

TELESCOPIO DA 1.5 m SU PALLONE
PER ASTRONOMIA NEL LONTANO INFRAROSSO

N. Mandolesi
Istituto T.E.S.R.E./C.N.R.
Via de' Castagnoli, 1
40126 BOLOGNA

Settembre 1982

Rapporto interno n. 93

PREMESSA

Viene presentata una proposta per la realizzazione di un telescopio da pallone da 1.5 m. per osservazioni nel lontano infrarosso.

Tale proposta fa seguito ad una riunione tenutasi a Firenze il 31 maggio 1982, cui hanno partecipato il prof. F. Melchiorri, il dott. V. Natale ed il sottoscritto, ed a contatti avuti con le persone elencate in appendice.

I dettagli del presente progetto non sono stati concordati con le persone menzionate e sono quindi soggetti a possibili critiche e revisioni future.

1. INTRODUZIONE

I grandi telescopi infrarossi da pallone dell'attuale generazione, della classe di 1 m, esauriranno in gran parte il compito loro assegnato nel momento in cui IRAS, il primo satellite infrarosso, fornirà i risultati delle sue osservazioni nell'infrarosso medio e lontano. Infatti il telescopio da 60 cm raffreddato a bordo del satellite IRAS, il cui lancio è previsto per dicembre 1982, eseguirà la "all-sky survey" in 4 bande fotometriche (centrate a $\lambda = 12, 24, 60, 100 \mu$) cui si aggiungeranno le informazioni di due spettrometri a bassa risoluzione ($7-14 \mu$ e $13-24 \mu$) per l'identificazione e la classificazione delle sorgenti rivelate. Però una survey completa del cielo in meno di un anno rappresenta un programma ambizioso con limiti naturali. Ad esempio le circa 40.000 sorgenti la cui rivelazione è prevista ad un livello almeno 10 volte la luce zodiacale nella banda 4 ($\lambda = 100 \mu$) possono essere localizzate da IRAS al meglio entro $2'-3'$; un telescopio da pallone di solo 1.5 m di diametro ha un error box ~ 80 volte più piccolo (tabella I).

Tabella I

Potere risolutivo di un telescopio di diametro da $\lambda = 100 \mu$

d(m)	1	1.5	2	2.5	3
θ (sec d'arco)	25	17	13	10	8

La maggior parte delle sorgenti IRAS verrà agevolmente identificata nelle mappe ottiche del Palomar o dell'ESO con stelle o ga-

lassie di tipo noto, a parte effetti di estinzione o confusione nel piano galattico, e l'error box ridotto ad alcuni secondi d'arco.

Tuttavia dovrebbe esistere una sottoclasse di sorgenti con spettro termico, più fredde di ~ 1400 K, o con spettro non termico troppo debole per apparire nelle lastre ottiche.

Questi oggetti, forse tra i più interessanti della survey IRAS, avranno bisogno di essere localizzati nel cielo con più precisione per essere poi studiati in dettaglio in tutte le bande dello spettro elettromagnetico.

Un telescopio su pallone di grande area (diametro > 1.5 m) per il lontano infrarosso opererebbe il "dopo IRAS" e per migliorare la locazione delle sorgenti senza controparte ottica e per lo studio della fisica degli oggetti nelle finestre del lontano IR non osservabili da terra né studiate da IRAS.

Del resto l'astronomia infrarossa è tecnologicamente e scientificamente matura per la realizzazione e l'utilizzo di telescopi di sensibilità e risoluzione angolare maggiore di quella offerta da strumenti della classe di 1 m.

Negli Stati Uniti G. Fazio (Center for Astrophysics - Cambridge), che ha fatto volare con successo per la 17^o volta il suo telescopio da 1 m, ha in preparazione (fine luglio 1982) una proposta per un telescopio IR da 3 m di diametro con una stima di costi superiori ai 5 milioni di dollari e tempi di realizzazione dell'ordine di 3-4 anni.

Gli U.K. (Imperial College - London e University College - London) e l'Olanda (University of Gröningen) hanno in animo una collaborazione che prevede la realizzazione, in meno di 2 anni, di un telescopio per il lontano IR da $1.2 \div 1.5$ m e relativa gondola e sistemi di controllo per ciascun gruppo di ricerca.

L'Istituto T.E.S.R.E. è invitato a partecipare alla collaborazione anglo-olandese ed è in seguito ai colloqui avuti dallo scrivente con G. Fazio (Center for Astrophysics), R.D. Joseph (Imperial College), W.A. Towlson e I. Furniss (University College) che nasce la proposta per un telescopio IR da 1.5 m italiano su pallone.

Difatti esistono, a mio avviso, in Italia le premesse necessarie per realizzare e fronteggiare gli sviluppi di un progetto simile quali:

- a - l'interesse scientifico
- b - le capacità tecniche
- c - le forze necessarie
- d - la capacità dell'industria italiana di fornire e/o sviluppare parte della tecnologia necessaria
- e - ultima, ma forse la più importante, l'esistenza della base di lancio di Milo, che potrebbe diventare la base di lancio dell'astronomia IR europea.

E' altresì mia ferma opinione che solo se inserito in una collaborazione tipo quella anglo-olandese offertaci, i cui partecipanti vantano esperienze specifiche nel campo (vedi 3.3, 3.4, 3.5), un telescopio IR italiano da pallone di grande area ha buone probabilità di essere realizzato con successo. Ed è questa una maniera per tenere il passo nella ricerca scientifica e tecnologica IR e nei sofisticati sistemi di puntamento e stabilizzazione richiesti da un telescopio su pallone.

2. OBIETTIVI SCIENTIFICI

E' difficile predire con esattezza gli obiettivi scientifici nel momento in cui il telescopio diverrà operativo; è possibile tuttavia individuare alcune importanti aree di ricerca alle quali esso darà un contributo.

E' opportuno quindi elencare alcune delle problematiche che potranno beneficiare dell'aumentata sensibilità (Fig. 4) e risoluzione angolare di un telescopio da 1.5 m, rispetto a telescopi della classe di 1 m.

2.1 - Astronomia Extragalattica

a. Galassie normali e galassie attive: meccanismi di emissione IR

I risultati finora ottenuti indicano che una varietà di sorgenti extragalattiche mostra un eccesso di radiazione IR, con picco nel medio e lontano infrarosso, notoriamente inibito ai telescopi di terra. In alcuni casi, in particolare per Quasar ed oggetti di tipo BL-Lac, lo spettro della radiazione sembra di sincrotrone non termico; in altri, come per le galassie M82 e NGC 253, la similitudine degli spettri con quelli di regioni H II galattiche avvalorava l'ipotesi di una radiazione termica da polvere riscaldata da fotoni stellari.

b. Rapporto M/L (Massa totale/Luminosità IR) nelle Galassie

Alcune galassie sembrano emettere più radiazioni di quanto ci si attenda da una popolazione normale di stelle; la spiegazione potrebbe essere fornita dall'esistenza di bursts di formazione di stelle la cui epoca di formazione è deducibile dal rapporto M/L; $M/L \leq 0.5$ indica formazione recente di stelle. Del resto le dimensioni effettive delle regioni di emissione IR sono indispensabili per la conoscenza del rapporto; in galassie vicine tali dimensioni sono $\sim 200 \div 600$ pc. Un telescopio da 1.5 m potrebbe individuare sorgenti di 500 pc di diametro fino a ~ 6 Mpc contro i 4 Mpc di un telescopio da 1 m.

c. Identificazione di radio sorgenti

Molte radio sorgenti hanno una controparte sotto la soglia di sensibilità delle lastre fotografiche; esse potrebbero essere galassie normali a redshifts $z \geq 1$ oppure, se variabili, oggetti tipo BL-Lac

b. Regioni H II

Le regioni H II sono anch'esse intimamente connesse alla formazione di stelle calde e alle Nubi Molecolari, in quanto l'idrogeno è ionizzato dai fotoni di stelle di recente formazione (tipo O e B).

Misure delle righe di emissione da tali regioni possono dare informazioni sulla struttura chimico-fisica del plasma. In generale, però, i flussi previsti sono troppo deboli per essere rivelati con gli attuali telescopi ed un miglioramento della sensibilità può essere decisivo per ulteriori progressi.

c. Polvere interstellare

Attualmente è incerto se la dipendenza spettrale dell'assorbimento da polvere interstellare segue la legge $\sim 1/\lambda$ oppure $\sim 1/\lambda^2$. Un telescopio da 1.5 m darebbe la possibilità di studiare il mezzo interstellare a distanze maggiori di quelle attuali usando sorgenti più lontane per osservare l'assorbimento da polvere.

2.3 - Centro Galattico

A causa dell'assorbimento da polvere il Centro Galattico è osservabile solo in IR, radio e raggi X. Un telescopio da 1.5 m potrebbe fornire nel lontano infrarosso una mappa con risoluzione angolare simile alle mappe radio ad alta frequenza (Fig. 1).

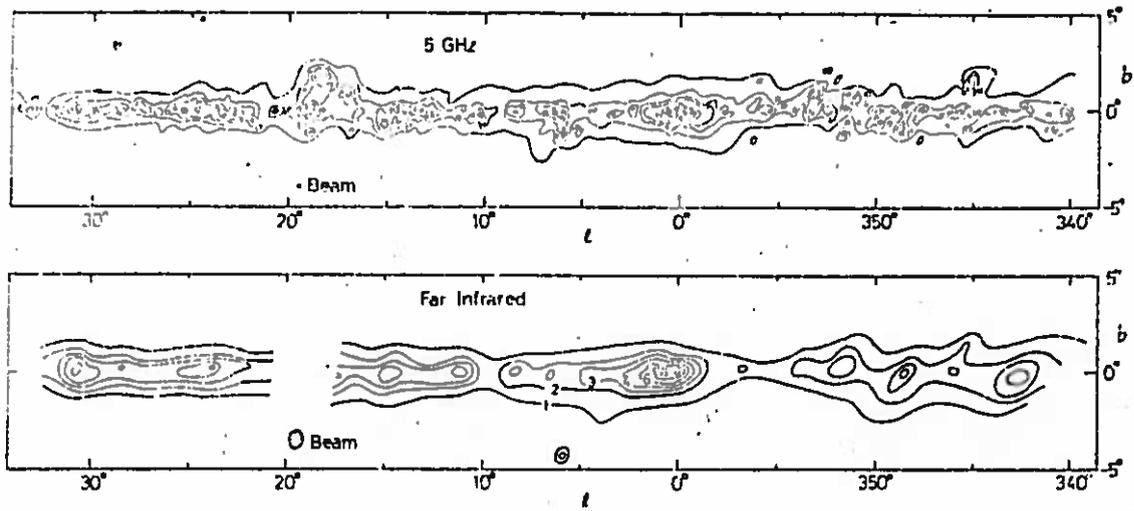


Figura 1 - Mappa radio e nel lontano IR del Centro Galattico

2.4 - Cosmologia e Fondo Cosmico a Microonde

Il modello "standard" dell'Universo predice che la struttura presente dell'universo sia stata determinata da fluttuazioni di densità presenti già all'epoca del disaccoppiamento radiazione-materia ($z \sim 10^3$). La crescita e lo sviluppo di tali fluttuazioni ha infatti dato luogo alle attuali galassie, ammassi e super-ammassi di galassie.

Alla scala di massa corrispondente alle galassie ($M < 10^{15} M_{\odot}$) il valore iniziale delle perturbazioni di densità $\Delta\rho/\rho \sim 10^{-4}$ dovrebbe essere tuttora presente nella radiazione cosmica di fondo ($T \sim 2.7$ K) sotto forma di anisotropia o fluttuazioni di temperatura della stessa. Il valore di tali fluttuazioni, tuttavia, dipende fortemente dal parametro densità $\Omega_0 = \rho_0/\rho_{\text{crit}}$ ($\rho_0 =$ densità del presente universo, ρ_{crit} densità critica), tuttora incerto, nonché dalla scala angolare, legata alla massa delle fluttuazioni di densità (Fig. 2).

I modelli attuali predicono per masse $< 10^{15} M_{\odot}$, fluttuazioni della temperatura del fondo $\Delta T/T < 10^{-4}$ su scale angolari $\theta < 10'$.

I moderni radiotelescopi (ad esempio il VLA) sembrano i più adatti per un simile esperimento. Tuttavia il contributo delle radio sorgenti non risolte alle fluttuazioni del fondo cosmico su scale angolari $< 10'$, ricavato recentemente da conteggi di radio sorgenti, risulta $\Delta T/T > 10^{-5}$ per lunghezze d'onda $\lambda > 1$ cm (Fig. 3) e maschera le anisotropie primordiali. Un telescopio da pallone da 1.5 m a $\lambda \sim 1$ mm ha un beam limitato dalla diffrazione dell'ordine di $2'.8$; su tale scala angolare, con una banda $\Delta\lambda/\lambda = 0.5$ ed un rivelatore con N.E.P. = 10^{-15} W/ $\sqrt{\text{Hz}}$, si potrebbero rivelare fluttuazioni primordiali $\Delta T/T \sim 10^{-5}$ in circa 2 ore con un rapporto segnale-rumore $S/N \sim 3$; la misura non sarebbe contaminata da sorgenti come per un radio telescopio, né da effetti atmosferici come per un telescopio IR da terra.

Vantaggi simili ricaverebbe un esperimento per la rivelazione dell'effetto Sunyaev-Zeldovich, consistente nella distorsione dello spettro del FCM in direzione del core di un ammasso di galassie, dove il gas intergalattico, caldo e denso, scattera, attraverso il

Compton inverso, i fotoni del fondo ad energie più alte. Lo spettro deformato ha un massimo a $\lambda \sim 1.3$ mm ed un minimo a lunghezze d'onda maggiori con $\Delta T/T \sim 10^{-4}$.

I tentativi finora fatti per rivelare tale effetto in radio hanno dato risultati contrastanti, probabilmente a causa della contaminazione di sorgenti radio e/o per effetti sistematici della strumentazione usata. L'esperimento da pallone a lunghezze d'onda millimetriche eliminerebbe molti dei problemi descritti e sfrutterebbe la firma dell'effetto S-Z (T maggiore o minore di 2.7 K intorno a $\lambda = 1.3$ mm).

3. TELESCOPI DA PALLONE NEL LONTANO INFRAROSSO

Elenchiamo brevemente le caratteristiche dei telescopi da pallone operanti nel lontano IR.

3.1 - Telescopio del Center for Astrophysics

È un Cassegrain di F/13.5, con primario F/2 in lega di alluminio di 102 cm di diametro e secondario in Pyrex usato come chopper.

Il telescopio è montato all'interno di una gondola rettangolare in tubi di alluminio, di dimensioni ~ 5 m x 3 m; il peso è ~ 2 tonnellate; il puntamento alto-azimutale è controllato su due assi da 2 magnetometri e 2 giroscopi, con drift di $0.1''/\text{sec}$, e da 2 star trackers da 5° e $15''$ di campo, di cui il secondo è montato al piano focale.

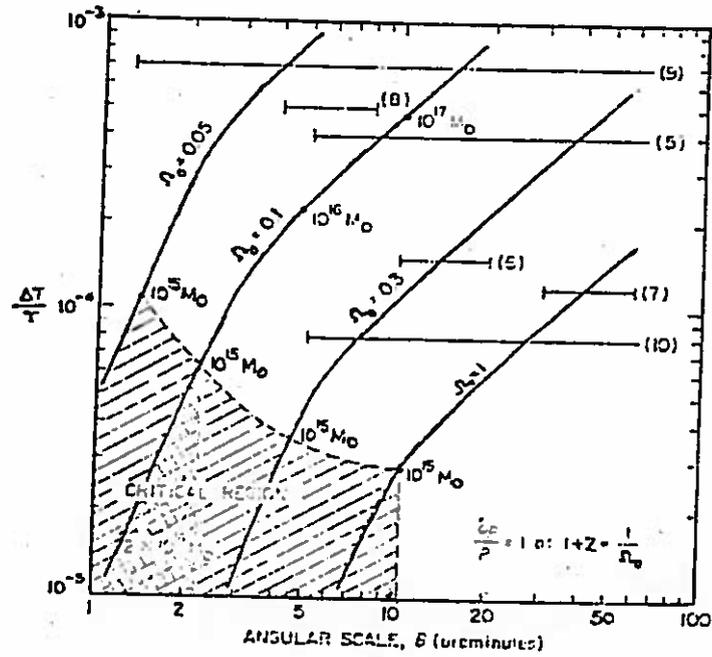


Figura 2 - Fluttuazioni primordiali del fondo cosmico a microonde

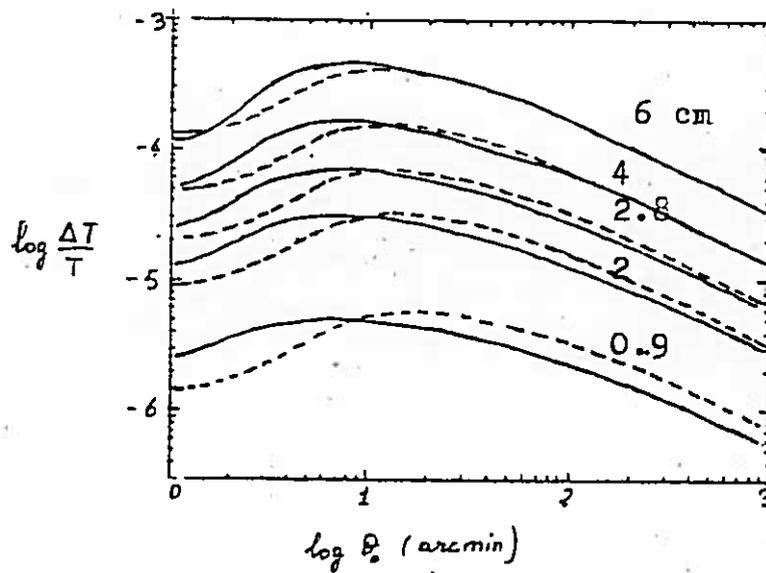


Figura 3 - Fluttuazioni di temperatura $\Delta T/T$ generate da radiosorgenti e prodotte dai modelli di Peacock e Gull (1981), linee continue, e Kulkarni (1978), linee tratteggiate, a diverse lunghezze d'onda.

3.2 - Telescopio raffreddato dell'University of Arizona

Il telescopio, di 45 cm di diametro, è interamente montato in un criostato contenente circa 30 litri di elio liquido. Al contrario dei telescopi operanti a temperatura ambiente, esso è limitato dal rumore atmosferico. È montato su una piattaforma stabilizzata in azimut sul campo magnetico terrestre ed opera in "scanning mode" in altitudine. I dati di posizione sono forniti da un fotometro stellare solidale con il telescopio.

3.3 - Telescopio dell'University College

Il telescopio, Cassegrain con primario da 60 cm di diametro e specchi in vetro, è montato in una struttura di tubi di alluminio. Per compensare gli effetti termici alla quota di osservazione, il telescopio è opportunamente sfuocato prima del lancio. Il montaggio è di tipo alto-azimutale con possibilità di controllo anche sul terzo asse. La stabilizzazione e il puntamento sono eseguiti con magnetometri e due sensori stellari di 20° e $10'$ di campo. I sensori possono guidare su stelle di ottava magnitudine. Il peso totale è ~ 1 t.

3.4 - Telescopio dell'Imperial College

Cassegrain di 102 cm ed $F/7$ con ottiche in lega di alluminio; questo evita la rifocalizzazione del telescopio ad alta quota. Il telescopio vola sulla piattaforma stabilizzata su 3 assi dell'Appleton Laboratory. Il peso del payload è circa 1.5 t.

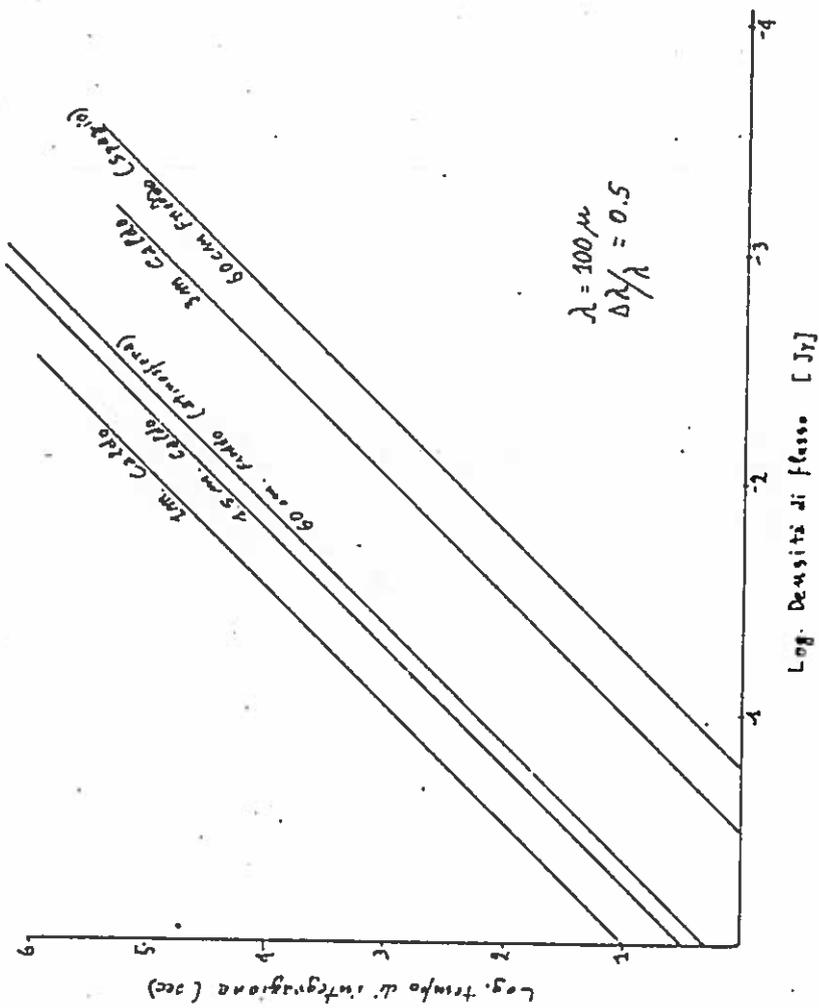


Figura 4 - Limiti di sensibilità di telescopi IR

4.2 - Configurazione ottica di un Cassegrain da 1.5 m

Nel progetto di un telescopio Cassegrain da 1.5 m (Fig. 5) per osservazioni nel lontano infrarosso da pallone sono stati fissati alcuni parametri.

Ad esempio, il rapporto focale F dello specchio primario dovrebbe essere ≥ 2 per facilitarne la costruzione; inoltre, tenendo conto dello spessore del primario e delle dimensioni dei rivelatori criogenici, l'estrazione focale al fuoco Cassegrain, b , è stata fissata in 0.8-1.0 m.

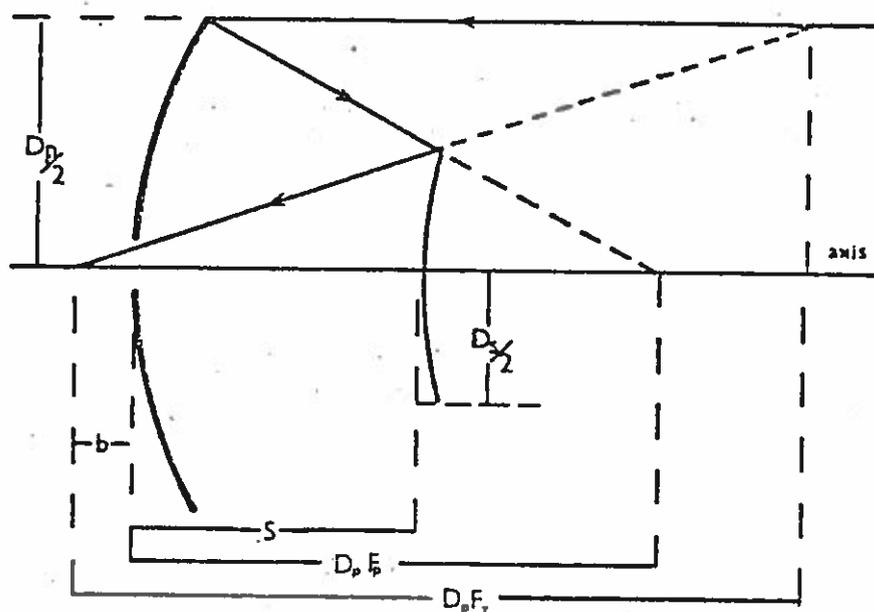


Figura 5 - Parametri per il disegno di un telescopio in configurazione Cassegrain

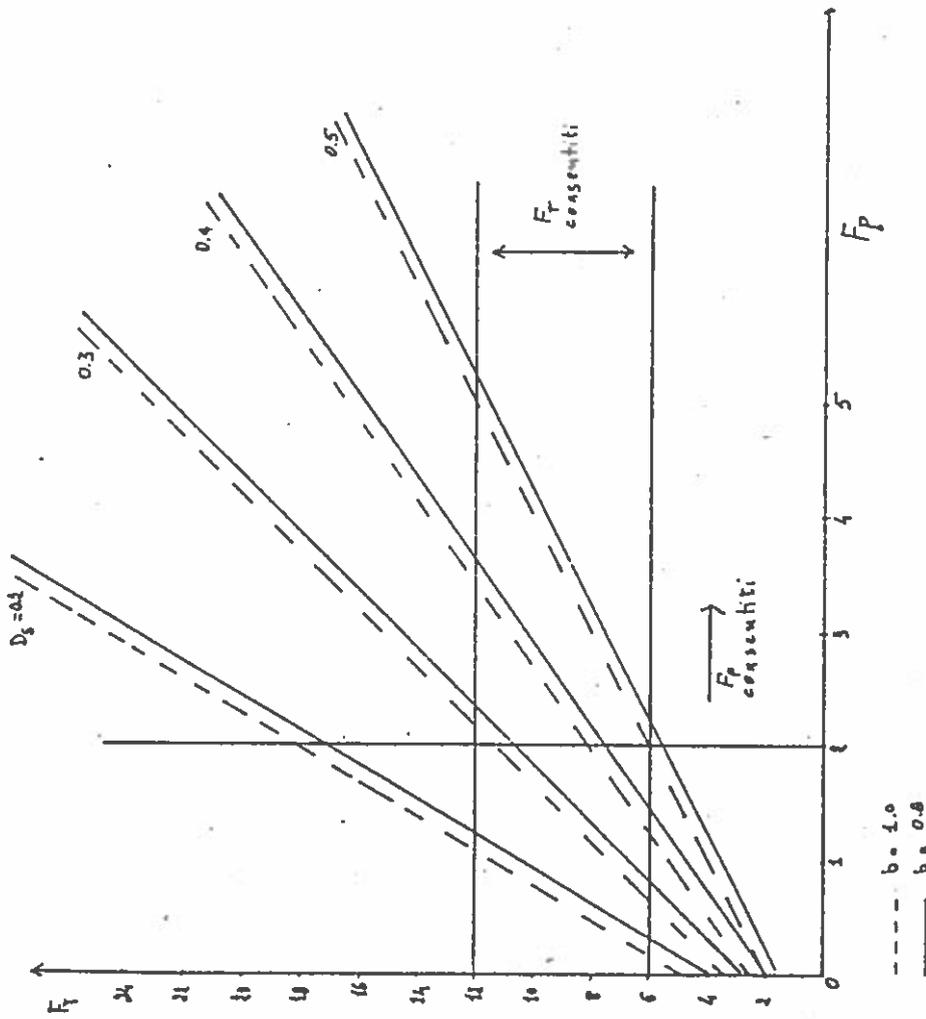


Figura 6 - Rapporto focale F_T di un telescopio Cassegrain in funzione del rapporto focale F_p del primario; il diametro del secondario D_s è in m.

La configurazione ottica di un possibile telescopio Cassegrain da 1.5 m e $F_T/8$ è elencata in tabella II.

Tabella II
Dimensioni di un Cassegrain $F_T/8$ da 1.5 m

$F_T/8$	$f_T = 12 \text{ m}$	$d = 2.5 \text{ m}$
$F_p/2.3$	$f_p = 3.45 \text{ m}$	$D_p = 1.5 \text{ m}$
$F_s/3.3$	$f_s = - 1.33 \text{ m}$	$D_s = 0.4 \text{ m}$
		$b = 0.8 \text{ m}$

Allo scopo di definire in dettaglio il disegno del Cassegrain occorrerebbe esaminare attentamente il problema delle aberrazioni, delle tolleranze di lavorazione e dei disallineamenti.

Riteniamo tuttavia che tali ottimizzazioni debbano essere affrontate in un fase successiva, poiché dipendono dal materiale e dal tipo di ottiche usate.

4.3 - Scelta del materiale dello specchio primario

Il peso dello specchio primario condiziona decisamente la struttura del telescopio e quindi il peso totale del payload. Del re-

Tabella III

Materiali e tecniche usati nella costruzione di specchi leggeri per usi astronomici

MATERIALE	DITTA	TIPO	TECNICA	PESO ₂ (kg/m ²)
Ceramica vetrosa	Owens-USA	Cervit	Buchi di alleggerimento	~ 230
	Schott-Germania	Zerodur		
Vetro a bassa espansione (Borosilicato)	Corning-USA	Pyrex	Strutture a nido d'ape	~ 170
	Schott-Germania	Duran 50		
Fusioni di vetro a bassissima espansione (U.L.E.) (Silicato purissimo drogato con piccole percentuali di Titanio)	Corning-USA	U.L.E.	Strutture a nido	~ 170
Alluminio con elettrodeposizione di Nichel	Tinsley E.S.S. Co.	AL 6061-T6	Strutture complesse	~ 70
Fibre di carbonio	Boeing-USA	G9-70 x-30	Stampi	~ 10

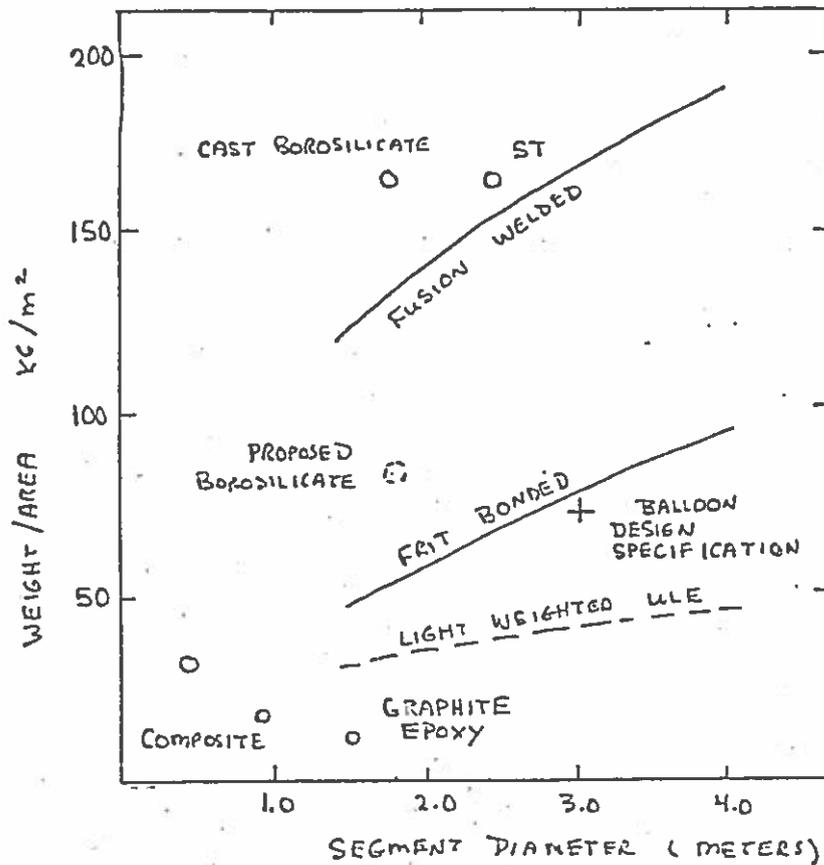


Figura 8 - Peso per unità di area in funzione del diametro di specchi di vari materiali.

ne che uno specchio di alluminio a struttura cellulare con deposito superficiale di nichel (Fig. 9) può essere lavorato e mantenere qualità ottiche sulla intera superficie entro $2 \div 3 \mu$ r.m.s. ($\lambda/20$)

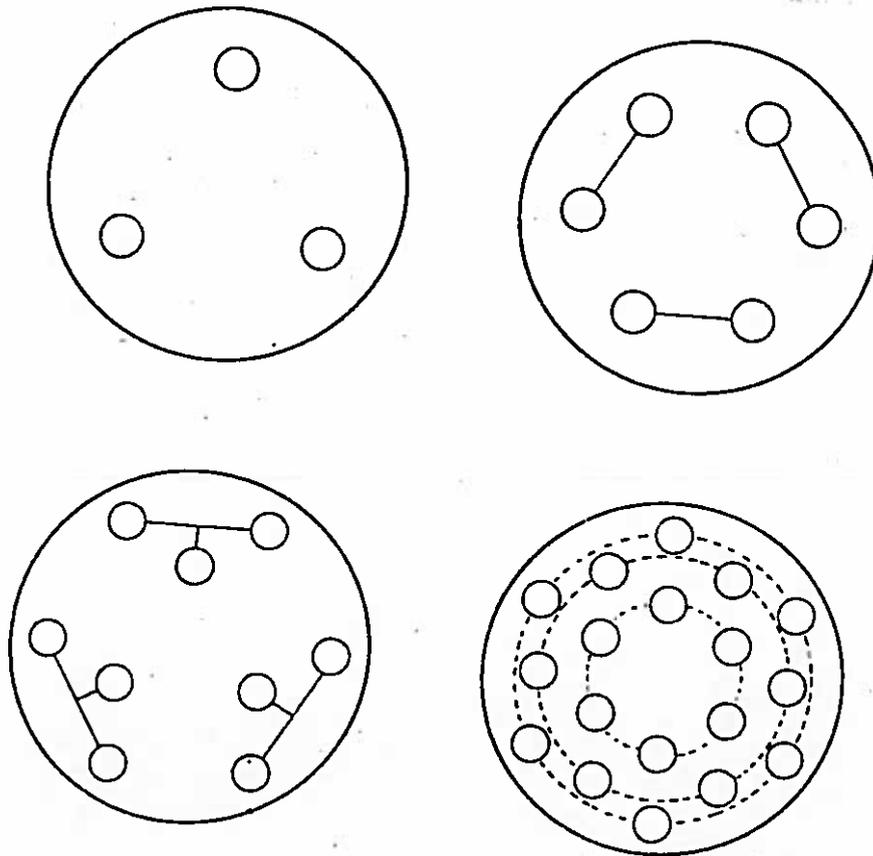


Figura 11 - Varie strutture di supporto dello specchio.