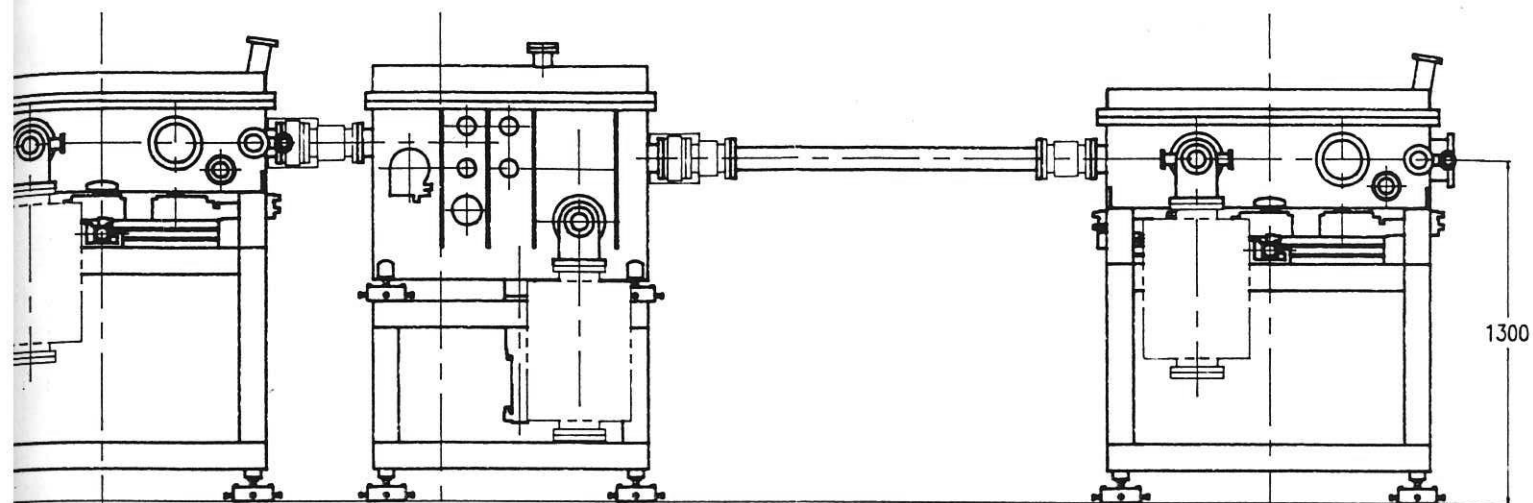
Exit Slits



P 2

Dispersione

P 1



# PROGETTO CONCETTUALE DEL MONOCROMATORE PER LA BEAM LINE X-MOSS

FAST S.r.l.

Trieste 24 Ottobre 1998

## INTRODUZIONE

La linea di trasferimento fascio ed il monocromatore di seguito descritti, si riferiscono alla configurazione ottica presentata nella nota: "Il monocromatore per la linea X-MOSS" precedentemente studiato dalla FAST S.r.l. Si sono inoltre presi in considerazione i risultati dello studio termico sulle ottiche prodotto dalla Hibbitt, Karlsson & Sorensen affidato dall'INFM. Infine sono state utilizzate le dimensioni e tolleranze degli elementi ottici come forniti dai disegni in nostro possesso (paraboloidi) o da stime ragionevoli per quegli elementi ottici non ancora ordinati (specchi piani e reticoli).

La configurazione ottica del monocromatore è assai simile a quella precedentemente progettata, costruita da FAST S.r.l e attualmente in funzione con ottime prestazioni: ALOISA. Tuttavia è stato necessario riprogettare quasi completamente la configurazione meccanica a causa della notevole maggiore grandezza delle ottiche nel caso presente. Gli ingombri ed il peso proprio delle ottiche: paraboloidi, specchio piano di scansione nel canale ad incidenza radente e specchio di rifocalizzazione, hanno richiesto soluzioni di supporto e regolazione *profondamente diverse* da quelle adottate nella linea ALOISA.

La presente relazione, assieme ai disegni del progetto preliminare, è il risultato del lavoro svolto da FAST come prima parte dell'ordine ricevuto da INFM in data 6 Agosto 1998.

Una vista complessiva della linea X-MOSS, partendo dal front end ed arrivando all'ingresso della camera sperimentale è indicato in Fig.1.

Si descriveranno di seguito le caratteristiche salienti delle singole camere e dei montaggi relativi partendo dal front end e proseguendo verso la camera sperimentale (con riferimento ai disegni allegati). Infine si faranno alcune considerazioni relative alla linea completa.

Come nella succitata relazione i riferimenti sono: z è l'asse verticale, positivo verso l'alto, x è l'asse fascio, positivo nel verso di propagazione ed y l'asse orizzontale ortogonale al fascio formante una terna destrorsa.

## PARABOLOIDE DI COLLIMAZIONE ( $P_1$ )

Va fatta una premessa di tipo generale: le soluzioni adottate per la prima ottica della linea, per quanto attiene alla geometria della camera ed alle movimentazioni previste, sono le medesime utilizzate per il paraboloide di focalizzazione ( $P_2$ ) e per lo specchio di rifocalizzazione ( $R_f$ ). Le differenze principali sono l'assenza di raffreddamento in  $P_1$  ed  $R_f$  e le dimensioni più ridotte in lunghezza di  $R_f$ . Ciò corrisponde a criteri di economicità ed economia di scala.

- La camera si presenta come un parallelepipedo a fondo bombato al fine di minimizzare i pesi conservando il massimo dell'accessibilità (grande coperchio superiore che dà pieno accesso all'interno camera). Tutte le flange sono di tipo Conflat ad eccezione del coperchio superiore sul quale è previsto l'alloggiamento di una cava per O-ring per test preliminari e durante le fasi di commissioning della linea quando possono rivelarsi necessarie frequenti riaperture ed un piano per guarnizione a filo d'oro (diam. 1 mm) per la finale tenuta metallica. Il fito sarà tenuto in posizione da appositi piolini retrattili e sarà posizionato all'interno della cava O-ring affinché questa non costituisca un volume intrappolato in fase di chiusura metallica. La camera sarà dotata delle seguenti flange: 2 CF 150: una ausiliaria ed una per il gomito di pompaggio sul quale sono già previste le aperture per i misuratori di basso ed alto vuoto nonché la connessione per il prevuoto; 2 CF 63 una per inserire un potenziale fluorescent target prima dello specchio  $P_1$ , dal lato camera ed una per viewport sul coperchio superiore; 2 CF 38: una per passante per termocoppie ed una per vedere il fluorescent target; 1 CF 100 rovesciata per l'uscita dei tubi di raffreddamento; ulteriori 3 CF 63 per l'ingresso delle aste di sostegno ed attuazione dell'ottica. Non sono previste aperture sul lato macchina (accesso limitato dalla beam line adiacente). La flangia di ingresso è una CF150 per poter fissare a sbalzo l'ipotizzato sistema di limitazione del fascio orizzontale e verticale con coltelli raffreddati, mentre la flangia di uscita è una CF100.

- Le movimentazioni previste consentono il controllo remoto di 5 gradi di libertà dell'ottica; risulta esclusa la regolazione lungo l'asse fascio ( $\Delta x$ ) per la quale si agisce col sistema di regolazione del telaio (manuale). Si fa notare che, vista la tolleranza sulla lunghezza focale delle ottiche  $P_1$  e  $P_2$ , il posizionamento finale delle camere verrà stabilito dopo la caratterizzazione delle ottiche stesse. Il principio seguito è quello di utilizzare la camera esclusivamente come contenitore da vuoto, disaccoppiando da essa l'ottica. Il supporto dell'ottica appoggia su tre colonne montate su altrettanti jacks di sollevamento a mezzo di un gruppo di cuscinetti al fine di non indurre torsione sui soffiotti a seguito dell'aggiustamento della rotazione attorno a z. I 3 jacks sono montati su una tavola rotante attorno all'asse z, attuata con un meccanismo a barra seno montato tangenzialmente. L'intero sistema a sua volta giace su una tavola traslante lungo y. Il sistema di funzionamento dei sollevatori è basato sull'utilizzo di un cuneo a  $20^\circ$  con corsa pari a 55 mm per un innalzamento totale di 20 mm. Considerando che gli appoggi sono posti: 2 da un lato rispetto all'asse del fascio, distanti tra loro 560 mm, ed uno dall'altro lato con distanza nella direzione y di 340 mm e posizionato in mezzzeria lungo x rispetto allo specchio, ed assumendo inoltre un braccio di 320 mm per l'attuatore della tavola rotante, si ottiene la seguente tabella di intervalli di regolazione e risoluzioni (tutte le viti impiegate sono a ricircolo ed hanno passo 2 mm e si suppone di utilizzare motori con controllo di 2000 steps/giro):

| GRADO DI LIBERTA' | INTERVALLO       | RISOLUZIONE  |
|-------------------|------------------|--------------|
| $\Delta\Phi_x$    | $\pm 0.75^\circ$ | 0.43 arcsec  |
| $\Delta\Phi_y$    | $\pm 0.75^\circ$ | 0.27 arcsec  |
| $\Delta\Phi_z$    | $\pm 1^\circ$    | 0.64 arcsec  |
| $\Delta Y$        | $\pm 4$ mm       | 1 $\mu$ m    |
| $\Delta Z$        | $\pm 4$ mm       | 0.36 $\mu$ m |

Le risoluzioni indicate nella tabella eccedono quelle richieste dal disegno ottico di almeno un fattore 5.

In considerazione dell'utilizzo di sistemi assimilabili al barra seno, per le rotazioni, la risoluzione è quella garantita a  $0^\circ$  (oppure all'angolo minimo), per cui è di fatto più spinta in tutte le altre posizioni.

- Il raffreddamento verrà operato con un circuito in Cu OFHC, costituito da una piastra dotata di opportuno circuito brasato. I tubi usciranno attraverso una flangia CF 100 invertita con viti fissate dall'esterno su un diametro minore di quello del gasket che sarà di tipo standard. Per assorbire in campo elastico, col minimo di trasmissione di sforzi all'ottica gli spostamenti della stessa quando soggetta a regolazioni, i tubi fuoriescono dalla parte opposta rispetto al punto di attacco alla piastra avendo in tal modo oltre un metro di luce libera.
- Una semplice verifica evidenzia come l'ottica sia autoconsistente: appoggiata cioè su due punti opportunamente scelti (distanti  $0.56 * L$  = lunghezza dell'ottica), la freccia dovuta al peso proprio ( $0.7 \mu\text{m}$ ) non pregiudica la geometria della superficie riflettente. Pertanto si è scelto di far adattare la piastra raffreddante all'ottica e non viceversa, riducendo opportunamente lo spessore della piastra stessa. L'ottica verrà assicurata alla culla in semplice appoggio mentre la piastra raffreddante sarà semplicemente trattenuta contro la superficie posteriore dell'ottica.
- Il telaio prevederà delle superfici di riferimento precise per dare un mutuo posizionamento tra meccanismi di supporto specchio e camera senza perdere corsa utile sulle regolazioni. Tale precauzione fa sì che sia possibile ipotizzare un preallineamento di precisione dei telai (ipotesi da valutare). A mezzo di opportuni piedi regolabili, il telaio è regolabile su 6 gradi di libertà, manualmente.

### SISTEMA DISPERDENTE ( $M_1, M_2, G_1 \div G_3$ )

Il sistema disperdente consta di tre canali distinti in due gruppi, quello ad incidenza radente e quello ad incidenza normale, ma integrati sui medesimi supporti. Poiché le ottiche sono montate su una struttura rigidamente connessa alla camera, la camera stessa dispone di un sistema cinematico di supporto che, in aggiunta a quello già presente sul telaio, consente il corretto posizionamento dell'intero gruppo rispetto al fascio.

- Il meccanismo di scansione in energia è composto da due quadrilateri articolati che comandano rispettivamente specchi e reticoli. I due attuatori lineari di precisione, dotati di motoriduttore con rapporto 5:1, sospingono il cursore di una guida lineare verticale con risoluzione nominale di  $0.2 \mu\text{m}$  a fronte di un controllo su 2000 steps/giro. Una biella, incernierata su flexural pivots del tipo a tre settori, trasmette il moto lineare ai supporti delle ottiche. Questa soluzione permette di evitare ogni contatto strisciante tra attuatore che si muove di moto rettilineo e gli elementi ottici che ruotano. Questi ultimi sono incernierati al supporto per mezzo di: 1) cuscineti a sfere in Rame-Berillio (materiale scelto per il buon comportamento in vuoto a secco) nel caso dello specchio  $M_1$ ; 2) per mezzo di flexural pivots nel caso del supporto dei tre reticoli. La scelta dei cuscineti sullo specchio  $M_1$  è dovuta a motivi di ingombro ed affidabilità visti i rilevanti carichi in gioco. La scansione in energia, nel canale ad incidenza normale

avviene mediante rotazione del solo reticolo, essendo lo specchio  $M_2$  fisso; invece nel canale ad incidenza radente essa può avvenire sia con la rotazione dello specchio  $M_1$  che dei reticoli  $G_1$  e  $G_2$ ; a causa della scelta di supportare lo specchio  $M_1$  con un cuscinetto a sfere, si è assunto che essa avvenga con i reticoli anche nella sezione ad incidenza radente e pertanto si è preferito l'uso di un sistema privo d'attrito come i flexural pivots per evitare fenomeni di stick and slip nei microspostamenti e migliorare la sensibilità al minimo spostamento sensibile. Ne risulta quindi che nel canale ad incidenza radente è preferibile che la scansione continua in energia avvenga con la rotazione del solo reticolo, riservando alla rotazione di  $M_1$  il cambiamento dell'angolo sotteso sul reticolo e di conseguenza la scelta della "curva di lavoro" più adatta. Può permanere ancora un piccolo effetto di stick and slip anche nel movimento dei reticoli a causa dell'altro elemento ad attrito volvente ossia la guida lineare presente nella catena. Tale effetto dovrebbe essere piccolissimo. Tuttavia, qualora si riscontrasse questo problema, come soluzione di up grade sarà comunque possibile integrare nella biella un piezoelettrico da vuoto per il controllo fine delle microescursioni nella scansione in energia. In funzione dei bracci scelti le risoluzioni ottenibili sono 0.1 arcsec per lo specchio e 0.13 arcsec per i reticoli. La selezione del canale sul quale lavorare, che si effettua mediante traslazione lungo y dell'intero sistema disperdente, avviene senza disaccoppiare gli attuatori in quanto sull'estremità degli stessi vi è un cuscinetto ad asse parallelo all'asse del fascio che rotola sul piano di riscontro ricavato sul cursore di cui sopra. In questo modo si evitano discontinuità di ripresa nella scansione in energia al passaggio tra canale ad incidenza radente normale e ritorno al primo.

- Le regolazioni delle ottiche sono ridotte al minimo in considerazione del fatto che le tolleranze risultano molto rilassate qualora il gruppo specchio reticolo goda di buon mutuo parallelismo. Si è scelto pertanto di non dotare di alcuna regolazione lo specchio  $M_1$  e di far coincidere l'asse di rotazione col piano dell'ottica imponendo le opportune tolleranze meccaniche al supporto ed alla piastra di raffreddamento. L'ottica  $M_2$  viene montata sulla parte fissa del supporto in posizione opportuna per dare a  $G_3$  il medesimo centro di rotazione di  $G_1$  e  $G_2$ . L'unico grado di libertà da controllare su  $M_2$  è la rotazione attorno all'asse z che si opera manualmente con una vite a passo fine che agisce sul supporto di  $M_2$  opportunamente incernierato alla base. I reticoli invece, non essendo raffreddati se non a mezzo di trecce in rame, risultano più facili da regolare.  $G_1$  e  $G_2$  vengono montati su un comune supporto in rame lavorato con precisione sufficiente da poterli considerare alla stregua di una singola ottica da regolare rispetto al supporto basculante con un sistema cinematico attuabile manualmente.  $G_3$ , la cui superficie è ruotata di  $74^\circ$  rispetto a  $G_1$ - $G_2$ , è montato su un supporto regolabile su 4 gradi di libertà (3 rotazioni + asse z), a sua volta fissato al medesimo supporto basculante di  $G_1$ - $G_2$ .
- Dalla scelta dei componenti e dai dimensionamenti preliminari eseguiti, si ricavano i seguenti intervalli e risoluzioni:

| MOVIMENTO                                   | INTERVALLO            | RISOLUZIONE |
|---------------------------------------------|-----------------------|-------------|
| SELEZIONE CANALE ( $\Delta Y$ )             | 0÷147 (160)mm         | 1 $\mu$ m   |
| ROTAZIONE $M_1$ ( $\Delta \Phi_Y$ )         | 2.2÷13°               | 0.1 arcsec  |
| ROTAZIONE $G_1$ ÷ $G_3$ ( $\Delta \Phi_Y$ ) | 0÷18° (74÷92° $G_3$ ) | 0.13 arcsec |

In considerazione dell'utilizzo di sistemi assimilabili al barra seno, per le rotazioni, la risoluzione è quella garantita a  $0^\circ$  (oppure all'angolo minimo), per cui è di fatto più spinta in tutte le altre posizioni.

- La scansione in energia viene registrata mediante un sistema di *riduttori senza gioco* della movimentazione rotante dei due motori del tipo Harmonic Drive. Alternativamente si potrà usare un sistema più tradizionale del tipo encoder lineari Heidenaim. In sede di progetto costruttivo verrà valutata la scelta più opportuna.
- Si noti come l'intervallo di rotazione dei reticoli  $G_1$ - $G_2$  consenta anche l'utilizzo dell'ordine esterno di diffrazione
- E' previsto l'alloggiamento di un sistema di anticollisione tra i reticoli  $G_1$ - $G_2$  ed  $M_1$ .
- L'acqua di raffreddamento viene addotta con due circuiti indipendenti, eventualmente collegabili in serie fuori dalla camera con evidente riduzione dei costi di manometri, flussimetri ed annessi, giacchè si lavora comunque su un canale alla volta. Nel canale ad incidenza radente è prevista una piastra raffreddante in Cu OFHC percorsa da tubi brasati in acciaio inossidabile. Tale scelta porta sostanzialmente ad una temperatura di equilibrio della superficie ottica leggermente superiore ad una soluzione con tubi in rame, ma garantisce l'assoluta assenza di brasature tra acqua ed UHV garantendo maggior sicurezza. La piastra di cui sopra è opportunamente sottile e viene intrappolata tra l'ottica ed il supporto portante, potendosi pertanto adattare all'ottica senza indurre sforzi a seguito delle inevitabili imprecisioni geometriche. Due tubi corrugati in acciaio inossidabile, collegano per mezzo di connettori tipo Cajon VCR (guarnizioni metalliche per UHV) la piastra raffreddante che bascula, con la parte statorica dei tubi, collegata alla struttura di supporto ed uscente attraverso l'asse di adduzione del moto per la selezione dei canali. Nel canale ad incidenza normale un tubo in rame brasato, percorre il supporto dell'ottica, ugualmente in rame e dopo un'ampia ansa raggiunge l'uscita; in tal modo il doppio tubo libero, mandata e ritorno, è in grado di assorbire in campo elastico gli spostamenti impressi all'ottica in fase di posizionamento ed allineamento.
- La camera è di forma parallelepipedica con fondo opportunamente bombato e dotata di costolature per la necessaria rigidità sotto vuoto. Anche questa camera è dotata di un flangione rettangolare superiore a tenuta alternativamente con O-ring o filo d'oro. Sono previste diverse flange sempre dal lato opposto rispetto alla macchina: 1 CF150 per il gomito di pompaggio con annesse porte per il prevuoto ed i misuratori di pressione, 4 CF38 per passanti elettrici (per gli eventuali piezoelettrici) e termocoppie, 1 CF100 per l'attuatore di selezione ottiche (lungo y) con relativo passaggio tubi. Si prevede una viewport CF63 sul coperchio e 2 CF38 sul fondo per la connessione degli attuatori. Si prevede inoltre la realizzazione di reference planes all'esterno della camera che riportano all'esterno la giacitura della guida di selezione ottiche, vero riferimento per il posizionamento ed allineamento finale del sistema. Le flange di ingresso ed uscita sono CF100.

## PARABOLOIDE DI FOCALIZZAZIONE (P<sub>2</sub>)

Si rimanda per la descrizione di questa unità alla descrizione del paraboloide di focalizzazione P<sub>1</sub>. L'unica differenza importante è l'assenza del circuito di raffreddamento che comporta la scomparsa della flangia CF100 rovescia ed una semplificazione del supporto che non richiede più il fissaggio della piastra di raffreddamento sulla parete posteriore dello specchio. Le flange di ingresso ed uscita sono entrambe CF100.

$$\theta = 20^\circ \rightarrow \frac{\theta}{2} = 10^\circ$$

## FENDITURA D'USCITA

La camera prevede un ingresso ed un'uscita CF38 che si innestano su un corpo principale a T flangiato CF150. In basso si apre una porta per pompaggio, in alto e sul lato opposto alla macchina vi sono due porte che alloggiavano i meccanismi delle fenditure orizzontali e verticali. Queste ultime sono simili a quelle adottate nella linea ALOISA. Ciascuna fenditura presenta una coppia di coltelli, ciascuno dei quali funge da biella di un quadrilatero articolato a manovelle parallele. Tale configurazione consente un'apertura simmetrica rispetto all'asse attuatore nel rispetto del parallelismo dei coltelli. Risulta di conseguenza necessario un solo motore per ciascuna fenditura.

L'intervallo di apertura è per entrambe le fenditure  $0 \div 0.5$  mm con risoluzione nominale di  $0.7 \mu\text{m}$ .

La camera si completa con 2 CF38 per i misuratori di vuoto ed una CF63 per il prevuoto.

$$\Delta x = \pm 4.5$$

$$\Delta z = \pm 10.5$$

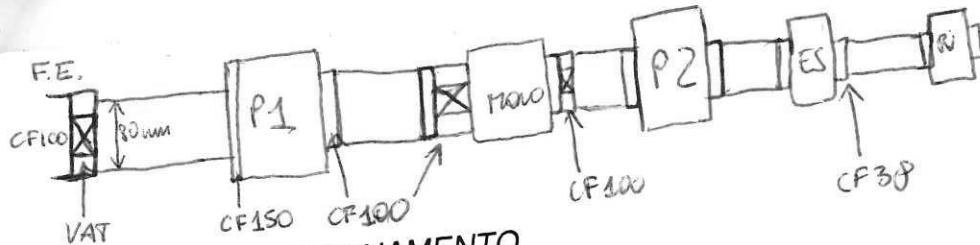
$$\Delta \phi_x = \Delta \phi_y = \pm 10^\circ$$

$$\Delta z = \pm 1 \text{ mm}$$

$$\Delta \phi_z = \pm 2^\circ$$

## SPECCHIO DI RIFOCALIZZAZIONE

La camera non è altro che la camera di P<sub>2</sub> accorciata e ruotata di  $180^\circ$  attorno all'asse verticale. Restano immutate le posizioni delle 2 CF63 e della CF38 per l'eventuale utilizzo del fluorescent target nonché le posizioni di ingresso delle aste di supporto. Le tavole portamovimenti risultano semplicemente accorciate. Una differenza importante è l'utilizzo di soffiotti più lunghi e di colonne di sostegno più lunghe. Le tavole stesse, grazie a questa modifica vengono abbassate. Il sottostante telaio viene scomposto in due parti e la camera viene fissata sulla parte inferiore. Tali accorgimenti consentono in futuro di implementare una soluzione che consenta di selezionare alternativamente un ellissoide od un toroide di rifocalizzazione montati uno sopra l'altro e sopra i supporti. Sarà infatti sufficiente inserire al posto della parte superiore del telaio, ove attualmente è previsto l'appoggio delle tavole delle movimentazioni, un sistema di sollevamento che porti sul fascio di volta in volta la prima o la seconda ottica. Ciò è consentito appunto dalla maggior lunghezza di soffiotti ed aste di supporto. Ingresso ed uscita di questa camera sono 2 CF38.



1  
7.3

## GBAZIONI E VALVOLE DI SEZIONAMENTO

L'uscita del front-end è flangiata CF 100 e dotata della relativa valvola gate (VAT serie 8). Un soffietto col medesimo DN ed un tubo di diametro interno 80 mm flangiato CF 100- CF 150 collegheranno la camera di P<sub>1</sub> al front-end. L'utilizzo di un tubo di tale dimensione è stato ipotizzato per ridurre al minimo la sezione, riducendo allo stesso tempo i problemi legati alla radioprotezione. A valle di P<sub>1</sub> il collegamento prevede un soffietto ed un tubo DN 80 flangiati CF 100. La valvola gate di sezionamento è posizionata sulla camera del sistema disperdente. Tra il sistema disperdente e la fenditura vi sono un soffietto ed un tubo DN 80 flangiati CF 100. A fine tubo il diametro utile si riduce a 40 mm ed è prevista una flangiatura CF 38 al fine di potere usare a monte ed a valle della fenditura due valvole gate CF 38. Soffietto e tubo DN 40 flangiati CF 38 connettono la fenditura d'uscita alla camera di rifocalizzazione. Stessa configurazione a valle della camera di rifocalizzazione con valvola gate CF 38 immediatamente a monte della camera sperimentale.

Ogni sezione prevede l'utilizzo di una valvola ad angolo metallica flangiata CF 63 per la connessione al sistema portatile di prevuoto.

## SISTEMA DI VUOTO

Si prevede di utilizzare 4 pompe Physical Electronics da 400 l/s (D-I) nelle camere di P<sub>1</sub>, Disp., P<sub>2</sub> e Rf. Nella camera delle fenditure la pompa sarà una 200 l/s. (D-I). Ciascuna camera sarà dotata di due misuratori di pressione, uno per alto ed uno per basso vuoto; indicativamente potranno essere un cold-cathode ed un Pirani. Si adotteranno della marca della componentistica standard della Sincrotrone Trieste.

## LAYOUT DELLA LINEA

La disposizione delle camere è quella dettata dal disegno ottico precedentemente citato. Si è però tenuto conto delle limitazioni di ingombro trasversale imposte dalla presenza della linea LILIT a fianco. Sono perciò state aumentate le distanze tra la camera di P<sub>1</sub> e quella di dispersione e tutte le pompe sono state disposte dal lato "esterno" all'anello. Si suppone che solo la prima camera sia contenuta in un hutch, mentre le altre siano liberamente accessibili.

## SISTEMA DI CONTROLLO

Si è pensato di adottare per tutte le movimentazioni (ad eccezione delle due scansioni in energia) motori del tipo standard della Sincrotrone Trieste con controller normalizzati (es. Berger Lahr). Anche le movimentazioni di controllo delle camere con accessibilità libera sono state pensate motorizzate. La differenza di costo rispetto a regolazioni manuali è minima e per contro si può unificare il sistema di controllo facendolo gestire da

unico computer (un PC con schede di interfaccia opportune). Vi sono quindi 5 motori di regolazione per le ottiche per ciascuno:  $P_1$ ,  $P_2$  e  $Rf.$ , 2 motori per la scansione in energia, 1 motore per il cambio del sistema disperdente e 2 motori per la regolazione delle fenditure d'uscita. Tutte le varie movimentazioni avranno interruttori di fine corsa sia hardware che software. I controllori delle due scansioni in energia saranno diversi ed adatti alla maggiore risoluzione richiesta.

### SISTEMA DI SELEZIONE DELLA POLARIZZAZIONE

Non si è preso in considerazione tale sistema perché non parte dell'ordine. Tuttavia esso va tenuto presente perché può influenzare l'accomodamento rispetto al presente layout.

### CONCLUSIONI

Il sistema meccanico e di accomodamento studiato consente di ottenere le specifiche richieste dal disegno ottico. Le precisioni di stabilità e regolabilità delle ottiche non limitano in alcun modo le prestazioni del sistema che appaiono quindi determinate dalle caratteristiche delle ottiche stesse. Anche l'effetto del riscaldamento delle ottiche sotto l'influenza del fascio appare trascurabile rispetto alla qualità di lavorazione prevista sulle ottiche. L'approccio modulare delle varie camere consente di ottenere economie nella loro realizzazione.