Copyright © FrancoAngeli This work is released under Creative Commons Attribution - Non-Commercial - NoDerivatives License. For terms and conditions of usage please see: http://creativecommons.org

Neuroinfiammazione e neuropatologie: le cause ambientali

Mauro Bologna[1]

1. Professore emerito di Patologia Generale, Università degli Studi dell'Aquila

Contatto: mauro.bologna@univaq.it

Ricevuto 15 novembre 2026, rivisto 18 novembre 2026, accettato 23 novembre 2026, Online first...

Per la citazione: Bologna M. (2026). Neuroinfiammation and Neuropathologies. The environmental causes. Pnei Review. DOI: 10.3280/pnei2026oa24364

Il concetto davvero fondamentale ed incredibilmente innovativo che occorre oggi avere è che il cervello non è un organo immunologicamente privilegiato, come per lungo tempo le evidenze scientifiche hanno lasciato pensare, a causa di un errore metodologico di preparazione istologica dei campioni microscopici dell'encefalo. Il drenaggio linfatico del cervello (presente nella dura madre, strettamente adeso alle ossa craniche) è stato pertanto a lungo ignorato e ritenuto assente. Dunque, oggi sappiamo che i tanti fattori ambientali di inquinamento e di stimolo infiammatorio arrivano anche al cervello e determinano reazioni di flogosi (neuroinfiammazione) da cui derivano numerose patologie della sfera neurodegenerativa (soprattutto Morbo di Parkinson e Demenze). Aria, acqua e cibi sono sempre più ricchi di particolato carbonioso (PM), di specie chimiche pro-infiammatorie, di microplastiche e di additivi alimentari nella dieta "moderna" di derivazione industriale. Le cause infiammatorie sono dunque numerose e quotidiane nell'ambiente "moderno": occorre avere conoscenze e attitudini alla prevenzione, che nel paradigma PNEI sono assolutamente prioritarie nella didattica e nella clinica di molte affezioni neurologiche.

Parole chiave: Ambiente ed infiammazione; Inquinamento ambientale; Microplastiche; Particolato atmosferico; Neuroinfiammazione; Malattie neurodegenerative; Sistema linfatico cerebrale.

L'argomento è vasto ma è di grande rilevo, perché il rapporto tra i numerosissimi fattori ambientali pro-infiammatori e le patologie del sistema nervoso è ormai accertato ed è fonte di numerose conseguenze sanitarie. Tra le prime, l'aumento vistoso dell'incidenza delle demenze in una popolazione che invecchia e che è esposta per lunghi anni a fattori di inquinamento ambientale.

(ISSN 2532-6147, ISSNe 2532-2826)
Versione italiana dell'articolo DOI: 10.3280/pnei2026oa24255

Copyright © FrancoAngeli This work is released under Creative Commons Attribution - Non-Commercial - NoDerivatives License. For terms and conditions of usage please see: http://creativecommons.org

La relazione che ho tenuto recentemente al V Congresso Nazionale SIPNEI (Roma, 2-4 ottobre 2026), avente il medesimo titolo di questo articolo, si è sviluppata secondo i seguenti punti: Il cervello non è immunologicamente privilegiato; l'ambiente è sempre più ricco di inquinanti pro-infiammatori (polveri respiratorie; microplastiche; alimentazione industriale; inquinamento di aria, acqua, cibi, e quello derivante da guerre); l'infiammazione può essere sia benefica (acuta, difensiva, rigenerativa, riparativa) che dannosa e distruttiva (cronica, degenerativa, irreversibile); come risponde il cervello all'infiammazione? cosa determina l'infiammazione nel cervello? come affrontare il problema ambientale; occorrono conoscenza, prevenzione, divulgazione, cooperazione in ambito sanitario per aggiornare e praticare le opportune terapie.

Vediamoli singolarmente, con alcuni utili approfondimenti.

Il cervello non è immunologicamente privilegiato

Sistema nervoso e sistema immunitario interagiscono continuamente; inoltre, il concetto antico di barriera emato-encefalica è ormai largamente superato.

Immunologi e neurologi devono sempre più collaborare per studiare e comprendere i concetti riguardanti la neuroinfiammazione e le sue conseguenze nella patogenesi delle malattie neurodegenerative.

Integrare gli elementi "immunitari" come microglia e citochine con i processi fisiopatologici e patogenetici che conducono all'insorgenza delle malattie neurodegenerative.

Molte di tali patologie del sistema nervoso si associano ad accumuli patologici di detriti (aggregati proteici, amiloide, proteina Tau e sue varianti, ecc.) e allo sviluppo di varie forme di demenza e di disturbi neurofunzionali.

Come fa il cervello a liberarsi dei suoi rifiuti (aggregati proteici, neurofibrille ecc.) se non ha un sistema linfatico? Pian piano questo dubbio ha trovato una soluzione -negli ultimi 10 anni o poco più- con la prova dell'esistenza di un drenaggio linfatico cerebrale vero e proprio, lungamente sfuggito all'evidenza della ricerca isto-anatomica.

Che il cervello fosse privo di una rete di drenaggio linfatico, come è invece presente in tutti gli altri organi, è stato un concetto troppo lungamente accettato, ma che ormai si è rivelato sicuramente falso: *il sistema*

Copyright © FrancoAngeli This work is released under Creative Commons Attribution - Non-Commercial - NoDerivatives License. For terms and conditions of usage please see: http://creativecommons.org

linfatico c'è nel cervello, ma è sfuggito per lungo tempo all'evidenza scientifica … per banali ma perduranti motivi tecnici di preparazione istologica dei campioni microscopici, finalmente risolti dal gruppo di ricerca diretto da Antoine Louveau nell'Università della Virginia, Charlottesville, USA, nel 2015. (Louveau et al., Nature, 2015).

Il motivo pratico, incredibile ed eminentemente tecnico di tale lunga ignoranza dei fatti, è stato individuato nella pratica di preparazione dei reperti anatomici dell'encefalo, che di regola venivano realizzati isolando l'encefalo stesso dalle ossa della teca cranica. Con tale operazione si strappava il piano osseo della scatola cranica dal piano superficiale dell'organo in essa contenuto, ovvero il cervello propriamente detto. Ma tra cervello ed ossa ci sono le meningi (con la dura madre strettamente adesa all'osso), l'aracnoide molto lasca e di scarsa consistenza meccanica, nel cui contesto avviene il drenaggio del liquido cefalo-rachidiano; in questo si rinvengono le cellule immuno-linfatiche che in altri organi ritroviamo nei vasi linfatici. Ebbene, l'aracnoide strappata era ed "è" il drenaggio linfatico cerebrale, che sfuggiva all'evidenza fino alla tecnica innovativa che ha consentito una sua corretta preparazione istologica: dall'aracnoide, infine, il drenaggio si indirizza nei vasi linfatici esistenti nello spessore della dura madre. Vedi Figure 1-3 (meningi e circolazione venoso-linfatica cerebrale).

Molto istruttivo risulta in proposito l'esame approfondito dell'importante articolo di Castellani et al. pubblicato nel 2023 su Science, che

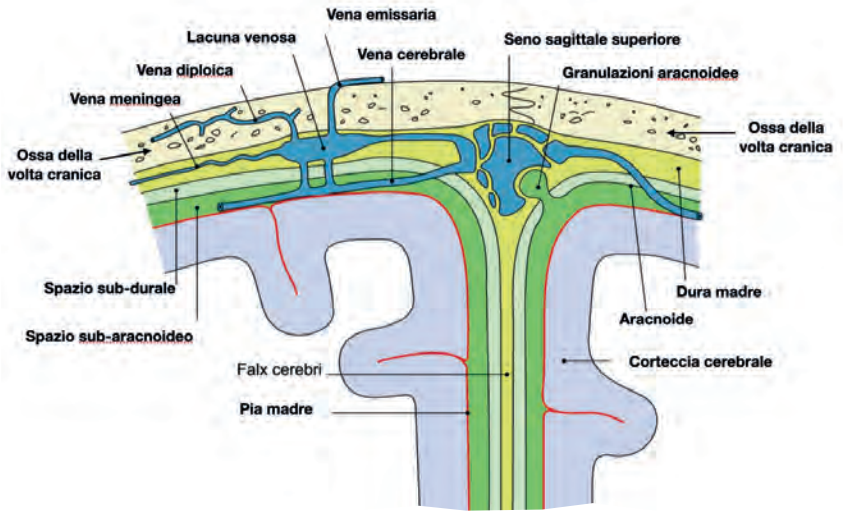

Figura 1. Schema delle Meningi in sezione (da Louveau, 2015, Open Access, modificata)

Copyright © FrancoAngeli This work is released under Creative
Commons Attribution - Non-Commercial - NoDerivatives License.
For terms and conditions of usage please see:
http://creativecommons.org

analizza l'evoluzione storica dei concetti riguardanti le interazioni tra cervello e sistema immunitario (Castellani et al, 2023). Da tale pubblicazione emerge con forza il concetto che, dopo tanto tempo in cui si è costruita e alimentata l'idea della barriera emato-encefalica e del "privilegio" immunitario del cervello, il cervello stesso non è affatto un organo immunologicamente privilegiato. Da un'attenta analisi storica delle scoperte scientifiche avvenute tra gli ultimi anni dell'800 ed i giorni nostri, Castellani e collaboratori forniscono un preciso e dettagliato excursus storico delle convinzioni scientifiche in merito alle interazioni tra sistema nervoso e sistema immunitario ("Our understanding of *how the brain and immune system interact* has changed substantially over the past years and decades"). Per chi volesse, si raccomanda senz'altro la lettura integrale dell'articolo citato, che è troppo lungo e complesso da sintetizzare in questa sede (Castellani et al, 2023).

Dall'attento recepimento delle evidenze scientifiche enunciate, nonché di quelle più recenti, derivano dunque le seguenti conclusioni, valide allo stato attuale delle conoscenze.

A) Sistema nervoso e sistema immunitario interagiscono continuamente; inoltre, il concetto antico di barriera emato-encefalica è ormai largamente superato.

B) Immunologi e neurologi devono sempre più collaborare per studiare e comprendere i concetti riguardanti la neuroinfiammazione e le sue conseguenze nella patogenesi delle malattie neurodegenerative.

C) Integrare gli elementi "immunitari" come microglia e citochine con i processi fisiopatologici e patogenetici che conducono all'insorgenza delle malattie neurodegenerative.

D) Molte di queste si associano ad accumuli patologici di detriti (aggregati proteici, amiloide, proteina Tau e sue varianti, ecc.) ed allo sviluppo di varie forme di demenza e di disturbi neurofunzionali.

L'ambiente è sempre più ricco di inquinanti pro-infiammatori.

Polveri respiratorie, microplastiche, alimentazione industriale portano ad inquinamento di aria, acqua, cibi; ma molto importante è quello derivante da guerre, che sono evidentemente estremamente deleterie anche sull'ambiente.

Tutti questi fattori di inquinamento ambientale raggiungono molti distretti anatomici degli esseri viventi esposti necessariamente a tutti essi.

Copyright © FrancoAngeli This work is released under Creative Commons Attribution - Non-Commercial - NoDerivatives License. For terms and conditions of usage please see: http://creativecommons.org

Chi non respira? Chi non beve acqua, base della vita? Chi non si nutre?

Ebbene respirando, bevendo acqua e mangiando in un ambiente inquinato si determina l'arrivo nell'organismo umano (ed animale) di tutti i numerosi fattori potenzialmente dannosi che si ritrovano in aria, acqua e cibi. Tali fattori innescano processi biologici vari, tra cui predomina l'infiammazione, che è la principale reazione difensiva degli organismi viventi nei confronti dei fattori estranei.

Dunque, l'ambiente inquinato è fortemente e quotidianamente proinfiammatorio in tutti i distretti anatomici raggiunti dai fattori suddetti che innescano e mantengono ripetutamente i processi infiammatori.

Questi ultimi determinano e sostengono risposta immunitaria, azione di cellule attivate, liberazione di numerosi fattori umorali come le citochine infiammatorie; a tali mediatori chimici rispondono in vario modo tante e variegate forme cellulari di reattività e di riparazione del danno chimico ed istologico.

Sul tema inquinamento ambientale siamo intervenuti più volte e a diversi livelli con i nostri corsi di insegnamento e con i nostri scritti (Bologna, 2023; Minelli et al. 2023, Bottaccioli et al., 2022). Tanti altri autori hanno sottolineato le molteplici connessioni tra inquinamento ambientale e malattie: oggi osserviamo inoltre, e con enorme apprensione, le conseguenze ambientali e patologiche delle numerose e perduranti guerre in corso sul pianeta.

Un'analisi alquanto ricca dei dati disponibili in merito a tali conseguenze che derivano dai conflitti armati, con particolare attenzione agli effetti sul cambiamento climatico su scala mondiale, è stata pubblicata da un gruppo di studio ucraino ed è consultabile al sito: https://en.ecoaction.org.ua/climate-damage-4-years-numbers.html.

Un fondamentale spunto di riflessione, di alto valore filosofico e sanitario, è contenuto nel documento di ISDE (International Society of Doctors for the Environment) pubblicato in ottobre scorso, in occasione dell'anno dell'ottavo centenario della morte di Francesco d'Assisi (https://www.isdenews.it/4-ottobre-san-francesco-dassisi/). Si tratta di un ambito filosofico (e scientifico) di elevatissimo valore, meritevole di profonda considerazione. Tanto che ho deciso di riportare qui fedelmente alcuni passaggi chiave di tale importante documento, pubblicato in ISDENews del 4 ottobre scorso (https://www.isdenews.it/4-ottobre-san-francesco-dassisi/) perché l'approccio PNEI ne condivide assolutamente il significato, in prospettiva One-Health.

<< Nell'anno dell'ottavo centenario della morte di Francesco d'Assisi, ISDE – Medici per l'Ambiente, richiama istituzioni, mondo sanitario e scientifico e cittadini alla responsabilità di proteggere insieme salute, ambiente e pace di fronte alle grandi crisi del nostro tempo.

Il 4 ottobre 2026 assume un significato particolare. Nell'anno in cui ricor-

Copyright © FrancoAngeli This work is released under Creative Commons Attribution - Non-Commercial - NoDerivatives License. For terms and conditions of usage please see: http://creativecommons.org

*rono ottocento anni dalla morte di **Francesco d'Assisi**, la sua figura ci pone davanti a una domanda di straordinaria attualità: quale rapporto vogliamo costruire tra l'essere umano, gli altri esseri viventi e la Terra che ci ospita?*

A otto secoli di distanza, Francesco continua a interrogarci non soltanto come una delle grandi figure spirituali della storia, ma come testimone di una concezione radicale della relazione tra l'essere umano, gli altri esseri viventi e la natura.

*Nel Cantico delle Creature, il sole, l'acqua, l'aria e la terra non sono semplicemente realtà da possedere e consumare, ma elementi di un mondo con il quale l'umanità condivide la propria esistenza. È una rappresentazione che, pur appartenendo a un contesto storico e culturale profondamente diverso dal nostro, conserva una particolare capacità di interrogare il presente: l'essere umano non è separato dalla natura, ma è parte di una comunità vivente e di sistemi naturali dai quali dipendono la sua salute e il suo futuro. (…) La scienza contemporanea documenta infatti con crescente evidenza quanto la salute delle persone sia strettamente connessa alla salute degli animali, degli ecosistemi e del pianeta. È il principio alla base dell'approccio **One Health**, che riconosce l'interdipendenza tra salute umana, animale e ambientale, e della prospettiva della **Planetary Health**, che pone al centro la dipendenza della salute e del benessere delle popolazioni dai sistemi naturali della Terra.*

Crisi climatica, inquinamento dell'aria, dell'acqua e del suolo, perdita di biodiversità, contaminazione da sostanze chimiche, sfruttamento non sostenibile delle risorse naturali e crescenti disuguaglianze non costituiscono emergenze separate. Sono fenomeni profondamente interconnessi, con conseguenze sempre più rilevanti sulla salute delle

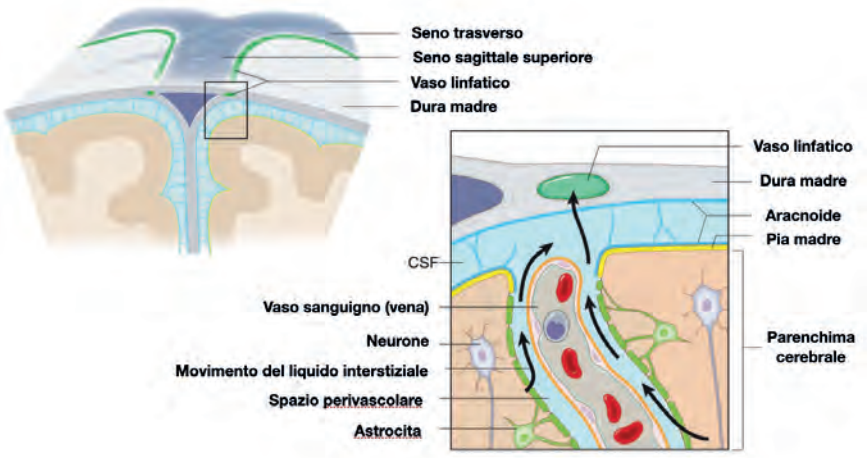

Figura 2. Circolazione venoso-linfatica (da Louveau, 2015, Open Access, modificata)

Copyright © FrancoAngeli This work is released under Creative Commons Attribution - Non-Commercial - NoDerivatives License. For terms and conditions of usage please see: http://creativecommons.org

popolazioni e con un impatto particolarmente grave su bambini, anziani, persone fragili e comunità socialmente ed economicamente più vulnerabili.

A queste emergenze si aggiungono i conflitti e le guerre, che provocano morte e sofferenza immediata, distruggono territori e infrastrutture, danneggiano gli ecosistemi, possono contaminare acqua, aria e suolo e sottraggono ingenti risorse alla prevenzione, alla sanità, alla lotta contro la povertà e alla transizione ecologica.>>

Condividiamo dunque pienamente quanto i colleghi dell'ISDE hanno scritto con lodevole cura nel loro Bollettino in data 4 ottobre 2026. Pertanto, ho ritenuto utile riportarlo come citazione esatta in questa sede.

Per quanto riguarda il cervello, gli studi sull'inquinamento dell'ambiente confermano il fatto che esso è certamente soggetto a danni derivanti dai fattori ambientali, che arrivano anche a tale organo e producono effetti prevalentemente infiammatori, ripetuti nel tempo. Recenti dimostrazioni indicano che l'esposizione a polveri respiratorie si associa ad infiammazione cerebrale (Bratman et al. 2024; Hahad et al. 2021) con accelerazione dei processi di invecchiamento e con implicazioni nel fenomeno di accumulo progressivo dei danni nel tempo. Tale fenomeno introduce il concetto di ***esposoma*** (processo di accumulo nel tempo di esposizione e conseguenze, in relazione all'ambiente di vita ed al suo livello di inquinamento, con danni che si sommano nel tempo, sulla base di ripetuta e perdurante infiammazione) (Hahad et al. 2021).

L'infiammazione può essere sia benefica (acuta, difensiva, rigenerativa, riparativa) che dannosa e distruttiva (cronica, degenerativa, irreversibile).

Eccoci, dunque, ad esaminare in qualche dettaglio la principale reazione organica agli agenti dannosi che possono riguardare un organismo animale: la reazione difensiva e riparativa che chiamiamo infiammazione.

Per una completa trattazione dell'argomento si rimanda senz'altro ai grandi manuali correnti di immunologia e di Patologia Generale (Kumar et al. 2010).

Un contributo esperto di grande rilievo in tema di infiammazione è contenuto nel volume "Il Fuoco Interiore" di Alberto Mantovani edito da Mondadori (Mantovani 2021), la cui lettura raccomando caldamente sia a medici che a non medici. Questo tema investe una funzione molto complessa che, sebbene riconosciuta da secoli e lungamente studiata, presenta ancora alcuni aspetti sconosciuti. Negli anni, la ricerca immunologica ha dimostrato l'esistenza di una componente infiammatoria in

Copyright © FrancoAngeli This work is released under Creative
Commons Attribution - Non-Commercial - NoDerivatives License.
For terms and conditions of usage please see:
http://creativecommons.org

numerosissime patologie: le malattie cardiovascolari, come aterosclerosi e ictus, quelle neurodegenerative e quelle infettive, ma anche i tumori, la depressione, i processi di invecchiamento. In tempi recenti, abbiamo scoperto anche la violenta «tempesta citochinica» che caratterizza le forme più gravi di COVID-19. Nel libro di Alberto Mantovani si offre un percorso per imparare a riconoscere i diversi aspetti dell'infiammazione e ad usare gli strumenti più idonei per controllarla, a partire da un corretto stile di vita. Mi preme tuttavia precisare, in questa occasione, che l'infiammazione è considerata oggi in modo unanime una reazione biologica difensiva presente in tutti gli animali, anzi in tutti gli esseri pluricellulari (comprendendo dunque non solo tutti gli animali, ma anche le piante…) per rispondere all'esigenza quotidiana di eliminare le cellule danneggiate o necrotiche e gli invasori esterni (come i microbi) e garantire dunque la sopravvivenza degli organismi pluricellulari stessi. La capacità di eliminare i tessuti danneggiati, le cellule necrotiche e gli invasori esterni (microrganismi di ogni categoria) è davvero fondamentale per la sopravvivenza degli organismi stessi.

L'insieme delle reazioni rivolte a perseguire tale obiettivo prendono il nome di infiammazione: essa avviene continuamente nel normale avvicendamento degli eventi della vita di un organismo.

Senza l'infiammazione, le infezioni avrebbero possibilità di sviluppo incontrastate, le ferite non guarirebbero ed i tessuti danneggiati avrebbero piaghe purulente, con rapido pericolo di vita. Invece le prerogative di reazione, di difesa e di ricostruzione che sono insite nel processo infiammatorio svolgono quotidianamente e spesso egregiamente tali complessi compiti di difesa e di ricostruzione.

Un passaggio fondamentale dell'infiammazione risiede nell'azione delle cellule fagocitarie residenti nei tessuti (istiociti in vari organi e ***glia*** nel tessuto cerebrale) oppure migranti dal sangue (monociti e macrofagi circolanti): sono queste le cellule di primo intervento che intercettano gli elementi da eliminare (endocitosi di detriti cellulari, depositi proteici, microrganismi) ed avviano il loro riconoscimento specifico (innesco della risposta immunitaria con "presentazione" degli antigeni agli elementi specializzati del sistema immunitario) e la loro distruzione enzimatica (degradazione intracellulare e "digestione" idrolitica).

Un eccesso di inquinanti ed un combinato effetto di inquinanti e di agenti infettivi porta al perdurare del fenomeno e alle conseguenze indesiderate (cronicizzazione dell'infiammazione, con danno reattivo, degenerativo ed irreversibile).

Potremmo dilungarci su tali concetti, ma preferiamo invece fermare qui la trattazione. Ribadiamo soltanto che l'infiammazione acuta è parte dell'immunità innata: tutti gli organismi ne sono capaci e le sue conseguenze mirano alla difesa, allo smaltimento dei detriti dei tessuti danneggiati ed alla ricostruzione delle strutture anatomiche interessate.

Copyright © FrancoAngeli This work is released under Creative Commons Attribution - Non-Commercial - NoDerivatives License. For terms and conditions of usage please see: http://creativecommons.org

Come risponde il cervello all'infiammazione? Cosa determina l'infiammazione nel cervello?

Una recente e profonda disamina dei processi di invecchiamento cerebrale (Hahad et al., 2021) pone grande attenzione sui fenomeni di deterioramento vascolare del cervello dovuto ad una molteplicità di fattori, inclusi quelli ambientali pro-infiammatori che danneggiano l'endotelio vascolare ed aggravano gli esiti legati all'età di molte malattie cardiovascolari e di ossigenazione cerebrale.

La disfunzione endoteliale si riflette molto marcatamente sulle funzioni cerebrali e si aggrava con il tempo e con il ripetersi degli insulti ambientali (concetto di esposoma).

I dati demografici infatti legano strettamente età, incidenza di eventi cardiovascolari, e conseguenze dei danni vascolari, i quali si traducono in rigidità dei vasi ed in ossigenazione tissutale carente (Hahad et al., 2021). Sul cervello, si uniscono anche gli effetti diretti degli inquinanti sulla neuroinfiammazione.

L'incidenza di ictus e di compromissione cognitiva vanno di pari passo con l'avanzare dell'età e sono parametri diagnostici precoci di una successiva demenza con neurodegenerazione (Gauthier et al. 2006).

Nelle ricerche correnti si trovano indicazioni del concorso di numerosi fattori ambientali (esposizione respiratoria alle particelle in sospensione - Particulate Matter, PM, Formazione di forme reattive dell'ossigeno, ROS,

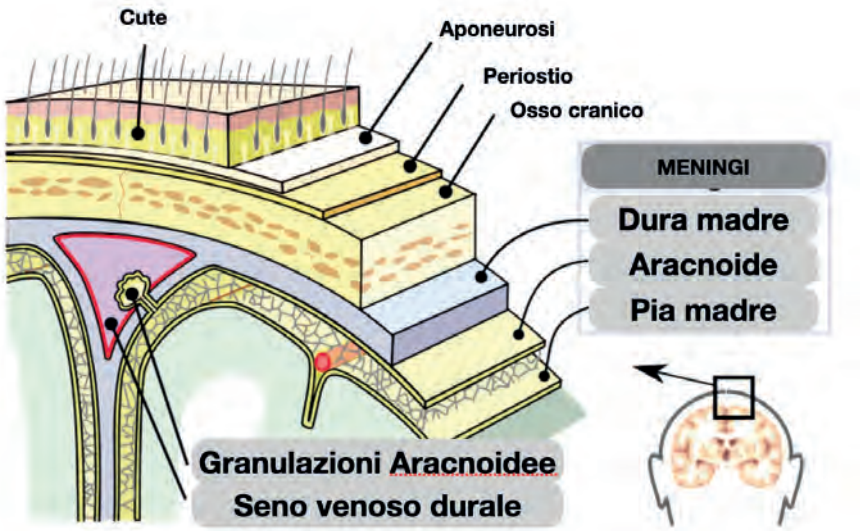

Figura 3. Meningi in rappresentazione tridimensionale (da Wikipedia, Open Access, modificata)

Copyright © FrancoAngeli This work is released under Creative
Commons Attribution - Non-Commercial - NoDerivatives License.
For terms and conditions of usage please see:
http://creativecommons.org

ridotta capacità antiossidante nei soggetti anziani, esposizione al rumore urbano da traffico e da attività industriali, microplastiche onnipresenti e diffusissime) sul danno microvascolare (endothelial disfunction), che unitamente ad infiammazione cronica ed a stress ossidativo portano all'invecchiamento cerebrale precoce che caratterizza tutte le neuropatologie dell'anziano. (Vedi in Hahad 2021, nel testo e soprattutto nella Figura 4 di tale pubblicazione).

In modo particolare, le microplastiche sono state rintracciate in moltissimi tessuti animali, fino alle placche ateromatose endovascolari, anche in distretti intracerebrali (Li et al. 2023, Lin et al., 2025, Marfella et al., 2024).

Dunque, abbiamo le prove che gli inquinanti arrivano nel cervello, per via vascolare, per via respiratoria e persino per via nasale (bulbi olfattivi, con il liquor che circola tra mucosa nasale e recettori olfattivi): alcuni dati sono ancora incompleti, ma le evidenze in tal senso non mancano (Lee et al., 2023). Esistono infatti dimostrazioni nell'animale da esperimento della penetrazione di particolato atmosferico derivante da scarichi di motori diesel che si dimostra capace di innescare neuroinfiammazione ed attivazione gliale.

Ebbene, altre dimostrazioni e conferme sono senz'altro necessarie e seguiranno, ma la prova del fatto che l'inquinamento ambientale determina neuroinfiammazione è già sufficientemente sostanziata.

Da rilevare, inoltre, è la dimostrazione che microplastiche e particolato atmosferico funzionano anche come basi adesive su cui si legano altri inquinanti, che vengono incorporati negli organismi viventi che li ricevono; questi ultimi li fagocitano con le cellule infiammatorie e moltiplicano la complessità delle miscele di fattori esogeni dannosi con cui vengono in contatto. (Xie, et al. 2023)

Nel cervello giungono dunque non solo una molteplicità di fattori ambientali esterni, ma si depositano anche proteine degenerate dai processi patologici interni, come risulta evidente in molte malattie neurodegenerative, tra le quali annoveriamo soprattutto il morbo di Parkinson (con accumuli di alfa-sinucleina -corpi di Lewy-) (Stevenson et al., 2026) e la demenza di Alzheimer (con accumuli di placche senili di amiloide e di proteina Tau) che alcuni collegano anche con infezioni virali da Herpesvirus (Redhead et al. 2018). Gli studi immunitari della demenza di Alzheimer cominciano a registrare importanti avanzamenti che è bene conoscere (Gericke et al., 2023).

Per il Parkinson, è evidente l'infiammazione dei vasi linfatici che drenano i prodotti di degradazione cerebrale. L'accumulo di proteine malformate del genere alfa-sinucleina sostiene l'infiammazione e può rappresentare l'innesco del processo patologico che chiamiamo malattia di Parkinson, se il loro drenaggio linfatico non è efficiente. Inoltre, gli accumuli di alfa-sinucleina danneggiano ulteriormente i vasi linfatici e creano un circolo vizioso che perpetua e rinforza il processo patogenetico della malattia. Il morbo di Parkinson, infatti, è una condizione progressiva che peggiora nel tempo (Stevenson et al., 2026).

Copyright © FrancoAngeli This work is released under Creative Commons Attribution - Non-Commercial - NoDerivatives License. For terms and conditions of usage please see: http://creativecommons.org

Come affrontare il problema ambientale

L'approccio per un rimedio efficace consiste soprattutto nella prevenzione. Con l'osservanza dei limiti di inquinamento ambientale di una molteplicità di inquinanti, che conosciamo grazie agli studi di tossicologia e di medicina del lavoro, si possono raggiungere i traguardi desiderati. Sia con la formazione professionale che con l'imposizione per legge dell'osservanza dei limiti tollerabili e con opportuni e severi controlli da parte delle autorità sanitarie. Ma il rispetto delle leggi e delle misure di prevenzione non è così facile da ottenere, purtroppo, soprattutto per carenza di volontà politica, di insufficiente finanziamento delle strutture sanitarie e di modesta efficacia del sistema burocratico.

Dunque, risulta indispensabile un cambiamento di politica sanitaria che dia precedenza assoluta alla prevenzione, con grande attenzione alla salute dei cittadini.

Occorrono conoscenza, prevenzione, divulgazione, cooperazione in ambito sanitario per aggiornare e praticare le opportune terapie.

Lavoriamo da tempo nella direzione di ampliamento della conoscenza in tutte le materie qui discusse, con l'insegnamento, con la ricerca, con l'offerta di corsi avanzati (master, specializzazioni, convegni di aggiornamento) che favoriscano l'integrazione tra le discipline coinvolte, che sono mediche, biologiche, psicologiche e delle professioni sanitarie tutte che sono comprese nel paradigma della Psico-Neuro-Endocrino-Immunologia. (Bottaccioli et al., 2022). Consultare anche periodicamente www.sipnei.it.

Per una migliore integrazione delle cure occorre una più approfondita ricerca in tema di rapporti tra sistema immunitario e sistema nervoso. In tale ambito gli studi più recenti (Gericke et al., 2023; Li et al.. 2026) riguardano l'attivazione di risposte immunitarie innate intracerebrali (microglia, astrociti) ed il loro ruolo nelle malattie neurodegenerative. Con tali reazioni avviene il reclutamento nel sistema nervoso di cellule immunitarie circolanti ed il loro coinvolgimento nelle reazioni fisiopatologiche conseguenti. Imparare a modificare le interazioni neuro-immunitarie potrà costituire l'elemento cardine della terapia futura delle malattie neurodegenerative.

Con la diffusione delle conoscenze più avanzate, e con la collaborazione, lo scambio di conoscenze, l'armonizzazione delle prestazioni offerte, potremo arrivare e sviluppare progressivamente il miglioramento delle cure. Questa occasione del V Congresso Nazionale della SIPNEI ha rappresentato un momento di grande rilievo nella direzione indicata.

Finanziamenti: Questa ricerca non ha ricevuto finanziamenti. Conflitti di interessi: L'autore dichiara di non avere nessun conflitto di interesse

Copyright © FrancoAngeli This work is released under Creative Commons Attribution - Non-Commercial - NoDerivatives License. For terms and conditions of usage please see: http://creativecommons.org

Riferimenti bibliografici

Bologna, M., Bologna, I. (2023). Inquinamento dell'aria e salute con attenzione al dialogo dei sistemi organici. *PNEI News* 2: 19-22.

Bottaccioli, A.G., Bologna, M., Bottaccioli, F (2022). Psychic Life-Biological Molecule Bidirectional Relationship: Pathways, Mechanisms, and Consequences for Medical and Psychological Sciences—A Narrative Review. *Int. J. Mol. Sci.* 23, 3932. DOI: https://doi.org/10.3390/ijms2307 3932

Castellani G., Croese T., Peralta Ramos J.M., Schwartz, M. (2023). Transforming the understanding of brain immunity. *Science* 380, eabo7649 (2023). DOI: 10.1126/science.abo7649

Gauthier, S.; Reisberg, B.; Zaudig, M. et al. (2006). Mild cognitive impairment. *Lancet* 367, 1262–1270.

Gericke C, Kirabali T, Flury R, et al. (2023). Early β-amyloid accumulation in the brain is associated with peripheral T cell alterations. *Alzheimer's Dement*. 19:5642-5662. DOI: https://doi.org/10.1002/alz.13136

Hahad, O., Frenis, K., Kuntic, M., Daiber, A., Münzel, T. (2021). Accelerated Aging and Age-Related Diseases (CVD and Neurological) Due to Air Pollution and Traffic Noise Exposure. *Int. J. Mol. Sci.* 22, 2419. https://doi.org/10.3390/ijms22052419

Kim, K., D. Abramishvili, S. Du, Z. Papadopoulos, J. Cao, J. Herz, I. Smirnov, J.- L. Thomas, M. Colonna, and J. Kipnis. (2025) Meningeal lymphatics- microglia axis regulates synaptic physiology. *Cell* 188:2705–2719.e23. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cell.2025.02.022

Lee, J., Weerasinghe, M. P., Bohye Kim, B., Kang, S., Kim, J.S., Moon, C. (2024). Impact of diesel particulate matter on the olfactory bulb of mice: insights from behavioral, histological, and molecular assessments. *Molecular & Cellular Toxicology* 20:735–745. DOI: https://doi.org/10.1007/s13273-023-00414-6

Li, Y., Tao, L., Wang, Q., Wang, F., Song M. (2023). Potential Health Impact of Microplastics: A Review of Environmental Distribution, Human Exposure, and Toxic Effects. Environ. *Health* 1, 249–257. DOI: https://doi.org/10.1021/envhealth.3c00052

Li, Y., Ulrich, J.D., Holtzman, D.M. (2026). Adaptive immunity in the pathogenesis of neurodegeneration. *Nature Immunology* 27:1375–1389. DOI: https://doi.org/10.1038/s41590-026-02538-y

Lin, T., Pan, J., Nguyen, M., Ma, Q., Sun, L., Tang,S:, Campen, M.J., Chen, H., Zhou, C. (2025). Microplastic exposure elicits sex-specific atherosclerosis development in lean low-density lipoprotein receptor-deficient mice. *Environment International.* DOI: 10.1016/j.envint.2025.109938

Louveau, A. Smirnov, I., Keyes, T.J., Eccles, J.D. Rouhani, S.J., Peske, J.D. Derecki, N.C., Castle, D., Mandell, J.W., Lee Kevin, S., Harris, T.H. and Kipnis J. (2015). Structural and functional features of central nervous system lymphatics, *Nature* 523(7560): 337–341. DOI: 10.1038/nature14432

Mantovani, A. (2021). *Il fuoco Interiore,* Mondadori, Milano.

Marfella, R., Prattichizzo, F, Sardu, C. et al. (2024). Microplastics and Nanoplastics in Atheromas and Cardiovascular Events. *N Engl J Med* 390:900-10. DOI: 10.1056/NEJMoa2309822

Minelli, A.; Bottaccioli, F. et al. (Bologna, M.) (2023). Speciale Asma, Dal punto di vista della PNEI. *PNEI News* 5-6: 26-34.

Readhead, B., Haure-Mirande, J.V., Funk, C.C. et al. (2018). Multiscale Analysis of Independent Alzheimer's Cohorts Finds Disruption of Molecular, Genetic, and Clinical Networks

Copyright © FrancoAngeli This work is released under Creative Commons Attribution - Non-Commercial - NoDerivatives License. For terms and conditions of usage please see: http://creativecommons.org

by Human Herpesvirus. *Neuron* 99, 64–82, 2018. DOI:10.1016/j.neuron.2018.05.023
Stevenson, T.J. et al. (2026). Cerebrospinal fluid and dural accumulation of α-synuclein impairs CNS clearance in Parkinson's disease. *J. Exp. Med.* 223,11 e20251245 - DOI: https://doi.org/10.1084/jem.20251245
Xie, H., Tian, X., Lin, X., Chen, R. et al. (2023). Nanoplastic-Induced Biological Effects In Vivo and In Vitro: An Overview. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology,* (261:2. DOI: https://doi.org/10.1007/s44169-023-00027-z

DICHIARAZIONE DELL'AUTORE nessuna parte di questo articolo è stata realizzata con l'ausilio di strumenti di intelligenza artificiale