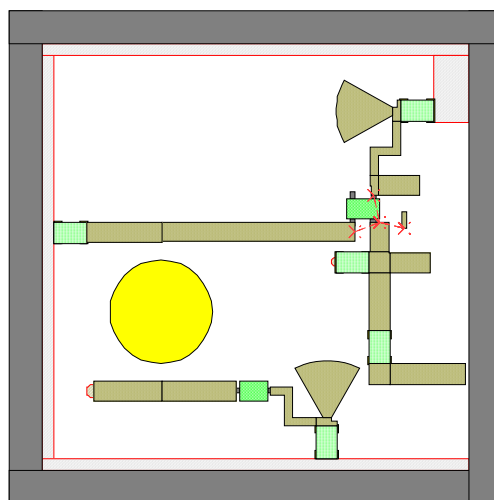


# Sistemi elettronici a radiofrequenza

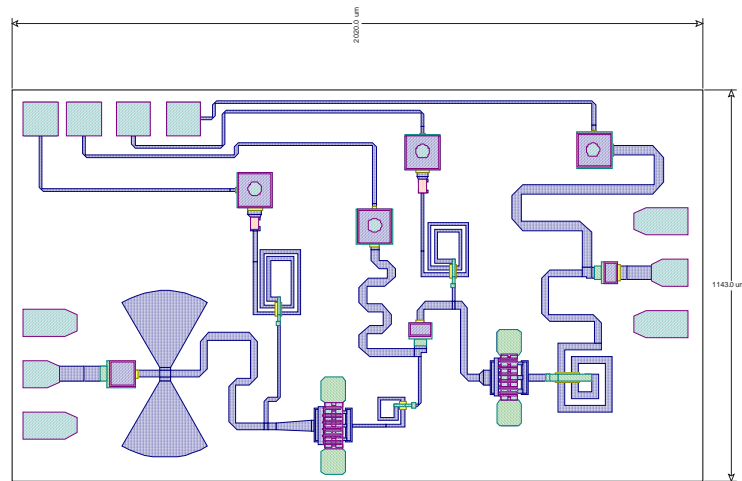
Tecnologia dei circuiti integrati a radiofrequenza

Prof. Stefano Pisa

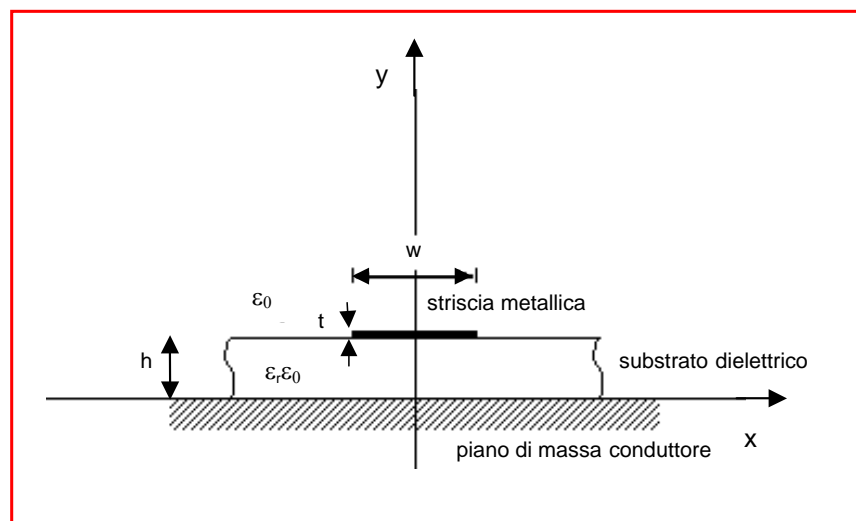
## Circuito ibrido o MIC



## Circuito monolitico (amplificatore a due stadi)



## Linea a microstriscia

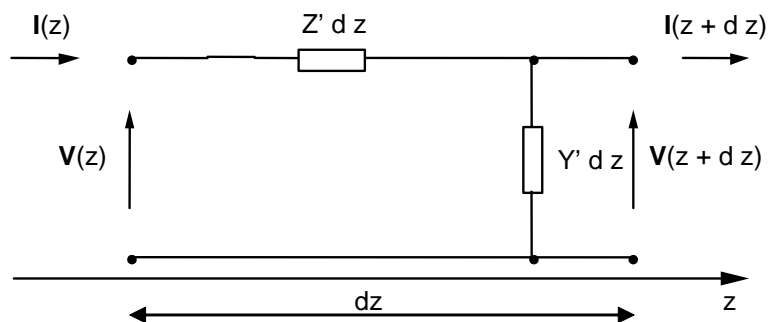


## Substrati

materiale	finitura sup. ( $\mu\text{m}$ )	$10^4 \cdot \tan \delta$ (10 GHz)	$\epsilon_r$	cond. termica ( $\text{W}/\text{cm}^2/^\circ\text{C}$ )
Allumina 99.5 %	2 - 8	1 - 2	10	0.37
Allumina 96 %	20	6	9	0.28
Allumina 85 %	50	15	8	0.20
Zaffiro	1	1	9.4	0.4
Vetro	1	20	5	0.01
Poliolefina	1	1	2.3	0.001
Duroid (Roger)	1	5 - 60	2 - 10	0.0026
Quarzo	1	1	3.8	0.01
Berillio	2 - 50	1	6.6	2.5
GaAs (alta-res)	1	6	13	0.3
Silicio(alta-res)	1	10 - 100	12	0.9
Aria (secca)	-	$\approx 0$	1	0.00024

$$\tan \delta = \epsilon'' / \epsilon'$$

## Modello a linea di trasmissione



$$Z' = R' + j\omega L' \quad Y' = G' + j\omega C'$$

## Costanti secondarie

$$\gamma = \alpha + j\beta = \sqrt{Z'Y'} = \sqrt{(R' + j\omega L')(G' + j\omega C')} \quad \text{costante di propagazione}$$

$$Z_0 = Z_{0r} + jZ_{0j} = \sqrt{\frac{Z'}{Y'}} = \sqrt{\frac{R' + j\omega L'}{G' + j\omega C'}} \quad \text{impedenza caratteristica}$$

$$\frac{d^2\mathbf{V}(z)}{dz^2} = \gamma^2\mathbf{V}(z) \qquad \frac{d^2\mathbf{I}(z)}{dz^2} = \gamma^2\mathbf{I}(z)$$

$$\mathbf{V}(z) = \mathbf{V}^+ e^{-\gamma z} + \mathbf{V}^- e^{+\gamma z}$$

$$\mathbf{I}(z) = \left(\frac{1}{Z_0}\right)(\mathbf{V}^+ e^{-\gamma z} - \mathbf{V}^- e^{+\gamma z}) = \mathbf{I}^+ e^{-\gamma z} - \mathbf{I}^- e^{+\gamma z}$$

## Basse perdite

$$\gamma = \sqrt{R'G' + j\omega C'R' + j\omega L'G' - \omega^2 L'C'} =$$

$$\gamma = \alpha + j\beta \approx \frac{1}{2} \left( \frac{R'}{Z_0} + G'Z_0 \right) + j\omega\sqrt{L'C'}$$

$$Z_0 = \sqrt{\frac{Z'}{Y'}} = \sqrt{\frac{R' + j\omega L'}{G' + j\omega C'}}$$

$$Z_0 \approx \sqrt{\frac{L'}{C'}}$$

## Equazioni di analisi microstriscia

$$\beta = \omega \sqrt{L' C'} = \omega \sqrt{L'_0 C' \frac{C'_0}{C'_0}} = \frac{\omega}{c} \sqrt{\frac{C'}{C'_0}}$$

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L'}{C'}} = \sqrt{\frac{L'_0 C'_0}{C' C'_0}} = \frac{1}{c \sqrt{C'_0 C'}}$$

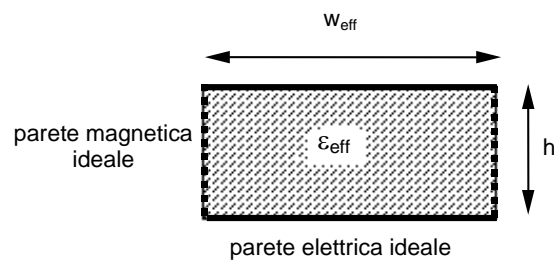
$$\epsilon_{\text{eff}} = \frac{C'}{C'_0} \quad \begin{array}{ll} w \rightarrow \infty & \epsilon_{\text{eff}} \rightarrow \epsilon_r \\ w \rightarrow 0 & \epsilon_{\text{eff}} \rightarrow (\epsilon_r + 1)/2 \end{array}$$

$$\beta = \frac{\omega}{c} \sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}$$

$$\lambda = \frac{2\pi}{\beta} = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}}$$

$$Z_0 = \frac{1}{c C'_0 \sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}}$$

## Trasformazione conforme



$$Z_0 = \frac{1}{c \frac{\epsilon_0 W_{\text{eff}}}{h} \sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}} = \frac{\eta_0 h}{W_{\text{eff}} \sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}} = \frac{120 \pi h}{W_{\text{eff}} \sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}}$$

## Formule di Hammerstad

$$w_{\text{eff}} = \frac{2\pi h}{\ln\left(\frac{8h}{w_{\text{eq}}} + 0.25 \frac{w_{\text{eq}}}{h}\right)}$$

Per  $W/h < 1$

$$\varepsilon_{\text{eff}} = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2} \left[ \left(1 + \frac{12h}{w_{\text{eq}}}\right)^{-1/2} + 0.041 \left(1 - \frac{w_{\text{eq}}}{h}\right)^2 \right]$$

---

Per  $W/h > 1$

$$w_{\text{eff}} = h \left[ \frac{w_{\text{eq}}}{h} + 1.393 + 0.667 \ln\left(\frac{w_{\text{eq}}}{h} + 1.444\right) \right]$$
$$\varepsilon_{\text{eff}} = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{12h}{w_{\text{eq}}}\right)^{-1/2}$$

## Larghezza equivalente

Per  $W/h > 1/(2\pi)$

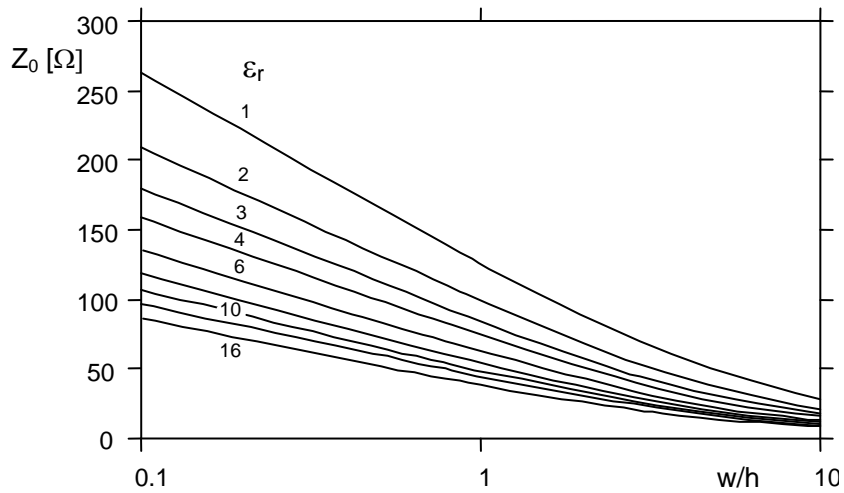
$$w_{\text{eq}} = W + \frac{t}{\pi} \left(1 + \ln \frac{2h}{t}\right)$$

---

Per  $W/h < 1/(2\pi)$

$$w_{\text{eq}} = W + \frac{t}{\pi} \left(1 + \ln \frac{4\pi W}{t}\right)$$

## Impedenza caratteristica (t=0)



## Dispersione

Getsinger

$$\epsilon_{\text{eff}}(f) = \epsilon_r - \frac{\epsilon_r - \epsilon_{\text{eff}}(0)}{1 + G \left( \frac{f}{f_d} \right)^2}$$

$$f_d = \frac{Z_0}{2h\mu_0}$$

$f \uparrow \quad \epsilon \uparrow$

$$G = 0.6 + 0.009 Z_0$$

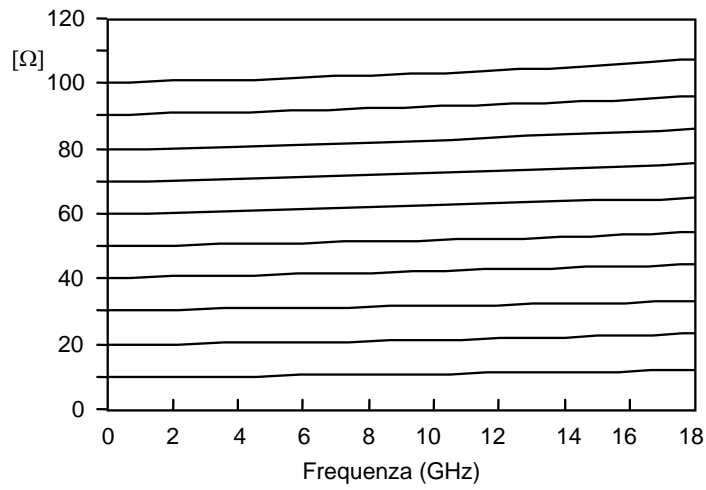
Mehran e Kompa

$$w_{\text{eff}}(f) = w - \frac{w - w_{\text{eff}}(0)}{1 + \frac{f}{f_g}}$$

$$f_g = \frac{c}{2w\sqrt{\epsilon_r}}$$

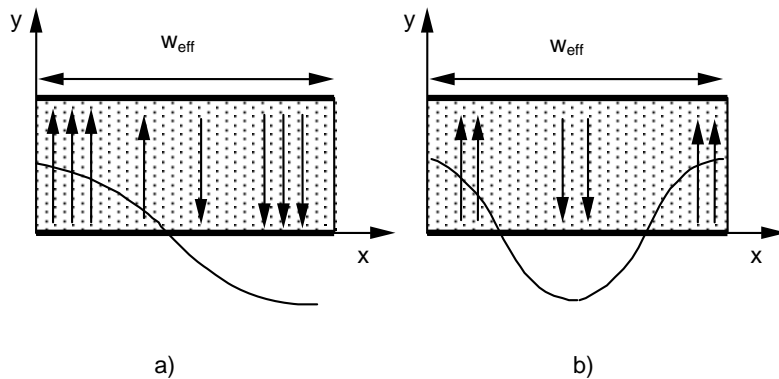
$f \uparrow \quad w \downarrow$

## Andamento $Z_0$ - freq.



$$\epsilon_r = 10.1$$

## Modi di ordine superiore



$$f_c(TE_{10}) = \frac{c/\sqrt{\epsilon_{eff}}}{2W_{eff}}$$

$$f_c(TE_{20}) = \frac{c/\sqrt{\epsilon_{eff}}}{W_{eff}}$$



## Equazioni di sintesi

$$\frac{w}{h} \cong 4 \left[ \frac{1}{2} \exp(A) - \exp(-A) \right]^{-1}$$

Per  $W/h < 2$

$$A = \pi \sqrt{2(\epsilon_r + 1)} \frac{Z_0}{120\pi} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left( 0.23 + \frac{0.11}{\epsilon_r} \right)$$

$$\frac{w}{h} \cong \frac{\epsilon_r - 1}{\pi \epsilon_r} \left[ \ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right] + \frac{2}{\pi} [B - 1 - \ln(2B - 1)]$$

Per  $W/h > 2$

$$B = \frac{120\pi^2}{2Z_0\sqrt{\epsilon_r}}$$

## Perdite nei conduttori

$$\text{Per } W/h < 1 \quad \alpha_c = 1.38 A \frac{R_s}{hZ_0} \left[ \frac{32 - \left(\frac{w_{eq}}{h}\right)^2}{32 + \left(\frac{w_{eq}}{h}\right)^2} \right] \text{ [dB/m]}$$

$$\text{Per } W/h > 1 \quad \alpha_c = 6.1 \cdot 10^{-5} A \frac{R_s Z_0 \epsilon_{eff}}{h} \left[ \frac{w_{eq}}{h} + \frac{0.667 \left(\frac{w_{eq}}{h}\right)}{1.444 + \left(\frac{w_{eq}}{h}\right)} \right] \text{ [dB/m]}$$

## Perdite nei dielettrici

$$\alpha_d = 4.43 \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \frac{\epsilon_{eff} - 1}{\epsilon_r - 1} \sigma_d \text{ [dB/m]}$$

## Massima potenza trasportabile

Sebbene le microstrisce siano principalmente applicate in sistemi di bassa potenza, esse sono in grado di trasportare potenze medie fino ad alcuni kiloWatt.

Il limite superiore alla potenza media è fissato essenzialmente dalla conducibilità termica del substrato che determina quanto rapidamente può essere rimosso il calore generato.

La potenza di picco trasportabile è invece limitata dalla rigidità dielettrica il cui valore è di circa  $3 \cdot 10^6$  V/m per l'aria mentre cresce nei dielettrici (allumina:  $4 \cdot 10^8$  V/m).

## Discontinuità in microstriscia

- Circuiti passivi lineari
- Strutture uniformi - guidanti  
modello -> linee di trasmissione
- Strutture non uniformi - discontinuità  
modello -> circuiti a costanti concentrate  
discontinuità volute e non volute

## Analisi qualitativa

1. In corrispondenza delle discontinuità si eccitano dei modi di ordine superiore in quanto devono essere soddisfatte delle condizioni al contorno diverse da quelle della struttura guidante
2. I modi di ordine superiore non si propagano e sono quindi confinati in una regione intorno alla discontinuità

## Analisi qualitativa

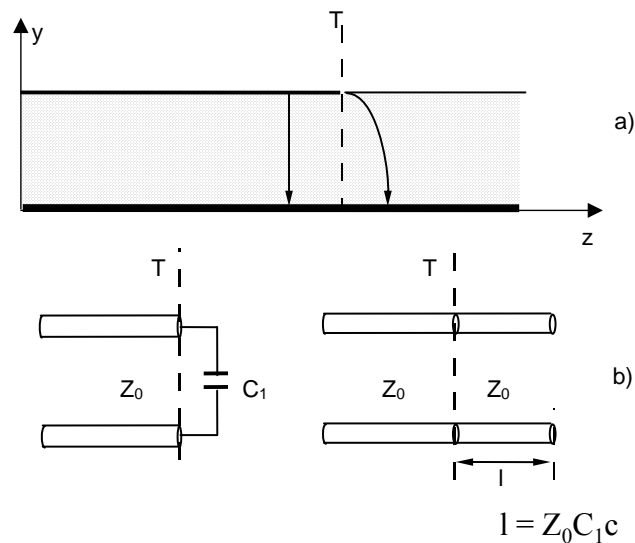
3. Poiché questi modi immagazzinano energia elettrica e magnetica, la loro presenza può essere modellata attraverso una rete reattiva.
4. Se i modi di ordine superiore sono dei TM, l'energia elettrica immagazzinata è maggiore di quella magnetica e quindi il circuito equivalente sarà costituito da una capacità.  
Se i modi sono dei TE, prevale l'energia magnetica ed il circuito equivalente sarà costituito da un'induttanza

$$\eta_{TM} = K_z / j \omega \varepsilon = \alpha_z / j \omega \varepsilon \quad \eta_{TE} = j \omega \mu / K_z = j \omega \mu / \alpha_z$$

## Commenti

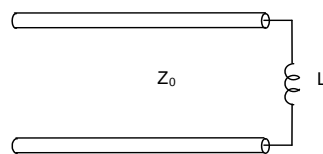
- Per discontinuità con dimensioni longitudinali ridotte il circuito equivalente è in genere costituito da una singola reattanza.  
Quando le dimensioni longitudinali non sono trascurabili si rende necessaria una rete più complessa (T o  $\Pi$ )
- Quando si lavora con circuiti MMIC, poiché è impossibile effettuare degli aggiustamenti, si rendono necessari modelli accurati delle discontinuità.
- Per i software di progetto automatico (CAD) sono particolarmente utili espressioni per le reattanze in forma chiusa.

## Aperto (Open end) (discontinuità non voluta)



## Corto (Short)

Ibrido

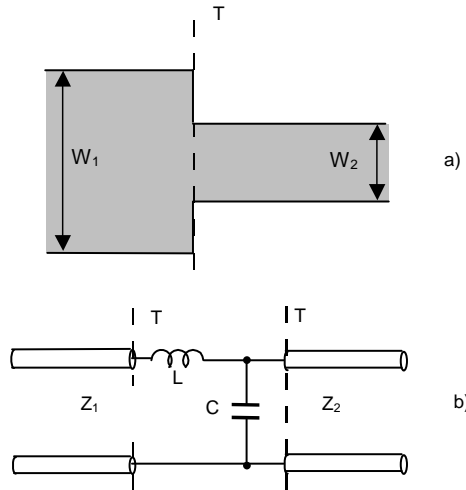


## Corto

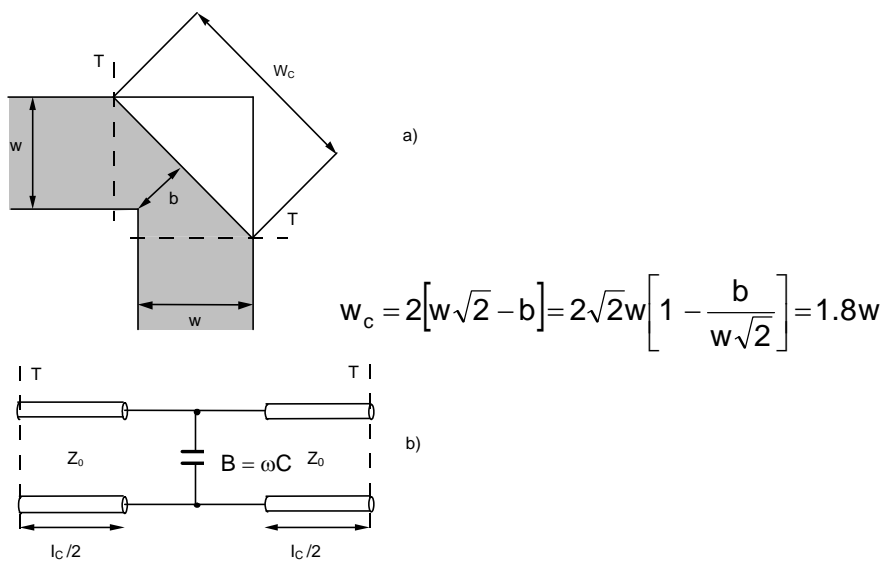
Nei circuiti monolitici, per rendere i corti più riproducibili ed indipendenti dalle dimensioni della linea di accesso si aggiunge una piazzola

Progettando opportunamente la piazzola si aggiungono degli effetti capacitivi che possono compensare (risonare) con quelli induttivi dovuti al corto. In questo modo si riescono ad avere dei corti con bassi effetti reattivi ed indipendenti dalla frequenza (almeno in certi range di frequenza)

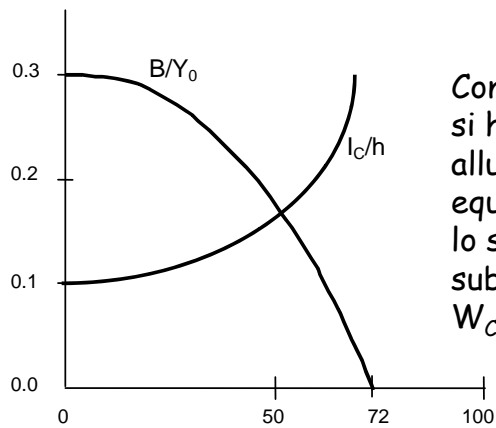
## Step in W (discontinuità non voluta)



## Angolo (Bend)



## Angolo smussato (Chamfered bend)



Con % smussamento = 72%  
si ha  $B=0$  ed un  
allungamento del circuito  
equivalente di 0.3 volte  
lo spessore del  
substrato e risulta  
 $W_c=1.8W$

$$\% \text{ smussamento} = \left(1 - \frac{b}{w\sqrt{2}}\right) \times 100$$

## Tecnologia MIC (IBRIDI)

Substrati

**materiali plastici**  
**materiali ceramici**

2) Tecniche di realizzazione dei circuiti

**materiali plastici**  
processo fotolitografico  
microforgia

**materiali ceramici**  
*processo fotolitografico*  
film sottile  
film spesso

## Materiali plastici (laminati)

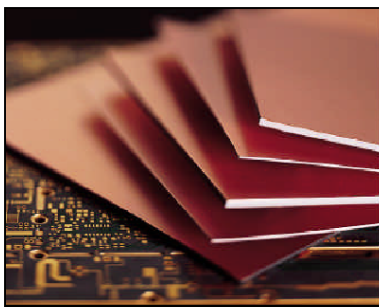
Sono venduti con coperture in rame (cladding) su un lato o su entrambi i lati

Tipicamente il rame è depositato per elettrolisi (elettrodeposition: ED) sui due lati. Per applicazioni speciali si utilizzano fogli di rame laminati (Rolled copper) che sono incollati al dielettrico con speciali resine isolanti

La copertura viene espressa in onces per piede quadrato, (0.5 oz = 0.007 pollici  $\cong$  17  $\mu$ m)

I dielettrici sono disponibili in vari spessori da 3 a 250 mil (1 mil = 25.4  $\mu$ m) con passi da 5 o 10 mil

## Rogers



RO 4003



DUROID



## RO 4003 (Rogers)

Resina plastica mescolata con ceramica  
immersa in una struttura di vetro-tessuto

$E_r$  (costante dielettrica a 10 GHz) =  $3.38 \pm 0.05$

H (spessore del dielettrico) =  $508 \mu\text{m}$  = 0.020" = 20 mill

T (spessore metallizzazione) =  $35 \mu\text{m}$  (1 oz su 2 lati)

$\rho$  (resistività del rame/oro) = 0.7 ( $\text{res\_rame} = 1.78 \mu\Omega/\text{cm}$ )

$\text{Tan}\delta$  (tangente di perdita) = 0.0027

1 Inch = 2.54 cm

## Materiali ceramici (substrati)

Allumina, zaffiro e quarzo sono normalmente  
venduti come piccoli fogli con o senza  
rivestimento metallico (metallizzazione)

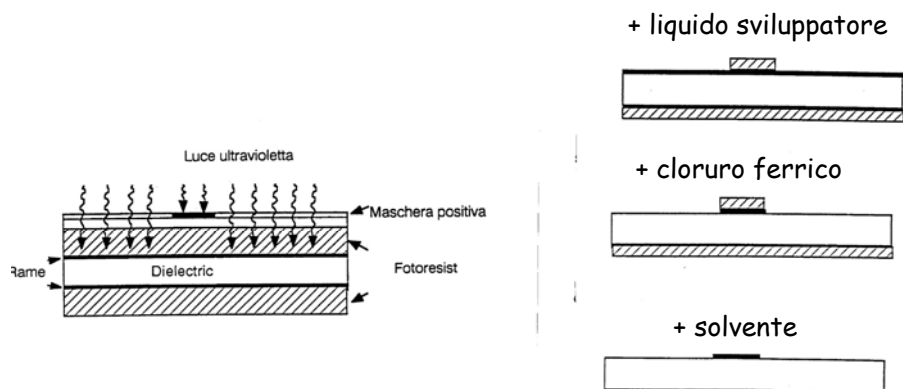
Gli spessori tipici variano da 10 a 50 mil

## Realizzazione dei circuiti a partire da materiali PLASTICI

Vi sono due tecniche principali per la realizzazione dei circuiti a microstriscia a partire da materiali plastici:

- La tecnica dei circuiti stampati con processo fotografico
- La tecnica dei circuiti stampati con microforgia

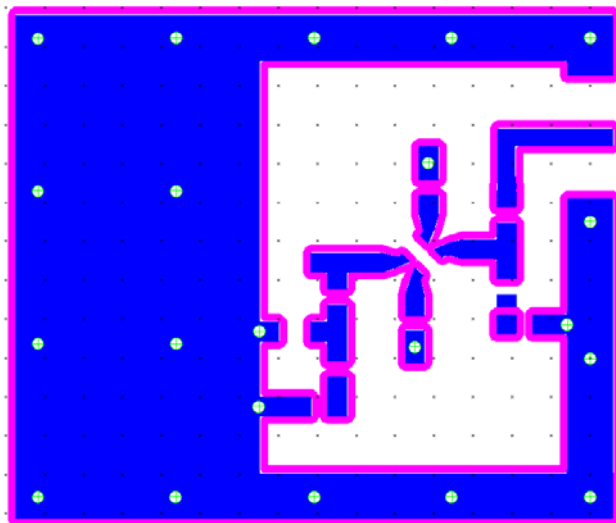
## Tecnica dei circuiti stampati con processo fotografico (segue)



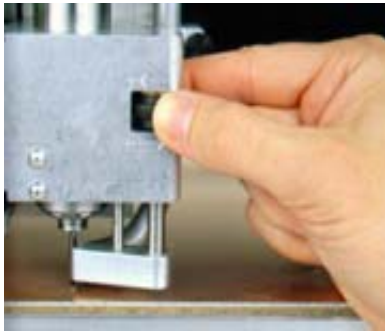
## Tecnica dei circuiti stampati con microforgia



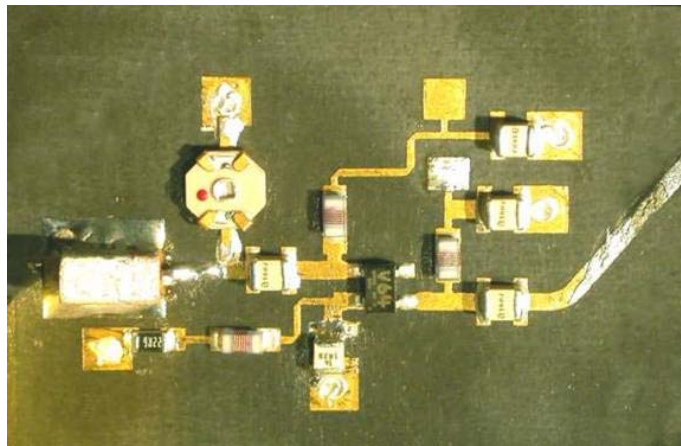
## Tecnica dei circuiti stampati con microforgia (ISOPRO)



## Tecnica dei circuiti stampati con microforgia (segue)



## Circuiti ibridi su materiali plastici



## Realizzazione dei circuiti a partire da materiali CERAMICI

Vi sono due tecniche principali per la realizzazione dei circuiti a microstriscia a partire da materiali **ceramici**:

- La tecnica del film sottile
- La tecnica del film spesso
- **NB: si può utilizzare anche la tecnica fotolitografica ma non la microforgia**

### Tecnica del film sottile

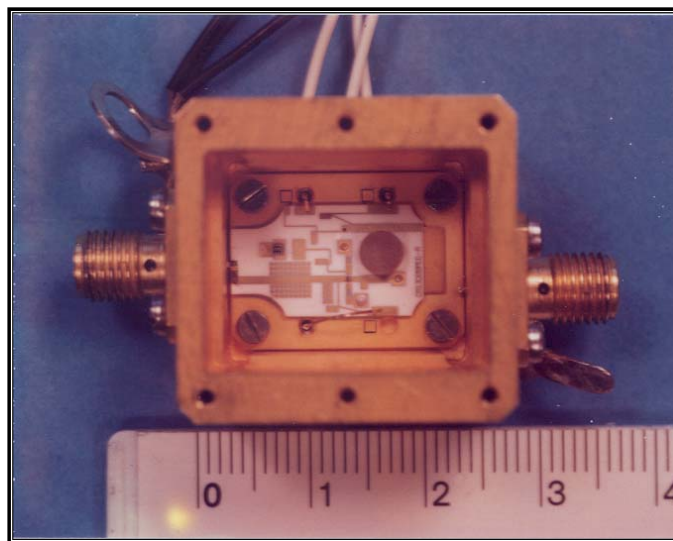
- Inizialmente si deposita sulla superficie del substrato dielettrico, per evaporazione o sputtering, un sottile strato di cromo (spessore 5-20 nm) che presenta delle buone caratteristiche di stabilità meccanica e di aderenza con il substrato stesso
- Si deposita un sottile strato di una miscela cromo-rame o cromo-oro con spessori di 5-20 nm
- Infine si realizza per evaporazione o sputtering o con deposizione elettrolitica lo strato conduttore (rame o oro) dello spessore finale desiderato
- Con un approccio simile possono essere anche depositati materiali resistivi o dielettrici per la realizzazione di resistenze e condensatori
- Per la definizione del circuito si utilizza il processo fotografico

## Tecnica del film spesso

La tecnica del film spesso è simile a quella della stampa serigrafica.

- Un sottile strato di fotoresist è disposto sopra un telaio rigido costituito da una maglia di acciaio con una densità variabile da 100 a 500 linee per pollice
- Si pone la maschera del circuito sopra il telaio e la si espone alla luce ultravioletta. Si rimuove il fotoresist
- Il telaio è piazzato sopra il substrato e viene spruzzato un inchiostro speciale in pasta contenete oro. La pasta è forzata con un rullo attraverso la maglia in modo che ricopra le zone del circuito da realizzare
- Il substrato è poi posto in un forno ed il metallo presente nella pasta si salda alla superficie del dielettrico

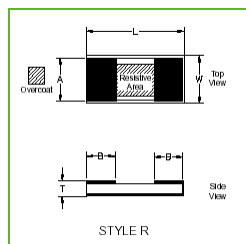
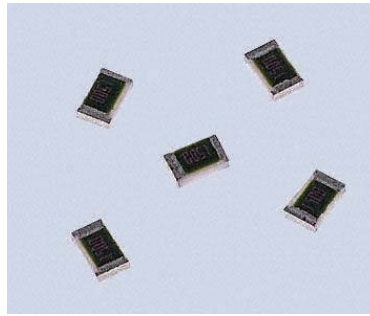
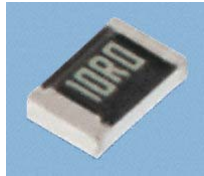
## Circuiti ibridi su materiali ceramici



# Resistenze (SMD)

0805 (2x1.25 mm)

0603 (1.5x0.75 mm)



# Condensatori ATC 100 A



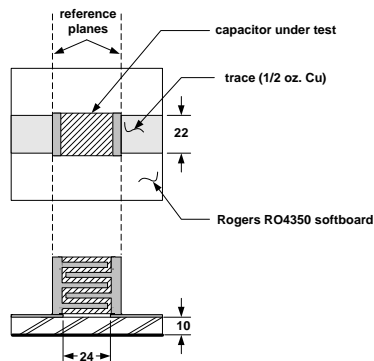
**ATC 100 SERIES PORCELAIN CAPACITORS<sup>®</sup> MLC'S**  
 These capacitors feature 100 pF to 10 nF capacitance and high performance. They are available with an overcoat option as noted below.  
 ATC 100 A MLC's - 0507 - 0509  
 • Capacitors Range 0.1 pF to 100 pF

ATC 100 A Capacitors: Mechanical Configurations

ALL DIMENSIONS IN MILS UNLESS NOTED OTHERWISE	ATC CODE	MIL. REF. CODE	CASE SIZE & TYPE	MATERIALS	DIMENSIONS				LEAD AND TERMINATION DIMENSIONS AND MATERIALS	
					LENGTH (L)	WIDTH (W)	THICKNESS (T)	OVERCOAT (OC)	TERMINATION	MATERIALS
	100A	TP	CCBR200	<p>Solder pads</p>	0.20 ±0.010 1.4 ±0.040 0.20	0.50 ± 0.010 1.4 ± 0.038 0.20	0.012 (1.45) mm	0.010 0.025 ±0.005 (0.13)	0.010 0.025 ±0.005 (0.13)	<b>SOLDER/PASTE</b> Actual barrier, solder paste Rogers 4350 prepreg termination on inner lead, high volume, tape to lead applications.
	100A	TP	CCBR200	<p>Overcoat</p>	0.20 ±0.010 1.4 ±0.040 0.20	0.50 ± 0.010 1.4 ± 0.038 0.20	0.012 (1.45) mm	0.010 0.025 ±0.005 (0.13)	0.010 0.025 ±0.005 (0.13)	<b>BARNEB/OSP</b> Nonconductive, no tin plated with the support of lead solder process. Solder, high temperature 265 °C, 10°C.
	100A	CA	CCBR100	<p>Overcoat</p>	0.08 ±0.005 1.4 ±0.030 0.20	0.05 ± 0.010 1.4 ± 0.038 0.20	0.012 (1.45) mm	0.010 0.025 ±0.005 (0.13)	0.010 0.025 ±0.005 (0.13)	<b>UNI-FLUX<sup>®</sup></b> NICKEL BARRIER GOLD PLATED TERMINATING

For a complete military catalog, request American Technical Ceramics document ATC 001202.  
<sup>®</sup> Replaces C Termination

All dimensions in mils



ORDER ON-LINE  
http://order.coilcraft.com

## Designer's Kits



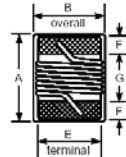
To help simplify your prototyping, we offer low-cost Designer's Kits for many of our products. Each contains an assortment of in-stock values along with detailed product specifications. We even provide free refiles for parts you use most often.

Coilcraft Designer's Kits can save you hours of searching or winding your own. They'll help you zero in on one of our off-the-shelf parts or give you a starting point for a custom design.

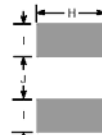
To order call 800-322-2645 or place your order on-line at <http://order.coilcraft.com>.



## Induttanze SMD o CHIP



Terminal wraparound:  
approx. 0.015/0.38 both ends



Recommended Land Pattern

### SMT Products

#### RF Chip Inductors

**0302CS Chip Inductors**  
Inductance: 0.67 nH - 34 µH  
35 values (10 of each)  
Kit C170 \$90 (5% tolerance)

#### 0402CS Chip Inductors

Inductance: 1 nH - 10 nH  
21 values (20 of each)  
Kit C128A-2 \$75 (2% tolerance)

#### Kit C128A-2 \$75 (2% tolerance)

Inductance: 11 nH - 65 nH  
22 values (20 of each)  
Kit C128B-2 \$75 (2% tolerance)

#### 0402PA High Current Chip Inductors

Inductance: 0.78 nH - 8.2 µH  
7 values (10 of each)  
Kit C173 \$40 (5% tolerance)

#### 0603CS Chip Inductors

Inductance: 1.6 nH - 30 nH  
26 values (10 of each)  
Kit C124A \$60 (5% tolerance)

#### Kit C124A-2 \$80 (2% tolerance)

Inductance: 33 nH - 30 nH  
22 values (10 of each)  
Kit C124B \$60 (5% tolerance)

#### Kit C124B-2 \$80 (2% tolerance)

#### 0603HC Chip Inductors

Inductance: 1.0 nH - 24 nH  
11 values (10 of each)  
Kit C139 \$40 (5% tolerance)

#### 0603LS Chip Inductors

Inductance: 47 nH - 10,000 nH  
29 values (10 of each)  
Kit C147 \$70 (5% tolerance)

#### 0604HQ High Q Chip Inductors

Inductance: 1.15 nH - 10.4 nH  
7 values (10 of each)  
Kit C151 \$40 (5% tolerance)

#### 0605CS Chip Inductors

Inductance: 2.5 nH - 620 nH  
37 values (10 of each)  
Kit C103 \$95 (5% tolerance)

#### Kit C103-2 \$115 (2% tolerance)

#### 0605HQ Chip Inductors

Inductance: 2.5 nH - 51 nH  
12 values (10 of each)  
Kit C125 \$40 (5% tolerance)

#### 0605HT Chip Inductors

Inductance: 1.5 nH - 500 nH  
27 values (10 of each)  
Kit C121 \$70 (5% tolerance)

#### 0605LS Chip Inductors

Inductance: 0.078 µH - 27 µH  
18 values (10 of each)  
Kit C154 \$45 (5% tolerance)

#### 1008CS Chip Inductors

Inductance: 10 nH - 520 nH  
39 values (10 of each)  
Kit C100 \$100 (5% tolerance)

#### Kit C100-2 \$120 (2% tolerance)

#### 1008HQ High Q Chip Inductors

Inductance: 3 nH - 100 nH  
14 values (10 of each)  
Kit C123 \$40 (5% tolerance)

#### Kit C123-2 \$60 (2% tolerance)

#### 1008HT Chip Inductors

Inductance: 3.3 nH - 560 nH  
26 values (10 of each)  
Kit C122 \$55 (5% tolerance)

#### 1008LS Chip Inductors

Inductance: 1.2 µH - 10 µH  
12 values (10 of each)  
Kit C136 \$40 (5% tolerance)

#### 1206CS Chip Inductors

Inductance: 3.3 nH - 1.2 µH  
31 values (10 of each)  
Kit C120 \$80 (5% tolerance)

#### QUANTITY DISCOUNTS

10% off any combination of 3 or more  
20% off any combination of 5 or more  
30% off any combination of 7 or more

Coilcraft

Specifications subject to change without notice. Document 125-1 Revised 03/19/04

1102 Silver Lake Road Cary, Illinois 60013 Phone 847/639-6400 Fax 847/639-1459  
E-mail [info@coilcraft.com](mailto:info@coilcraft.com) Web <http://www.coilcraft.com>

## TRANSISTORS

### case GaAsFet e Hemt

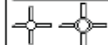
case 70 - 85 - 100 mil  
ceramico o plastico

refori corti



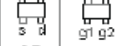
ATF ...35  
ATF ...84  
ATF ...76  
ATF ...77  
MGF 49...  
MGF 1903  
NE 32584  
AFM 04P3

refori lunghi



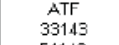
CFY 15  
HFET 1102  
MGF 1302  
MGF 1303  
MGF 1412  
NE 32183  
2SK 671

case SOT143



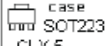
CF 739  
NE 25129  
case nom.  
case reverse

case SOT343



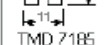
ATF 33143  
54143

case CLY 2



case SOT223  
CLY 5  
CLY 10  
CLY 15  
KGF 1323

case TMD 7185



MGF 2407  
MGF 2415  
MGF 2430  
MWT 271

FLU10XM

MGF 1801 B (normale)

MGF1801 special  
FLC252 FLX102  
MGF 2445

MGF 0904  
MGF 0905  
FLL...ME

MGF 0906  
MGF 0907

FLM... 4W  
MGFC... 8W

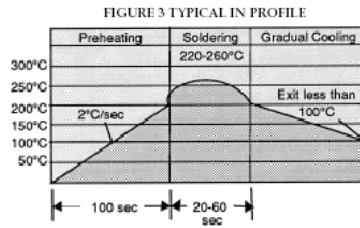
FLM... 12 W  
MGFC... 24W

MC 6884

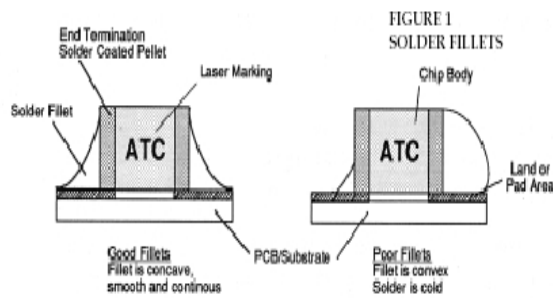
R.F. elettronica di Rota F. [www.rfmicrowave.it](http://www.rfmicrowave.it) [info@rfmicrowave.it](mailto:info@rfmicrowave.it) tel ++39.02.99 48 75 15 fax ++39.02.99 48 92 76



# Tecniche di saldatura

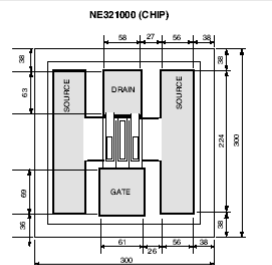


Forno ad infrarossi  
TWS 800

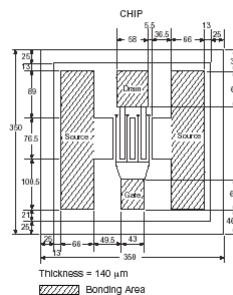


# Transistor nudo

CHIP DIMENSIONS (Units in  $\mu\text{m}$ )



OUTLINE DIMENSIONS (Units in  $\mu\text{m}$ )



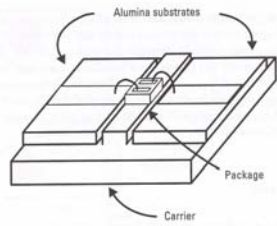


Figure 8.5 The package mounted to a copper carrier. Two alumina substrates hold input and output microstrip lines.

## Wire bond

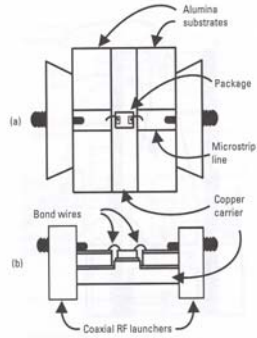
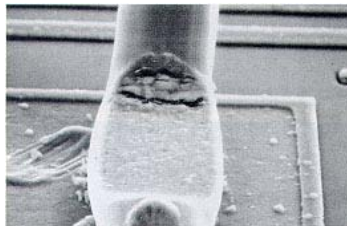


Figure 8.6 (a) Top and (b) side views of the carrier assembly and coaxial RF launchers. The package can be grounded by bonding to the center of the carrier.

## Wire bond



# TRANSISTOR

Figure di merito

BJT

MESFET

HBT

HEMT

## Figure di merito

$$P_m f_T^2 = \frac{1}{X_c} \left( \frac{E_m v_{tm}}{2\pi} \right)^2$$

$P_m$  = massima potenza che può essere erogata dal transistor

$f_T = 1/2\pi\tau = v_{tm}/2\pi L$  = frequenza di taglio del dispositivo

$\tau$  = tempo di transito dei portatori attraverso la regione attiva

$L$  = lunghezza regione attiva

$v_{tm}$  = velocità massima dei portatori

$E_m$  = massimo campo elettrico applicabile prima del  
breakdown

$X_c = 1/2\pi f_T C_c$  è la reattanza associata alla giunzione in cui  
si verifica il breakdown.

## Valori tipici

$v_{tm} = 0.6 \times 10^7$  cm/s nel germanio

$v_{tm} = 1.0 \times 10^7$  cm/s nel silicio

$v_{tm} = 2 \times 10^7$  cm/s nell'arseniuro di gallio

$v_{tm} = 5.5 \times 10^7$  cm/s nel 2-DEG delle eterogiunzioni

Il campo elettrico di breakdown è legato all'ampiezza della banda proibita

$E_G = 0.66$  eV nel germanio

$E_G = 1.12$  eV nel silicio

$E_G = 1.43$  eV nell'arseniuro di gallio

$E_G = 1.65$  eV nell'AlGaAs

## Tecnologia

accanto a queste considerazioni generali vanno tenuti in conto altri aspetti quali la capacità a dissipare potenza dei materiali e lo stato della tecnologia.

Con riferimento al primo punto il parametro saliente è la conducibilità termica rispetto alla quale il materiale migliore è il silicio, mentre per quanto riguarda il secondo punto ancor oggi la tecnologia più evoluta è quella del silicio.

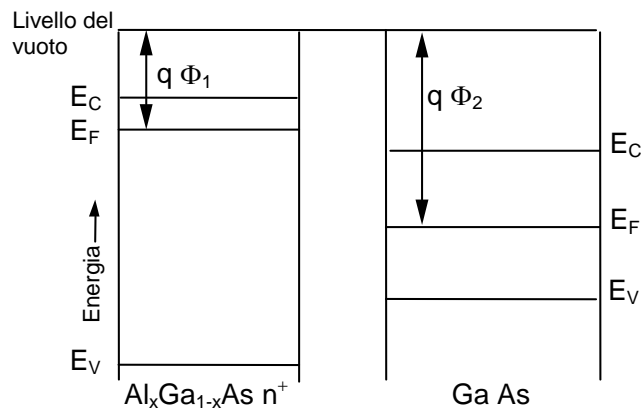
## Conclusioni

Il transistor bipolare (BJT) è il dispositivo maggiormente utilizzato fino a circa 4 GHz

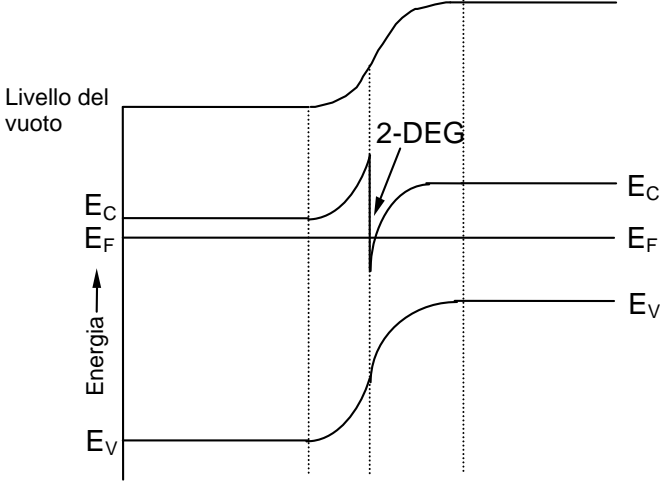
Il MESFET domina tra 4 e 20 GHz

Per applicazioni a frequenze superiori si stanno sempre più diffondendo i dispositivi ad eterostruttura (HEMT).

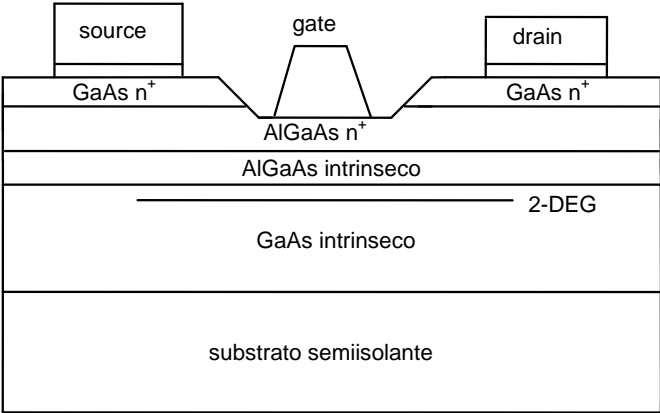
## Eterogiunzioni



# 2-DEG



# HEMT



# TRASFORMATORI E MIXERS

## TRASFORMATORI HF

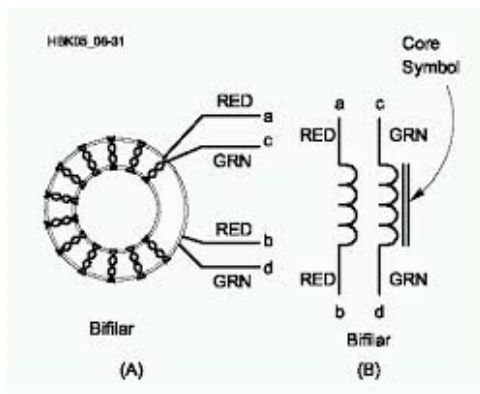
DIFFERISCONO DA QUELLI A 50 Hz perché:

- Si usa la ferrite come materiale magnetico
- La lunghezza dei fili deve essere una piccola frazione della lunghezza d'onda ( $< 10\%$ )
- Operano in banda HF su diverse decadi

Si usano come ADATTATORI DI IMPEDENZA e come BALUN (da bilanciato a sbilanciato tra antenna e cavo TV da sbilanciato a bilanciato all'ingresso dei diodi di un mixer.

# TRASFORMATORI HF

## Bifilar windings



# TRASFORMATORI HF

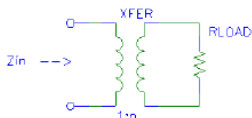
## Bifilar windings

$$V_1 = -N_1 \frac{d\Phi}{dt}$$

$$V_2 = -N_2 \frac{d\Phi}{dt}$$

$$\longrightarrow \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{1}{n} \quad P_{IN} = P_{OUT} \longrightarrow \frac{I_1}{I_2} = -n$$

$$V_2 = -R_{LOAD} I_2$$



$$V_1 = \frac{V_2}{n} = -\frac{R_{LOAD} I_2}{n} = \frac{R_{LOAD} I_1}{n^2} \longrightarrow Z_{IN} = \frac{V_1}{I_1} = \frac{R_{LOAD}}{n^2}$$



## TRASFORMATORI HF

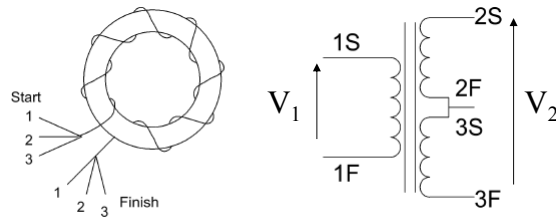


Figure 4. Trifilar winding diagram.



Figure 5. A trifilar wound RF Transformer

## TRASFORMATORI HF

$$V_1 = -N_1 \frac{d\Phi}{dt} \quad V_2 = -2N_1 \frac{d\Phi}{dt}$$

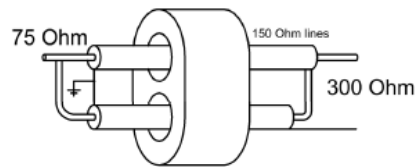
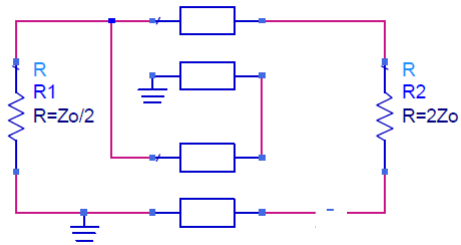
$$\longrightarrow \frac{V_1}{V_2} = \frac{1}{2} \quad \text{da } P_{IN} = P_{OUT} \longrightarrow \frac{I_1}{I_2} = -2$$

$$V_2 = -R_{LOAD} I_2$$

$$V_1 = \frac{V_2}{2} = -\frac{R_{LOAD} I_2}{2} = \frac{R_{LOAD} I_1}{4} \longrightarrow Z_{IN} = \frac{V_1}{I_1} = \frac{R_{LOAD}}{4}$$

Trasformatore 1:4 (balun) da antenna ( $300\Omega$ ) a cavo coassiale ( $75\Omega$ )

## TRASFORMATORI VHF-UHF



## TRASFORMATORI VHF-UHF

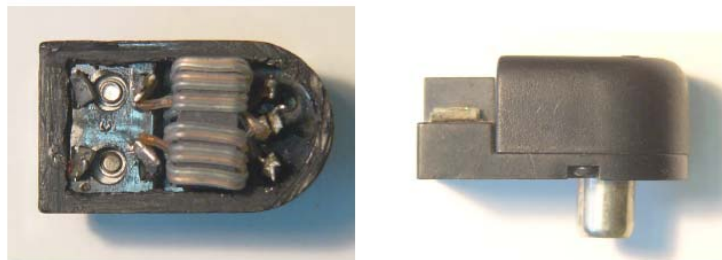


Figure 8. TV Balun using Ferrite RF transformer and transmission line windings.

# Mixer con Diplexer

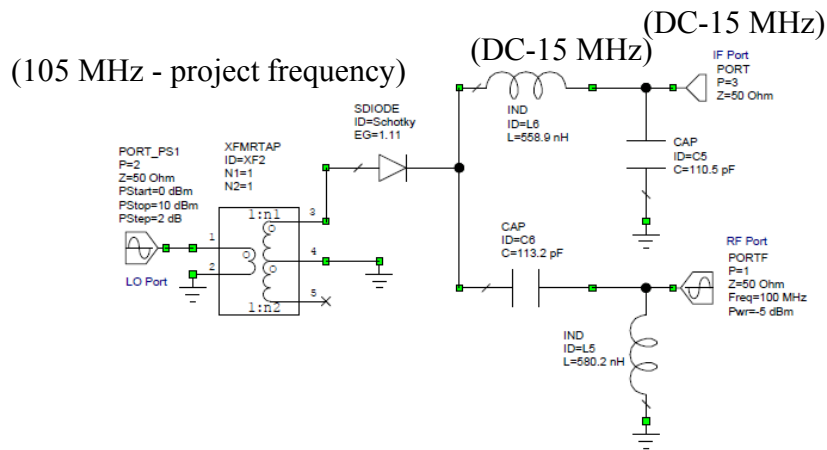
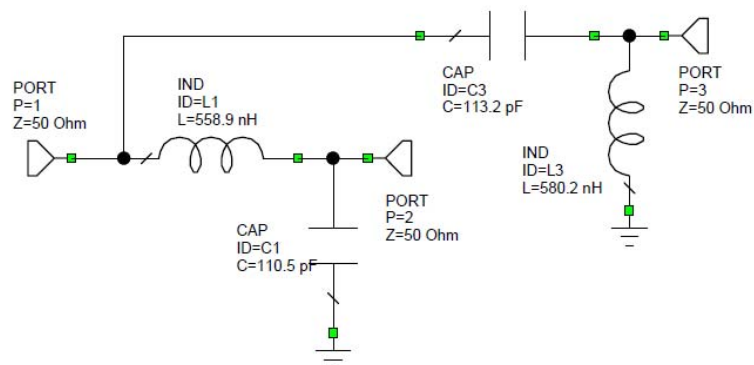


Figure 8. Circuit diagram of a single diode mixer as a down-converter.

# Diplexer per mixer



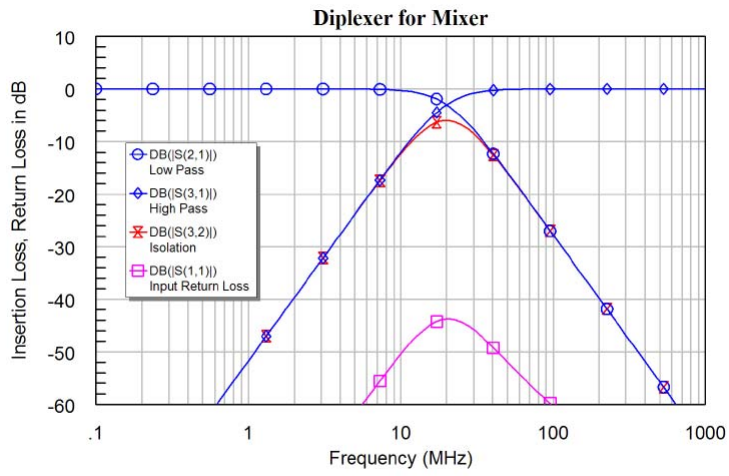


Figure 7. Frequency response of diplexer after optimisation.

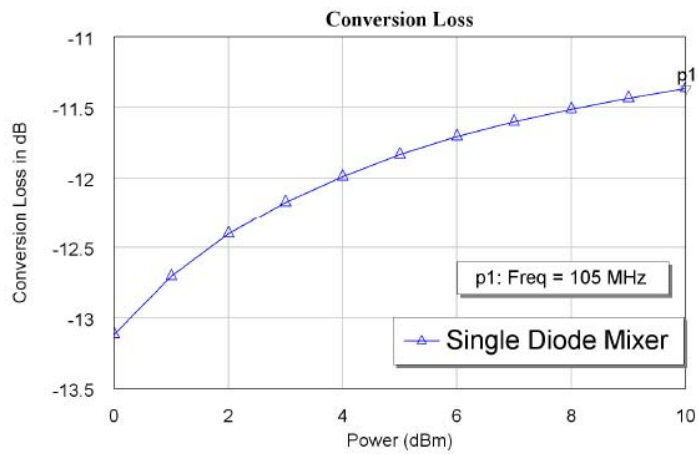


Figure 11. Conversion loss of a single diode mixer.

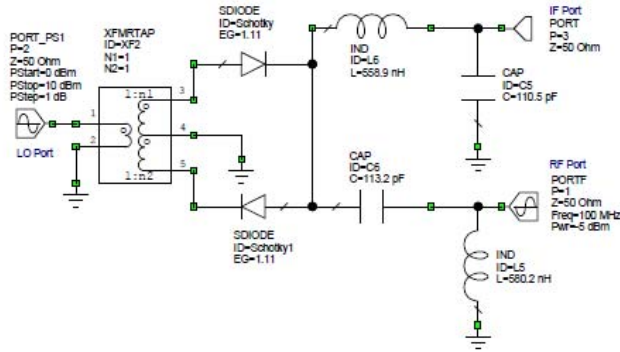


Figure 19. Circuit diagram of a balanced mixer.

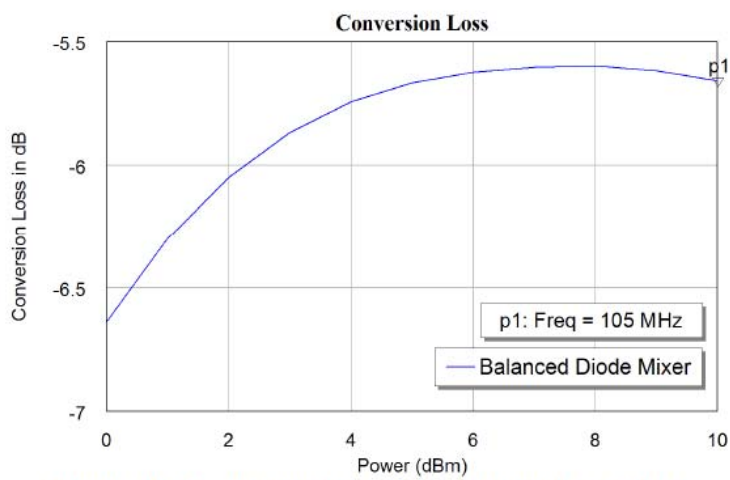
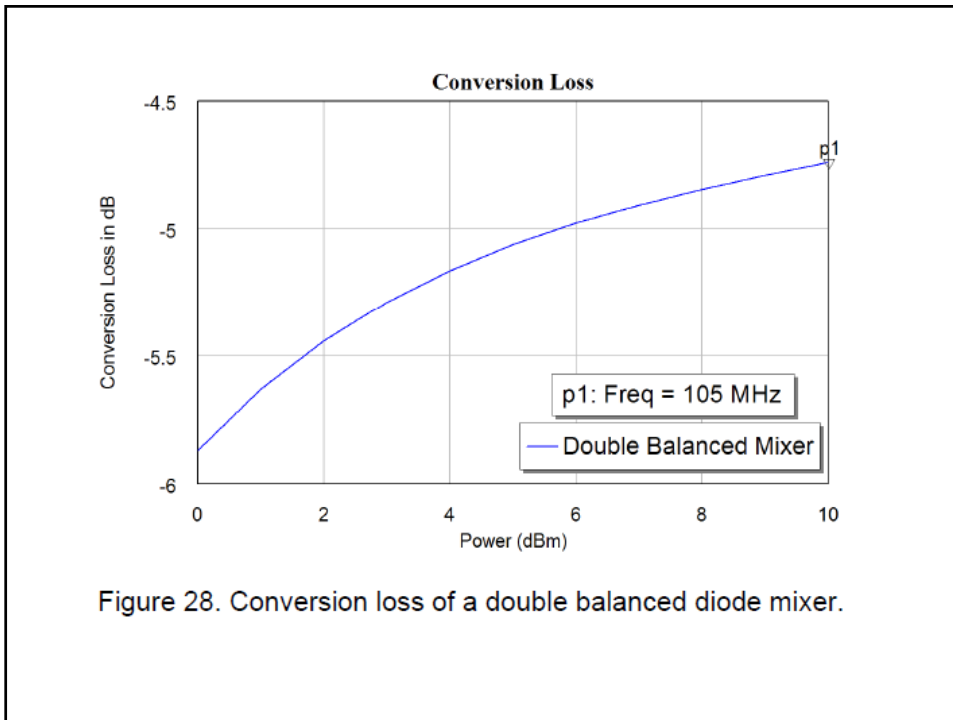
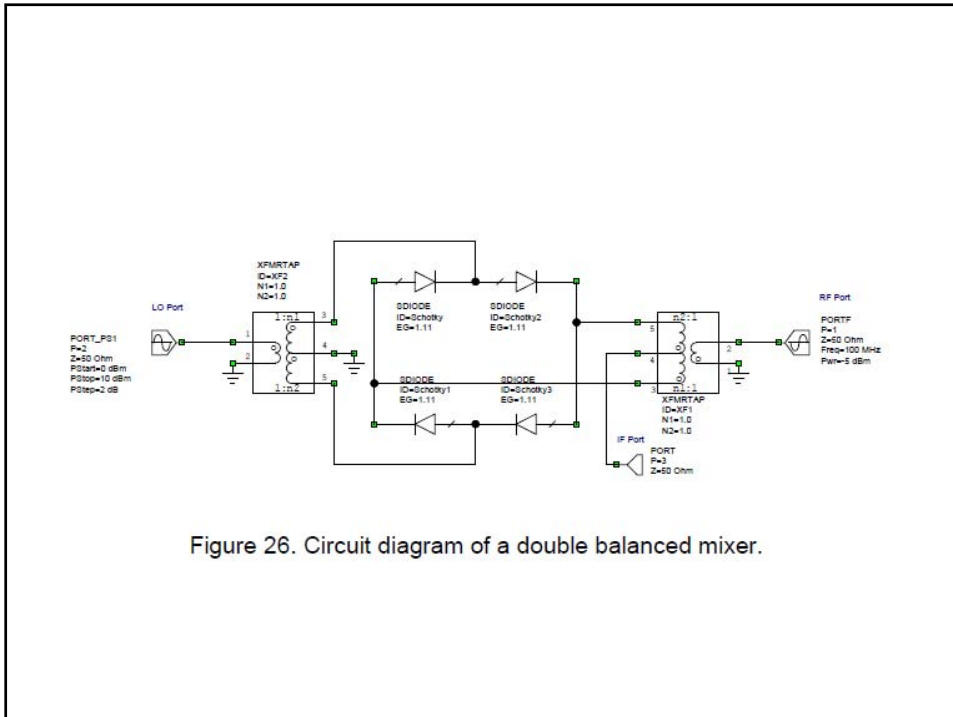


Figure 20. Conversion loss of a balanced diode mixer.

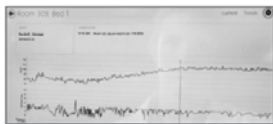


## SISTEMI ELETTRONICI A RF

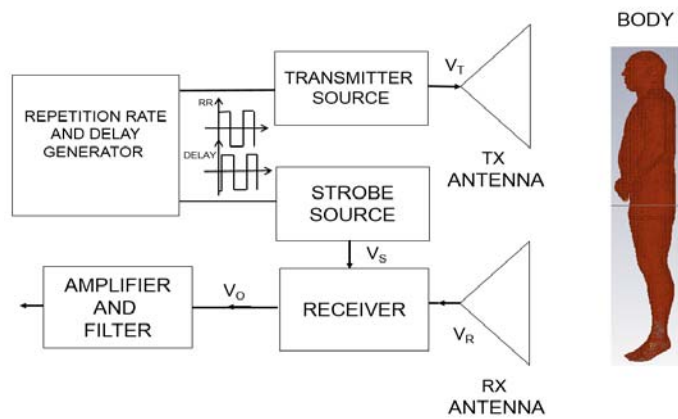
	HF	VHF-UHF	MICROONDE
OSCILLATORI	COLPITTS QUARZO	COLPITTS CRO	CRO DRO
AMPLIFICATORI			
Alto Guadagno	Elettronica II	Elettronica II	ADATTAMENTO REATTIVO
Basso Rumore	Elettronica II	Elettronica II	ADATTAMENTO REATTIVO
Alta Potenza	TRASFORMATORE HF	TRASFORMATORE VHF UHF	ADATTAMENTO REATTIVO
MIXER	Diodi Schottky Diplexer	Diodi Schottky Diplexer	DIODO SCHOTTKY IBRIDO A 180°
	TRANSISTORS	TRANSISTORS	TRANSISTORS
FILTRI	LUMPED	LUMPED (SMD)	MICROSTRISCIA
MODULATORI, DEMODULATORI <b>ESERCITAZIONI CAD (MICROWAVE OFFICE) SU TUTTI I CIRCUITI</b>			

## Radar in medicina

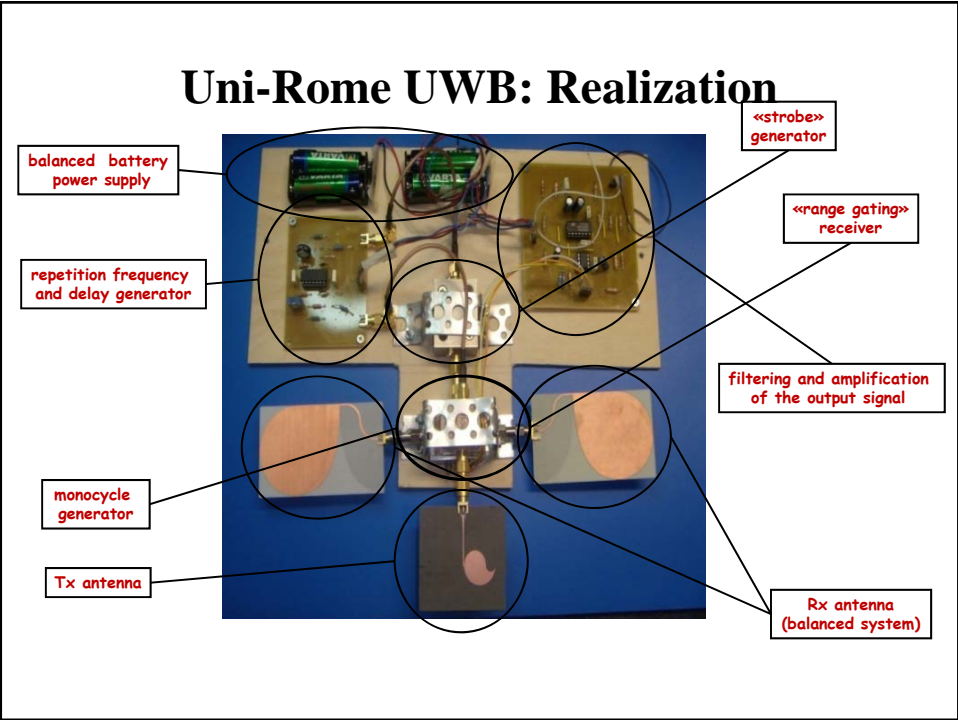
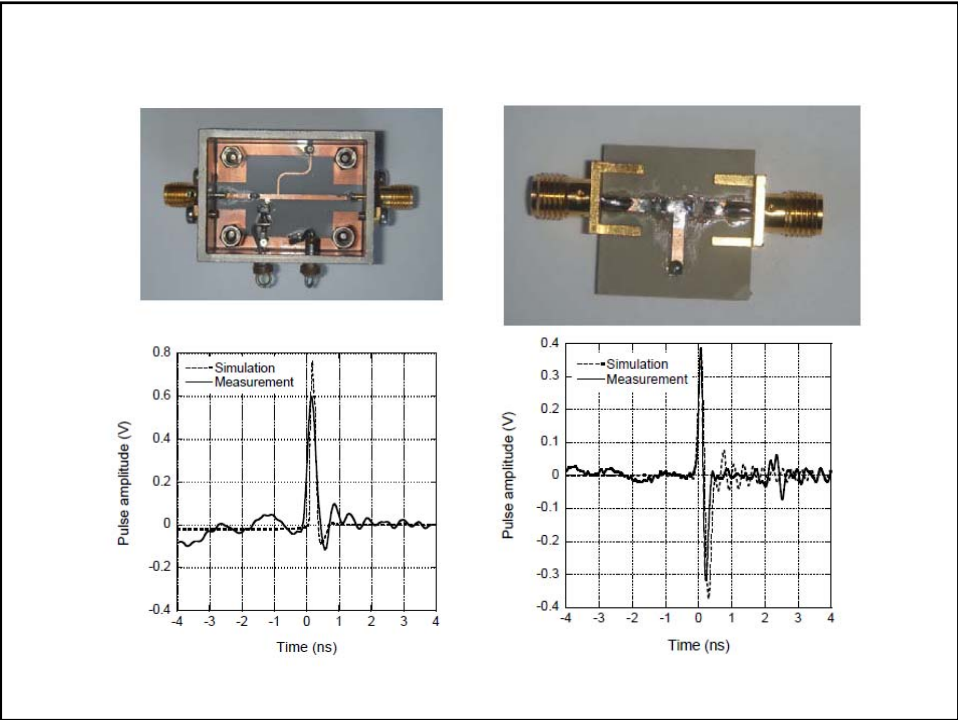
- Monitoraggio continuativo e remoto di parametri vitali
  - attività cardio respiratoria (ospedali o a casa)
  - attività cardio respiratoria (persone sotto macerie)
- Diagnostica medica
  - Lesioni tumorali
  - Presenza di liquidi nei tessuti biologici



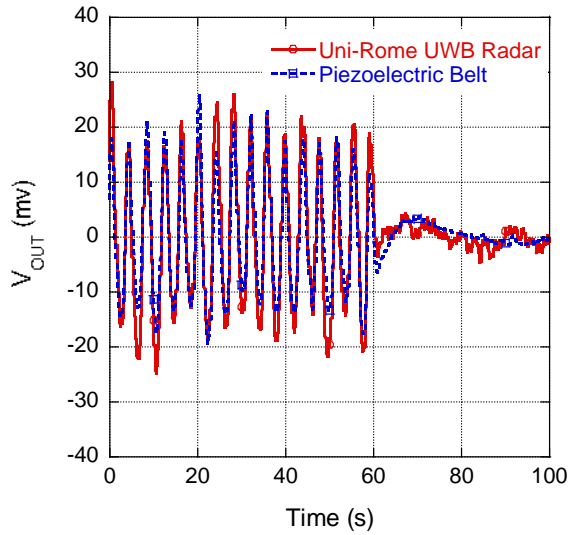
## Radar UWB





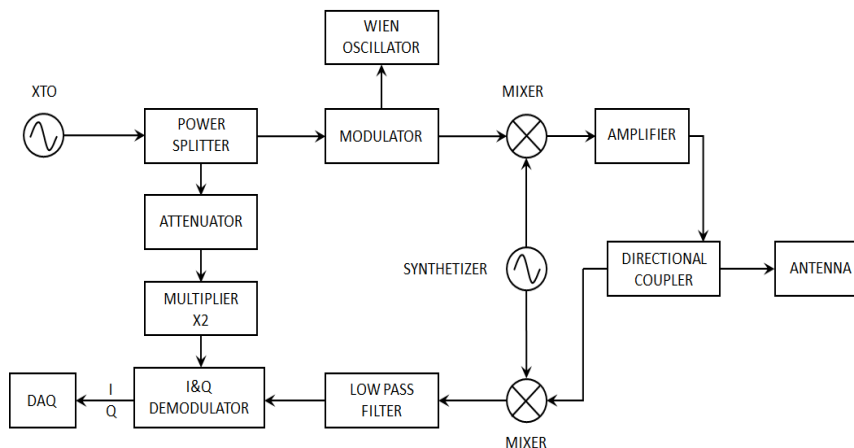


## Uni-Rome UWB RADAR: breathing

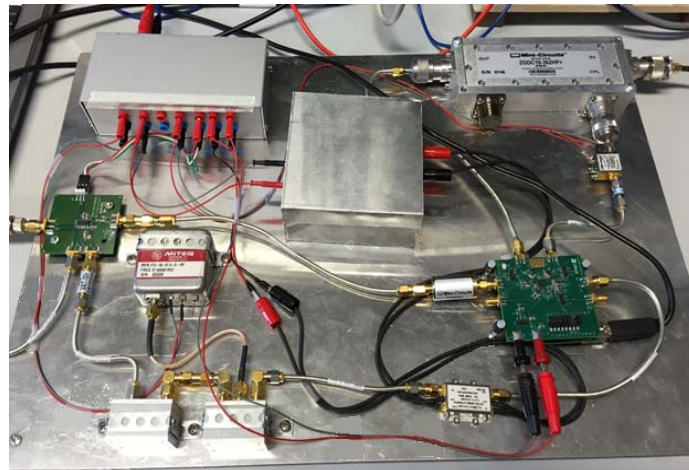


Breath activity of a subject placed 25 cm far from the RADAR antennas

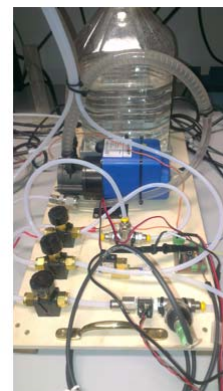
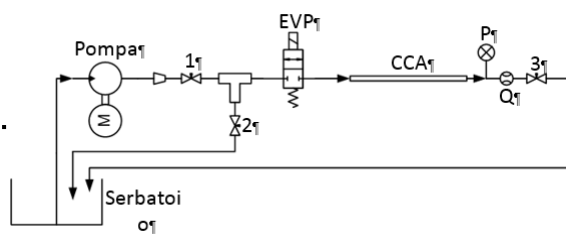
## RADAR CW con banda laterale doppia



# CW radar - Realizzazione

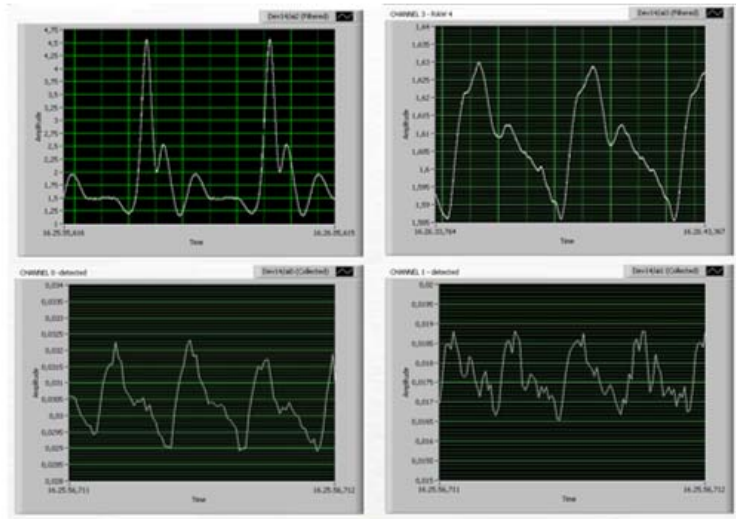


# Sistema idraulico – simulatore di carotide

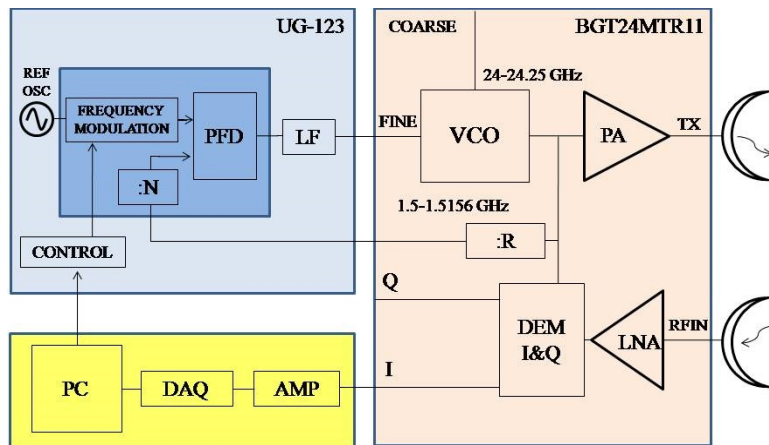


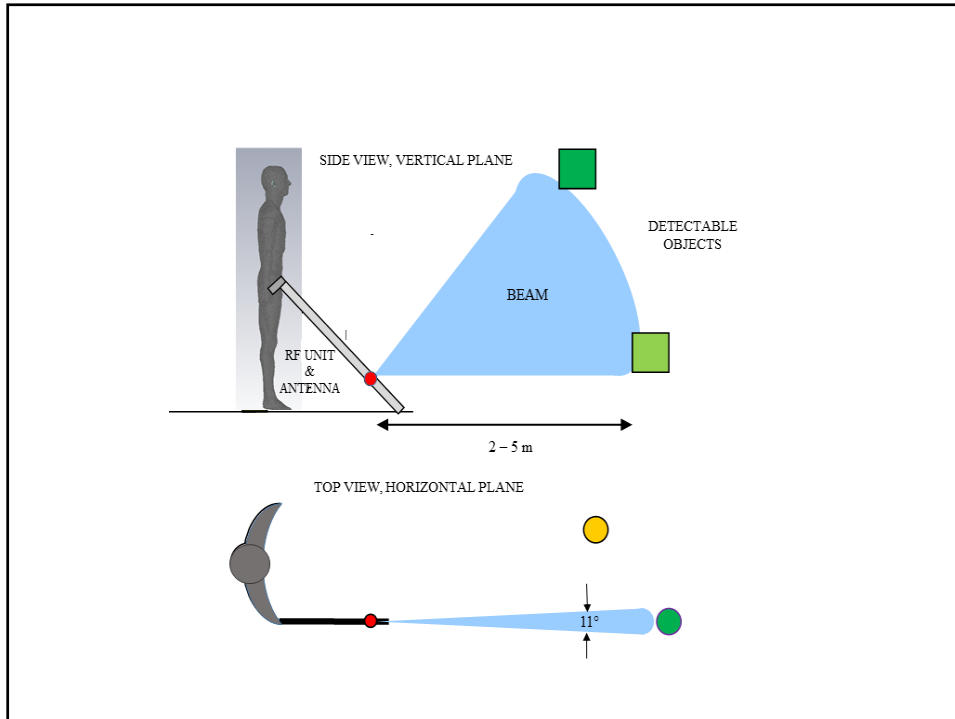
ACCA = Arduino Controlled Common Artery model

# Misure

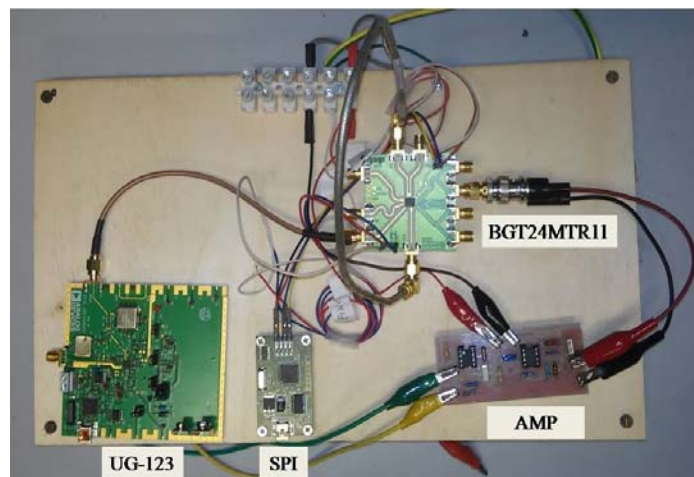


# Radar FMCW

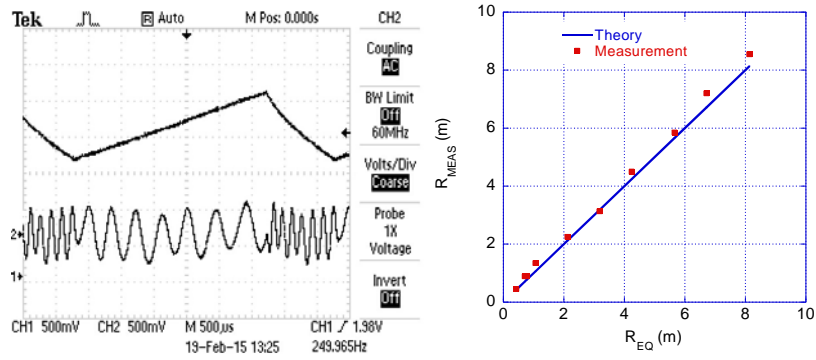




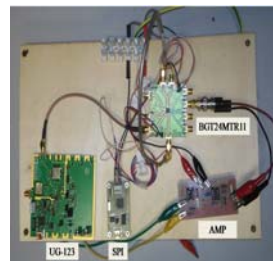
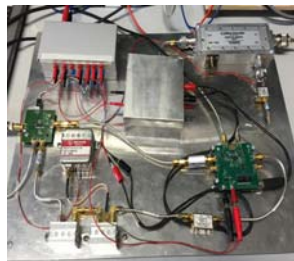
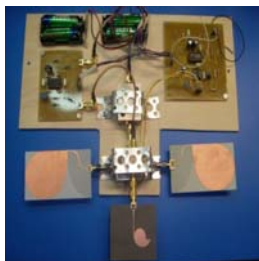
## FMCW radar - Realizzazione



# Misure



## Laboratorio M&C Microonde e Compatibilità EM



STRUMENTAZIONE E TECNICHE PER LA DIAGNOSTICA



RMN



ECOGRAFIA



MONITOR



EIT



RADAR