

AMBIENTE CHE CURA: AREE VERDI E BLU, EPIGENETICA E SALUTE

LE AREE VERDI E BLU AGISCONO QUALI INFRASTRUTTURE CRUCIALI DI SALUTE PUBBLICA. MITIGANDO LE ISOLE DI CALORE E L'INQUINAMENTO, FAVORISCONO LA SOCIALITÀ. A LIVELLO MOLECOLARE, RIDUCONO STRESS E INFIAMMAZIONE, INDUCENDO UNA FAVOREVOLE RIMODULAZIONE EPIGENETICA DEL DNA.



FOTO: SEAN PAVONE, SHUTTERSTOCK

Le strategie contemporanee di prevenzione si basano ormai in maniera sempre più importante sul trinomio ambiente, salute e biologia molecolare. La tutela ambientale è stata interpretata, per diversi anni, come riduzione del danno: abbattere l'inquinamento atmosferico, ridurre il rumore, contenere l'esposizione a sostanze tossiche, mitigare gli effetti del calore urbano. Oggi, un attento esame della letteratura scientifica internazionale sull'argomento consente un avanzamento di paradigma: gli ambienti salubri, e in particolare le aree verdi e blu, non rappresentano soltanto contesti meno esposti al rischio, ma veri e propri fattori attivi di promozione della salute.

Epigenetica

Le aree verdi comprendono parchi, giardini, boschi urbani, alberature, corridoi ecologici e spazi vegetati; le aree blu includono mari, laghi, fiumi, zone umide, coste e ambienti associati alla presenza dell'acqua. Questi spazi producono benefici diretti e indiretti sulla salute, favorendo l'attività fisica, migliorando il benessere psicologico,

riducendo l'esposizione a calore e rumore e contribuendo al miglioramento della qualità dell'aria. Le infrastrutture verdi e blu possono quindi essere considerate strumenti naturali di prevenzione, pienamente coerenti con l'approccio *One health*, che riconosce l'interdipendenza tra la salute umana, quella degli ecosistemi e la qualità degli ambienti di vita. Il tema diventa di particolare interesse se osservato attraverso la lente dell'epigenetica.

L'epigenetica studia le modificazioni che regolano l'espressione dei geni senza modificare la sequenza del Dna. Tra queste, la metilazione del Dna rappresenta uno dei meccanismi più rilevanti: l'aggiunta di gruppi metile in specifiche regioni genomiche può modulare l'attività dei geni, influenzando così direttamente i processi biologici legati allo stress, all'infiammazione, alla neuroplasticità, al metabolismo e all'invecchiamento biologico.

Non si tratta di un meccanismo statico e irreversibile ma può essere rimodulato in relazione alle esposizioni ambientali, agli stili di vita, all'attività fisica, allo stress e alle condizioni sociali. Una particolare famiglia di enzimi (Tet), ad esempio, svolge un ruolo nei processi di demetilazione attiva del Dna,

una dimostrazione che l'organismo dispone di sistemi molecolari capaci di modificare i segni epigenetici nel tempo. Questo elemento è centrale per la sanità pubblica: l'ambiente, da un lato, lascia un'impronta biologica, ma può concorrere in determinate condizioni alla sua rimodulazione. Questa evidenza ha implicazioni rilevanti per le politiche ambientali. Se l'ambiente avverso può imprimere segni biologici sfavorevoli, un ambiente salubre può rappresentare una leva di recupero, resilienza e prevenzione. Non si tratta di sostenere che il semplice soggiorno in un ambiente salubre e sano produca una demetilazione generalizzata del Dna. Una formulazione scientificamente più solida è che l'esposizione regolare ad aree verdi e blu salubri può favorire condizioni biologiche compatibili con processi di demetilazione selettiva o, più in generale, con una rimodulazione epigenetica favorevole.

Effetti attesi

Le aree verdi e blu agiscono attraverso più meccanismi convergenti. Il primo è la riduzione dello stress. Poiché stress cronico e infiammazione

sono collegati a modificazioni epigenetiche sfavorevoli, la riduzione stabile dell'esposizione allo stress rappresenta una possibile via attraverso cui gli ambienti naturali possono incidere sui profili di metilazione.

Il secondo meccanismo è l'incremento dell'attività fisica. Parchi accessibili, percorsi costieri, lungomari, piste ciclabili e aree fluviali favoriscono cammino, movimento, socialità e permanenza all'aperto. L'attività fisica è stata collegata a modificazioni della metilazione del Dna in diversi contesti biologici, confermando che il movimento rappresenta una via attraverso cui l'ambiente può incidere sui meccanismi di regolazione genica.

Il terzo meccanismo riguarda la riduzione dell'infiammazione e dello stress ossidativo. Gli ambienti naturali salubri riducono l'esposizione a inquinanti atmosferici, rumore, calore e degrado urbano.

Le infrastrutture verdi contribuiscono alla regolazione microclimatica; quelle blu possono migliorare la qualità percettiva degli spazi urbani, favorire benessere psicologico e sostenere attività ricreative e motorie.

Anche le aree blu hanno una specifica rilevanza. La vicinanza e la fruizione di mari, laghi, fiumi e coste sono associate a benessere mentale, maggiore attività fisica, migliore percezione della qualità della vita e benefici complessivi sulla salute. L'acqua, in particolare, svolge una funzione rigenerativa rilevante, perché combina stimoli visivi, sonori, microclimatici e ricreativi che possono favorire rilassamento, recupero attentivo e riduzione dello stress percepito.

Su un piano prettamente epigenetico, alcune ricerche stanno iniziando a collegare esposizione al verde e marcatori di metilazione. Studi multicentrici su coorti di nascita hanno esplorato l'associazione tra esposizione a spazi verdi e metilazione del Dna nel sangue alla nascita e nell'infanzia, confermandone la possibile funzione di interfaccia biologica tra ambiente e salute. Altri studi hanno analizzato il rapporto tra verde urbano e invecchiamento, suggerendo che una maggiore disponibilità di aree verdi possa associarsi a profili di età biologica più favorevoli, pur con differenze legate al contesto sociale e alle disuguaglianze territoriali.

È necessario, certamente, mantenere una lettura prudente. Non tutti gli studi hanno rilevato associazioni significative tra esposizione a spazi verdi e blu e indicatori epigenetici specifici, come l'accelerazione dell'età gestazionale epigenetica. Questo dato non smentisce

l'ipotesi iniziale, ma indica che la relazione tra ambiente naturale ed epigenetica può dipendere anche da finestre temporali di esposizione, qualità ecologica degli spazi, caratteristiche individuali, contesto sociale, tessuti biologici analizzati e indicatori utilizzati. In questa prospettiva, il soggiornare in aree verdi e blu salubri può essere letto come un intervento di prevenzione.

La permanenza regolare in contesti naturali di qualità può ridurre stress cronico, migliorare sonno, attività fisica e socialità, diminuire l'esposizione a pressioni ambientali e creare condizioni biologiche più favorevoli alla regolazione dell'espressione genica.

La demetilazione del Dna, quando presente, va quindi intesa come parte di un processo selettivo e complesso di rimodulazione epigenetica, non come effetto automatico, uniforme o immediato.

Sul piano delle *policy*, la conseguenza è rilevante. Le aree verdi e blu devono essere progettate, monitorate e gestite come infrastrutture di salute pubblica. Non basta solo aumentare la quantità di verde o rendere fruibile un'area blu: occorre garantire qualità ecologica, accessibilità, sicurezza, continuità spaziale, manutenzione, controllo degli inquinanti e integrazione con i sistemi sanitari e sociali.

Se è vero che l'ambiente incide sui meccanismi biologici, la metilazione del Dna rappresenta una delle possibili interfacce tra esposizioni ambientali, stili di vita e traiettorie di salute. Le aree verdi e blu possono contribuire a orientare questi processi verso assetti più favorevoli, promuovendo resilienza, benessere e prevenzione.

La sfida dei prossimi anni sarà trasformare queste evidenze in programmazione territoriale: meno consumo di suolo, più infrastrutture naturali, più qualità ambientale, più monitoraggio integrato e una più solida alleanza tra ambiente, sanità pubblica e pianificazione urbana.

**Michelangelo Iannone¹,
Giacinto Ciappetta²**

Agenzia regionale per la protezione dell'ambiente della Calabria (Arpaca)

1. Direttore generale, ricercatore Cnr-Irib (Istituto per la ricerca e l'innovazione biomedica del Consiglio nazionale delle ricerche)

2. Direttore scientifico, coordinatore tecnico del progetto di ricerca Vebs "Il buon uso degli spazi verdi e blu per la promozione della salute e del benessere"

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Hartig T., Mitchell R., de Vries S., Frumkin H., 2014, "Nature and health", *Annual Review of Public Health*, 35, 207-228.
- Kim K., Joyce B.T., Gao T., Zheng Y., Zhang W., Cardoso M.A. et al., 2023, "Inequalities in urban greenness and epigenetic aging: Different associations by race and neighborhood socioeconomic status", *Science Advances*, 9(26).
- Marques I., Santos S., Monasso G.S., Fossati S., Vrijheid M., Nieuwenhuijsen M.J., Jaddoe V.W.V., Felix J.F., 2023, "Associations of green and blue space exposure in pregnancy with epigenetic gestational age acceleration", *Epigenetics*, 18(1).
- Miguel P.M., Pereira L.O., Silveira P.P., Meaney, M.J., 2019, "Early environmental influences on the development of children's brain structure and function", *Developmental Medicine & Child Neurology*, 61, 1127-1133.
- Moore L.D., Le T., Fan G., 2013, "Dna methylation and its basic function", *Neuropsychopharmacology*, 38, 23-38.
- Nieuwenhuijsen M.J., 2021, "Green infrastructure and health", *Annual Review of Public Health*, 42, 317-328.
- Światowy W.J., Drzewiecka H., Kliber M., Sasiadek M., Karpiński P., Pławski A., Jagodziński P.P., 2021, "Physical activity and Dna methylation in humans", *International Journal of Molecular Sciences*, 22(23), 12989.
- Van den Bosch M., Ode Sang Å., 2017, "Urban natural environments as nature-based solutions for improved public health – A systematic review of reviews", *Environmental Research*, 158, 373-384.
- World health organization, 2016, *Urban green spaces and health: A review of evidence*, Who Regional Office for Europe.
- World health organization, 2021, *Nature, biodiversity and health: An overview of interconnections*, Who Regional Office for Europe.
- Zhang X., Zhang Y., Wang C. et al., 2023, "Tet family proteins: structure, biological functions and applications", *Signal Transduction and Targeted Therapy*, 8, 297.