



LIFE15 ENV/IT/000183

LIFE MOTTLES

Come misurare l'inquinamento da Ozono e definire adeguate strategie di controllo dell'inquinamento dell'aria

How to measure ozone pollution and define adequate air pollution control strategies

LAYMAN'S REPORT

CRISI CLIMATICA, INQUINAMENTO ATMOSFERICO E FORESTE

La crisi climatica degli ultimi decenni sta mettendo a dura prova chi ha il compito di gestire le foreste europee. Bisogna però ricordare che i mutamenti del clima sono solo una parte dei fattori abiotici che influiscono sul benessere degli ecosistemi forestali. Tra questi l'inquinamento atmosferico ha un impatto significativo e, in particolare, quello da Ozono (O_3) dal momento che, sopra certe soglie, diviene fitotossico.

L' O_3 atmosferico trae origine prevalentemente da reazioni chimiche tra ossidi di azoto (NO_x) e Composti Organici Volatili (COV). Quando si trova nella stratosfera, dove costituisce uno strato protettivo per il Pianeta (ozonofera) contro l'eccessivo ingresso di raggi ultravioletti, ha un importante ruolo di protezione. L' O_3 è anche una componente normale della troposfera che non crea particolari problemi a condizione che non superi certi valori di concentrazione. Purtroppo l'industrializzazione ha determinato un incremento dell'ozono nella troposfera, tanto che la sua concentrazione nell'emisfero settentrionale è raddoppiata dai tempi preindustriali. Ciò ha come conseguenza effetti negativi sia sulla salute delle persone e sia su quella delle foreste. Se poi si aggiunge che la crisi climatica potrebbe favorire l'incremento della concentrazione di O_3 nella troposfera, diviene chiara l'importanza di conoscerne e controllarne la presenza nelle varie regioni europee.

CLIMATE CRISIS, AIR POLLUTION AND FORESTS

The climate crisis of the last decades is the main challenge for managers of European forests. However, climate change is only a part of the abiotic factors affecting the health of forest ecosystems. Among those, air pollution has a significant impact and, in particular, Ozone (O_3) since, above certain thresholds, it becomes phytotoxic.

Atmospheric O_3 mainly originates from chemical reactions between nitrogen oxides (NO_x) and Volatile Organic Compounds (VOCs). In the stratosphere, it constitutes a protective layer for the Planet (ozone layer) against the excess of ultraviolet rays with an important protective role. O_3 is also a normal component of the troposphere with no negative effects. Unfortunately, industrialization led to an increase of ozone in the troposphere to the point that its concentration in the northern hemisphere has doubled since pre-industrial times. This determined negative effects on both people and forest health. Considering that the climate crisis could favour an increase in the concentration of O_3 in the troposphere, the importance to know and control its level in all European regions becomes clear.



Key message: ozone is the most relevant pollutant affecting forest vegetation, thus its control is a key tool to protect forests and at the same time mitigate climate changes.

Messaggio chiave: l'ozono è l'inquinante più rilevante per la vegetazione forestale, quindi il suo controllo è uno strumento chiave per proteggere le foreste e allo stesso tempo mitigare i cambiamenti climatici.

L'OZONO: UN PERICOLO PER GLI ALBERI

L'Ozono è un pericolo per le foglie degli alberi e per le conseguenze che può determinare sull'accrescimento delle piante. L'esposizione a elevate concentrazioni di O_3 determina infatti cambiamenti biochimici e fisiologici, con inibizione dell'assimilazione del carbonio durante la fotosintesi. Ciò si verifica in particolare modo quando l' O_3 penetra negli spazi intercellulari attraverso gli stomi.

Una volta penetrato all'interno delle foglie, l'ozono provoca varie conseguenze dannose alle cellule. Tra queste si segnalano:

- ridotta conduttanza stomatica;
- diminuzione dei tassi di assimilazione della CO_2 ;
- ridotta allocazione della biomassa alle radici;
- lesioni visibili alle foglie.

Tutto questo accelera la senescenza della pianta, riduce l'area fogliare capace di effettuare un'efficiente fotosintesi e, di conseguenza, riduce la produttività e la capacità di fissare CO_2 nella biomassa. Uno stress ambientale, come le alte temperature determinate dalla crisi climatica, può aggravare gli effetti delle alte concentrazioni di O_3 . È quindi chiaro che l' O_3 non solo ha già oggi un impatto significativo sulla fisiologia delle piante, sulla produttività delle foreste e sulla possibilità di ottenere altri servizi ecosistemici, ma se non controllato può determinare danni ancora maggiori.



OZONO TROPOSFERICO (O_3)

- L' O_3 troposferico è un inquinante atmosferico secondario formato da reazioni di altri inquinanti (ossidi di azoto e composti organici volatili)
- Attualmente O_3 è il gas serra più pericoloso per le piante
- Gli indicatori di danno da O_3 nelle piante sono: lesione fogliare visibile, defogliazione della corona e riduzione della crescita
- Le piante sotto stress da O_3 sono più sensibili agli attacchi parassitari e alla siccità
- L' O_3 influisce sui servizi dell'ecosistema forestale (stock di carbonio, ciclo dell'acqua, biodiversità)
- Le concentrazioni di O_3 aumenteranno con il cambiamento climatico

OZONE: A DANGER TO TREES

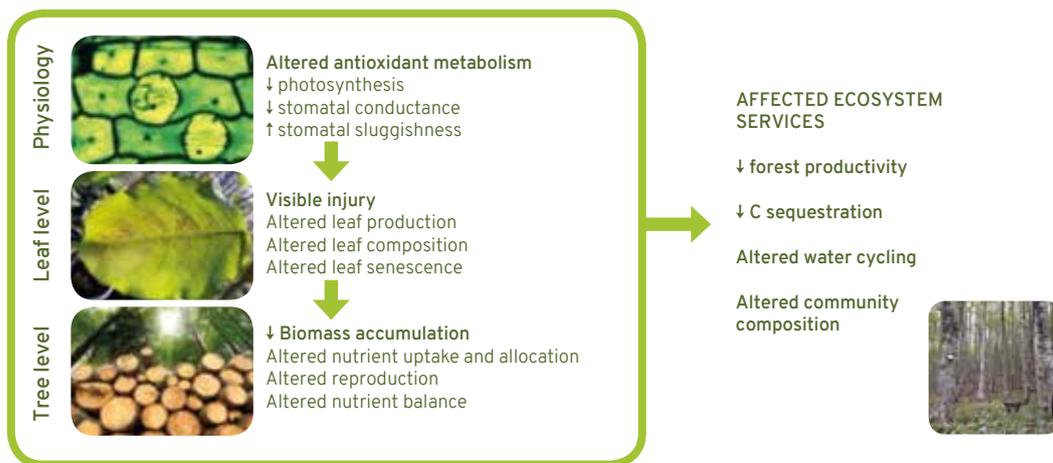
Ozone is a danger for tree leaves and for its consequences on the growth of plants. Exposure to high concentrations of O_3 causes biochemical and physiological changes, with inhibition of carbon assimilation during photosynthesis. This occurs especially when O_3 penetrates the intercellular spaces through the stomata (small pores on leaves).

Once in the leaves, ozone causes various harmful consequences to the cells. Those include:

- reduced stomatal conductance;
- decrease in CO_2 assimilation rates;
- reduced allocation of biomass to the roots;
- visible injury on the leaves.

These effects also accelerate the plant senescence, reduce the leaf area able to perform an efficient photosynthesis and, consequently, reduce productivity and the ability to fix CO_2 as biomass.

Environmental stress, such as the high temperatures caused by the climate crisis, can aggravate the effects of high concentrations of O_3 . It is therefore clear that O_3 not only has a significant impact today on the physiology of plants, on the productivity of forests and on the possibility to obtain other ecosystem services, but without control it can cause even greater damage.



TROPOSPHERIC OZONE (O_3)

- Tropospheric O_3 is a secondary air pollutant formed from reactions of other pollutants (nitrogen oxides and volatile organic compounds)
- At present O_3 is the greenhouse gas most dangerous for plants
- O_3 damage indicators in plants are: foliar visible injury, crown defoliation and growth reduction
- Plants under O_3 stress are more sensitive to parasitic attacks and drought
- O_3 affects forest ecosystem services (Carbon stock, water cycle, biodiversity)
- O_3 concentrations will increase with Climate Change

MISURARE CON PIÙ PRECISIONE L'OZONO: LA STRATEGIA DEL LIFE MOTTLES

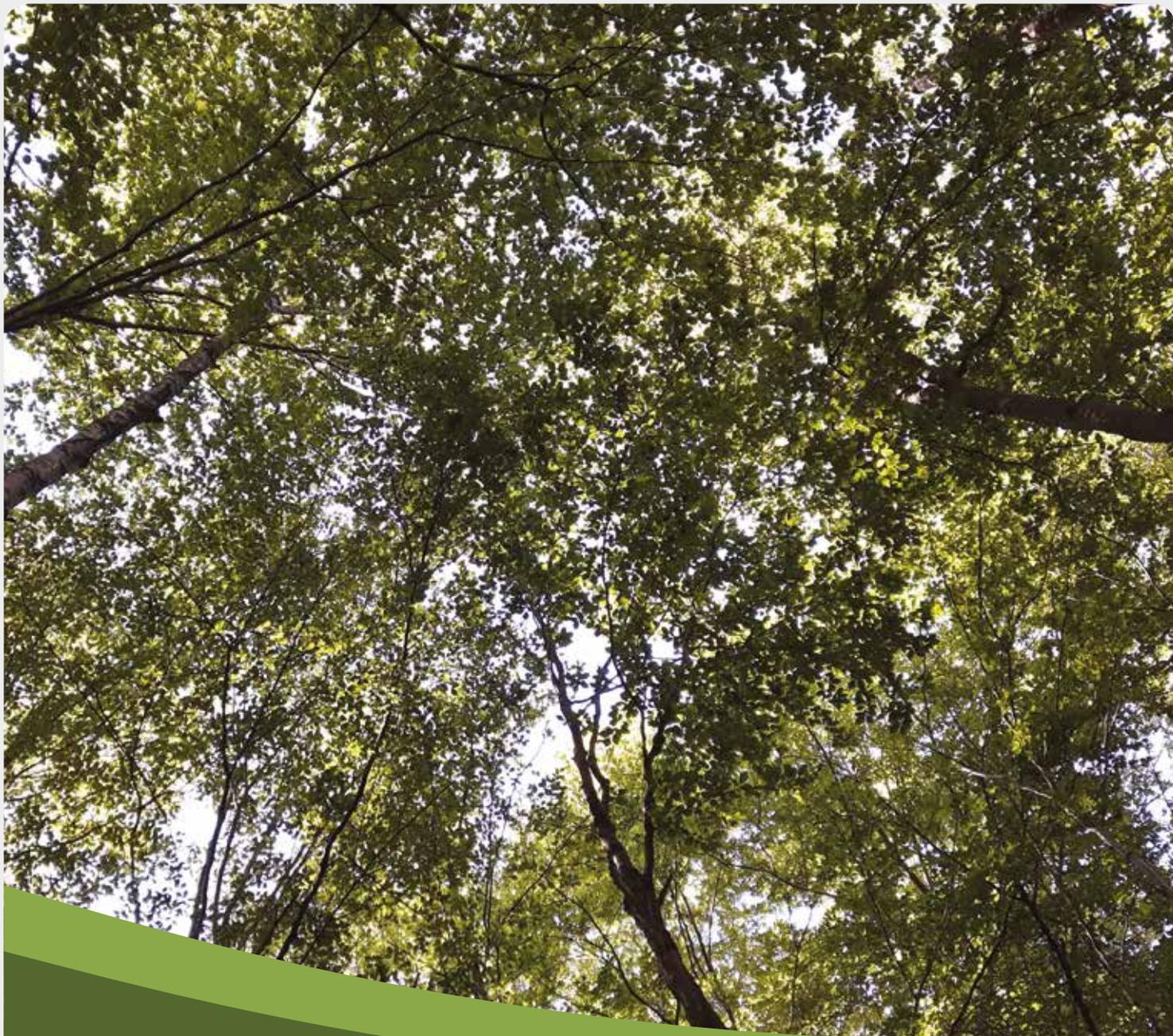
I problemi causati dall'O₃ alla vegetazione sono conosciuti a scala europea, tanto che da diversi anni è stata messa a punto una rete di misurazione della concentrazione di tale gas. Con il passare del tempo ci si è però accorti che il metodo poteva essere migliorato, sia per ridurre gli intervalli di tempo tra una rilevazione e l'altra, sia per definire soglie che fossero effettivamente correlate ai flussi stomatici, ai danni causati alle foglie, alla crescita delle piante e alla loro capacità di fissare CO₂ nella biomassa.

Così il progetto LIFE MOTTLES si è posto lo scopo di mettere a punto una nuova strategia di misurazione che fosse più adatta a proteggere le foreste dagli effetti dell'O₃ in un clima che cambia. In altri termini uno degli obiettivi del Progetto è stato quello di riuscire a misurare le concentrazioni di O₃ non ogni 2 settimane ma ogni ora, 24 ore su 24, per 365 giorni all'anno. Tale misurazione doveva avvenire non solo a livello di aria, ma anche a livello stomatico, correlando la concentrazione dell'O₃ a lesioni fogliari visibili, defogliazione della chioma e accrescimento diametrico della pianta. Con questi parametri a disposizione si sono poi definiti nuovi livelli critici di O₃, scientificamente validi, utili a valutare anche l'efficacia delle misure legislative adottate per la protezione delle foreste.

MEASURING OZONE MORE PRECISELY: THE LIFE MOTTLES STRATEGY

The problems caused by O₃ to vegetation are well known at European scale, indeed a network for measuring the concentration of this gas was available. Over time, however, it became clear that the method could be improved, both to reduce the time intervals between measurements, and to define thresholds that were actually related to stomatal fluxes, to leaf damages, to plant growth, to stock CO₂.

Thus the LIFE MOTTLES project aimed to develop a new monitoring strategy more suitable for protecting forests by the effects of O₃ in a changing climate. In other words, one of the objectives of the Project was to measure O₃ concentrations not every 2 weeks but every hour, 24 hours a day, 365 days a year. This measurement must be conducted not only at the air level, but also at the stomatal level, and then correlations of O₃ levels and stomatal flux with visible leaf injury, crown defoliation and diametric tree growth are tested. Thanks to the availability of these parameters, new critical levels of O₃ scientifically valid, were defined to evaluate the effectiveness of the legislative measures adopted for the protection of forests.



Key message: specific ozone damage (visible injury) should be estimated at forest sites to derive critical levels for ozone flux, in order to select indicators most properly linked to ozone pollution and not to confounding environmental factors.

Messaggio chiave: i danni specifici dovuti all'ozono (lesioni visibili) dovrebbero essere stimati direttamente nei siti forestali, in modo da individuare livelli critici da collegare a ben precisi indicatori, da non confondere con altri fattori ambientali.

AZIONI PER RAGGIUNGERE L'OBIETTIVO

Per avere un primo quadro della situazione a scala europea LIFE MOTTLES ha progettato di attuare le seguenti azioni.

- Individuare aree bio-geografiche rappresentative di gran parte delle foreste europee.
- Analizzare le lesioni fogliari causate dall'O₃ e metterle in relazione con i livelli ambientali del gas.
- Misurare il flusso del gas a livello stomatico attraverso un monitoraggio continuo.
- Valutare annualmente il grado di defogliazione delle chiome nelle varie aree biogeografiche individuate.
- Selezionare specie target rappresentative delle principali formazioni forestali europee.
- Mettere a punto un sistema di raccolta dati in remoto capace di aggiornarsi rapidamente e di contenere i costi del monitoraggio.
- Realizzare un sistema controllato di verifica delle lesioni in funzione dei livelli di O₃ (FO3X), che consentisse di validare con maggior solidità i dati rilevati in campo.

ACTIONS TO ACHIEVE THE GOAL

To get a first picture of the situation at European scale, LIFE MOTTLES planned the following actions.

- Identify bio-geographic areas representative of most of the European forests.
- Analyze the leaf injury caused by O₃ and relate it to the environmental levels of the gas.
- Measure the stomatal O₃ flux through continuous monitoring.
- Annually evaluate the degree of defoliation of tree crowns in the 4 identified biogeographical areas.
- Select target species representative of the main European forest stands.
- Set up a remote data collection system capable to update quickly and reduce monitoring costs.
- Implement a controlled system to verify O₃ injury related with O₃ levels (FO3X), allowing to validate data collected in the field.

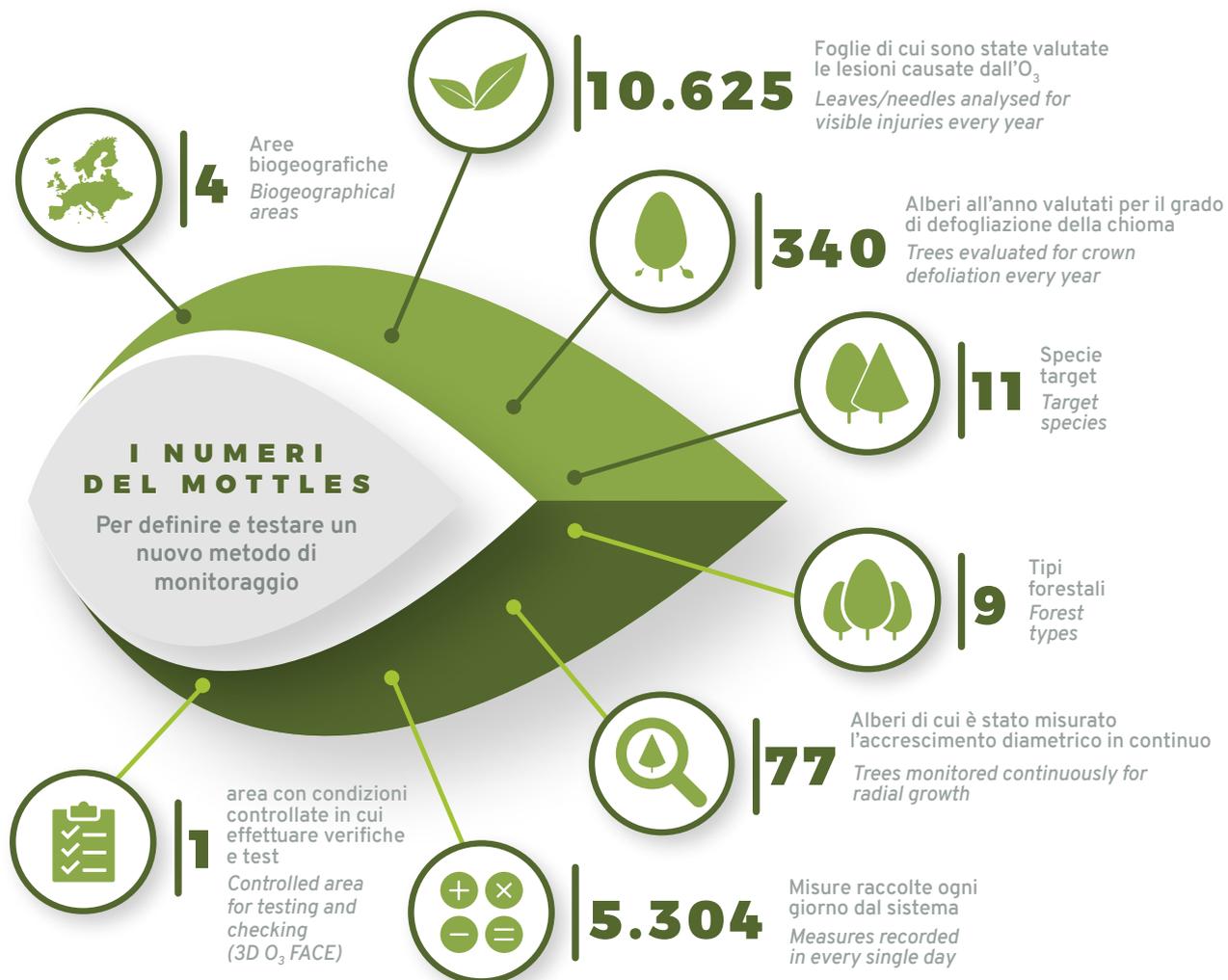


Key message: the standard to protect forests against negative impacts of ozone cannot be based only on ozone concentrations, because of the inconsistency between ozone concentration and damage to trees.

Messaggio chiave: lo standard per proteggere le foreste dagli impatti negativi dell'ozono non può basarsi solo sulle concentrazioni di ozono, poiché non c'è sempre congruenza tra la sola concentrazione di ozono e i danni agli alberi.

I NUMERI DEL LIFE MOTTLES

I partner del LIFE MOTTLES hanno realizzato un grande sforzo organizzativo e operativo per rendere solidi sia il metodo di raccolta dati, sia le elaborazioni necessarie per definire le soglie di pericolo dell' O₃. Le attività hanno quindi portato a:



La rete di aree messa a punto dal LIFE MOTTLES copre un'ampia varietà di suoli e di condizioni climatiche, 4 aree biogeografiche (Atlantico, Alpino, Continentale e Mediterraneo) oltre a tipi di foreste che vanno dalle sclerofille mediterranee di Castelporziano (Italia) alle faggete montuose del regione alpina della Romania.



LIFE MOTTLES NUMBERS

LIFE MOTTLES partners made a great organizational and operational effort to make both the data collection method and the procedures necessary to define the O₃ harmful thresholds solid.

To see the results of the activities, look at the infographic on the previous page.

The site network developed by LIFE MOTTLES covers a wide variety of soils and climatic conditions, 4 biogeographical areas (Atlantic, Alpine, Continental and Mediterranean) as well as forest types ranging from the Mediterranean sclerophylls of Castelporziano (Italy) to the mountainous beech forests of the Alpine region of Romania.

LESIONI FOGLIARI VISIBILI COME INDICATORE DI RISPOSTA DELLE PIANTE ALL'O₃

Molte specie di piante rispondono all'inquinamento ambientale da O₃ con lesioni fogliari visibili e specifiche. Tali lesioni possono essere diagnosticate direttamente in campo e sono considerate un indicatore importante di risposta delle foreste alla presenza eccessiva di O₃.

Per questo motivo in ogni sito LIFE MOTTLES, la valutazione delle lesioni fogliari visibili da O₃ viene condotta ogni anno, sia all'interno della foresta (ITP) che lungo il margine della foresta esposto alla luce (LESS). La valutazione viene eseguita sugli stessi cinque alberi nell'ITP.

A conclusione del Progetto, LIFE MOTTLES ha confermato che questo tipo di danno è la migliore e più evidente risposta alla concentrazione e al flusso di O₃.

Un atlante delle lesioni fogliari visibili da Ozono

Per favorire la diffusione del metodo di analisi delle lesioni fogliari e renderla quanto più oggettiva possibile, è stato realizzato un atlante di lesioni da O₃ validate per il progetto MOTTLES. L'atlante contiene una raccolta fotografica di lesioni fogliari visibili che sono state rilevate nei siti della rete di monitoraggio LIFE MOTTLES. Per alcune specie, le lesioni sono state riprodotte artificialmente presso la struttura FO3X.

L'Atlante è consultabile via web <https://mottles-project.wixsite.com/life/atlas-ozone-injury>.

LEAF VISIBLE INJURY AS AN INDICATOR OF PLANTS' RESPONSE TO O₃

Many plant species respond to environmental pollution by O₃ with specific visible leaf injury. This injury can be diagnosed directly in the field; it is considered an important indicator of forest response to the excessive presence of O₃ in the atmosphere.

For this reason, in each LIFE MOTTLES site, the evaluation of visible leaf injury from O₃ is carried out every year, both inside the forest (ITP) and along the edge of the forest exposed to light (LESS). The evaluation is performed on the same five trees in the ITP.

At the conclusion of the Project, LIFE MOTTLES confirmed that this type of damage is the best and most evident response to the O₃ concentration and fluxes.

An atlas of visible ozone leaf injury

To facilitate the transfer of the leaf symptom analysis method an atlas of O₃ injury validated for the MOTTLES project was created. The atlas contains a photographic collection of visible leaf injury detected on the sites of the LIFE MOTTLES monitoring network. For some species, the injury was artificially reproduced at the FO3X facility to be validated.

The Atlas is available online at <https://mottles-project.wixsite.com/life/atlas-ozone-injury>.



Picea abies



Pinus sylvestris



Larix decludua



Arbutus unedo



Acer campestre



Acer pseudoplatanus



Alnus glutinosa



Carpinus betulus



Clematis vitalba



Corilus avellana



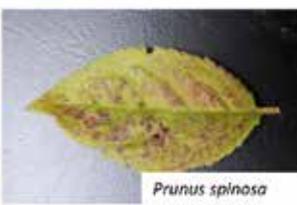
Malus sp.



Fagus sylvatica



Prunus avium



Prunus spinosa



Quercus robur



Rubus ulmifolius



Salix caprea



Sorbus aria



Sorbus aucuparia



Vaccinium myrtillus



Viburnum opulus

LIFE MOTTLES: UN NUOVO SISTEMA DI MONITORAGGIO

Il metodo LIFE MOTTLES è stato sviluppato con le seguenti fasi:

- monitoraggio delle variabili climatiche e delle concentrazioni in tempo reale di O₃ nei siti forestali;
- monitoraggio degli indicatori fitosanitari delle foreste mediante sensori permanenti e indagini sul campo;
- calcolo delle metriche relative a O₃ (AOT40 e PODY);
- elaborazione delle correlazioni tra metriche degli inquinanti e indicatori di salute delle foreste;
- definizione dei livelli critici al di sopra dei quali si verificano danni alle foreste;
- verifica di dove questo limite è attualmente superato in Europa.

La rete di monitoraggio a lungo termine istituita da MOTTLES è attiva nei tre Paesi europei partner del progetto che possono essere considerati ad alto e medio rischio di O₃: Italia, Francia e Romania.

I sensori e la raccolta dati

Mentre il metodo tradizionale utilizza campionatori passivi di Ozono che forniscono valori cumulati in 2-3 settimane, il **nuovo sistema di monitoraggio** è in grado di registrare in tempo reale i valori dei dati meteo e della concentrazione di O₃ direttamente in campo aperto (OFD).

Gli indicatori di umidità del suolo e di risposta delle piante sono registrati nella foresta (ITP).

Ogni stazione OFD è dotata di sensori per misurare le variabili che non possono essere misurate all'interno di una foresta, ad esempio: pioggia, temperatura dell'aria, umidità relativa, pressione dell'aria, radiazione solare e concentrazione di O₃. L'alimentazione è assicurata dai pannelli solari o dalla rete, se presente, e dalle batterie di backup.

MOTTLES Active O₃ Monitoring Forest Site

In the plot station (ITP)	Top view of the two stations	Open field station (OFD)
		
<p>Sensors: a) point dendrometers; n. from 4 to 16 at 1.3 m b) air temperature; n. 1 at 2 m c) soil moisture+temperature; n. 1 at 10 cm depth</p> <p>Data acquisition: Measure Interval: 1 or 15 minutes Average and storage interval: 1 h Systems: automatic (via GPRS) or manual download (SD Card)</p> <p>Annual survey: Tree defoliation (20 trees) and leaf injury (5 trees)</p>		<p>Sensors: d) air temperature+solar radiation; n. 1 at 2 m e) wind speed+direction; n. 1 at 2 and 10 m f) ozone concentration; n.1 at 2 m g) rainfall; n.1 at 2 m</p> <p>Data acquisition: Measure interval: 10 sec. Average and storage interval: 1 h Systems: automatic (via GPRS) or manual download (SD Card)</p> <p>Annual survey: Leaf injury at the LESS (ca. 50 m of forest edge)</p>

LIFE MOTTLES: A NEW MONITORING SYSTEM

The LIFE MOTTLES method was developed by the following steps:

- real-time monitoring of climatic variables and concentrations of O₃ at forest sites;
- monitoring of forest health indicators through permanent sensors and field surveys;
- calculation of O₃ metrics (AOT40 and PODY);
- elaboration of the correlations between pollutant metrics and forest health indicators;
- definition of critical levels above which damage to forests occurs;
- verification of where this limit is currently exceeded in Europe.

The long-term monitoring network set up by MOTTLES is active in the three European partner countries of which can be considered at high and medium risk of O₃: Italy, France and Romania.

Sensors and data collection

While the traditional method uses passive Ozone samplers that provide cumulated values in 2-3 weeks, the **new monitoring system** is able to record in real time weather data and O₃ concentration directly in the open field (OFD). Soil moisture and plant response indicators are recorded in the forest (ITP).

Each OFD station is equipped with sensors to measure variables that cannot be measured within the forest, for example: rain, air temperature, relative humidity, air pressure, solar radiation and O₃ concentration. Power is supplied by solar panels or by the mains, if present, and by backup batteries.



UNA METODOLOGIA PER CALCOLARE NUOVI LIVELLI CRITICI DI O₃

Per poter definire i livelli critici di O₃ si è partiti da una approfondita analisi bibliografica che ha consentito di definire una metodologia coerente. Si è poi tenuto conto dei livelli critici relativi alla riduzione dell'accrescimento di varie specie forestali individuati da UNECE (2017) a seguito di esperimenti effettuati in condizioni controllate.

Definito il metodo e tenuto conto dei livelli critici, LIFE MOTTLES si è concentrato sulle condizioni riscontrate nelle aree di progetto per individuare livelli critici, scientificamente validi, da utilizzare in condizioni non controllate. LIFE MOTTLES ha così correlato ciascun PODY (Phytotoxic Ozone Dose con diverse soglie "Y"), alle risposte rilevate nelle foreste delle aree di progetto (crescita radiale annuale e oraria, lesione fogliare annuale visibile e defogliazione della chioma).

Sulla base di relazioni effetto-dose, sono stati ricavati livelli critici basati sull'esposizione (CLec) e basati sul flusso (CLef) effettivamente registrati nel corso del Progetto. I livelli critici sono stati ricavati confrontando il livello di defogliazione della chioma (per CLec) e lesioni fogliari da O₃ (per CLef) effettivamente misurati in ogni sito.

I livelli critici basati sul flusso di O₃ (CLef) sono stati poi utilizzati per definire le mappe di superamento in varie aree europee.

LIFE MOTTLES propone di utilizzare i livelli critici che ha individuato come nuovi standard legislativi in Europa.

A METHODOLOGY FOR CALCULATING NEW CRITICAL LEVELS OF O₃

In order to define O₃ critical levels, we started from an in-depth bibliographic analysis that allowed to define a coherent methodology. Critical levels related to the growth reduction of various forest species identified by UNECE (2017) were also taken into account following experiments carried out under controlled conditions.

After defining the method and taking into account the critical levels, LIFE MOTTLES focused on the conditions of the project areas to identify scientifically valid critical levels to be used in uncontrolled conditions. LIFE MOTTLES thus correlated each PODY (Phytotoxic Ozone Dose with different "Y" thresholds) to the responses detected at the forests sites (annual and hourly radial growth, annual visible leaf injury and annual crown defoliation).

Based on dose-response relationships, critical exposure-based (CLec) and flux-based (CLef) levels were actually recorded during the Project. Critical levels were obtained for crown defoliation (for CLec) and leaf visible O₃ injury (for CLef) actually measured at each site.

The critical levels based on the flux of O₃ (CLef) were then used to define the exceedance maps across Europe.

LIFE MOTTLES recommends to use the defined critical levels as new legislative standards in Europe.



Figura 1 - Mappa di superamento dei livelli critici basati sul flusso di O₃ per l'anno 2017.
Figure 1 - Map of critical level exceedances based on the O₃ fluxes for the year 2017.



Figura 2 - Mappa di superamento dei livelli critici basati sul flusso di O₃ per l'anno 2018.
Figure 2 - Map of critical level exceedances based on the O₃ fluxes for the year 2018.



Figura 3 - Mappa di superamento dei livelli critici basati sul flusso di O₃ per l'anno 2019.
Figure 3 - Map of critical level exceedances based on the O₃ fluxes for the year 2019.

MONITORAGGIO ATTIVO: PIÙ EFFICACE E PIÙ SOSTENIBILE

Il sistema di monitoraggio attivo messo a punto dal LIFE MOTTLES è risultato meglio collegato alle lesioni effettivamente rilevabili nelle foglie e nelle chiome degli alberi, ma potrebbe essere stato più oneroso sul piano finanziario. Per questo ne è stata valutata la sostenibilità confrontandola con quella del “sistema passivo”.

I costi ambientali sono stati confrontati attraverso l'analisi del ciclo di vita (LCA); la valutazione dei costi economici è stata effettuata tramite il confronto dei costi per l'installazione e la raccolta dei dati dei due sistemi, la stima degli impatti sociali è stata definita come il costo del danno a lungo termine causato da una tonnellata di emissioni di CO₂.

I risultati hanno mostrato che il sistema di monitoraggio attivo messo a punto con il LIFE MOTTLES presentava costi ambientali, economici e sociali, inizialmente più elevati, dovuti soprattutto all'installazione di sensori e alimentatori. Se però si considera il medio-lungo periodo (10-20 anni) il sistema attivo è più sostenibile del sistema passivo. Considerando solo l'impronta di carbonio, il sistema di monitoraggio attivo LIFE MOTTLES ha portato a un risparmio, per l'intera rete, di 102 tonnellate di CO₂-equivalenti nelle foreste decidue e di 194 tonnellate di CO₂-equivalenti nei boschi di conifere, ed è risultato più sostenibile del sistema passivo dopo soli 5 anni. Il vantaggio diviene sempre più importante con il trascorrere del tempo. Il bilancio complessivo del confronto con il sistema passivo porta a poter dichiarare che:

- il sistema proposto dal LIFE MOTTLES porta a soglie più precise e maggiore sostenibilità di medio-lungo periodo;
- solo il monitoraggio di lungo periodo è in grado di fornire risposte attendibili sulle dinamiche forestali, dati i lunghi tempi di vita degli alberi.

ACTIVE MONITORING: MORE EFFECTIVE AND MORE SUSTAINABLE

The active monitoring system developed by LIFE MOTTLES may be more expensive than the passive approach. For this reason, we tested its sustainability by a comparison with the passive system.

Environmental costs were compared through life cycle analysis (LCA); while the evaluation of the economic costs was carried out by comparing the costs of installation and data collection of the two systems, the assessment of the social impacts was defined as the cost of the long-term damage caused by a ton of CO₂ emissions. The results showed that the active monitoring system developed by LIFE MOTTLES had initially higher environmental, economic and social costs, mainly due to the installation of sensors and power supplies. However, in the medium-long term (10-20 years), the active system is more sustainable than the passive system. Considering only the carbon footprint, the LIFE MOTTLES active monitoring system led to a saving, for the entire network, of 102 tons of CO₂-equivalent in deciduous forests and 194 tons of CO₂-equivalent in coniferous forests, and it was more sustainable than the passive system even after 5 years. The saving becomes more and more important in longer time.

In short:

- the system proposed by LIFE MOTTLES leads to more precise thresholds and greater medium-long term sustainability;
- only long-term monitoring is able to provide reliable answers on forest dynamics, given the long life times of trees.



Key message: the selection of the appropriated site to derive critical levels for forest protection should follow a list of requirements established and revised in the MOTTLES project.

Messaggio chiave: la selezione del sito appropriato per ottenere livelli critici per la protezione delle foreste dovrebbe seguire un elenco di requisiti individuati e verificati dal progetto MOTTLES.

MOTTLES CONTRIBUISCE AL NEC

I limiti nazionali di emissione (NEC) sono valori totali di emissione relativi ad alcuni inquinanti atmosferici che devono essere rispettati dagli Stati membri dell'UE. L'attuale direttiva sui tali limiti è stata rivista nel 2016 e ha introdotto l'obbligo di monitorare gli impatti sugli ecosistemi. La presenza del NEC ha contribuito a ridurre le emissioni di anidride solforosa (causa delle piogge acide), ammoniaca, ossidi di azoto e composti organici volatili (inquinamento dovuto ai solventi, ai veicoli stradali, al riscaldamento domestico ed ai sistemi di produzione di energia). In particolare gli ossidi di azoto e i composti organici volatili (COV) sono i precursori dell'O₃ che troviamo nella troposfera. L'ozono infatti non può essere regolato direttamente alla fonte, essendo prodotto a partire da precursori, ed è quindi fondamentale poterne regolare gli impatti sull'ambiente.

LIFE MOTTLES mette a disposizione i propri siti per applicare **la direttiva NEC che raccomanda di calcolare i superamenti dei livelli critici basandosi su PODY** per valutare gli impatti dell'inquinamento da O₃ sugli ecosistemi forestali in Europa.

MOTTLES CONTRIBUTES TO THE NEC

The national emission ceilings (NEC) Directive defines the total emission values for some air pollutants that must be respected by the EU Member States. The current Directive on these limits was revised in 2016 and introduced the obligation to monitor air pollution impacts on ecosystems. NEC has contributed to reducing emissions of sulfur dioxide (the cause of acid rain), ammonia, nitrogen oxides and volatile organic compounds (pollution due to solvents, motor vehicles, home heating and energy production systems). In particular, nitrogen oxides and volatile organic compounds (VOCs) are the precursors of O₃. In fact, ozone, as derived from other precursors cannot be regulated directly, and it is therefore essential to monitor its impacts on the environment.

LIFE MOTTLES makes its sites available to apply **the NEC Directive which recommends calculating exceedances of critical levels based on PODY** to evaluate the impacts of O₃ pollution on forest ecosystems in Europe.



Key message: Phytotoxic Ozone Dose (POD) is an appropriated standard to estimate ozone damage to vegetation and evaluate effective protection measures for forests.

Messaggio chiave: la dose di ozono fitotossica (POD) è uno standard appropriato per stimare i danni dell'ozono alla vegetazione e valutare misure di protezione efficaci per le foreste.

“4” LEZIONI DAL LIFE MOTTLES

1. Il flusso di O₃ a livello stomatico permette di conoscere con maggior precisione le relazioni tra concentrazione del gas e danni alle foreste in termini di lesioni visibili a livello di foglie e di chioma.
2. È importante utilizzare l'atlante delle lesioni fogliari per armonizzare i rilievi effettuati da differenti squadre di valutatori.
3. Il sistema di monitoraggio attivo permette di disporre di dati in tempo reale che consentono di porre rimedio in maniera più rapida e puntuale ad eventuali sforamenti dei limiti alle emissioni nazionali imposti dall'UE (NEC - National Emission Ceiling).
4. Il sistema di monitoraggio attivo messo a punto con il LIFE MOTTLES, nel medio-lungo periodo, è più sostenibile di quello passivo sia sul piano ecologico, che su quello economico e sociale.

“4” LESSONS FROM LIFE MOTTLES

1. The O₃ flux at stomatal level is required to understand O₃ damage to forests in terms of visible foliar injury.
2. It is important to use the leaf injury atlas to harmonize the findings across different surveyor teams.
3. The active monitoring system provides real-time data that allow to respond to the requirements imposed by the EU (NEC - National Emission Ceiling).
4. In the medium-long term, the active monitoring system developed with LIFE MOTTLES is more sustainable than the passive one, both ecologically, economically and socially.



Key message: MOTTLES results indicated visible ozone injury as suitable parameter to describe ozone impacts on vegetation, and POD1 as the ozone metric to be adopted to derive Critical Levels.

Messaggio chiave: i risultati di MOTTLES hanno indicato le lesioni dell'ozono visibile come parametro adatto per descrivere gli impatti dell'ozono sulla vegetazione e POD1 come metrica dell'ozono da adottare per individuare i livelli critici.



IL GRUPPO DEI PARTNER

Aree di progetto e siti forestali selezionati
Project areas and selected forest sites



BUDGET

Total budget: 1,838,406 €
EU financial contribution: 1,079,093 €



DURATA/PERIOD

Start date: 07/01/2016
End date: 30/06/2020



Testi, progetto grafico e impaginazione
Text, graphic project and layout

COORDINATOR



PARTNERS

