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

Gruppo di lavoro POLIMI

- **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

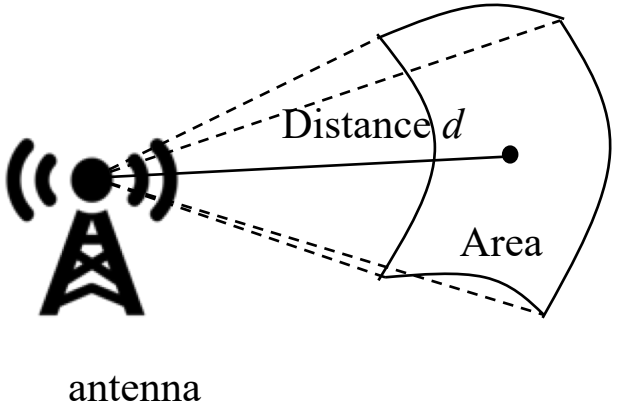
Organismi scientifici internazionali

- **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

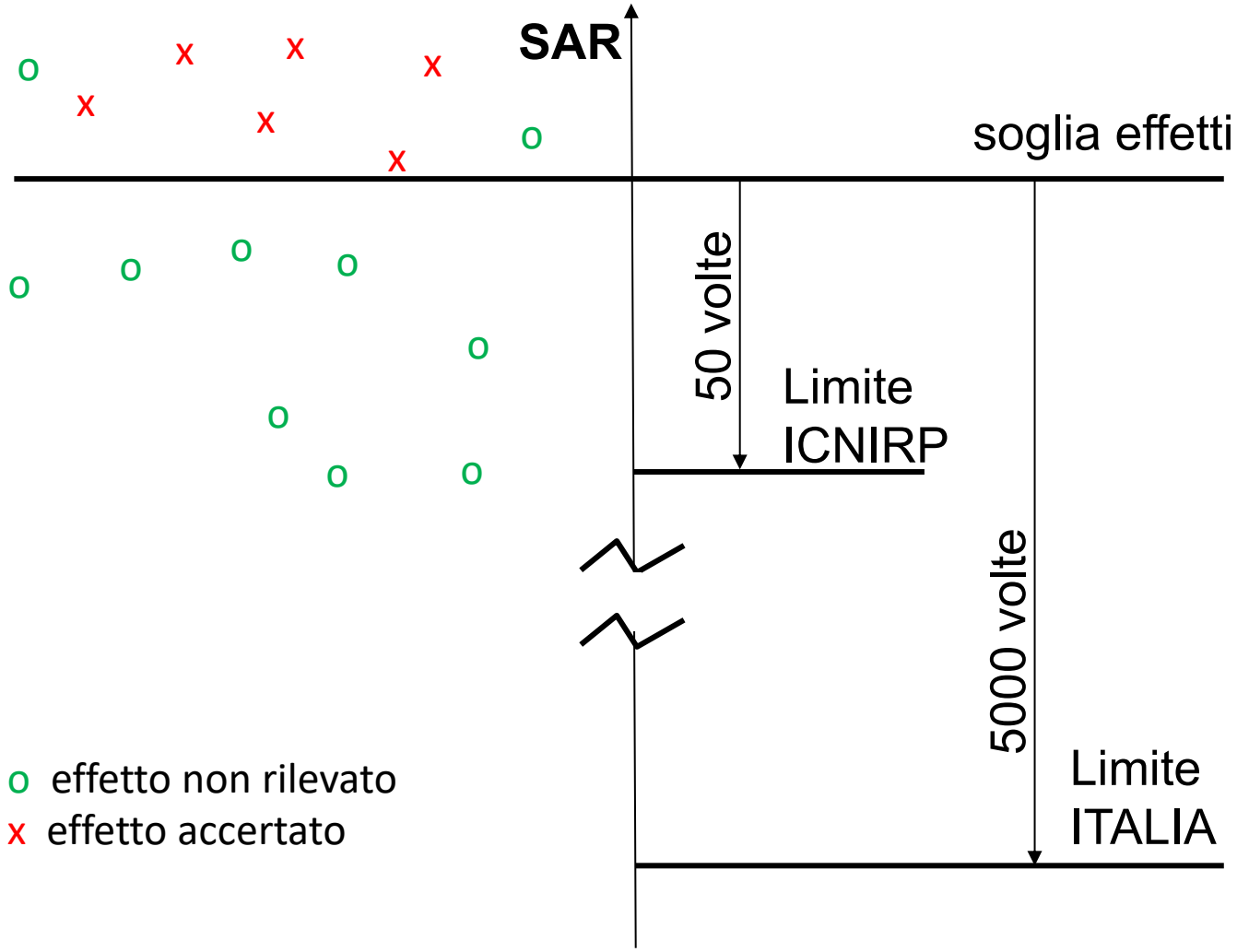
Effetti e grandezze fisiche

- **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/m²**, 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



Soglia e fattore di sicurezza

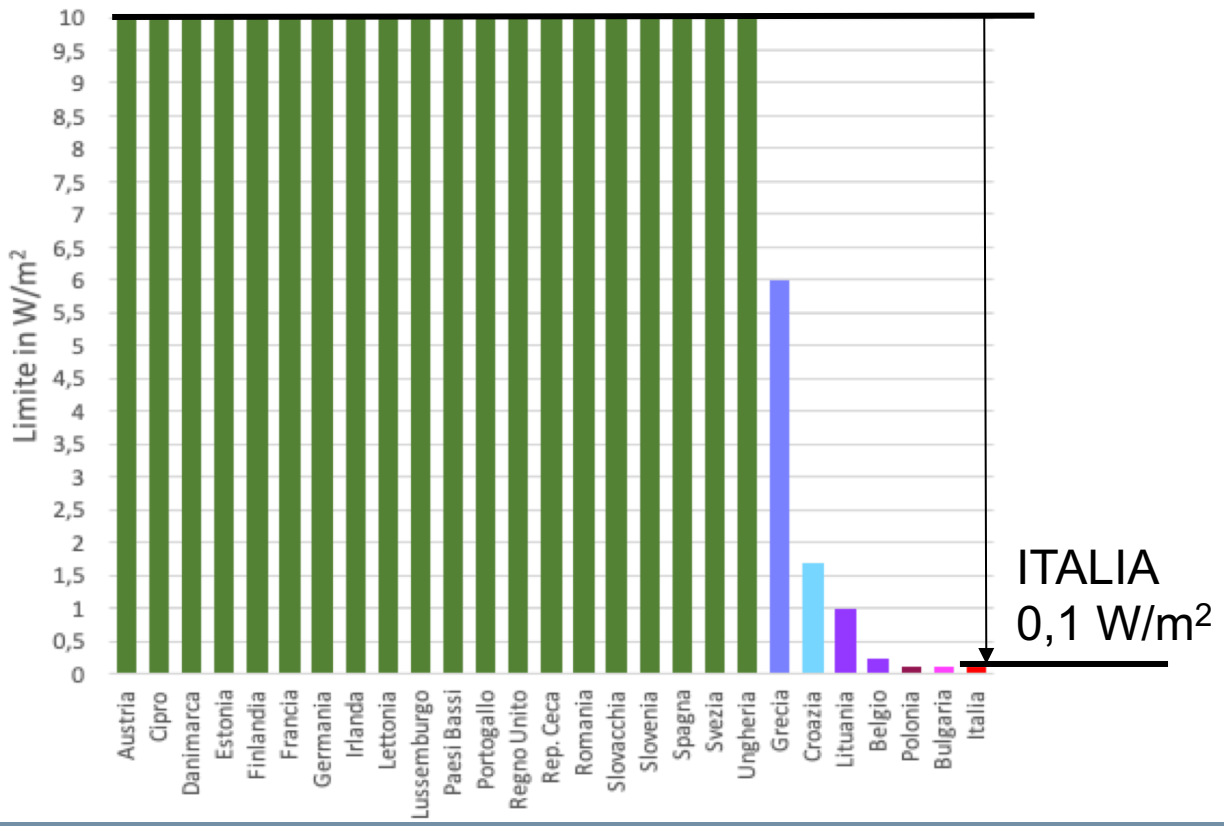


- **Analisi degli studi sugli effetti**
  - Classificazione sulla base del SAR
- **Soglia**
  - Valore **minimo** per il quale sono stati accertati degli effetti
- **Fattore di sicurezza**
  - Fattore di riduzione applicato al SAR in via cautelativa

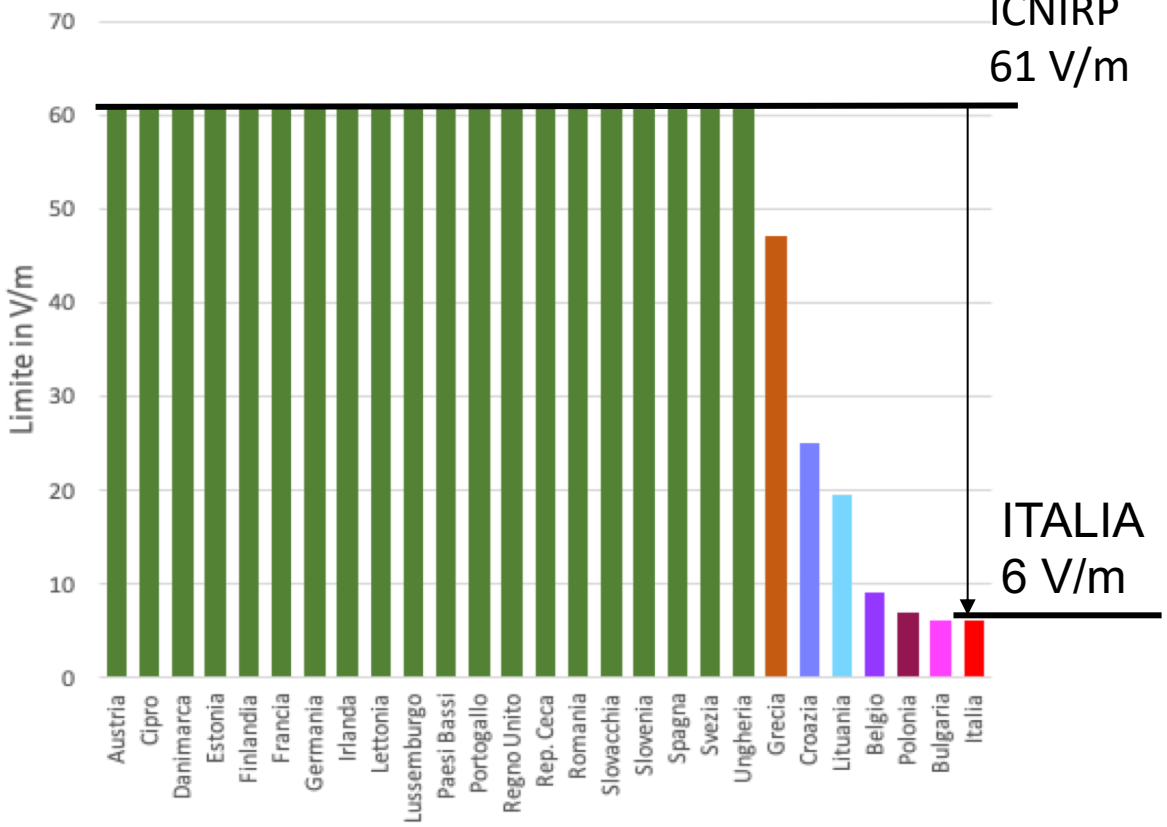
Limiti adottati dai paesi UE

- **Limiti(*) adottati nei paesi UE espressi in:**

densità di potenza (W/m²)
(misura equivalente al SAR)



campo elettrico (V/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:

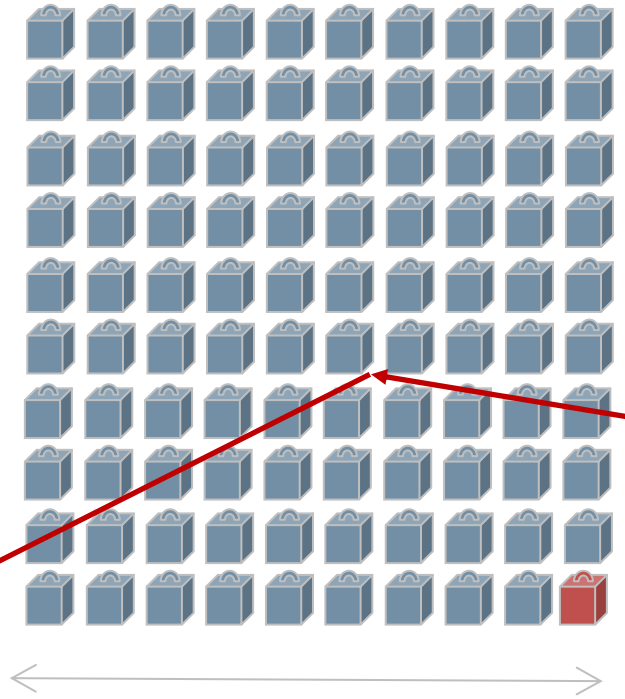
Con il fattore di riduzione 5000 volte:

Parallelo con i limiti di peso spostabile

Peso complessivo: 24.5 kg
=
Densità potenza: 490 W/m^2

Lato insieme blocchi: 70 cm
=
Campo elettrico: 420 V/m

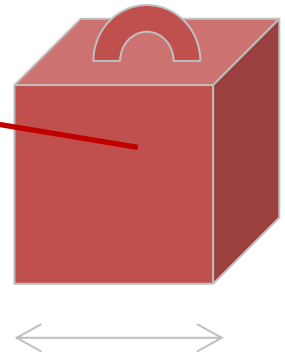
Peso complessivo: 500 g
=
Densità potenza: 10 W/m^2



Lato insieme blocchi: 10 cm
=
Campo elettrico: 60 V/m

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

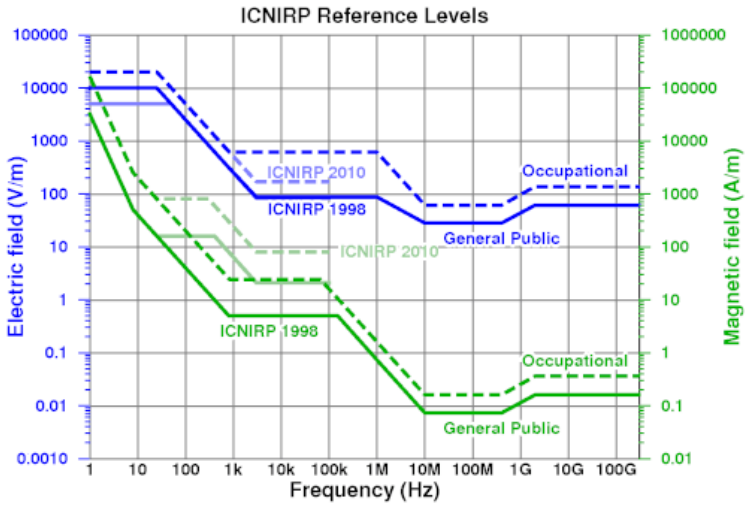
Peso : 5 g
=
Densità potenza: 0,1 W/m^2



Lato blocco: 1 cm
=
Campo elettrico: 6 V/m

Relazione tra 5G e linee guida sui limiti

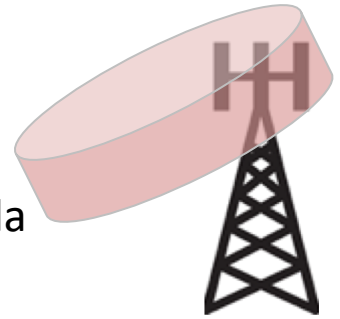
- **La tecnologia radio è irrilevante rispetto agli effetti accertati**
  - Conta solo la potenza e la frequenza utilizzate
  - Al 5G si applicano le stesse linee guida degli altri sistemi 2G/3G/4G così come di WiFi, WiMax, ecc.
- **Le frequenze usate dal 5G ricadono in quelle oggetto delle linee guida**
  - 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

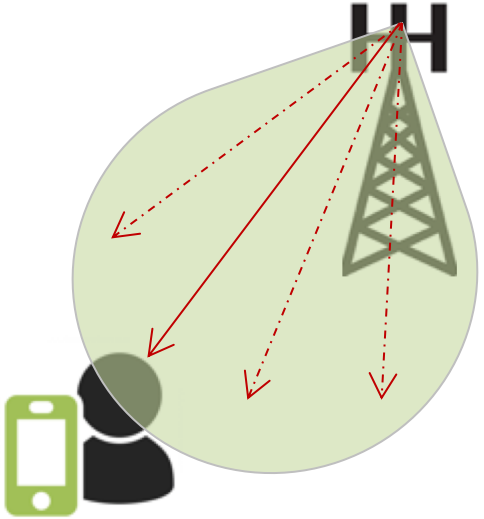
- **Limiti di esposizione per le stazioni radiomobili**
  - I limiti di esposizione si applicano ai criteri costruttivi delle stazioni radiomobili per proteggere dagli effetti le **persone che possono trovarsi nelle immediate vicinanze** (ordine delle decine di metri), ad esempio vicino a finestre, balconi, 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

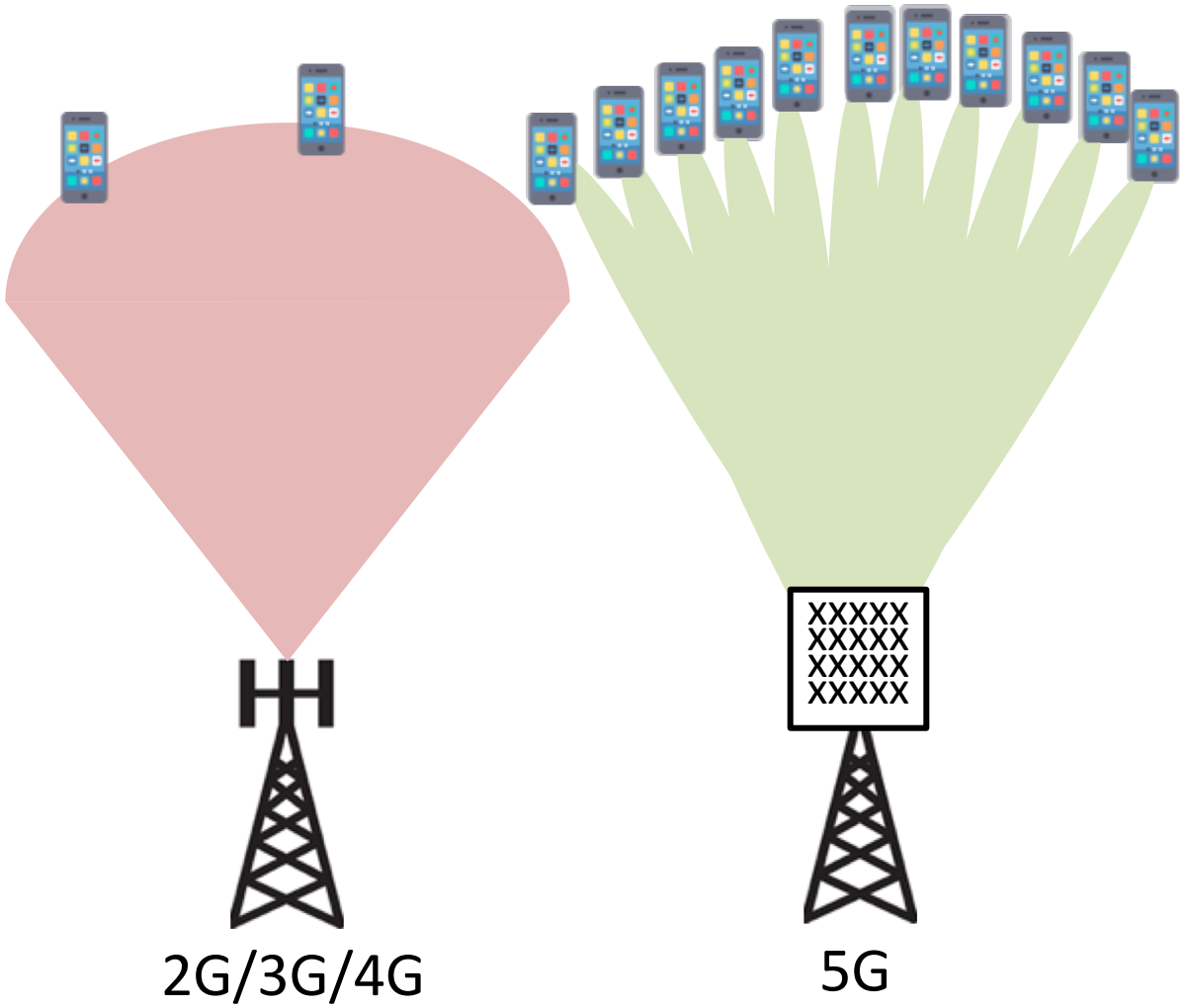
Antenne statiche

- **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 direzione 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



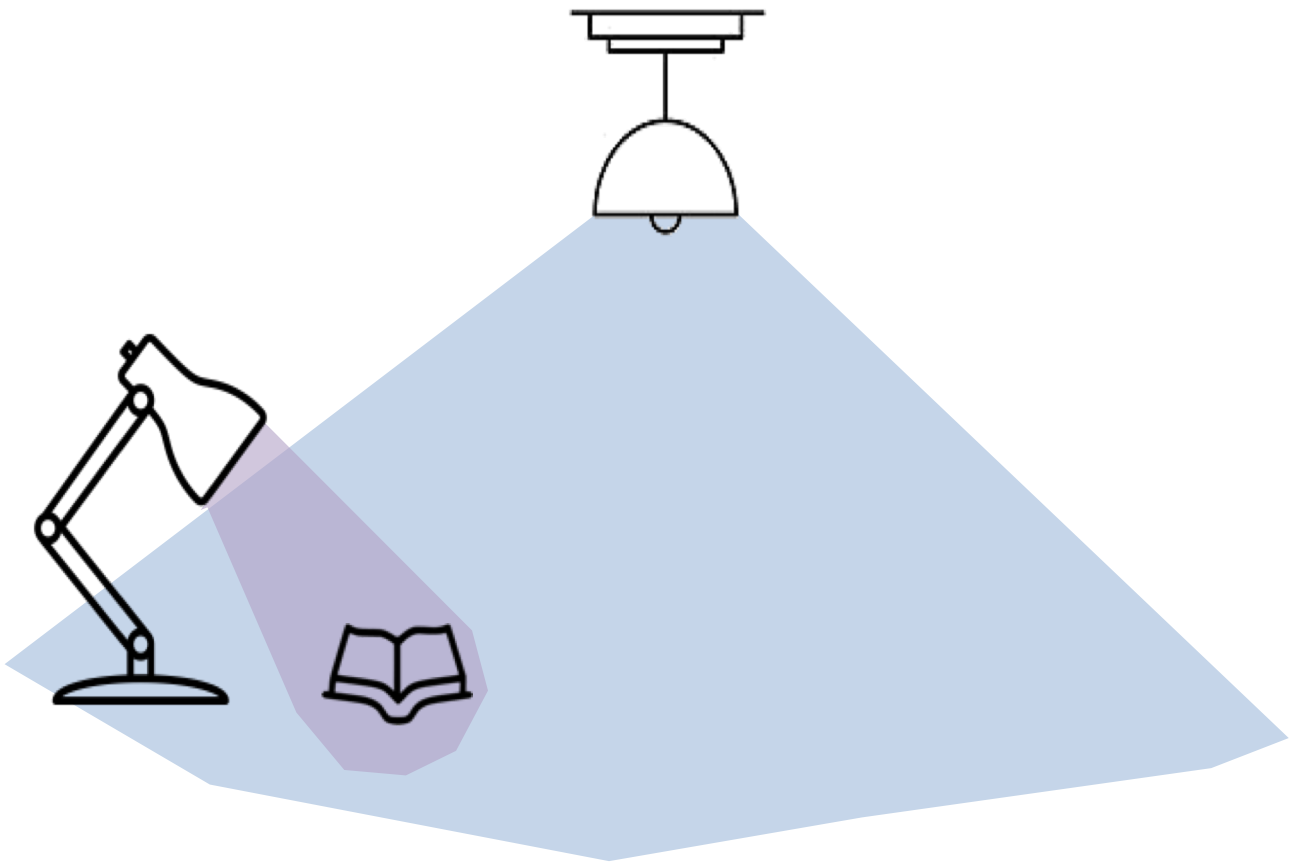
Antenne 5G

- **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)

Scenari

- **Scenario 0: Utilizzo solo impianti attuali espandibili con limiti attuali**
  - con limiti attuali e impianti attuali espandibili si è valutata la qualità della copertura
- **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
- **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 attuali e impianti attuali

Limiti attuali e impianti aggiuntivi o reingegnerizzati

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 non 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 LIMITI ATTUALI	Scenario 2 LIMITI ICNIRP	Differenza
Costo totale per il sistema nazionale	9.39 B€	5.53 B€	**3.86 B€**