



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE
DINFO
DIPARTIMENTO DI
INGEGNERIA
DELL'INFORMAZIONE

cnit
consorzio nazionale
interuniversitario
per le telecomunicazioni

DISPAA
Dipartimento di Scienze
delle Produzioni Agroalimentari
e dell'Ambiente



BRIGHT

Alberi come Rivelatori dell'Inquinamento Ambientale – Progetto A.R.I.A.

*S. Morosi, M. Dolfi, E. Del Re, E. Masi, I. Colzi, S. Mancuso,
F. Francini, R. Magliacani, A. Valgimigli, L. Masini*

DINFO – CNIT – DISPAA – LINV, University of Florence,
ETG s.r.l. – DIGIC s.r.l., Florence, ITALY



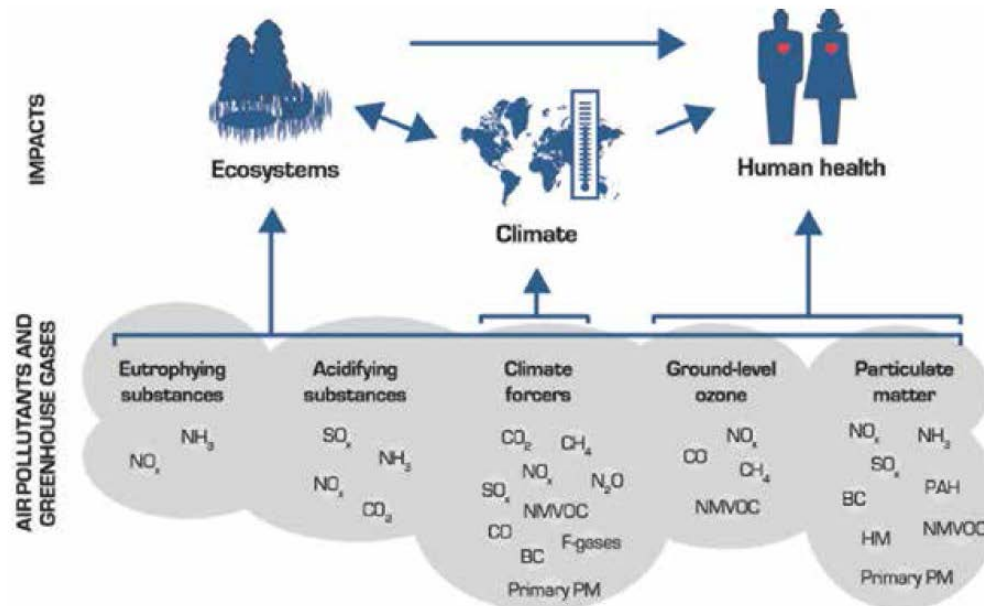
Sommario

- Introduzione
- Descrizione del Sistema
- Rilevamento di Livelli Critici di Ozono
- Risultati Sperimentali
- Conclusioni e Sviluppi Futuri

Introduzione - Inquinamento dell'aria e salute umana

- L'inquinamento atmosferico è diventato uno dei problemi ambientali più gravi del mondo moderno
- I suoi effetti negativi sono associati al degrado della qualità della vita, influenzando la sostenibilità degli ecosistemi urbani

Impacts of air pollution



Source: EEA.

Introduzione - Inquinamento dell'aria e salute umana

- La legislazione sulla qualità dell'aria in Europa ha compiuto progressi negli ultimi decenni, con l'obiettivo di ridurre l'inquinamento atmosferico
- Tuttavia l'Europa è ancora lontana dal raggiungere livelli di qualità dell'aria che non comportino rischi inaccettabili per l'uomo e per l'ambiente
- Ciò costituisce una perdita sostanziale per l'Europa:
 - per i suoi sistemi naturali
 - per la sua economia
 - per la produttività della forza lavoro
 - per la salute dei cittadini europei

Introduzione - Inquinamento dell'aria e salute umana

Legislation in Europe regulating emissions and ambient concentrations of air pollutants

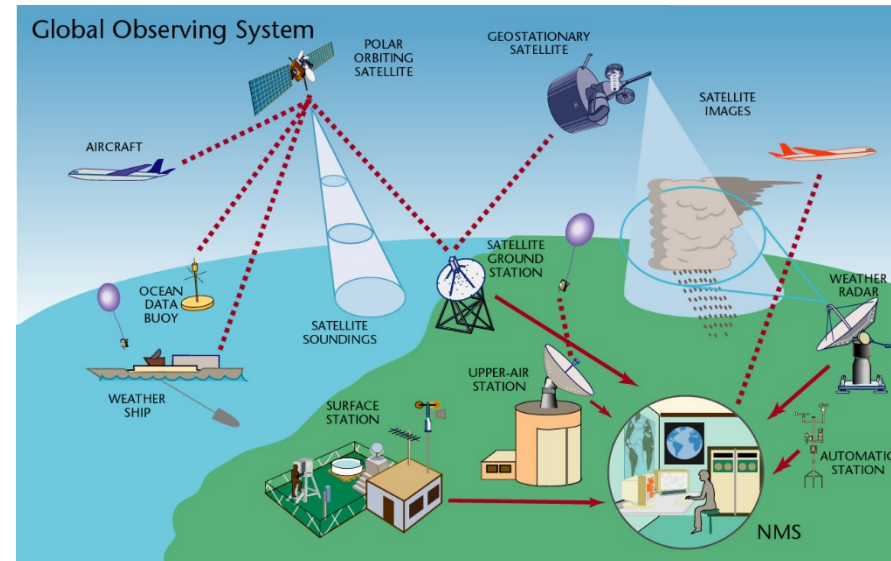
	Pollutants	PM	O ₃	NO ₂ NO _x NH ₃	SO ₂ SO _x	CO	Heavy metals	BaP PAHs	VOC
Policies									
Directives regulating ambient air quality	2008/50/EC	PM	O ₃	NO ₂	SO ₂	CO	Pb		Benzene
	2004/107/EC						As, Cd, Hg, Ni	BaP	
Directives regulating emissions of air pollutants	2001/81/EC	(^a)	(^b)	NO _x , NH ₃	SO ₂				NMVOC
	2010/75/EU	PM	(^b)	NO _x , NH ₃	SO ₂	CO	Cd, Tl, Hg, Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V		VOC
	Euro standards on road vehicle emissions	PM	(^b)	NO _x		CO			VOC, NMVOC
	94/63/EC	(^a)	(^b)						VOC
	2009/126/EC	(^a)	(^b)						VOC
	1999/13/EC	(^a)	(^b)						VOC
	91/676/EEC			NH ₃					
	1999/32/EC	(^a)			S				
Directives regulating fuel quality	2003/17/EC	(^a)	(^b)		S		Pb	PAHs	Benzene, VOC
	MARPOL 73/78	PM	(^b)	NO _x	SO _x				VOC
International conventions	LRTAP	PM (^a)	(^b)	NO ₂ , NH ₃	SO ₂	CO	Cd, Hg, Pb	BaP	NMVOC

Note: (^a) Directives and conventions limiting emissions of PM precursors, such as SO₂, NO_x, NH₃ and VOC, indirectly aim to reduce particulate matter ambient air concentrations.

(^b) Directives and conventions limiting emissions of O₃ precursors, such as NO_x, VOC and CO, indirectly aim to reduce troposphere O₃ concentrations.

Introduzione – Monitoraggio della qualità dell'aria

- Il monitoraggio meteorologico ha un ruolo chiave nella definizione del clima attuale, rilevandone i cambiamenti e fornendo dati fondamentali per modellare e predire il futuro del nostro ambiente
- La grande domanda di questi dati è stata soddisfatta grazie allo sviluppo ed alla diffusione capillare di stazioni meteorologiche
- Lo sviluppo delle tecnologie di comunicazione ha consentito l'accesso ai dati di monitoraggio meteorologico da remoto ed in tempo reale



Introduzione – Inquinamento da Ozono

- Tra gli inquinanti atmosferici, l'Ozono (O_3) è uno dei principali gas serra di origine secondaria
- A differenza degli inquinanti atmosferici primari, l'Ozono a livello del suolo (troposferico) non è emesso direttamente nell'atmosfera
- Al contrario, è formato da complesse reazioni chimiche conseguenti alle emissioni di gas precursori, quali gli ossidi di azoto (NO_x) e i composti organici volatili non metanici (COVNM), sia naturali (biogeni) che di origine antropica
- Dal momento che la formazione di O_3 richiede la luce solare, le concentrazioni di O_3 mostrano una netta crescita partendo dalle zone settentrionali verso le zone meridionali del continente, con la registrazione dei valori più elevati nei Paesi del Mediterraneo

Introduzione – Inquinamento da Ozono

Premature deaths attributable to PM_{2.5} and O₃ exposure in 2011 in 40 European countries and the EU-28

Country		Population	PM _{2.5}				O ₃			
			Annual mean	Best estimate	Low (*)	High (*)	SOMO35	Best estimate	Low (*)	High (*)
AT	Austria	8 045 346	16.3	6 768	4 450	8 899	5 452	309	149	458
BE	Belgium	10 325 029	17.3	10 304	6 776	13 547	2 714	220	106	326
BG	Bulgaria	8 117 809	18.3	10 806	7 131	14 161	5 215	425	205	629
CY	Cyprus	886 301	21.0	710	468	929	8 773	41	20	61
CZ	Czech Republic	10 234 773	18.8	10 872	7 166	14 262	4 743	376	182	557
DE	Germany	82 201 457	14.8	69 762	45 754	91 947	3 668	2 342	1 131	3 469
DK	Denmark	5 394 271	12.5	3 979	2 603	5 257	2 752	117	57	174
EE	Estonia	1 343 899	8.0	647	421	859	2 516	27	13	40
ES	Spain	39 113 763	11.1	25 046	16 365	33 127	5 858	1 772	857	2 625
FI	Finland	5 174 350	7.4	2046	1 331	2 717	2 052	74	36	110
FR	France	58 494 279	15.3	46 339	30 418	61 024	4 439	1 829	884	2 709
GR	Greece	10 939 253	16.8	10 700	7 037	14 066	9 182	796	385	1 179
HR	Croatia	4 440 678	19.6	5 437	3 586	7 128	6 470	246	119	365
HU	Hungary	10 186 452	23.1	15 952	10 554	20 852	5 828	556	269	824
IE	Ireland	3 740 194	7.9	1 229	800	1 631	1 353	28	14	42
IT	Italy	56 769 828	19.8	64 544	42 650	84 475	7 532	3 377	1 633	5 001
LT	Lithuania	3 493 293	12.7	2 556	1 672	3 376	3 131	85	41	126
LU	Luxembourg	446 716	13.3	284	186	375	3 527	10	5	15
LV	Latvia	2 393 215	11.1	1 789	1 169	2 367	2 708	58	28	86
MT	Malta	394 641	15.6	247	162	326	7 127	15	7	23
NL	Netherlands	15 942 494	17.1	12 634	8 305	16 617	2 283	229	111	340

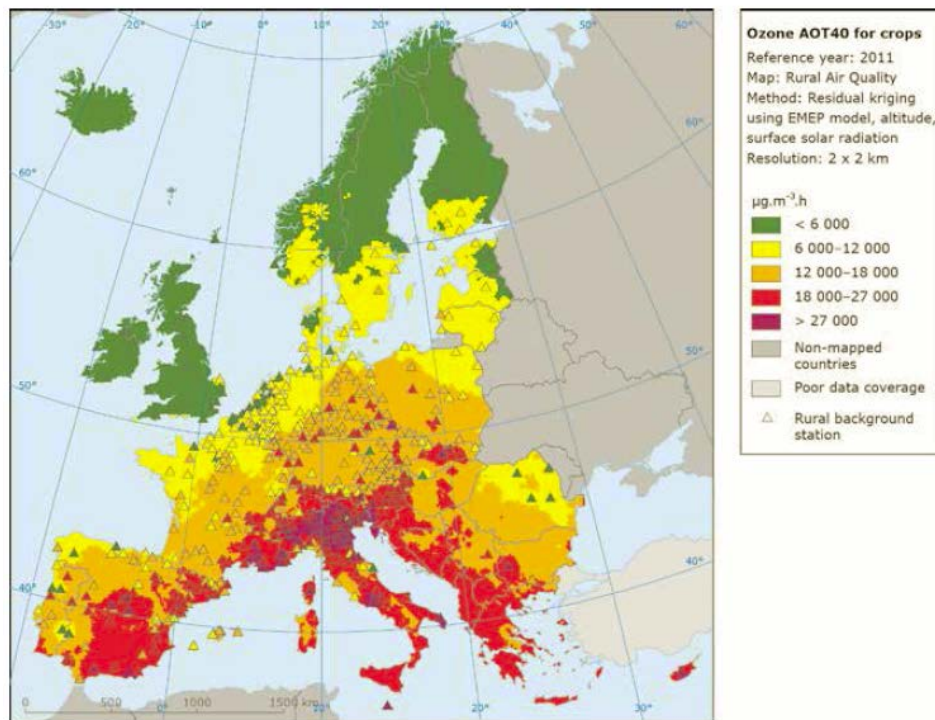
Note: (*) The low and high columns show the upper and lower boundary of the 95 % confidence interval taking only into account the uncertainty in the relative risk.

The numbers presented are not rounded to ease comparison.

Country		Population	Annual mean	PM _{2.5}			O ₃			
				Best estimate	Low (*)	High (*)	SOMO35	Best estimate	Low (*)	High (*)
PL	Poland	38 193 972	21.8	42 412	28 051	55 460	4 065	1 100	531	1 629
PT	Portugal	9 876 540	10.5	5 707	3 726	7 553	4 552	330	159	488
RO	Romania	22 325 418	20.5	28 582	18 870	37 437	3 276	633	306	938
SE	Sweden	8 879 647	8.1	4 221	2 749	5 600	2 628	181	87	268
SI	Slovenia	1 968 954	19.4	1 938	1 278	2 543	7 062	97	47	143
SK	Slovakia	5 417 705	21.8	6 300	4 163	8 245	6 051	243	117	360
UK	United Kingdom	59 050 805	12.4	39 450	25 809	52 116	1 471	634	306	940
AD	Andorra	82 833	13.7	51	34	67	7 891	4	2	6
AL	Albania	3 613 517	17.2	2 042	1 344	2 684	7 769	129	62	191
BA	Bosnia and Herzegovina	4 558 292	17.2	3 412	2 246	4 483	5 702	154	75	229
CH	Switzerland	7 687 824	12.6	4 394	2 876	5 803	5 435	256	124	378
IS	Iceland	294 964	4.6	54	35	72	1 094	2	1	3
LI	Liechtenstein	37 372	8.5	16	10	21	5 128	1	1	2
MC	Monaco	52 324	16.4	29	19	38	8 354	2	1	3
ME	Montenegro	671 451	15.1	482	317	634	6 970	31	15	45
MK	former Yugoslav Republic of Macedonia, the	2 071 302	15.8	1 763	1 158	2 319	7 110	108	52	160
NO	Norway	4 629 088	6.3	1473	958	1 957	2 395	74	36	110
RS	Serbia	9 212 284	21.2	13 063	8 640	17 083	5 793	495	239	733
SM	San Marino	27 602	14.7	25	16	33				
All		516 729 933		458 065	301 304	602 092		17 407	8 413	25 782
EU-28		487 038 228		430 219	282 943	565 573		16 160	7 810	23 937

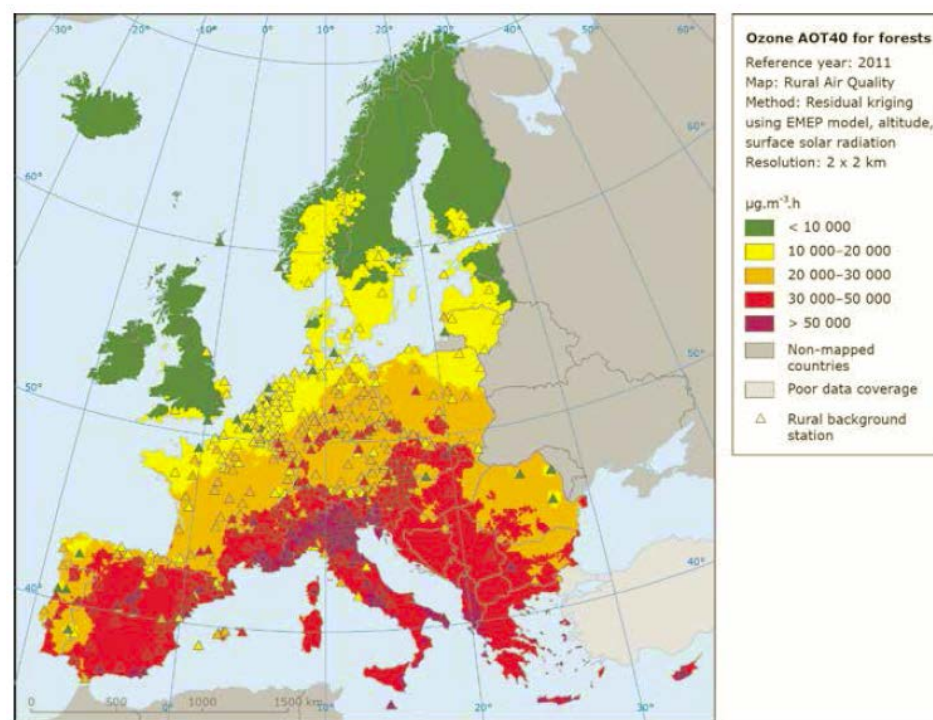
Introduzione – Inquinamento da Ozono

Exposure of European agricultural areas to O₃ (AOT40) (2011)



Source: EEA, 2014b (CSI 005); Horalek et al., 2013.

Exposure of European forest areas to O₃ (AOT40) (2011)

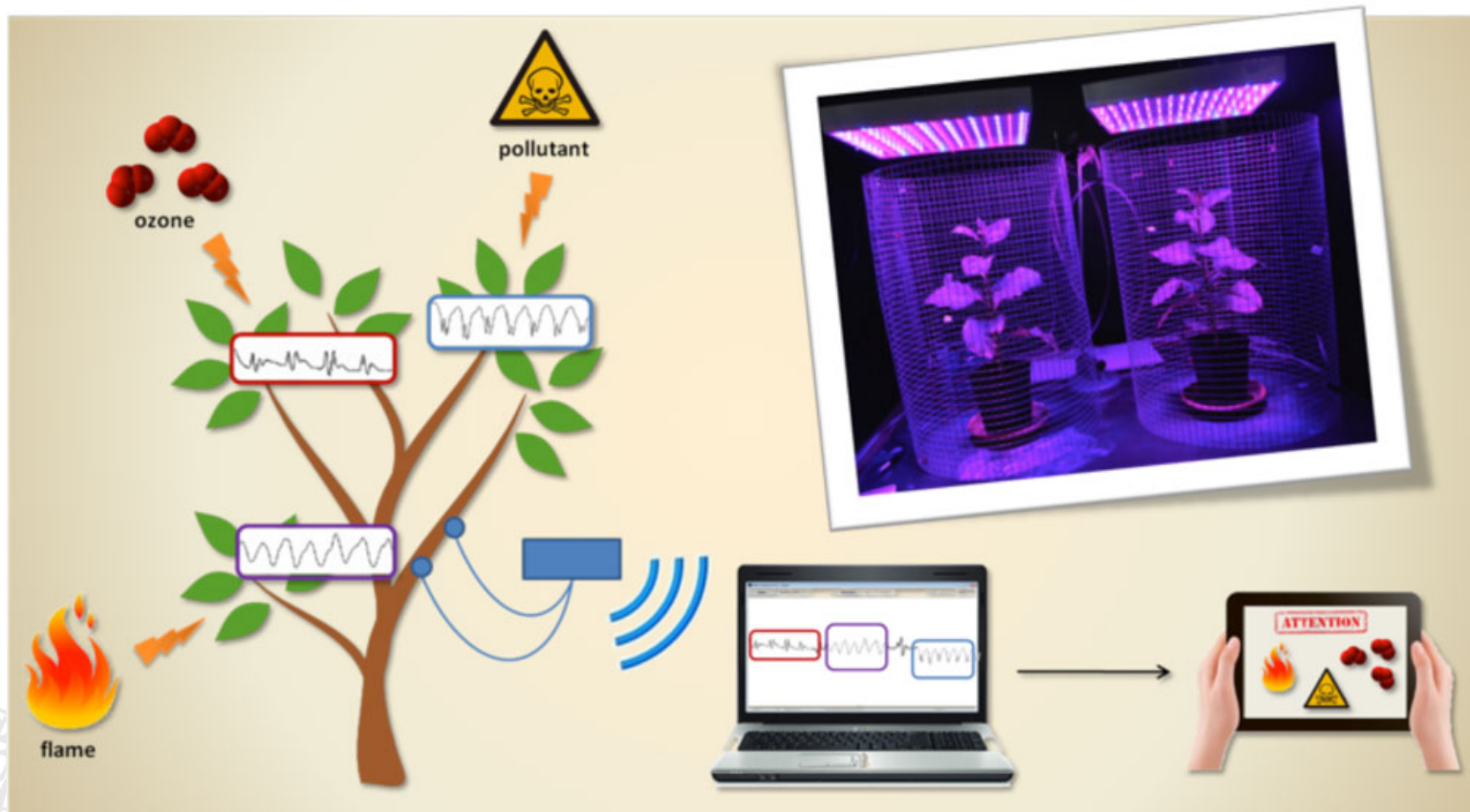


Source: EEA, 2014b (CSI 005); Horalek et al., 2013.

Introduzione – Piante come BioSensori

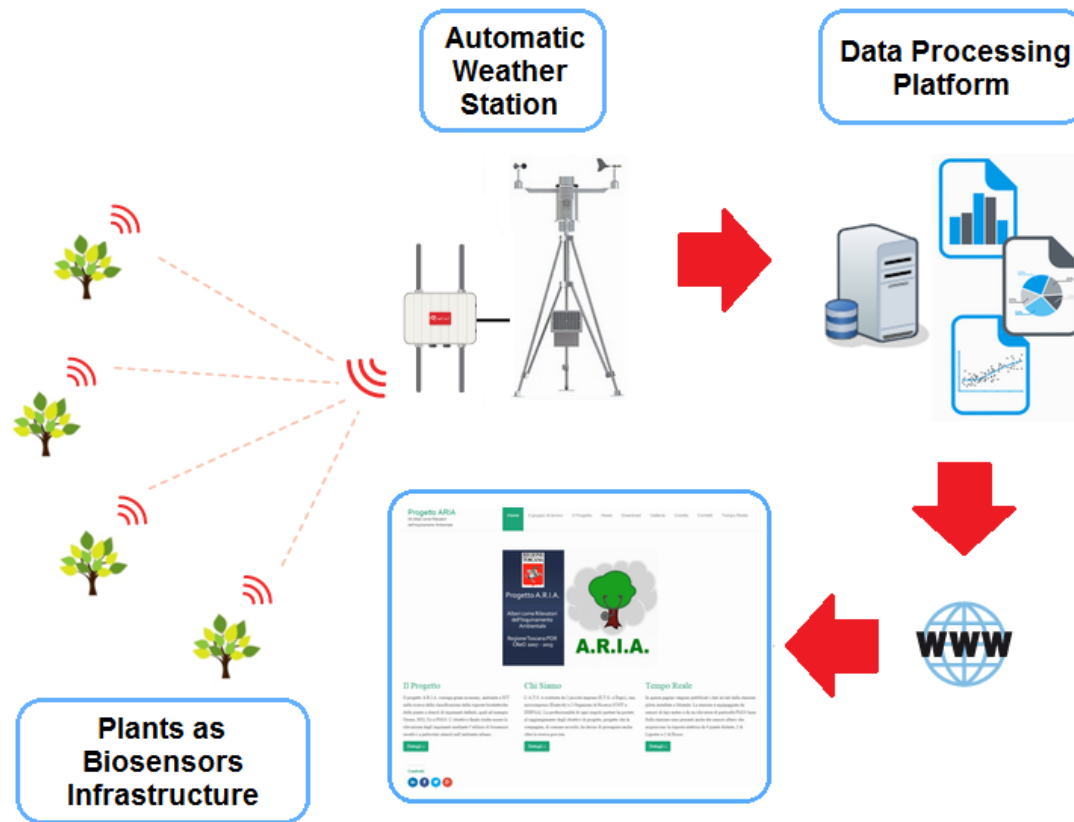
- E' evidente l'importanza di una corretta gestione della qualità dell'aria e l'attenzione verso nuovi approcci affidabili per il monitoraggio dell'ozono
- I segnali provenienti dall'attività elettrica delle piante possono fornire informazioni utili per monitorare le condizioni ambientali, come l'inquinamento atmosferico
- Le misurazioni più comuni della qualità dell'aria sfruttano sensori basati sull'uso di proprietà fisico-chimiche per misurare le concentrazioni degli inquinanti atmosferici
- L'utilizzo di biosensori ha il vantaggio di mostrare l'effettivo impatto degli inquinanti sugli organismi viventi, fornendo così maggiori dati rispetto agli strumenti elettronici
- Ciò consente di tener conto dei concetti di biodisponibilità, dose ed esposizione, determinando un approccio più realistico per valutare l'impatto degli agenti inquinanti sull'ambiente e sulla salute umana

Introduzione – Piante come BioSensori



Descrizione del Sistema

- Sistema di monitoraggio dell'inquinamento da ozono basato sull'analisi dell'attività elettrica delle piante



Descrizione del Sistema

- Infrastruttura di Piante come BioSensori



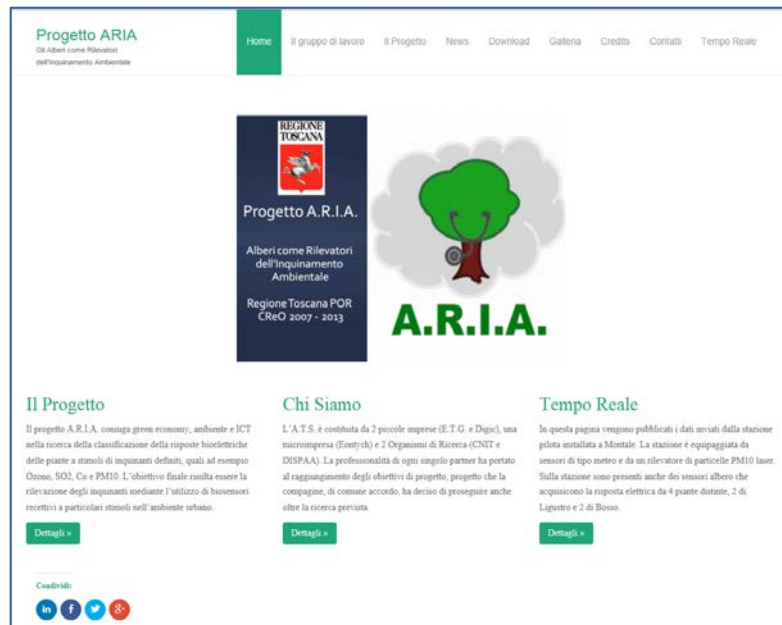
Descrizione del Sistema

- Stazione Meteorologica

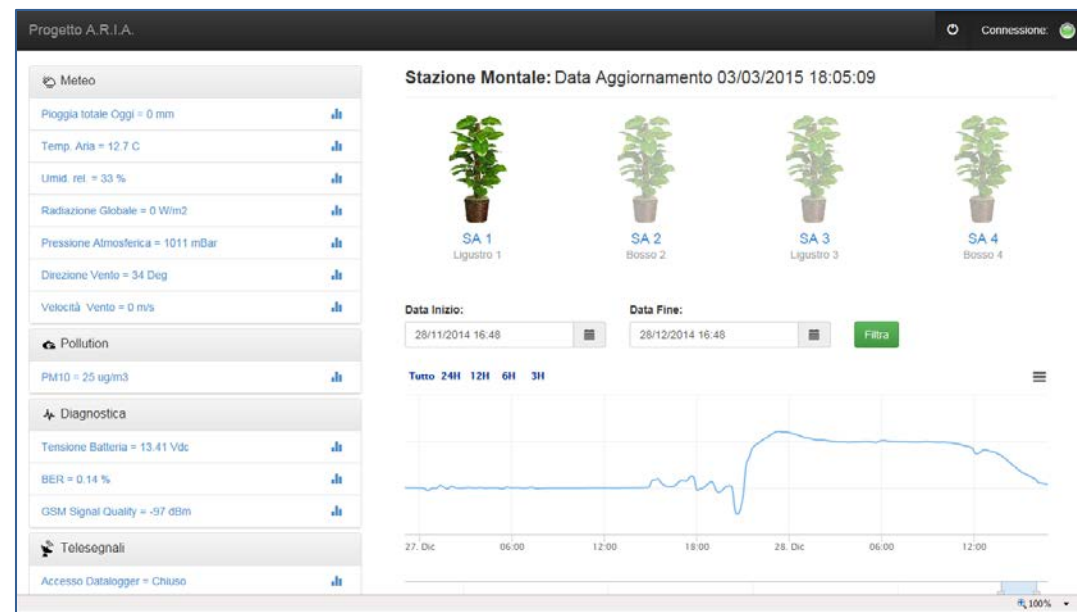


Descrizione del Sistema

- Portale Web: <http://www.progettoaria.net/>



The screenshot shows the home page of the Progetto ARIA website. It features a navigation bar with links: Home, Il gruppo di lavoro, Il Progetto, News, Download, Galleria, Credits, Contatti, and Tempo Reale. The main content area includes a large banner with the A.R.I.A. logo and text: "Progetto A.R.I.A. Alberi come Rilevatori dell'inquinamento Ambientale Regione Toscana POR CREO 2007 - 2013". Below the banner, there are three sections: "Il Progetto" (The Project), "Chi Siamo" (Who We Are), and "Tempo Reale" (Real Time). Each section has a brief description and a "Dettaglio" (Details) button. The footer includes social media icons for Facebook, Twitter, and YouTube.



The screenshot shows the web application interface for Progetto A.R.I.A. It is divided into two main panels. The left panel, titled "Progetto A.R.I.A.", displays real-time meteorological and pollution data. The right panel, titled "Stazione Montale: Data Aggiornamento 03/03/2015 18:05:09", shows a graphical representation of four sensor stations (SA 1, SA 2, SA 3, SA 4) and a line graph of the battery voltage (Tensione Batteria) over time. The battery voltage graph shows a sharp increase from approximately 13.41 Vdc to 13.45 Vdc around 18:00 on December 28th.

Meteo
Pioggia totale Oggi = 0 mm
Temp. Aria = 12.7 C
Umid. rel. = 33 %
Radiazione Globale = 0 W/m2
Pressione Atmosferica = 1011 mBar
Direzione Vento = 34 Deg
Velocità Vento = 0 m/s

Pollution
PM10 = 25 ug/m3

Diagnostica
Tensione Batteria = 13.41 Vdc
BER = 0.14 %
GSM Signal Quality = -97 dBm

Telesignali
Accesso Datalogger = Chiuso

Stazione Montale: Data Aggiornamento 03/03/2015 18:05:09

SA 1 Ligustro 1, SA 2 Bosso 2, SA 3 Ligustro 3, SA 4 Bosso 4

Data Inizio: 28/11/2014 16:48, Data Fine: 28/12/2014 16:48, Filtra

Tutto 24h 12h 6h 3h

27. Dic 06:00 12:00 18:00 28. Dic 06:00 12:00

Tensione Batteria = 13.41 Vdc

BER = 0.14 %

GSM Signal Quality = -97 dBm

Accesso Datalogger = Chiuso

Rilevamento di Livelli Critici di Ozono

- L'algoritmo di rilevamento della risposta delle piante all'ozono si basa su un'estrazione preliminare di deviazioni significative da una certa tendenza iniziale
- In risposta ad uno stimolo ambientale, l'attività elettrica della pianta risulta irregolare per un certo periodo di tempo: tali irregolarità, indotte dall'inquinamento atmosferico di ozono, sono state utilizzate per rilevare la forma d'onda del segnale anomalo
- Per identificare correttamente le risposte in modo automatico, è stato implementato un algoritmo basato sullo studio della derivata del segnale, in modo simile ai sistemi utilizzati per l'identificazione degli "spike" di stimolazione atriale e ventricolare (ECG)

Rilevamento di Livelli Critici di Ozono

- Dato il segnale elettrico $V(t)$ e il seguente vettore di parametri:

$$P = (A_{dV}, \Delta t_d, S_V)$$

- si ha rivelazione della risposta quando la derivata del segnale decresce oltre una certa soglia negativa A_{dV} :

$$\frac{dV(t)}{dt} < A_{dV}$$

Δt_d : intervallo di tempo di durata minima trascorso dall'inizio della reazione

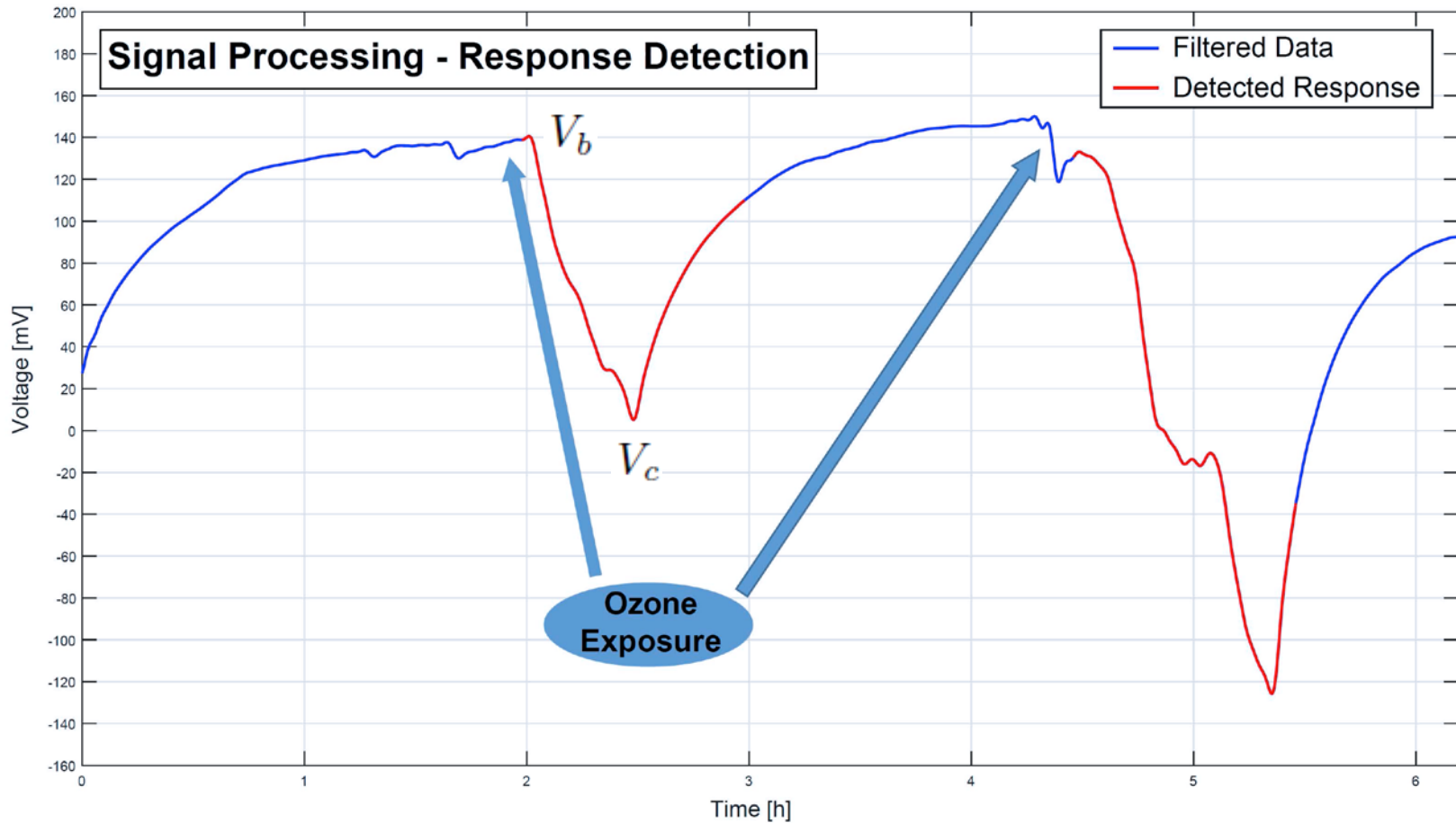
- La risposta all'ozono è effettivamente rilevata ed estratta quando:

$$|V_c - V_b| > S_V$$

V_c : minimo locale più vicino del segnale di tensione

V_b : valore medio di segnale che precede l'inizio della risposta

Rilevamento di Livelli Critici di Ozono

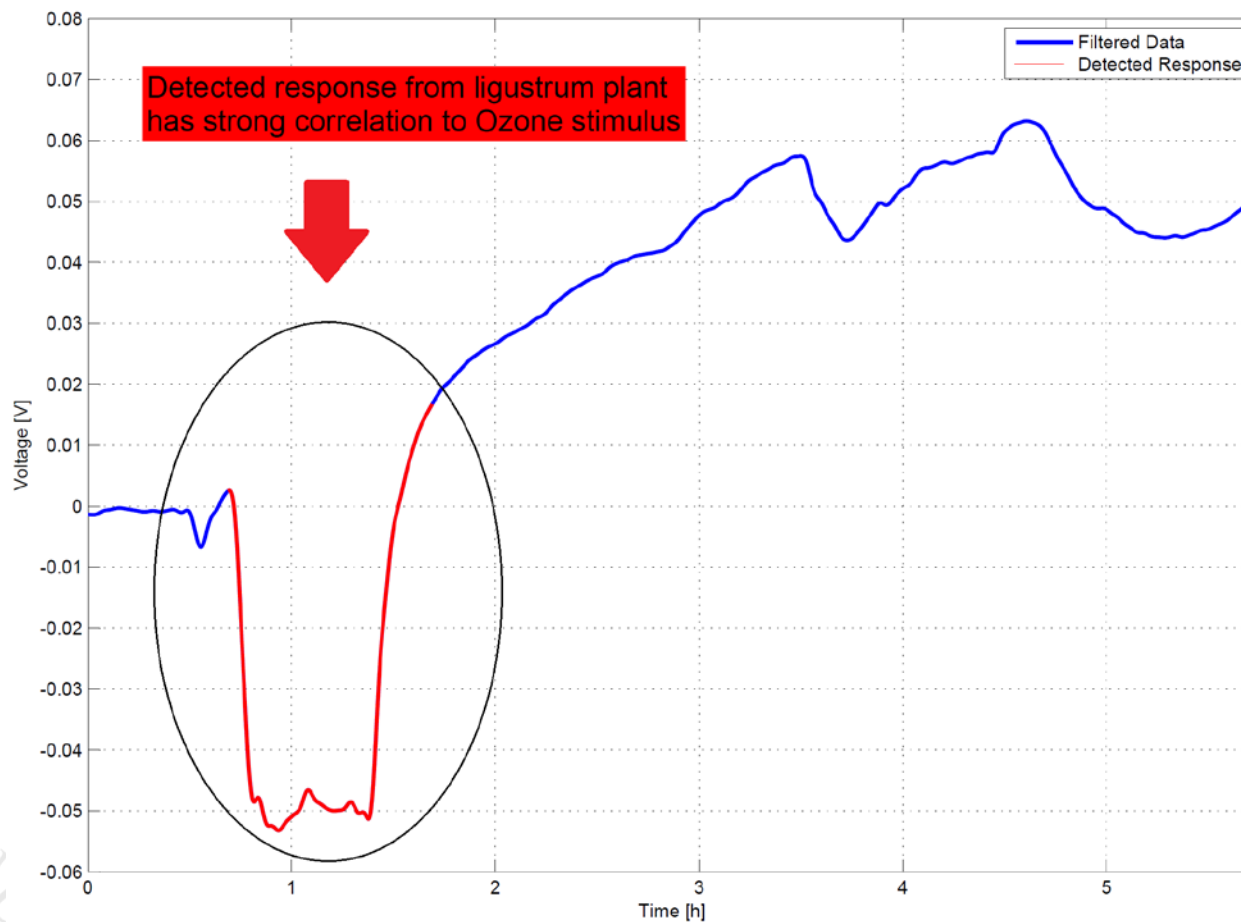


Rilevamento di Livelli Critici di Ozono

- La classificazione del livello di rischio di ozono è ottenuta utilizzando il metodo della cross-correlazione
- Ottenuto un modello rappresentativo di risposta delle piante all'ozono, questo è stato utilizzato per il successivo confronto con tutte le risposte rilevate dal sistema implementato
- Il coefficiente di correlazione, una misura statistica di somiglianza di due forme d'onda, produce un valore, ρ , che rientra nell'intervallo $[-1, +1]$, dove 1 indica una perfetta corrispondenza tra il segnale ed il modello

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^N (t_i - \bar{t})(s_i - \bar{s})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (t_i - \bar{t})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (s_i - \bar{s})^2}}$$

Rilevamento di Livelli Critici di Ozono



Risultati Sperimentali

- Per esaminare l'efficacia degli algoritmi, è stato impiegato un database di 84 registrazioni quotidiane di attività elettrica delle piante
- Gli esperimenti sono stati condotti in una camera di misura chiusa, capace di controllare la concentrazione di ozono e di altri parametri ambientali
- All'interno della camera le piante sono state esposte a regolari condizioni di illuminazione artificiale per mezzo di luci a LED
- L'intera camera di misura è stata racchiusa da una gabbia di Faraday, costituita da una recinzione metallica che circonda tutte le pareti della camera
- I vari parametri ambientali, quali temperatura, umidità e pressione differenziale, sono stati monitorati attraverso opportuni sensori

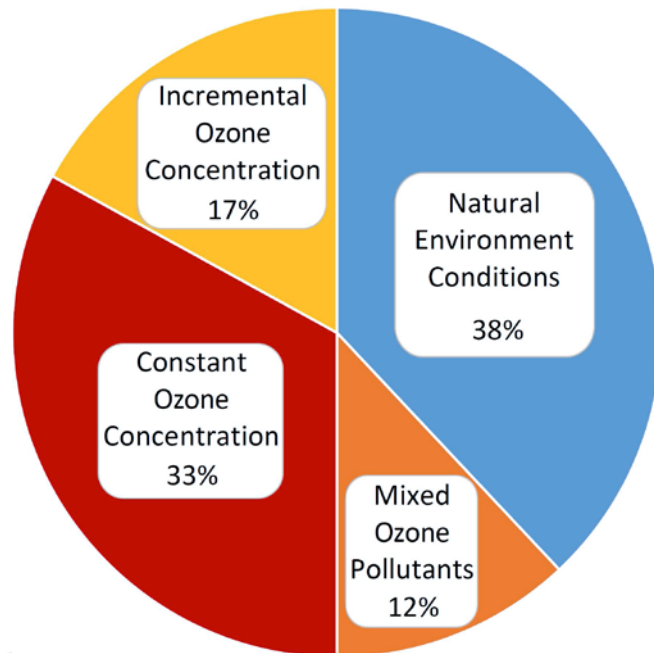
Risultati Sperimentali

- Le varie registrazioni di prova effettuate comprendono un'ampia varietà di risposte elettriche a stimoli naturali ed inquinanti
- Il database è stato raccolto per entrambe le specie di piante (ligustro e bosso), considerando esperimenti svolti con diversi livelli di concentrazione e modalità di esposizione all'inquinamento di ozono



Risultati Sperimentali

Experiments Database



Results from the classification algorithm

	ligustrum	buxus	Total Performance
Accuracy	92%	81%	87%
Precision	96%	89%	93%
Sensitivity	89%	77%	84%
Specificity	95%	85%	91%

$$Accuracy = \frac{tp + tn}{tp + fn + fp + tn}$$

$$Precision = \frac{tp}{tp + fp}$$

$$Sensitivity = \frac{tp}{tp + fn}$$

$$Specificity = \frac{tn}{fp + tn}$$

Conclusioni e Sviluppi Futuri

- E' stato sviluppato un sistema end-to-end per il monitoraggio dell'ozono troposferico, basato sull'utilizzo di piante come biosensori
- Il sistema ha due componenti principali: le piante costituiscono una rete di sensori wireless per il rilevamento dell'esposizione all'ozono, mentre la stazione meteo registra i dati fondamentali provenienti dai sensori meteorologici
- La piattaforma informatica ospitata sul server di back-end è in grado di identificare i livelli critici di esposizione all'ozono, applicando un algoritmo di classificazione basato sulla *correlation analysis*
- Una piattaforma web consente agli utenti registrati di accedere sia ai dati storici che ai dati in tempo reale
- Il sistema fornisce una tecnologia di monitoraggio semplice, efficace ed innovativa per la rilevazione dell'inquinamento da ozono a livello del suolo
- L'approccio innovativo al problema del monitoraggio dell'inquinamento atmosferico, basato sull'analisi dell'attività elettrica delle piante, permette di estendere facilmente il sistema di classificazione ad altre importanti classi di agenti inquinanti in studi futuri.



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE
DINFO
DIPARTIMENTO DI
INGEGNERIA
DELL'INFORMAZIONE

cnit
consorzio nazionale
interuniversitario
per le telecomunicazioni

DISPAA
Dipartimento di Scienze
delle Produzioni Agroalimentari
e dell'Ambiente



BRIGHT

Alberi come Rivelatori dell'Inquinamento Ambientale – Progetto A.R.I.A.

*S. Morosi, M. Dolfi, E. Del Re, E. Masi, I. Colzi, S. Mancuso,
F. Francini, R. Magliacani, A. Valgimigli, L. Masini*

DINFO – CNIT – DISPAA – LINV, University of Florence,
ETG s.r.l. – DIGIC s.r.l., Florence, ITALY

