

# *La tecnologia RFID*

*Fondamenti fisici, limiti tecnologici  
e prospettive future*



Courtesy of Prof. Gaetano Marrocco,  
Dipartimento di Informatica Sistemi e Produzione  
**Università di Roma "Tor Vergata"**  
Tel. 06-72597418, [marrocco@disp.uniroma2.it](mailto:marrocco@disp.uniroma2.it)  
[http://alab3.disp.uniroma2.it/Alab\\_home.htm](http://alab3.disp.uniroma2.it/Alab_home.htm)



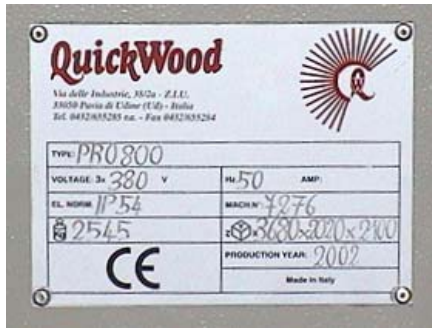
# Sommario<sup>2</sup>

- *Prospettiva storica*
- *Classificazione dei sistemi RFID*
- *Componenti tecnologici dei sistemi RFID*
- *Prestazioni e limiti energetici*
- *Applicazioni*



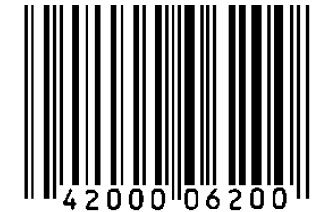
## all'identificazione a microonde

### Etichetta stampata



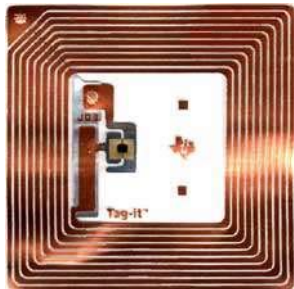
Accessibilità  
**diretta**  
all'informazione

### Barcode



- **Indirizzamento indiretto** dell'informazione
- Codice binario
- Lettura ottica con scanner laser
- Distanza di lettura: pochi cm

### Radio Frequency Identification RFID



Lettura dati tramite onde radio

### Magnetic & Smart Cards



- Immagazzinamento ed elaborazione elettronica di dati
- Lettura tramite contatto galvanico o induzione magnetica
- Energia fornita dall'esterno

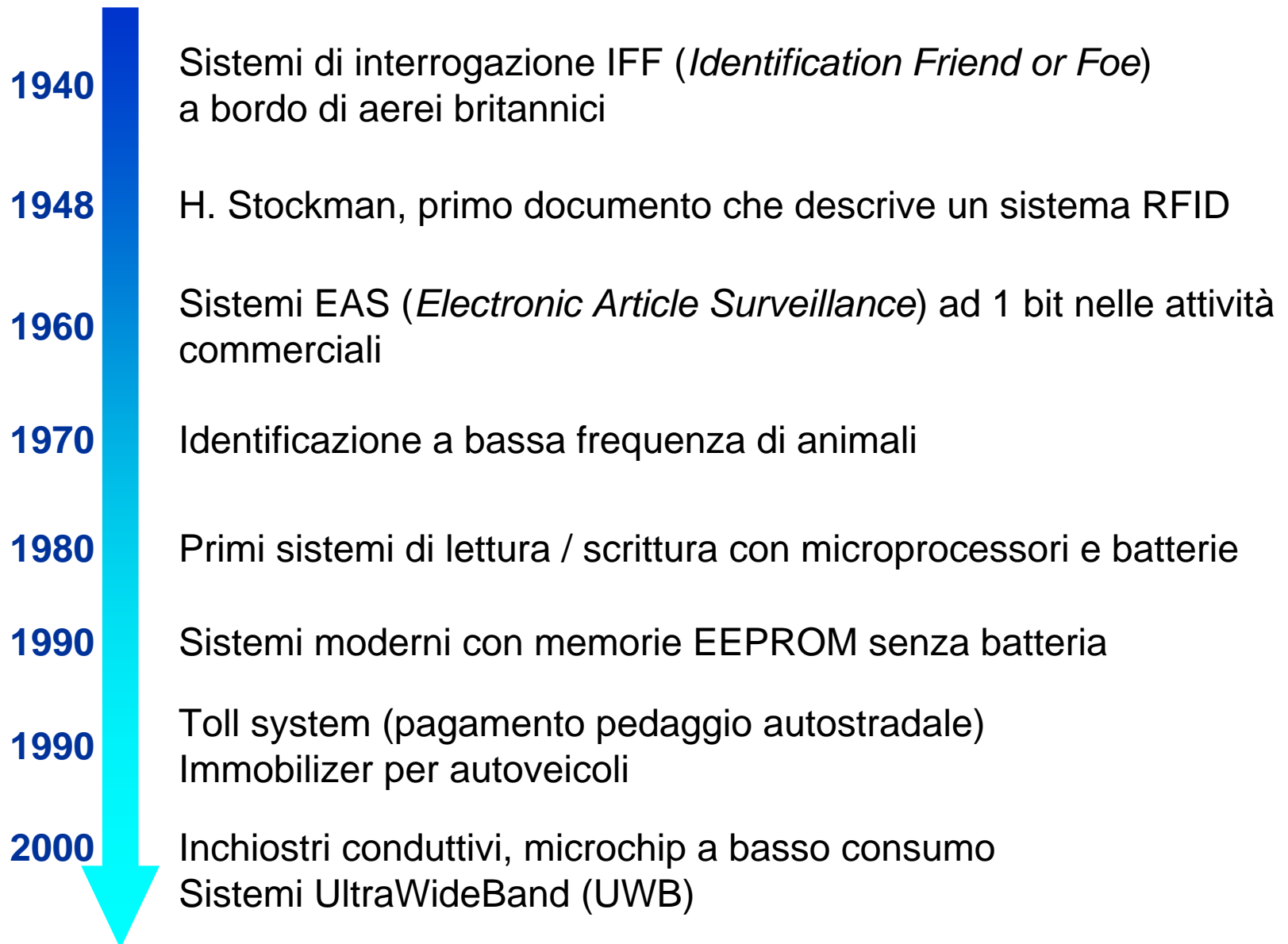


# Barcode vs. RFID

System Parameters	Barcode	RFID system
Data quantity (bytes)	1-100	16-64k
Data density	Low	Very high
Machine readability	Good	Good
People readability	Limited	Impossible
Influence of dirty/damp	Very high	No influence
Influence of covering	Total failure	Moderate
Data carrier cost	Very low	Medium
Reading electronic cost	Low	Medium
Unauthorized copying/modification	Slight	Almost impossible
Multiple reading	No	Yes
Reading speed	Low	Very fast
Maximum distance between data carrier and reader	50cm	6m



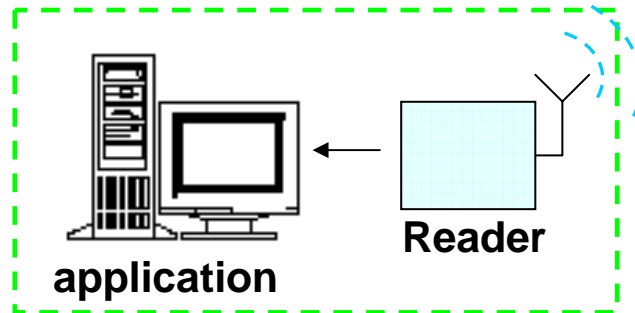
# RFID Timeline



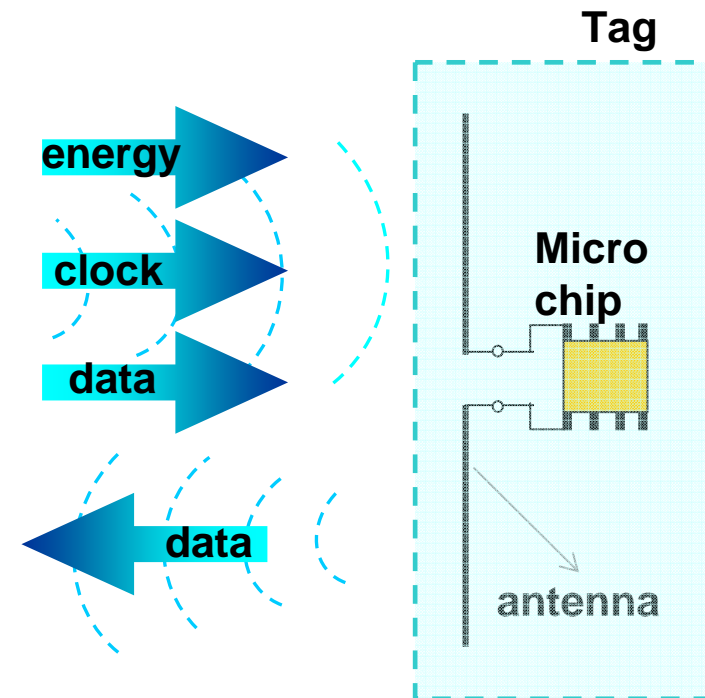


# Componenti di un sistema RFID

Un **transponder** è un ricetrasmittitore che invia un segnale radio in risposta ad un comando ricevuto da una stazione remota



**Reader:** dispositivo di lettura con modulo di elaborazione dati e antenna per la generazione del campo elettromagnetico interrogante il tag



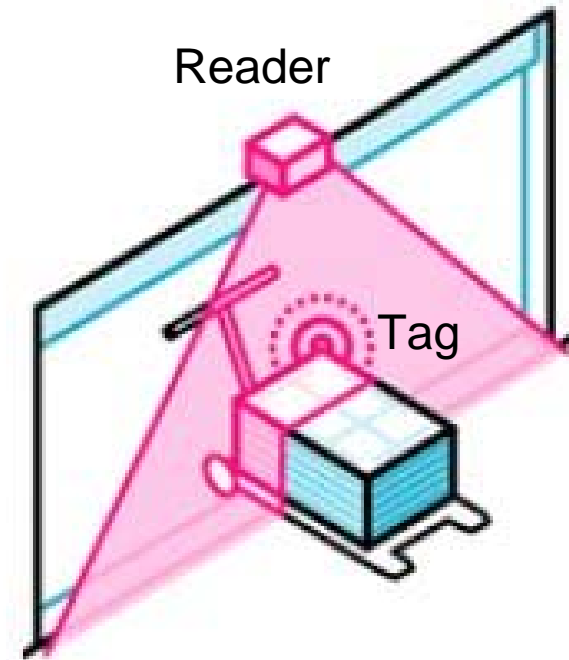
**Tag:** dispositivo posto sull'oggetto da identificare costituito da:

- un'antenna per la rice-trasmissione del campo del reader,
- un chip, per la gestione della comunicazione e dell'identificazione
- un supporto che sostiene / protegge il sistema



# *Principio di funzionamento*

Quando il tag transita attraverso il campo e.m. prodotto dal reader viene attivato il trasferimento dell'informazione, modulando con i dati il segnale radio inviato indietro verso il reader



## **Vantaggi:**

- non necessaria visibilità ottica fra reader e tag,
- elevate distanze e velocità di lettura
- lettura contemporanea di più tag
- sicurezza e riprogrammabilità dei dati



# Classificazione dei tag <sup>8</sup> - alimentazione

**Attivi:** hanno una fonte di alimentazione indipendente dal reader e la capacità di trasmettere senza essere interrogati

- Grandi distanze (100m - 1km)
- È richiesta una batteria
- Costi elevati
- Autonomia limitata

**Semi-passivi:** hanno una fonte di alimentazione indipendente dal reader ma trasmettono solo se interrogati

- Medie distanze (decine di metri)
- È richiesta una batteria
- Costi medi
- Elevata autonomia

**Passivi:** sono alimentati dalla potenza irradiata dall'antenna del reader quando questo li interroga

- Piccole distanze (< 10m)
- Costi bassi





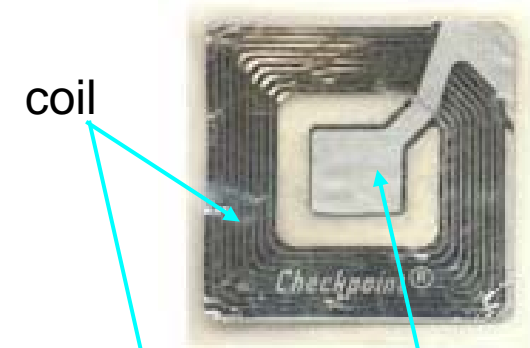
# Classificazione dei tag <sup>9</sup> - memoria (I)

**Tag a bit unico:** sono impiegati nei sistemi EAS (antitaccheggio)

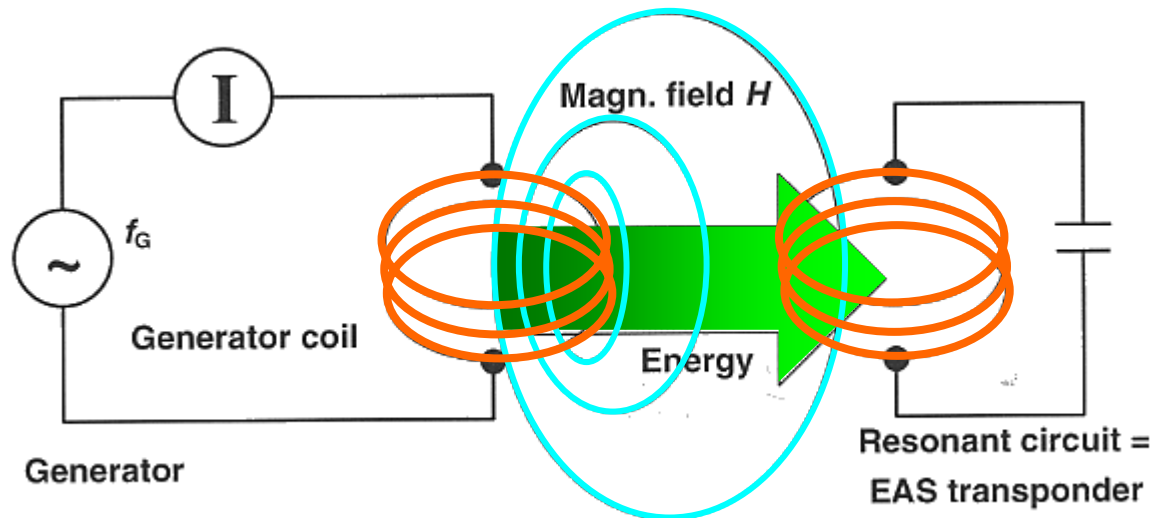
**ON:** tag presente nel campo del reader

**OFF:** tag assente dal campo del reader

- Realizzato con materiale magnetico (strisce o microfibre)
- Disattivazione con un forte campo magnetico che “brucia” il condensatore
- Difficoltà a rilevare più tag che transitano contemporaneamente



capacitor



Sul generatore del varco si avverte una brusca variazione di corrente





# *Classificazione dei tag*<sup>10</sup> *- memoria (II)*

## **Tag con memoria:**

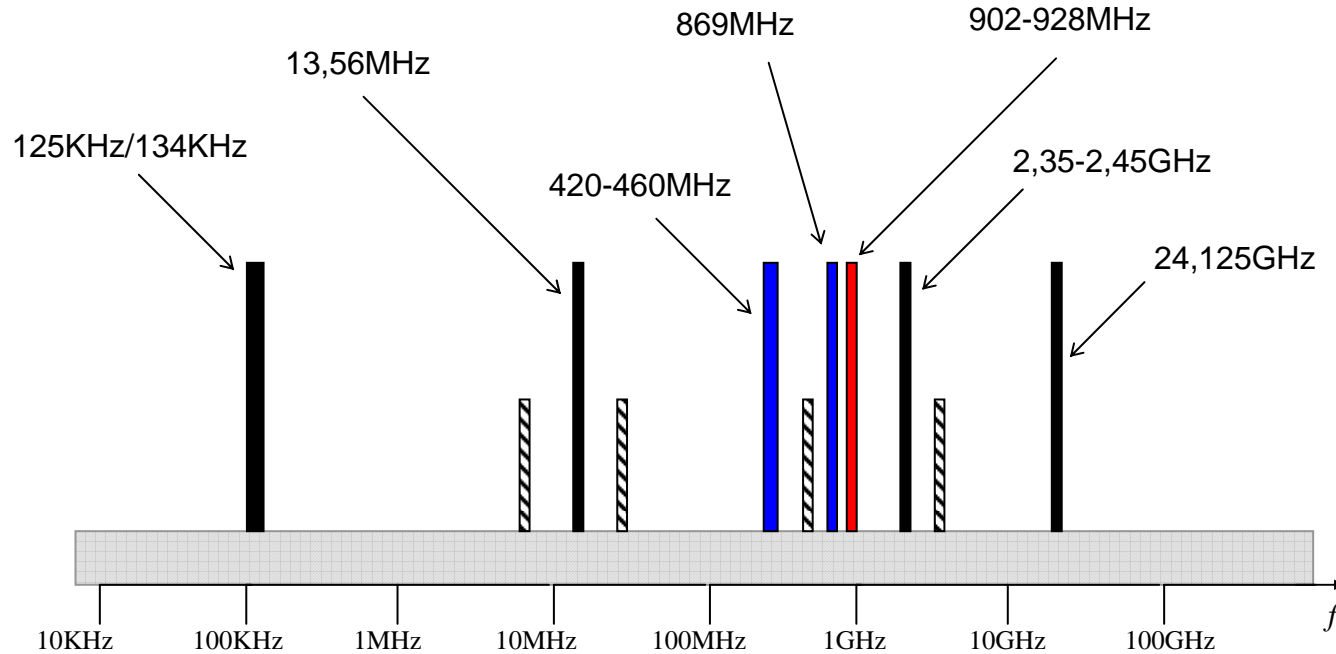
*Read only:* codice programmato in fase di realizzazione

*Read / Write:* il dato del tag può essere modificato in modo dinamico

- La memoria può essere mantenuta con una batteria o con altri meccanismi
- **Circuito di Ricezione:** per identificare i segnali provenienti dal reader
- **Unique Identifier (UId):** il reader identifica il tag tra i tanti presenti (**anticollisione**)
- **Circuito di sincronizzazione** fra i clock: accordo tra la velocità di scambio dati
- Circuiti di **modulazione / demodulazione**



# Classificazione dei tag <sup>11</sup> - frequenza (I)



- Applicazioni RFID internazionali
- Applicazioni RFID in Europa
- Applicazioni RFID in America
- ▨ Applicazioni RFID locali



# Classificazione dei tag<sup>12</sup> - frequenza (II)

frequenza	applicazione	
125(*) kHz 134 kHz	<ul style="list-style-type: none"> <li>controllo accessi, controllo di animali</li> <li>sistemi antifurto di bloccaggio delle automobili.</li> <li>velocità di trasmissione 10 kbps.</li> <li>interferenze dai monitor e dalle installazioni industriali.</li> </ul>	↑ Accoppiamento Magnetico (induttivo) ↓
1.95 3.25 MHz 4,75 / 8,2 MHz	<ul style="list-style-type: none"> <li>etichette EAS nei depositi di vendita al minuto</li> </ul>	
13.56(*) MHz (banda ISM)	<ul style="list-style-type: none"> <li>transponders read only, read/write e EAS.</li> <li>velocità di trasmissione 100 kbps.</li> <li>interferenze da altri utenti della banda ISM entro un raggio di qualche metro.</li> </ul>	
420-460 MHz 869 MHz	<ul style="list-style-type: none"> <li>identificazione di veicoli (ferrovie)</li> <li>Identificazione di oggetti in movimento</li> </ul>	↑ Accoppiamento Elettromagnetico ↓
2.35-2.45(*) GHz	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tag generalmente attivi.</li> </ul>	
5.4 -5.9 GHz	<ul style="list-style-type: none"> <li>controllo veicolare e applicazioni future</li> </ul>	
24.125 GHz	<ul style="list-style-type: none"> <li>sistemi di allarme, misuratori di velocità, aperture automatiche</li> </ul>	

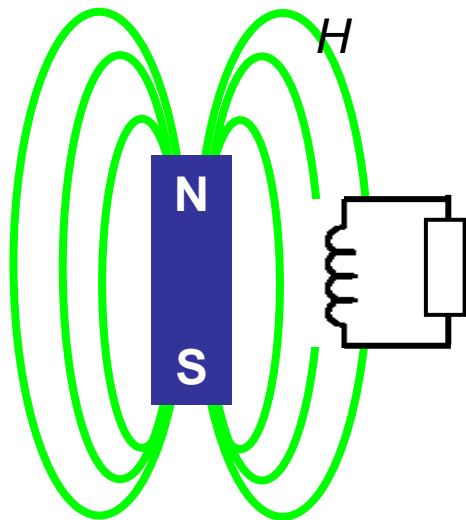
Il BitRate aumenta

(\*) **standard mondiali**



# Classificazione dei tag - tipologia del collegamento

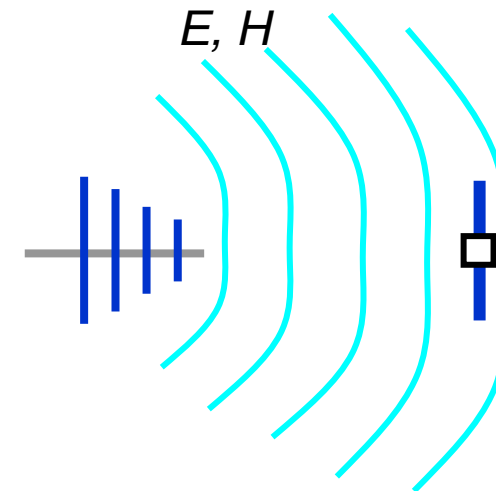
## Accoppiamento Magnetico



125 kHz – 13.56 MHz

125 kHz	0.05 m
13.56 MHz	0.5 m

## Accoppiamento Elettromagnetico



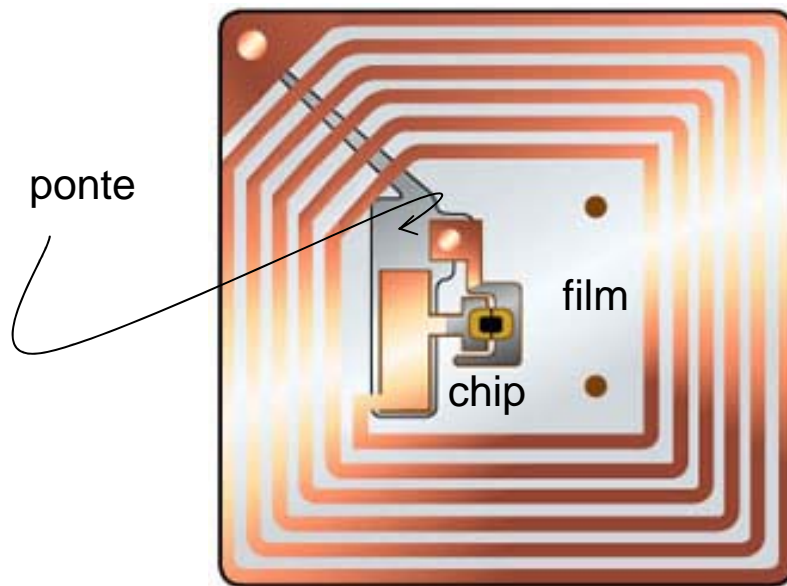
400 MHz – 2450 MHz

860 - 930 MHz	4-10 m
2450 MHz	1 m

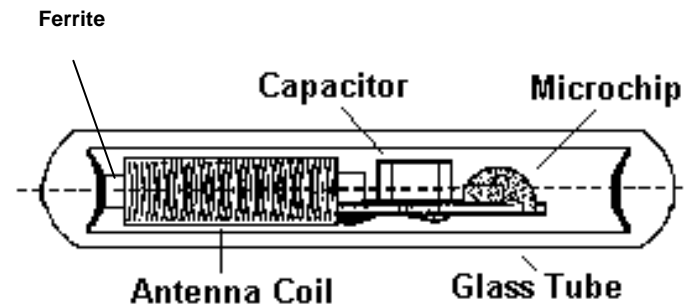


# *- accoppiamento magnetico*

- I sistemi RFID a  **$f < 100\text{MHz}$**  si basano su un accoppiamento magnetico fra reader e tag
- I tags sono tipicamente passivi con **antenne a coil** realizzate stampando le spire su un film sottile e flessibile oppure con un avvolgimento intorno ad un nucleo di ferrite



Avvolgimento (coil)



Small Glass Ampoule Tag  
3mm x 13mm  
120 - 150 kHz  
Read range < 4cm  
Price 2\$

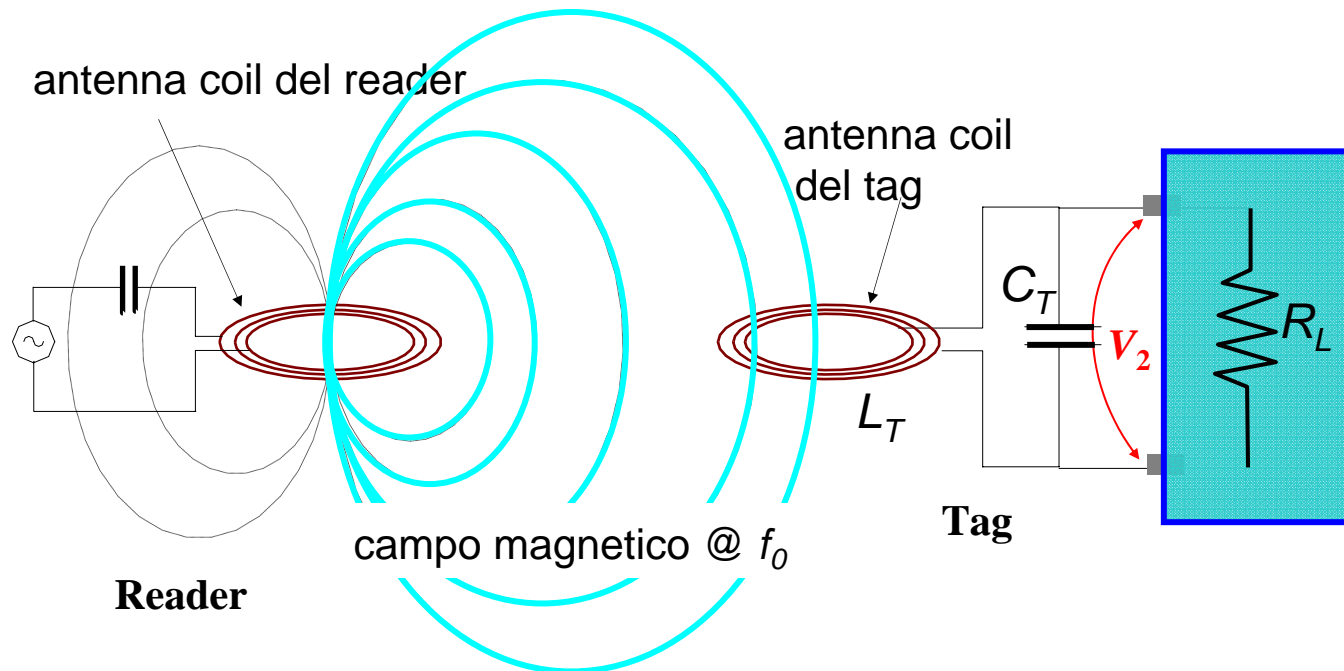




# Tag ad accoppiamento magnetico

## - funzionamento (I)

Quando il tag transita attraverso il campo magnetico vicino del reader, ai terminali del coil viene indotta una tensione in grado di attivare il chip



Il massimo accoppiamento tra i due coil si ha quando l'antenna ricevente è sintonizzata alla portante ( $f_0$ ) irradiata dal reader.

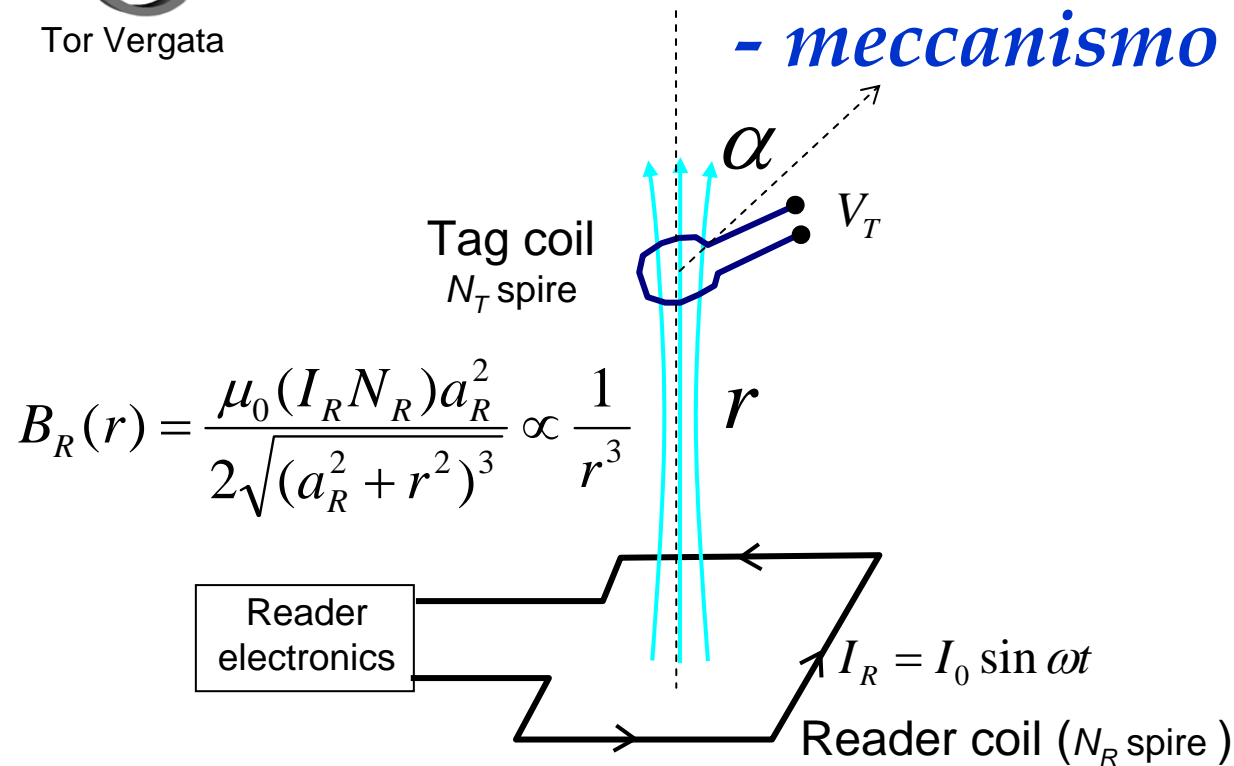
Viene inserito un condensatore di tuning ( $C_T$ ) in parallelo al coil in modo che la frequenza di risonanza del circuito in ricezione sia:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_t C_t}}$$



# Tag ad accoppiamento magnetico<sup>16</sup>

## - meccanismo di attivazione (I)



$$B_R(r) = \frac{\mu_0 (I_R N_R) a_R^2}{2\sqrt{(a_R^2 + r^2)^3}} \propto \frac{1}{r^3}$$

La tensione ai capi del tag sintonizzato è:

$$V_T = -N_T \frac{d}{dt} \iint B_R ds$$

$a_R$  Raggio del coil del reader

$a_T$  Raggio del coil del tag

Il tag si attiva quando la tensione indotta  $V_T$  supera un valore di soglia del  $\mu$ chip.





# Tag ad accoppiamento magnetico

## - meccanismo di attivazione (II)

$V_T$  (e quindi la distanza di lettura) aumenta nel caso di:

- elevato numero spire nel tag
- tag parallelo al reader ( $\alpha=0$ )
- fattore di merito  $Q$  del tag elevato (compatibilmente con la banda richiesta)

$$V_T = -K \frac{(I_0 N_R) N_T \cos \alpha}{\sqrt{(a_R^2 + r^2)^3}} Q_T$$

$$K = 0.5 \mu_0 a_R^2 \omega S_T \cos \omega t$$

### Note:

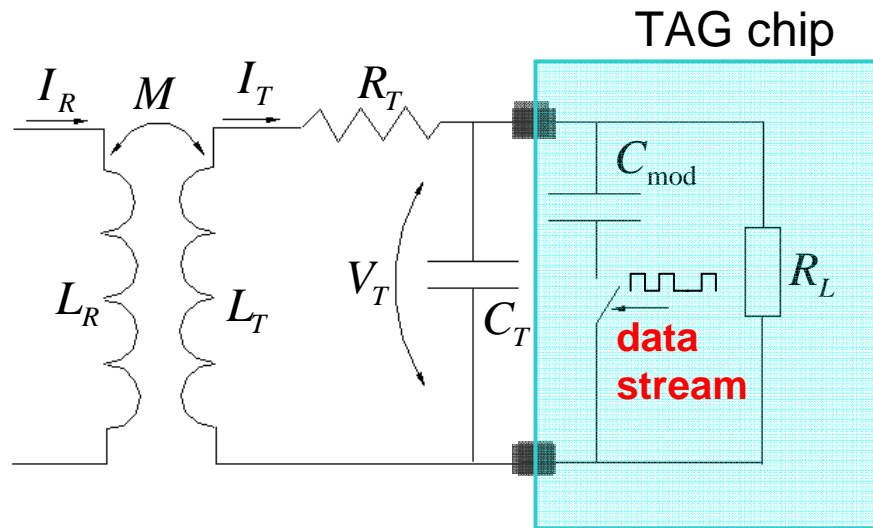
1. Il fattore di merito  $Q_T = \omega e_m / P_j$  dipende dalle resistenze del chip e dalle perdite dell'avvolgimento
2. La banda passante  $\Delta f$  alla frequenza  $f_0$  è legata al fattore di qualità del tag  $Q_T$ :

$$\frac{\Delta f}{f_0} = \frac{1}{Q_T}$$

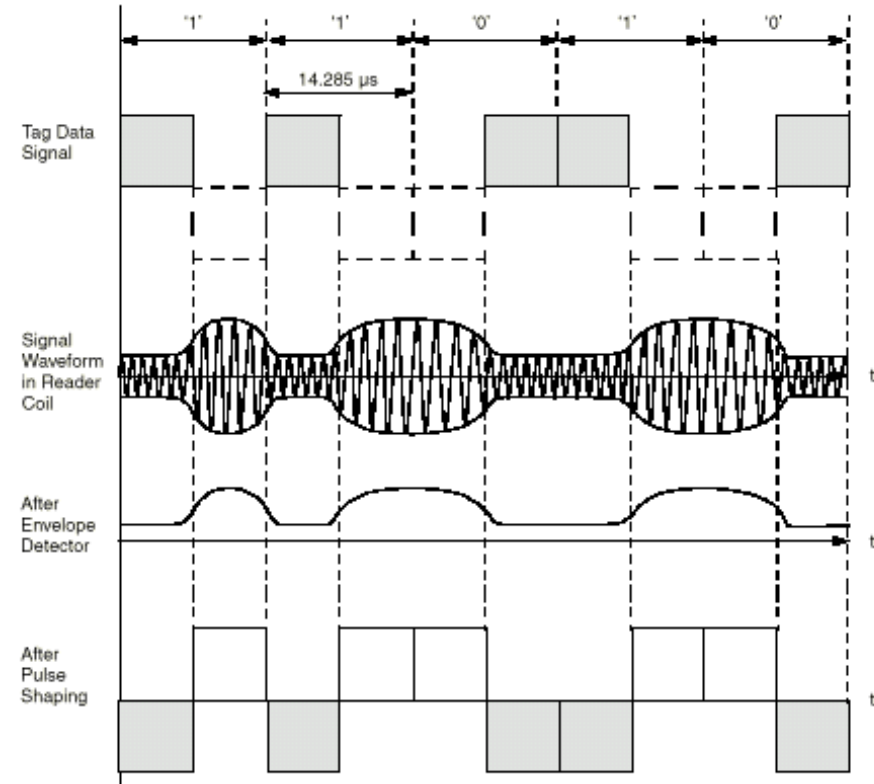


# Tag ad accoppiamento magnetico

## - meccanismo di trasmissione



### Capacitive load modulation



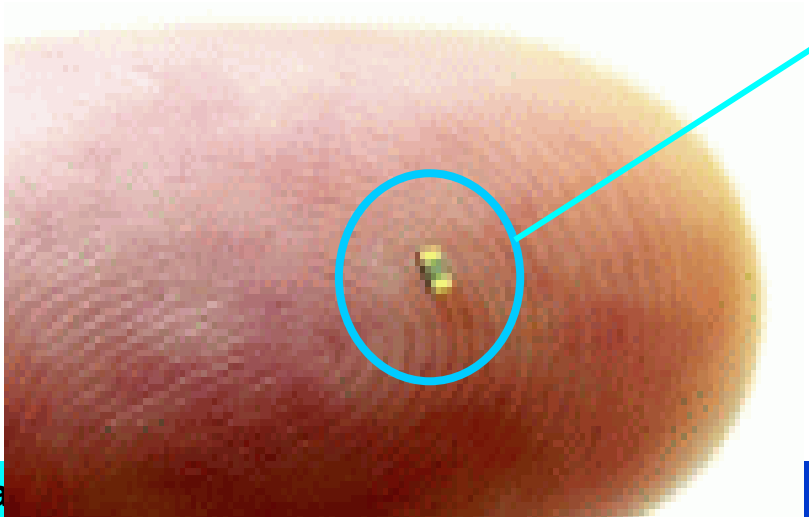
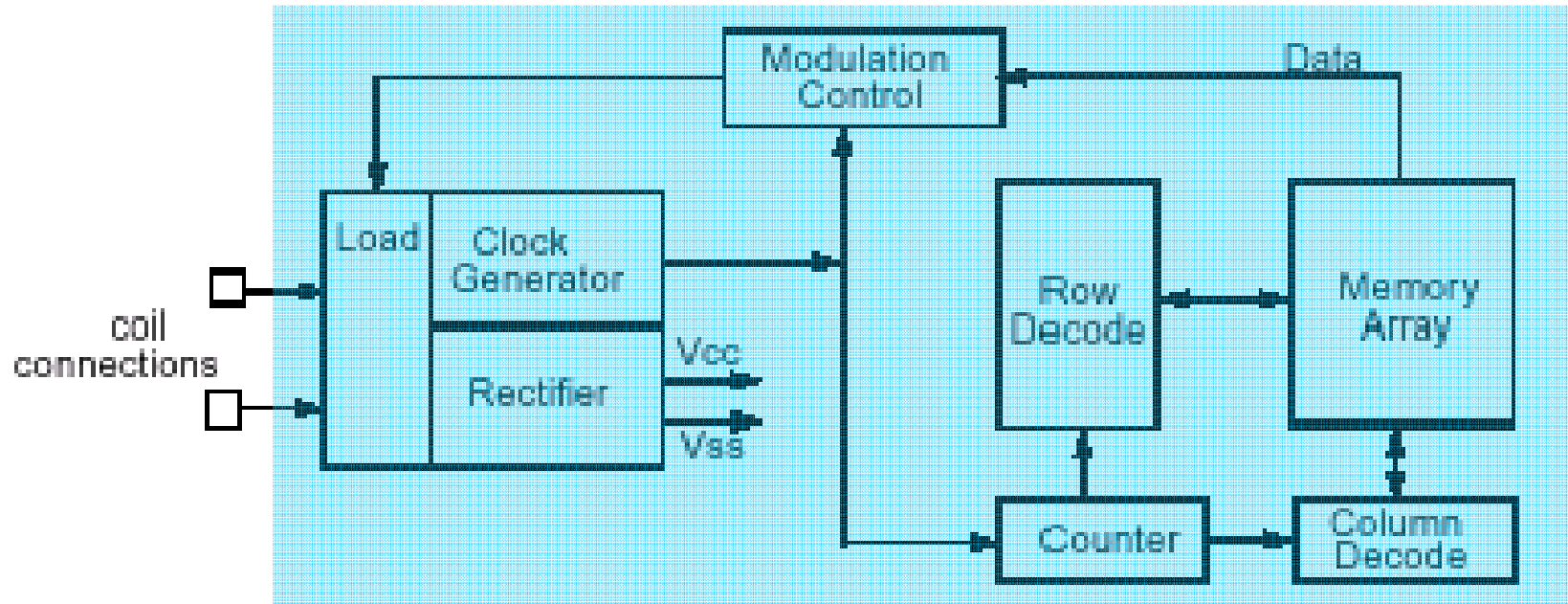
Il microchip del tag connette o disconnette un condensatore interno che desintonizza il circuito del tag.

La corrente raccolta dal reader risulta quindi modulata in AM, FSK, PSK



# Tag ad accoppiamento magnetico

- microchip





# Tag ad accoppiamento magnetico

## - Reader



Schede per  
Portatili, palmari, telefoni cellulari



Lettori dedicati



Kit di valutazione con stampante per tag



# Tag ad accoppiamento magnetico

## - vincoli energetici

- A basse frequenze il campo magnetico interagisce poco con l'ambiente circostante (impiantabilità nei tessuti viventi). I dielettrici sono quindi trasparenti
- La tensione raccolta dal chip del tag varia con  $1/r^3$  (la potenza richiesta varia con  $1/r^6$ )
- Fissate le caratteristiche del reader e dei tag, la distanza massima di lettura dipende da:
  1. Massimo campo magnetico prodotto dal reader  
 $420\text{mA/m}$  (@3m)  $126\text{mA/m}$  (@10m) - EN 300 330 (classe 1)
  2. Tensione di soglia del TAG chip (dell'ordine di qualche Volt)
  3. Orientazione tra reader e tag: caso peggiore quando il tag è vicino ad essere ortogonale al reader



# *Tag ad accoppiamento magnetico*

## *- prestazioni*

- 😊 Elevata immunità all'interazione con l'ambiente (alle basse frequenze il campo magnetico interagisce poco con i dielettrici)
- 😊 Possibilità di impianti sottopelle
- 😊 Basso costo (< 1€)
- 😐 Forte dipendenza della distanza di lettura dalla mutua orientazione reader-tag
- 😐 Modesta distanza di lettura (inferiore al metro)
- 😐 Realizzazione elaborata (multistrato)

**E' la tecnologia RFID attualmente più utilizzata**



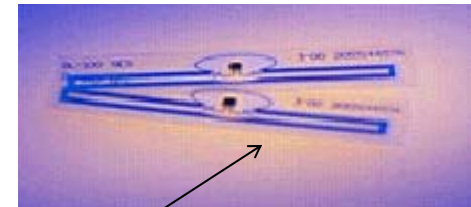
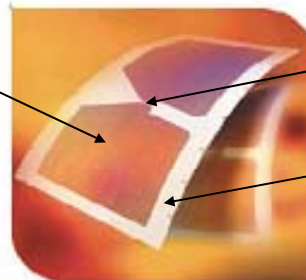
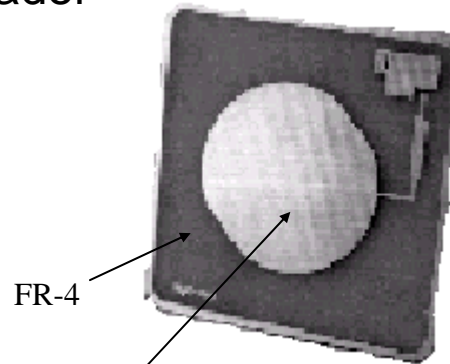
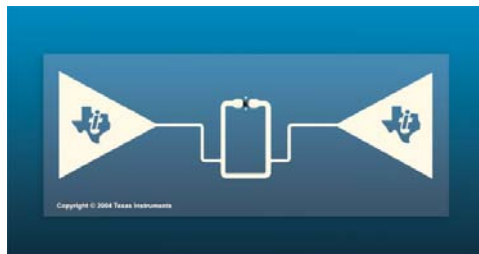
# Tag ad accoppiamento elettromagnetico<sup>23</sup>

A frequenze  $f > 100\text{MHz}$  tag e reader contengono vere e proprie antenne.

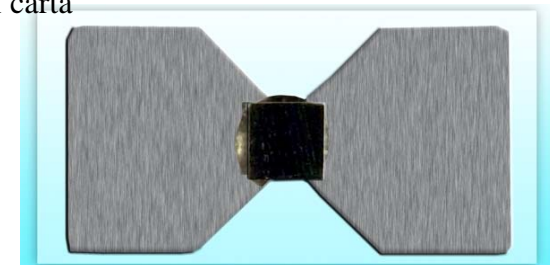
Il tag viene attivato (ed alimentato) dal campo elettromagnetico irradiato dal reader

I tags sono passivi o attivi con antenne a patch o dipolo stampate su un film rigido (FR-4) o flessibile (Polyester, carta)

Sono realizzati in rame o inchiostro conduttivo (più flessibile e meno costoso)



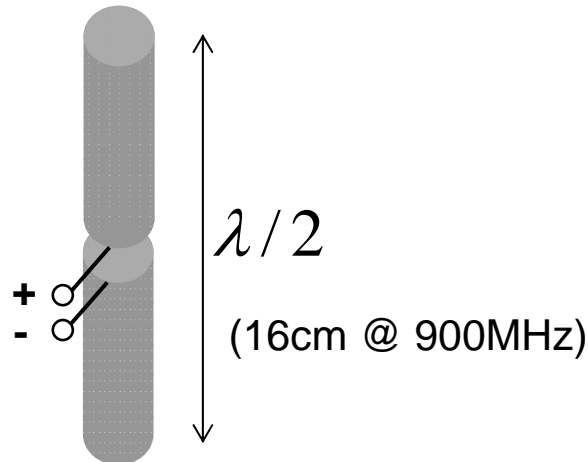
dipolo





# Guadagno di antenna<sup>24</sup>

- I tag sono ottenuti dalla configurazione base di un dipolo

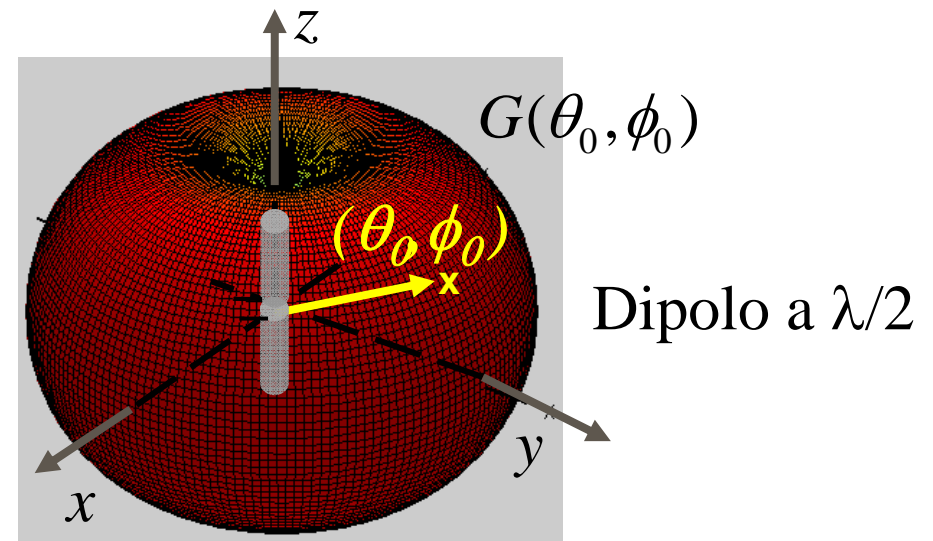


- La lunghezza del dipolo è inversamente legata alla frequenza di lavoro
- Il dipolo viene “ripiegato” per ridurre l’ingombro del tag a pochi cm<sup>2</sup> → **riduzione del guadagno**

Il guadagno di un’antenna descrive come la potenza in ingresso ( $P_{in}$ ) viene irradiata nelle varie direzioni dello spazio

$$G(\theta, \phi) = \frac{p(\theta, \phi)}{P_{in} / 4\pi}$$

$p(\theta, \phi)$  Densità di potenza rispetto all’angolo solido

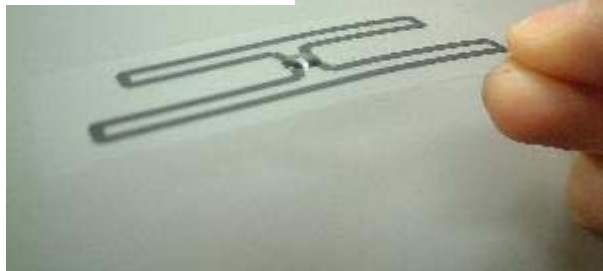
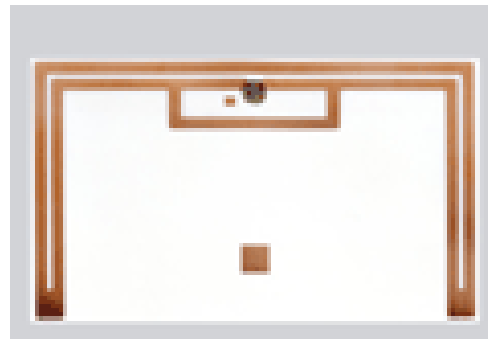
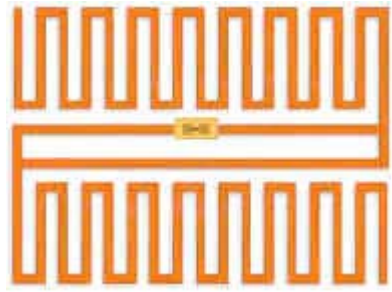
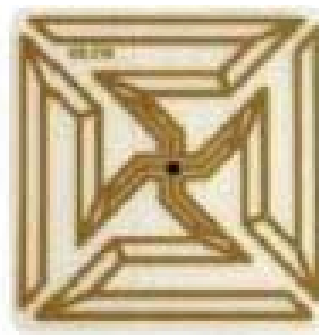
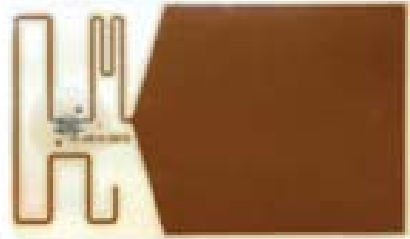






# Tag ad accoppiamento e.m.

- esempi

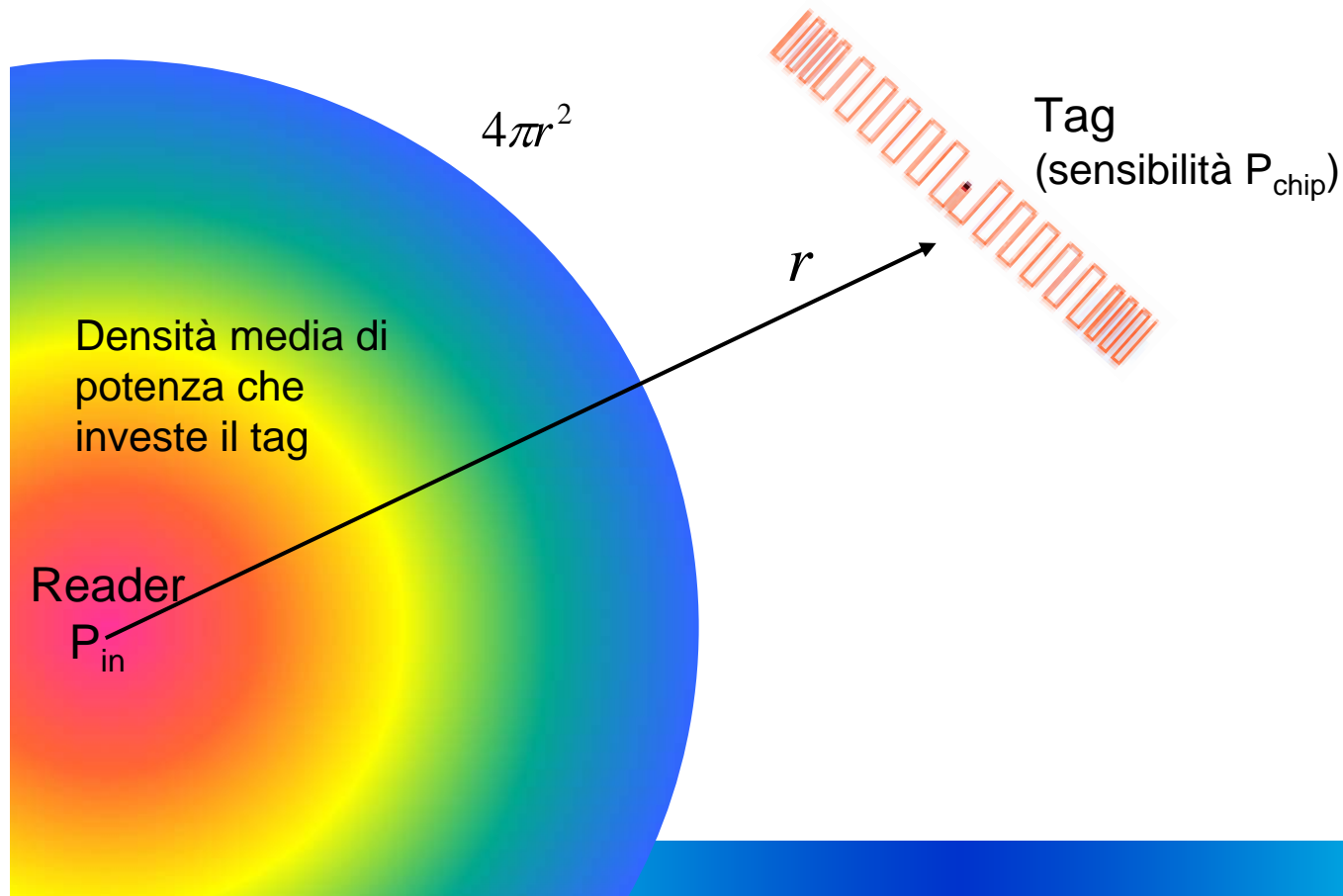




# Tag ad accoppiamento e.m.

## - portata (I)

La **regione di collegamento** tra reader e tag è quella per cui la potenza  $P_T$  ricevuta dall'antenna è maggiore della potenza minima  $P_{chip}$  di attivazione del chip (sensibilità).



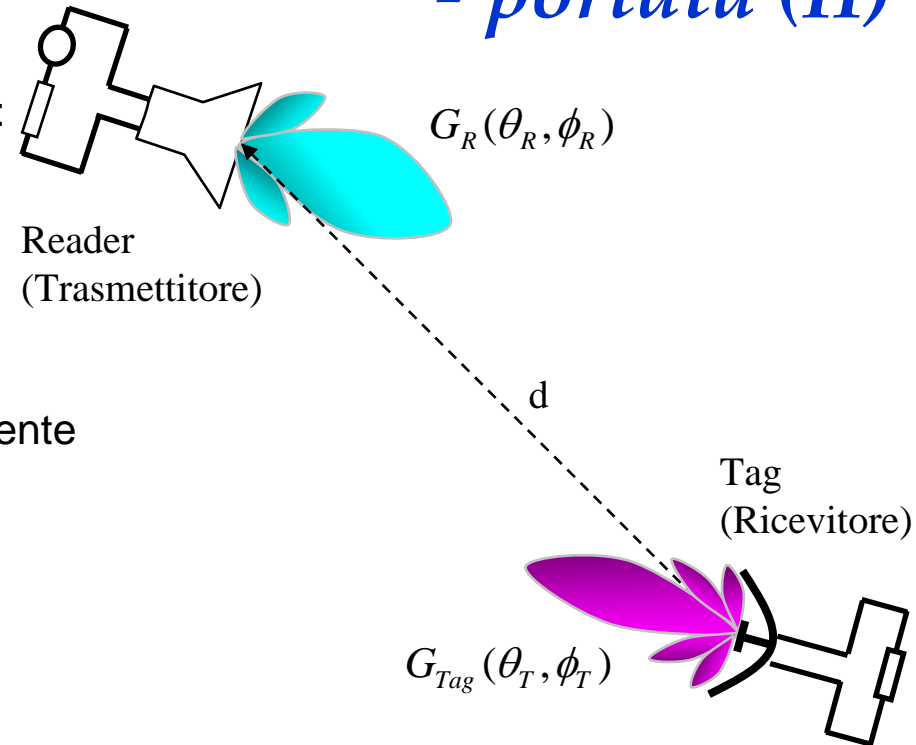


# Tag ad accoppiamento e.m.

## - portata (II)

Ipotesi: l'antenna ricevente è adatta rispetto a:

- impedenza del chip
- polarizzazione dell'onda incidente



densità di potenza che investe l'antenna ricevente

$$S_{av} = \frac{P_{in}}{4\pi d^2} G_R(\theta_R, \phi_R)$$

potenza raccolta

$$P_{Tag} = S_{av} A_{Tag}(\theta_R, \phi_R)$$

area efficace del tag

$$A_{Tag}(\theta_T, \phi_T) = \lambda^2 \frac{G_{Tag}(\theta_T, \phi_T)}{4\pi}$$

$$P_{Tag} = P_{in} G_R G_{Tag} \left( \frac{c}{f 4\pi r} \right)^2 \tau \propto \frac{1}{r^2}$$

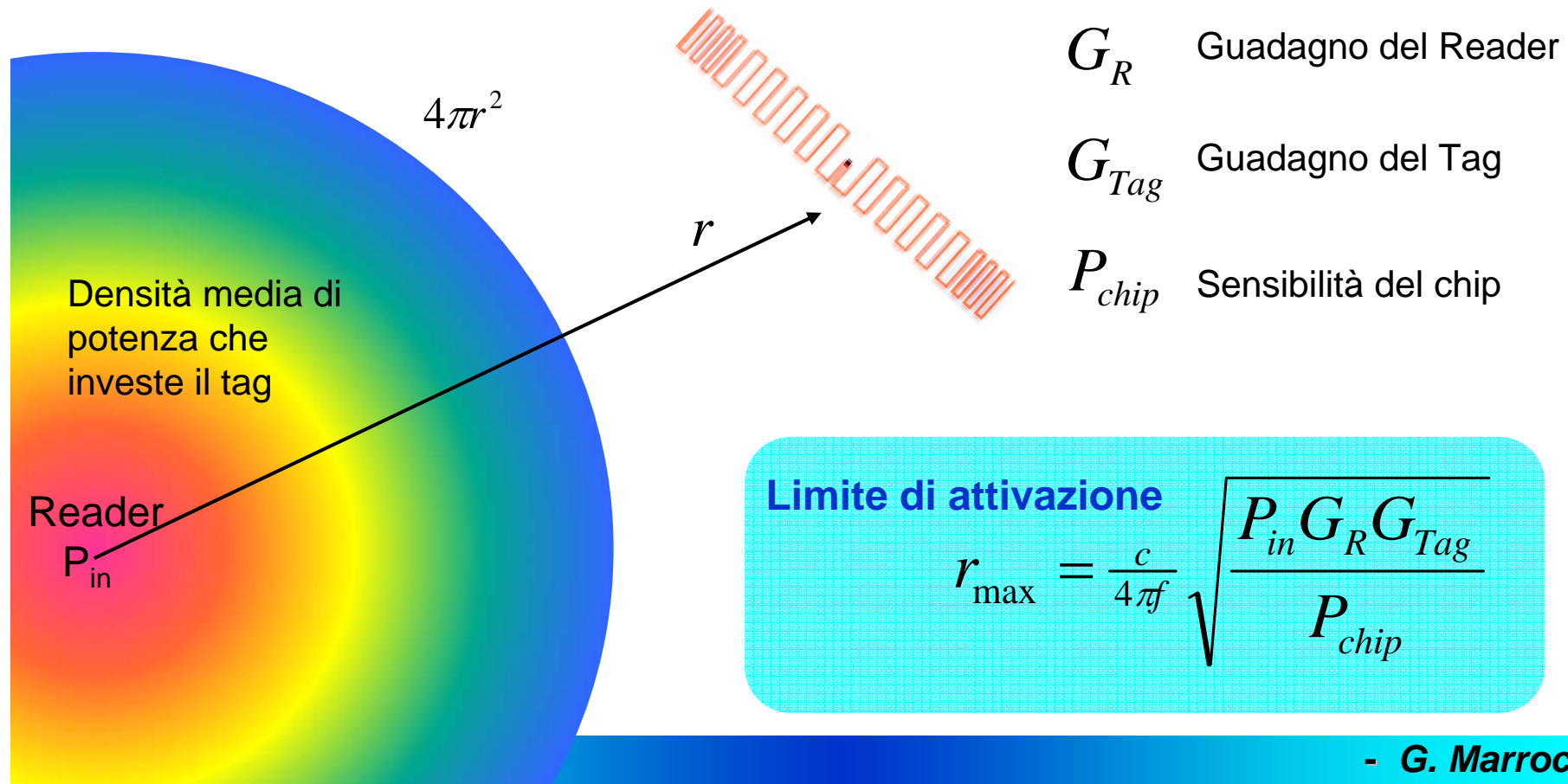
(formula di Friis)



# Tag ad accoppiamento e.m.

## - funzionamento

La max **distanza di lettura** fra reader e tag è quella per cui la potenza  $P_T$  ricevuta dall'antenna è uguale alla potenza minima  $P_{chip}$  di attivazione del chip.

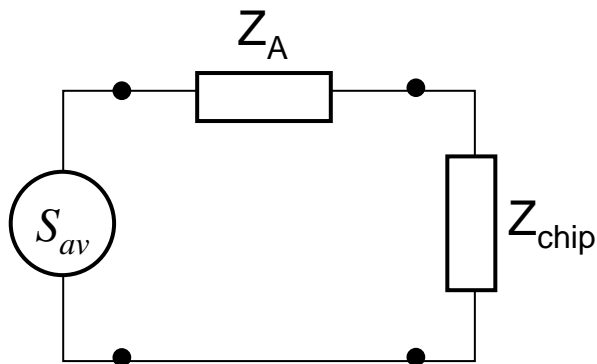




# Tag ad accoppiamento e.m.

## - vincoli energetici: adattamento

In realtà non è semplice adattare perfettamente l'antenna all'impedenza del chip



Il massimo trasferimento di potenza incidente al microchip si ha in caso di **adattamento coniugato**:

$$R_A = R_{chip}$$

$$X_A = -X_{chip}$$

Il non perfetto adattamento viene tenuto in conto dal  
**Coefficiente di trasmissione in potenza**

$$\tau = \frac{4R_{chip}R_A}{|Z_{chip} + Z_A|^2} \leq 1$$

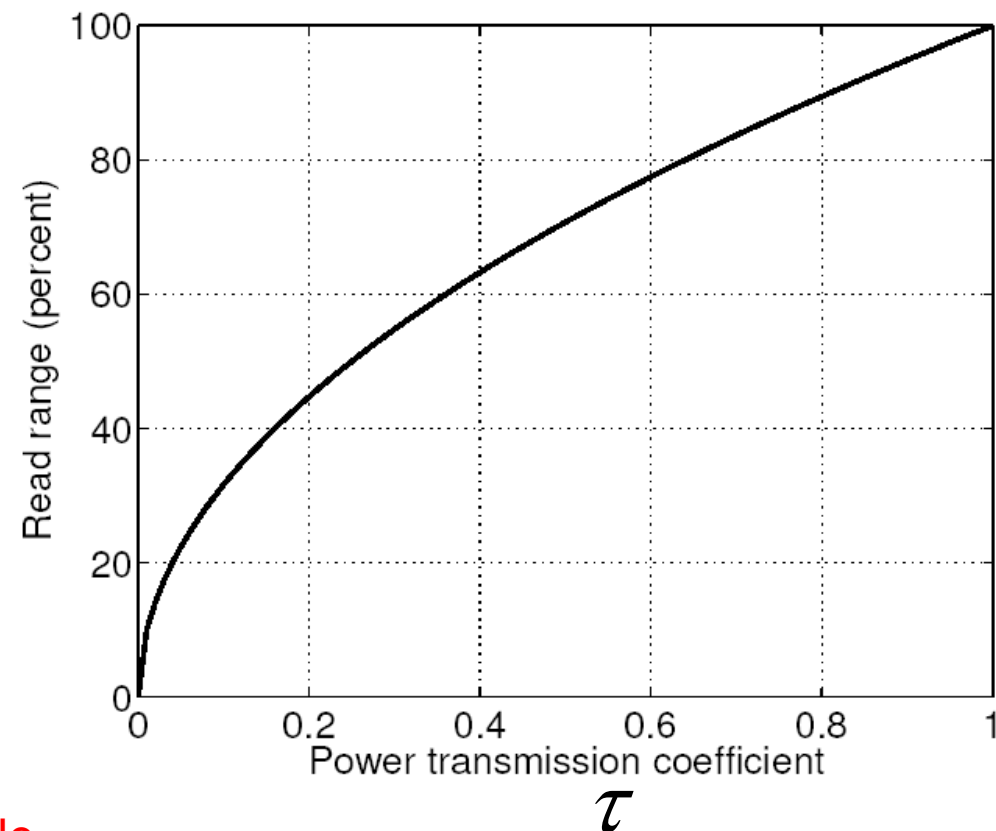


# Tag ad accoppiamento e.m.

## - vincoli energetici: adattamento

- La qualità dell'adattamento (coniugato) tra antenna e TAG influenza la distanza di lettura

$$r_{\max} = \frac{c}{4\pi f} \sqrt{\frac{P_{in} G_R}{P_{chip}} (G_T \tau)}$$

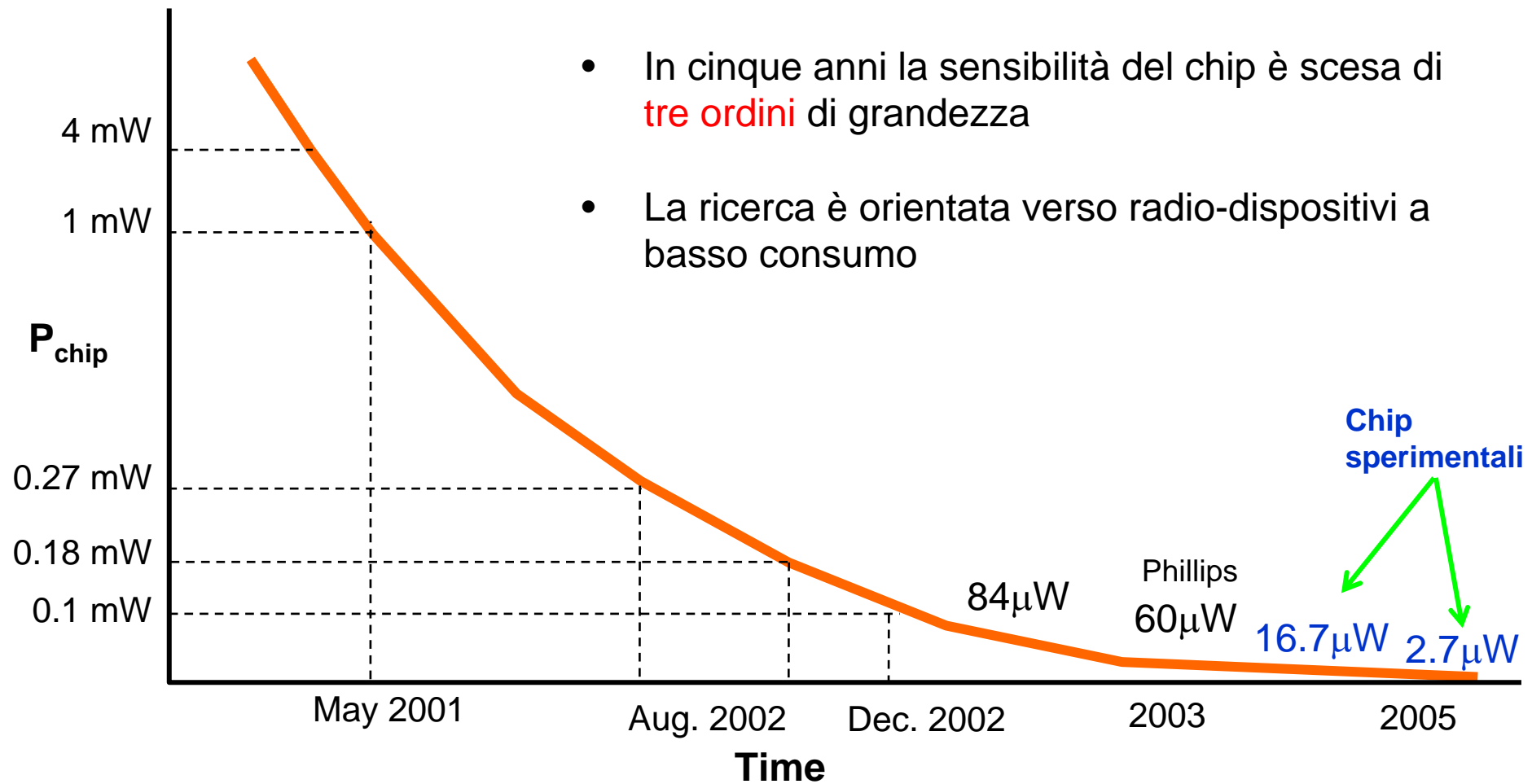


Migliorando l'antenna è possibile aumentare la distanza di lettura



# Tag ad accoppiamento e.m.

## - vincoli energetici: sensibilità del chip





# *Tag ad accoppiamento e.m. - vincoli energetici: potenza del reader*

ERC RECOMMENDATION 70-03 (Tromsø 1997 and subsequent amendments\*)

## RELATING TO THE USE OF SHORT RANGE DEVICES (SRD)

Recommendation adopted by the Frequency Management, Radio Regulatory and Spectrum Engineering Working Groups

Frequency Band	Power	Duty cycle	Channel spacing	ERC/ECC Decision	Notes
a 2446 - 2454 MHz	500 mW e.i.r.p. 4 W e.i.r.p.	up to 100% ≤ 15 %	No spacing		Power levels above 500 mW are restricted to use inside the boundaries of a building and the duty cycle of all transmissions shall in this case be ≤15 % in any 200 ms period (30 ms on /170 ms off)
b1 865 - 868 MHz	<b>0.16 W EIRP</b>	LBT	200 kHz		Listen before talk (LBT) shall be used, preferably with the option of frequency agility
b2 865.6 - 867.6 MHz	<b>3.2 W EIRP</b>	LBT	200 kHz		Listen before talk (LBT) shall be used, preferably with the option of frequency agility
b3 865.6 - 868 MHz	<b>0.8 W EIRP</b>	LBT	200 kHz		Listen before talk (LBT) shall be used, preferably with the option of frequency agility

ETSI EN 302 208-2  
440

- Massima potenza emessa dal reader:  
 $P_{in} G_R = EIRP = 3.2 \text{ W} = ERP = 2 \text{ W}$  (raccomandazioni più recenti)
- (Negli USA 4 W EIRP)

EIRP=ERP\*1.6





# Tag ad accoppiamento e.m.

## - vincoli sanitari

La normativa italiana impone le seguenti limitazioni al campo elettrico **efficace** irradiato da un impianto UHF (**reader**):

20V/m : Limite di esposizione

6 V/m : Limite di attenzione

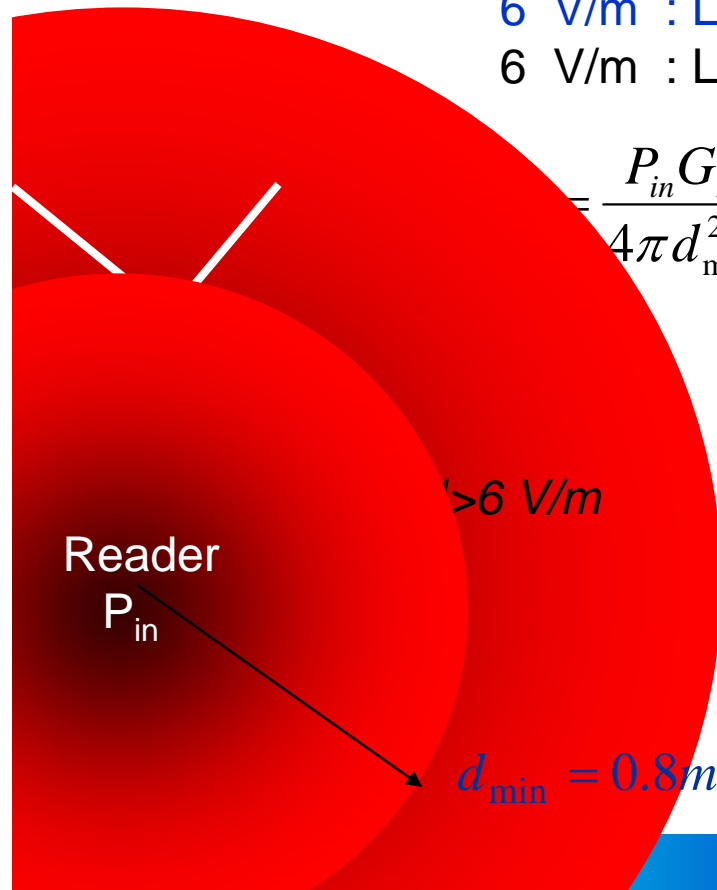
6 V/m : Limite di qualità

$$EIRP_R = 0.8W \div 3.2W$$

$$E_{eff,max} = 6V / m$$

$$= \frac{P_{in} G_R}{4\pi d_{min}^2} = \frac{1}{2\eta_0} |E|^2$$

$$d_{min} = \sqrt{\eta_0 \frac{EIRP_R}{2\pi |E_{max}|^2}} = \frac{\sqrt{30EIRP_R}}{E_{eff,max}}$$



$$d_{min} = 1.6m \quad (EIRP=3.2 W)$$

$$d_{min} = 0.8m \quad (EIRP=0.8 W)$$

Nel caso peggiore, Il reader deve trovarsi a non meno di 1.5m da esseri viventi con permanenza per più di 4 ore.



# Tag ad accoppiamento e.m.

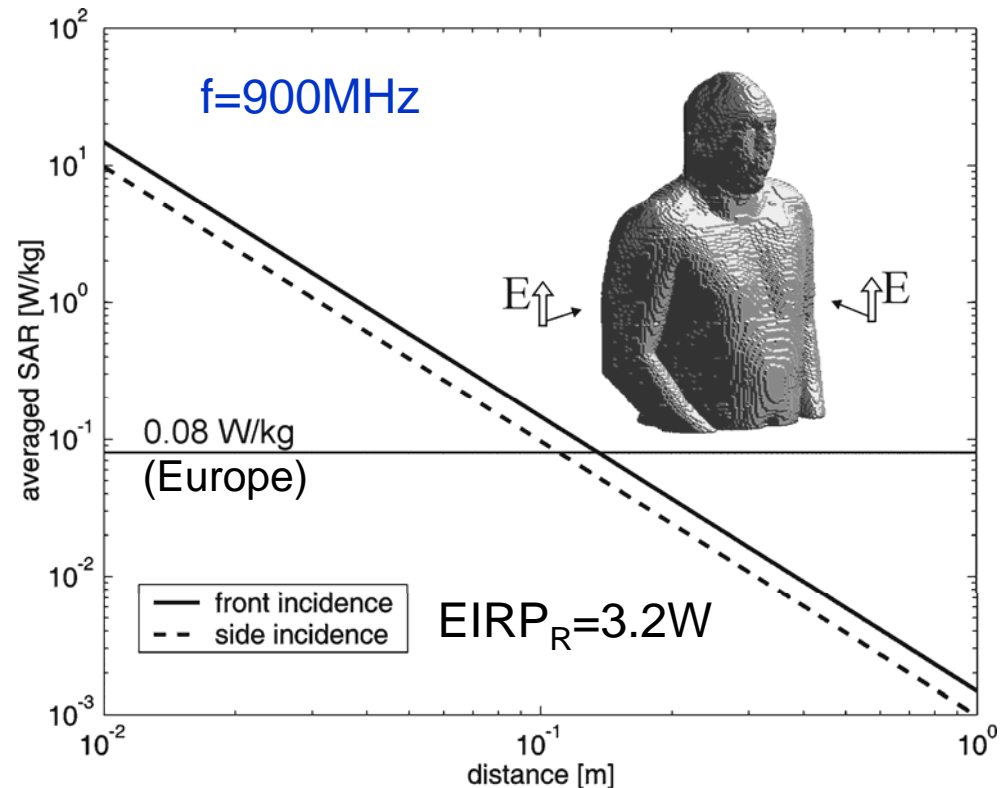
## - vincoli sanitari (ii)

The body-tag is immersed in the electromagnetic field radiated by the reader.

Regulations about the maximum Specific Absorption Rate (**SAR**) in the body.

Safety distance among the reader and the tags (in the extreme hypothesis of continuous interrogation)

Visible-Human model + plane wave incidence (FDTD modeling) to estimate the average SAR deposition.



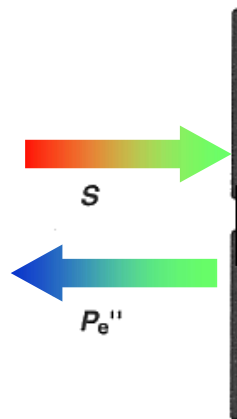
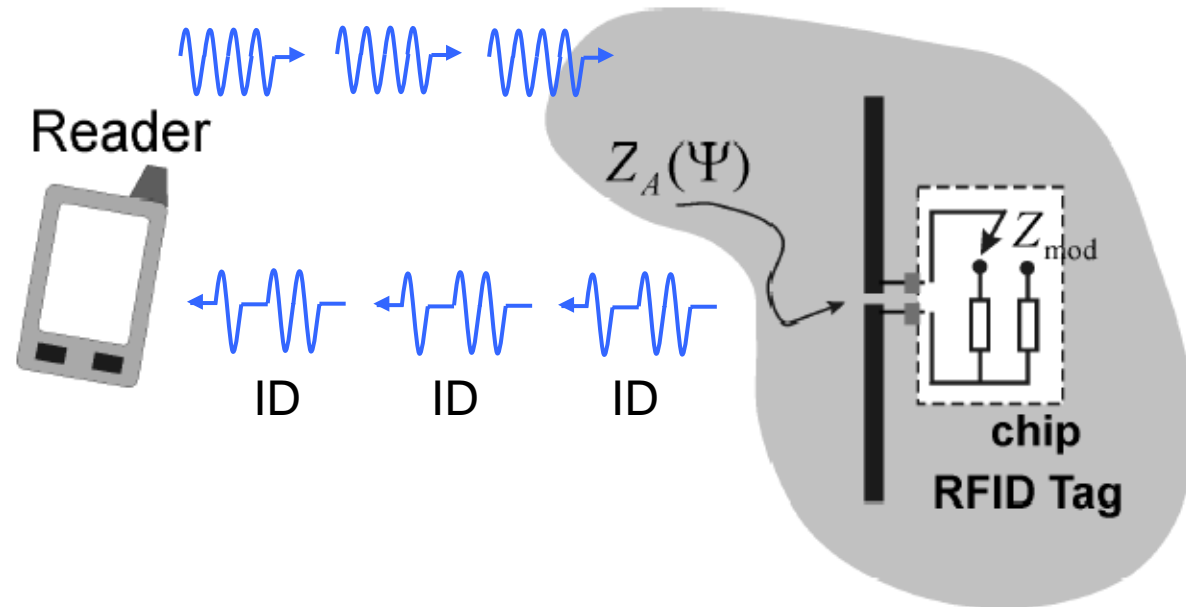
**$d_{min} > 20\text{cm}$**

(negligible constraint for the **remote** monitoring)

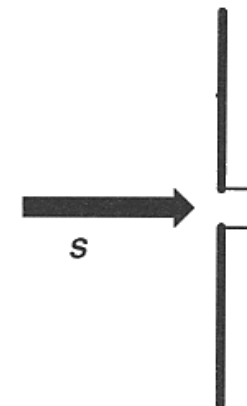


# Tag ad accoppiamento e.m.<sup>35</sup>

Modificando il carico ai terminali dell'antenna in sincronia con i dati si ottiene una modulazione del segnale retrodiffuso verso il reader



**Switch on:** bassa impedenza ( $Z_{mod}=0$ )  
 → alta riflessione

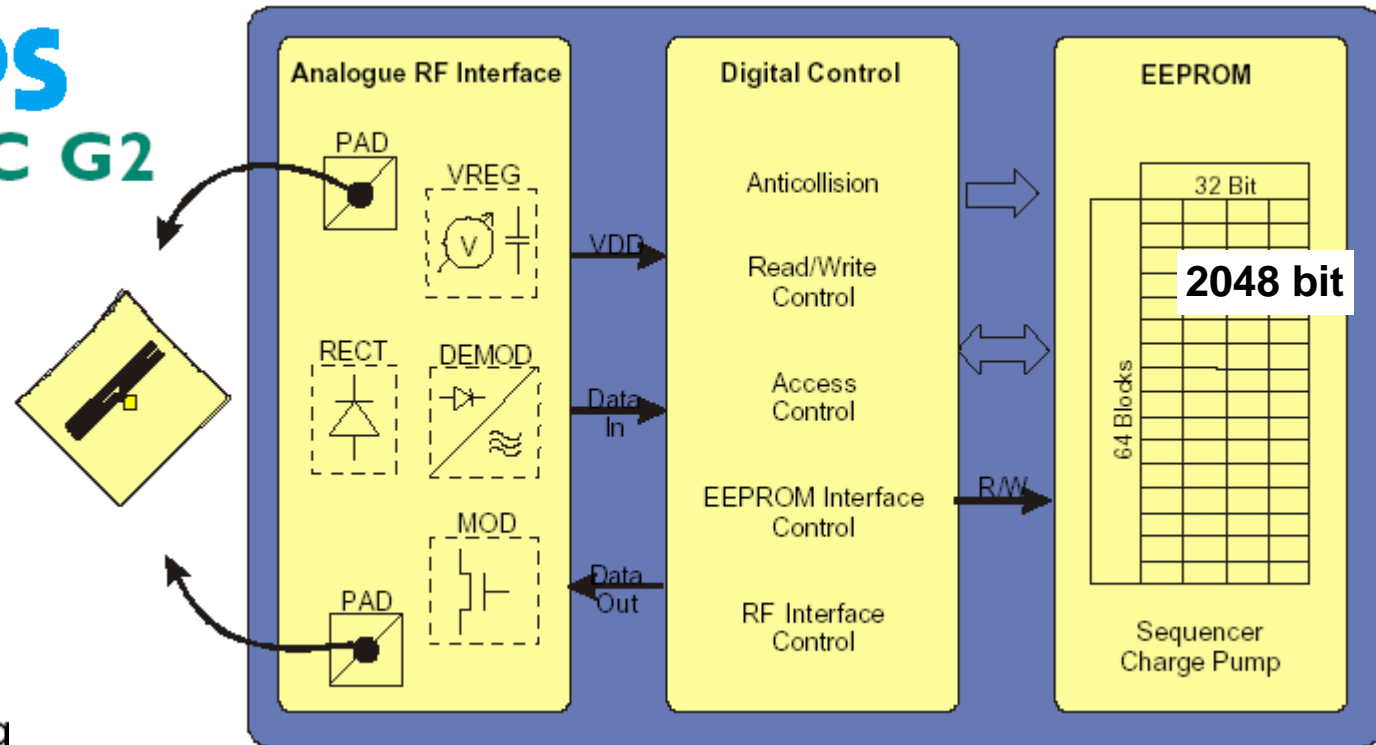


**Switch off:** alta impedenza ( $Z_{mod} \rightarrow \infty$ )  
 → bassa riflessione



# Tag ad accoppiamento e.m. - esempio di chip

**PHILIPS**  
**UCODE EPC G2**



## 1.7 Memory Org

The 2048 bit EEPROM memory is grouped in UID memory, user memory and lock information. A byte is the smallest access unit. All bytes can be addressed by read and write commands.

Frequency range	Region	Available power	Read range <sup>12</sup>
869.4 - 869.65 MHz (UHF)	Europe <sup>3</sup>	0.5 W ERP =0.8 W EIRP	3.3 m
865.6 - 867.6 MHz (UHF)	Europe <sup>4</sup>	2 W ERP =3.2 W EIRP	6.6 m
902 - 928 MHz (UHF)	America <sup>5</sup>	4 W EIRP =6.4 W EIRP	7.0 m

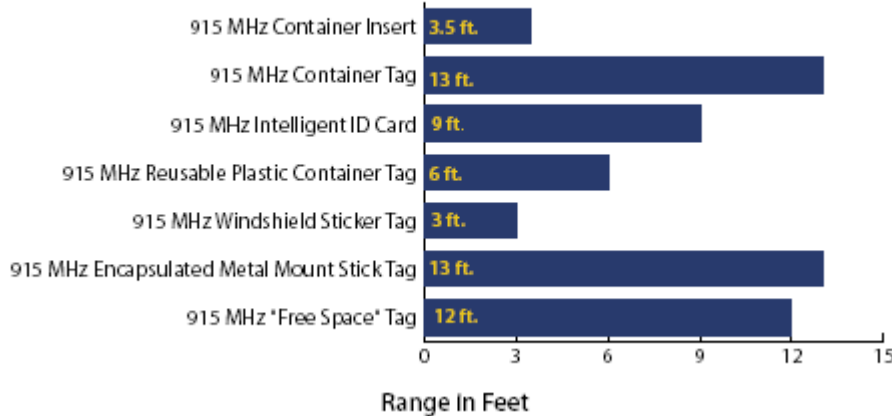


# Tag ad accoppiamento e.m.

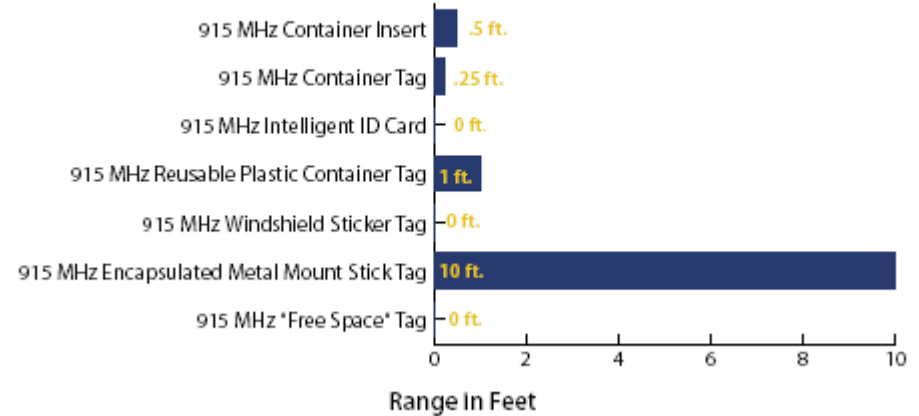
## - interazione con l'ambiente

### THE INTERMEC®

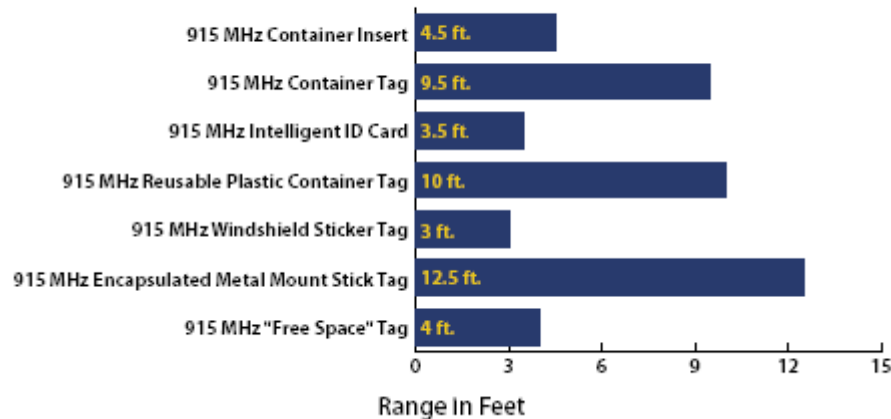
#### Material: Free Space



#### Material: Metal, Direct Contact



#### Material: Plastic



I tag interagiscono con l'oggetto al quale sono applicati, modificando la distanza di lettura.

Gli oggetti metallici sono più difficilmente identificabili e sono necessari tag appositamente progettati.



# Tag ad accoppiamento e.m.

## - Reader



MC9000-G RFID



# *Tag ad accoppiamento e.m.*

## *- Reader*



Temperature logger



# *Tag ad accoppiamento e.m.*

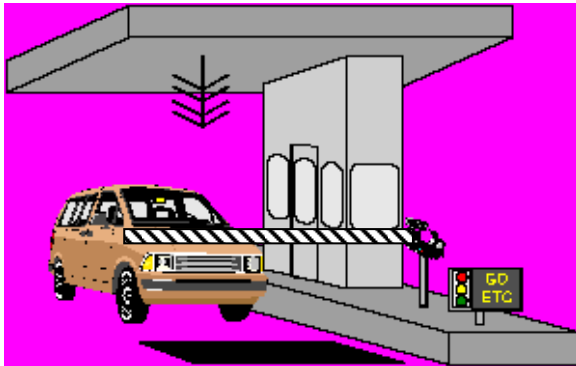
## *- prestazioni*

- 😊 Elevata distanza di lettura (la potenza richiesta aumenta come  $1/r^4$  (invece che come  $1/r^6$  nei sistemi induttivi))
- 😊 Basso costo (Realizzazione monostrato)
- 😊 Bitrate elevato
- 😞 Forte interazione con l'oggetto e l'ambiente (sensibilità alla variazione dielettrica circostante) → soluzioni ad-hoc
- 😞 In Europa sono imposti severi limiti energetici

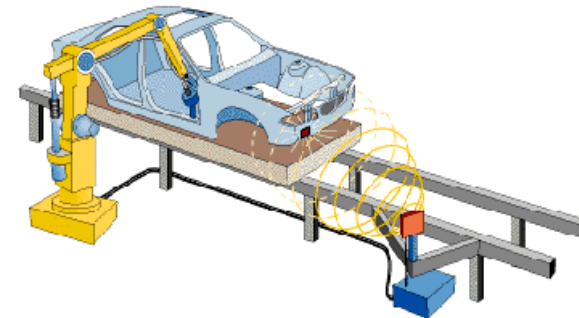




# Applicazioni tipiche (I) <sup>41</sup>



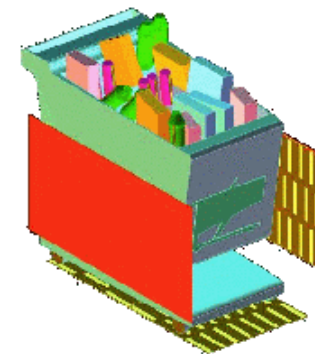
**Telepass:** il reader alla stazione di pedaggio legge il tag montato sul veicolo entrante e, se lo riconosce abilitato al passaggio, permette al veicolo di uscire dalla stazione



**Catene di montaggio:** i tag applicati sui pezzi in fase di produzione permettono il monitoraggio del loro movimento durante l'assemblaggio



**Controllo accessi:** il reader vicino alla porta riconosce il codice ID dei tag portati dai dipendenti, abilitando l'apertura della porta



**Vendita al minuto:** gli articoli in vendita sono etichettati con tag contenenti le informazioni del prezzo, che vengono trasferite al reader



# Applicazioni avanzate (II) <sup>42</sup>

## Real Time Location (RTL):

Consentono anche di determinare la posizione degli oggetti identificati utilizzando la trasmissione, da parte dei TAG, di segnali verso diversi reader situati in posizione fissa, al fine di consentire ad una unità di base di eseguire una accurata triangolazione.

- Ausilio ai non vedenti
- Localizzazione di auto nei parcheggi

## Sensori distribuiti:

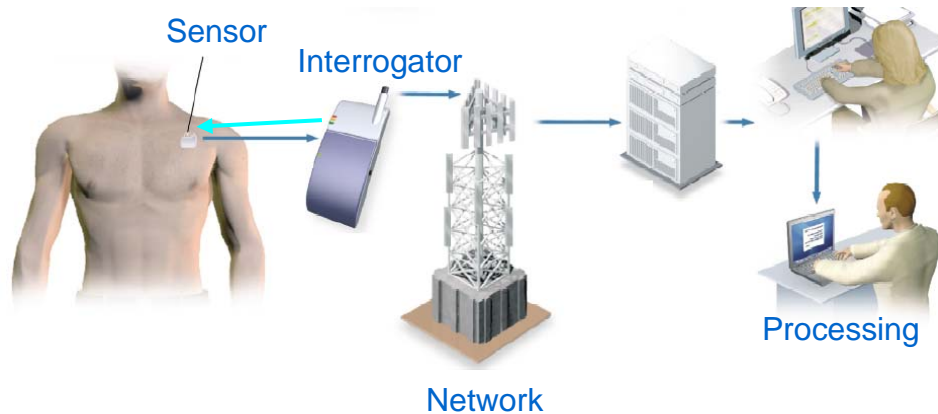
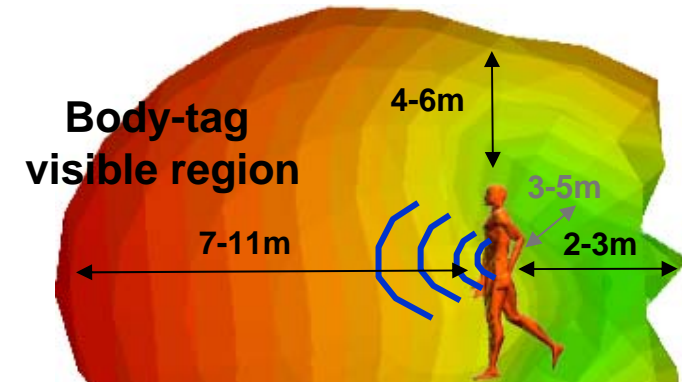
Il tag è parte integrante di un sensore (ambientale, medico) e invia in tempo reale il dato letto ad una rete di raccolta



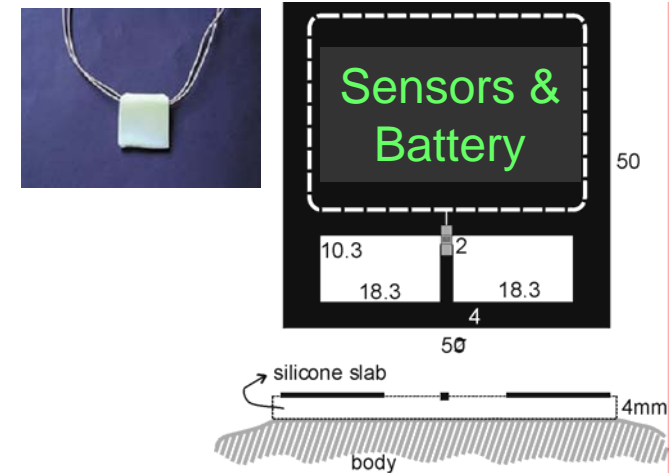


# Applicazioni avanzate: <sup>43</sup> RFID sensor networks

- Tag attached onto the human body and equipped with **bio-sensors** (temperature, blood pressure, heart-beat).
- Tag ID and bio-signals wireless transmitted to a remote processing node



Design of *on-body* RFID tags suited to host sensors and electronics



Nested-slot suspended-patch tag



# Conclusioni

- La tecnologia RFID presenta una notevole complessità, negli aspetti di sistema e nelle varie parti componenti.
- La tecnologia in bassa frequenza (tag induttivi) è ormai matura e copre la maggior parte dell'offerta attuale.
- La tecnologia in alta frequenza (UHF) promette prestazioni e applicazioni molto più avanzate ed è tuttora in fase di evoluzione. Si intravedono ancora ampi margini di miglioramento (sensibilità dei microchip, efficienza delle antenne).
- I sistemi in alta e bassa frequenza sono da considerarsi complementari e non necessariamente alternativi.
- La sinergia tra sistemi RFID e sensori produrrà nei prossimi anni un vasta gamma di nuove applicazioni "pervasive"