



Auto, auto elettrica, auto ibrida

Data: 5 febbraio 2026

Nelle auto con motore a combustione, nelle auto elettriche e nelle auto ibride possono verificarsi campi elettrici e magnetici. Le cause sono diverse:

- nelle auto elettriche e ibride, il motore elettrico e la batteria generano prevalentemente campi magnetici;
- nelle auto con motore a combustione interna e nelle auto ibride, la pompa del carburante, il generatore (alternatore) e la batteria generano prevalentemente campi magnetici;
- in tutti i tipi di auto, l'impianto elettrico ed elettronico di bordo, come ad esempio il cablaggio, il climatizzatore, il riscaldamento dei sedili, i dispositivi di intrattenimento e navigazione, i sistemi di assistenza alla guida e i sensori, generano campi elettrici e magnetici;
- in tutti i tipi di auto, le telecomunicazioni mobili generano radiazioni elettromagnetiche;
- in tutti i tipi di auto, i campi magnetici sono generati dalle cinture in acciaio degli pneumatici. Queste sono costituite da fili di acciaio che sono magnetici. La rotazione delle ruote genera campi magnetici all'interno del veicolo.



I campi magnetici generati dalle auto con motore a combustione, dalle auto elettriche e i loro cavi di ricarica o dalle auto ibride rispettano i valori limite stabiliti per prevenire effetti a breve termine sulla salute. Sulla base delle attuali conoscenze scientifiche non è possibile valutare in che misura questi campi influiscano sulla salute a lungo termine.

Anche le radiazioni elettromagnetiche generate dai telefoni cellulari o da altre applicazioni radio all'interno dell'abitacolo rispettano i valori limite. Tuttavia, chi è al volante può utilizzare i telefoni cellulari solo con un dispositivo vivavoce. Si prega di notare che il rischio di incidenti è maggiore anche quando si utilizza un dispositivo vivavoce.

Chi desidera ridurre al minimo l'esposizione ai campi elettromagnetici a titolo precauzionale può seguire i consigli riportati di seguito. Per tutti i tipi di auto non esistono ulteriori possibilità di ottimizzazione.

- In alcune officine specializzate è possibile smagnetizzare in modo permanente gli pneumatici della propria auto.
- Se possibile, non impostare il riscaldamento dei sedili al massimo per ridurre l'esposizione ai campi magnetici nella zona addominale e dorsale.
- Mentre guidate, evitate di telefonare, leggere o scrivere messaggi. Prestate attenzione alle informazioni dell'UPI sulle conseguenze legali [Cellulare al volante: cosa consente la legge? | UPI](#). Se nonostante tutto non volete rinunciare a telefonare in auto, utilizzate assolutamente un dispositivo vivavoce.



Informazioni dettagliate

1 Valori limite

La «International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection» (ICNIRP) valuta gli effetti dei campi elettromagnetici sulla salute. Fornisce raccomandazioni sui valori limite [1], che a loro volta costituiscono la base per i valori limite della raccomandazione del Consiglio dell'UE [2]. I valori limite dell'UE definiscono in Europa e in Svizzera i requisiti fondamentali che i prodotti elettrici devono soddisfare per essere considerati sicuri dal punto di vista dei campi elettromagnetici.

Questi valori limite si basano su effetti acuti scientificamente provati nell'uomo quando i campi superano una certa intensità. I valori limite per la popolazione generale sono inferiori di un fattore 50 al valore a partire dal quale si verificano effetti acuti.

Esistono due categorie di valori limite: i cosiddetti limiti di base e i livelli di riferimento da essi derivati. A seconda della gamma di frequenza, hanno valori diversi o rappresentano grandezze fisiche diverse.

1.1 Campi a bassa e media frequenza

I limiti di base nella gamma delle basse frequenze si riferiscono alle correnti elettriche che generano campi magnetici in un corpo (correnti corporee). Queste correnti possono avere effetti acuti sulle funzioni del sistema nervoso. Poiché queste correnti corporee non possono essere misurate direttamente, nella pratica si utilizzano livelli di riferimento derivati dai limiti di base. Essi sono misurabili in assenza della persona come campo elettrico o magnetico. Se i livelli di riferimento per i campi magnetici sono rispettati, nella maggior parte dei casi anche la corrente nel corpo di una persona esposta è inferiore al limite di base. Se tuttavia i livelli di riferimento vengono superati, è necessario verificare se i limiti di base sono rispettati utilizzando metodi complessi come simulazioni al computer di modelli umani.

1.2 Radiazioni elettromagnetiche ad alta frequenza

Il corpo di una persona può assorbire radiazioni elettromagnetiche ad alta frequenza e quindi riscaldarsi. I valori limite limitano questo riscaldamento in modo da non causare rischi per la salute.

I limiti di base per frequenze fino a 10 GHz sono costituiti dai tassi di assorbimento specifico (valori SAR). Essi indicano la quantità di radiazioni elettromagnetiche (espressa in potenza di radiazione in watt) assorbita da una determinata massa del corpo umano (kg). Essi dipendono dal fatto che le radiazioni agiscano su tutto il corpo, sugli arti, sulla testa o sul tronco. Il valore limite per il tronco e la testa è il più severo e ammonta a 2 W/kg, calcolato su un volume corporeo di 10 grammi. Ciò significa che nel volume corporeo più irradiato di 10 grammi, il SAR non deve superare il valore di 0,02 W/kg. I valori SAR sono particolarmente utili per valutare i dispositivi che le persone utilizzano normalmente sulla superficie del corpo o nelle immediate vicinanze del corpo.

Poiché le radiazioni con frequenze superiori a 10 GHz non penetrano più in profondità nel corpo, il tessuto si riscalda solo in prossimità della superficie o sulla superficie del corpo. Il limite di base per le radiazioni con frequenze superiori a 10 GHz, come quelle emesse ad esempio dagli impianti radar, è



costituito dalla densità di potenza in W/m^2 .

I valori SAR possono essere determinati solo con grande difficoltà. I livelli di riferimento che ne derivano sono molto più facili da misurare. Tuttavia, sono applicabili solo a corpi irradiati in modo omogeneo. Si riferiscono ai campi elettrici e magnetici, alla densità di flusso magnetico e alla densità di potenza.

1.3 Valori limite ed effetti a lungo termine

Questi valori limite raccomandati non tengono conto dei potenziali effetti a lungo termine. Il motivo è che l'ICNIRP considera insufficienti le conoscenze scientifiche relative agli effetti nocivi dell'esposizione a lungo termine ai campi elettromagnetici.

2 Campi a bassa e media frequenza nelle automobili

2.1 Cause

2.1.1 Automobili con motore a combustione interna

Nelle auto con motore a combustione interna, diversi sistemi e dispositivi elettrici necessitano di energia elettrica. Questa viene fornita dalla batteria quando il veicolo è fermo e dal generatore durante la marcia, che converte l'energia meccanica in energia elettrica. Di solito la corrente fluisce attraverso i cavi ai singoli sistemi e attraverso la carrozzeria, che funge da conduttore neutro, torna alla batteria o al generatore. Questo processo genera campi magnetici a bassa frequenza.

2.1.2 Auto elettriche

Le auto elettriche sono alimentate da un motore elettrico. A differenza delle auto con motore a combustione interna, possono convertire o recuperare parte dell'energia generata durante la frenata in energia elettrica. In questa modalità di funzionamento, l'auto in movimento aziona il motore elettrico, che ora funziona come generatore o freno motore. A seconda del percorso, il motore elettrico passa continuamente dal funzionamento a motore con consumo di energia al funzionamento a generatore con produzione di energia. Una batteria immagazzina l'energia elettrica generata durante la frenata. A causa delle sue grandi dimensioni, la batteria è spesso installata nel fondo del veicolo.

Di solito la corrente fluisce attraverso i cavi al motore elettrico e ad altri sistemi elettrici e torna alla batteria attraverso la carrozzeria, che funge da conduttore neutro. Questo processo genera campi magnetici. Poiché i cavi e la batteria si trovano vicino all'abitacolo, è possibile che una parte dei campi penetri nell'abitacolo.

2.1.3 Auto ibride

Le auto ibride sono alimentate principalmente da un motore a combustione interna, supportato da un motore elettrico. In fase di frenata, il motore elettrico può funzionare come freno motore o generatore e produrre energia elettrica che viene immagazzinata in una batteria. Questa è solitamente installata



nel fondo del bagagliaio o sotto il sedile posteriore. Le auto ibride plug-in possono ricaricare la batteria anche tramite un'alimentazione elettrica esterna.

2.2 Dimensioni dei campi magnetici

Uno studio del 2025 commissionato dall'Ufficio federale tedesco per la protezione dalle radiazioni (BfS) ha misurato i campi magnetici in 11 diverse auto elettriche, in due auto ibride e in un'auto con motore a combustione interna [3]. I risultati sono riassunti nella tabella 1. È indicato lo sfruttamento dei livelli di riferimento in percentuale sui sedili più esposti di 11 auto elettriche, due auto ibride e un'auto con motore a combustione interna. Se una situazione (ad es. campo magnetico massimo sul sedile del conducente) riguarda più veicoli, viene indicato anche il rapporto tra lo sfruttamento dei livelli di riferimento del veicolo più esposto e quello meno esposto.

Massimo sfruttamento dei livelli di riferimento							
	Auto elettriche (11 veicoli)			Auto ibride (due veicoli)			Un'auto con motore a combustione
Sedile con campi magnetici più elevati	Numero di veicoli interessati	Sfruttamento massimo [%]	Rapporto tra il veicolo con il carico maggiore e quello con il carico minore (arrotondato)	Numero di veicoli interessati	Sfruttamento massimo [%]	Rapporto tra il veicolo con il carico maggiore e quello con il carico minore (arrotondato)	Sfruttamento massimo [%]
Guida a velocità costante							
Sedile del conducente	5	62	10 a 1	2	101	3 a 1	24
Sedile del passeggero	5	19	3 a 1	-	-	-	-
Sedile posteriore	1	11	-	-	-	-	-
Accelerare							
Sedile del conducente	6	66	8 a 1	2	1200	33 a 1	79
Sedile del	4	123	18 a 1	-	-	-	-



passeggero							
Sedile posteriore	1	30	-	-	-	-	-
Rallentamento							
Sedile del conducente	6	282	26 a 1	-	-	-	109
Sedile del passeggero	4	320	11 a 1	2	137	5 a 1	-
Sedile posteriore	1	77	-	-	-	-	-
Arresto							
Sedile del conducente	5	425	4 a 1	1	305	-	576
Sedile del passeggero	6	704	12 a 1	1	1500	-	-
Sedile posteriore	-	-	-	-	-	-	-

Tabella 1: Intensità dei campi magnetici sui sedili più esposti in percentuale del valore del livello di riferimento [3]. Se una situazione (ad es. campo magnetico massimo sul sedile del conducente) riguarda più veicoli, viene indicato il rapporto arrotondato tra i livelli di riferimento del veicolo più esposto e quello meno esposto.

Lo studio dimostra

- che sia l'auto con motore a combustione interna, sia le due auto ibride e le auto elettriche possono generare campi magnetici che in singole situazioni possono raggiungere o superare i livelli di riferimento per brevi periodi e localmente;
- che i campi magnetici più elevati che si verificano sono specifici del veicolo;
- che anche i sedili in cui si verificano campi magnetici più intensi all'interno del veicolo sono specifici per ogni veicolo;
- che l'esposizione ai campi magnetici nel sedile del conducente nella zona dei piedi e delle gambe tende ad essere maggiore rispetto ad altre parti del corpo, come ad esempio la parte superiore del corpo;
- che l'esposizione ai campi magnetici durante l'accelerazione e la frenata nelle auto elettriche e ibride tende ad essere significativamente maggiore rispetto alla guida a velocità costante;
- che i campi magnetici, che in alcuni casi superano i livelli di riferimento, rispettano comunque



sempre i limiti di base. Lo studio ha valutato i risultati in base ai valori limite dell'ICNIRP del 2010 [23] per le esposizioni che non interessano il sistema nervoso centrale. Questi ultimi non sono previsti nell'UE e in Svizzera per valutare la sicurezza dei prodotti;

- che, secondo le attuali conoscenze scientifiche, le persone con impianti non sono a rischio a causa dell'esposizione ai campi magnetici.

Lo studio mostra inoltre che i campi magnetici non generati dal motore elettrico (ad esempio quando il veicolo è fermo o anche nelle auto con motore a combustione) possono raggiungere valori più elevati. Essi sono generati da componenti elettrici che presentano processi di accensione e spegnimento, come ad esempio:

- all'accensione dell'auto;
- nei sedili riscaldati che regolano la loro temperatura con regolatori di commutazione sfavorevoli. Sono interessati soprattutto la zona addominale e la schiena;
- durante la segnalazione con gli indicatori di direzione;
- delle ventole nell'abitacolo;
- dai finestrini elettrici.

2.3 Campi magnetici durante la ricarica delle auto elettriche

Uno studio condotto dall'Ufficio federale tedesco per la radioprotezione [4] ha esaminato i campi magnetici generati all'interno delle auto elettriche durante la ricarica e all'esterno, intorno alle stazioni o agli impianti di ricarica tipici europei. La tabella 2 elenca i principali tipi di ricarica (modalità di ricarica) utilizzati in Svizzera e i relativi impianti di ricarica.

Modalità di ricarica Dispositivo di ricarica	Corrente	Tensione	Potenza massima di ricarica	Tipo di connettore del cavo	
				Lato vei- colo	Lato rete
Modalità di ricarica 2 Cavo di ricarica con collega- mento alla presa per - uso domestico - industria	corrente al- ternata mo- nofase - 8 A - 16 A	- 230 V - 230 V	- 1,8 kW - 3,7 kW	- 2 - 2	- Tipo 13 - CCE 16/3
Modalità di ricarica 3: - Scatola a muro - Stazione di ricarica	Corrente al- ternata mo- nofase a tri- fase - 16 A - 32 A	- 230 V - 400 V	- 3,6 kW - 22 kW	- 2 - Combo 2	2
Modalità di ricarica 4: Stazione di ricarica	Corrente continua	- 150-400 V - 150-800 V	- 150 kW - 300 kW	Combo 2	Cavo fisso alla stazione di ri- carica
Induttivo: bobina nel terreno o nel parcheggio sotto l'auto.	Corrente al- ternata		Sperimentale fino a 22 kW	Non dispo- nibile	Non disponibile



Bobina nell'auto					
------------------	--	--	--	--	--

Tabella 2 Panoramica dei tipi di ricarica comuni (modalità di ricarica) in Europa per ricaricare un'auto elettrica. Dati adattati per la Svizzera.

La tabella 3 mostra i campi magnetici generati all'interno delle auto elettriche durante la ricarica. I valori sono indicati come utilizzo del limite di riferimento per i seguenti punti.

- Modalità di ricarica
- Punto di misurazione
- Momento: all'inizio della ricarica (da 2 a 5 s) o durante un caricamento stazionario (a partire da 10 s)
- Carica residua della batteria: batteria quasi completamente scarica (10%) o batteria quasi completamente carica (>95%)



Modalità di ricarica 2; corrente alternata CA			
Valore massimo degli utilizzi dei livelli di riferimento [%] di due veicoli su un cavo di ricarica con collegamento alla presa con una potenza di ricarica di 2 kW			
Sede	Carica residua della batteria		Punto di esposizione massima
	10	>95 %	
Sedile del conducente; inizio della ricarica	51	26	Zona dei piedi
Sedile del conducente; Caricamento stazionario	4,4	2,8	Zona dei piedi
Sedile passeggero; Inizio della ricarica	0,9	1	Zona dei piedi
Sedile passeggero; Caricamento stazionario	0,8	0,9	Zona dei piedi
Modalità di ricarica 3; Corrente alternata CA			
Valori massimi di utilizzo dei livelli di riferimento [%] di sei veicoli su una stazione di ricarica CA a muro con una potenza di ricarica di 11 kW			
Sedile del conducente; Inizio della ricarica	219	133	Zona dei piedi
Sedile del conducente; Caricamento stazionario	5	3,7	Zona dei piedi
Sedile passeggero; Inizio della ricarica	89	100	Zona dei piedi
Sedile passeggero; Caricamento stazionario	3,5	2,5	Zona dei piedi
Modalità di ricarica 3; Corrente alternata CA			
Valori massimi di utilizzo dei livelli di riferimento [%] di sei veicoli presso una stazione di ricarica con potenza di 22 kW			
Sedile del conducente; Inizio della ricarica	190	208	Zona dei piedi
Sedile del conducente; Caricamento stazionario	4,6	5,8	Zona dei piedi
Sedile passeggero; Inizio della ricarica	139	147	Zona dei piedi
Sedile passeggero; Caricamento stazionario	2,2	2,1	Zona dei piedi
Modalità di ricarica 4; Corrente continua DC			
Valori massimi di utilizzo dei livelli di riferimento [%] di due veicoli a due terminali di ricarica DC con potenze di ricarica di 300 e 350 kW			
Sedile del conducente; Inizio della ricarica	26	26	Zona dei piedi del sedile anteriore
Sedile del conducente; Caricamento stazionario	<0,8	<0,8	
Sedile passeggero; Inizio della ricarica	8	2,5	Sedile posteriore parte inferiore
Sedile passeggero; Caricamento stazionario	<0,8	<0,8	

Tabella 3 Campi magnetici all'interno del veicolo durante il processo di ricarica con diverse modalità di ricarica



La tabella 4 indica i campi magnetici generati all'esterno delle auto elettriche durante la ricarica. I valori sono indicati come utilizzo del limite di riferimento in base ai seguenti punti.

- Modalità di ricarica
- Nelle immediate vicinanze della presa, nonché in prossimità della stazione di ricarica e del collegamento del veicolo
- Momento: all'inizio della ricarica (da 2 a 5 s) o durante un caricamento stazionario (a partire da 10 s)
- Carica residua della batteria: batteria quasi completamente scarica o batteria quasi completamente carica

Modalità di ricarica 2; corrente alternata CA				
Valore massimo degli utilizzi di riferimento [%] di due veicoli su un cavo di ricarica con collegamento alla presa con una potenza di ricarica di 2 kW				
Posizione	Carica residua della batteria			
	10		>95	
	Inizio della carica	Caricamento stazionario	Inizio della ricarica	Caricamento stazionario
Distanza di 30 cm dal connettore del veicolo	3,5	0,9	4,6	<0,8
Connettore sul veicolo	260	28	286	25
Modalità di ricarica 3; Corrente alternata CA				
Valori massimi di utilizzo dei livelli di riferimento [%] di sei veicoli su una colonnina CA a muro con una potenza di ricarica di 11 kW				
Distanza di 30 cm dal collegamento del veicolo	10	0,9	15	<0,8
Connettore sul veicolo	1700	161	1510	131
Distanza di 30 cm dalla scatola a muro	5,1	<0,8	4,9	<0,8
Modalità di ricarica 3; corrente alternata CA				
Valori massimi di utilizzo dei livelli di riferimento [%] di sei veicoli su una stazione di ricarica CA con una potenza di ricarica di 22 kW				
Distanza di 30 cm dal collegamento del veicolo	56	5,2	50	5
Connettore sul veicolo	1740	154	1460	139
Distanza di 30 cm dalla stazione di ricarica	8,2	0,9	8,5	0,9
Modalità di ricarica 4; Corrente continua DC				
Valori massimi di utilizzo dei livelli di riferimento [%] di due veicoli su due colonnine di ricarica DC con potenze di ricarica di 300 e 350 kW				
Distanza di 30 cm dal collegamento del veicolo	2,7	2,7	2,2	1,1
Connettore sul veicolo	99	99	118	30
Distanza di 30 cm dalla stazione di ricarica	8	8	6	6

Tabella 4 Campi magnetici in corrispondenza delle stazioni di ricarica durante il processo di ricarica



con diverse modalità di ricarica

I risultati relativi all'utilizzo dei livelli di riferimento mostrano che, per tutte le modalità di ricarica

- che nella maggior parte dei casi i campi in corrispondenza dei dispositivi di ricarica e nel veicolo sono inferiori ai livelli di riferimento;
- che valori elevati, superiori ai livelli di riferimento, possono spesso comparire a livello dei connettori del veicolo;
- all'inizio della ricarica si verificano valori elevati a livello delle ruote del veicolo;
- che i campi non dipendono dal fatto che la batteria sia quasi scarica (carica residua del 10%) o quasi piena (carica residua > 95%) all'inizio della ricarica.

Poiché i livelli di riferimento sono stati parzialmente superati, lo studio ha utilizzato una simulazione al computer per verificare se i valori dei limiti di base fossero rispettati. I risultati per due veicoli in cui i limiti di riferimento sono stati superati mostrano che i valori dei limiti di base sono rispettati in tutti i casi. Il loro utilizzo è

- inferiore al 2% per una persona seduta sul sedile del conducente;
- inferiore al 15% per una persona in piedi vicino al connettore del veicolo, con i bambini che possono essere esposti a livelli più elevati rispetto agli adulti;
- inferiore al 15 % (secondo l'ICNIRP 2010 [23]) per una persona che tiene in mano una spina di ricarica o inferiore al 30 % se tiene in mano il cavo.

Lo studio ha anche esaminato i campi generati da un impianto pilota di ricarica wireless a induzione per taxi. Sono state esaminate due posizioni del veicolo

- Il veicolo è centrato sul dispositivo di ricarica attivato
- Il veicolo è spostato di 12 cm lateralmente rispetto al dispositivo di ricarica attivato

I risultati mostrano

- che il valore del livello di riferimento all'interno dell'auto viene utilizzato a circa il 20%, con un utilizzo leggermente superiore quando l'auto è spostata rispetto al dispositivo di ricarica;
- che il valore del livello di riferimento è nettamente superato proprio accanto al veicolo fino a un'altezza di 40 cm dal suolo, ovvero fino al 400% quando il veicolo è centrato e fino al 600% quando il veicolo è spostato.
- che il valore del limite di base è invece utilizzato a meno dell'1% all'interno dell'auto e a meno del 2% all'esterno dell'auto.

2.4 Campi magnetici degli pneumatici delle auto

2.4.1 Causa / Entità

Gli inserti in acciaio degli pneumatici delle automobili sono magnetizzati durante il processo di produzione. A veicolo fermo generano un campo magnetico statico, mentre durante la marcia generano un campo magnetico a bassa frequenza. La frequenza del campo magnetico dipende dalla velocità. Uno studio finanziato dal UFSP ha esaminato in dodici diverse automobili i campi magnetici generati dagli pneumatici magnetizzati. Le misurazioni sono state effettuate a una velocità di 80 km/h. Sono stati

rilevati campi magnetici a bassa frequenza con frequenze comprese tra 5 e 2000 Hz (tabella 5) [5].

Campo magnetico (μT)	Area pelvica del conducente	Area della testa del conducente	Area dei piedi del passeggero	Sedile posteriore
Valore medio	0,29	0,21	3,22	3,28
Deviazione standard	0,18	0,10	2,53	2,55
Massimo	0,73	0,45	8,89	9,51
Minimo	0,12	0,10	0,76	0,65

Tabella 5: Valori massimi nello spettro del campo magnetico in diverse posizioni in dodici auto in movimento a 80 km/h [5].

Valori elevati sono stati misurati nella zona dei piedi del sedile del passeggero e sul sedile posteriore. In 2/3 delle auto sono stati misurati valori superiori a 2 μT , in 1/4 delle auto valori superiori a 6 μT .

La frequenza fondamentale dei campi magnetici è di 10-12 Hz a una velocità di marcia di 80 km/h. Nella figura 1 si può vedere che sono state misurate anche frequenze armoniche più elevate.

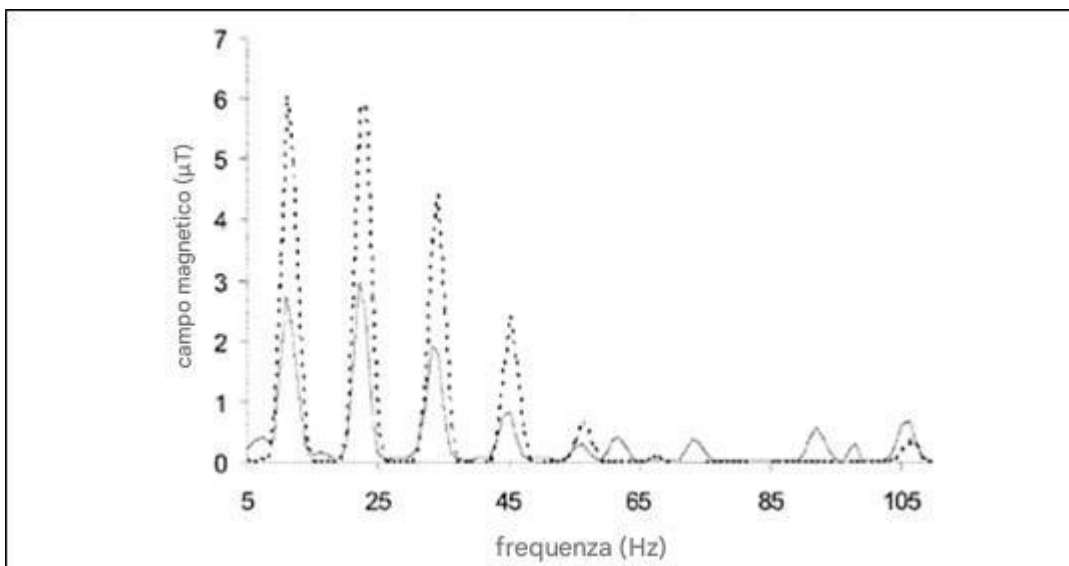


Figura 1: spettro tipico del campo magnetico in un'auto che viaggia a 80 km/h (campo magnetico in funzione della frequenza). Linea tratteggiata: zona dei piedi del sedile del passeggero, linea continua: sedile posteriore. [5]

Una somma ponderata delle componenti spettrali del campo magnetico tra 5 e 100 Hz mostra che nelle dodici automobili misurate sul sedile posteriore viene raggiunto in media il 4%, con un massimo del 6,9% del livello di riferimento (tabella 6).



Sfruttamento del livello di riferimento	Zona dei piedi del passeggero	Sedile posteriore
Valore medio	4,6 %	4,0 %
Massimo	14,3 %	6,9 %
Minimo	1,0 %	0,4 %

Tabella 6: Somma ponderata dei campi magnetici spettrali nell'abitacolo di dodici automobili in movimento. Il 100% corrisponde al completo sfruttamento del livello di riferimento [5]

Lo stesso studio ha esaminato su una equilibratrice i campi magnetici di 32 singoli pneumatici su cerchi a una distanza di 2 cm dalla ruota (tabella 7). La frequenza dei campi magnetici era compresa tra 5 e 2000 Hz e dipendeva dalla velocità di rotazione della equilibratrice. I campi magnetici degli pneumatici misurati mostrano un'ampia dispersione tra 0,8 e 97 μ T.

Campo magnetico (μ T)	Tutti gli pneumatici (n=32)	Pneumatici nuovi (n=13)	Pneumatici usati (n=19)	Cerchi in lega (n=25)	Cerchi in acciaio (n=7)
Valore medio (μ T)	25,2	22,4	29,2	21,5	38,1
Deviazione standard (μ T)	22,3	7,8	34,0	18,8	29,9
Massimo (μ T)	97,0	33,9	97,0	97,0	71,9
Minimo (μ T)	0,8	10,1	0,8	0,8	6,4

Tabella 7: Valori di picco dei campi magnetici spettrali degli pneumatici per autoveicoli, misurati su una equilibratrice a una distanza di 2 cm dalla superficie dello pneumatico [6].

2.4.2 Smagnetizzazione degli pneumatici per autoveicoli

L'obiettivo dello studio UFSP era inoltre quello di costruire un dispositivo pratico con cui fosse possibile smagnetizzare gli pneumatici delle automobili [6]. Ciò è stato ottenuto utilizzando una equilibratrice convenzionale su cui ruota uno pneumatico montato su un cerchione. Un supporto mobile posiziona una bobina elettrica molto vicino allo pneumatico. Il supporto allontana lentamente dalla ruota la bobina, che genera un forte campo magnetico a 50 Hz. In questo modo il campo magnetico dello pneumatico si riduce continuamente, demagnetizzandolo. Con questo metodo è stato possibile ridurre in modo significativo e duraturo i campi magnetici degli pneumatici [6] (tabella 8). Anche dopo cinque mesi di utilizzo, i campi magnetici erano ancora fortemente ridotti.

Stato degli pneumatici	Campo magnetico (μ T)
Prima della smagnetizzazione	11,7 \pm 3,1
Dopo la smagnetizzazione	1,5 \pm 1,6
Controllo dopo 1 mese	1,1 \pm 0,9
Controllo dopo 5 mesi	1,4 \pm 1,5

Tabella 8: valori massimi dei campi magnetici di quattro pneumatici, misurati su una equilibratrice a



una distanza di 2 cm dalla superficie dello pneumatico. Misurazioni di controllo dopo 1 e 5 mesi di utilizzo degli pneumatici [6].

Alcune officine in Svizzera offrono il servizio di smagnetizzazione degli pneumatici https://www.mensch-und-technik.ch/mut/Autoreifenentmagnetisierungsger%C3%A4t/Standortliste%20Autoreifenentmagnetisierung_1.pdf

3 Radiazioni elettromagnetiche ad alta frequenza all'interno dell'auto

3.1 Telefonia mobile

3.1.1 Esposizione alle antenne esterne al veicolo

Diversi studi hanno esaminato l'esposizione all'interno degli autoveicoli alle radiazioni delle antenne montate all'esterno dell'abitacolo [7]. Le antenne esaminate utilizzavano diverse bande di frequenza come VHF, UHF, GSM, 5G e WLAN. Gli studi dimostrano

- che l'esposizione nell'abitacolo era inferiore ai livelli di riferimento per le rispettive bande di frequenza
- che i valori SAR erano inferiori ai limiti di base.
- L'esposizione più elevata è stata osservata su tutto il corpo e nella zona della testa.

3.1.2 Esposizione alle antenne interne al veicolo

I telefoni cellulari utilizzati dalle persone all'interno del veicolo si collegano alla stazione base di telefonia mobile più vicina tramite la propria antenna nella maggior parte delle auto moderne. Poiché l'abitacolo chiuso delle auto, costituito da vetri, acciaio e plastica, ha un effetto isolante su questa connessione, sono necessarie potenze di trasmissione più elevate del telefono cellulare. Ciò comporta valori di radiazione più elevati all'interno dell'auto rispetto all'esterno [8, 10, 11]. Secondo le indicazioni dei produttori, questi valori di radiazione più elevati possono essere ridotti nei modelli di veicoli che possono collegarsi alle stazioni base di telefonia mobile tramite un'antenna esterna integrata nel veicolo. Gli studi condotti sull'argomento [7] mostrano complessivamente

- che le radiazioni dei telefoni cellulari, dei dispositivi Bluetooth e WLAN rispettano i livelli di riferimento.
- che i valori SAR dipendevano in misura minima dal numero di passeggeri e dai dispositivi utilizzati contemporaneamente, ma erano comunque inferiori ai limiti di base.

Uno studio più datato ha esaminato, in un'auto virtuale realistica, modelli dosimetrici di adulti e bambini esposti alle radiazioni UMTS, WiMax e Bluetooth. Secondo i risultati, in tutti gli scenari i valori SAR per l'intero corpo era almeno 40 volte inferiore e i valori SAR per le esposizioni locali almeno 10 volte inferiore ai limiti di base [9].

Un altro studio precedente con lo standard di telefonia mobile GSM mostra che una persona che telefona in auto invece che all'aperto ha un'esposizione alle radiazioni (valore SAR) superiore del 5%. Le altre persone presenti nell'auto hanno un'esposizione alle radiazioni che arriva fino al 40% del valore SAR della persona che utilizza il telefono cellulare [10, 11].



3.2 Sistemi radio per veicoli connessi (V2X)

3.2.1 Tecnologia

I cosiddetti sistemi V2X (vehicle to everything) collegano le automobili via radio con altri utenti della strada, con l'infrastruttura stradale o con Internet.

Le auto moderne dispongono del sistema V2N (vehicle to network). Esso consente di collegare l'auto a un cloud tramite la comunicazione mobile. Gli scopi del V2N sono la trasmissione di dati per i sistemi di chiamata di emergenza, i sistemi di navigazione, le informazioni sul traffico, la diagnosi a distanza, le richieste sullo stato del veicolo e l'aggiornamento del software da parte della casa automobilistica. Questo sistema può trasmettere sia in funzione che in stato inattivo dell'auto.

Altri sistemi V2X con scopi diversi sono in parte ancora in fase di progettazione o di sperimentazione, ma non sono ancora utilizzati su larga scala in Europa.

- Un sistema V2I (Vehicle-to-Infrastructure) collega le infrastrutture di trasporto, come semafori o segnali stradali, al veicolo in funzione.
- Un sistema V2V (Vehicle-to-Vehicle) collega tra loro i veicoli vicini in funzione;
- Un sistema V2P (Vehicle-to-Pedestrian) ha lo scopo di proteggere i pedoni dagli incidenti con le auto. Rileva i pedoni in particolare con sistemi di bordo come telecamere, radar, laser o sensori o anche tramite una app V2P sul cellulare acceso del pedone. Invia segnali ai veicoli in funzione;
- Un sistema V2G consente, tramite una ricarica bidirezionale intelligente, di utilizzare un'auto elettrica parcheggiata sia come accumulatore di energia che come fornitore di energia, al fine di attenuare i picchi di energia in eccesso nella rete elettrica.

Tutti questi sistemi richiedono antenne nell'auto che trasmettono in parte e quindi, a seconda della loro posizione, generano radiazioni ad alta frequenza all'interno dell'abitacolo. Sono disponibili le seguenti tecnologie (tabella 9)

- ITS-G5 – Intelligent transport systems, un WLAN adattato alle auto che può comunicare solo direttamente con altri utenti della strada o con l'infrastruttura stradale (ad hoc);
- C-V2X – Cellular V2X, una moderna estensione della comunicazione mobile 4G e 5G adattata alle automobili con gli stessi scopi, ma che può anche accedere a Internet. È attualmente in fase di introduzione.

I veicoli che comunicano direttamente tra loro si scambiano informazioni tramite i cosiddetti Corporate awareness messages CAM [12]. Si tratta di piccoli pacchetti di dati che contengono informazioni relative all'ora attuale, alla posizione, alla velocità, alla direzione di marcia, alla lunghezza e alla larghezza del veicolo, all'accelerazione longitudinale, alla curvatura della strada, al tasso di imbardata, ai sistemi attivati ecc. dei rispettivi veicoli. Il loro numero al secondo dipende dalla velocità o dall'intensità con cui queste informazioni cambiano. I CAM generano radiazioni elettromagnetiche pulsate.



Tecnologia	Potenza di trasmissione	Frequenza	Frequenza dei CAM	Portata
ITS-G5 (WLAN IEEE 802.11p)	Max circa 2 Watt Tipicamente 0,2 W [13]	Da 5,855 GHz a 5,925 GHz	1-10 al secondo	Diverse centinaia di metri, ridotta in caso di scarsa qualità della connessione, ad esempio a causa di ostacoli quali edifici o interferenze elettromagnetiche
C-V2X o 4G o 5G Comunicazione mobile per la comunicazione diretta tra veicoli senza stazione base di telefonia mobile	Max circa 0,2 Watt [7, 13]	Da 5,855 GHz a 5,925 GHz		
4G / 5G (C-V2X) per la comunicazione tramite stazione base di telefonia mobile	Max circa 0,2 Watt	Tutte le frequenze di telefonia mobile	Nessuna	Corrisponde alla copertura della rete mobile

Tabella 9: Caratteristiche dei sistemi V2X [7]

3.2.2 Esposizione ai sistemi radio ITS-G5 per veicoli connessi

Diversi studi hanno esaminato l'esposizione alle antenne ITS-G5. Uno studio ha determinato l'esposizione alle antenne ITS-G5 montate sul tetto o nell'angolo superiore del parabrezza sul lato del conducente all'interno del veicolo [14]. L'antenna sul parabrezza ha generato le esposizioni più elevate, pari a circa il 15% direttamente davanti all'antenna e a meno del 4% del valore del livello di riferimento sul cruscotto, sul sedile del conducente e sul sedile posteriore. L'antenna montata sul tetto ha generalmente determinato esposizioni più basse, pari all'8% direttamente davanti all'antenna e a meno dello 0,5% del valore del livello di riferimento all'interno del veicolo. I valori più bassi all'interno del veicolo sono dovuti all'effetto schermante della carrozzeria. Un altro studio [13] è giunto a risultati simili. Esso ha determinato le esposizioni delle antenne ITS-G5 montate sul lunotto posteriore o nella parte anteriore del tetto. Le esposizioni nella zona della testa e del busto sul sedile del conducente e del passeggero anteriore, nonché sul sedile posteriore, sono dell'ordine dell'1% circa o inferiori al valore del livello di riferimento. Un altro studio ha utilizzato un modello numerico di veicolo per esaminare i valori SAR sul sedile del conducente generati da quattro antenne ITS-G5 [15]. In uno scenario, queste erano montate sugli specchietti retrovisori e al centro del tetto, in corrispondenza del parabrezza e del lunotto. In un secondo scenario, meno ottimale, le antenne sul tetto erano posizionate vicino alla zona della testa del sedile del conducente. I risultati mostrano che i limiti di base sono stati rispettati in entrambi gli scenari, anche quando tutte le antenne erano in funzione. Il valore più alto, pari a 1,58 W/kg, è stato registrato nella zona della testa del sedile del conducente.



3.3 Altri sistemi radio

Le auto moderne dispongono di una serie di sistemi radio che consentono un funzionamento comodo e sicuro del veicolo. La tabella 10 mostra un elenco non esaustivo di tali sistemi radio.

Tecnologia	Applicazione	Potenza di trasmissione [Watt]	Banda di frequenza	Studio
Dispositivi a corto raggio (SRD) Identificazione a radiofrequenza (RFID)	<ul style="list-style-type: none">– Apertura, chiusura e avviamento senza chiave di un'auto tramite radio, composto da un'unità di trasmissione e ricezione nell'auto e da un transponder (ad es. una tessera) che una persona porta con sé;– Sistemi di identificazione dei veicoli:– Sistema di parcheggio intelligente;– Scatola a muro per veicoli elettrici, autenticazione e avvio della ricarica;– Accesso autorizzato a edifici, parcheggi o stazioni di ricarica;– Tracciabilità delle merci nella logistica;– Sistemi di pedaggio.	0,01- 2	0,027-5,815 GHz	[14]
Ricezione analogica e digitale di radio e televisione	AM, FM, DAB, DVB-T	Solo ricezione		[14]
Sistema globale di navigazione satellitare	GPS, Galileo, BeiDou, GLONASS	Solo ricezione	1,164-1,591 GHz	[14]
Bluetooth	Comunicazione, trasmissione dati, inclusi aggiornamenti over-the-air di software e infotainment.	0,1	2,4-2,4845 GHz	[14]
WLAN	Comunicazione, trasmissione dati, compresi aggiornamenti over-the-air di software e infotainment.	0,025-1	2,4-5,725 GHz	[14]



Sistemi radar per veicoli	Radar a lungo raggio LLR (portata fino a 150 m)	0,1 -1	21,650-81 GHz	[14]
	Radar a corto raggio SRR nello specchietto laterale o nel portellone posteriore (monitoraggio dell'angolo cieco, ausili di parcheggio, ecc.)	0,01 – 0,2		
Accesso senza chiave Immobilizzatori	Accesso senza chiave	circa 0,01	– Veicolo 125 kHz – Chiave 434 MHz	[16]
Bluetooth a basso consumo energetico (BLE)	<ul style="list-style-type: none"> – Telefono cellulare che si collega al sistema di infotainment; – Sistemi multimediali all'interno del veicolo; – Accesso smart car; – Diagnostica del veicolo; – Impostazioni del veicolo. 	0,1	2,400 -2,4835 GHz	[7]
UHF a corto raggio	<ul style="list-style-type: none"> – Sistema di monitoraggio della pressione degli pneumatici (Tire Pressure Monitoring System TPMS); – Apertura, chiusura e avviamento senza chiave di un'auto tramite radio). 	<ul style="list-style-type: none"> – 0,01 – 0,025 	<ul style="list-style-type: none"> – 434 MHz – 868 MHz 	[7]
Comunicazione UWB, ovvero una tecnologia radio a banda larga	Apertura, chiusura e avviamento senza chiave di un'auto tramite radiofrequenza	0,07413 μ W in qualsiasi sezione di 1 MHz della banda di frequenza occupata	<ul style="list-style-type: none"> – 3,1-4,8 GHz – 6-9 GHz <p>con una larghezza di banda \geq 500 MHz o \geq 20% della frequenza portante (frequenza centrale della banda di frequenza utilizzata),</p>	[7]
Comunicazione in campo vicino (NFC)	<ul style="list-style-type: none"> – Apertura, chiusura e avviamento senza chiave di un'auto tramite radiofrequenza; – Accoppiamento Bluetooth/WLAN con l'infotainment. 	Limitazione tramite campo magnetico	13.56 MHz	[7]

Tabella 10. Altre tecnologie di comunicazione all'interno dell'auto

Esistono poche informazioni sull'esposizione generata da questi sistemi radio all'interno delle automobili.



bili [14]. I risultati disponibili mostrano che i dispositivi Bluetooth e WLAN installati nelle automobili superano il valore del livello di riferimento nella zona del conducente e sui sedili posteriori di meno del 2%.

4 Effetti sulla salute

Non esistono studi che abbiano esaminato direttamente gli effetti sulla salute dei campi elettromagnetici a bassa e alta frequenza nelle automobili, nelle auto elettriche e nelle auto ibride. Questi campi devono quindi essere valutati sulla base dei valori limite [2].

I campi magnetici possono penetrare nel corpo e generare correnti elettriche. Se queste correnti superano un certo valore, possono eccitare in modo acuto i nervi del sistema nervoso centrale. Per evitare che ciò accada, i valori limite sono definiti in modo tale che queste correnti siano almeno 50 volte inferiori a tale valore. Le misurazioni effettuate finora hanno dimostrato che, salvo poche eccezioni, i campi magnetici all'interno di automobili, auto elettriche e auto ibride rispettano i livelli di riferimento e in ogni caso i limiti di base, per cui non sono prevedibili effetti acuti sulla salute. Nel 2002 l'Agenzia internazionale per la ricerca sul cancro (CIRC) ha classificato i campi magnetici statici e a bassa frequenza come potenzialmente cancerogeni (gruppo 2B) [17]. Ciò sulla base di studi epidemiologici che indicano che l'esposizione a lungo termine e permanente a campi magnetici a basse dosi a partire da 0,4 μ T può aumentare il rischio di sviluppare la demenza di Alzheimer [18, 19] o la leucemia infantile [20, 21]. Non è possibile stimare in che misura i campi magnetici a bassa frequenza presenti nelle automobili contribuiscano a tali esposizioni a lungo termine.

Le radiazioni ad alta frequenza vengono assorbite dai tessuti e possono aumentarne la temperatura. Se tale temperatura supera un determinato valore, possono verificarsi effetti acuti e dimostrabili sulla salute. Secondo le conoscenze attuali, le radiazioni ad alta frequenza generate sia dai sistemi V2X che da altri sistemi radio nelle automobili sono troppo deboli per poter provocare tali effetti sulla salute. Nel 2011 l'Agenzia internazionale per la ricerca sul cancro (CIRC) ha classificato i campi elettromagnetici ad alta frequenza come potenzialmente cancerogeni (gruppo 2B) [22]. Ciò, tuttavia, sulla base di studi che mostrano una possibile correlazione tra l'uso di telefoni cellulari o cordless e l'insorgenza di tumori cerebrali. L'CIRC considera limitati i dati disponibili, poiché tali studi sono carenti dal punto di vista del disegno dello studio. Inoltre, l'IARC non ha riscontrato alcuna correlazione tra gli effetti sulla salute e le radiazioni ad alta frequenza generate da altre categorie di dispositivi.

5 Bibliografia

1. ICNIRP. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health Phys.* 1998;494-521.
2. 1999/519/CE: Raccomandazione del Consiglio, del 12 luglio 1999, relativa alla limitazione dell'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici (0 Hz - 300 GHz) (GU L 199 del 30.07.1999, pag. 59, ELI: <http://data.europa.eu/eli/reco/1999/519/oj>).
3. Bundesamt für Strahlenschutz. 2025. Ressortforschungsberichte zum Strahlenschutz. Bestimmung von Expositionen gegenüber elektromagnetischen Feldern der Elektromobilität. Vorhaben 3620S82473. Ergebnisbericht – Teil 1: Elektromagnetische Felder beim Fahren URN: urn:nbn:de:0221-2025031250843. BfS-RESFOR-243/25



4. Bundesamt für Strahlenschutz. 2025. Ressortforschungsberichte zum Strahlenschutz. Bestimmung von Expositionen gegenüber elektromagnetischen Feldern der Elektromobilität. Vorhaben 3620S82473. Ergebnisbericht – Teil 2: Elektromagnetische Felder beim Laden. urn:nbn:de:0221-2025112157059. BfS-RESFOR-252/25
5. Stankowski, S.; Kessi, A.; Becheiraz, O.; Meier-Engel, K.; Meier, M. (2006): Low frequency magnetic fields induced by car tire magnetization. In: *Health Phys* 90 (2), S. 148–153.
6. Kessi A et al. (2004) Entmagnetisierung von Fahrzeugreifen. Berner Fachhochschule – Hochschule für Technik und Informatik - Fachbereich Automobiltechnik.
7. Tognola, Gabriella; Bonato, Marta; Benini, Martina; Aerts, Sam; Gallucci, Silvia; Chiaramello, Emma et al. (2022): Survey of Exposure to RF Electromagnetic Fields in the Connected Car. In: *IEEE Access* 10, S. 47764–47781. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3170035.
8. Vaverka, Filip; Smetana, Milan; Gombarska, Daniela; Psenakova, Zuzana (2023): Investigation of Microwave Electromagnetic Fields in Open and Shielded Areas and Their Possible Effects on Biological Structure. In: *Sensors (Basel, Switzerland)* 23 (4). DOI: 10.3390/s23042351.
9. Harris, Louis-Ray; Zhadobov, Maxim; Chahat, Nacer; Sauleau, Ronan (2011): Electromagnetic dosimetry for adult and child models within a car: multi-exposure scenarios. In: *Int. J. Microw. Wireless Technol.* 3 (6), S. 707–715. DOI: 10.1017/S1759078711001000.
10. K. H. Chan, S. W. Leung and Y. M. Siu, "Specific absorption rate evaluation for people using wireless communication device in vehicle," *2010 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, Fort Lauderdale, FL, USA, 2010, pp. 706-711, DOI: 10.1109/IEMC.2010.5711364.
11. Leung, Sai-Wing; Diao, Yinliang; Chan, Kwok-Hung; Siu, Yun-Ming; Wu, Yongle (2012): Specific absorption rate evaluation for passengers using wireless communication devices inside vehicles with different handedness, passenger counts, and seating locations. In: *IEEE transactions on biomedical engineering* 59 (10), S. 2905–2912. DOI: 10.1109/TBME.2012.2210553
12. ETSI EN 302 637-2 V1.4.1 (2019-04) Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 2: Specification of Cooperative Awareness Basic Service [EN 302 637-2 - V1.4.1 - Intelligent Transport Systems \(ITS\); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 2: Specification of Cooperative Awareness Basic Service](#)
13. Yang, Yizhen; Masini, Barbara M.; Vermeeren, Günter; van den Akker, Daniel; Aerts, Sam; Verloock, Leen et al. (2024): RF Exposure Assessment in ITS-5.9 GHz V2X Connectivity and Vehicle Wireless Technologies: A Numerical and Experimental Approach. In: *IEEE Access* 12 (2), S. 186002–186021. DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3435566.
14. Schilling, Lisa-Marie; Bornkessel, Christian; Hein, Matthias A. (2022): Human RF Electromagnetic Exposure to V2X-Communication. In: *Adv. Radio Sci.* 19, S. 233–239. DOI: 10.5194/ars-19-233-2022.
15. Tognola, Gabriella; Masini, Barbara; Gallucci, Silvia; Bonato, Marta; Fiocchi, Serena; Chiaramello, Emma et al. (2021): Numerical Assessment of RF Human Exposure in Smart Mobility Communications. In: *IEEE J. Electromagn. RF Microw. Med. Biol.* 5 (2), S. 100–107. DOI: 10.1109/JERM.2020.3009856.
16. SSK Strahlenschutzkommission 2019. Elektromagnetische Felder im Automobil durch Funkanwendungen, induktives Laden und elektrisches Fahren
17. International agency for research on cancer (IARC). Non-Ionizing Radiation, Part 1: Static and Extremely Low-Frequency (ELF) Electric and Magnetic Fields. IARC Press Lyon, 2002.
18. Huss et al. Residence near power lines and mortality from neurodegenerative diseases: longitudinal study of the Swiss population. *American Journal of Epidemiology.* 169(2):167-75. 2009



19. Kheifets et al. Future needs of occupational epidemiology of extremely low frequency electric and magnetic fields: review and recommendations. *Occupational and Environmental Medicine*. 66(2):72-80. 2009
20. Kheifets et al. Pooled analysis of recent studies on magnetic fields and childhood leukemia. *British Journal of Cancer*. 103(7):1128-35. 2010
21. Ahlbom IC et al.; ICNIRP. Review of the epidemiologic literature on EMF and Health. *Environ Health Perspect*. 2001 Dec;109 Suppl 6:911-33.
22. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Volume 102, 2012, Non-ionizing Radiation, Part 2: Radiofrequency Electromagnetic Fields.
23. ICNIRP. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz – 100 KHz) *Health Physics* 99(6):818-836

Contatto

Ufficio federale della sanità pubblica UFSP

str@bag.admin.ch