



LIFE
MODERN
NEC

Qualità dell'aria, la risposta degli ecosistemi

LAYMAN'S REPORT

RISULTATI DEL PROGETTO



LIFE MODERN NEC

Qualità dell'aria, la risposta degli ecosistemi

www.lifemodernec.eu

info@lifemodernec.eu

[LegambienteOnlus](#)

[LifeModernNec](#)

[@LifeModernNec](#)



LIFE20 GIE/IT/000091
Realizzato con il contributo dello
strumento finanziario LIFE dell'EU

BENEFICIARIO COORDINATORE



BENEFICIARI ASSOCIATI



Il progetto è realizzato con il contributo della Commissione Europea nell'ambito del programma LIFE

La Direttiva NEC e le sfide dell'inquinamento atmosferico

L'inquinamento atmosferico rappresenta una delle principali minacce per la salute umana e la conservazione degli ecosistemi in Europa. La Direttiva NEC (National Emission Ceilings) 2016/2284/EU costituisce la risposta dell'Unione Europea a questa sfida, stabilendo massimali nazionali di emissione per determinati inquinanti atmosferici con l'obiettivo ambizioso di ridurre significativamente gli impatti negativi sulla salute umana e sull'ambiente.

La direttiva non si limita a fissare limiti di emissione, ma richiede espressamente agli Stati membri di monitorare gli effetti dell'inquinamento atmosferico sugli ecosistemi, creando un sistema di sorveglianza che permetta di valutare l'efficacia delle misure di riduzione delle emissioni implementate. Questo approccio integrato riconosce che la protezione ambientale richiede non solo la riduzione delle emissioni alla fonte, ma anche la comprensione profonda di come gli inquinanti influenzino gli ecosistemi naturali.

Gli obiettivi del progetto LIFE MODERn (NEC)

Il progetto LIFE MODERn (NEC) è nato dalla consapevolezza che l'Italia necessitava di un sistema di monitoraggio più strutturato e rappresentativo per rispondere efficacemente agli obblighi della Direttiva NEC. L'iniziativa si è focalizzata sull'impatto dell'inquinamento atmosferico sugli ecosistemi forestali e di acque dolci, con particolare attenzione alle aree sensibili del paese. Dal punto di vista scientifico, il progetto si proponeva di migliorare significativamente il sistema di monitoraggio esistente, ampliando la rete di siti di rilevamento e sviluppando nuovi indicatori più sensibili e rappresentativi. Dal punto di vista normativo, l'obiettivo era supportare le autorità nazionali nell'implementazione della direttiva NEC e contribuire concretamente al raggiungimento degli obiettivi di riduzione delle emissioni inquinanti.

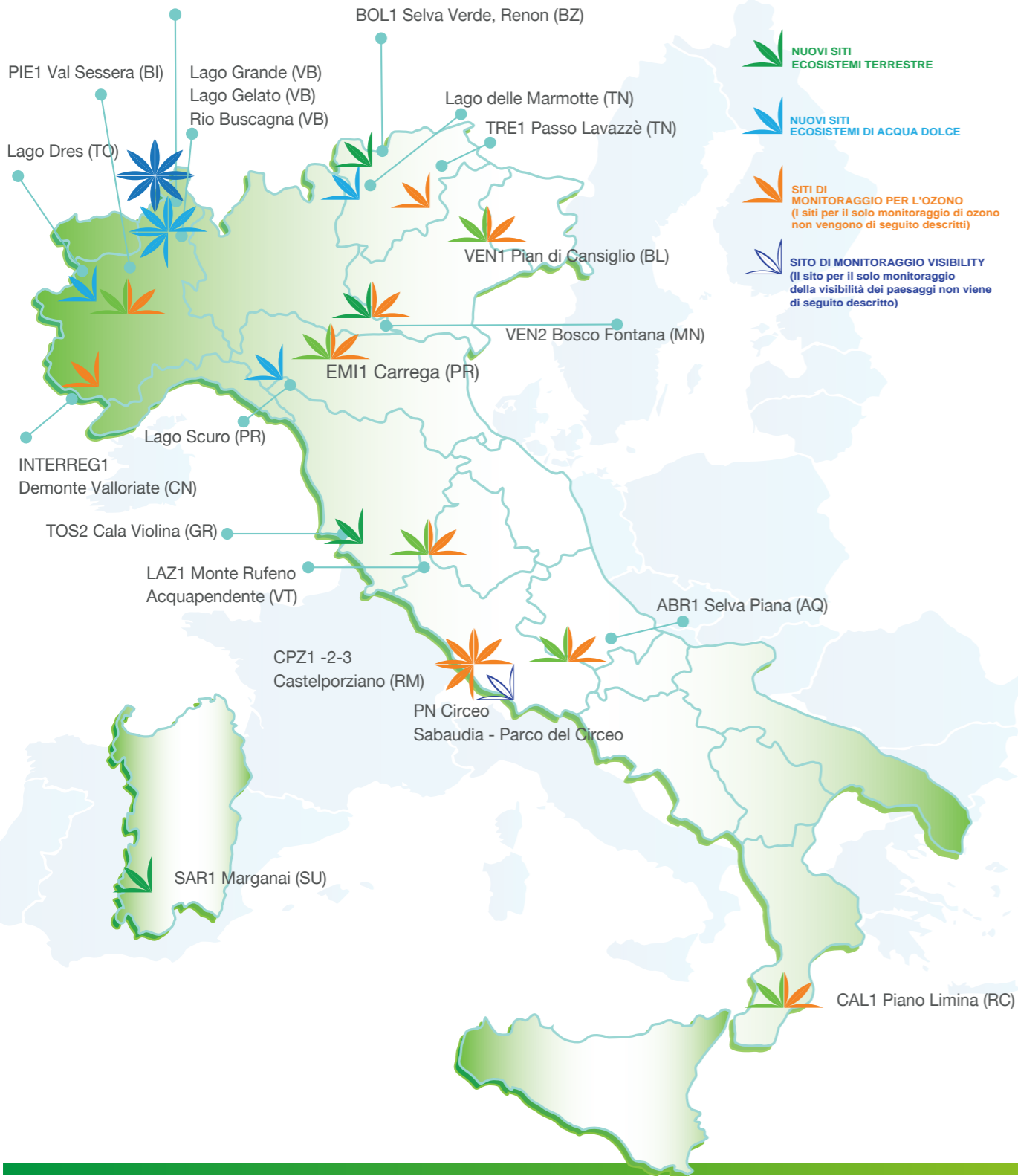
Fondamentale è stato promuovere la consapevolezza pubblica sull'importanza della qualità dell'aria per la salute degli ecosistemi e dell'uomo, riconoscendo che la protezione ambientale richiede non solo interventi tecnici e normativi, ma anche una popolazione informata e sensibilizzata.



◀ Scarica qui il documento completo



IT01 Lago Paione Inferiore (VB)
IT02 Lago di Mergozzo (VB)
IT03 Lago Paione Superiore (VB)
IT04 Torrente Cannobino (VB)



Ampliamento Strategico della Rete di Monitoraggio

L'ampliamento della rete NEC Italia rappresenta uno dei risultati più significativi del progetto. **La rete di monitoraggio è stata raddoppiata** con successo, portando il numero totale di siti a 20, equamente distribuiti tra ecosistemi forestali (10 siti) e sistemi di acque dolci (10 siti). Questa espansione non è stata meramente quantitativa, ma ha seguito criteri scientifici rigorosi per incrementare la rappresentatività della biodiversità italiana.

L'inclusione di nuove tipologie di foreste e sistemi acquatici ha permesso di estendere il monitoraggio agli **ecosistemi appenninici, mediterranei** e delle **Alpi Orientali**, precedentemente sottorappresentati. Questa scelta strategica ha consentito di **ottenere un quadro più completo e rappresentativo degli effetti dell'inquinamento atmosferico su scala nazionale**, considerando la diversità climatica, geologica e biologica che caratterizza il territorio italiano.

Sviluppo di Indicatori Innovativi

Un aspetto innovativo del progetto è stato lo sviluppo di **18 nuovi indicatori** per valutare più efficacemente gli effetti dell'inquinamento atmosferico e il suo impatto sulla biodiversità tramite l'osservazione di diversi aspetti della risposta ecosistemica all'inquinamento, dalle caratteristiche morfologiche delle foglie al contenuto di clorofilla, dalla diversità tassonomica e funzionale delle piante vascolari agli indicatori specifici per i licheni epifiti.

Particolare attenzione è stata dedicata agli **indicatori biologici** (le diatomee epilitiche e i macroinvertebrati bentonici) della qualità delle acque, riconoscendo che **gli ecosistemi acquatici rappresentano spesso i recettori finali degli inquinanti atmosferici**. La selezione di questi indicatori è stata basata su criteri di sensibilità, rappresentatività e facilità di rilevamento, assicurando che il sistema di monitoraggio potesse essere mantenuto nel tempo con risorse sostenibili.



ECOSISTEMA	MATRICE AMBIENTALE	INDICATORI
ECOSISTEMA FOTESTALE	PIANTE VASCOLARI	<p>Caratteristiche delle foglie: superficie e biomassa secca</p> <p>Contenuto relativo di clorofilla nelle foglie, fluorescenza della clorofilla</p> <p>Diversità tassonomica e funzionale</p> <p>Numero combinazioni specie vegetali</p> <p>Fenologia da Remote Sensing (RS) a livello di plot/ROI (Region Of Interest)</p>
	LICHENI EPIFITI	<p>Numero e abbondanza di gruppi funzionali: i) forma di crescita; ii) specie sensibili ai composti azotati</p> <p>Vitalità e stato di conservazione della specie indicatrice <i>Lobaria pulmonaria</i></p> <p>Licheni fruticosi caduti al suolo</p>
	FAUNA	<p>Diversità tassonomica e funzionale dei chiroteri</p> <p>Complessità del paesaggio sonoro dell'avifauna</p> <p>Qualità biologica del suolo QBS - artropodi</p>
	ARIA	Indice Visibilità: umidità relativa, sale marino, materia organica, carbonio elementare, terreno fine
	SUOLO	Flussi di inquinanti in uscita dal suolo
ECOSISTEMA ACQUATICO	FAUNA	Numero e abbondanza (relativa e complessiva) dei taxa di macroinvertebrati
	FLORA	Numero e abbondanza (relativa e complessiva) dei taxa di diatomee

Monitoraggio della Visibilità: un Approccio Innovativo

L'implementazione del monitoraggio della "Visibility" rappresenta un approccio particolarmente innovativo per valutare l'impatto dell'inquinamento atmosferico sulla visuale ottica del paesaggio. Questa metodologia, sviluppata originariamente per i parchi naturali degli Stati Uniti, è stata adattata alle specificità del territorio italiano.

Il monitoraggio della visibilità non ha solo valore scientifico, ma anche un importante impatto comunicativo, poiché rende tangibile al pubblico **l'effetto dell'inquinamento atmosferico attraverso la riduzione della qualità visiva del paesaggio**. Questo aspetto è fondamentale per la sensibilizzazione pubblica e per la comprensione dell'importanza delle politiche di riduzione delle emissioni.

Armonizzazione dei Protocolli e Networking

Il progetto ha dedicato significative risorse all'**armonizzazione dei protocolli di monitoraggio esistenti**, con particolare attenzione agli effetti dell'ozono sulla vegetazione forestale, alla diversità delle piante e ai licheni epifiti. Questo lavoro di standardizzazione è essenziale per garantire la comparabilità dei dati nel tempo e nello spazio.

Le attività di networking con altri progetti LIFE e con reti internazionali come ICP Forests, ICP Waters e IUFRO hanno favorito lo **scambio di esperienze e metodologie, promuovendo la replicabilità dell'approccio sviluppato in altri paesi europei**. Questo aspetto internazionale del progetto è cruciale per affrontare problemi ambientali che non conoscono confini nazionali, come quello dell'inquinamento atmosferico.





2. AREE DI STUDIO: CARATTERISTICHE E DISTRIBUZIONE

Ecosistemi Forestali: Diversità e Rappresentatività

La selezione dei siti forestali ha seguito criteri scientifici rigorosi per garantire la rappresentatività dei principali tipi di foreste italiane. **I siti esistenti includevano già ecosistemi significativi** come Selva Piana in Abruzzo (ABR1), Piano Limina in Calabria (CAL1), e il bosco di Carrega in Emilia-Romagna (EMI1), rappresentando diverse tipologie di bosco e condizioni climatiche.

L'ampliamento della rete ha permesso di includere nuovi ecosistemi strategici come Cala Violina in Toscana (TOS2), che rappresenta gli ecosistemi costieri mediterranei, e Selva Verde al Passo del Renon in Alto Adige (BOL1), che estende il **monitoraggio degli ecosistemi alpini**. Particolarmente significativa è l'inclusione del Bosco Fontana in Veneto (VEN2), uno dei pochi esempi di foresta planiziale della Pianura Padana, e del sito di Marganai in Sardegna (SAR1), che rappresenta gli **ecosistemi insulari**.

Questa diversificazione geografica e tipologica permette di valutare come diverse tipologie forestali rispondano all'inquinamento atmosferico, considerando fattori come l'altitudine, la vicinanza a fonti di inquinamento, e le specificità delle specie vegetali dominanti.

Ecosistemi di Acque Dolci: Sentinelle Ambientali

Gli ecosistemi di acque dolci rappresentano indicatori particolarmente sensibili dell'inquinamento atmosferico, poiché fungono da recettori finali per molti inquinanti che raggiungono il suolo attraverso le deposizioni atmosferiche. **La rete di monitoraggio include siti distribuiti principalmente nelle regioni alpine e prealpine.**

I laghi di alta quota, come il Lago Paione Inferiore e Superiore in Piemonte, rappresentano ecosistemi particolarmente vulnerabili alle deposizioni acide. **L'inclusione di torrenti** come il Cannobino e il Rio Buscagna permette di valutare anche gli ecosistemi lotici (ecosistemi di acqua corrente, come fiumi, torrenti, ruscelli e rapide, caratterizzati da un flusso d'acqua continuo) **integrando le informazioni ottenute dagli ambienti lacustri.**

La selezione di questi siti ha considerato criteri relativi alla **distanza dalle fonti dirette di inquinamento**, sensibilità chimica delle acque e presenza di comunità biologiche rappresentative. Questi ecosistemi fungono da vere e proprie **"sentinelle ambientali"**, capaci di mostrare e segnalare gli effetti dell'inquinamento atmosferico.

3. RISULTATI DEL MONITORAGGIO CHIMICO-FISICO



Deposizioni Atmosferiche

L'analisi delle deposizioni atmosferiche ha rivelato tendenze significative nell'evoluzione dell'inquinamento. **Le deposizioni di zolfo**, che erano elevate nella seconda metà del secolo scorso, **si sono ridotte notevolmente**, permettendo un ritorno del pH delle precipitazioni a valori più vicini a quelli naturali. Questo miglioramento riflette l'efficacia delle politiche ambientali europee per la riduzione delle emissioni di composti solforati.

La situazione dell'azoto è più complessa: mentre si è osservata una riduzione del nitrato, derivante dagli ossidi di azoto emessi dalle combustioni industriali e dal traffico, **i livelli di ammonio sono rimasti relativamente costanti nel tempo**. Questo composto, principalmente di **origine agricola e zootecnica**, rappresenta una **sfida particolare per le aree della Pianura Padana**.

La distribuzione geografica delle deposizioni azotate mostra **valori elevati nella Pianura Padana e sui rilievi limitrofi**, dove spesso si superano i livelli critici per la salute degli ecosistemi forestali, ovvero quelle soglie oltre le quali è più probabile un impatto. Nel resto del paese, i valori sono generalmente inferiori, anche se rimangono significativi in alcune aree.

Soluzioni del Suolo e Flussi Idrici

Il monitoraggio delle soluzioni del suolo ha permesso di osservare il movimento degli inquinanti nel sistema suolo-pianta e le potenziali perdite verso le acque sotterranee. L'ammonio emerge come l'inquinante più problematico, essendo l'unico effettivamente capace di provocare acidificazione del suolo nei siti monitorati.

La stima dei flussi di acqua attraverso il suolo si è dimostrata tecnicamente possibile ma richiede valutazioni accurate delle condizioni specifiche di ogni sito, considerando fattori come **la tessitura del suolo, la pendenza, la copertura vegetale e le condizioni climatiche locali**.





Condizioni Meteorologiche

Il **monitoraggio meteorologico**, attivo dal 1997, ha **evidenziato un trend di aumento della temperatura media di circa 0,09°C all'anno**, coerente con i cambiamenti climatici globali. Per quanto riguarda le precipitazioni, si osserva una **forte variabilità spaziale**, con alcune aree che registrano cali fino al 5% e un leggero incremento nella frequenza di eventi meteorologici estremi.

Monitoraggio della Visibilità

La campagna di monitoraggio della visibilità rappresenta un approccio innovativo **per valutare l'impatto dell'inquinamento atmosferico sulla percezione visiva del paesaggio**. Utilizzando protocolli derivati dall'esperienza dei parchi naturali americani, questa attività ha permesso di caratterizzare gli inquinanti aerodispersi che riducono la trasparenza atmosferica, collegando aspetti tecnici dell'inquinamento con la percezione pubblica del degrado ambientale.



4. STATO DI SALUTE DEGLI ECOSISTEMI FORESTALI



Condizioni delle Chiome

L'analisi delle condizioni delle chiome degli alberi, attraverso il parametro della defogliazione, **ha evidenziato tendenze preoccupanti**. Si osserva un peggioramento generalizzato nelle faggete e un persistente declino nelle conifere alpine, particolarmente evidente nelle peccete di *Picea abies*. Questo deterioramento è **strettamente correlato alle ricorrenti estati calde e siccitose** che caratterizzano sempre più frequentemente il clima italiano.

Accrescimento degli Alberi

Lo studio dell'accrescimento degli alberi ha rivelato la **sensibilità di questo parametro ai cambiamenti ambientali**. La misurazione periodica quinquennale su circa 2300 alberi in 10 siti fornisce un "termometro" della vitalità forestale, mentre il monitoraggio intra-annuale su 165 alberi di 7 specie diverse descrive le reazioni immediate agli stress ambientali.

Eventi climatici estremi hanno lasciato tracce evidenti negli accrescimenti: la gelata tardiva del 2016 in Abruzzo ha ridotto l'accrescimento a valori minimi (0,061 cm), mentre la siccità del 2017 ha colpito duramente cerri e roveri dell'Italia centrale, con accrescimenti ridotti a 0,10-0,14 cm.

Effetti dell'Ozono

Il monitoraggio dell'ozono troposferico **ha mostrato concentrazioni persistentemente elevate** (40-44 ppb) durante tutto il periodo di studio. Solo 3 siti su 10 non hanno mostrato sintomi fogliari visibili sulle specie dominanti, mentre negli altri 8 siti la percentuale di sintomi ha variato dal 18% al 51%, con il sito abruzzese che ha registrato i valori più elevati.

Chimica Fogliare e Indicatori Fisiologici

Il monitoraggio trentennale della chimica fogliare ha mostrato una **sostanziale stabilità**, con oscillazioni temporanee che si sono puntualmente riassorbite. L'introduzione di nuovi indicatori come il contenuto di clorofilla e la fluorescenza ha fornito strumenti aggiuntivi per valutare la vitalità degli alberi, rappresentando un punto di partenza per future serie di dati a lungo termine.



5. BIODIVERSITÀ E INDICATORI BIOLOGICI

Licheni Epifiti

La comunità dei licheni epifiti ha mostrato una ricchezza di 112 specie distribuite nei 10 siti forestali, con una variabilità notevole tra i siti (da 10 a 42 specie per plot). L'Indice di Biodiversità Lichenica varia tra 12 e 102, riflettendo le diverse condizioni ambientali dei siti.

La proporzione di specie nitrofile si conferma come un ottimo indicatore per distinguere le aree forestali soggette a diversi livelli di deposizioni azotate. Particolarmente significativo è il monitoraggio di *Lobaria pulmonaria*, specie sensibile all'inquinamento e considerata specie bandiera, presente attualmente in solo 2 dei 10 siti con buono stato di conservazione.

Piante Vascolari

Il monitoraggio della flora vascolare ha rilevato 273 specie complessive rilevate nel 2023 e 287 nel 2024 nei 10 siti della rete NEC. L'analisi dei trend storici dal 1999 indica una riduzione del numero di specie nel tempo, particolarmente evidente nei siti boreali e nemorali di querceti misti, mentre i siti mediterranei mostrano maggiore stabilità.

I nuovi indicatori sviluppati, come la "Compositional Diversity" e la "Specific Leaf Area", forniscono informazioni sulla complessità dell'organizzazione spaziale della vegetazione e sulle strategie ecologiche delle piante, con valori che riflettono le diverse condizioni ambientali e climatiche dei siti.

Fauna e Nuovi Indicatori

L'introduzione di indicatori faunistici ha arricchito significativamente il monitoraggio. L'indice QBS-ar è stato applicato ai siti forestali negli anni 2023-2024 mostrando valori generalmente elevati, indicando una qualità del suolo molto buona o eccellente. La diversità dei pipistrelli e l'analisi acustica degli uccelli hanno fornito informazioni preziose sulla complessità degli habitat forestali.

L'innovativa applicazione del DNA ambientale (eDNA) ha permesso di identificare specie vertebrate e invertebrate attraverso l'analisi di tracce genetiche, offrendo una "fotografia" dettagliata della biodiversità anche per specie elusive o rare.



6. LO STUDIO DEGLI ECOSISTEMI DI ACQUE DOLCI

L'estensione della rete di monitoraggio delle acque dolci ha permesso di includere siti con diversa sensibilità alla deposizione di inquinanti atmosferici. L'analisi della composizione chimica delle acque ha valutato l'arricchimento in azoto e l'eventuale acidificazione, utilizzando due indicatori biologici particolarmente sensibili: le diatomee epilittiche e i macroinvertebrati bentonici.

Le diatomee si sono confermate come ottimi indicatori dello stato delle acque rispetto all'acidificazione, mostrando anche sensibilità ai fattori meteo-climatici come temperatura e livello delle acque. I macroinvertebrati bentonici risultano meno sensibili agli effetti della deposizione atmosferica, ma più influenzati da fattori climatici e dal livello di nutrienti.

I dati chimici hanno confermato una risposta positiva alla diminuzione delle deposizioni di composti di zolfo e azoto, anche se questi ultimi continuano a essere presenti in quantità spesso superiori ai carichi critici. Questo evidenzia la necessità di continuare gli sforzi per ridurre le emissioni di composti azotati.

7. PROSPETTIVE FUTURE

Replicabilità Internazionale

Il progetto ha sviluppato una strategia articolata per la replicabilità in altri paesi europei con l'obiettivo di supportarli nel rispetto delle indicazioni poste dalla Direttiva NEC con il fine di migliorare la qualità dell'aria. Questa strategia è stata testata con successo in collaborazione con l'Istituto Nazionale per la Ricerca e lo Sviluppo Forestale (ICAS) rumeno "Marin Dracea". La strategia si articola in quattro fasi progressive: valutazione preliminare delle attività esistenti, analisi approfondita delle sovrapposizioni, valutazione dettagliata delle variabili disponibili, e implementazione collaborativa degli indicatori.



8. IL PROGETTO IN NUMERI

- **4** anni di attività.
- **10** nuovi siti di monitoraggio (per un totale di 20: 10 forestali e 10 di acque dolci).
- **18** nuovi indicatori dello stato di salute degli ecosistemi sotto l'impatto dell'inquinamento dell'aria.
- **30** tecnici rilevatori dei Carabinieri Forestali formati.
- Oltre **100** iniziative, nazionali e internazionali, in cui è stato presentato il progetto.
- Oltre **2.000** cittadini coinvolti nelle iniziative di sensibilizzazione, flash mob e clean air day.
- Oltre **50** giornalisti formati sul tema dell'inquinamento atmosferico e il suo impatto sugli ecosistemi.
- **200** docenti formati sul tema dell'inquinamento atmosferico.
- Oltre **1.000** studenti coinvolti nell'attività didattica sull'inquinamento atmosferico e il progetto LIFE MODERn NEC.
- Oltre **10.000** insights sui social network.
- **30** comunicati stampa per raccontare le iniziative del progetto.
- **30** progetti coinvolti nell'attività di networking.
- **8** partner con oltre **100** membri di staff coinvolti.

