FLUX JPA DESIGN

C GATTI – QubIT 6 APRILE 2022

Risonatore λ/4 accoppiato a una linea di trasmissione

RLC parallelo con parametri unloaded

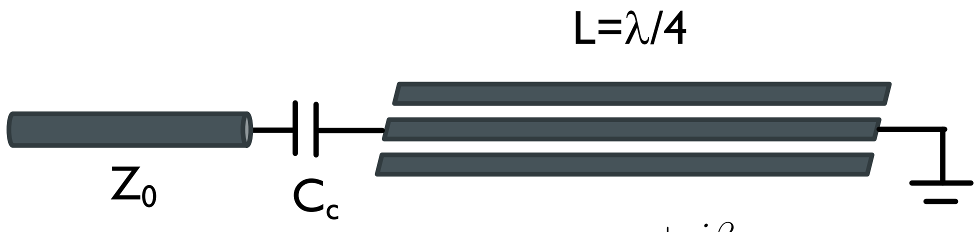
$$\omega_0 = \frac{2\pi v_p}{\lambda}$$

$$R = \frac{Z_0}{\alpha L}$$

$$C_r = \frac{\pi}{4\omega_0 Z_0}$$

$$L_r = \frac{4Z_0}{\pi\omega_0}$$

$$Q_0 = \frac{\pi}{4\alpha L}$$



$$\gamma = \alpha + j\beta$$

Effetto del capacitore di accoppiamento

$$\omega_c = \frac{1}{\sqrt{L_r(C_r + C_C)}}$$

$$Q = Q_0 \frac{Z_0}{Z_0 + Rk^2}$$

$$k = \omega C_C Z_0$$

$$k \ll 1$$

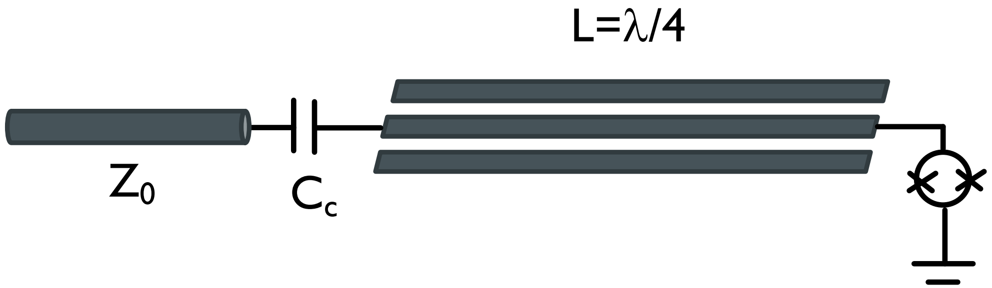
Per Al superconduttore su silicio

$$\alpha_{Al} = 2 \times 10^{-4}\mathrm{m}^{-1}$$

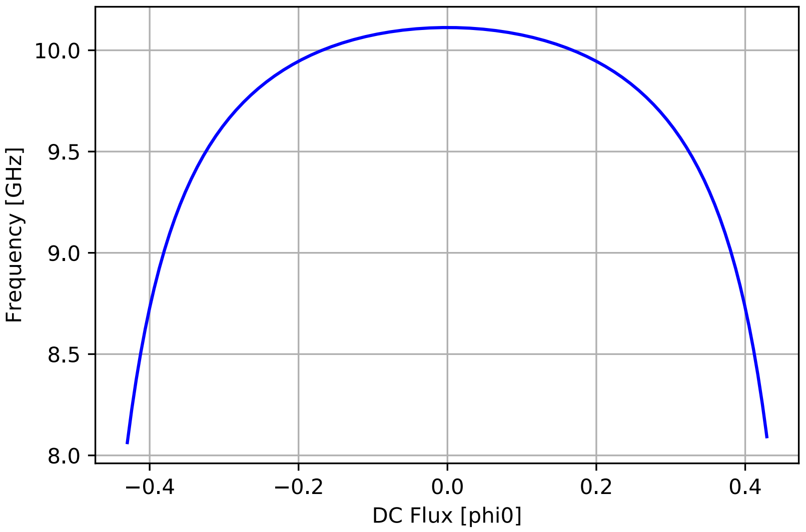
Pozar Microwave Engineering

Risonatore a frequenza tunabile

$$L_{Squid} = \frac{\phi_0}{2\pi} \frac{1}{I_{c,squid} \cos \pi \Phi(B)/\phi_0}$$



$$\omega_r = \frac{\omega_0}{1 + \frac{L_{Squid}}{L_l L}}$$



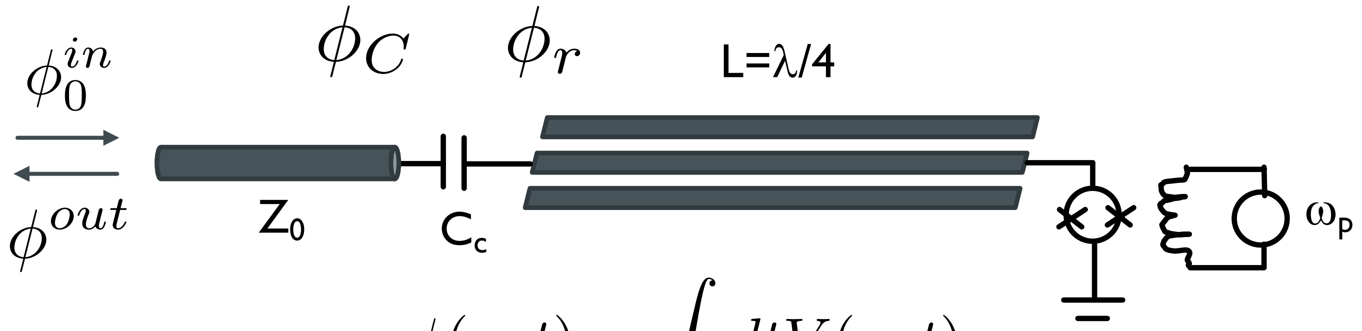
$$\omega_{squid} \gg \omega_0$$

Flux Pumped JPA

Risolvendo il circuito (ponendo $I_C = I_r$)

$$\ddot{\phi}_r + \omega_r^2(\Phi(B))\phi_r = \frac{C_C}{C_C + C_r}\ddot{\phi}_C$$

e sviluppando $\omega_r^2 = \omega_r^2(\Phi_{DC}) + \frac{d\omega_r^2}{d\delta\phi}\delta\phi$



$$\phi(x,t) = \int dtV(x,t)$$

$$\ddot{\phi}_r + \left(\omega_r^2(\Phi_{DC}) + F\cos\left(\omega_p t + \varphi_p\right)\right)\phi_r = \frac{C_C}{C_C + C_r}\ddot{\phi}_C$$

Equazione oscillatore parametrico

$$F = 2\pi\tan\left(\pi\frac{\Phi_{DC}}{\phi_0}\right)\frac{\omega_r^3}{\omega_0}\frac{L_{Squid}(\Phi_{DC})}{L_l L}\frac{\delta\phi}{\phi_0}$$

Guadagno del Flux JPA

La soluzione per il segnale "out" rispetto a quello "in" $\phi_C = \phi_0^{in} + \phi^{out}$

$$\frac{\phi_1^{out}}{\phi_0^{in}} = 1 - 2\frac{1 + \xi \sin\theta}{1 + \Omega^2 - \xi^2}$$

$$\frac{\phi_2^{out}}{\phi_0^{in}} = 2\frac{\xi \cos\theta - \Omega}{1 + \Omega^2 - \xi^2}$$

$$\Omega = \frac{2Q}{\omega_0}\left(\frac{\omega_p}{2} - \omega_0\right)$$

$$\xi = \frac{FQ}{\omega_0 \omega_p}$$

$\xi < 1$ Amplificatore parametrico

$\xi > 1$ Oscillatore parametrico

FLUX JPA DESIGN

Resonator Parameters

Resonator Length 2.6mm
Substrate silicon ε_r=11.9 ε_{eff}=6.451
Bare resonator frequency 11.3 GHz
Impedance Z_0=50 Ω
Bare resonator capacitance 220 fF
Bare resonator inductance 0.9 nH
Coupling capacitor 20 fF
S=12 μm e w=7 μm
Q=175

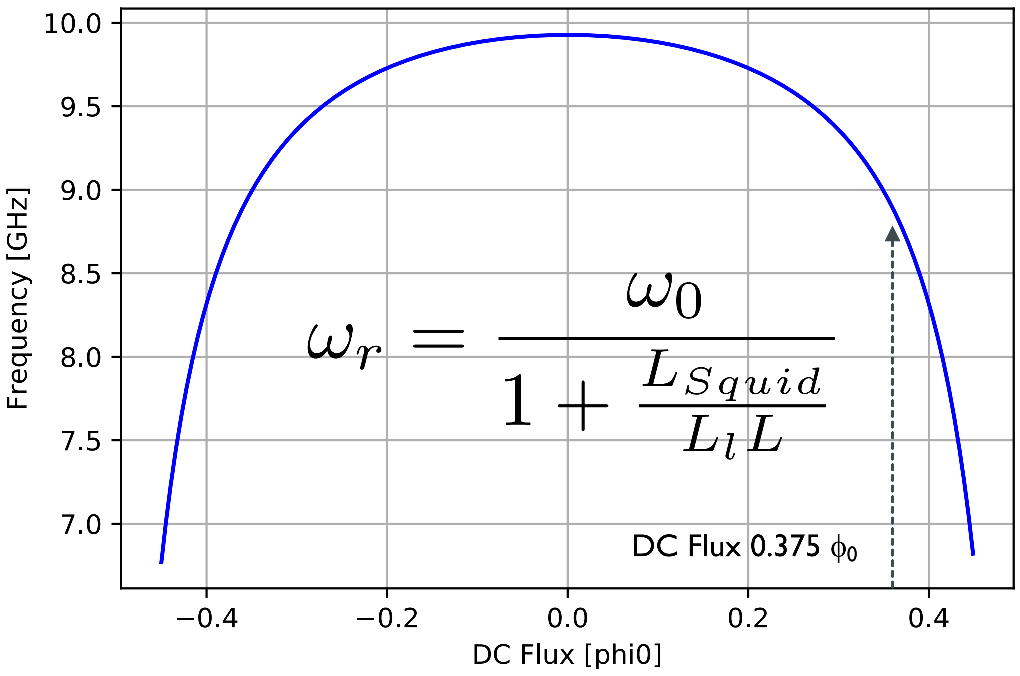
SQUID Parameters

Junction area 0.3-0.6 μm^2
Junction Ic=1.95 μA
Junction Cj<0.5 pF
Junction Ej=967 GHz
Junction Lj=169 pH
Junction freq fjj>> 10 GHz
DC SQUID
Area 9x9 μm^2
inductance/Resonator inductance
L_S/L_R=0.094
M circa 5 pH
Lgeom circa 150 pH ?

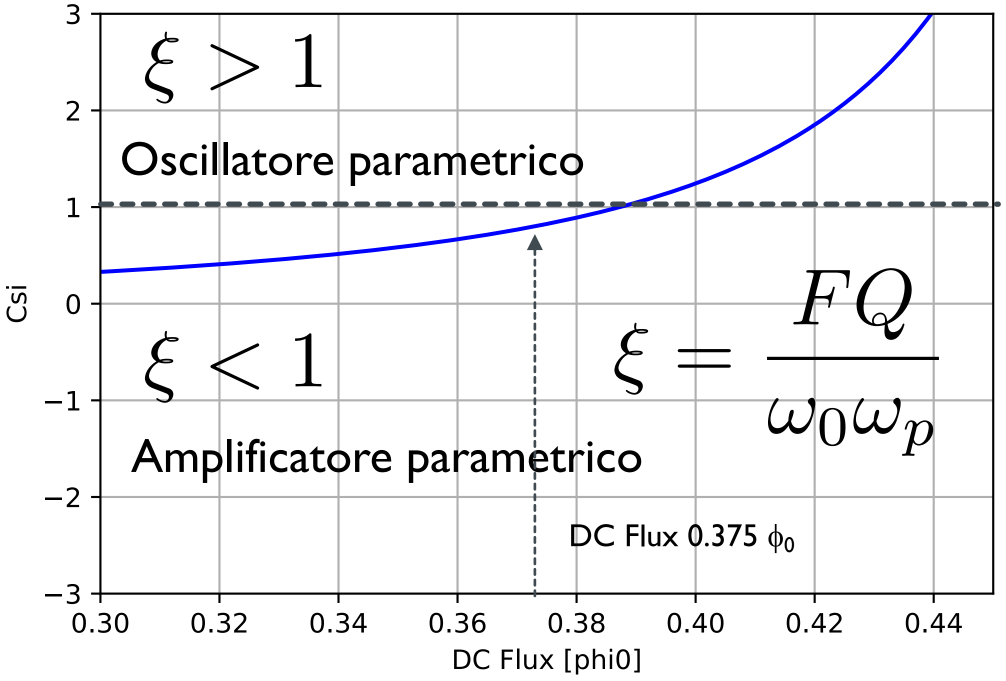
JPA Bias

$f_{pump}=2f_{resonance}$
Flux bias 0.375 ϕ_0
$\delta\phi$ = 0.0025 ϕ_0
Pump Power -68 dbm

FLUX JPA

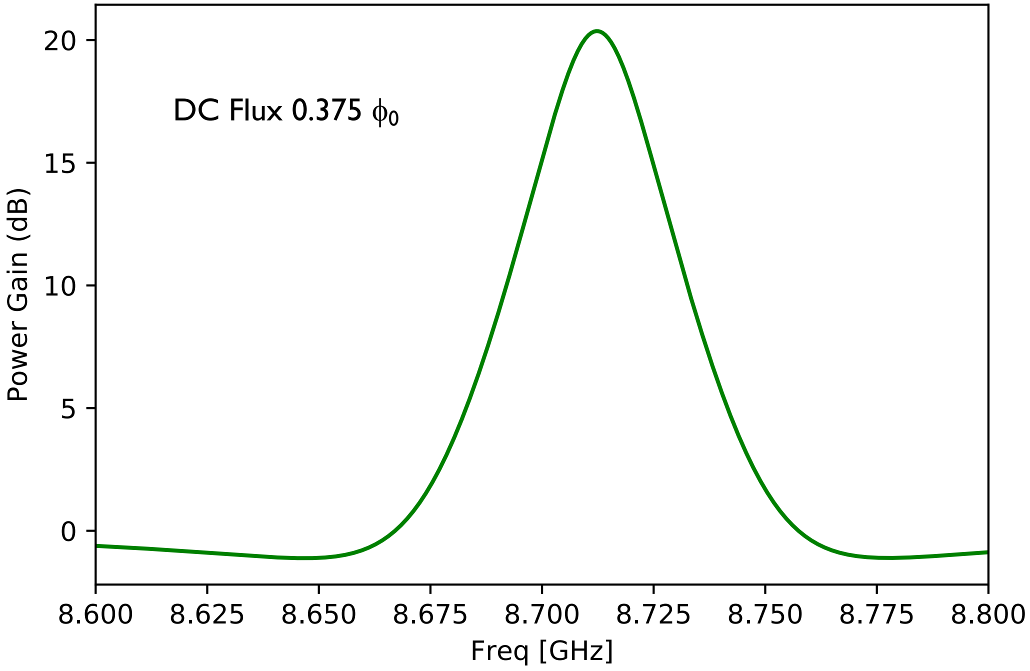


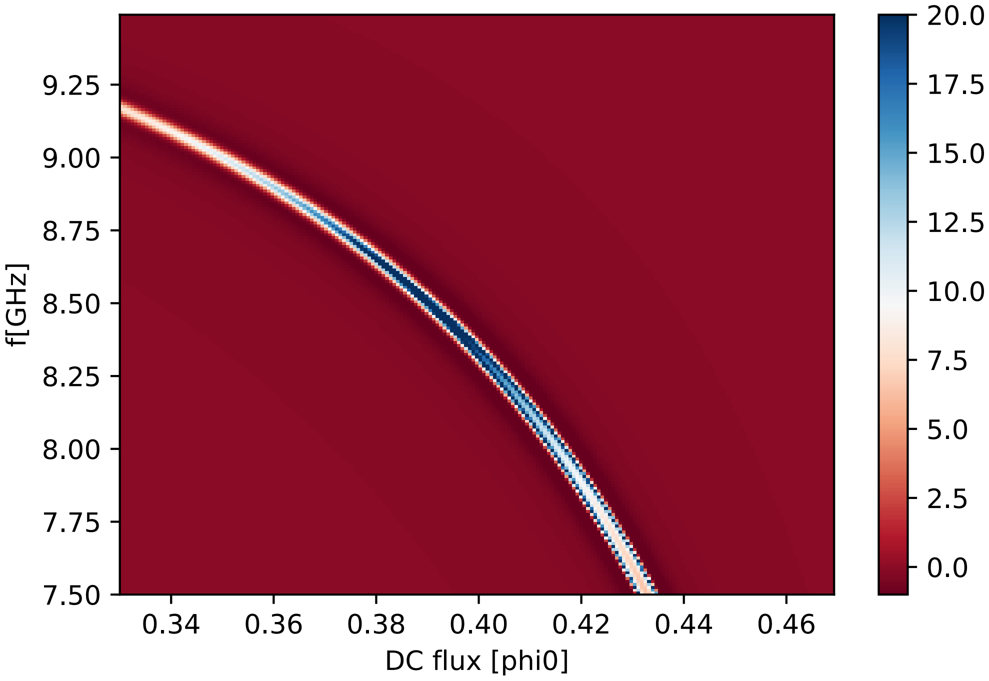
10.0
9.5
9.0
8.5
8.0
7.5
7.0
Frequency [GHz]
−0.4
−0.2
0.0
0.2
0.4
DC Flux [phi0]
$\omega_r = \frac{\omega_0}{1 + \frac{L_{Squid}}{L_l L}}$
DC Flux 0.375 ϕ_0



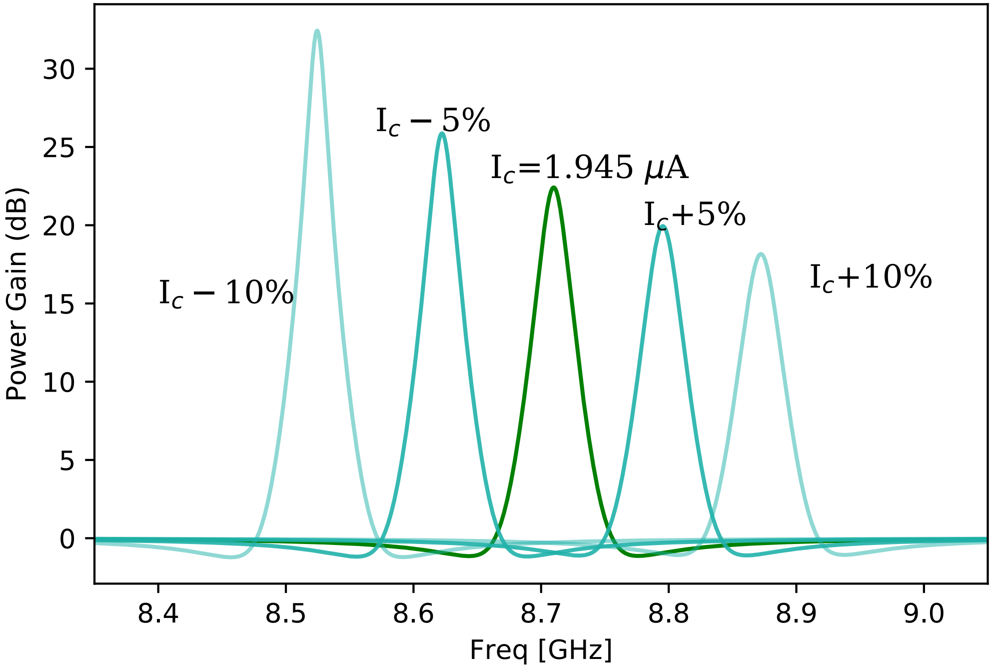
3
2
1
0
−1
−2
−3
Csi
0.30
0.32
0.34
0.36
0.38
0.40
0.42
0.44
DC Flux [phi0]
$\xi > 1$
Oscillatore parametrico
$\xi < 1$
Amplificatore parametrico
$\xi = \frac{FQ}{\omega_0 \omega_p}$
DC Flux 0.375 ϕ_0

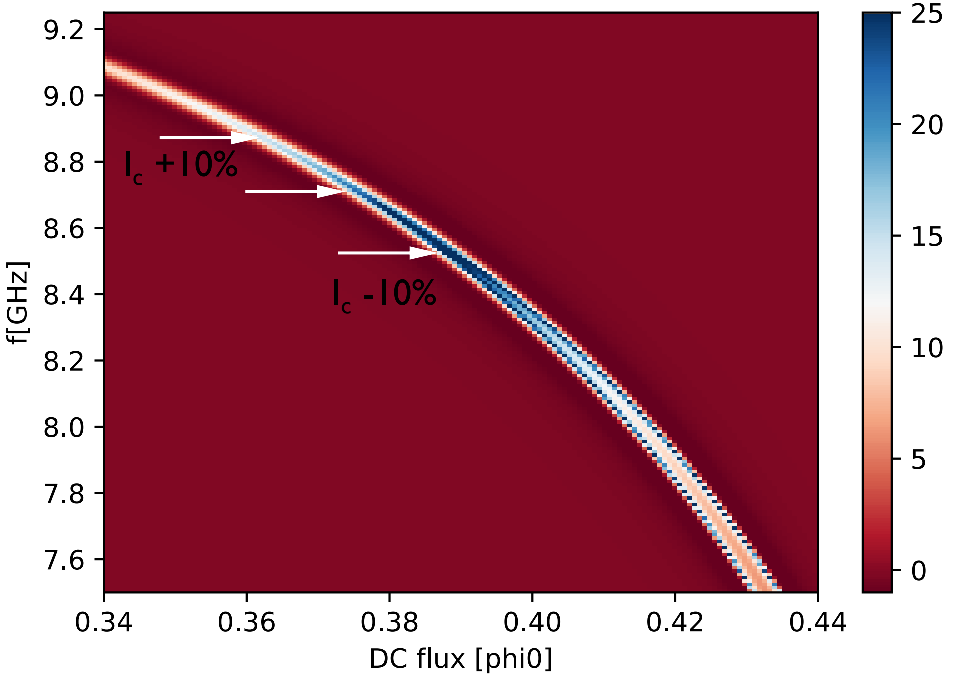
FLUX JPA


DC Flux 0.375 ϕ_0
Power Gain (dB)
20
15
10
5
0
8.600
8.625
8.650
8.675
8.700
8.725
8.750
8.775
8.800
Freq [GHz]


f[GHz]
9.25
9.00
8.75
8.50
8.25
8.00
7.75
7.50
0.34
0.36
0.38
0.40
0.42
0.44
0.46
DC flux [phi0]
20.0
17.5
15.0
12.5
10.0
7.5
5.0
2.5
0.0

STUDIO SU TOLLERANZE PARAMETRI E OTTIMIZZAZIONE (ONGOING A. RETTAROLI)



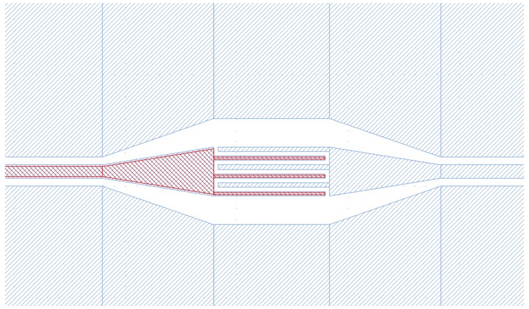


DC Flux Bias = 0.375 phi0
Cc = 20 fF
dphi = 20E-4 phi0 (-67.43 dBm)
Csi = 0.86 con il valore nominale di Ic.

DESIGN FBK (BENNO M.)

- Area giunzioni: un dispositivo ha ponti 1,5 x 0.5 e l'altro 1,5 x 0,6. Questo dovrebbe generare aree (con 30° di angolo d'evaporazione) rispettivamente di 0.57 e 0.29 um2
- Area Squid: l'area interna è 4 x 4 um. NB al momento la linea di corrente è larga 2 um e dista 14 um dal centro dello SQUID.
- Per Eps_r assunto il valore Tamb 11.9 (volendo si può usare il valore di 11.45 trovato da Paolo per le basse temperature). Eps_eff dovrebbe essere 6.346 secondo calcolatori on-line
- Lunghezza risonatore: 2.62mm dal centro capacità al centro SQUID (altri fanno da inizio a inizio ......)
- S e W risonatore: Lo slot è 7 um e la linea centrale della CPW è 12 um.

B Margesin



Capacitori di accoppiamento di 3 + 3 digit (larghi 4 um con gap 4 um e lunghezza 100 um). Usando le formule del lavoro di Gevorgian (IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol 44, no 6, pag. 896 June 1996) trovo valori di 14 - 18 pF.
B.M.