



**POLITECNICO**  
MILANO 1863



# Limiti di esposizione ai campi elettromagnetici e sviluppo reti 5G

Antonio Capone

Camera dei Deputati, IX Commissione, 09/04/2019

# Obiettivi e metodo di lavoro

## ► Obiettivi

- Analizzare e presentare in modo chiaro le linee guida internazionali sull'esposizione ai campi elettromagnetici e la normativa italiana sulla implementazione degli impianti radiomobili alla luce dell'arrivo della nuova tecnologia 5G
- Fare uno studio dell'impatto dei limiti espositivi italiani sui costi e sulle caratteristiche dell'infrastruttura di rete 5G che gli operatori dovranno sviluppare nei prossimi anni

## ► Metodo di lavoro

- Analisi dello stato dell'arte relativo alle raccomandazioni degli organismi internazionali e alla normativa sulla costruzione di impianti
- Esercizio di pianificazione di rete con diversi scenari e limiti svolto insieme ai gruppi di ingegneria radio degli operatori



- ▶ **Letterature e raccomandazioni internazionali di riferimento sull'esposizione**
  - Dott. **Paolo Ravazzani** (direttore dell'Istituto di Elettronica e di Ingegneria dell'Informazione e delle Telecomunicazioni del CNR), Dott.ssa **Serena Fiocchi** (ricercatrice CNR), Dott.ssa **Emma Chiaramello** (ricercatrice CNR)
- ▶ **Letteratura e normativa italiana sulla costruzione di impianti**
  - Prof. **Michele D'Amico** (professore associato di campi elettromagnetici del POLIMI), Prof. **Carlo Riva** (professore associato di campi elettromagnetici del POLIMI)
- ▶ **Esercizio di pianificazione di rete**
  - Prof. **Antonio Capone** (professore ordinario di telecomunicazioni e preside scuola ingegneria industriale e dell'informazione presso POLIMI), Ing. **Luca Dell'Anna** (collaboratore alla ricerca presso DEIB POLIMI)

# Limiti di esposizione ai campi elettromagnetici



# Organismi scientifici internazionali

- ▶ **ICNIRP** (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection), **IEEE ICES** (IEEE International Committee on Electromagnetic Safety)
- ▶ **Organizzazioni non governative** riconosciute dal **OMS** (Organizzazione Mondiale della Sanità), dal **ILO** (Organizzazione Internazionale del Lavoro) e dalla **UE** (Unione Europea)
- ▶ **Natura prettamente scientifica** con membri esperti selezionati sulla base delle loro competenze e reputazione che effettuano una revisione sistematica e critica di tutta la letteratura
- ▶ La stragrande maggioranza dei paesi fa riferimento alle **linee guida** di questi organismi (e del ICNIRP in particolare) per la definizione delle normative nazionali



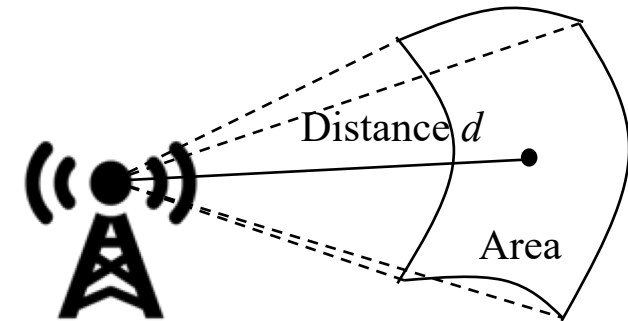
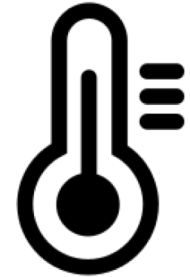
# Effetti e grandezze fisiche

## ► Effetti sanitari accertati

- Sono di **natura termica** e dipendono dalla quantità di energia assorbita nel tempo (potenza) dai tessuti e dai meccanismi fisiologici di dissipazione del calore

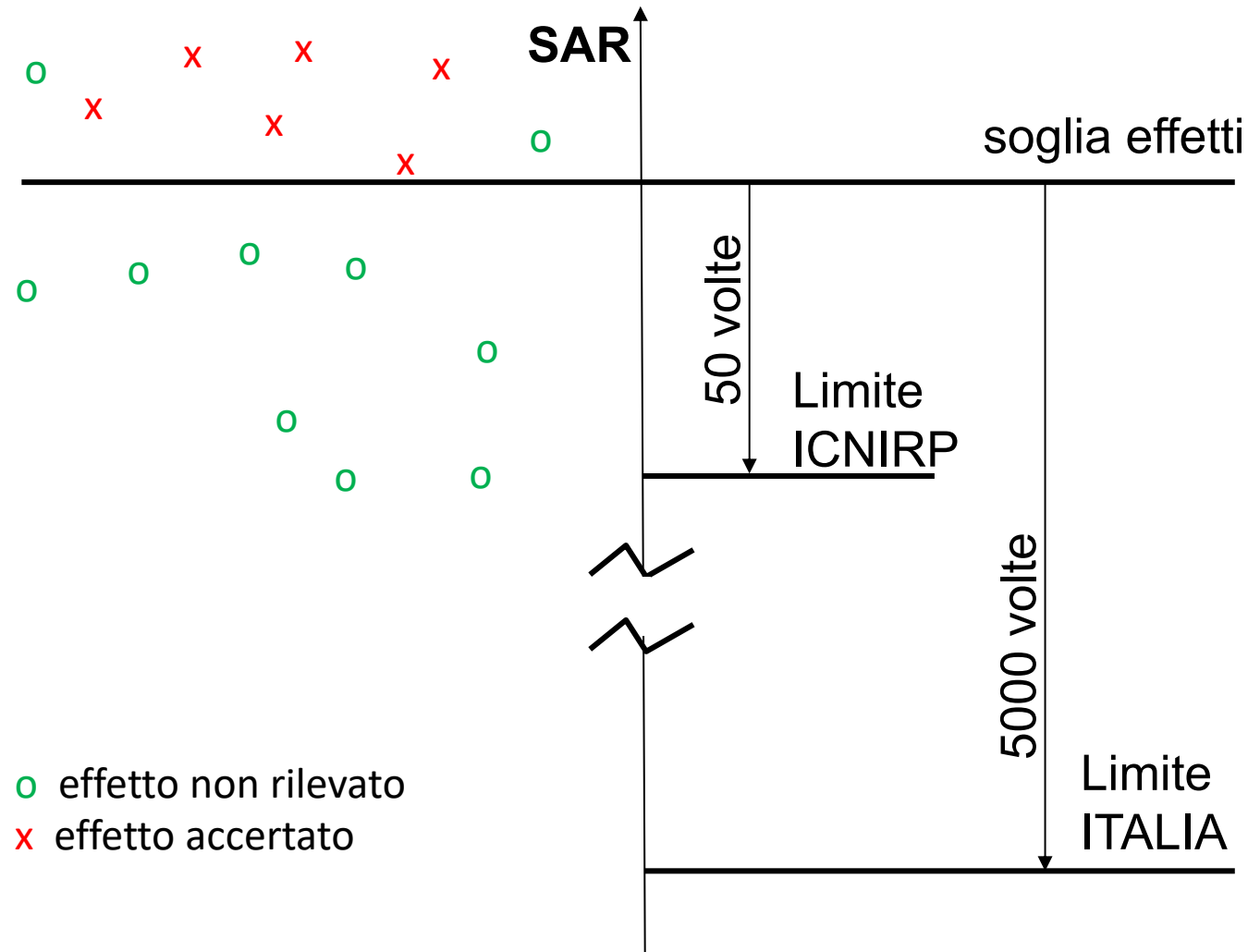
## ► Grandezze fisiche

- La grandezza fisica utilizzata in relazione agli effetti è il **SAR (Specific Absorption Rate)** misurata come potenza assorbita per unità di peso (**W/kg**)
- Il SAR è normalmente direttamente proporzionale alla **densità di potenza superficiale (P)** del campo elettromagnetico, misurata in **W/m<sup>2</sup>**, nel punto in cui si trova la persona esposta
- I limiti sono tradizionalmente espressi in funzione del **campo elettrico (E)**, misurato in **V/m**, che è proporzionale alla radice quadrata della potenza



antenna

# Soglia e fattore di sicurezza

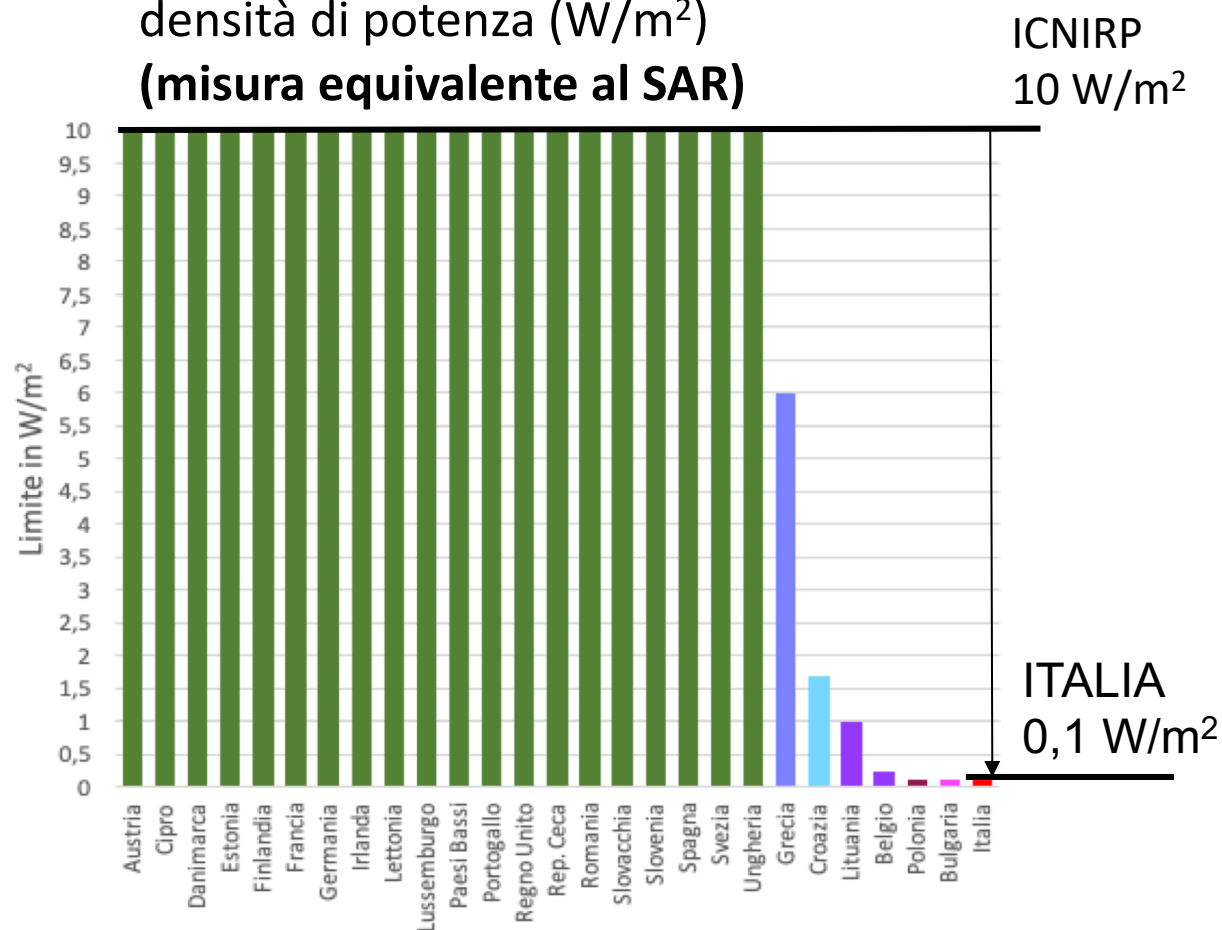


- **Analisi degli studi sugli effetti**
  - Classificazione sulla base del SAR
- **Soglia**
  - Valore minimo per il quale sono stati accertati degli effetti
- **Fattore di sicurezza**
  - Fattore di riduzione applicato al SAR in via cautelativa

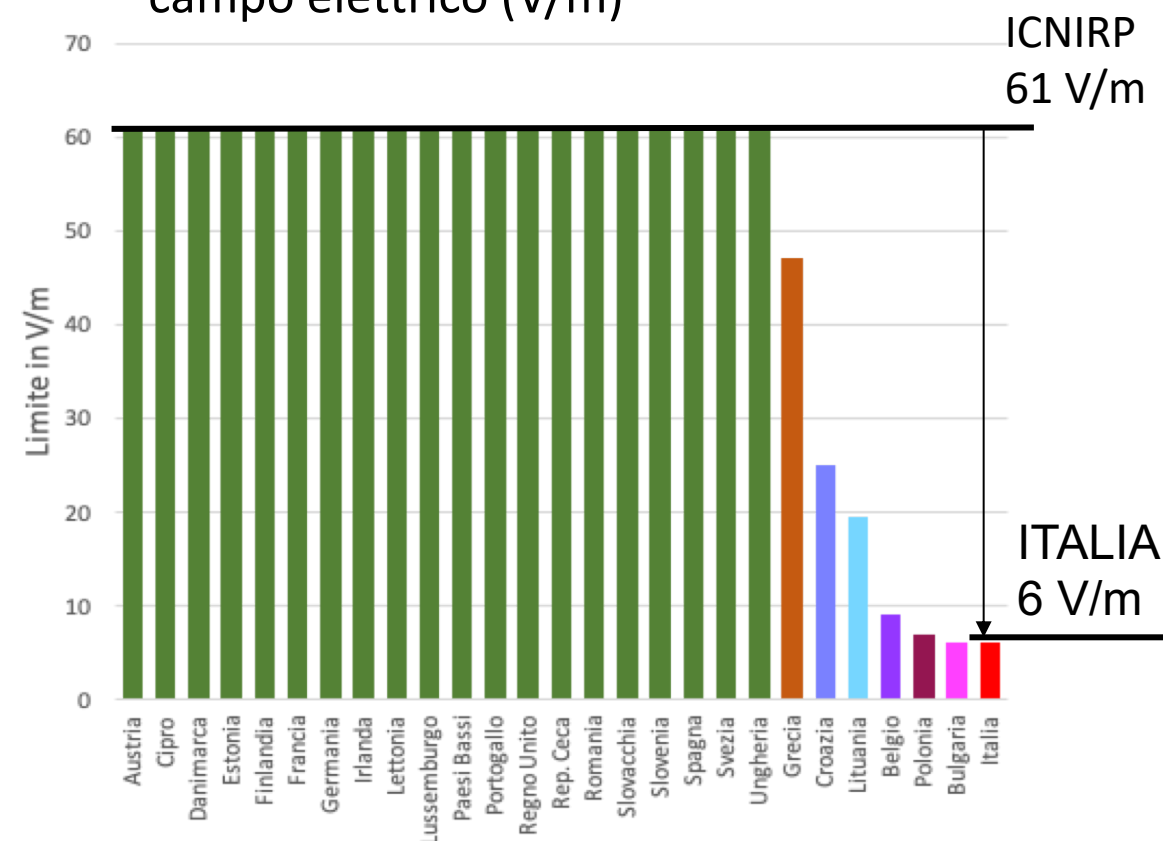
# Limiti adottati dai paesi UE

## ► Limiti<sup>(\*)</sup> adottati nei paesi UE espressi in:

densità di potenza ( $\text{W}/\text{m}^2$ )  
(misura equivalente al SAR)



campo elettrico ( $\text{V}/\text{m}$ )



(\*) Con riferimento alle frequenze 3.6--3.8 GHz considerate in questo studio



# Parallelo con i limiti di peso spostabile

## ► Valore soglia

- Valore minimo per il quale sono stati osservati effetti muscolo scheletrici

Con il fattore di riduzione  
50 volte:

Con il fattore di riduzione  
5000 volte:

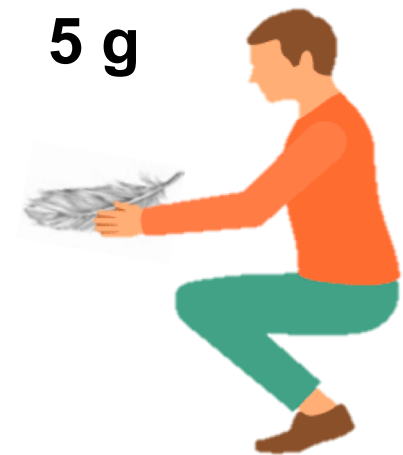
25 kg



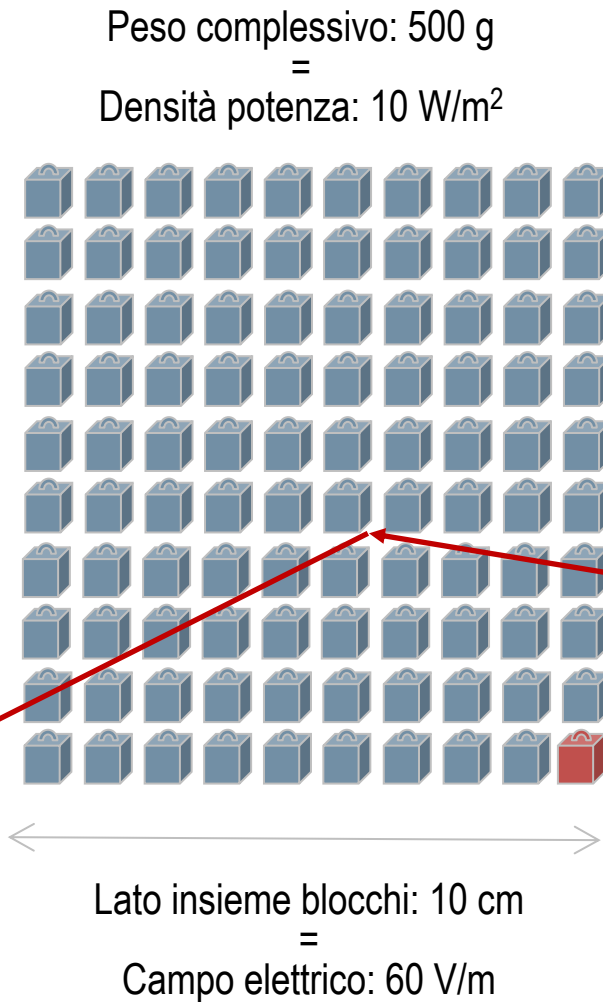
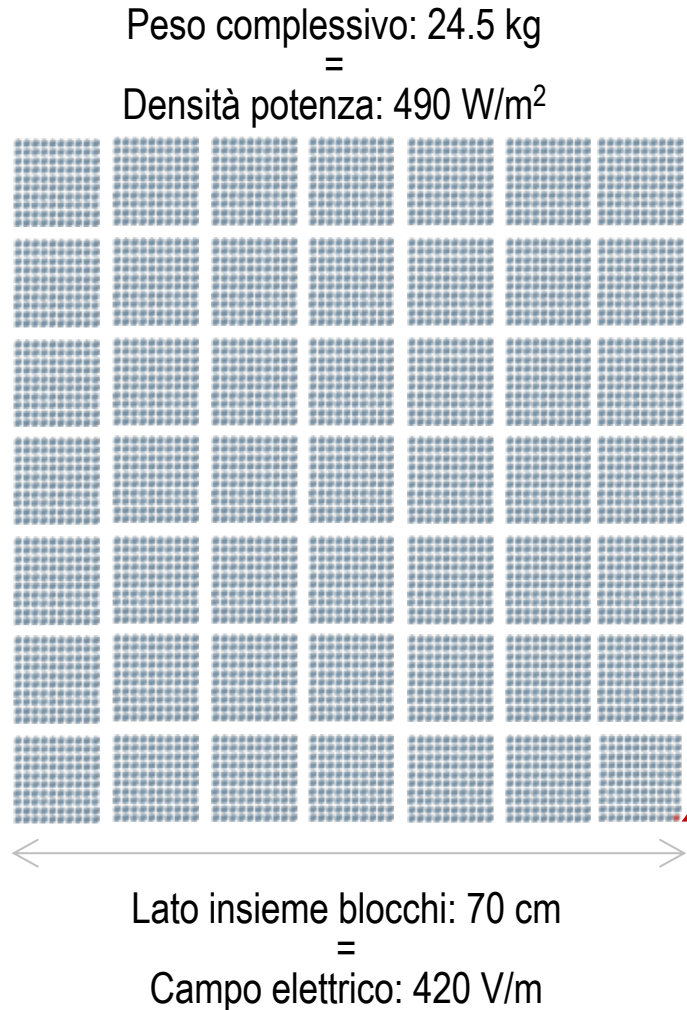
500 g



5 g

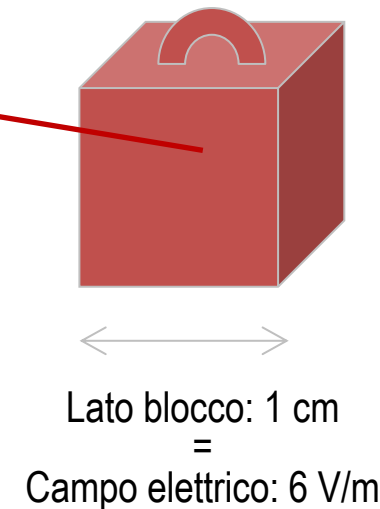


# Parallelo con i limiti di peso spostabile



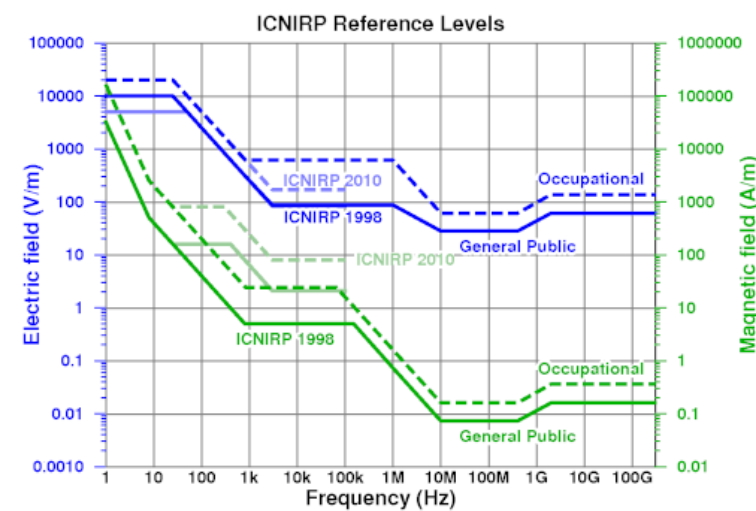
- SAR e densità di potenza sono legati al quadrato del campo elettrico

Peso : 5 g  
=  
Densità potenza: 0,1 W/m<sup>2</sup>



# Relazione tra 5G e linee guida sui limiti

- ▶ **La tecnologia radio è irrilevante rispetto agli effetti accertati**
  - Conta solo la potenza e la frequenza utilizzate
  - Al 5G si applicano le stesse linee guida degli altri sistemi 2G/3G/4G così come di WiFi, WiMax, ecc.
- ▶ **Le frequenze usate dal 5G ricadono in quelle oggetto delle linee guida**
  - Quelle del ICNIRP sono valide da 100 MHz a 300 GHz
  - Le frequenze 5G sono 700 MHz, 3.6 GHz, 26 GHz
  - Le prime due sono simili a quelle usate per i sistemi 4G
  - L'ultima (onde millimetriche) è simile a quelle usate per i ponti radio e per i sistemi satellitari



# **Limiti espositivi e vincoli nella costruzione degli impianti radiomobili**

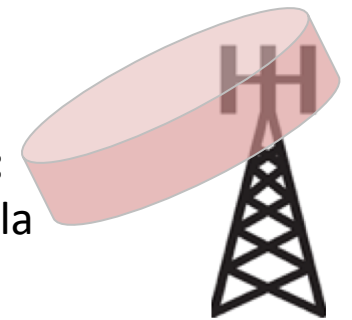


# Protezione della popolazione vicino agli impianti

- ▶ **Limiti di esposizione per le stazioni radiomobili**
  - I limiti di esposizione si applicano ai criteri costruttivi delle stazioni radiomobili per proteggere dagli effetti le **persone che possono trovarsi nelle immediate vicinanze** (ordine delle decine di metri), ad esempio vicino a finestre, balconi, terrazzini calpestabili, ecc.
- ▶ **A distanza dalle stazioni l'effetto è trascurabile**
  - La potenza cala molto velocemente quando ci si allontana dalla stazione radiomobile (secondo il quadrato della distanza) e gli effetti per il resto della popolazione sono **largamente trascurabili**



**Volume di rispetto:**  
Area all'esterno della  
quale i limiti sono  
rispettati



# Antenne statiche

## ► Antenne 4G/3G/2G

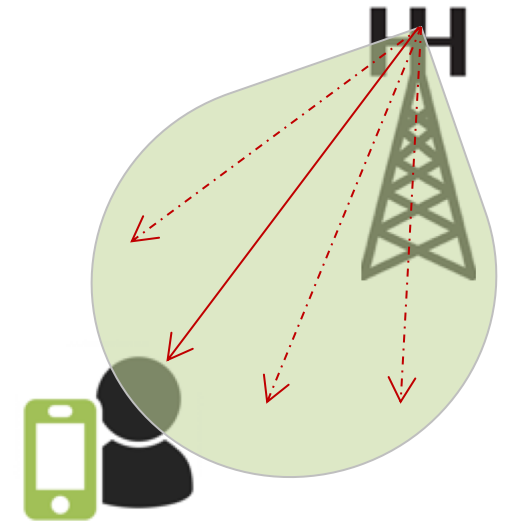
- Le antenne usate dalle generazioni precedenti al 5G sono statiche, ovvero il diagramma di radiazione che descrive come la potenza viene diffusa nelle varie direzioni non varia

## ► Trasmissione discontinua

- Le antenne non trasmettono in modo continuo e il valore di densità di potenza può essere mediato nel tempo

## ► Efficienza

- Nei vari istanti di tempo le antenne servono utenti radiomobili diversi, ma essendo il diagramma statico irradiano potenza anche in direzioni non necessarie



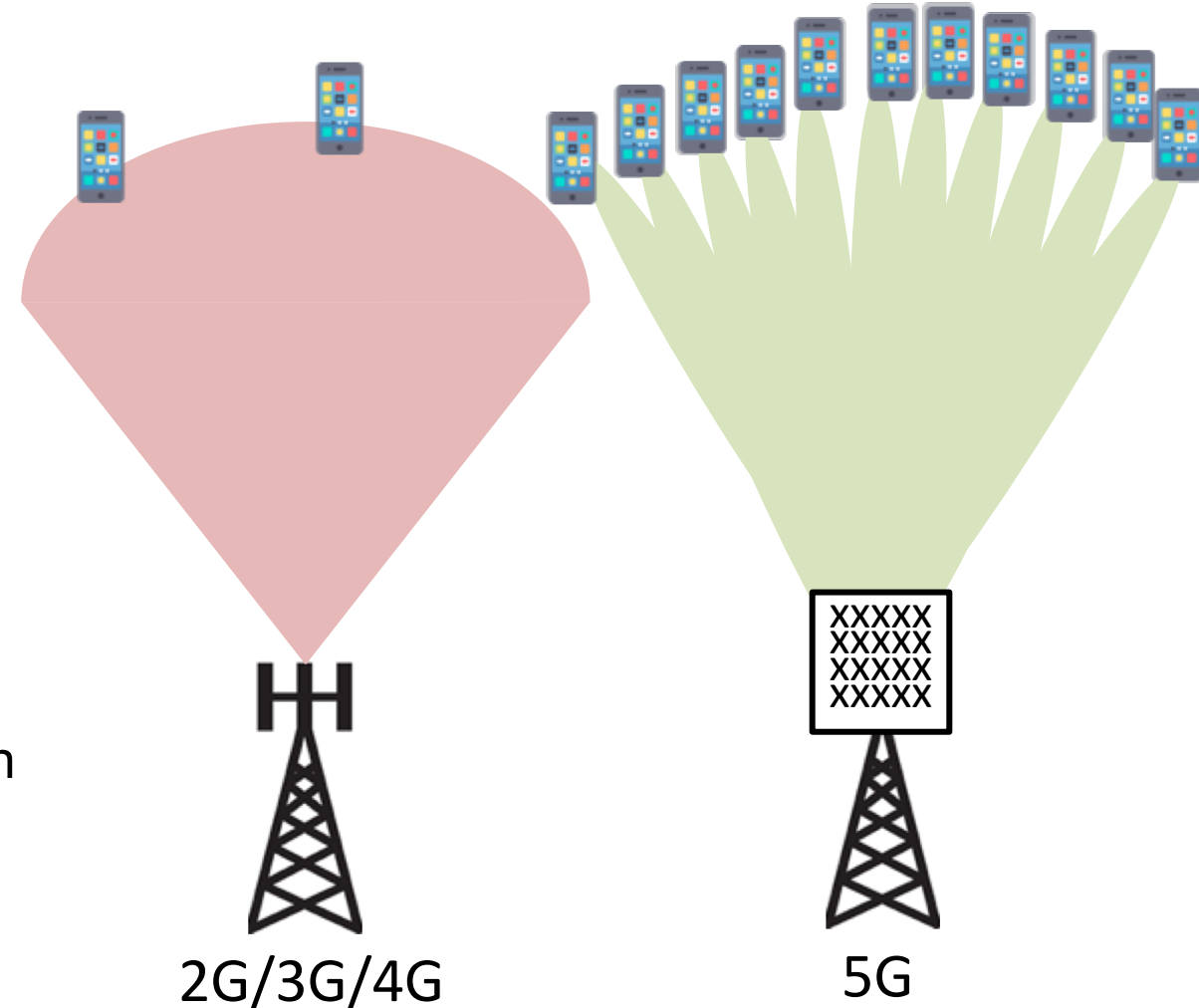
# Antenne 5G

## ► Antenne massive MIMO del 5G

- Le antenne usate dal 5G sono **dinamiche** e irradiano potenza selettivamente mediante un fascio stretto (beam) solo nella **direzione dove si trova l'utente** nella misura richiesta
- La direzione cambia molto velocemente con granularità temporale dell'ordine dei millisecondi ed è necessario effettuare anche una media spaziale della potenza

## ► Maggiore efficienza

- La potenza non viene sprecata in direzioni non necessarie e questo aumenta l'efficienza e riduce l'inquinamento elettromagnetico nelle altre direzioni



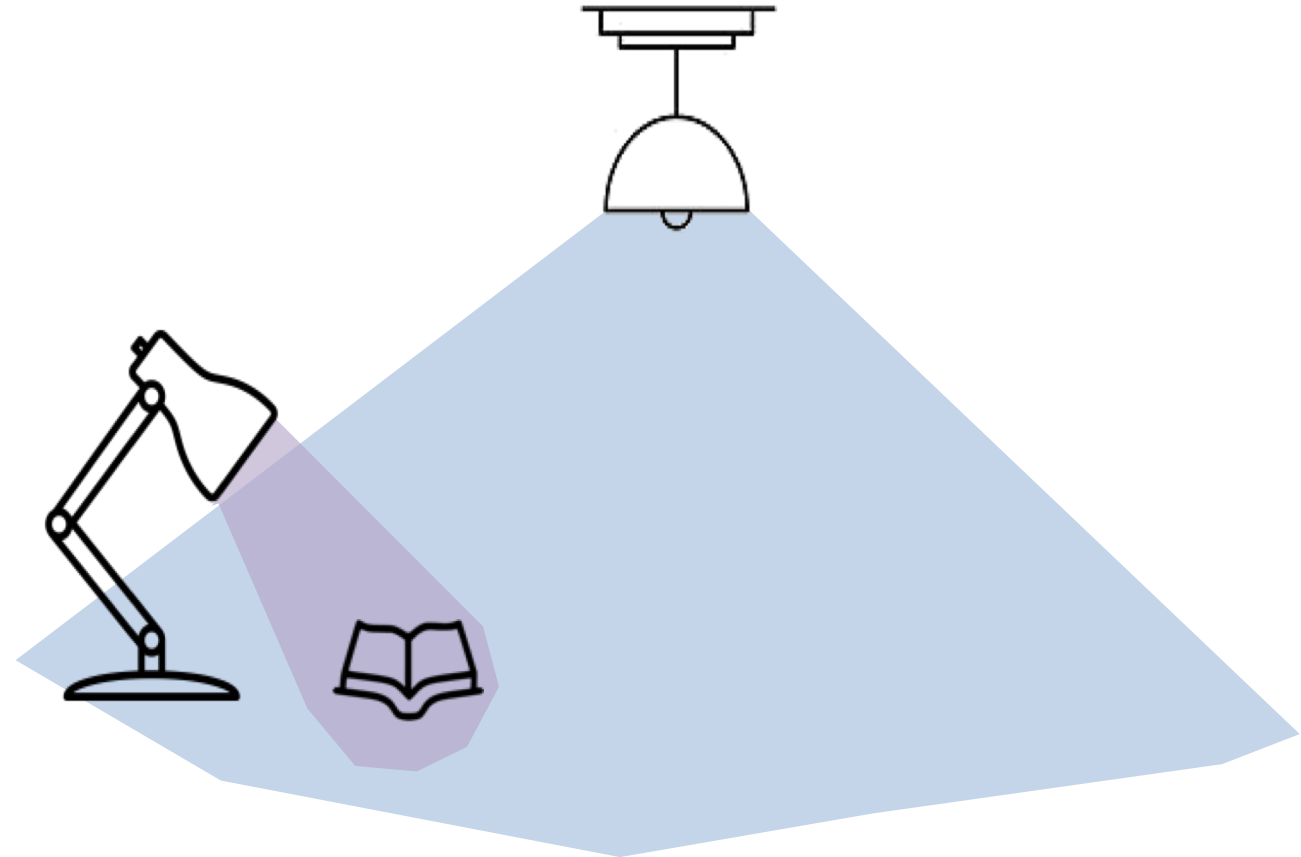
# Parallelo con illuminazione artificiale

## ► Luce d'ambiente

- Con la luce d'ambiente si illuminano artificialmente tutti gli spazi interni di un locale

## ► Luce direttiva

- Con faretti direttivi è possibile illuminare solo una zona dove è necessaria la luce e aumentare l'efficienza energetica



# Esercizio di pianificazione di rete per stima impatto dei limiti



# Esercizio di pianificazione di rete

## ► Obiettivo

- Effettuare una pianificazione di massima della rete 5G in scenari con diversi limiti di esposizione
- Stimare le caratteristiche e i costi della rete nei diversi scenari

## ► Strumenti

- Allo scopo sono state effettuate delle
  - Simulazioni di propagazione elettromagnetica da parte degli operatori di rete usando gli strumenti che sono utilizzati normalmente per la progettazione e l'espansione di rete
  - Analisi dei data base di siti esistenti



# Assunzioni (1)

## ► Citta campione

- Sono state scelte delle città campione ragionevolmente rappresentative degli scenari di rete nelle zone urbanizzate italiane
- Torino, Modena, Trieste, Rimini, Caserta

## ► Analisi impianti esistenti

- Sono stati analizzati gli impianti esistenti e classificati in:
  - **impianti non espandibili:** sono impianti nei quali i limiti attuali della normativa italiana non consentono una espansione 5G in quanto già saturati dalle altre tecnologie presenti;
  - **impianti espandibili:** sono impianti nei quali è ragionevolmente possibile una espansione 5G.



# Assunzioni (2)

## ► **Frequenza, qualità e copertura**

- Frequenza: 3.6-3.8 GHz
- Qualità: 30 Mbps a bordo cella (per una banda di 80 MHz)
- Copertura: 95% outdoor, 60% indoor

## ► **Proiezione a livello nazionale**

- Si è assunto che i risultati delle città campione sia rappresentativo del 75% degli impianti, mentre il restante 25% si è assunto essere non critico rispetto alla espandibilità (copertura da siti installati fuori dalle aree urbanizzate)



► **Scenario 0: Utilizzo solo impianti attuali espandibili con limiti attuali**

- con limiti attuali e impianti attuali espandibili si è valutata la qualità della copertura

Limiti attuali e  
impianti attuali

► **Scenario 1: Utilizzo impianti attuali espandibili e altri siti aggiuntivi**

- con limiti attuali e impianti aggiuntivi o reingegnerizzati si è valutato il numero di interventi e il costo per raggiungere gli obiettivi di qualità e copertura

Limiti attuali e  
impianti aggiuntivi  
o reingegnerizzati

► **Scenario 2: Tutti gli impianti attuali assunti espandibili e eventuali siti aggiuntivi**

- con limiti ICNIRP si è assunto tutti gli impianti espandibili, si è verificato il raggiungimento degli obiettivi di copertura e qualità e valutato il costo

Limiti ICNIRP

# Risultati: qualità con limiti e siti attuali

## ► **Qualità pessima** con limiti attuali e soli siti esistenti espandibili

| Città   | Copertura Outdoor | Copertura Indoor |
|---------|-------------------|------------------|
| Torino  | 86 %              | 32%              |
| Caserta | 84 %              | 27%              |
| Modena  | 85 %              | 26%              |
| Trieste | 46 %              | 15%              |
| Rimini  | 63 %              | 16%              |

Senza l'utilizzo dei siti non espandibili si creerebbero dei buchi di copertura che renderebbero non implementabile i casi d'uso del 5G che richiedono continuità di copertura e copertura indoor di buona qualità



# Risultati: percentuali di siti non espandibili

- In media il **62%** degli impianti risulta non espandibile con gli attuali limiti che proiettata a livello nazionale si traduce in **27.900** impianti

| Città   | Siti <u>non</u> espandibili |
|---------|-----------------------------|
| Torino  | 68 %                        |
| Caserta | 48 %                        |
| Modena  | 45 %                        |
| Trieste | 75 %                        |
| Rimini  | 73 %                        |

Gli impianti non espandibili richiedono interventi di **re-ingegnerizzazione** (come ad esempio l'aumento di altezza delle antenne) o l'aggiunta di impianti 5G in **nuovi siti**

Invece con limiti ICNIRP gli impianti esistenti risultano espandibili e **sufficienti a raggiungere gli obiettivi di qualità e copertura**



# Risultati: stima dei costi

- ▶ Per la stima dei costi si è considerata una «ipotesi di scuola» sul roll-out della rete e dei costi unitari d'intervento basati su stime accademiche «informate»
- ▶ **Roll-out**
  - Si è ipotizzato un roll-out del 80% degli impianti in 5 anni (copertura e qualità) e del 20% restante nei 5 anni successivi (capacità)
  - I costi operativi sono stati valutati su un orizzonte temporale di 10 anni dall'inizio del roll out
- ▶ **Re-ingegnerizzazione**
  - Si è ipotizzato di poter re-ingegnerizzare gli impianti nei quali un solo settore risulti non espandibile (stima del 16%) e di dover sostituire gli altri con nuovi siti
- ▶ **Site sharing**
  - Si è ipotizzato un buon livello condivisione di siti tra operatori sui nuovi impianti almeno pari all'attuale livello per il 4G (stima del 42% in media)



# Risultati: confronto costi

- A fronte dei **27.900 impianti** non espandibili si sono stimati interventi che richiedono circa **4 miliardi €** di costi totali in più

| Città                                 | Scenario 1<br>LIMITI<br>ATTUALI | Scenario 2<br>LIMITI<br>ICNIRP | Differenza     |
|---------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|----------------|
| Costo totale per il sistema nazionale | 9.39 B€                         | 5.53 B€                        | <b>3.86 B€</b> |

