

## *Additional Materials for*

# Resilience actions to counteract the effects of climate change and health emergencies in cities: the role of artificial neural networks

**Maria Cristina Mammarella and Giovanni Grandoni**

*Formerly at Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile (ENEA), Rome, Italy*

*Address for correspondence:* Maria Cristina Mammarella, Via Francesco Schupfer 69, 00167 Rome, Italy.  
E-mail: mc.mammarella@gmail.com.

*Published on*

*Ann Ist Super Sanità 2019 Vol. 55, No. 4: 392-397*

DOI: 10.4415/ANN\_19\_04\_14

**This pdf file contains the Italian translation of the paper as supplied by the Authors Maria Cristina Mammarella and Giovanni Grandoni (13 February 2020).**



# Azioni di resilienza per contrastare gli effetti del cambiamento climatico e le emergenze sanitarie nelle città: il ruolo delle reti neurali artificiali

Maria Cristina Mammarella\* e Giovanni Grandoni\*

\*Già Dirigente di Ricerca dell'Agenzia Nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile (ENEA), Roma, Italia

## ABSTRACT

L'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) con il suo "Climate and Health Country Profile Project" del 2015 e l'Istituto Superiore di Sanità (ISS) con il suo "Health and Climate Change" del 2018, concordano sull'emergenza generata dai cambiamenti climatici (CC) e sui problemi di salute correlati. La strategia di mitigazione suggerita dall'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) contro le emissioni di gas serra e i loro effetti sui CC, non ha ancora dato i risultati sperati. È quindi necessario concentrarsi sulle strategie di adattamento, per contrastare immediatamente gli effetti dei CC sulle persone e sugli ambienti più vulnerabili, aumentando la loro resilienza attraverso interventi locali e azioni mirate di resilienza. Sono necessarie azioni coordinate di resilienza per combattere gli effetti dei CC, soprattutto nelle aree urbane. Per gestire e ottimizzare le azioni di resilienza, le Reti Neurali Artificiali (ANN) sono strumenti molto utili in settori complessi e dinamici come le città. Come esempio per aumentare la resilienza climatica dei sistemi sanitari locali, viene presentato il caso delle ANN applicate ad una città. Allo stato attuale delle conoscenze, le ANN si dimostrano la soluzione più avanzata e globale per coordinare e gestire una serie di azioni di resilienza nelle aree urbane.

**PAROLE CHIAVE:** adattamento al cambiamento climatico, resilienza climatica della salute, azioni di resilienza urbana, salute, reti neurali artificiali.

## INTRODUZIONE

Le osservazioni scientifiche e i modelli meteorologici a scala globale hanno certificato che la temperatura media terrestre dagli ultimi decenni è in costante aumento. Per questo nella Conferenza di Kyoto, Conferenza delle Parti 3 (COP3) del 1997, indetta dalle Nazioni Unite, è stato firmato un documento da quasi tutte le nazioni, conosciuto come Protocollo di Kyoto sul Cambiamento Climatico, che mette sotto accusa i gas climalteranti. L'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) ha infatti dimostrato che i gas-serra sono responsabili dei CC del pianeta, in special modo nelle aree polari, dove i ghiacciai sono in costante riduzione con conseguenze potenzialmente gravi, in particolare per la salute e la sopravvivenza delle persone. Successivamente nell'indagine dell'OMS, "*Climate and Health Country*", fatta nel 2015, si evidenzia l'interesse agli effetti dei CC relativo agli aspetti sanitari, come poi confermato dal 1mo Simposio Scientifico 'Health and Climate Change' organizzato dall'Istituto Superiore di Sanità (ISS) nel 2018.

Le principali strategie di contrasto ai CC finora individuate e messe in campo sono due. La prima è la mitigazione, che agisce sulle cause del cambiamento climatico sia abbattendo le emissioni di gas serra sia riducendo l'uso di fonti energetiche fossili. La seconda è l'adattamento, che intende limitare gli impatti del cambiamento climatico mettendo in atto tutte quelle azioni in grado di ridurre e contrastare il disagio climatico, la fragilità idrogeologica e delle coste, la riduzione della bio-diversità, ecc., al fine di conservare la qualità di vita sulla terra ed in particolare la salute e benessere dei cittadini [1]. Recentemente, in Italia, è stato definito un Piano Integrato Nazionale per l'Energia e il Clima (PNIEC). Il PNIEC sarà adottato a partire dal 2020. Il documento, nato dalla collaborazione di tre ministeri, Ministero dell'Ambiente, Ministero dello Sviluppo Economico e Ministero delle Infrastrutture e Trasporti, mira a raggiungere specifici obiettivi come la decarbonizzazione, l'efficienza energetica, l'innovazione e competitività attraverso un approccio integrato.

Inoltre per limitare gli impatti dei CC, in Italia (2015) è stato adottato il Piano Nazionale di Adattamento al cambiamento climatico (PNACC), che indica le strategie nazionali idonee a salvaguardare i sistemi naturali e con essi la salute e il benessere dei cittadini.

Purtroppo la strategia di mitigazione, prima via indicata dall'IPCC per ridurre le emissioni dei gas serra, causa dei CC, non ha dato ad oggi i risultati sperati, come dimostrato dall'ultimo COP21 del 2015, Accordi di Parigi per mantenere la variazione del Global Warning sotto il limite di 2 °C, fino a COP24 (Katowice, 2018). Pertanto, pur continuando a perseguire le azioni di mitigazione, occorre concentrarsi ed attivarsi sulla strategia di adattamento in modo incisivo [2].

L'adattamento che si realizza con azioni per limitare, contrastare e ridurre al massimo gli effetti dei CC si traduce in una sola parola: resilienza dell'uomo e dell'ambiente - elementi viventi e non - in tutte le sue forme [3].

Una delle capacità più importanti dell'essere umano è di poter aumentare il proprio grado di adattamento ai cambiamenti, qualsiasi essi siano, dimostrando di essere dotato di resilienza *naturale*, distinta dalla resilienza *pianificata*. Ad esempio i cambiamenti ambientali e climatici possono determinare mutazioni sociali ed economiche anche rilevanti tanto da indurre migrazioni di massa [4, 5], come strategia naturale di adattamento.

## **LA RESILIENZA**

Un elemento dell'ambiente vivente e non, è resiliente se aumenta la sua capacità di adattamento ai CC (cioè limitare, contrastare, ridurre -con interventi idonei di tipo tecnico, strutturale ed altro- gli effetti del cambiamento climatico che possono danneggiare l'elemento dell'ambiente). In più un elemento resiliente aiuta a preservare l'uomo e l'ambiente dagli effetti dei CC. La resilienza si manifesta in modo diverso a seconda del tipo di elemento o contesto che si considera. Ad esempio la resilienza per la materia vivente è la possibilità di «auto-ripararsi» dopo un danno; per un sistema ecologico [6] è la capacità di ritornare al suo stato iniziale dopo essere stato sottoposto ad una perturbazione; per la psicologia è l'attitudine a far fronte in maniera positiva agli eventi traumatici.

Per favorire l'adattamento ai CC occorre migliorare e promuovere la resilienza con procedure e tecnologie applicate a livello locale, nazionale e sovranazionale ricordando che le tecnologie di resilienza più sono condivise e più risultano efficaci. Sulla strategia di adattamento, gli Accordi di Cancun hanno creato un nuovo quadro di riferimento e un Comitato per l'Adattamento, destinati a fornire linee guida e know-how per attuare azioni di adattamento in maniera più coerente ed efficiente da parte di tutti i Paesi ed in particolare dei Paesi in via di sviluppo (OMS, Accordi di Cancun, 2010).

## **RESILIENZA LOCALE E AREE URBANE**

Oggi, la resilienza delle aree locali, ed in particolare delle aree urbane, è una delle principali preoccupazioni dell'ONU in relazione alla situazione ambientale globale. Da diversi anni siamo informati dai rapporti dell'IPCC sulla preoccupante situazione ambientale a livello globale: la crescita delle concentrazioni dei gas climalteranti in atmosfera, l'aumento della temperatura media e gli eventi meteorologici intensi ed estremi. Sebbene quasi tutti fossero stati convinti della gravità del problema a livello globale, molti pensavano che si sarebbe potuto avere un impatto evidente a livello locale solo in un futuro non meglio precisato. Oggi invece sappiamo che queste grandi dinamiche in atto a livello globale già hanno degli effetti a livello locale e che non agire subito concretamente e in maniera efficace sarebbe un grave errore. Stiamo quindi assistendo ad un mutamento di paradigma per quanto riguarda i CC, con un passaggio che si può definire dal generale al locale.

Infatti dopo la Conferenza ONU su Ambiente e Sviluppo tenutasi a Rio de Janeiro nel 1992, 200 governi di tutto il mondo, tra cui l'Italia, hanno adottato l'Agenda 21, un documento di intenti per la promozione di uno sviluppo sostenibile finalizzato a contrastare il degrado ambientale e migliorare la qualità della vita delle popolazioni. L'Agenda 21 si presenta con proposte molto dettagliate su aree economiche, sociali e soprattutto ambientali ed affronta tematiche specifiche sia a livello generale (o a lungo termine) sia a livello locale.

In particolare le linee tematiche di rilevanza generale hanno ottenuto molta diffusione, molti ne hanno parlato e discusso a livello sociale, economico, di indirizzo di politiche ambientali, ecc., ma poche azioni sono state recepite e concretamente realizzate a livello locale perdendo così anche l'occasione di favorire

una crescita sostenibile per contrastare gli effetti dei CC, contrariamente agli obiettivi dell'Agenda 21 che comprendono:

- Programmi di azioni concrete locali,
- Audit dell'ambiente urbano e degli indicatori ambientali specifici di un territorio,
- Monitoraggio e valutazione dei Piani Ambientali a livello locale.

Una conferma che agire a questo livello potrebbe essere incisivo e determinante, viene dalla constatazione che gli effetti dei CC non si manifestano nello stesso modo in tutto il pianeta, anzi dipendono dalle caratteristiche e fragilità dell'ambiente a livello locale, in particolare quello urbano [7]. In Italia, ad esempio, al sud e all'estremo nord gli effetti legati ai cambiamenti in atto sono evidenti ma ben diversi nelle loro manifestazioni: desertificazione di vaste aree nel meridione e ghiacciai che si assottigliano o spariscono nelle Alpi, sono comunque evidenze che qualcosa d'importante sta avvenendo. Da queste differenti manifestazioni che gli effetti globali dei CC hanno, si deve partire per contrastarli localmente con metodi appropriati. In particolare per quanto riguarda i rischi sanitari connessi ai CC, che possono variare molto da un luogo all'altro, occorre aumentare la capacità di adattamento, migliorando la resilienza climatica della salute, con particolare attenzione all'organizzazione delle strutture e dei servizi sanitari a livello locale.

I territori urbanizzati e, soprattutto, le grandi città non sono in grado di rispondere in maniera autonoma ai mutamenti esterni e pertanto neanche ai mutamenti dovuti ai CC. Infatti gli insediamenti urbani non sono dotati di resilienza "naturale" (vedi PNACC) perché hanno difficoltà a rispondere in maniera autonoma alle pressioni di qualsiasi tipo di mutamento esterno.

Nella lotta ai CC anche l'Unione Europea riconosce alle città un ruolo centrale: nel 2009 con il lancio del Patto dei Sindaci [8, 9], con l'adozione della Strategia di Adattamento nel 2013 e con il Patto dei Sindaci per l'Adattamento Climatico [10], nel 2014.

Le aree urbane sono al tempo stesso tra le maggiori responsabili delle emissioni di CO<sub>2</sub> derivanti dalle attività antropiche (mobilità, residenza, attività produttive, ecc.) ma anche le più vulnerabili agli impatti dei CC.

Sulla resilienza pianificata nelle città è stato scritto molto, tuttavia non abbastanza, se si tiene conto della complessità [11] che comporta. Intervenire a livello locale nelle aree urbane ed anche in tutte quelle zone dove l'intervento antropogenico è presente in modo significativo, è fondamentale per aumentare la resilienza in modo mirato ed efficace. Per la resilienza locale ancora alcuni punti non sono ben emersi ed altri solo parzialmente trattati, per cui in questo breve scritto si cercherà di aggiungere alcuni tasselli in merito alla resilienza locale in ambito urbano.

Quindi proprio per i ritardi che purtroppo si sono avuti, è attualissima la sfida di mettere a punto, applicare e diffondere nella città, in zone e/o quartieri più vulnerabili agli effetti dei CC, le seguenti azioni:

- misure e interventi di adattamento e di resilienza a livello locale;
- applicazioni tecnologiche di adattamento e resilienza locale, più sinteticamente "azioni di resilienza".

## **AZIONI DI RESILIENZA**

Le azioni di resilienza sono realizzate secondo un progetto complessivo della zona, dove applicazioni di varie tecnologie di adattamento sono integrate tra loro per ottimizzare ed aumentare la resilienza della zona [12].

Gli effetti urbani dei fenomeni climatici esogeni, quali sono gli eventi meteorologici estremi, come le anomalie delle precipitazioni intense e delle temperature elevate (allagamenti e onde di calore di maggior frequenza e durata), nella città si sommano a quelli già presenti dovuti all'isola di calore, causata da inquinamento atmosferico, ed al rischio idraulico. Tutto questo mette in risalto come l'inquinamento dell'aria si comporti da "moltiplicatore" degli effetti dei CC [13] nelle città. Questo è il motivo per cui spesso le azioni di resilienza per essere più efficaci debbono prevedere attività di contrasto all'inquinamento dell'aria.

Le azioni locali di resilienza se ben applicate sul territorio hanno la possibilità di alleviare il disagio climatico e da inquinamento dell'aria, favorendo "l'adattamento" ai CC con benefici sull'ambiente e sulla qualità della vita dei cittadini, in modo particolare sulla loro salute.

Come abbiamo visto, resilienza significa ridurre le criticità dovute sia agli effetti dei CC tra cui gli eventi meteorologici intensi o estremi, sia agli effetti dell'inquinamento dell'aria. A livello locale la resilienza è tanto più efficace quanto più riesce ad essere declinata in tutte le sue forme cioè per ogni elemento della zona urbana da preservare (la resilienza dei singoli elementi concorre alla resilienza di un sito).

Migliorata la resilienza di ogni elemento (per quelli sui quali si può intervenire) questa deve essere monitorata, mantenuta e messa in relazione con la resilienza degli altri elementi dello scenario locale.

La resilienza di un sito e dei suoi elementi deve essere soggetta a:

- manutenzione e monitoraggio nelle parti tecnico funzionali;
- verifica dell'effettiva capacità di limitare e contrastare gli effetti dei CC.

L'attenzione alla manutenzione ed al monitoraggio è finalizzata a verificare che la resilienza della zona resti efficace nel tempo e in caso contrario, a permettere interventi tempestivi per ripristinarla.

Un punto di forza tipico delle azioni di resilienza a livello locale è la loro progettazione ed organizzazione "tailor made" in funzione sia del sito e degli elementi che lo compongono, sia delle caratteristiche ambientali e antropogeniche che lo caratterizzano.

E' proprio la dimensione di governo locale -*parte attiva nelle azioni di resilienza*- che è in grado di indirizzare/supportare scelte progettuali ed organizzative migliori, in funzione delle caratteristiche ed esigenze del sito. Infatti le amministrazioni locali sono in grado di acquisire una grande quantità di informazioni e conoscenza di una determinata area del territorio nei suoi aspetti ambientali, sociali ed economici in termini di criticità, rischi e opportunità.

Quindi queste azioni a livello locale sono particolarmente efficaci perché ritagliate sulle reali caratteristiche e vulnerabilità specifiche del sito, in particolare relative agli effetti dei CC sull'ambiente e sull'uomo anche in termini sanitari.

Un altro aspetto fondante delle azioni di resilienza a livello locale, che, se ben promosso, ne aiuta la buona riuscita in termini di efficacia, è la partecipazione attiva della cittadinanza, in tutte le sue forme di aggregazione, dal singolo cittadino alle rappresentanze economiche e produttive, fino al mondo della scuola. Il loro apporto di conoscenza e fruizione diretta del territorio e le loro richieste, sono elementi preziosi perché riescono a far emergere l'importanza di scegliere ed attivare soluzioni appropriate ai contesti locali in termine di inclusione sociale, capacità di attivare risorse sociali interne e capacità di auto-organizzazione. La partecipazione e condivisione al progetto permette ai cittadini di essere utilizzatori consapevoli della resilienza della zona ed anche sostenitori, promotori e custodi di una risorsa realizzata anche con il loro apporto. E' difficile trovare modi migliori per sensibilizzare l'opinione pubblica ai problemi degli effetti dei CC.

L'inclusione e il coinvolgimento della cittadinanza anche in attività di valutazione sono strumenti necessari nei progetti di resilienza al pari dei dispositivi tecnologici di adattamento perché determinano la buona riuscita delle azioni di resilienza per le zone urbane da preservare. Far nascere nel cittadino, utente dello spazio urbano, senso di appartenenza al luogo e apprezzamento in generale per le condizioni di comfort e di efficienza ai rischi dei CC, è un risultato apprezzabile.

Oggi il panorama dei dispositivi tecnologici di adattamento per aumentare la resilienza a livello locale è ampio e diversificato, con soluzioni sempre più innovative. Per realizzare azioni di resilienza più efficaci a contrastare/limitare gli effetti dei CC di un'area urbana ed ottenere il migliore risultato è fondamentale predisporre un progetto con l'obiettivo di realizzare le migliori azioni di resilienza per quell'area, onde salvaguardare l'ambiente e conservare la qualità della vita, in particolare, salute e benessere dei cittadini.

Il progetto nella sua parte iniziale ha necessità di realizzare uno attento studio ambientale preliminare dell'area con tutti gli aspetti territoriali a scala locale e se necessario anche regionale. Speciale attenzione dovrebbe essere data allo scenario meteorologico e idrogeologico-idraulico, alle fonti di inquinamento, alla componente antropogenica, alla biodiversità per definire la vulnerabilità dei sistemi umani e naturali dell'area e tutto quanto concorre ad intensificare gli effetti dei CC.

In particolare nelle aree urbane, densamente popolate, va considerato che variazioni del clima incidono anche sulla salute delle popolazioni. Un'esposizione prolungata a temperature dell'aria elevate o ad ondate di calore possono influire negativamente sulla salute dell'uomo con disturbi lievi, come crampi, svenimenti, edemi. Inoltre possono aggravare le patologie preesistenti o croniche come malattie cardio-vascolari e

cerebrovascolari, malattie polmonari, disturbi psichici, diabete, ecc. Anche le malattie infettive sono influenzate dalle variazioni climatiche perché favoriscono la migrazione di vettori patogeni provenienti da latitudini diverse.

Ma anche gli intensi eventi piovosi e le conseguenti inondazioni possono avere effetti sanitari di ampia portata: nell'immediato decessi per annegamento, traumatismi, ipotermia, incidenti stradali, shock elettrico, mentre a medio e lungo termine comprendono anche malattie infettive trasmesse per via idrica, problemi di salute mentale e da stress, malattie respiratorie ed allergie.

Il vento può diventare pericoloso e distruttivo ed in alcuni casi paragonabile come violenza ad un uragano, con raffiche in grado di abbattere alberi, scoperchiare edifici, abbattere strutture, e scagliare oggetti contundenti, trascinare con sé sabbia o polveri, con evidenti ricadute sull'incolumità fisica degli abitanti. Inoltre la siccità che danneggia le zone coltivate diminuendo la produzione agricola, può facilitare incendi spontanei nelle aree verdi anche interne alle città con pericolo per le zone abitate, in questi casi la potenza del vento può alimentare le fiamme e portare il fumo a distanza con conseguenti intossicazioni e problemi respiratori.

Solo dopo aver valutato le componenti che contribuiscono agli effetti dei CC dell'area e le vulnerabilità connesse, si possono scegliere gli interventi da realizzare, i dispositivi o le procedure di adattamento oltre il modo e/o il luogo migliore dove installarli.

Può succedere che un dispositivo di comprovata efficacia pur rispondendo alle necessità di adattamento dell'area, non dia i risultati attesi perché sbagliata la scelta del suo posizionamento sul territorio e/o la modalità d'uso. Il luogo scelto per il posizionamento deve avere tutte le caratteristiche necessarie al dispositivo per operare in modo efficace. La scelta del dispositivo da installare e del luogo dove collocarlo sono i punti determinanti per la buona riuscita di un intervento di resilienza. I modelli numerici meteorologici di tipo georeferenziato e di trasporto degli inquinanti in aria insieme ai modelli idrogeologici ed idraulici sono ottimi strumenti di supporto che riescono -con adeguate simulazioni- ad individuare alcune criticità e vulnerabilità dell'area, per indirizzare la scelta del dispositivo e del luogo migliore dove installarlo.

## ESEMPI DI AZIONI DI RESILIENZA

Vengono qui riportati alcuni esempi di azioni di resilienza sul territorio urbano. Nei primi due casi gli strumenti operativi di adattamento utilizzano materiali e tecniche naturali quali vegetazione ed acqua che in modo efficace, performante e con costi contenuti, possono agire per rendere l'ambiente urbano più resiliente. In questi primi due esempi il concetto di verde ornamentale è da considerarsi superato da quello di verde funzionale (o piuttosto multi-funzionale).

- Il parco urbano è una grande estensione verde all'interno del territorio urbano dove è possibile trovare un ambiente naturale senza uscire dai confini della città. Svolge un'azione di riduzione della CO<sub>2</sub> che può essere sequestrata dagli alberi, suoli erbosi e da tutte le diverse forme in cui il verde può essere declinato; al tempo stesso riduce l'impatto delle onde di calore, contribuendo al benessere termico delle persone che possono in esso trovarvi refrigerio. Le città sono sempre più grandi e popolate, ed i parchi urbani aiutano a combattere l'inquinamento e favoriscono il benessere anche psicologico dei cittadini. Tanti sono gli esempi in diverse città del mondo, tra questi il parco della Via Appia Antica a Roma, il più grande parco urbano d'Italia, o il parco Stanley a Vancouver in Canada.
- Le barriere protettive vegetali sono filtri biologici che già da diversi anni sono studiati ed utilizzati per ridurre i gas clima-alteranti e l'inquinamento atmosferico. L'Istituto di Biometeorologia (IBIMET) del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), ha compiuto approfonditi studi sulla mitigazione del clima urbano attraverso l'utilizzo di specie arbustive e alberature in città [14]. Secondo questi studi le piante migliori per assorbire CO<sub>2</sub> sono: il tiglio selvatico (*Tilia cordata*), il biancospino (*Crataegus monogyna*) e il frassino (*Fraxinus ornus*); mentre è il bagolaro (*Celtis australis*) ad avere le migliori prestazioni contro le polveri sottili. L'eliminazione delle sostanze inquinanti atmosferiche avviene a seguito di assorbimento e successiva metabolizzazione.

Gli esempi successivi utilizzano invece elementi naturali e non naturali, insieme a tecnologie e strumenti innovativi.

- Il bosco verticale ha l'obiettivo, tramite l'alta concentrazione di piante, di ridurre la CO<sub>2</sub> nell'aria, controllare il microclima e ridurre l'effetto dell'isola di calore e dell'inquinamento urbano [15].
- Il verde urbano distribuito, ben concepito e adeguatamente connesso con il tessuto urbano, in grado di collegare con continuità il centro della città con diverse zone urbane ed extra-urbane con spazi verdi, parchi, giardini, filari alberati, soddisfa contemporaneamente e bene più obiettivi. Infatti riduce i gas serra, intrappola le polveri sottili, produce mitigazione al microclima con ombra ed evapotraspirazione, aumenta il benessere delle persone negli spazi aperti, riduce i consumi energetici per il raffrescamento degli edifici circostanti, migliora la gestione del ciclo dell'acqua riducendo il runoff, costituisce il supporto della mobilità ciclo-pedonale, conferisce attrattività e vivibilità di strade, piazze, parchi incentivando l'aggregazione sociale (Atlanta: progetto Proctor Creek Greenway).
- Le acque meteoriche rappresentano una fonte rinnovabile, locale e richiedono trattamenti semplici ed economici per essere utilizzate in applicazioni che richiedono in generale acque di minor pregio. Gli impieghi che si prestano al riuso delle acque meteoriche per usi esterni che contribuiscono a contrastare alcuni effetti dei CC, sono: cascate, vasche, fontane d'acqua, nebulizzazione d'acqua, acqua lungo i percorsi, lame d'acqua. Alcuni esempi di riutilizzo di acque meteoriche sono: lavaggio di aree pavimentate (strade, piazzali, parcheggi), l'irrigazione di aree a verde (prati, giardini) e alimentazione di vasche antincendio.
- La gestione sostenibile delle acque pluviali è orientata a restituire spazi permeabili, desealing-depaving di porzioni di terreni, Rain Garden, fossati e bacini inondabili, Rain Square.

Le azioni di resilienza, utilizzando elementi naturali e non, associati con tecnologie e strumenti innovativi, sono in grado di contenere l'inquinamento atmosferico locale e le emissioni di gas clima alteranti, e contribuiscono a controllare il microclima [8]. Queste azioni qui di seguito riportate sono realizzate e operative secondo criteri di sostenibilità ambientale in grandi città.

- Il padiglione italiano all'Expo-Milano mostra l'uso del cemento biodinamico, il cui principio attivo presente nel materiale, a contatto con la luce del sole, consente di "catturare" alcuni inquinanti presenti nell'aria, trasformandoli in sali inerti, contribuendo così a liberare l'atmosfera da smog e particolato influenzando anche sul microclima [16].
- Fog-cannon (*Figura 1*) e Fog-lamp sono alcuni esempi di strumenti tecnologici per contenere l'inquinamento da particolato e mantenere il microclima controllato per ridurre l'effetto dell'isola di calore e delle ondate di calore potenziando la resilienza della zona.



**Figura 1** Applicazione di un Fog-cannon presso l'Ambasciata Italiana a Pechino (Sanlitun)

Quest'ultima tecnologia è stata impiegata in sinergia con le reti catalitiche per il contenimento -in spazi aperti- di polveri e particelle sottili con effetti positivi anche sul microclima. Tutte queste azioni e molte altre sono suscettibili di controbilanciare gli effetti più traumatici dei CC, con vantaggio evidente non solo

della salute fisica ma anche dell'equilibrio psicologico e della salute mentale delle persone potenzialmente coinvolte.

### **ANN PER AZIONI DI RESILIENZA**

Le reti neurali artificiali (ANN) sono la migliore soluzione per la gestione delle azioni di resilienza. Le azioni di resilienza interagiscono con la complessità dei sistemi ambientali e antropogenici dell'area urbana in cui vengono applicate e la loro efficacia migliora quando il feedback generato viene interpretato e utilizzato in modo efficace. Date le caratteristiche di dinamismo, non linearità e complessità della resilienza nell'ambiente urbano, le ANN sono la migliore risorsa disponibile oggi per ottimizzare la gestione delle azioni di resilienza nel territorio [17, 18]. Le ANN sono progettate e costruite per la selezione, la gestione, la manutenzione e il miglior uso delle azioni di resilienza, con l'obiettivo di limitare gli effetti dannosi di CC, gli eventi meteorologici intensi o estremi e l'inquinamento atmosferico [19].

Le ANN sono il risultato di un'ampia cooperazione interdisciplinare tra esperti informatici, climatologi, meteorologi, fisici dell'atmosfera, operatori sanitari, matematici, geologi, ingegneri ambientali ed altri. Le ANN devono essere in grado di mettere in relazione dinamica i dati climatici locali e le previsioni meteorologiche con le mappe analitiche del territorio urbano. Le ANN rilevano, nell'area da preservare, quegli elementi che sono vulnerabili a qualsiasi evento meteorologico critico o agli effetti del cambiamento climatico, che possono influenzare la salute umana o l'ambiente urbano, e suggeriscono una serie di interventi appropriati da attuare con specifiche azioni di resilienza. Le ANN possono identificare in anticipo gli elementi più vulnerabili (grazie anche alle previsioni meteorologiche locali) e possono quindi supportare non solo interventi per il territorio ma anche per la salute, attivando in anticipo i sistemi sanitari e fornendo le azioni preventive agli operatori locali.

Gli effetti positivi e l'efficacia delle azioni di resilienza attuate nelle aree urbane da preservare, saranno a loro volta monitorati e valutati dalle ANN, al fine di selezionare quelle azioni risultate più efficaci sul territorio sia per l'ambiente che per la salute umana, ottimizzando così le risposte future delle stesse ANN. Grazie alla "funzione di addestramento", tipica delle ANN, queste più lavorano e più le loro prestazioni migliorano [20] così da proporre azioni preventive più efficaci da attuare usando la memoria delle scelte e dei risultati precedentemente raggiunti dalle azioni di resilienza già applicate.

### **CASE STUDY**

Un caso di azione di resilienza sanitaria è stato realizzato nella città di Phoenix (Arizona, USA). Questo nuovo approccio che utilizza le ANN è in grado di migliorare in modo significativo la resilienza di una città, gestendo le emergenze climatiche e sanitarie in modo preventivo e dinamico. Da un'attività di ricerca scientifica tra l'Arizona State University (ASU), l'Università di Notre Dame (Indiana, USA) e gli autori, nell'ambito di una collaborazione ASU-Enea (2009), sono state sviluppate e testate particolari ANN con le seguenti caratteristiche costituite da: una rete MLP (MultiLayer Perceptrons) a tre strati, un sistema interconnesso di nodi (neuroni) all'interno di uno strato nascosto, una funzione di trasferimento esponenziale, un metodo di addestramento di gradienti coniugati e una funzione di ottimizzazione non lineare sia a livello globale che locale. A queste ANN, in grado di aumentare la resilienza delle strutture sanitarie della città di Phoenix, è stato attribuito il nome di EnviNNet (o ENVINNET) [21]. ENVINNET si basa su una panoramica del territorio urbano e dei suoi punti deboli in funzione della resilienza sanitaria per aumentarla, se necessario, come accade durante le tempeste di polvere dal deserto. Un ulteriore vantaggio di ENVINNET è che non richiede un costoso inventario delle emissioni o il suo aggiornamento regolare, anche se le relazioni input-output sono derivate utilizzando grandi volumi di dati storici. Per la potenza computazionale e l'architettura del modello, ENVINNET risulta affidabile e sostenibile per future azioni di resilienza sanitaria e di allerta per la salute umana. Per l'area di Phoenix, ENVINNET è in grado di fare previsioni spazio-temporali che in caso di allerte sanitarie, queste vengono emanate in modo automatico alla popolazione. La sua capacità di rispondere efficacemente dipende dalla capacità di autocorrezione nel tempo. Lo scopo di ENVINNET è quello di alleviare, supportare e salvare la popolazione durante le emergenze sanitarie dovute a picchi di inquinamento atmosferico generati dall'arrivo nella città di tempeste di polvere (evento meteorologico estremo). La popolazione in tali condizioni è



soggetta a forte stress, con crisi respiratorie anche di tipo asmatico [22], specialmente nei bambini e le malattie preesistenti e croniche subiscono un aggravamento. Da ciò deriva la necessità di essere in grado di allertare le strutture sanitarie con 24-48-72 ore di anticipo [23] e prepararle per l'inizio dell'emergenza, aumentandone la resilienza, grazie all'assistenza di ENVINNET specializzata alla città di Phoenix. Per le sue caratteristiche, ENVINNET costituisce un vero salto di qualità nel progettare e aumentare la resilienza di una città, permettendo di gestire in modo integrato, mirato e senza investimenti eccessivi, le emergenze climatiche e sanitarie venutesi a creare. Con lo stato attuale delle conoscenze, questo nuovo approccio è quindi la soluzione più avanzata e completa, disponibile per progettare e gestire azioni di resilienza a livello di città.

#### **Dichiarazione di conflitto di interessi:**

Niente da dichiarare. Questa ricerca non ha ricevuto alcun finanziamento da agenzie del settore pubblico, commerciale o no-profit.

*Ricevuto* il 13 Luglio 2019.

*Accettato* l'8 Agosto 2019.

## **BIBLIOGRAFIA**

1. European Environment Agency. Urban adaptation to climate change in Europe – Challenges and opportunities for cities together with supportive national and European policies. EEA Report. Copenhagen, Denmark. No. 2, 2012.
2. Holling CS. Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 1973;4: 1-23.
3. Papa Francesco. Enciclica LAUDATO SI'. Stampa Vaticana. 2015.
4. European Agenda on Migration, Brussels. 13.5.2015 – COM(2015) 240 final. Available from: [https://ec.europa.eu/anti-trafficking/sites/antitrafficking/files/communication\\_on\\_the\\_european\\_agenda\\_on\\_migration\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/anti-trafficking/sites/antitrafficking/files/communication_on_the_european_agenda_on_migration_en.pdf)
5. Odum E. P. (1953): *Fundamentals of Ecology*. Review by: Richard S. Miller, *Oikos*, Vol. 5, Fasc. 1 (1954).
6. Mammarella MC, Costigliola V, Grandoni G. Climate Change Impacts on Health: Urban Poor and Air Pollution in European Context. *Climate Health Risks in Megacities*. Marolla C. Taylor & Francis Group. 2016. 149-158.
7. Campanella L, Mammarella MC, Grandoni G. Architettura urbana delle aree verdi e strumenti passivi di riduzione dell'inquinamento atmosferico e controllo del Microclima. *La Chimica e L'Industria*. Anno XCVIII n° 5. 52-56. 2016.
8. Covenant of Mayors for Climate & Energy. Adaptation resources. Available from: <https://www.eumayors.eu/support/adaptation-resources.html>
9. Climate-ADAPT. EU Adaptation Strategy. Available from: <https://climate-adapt.eea.europa.eu/eu-adaptation-policy/covenant-of-mayors>
10. Acierno A. La visione sistemica complessa e il milieu locale per affrontare le sfide della resilienza. Università degli Studi Federico II di Napoli. *TRIA: Territorio della Ricerca su Insediamenti e Ambiente*. 15 (2015). 2015-12-30.
11. Saporiti G, Scudo G, Echave C. Strumenti di valutazione della resilienza urbana. Published by Laboratorio Territorio Mobilità e Ambiente - TeMALab Dipartimento di Pianificazione e Scienza del Territorio Università degli Studi di Napoli Federico II. *TeMA Journal of Land Use Mobility and Environment* 2.2012.
12. Mammarella MC, Grandoni G, Fedele P, Fernando HJS, Di Sabatino S, Leo LS, Cacciani M, Casasanta G, Dallman A. New Atmospheric Pollution Indicators and Tools to Support Policy for Environmental Sustainable Development. *NATO-SPS*. Springer. 191- 197. 2012. *Proceedings*,

13. Baraldi R, Facini O, Neri L, Carriero G. Relazione Parco Storico Bosco Albergati. IBIMET-CNR 25-07-2018 – Available from: <https://www.boscoalbergati.it/wp-content/uploads/2018/10/IBIMET-CNR-Relazione-BOSCO-ALBERGATI-25-07-18.pdf>
14. Lorenzini G, Nali C. Le piante e l'inquinamento dell'aria. Università di Pisa. Springer. 2005. ISBN 978-88-470-0384-2-
15. Italcementi. Risultati per cemento biodinamico. Available from: <https://www.italcementi.it/it/search?keywords=cemento+biodinamico>
16. Mammarella MC, Grandoni G, Fedele P, Sanarico M, Di Marco R. neural networks for predicting and monitoring urban air pollution: the ATMOSFERA automatic system. XXIII Giornata dell'Ambiente – Qualità dell'aria nelle città italiane. Accademia Nazionale dei Lincei. Bardi editore. 2005.
17. Bishop CM. Neural networks and their applications. Neural Computing Research Group, Department of Computer Science and Applied Mathematics. Aston University. Birmingham. B4 7EI; United Kingdom. 1994.
18. Mammarella MC, Grandoni G, Fedele P, Di Marco RA, Fernando HJS, Dimitrova R, Hyde P. Envinnet: a Neural Network for hindcasting PM10 in urban Phoenix. AMS, Proceedings J20.5. 2009.
19. EC. Communication from the Commission to the European Parliament, the council, the European Economic and Social Committee and the committee of the regions an EU Strategy on adaptation to climate change. 2016. [Document 52013DC0216] Available from: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52013DC0216>
20. Fernando HJS, Dimitrova R, Runger G, Lurpongkukana N, Hyde P, Hedquist B, Anderson J. Children's Health Project: Linking Asthma to PM10 in Central Phoenix. Report to the Arizona Department of Environmental Quality. 2009.
21. Fernando HJS, Mammarella MC, G. Grandoni, P. Fedele, R. Di Marco, R. Dimitrova, P. Hyde. Forecasting PM10 in metropolitan areas: Efficacy of neural networks. Environmental Pollution. Elsevier. 163: 62-67. 2012.
22. LeRoy Poff N, Tokar S, Johnson P. Stream hydrological and ecological responses to climate change assessed with an artificial neural network. American Society of Limnology and Oceanography, Inc. 41(5), 857-863.1996.
23. Fayaed S, El-Shafie A, Jaafar O. Integrated Artificial Neural Network (ANN) and Stochastic Dynamic Programming (SDP) Model for Optimal Release Policy. Springer. Volume 27,3679–3696.