

Società Europea di Medicina Ambientale Clinica (EGKU)
23° Convegno annuale di medicina ambientale, Berlino, 7-8 novembre 2025

Effetti dei campi elettromagnetici della telefonia mobile sul metabolismo cerebrale

Peter Hensinger M.A.

Attualmente stiamo assistendo a un profondo cambiamento nel modo in cui crescono i bambini e gli adolescenti. L'ingresso sul mercato degli smartphone nel 2007 ha rappresentato un punto di svolta. L'infanzia e la socializzazione basate sul gioco sono state sostituite da quelle basate sugli smartphone. Secondo uno studio della Postbank del 2025, oggi i giovani trascorrono in media oltre 70 ore alla settimana con smartphone e tablet: quanto tempo rimane per fare altro?



A partire circa dal 2010, ovvero in seguito alla rapida diffusione degli smartphone, si è verificato un drastico aumento dei disturbi di concentrazione, dei problemi del sonno, dei disturbi dello sviluppo del linguaggio, della depressione e dei pensieri suicidi tra gli adolescenti e un calo di anno in anno più marcato delle prestazioni scolastiche.¹ Ogni nuovo studio PISA e sugli standard educativi documenta un costante calo dei livelli di apprendimento nella scuola. Nel comunicato stampa della KMK sul nuovo studio IQB (2025) sul calo del rendimento nelle materie MINT (matematica, informatica, scienze naturali, tecnologia) vengono indicate le cause. Ci sarebbero "calo di motivazione, fiducia in se stessi e competenze di base" perché "un consumo eccessivo di media, ad esempio attraverso i social media, compromette lo sviluppo dei giovani".² Ma per il resto si brancola nel buio, perché per analizzare il disastro educativo e una svolta pedagogica occorrerebbe considerare le cause sociali complessive, in particolare le infiltrazioni del mondo economico nell'istruzione e l'allontanamento dall'ideale educativo di Humboldt.³

Questi sviluppi sono oggetto di numerosi dibattiti e giustamente l'attenzione si concentra sulla dimensione psicosociale dei media digitali, ovvero il sovraccarico sensoriale, il potenziale di dipendenza e la mancanza di movimento con le sue tipiche conseguenze, come l'obesità e le malattie cardiovascolari. La linea guida sull'uso disfunzionale dei media su schermo del 2023 descrive in dettaglio questo drammatico sviluppo.⁴

Un aspetto centrale è poco discusso dall'opinione pubblica, anche se avrebbe dovuto destare allarme già da tempo: gli effetti dell'esposizione alle radiazioni.⁵ Quest'ultimo è il tema di cui mi occuperò oggi.

E se non solo lo stress psicosociale e i contenuti violenti⁶, ma anche l'infrastruttura del mondo digitale – i campi elettromagnetici della telefonia mobile – interferissero profondamente con lo sviluppo neurobiologico? Occuparsi delle radiazioni non è esoterismo, abbiamo un Ufficio federale per la protezione dalle radiazioni. I rischi dei raggi X o delle radiazioni ionizzanti sono indiscussi. Ma i rischi delle radiazioni non ionizzanti della telefonia mobile vengono contestati per motivi puramente economici. E abbiamo anche una dissonanza cognitiva tra gli utenti: essi amano i loro smartphone e non vogliono sentire cattive notizie sui rischi. Tuttavia, gli studi parlano chiaro.

Risultati di studi epidemiologici

Il cervello umano è un organo elettrochimico. La sua funzione si basa su ritmi elettrici finemente coordinati e sulla trasmissione elettrochimica dei segnali alle sinapsi. In questo contesto, la potenziamento a lungo termine (LTP), ovvero il rafforzamento e la stabilizzazione delle connessioni sinaptiche, svolge un ruolo chiave: si tratta del processo attraverso il quale apprendiamo e memorizziamo ciò che abbiamo imparato.

Se i campi elettromagnetici ad alta frequenza (HF-EMF), come quelli emessi da smartphone, tablet o dispositivi Wi-Fi, interferiscono con questo sistema, possono disturbare questi ritmi neuronali, inibire la formazione delle sinapsi e complicare processi centrali come la formazione della memoria e la regolazione delle emozioni. Numerosi studi dimostrano che questi disturbi sono comprovati e seguono meccanismi ricostruibili.

Parto innanzitutto da quattro studi epidemiologici: in che misura questi risultati sono causati dall'esposizione ai campi elettromagnetici?

Studio 1: con la partecipazione delle autorità sanitarie statunitensi (NIEHS/NIH National Institute of Environmental Health Sciences/National Institute of Health), già nel 2008 e nel 2012 sono stati condotti in Danimarca studi dal titolo "Esposizione prenatale e postnatale all'uso dei telefoni cellulari e problemi comportamentali nei bambini" (Divan et al.). Il primo, condotto su 13.159 bambini di 7 anni, ha dimostrato che l'esposizione prenatale e postnatale ai telefoni cellulari è correlata a problemi comportamentali generali nei bambini, come sintomi di ADHD, problemi emotivi o problemi con i coetanei (OR 1,80; CI 1,45-2,23).⁷ Questo studio è stato poi riproposto nel 2012 su un nuovo gruppo di 28.745 bambini, confermando i risultati precedenti. I rapporti di probabilità (rischio relativo) più elevati per i problemi comportamentali sono stati osservati nei bambini esposti ai telefoni cellulari prima e dopo la nascita rispetto ai bambini non esposti (OR 1,5; CI 1,4-1,7).

Studio 2: Förster et al. (2018) hanno esaminato oltre 700 adolescenti in Svizzera e hanno trovato una correlazione: maggiore era l'esposizione alle radiazioni dovuta all'uso del cellulare, peggiore era la prestazione nella memoria figurativa, ovvero nel riconoscimento e nella memorizzazione delle informazioni visive.⁸

Studio 3: preoccupante è un recente studio condotto in India, in cui sono stati osservati neonati in famiglie con diversi livelli di esposizione alle radiazioni (Setia et al., 2025). I bambini fortemente esposti hanno mostrato significativi ritardi nello sviluppo del linguaggio, della comunicazione, delle capacità motorie e della risoluzione dei problemi.⁹

Studio 4: La neurobiologa Prof. Teuchert-Noodt e la psicologa Angelika Supper (Supper 2021) hanno voluto scoprire in che modo l'uso dello smartphone influisca sul lobo frontale e sulle capacità di calcolo spazio-temporale.¹⁰ Il compito: i bambini delle classi terze delle scuole elementari dovevano scrivere la parola "battaglia a palle di neve" in caselle prestabilite. I bambini che non utilizzavano smartphone hanno risolto il compito, mentre quelli che giocavano molto con lo smartphone non ci sono riusciti: hanno chiaramente superato i limiti prestabiliti. Risultato: nei bambini che utilizzano molto lo smartphone, la capacità di calcolo spazio-temporale è sottosviluppata. Le autrici hanno così

dimostrato che il calcolo spazio-temporale è sottosviluppato a causa della fissazione unidimensionale sugli schermi e della mancanza di movimento sufficiente di tutto il corpo. Ci si chiede se ciò possa essere correlato anche all'esposizione alle radiazioni.

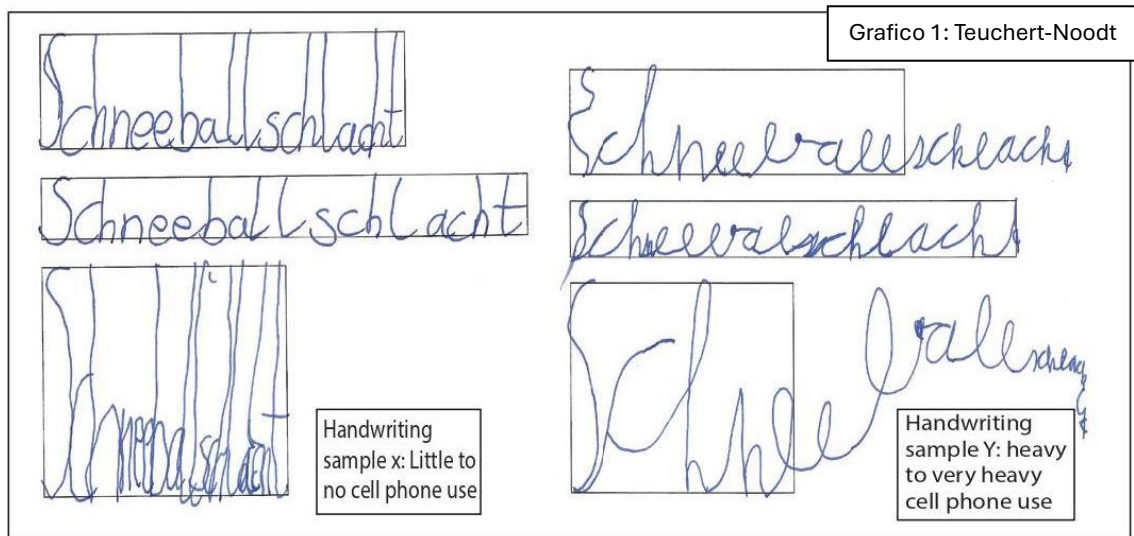


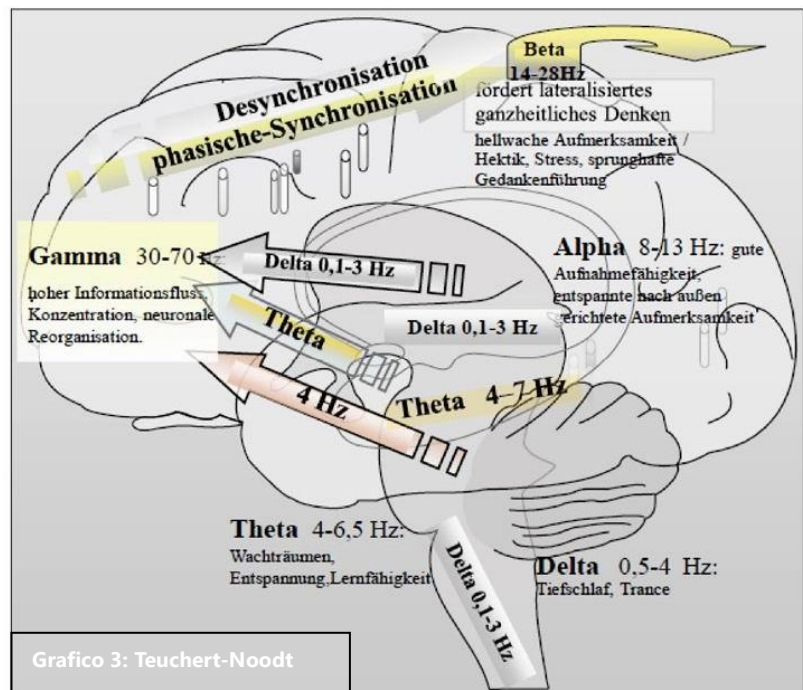
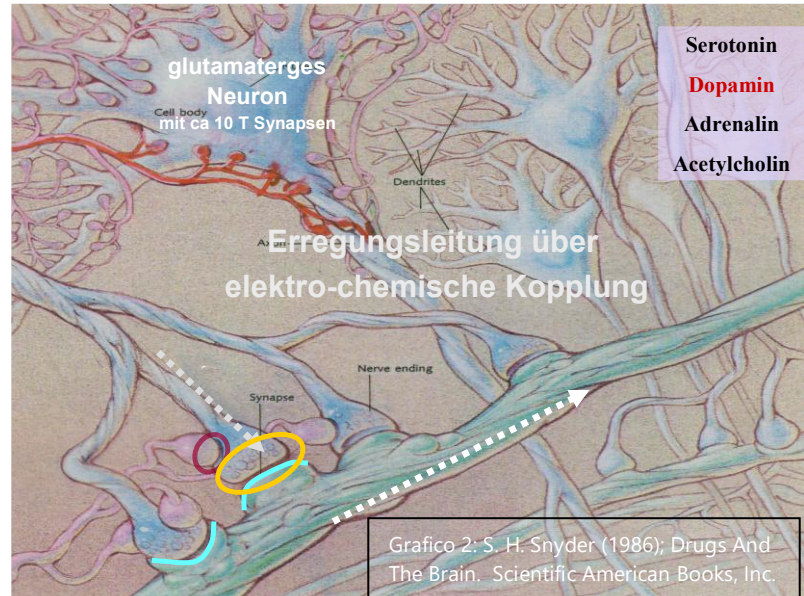
Figure. 1a. In this handwriting sample, both students try to fit the word “Schneeballschlacht” [snowball fight] into the assigned rectangle.

Questi quattro studi mostrano delle correlazioni, ma esistono meccanismi causali plausibili con prove corrispondenti? Quali sono le cause di questi disturbi dello sviluppo?

Le funzioni cerebrali sono controllate da accoppiamenti elettrochimici e, inoltre, sincronizzate al massimo livello funzionale da frequenze elettromagnetiche

I campi elettromagnetici (EMF) svolgono un ruolo importante nella trasmissione dei segnali nelle cellule nervose e nelle sinapsi. Nel cervello e nelle sue cellule, le informazioni vengono trasmesse tra le cellule nervose (neuroni) in due modi: elettricamente e chimicamente (vedi grafico 2).¹¹

Le funzioni cerebrali sono controllate da accoppiamenti elettrochimici e, inoltre, sincronizzate al massimo livello funzionale tramite frequenze elettromagnetiche (grafico 3). Nella corteccia frontale, diverse gamme di frequenza provenienti dal tronco cerebrale, dal talamo e dall'ippocampo si uniscono in uno spettro elettromagnetico coerente. La sincronizzazione fasica che ne deriva si diffonde attraverso la corteccia e consente la concentrazione, il pensiero, la formazione della memoria e la regolazione emotiva. Se la collaborazione tra l'ippocampo e la corteccia frontale viene disturbata in modo cronico da campi elettromagnetici esterni, possono verificarsi alterazioni patologiche che possono portare fino a varie forme di psicosi. Esistono ricerche approfondite sulle conseguenze delle radiazioni ad alta frequenza che penetrano nell'organismo e nel cervello durante l'uso del cellulare.¹²



Influenza dei campi elettromagnetici sulla neurogenesi nell'ippocampo

Gli effetti biologici dei campi elettromagnetici artificiali esogeni sul cervello sono stati dimostrati già 25 anni fa da uno studio condotto da Hoffmann et al. (2001) sui topi del deserto.¹³ La ricerca neurologica di Bielefeld ha studiato gli effetti di un'esposizione giornaliera di soli 30 minuti a campi

elettromagnetici ad alta frequenza sull'ippocampo, ovvero proprio l'area responsabile della formazione della memoria e dell'apprendimento. Gli animali da laboratorio sono stati esposti per 14 giorni a diverse modulazioni a bassa frequenza comprese tra 1 e 50 Hertz. Il risultato principale:

a 50 Hz, la formazione di nuove cellule – la neurogenesi – nell'ippocampo è diminuita di quasi il 30%.

Ciò ha dimostrato che i campi elettromagnetici possono inibire in modo significativo la formazione di nuove cellule nervose. È interessante notare che è emersa una cosiddetta "finestra di frequenza". Quando l'esposizione cronica avveniva a 8 o 12 Hz, la formazione di nuove cellule nervose rimaneva stabile, mentre a 29 e 50 Hz diminuiva significativamente. Ciò significa che non tutte le frequenze sono dannose, ma solo alcune provocano cambiamenti biologicamente rilevanti.

A livello neurochimico, il recettore NMDA svolge un ruolo chiave, come gli autori hanno potuto dimostrare con ulteriori studi. Questo recettore del glutammato è fondamentale per i processi di apprendimento e memoria e regola la neurogenesi nel giro dentato, ovvero dove si formano nuove cellule nervose all'interno dell'ippocampo. I campi elettromagnetici possono influenzare l'attività del recettore NMDA attraverso cambiamenti nel bilancio della dopamina e della melatonina. Se la sua segnalazione del calcio viene disturbata, ciò compromette direttamente la formazione e l'interconnessione di nuove cellule nervose. Il modello di azione è quindi il seguente:

esposizione ai campi elettromagnetici → alterazione della regolazione della dopamina e della melatonina → modulazione del sistema NMDA → riduzione della neurogenesi e della plasticità nell'ippocampo.

Poiché l'ippocampo è coinvolto in modo significativo nella formazione della memoria, questi cambiamenti causano deficit di apprendimento e di memoria. Gli autori Hoffmann et al. hanno quindi messo in guardia dai possibili effetti sottili ma permanenti dell'esposizione cronica ai campi elettromagnetici sulle funzioni cognitive ed emotive, in particolare alla luce del crescente utilizzo del Wi-Fi e della telefonia mobile.

Conclusioni: i campi elettromagnetici possono influenzare lo sviluppo neuronale in modo dipendente dalla frequenza. Attraverso il sistema NMDA, essi agiscono direttamente sulle basi dell'apprendimento, della memoria e della stabilità psichica, un risultato particolarmente rilevante alla luce del nostro attuale uso massiccio di dispositivi che emettono radiazioni. Pertanto, alla fine del loro lavoro, Hoffmann et al. chiedono, considerato il crescente utilizzo dei segnali elettromagnetici nella comunicazione e nella vita quotidiana, di continuare a studiare gli effetti neurobiologici dell'esposizione cronica ai campi elettromagnetici, in particolare per quanto riguarda i cambiamenti sottili delle funzioni cognitive e affettive. Due episodi particolari chiariscono come questa ricerca sia legata a determinati interessi esterni. L'allora direttrice dell'istituto incoraggiò un collega del gruppo di autori, che lavorava in un altro istituto, a studiare gli effetti del WiFi. La sua risposta fu che ciò non era possibile per evitare di turbare determinati interessi. Anche il Prof. Lebrecht von Klitzing ha partecipato in qualità di consulente al lavoro di Hoffmann et al. All'epoca era a capo della ricerca presso la clinica universitaria di Lubeca. Ha condotto esperimenti sul Wi-Fi e ha dimostrato che, tra le altre cose, esso ha un effetto sull'EEG. In un'intervista con diagnose:funk ha riferito di massicci interventi da parte della Telekom germanica per impedire questa ricerca, che però non hanno avuto successo.¹⁴ L'Ufficio federale per la protezione dalle radiazioni ha infine comunque messo in dubbio i suoi risultati. Ad oggi, l'Ufficio federale per la protezione dalle radiazioni non ha dato seguito all'offerta e ai solleciti da parte di Klitzing di replicare i suoi studi.

L'ippocampo, centro di controllo sotto stress da radiazioni

Al centro della ricerca c'è l'ippocampo. Esso non è solo responsabile del pensiero spaziale e della memoria, ma anche del controllo di altre regioni cerebrali, in particolare della corteccia frontale. Vorrei anticipare un tipico risultato dello studio che dimostra come il Wi-Fi ostacoli l'apprendimento nei luoghi in cui esso agisce, ovvero negli asili e nelle scuole. Due studi di Shahin et al. (2015, 2018) hanno dimostrato che il Wi-Fi:

"(1) Peggiora le capacità di apprendimento e di memoria nei topi maschi adulti esposti a microonde a 2,45 GHz (cioè Wi-Fi). (2) Aumenta il livello di stress nell'ippocampo. (3) Compromette la plasticità sinaptica. (4) Riduce l'espressione dei componenti del percorso di segnalazione, che sono di grande importanza per i processi di apprendimento e di memoria.

Tutti gli effetti sopra elencati dipendono dalla durata dell'esposizione: più lunga è l'esposizione, più drastico è l'effetto. Secondo gli autori, è stato identificato il meccanismo fondamentale attraverso il quale le microonde a 2,45 GHz influenzano negativamente le capacità di apprendimento e di memoria dei topi" (dalla recensione pubblicata nell'ElektrosmogReport dell'aprile 2018).¹⁵

Le radiazioni influiscono dunque proprio sui percorsi neuronali del cervello responsabili della formazione della memoria. Ci sono due concetti centrali che ricorrono in quasi tutti gli studi: l'ippocampo e la plasticità del cervello. L'ippocampo e la capacità di plasticità, ovvero la formazione e l'adattamento (rafforzamento o indebolimento) delle connessioni neuronali (sinapsi), svolgono un ruolo centrale nell'apprendimento e nel controllo delle funzioni cerebrali, in particolare in questi ambiti:

- Apprendimento e formazione della memoria attraverso la comunicazione tramite sinapsi e potenziamento a lungo termine con l'aiuto del meccanismo di apprendimento di Hebb;
- Orientamento spazio-temporale: l'ippocampo possiede cellule specifiche per la localizzazione (*place-cells*) e per il tempo (*time-cells*), in modo che le esperienze possano essere ricordate non solo in termini di contenuto, ma anche in relazione al loro svolgimento temporale e al contesto spaziale. Per queste scoperte è stato assegnato il Premio Nobel per la Medicina nel 2014.

L'ippocampo è un centro di controllo fondamentale per la memoria, l'apprendimento e l'orientamento. Oscilla nella frequenza theta di 4-7 Hz. In qualità di segretario del cervello, controlla anche la corteccia frontale, il nostro organo esecutivo e di controllo, ad esempio per il controllo degli impulsi. Gli errori di controllo hanno conseguenze fatali, non solo per l'intelligenza, ma anche per le malattie neurologiche e psichiche.

L'inibizione del fattore BDNF, il "fertilizzante" del cervello

Gli studi di Kim et al. dimostrano che anche una breve esposizione alle radiazioni dei telefoni cellulari altera i processi metabolici nel cervello e all'interno dell'ippocampo.¹⁶ Già i titoli degli studi ne dimostrano l'importanza: "L'esposizione alle HF-EMF altera la struttura postsinaptica e ostacola la crescita dei neuriti nei neuroni dell'ippocampo in via di sviluppo dei topi nel primo periodo postnatale" (Kim et al. 2021) e "L'esposizione alle alte frequenze induce una disfunzione sinaptica nei neuroni corticali, causando alterazioni dell'apprendimento e della memoria nei topi nel primo periodo postnatale" (Kim et al. 2024). Negli studi di Kim et al. (2021, 2024), topi neonati sono stati esposti per quattro settimane a 1850 MHz, una frequenza tipica della telefonia mobile. I risultati dell'esposizione sono gravi:

- ridotta espressione del BDNF (Brain Derived Neurotrophic Factor), un fattore neurotrofico che agisce come un fertilizzante, ad esempio per la crescita dei neuroni.
- Una significativa diminuzione dei recettori NMDA e AMPA del glutammato, responsabili della plasticità della trasmissione del segnale neuronale.

- Diminuzione del numero di spine dendritiche, ovvero i punti di contatto per la trasmissione sinaptica.

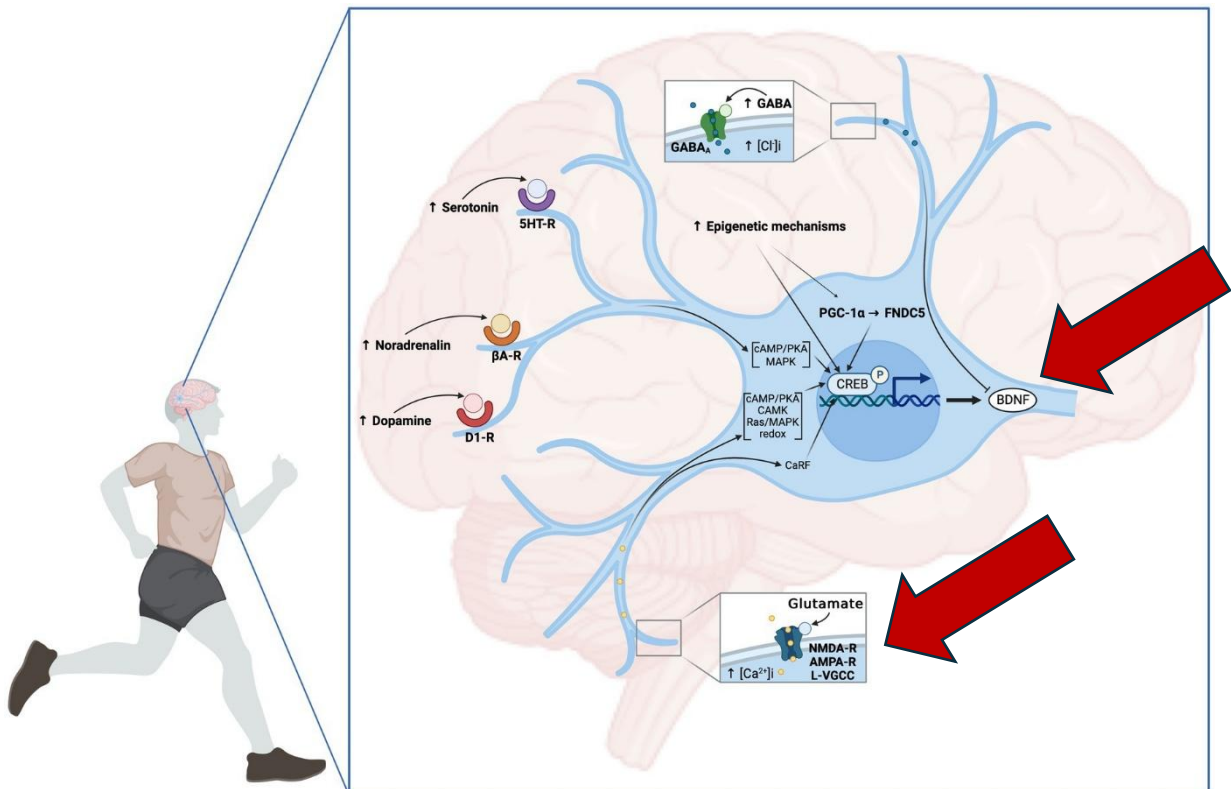


Grafico 4: Interazione tra i recettori NMDA e AMPA del glutammato, i neurotrasmettitori dopamina, noradrenalina e serotonina e loro effetti sul BDNF, innescati dall'attività fisica. Grafico tratto da: Cefis et al. (2023: Molecular mechanisms underlying physical exercise-induced brain BDNF overproduction, Front. Mol. Neurosci. 16:1275924.doi:10.3389/fnmol.2023.1275924

Sull'importanza delle sostanze BDNF e dei recettori del glutammato (NMDA, AMPA): il fattore BDNF favorisce la formazione e il rafforzamento delle connessioni sinaptiche, costituendo così una base per l'apprendimento e la memoria. Il BDNF favorisce la formazione di nuove cellule nervose, ovvero la neurogenesi, nell'ippocampo (anche in età adulta!) ed è essenziale per il potenziamento a lungo termine (LTP). Insieme ai recettori del glutammato NMDA e AMPA, il BDNF attiva il meccanismo di apprendimento di Hebb nelle sinapsi.¹⁷ Si basa sulla legge formulata dallo psicologo canadese Donald Hebb nel 1949: "*Neurons that fire together, wire together*" (*I neuroni che si attivano insieme, si connettono insieme*). La regola di apprendimento di Hebb afferma che una sinapsi viene rafforzata quando la presinapsi, il neurone presinaptico (mittente) e la postsinapsi, il neurone postsinaptico (ricevente) sono attivi ripetutamente e contemporaneamente, quasi come un effetto eco che si autoalimenta. Ciò porta a un rafforzamento della connessione tra le due cellule nervose, che quindi trasmettono le informazioni in modo più efficiente. Questo fenomeno è noto come potenziamento a lungo termine (LTP).

"*I neuroni che si attivano insieme, si connettono insieme.*" - Il BDNF, in combinazione con NMDA e AMPA, fornisce le "munizioni" necessarie! La formazione di queste munizioni è ostacolata dai campi elettromagnetici e le munizioni esistenti vengono, per così dire, "disinnescate". L'esposizione alle radiazioni porta a una carenza di approvvigionamento o a un inceppamento!

Come lo studio sudcoreano di Kim et al., anche il nuovo studio francese di Bodin et al. (2025) giunge alla conclusione che "i risultati in vivo hanno mostrato una diminuzione dei livelli di BDNF". Come

risultato complessivo del loro studio, questo gruppo di lavoro francese conclude che già "durante lo sviluppo prenatale, l'esposizione continua alle onde EMF HF ai livelli soglia regolatori ... riduce la sinaptogenesi nel cervello immaturo dei roditori" e avverte: "Questi dati supportano l'ipotesi di una vulnerabilità degli organismi in fase di sviluppo all'esposizione ai campi elettromagnetici ad alta frequenza e suggeriscono di prestare attenzione all'esposizione dei bambini in età prescolare e delle donne in gravidanza ai campi elettromagnetici ad alta frequenza durante l'uso di dispositivi di telecomunicazione".¹⁸

Consideriamo ora un altro effetto prenatale dei campi elettromagnetici. La produzione e la plasticità di nuovi neuroni nel giro dentato è importante per le funzioni dell'ippocampo. Già nel 2008, Odaci et al. hanno dimostrato nei loro studi sugli embrioni che l'esposizione prenatale ai campi elettromagnetici causava una diminuzione del numero di cellule granule (Gc) nel giro dentato dei ratti.¹⁹

In sintesi e in parole povere: la capacità del cervello di svilupparsi, creare connessioni e apprendere è limitata dall'esposizione ai campi elettromagnetici, già nella fase prenatale e nella prima infanzia.

Dai sintomi ai meccanismi d'azione

Diagnose: funk documenta nella panoramica n. 4 "La telefonia mobile ha effetti sul cervello?" più di 50 studi che dimostrano che i campi elettromagnetici alterano il metabolismo cerebrale. Si conoscono i singoli meccanismi d'azione? A questo proposito è disponibile la revisione narrativa peer-reviewed del gruppo di lavoro cinese di Hu et al. (2021).²⁰ Hu et al. illustrano come i campi elettromagnetici nella gamma di frequenza della telefonia mobile, compreso il WiFi, influenzano i sistemi neurotrasmettitori nel cervello, in particolare glutammato/NMDA, dopamina, serotonina, GABA e acetilcolina²¹. Questi sistemi controllano i nostri processi di pensiero e apprendimento. Una conclusione fondamentale dello studio:

- "In sintesi, questi studi suggeriscono che, a seconda dell'intensità dell'esposizione alle radiazioni, i campi elettromagnetici ad alta frequenza possono causare disturbi metabolici dei neurotrasmettitori monoaminici nel cervello e indurre, almeno in teoria, comportamenti emotivi anomali (p. 4)".

Gli autori giungono a quattro conclusioni fondamentali: i campi elettromagnetici ad alta frequenza causano:

1. squilibrio dei neurotrasmettitori, ovvero disregolazione biochimica
2. stress ossidativo e apoptosi, ovvero danni cellulari
3. alterazioni comportamentali e della memoria, ovvero conseguenze funzionali

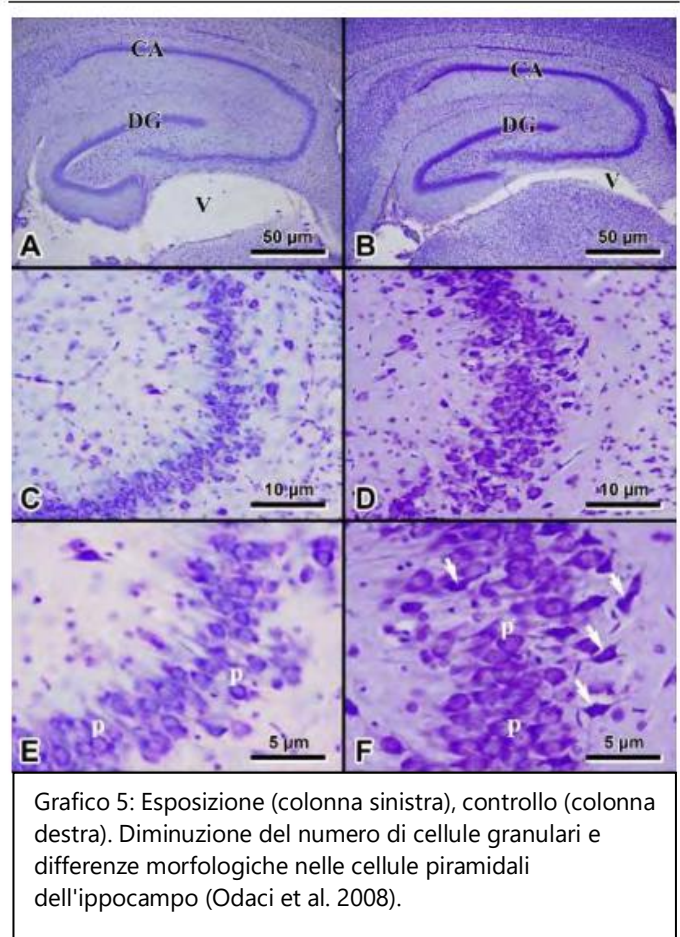


Grafico 5: Esposizione (colonna sinistra), controllo (colonna destra). Diminuzione del numero di cellule granulari e differenze morfologiche nelle cellule piramidali dell'ippocampo (Odaci et al. 2008).

4. I cervelli in fase di sviluppo (feti, bambini) sono particolarmente sensibili, poiché le loro reti neuronali e i loro sistemi neurotrasmettitori sono ancora in fase di formazione, con il rischio di conseguenti disturbi irreversibili dello sviluppo.

I cambiamenti dipendono dalla frequenza e dalla dose. Nel complesso, si delinea un quadro di compromissione fisiopatologica del cervello causata dai campi elettromagnetici ad alta frequenza. La delicata interazione dei neurotrasmettitori viene compromessa.

Ciò è dimostrato in modo esemplare per quanto riguarda la dopamina. Diversi studi condotti sulla dipendenza dai cellulari, che tra l'altro risulta indotta dal sovraccarico sensoriale, dimostrano che il ritardo nella maturazione della corteccia frontale è dovuto a una carenza di dopamina, poiché il sistema di ricompensa consuma una quantità sproporzionata di dopamina, sottraendola alla corteccia frontale. Lo studio sulla battaglia a palle di neve citato sopra (vedi sopra) documenta che la memoria spazio-temporale sottosviluppata è correlata a questa carenza di dopamina nel cervello. Hu et al. riportano studi che dimostrano che anche l'esposizione alle radiazioni ha causato "una significativa riduzione della dopamina nell'ippocampo" (p. 2), che potrebbe anche portare a una "riduzione delle capacità di apprendimento e di memoria". Gli studi sul WiFi dimostrerebbero che gli effetti dei campi elettromagnetici sui neurotrasmettitori portano a una "compromissione della funzione della memoria di lavoro spaziale" (p. 8). Questo è stato dimostrato già nel 1992 da Henry Lai, pioniere della ricerca sui campi elettromagnetici, ovvero lo stesso risultato ottenuto dallo studio sulla "battaglia a palle di neve" e dallo studio svizzero sulla memoria figurativa.

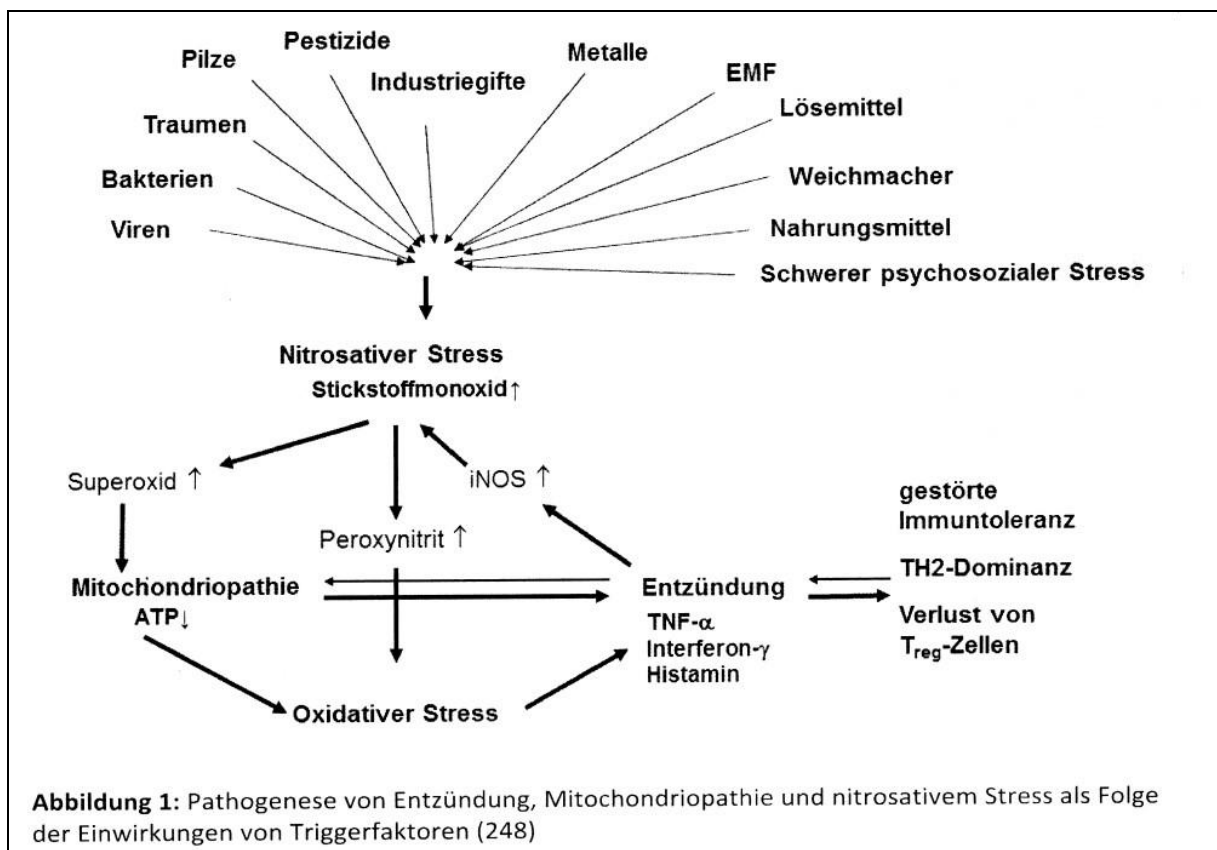


Grafico 6: von Baehr, umg

Meccanismo d'azione dello stress ossidativo cellulare – Base delle malattie infiammatorie

Gli autori del review curato da Hu et al. sottolineano in particolare i meccanismi d'azione dello stress nitrosativo e ossidativo. Ci troviamo quindi di fronte a un meccanismo d'azione noto ai medici ambientali come causa di molte malattie infiammatorie: la sovrapproduzione di radicali liberi che porta allo stress ossidativo cellulare.²² Gli autori spiegano:

"L'energia delle radiazioni non ionizzanti non è sufficiente per rompere direttamente i legami chimici. Pertanto, il verificarsi di danni al DNA in seguito all'esposizione a campi elettromagnetici non ionizzanti è principalmente una conseguenza della formazione di ROS (specie reattive dell'ossigeno), seguita da stress ossidativo." (p. 10)

Il meccanismo d'azione dello stress ossidativo cellulare è confermato dallo studio di revisione pubblicato nel 2021 (Schürmann/ Mevissen 2021) per l'Ufficio federale svizzero dell'ambiente, con il risultato che in più della metà dei 223 studi sui campi elettromagnetici valutati si verifica stress ossidativo, con indicazioni coerenti di stress ossidativo cellulare nel cervello, testicoli, cuore, fegato e reni, fino al verificarsi di tumori.²³

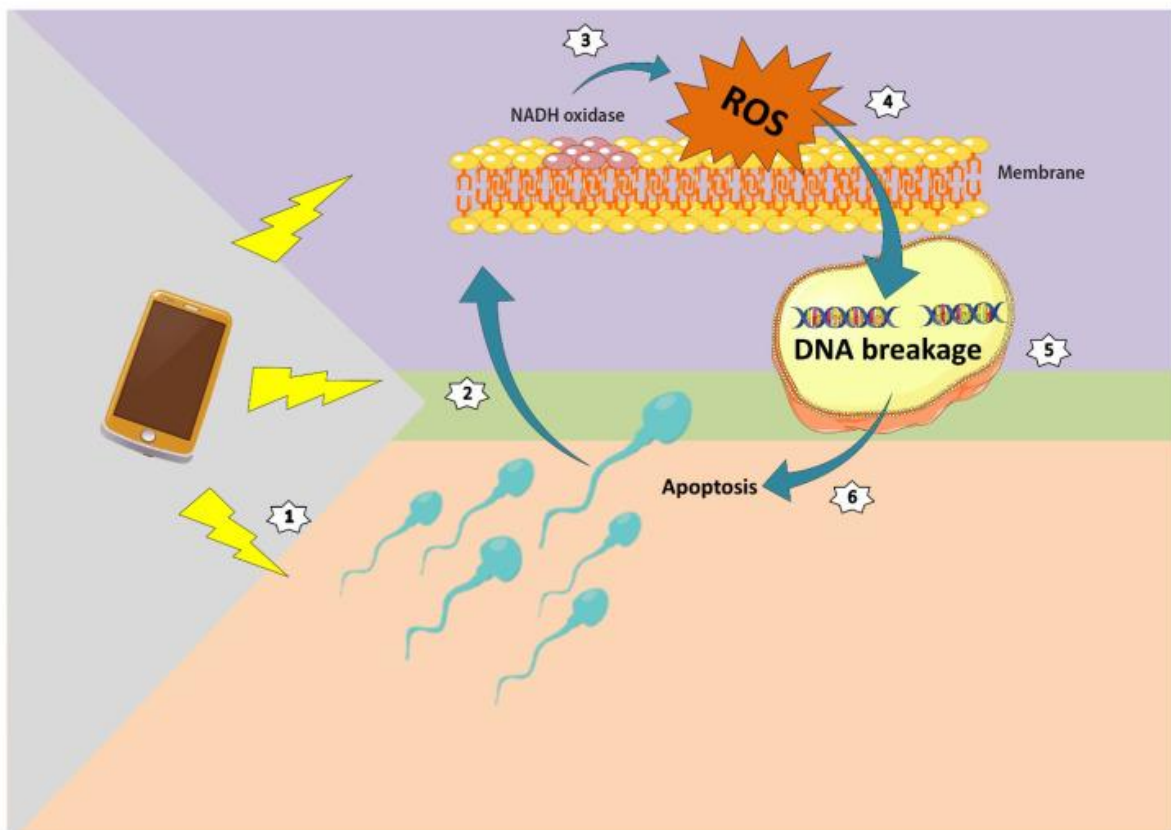


Grafico 7: Hu et al. (2021): Effetti delle radiazioni non ionizzanti da ROS sulla membrana cellulare, sugli spermatozoi, sul DNA e sull'apoptosi.

Un altro meccanismo d'azione è discusso da Hu et al. I campi elettromagnetici possono portare ad un aumento dell'attività dei canali del calcio voltaggio-dipendenti nelle membrane cellulari (VGCC). Di conseguenza, *"le variazioni dei livelli di calcio intracellulare possono innescare attività sinaptiche anomale o causare l'apoptosi neuronale. Ciò può a sua volta influenzare la neurotrasmissione dei processi di apprendimento e memoria (93)." (p. 9)*

Il processo di comprensione non è ancora concluso

Il review di Hu et al. documenta una vasta gamma di conoscenze sugli effetti dei campi elettromagnetici sul metabolismo cerebrale. Tuttavia, secondo gli autori, a causa della loro eterogeneità, molte domande rimangono aperte, in particolare le deduzioni a livello cellulare e le interazioni non sono ancora state chiarite in modo definitivo. Essi puntano sui progressi delle neuroscienze nella speranza *"che lo studio degli effetti dei campi elettromagnetici sul metabolismo dei neurotrasmettitori e sul loro trasporto a livello dei circuiti neuronali supererà quelle che oggi appaiono ancora come sfide e sui loro meccanismi e aprirà nuove strade per la ricerca di obiettivi e interventi preventivi"*. (p. 13) Lo stato attuale della ricerca richiede non solo l'applicazione del principio di precauzione, ma anche un impegno fattuale per la concreta prevenzione dei rischi.

Ci sono altri effetti delle radiazioni sul cervello. Già nel 2003, gli studi di Salford hanno dimostrato che le radiazioni aprono la barriera emato-encefalica, consentendo alle tossine di entrare nel cervello.²⁴ Per quanto riguarda la rilevanza degli effetti sulla barriera emato-encefalica, nel 2022 è stata pubblicata la recensione della neurobiologa Dr. Keren Grafen "Albumina come marcatore chiave" nella rivista DHZ – Deutsche Heilpraktiker Zeitschrift.²⁵ Anche le crisi epilettiche possono essere scatenate dalle radiazioni. Una raccolta di studi è disponibile nella panoramica n. 4 di diagnose:funk. Infine, già 30 anni fa il Dr. Lebrecht von Klitzing, allora direttore della ricerca presso la clinica universitaria di Lubeca, ha dimostrato gli effetti del WiFi sul cervello.²⁶

A proposito: quasi tutti i risultati di questi studi sono stati dimostrati con intensità di radiazioni inferiori ai limiti attualmente in vigore, che dimostrano così la loro inadeguatezza in chiave di funzione protettiva.

Affermare le alternative!

Dagli studi condotti possiamo trarre una conclusione: i campi elettromagnetici ad alta frequenza alterano i processi metabolici centrali nel cervello. Particolarmente allarmante è la conseguente desincronizzazione dei ritmi endogeni: i processi centrali perdono il loro ritmo e l'interazione neuronale viene gravemente disturbata. Ciò ha conseguenze sull'apprendimento, sulla memoria e sul comportamento, fino a provocare disturbi neurologici e neurodegenerativi. La neurobiologa Teuchert-Noodt parla di un "attacco informatico al cervello". L'infanzia digitale rischia di diventare un vicolo cieco neurobiologico. E in effetti, quando la memoria svanisce, quando l'ippocampo si restringe, quando i bambini smettono di imparare, non solo perdiamo la plasticità neuronale, ma anche il futuro della società. Le conseguenze funzionali sono state studiate. Un nuovo studio svedese mostra un aumento allarmante dei problemi di memoria nei bambini e negli adolescenti in Svezia e Norvegia (Nilsson / Hardell 2025).²⁷

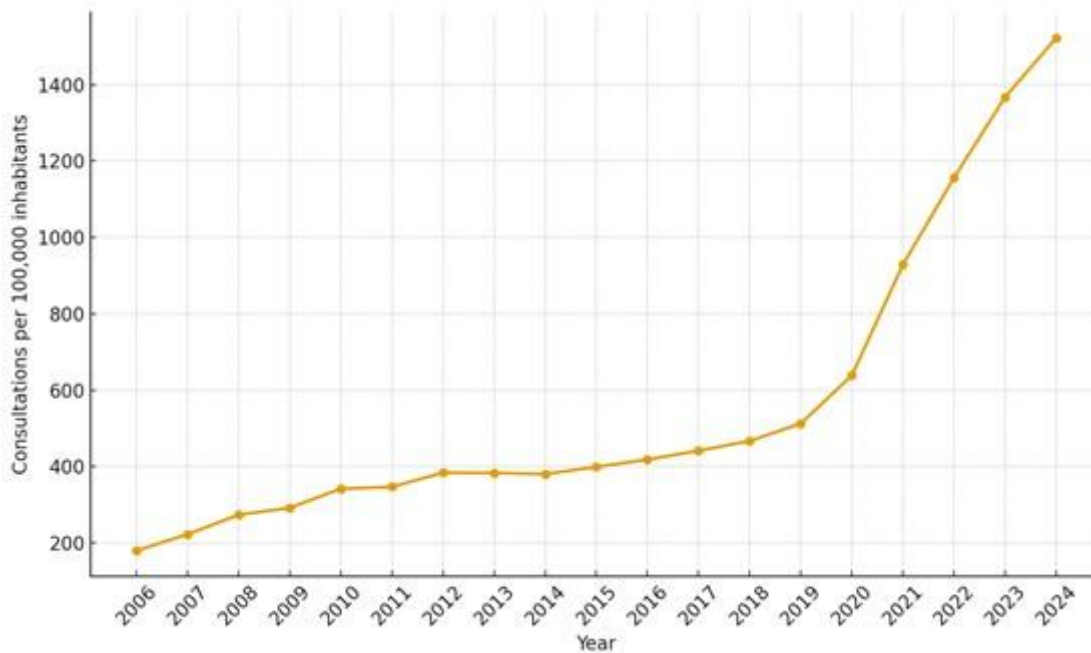


Grafico 8: Numero di consultazioni per problemi di memoria (codice ICPC-2 P20) nei bambini di età compresa tra 5 e 19 anni per 100.000 abitanti in Norvegia nel periodo 2006-2024 (Nilsson 2025).

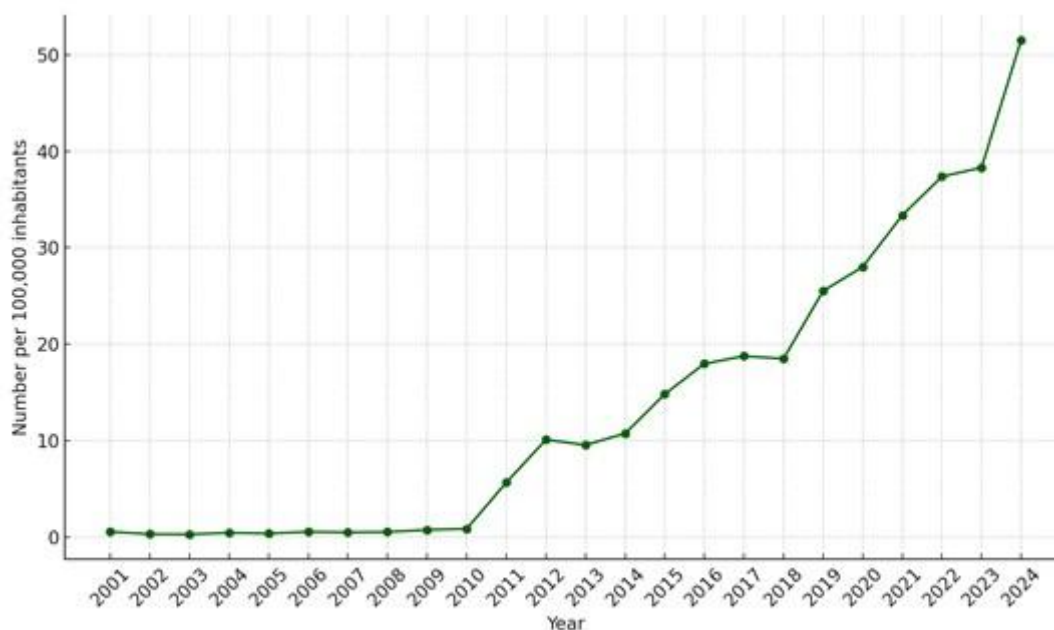


Grafico 9: Numero di pazienti di età compresa tra i 5 e i 19 anni ogni 100.000 abitanti diagnosticati ogni anno con R41.8 "lieve deficit cognitivo, soggettivo" in Svezia nel periodo 2001-2024 (Nilsson 2025).

Il pedagogista scolastico Prof. Klaus Zierer conclude la sua meta-analisi scrivendo:

"Più tempo i bambini e gli adolescenti trascorrono con i loro smartphone nel tempo libero e più tempo dedicano ai social media, minori saranno i loro risultati scolastici." ²⁸

Molti studi documentano questo calo del rendimento scolastico, causato anche dalla digitalizzazione. In Germania, in totale spregio delle conoscenze pedagogiche e mediche, si prevede di aumentare

ulteriormente la digitalizzazione, come previsto dal contratto di coalizione del governo federale. Si prevede l'introduzione di un ID studente che memorizzerà il percorso formativo per tutta la vita e che sarà integrato nell'ID cittadino. A tal fine, ogni studente riceverà un tablet, che sarà addirittura regalato dal governo federale a chi ne ha bisogno. Questa raccolta di dati online è pura sorveglianza. In un appello al governo federale del marzo 2025, 75 esperti chiedono di fermare questa misura di digitalizzazione.²⁹

Finalmente si prendono in considerazione i rischi dei media digitali. Il divieto di utilizzare smartphone e social media è un tema di grande attualità nei principali media, e la Leopoldina è intervenuta con una perizia il cui messaggio chiave è:

- **"Raccomandiamo di vietare l'uso degli smartphone negli asili e nelle scuole fino alla classe 10 compresa" (II. superiore).**

Questa raccomandazione può essere ulteriormente sviluppata. Deve essere attuata. Ciò deve essere accompagnato da misure che portino a una riduzione dell'esposizione ai campi elettromagnetici. Le alternative sono già disponibili da tempo: una unica rete per tutti gli operatori, connessioni via cavo, tecnologia LiFi, dispositivi a basse emissioni e, soprattutto, informazione. In questo contesto, voi medici avete un ruolo chiave da svolgere. Durante le visite mediche, i genitori devono essere informati sui rischi e sulle alternative. Aiutateci a impedire che la lobby delle telecomunicazioni digitali continui a operare senza regolamentazione a scapito della salute, mirando invece a proteggere i nostri figli.

Glossario

Recettore AMPA-gluttammato: recettore che funge da principale mediatore della trasmissione rapida dei segnali eccitatori nel sistema nervoso centrale attraverso l'afflusso di ioni sodio (Na^+) e occasionalmente di ioni calcio (Ca^{2+}) dopo il legame con il glutammato (AMPA: acido α -ammino-3-idrossi-5-metil-4-isoxazolo-propionico).

BDNF: Brain-Derived Neurotrophic Factor, fattore di crescita - Una proteina appartenente alla famiglia dei fattori di crescita nervosa (neurotrofine). Il BDNF è presente principalmente nel sistema nervoso centrale e promuove la crescita delle cellule nervose sensoriali e motorie.

Barriera emato-encefalica: la barriera emato-encefalica protegge le cellule nervose del cervello dalle sostanze nocive. Si tratta di una barriera selettivamente permeabile tra il sangue e la sostanza cerebrale, attraverso la quale lo scambio di sostanze con il sistema nervoso centrale è soggetto a un controllo attivo.

Campo elettromagnetico: campo che contiene componenti/forze elettriche e magnetiche inseparabili.

Dendrite: ramificazione di una cellula nervosa (neurone) che conduce gli impulsi al corpo cellulare.

Giro dentato: parte dell'ippocampo, il giro dentato è una delle poche strutture del cervello in cui negli esseri umani adulti si formano nuove cellule nervose (neurogenesi).

Sinapsi di apprendimento di Hebb: la sinapsi di apprendimento di Hebb è un principio neurofisiologico in cui la connessione sinaptica tra due neuroni viene rafforzata dall'attivazione simultanea ripetuta ("*Neurons that fire together, wire together*"), che è considerata la base della plasticità sinaptica e dell'apprendimento.

Ippocampo: parte del cervello particolarmente importante per la memoria.

Radiazioni ionizzanti: radiazioni con una lunghezza d'onda inferiore a 200 nm che, attraversando la materia, causano ionizzazione, ovvero possono rimuovere un elettrone da un atomo o da una molecola, producendo così uno ione e un elettrone libero (ad es. particelle alfa, raggi X e radiazioni gamma).

Neurite / assone: prolungamento di una cellula nervosa che trasmette i segnali.

Neurogenesi: formazione di cellule nervose attraverso la differenziazione e la divisione delle cellule staminali.

Radiazioni non ionizzanti: le NIS comprendono tutti i raggi e i campi dello spettro elettromagnetico che non possiedono energia sufficiente per causare ionizzazione, ad esempio onde radio, microonde, raggi infrarossi e luce visibile.

Recettore NMDA del glutammato: i recettori NMDA (N-metil-D-aspartato) sono importanti per la plasticità neuronale e i processi di apprendimento nel cervello.

Stress ossidativo: lo stress ossidativo si verifica quando i processi ossidativi causati dai radicali liberi (ad esempio il perossido di idrogeno) superano la capacità di neutralizzazione dei processi antiossidanti e l'equilibrio si sposta a favore dell'ossidazione. Ciò può causare diversi danni alle cellule, ad esempio l'ossidazione degli acidi grassi insaturi, delle proteine e del DNA.

Radicale: molecola o area molecolare in cui, oltre agli elettroni che normalmente si presentano in coppie, sono presenti anche elettroni singoli. Le molecole reagiscono quindi in modo chimicamente molto aggressivo e possono causare danni alle cellule, ad esempio al DNA (stress ossidativo). Un esempio noto è il perossido di idrogeno. D'altra parte, i radicali sono anche componenti importanti nelle reazioni enzimatiche. Possono formarsi attraverso processi metabolici o influenze esterne e vengono rapidamente degradati dai radicali liberi.

ROS (specie reattive dell'ossigeno): molecole contenenti ossigeno che sono molto instabili e altamente reattive.

L'elevata reattività è dovuta alla configurazione instabile degli elettroni dei radicali. Essi estraggono rapidamente elettroni da altre molecole, che a loro volta diventano radicali liberi. In questo modo si innesca una reazione a catena e si causano danni cellulari dovuti allo stress ossidativo. Tra i ROS figurano i superossidi, i perossidi e i radicali idrossilici.

Sinapsi: punto di trasmissione di un impulso da una cellula nervosa a un'altra cellula nervosa o a una cellula muscolare.

Fonti

¹ Haidt J (2024): La generazione ansiosa, Rizzoli

² KMK (2025): Luci e ombre nell'IQB-Bildungstrend 2024, comunicato stampa, <https://www.kmk.org/aktuelles/artikelansicht/licht-und-schatten-im-iqb-bildungstrend-2024.html>

³ Una sintesi è disponibile nella panoramica ÜBERBLICK für den Durchblick n. 9: "Digitale Bildung – Ausweg aus der Bildungskatastrophe?" (Istruzione digitale: una via d'uscita dal disastro educativo?), scaricabile all'indirizzo diagnose-funk.org/2090

Engartner T (2020): Economizzazione dell'istruzione scolastica, Fondazione Rosa Luxemburg

Engartner T (2024): Fuori dalla trappola dell'istruzione, Westend

Krautz J (2014): L'istruzione come merce. Scuola e università sotto il diktat dell'economia, Monaco

Münch R (2018): Il complesso industriale dell'istruzione. Scuola e insegnamento nello Stato competitivo, Beltz Juventa, Weinheim

⁴ "Linee guida per la prevenzione dell'uso disfunzionale dei media audiovisivi nell'infanzia e nell'adolescenza" (2023), edito da: Deutsche Gesellschaft für Kinder- und Jugendmedizin e.V. (DGKJ) e altri, www.awmf.org/service/awmf-aktuell/praevention-dysregulierten-bildschirmmediengebrauchs-in-kindheit-und-jugend; www.diagnose-funk.org/2005

⁵ Panoramica per una visione d'insieme n. 1: Qual è l'effetto della telefonia mobile su animali, esseri umani e piante?

Panoramica per una visione d'insieme n. 2: La telefonia mobile è cancerogena? Download: diagnose-funk.org/2090

⁶ Müller, Silke (2025): Wir verlieren unsere Kinder (Stiamo perdendo i nostri figli), Droemer

⁷ Divan HA, Kheifets L, Obel C, Olsen J (2008). Esposizione prenatale e postnatale all'uso del cellulare e problemi comportamentali nei bambini, *Epidemiology* 2008; 19 (4): 523-52
<https://www.emf-portal.org/de/article/15935>

id. (2012): Cell phone use and behavioural problems in young children, *J Epidemiol Community Health* 2012; 66 (6): 524-529, <https://www.emf-portal.org/de/article/18825>

Il numero di bambini con sintomi di ADHD è aumentato costantemente dall'introduzione dello smartphone nel 2007 fino al 2014, circa del 76% rispetto al 2006, e da allora è rimasto stabile a un livello elevato. (cfr. "Gesund aufwachsen in der digitalen Medienwelt" [Crescere sani nel mondo dei media digitali], a cura di Michaela Glöckler, 2025, pag. 34)

⁸ Foerster M, Thielens A, Joseph W, Eeftens M e Rösli M (2018). Uno studio prospettico di coorte sulle prestazioni della memoria degli adolescenti e sulla dose individuale di radiazioni a microonde provenienti dalla comunicazione wireless. *Environmental Health Perspectives*, vol. 126, n. 7, ResearchOpen Access, [emf-portal.org/de/article/35641](https://www.emf-portal.org/de/article/35641)

⁹ Setia MS, Natesan R, Samant P, Mhapankar S, Kumar S, Singh IV, Nair A, Seth B (2025). Emissioni di campi elettromagnetici a radiofrequenza e risultati dello sviluppo neurologico nei neonati: uno studio prospettico di coorte, *Cureus* 2025; 17 (7): e87671, <https://www.emf-portal.org/de/article/60360>

¹⁰ Supper A, Teuchert-Noodt G (2021). "How learning doesn't work" Children evaluate their cell phone use – An empirical pilot study. *Neurol Neurosci*. 2021; 1(3):1-9.

¹¹ Nunes CO, Barriga EH. Bioelectricity in Morphogenesis, *Annu Rev Cell Dev Biol* 2025; 41: 187-208, testo completo: <https://www.emf-portal.org/de/article/60997>

¹² Mumtaz S, Rana JN, Choi EH, Han I (2022). Radiazioni a microonde e cervello: meccanismi, stato attuale e prospettive future, revisione, *Int J Mol Sci* 2022; 23 (16): 9288

¹³K . Hoffmann, F. Bagorda, A. F. G. Stevenson & G. Teuchert-Noodt (2001). Electromagnetic exposure effects the hippocampal dentate cell proliferation in gerbils [*Meriones unguiculatus*], *Indian Journal of Experimental Biology*, volume 39, dicembre 2001, pagg. 1220–1226

¹⁴Intervista del 12/04/2023 e documentazione dei risultati della sua ricerca su <https://www.diagnose-funk.org/aktuelles/artikel-archiv/detail?newsid=1964>

Peter Hensinger: Come è arrivato alla conclusione che i dispositivi mobili della telefonia cellulare e le alte frequenze possano influenzare anche l'EEG? Come hanno reagito la comunità scientifica e il suo datore di lavoro ai suoi risultati?

L. von Klitzing: Poiché la tecnologia di telefonia mobile utilizza campi RF pulsati, l'argomento di ricerca era già deciso. Non appena questo progetto pianificato è stato reso pubblico, la Telekom ha nuovamente messo in discussione la mia competenza scientifica, presentando un programma in 10 punti contro le mie ulteriori attività. Tuttavia, l'università non ha ritenuto opportuno esprimersi sull'argomento. Così, per il momento, la strada era libera.

¹⁵ Shahin S, Banerjee S, Singh SP, Chaturvedi CM (2015). 2.45 GHz Microwave Radiation Impairs Learning and Spatial Memory via Oxidative/Nitrosative Stress Induced p53-Dependent / Independent Hippocampal Apoptosis: Molecular Basis and Underlying Mechanism. *Toxicological Sciences* 148 (2), 380–399, <https://www.emfdata.org/de/studien/detail?id=198>

Shahin S et al. (2018). Le radiazioni a microonde a 2,45 GHz compromettono l'apprendimento dell'ippocampo e la memoria spaziale: coinvolgimento della soppressione indotta dal meccanismo di stress locale della segnalazione iGluR/ERK/CREB. *Toxicological Sciences* 161 (2), 349–374, <https://www.emfdata.org/de/studien/detail?id=734>

¹⁶ Kim Ju Hwan, Kyung Hwun Chung, Yeong Ran Hwang, Hye Ran Park, Hee Jung Kim, Hyung-Gun Kim e Hak Rim Kim (2021). L'esposizione a campi elettromagnetici a radiofrequenza altera la struttura postsinaptica e ostacola la crescita dei neuriti nei neuroni dell'ippocampo in fase di sviluppo dei topi nel primo periodo postnatale, *Int. J. Mol. Sci.* 2021, 22, 5340

Kim JH, Seok JY, Kim YH, Kim HJ, Lee JK, Kim HR (2024). L'esposizione alle radiofrequenze induce una disfunzione sinaptica nei neuroni corticali causando alterazioni dell'apprendimento e della memoria nei topi nel primo periodo postnatale. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(16). <https://www.emfdata.org/en/studies/detail?id=860>

¹⁷ Manuela Macedonia: Muoviti! E il tuo cervello ti ringrazierà! Brandstaetter, 2024

¹⁸ Bodin R, Godin L, Mouglin C, Lecomte A, Larrigaldie V, Feat-Vetel J, et al. (2025). Altered development in rodent brain cells after 900 MHz radiofrequency exposure. (Sviluppo alterato delle cellule cerebrali dei roditori dopo esposizione a radiofrequenze a 900 MHz), *Neurotoxicology*. 2025;111 (agosto)

¹⁹ Odaci E, Bas O, Kaplan S (2008=). Effetti dell'esposizione prenatale a un campo elettromagnetico a 900 MHz sul giro dentato dei ratti: uno studio stereologico e istopatologico. *Brain Res* 2008; 1238 : 224 – 229

Bas O, Odaci E, Kaplan S, Acer N, Ucok K, Colakoglu S (2009). L'esposizione a campi elettromagnetici a 900 MHz influisce sulle caratteristiche qualitative e quantitative delle cellule piramidali dell'ippocampo nei ratti femmine adulti, *Brain Res* 2009; 1265: 178-185

Bas O, Odaci E, Mollaoglu H, Ucok K, Kaplan S (2009). L'esposizione prenatale cronica al campo elettromagnetico a 900 megahertz induce la perdita di cellule piramidali nell'ippocampo dei ratti neonati, *Toxicol Ind Health* 2009; 25 (6): 377-384

Bas O, Sönmez OF, Aslan A, İkinci A, Hancı H, Yildirim M, Kaya H, Akca M, Odaci. E (2013). Perdita di cellule piramidali nel corno di Ammoni di ratti femmine di 32 giorni dopo l'esposizione a un campo elettromagnetico a 900 megahertz durante i giorni prenatali 13-21, *Neuroquantology* 2013; 11 (4): 591-599

Odaci E, Hancı H, İkinci A, Sonmez OF, Aslan A, Sahin A, Kaya H, Colakoglu S, Bas O (2016). L'esposizione materna a un campo elettromagnetico continuo a 900 MHz provoca la perdita neuronale e cambiamenti patologici nel cervelletto dei ratti femmine di 32 giorni, *J Chem Neuroanat* 2016; 75 Pt B: 105-110

²⁰ Hu C, Zuo H, Li Y (2021). Effetti delle radiazioni elettromagnetiche a radiofrequenza sui neurotrasmettitori nel cervello. *Front Public Heal.* 2021;9 (agosto):1-15; DOI: 10.3389/fpubh.2021.691880

²¹ Obajuluwa AO, Akinyemi AJ, Afolabi OB, Adekoya K, Sanya JO, Ishola AO (2017). L'esposizione alle onde elettromagnetiche a radiofrequenza altera l'espressione del gene dell'acetilcolinesterasi, il comportamento esplorativo e quello legato alla coordinazione motoria nei ratti maschi, *Toxicol Rep* 2017; 4: 530-534

²² Hu C, Zuo H e Li Y (2021). Effetti delle radiazioni elettromagnetiche a radiofrequenza sui neurotrasmettitori nel cervello. *Front. Public Health* 9:691880. doi: 10.3389/fpubh.2021.691880:

"L'energia delle radiazioni non ionizzanti non è sufficiente per rompere direttamente i legami chimici. Pertanto, il verificarsi di danni al DNA in seguito all'esposizione a campi elettromagnetici non ionizzanti è principalmente una conseguenza della formazione di ROS, seguita da stress ossidativo. Numerosi studi sugli animali hanno chiaramente dimostrato che i campi elettromagnetici non termici possono causare stress ossidativo (115, 116), in particolare nel cervello (3, 117-119). È stato documentato che l'esposizione a campi elettromagnetici non termici a 900 MHz o 2,45 GHz nei ratti, sia a breve che a lungo termine, può provocare disfunzioni neuronali e apoptosi delle cellule piramidali nell'ippocampo (117, 120) e delle cellule di Purkinje nel cervelletto (121). (p. 10)

"Lushchak et al. hanno riferito che l'esposizione alle radiazioni elettromagnetiche può inizialmente generare radicali liberi nel cervello, che successivamente vengono convertiti in ROS (126). L'aumento dei livelli di ROS può attaccare diverse biomolecole nella cellula. L'aumento dei livelli di ROS può a sua volta innescare il rilascio di calcio e quindi attivare i fattori genetici che portano al danno al DNA (110)." (p.10)

"È anche possibile che i vari effetti sulla neurotrasmissione osservati negli animali dopo l'esposizione a campi elettromagnetici a radiofrequenza siano dovuti a effetti combinati in diverse regioni del cervello, come alterazioni neurofisiologiche, aumento del calcio e dei ROS (specie reattive dell'ossigeno o radicali liberi dell'ossigeno) e conseguenti danni alla membrana cellulare e alterazioni dei segnali a valle (p. 11)."

²³ Schuermann D, Mevissen M (2021). Campi elettromagnetici artificiali e stress ossidativo - Effetti biologici e conseguenze per la salute. *Int. J. Mol. Sci.* 2021, 22, 3772. <https://doi.org/10.3390/ijms22073772>

²⁴ Salford LG, Brun AE, Eberhardt JL, Malmgren L, Persson BR (2003). Danni alle cellule nervose nel cervello dei mammiferi dopo l'esposizione alle microonde dei telefoni cellulari GSM. *Environ Health Perspect* 111 (7): 881-3
<https://www.emf-portal.org/de/article/9462>

diagnose:funk Brennpunkt (2022). L'apertura della barriera emato-encefalica causata dalle radiazioni dei telefoni cellulari: risultati degli studi Salford, [diagnose-funk.org/1809](https://www.diagnose-funk.org/1809)

²⁵ Grafen K. (2022). L'albumina come marcatore chiave. *DHZ – Deutsche Heilpraktiker Zeitschrift*, 2022; 6: 56–59 | © 2022. Thieme.

²⁶ Documentazione degli studi di Lebrecht von Klitzing e intervista: <https://www.diagnose-funk.org/aktuelles/artikel-archiv/detail?newsid=1964>

²⁷ Mona Nilsson, Lennart Hardell. Numero crescente di bambini di età compresa tra 5 e 19 anni con problemi di memoria in Svezia e Norvegia. *Archives of Clinical and Biomedical Research*. 9 (2025): 431-439; <https://www.diagnose-funk.org/2288>
<https://cdn.fortunejournals.com/articles/increasing-numbers-of-children-aged-5-19-years-with-memory-problems-in-sweden-and-norw-6333.pdf>

²⁸ Zierer, K. (2021). Tra finzione e realtà: possibilità e limiti dei media digitali nel sistema educativo, *Pädagogische Rundschau*, 75° anno, pagg. 377-392, download: www.diagnose-funk.org/2001

²⁹ Appello: Politica educativa umana ed emancipatoria vs. trasformazione digitale, 12.03.2025, <https://die-paedagogische-wende.de/aufruf-bildungspolitik-2025/>