Ente per le Nuove tecnologie,
l'Energia e l'Ambiente

Ministero dell'Ambiente
e della Tutela del Territorio

Regione Siciliana

Artemisia 2

Uno strumento per valutare gli effetti ambientali e sanitari degli inquinanti aeriformi emessi da insediamenti produttivi e per indirizzare la scelta di nuovi siti, anche ai fini dell'applicazione della direttiva 96/61 CE sulla prevenzione e riduzione integrata dell'inquinamento (IPPC)

Applicazione all'area di Milazzo

ARTEMISIA 2
Uno strumento per valutare gli effetti ambientali e sanitari degli inquinanti aeriformi emessi da insediamenti produttivi e per indirizzare la scelta di nuovi siti
Applicazione all'area di Milazzo

2003 ENEA
Ente per le Nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente
Lungotevere Thaon di Revel, 76
00196 - Roma

ISBN 88-8286-047-7

PREMESSA

Negli ultimi anni, le politiche ambientali e di sviluppo industriale nazionali si sono sempre più orientate verso una logica di prevenzione dei fenomeni di inquinamento, basata sullo sviluppo e l'impiego di processi e prodotti compatibili con l'ambiente, piuttosto che su interventi di risanamento e bonifica da effettuare a posteriori. Questo orientamento riflette i nuovi indirizzi che si sono affermati a livello internazionale. Nell'ambito di questi nuovi orientamenti, è notevolmente cresciuta nel nostro Paese la necessità di un forte presidio scientifico e tecnologico delle filiere e dei cicli connessi con le attività dell'uomo e con i fenomeni naturali da un lato, e dall'altro, la richiesta di assistenza da parte delle Pubbliche Amministrazioni, chiamate ad un impegno crescente di regolamentazione, monitoraggio e verifiche.

In particolare, è da prevedere una forte e crescente richiesta di metodologie di monitoraggio, analisi, valutazione e controllo in materia ambientale (atmosfera, acqua, suolo, ecosistemi) e di caratterizzazione dell'ambiente nazionale, marino e urbano, di tecnologie di processo e prodotti ambientalmente compatibili, basati sull'impiego delle migliori tecnologie, di metodi di analisi dei rischi connessi alla produzione industriale e ai fenomeni naturali, di metodi e tecnologie per il risanamento ambientale e per il trattamento, recupero o smaltimento di residui, rifiuti e reflui e di tecniche di riuso.

L'ENEA è fortemente impegnata nello sviluppo di tali strumenti e approcci per il potenziamento della protezione dell'ambiente e della salute. Non si può infatti limitare la questione ad un mero rispetto degli standard: occorre creare un sistema che sia in grado di sviluppare in modo coerente dei risultati sempre migliori. Occorre fare ampio uso dei risultati e dell'esperienza accumulata, mediante approcci innovativi, al fine di introdurre vasti cambiamenti nella gestione ambientale del nostro Paese.

Le competenze che l'ENEA sviluppa e coltiva sono destinate ad essere prontamente applicate nei progetti stessi, come è dimostrato da questo progetto specifico, che utilizza un'integrazione di competenze diverse per un obiettivo multidisciplinare, di alto valore strategico.

Carlo Rubbia
Commissario Straordinario dell'ENEA

PRESENTAZIONE

Per un equilibrio più sostenibile tra attività umane e sviluppo socio-economico, da un lato, e risorse e capacità rigenerative della natura, dall'altro lato, è indispensabile assegnare un'alta priorità alla "riduzione integrata dell'inquinamento" attraverso il controllo delle emissioni degli impianti industriali nell'aria, nell'acqua e nel terreno.

Tale principio, sancito dalla direttiva 96/61 della CE sulla prevenzione e sulla riduzione integrata dell'inquinamento (IPPC: *Integrated Pollution Prevention and Control*), e recepito in Italia con DL n. 372, 4 agosto 1999, è oramai alla base della nostra legislazione ambientale. In particolare il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio ha recentemente ripreso tale filosofia nella redazione del testo del DM n. 124 del 25 febbraio 2000, che stabilisce le misure finalizzate a prevenire e ridurre, per quanto possibile, l'inquinamento dell'aria, del suolo, delle acque superficiali e sotterranee, nonché i rischi per la salute umana conseguente ai rilasci di impianti industriali.

Il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio ha stipulato un Accordo di Programma con l'ENEA con l'obiettivo di raccordare le attività di studio, ricerca, sviluppo e dimostrazione di questo Ente agli obiettivi prioritari della politica ambientale. Nell'ambito di questo accordo il Progetto "Fare Patto Ambiente" aveva come obiettivo proprio quello di progettare e realizzare un prototipo di Sistema a Supporto delle Decisioni (DSS), denominato ARTEMISIA 2 (Analisi e Ricerca sul TErritorio di siti a Minor Impatto Sanitario e Impatto Ambientale), che consentisse di descrivere la situazione attuale dell'ambiente in relazione agli inquinanti aeriformi immessi in atmosfera e che permettesse di valutare le perturbazioni introdotte da un nuovo insediamento produttivo. Lo studio avrebbe offerto la possibilità di ottimizzare la scelta della localizzazione e le caratteristiche di emissione degli effluenti stessi al fine di ridurre l'esposizione della popolazione e salvaguardare le produzioni agricole e le acque sotterranee.

La Sicilia, individuata tra le Regioni del Mezzogiorno (Obiettivo1) come possibile attore per lo sviluppo del prototipo del progetto, ha proposto come area di studio la zona industriale di Milazzo e dei suoi immediati dintorni.

Nel corso dei lavori ci si è resi conto, proprio in sintonia con la filosofia dell'IPPC, che il Sistema ARTEMISIA 2 poteva costituire la base di uno strumento al servizio non solo della Regione Siciliana, ma anche di altre realtà territoriali, per una gestione eco-compatibile dell'ambiente con particolare attenzione alla scelta della migliore localizzazione di impianti industriali a grande impatto sociale (centrali elettriche, inceneritori, ecc.).

Va, tuttavia, ricordato che lo strumento realizzato dall'ENEA, per poter essere applicato con efficacia, necessitava di tutta una serie di dati sia cartografici che numerici, relativamente allo stato dell'ambiente della zona in esame. Succede a volte che tali dati non siano sufficienti per l'applicazione del Sistema: ciò ha indotto l'ENEA ad organizzare e condurre campagne di rilevamento dello stato dell'ambiente nonché studi sulla situazione epidemiologica della zona in esame, onde poter avere un quadro completo sia a livello ambientale che sanitario.

Com'è noto il controllo dell'inquinamento è in larga misura conseguibile riducendo le emissioni, attraverso l'utilizzo di tecnologie innovative sia nei processi interni dell'impianto (soprattutto la combustione), sia nell'abbattimento degli inquinanti prima della loro emissione in atmosfera. Ma al di là di questi interventi, che oramai fanno parte integrante della legislazione italiana in osservanza alle raccomandazioni comunitarie sopra ricordate, uno strumento come ARTEMISIA 2 permette, una volta individuata l'area nella quale costruire l'impianto, di selezionare il sito per il quale l'impatto sulla popolazione, sulla produzione agricola e sull'inquinamento delle acque sotterranee, siano ridotti al minimo. Inoltre un tale strumento permette di verificare il rispetto dei limiti di legge per le concentrazioni dei vari inquinanti emessi in atmosfera, in funzione della situazione preesistente sull'area considerata. In questo senso il prototipo disponibile di ARTEMISIA 2 potrebbe essere utile anche ai fini della VIA.

Abbiamo avuto modo di constatare che la collaborazione fra tecnici ENEA e funzionari della Regione Siciliana ha reso possibile la progettazione di uno strumento flessibile e di facile applicazione da parte delle Pubbliche Amministrazioni. Si auspica che tale strumento possa, nei prossimi anni, fornire un ausilio notevole per una migliore gestione del territorio nazionale in generale e per il raggiungimento degli obiettivi di qualità ambientale che il Governo si è dato, anche in sintonia con le prescrizioni comunitarie.

Altero Matteoli
Ministro dell'Ambiente e della Tutela del Territorio

PREFAZIONE

Il Complemento di Programmazione del POR Sicilia individua, nella *creazione di nuove opportunità di crescita e di sviluppo sostenibile e preservazione della possibilità di sviluppo nel lungo periodo, e nell'accrescimento della qualità della vita*, i termini utili per la coniugazione di vincoli e opportunità nella progettazione delle attività e degli interventi da avviare con i fondi comunitari.

L'ambiente viene assunto come risorsa di particolare importanza; infatti la sua diversificazione e presenza sul territorio regionale rappresenta opportunità concrete di crescita e valorizzazione di comunità e territori e può favorire processi di ammodernamento e insediamento di attività economiche.

Parimenti, però, una insufficiente pianificazione delle risorse ambientali e del territorio e una carente gestione innovativa e integrata delle stesse hanno impedito un impiego attento delle risorse.

Il progetto "Fare Patto Ambiente", nel prevedere la realizzazione di strumenti al servizio della pianificazione d'area e in particolare dei Piani Integrati, si offre come opportunità sia per l'analisi dei fattori di pressione antropica quanto anche per il processamento delle conoscenze al servizio delle decisioni.

Esso, nella situazione data, potrà contribuire a sollecitare la capacità progettuale delle Pubbliche Amministrazioni e del sistema delle imprese al fine di innovare processi produttivi, mitigare le loro refluenze sull'ambiente e sulla salute umana, incentivare la diversificazione e l'ammodernamento del sistema produttivo.

Nella consapevolezza che il Progetto Integrato Territoriale rappresenta la forma privilegiata di attuazione dei Fondi Comunitari, proprio per il carattere di integrazione e concentrazione delle risorse, sia funzionale che territoriale, "ARTEMISIA 2" nell'area del comprensorio di Milazzo potrà utilmente dare contezza plastica del modello di sviluppo urbano, infrastrutturale e industriale perseguito ed indirizzare scenari di sviluppo compatibile a fronte dei vincoli scaturenti dalla corrente normativa ambientale e dal Quadro Comunitario di Sostegno.

La Regione Siciliana, pertanto, si auspica un ampliamento del Progetto in altre aree dell'isola al fine di potere sviluppare e apprezzare con maggiore ricchezza di dati diversi scenari di progettazione integrata d'area.

Ciò nella considerazione che l'esaurirsi di cicli di sviluppo economico, caratterizzati da grandi impianti industriali e da forte e incontrollata espansione urbana, consegnano alla responsabilità del Governo un contesto di urgenze economiche e occupazionali e una forte domanda sociale di recupero di guasti prodotti all'ambiente.

Il Presidente della Regione
Assessore ad interim
Territorio e Ambiente
On. Salvatore Cuffaro

INTRODUZIONE

A cura di Maria Cristina Mammarella,
Responsabile ENEA del Progetto

Obiettivi del Progetto

Lo scopo del Progetto **"Fare Patto Ambiente"**, avviato nell'ambito dell'Accordo di Programma stipulato tra l'ENEA ed il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, è stato quello di individuare una metodologia capace di definire lo stato della qualità dell'aria esistente e di valutare, mediante opportuni indicatori, gli effetti causati all'uomo, alla vegetazione ed alle acque di falda, attraverso un approccio multidisciplinare e con metodi e strumenti atti a rappresentare uno scenario il più possibile aderente alla realtà.

Tale metodologia è in grado inoltre di verificare la possibilità di inserire un nuovo impianto produttivo nell'area di studio nel rispetto dell'ambiente, selezionando i siti a minor impatto sanitario e ambientale.

Individuata la realtà territoriale sulla quale svolgere l'applicazione esemplificativa, il Progetto si è sviluppato secondo tre linee di intervento:

- **a.** creazione ed applicazione del Sistema a Supporto delle Decisioni (DSS) ARTEMISIA 2 (**A**nalisi e **R**icerca sul **TE**rritorio di siti a **M**inor **I**mpatto **S**anitario e **I**mpatto **A**mbientale) all'area di studio;
- **b.** monitoraggio sperimentale della contaminazione dell'atmosfera, del suolo e dei prodotti agricoli ed applicazione di metodologie di assessment degli effetti nocivi sulla produzione agricola;
- **c.** studi di epidemiologia ambientale per caratterizzare lo stato di salute delle popolazioni residenti nei Comuni dell'area contigua al polo industriale.

Il DSS ARTEMISIA 2 (**a.**) ha l'obiettivo di fornire indicazioni sulla qualità dell'aria in base ai dati di emissione degli impianti presenti nella zona presa in esame. Questi dati potrebbero essere incompleti, pertanto è parte della metodologia l'integrazione di tali indicazioni sia con i dati provenienti dalle reti esistenti di rilevamento della qualità dell'aria (scala annuale) che con quelli ottenuti dal monitoraggio sperimentale (scala stagionale) per il rilevamento sia della qualità dell'aria che della contaminazione dei suoli e dei prodotti agricoli (**b.**).

Inoltre sono parte integrante della metodologia le indagini epidemiologiche sulla zona di maggior interesse (**c.**) che danno informazioni sullo stato di salute della popolazione. Tutte queste informazioni concorrono a stabilire se la situazione esistente ottenuta dal DSS ARTEMISIA 2 corrisponde alla reale situazione misurata in campo e se vi sia stata negli ultimi anni una evoluzione della situazione stessa.

La **Stazione WEB di ARTEMISIA 2**, contenente il DSS, l'insieme dei dati ed informazioni del monitoraggio ambientale e degli studi epidemiologici, unitamente alla presente **pubblicazione** contengono i risultati finali del Progetto. Questi prodotti permettono di rendere fruibili la metodologia, gli interventi e i risultati ottenuti come supporto alla gestione e programmazione del territorio per le Regioni e/o alle Pubbliche Amministrazioni, anche ai fini dell'applicazione della direttiva 96/61 CE sulla prevenzione e riduzione integrata dell'inquinamento (Integrated Pollution Prevention and Control – **IPPC**) e dello sviluppo dei **Piani Territoriali Integrati**.

L'iter progettuale

All'inizio delle attività del Progetto era stato deciso, in accordo con il Ministero, di finalizzare le azioni nell'ambito della **Valutazione Ambientale Strategica (V.A.S.)** per coadiuvare almeno tre Regioni, Campania, Calabria e Basilicata, nella realizzazione di Progetti relativi ai **Fondi Strutturali 2000-2006**.

In questa fase preliminare del lavoro, sono emerse le difficoltà che le Regioni stesse hanno nell'affrontare le tematiche relative alla realizzazione dei **Piani Territoriali Integrati**, e si è quindi ritenuto opportuno riorientare l'obiettivo del Progetto in questa direzione.

Il DSS ARTEMISIA 2 nasce dalla constatazione che, sia per la **Valutazione Ambientale Strategica,** sia per i **Piani Territoriali Integrati,** che per l'applicazione della **direttiva 96/61 CE** sulla prevenzione e riduzione integrata dell'inquinamento, la Pubblica Amministrazione ha la necessità di disporre di strumenti in grado di integrare in modo eco-compatibile nella realtà ambientale e territoriale circostante, qualsiasi nuovo Progetto di impianto produttivo caratterizzato da emissioni aeriformi.

La formulazione definitiva dell'obiettivo del Progetto è stata quindi:

"Progettare e realizzare un prototipo di Sistema a Supporto delle Decisioni (DSS) che consenta di descrivere la situazione esistente dell'ambiente in relazione agli inquinanti aeriformi immessi in atmosfera e che permetta di valutare la perturbazione introdotta da un nuovo insediamento produttivo, con la possibilità di ottimizzare la scelta della localizzazione e le caratteristiche di emissione degli effluenti stessi".

Le caratteristiche del DSS e della Stazione WEB ARTEMISIA 2

Progettato e realizzato dall'ENEA per la Pubblica Amministrazione, il DSS **ARTEMISIA 2** è, infatti, in grado di determinare, per una specifica zona territoriale, lo **stato di inquinamento** dovuto a sostanze aeriformi in varie matrici ambientali: **aria, suolo, acque sotterranee e agro-ecosistemi**.

Il DSS contiene un modello sviluppato dall'ENEA, che, in base alla matrice meteo-diffusiva corrispondente alle caratteristiche micro-meteorologiche della zona, ed ai dati relativi alle emissioni di tutti gli impianti che vi sono situati, consente una valutazione della **situazione di fondo** delle concentrazioni in aria e delle deposizioni al suolo degli inquinanti aeriformi. Una volta introdotte le caratteristiche di emissione di un eventuale **nuovo impianto** (localizzazione geografica; altezza del camino; temperatura, intensità e velocità di efflusso dell'inquinante aeriforme; ecc.), tale modello valuta le concentrazioni medie annue in aria, nonché i valori relativi al 98° percentile. La successiva sovrapposizione dei dati relativi al nuovo impianto con la situazione di fondo precedentemente definita permette, infine, di valutarne l'effetto perturbante sull'ambiente, accertarne la compatibilità con i limiti di qualità dell'aria prescritti dalla normativa vigente, e quindi di scegliere, nella zona, il sito a minor impatto.

È possibile utilizzare il DSS attraverso la Stazione WEB ARTEMISIA 2 da una qualsiasi postazione collegata tramite **internet**; inoltre tutti i dati alfanumerici e quelli cartografici, possono essere facilmente aggiornati, affinché sia sempre possibile disporre della situazione di fondo attualizzata dei livelli di contaminazione dell'ambiente.

Per la realizzazione del DSS un gruppo di ricercatori dell'ENEA ha sviluppato regole ed algoritmi che permettono di risalire agli indici di impatto sulle matrici ambientali. Grazie a questa **"Base di Conoscenza"** il DSS ARTEMISIA 2 è adattabile, previa la rimodulazione del modello meteo-diffusivo e la ridefinizione dei dati cartografici ed alfanumerici, a realtà territoriali nazionali diverse dalla zona esemplificativa prescelta (Messina-Milazzo).

Le attività di ricerca e studio realizzate dall'ENEA

L'**ENEA,** considerata la necessità di integrare i dati esistenti sul territorio nei confronti di particolari matrici ambientali (suoli, prodotti agricoli ecc.), ha predisposto e svolto una serie di **misure di monitoraggio ambientale** (**b.**) nell'area in esame.

La prima fase dei lavori ha visto l'individuazione dei Comuni, intorno all'area di Milazzo, significativi per l'aspetto agricolo. In particolare sono state scelte ventuno aziende, distribuite su tutto il territorio e con diversi piani colturali, nelle quali sono stati effettuati i campionamenti ed i prelievi. Allo scopo di determinare le concentrazioni medie atmosferiche di SO_2 e di O_3, sostanze gassose particolarmente tossiche per la vegetazione, nel periodo compreso tra maggio e ottobre 2001 sono stati installati ogni mese dei campionatori passivi di tali gas. Mediante l'uso di tecniche analitiche cromatografiche, è stato così possibile calcolare la concentrazione media mensile dei suddetti inquinanti in aria in ciascuna delle stazioni collocate nei diversi Comuni considerati. Tali dati sono utili per l'applicazione di equazione dose-risposta, che permettono di valutare uno degli effetti negativi causati dagli inquinanti considerati sulle colture agricole e specificatamente di stimare i cali di resa provocati dalla loro presenza.

Per valutare la qualità dell'aria rispetto alle eventuali emissioni di sostanze organiche provenienti dal polo industriale, nel periodo luglio-ottobre 2001 sono stati posizionati anche campionatori passivi per il particolato atmosferico. L'analisi dei campioni raccolti è stata eseguita attraverso un'indagine eco-tossicologica che prevede l'utilizzo di test di tossicità su organismi bio-indicatori. Per monitorare la qualità dei prodotti ortofrutticoli più rappresentativi dell'area in esame, nel periodo compreso tra maggio ed ottobre 2001 sono stati prelevati 25 campioni di prodotti agricoli, sui quali sono state eseguite le determinazioni analitiche atte a rilevare l'eventuale presenza di elementi potenzialmente tossici (alluminio, arsenico, cadmio, cromo, manganese, nichel, piombo e vanadio). Nello stesso periodo sono stati prelevati anche numerosi campioni di suoli agricoli e di suoli non coltivati, allo scopo di determinare i loro contenuti di elementi tossici e di Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA).

Le attività, nel 2002, sono proseguite sia per correlare le concentrazioni delle sostanze tossiche eventualmente presenti nei campioni vegetali con quelle riscontrate nei suoli analizzati e nell'atmosfera, sia per eseguire alcune analisi microbiologiche atte a stabilire la presenza di un eventuale cambiamento nella microflora che normalmente è presente nei suoli stessi e che gioca un ruolo fondamentale nello sviluppo delle piante. Tale cambiamento può essere causato dai pesticidi ampiamente utilizzati nelle colture locali, da elementi tossici (quali cadmio, cromo ed arsenico) e da IPA.

Contemporaneamente venivano effettuati **studi di epidemiologia ambientale** (**c.**) per caratterizzare lo stato di salute delle popolazioni residenti nei Comuni dell'area contigua al polo industriale di Milazzo. Lo stato di salute delle popolazioni è la risultante delle interazioni di ciascun individuo con i diversi fattori presenti nell'ambiente di vita e di lavoro; queste interazioni dipendono sia dalle caratteristiche dell'individuo, determinate dal patrimonio genetico ereditato, sia dalla quantità e qualità delle risorse ambientali disponibili. Anche l'inquinamento ambientale, che trae spesso origine dalle attività antropiche, può avere ripercussioni sulla salute umana.

Negli studi di epidemiologia geografica viene spesso utilizzato il quadro della mortalità per causa come indicatore dello stato di salute delle popolazioni residenti. I dati relativi ai decessi (di fonte ISTAT), anche se meno sensibili e accurati rispetto ai ricoveri ospedalieri o all'incidenza dei tumori, presentano l'enorme vantaggio di essere disponibili per tutti i Comuni italiani e di essere raccolti a partire dal 1969, insieme ai censimenti delle popolazioni, nella banca dati epidemiologica dell'ENEA. Scopo del presente studio è stato quello di caratterizzare, mediante la distribuzione delle cause di morte, lo stato di salute delle popolazioni dei 21 comuni che, entro un raggio massimo di 15 km, circondano a distanze man mano crescenti il polo industriale di Milazzo.

L'applicazione della metodologia ARTEMISIA 2 all'area di Milazzo

Per la messa a punto definitiva della metodologia ARTEMISIA 2 era necessario testarne l'efficacia su un'area territoriale specifica. Nel luglio 2000 veniva, quindi, definito un **Protocollo di Intesa** tra **ENEA** e **Regione Siciliana**, Assessorato Territorio ed Ambiente, con il quale iniziava una proficua collaborazione per applicare il Progetto ad una zona della Sicilia.

L'Assessorato Territorio ed Ambiente si è fatto parte attiva del Progetto e una volta individuata l'area di Milazzo come la più idonea allo scopo, ha coinvolto entrambi i Dipartimenti Regionali, Territorio ed Urbanistica, che hanno contribuito con supporto tecnico e con la produzione di elaborati cartografici sull'area.

Inoltre, i dati di qualità dell'aria relativamente alle centraline della rete di monitoraggio presenti nella zona in esame sono stati forniti con notevole sollecitudine e spirito collaborativo dalla **Provincia di Messina**.

Non è stato possibile integrare i dati della rete provinciale con quelli della rete ex-ENEL intorno alla Centrale di Milazzo, in quanto questi ultimi non sono stati messi a disposizione dalla Direzione della Centrale. Si è potuto disporre solo di elaborazioni di tali dati fornite dall'**ARPA Sicilia,** la cui fattiva collaborazione è stata di notevole ausilio alla realizzazione del Progetto.

Nel proseguo delle attività hanno offerto il loro contribuito l'**Assessorato Agricoltura e Foreste, l'Assessorato Beni Culturali, l'ARPA Siciliana, Provincia, Prefettura e Università di Messina, il Parco dei Nebrodi, i Comuni dell'area di Milazzo.**

Ringraziamenti

La realizzazione del Progetto ha coinvolto diversi interlocutori, istituzionali e non, senza la cui fattiva collaborazione non saremmo giunti a risultati così significativi.

Si ringraziano, per la collaborazione fornita sia nella fase di individuazione dell'area da prendere in esame, sia per il supporto tecnico, la raccolta dei dati cartografici ed alfanumerici e per la elaborazione dei dati cartacei, i seguenti Enti:

- Regione Siciliana, Assessorato Territorio ed Ambiente (Dipartimento Regionale Territorio e Ambiente, Dipartimento Regionale Urbanistica), Assessorato Agricoltura e Foreste, Assessorato ai Beni Culturali;
- ARPA Siciliana;
- Provincia di Messina;
- Prefettura di Messina;
- Protezione Civile della Provincia di Messina;
- Università di Messina;
- Parco dei Nebrodi;
- Coldiretti della Provincia di Messina;
- Comuni dell'area di Milazzo.

Si ringrazia il Servizio Informativo Ambientale dell'Assessorato Regionale Territorio ed Ambiente, ed in particolare il responsabile dirigente dr. Giandomenico Maniscalco, che ha coordinato le attività per la Regione Siciliana. Ed inoltre:

- La Società INTEA, di Palermo che ha fornito un valido supporto nella raccolta dei dati numerici e cartografici;
- La Società Servin, di Ravenna per il supporto informatico.

Infine, un affettuoso ringraziamento va ai ricercatori dell'ENEA coinvolti nel Progetto che hanno realizzato questo testo, ed a tutti gli altri colleghi che con il loro contributo hanno reso possibile il buon esito delle attività.

INDICE

CAPITOLO I
Determinazione dell'area in esame e ricognizione-raccolta di dati e studi del relativo sistema ambientale e territoriale
M.C. Mammarella, P. Cagnetti, C. Bommarito, R. Porcelli, G. Patrizi 15

CAPITOLO II
I dati cartografici e ambientali disponibili presso la Regione Siciliana e utilizzati nel Progetto
M. D. Borsellino, G. Maniscalco 33

CAPITOLO III
Metodologie sperimentali e di valutazione degli effetti dell'inquinamento atmosferico sull'agroecosistema
L. Triolo, A. Antonini, M. Barlattani, A. Correnti, P. Carconi, E. De Luca, R. Di Bonito, V. Di Gioia, G. Fiocchi, D. La Torre, N. Portaro, S. Rosa, M. Schimberni, C. Vaccarello, G. Zappa 43

CAPITOLO IV
Dati sperimentali e valutazione dei cali di resa agricola dell'accumulazione di elementi e composti potenzialmente tossici nel particolato atmosferico, nei suoli e nei prodotti agroalimentari
L. Triolo, A. Antonini, M. Barlattani, A. Correnti, P. Carconi, E. De Luca, R. Di Bonito, V. Di Gioia, G. Fiocchi, F. Musmeci, N. Portaro, S. Rosa, M. Schimberni, C. Vaccarello, G. Zappa 91

CAPITOLO V
Caratterizzazione dello stato di salute delle popolazioni residenti nei Comuni dell'area contigua al polo industriale di Milazzo
R. Uccelli, M. Mastrantonio, A. Binazzi 163

CAPITOLO VI
Selezione ed applicazione delle matrici meteo-diffusive e dei modelli matematici per la valutazione delle concentrazioni in aria e delle deposizioni al suolo per via umida e secca
P. Cagnetti, G. Grandoni, P. Fedele, M. Boccadoro, M.C. Mammarella 193

CAPITOLO VII
Individuazione di indicatori per la selezione di siti a minor impatto sull'ambiente e sull'uomo a fronte di rilasci di sostanze inquinanti aeriformi
P. Cagnetti, M.C. Mammarella, G. Grandoni 213

CAPITOLO VIII
Progettazione e realizzazione del Sistema a Supporto delle Decisioni: ARTEMISIA 2
M. C. Mammarella, G. Grandoni, P. Fedele, G. Patrizi 219

CAPITOLO IX
Applicazione di ARTEMISIA 2 all'area in esame e considerazioni conclusive del Progetto
*M.C. Mammarella, P. Cagnetti, G. Grandoni, P. Fedele, M. Boccador*o 241

CAPITOLO I

Determinazione dell'area in esame e ricognizione-raccolta di dati e studi del relativo sistema ambientale e territoriale

*M.C. Mammarella, P. Cagnetti, C. Bommarito,*R. Porcelli, **G. Patrizi*
*(ENEA, *INTEA, **SERVIN)*

Premessa

Il raggiungimento degli obiettivi del Progetto è legato non solo alla realizzazione di un Sistema Informatico Avanzato, che sia di Supporto alle Decisioni (ARTEMISIA 2), in grado di svolgere tutte le operazioni necessarie, ma soprattutto alla disponibilità di tutti quei dati relativi al territorio in esame nella forma e secondo un'accuratezza e un'affidabilità necessari al funzionamento del Sistema Informatico stesso.

Pertanto è stato necessario innanzitutto **definire l'area di interesse**, che doveva presentare caratteristiche territoriali il più possibile diversificate: in seguito a riunioni presso l'Assessorato al Territorio ed Ambiente della Regione Siciliana **[1], [2],** ed in accordo con il Ministero Ambiente, è stata scelta l'area del Comune di Milazzo e Comuni circostanti. L'intesa raggiunta sulla scelta dell'area nasce dalla consapevolezza che il territorio in questione racchiude in sé tutti gli aspetti contraddittori di uno sviluppo industriale carente di uno studio ambientale preliminare sufficientemente approfondito; infatti la zona, avente come baricentro il Comune di Milazzo, si caratterizza per la coesistenza di insediamenti produttivi **[3]** fortemente inquinanti attorno a cui preesiste un'area di pregio archeologico, turistico, storico, naturalistico, rilevante.

Tale area, comprendente la costa, l'entroterra e parte dell'arcipelago delle Eolie, insiste nella Provincia di Messina. Partendo da Milazzo, lungo la costa, l'area considerata si estende fino a Tusa come limite occidentale e fino a Villafranca Tirrena come limite orientale, e per una profondità di 20-30 km, tale cioè da comprendere una larga frazione del Parco dei Nebrodi e la zona di raccordo fra i Peloritani ed i Nebrodi. Inoltre, sono comprese nell'area anche le isole maggiori dell'arcipelago delle Eolie: Salina, Vulcano e Lipari. Il territorio così prefissato presenta problematiche di tipo ambientale differenziate e complesse, come richiesto per l'applicazione del Progetto.

Una volta definita l'area di interesse si è passati alla determinazione di tutte le **tipologie di dati necessari**, e quindi alla **ricognizione** e alla raccolta degli stessi sul territorio.

In una fase successiva, poiché ci si è resi conto della necessità di integrare i dati esistenti sul territorio, al fine di ottenere una valutazione quanto più possibile realistica della situazione attuale, sono stati organizzati **studi epidemiologici e misure di monitoraggio ambientale**: la descrizione dettagliata dei risultati ottenuti è stata riportata nei **Cap. III-IV-V.**

La zona industriale e gli impianti di produzione di energia elettrica (vari gruppi alimentati con olio combustibile per una potenza complessiva installata di 1200 Megawatt) nella zona di San Filippo del Mela, hanno determinato negli anni un degrado ambientale crescente per cui la stessa area è stata recentemente dichiarata ad elevato rischio ambientale (D.A. n° 05 GAB della Regione Sicilia del 04/09/02).

Nell'area interessata a tale degrado e nel suo circondario sono presenti importanti sistemi ambientali, quali i massicci montuosi dei Peloritani e dei Nebrodi, quest'ultimo parco naturale, mentre a nord sul mare prospiciente Milazzo si estende l'arcipelago delle isole Eolie, tutte riserve naturali istituite dalla Regione Siciliana e tutelate anche come patrimonio dell'UNESCO per i valori di tipo ambientale, storico e monumentale che racchiude.

1.1 Definizione dell'area di interesse

Di seguito (**Tab. 1.1**) sono riportati i Comuni facenti parte dell'area di interesse.

Va tenuto tuttavia presente che, per l'applicazione di ARTEMISIA 2 a tale area, è necessario disporre anche dei dati territoriali relativi ad una fascia circostante, per una distanza fino a 10 km dai confini dell'area di interesse, al fine di poter valutare correttamente anche gli impatti per impianti futuri eventualmente situati in prossimità di tale confine. In definitiva l'area complessivamente descritta dal punto di vista territoriale ed ambientale si estende su circa un centinaio di Comuni.

Nella immagine mostrata in **Fig. 1.1** è rappresentata la carta dei confini comunali relativamente all'area di interesse.

Tab. 1.1 Elenco Comuni presi in considerazione nel Sistema

1. Tusa	25. Mirto	49. Falcone
2. Pettineo	26. Frazzano	50. Furnari
3. Castel Lucio	27. Naso	51. Mazzara S. Andrea
4. Motta d'Affermo	28. Capo d'Orlando	52. Novara di Sicilia
5. Reitano	29. Castello Umberto	53. Vigliatore Terme
6. Mistretta	30. Tortorici	54. Rodi Milici
7. Caronia	31. S. Salvatore Fitalia	55. Fondachelli Fantina
8. Capizzi	32. Brolo	56. Castroreale
9. Malfa	33. Ficarra	57. Barcellona Pozzo di Gotto
10. Leni	34. Sinagra	58. S. Lucia del Mela
11. S. Maria Salina	35. Ucria	59. S. Filippo
12. Lipari	36. Floresta	60. Meri
13. Acquedolci	37. Piraino	61. Milazzo
14. San Fratello	38. S. Angelo di Brolo	62. Pace del mela
15. S. Teodoro	39. Raccuja	63. Condrò
16. Cesarò	40. S. Piero Patti	64. Gualtieri Sicamino
17. Alcara Li Fusi	41. Librizzi	65. S. Pier Niceto
18. S. Agata Militello	42. Montagna Reale	66. Monforte S. Giorgio
19. Torrenova	43. Gioiosa Marea	67. Torregrotta
20. S. Marco d'Alunzio	44. Patti	68. Roccavaldina
21. Militello Rosmarino	45. Oliveri	69. Rometta
22. Jongi	46. Montalbano Elicona	70. Venetico
23. Galati Mamertino	47. Tripi	71. Spadafora
24. Capri Leone	48. Basico	72. Saponara
		73. Villafranca Tirrena

Nella immagine mostrata in **Fig. 1.1** è rappresentata la carta dei confini comunali relativamente all'area di interesse.

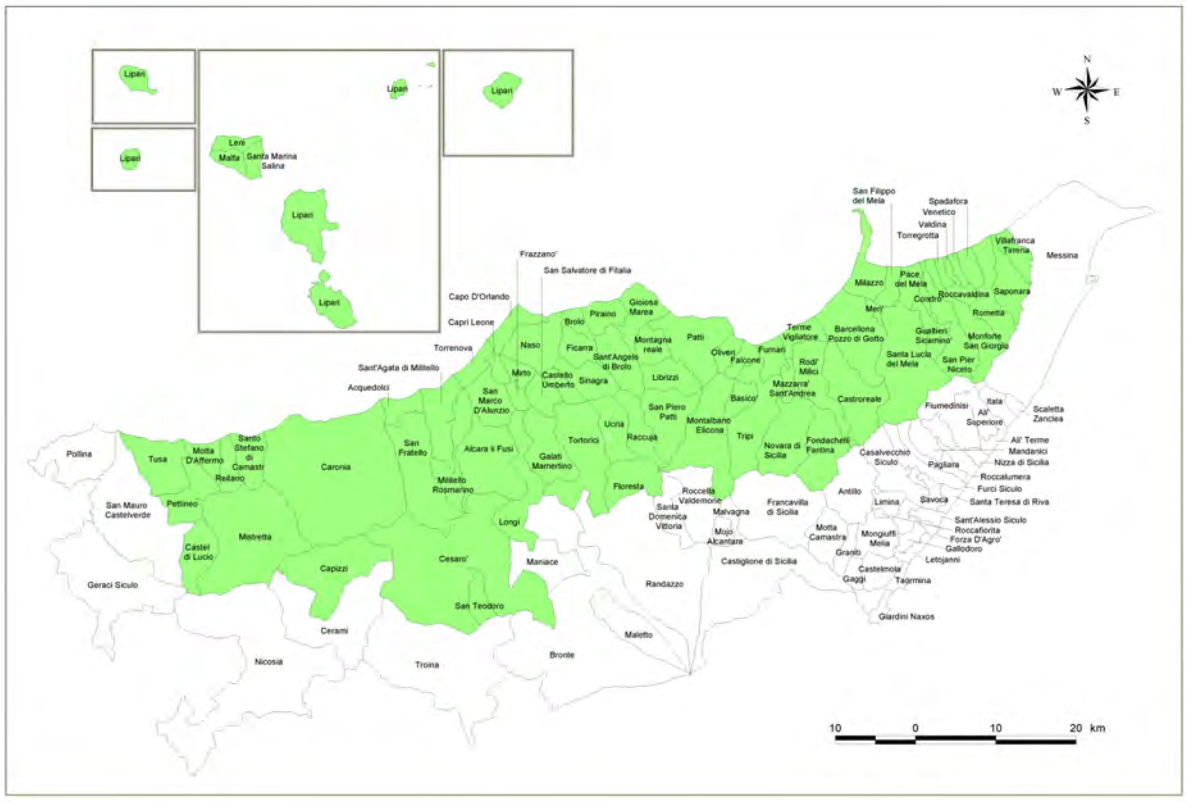


Fig. 1.1 ***Carta dei confini comunali relativi all'area di interesse(verde), con la fascia di sconfinamento (bianco)***

1.2 Tipologia dei dati di interesse

Perché il Sistema possa essere applicato è necessario disporre per la zona in esame sia di **dati cartografici che alfanumerici**.

Dopo una ricognizione presso gli Enti preposti ed una valutazione con i tecnici della Regione, sono state individuate le seguenti **restituzioni cartografiche**:

- Ortofoto a colori, scala 1:10.000, Progetto ITA 2000
- Carta Tecnica Regionale, scala 1:10.000
- Limiti amministrativi, scala 1:250.000
- Aree protette (perimetrazione dei Parchi, Riserve Naturali, SIC e ZPS), scala 1:25.000
- Perimetri demaniali forestali, scala 1:25.000

- Siti archeologici, scala 1:100.000
- Vincoli Paesaggistici (rif. Tav 16 Linee Guida Piano Territoriale Paesistico Regionale)
- Vincoli Territoriali e Ambientali (rif. Tav 17 Linee Guida Piano Territoriale Paesistico Regionale)
- Uso del suolo, scala 1:100.000
- Uso del suolo, approfondimenti a scala 1:10.000
- Carta dei Suoli (pedologica), scala 1:250.000
- Carta di capacità idrica (vulnerabilità nitrati), scala 1:250.000
- Carta del rischio idrogeologico e carta del dissesto idrogeologico (copertura parziale)
- Strumenti Urbanistici vigenti, scala 1:10.000
- Carta dei PIT (sia per singoli interventi che per ambiti), scala 1:250.000/10.000
- Carta degli indici di specializzazione dei Comuni al 1996 (fonte ISTAT)
- Carta delle aree di sviluppo industriale (ASI), scala 1:10.000
- Carta delle cave attive
- Carte climatologiche (rif. Atlante Climatologico della Regione Sicilia)
- Carta del Modello Digitale del Terreno (con esposizione versanti, pendenze, altimetrica), scala 1:25.000
- Carta geologica
- Carta della rete idrografica
- Carta dei bacini idrografici

Inoltre sono stati reperiti i seguenti **dati alfanumerici**:

- Dati sulle colture agricole e vegetazioni con produttività (SAU)
- Dati della distribuzione per Comune delle piccole e medie aziende anche artigianali con particolare riferimento alle zone industriali
- Dati sulla popolazione relativi al censimento 1991
- Dati di qualità dell'aria provenienti dalle centraline di monitoraggio (9 stazioni della Provincia e 5 dell'ENEL: questi ultimi non disponibili)
- Dati di emissione degli impianti più importanti nei confronti di rilasci aeriformi in atmosfera: Eurogen SpA, Raffineria di Milazzo SCpA, Comparto Laterizi
- Serie storica dei dati meteorologici (provenienti da Servizio Idrografico Regionale)
- Serie storica dei dati meteorologici (provenienti da Servizio Agro-meteorologico Siciliano, SIAS, dell'Assessorato Agricoltura e Foreste)

I principali fornitori dei dati cartografici ed alfanumerici sono stati la Regione Siciliana, la Provincia di Messina e l'ISTAT.

1.3 Informazioni cartografiche

I dati reperiti, forniti principalmente dalla Regione Siciliana, sono stati prodotti nell'ambito di vari progetti realizzati negli ultimi anni da alcuni Assessorati Regionali (Territorio e Ambiente, Beni Culturali, Agricoltura), come illustrato nel **Cap.II, § 2.1**. Ne consegue che una caratteristica principale di tali dati è l'eterogeneità, principalmente per quanto riguarda la precisione (scala di acquisizione), il sistema di coordinate utilizzato (UTM e Gauss-Boaga) ed il formato numerico disponibile.

Si è resa necessaria, dunque, un'attività di elaborazione allo scopo di uniformare sia il formato numerico dei dati sia il sistema di coordinate, al fine di rendere sovrapponibili i diversi livelli informativi. In particolare, tutti i dati cartografici di tipo vettoriale sono stati convertiti in modo tale da disporre di una copia in ciascuno dei due sistemi di coordinate:

- Gauss-Boaga (proiezione Trasversa di Mercatori, meridiano di tangenza 15°, falso Est 2.520.000 metri, DATUM Roma40 (ellissoide Internazionale));
- UTM (proiezione Trasversa di Mercatori, meridiano di tangenza 15°, falso Est 500.000 metri, DATUM ED 50);

Per quanto riguarda, invece, il livello di precisione, si può osservare dall'elenco fornito precedentemente che la scala di acquisizione dei dati reperiti varia da 1:10.000 ad 1:250.000. Di questo si è tenuto conto nelle diverse attività effettuate nel corso della realizzazione del Sistema, laddove sia stato necessario integrare informazioni con un grado di precisione notevolmente differente.

In particolare, i confini amministrativi (con il dettaglio delle sezioni di censimento) sono stati acquisiti dall'ISTAT, poiché presentano un buon grado di precisione (scala 1:25.000). Nel seguito verrà illustrato come sia stato possibile, inoltre, correlare il dato cartografico con le tabelle relative ai diversi indicatori (popolazione, industria, agricoltura,…) in modo da visualizzarli graficamente attraverso rappresentazioni tematiche.

Viene fornita, nel seguito, una breve descrizione delle informazioni reperite e di alcune elaborazioni effettuate sui dati per renderli fruibili dal Sistema. Viene indicato, inoltre, per ciascuna tipologia, il fornitore del dato sorgente.

1.3.1 Carta Tecnica Regionale, scala 1:10.000

L'area di interesse è ricoperta da circa 120 sezioni di Carta Tecnica Regionale (CTR), in scala 1:10.000, realizzata dall'Assessorato Regionale Territorio e Ambiente (per maggiori dettagli si rimanda al **Cap.II, § 2.2**). I file utilizzati nel Sistema sono in formato TIFF georiferito (in coordinate piane riferite al sistema nazionale Gauss-Boaga); i file sono uno per foglio ed il nome di ciascun file fa riferimento al numero della sezione di CTR corrispondente, conformente a quanto riportato nel quadro di unione (fornito a corredo della CTR, in formato vettoriale georiferito).

Fornitore: Assessorato Regionale Territorio e Ambiente – Dipartimento Urbanistica, Servizio Cartografico ed Informativo.

1.3.2 Ortofoto a colori, scala 1:10.000

L'area di interesse è ricoperta da circa 120 ortofoto digitali a colori, in scala 1:10.000, realizzate dalla Compagnia Generale Ripreseaeree (CGR) di Parma (per maggiori dettagli si rimanda al **Cap.II, § 2.2**). I file utilizzati nel Sistema sono in formato TIFF georiferito (in coordinate piane riferite al sistema nazionale Gauss-Boaga); il taglio è lo stesso utilizzato per la CTR, per cui si può fare riferimento allo stesso quadro di unione. La sovrapponibilità tra ortofoto e CTR è ottima.

Fornitore: Assessorato Regionale Territorio e Ambiente – Dipartimento Urbanistica, Servizio Cartografico ed Informativo.

1.3.3 Dati ISTAT - Limiti Amministrativi

I dati sono relativi ai confini comunali aggiornati al 2000 ed a n.108 sezioni di censimento, aggiornate al 1991. Per quanto riguarda i confini comunali, che provengono da una acquisizione a scala 1:25:000, è stata effettuata la rimodellazione della linea di costa sulla base della CTR a scala 1:10.000, dando origine ad un file utilizzato per estrarre l'area di studio dagli altri tematismi (livelli cartografici) utilizzati nel Sistema. Tutti i dati sono stati convertiti nel formato "shapefile", formato numerico vettoriale del software ArcView.
Fornitore: Istituto Nazionale di Statistica.

1.3.4 Aree Protette (Parchi, Riserve Naturali, SIC e ZPS)

I dati hanno una precisione riferibile ad una scala 1:25.000 e sono in formato "shapefile", formato numerico vettoriale del software ArcView. In particolare: il tema **Parchi** contiene le delimitazioni delle zone (A, B, C e D) del Parco dei Nebrodi; il tema **Riserve** contiene la delimitazione (in zone di tipo A e B) di n. 11 riserve ricadenti all'interno dell'area di studio; Il tema **SIC_ZPS** contiene la delimitazione delle aree relative ai Siti di Interesse Comunitario ed alle Zone di Protezione Speciale (per maggiori dettagli si rimanda al **Cap.II, § 2.2**).
Fornitore: Assessorato Regionale Territorio e Ambiente – Dipartimento Urbanistica, Servizio Cartografico ed Informativo.

1.3.5 Carta dei Perimetri Demaniali Forestali

I dati hanno una precisione riferibile ad una scala 1:25.000 e sono in formato "shapefile", formato numerico vettoriale del software ArcView (rif. **Cap.II, § 2.2**).
Fornitore: Assessorato Regionale Territorio e Ambiente – Dipartimento Urbanistica, Servizio Cartografico ed Informativo.

1.3.6 Carte dei Vincoli Paesaggistici (tav. 16) e Territoriali e Ambientali (tav. 17) del PTPR

Le carte, realizzate nell'ambito del Piano Territoriale Paesistico Regionale (per maggiori dettagli si rimanda al **Cap.II, § 2.2**), hanno una precisione riferibile ad una scala variabile da 1:25.000 ad 1:250.000 e sono state convertite nel formato "shapefile", formato numerico vettoriale del software ArcView. Non è stata effettuata alcuna modifica agli elementi vettoriali di ciascuna carta.

Fonte: Assessorato Regionale dei Beni Culturali ed Ambientali e della P.I. – Ufficio del Piano Territoriale Paesistico Regionale.
Fornitore: Assessorato Regionale Territorio e Ambiente – Dipartimento Urbanistica, Servizio Cartografico ed Informativo.

1.3.7 Carta dell'Uso del Suolo

La carta, (realizzata dalla Geomap Srl in formato digitale alla scala di 1:100.000, su incarico dell'Assessorato Territorio e Ambiente – Direzione Urbanistica- nel 1994; (per maggiori dettagli si rimanda al **Cap.II, § 2.2**)) relativa all'intero territorio siciliano, è stata tagliata in corrispondenza dell'area di studio; è stato, inoltre, effettuato il riporto delle isole Alicudi, Filicudi e Stromboli nella

loro posizione originale (poiché nel file sorgente la posizione risultava alterata, per esigenze legate alla pubblicazione su carta).
Fornitore: Assessorato Regionale Territorio e Ambiente – Dipartimento Urbanistica, Servizio Cartografico ed Informativo.

1.3.8 Carta dell'Uso del Suolo (SOAT di Spadafora)

La carta è relativa ad uno studio approfondito (scala 1:10.000) sul territorio comunale di competenza della Sezione Operativa di Assistenza Tecnica (Assessorato Agricoltura e Foreste) di Spadafora (per maggiori dettagli si rimanda al **Cap.II, § 2.2**). Per quanto riguarda l'area di studio del DSS, i comuni interessati ricadono nella zona a Nord-Est e sono: Condrò, Gualtieri Sicaminò, Monforte Sangiorgio, Pace del Mela, Roccavaldina, Rometta, San Pier Niceto, Saponara, Spadafora, Torregrotta, Valdina, Venetico e Villafranca Tirrena. È possibile colorare la carta secondo due diverse legende: la prima è stata ricostruita utilizzando gli stessi colori adottati per la Carta di Uso del Suolo di cui al punto precedente; la seconda è quella fornita dall'Unità Operativa Pedologica unitamente ai file sorgente. È, inoltre, presente una cartella che contiene i file descrittivi per ciascuna classe.
Fornitore: Assessorato Regionale Agricoltura e Foreste – Unità Operativa Pedologica

1.3.9 Carta dei Suoli (pedologica)

Per la Carta dei Suoli (rif. **Cap.II, § 2.2**) non esiste, ufficialmente, una versione in formato numerico realizzata da Enti Pubblici; si è dunque utilizzato un file numerico realizzato all'interno di Istituti Universitari tramite digitalizzazione della carta. La carta, relativa all'intero territorio siciliano, è stata tagliata in corrispondenza dell'area di studio ed è stato effettuato, inoltre, un controllo dei poligoni tramite confronto con la pubblicazione; il file di legenda, realizzato appositamente a corredo della carta, riproduce, per le diverse classi, le stesse tonalità di colore utilizzate nella pubblicazione cartacea e può essere correlato con un secondo file riportante la descrizione delle diverse unità pedologiche secondo le tre classificazioni CPCS, USDA e FAO-UNESCO.
Fornitore: Assessorato Regionale Agricoltura e Foreste – Unità Operativa Pedologica

1.3.10 Carta di rischio potenziale di perdita dei nitrati

La carta è relativa ad una scala 1:250.000. Informazioni sulla metodologia utilizzata per la sua derivazione sono fornite, dagli autori, nel file "Info_rischio_perdita_nitrati.doc"; altre informazioni utili sono riportate nei file "AgrumiUE_in_sicilia.doc" e "Report_agrumi.xls". La carta è stata derivata dall'incrocio della "Carta di rischio pedologico potenziale di perdita di nitrati" con la "Carta dell'indice di aridità" effettuando le elaborazioni in formato GRID (formato raster di ARC/INFO); successivamente è stata convertita, con procedure automatiche, in "shapefile" (formato vettoriale del software ArcView): i confini tra classi adiacenti, dunque, presentano un andamento spigoloso (per ulteriori dettagli si rimanda al **Cap.II, § 2.2**).
Fornitore: Assessorato Regionale Agricoltura e Foreste – Unità Operativa Pedologica

1.3.11 Carta del rischio idrogeologico e carta del dissesto idrogeologico

L'attività per la redazione delle carte è attualmente in corso d'opera (rif. **Cap.II, § 2.2**); l'Assessorato, dunque, ha potuto fornire, ad oggi, soltanto dei file in formato raster (immagini), relativi ad una fase intermedia del lavoro, per una copertura parziale dell'area in studio.

Fornitore: Assessorato Regionale Territorio e Ambiente – Dipartimento Territorio e Ambiente, Servizio Difesa del Suolo.

1.3.12 Strumenti Urbanistici Vigenti (scala 1:10.000)

La redazione delle carte è stata effettuata dall'Università di Catania, nell'ambito di una convenzione con l'Assessorato (per maggiori dettagli si rimanda al **Cap.II, § 2.2**). L'archivio è costituito da numerosi file numerici (uno o più per comune); da un punto di vista geometrico, i file collimano esattamente tra di loro lungo i confini comunali e, considerata la differenza di scala (1:10.000 ed 1:25.000), si può considerare accettabile anche la sovrapposizione con il file dei limiti amministrativi proveniente da fonte ISTAT.

Fornitore: Assessorato Regionale Territorio e Ambiente – Dipartimento Urbanistica.

1.3.13 Carta dei PIT

Il file numerico descrive, con una localizzazione di tipo puntuale, i Piani di Intervento Territoriale, classificati in "finanziati" e "non ancora finanziati.

Fornitore: Assessorato Regionale Territorio e Ambiente – Dipartimento Urbanistica, Servizio Pianificazione Territoriale.

1.3.14 Carta degli indici di specializzazione dei Comuni

È stato fornito dall'Assessorato un file con n.180 record, ovvero uno per ciascun comune della Provincia di Messina, che contiene numerosi campi relativi a diversi indicatori (per maggiori dettagli si rimanda al **Cap.II, § 2.2**). Il file è stato correlato (tramite il codice ISTAT) al file vettoriale (shapefile) dei confini comunali al fine di poter effettuare delle rappresentazioni grafiche tematiche delle informazioni suddette.

Fornitore: Assessorato Regionale Territorio e Ambiente – Dipartimento Urbanistica, Servizio Pianificazione Territoriale.

1.3.15 Carta delle aree di sviluppo industriale (ASI), dei sistemi commerciali, etc.

La cartografia fornita dall'Assessorato è costituita (rif. **Cap.II, § 2.2**) dai file di seguito elencati:

- Aree_industriali
- Attività logistiche
- Attività commerciali
- Punti commerciali
- Sistemi aggregati

Dei file suddetti soltanto il primo contiene elementi che ricadono nell'area di studio: il file è di tipo poligonale ed è relativo a due delimitazioni molto grossolane delle principali aree industriali. Le perimetrazioni non si sovrappongono in maniera corretta con la CTR.
Fornitore: Assessorato Regionale Territorio e Ambiente – Dipartimento Urbanistica.

1.3.16 Carta delle cave attive

Non è ancora disponibile ufficialmente un elenco (cartaceo o numerico) contenente l'ubicazione aggiornata delle cave attive del territorio provinciale, redatto nell'ambito della realizzazione del Piano Cave della regione Sicilia.

1.3.17 Carte climatologiche

Le carte climatologiche sono state derivate interpolando i dati di circa 55 stazioni termometriche e 180 stazioni pluviometriche, sparse su tutto il territorio regionale; i dati associati sono relativi ai valori medi annui di temperatura e precipitazione calcolati su una serie storica di 30 anni. I tematismi forniti sono i seguenti:

- ubicazione di n. 180 centraline pluviometriche, complete di informazioni sui valori di precipitazione minima, massima, 5° percentile, 25° percentile, 50° percentile, 75° percentile, 90° percentile;
- ubicazione di n. 55 centraline termometriche, complete di informazioni sui valori di temperatura media, temperatura massima del mese più caldo, temperatura minima del mese più freddo, evapotraspirazione media annua, gradiente termico;
- carta delle precipitazioni medie annue (50° percentile);
- carta delle temperature medie annue;
- carta dell'evapotraspirazione media annua.

Fornitore: Assessorato Regionale Agricoltura e Foreste – Servizio Agrometeorologico

1.3.18 Carta del Modello Digitale del Terreno (DTM)

Le carte fornite sono state derivate a partire dal DTM, fornito dall'Assessorato Regionale dei Beni Culturali, che ne ha curato l'elaborazione in occasione della realizzazione delle ortofoto in bianco e nero a scala 1:25.000 dell'intero territorio regionale; il DTM ha una risoluzione di m 20x20 a pixel. Dal DTM sono stati derivati i file numerici (in formato GRID ARC/INFO) relativi all'altimetria, alle pendenze, all'esposizione dei versanti e l'hillshade (calcolato con un azimuth di 315° ed un'elevazione di 45°). I file sono corredati da file di legenda.
Fornitore: Assessorato Regionale dei Beni Culturali ed Ambientali e della P.I. – Ufficio del Piano Territoriale Paesistico Regionale.

1.4 Informazioni alfa-numeriche

1.4.1 Dati ISTAT sulla viabilità, intensità del traffico, utilizzo del combustibile per riscaldamento

L'ISTAT non dispone dei dati suddetti per la provincia di Messina**.**
Fornitore: Istituto Nazionale di Statistica.

1.4.2 Dati ISTAT sulle colture agricole e vegetazione, con produttività SAU

L'ISTAT ha fornito un file numerico (formato excel) con i dati del censimento 1991 relativi alle SAU per le seguenti classi: seminativi, coltivazioni permanenti, prati e pascoli, pioppeti, boschi, altre superfici. Il file è stato correlato (tramite il codice ISTAT) al file vettoriale (shapefile) dei confini comunali al fine di poter effettuare delle rappresentazioni grafiche tematiche delle informazioni suddette.
Fornitore: Istituto Nazionale di Statistica.

1.4.3 Dati ISTAT sul censimento industria 1991

I dati generali sul censimento industria vengono forniti in un'unica tabella, dove sono codificati per classi di attività economica; in particolare, per ciascuna combinazione possibile dei tre codici "classe di attività economica – comune – sezione" è presente un record riportante informazioni sul numero di imprese, numero di addetti ecc. Aggiungendo alla tabella un campo chiave, costituito dalla concatenazione dei codici ISTAT di regione, provincia, comune e sezione, è possibile correlare le informazioni contenute in tabella con il file vettoriale (shapefile) delle sezioni di censimento, ottenendo delle rappresentazioni tematiche delle informazioni relative a ciascuna classe di attività economica.

Ovviamente la relazione tra lo shapefile (che presenta un poligono per ciascuna sezione) e la tabella ISTAT è di tipo "uno a molti" poiché in ogni sezione possono essere presenti diverse tipologie di attività economica.
Fornitore: Istituto Nazionale di Statistica.

1.4.4 Dati ISTAT sul censimento popolazione 1991

I dati forniti dall'ISTAT riguardano 134 indicatori (o variabili). Analogamente al caso precedente (censimento ISTAT sull'industria), è stato aggiunto alla tabella un campo chiave che consente di correlare le informazioni contenute in tabella con il file vettoriale (shapefile) delle sezioni di censimento al fine di realizzare carte tematiche per uno o più dei 134 indicatori.

In particolare, è stato creato uno shapefile nel quale sono stati correlati alle sezioni di censimento gli indicatori di seguito riportati:

- Popolazione residente totale (variabile P1);
- Popolazione residente maschi (variabile P2);
- Popolazione residente femmine (variabile P3);
- Abitazioni totali (variabile A1);
- Abitazioni occupate (variabile A2);
- Famiglie residenti totali (variabile PF1);
- Numero totale di stranieri (variabile ST13);
- Stranieri residenti totali (variabile ST14);
- Stranieri residenti in abitazione (variabile ST15).

Da una attenta analisi dei dati forniti dall'ISTAT sono emersi alcuni problemi di incongruenza e/o carenza di informazioni per alcune sezioni di censimento.
Fornitore: Istituto Nazionale di Statistica.

1.4.5 Dati di qualità dell'aria della rete provinciale

La rete interconnessa del comprensorio industriale di Milazzo è costituita complessivamente da n. 14 stazioni chimiche e da n. 1 stazione meteorologica, delle quali 5 stazioni chimiche più 1 stazione meteo fanno parte della rete qualità dell'aria della centrale ENEL-EUROGEN SpA di San Filippo del Mela:

N.C.	Località	Inquinanti monitorati	Latitudine	Longitudine
1	Valdina	SO_2	38°11'36''	15°22'14''
2	S. Pier Niceto	SO_2	38°11'14''	15°20'08''
3	Pace del Mela ENEL	SO_2	38°10'52''	15°17'35''
4	S. Filippo del Mela	SO_2	38°10'25''	15°16'19''
5	Milazzo	SO_2	38°13'52''	15°14'58''
M	Stazione Meteo	VV. DV, sigma, TA, PA, UM, pioggia, irr.	38°12'66''	15°17'14''

e le rimanenti 9 stazioni chimiche fanno parte della rete qualità dell'aria della Provincia di Messina:

N.C.	Località	Inquinanti monitorati	Latitudine	Longitudine
1	S. Filippo del Mela	SO_2 NO_2	38°10'37''	15°16'17''
2	S. Lucia del Mela	SO_2 NO_2	38°09'40''	15°16'35''
3	Milazzo Ospedale	SO_2 NO_2	38°11'20''	15°15'12''
4	Archi	SO_2 NO_2	38°11'45''	15°16'55''
5	Milazzo porto	SO_2 NO_2	38°13'16''	15°14'35''
6	Pace del Mela	SO_2 NO_2	38°10'59''	15°17'49''
7	Giammoro	SO_2 NO_2	38°12'07''	15°19'04''
8	Condrò	SO_2	38°10'04''	15°19'33''
9	Valdina	SO_2	38°12'40''	15°21'44''

I dati meteo sono rilevati dai sensori installati sulla torre meteorologica della centrale di San Filippo del Mela a quota 100 m.

Purtroppo non è stato possibile reperire i dati relativi alla rete ENEL-EUROGEN; pertanto nel Sistema sono disponibili solo i dati della Rete Provinciale forniti dalla Provincia di Messina e relativi agli anni 1996, 1997, 1998 e 2000.

Un aggiornamento dei dati della rete Provinciale non è stato possibile, in quanto, nel passaggio della sua gestione dalla Provincia all'ARPA, l'organizzazione di raccolta e validazione dei relativi dati è ancora in corso di realizzazione.

Nelle figure che seguono vengono riportate alcuni esempi di elaborazioni dei dati disponibili delle centraline; qualcuna di queste verrà poi ripresa nel corso della realizzazione del Sistema.

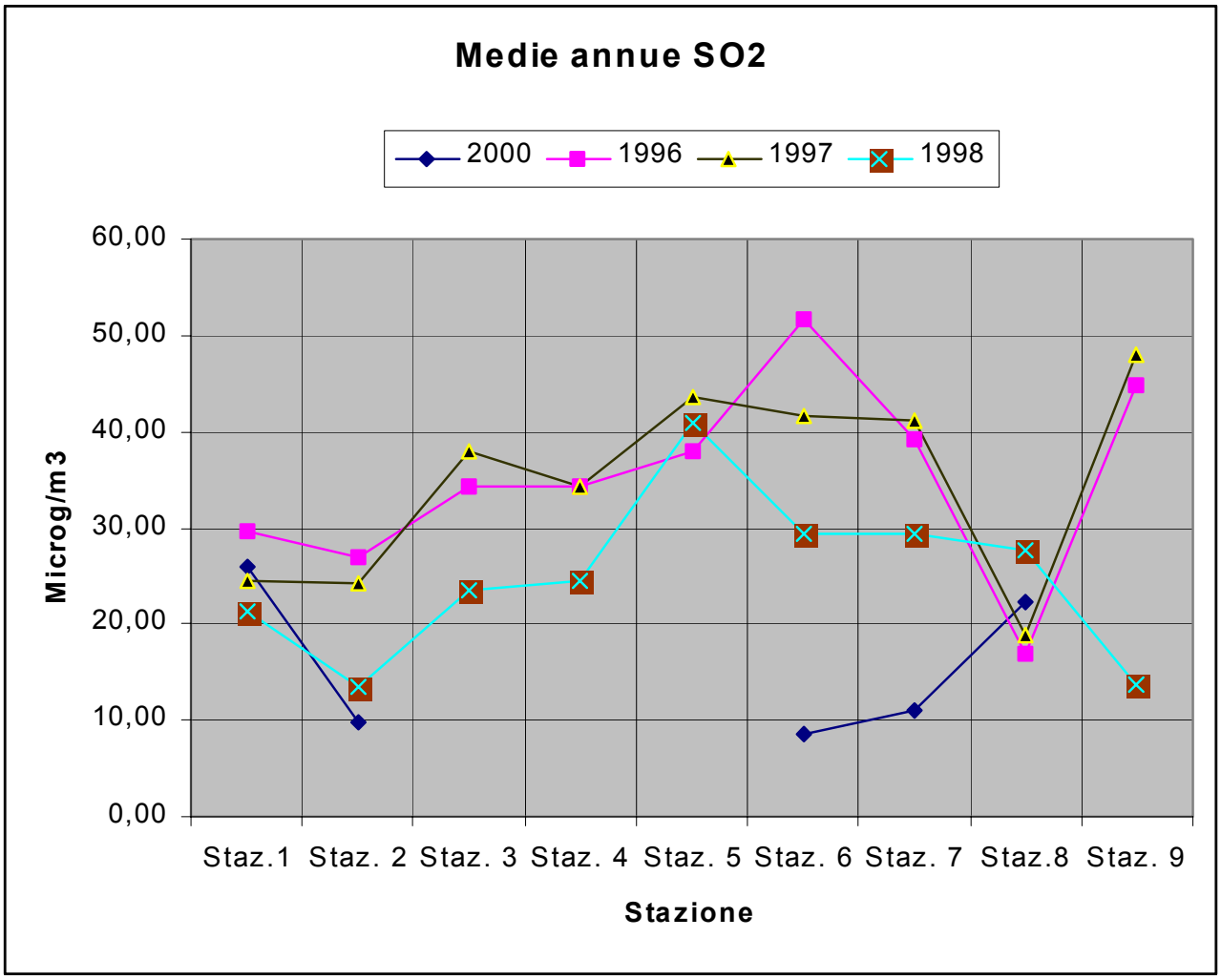


Fig. 1.2 ***Valori medi annui delle concentrazioni di SO_2 in aria per le 9 stazioni della ex Rete Provinciale di Messina***

Nella **Fig. 1.2** sono riportati i valori medi annui delle concentrazione di SO_2 relativamente agli anni per i quali vi sono state registrazioni, e per le 9 stazioni della ex Rete Provinciale di Messina. Si nota un anno mancante, ed una registrazione parziale nel 2000, con valori mediamente inferiori rispetto a quelli degli anni precedenti. I valori più bassi sono quelli delle stazioni n. 1, 2 e 8.

Nella **Fig.1.3** che segue sono stati riportati tutti i valori orari relativi al 2000 per la stazione n. 1 (S. Filippo del Mela) in una curva cumulativa, dalla quale si può dedurre che il 98° percentile è stato di 182,4 $\mu g/m^3$, mentre il 95° percentile è stato di 112,6 $\mu g/m^3$.

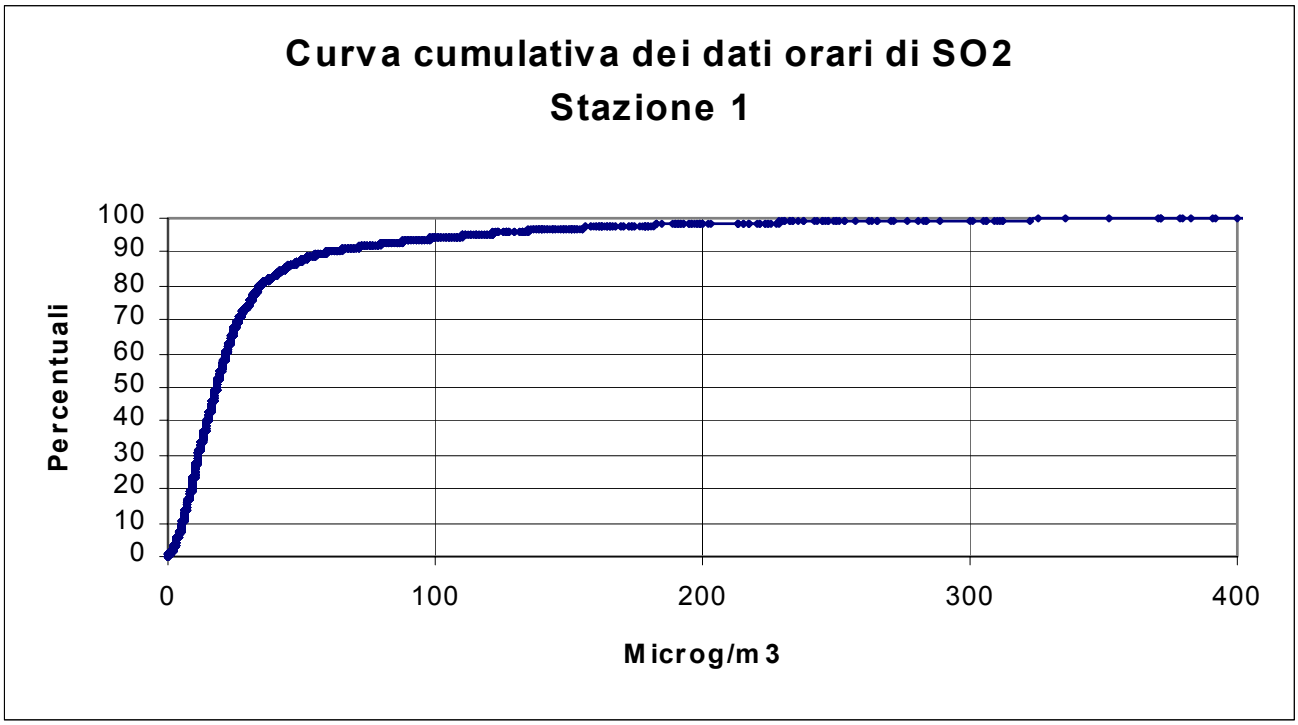


Fig. 1.3 *Curva cumulativa dei valori medi orari delle concentrazioni di SO_2 in aria per la stazione n. 1 della ex Rete Provinciale di Messina e relativamente al 2000*

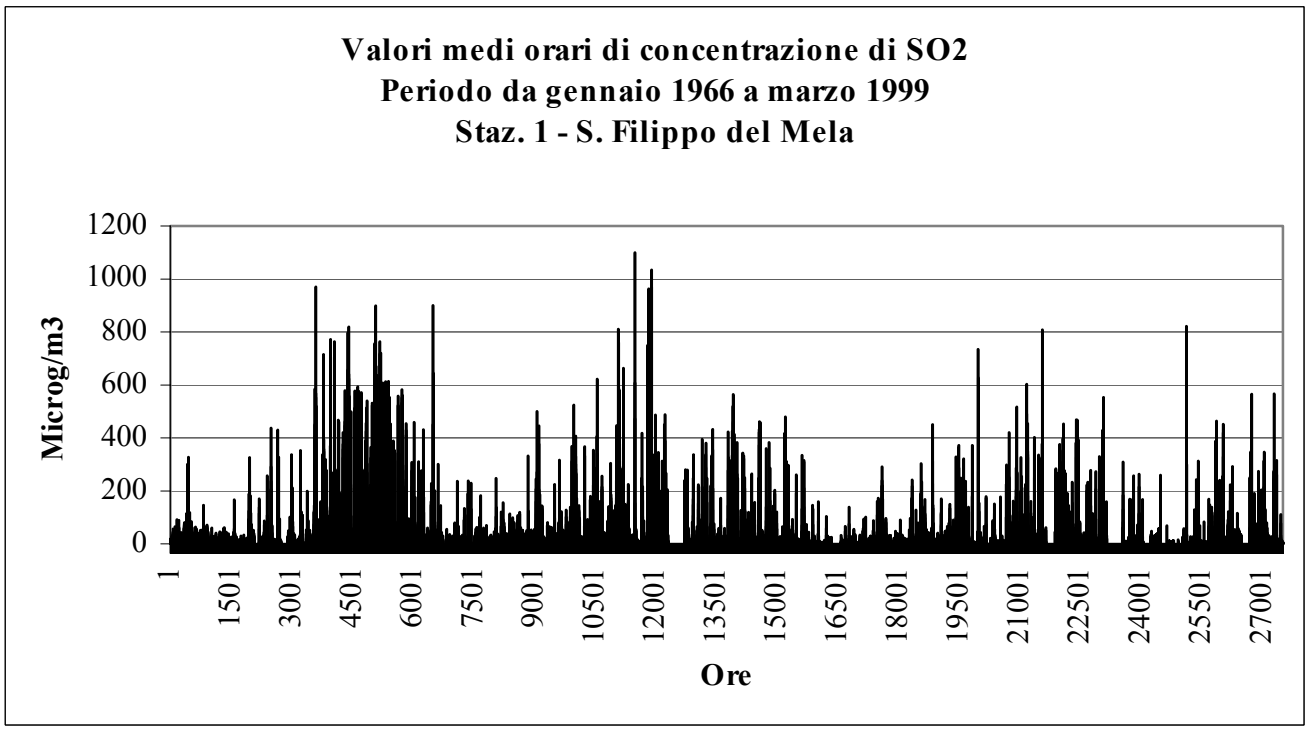


Fig. 1.4 *Istogramma dei valori medi orari delle concentrazioni di SO_2 in aria per la stazione n. 1 della ex Rete Provinciale di Messina e relativamente agli anni 1996-1999*

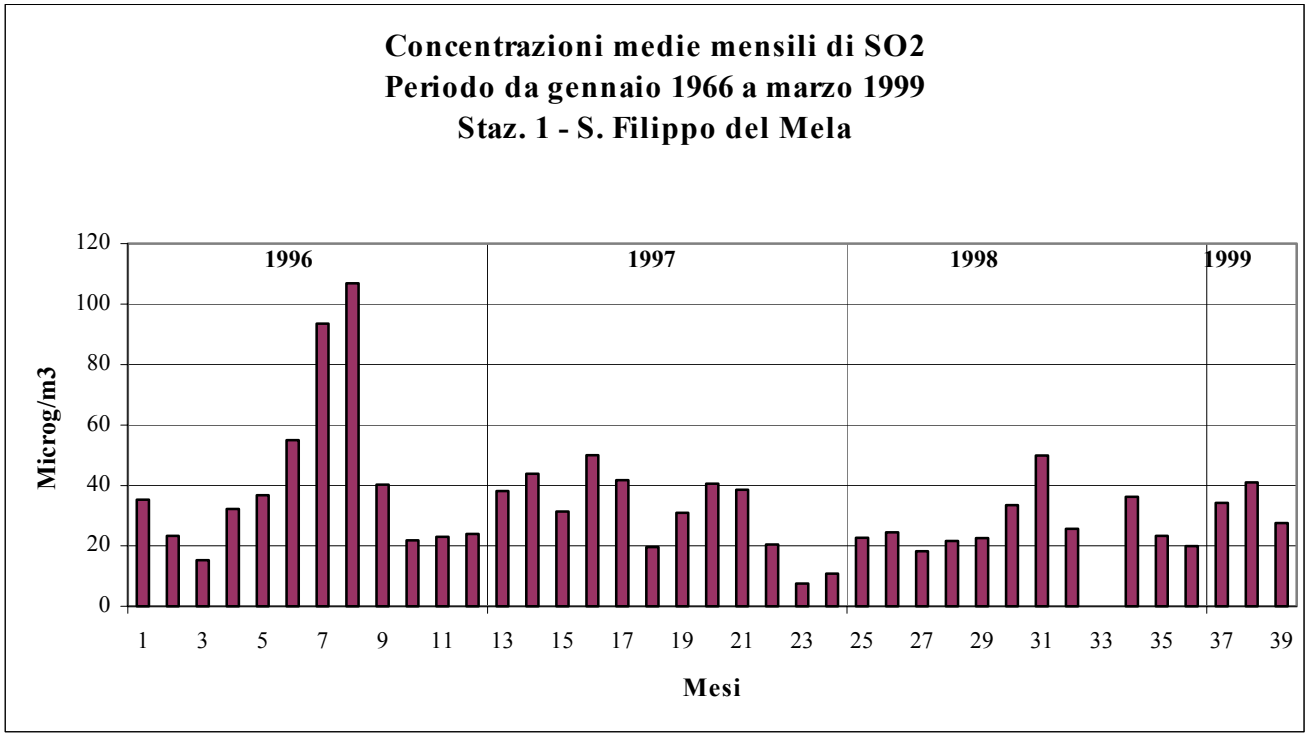


Fig. 1.5 ***Istogramma dei valori medi mensili delle concentrazioni di SO_2 in aria per la stazione n. 1 della ex Rete Provinciale di Messina e relativamente agli anni 1996-1999***

Nelle **Figg. 1.4 e 1.5** sono riportati sotto forma di istogramma sia i dati orari che i valori medi mensili delle concentrazioni in aria di SO_2 per la stessa stazione e per il periodo 1996-1999.

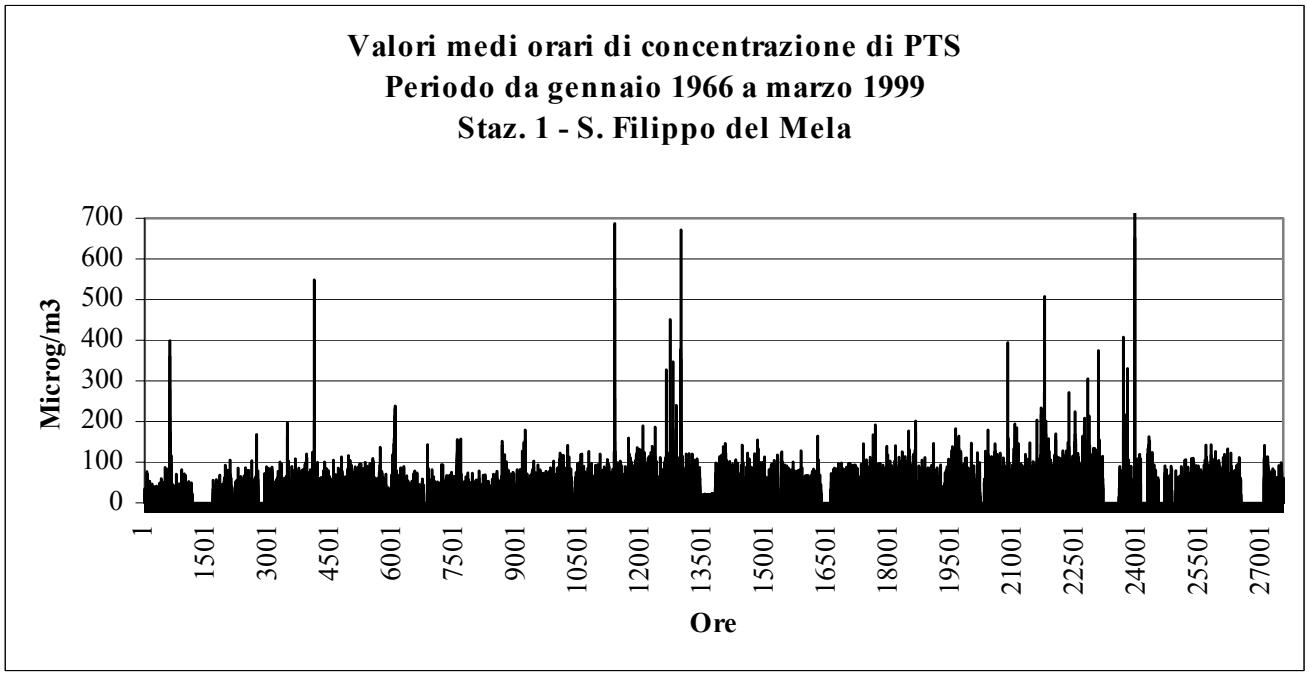


Fig. 1.6 ***Istogramma dei valori medi orari delle concentrazioni di PTS in aria per la stazione n. 1 della ex Rete Provinciale di Messina e relativamente agli anni 1996-1999***

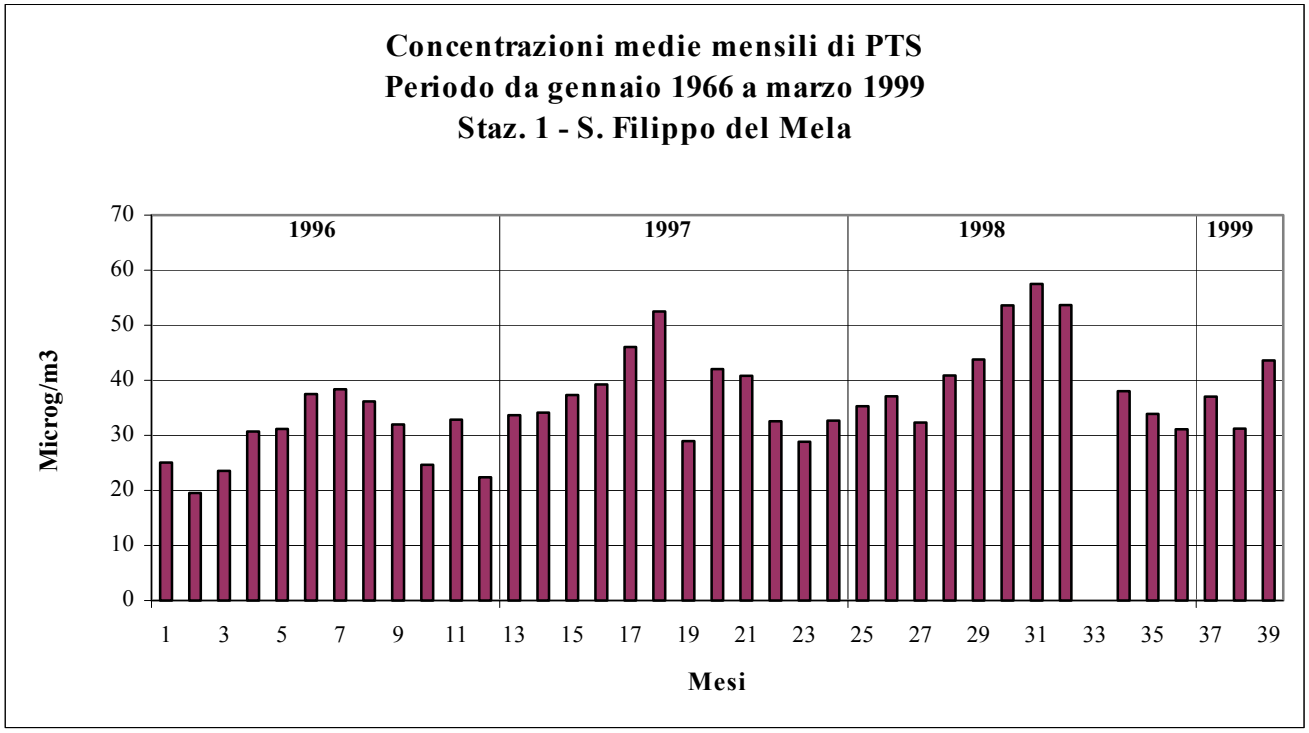


Fig. 1.7 ***Istogramma dei valori medi mensili delle concentrazioni di PTS in aria per la stazione n. 1 della ex Rete Provinciale di Messina e relativamente agli anni 1996-1999***

Nelle successive **Fig. 1.6 e 1.7** sono riportati sotto forma di istogramma sia i dati orari che i valori medi mensili delle concentrazioni in aria di PTS per la stessa stazione e per il periodo 1996-1999.

1.4.6 Dati meteorologici provenienti dal Servizio Idrografico Regionale

I dati meteorologici del Servizio Idrografico Regionale sono stati pre-elaborati dai tecnici del servizio Agrometeorologico della Regione Sicilia, che hanno selezionato quelle stazioni (n. 55 termometriche e n. 180 pluviometriche), sparse su tutto il territorio regionale; che nel trentennio 1965-1994 hanno garantito un servizio continuo.

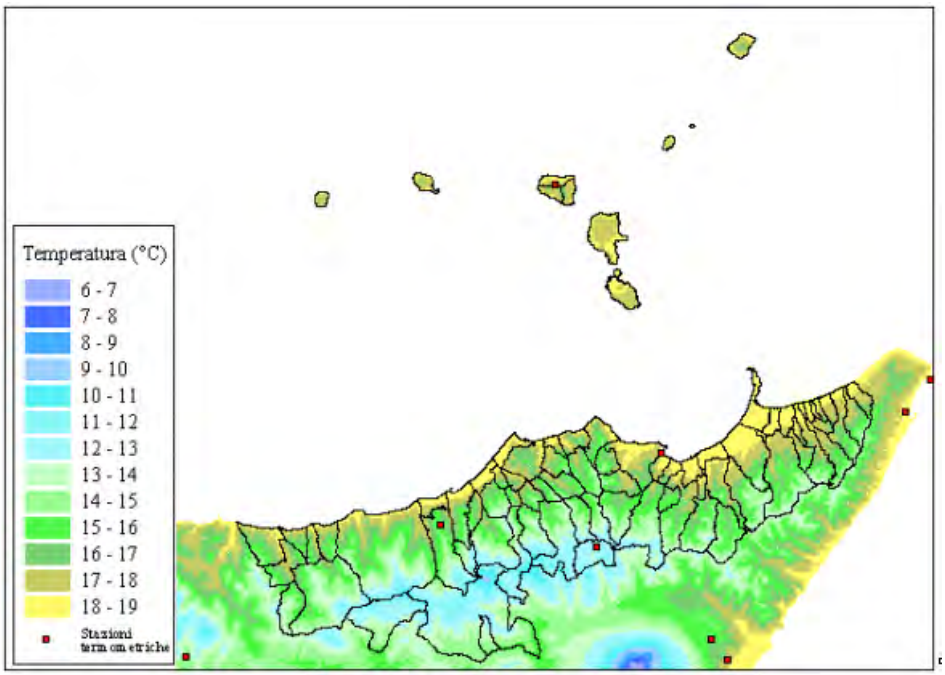


Fig. 1.8 ***Carta della Temperatura Media Annua***

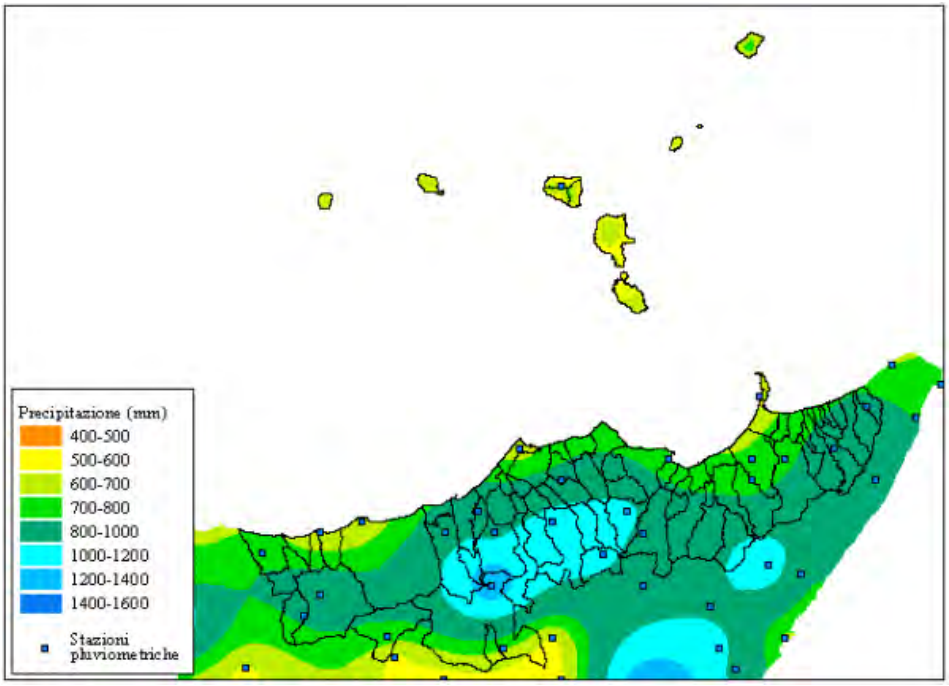


Fig. 1.9 ***Carta della Precipitazione Media Annua (50°percentile)***

La serie storica considerata fa riferimento ai valori di precipitazione e temperatura rilevati mese per mese per ciascun anno del trentennio, in ognuna delle 180 stazioni. Per ciascuna stazione, inoltre, sono stati memorizzati i dati relativi al nominativo della stazione, la provincia di appartenenza, l'ubicazione (in coordinate UTM) e l'altitudine.

Nelle Figure **1.8** ed **1.9** sono riportate le carte di Temperatura Media Annua e Precipitazione Media Annua (rif. **§1.3.17**), ottenute elaborando i valori puntuali rilevati dalle stazioni termometriche e pluviometriche (riportate in figura rispettivamente in rosso e in azzurro) e pubblicate dall'Unità Operativa di Agrometeorologia dell'Assessorato Agricoltura e Foreste nel "Atlante Climatologico della Sicilia" , I edizione, Novembre 2000.

1.5 Misure di monitoraggio ambientale e studi epidemiologici

Per completare il quadro della situazione ambientale attuale sono state infine predisposte alcune misure di parametri ambientali, nonché studi per caratterizzare l'area dal punto di vista epidemiologico.

Come sarà descritto in dettaglio nei capitoli specifici dedicati a tali aspetti, con gli studi epidemiologici è stata effettuata la caratterizzazione dello stato di salute delle popolazioni residenti nei Comuni dell'area contigua al polo industriale di Milazzo (**Cap. V**), mentre con i dati rilevati nel monitoraggio sperimentale è stato possibile risalire ad una valutazione degli effetti dell'inquinamento atmosferico sull'agroecosistema **[5]** (v. **Cap. III-IV**).

In quest'ultima linea di attività sono stati utilizzati numerosi dati sperimentali, quali: le concentrazioni medie atmosferiche di ozono e di anidride solforosa e le concentrazioni dei residui di elementi potenzialmente tossici e di composti organici inquinanti (IPA e PCB) presenti in terreni e prodotti ortofrutticoli prelevati in aziende agricole del territorio oggetto di indagine **[6] [7]**.

Sono stati effettuati, inoltre, test di tossicità su organismi biondicatori e lo studio dell'effetto di contaminanti organici sulla composizione delle comunità microbiche legate alla fertilità di terreni agrari **[4]**.

Bibliografia

[1] *Verbale della riunione tenuta presso la sede dell'Assessorato Territorio ed Ambiente della Regione Siciliana il 4/VII/00 per la prima definizione ed organizzazione delle attività relative alla scheda 1.4 "Fare Patto Ambiente"*

[2] *Verbale della riunione tenuta presso la sede dell'Assessorato Territorio ed Ambiente della Regione Siciliana il 5/VII/00 per l'organizzazione delle attività relative alla scheda 1.4 "Fare Patto Ambiente"*

[3] S. Marino, ARPA SICILIA: *"Studio sulla contaminazione dell'ambiente dell'area di Milazzo",* Palermo, 2002

[4] Correnti A., Triolo L., Schimberni M., Caffarelli V., Chiavarini S., Rosa S., Musmeci F., Fiocchi G., Barlattani M., Ghini G., Cirioni P., Cecchini G., Conte E., Di Luzio P., Ciampi G., Screpanti C.: *"Una metodologia per la valutazione dei rischi ambientali provocati dalle attività agricole nel bacino del Lago di Bracciano"* – Convegno "Nuove frontiere dell'ecologia" – Trento, 18-19 aprile 2002

[5] Triolo L., Barlattani M., Ferrandi L., Letardi A., Testa V., Zappa G., Portaro N.: "*Valutazione degli effetti degli inquinanti sui sistemi vegetali per lo studio del sito di localizzazione di un inceneritore nel territorio della Provincia di Udine*". In: ENEA, Assessorato all'Ecologia della Provincia di Udine – L'inceneritore nella Provincia di Udine – Applicazione di un sistema a supporto delle decisioni per la selezione di siti a minore impatto ambientale. Cap. 4, pag. 187-226**,** 1996

[6] Zappa G., Portaro N., Troisi L., Barlattani M., Fiocchi G., Letardi A., Triolo L.: *"Analytical data survey carryied out by ENEA monitoring projects in different italian areas"* – Poster presentato nell'incontro "Export meeting on Critical Limits for Heavy Metals and Methods for their Application", Berlin, Germany, 2-4 December 2002

[7] Zappa G., Gatti R., Letardi A., Triolo L.: *"Determination of Pb and Cd in soils and vegetables: reference materials availability and evaluation of uncertainty of results"* – Poster presentato nell'incontro "Export meeting on Critical Limits for Heavy Metals and Methods for their Application", Berlin, Germany, 2-4 December 2002.

CAPITOLO II

I dati cartografici e ambientali disponibili presso la Regione Siciliana e utilizzati nel Progetto

**M. D. Borsellino, **G. Maniscalco*
*(*ARTA-Dipartimento Urbanistica- Servizio Cartografico ed Informativo)*
*(**ARTA-Dipartimento Territorio e Ambiente- Servizio Informativo Ambientale)*

Premessa

Per la realizzazione del Progetto qui presentato la Regione Siciliana ha reso disponibili le informazioni cartografiche ed alfanumeriche realizzate da diversi Assessorati e già residenti, nella maggior parte dei casi, nei Sistemi Informativi Territoriali esistenti ed in corso di formazione presso le stesse strutture regionali. Per la realizzazione ed il funzionamento del Sistema Informatico Avanzato di Supporto alle Decisioni ARTEMISIA 2, dopo una ricognizione dei dati disponibili effettuata dai responsabili del Progetto presso gli Enti preposti ed una valutazione degli stessi con i tecnici della Regione, sono stati acquisiti quelli ritenuti utili per il Progetto.

Le informazioni cartografiche fornite dall'Amministrazione Regionale sono quelle riportate nell'elenco del precedente Capitolo. Qui si ritiene opportuno presentarle nella veste e collocazione che esse hanno nella produzione di *data-base* topografici e tematici funzionali all'attività dei diversi rami dell'Amministrazione Regionale ed anche nell'interscambio fra le diverse Amministrazioni.

2.1 I dati disponibili presso le strutture regionali

Nei Sistemi Informativi Territoriali dei diversi rami dell'Amministrazione Regionale (dei quali qui si menzionano quelli presenti presso: Assessorato Territorio e Ambiente, Assessorato Agricoltura e Foreste, Azienda delle Foreste Demaniali della Regione Siciliana, Assessorato Beni Culturali ed Ambientali e Pubblica Istruzione) sono residenti sia prodotti realizzati specificamente per essere utilizzati in essi, e quindi già in formato vettoriale compatibile con il software per la gestione dei dati geografici istallato nel SIT, sia elaborati cartografici realizzati prima della formazione del SIT e resi utilizzabili all'interno di esso tramite operazioni di rasterizzazione e georeferenziazione o di digitalizzazione.

L'attività svolta dall'**Assessorato Regionale Territorio e Ambiente**, nello specifico dal **Dipartimento di Urbanistica** (già Direzione Urbanistica), in questo settore data ormai da circa vent'anni, in esecuzione del dettato normativo dell'art. 69 della L.R. 71/78 con cui gli è stato affidato il compito di realizzare un sistema informativo territoriale e ambientale per il rilevamento, coordinamento e programmazione della fotocartografia del territorio regionale, al fine di dotare l'Amministrazione Regionale degli strumenti operativi di conoscenza del territorio e dell'ambiente per le pertinenti iniziative di programmazione.

Per la rappresentazione base topografica a livello regionale è stata prescelta la scala 1:10.000 (Carta Tecnica Regionale) e vengono eseguite periodicamente coperture fotogrammetriche dell'intero territorio regionale, ovvero coperture parziali in relazione alla esecuzione di lotti di CTR.

Nel corso del 2000 è stata acquisita la licenza d'uso dell'ortofoto digitale a colori a copertura della Regione Siciliana del Progetto IT2000, realizzato dalla Compagnia Generale Ripreseaeree di Parma per l'intero territorio nazionale.

Gli elaborati a carattere tematico realizzati sono stati "pensati" in modo specifico come supporto alle attività di pianificazione territoriale-urbanistica.

Per la rappresentazione di tematismi a copertura regionale viene utilizzata la scala di rappresentazione 1:250.000, scala che, ancorché sintesi da analisi territoriali eseguite anche a scale differenti (1:100.000- 1:50.000- 1:25.000) consente una buona visione d'insieme delle realtà e delle problematiche territoriali di livello regionale.

A scale diverse (1:25.000, 1:10.000 ecc.) sono generalmente le elaborazioni che coprono solo parte del territorio regionale, pur facendo parte di progetti più complessi.

Nel caso di realizzazione "originaria" di prodotti digitali il valore di "scala" sta ad indicare il livello di precisione della rappresentazione del "dato". Si hanno, così, prodotti, quali il "mosaico degli strumenti urbanistici comunali", che vengono costruiti su base topografica in scala 1:10.000 ma che possono essere visionati a scala maggiore o minore a seconda delle necessità di utilizzo, pur conservando la "precisione geometrica" della scala 1:10.000.

Alla **Direzione Territorio ed Ambiente** dello stesso Assessorato Territorio ed Ambiente fanno capo il **Servizio Difesa del Suolo**, con specifiche competenze per la cartografia geologica regionale e l'assetto idrogeologico del territorio, ed il **Servizio Informativo Ambientale**, cui attiene la formazione e gestione del SIRA (Sistema Informativo Regionale dell'Ambiente), che si relaziona al SINA (Sistema Informativo Nazionale dell'Ambiente).

L'Assessorato Regionale dei Beni Culturali ed Ambientali e della Pubblica Istruzione ha avviato la formazione del Sistema Informativo Territoriale Paesistico (SITP), nel corso degli anni "90, in relazione alla formazione del Piano Territoriale Paesistico Regionale (PTPR).

La "conoscenza" è stata infatti assunta come base per la costruzione della politica di piano, intesa non come politica dei vincoli e delle negazioni, ma come strumento che indica indirizzi e prescrizioni in relazione alla specificità dei valori culturali ed ambientali che il paesaggio esprime.

Dal processo di conoscenza risulta più facile un orientamento strategico che investa l'insieme delle trasformazioni. In mancanza, al momento di redazione delle Linee Guida del PTPR, di una base cartografica omogenea ed aggiornata a media scala, sull'intero territorio regionale, è stata realizzata una ortofoto digitale in b/n alla scala nominale 1:25.000 con volo fotogrammetrico del 1994.

Il progetto di conoscenza è partito dalla ricerca storica, è passato dalla catalogazione finalizzata e sistematizzata ed è giunto alle tecnologie informatiche costruendo il Sistema Informativo (SITP) che è parte essenziale del Piano.

L'Assessorato Regionale Agricoltura e Foreste, e specificamente i **Servizi allo Sviluppo**, hanno realizzato elaborati tematici soprattutto nell'ambito di un progetto denominato "Cartografia Tematica per l'Assistenza Tecnica" che vede coinvolti anche le **Sezioni Operative di Assistenza Tecnica (SOAT),** attive in sedi periferiche sparse nel territorio siciliano. Anche in questo caso l'esigenza di potere disporre di maggiori informazioni sulle peculiarità del territorio per meglio svolgere i compiti di Istituto (fornire assistenza tecnica alle aziende agricole, nonché introdurre e divulgare le più recenti acquisizioni della ricerca scientifica) ha determinato l'avvio di iniziative volte ad incrementare il patrimonio di conoscenze sulle caratteristiche fisiche del territorio siciliano.

Anche **l'Azienda Autonoma delle Foreste Demaniali** ha di recente attivato la realizzazione di un SIT per la conoscenza e la gestione del patrimonio forestale.

Purtroppo in questa prima fase di produzione cartografica e di *data-base* è mancato un coordinamento complessivo alla base, per cui anche i sistemi di riferimento delle coordinate geografiche e geometriche sono talora differenti. Non sono però mancati nel corso successivo del tempo esempi di collaborazione fra i diversi Assessorati, con interscambio di dati ed elaborazioni compiute a partire da dati forniti da altra Amministrazione.

2.2 I dati utilizzati per il Progetto

Per quanto riguarda le caratteristiche tecniche ed i contenuti informativi dei materiali utilizzati nel Progetto, si ritiene utile fornire delle brevi descrizioni avvalendosi anche di note illustrative redatte dagli Uffici rispettivamente competenti.

Le informazioni cartografiche fornite dall'Assessorato Regionale Territorio e Ambiente (ARTA), Dipartimento Urbanistica, Servizio Cartografico ed Informativo, attengono sia alla **cartografia di base** (topografica e fotografica), che ad alcune **elaborazioni tematiche a copertura regionale**.

Ulteriori elaborati tematici sono stati forniti dalle altre strutture regionali prima citate.

2.2.1 Cartografia di base

La **cartografia di base, fornita dall'ARTA,** è costituita dalla **Carta Tecnica Regionale (CTR)** in scala 1:10.000 e dalle **Ortofoto digitali a colori**, scala 1:10.000.

La **Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000** (**Cap. I, § 1.3.1**) è rappresentata nella proiezione di Gauss, inquadrata nel sistema Geografico Europeo Unificato, ma con coordinate piane riferite al sistema nazionale Gauss-Boaga. Essendo la Sicilia compresa tra 36° latitudine Sud e 38° latitudine Nord, la superficie del territorio rappresentata in ciascuna sezione della CTR varia fra circa 4.000 Ha e 4.100 Ha.

La CTR è stata realizzata nel corso degli anni a partire dalla fine degli anni '70 per lotti successivi. Nel 2002 è stata ultimata la copertura dell'intero territorio regionale. I lotti più vecchi, pari a circa il 70% del territorio regionale, sono stati prodotti in formato cartaceo, mentre gli ultimi sono stati realizzati in formato numerico vettoriale.

E' già stata avviata la realizzazione della seconda edizione di CTR che porterà ad avere, presumibilmente entro il 2004, tutto il territorio regionale coperto con CTR numerica.

Della cartografia in formato cartaceo è stato realizzato il *raster* in formato TIFF georiferito per consentirne l'uso nel SIT.

Per l'area interessata dal Progetto è stata utilizzata la CTR in formato *raster* in quanto la nuova edizione numerica è ancora in fase di realizzazione.

L'**Ortofoto digitale a colori** del programma denominato "IT2000" TM è stata realizzata sull'intero territorio nazionale dalla Compagnia Generale Ripreseaeree (CGR) di Parma.

L'Assessorato Territorio e Ambiente ne ha acquisito la licenza d'uso per il territorio regionale siciliano nel corso del 2000, al fine di disporre di una base unitaria recente alla scala 1:10.000, da utilizzare anche ad integrazione della CTR dei diversi anni, alla quale è perfettamente sovrapponibile.

Infatti le riprese aerofotogrammetriche, da cui sono state realizzate le ortofoto, sono state eseguite nel periodo maggio-settembre 1998/99 ed il prodotto finale è stato organizzato dando un taglio corrispondente alla porzione di territorio coperta da una sezione di Carta Tecnica Regionale ad una scala nominale 1:10.000. La rappresentazione cartografica adottata è quella di Gauss, con coordinate piane riferite al sistema cartografico nazionale Gauss-Boaga. La dimensione nominale del pixel, cioè la sua risoluzione, è di circa 1mx1m in coordinate terreno. Il contenuto geometrico è dello stesso ordine di grandezza della CTR L'ortofoto digitale a colori originale è in formato TIFF georiferito.

2.2.2 Elaborazioni tematiche a copertura regionale

La cartografia tematica, fornita dal Servizio Cartografico ed Informativo, è costituita parte da prodotti realizzati dallo stesso Assessorato Regionale Territorio ed Ambiente per i propri compiti istituzionali e parte da prodotti realizzati da altri Assessorati ed acquisiti dal Servizio per integrare il proprio SIT.

Sono stati realizzati dall'**ARTA**: **la Carta delle Aree Protette Regionali, la Carta dell'Uso del Suolo ed il Mosaico degli Strumenti Urbanistici Vigenti**.

Nella realizzazione della **Carta delle Aree Protette Regionali (Parchi, Riserve Naturali, SIC e ZPS) (Cap. I, § 1.3.4)** relativa all'intero territorio regionale, sono stati utilizzati dati provenienti da diverse fonti.

I dati hanno una precisione riferibile alla scala 1:25.000. In particolare: la informatizzazione delle perimetrazioni (zone "A" e "B") delle Riserve naturali regionali e delle Riserve marine è stata curata dall'Università di Palermo, Dipartimento Storia e Progetto nell'Architettura, per conto dell'ARTA, a partire dagli elaborati originali allegati agli atti istitutivi; il tema "**SIC e ZPS"** contenente la delimitazione delle aree relative ai **S**iti di **I**nteresse **C**omunitario ed alle **Z**one di **P**rotezione **S**peciale è stato fornito già in formato digitale dal Ministero dell'Ambiente; le perimetrazioni delle aree dei Parchi Regionali (con rispettive zonizzazioni) provengono da lavori realizzati in precedenza per la Regione.

La **Carta dell'Uso del Suolo** (**Cap.I, § 1.3.7**) originale è stata realizzata dalla Geomap s.r.l. in formato digitale alla scala di 1:100.000, sulla base delle tavole I.G.M. alla stessa scala, su incarico dell'Assessorato Territorio e Ambiente -Direzione Urbanistica- nel 1994 ed è stata pubblicata a stampa in scala 1:250.000.

Il lavoro è stato eseguito con fotointerpretazione di immagini telerilevate da satellite, testate con foto aeree e rilevamenti diretti sul terreno. Successivamente è stato effettuata la trasformazione dei dati digitali originali in *shapefile* per l'utilizzo nel SIT. La legenda della carta è stata organizzata secondo uno schema gerarchizzato in tre livelli di dettaglio crescente (rappresentati dalle 3 cifre che costituiscono il codice di classe di uso del suolo associato a ciascun poligono). Tale schema, derivato dalla proposta contenuta nel documento "Criteri di Redazione della Carta dell'Uso del Suolo" (del Centro Interregionale di Coordinamento e Documentazione), è stato ulteriormente perfezionato, con riferimento alla nomenclatura del progetto comunitario "CORINE Land Cover", introducendo nel terzo livello gerarchico gli opportuni adattamenti alle caratteristiche specifiche del territorio siciliano ed alle finalità di utilizzo per la pianificazione urbanistico- territoriale.

Il codice utilizzato per le classi di uso del suolo costituisce oggi uno standard, a livello regionale, adottato anche dall'Assessorato Regionale Agricoltura e Foreste per la produzione di carte a scala maggiore, con l'aggiunta di un quarto livello gerarchico che meglio descriva il maggior livello di dettaglio (1:25.000 ed 1:10.000).

Il **Mosaico degli Strumenti Urbanistici Vigenti (scala 1:10.000)** (**Cap.I, § 1.3.12**) nasce come prodotto digitale ed è stato realizzato attraverso convenzioni con l'Università di Palermo, Dipartimento Storia e Progetto nell'Architettura, per la Sicilia Occidentale, e con l'Università di Catania, Dipartimento Architettura e Urbanistica, per la Sicilia Orientale.

Si è trattato di riportare ad una legenda unificata le destinazioni d'uso del territorio determinate dagli strumenti urbanistici comunali vigenti.

La legenda unificata era stata redatta dagli Uffici Regionali (Gruppo 24° della Direzione Urbanistica) con codici a tre livelli di classificazione.

Il mosaico, nella generalità dei casi, è stato costruito alla scala 1:10.000 sulla base della C.T.R. formato *raster*, dove già disponibile all'epoca della realizzazione del mosaico, ovvero dell'ortofoto digitale IT2000. Solo in casi eccezionali si è fatto ricorso a basi cartografiche in scala 1:25.000.

Dal *data-base* in scala 1:10.000 è possibile derivare elaborati a scala minore (1:25.000, 1:50.000, 1:100.000) con eventuale raggruppamento delle classi al 2° o al 1° livello, per problemi di rappresentabilità grafica.

Sulla base dei dati statistici presenti nel SIT del Servizio Cartografico ed Informativo, Unità Operativa della Statistiche Territoriali**,** è stato possibile elaborare la **Carta degli indici di specializzazione dei Comuni** (**Cap.I, § 1.3.14**)**.** Questo elaborato è stato fornito dall'Assessorato in un file con n.108 record, ovvero uno per ciascun comune della Provincia di Messina, che contiene numerosi campi relativi a diversi indicatori. Alcuni, più significativi, sono:

- Mqsup e Kmqsup: superficie in m^2 e km^2;
- Pop98 e Dpop98: Popolazione e densità di popolazione per km^2, al 1998;
- Pop91 e Dpop91: Popolazione e densità di popolazione per km^2, al 1991;
- Pop81 e Dpop81: Popolazione e densità di popolazione per km^2, al 1981;
- Addind96 e Denind96: Addetti all'industria e densità per km^2, al 1996;

Dallo stesso **Assessorato Regionale Territorio e Ambiente - Dipartimento Urbanistica - Servizio Pianificazione Territoriale**, sono stati forniti ulteriori strati informativi tematici realizzati, o in corso di realizzazione, nell'ambito della formazione del Piano Territoriale Urbanistico Regionale e precisamente: **la Carta dei PIT e la Carta delle aree di sviluppo industriale (ASI), dei sistemi commerciali** ecc.

Il file numerico **Carta dei PIT** (**Cap.I, § 1.3.13**) descrive, con una localizzazione di tipo puntuale, i Piani di Intervento Territoriale, classificati in "finanziati" e "non ancora finanziati".

La **Carta delle aree di sviluppo industriale (ASI), dei sistemi commerciali ecc.** (**Cap.I, § 1.3.15**)**,** è costituita dai file di seguito, relativi a:

- Aree_industriali;
- Attività logistiche;
- Attività commerciali;
- Punti commerciali;
- Sistemi aggregati.

Al momento della raccolta dei dati per il Progetto il lavoro, effettuato attraverso una convenzione con l'Università di Catania, era ancora in corso di realizzazione e quindi tutte le informazioni contenute in questi file hanno carattere provvisorio.

Dal **Servizio Difesa del Suolo dell'Assessorato Regionale Territorio e Ambiente - Dipartimento Territorio e Ambiente -**, sono stati forniti i file in formato *raster* (immagini), relativi ad una fase intermedia del lavoro di redazione della **Carta del rischio idrogeologico** e della **Carta del dissesto idrogeologico** (**Cap.I, § 1.3.11**). Entrambe queste carte, all'epoca della raccolta dei dati per il Progetto, erano in corso d'opera e non è stato, dunque, possibile acquisire informazioni in un formato numerico idoneo alle caratteristiche del Sistema in oggetto.

La **Carta dei Perimetri dei Demani Forestali** (**Cap.I, § 1.3.5**) è stata realizzata, nell'ambito dei propri compiti d'Istituto, **dall'Azienda delle Foreste Demaniali della Regione Siciliana**, che l'ha fornita all'ARTA.

Dall'Assessorato Regionale dei Beni Culturali ed Ambientali e della P.I., **Ufficio del Piano Territoriale Paesistico Regionale**, direttamente e tramite l'Assessorato Territorio e Ambiente, sono stati forniti alcuni degli elaborati prodotti nell'ambito della formazione del Sistema Informativo Territoriale per le Linee guida del Piano Paesistico Regionale, ritenuti utili per il Progetto, e precisamente: **la Carta dei Vincoli Paesaggistici, la Carta dei Vincoli Territoriali e Ambientali**, i cui contenuti coincidono in parte con quelli di elaborati forniti dall'Assessorato Territorio e Ambiente e realizzati autonomamente in tempi successivi alle tavole del PTPR. Ulteriori dettagli sono stati forniti nel **Cap.I, § 1.3.6**.

I dati della **Carta dei Vincoli Paesaggistici** e della **Carta dei Vincoli Territoriali e Ambientali** hanno una precisione riferibile ad una scala variabile da 1:25.000 ad 1:250.000 e sono stati convertiti nel formato *shapefile*.

La Carta dei Vincoli Paesaggistici contiene i seguenti temi relativi alle aree vincolate per legge:

- territori vincolati ai sensi dell'art. 5, L.R. 30 aprile 1991, n.15;
- montagne per la parte eccedente m. 1200 s.l.m. – art.1, lett. d), L.431/85;
- territori vincolati ai sensi della L.29 giugno 1939, n.1497;
- aree di interesse archeologico – art.1, lett. m), L. 431/85;
- territori coperti da foreste e boschi – art.1, lett. g), L. 431/85;
- corsi d'acqua e relative sponde per una fascia di m.150 – art.1, lett. c), L. 431/85;
- territori contermini ai laghi per una fascia di m.300 - art.1, lett. b), L. 431/85;
- parchi regionali e territori di protezione esterna – art.1, lett. f), L. 431/85;
- riserve regionali e territori di protezione esterna - art.1, lett. f), L. 431/85;
- territori costieri per una fascia di m.300 dalla linea di battigia - art.1, lett. a), L. 431/85.

La Carta dei Vincoli Territoriali ed Ambientali contiene i seguenti temi:

- vincoli idrogeologici –(i perimetri delle aree sottoposte a vincolo idrogeologico, individuate ai sensi del R.D. n.3267/23, sono stata forniti dall'Assessorato Regionale Territorio e Ambiente, il quale aveva realizzato un elaborato cartaceo in scala 1:250.000 sulla base dei dati alla scala 1:25.000 in possesso dell'Azienda Regionale Foreste Demaniali e dell'Ispettorato Dipartimentale Foreste di Palermo);
- territori costieri per una fascia di m.150 dalla linea di battigia - art.15, lett. a), L.R. 78/76.

Dall'Assessorato Beni Culturali ed Ambientali è stato fornito inoltre il **Modello Digitale del Terreno (DTM) (Cap.I, § 1.3.18**) elaborazione fatta in occasione della realizzazione delle ortofoto in bianco e nero a scala 1:25.000 dell'intero territorio regionale; il DTM ha una risoluzione di m.20x20 a pixel.

Dall'Assessorato Regionale Agricoltura e Foreste - Unità Operativa Pedologica - sono stati forniti alcuno elaborati tematici prodotti nell'ambito dell'attività istituzionale del predetto Assessorato, che qui si riportano con una breve scheda informativa, tratta dalle relazioni redatte dall'Unità Operativa Pedologica:

- **La Carta dell'Uso del Suolo (SOAT di Spadafora):** La carta (**Cap.I, § 1.3.8**) è relativa ad uno studio approfondito (scala 1:10.000) sul territorio comunale di competenza della Sezione Operativa di Assistenza Tecnica (Assessorato Agricoltura e Foreste) di Spadafora e fa parte del lavoro progettato e coordinato dai Servizi Tecnici dell'Assessorato e realizzato con la collaborazione delle Sezioni Operative di Assistenza Tecnica (SOAT), che comprende la redazione di più carte tematiche (Carte dell'Uso del Suolo, Carte delle Unità di Paesaggio, Carte dei Suoli e Carte derivate di attitudine del territorio per usi generali). La Carta dell'Uso del Suolo è stata concepita come un approfondimento della Carta dell'Uso del Suolo realizzata dall'Assessorato Territorio ed Ambiente. Nelle carte realizzate dalle SOAT sono state aggiunte alcune classi in legenda al terzo ed al quarto livello, al fine di adeguare la legenda al livello di dettaglio consentito dalla scala di rappresentazione grafica 1:25.000 e di massimizzare il contenuto informativo nel settore specifico agricolo-forestale. Va peraltro fatto presente che il lavoro di redazione viene eseguito alla scala 1:10.000, sulla base della CTR, e successivamente ridotto di scala in sede di pubblicazione. Per la redazione della carta si fa ricorso alla fotointerprepazione dalle foto aeree dei voli eseguiti dall'Assessorato Territorio ed Ambiente con integrazioni tramite rilievi diretti sul terreno. Le carte redatte in forma cartacea vengono successivamente digitalizzate in formato vettoriale compatibile con il software per la gestione dei dati geografici installato presso l'Assessorato Agricoltura e Foreste (ARC/INFO).
- **La Carta di rischio potenziale di perdita dei nitrati:** La carta (**Cap.I, § 1.3.10**) è stata realizzata in forma originale dalla struttura regionale (Unità Operativa Pedologica) a partire da altre cartografie e dati esistenti ed è relativa ad una elaborazione alla scala 1:250.000. La carta è stata derivata dall'incrocio della "Carta di rischio pedologico potenziale di perdita di nitrati" con la "Carta dell'indice di aridità" effettuando le elaborazioni in formato GRID (formato *raster* di ARC/INFO); successivamente è stata convertita, con procedure automatiche, in *shapefile*. Ad ogni pixel della carta derivata è stato assegnato un valore pari al risultato della moltiplicazione del valore del pixel corrispondente sulle due carte di base. Il range di 15 valori scaturiti da detta operazione sono stati aggregati in cinque gruppi di tre valori che costituiscono le classi della "Carta di rischio potenziale di perdita dei nitrati". Allo scopo di realizzare la "carta di rischio pedologico potenziale di perdita dei nitrati" sono state utilizzate la "Carta dei suoli della Sicilia" in scala 1:200.000, di Fierotti, e la "Carta dell'Uso del Suolo" in scala 1:250.000, redatta a cura dell'Assessorato Territorio e Ambiente. L'elaborazione dei dati cartografici ed alfanumerici ha consentito di classificare le unità cartografiche pedologiche in relazione alla loro maggiore o minore attitudine al rischio di rilascio nitrati.

Un cenno a questo punto necessita per la **Carta dei Suoli della Sicilia (pedologica), (Cap.I, § 1.3.9),** pubblicata alla scala 1:200.000 a stampa nel 1988 dall'Assessorato Territorio ed Ambiente, redatta per conto dello stesso Assessorato dal Prof. G. Fierotti e coll.. Non esiste, ufficialmente, una versione in formato numerico realizzata da Enti Pubblici. Tuttavia, nel corso dei lavori di raccolta di materiali per il Progetto è stato reperito un file numerico realizzato all'interno di Istituti Universitari tramite digitalizzazione della carta. Le diverse unità pedologiche sono individuate secondo le tre classificazioni CPCS, USDA e FAO-UNESCO.

2.3 L’esperienza e le possibili prospettive del Progetto ARTEMISIA 2

La necessità di realizzare in tempi relativamente brevi il Sistema Informativo del Progetto "ARTEMISIA 2" ha fornito una concreta occasione per testare la possibilità che prodotti cartografici ed informativi nati e sviluppati in contesti differenti e secondo necessità specifiche, anche a scale e con coordinate di riferimento differenti, interagiscano e consentano di avere un quadro conoscitivo territoriale ed ambientale dell'area in esame, tale da effettuare sulla base di essi e di altri dati specifici raccolti tramite alcune campagne di misure mirate, valutazioni e scelte localizzative.

La problematica circa le operazioni che sono state necessarie per rendere compatibili fra loro in un solo Sistema Informativo i dati raccolti presso le varie Amministrazioni Regionali e presso altre Amministrazioni ed Enti Istituzionali, ampiamente trattata nel capitolo precedente.

L'esperienza fatta in questo contesto può senz'altro servire per programmare nell'immediato futuro il coordinamento dei data-base comunque disponibili e le modalità di realizzazione dei nuovi.

In questo Quadro di specifiche attività, condotte da diverse Amministrazioni,si stanno perseguendo, all'interno del POR Sicilia, iniziative finalizzate alla strutturazione di Sistemi Informativi. L’Assessorato Regionale Territorio e Ambiente, competente della realizzazione del Sistema Informativo Territoriale a Rete (SITR) e del Sistema Informativo Regionale Ambientale (SIRA) sta disponendo a livello fisico e logico le connessioni utili ad implementare il valore e la portata dei due sistemi, proiettando,in questa direzione, verso altri sistemi la propria architettura di sistema.

Il Progetto Artemisia potrà consentire all'Amministrazione Regionale di circostanziare il corredo esistente di strumenti di monitoraggio statico e dinamico. Infatti, con riferimento ai dati relativi all'inquinamento atmosferico,rilevato dalla Provincia di Messina, emerge una fotografia puntuale dello stato dell'arte degli inquinanti atmosferici (anno 1999) e anche dell’organizzazione dei presidi pubblici preposti alla tutela ambientale.

Ciò, al momento attuale costituisce una utile ricognizione, in considerazione del mutato contesto istituzionale che, a seguito dell’istituzione dell’ARPA Sicilia prevede, anche, la realizzazione della rete regionale di rilevamento dell'inquinamento atmosferico quale presidio indispensabile sia per la realizzazione del Sistema Informativo Regionale Ambientale sia per la strutturazione dell'ARPA.

“Artemisia” nell'area del comprensorio di Milazzo potrà utilmente dare contezza plastica del modello di sviluppo urbano, infrastrutturale e industriale perseguito e, indirizzare scenari di sviluppo compatibile a fronte dei vincoli scaturenti dalla corrente normativa ambientale e dal Quadro Comunitario di Sostegno.

Inoltre l’esperienza Artemisia consente di avviare una riflessione circa l’utilizzo di Sistemi Informativi al servizio della partecipazione degli Enti Locali e delle popolazioni nella crescita della consapevolezza delle vulnerabilità e opportunità dei singoli territori e della partecipazione a percorsi decisori complessi.

Le considerazioni svolte hanno motivato la Regione Sicilia a richiedere al Ministero dell’Ambiente l’ampliamento del progetto in altre aree dell’isola al fine di potere apprezzare con maggiore ricchezza di dati le refluenze ambientali causate da cicli di sviluppo economico, caratterizzati da grandi impianti industriali e da forte e incontrollata espansione urbana. La richiesta, al momento storico, trova un contesto di urgenze economiche e ambientali, quali l’esaurirsi di cicli produttivi e una forte domanda sociale di recupero di guasti prodotti all’ambiente, che possono trovare in Artemisia un valore esemplare per la sua diffusione nel territorio.

Bibliografia

Per gli elaborati realizzati dall'Assessorato Regionale dei Beni Culturali ed Ambientali e P.I.:

-"Linee Guida del Piano Territoriale Paesistico Regionale", Regione Siciliana- Ass.to Beni Culturali ed Ambientali e Pubblica Istruzione.
-"Le linee guida del Piano territoriale paesistico della Regione Siciliana"di G. Gini e S. Alessandro, in "Documenti del Territorio" n. 37 del 1998.

Per gli elaborati realizzati dall'Assessorato Regionale Agricoltura e Foreste:

-"Le attività di rilevamento dell'uso del suolo dei Servizi allo sviluppo dell'Assessorato Agricoltura e Foreste della Regione Siciliana" di V. Ferraro, F. Guaitoli, M.G. Matranga, M. Percibosco e A. Pumo, in "Documenti del Territorio" n. 42 del 1999.
-Nota illustrativa su "Potenziale di rischio di rilascio di nitrati in falda" e "La Carta di rischio potenziale di perdita dei nitrati", a cura dell'Unità Operativa Pedologica dell'Assessorato Regionale Agricoltura e Foreste.

CAPITOLO III

Metodologie sperimentali e di valutazione degli effetti dell'inquinamento atmosferico sull'agroecosistema

*L. Triolo, A. Antonini, M. Barlattani, A. Correnti, P. Carconi, E. De Luca, R. Di Bonito, V. Di Gioia, G. Fiocchi, *D. La Torre, N. Portaro, S. Rosa, M. Schimberni, C. Vaccarello, G. Zappa. (ENEA, *Coldiretti)*

Premessa

L'agroecosistema oggetto del presente studio comprende il territorio agricolo di sedici Comuni che si collocano nella area più vicina all'impatto delle emissioni in aria delle sorgenti puntiformi considerate nei capitoli precedenti.

Le coltivazioni agricole e le risorse forestali considerate sono quelle che per l'ampia diffusione sul territorio e la loro produttività rappresentano una parte considerevole del P.I.L derivante dal comparto agroalimentare della Sicilia Nord Orientale.

Le principali colture agrarie e le risorse forestali presenti nel territorio di Milazzo e Comuni limitrofi sono sinteticamente riassunte nelle **Tabb. 3.1** e **3.2**.

Tab. 3.1

Comuni	AGRUMI		VITE		OLIVO		POMODORO		FRUMENTO		PATATA		LEGUMINOSE*	
	Superficie (ha)	Produzione (q)	Superficie (ha)	Produzione (q)	Superficie (ha)	Produzione (q)	Superficie (ha)	Produzione (q)	Superficie (ha)	Produzione (q)	Superficie (ha)	Produzione (q)	Superficie (ha)	Produzione (q)
Barcellona P.G.	703,39	104020,2	235,40	16548,62	741,22	14824,4	75,52	15104	37,56	822,56	21,39	3118,66	46,39	2968,6
Castroreale	125,22	17516,32	53,19	3739,257	409,22	8184,4	1,9	380	81,82	1791,86	6,75	984,15	12,45	666,3
Condrò	35,78	4978,92	11,69	821,807	44,75	895,0	3,55	710	-	-	1,93	281,39	1	70,3
Gualtieri Sicaminò	130,4	16952,44	12,67	890,701	137,62	2752,4	0,67	134	-	-	0,05	7,29	0,5	23,9
Mazzarrà S.Andrea	17,05	2400,5	-	-	20,02	400,4	-	-	-	-	-	-	-	-
Merì	17,41	2630,6	2,69	189,107	17,57	351,4	-	-	-	-	0,17	24,79	0,16	8,8
Milazzo	83,08	12359	24,50	1722,35	126,97	2539,4	18,91	3782	-	-	90,36	13174,49	-	-
Monforte S.Giorgio	232,2	30562,66	41,59	2923,777	89,08	1781,6	13,05	2610	0,1	2,19	50,33	7338,11	14,57	877,4
Pace del Mela	105,78	14337,02	38,43	2701,629	255,28	5105,6	6,18	1236	1,03	22,56	36,43	5311,49	0,29	9,2
Rometta	117,65	16160,82	34,14	2400,042	163,26	3265,2	9,5	1900	-	-	4,26	621,11	2,01	127,2
Salina - Malfa	0,06	10,8	35,78	2515,334	25,57	511,4	-	-	-	-	0,13	18,95	1,25	42,2
S. Filippo del Mela	59,39	9122,6	21,37	1502,311	102,76	2055,2	2,37	474	-	-	47,81	6970,70	0,55	44,2
S. Lucia del Mela	101,35	14404,24	228,10	16035,43	276,49	5529,8	20,62	4124	9,83	215,28	8,93	1301,99	2,9	284,6
S. Pier Niceto	187,74	25110,28	26,04	1830,612	138,48	2769,6	7,05	1410	0,2	4,38	18,43	2687,09	2,12	86
Terme Vigliatore	87,93	14582,24	15,99	1124,097	128,35	2567,0	3,01	602	1,3	28,47	0,08	11,66	0,15	7,8
Torregrotta	29,85	4075,98	5,27	370,481	44,97	899,4	0,99	198	-	-	30,44	4438,15	0,44	23,3
Totale Area	**2034,28**	**289224,6**	**786,85**	**55315,56**	**2721,61**	**54432,2**	**163,32**	**32664**	**131,84**	**2887,30**	**317,49**	**46290,04**	**84,78**	**5239,8**

* dato ottenuto considerando: pisello proteico e secco, fagiolo secco, fava fresca ed altri legumi secchi.

Fonte: Elaborazione ENEA da dati ISTAT 2000.

Tab. 3.2

Comuni	Boschi	Prati permanenti e pascoli
	Superficie (ha)	Superficie (ha)
Barcellona P.G.	115,50	47
Castroreale	130,16	992,94
Condrò	0,27	2,62
Gualtieri Sicaminò	-	359,73
Mazzarrà S.Andrea	19,77	21,17
Merì	-	0,8
Milazzo	0,06	51,19
Monforte S.Giorgio	194,97	444,24
Pace del Mela	0,92	21,61
Rometta	149,59	613,76
Salina - Malfa	-	-
S. Filippo del Mela	0,21	2,41
S. Lucia del Mela	738,12	2.805,45
S. Pier Niceto	37,86	241,44
Terme Vigliatore	-	5,93
Torregrotta	0,25	-
Totale Area	**1387,68**	**5610,29**

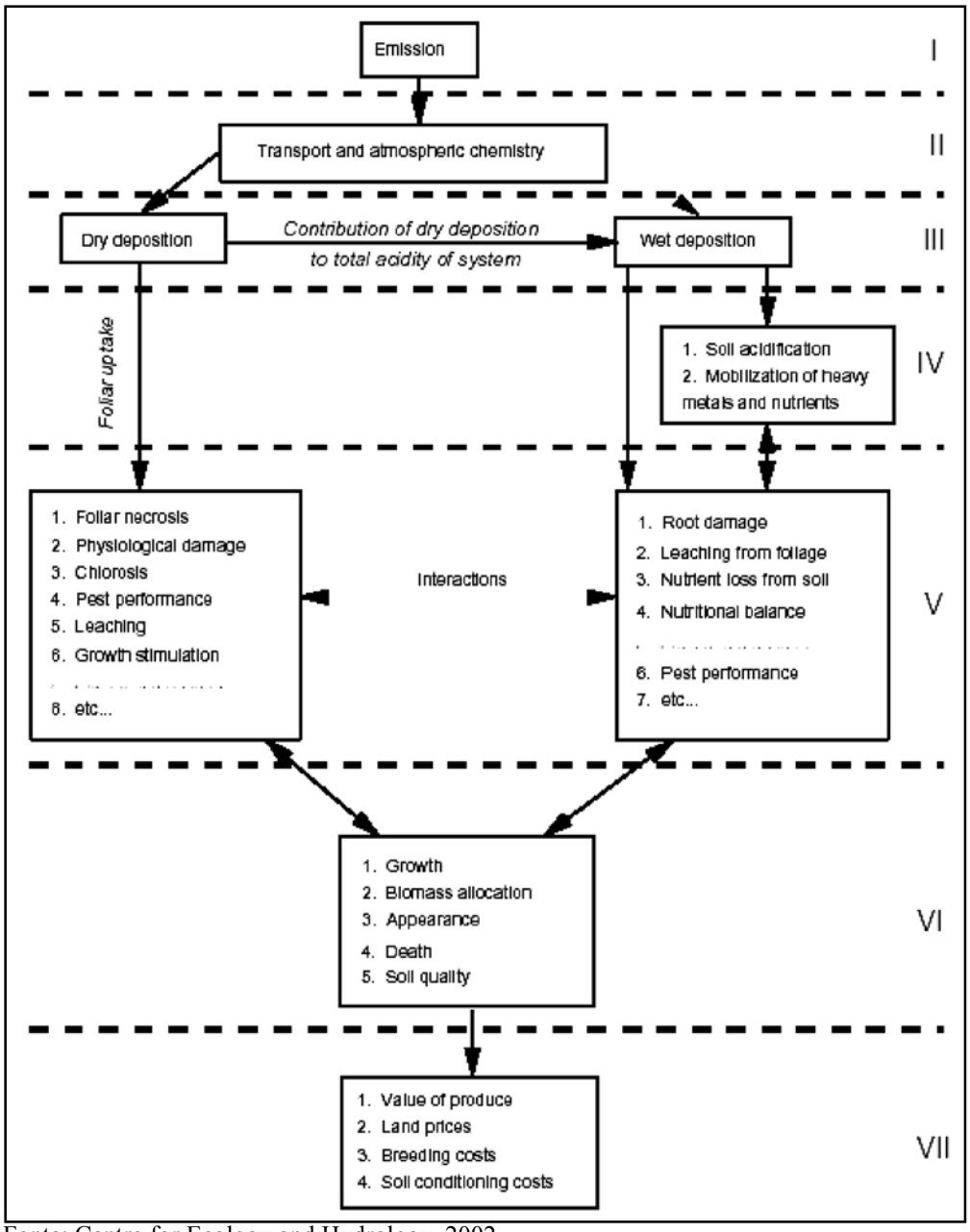
Fonte: Elaborazione ENEA da dati ISTAT 2000.

Le tipologie degli effetti che sono stati studiati riguardano:

- i cali di resa delle produzioni agricole e la diminuzione della massa legnosa delle essenze forestali determinati dall'interazione fisiopatologica di SO_2 ed O_3 con le parti aeree delle specie vegetali;
- le alterazioni nella qualità dei principali prodotti agricoli causate dall'incorporazione nei tessuti edibili e/o da depositi in superficie di elementi tossici e di composti organici potenzialmente nocivi alla salute umana.

L'esemplificazione di tali effetti è riportata in **Fig. 3.1**, che rappresenta il quadro generale delle interazioni tra emissioni inquinanti atmosferiche e sistemi vegetali (agricoli e non).

Fig. 3.1



Fonte: Centre for Ecology and Hydrology, 2002.

Le due linee di impatto, secca (dry) ed umida (wet), sostanzialmente definiscono le due espressioni degli effetti dell'inquinamento atmosferico sulle piante.

La linea dry è determinata dai gas inquinanti (SO_2, NO_X, O_3 ecc.) e dal particolato secco, che agiscono sulla velocità di crescita, nella produzione di lesioni foliari e nell'interazione con i patogeni biotici.

Nella seconda linea, wet, le precipitazioni umide producono effetti a livello radicale, acidificando i suoli e determinando il leaching di alcuni elementi tossici, rendendoli biodisponibili all'apparato radicale ed alterando il sistema di difesa ai patogeni biotici. Ambedue le linee concorrono all'alterazione delle rese agricole e della qualità intrinseca e dell'aspetto esteriore del prodotto commerciale. Inoltre il suolo può subire un'inibizione come fattore di produzione agricola.

3.1 Metodologie di valutazione dei cali di resa agricola causati da SO_2 e O_3

3.1.1 Considerazioni generali

Le espressioni quantitative, quali funzioni dose-risposta, e semiquantitative (limiti critici) riportate di seguito derivano da un'analisi di molteplici dati di letteratura elaborati da vari Autori, anche dell'ENEA.

Nei più di venti anni trascorsi dall'epoca della seconda crisi energetica (1979) quando iniziarono valutazioni rigorose degli effetti nocivi sulla salute umana, sulla vegetazione e sui materiali causati dalle emissioni dovute all'uso dei combustibili fossili (carbone, petrolio e gas naturali) si è assistito a notevoli evoluzioni e perfezionamenti degli strumenti di *assessment* degli effetti.

Da una parte la miglior comprensione dei meccanismi molecolari delle interazioni di SO_2, NO_X, O_3, HC (idrocarburi) e particolato con i tessuti degli organi vegetali e animali esposti e dall'altro il miglioramento e la semplificazione degli strumenti di monitoraggio degli stessi inquinanti hanno consentito valutazioni più rigorose. I territori dove sono presenti emissioni inquinanti sono dunque stati analizzati più dettagliatamente negli effetti nocivi.

Nella valutazione dei danni alla vegetazione, negli ultimi anni ha assunto un ruolo sempre più importante rispetto agli altri inquinanti atmosferici, l'O_3 soprattutto perché ha raggiunto concentrazioni in Europa che possono causare molteplici effetti quali lesioni foliari, effetti sulla velocità di crescita e sulle rese agricole nonché una sensibilità più elevata agli stress biotici e abiotici.

È stato dimostrato che gli effetti dell'O_3 si propagano su larghe aree rurali europee, anche perché è un inquinante secondario che si genera dalla reazione, favorita dalla radiazione UV, di inquinanti primari quali NO_2, HC etc. Allo stato attuale l'avanzamento delle ricerche di base a livello molecolare consente di capire il significato biologico che caratterizza l'esposizione da O_3 e di identificare il livello critico di esposizione.

Perché l'O_3 si sposta ad alte concentrazioni su lunghe distanze è chiaro che si rende necessario un approccio per uno sviluppo di policy internazionale così come è avvenuto in ambito UNECE (United Nation Economic Commission for Europe) e della Convention on Long Range Transboundary Air Pollution (LRTAP) che si è costituita nel 1979. Tali convenzioni internazionali hanno scandito alcune tappe fondamentali nella definizione di criteri metodologici condivisi dai vari paesi:

- la convenzione decide di adottare il criterio di carichi e livelli critici. I livelli critici dei vari inquinanti sono quelle concentrazioni al di sopra dei quali possono verificarsi effetti negativi su recettori diversi quali piante, ecosistemi e materiali secondo le correnti conoscenze scientifiche;
- le Policy per la valutazione sono basate sulla mappatura di quelle aree dove si verifica il superamento di livelli critici di diversi inquinanti;
- per la prima volta nel 1988 a Bad Harburg (Germania) (UNECE, 1988) sono stati definiti i livelli critici per O_3 espressi come concentrazioni medie stagionali;
- nel 1992 ad un Workshop tenuto ad Egham (Gran Bretagna) fu proposto di sostituire questa base di espressione da un indicazione cumulativa di esposizione al di sopra di una concentrazione di soglia per un tempo definito. (Ashmore and Wilson, 1994);
- nel 1994 a Berna è stato definito meglio questo concetto ed è stata stabilita la soglia di concentrazione a 40 ppb: l'indice fu chiamato AOT40 (Accumulation Exposure Over Threshold 40 ppb);
- nel 1996 a Xuopio (Finlandia), è stato accettato l'uso di AOT40 e sono stati rivisti una serie di indici per specie forestali e vegetazione spontanea;
- nel 1995 anche la WHO (World Health Organization) ha considerato l'AOT40 per rivedere le linee guida della qualità dell'aria in Europa relativamente all'impatto ecologico dell'O_3.

3.1.2 Livelli critici per O_3

Il set di livelli critici per l'O_3 può avere un considerevole significato di policy di tutela ambientale ma gli argomenti su cui si basa e le incertezze inerenti al set di valori non sono stati finora sistematicamente verificati nella letteratura scientifica.

È necessario descrivere e valutare criticamente le basi scientifiche dei livelli critici di O_3 che sono state impiegate e identificare i limiti e le incertezze nel metodo usato.

L'argomento più interessante di questa analisi dovrebbe riguardare gli effetti a lungo termine.

Ci sono svariate alternative negli indici di esposizione ad O_3.

Dai dati dell'U.S. NCLAN (National Crop Losses Assessment Network) di 5 crops da differenti siti ed anni sono stati testati numerosi indici che dimostrano che l'esposizione accumulata nel tempo, con attenzione alle concentrazioni più elevate, dovrebbe essere tenuta in considerazione piuttosto che la concentrazione media. Ciò è stato confermato da un'analisi statistica e da una serie di esperimenti in Europa condotti sul grano (Finnan, 1997) usando i dati dell'NCLAN.

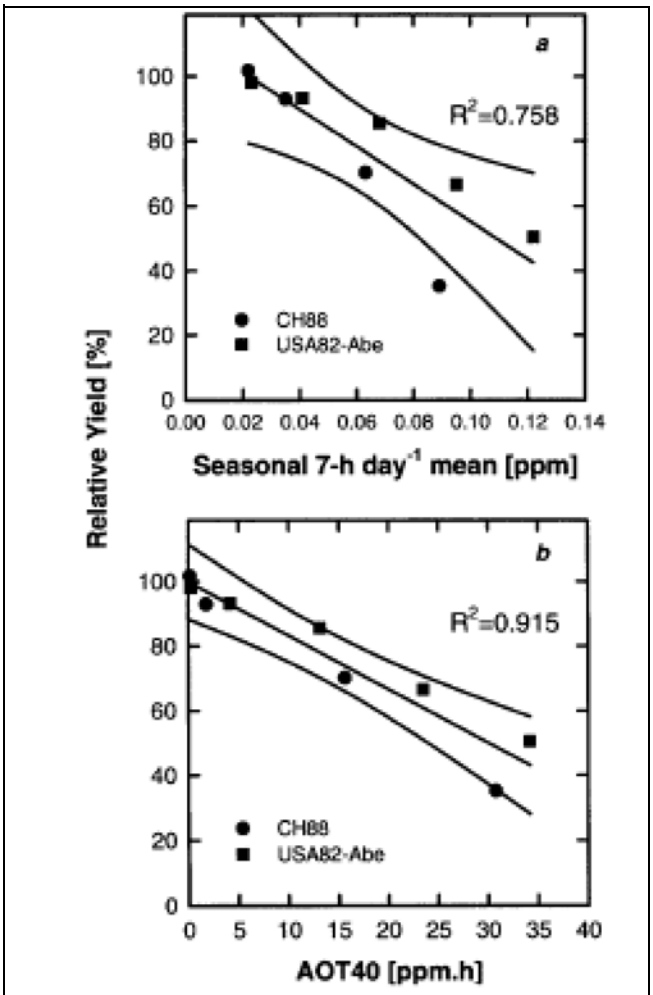
Musselman et l., (1994b) trovarono che concentrazioni più alte di 87 ppb contribuiscono di più alle perdite di resa che quelle più basse.

Così ad indicare che la somma di tutte le concentrazioni medie orarie più elevate di 60 o 80 ppb, contribuiscono meglio di quegli indici che non impiegano concentrazioni di cut-off.

Ovvero le concentrazioni medie orarie più elevate giocano un ruolo più rilevante nello spiegare gli effetti negativi rispetto alle concentrazioni medie o a quelle basse.

In USA a volte sono state adoperate le somma delle concentrazioni orarie eguali a più alte di 60 ppb (SUM 06). È stato suggerito che un indice cumulativo con un cut-off di concentrazione di 40 ppb (AOT40) dovrebbe rimpiazzare la concentrazione media delle 7 ore centrali del giorno.

Fig. 3.2



Comparison of two types of exposure indices. Exposure–response relationships (with 95% confidence interval for the regression) for the effect of ozone on grain yield of wheat using (a) the seasonal 7 h day^{-1} mean concentration or (b) the AOT40 calculated for the exposure period. Data are from an experiment at Argonne National Laboratory with the winter wheat cultivar Abe (USA82-Abe) with a 55-day exposure period (Kress *et al.*, 1985), and from an experiment with spring wheat in Switzerland (CH-88) with an 87-day exposure (Fuhrer *et al.*, 1989).

Fonte: Fuhrer J. et al., 1997.

La Fig. 3.2 illustra la differenza nel coefficiente di determinazione (R2) ottenuta da regressione delle concentrazioni medie stagionali o l'indice cumulativo AOT40 vs le rese relative di frumento.

Il *plot* dimostra che si ottiene un miglioramento nella rappresentazione grafica usando l'indice cumulativo.

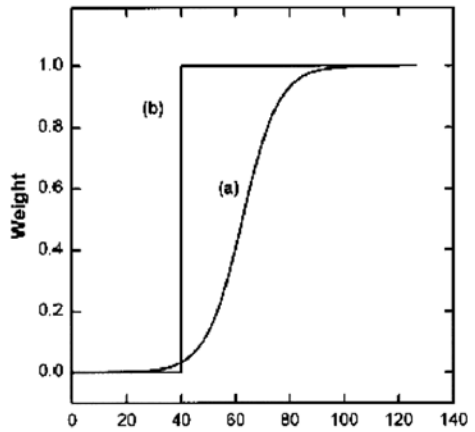
Musselman concludeva che, sebbene l'indice di esposizione cumulativo è più rappresentativo delle medie stagionali, l'uso di un solo indice non garantisce che le più importanti componenti dell'esposizione siano rappresentate. Da un punto di vista delle metodologie sperimentali che sono utilizzate, gli esperimenti con OTC (Open Top Chamber) sono i più rigorosi per fornire set di dati da cui derivano i livelli critici, ovvero funzioni dose-risposta in un ampio *range* di esposizione.

È stato visto negli esperimenti di esposizione-risposta con O_3 che l'esposizione ad alte concentrazioni è il fenomeno più importante nel determinare effetti di lungo termine. Ciò è spiegato dalla capacità delle piante di detossificare O_3 ed altri ossidanti: solo quando la concentrazione o il flusso di O_3 supera questa capacità si manifestano gli effetti avversi. Il fenomeno può essere considerato negli indici di esposizione usando procedure per dare peso alle concentrazioni.

La **Fig. 3.3** illustra due possibilità: l'uso di una funzione continua sigmoide che assegna un peso compreso tra 0 e 1 alle concentrazioni comprese tra due valori (curva a) ovvero l'uso di una procedura che assegna in modo discontinuo, un peso 0 a tutte le concentrazioni al disotto di una certa soglia e un peso 1 a quelle al di sopra della stessa soglia (curva b).

Fig. 3.3

. Illustration of ozone concentration weighting using (*a*) continuous weighting with a sigmoidal function that gives increasing weight to increasing concentrations, or (*b*) discontinuous weighting with a cut-off concentration ("threshold") that gives equal weight to all concentrations above (weight = 1) or below (weight = 0) the cut-off point



. Fonte: WHO Regional Office for Europe,2000.

È ovvio che la curva (a) ha un significato biologico più corretto, tuttavia la limitatezza dei dati sperimentali e modellizzazione di indici di esposizione complessi, fa preferire il metodo (b).

In tal modo l'indice per calcolare l'esposizione cumulativa si basa sulle somme delle differenze positive tra la concentrazione media oraria e la soglia di concentrazione per un periodo di esposizione fissato. Come già è stato detto nel workshop di Egham del 1992 dell'UNECE la soglia di concentrazione è stata fissata a 40 ppb e l'indice è stato chiamato AOT40, ovvero l'esposizione ad O_3 accumulata al di sopra di una soglia di 40 ppb ed è stato espresso in ppb x ora o ppm x ora.

L'analisi statistica dei dati di resa agricola ricavati in Europa con i sistemi OTC ha dimostrato che l'uso di questa soglia generalmente fornisce una migliore funzione dose-risposta rispetto all'uso di valori di concentrazione di soglia più elevati.

Una relazione dose-risposta lineare consente di definire meglio i livelli critici corrispondenti a specifici effetti di quanto non possono altri tipi di funzioni dose-risposta.

L'uso di 40 ppb come soglia è stato preferito rispetto a soglie più basse perché in Europa centrale esso corrisponde, a grandi linee, alle concentrazioni medie in aree con frequenza variabile di episodi fotochimici.

Ciò non significa, tuttavia, che concentrazioni al di sotto di 40 ppb non abbiano effetti: le concentrazioni soglia non presentano una reale soglia per gli effetti ma piuttosto concentrazioni di cut-off.

Poiché al crescere dell'altitudine l'O_3 di background aumenta, l'uso di una concentrazione di cut-off può non essere appropriata ad altitudini elevate.

L'indice dovrebbe essere calcolato con le concentrazioni solo delle ore diurne (con radiazioni solari ≥50 w/m^2). Infatti solo basse deposizioni di O_3 sono state misurate sulle colture agrarie le foreste durante la notte.

I dati di monitoraggio di diversi siti europei mostrano AOT40 altamente variabili. I più bassi valori di AOT40 (ore diurne di maggio-luglio), inferiori a circa 3 ppm x ora, si verificano tipicamente nella Scandinavia mentre i valori dell'Europa continentale sono collocati nel range 5-25 ppm x ora.

3.1.3 Livelli critici per SO_2

In Europa l'SO_2 è stato giudicato il più importante inquinante fitotossico fino agli anni '80.

Nel periodo successivo le politiche ambientali hanno determinato una diminuzione delle emissioni che ha prodotto concentrazioni in atmosfera più basse ed una minor attenzione è stata dedicata a questo inquinante. Com'è noto sono fortemente incrementati gli ossidi di azoto e l'O_3. Tuttavia l'SO_2 continua a rappresentare una minaccia potenziale per la vegetazione in molte parti d'Europa ed in particolare per le aree altamente industrializzate della Repubblica Ceca, della Polonia e della Germania.

Relativamente agli standard per la qualità dell'aria dell'SO_2 l'International Union of Forest Research Organization (IUFRO) non ha modificato i valori raccomandati per SO_2 per la protezione alle foreste (**Tab. 3.3**).

Tab. 3.3

Period	Maximum level of sulfur dioxide (µg/ m^3) that allows:	
	full production in most sites	full production and environmental protection[a]
Annual average	50	25
24-hour average	100[b]	50
97.5 percentile of 30-minute values in growing season	150	75

[a] Environmental protection against erosion and avalanches and to ensure full production in higher regions of mountains, boreal zones, extreme sites, etc.

[b] The 24-hour average may be exceeded 12 times in a period of 6 months.

Fonte: WHO Regional Office for Europe, 2000.

Si può vedere che la media alle 24 ore adottata da IUFRO è lo stesso valore delle linee guida WHO (100 µg/m^3) ad eccezione delle 12 deroghe ammesse da IUFRO nel periodo di 6 mesi.

Il valore di concentrazione medio annuale di IUFRO, 50 µg/m^3 è superiore sempre al valore delle linee guida WHO.

La Commissione dell'Unità Europea ha stabilito che la mediana (50° percentile) dei valori medi giornalieri di un anno non dovrebbe superare 80 µg/m^3 ed i valori invernali non dovrebbero superare i 130 µg/m^3 (**Tab. 3.4**).

Tab. 3.4

EU statutory standards for sulfur dioxide

Median (50th percentile) of daily values taken throughout the year

120 µg/m^3 if smoke is < 34 µg/m^3
80 µg/m^3 if smoke is > 35 µg/m^3

Median of daily mean values taken throughout the winter (1 October to 31 March)

180 µg/m^3 if smoke is < 51 µg/m^3
130 µg/m^3 if smoke is > 51 µg/m^3

98th percentile of all daily mean values taken throughout the year

350 µg/m^3 if smoke is <128 µg/m^3
250 µg/m^3 if smoke is >128 µg/m^3

Guideline values for year

Arithmetic mean of daily values taken throughout the year: 40–60 µg/m^3

Guideline values for 24 hours

Daily mean value: 100–150 µg/m^3

Note: Limit values depend on presence and concentration of smoke. The smoke values are quoted in British Standard Units: EC units × 0.85.

Fonte: WHO Regional Office for Europe, 2000.

I livelli critici UNECE per SO_2, che sono presenti in **Tab. 3.5** sono diversi. L'uso di un valore quale linea guida per le 24 ore per SO_2 è stato abbandonato dall'UNECE. Le medie annuali di 30 µg/m^3 di SO_2 per la protezione delle colture agricole e di 20 µg/m^3 per la protezione delle foreste e della vegetazione naturale sono stati confermati nel 1992 e dovrebbero essere applicati ora nei mesi invernali (ottobre-marzo) per la vegetazione di importanza economica e ambientale. In **Tab. 3.5** è indicato anche un abbassamento dei target per i licheni (10 µg/m^3) dove la somma della temperatura accumulata sopra 5 °C è inferiore a 1000 °C per giorno per anno (15 µg/m^3) per foreste e vegetazione naturale.

Tab. 3.5

UNECE critical levels for sulfur dioxide

As set at Bad Harzburg (1)

24-hour mean:	70 µg/m^3
Annual mean:	30 µg/m^3 to protect agricultural crops
	20 µg/m^3 to protect forests and natural vegetation

As set at Egham (49)

24-hour mean abandoned.

Annual means to protect agricultural crops (30 µg/m^3) and forests and natural vegetation (20 µg/m^3) were confirmed. However, these critical level values should be applied in winter (October to March) for relevant vegetation types, such as coniferous trees.

A critical level of 15 µg/m^3 as annual and winter means has been set for natural vegetation and forests in areas of low temperatures. These areas are defined as where the accumulated temperature sum above + 5 °C is < 1000 °C-days per year.

Annual mean to protect certain lichen species: 10 µg/m^3

Fonte: WHO Regional Office for Europe, 2000.

Per quanto attiene le funzioni dose-risposta relative ai cali di resa per le specie che sono state elencate precedentemente nella **Tab. 3.1** in quanto più rilevanti sul piano economico e dell'agroecosistema in studio, si citano di seguito alcune delle espressioni trovate in letteratura per mettere anche a confronto i risultati ottenuti nei diversi paesi e con diverse metodologie. Attraverso tali materiali saranno scelte, caso per caso, le espressioni più appropriate per operare le valutazioni degli effetti nocivi sulle colture e le aree forestali del territorio studiato.

In definitiva i valori delle linee-guida per l'O_3 raccomandati dal WHO, Ufficio Regionale Europeo, sono:

- per proteggere le colture agrarie dagli effetti di lungo termine e di perdite di resa al massimo di 5% o 10%, la dose accumulata di O_3 sopra il livello di cut-off di 40 ppb per ore diurne ($\geq$50 W/m^2 di radiazione globale) per tre mesi, l'AOT40 non dovrebbe superare i valori di 3 ppm x ore o 6 ppm x ora;
- per proteggere la vegetazione naturale e seminaturale dai cambiamenti di composizione di specie e dalle riduzioni del numero dei germogli e di semi per pianta, l'AOT40 non dovrebbe superare 3 ppm x ora;
- per proteggere specie arboree forestali da effetti di lungo termine e riduzione di crescita l'AOT40 per 6 mesi non dovrebbe superare 10 ppm x ora.

Tali linee guida potrebbero non proteggere specie sensibili da effetti acuti di breve termine. Il livello critico per proteggere le colture agrarie da lesioni foliari di breve periodo dovrebbe essere l'AOT40 pari a di 0,5 ppm per un periodo di 5 giorni (solo quelle ore diurne) quando il deficit di tensione di vapore medio eccede 1,5 kPa e 0,2 ppm x ora, quando il deficit di tensione di vapore è inferiore a 1,5 kPa.

3. 1.4 Funzioni dose-risposta per i cali di resa causati da ozono

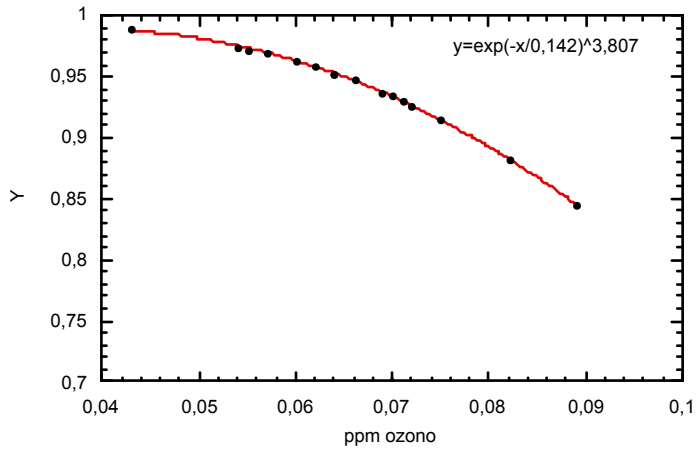
Sono elencate di seguito funzioni dose-risposta per i cali di resa dovuti ad esposizione ad O_3 relative ad alcune colture agrarie, considerando le diverse metodologie ed i risultati riportati in letteratura, alcuni dei quali sono stati elaborati in ENEA.

Pomodoro

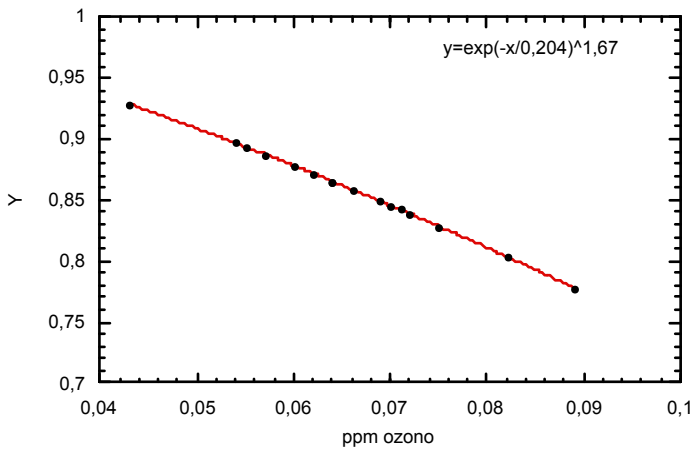
In base a studi sperimentali è stata elaborata la seguente funzioni dose-risposta (Bocola et al., 1988):

$$Y = \exp\left(-(x/0{,}142)^{3{,}807}\right)$$

dove Y rappresenta la frazione del raccolto (valore compreso tra 1 e 0) riferita alla situazione in assenza di ozono antropico, mentre x rappresenta la concentrazione media di O_3 nelle ore centrali della giornata da aprile a settembre, espressa in ppm.



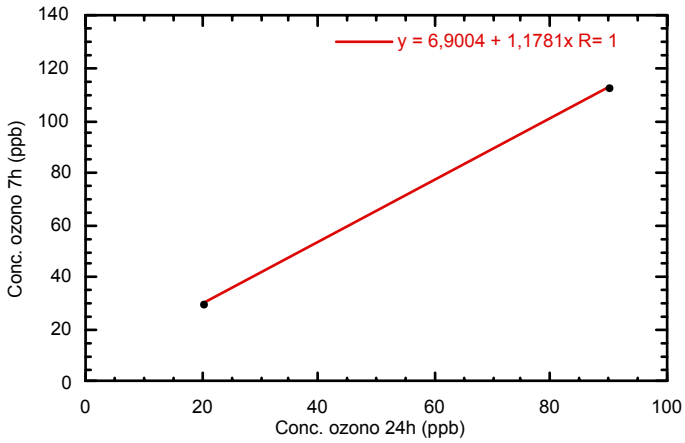
Alcuni dati sperimentali ottenuti da Postiglione e collab. (1994) presso la Facoltà di Agraria di Portici (Na) evidenziano che all' esposizione ad una concentrazione di O_3 pari a 34,1 ppb si ottiene un calo di resa ΔY = - 12 d.w e ΔY = - 39 f.w

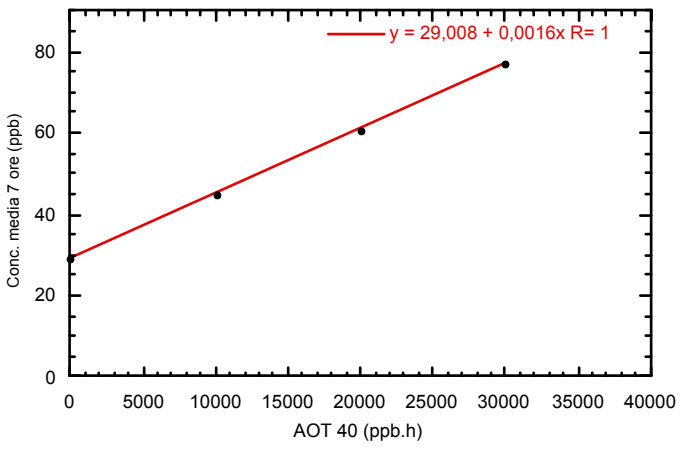


Un progetto di ricerca promosso da UNECE, International Cooperative Programme on Vegetation e realizzato dal CENTRE for ECOLOGY and HYDROLOGY (GRAN BRETAGNA), ha valutato le perdite economiche associate ai cali di resa agricola nei vari Paesi Europei causate da esposizione ad O_3. I riferimenti scientifici del Centre for Ecology and Hydrology sono le Università di Bradford, di York, del Galles ed il Centro AEA Technology di Culham, Abingdon. Nel rapporto finale (aprile 2002) sono riportate numerose funzioni dose-risposta necessarie alla valutazione dei cali di resa ricavate principalmente con il sistema sperimentale OTC.

Come è stato visto precedentemente l'indice che sembra assumere un ruolo più condiviso nelle Istituzioni preposte per descrivere gli effetti dei cali di resa in funzione dell'esposizione ad O_3 è l'AOT40 (ppb.h). Non sempre esistono le possibilità sperimentali di realizzare una rete di monitoraggio che consenta di effettuare le misure di tale indice, soprattutto quando si considerano territori in cui il sensore deve essere posto in siti remoti poco controllabili, come è avvenuto nel caso del presente studio, nel quale sono state misurate le concentrazioni medie mensili. Sono, quindi, di seguito riportate le equazioni dose-risposta necessarie ad effettuare le valutazioni dei cali di resa causati da O_3 per varie specie che interessano il territorio agricolo in esame raccolte nello studio UNECE sopra citato.

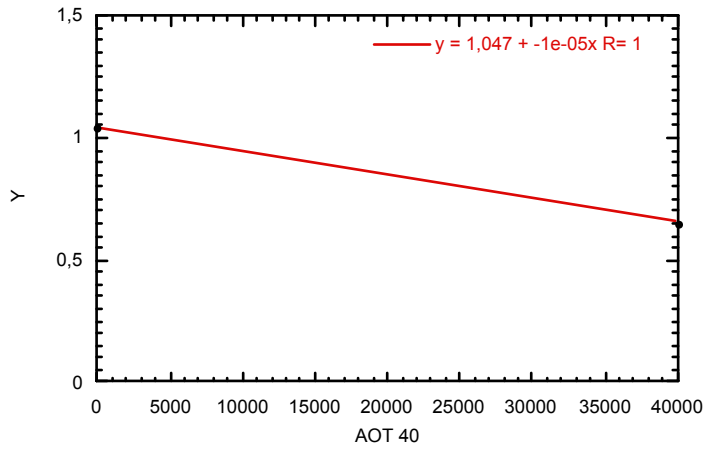
Le due equazioni che seguono permettono il calcolo dei dati di calo di resa in funzione delle concentrazioni nelle 24 ore attraverso la conversione di tale base dati in valori espressi nell'indice AOT40.





Per quanto riguarda il pomodoro, nel rapporto UNECE viene riportata la seguente funzione dose-risposta per il calcolo del calo di resa:

Y = -E(-05)X + 1,047 dove X = AOT40

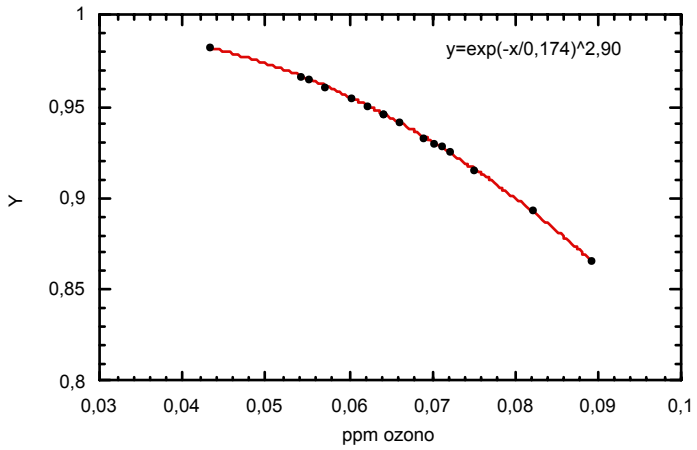


Frumento

In base a studi sperimentali effettuati in condizioni controllate su grano tenero (*Triticum aestivum*) è stata elaborata la seguente funzione dose-risposta (Bocola et al., 1988):

$Y = \exp(-(X/0.174)^{2,90})$

dove Y rappresenta la frazione del raccolto (valore compreso tra 1 e 0) riferita alla situazione in assenza di ozono antropico, mentre X rappresenta la concentrazione di O_3 espressa in ppm.

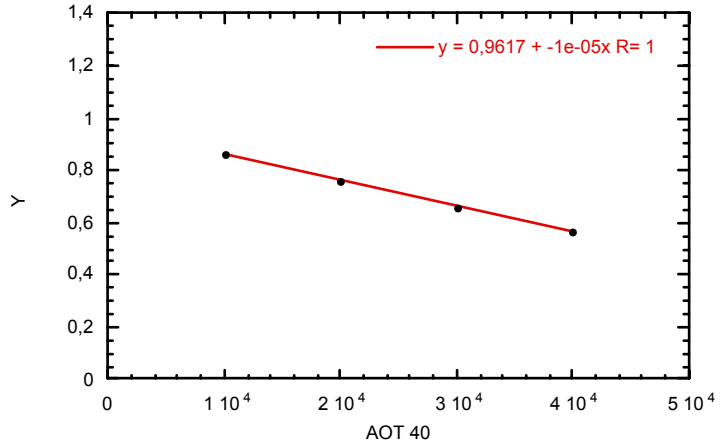


I numerosi esperimenti condotti da Fumagalli et al., (2001) su colture di *Triticum aestivum* 'Gemini' esposte ad aria filtrata e non filtrata in OTC in due siti localizzati nella Pianura Padana (Redecesio di Segrate ed Isola Serafini) hanno evidenziato i risultati riassunti nella tabella seguente, specificatamente per quanto riguarda gli effetti dell'ozono sui parametri produttivi (p.s. cariossidi) di questa specie:

Anno	Sito	Tempo di esposizione	Conc.ozono (ppb)	Variazione (%)
1988	Isola S.	1/5-30/6	-	-17,9
	Redecesio	1/5-30/6	53 (7h)	-27,4
1989	Isola S.	1/5-30/6	54 (7h)	-21,2
	Redecesio	1/5-30/6	62 (7h)	-21,7
1990	Isola S.	1/5-30/6	64 (7h)	-22,8
	Redecesio	1/5-30/6	55 (7h)	-20,0

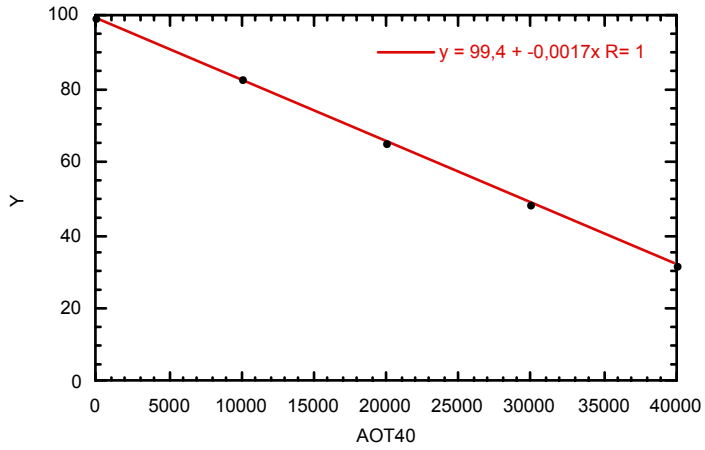
Nel rapporto del Centre for Ecology and Hydrology (2002) precedentemente citato è riportata la seguente funzione dose–risposta necessaria per effettuare la valutazione dei cali di resa su questa specie:

$$Y = -E\text{-}05X + 0{,}9617$$



Nello studio effettuato da Nali C. et al. (2002) sulla distribuzione dell'O_3 nell'Italia Centrale e sui suoi effetti sulla produttività, si cita per il *Triticum aestivum* la seguente funzione dose-risposta disponibile in letteratura:

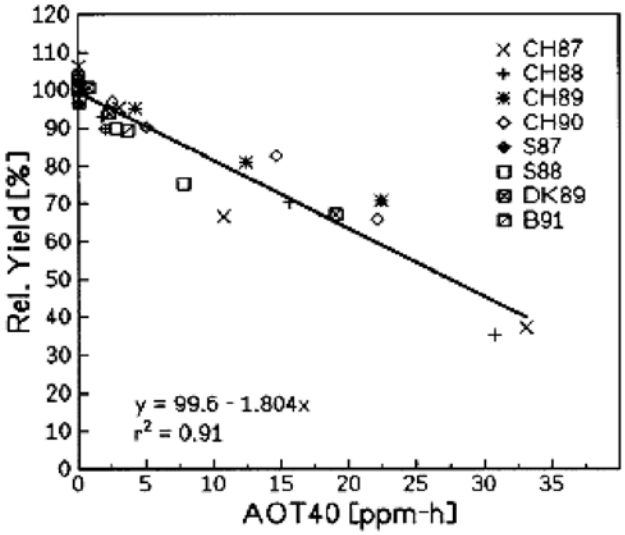
$$Y = 99{,}4 - 0{,}0017X \qquad \text{dove } X = \text{AOT40}$$



I risultati sperimentali ottenuti nell'ambito di un'importante collaborazione internazionale, condotta in Europa dal Regional Office for Europe del WHO (2000) per lo studio degli effetti dell'O_3 sul grano tenero impiegando le OTC sono riassunti nella figura seguente (**Fig. 3.4**), che evidenzia un buon accordo tra i dati dei quattro Paesi partecipanti.

Fig. 3.4

The relationship between relative grain yield of spring wheat and ozone exposure expressed as AOT40 for 3 months (with 99% confidence interval of the regression)



Data are from eight European open-top chamber experiments. CH: Switzerland; S: Sweden; DK: Denmark; B: Belgium (22).

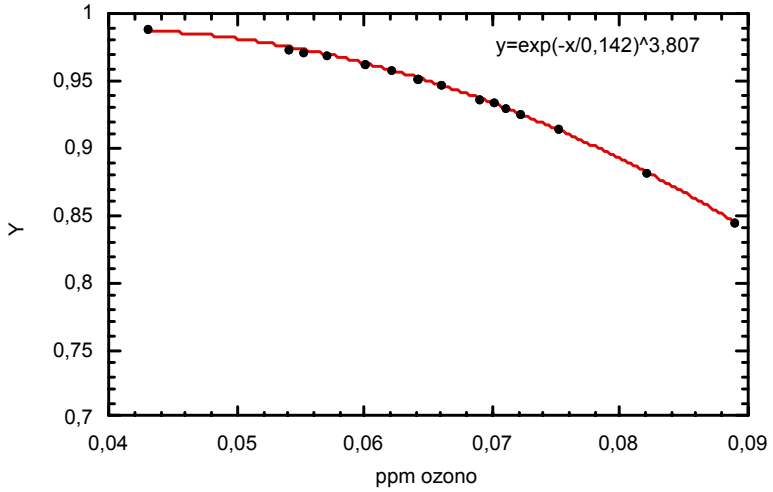
Fonte: WHO Regional Office for Europe, 2000.

Leguminose

In base a studi sperimentali su questa specie sono state elaborate le seguenti funzioni dose-risposta:

1) $Y = \exp(-(X/0{,}142)^{3{,}807}$ (Bocola et al.,1988)

dove Y rappresenta la frazione del raccolto (valore compreso tra 1 e 0) riferita alla situazione in assenza di ozono antropico, mentre X rappresenta la concentrazione di O_3 espressa in ppm.



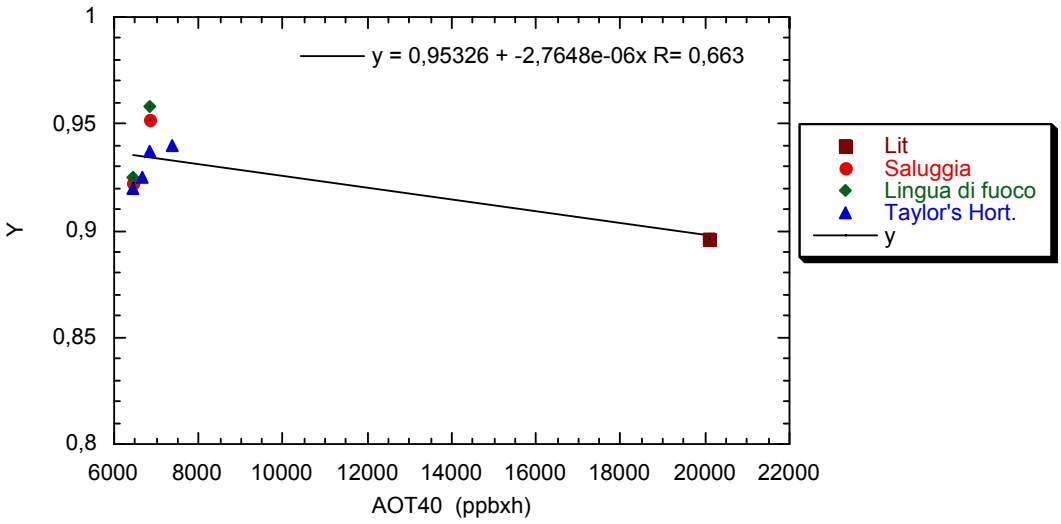
2) $Y = \exp -(X_7 /0.219)^{1{,}525}$ (Heck W.W. et al., 1983)

dove X_7 è la concentrazione media di O_3 stagionale calcolata su 7 ore al giorno e Y rappresenta la frazione del raccolto (valore compreso tra 1 e 0) riferita alla situazione in assenza di ozono antropico.

Tale equazione è già stata utilizzata in uno studio effettuato dall'ENEA per la valutazione dell'impatto sull'ambiente e sull'uomo degli effluenti della Centrale di Tavazzano-Montanaso (1988).

I risultati sperimentali ottenuti dal gruppo di ricerca dell'ENEL coordinato da Fumagalli I. (2001) su diverse varietà di fagiolo ("Taylor's Horticoltural", "Lingua di fuoco", "Saluggia" e "Lit") esposte ad aria filtrata e non filtrata in OTC sono stati elaborati in ENEA. Il fit ottenuto graficando la frazione del raccolto (riferita al peso fresco) in funzione della concentrazione di O_3 espressa come AOT40 (ppbxora) è rappresentato dalla seguente equazione:

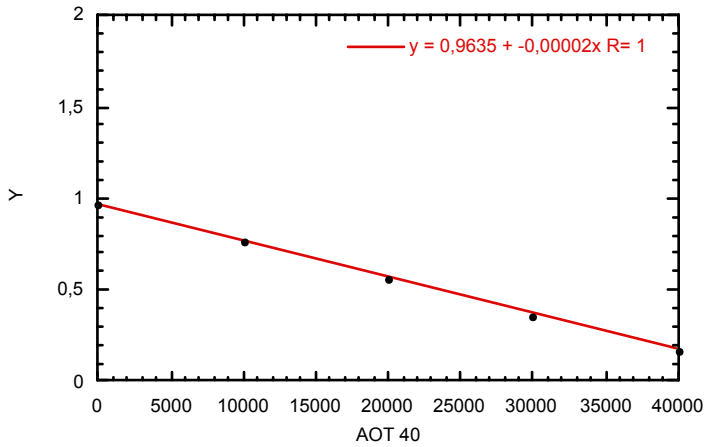
$Y = 0{,}95 - 2{,}76E(-06)X$ ($R = 0{,}663$)



Postiglione et al. (1994) dell'Università di Portici hanno, invece, misurato a concentrazioni comparabili con quelle del Gruppo di ricerca dell'ENEL (33,9 ppb) forti cali di resa (-50%) sul peso fresco dei semi.

Lo studio interuniversitario del Centre for Ecology and Hydrology (2002) ha determinato per le leguminose la seguente equazione dose-risposta:

$$Y = -2E(-05)X + 0{,}9635 \qquad (X = AOT40)$$

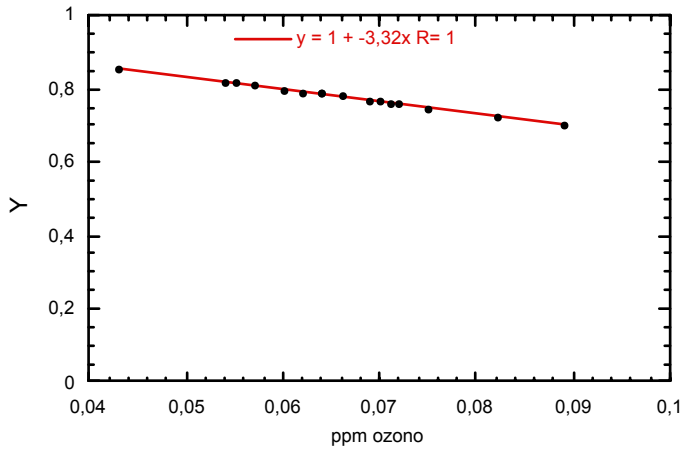


Patata

In base agli studi sperimentali effettuati in condizioni controllate su questa specie, è stata elaborata la seguente funzione dose-risposta (Pell E. J. et al., 1988):

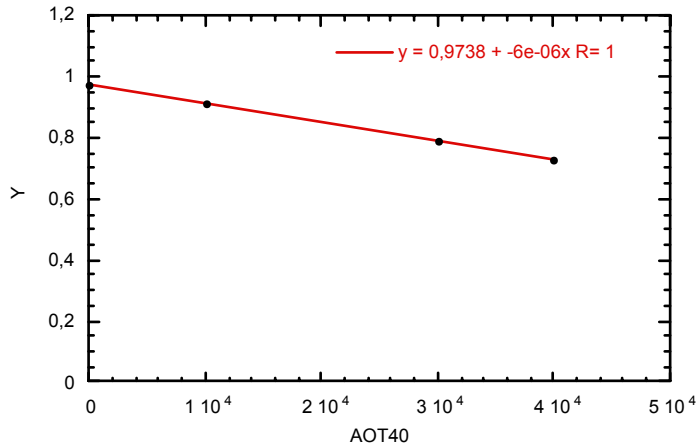
$Y= 1-3.32\ X_{12}$

dove: X_{12} = conc. media di O_3 stagionale calcolata su 12h/giorno
Y = calo di resa percentuale (valore compreso tra 1 e 0)



Per la patata il progetto UNECE realizzato dal Centro Interuniversitario britannico sopra citato ha prodotto, sulla base dei dati sperimentali, la seguente equazione:

Y = -06E(-06)X +0,9738 (X= AOT40)



Lattuga

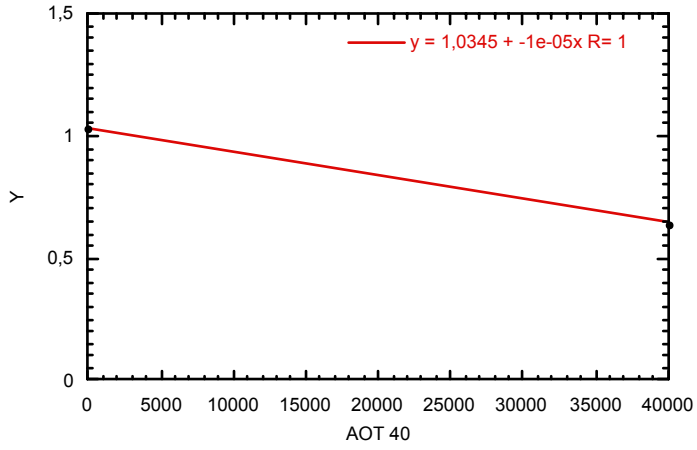
In base agli studi sperimentali effettuati in situazioni controllate di questa specie è stata elaborata la seguente funzione dose-risposta (Heck et al., 1983):

$$Y = 1{,}066 - 5{,}978\ X$$

dove Y rappresenta la frazione del raccolto (valore compreso tra 1 e 0) riferita alla situazione in assenza di ozono antropico, mentre X rappresenta la concentrazione di O_3 espressa in ppm.

Per la valutazione dei danni economici causati dall'ozono all'agricoltura, il Progetto UNECE (2002) ha considerato anche la lattuga, utilizzando la seguente funzione dose–risposta:

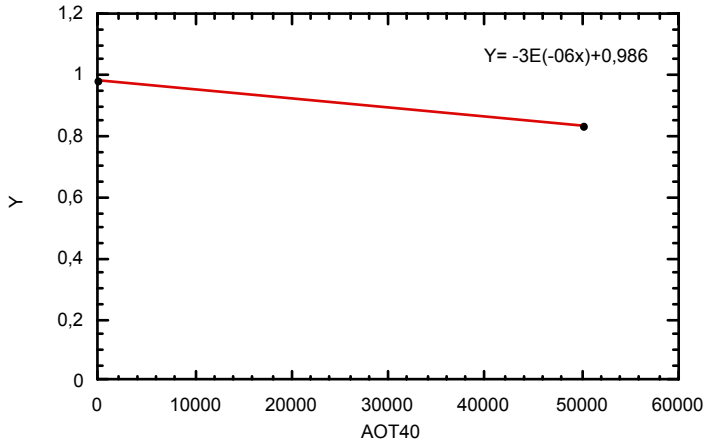
$$Y = -1E(-05)X + 1{,}0345 \qquad (X = AOT40)$$



Vite

Il Progetto realizzato dal Centre for Ecology and Hydrology nell'ambito di una collaborazione tra Università britanniche promossa dall'UNECE è l'unico lavoro di assessment completo presente in letteratura in cui sono riportati dati sui cali di resa causati da O_3 sulla vite. Nel relativo rapporto, già più volte citato, viene utilizzata per questa coltura la seguente funzione dose–risposta:

$$Y = -3E(-06)X + 0{,}986 \qquad (X = AOT40)$$

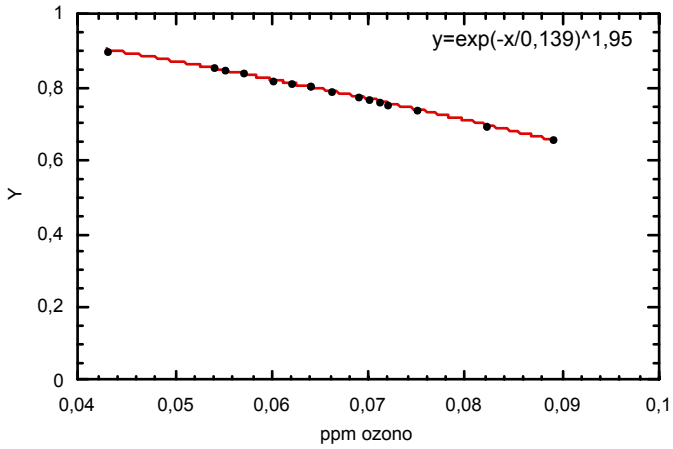


Foraggere

In base agli studi sperimentali effettuati in condizioni controllate è stata elaborata la seguente funzione dose-risposta (Sommerville et al., 1989):

$$Y = \exp - (X/0{,}139)^{1,95}$$

dove Y rappresenta la frazione del raccolto (valore compreso tra 1 e 0) riferita alla situazione in assenza di ozono antropico, mentre X rappresenta la concentrazione di O_3 espressa in ppm.



I risultati ottenuti dal Centro di Ricerche dell'ENEL (Fumagalli et al., 2001) nelle sperimentazioni effettuate in OTC a Redecesio di Segrate (Mi) su trifoglio bianco (*Trifolium repens* 'Menna') sono evidenziati nella tabella seguente (parametro: p.s. totale):

Anno	**Tempo di esposizione**	**Conc. ozono (ppbxh)**	**Variazione (%)**
1994	20/7-20/9	12.098	-19,8
1995	8/6-4/9	14.028	-10,5
1996	12/6-4/9	11.574	-18,1

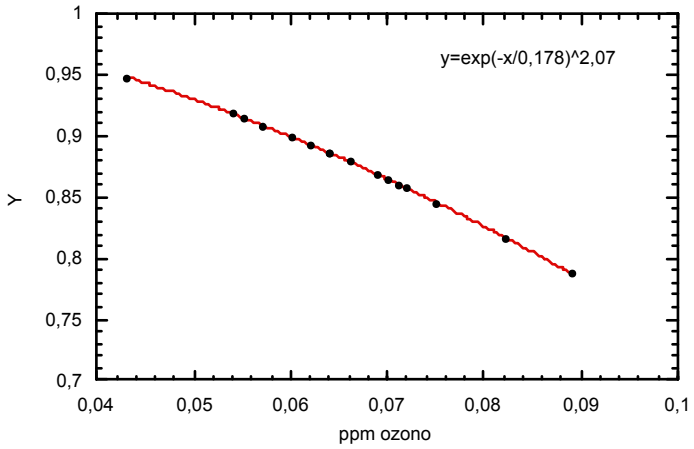
Si può osservare che l'intervallo AOT40 studiato (11500-14000 ppb x h) non consente di misurare cali di resa crescenti al crescere dell'indice. Le rese risultano costanti intorno all'85% rispetto al controllo.

Per l'erba medica, specie notoriamente sensibile all'O_3, nella pubblicazione di Nali C. et al. (2002) è riportata la seguente funzione dose–risposta per i cali di resa:

$Y = \exp (- (X/0{,}178)^{2{,}07})$

dove $X = X_{12}$ = conc. media di O_3 calcolata su 12h/giorno (9.00 - 21.00).

Tale funzione evidenzia un netto calo di produttività per questa specie esposta a concentrazioni crescenti di O_3.



Agrumi

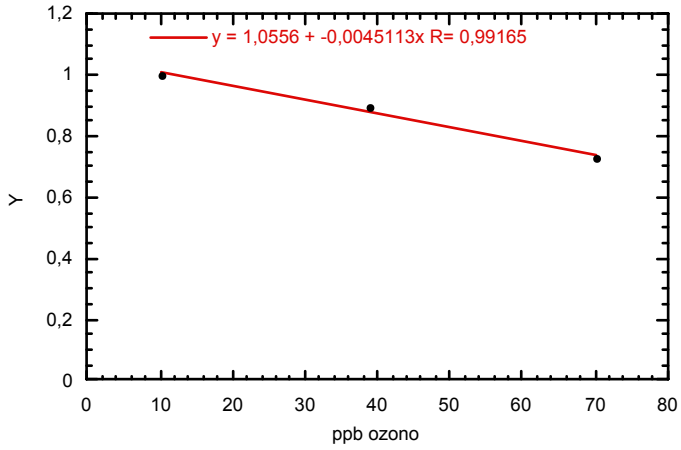
I risultati sperimentali ottenuti dallo Statewide Air Pollution Research Center (1989) nell'ambito di un progetto per lo studio degli effetti degli ossidanti fotochimici su piante di arancia Valencia (Citrus Sinensis) evidenziano che l'ozono influisce negativamente sulla resa e sulla qualità dei frutti.

In base ai risultati sperimentali ottenuti in situazioni controllate (OTC) viene fornita la seguente equazione lineare, che mette in relazione la media della concentrazione di O_3 nei sette mesi della stagione di crescita (aprile - ottobre) con il peso dei frutti per pianta:

peso totale = 69,997 - (concentrazione di O_3 x 300,5) .

La stessa equazione espressa come frazione del raccolto (valore compreso tra 1 e 0) in funzione della concentrazione di O_3 (espressa in ppb) ed ottenuta considerando che la concentrazione minima di riferimento (atmosfera filtrata nella OTC) è uguale a 10 ppb, è la seguente:

$$Y = 1{,}0556 - 0{,}00451\ X$$



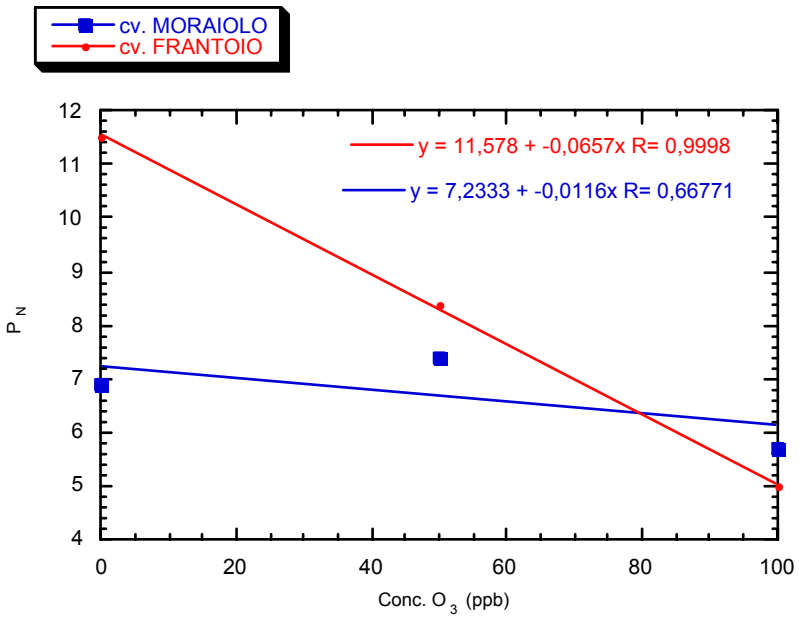
L' ozono influisce anche sui parametri di qualità del frutto e riduce sensibilmente il numero di frutti per pianta: numero totale di frutti /pianta = 377,7 - 1732,9 x conc. media di ozono nelle dodici ore. Quest'ultima relazione, utilizzata insieme a quella che lega il peso medio dei frutti per pianta alla concentrazione di O_3, permette di ricavare il calo di produttività per SAU.

Olivo

Gli studi sperimentali effettuati in situazioni controllate su due cultivar di *Olea europaea*,L. (Minnocci et al., 1999) hanno evidenziato che l'esposizione ad O_3 (100 ppb vs 3 ppb) riduceva l'apertura stomatica, ed in definitiva la superficie stomatica unica via della traspirazione, di circa il 50%. Ciò suggerisce una possibile riduzione della produttività. Per l'olivo, e più generalmente per le colture arboree dell'area mediterranea, l'effetto dell'O_3 nella riduzione della produttività potrebbe essere critico perché tale gas potrebbe essere sistematicamente presente per un lungo periodo dell'anno nelle condizioni di temperatura e di insolazione presenti in quelle regioni.

I risultati sperimentali ottenuti (è stato registrato un calo di attività fotosintetica pari a circa il 56% ed una diminuzione di traspirazione pari a circa il 43% dopo trattamento per 100 giorni con 100 ppb di O_3 per 5 ore/giorno) potrebbero avere importanti implicazioni ecofisiologiche perché gli stomi giocano un ruolo cruciale nel controllo dell'uso dell'acqua e della CO_2 nelle foglie dell'olivo.

In un altro studio condotto su due varietà di olivo a concentrazioni variabili utilizzando una camera di fumigazione si osserva un calo lineare di P_N (fotosintesi netta) all'aumentare della concentrazione di O_3 (Vitagliano et al., 1999).



Per i cali di resa può, tuttavia, essere rilevante la limitazione dell'attività della Rubisco che, essendo l'enzima principale nel controllo della fase oscura della fotosintesi, è responsabile del calo di assimilazione fotosintetica e dunque, anche se non con una correlazione lineare, della produttività agraria.

Specie arboree

La descrizione degli effetti dell'O_3 sulle specie arboree che consente di effettuare una stima, seppure molto approssimata, delle alterazioni sulle specie forestali del territorio è rappresentata nella tabella seguente (**Tab. 3.6**):

Tab. 3.6

European studies of forest trees exposed to ozone in the open field or in OTCs

Species	Plant age[a]	Number of seasons[b]	Effect parameter	% change from control	AOT40[c] (ppm.h)	Ref.
Fagus sylvatica	0	3	Total biomass	10	22	a
F. sylvatica	2	2	Shoot biomass[d]	10	12[k]	b
F. sylvatica	3	1	Stem diameter	10	14[j]	c
F. sylvatica[i]	3	2	Total biomass	19	37	d
F. sylvatica	6	1	Shoot diameter	9	24	e
Betula pendula	0	1	Total biomass	10	9[e]–13[f]	f
B. pendula	2	1	Stem biomass	23	1.7[g]	g
B. pubescens[h]	0	1	Total biomass	10	6	h
Quercus robur	2	2	Shoot biomass[d]	10	12[k]	b
Picea abies	0	3	Total biomass	10	39	a
P. abies	2	2	Shoot biomass[d]	10	24[k]	b
P. abies	3	1	RGR total biomass	10	22	i
P. abies	4	5	Shoot biomass	12	44	j
P. abies	2	4	Stem diameter	10	120	k
Pinus sylvestris	2	2	Shoot biomass[d]	10	24[k]	b
P. sylvestris	2	4	Stem diameter	10	120	k
P. sylvestris[i]	3	2	Total biomass	12	14	d
Abies alba	2	2	Shoot biomass	10	24	b

References: a, Braun and Flückiger, 1995; b, Küppers *et al.*, 1994; c, Mortensen *et al.*, 1995; d, Steingröver *et al.*, 1995 and Dueck, pers. comm.; e, Krause and Höckel, 1995; f, Matyssek *et al.*, 1992; g, Pääkkönen *et al.*, 1996; h, Mortensen, 1996; i, Karlsson *et al.*, 1995; j, Skärby *et al.*, 1995; k, Holland *et al.*, 1995.

[a]Age of plant, in years, at start of the experiment; [b]number of seasons of exposure; [c]AOT40 calculated 24 h day^{-1}, 1 April–30 September, unless otherwise stated; [d]shoot biomass, without leaves/needles; [e]0 ppb as control; [f]20 ppb as control; [g]AOT30 was 15–20 ppm.h; [h]data from climate chambers; [i]differences not significant at $p = 0.05$; [j]AOT40 from mid-May to August; [k]pollutant mixture (O_3 + SO_2 + NO_2); AOT40 from 1 May–31 October.

Fonte: Fuhrer, J. et al., 1997.

Dai dati sopra riportati si osserva che l'esposizione ad O_3 di specie arboree (ad es. *Fagus)* aventi caratteristiche analoghe a quelle presenti nell'area in studio provoca una variazione percentuale di biomassa totale che va dal 10% per una concentrazione di O_3 pari ad un AOT40 di 22 ppm.h al 19% per una concentrazione di O_3 pari ad un AOT40 di 37 ppm.h.

3.1.5 Funzioni dose-risposta per i cali di resa causati da anidride solforosa

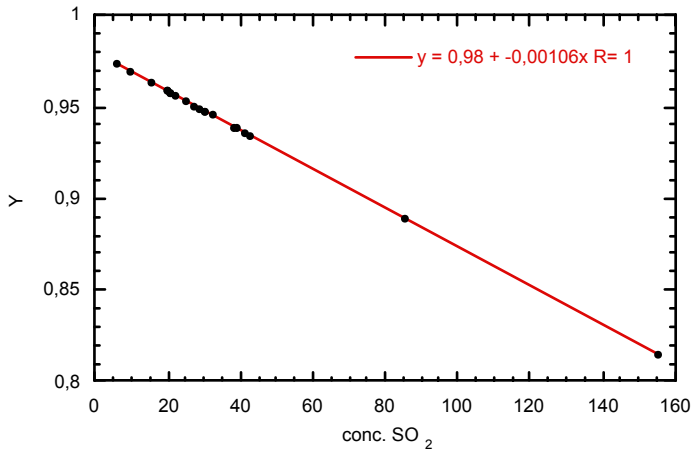
Sono elencate di seguito alcune funzioni dose-risposta utili per la valutazione dei cali di resa provocati da SO_2. Tali funzioni sono applicabili a colture agrarie presenti nel territorio oggetto di indagine e derivano da diverse metodologie e risultati sperimentali presenti in letteratura, alcuni dei quali sono stati elaborati in ENEA.

Frumento

In base agli studi sperimentali effettuati in condizioni controllate su frumento tenero è stata elaborata la seguente funzione dose - risposta (Camposano et al., 1986):

$$Y = 0{,}98 - 0{,}00106\ X \qquad (20\text{-}380\ \mu g/m^3)$$

dove Y rappresenta la frazione del raccolto (valore compreso tra 1 e 0) riferita alla situazione in assenza di SO_2, mentre X indica la concentrazione media annua di SO_2 espressa in $\mu g/m^3$. Accanto all'equazione è indicato l'intervallo di applicabilità della relazione proposta. Il valore Y = 1 rappresenta il 100% di resa.

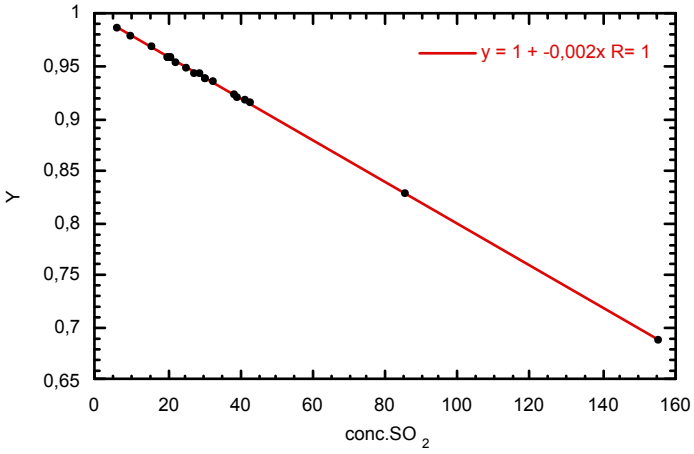


Patata

In base agli studi sperimentali effettuati in condizioni controllate su questa specie è stata elaborata la seguente funzione dose-risposta (Camposano et al., 1986):

$Y = 1{,}00 - 0{,}0002\ X$ (20-380 µg/m^3)

dove Y rappresenta la frazione del raccolto (valore compreso tra 1 e 0) riferita alla situazione in assenza di SO_2, mentre X indica la concentrazione media annua di SO_2 espressa in µg/m^3. Accanto all'equazione è indicato l'intervallo di applicabilità della relazione proposta.

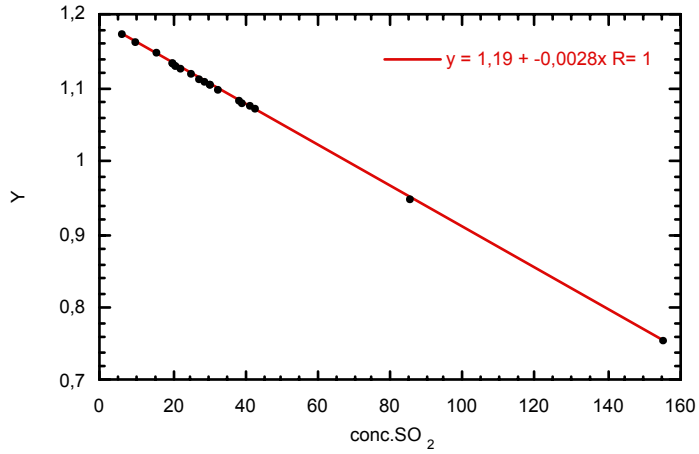


Leguminose

In base agli studi sperimentali effettuati in condizioni controllate su fagiolo *(Phaseolus vulgaris)* è stata elaborata la seguente funzioni dose - risposta (Camposano et al., 1986):

$Y = 1{,}19 - 0{,}0028\ X$ (70-220 µg/m^3)

dove Y rappresenta la frazione del raccolto (valore compreso tra 1 e 0) riferita alla situazione in assenza di SO_2, mentre X indica la concentrazione media annua di SO_2 espressa in µg/m^3. Accanto all'equazione è indicato l'intervallo di applicabilità della relazione proposta



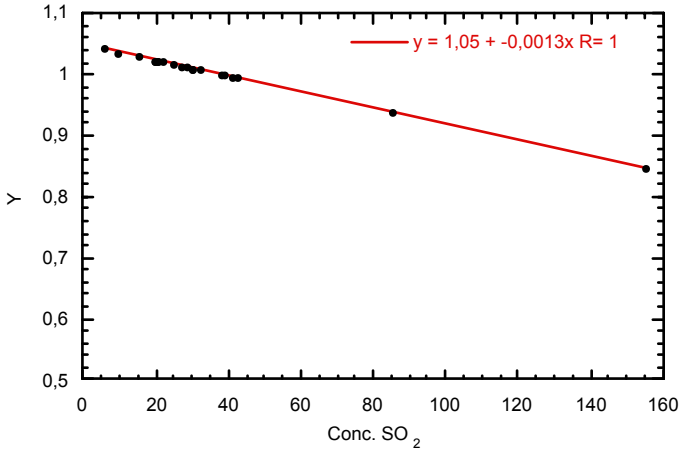
Pomodoro

Rispetto all'SO_2 il pomodoro appare essere una specie particolarmente resistente. Infatti dai dati sperimentali presenti nella letteratura si possono stimare cali di resa per concentrazioni superiori a 140 µg/m^3.

Erba medica

In base agli studi sperimentali effettuati in condizioni controllate su questa specie è stata elaborata la seguente funzione dose - risposta (Camposano et al.,1986):

$Y = 1{,}05 - 0{,}0013\ X$ (20-380 µg/m^3)



dove Y rappresenta la frazione del raccolto (valore compreso tra 1 e 0) riferita alla situazione in assenza di SO_2, mentre X indica la concentrazione media annua di SO_2 espressa in $\mu g/m^3$. Accanto all'equazione è indicato l'intervallo di applicabilità della relazione proposta.

Vite

Nella vite l'esposizione all'SO_2 determina maggiore suscettibilità agli inquinanti fotochimici (in particolare all'O_3) soprattutto per la qualità del frutto.

L' SO_2 può provocare forti cali di resa alla vite in concentrazioni superiori a 120 $\mu g/m^3$ (Musselman et al., 1985).

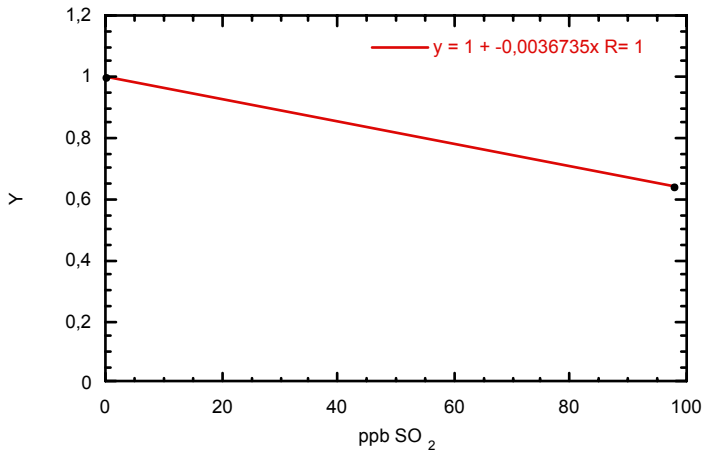
Agrumi

Gli studi sperimentali effettuati in condizioni controllate dallo Statewide Air Pollution Research Center (1989) su piante di arancio Valencia (Citrus Sinensis) hanno evidenziato effetti sinergici dell'SO_2 e degli ossidanti fotochimici sulla produttività di tale coltura.

In base ai risultati ottenuti è stata elaborata la seguente funzione dose–risposta:

$$Y = 1 - 0{,}0037\ X$$

dove X indica la concentrazione di SO_2 nella stagione di crescita.

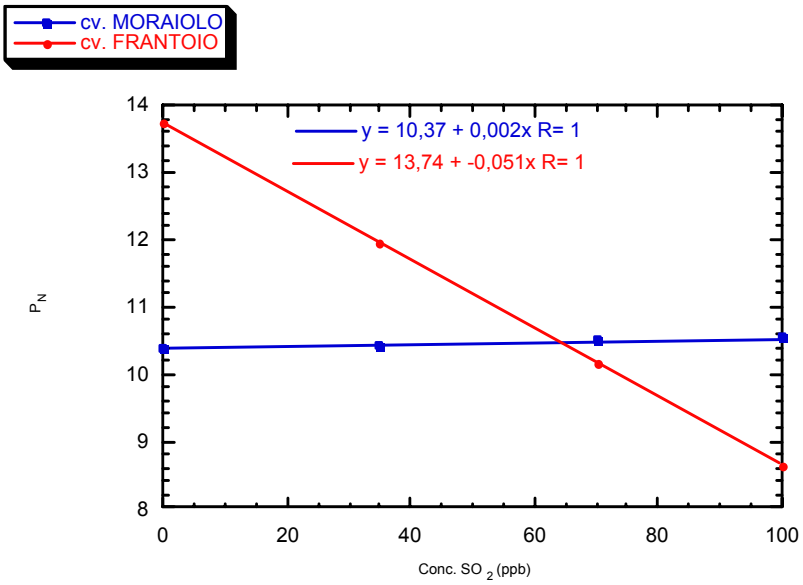


Allo stato attuale tale equazione relativa all'arancia è unica in letteratura, dal momento che non risultano studiati gli effetti di questo inquinante su tali specie.

Olivo

Esperimenti condotti in camere di fumigazione (Giorgielli et al., 1994) su due varietà di olivo a concentrazioni di SO_2 pari a 0, 35, 70 e 100 ppb per 150 giorni hanno indicato che a queste esposizioni si verificano danni al sistema fotosintetico ed ai siti della carbossilazione producendo diminuzione di assimilazione fotosintetica (P_N) anche a causa di una ridotta superficie stomatica (fino al 50%). A queste esposizioni non sono state osservate lesioni foliari.

Occorre però specificare che gli effetti sulla P_N variano fortemente tra le due cultivar studiate (Frantoio e Moraiolo), come risulta nel grafico seguente:



3.2 La determinazione sperimentale delle concentrazioni di ozono ed anidride solforosa con campionatori passivi

Per valutare le emissioni nel polo industriale di Milazzo, sono stati utilizzati campionatori passivi (*passive samplers*) per rilevare la concentrazione atmosferica di ozono ed anidride solforosa media in un periodo di circa un mese.

Relativamente all'uso dell'indice AOT40 di cui sopra è stato detto, non è stato possibile disporre di sensori per la misura oraria di O_3 per la difficoltà di gestire strumentazioni complesse nelle numerose aziende agricole sulle quali si è condotto il monitoraggio.

È stato effettuato un campionamento di inquinanti gassosi in atmosfera, ozono ed anidride solforosa nell'area di studio nel periodo maggio-ottobre 2001.

3.2.1 Metodo di campionamento

Per la determinazione della concentrazione in aria di O_3 ed SO_2 è stata seguita la tecnica del campionamento passivo. Tale tecnica si avvale dell'utilizzo di campionatori dotati di una superficie assorbente contenente un reagente specifico per il gas di cui si vuole determinare la concentrazione e si basa sulla reazione chimica in cui è coinvolto l'inquinante quando entra in contatto con il reagente. Il gas diffonde all'interno del campionatore senza richiedere l'uso di pompe aspiranti, seguendo le leggi di diffusione dei gas. Conoscendo la quantità (M) di analita risultante dalla reazione avvenuta tra inquinante e reagente, il tempo di esposizione del campionatore (T) e la quantità di gas che diffonde nel campionatore nell'unità di tempo (UR, Uptake Rate), è possibile determinare la concentrazione media del gas inquinante (C_{gas}) nel periodo di campionamento considerato attraverso la semplice relazione

$$C_{gas} = \frac{M}{UR \times T}$$

dove UR = DA (D è il coefficiente di diffusione del gas, A è l'area della sezione del campionatore).

Nelle campagne di rilevamento sono stati utilizzati i campionatori ANALYST (brevetto RM 98A-000584) messi a punto dall'Istituto sull'Inquinamento Atmosferico del CNR, Roma, prodotti dalla Marbaglass Snc.

Ciascun campionatore è costituito da :

- un corpo cilindrico in vetro aperto ad una estremità;
- un mezzo assorbente ricoperto con la soluzione specifica per l'inquinante da determinare;
- una ghiera fornita di reticella di acciaio inossidabile che si usa nella fase di esposizione per chiudere l'ANALYST;
- un gancio per appendere il campionatore ad un supporto idoneo;
- un tappo in polietilene, fornito di guarnizione, per chiudere l'ANALYST prima e dopo l'esposizione.

Nel momento in cui l'ANALYST viene esposto, si sostituisce il tappo in polietilene con la ghiera fornita di reticella e si annota il codice di identificazione, la data e l'ora di inizio campionamento. Ciascun campionatore viene posizionato con l'estremità aperta, ma fornita di reticella che agisce da schermo per la turbolenza, rivolta verso il basso. Alla fine del periodo di esposizione si chiudono i campionatori con il tappo in polietilene e si annota data ed ora di fine campionamento. In ciascun campionamento sono stati esposti alcuni bianchi di campo, che non sono stati aperti.

Gli ANALYST sono stati situati a 2-3 m dalla superficie del suolo sotto appositi supporti allo scopo di proteggerli dalle precipitazioni.

I campionatori ed i bianchi, ritirati dopo ciascun periodo di campionamento, sono stati conservati in frigorifero a 4°C prima di essere sottoposti alle analisi nei laboratori del Centro ENEA-Casaccia.

Per la determinazione analitica è stata usata la tecnica della cromatografia ionica con lo strumento DIONEX DX 120.

3.2.2 Caratteristiche tecniche degli ANALYST

Sono di seguito riportate alcune note, fornite dal produttore, sulle caratteristiche tecniche degli ANALYST.

-Precisione: Deviazione Standard Relativa migliore del 7% (misure in triplicato);

-Accuratezza: a 20ppb $\pm$ 25%;

-Limite di determinazione: 2ppb per una settimana di esposizione, 0,5 ppb per mese;

-Tempo di esposizione: da una settimana a 2 mesi. Tempi di esposizione più brevi per concentrazioni;

-Conservazione: prima e dopo l'esposizione preferibilmente in frigo a 4 °C.

<u>ANALYST per SO_2</u>

- Tipo di reagente: carbonato di sodio.

La reazione chimica che avviene quando SO_2 viene a contatto con la superficie assorbente è la seguente:

$$SO_2 + Na_2CO_3 \Rightarrow Na_2SO_3 + CO_2$$

SO_2 viene, così, fissata dal campionatore mentre nelle successive fasi di agitazione e di estrazione avviene la reazione di formazione dei nitrati, che saranno determinati tramite cromatografia ionica:

$$Na_2SO_3 + H_2O_2 \Rightarrow SO_4^{2-} + 2Na^+ + H_2O$$

- Estrazione dei campionatori.

Prima di sottoporre i campionatori ad estrazione si lascia che tornino a temperatura ambiente. In ciascun ANALYST vengono, quindi, aggiunti 5 ml di soluzione DIONEX (0,3 mM $NaHCO_3$ e 2,7 mM Na_2CO_3) contenente 0,03% H_2O_2. Si attende, quindi, un tempo di circa due ore perché tutto il solfito si sia ossidato a solfato e quest'ultimo venga estratto e si determina l'analita mediante cromatografia ionica.

- Calcolo della concentrazione di SO_2.

Dall'analisi cromatografica si determina la quantità (μg) di anione solfato presente in ciascun campionatore. La concentrazione di SO_2 in aria (espressa in $\mu g/m^3$) viene calcolata mediante la seguente equazione:

$$\mathbf{SO_2 = 1{,}46 \times 10^3 \frac{W}{T}}$$

dove:

W= quantità di solfato (μg) catturata sulla superficie esposta;

T= tempo di esposizione (h).

ANALYST per O_3

- Tipo di reagente: nitrito.

La reazione chimica che avviene quando O_3 viene a contatto con la superficie assorbente è la seguente:

$$O_3 + NO_2 \Rightarrow NO_3 + O_2$$

- Estrazione dei campionatori.

Prima di sottoporre i campionatori ad estrazione si lascia che tornino a temperatura ambiente. In ciascun ANALYST vengono aggiunti 5 ml di soluzione DIONEX (0,3mM $NaHCO_3$ e 2,7mM Na_2CO_3). Si attende un tempo di circa due ore perché tutto il nitrato sia estratto, quindi si determina l'analita mediante cromatografia ionica.

- Calcolo della concentrazione di O_3.

Dall'analisi cromatografica si determina la quantità (μg) di anione nitrato presente in ciascun campionatore. La concentrazione di O_3 in aria (espressa in $\mu g/m^3$) è calcolata mediante la seguente equazione:

$$\mathbf{O_3 = 3{,}26 \times 10^3 \frac{W}{T}}$$

dove:

W= quantità di nitrato (μg) catturata sulla superficie esposta;

T= tempo di esposizione (h).

3. 3 Gli effetti del particolato e degli elementi e composti organici tossici

3.3.1 - Polveri totali sospese (PTS)

Le indagini sui danni economici alle colture agrarie connessi all'azione fitotossica delle polveri non sono numerose e si riferiscono per la maggior parte agli effetti dei cementifici.

Inoltre è difficile formulare una funzione del tipo dose-risposta anche a causa dell'eterogeneità dei fattori che sono presenti nelle polveri e che esplicano varie azioni fitotossiche.

Per quanto riguarda gli effetti si possono fare le seguenti considerazioni distinte per le colture agrarie e per le specie forestali.

Colture agrarie

Dai dati dalla letteratura si evince la considerazione generale che le polveri hanno un effetto sulle colture linearmente dipendente dal tasso di deposizione.

In particolare per le colture annuali è stata elaborata la seguente equazione (Singh & Rao, 1981):

$$\Delta Y = - 3{,}571\ X$$

dove ΔY è il calo percentuale del peso secco dell'intera pianta e X è il tasso di deposizione (espresso in g m^{-2} $giorno^{-1}$).

Altri studi segnalano cali nello sviluppo vegetativo e nella capacità riproduttiva delle piante esposte a tassi di deposizione compresi tra 0,2 e 10,9 g m^{-2} $giorno^{-1}$ di polvere depositata (Parthasarathy, 1975).

Un effetto sperimentato sulle foraggiere ha indicato che la deposizione di polveri provoca un incremento nelle popolazioni di fitofagi (Taylor et al., 1986), che causa quindi un incremento degli attacchi di parassiti.

Infine studi condotti sulla soia sottoposta a inquinamento da ceneri carboniose (Sardi, 1981) hanno segnalato che un tasso di deposizione pari a 30 $g.m^{-2}.mese^{-1}$ determina un calo fino al 5% nel contenuto di proteine solubili.

Specie forestali

I risultati sperimentali si riferiscono agli effetti delle polveri su alcuni parametri fisiopatologici quali, ad esempio, l'aumento della temperatura foliare, l'accelerazione dei processi di senescenza foliare e la riduzione dell'apertura stomatica, ed ecologici quali ad esempio il mutamento nella composizione del popolamento (Farmer, 1993).

Gli esperimenti si riferiscono in genere a situazioni di campo, con inquinamento proveniente da cementifici o traffico veicolare.

3.3.2 Alluminio

È uno degli elementi più abbondanti sulla crosta terrestre; in natura è sempre presente in forma ionica e si ritrova nell'ambiente associato a polveri. È un metallo molto versatile con un'ampia gamma di impieghi e si ritiene che le piogge acide e le emissioni industriali ne aumentino la solubilità e la disponibilità per le forme di vita vegetali ed acquatiche.

La tossicità dell'alluminio per il mondo vegetale è un fenomeno ben noto, anche se non se ne conoscono esattamente le cause. Sembra, però, che i suoi ioni si fissino sulle radici, inibendo l'assimilazione delle sostanze nutritive o si accumulino all'interno delle cellule.

La principale preoccupazione riguardante l'impatto dell'alluminio sulla salute umana è dovuta alla sua potenziale tossicità in caso di esposizione eccessiva. È, infatti, considerato causa o

agente associato in molti tipi di disordini, poiché si accumula in vari organi e/o tessuti, tra cui i reni, il fegato, le ossa, il cervello, i polmoni ed il cuore. Può essere tossico per il sistema neurologico (potrebbe essere coinvolto nel morbo di Alzheimer), ematologico (es: anemia) e scheletrico (es: osteomalacia). Può anche provocare deficienza renale.

Gli aspetti tossicologici dell'alluminio assunto per via orale non sono ancora ben definiti. Il suo assorbimento dipende da vari fattori, tra i quali la quantità ingerita, l'integrità delle funzioni dell'intestino tenue e lo stato uremico. In condizioni normali i reni sono in grado di eliminare buona parte dell'alluminio assorbito lungo il tratto gastrointestinale. Il rischio di fenomeni di tossicità aumenta moltissimo in soggetti con funzionalità renale compromessa.

Interagisce con molti altri elementi, tra cui il calcio ed il fosforo e, se ingerito in eccesso, può ridurne l'assorbimento.

Il latte, i prodotti lattiero-caseari ed i cereali forniscono circa il 60% della quantità totale di alluminio ingerita con la dieta.

Il limite fissato dal WHO (1996) per l'assunzione settimanale di alluminio è di 7 mg per chilogrammo di peso corporeo.

3.3.3 Arsenico

Le principali fonti naturali di arsenico sono le attività vulcaniche, mentre le più importanti sorgenti antropiche sono: l'incenerimento del carbone, la fusione dei metalli, le centrali termoelettriche a carbone ed a olio combustibile e l'uso di fertilizzanti e pesticidi. In aria è presente principalmente sotto forma di particolato, come arsenico inorganico.

Grandi quantità dei suoi composti vengono usati in agricoltura nei fertilizzanti e nei pesticidi e distribuiti nel terreno, dove sono convertiti dai microrganismi in forme piuttosto stabili. Le piante lo assorbono prevalentemente attraverso le radici, che ne contengono quantità maggiori dei semi commestibili e dei frutti. Colture particolarmente esposte al rischio di bioaccumulo sono: cavoli, pomodori, frumenti e, tra le arboree, le pomacee. Segni visibili di tossicità per le piante sono: macchie necrotiche brunastre nelle foglie, ingiallimento delle radici e riduzione dello sviluppo complessivo.

I composti dell'arsenico presenti nel particolato atmosferico possono essere inalati, depositarsi nell'apparato respiratorio ed essere assorbiti dal sangue.

La maggior parte degli alimenti di origine terrestre ne contiene meno di 1microgrammo per grammo di peso secco, mentre quelli di origine marina possono contenerne fino a 80 microgrammi/grammo.

A differenza della dieta, l'acqua potabile è probabilmente una fonte significativa di arsenico e ne può contenere livelli tossici e/o quasi tossici.

Sia la forma organica che quella inorganica sono assorbite facilmente dal tratto gastrointestinale.

È considerato elemento potenzialmente tossico per la sua bassa solubilità nei fluidi corporei.

Il limite di sicurezza raccomandato dal WHO (1996) per l'esposizione di individui adulti è di 15 μg per chilogrammo di peso corporeo per settimana.

L' arsenico inorganico e composti sono stati valutati nel 1987 cancerogeni per l'uomo (classe I) dalla IARC (International Agency for Research on Cancer/WHO).

3.3.4 Cadmio

Notevoli quantità di Cd vengono emesse da alcune miniere, da fonderie, da impianti metallurgici e galvanotecnici, da industrie di coloranti e dalla combustione di combustibili liquidi o solidi. Una volta immesso nell'ambiente, si ripartisce tra aria, acque superficiali e suolo e può essere trasportato dall'uno all'altro.

Può entrare nel ciclo delle acque (dove si può trovare sia in soluzione, sia sotto forma di particolato) per lo più attraverso l'erosione di suoli e di rocce, le piogge, l'immissione diretta di scarichi di operazioni industriali e l'uso di fanghi e di fertilizzanti in agricoltura.

La quantità di cadmio presente nei suoli proviene da fonti naturali ed antropiche. Quello da fonti naturali deriva dal tipo degli strati di rocce sottostanti e da materiali di trasporto. Gli input antropici, invece, sono dovuti per lo più alle deposizioni atmosferiche, ai fanghi delle acque di scarico ed all'uso di concimi e fertilizzanti

È un elemento non essenziale per le piante e ad elevate concentrazioni è fortemente tossico; è assorbito attraverso le radici ed il sistema foliare e metabolizzato solo in parte. Può essere assorbito anche per deposizione diretta sulle foglie. Diversi studi hanno evidenziato che si concentra preferibilmente nella frazione proteica. In generale produce nelle piante effetti tossici (quali clorosi, arricciamento e colorazione rosso-bruna delle foglie, rallentamento della crescita e cali di resa), influenza negativamente la fotosintesi ed inibisce la fissazione della CO_2 nei cloroplasti. Colture particolarmente esposte al rischio di bioaccumulo sono: mais, lattuga, spinaci, ravanello e rapa. Colture particolarmente esposte al rischio di calo di resa sono: lattuga, spinacio, grano, mais e carota.

Nell'uomo le principali vie di assorbimento del Cd sono rappresentate dal tratto gastrointestinale (prevalente) e da quello respiratorio. Parte della quantità ingerita è assorbita dall'intestino e trasportata dal sangue ad altri organi, quali il fegato ed i reni.

Non si conoscono funzioni utili per l'organismo di questo metallo, che non si trova in condizioni normali nei fluidi o nei tessuti del corpo umano e dunque la sua eventuale presenza deriva da un'esposizione ambientale. Gli effetti di tossicità acuta sono per lo più limitati ai polmoni (per inalazione) o al tratto gastrointestinale (per ingestione di cibo contaminato o esposto ad utensili e recipienti trattati galvanicamente con Cd). Gli effetti della tossicità cronica sono multisistemici e comprendono, tra l'altro, nefropatie, lesioni ossee, processi enfisematosi e disturbi cardiovascolari.

Il Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives ha raccomandato di considerare l'assunzione settimanale di 7 μg di cadmio per kg di peso corporeo come la massima tollerabile per questo metallo.

Inoltre nel Regolamento (CE) n. 466/2001 dell'8 marzo 2001 e successive modifiche, che definisce i tenori massimi di taluni contaminanti nelle derrate alimentari, sono previsti i limiti di cadmio in alcuni prodotti di origine animale e vegetale. Tali limiti variano a seconda del prodotto e sono compresi tra 0,05 ed 1 mg/kg di peso fresco.

3.3.5 Cromo

È presente in natura come cromo metallico, cromo trivalente e cromo esavalente. La forma metallica è estremamente resistente alla corrosione ed all'ossidazione. Il cromo trivalente è il più stabile e diffuso ed è essenziale per la salute umana perché contribuisce con l'insulina a mantenere normale il livello di glucosio nel sangue. Il cromo esavalente è la forma più importante dal punto di vista commerciale, ma è anche la più tossica.

È emesso da numerose industrie (fonderie, concerie ecc.), inceneritori urbani ed è contenuto nelle emissioni di particolato derivanti dalla combustione del carbone e dei prodotti petroliferi.

Può causare danni al fegato e ai reni, emorragie interne, dermatiti e cancro ai polmoni. Dati su animali di laboratorio mostrano che ha proprietà mutagene e teratogene e può produrre aberrazioni cromosomiche. Dati epidemiologici evidenziano con certezza l'associazione fra l'esposizione per inalazione ai composti del cromo esavalente ed il cancro al polmone.

Per quanto riguarda le piante, il cromo non è ritenuto essere elemento essenziale, sebbene vi sia sempre contenuto. L'assorbimento avviene attraverso le radici e la superficie fogliare, ma solo una piccola quantità viene trasferita ad altri siti della pianta. È considerato nocivo per l'agricoltura

se presente nel terreno a concentrazioni elevate e può provocare clorosi, arrotolamento delle foglie e ritardo della crescita.

La quantità di cromo necessaria per l'uomo proviene dall'alimentazione e l'assunzione quotidiana è soggetta ad ampie variazioni, a seconda delle proporzioni con le quali i vari gruppi di alimenti sono presenti nella dieta. È presente, infatti, soprattutto nelle carni lavorate, nei cereali integrali e nei legumi, mentre i prodotti lattiero-caseari e la maggior parte della frutta e degli ortaggi ne contengono piccole quantità.

Secondo il WHO (1996) il limite superiore del *range* di sicurezza dei livelli medi di assunzione per il cromo è di 250 μg/giorno.

3.3.6 Manganese

Le principali fonti naturali di Mn nell'atmosfera sono rappresentate dall'erosione del vento e dalle sospensioni del terreno, mentre le più significative fonti di origine antropica sono le emissioni delle industrie per la manifattura delle leghe, dell'acciaio e dei prodotti del ferro. Altre fonti includono le operazioni di estrazione mineraria, la produzione e l'uso di pesticidi e fungicidi e la produzione di ossido di Mn sintetico per le batterie a secco. I composti organici del Mn, utilizzati come additivi nei combustibili, costituiscono un'altra importante sorgente di inquinamento nell'ambiente. Viene emesso per lo più associato a particolato.

Le acque contengono Mn derivato dal terreno e dalle rocce ed il particolato sospeso nelle acque naturali può contenerne discrete quantità.

Le piante assorbono facilmente il manganese presente nel suolo; il più alto livello di bioconcentrazione si osserva nella prima fase di crescita e nei semi e la disponibilità del metallo presente nel terreno è strettamente influenzata dall'attività dei microorganismi.

Per quanto riguarda la salute umana, il manganese è considerato essere uno degli elementi meno tossici, se somministrato per via orale. La dieta costituisce la principale fonte di assunzione di questo metallo, la cui concentrazione negli alimenti varia considerevolmente. Diete ricche di cereali non raffinati, frutta secca e vegetali a foglia generalmente presentano un contenuto elevato di manganese, che è invece più basso nei regimi alimentari ricchi di cereali raffinati, carni e prodotti lattiero-caseari.

Il livello soglia della tossicità del manganese non è ancora conosciuto e non è disponibile un range di sicurezza per i livelli di assunzione medi riferiti alla popolazione (WHO 1996).

3.3.7 Nichel

La maggior parte del nichel emesso nell'ambiente da sorgenti di origine industriale si trova per lo più sotto forma di particolato e deriva principalmente dall'uso del carbone e degli oli combustibili per la produzione di calore ed energia elettrica, dall'incenerimento di rifiuti e di fanghi di depurazione, dall'industria mineraria e dell'acciaio e da alcune sorgenti miste quali, ad esempio, l'industria del cemento. Anche i fumi della combustione dei prodotti petroliferi determinano la formazione di sali di nichel.

I composti più tossici per la salute umana sono il solfato e il nichel tetracarbonile, che si formano nei processi di raffinazione del nichel.

Si ritiene che sia un microelemento essenziale per lo sviluppo delle piante, che lo assorbono principalmente attraverso le radici. Accumulo ed effetti tossici causati da elevate concentrazioni del metallo sono stati osservati su vegetali cresciuti in terreni trattati con fanghi di depurazione o in prossimità di fonti di emissione. Il contenuto di nichel nei vegetali dipende dalle caratteristiche geochimiche della zona di provenienza e dall'uso di fertilizzanti che lo contengono.

Circa il 90% dell'esposizione complessiva al nichel deriva all'uomo dalla dieta. Tuttavia si ritiene che le normali concentrazioni presenti nel cibo non costituiscano un pericolo per la salute. È

stato osservato che la maggior parte del nichel contenuto negli alimenti non viene assorbito dal tratto gastrointestinale e solitamente la quantità assorbita è inferiore al 10% della dose ingerita.

Il nichel presente nelle acque si accumula nei pesci e si concentra nelle catene alimentari. Nell'uomo il livello totale di assunzione di nichel varia molto a seconda delle quantità assolute e delle proporzioni di cibi di origine animale (a basso contenuto di nichel) o vegetale (ad alto contenuto di nichel) e della quantità di alimenti raffinati o lavorati presenti nella dieta. Circa la metà della quantità totale assunta quotidianamente con la dieta proviene dal consumo di cereali, pane e bevande.

Il WHO (1996) indica per il nichel un valore soglia per la tossicità inferiore a 600 μg/giorno.

3.3.8 Piombo

La principale fonte di immissione del metallo nell'atmosfera è costituita dai gas di scarico degli autoveicoli che utilizzano benzine con Pb. Altre fonti di origine industriale sono rappresentate soprattutto dalla combustione del carbone e dell'olio combustibile, dai processi di estrazione e lavorazione di minerali che lo contengono, dalle fonderie, dalle industrie ceramiche e dagli inceneritori di rifiuti.

Concentrazioni elevate di Pb si rilevano nell'atmosfera delle aree urbane ad alta densità di traffico e nei terreni situati in vicinanza di strade dove il traffico è molto intenso.

Il Pb entra nell'ambiente acquatico attraverso lo scorrimento superficiale e la deposizione di Pb aerotrasportato. Nel terreno è relativamente stazionario, persiste a lungo e si trasforma soprattutto in forme insolubili.

Le piante non assorbono quantità significative di Pb attraverso le radici. Si ritiene, infatti, che la via principale attraverso la quale il Pb atmosferico penetri nella catena alimentare sia la contaminazione fogliare e diretta delle piante. Ad elevate concentrazioni ne inibisce la crescita, riduce la fotosintesi, interferisce con la divisione cellulare e con la respirazione, riduce l'assorbimento dell'acqua e la traspirazione, accelera la deflorazione, la pigmentazione e riduce la sintesi della clorofilla. Effetti fitotossici visibili sono l'inscurimento e il deperimento foliare.

Per quanto riguarda l'uomo, è causa di effetti negativi sulla salute anche a dosi relativamente basse. Una volta assorbito per inalazione o per ingestione entra nel circolo sanguigno e si distribuisce nelle ossa, nel fegato, nei reni, nei muscoli e nel cervello. È stato dimostrato che produce effetti tossici anche a concentrazioni molto basse ed è probabile che non esista una soglia al di sotto della quale l'esposizione a questo metallo possa considerarsi innocua.

Il Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives raccomanda che l'apporto settimanale di piombo con la dieta non superi i 25 μg per kg di peso corporeo.

Nel Regolamento (CE) n. 466/2001 dell'8 marzo 2001 e successive modifiche, che definisce i tenori massimi di taluni contaminanti nelle derrate alimentari, sono previsti i limiti di piombo in alcuni prodotti di origine animale e vegetale. Tali limiti variano a seconda del prodotto e sono compresi tra 0,02 ed 1 mg/kg di peso fresco.

3.3.9 Vanadio

Le concentrazioni di V nell'atmosfera sono maggiori nelle aree urbane che in quelle rurali e si riscontrano forti escursioni stagionali dovute all'uso di combustibili fossili per il riscaldamento.

È presente in piccola quantità in tutte le piante e tende ad accumularsi negli organi radicali. Le concentrazioni riscontrate nelle radici, infatti, sono generalmente quasi uguali a quelle del terreno in cui la pianta è cresciuta, mentre nelle parti aeree sono piuttosto bassi e non in relazione con i livelli di V nel terreno. Non è essenziale per le piante superiori ed elevate concentrazioni del metallo, che spesso è contenuto nei fertilizzanti, possono provocare clorosi e cali di resa.

Per quanto riguarda la salute umana, è ritenuto essere un elemento relativamente tossico, anche se sono state osservate alcune correlazioni fra concentrazioni di V in aria e malattie

cardiovascolari, tumore polmonare e bronchiti. Fenomeni di tossicità sono stati rilevati in seguito all'esposizione ad elevati livelli di vanadio nell'aria, dovuti ad inquinamento industriale. Si ritiene che la maggior parte del V ingerito con la dieta non sia assorbita. Il livello di assunzione quotidiano è nell'ordine di qualche decina di milligrammi ed è soggetto ad ampie variazioni.

In generale gli alimenti più poveri di vanadio sono i grassi e gli oli, la frutta e gli ortaggi freschi, mentre ne sono più ricchi i cereali integrali, i prodotti della pesca, le carni ed i prodotti lattiero-caseari.

Ad oggi non sono ancora disponibili i dati necessari per indicare un range di sicurezza per i livelli medi di assunzione di V riferiti alla popolazione. Poiché è stato dimostrato che quantità molto basse di questo elemento provocano effetti farmacologici sull'uomo, il WHO (1996) afferma che la sua soglia di tossicità potrebbe essere molto al di sotto di 10 mg/giorno.

3.3.10 Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA)

Gli IPA sono composti organici molto stabili con strutture molecolari complesse, caratterizzate dalla presenza di due o più anelli benzenici. Sono per lo più sostanze poco solubili in acqua, solide a temperatura ambiente e degradabili in presenza di radiazioni ultraviolette.

Il composto più studiato e rilevato è il benzo(a)pirene (BaP), che ha una struttura con cinque anelli condensati.

Si formano in tutti i processi di combustione incompleta di materiale organico, che provocano la rottura delle molecole del combustibile e portano alla formazione di molecole più piccole e molto reattive. Tali molecole possono, poi, ricondensare ed originare specie complesse, tra cui appunto gli IPA.

La loro diffusione nell'ambiente può essere dovuta sia a sorgenti naturali sia a fattori antropici. Si possono considerare sorgenti naturali i giacimenti petroliferi (che contengono gli IPA come componenti minori) e gli incendi. Le principali fonti antropiche possono essere sia industriali (raffinerie di petrolio, stabilimenti siderurgici e di distillazione del catrame ecc.) che civili (impianti di riscaldamento e centrali termiche, impianti di incenerimento di rifiuti e scarichi autoveicolari).

.Da un punto di vista tossicologico rivestono particolare importanza gli IPA con struttura a quattro o più anelli (IPA pesanti), che adsorbono sulla frazione più fine del particolato atmosferico e si depositano negli alveoli polmonari. Questi composti possono, infatti, dare origine ad intermedi molto reattivi con le cellule e causare lesioni citogeniche.

Ad alcuni IPA sono imputati effetti teratogeni, cancerogeni e mutageni. Lo IARC (International Agency for Research on Cancer) ha inserito il benzo(a)pirene (BaP) e numerosi altri IPA con 4-6 anelli condensati nelle classi 2A o 2B (possibili o probabili cancerogeni per l'uomo).

È stato dimostrato, inoltre, che i derivati azotati ed ossigenati degli IPA (anch'essi generati per lo più nelle combustioni incomplete), hanno spesso tossicità più elevata dei prodotti di partenza e possono determinare affetti negativi sulle piante e sulla salute umana.

Il 18/09/2001 il Ministero della Salute ha pubblicato un'ordinanza che fissa i tenori massimi di IPA tollerabili nell'olio di sansa di oliva e nell'olio di sansa di oliva raffinato (G.U. n° 225 del 27/09/2001). In tale ordinanza sono elencati otto composti, la cui concentrazione negli oli citati non deve essere superiore a 2 ppb e la somma delle singole concentrazioni non deve superare i 5 ppb.

3.3.11 Policlorobifenili (PCB)

Fanno parte degli idrocarburi aromatici alogenati, insieme alle policlorodibenzodiossine (PCDD) ed ai policlorodibenzofurani (PCDF). Sono sostanze ininfiammabili, dotate di elevata stabilità termica e chimica. Hanno notevoli proprietà dielettriche, sono molto miscibili con i composti organici e sono lipofile.

Le principali caratteristiche di queste molecole, quali la solubilità in acqua e la degradabilità, variano in funzione del grado di clorurazione della molecola bifenile e della posizione dei sostituenti cloro.

I PCB sono stati prodotti ed utilizzati in gran quantità per le loro proprietà di resistenza al calore ed agli agenti chimici e fisici e per le loro caratteristiche dielettriche.

La loro produzione iniziò intorno al 1920, ma è stata intensiva nel periodo compreso tra la Seconda Guerra Mondiale e la prima metà degli anni settanta. A livello industriale hanno trovato largo impiego soprattutto come fluidi dielettrici per trasformatori, lubrificanti, diluenti organici, plastificanti, oli da taglio, adesivi, agenti antipolvere, sigillanti e ritardanti di fiamma.

La Monsanto Chemical Company ne cessò volontariamente la produzione nel 1971 a causa delle notevoli preoccupazioni espresse dall'opinione pubblica per gli effetti negativi di tali composti sulla salute umana.

La produzione di PCB fu vietata negli USA a partire dal 1976, nei Paesi dell'Europa Occidentale alla fine degli anni '70 e nei Paesi dell'Europa dell'Est all'inizio degli anni '90.

I PCB subiscono fenomeni di biomagnificazione e di bioaccumulo e si possono concentrare nel tessuto adiposo delle specie al vertice della catena alimentare.

Permangono a lungo nell'ambiente per l'elevata stabilità delle loro strutture molecolari.

Dal punto di vista tossicologico, si riteneva che i PCB fossero un gruppo unitario e che tutti i congeneri agissero secondo lo stesso meccanismo. Studi recenti hanno, invece, dimostrato che le differenze nel numero di sostituenti cloro e soprattutto la loro posizione nella molecola bifenili influenzano notevolmente le risposte tossicologiche dovute all'esposizione ai PCB.

In base alle loro proprietà strutturali ed alla loro capacità di interagire con i recettori, i PCB sono stati classificati in tre gruppi principali. Il primo gruppo comprende quelli a struttura complanare, che agiscono sul recettore con una risposta dose-dipendente; il secondo gruppo, che comprende i congeneri che hanno più di un sostituente cloro in posizione orto, si ritiene che siano quasi totalmente privi di attività biologiche. Il terzo gruppo, formato da congeneri con un solo sostituente cloro in posizione orto, hanno una capacità intermedia di indurre gli enzimi epatici.

I congeneri non coplanari con sostituenti cloro in posizione orto hanno dimostrato di possedere soprattutto attività neurotossiche. È stato anche evidenziato che possono alterare l'omeostasi degli ioni Ca^{++} nel cervello, mentre i congeneri coplanari non sono in grado di produrre tale effetto.

L'attività neurotossica dei PCB orto-sostituiti è più evidente se l'esposizione avviene nel periodo prenatale. È stato dimostrato che l'esposizione durante la vita intrauterina si può tradurre in alterazioni dell'attività motoria, in ritardi nello sviluppo neurologico e nelle funzioni cognitive dei neonati. È stato riscontrato, inoltre, che l'assunzione di PCB può alterare i livelli degli ormoni tiroidei.

Dopo l'episodio di contaminazione da PCB e diossine di mangimi, prodotti avicoli e suinicoli avvenuto in Belgio nel maggio 1999, ci sono stati numerosi regolamenti Comunitari in tema di diossine e PCB. Tra le ultime decisioni in materia si ricorda la decisione n. 788 del 03/12/1999 ed il regolamento (CE) N. 2375/2001 del Consiglio del 29/11/2001, che fissano i limiti per la contaminazione da PCB e diossine in alcune derrate alimentari. Inoltre la Commissione delle Comunità Europee con la Comunicazione al Consiglio, al Parlamento Europeo ed al Comitato Economico e Sociale del 24/10/2001 (COM 593 definitivo) ha espresso la strategia Comunitaria sulle diossine, i furani ed i PCB.

3.4 Metodologia per il campionamento dei prodotti ortofrutticoli

In generale il campionamento deve essere condotto in maniera tale che il campione prelevato sia rappresentativo del sito e del prodotto considerato ed eseguito in modo tale che le sostanze da analizzare non subiscano alterazioni qualitative o quantitative durante il prelievo, il trasporto e la successiva conservazione del campione.

Considerando la mancanza di una metodica ufficiale di campionamento per il controllo di elementi tossici , IPA e PCB su prodotti ortofrutticoli, generalmente ci si attiene alla metodologia ufficiale riportata nell'allegato al DM del 20/12/1980 (pubblicato sulla G.U. del 9/1/1981) finalizzata alla determinazione del contenuto dei residui di antiparassitari, opportunamente adattata. Tale metodologia permette di individuare il peso del campione da prelevare in azienda, tenendo conto di vari parametri (quali, ad es., la pezzatura delle diverse specie ortofrutticole) e consente di ottenere un campione finale rappresentativo da suddividere poi ulteriormente, dopo quartazione, nei campioni di laboratorio sui quali eseguire le diverse determinazioni analitiche. Tali campioni possono essere conservati in surgelatore prima di essere sottoposti agli ulteriori pretrattamenti (triturazione, omogeneizzazione ecc.) richiesti dai diversi tipi di analisi.

Per quanto riguarda le modalità di prelievo in campo dei vari prodotti, si adottano criteri analoghi a quelli ufficiali che vengono generalmente utilizzati per il campionamento dei suoli (DM del 19/09/1999 pubblicato nel S.O. della Gazzetta Ufficiale n. 248 del 21/10/1999 Serie generale). Per rappresentare statisticamente l'intera produzione, perciò, si effettua un campionamento sistematico, irregolare (random) o non sistematico (a X o a W), cercando di evitare in ogni caso prelievi in zone anomale e non omogenee.

3.5 Metodologia analitica per la determinazione di piombo e cadmio in campioni di suolo e prodotti ortofrutticoli.

3.5.1 Campionamento

Il campionamento è stato eseguito secondo la metodologia descritta nel paragrafo precedente, in maniera tale da rendere l'aliquota sottoposta ad analisi (200-750 mg di campione anidro) rappresentativa di un campione di maggiori dimensioni.

3.5.2 Pretrattamento campioni

I campioni di laboratorio sono stati triturati ed omogeneizzati con il trituratore della BUCHI equipaggiato con lame ceramiche. Successivamente si è proceduto alla loro deidratazione in stufa.

3.5.3 Dissoluzione

La dissoluzione dei campioni è avvenuta mediante un mineralizzatore a microonde ad alta pressione (Milestone MLS 1200) utilizzando procedure già messe a punto in precedenti lavori (SIMOA). Nella tabella seguente sono riportate le diverse condizioni operative impiegate per la dissoluzione dei suoli e dei campioni vegetali.

		Vegetali I	Vegetali II	Vegetali III	Suoli I	Suoli II
FASE 1	Campione (g)	0.750	0.750	0.500	0.200	0.200
	HNO_3 (ml)	5	5	5	1	1
	HF (ml)	-	0.5	2	2	-
	HCl (ml)	-	-	-	3	3
	Programma	1	1	1	1	1
FASE 2	HF (ml)	-	-	-	-	2
	Programma	-	-	-	-	2
FASE 3	H_3BO_3 (mg)	-	175	700	700	700
	H_2O (ml)	-	5	5	5	5
	Programma	-	1	1	1	1
Volume finale (ml)		25	25	25	25	25
Materiale matraccio		Vetro	PE o PP	PE o PP	PE o PP	PE o PP

MILESTONE 1200			
Programma 1		**Programma 2**	
Potenza	Tempo	Potenza	Tempo
250 W	5’	250 W	5’
400 W	5’	400 W	5’
650 W	5’	650 W	5’
-	5’	250 W	5’
		-	5’

Reattivi impiegati:

- HNO_3 67% Carlo Erba RPE
- HF 40% Rudi Pont
- HCl 37% Carlo Erba RPE
- H_3BO_3 Nuclear grade ENICHEM
- H_2O ultra pura Milli Q-System

3.5.4 Determinazione di Pb e Cd nelle soluzioni

Per la determinazione di Pb e Cd è stata impiegata la tecnica di Spettrofotometria di Assorbimento Atomico con Atomizzazione Elettrotermica (**ET-AAS**) nelle condizioni operative messe a punto nel precedente lavoro (SIMOA).

È stato impiegato uno Spettrofotometro doppio canale (IL Video 22) che consente la determinazione simultanea di Pb e Cd. Le condizioni operative sono riportate nella seguente tabella. Sono state sottoposte a misura aliquote di 10 µl delle soluzioni diluite 1:2 con acqua e sono state eseguite almeno 3 repliche per ogni soluzione analizzata.

	Canale A	Canale B
Lampada HCL	**Pb** (tipo SH)	**Cd** (tipo SH)
Alimentazione (mA)	5	3
Banda passante (nm)	1	1
Lunghezza d’onda (nm)	283.5	228.8
Alimentazione PMT (Volt)	530	700
Correzione del fondo	lampada Deuterio	lampada Deuterio
Tipo di misura	altezza picco	altezza picco
tempo d’integrazione (s)	3	3 o 1,6

PROGRAMMA TERMICO atomizzatore elettrotermico					
	Essiccazione	**Incenerimento**		**Atomizzazione**	**Pulizia**
Temp. (°C)	110	150	225	1800	2000
ramp (s)	45	5	20	0	
hold (s)	10	10	10	4	
purge (u.a.)	1	2	1	0	3

Per la **calibrazione** sono state impiegate soluzioni standard a 1000 mg/l di Pb e Cd (SPEX) opportunamente diluite. Anche i campioni sono stati opportunamente diluiti (fino a 200 volte) per rientrare nel campo di linearità.

La **sensibiltà** è risultata essere molto dipendente dalla matrice ossia dal tipo di campione, dai reattivi impiegati per la dissoluzione e dalla diluizione della soluzione; si è proceduto pertanto a valutare la sensibilità su ogni singolo campione analizzato.

I **limiti di rivelabilità**, sono stati calcolati come concentrazione che dà luogo ad una segnale pari a 3 volte la deviazione standard del segnale di fondo; la **riproducibilità** come deviazione standard relativa (RSD) delle misure

Nella tabella seguente si riportano campo di linearità, sensibilità (valore minimo e massimo), riproducibilità e limiti di rivelabilità ottenuti rispettivamente per Pb e Cd

	Pb		**Cd**	
Linearità	Fino a 50 ng/l		Fino a 2,5 ng/l	
Sensibiltà (unità di Assorbanza per ng/l)	0,002	0,008	0,045	0,180
Limite di rivelabilità (DL)	8 ng/l	2 ng/l	0,4 ng/l	0,1 ng/l
Riproducibilità RSD (a concentrazione pari a 20xDL)	≤ 16 %		≤ 9 %	

Per calcolare la concentrazione di Pb e Cd nel campione solido si è utilizzata la seguente espressione:

$$C_S = \frac{A_S}{(A_{add} - A_S)} \cdot C_{add} \cdot f_{sol} \cdot \frac{25}{m_S}$$

dove:
C_s = concentrazione nel campione solido (anidro) in ppm (ng/mg)
A_s= media dell'assorbanza della soluzione campione analizzata
A_{add}= media dell'assorbanza della soluzione campione con aggiunta nota analizzata
C_{add}= concentrazione dell'aggiunta nota in ppb (ng/ml)
f_{sol}= fattore di diluizione della soluzione campione analizzata
m_s= massa del campione portato in soluzione

3.5.5 Impiego di materiali di riferimento per valutare l'accuratezza dei risultati

Per valutare l'accuratezza dei risultati ottenuti con la presente metodologia analitica sono stati impiegati **materiali di riferimento certificati (CRM)**, ossia materiali di composizione (matrice) simile a quella dei campioni da analizzare con contenuto di elementi noto ed incertezza nota. Questi materiali consentono, all'interno dell'incertezza data, di valutare l'accuratezza analitica e permettono di confrontare i risultati ottenuti con diverse tecniche o metodologie o i risultati ottenuti da diversi laboratori applicando la stessa metodologia (Carconi P. et al., 2001; Carconi P. et al., 2002).

I materiali di riferimento utilizzati nel presente lavoro sono riportati nella tabella allegata.

CRM	**Matrice**	**Pb**	**Cd**
BCR 062	Foglie d'olivo	25 ± 1,5	0,10 ± 0,02
NIST 1573	Foglie di pomodoro	6,3 ± 0,3	(3)
NIST 1570a	Foglie di spinaci	(0,20)	2,89 ±0,07

3.6 Metodologia per la determinazione di alluminio, arsenico, cromo, manganese, nichel e vanadio mediante Analisi per Attivazione Neutronica (INAA)

L'Attivazione Neutronica è una tecnica analitica che può essere utilizzata a supporto di vasti programmi di monitoraggio e presenta gli importanti requisiti di elevata sensibilità e multielementarietà, spesso necessari nello studio di matrici ambientali.

Il principio alla base del metodo prevede l'esposizione dei campioni ad un flusso di neutroni per un certo intervallo di tempo, allo scopo di produrre una quantità misurabile di radionuclidi di interesse.

Prima dell'irraggiamento i campioni vengono triturati ed omogeneizzati con attrezzature che non rilasciano residui, essiccati

in stufa fino a peso costante, frantumati finemente utilizzando strumenti di materiale inerte e conservati in essiccatore. Si riducono, così, al minimo eventuali interferenze legate alla fase preparativa dei campioni e degli standard utilizzati per le analisi.

Le varie aliquote dei campioni da analizzare così preparati vengono, perciò, introdotte in contenitori di politene, che vengono inseriti nel core del reattore per essere sottoposti al flusso di neutroni termici.

Alcuni isotopi degli elementi naturali presenti nei campioni vengono in tal modo resi radioattivi.

È, quindi, necessario un adeguato periodo di attesa affinché l'entità dell'attività radioattiva scenda fino a consentire sia la manipolazione dei campioni sia un corretto conteggio dello spettro di emissione delle radiazioni gamma caratteristiche degli elementi presenti nei campioni stessi.

La catena di conteggio è costituita da un rivelatore al germanio collegato ad un analizzatore calcolatore multicanale e ad un calcolatore. Dall'analisi dello spettro gamma è possibile risalire sia all'individuazione qualitativa degli elementi costituenti il campione (ogni elemento ha picchi di emissione caratteristici), sia alla loro concentrazione mediante un raffronto con materiali di riferimento certificati, irraggiati anch'essi nelle stesse identiche condizioni dei campioni.

Per la determinazione analitica dei contenuti di As, Cr e Ni i campioni e gli standard vengono irraggiati in una rastrelliera girevole del reattore, che assicura un'uniformità di flusso neutronico pari a $2 \cdot 10^{12}$ n / cm^2 sec).

Per la determinazione di elementi quali Al, Mn e V (il cui tempo di dimezzamento delle emissioni delle radiazioni gamma è di pochi minuti), vengono invece irraggiate quantità più piccole di campione, per tempi brevi ed in una zona del reattore con flusso neutronico più intenso (1,25 . 10^{13} n / cm ^{2} sec).

Prima dell'irraggiamento i campioni vengono triturati ed omogeneizzati con attrezzature che non rilasciano residui, essiccati in stufa fino a peso costante, frantumati finemente utilizzando strumenti di materiale inerte e conservati in essiccatore. Si riducono, così, al minimo eventuali interferenze legate alla fase preparativa dei campioni e degli standard utilizzati per le analisi.

3.7 Metodologia per la valutazione ecotossicologica degli inquinanti areodispersi campionati tramite Semipermeable Membrane Devices (SPMD).

Introduzione

Appaiono numerosi, come è stato mostrato nei capitoli precedenti, i dati sulla qualità dell'aria del territorio oggetto di indagine dal punto di vista dell'analisi di parametri chimici (in particolare di biossido di zolfo, biossido di azoto, ozono, particolato totale sospeso), ma del tutto assenti risultano le informazioni ottenute con tecniche di monitoraggio biologico. C'è da ricordare che un monitoraggio puramente strumentale non permette di rilevare gli effetti dell'inquinamento sugli ecosistemi, ed in particolare quelli sinergici di più inquinanti.In altri termini, esso non fornisce una valutazione di come o soprattutto quanto un insieme di inquinanti possa modificare una matrice biologica sia animale che vegetale. Il biomonitoraggio permette invece di stimare gli effetti biologici dell'inquinamento. Esso non utilizza gli organismi come *centraline*, né fornisce stime di una non meglio definita *qualità dell'aria*, ma misura deviazioni da condizioni *normali* di organismi reattivi alle sostanze xenobiotiche, utili per stimare gli effetti combinati di più inquinanti sulla componente biotica. Il biomonitoraggio può quindi fornire informazioni importanti per il monitoraggio dell'inquinamento, individuando possibili zone a rischio, ed ottimizzando la localizzazione di strumenti di misura.

I saggi biologici rappresentano un nuovo sistema di controllo in grado di valutare gli effetti dannosi esercitati da miscele di inquinanti sugli organismi viventi. Essi, infatti, sono considerati un utile metodo di indagine per superare il limite insito nella natura monoparametrica delle misure strumentali, permettendo di verificare se e come l'insieme degli inquinanti introdotti nell'ambiente sia in grado complessivamente di turbare la normale fisiologia di organismi a differente organizzazione biologica, scelti come test di riferimento e universalmente accreditati dalla letteratura scientifica.

Nell'ambito del progetto "Fare Patto Ambiente" si è reso necessario effettuare il monitoraggio dell'ambiente atmosferico allo scopo di valutare gli effetti delle emissioni inquinanti del polo industriale di Milazzo sugli agroecosistemi. Nell'indagine riportata è stata svolta la valutazione delle potenzialità tossiche degli inquinanti areodispersi nel territorio oggetto di indagine, mediante l'utilizzo di un particolare metodo di campionamento (Semipermeable Membrane Devices) e della successiva analisi degli inquinanti accumulati durante il periodo di esposizione delle membrane tramite un saggio biologico.

3.7.1 Metodo di campionamento

Il metodo delle Semipermeable Membrane Devices (SPMDs) (Brevetti: Huckins et al., US Patents 5,098,573 e 5,395,426) rappresenta una nuova tecnica di campionamento passivo che consente il monitoraggio dei contaminanti organici biodisponibili e bioaccumulabili (Huckins, 1993 e Petty, 1993). Questi campionatori sono costituiti da un tubo di polietilene a bassa densità caratterizzato dalla presenza di cavità transienti di 10 Å di diametro, generate dal movimento

casuale dei polimeri. Ciò fa sì che i contaminanti organici ambientali con dimensioni inferiori a quelle delle cavità polimeriche riescano a diffondere attraverso la membrana e a concentrarsi in un mezzo sequestrante, costituito da un sottile strato di trioleina, lipide neutro di alto peso molecolare (>600 dalton) estremamente diffuso nelle cellule degli organismi acquatici.

La particolarità e l'innovatività di tale sistema di campionamento sono rappresentate dalla possibilità di imitare il processo passivo di diffusione dei contaminanti attraverso le membrane biologiche e simularne la possibilità di ripartizione tra la fase lipidica cellulare ed il mezzo circostante. L'utilizzo di questo tipo di membrane consente, quindi, di mimare il meccanismo della bioconcentrazione riscontrabile nei tessuti adiposi degli organismi, tenendo in considerazione che la differente composizione lipidica interspecifica non modifica in modo significativo il coefficiente di ripartizione lipidi/acqua tipico di ogni composto.

Per le sue caratteristiche tale metodo fornisce una matrice di campionamento altamente riproducibile, e, la possibilità di protrarre nel tempo il periodo di campionamento, fornisce l'opportunità di sequestrare anche contaminanti prodotti in seguito ad episodi acuti che altrimenti non potrebbero essere identificati.

Nell'indagine svolta nell'area di Milazzo, le SPMDs sono state esposte in 8 aziende agricole, in due diverse campagne di prelievo: nei periodi luglio-agosto e settembre-ottobre 2001. Le aziende agricole in cui sono state esposte le membrane, sono state selezionate in quanto caratterizzate da una diversa esposizione agli inquinanti emessi dal polo industriale. Le membrane sono state posizionate all'interno delle aziende agricole, lontano da possibili fattori di interferenza (traffico stradale ecc.), e protette all'interno di tubi forati.

Nella tabella seguente sono riassunte le informazioni relative alle aziende agricole selezionate (codice di identificazione, località e tipo di attività agricola prevalente) e ai tempi e alla durata di esposizione delle SPMDs.

Aziende agricole	Codice	Località	Coltura	Esposizione campagna 1	Esposizione campagna 2
Brigandì	6	Torregrotta	Ortaggi	10 luglio-6 agosto	11 sett.-11 ottobre
Caizzone Rosa	20	Merì	Orticole	10 luglio-6 agosto	11 sett.-10 ottobre
Biondo Tindaro	21A	Milazzo	Orticole	10 luglio-6 agosto	11 sett.-9 ottobre
Majorana Francesco	25	Terme Vigliatore	Vivaio	10 luglio-6 agosto	11 sett.- 9 ottobre
Pietrini	26	Castroreale, Jalari	Biologico Agrumeto	11 luglio-6 agosto	11 sett.-10 ottobre
Pietrini	26A	Condrò	Biologico	11 luglio-6 agosto	11 sett.-11 ottobre
Isgrò	30	Pace del Mela	Agrumeto	11 luglio-6 agosto	11 sett.-9 ottobre
Grosso	31	Rometta	Orticole	11 luglio-7 agosto	11 sett.-11 ottobre

Dopo l'esposizione, le membrane sono state rimosse e rapidamente chiuse in barattoli. Successivamente sono state conservate a -20 °C fino al momento dell'estrazione degli inquinanti accumulati che sono stati sottoposti all'analisi ecotossicologica.

3.7.2 Estrazione e lavaggio delle membrane

Le metodologie utilizzate sono state selezionate tra le numerose riportate in letteratura poiché, considerando i risultati delle prove preliminari svolte, sono risultate compatibili con la successiva analisi ecotossicologica.

Le SPMDs sono state pulite esternamente da ogni detrito legato al campionamento con una serie di lavaggi con specifici solventi (Johonson, 2000):

- un breve lavaggio con esano (20 sec.) e un successivo abbondante risciacquo con acqua corrente, durante il quale il materiale adeso alla membrana è stato rimosso con uno spazzolino;
- un brevissimo lavaggio con HCl 1N per rimuovere eventuali sali organici e successivo risciacquo con acqua corrente;
- un lavaggio finale con acetone e successivamente con isopropanolo.

Ogni membrana è stata poi tagliata in tre porzioni: un frammento è stato trattato per l'analisi biologica ed i rimanenti sono stati conservati a –20°C. Il frammento in uso è stato dializzato con 20 ml di una soluzione di acetone: dimetilsolfossido (DMSO) (1:1 v/v) per 24 ore a temperatura ambiente. Successivamente, l'acetone è stato rimosso con un flusso delicato di azoto. Sul dializzato è stato eseguito il test di tossicità Microtox®.

3.7.3 Analisi ecotossicologica

L'analisi ecotossicologica dei dializzati ottenuti dalle membrane è stata effettuata con il test di tossicità acuta Microtox® (Bulich, 1981). È un test standardizzato, che utilizza il batterio bioluminescente *Vibrio fisheri* che possiede la caratteristica di emettere luce mediante l'azione dell'enzima luciferasi. L'intensità di emissione di luce dipende dal metabolismo energetico che può essere alterato dalla presenza di un tossico con conseguente riduzione della emissione di fotoni. L'effetto tossico misurato è quindi la riduzione della bioluminescenza, rilevata con il fotometro Microtox (M500 Toxicity Analyzer).

Tutti i campioni estratti sono stati diluiti inizialmente per ottenere una concentrazione di DMSO pari ad 1.3%; tale concentrazione è infatti risultata non tossica per i batteri in seguito allo svolgimento di test preliminari.

L'analisi dei campioni è stata svolta con il protocollo Basic (90%) con 2 controlli e 8 diluizioni in duplicato, in accordo con le procedure sperimentali indicate nel manuale Microtox® (Microbics Co., 1995). La diminuzione di luminescenza è stata misurata dopo 5 e 15 minuti di incubazione dei batteri con le diverse diluizioni. La relazione tra concentrazione e risposta luminosa è una curva sigmoide elaborata dal software dello strumento Microtox (versione 7.82); su questa curva, una volta linearizzata, viene calcolato il valore di EC50, cioè la concentrazione di campione (mg SPMD/ml) che causa una riduzione del 50% dell'intensità luminosa, con i rispettivi limiti fiduciali al 95% e la pendenza della retta dose-risposta.

3.8 Metodologia per la valutazione degli effetti sulle Comunità microbiche

Introduzione

Nei terreni agricoli e nella rizosfera sono presenti Comunità microbiche coinvolte nei processi di trasformazione ed assimilazione vegetale dei minerali fondamentali (Di Bonito et al., 1991). La presenza di contaminanti organici (IPA o PCB) ha un impatto sulla Comunità microbica in termini quantitativi e qualitativi (Nichols et al., 1997).

I suoli hanno una capacità di degradazione nei confronti di contaminanti organici. Il tipo di suolo, la coltura e la composizione della Comunità dei microorganismi hanno un effetto

significativo sulla degradazione di determinati contaminanti organici.

Il lavoro svolto si è sviluppato in due linee di attività:

1) valutazione della complessità delle Comunità batteriche in terreni contaminati da IPA e PCB ed

utilizzo dei dati di composizione delle Comunità microbiche per la valutazione dei livelli di contaminanti;

2) valutazione dell'impatto di inquinanti organici sulla composizione delle Comunità microbiche dei terreni in relazione al tipo di colture presenti.

3.8.1 Valutazione della complessità delle Comunità batteriche in terreni contaminati con IPA e PCB

Il lavoro sperimentale ha previsto le seguenti fasi:

- scelta dei terreni, in base alla distanza dalle fonti di inquinamento ed ai valori di IPA e PCB riscontrati;
- valutazione delle Comunità microbiche dei terreni.

Sono state scelti dieci terreni provenienti da diverse località e contrassegnati dai codici:

CODICE	LOCALITÀ
6	Torregrotta
6B	S. Pier Niceto
14	Gualtieri Sicaminò
15	S. Filippo Mela
18	S. Pier Niceto
19	S. Lucia del Mela
20	Merì
TOT	S. Paolo-Barcellona P.G.
M	Milazzo-Raffineria – Ingresso Centrale
25	Terme Vigliatore

I campioni di terreno sono stati prelevati dallo strato superficiale (-1, -5 cm di profondità) e conservati in contenitori sterili per 5 giorni.

È stato quindi valutato il numero totale di batteri presenti e la complessità delle Comunità microbiche. Il terreno è stato diluito in soluzione fisiologica, seminato in capsule petri contenenti terreno nutritivo (Tryptic Soy Agar) ed incubate a 28° C. Dopo una settimana dall'incubazione è stato valutato il numero totale di batteri presenti ed i tipi di colonie formate.

La complessità delle Comunità microbiche dei terreni scelti è stata valutata tramite misura del metabolismo di substrati, seminando diluizioni di ogni terreno in piastre BIOLOG, Hayward, CA, USA (Garland, Mills, 1991). Tali piastre hanno permesso di valutare per ogni campione la capacità di metabolizzare 31 substrati diversi, presenti individualmente in pozzetti. Le reazioni sono state valutate tramite misura spettrofotometrica di un colorante che viene ridotto producendo un colore violetto. Per ogni substrato sono state effettuate tre replicazioni. Le piastre sono state incubate per 4 giorni a 29 °C e le reazioni colorimetriche misurate tramite un lettore automatico di piastre.

Per ogni campione sono stati così eseguite 31 analisi, replicate tre volte ognuna. Sono state calcolate le medie dei valori, inserite in una matrice utilizzata per l'elaborazione statistica dei dati e la costruzione di un dendrogramma di relazioni tramite il programma STATISTICA**.**

3.8.2 Valutazione dell'impatto di contaminanti organici sulla composizione delle Comunità batteriche in relazione alla presenza di colture

Il lavoro ha previsto il prelievo di un terreno in località Milazzo e la valutazione della concentrazione di IPA e PCB. Successivamente è stato eseguito uno studio pilota in serra, per valutare l'impatto di contaminanti sulla composizione di Comunità microbiche del terreno in presenza di piante di una cultura tipica o in assenza di piante.

La sperimentazione si è svolta in serra nel periodo primaverile. Il terreno è stato utilizzato per riempire vasi nei quali sono state trapiantate piante di pomodoro. Le piante sono state irrigate e fertilizzate con composti azotati. Sono state eseguite tre replicazioni ed incluso un controllo di vasi con terreno senza piante tenuto nelle stesse condizioni. A distanza di 21 giorni è stata eseguita l'analisi delle Comunità microbiche presenti nei terreni con e senza piante, tramite la tecnica di metabolismo di substrati precedentemente descritta.

È stata, quindi, eseguita l'analisi gas-cromatografica su campioni degli stessi terreni.

Bibliografia

- Ashmore, M.R., Wilson, R. B. (eds), 1994. Critical levels for Air Pollutants in Europe: Department of the Environment, London.
- Bocola W., Cirillo M., Triolo L., 1988. Environmental Impact of Air Pollutants with Emphasis on Crops. The Piacenza Case Study, In: "Advances in Environmental Modelling", ed. Marani A. Elsevier - Amsterdam, 293-312.
- Bulich A. A., Greene M.WM. , Isenberg D.L., 1981. Reliability of the bacterial luminescence assay for the determination of toxicity of pure compounds and complex effluents" Aquatic toxicology and Hazard assessment Fourth Conference, ASTM STP 737, 338-347.
- Camposano F., Cirillo M.C., Triolo L., 1986. Elaborazione di funzioni dose-risposta degli effetti dell'SO_2 sulle rese di specie agricole. ENEA- RT/Studi Vasa, (86)8.
- Camposano F., Naviglio L., Triolo L., 1986. Raccolta di dati agro-biologici e metodologia per la valutazione dei cali di resa della produzione agricola. In: ENEA, Regione Lombardia – "Progetto per la valutazione dell'impatto sull'ambiente e sull'uomo degli effluenti della Centrale di Tavazzano-Montanaso". Appendice n.8, 76-81.
- Carconi P., Gatti R., Palazzo S., Portaro N., Troisi L., Zappa G., 2001. Preparazione di materiali di riferimento per il settore agroalimentare. Atti del Convegno "Nazionale III Millennio: il futuro della Chimica Analitica nel controllo ambientale ed alimentare" – Università degli Studi "La Sapienza" di Roma, 22-24/02/2001.
- Carconi P., Gatti R., Palazzo S., Portaro N., Sangiorgio P., Troisi L., Zappa G., 2002. Atti del Convegno "Attualità ed interdisciplinarietà della chimica analitica" – Università degli Studi "La Sapienza" di Roma, 20-22/02/2002.
- Centre for Ecology and Hydrology (Natural Environment Research Council), 2002. Economic Assessment of Crop Yield Losses from Ozone Exposure. Contract EPG 1/3/170: The UNECE International Cooperative Programme on Vegetation. April 2002.
- Di Bonito R., Porreca G. E., Mannelli S., 1991. Competition for modulation of Rhizobium spp. (Cicer arietinum L.) inoculated on different cultivars of chickpea. Symbiosis 9, 405-409.
- Farmer A. M., 1993. Environ. Pollut. 79, 63-75.
- Finnan, J.M., Burke, J.I , Jones, M.B., 1997. An evaluation of indices that describe the impact of ozone on the yield of spring wheat (Triticum aestivum, L.). Atmospheric Environment 31, 2685-2693.
- Fuhrer J., Skarby L., Ashmore M.R., 1997. Critical Levels for Ozone Effects on Vegetation in Europe. Environmental Pollution, 97, No 1-2, 91-106.
- Fumagalli I., Ambrogi R., Mignanego L., 2001. Yield responses of plants exposed to ambient ozone in the river Po Velley (Italy).Agronomie 21, 227-233.
- Garland J.L., Mills A.L., 1991. Classification and characterization of heterophylic microbial communities on the basis of patterns of community level sole-carbon source utilization. Applied and Environmental Microbiology, 57, 2351-2359.
- Giorgelli F., Minnocci A., Panicucci A., Vitagliano C., 1994. Effects of long-term SO_2 pollution on olive-tree gas exchange and leaf morphology. ISHS Acta Horticulturae 356: II International Symposium on Olive Growing - 1994.
- Heck W.W. et al., 1984. Assessing impacts of ozone on agricultural crops: overview. J. Air Poll: Cont: Ass., 34, 729-735.
- Huckins J. N., Tubergen M.W., Manuweera G.K., 1990. Semipermeable membrane devices containing model lipid: a new approach to monitoring the availability of lipophilic contaminants and estimating their bioconcentration potential. Chemosphere 20, 533-552.
- ISTAT, 2000. 5°Censimento Generale dell' Agricoltura.

- Johonson B.T., Petty J.D. and Huckins J.N., 2000. Collection and detection of lipophilic chemical contaminants in water, sediment, soil and air-SPMD- Tox. Environmental Toxicology 15:3**,** 248-252.
- Microbics Corporation ,1995. Microtox acute toxicity basic test procedure. Carlsbad, CA 920008-8883.
- Minnocci A., Panicucci A., Sebastiani L., Lorenzini G., Vitagliano C., 1999. Physiological and morfological responses of olive plants to ozone exposure during a growing season. Tree Physiology 19, 391-397.
- Musselman R.C., Forsline P.L., Kender W.J., 1985. Effects of Sulfur Dioxide and Ambient Ozone on Concord Grapevine Growth and Productivity, J. Amer. Soc. Hort. Sci. 110, 882-888.
- Musselman, R.C., McCool, P.M. and Lefohn, A.S., 1994b. Ozone descriptors for an air quality standard to protect vegetation. Journal of the Air And Wasre Managemen Association 44, 1383-1390.
- Nali C., Pucciariello, C., Lorenzini G., 2002. Ozone distribution in central Italy and its effects on crop productivity. Agriculture, Ecosystems and Environment 90, 277-289,
- Nichols TD., Wolf DC., Rogers HB., Beyrouty CA., Reynolds CM., 1997. Rhizosphere microbial populations in contaminated soils. Water, Air and Soil Pollution 95, 165-178.
- Parthasarathy S., 1975. Ind. J. Environ. Pollut.17,114-120.
- Pell E. J., Pearson N.S., Vinten-Johansen C., 1988. Qualitative and Quantitative Effects of Ozone and/or Sulfur dioxide on Field-grown Potato Plants. Environ. Pollut. 53, 171-186.
- Petty J.D., Huckins J. N., Zajicek ,1993. Application of semipermeable membrane devices (SPMDs) as passive air samplers. Chemosphere 27, 1609-1624
- Postiglione L., Fagnano M., 1995. Ozone Iniury and Ethylenediurea: First Results on different Species in the Campania Region. In: “Responses of Plants to Air Pollution”. Lorenzini G and Soldatini C.F. Eds. Proceedings of a Conference held in Pisa, 7-8 April 1994. Agr. Med. Special Volume, 109-118.
- Sardi K., 1981. Environ Ppollut. Ser. A., 25(9), 181-186.
- Singh S.N. & Rao D.N., 1981. Environ. Pollut. 24, 75-81.
- Sommerville M.C., Spruill S.E., Rawlings J.O., Lesser v.M., 1989. NCARS Techn.Bull., 292-190.
- Statewide Air Pollution Research Center-University of California, 1989. The growth and yield effects of ambient air pollution on Valencia orange trees. Final Report to the California Air Resources Board. Contract No. A733-087. December 21, 1987- September 30, 1989. Olszyk D. M., Principal Investigator.
- UNECE, 1988. ECE Critical Levels Workshop, Bad Harzburg. Final Draft Report.
- UNECE. 1979 Convention on long-range transboundary air pollution and its protocols. United Nations, Economic Commission for Europe, geneva, 1996.
- Vitagliano C., Minnocci A., Sebastiani L., 1999. Physiological response of two olive genotypes to gaseous pollutants. ISHS Acta Horticulturae 474; III Intern. Symp. on Olive Growing-1999.
- WHO Regional Office for Europe, 2000. Effects of sulfur dioxide on vegetation: critical levels. Air Quality Guidelines-Second Edition. Chapter 10.
- WHO Regional Office for Europe, Copenaghen, Denmark, 2000. Effects of ozone on vegetation: critical levels. Air Quality Guidelines-Second Edition. Chapter 12.
- WHO, 1996. Trace elements in human nutrition and health.

CAPITOLO IV

Dati sperimentali e valutazione dei cali di resa agricola e dell'accumulazione di elementi e composti potenzialmente tossici nel particolato atmosferico, nei suoli e nei prodotti agroalimentari

L. Triolo, A. Antonini, M. Barlattani, A. Correnti, P. Carconi, E. De Luca, R. Di Bonito, V. Di Gioia, G. Fiocchi, F. Musmeci, N. Portaro, S. Rosa, M. Schimberni, C. Vaccarello, G. Zappa (ENEA)

Premessa

Nel capitolo sono illustrati gli effetti negativi che l'esposizione a gas inquinanti ed a particolato atmosferico provocano sulle colture agrarie e sulle risorse forestali.

Relativamente all'esposizione ai gas emessi dalle sorgenti puntiformi fisse e da quelle diffuse, fisse e mobili, gli effetti considerati per le specie vegetali sono quelli prodotti dall'SO_2 e dall'O_3. Si considera, infatti, che gli NO_x, che pure interferiscono negativamente sui meccanismi metabolici delle piante, costituiscono precursori della sintesi di O_3, che è la molecola più tossica per i vegetali.

Nel presente studio per valutare gli effetti di inibizione dello sviluppo vegetativo ed il calo di resa causato da SO_2 occorre considerare gli usi del suolo agricolo e forestale per i sedici Comuni oggetto di indagine, circostanti il Polo industriale: la diffusione stimata delle emissioni di SO_2 relative all'anno 2000 (raffineria, centrale termoelettrica EUROGEN ed alcuni cementifici) consente di valutare, per ciascuna coltura, i cali di resa basati sulle concentrazioni medie di SO_2, attribuite alle stesse sorgenti puntiformi (**Fig.4.1**).

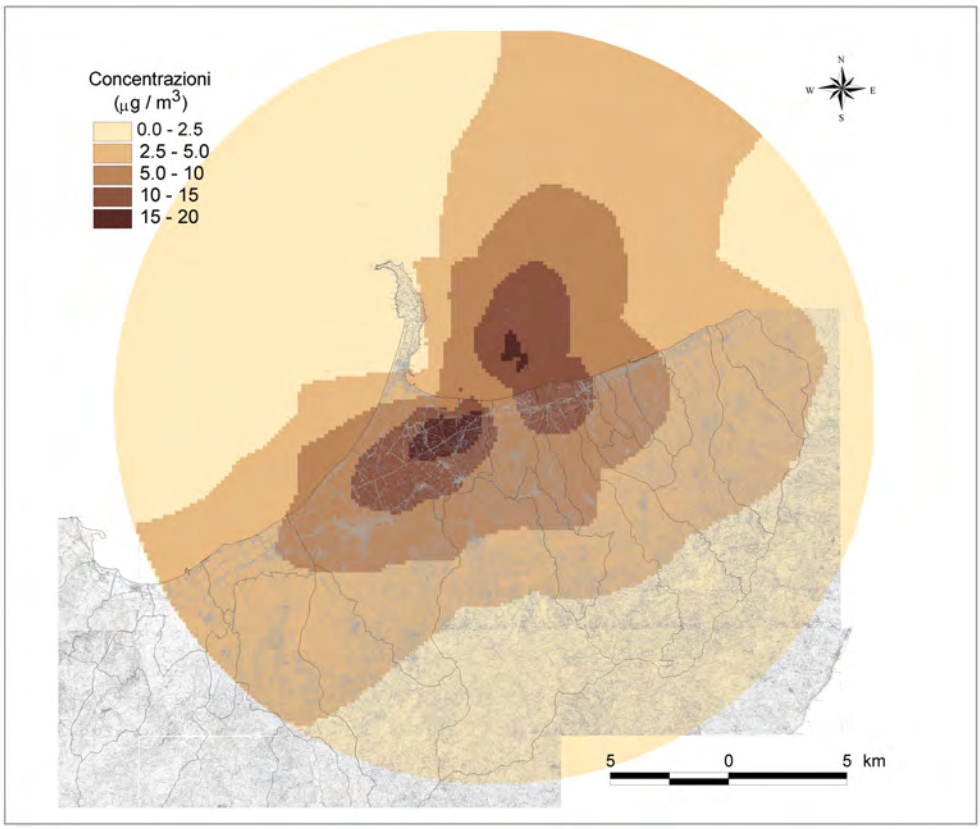


Fig. 4.1

Tuttavia per considerare anche le altre sorgenti di inquinamento, nell'assessment dei cali di resa sono stati presi in considerazione i dati sperimentali di SO_2 e di O_3 medi ottenuti mensilmente da giugno ad ottobre 2001. Per ogni Comune studiato sono mostrati in **Tab. 4.5** e **Tab. 4.10** i dati acquisiti da una o due stazioni nel periodo di monitoraggio. In tal caso i dati si riferiscono sia alle emissioni delle sorgenti puntiformi, che di quelle diffuse.

La stima dei cali di produzione delle diverse specie agrarie è stata eseguita considerando una concentrazione media degli inquinanti (SO_2, O_3) per ciascuno dei Comuni esaminati. Utilizzando le funzioni dose-risposta disponibili ed illustrate nel terzo capitolo, per le coltivazioni più significative si è proceduto alla stima dei cali di resa.

La valutazione di altri parametri di qualità ambientale ed agroalimentare si è basata: sull'impiego di biotest di tossicità sul particolato presente in aria; sulla determinazione sperimentale degli effetti sui sistemi microbiologici del suoli non agricoli causati dalla presenza di molecole tossiche; sul contenuto di elementi e di molecole tossiche nei prodotti agroalimentari.

4.1 Descrizione del sistema agricolo

La descrizione del sistema produttivo agricolo dell'area nord orientale siciliana compresa nella provincia di Messina e dell'isola di Salina si basa sui dati dell'ultimo censimento agricolo (ISTAT, 2000).

Nel complesso il territorio esaminato presenta una pluralità di indirizzi colturali, con aree a prevalente agricoltura estensiva ed altre fortemente intensive alle quali corrisponde anche il maggior grado di antropizzazione.

Nelle zone collinari ed interne i dati ISTAT evidenziano, insieme a significative aree boscate, l'esistenza di ampie superfici destinate alla foraggicoltura, al pascolo ed alla cerealicoltura ed in taluni casi, come ad esempio ad Alcara Li Fusi, Cesarò, San Teodoro, Castell'Umberto, Novara di Sicilia e Tortorici, le superfici destinate all'agricoltura di tipo estensivo rappresentano circa il 50% di quelle dei medesimi Comuni.

Nelle zone collinari che si estendono verso il litorale tirrenico molto diffusa è la olivicoltura con prevalente coltivazione di cultivars da olio, con eccezione di Caronia, Barcellona Pozzo di Gotto, San Salvatore di Fitalia e Naso, dove è importante anche la coltivazione di olive da mensa. Tale situazione è sinteticamente rappresentata in **Fig. 4.2.**

In tutta l'area la cultura vitivinicola non è molto diffusa e si presenta quasi esclusivamente concentrata presso Barcellona, S. Lucia del Mela e Pace del Mela, dove la vite ricopre il 3-4% di ciascuno di tali Comuni. Una particolare trattazione richiederebbe la viticoltura praticata nell'Isola di Salina, ove la produzione della Malvasia e quella del cappero caratterizzano fortemente l'agricoltura isolana (**Fig. 4.3**).

Pure molto diffusa è l'agrumicoltura, con maggiori concentrazioni nelle zone di Milazzo, ove prevale la produzione di arance, e di Capo d'Orlando in cui, invece, la coltura più significativa è quella del limone (**Fig. 4.4**).

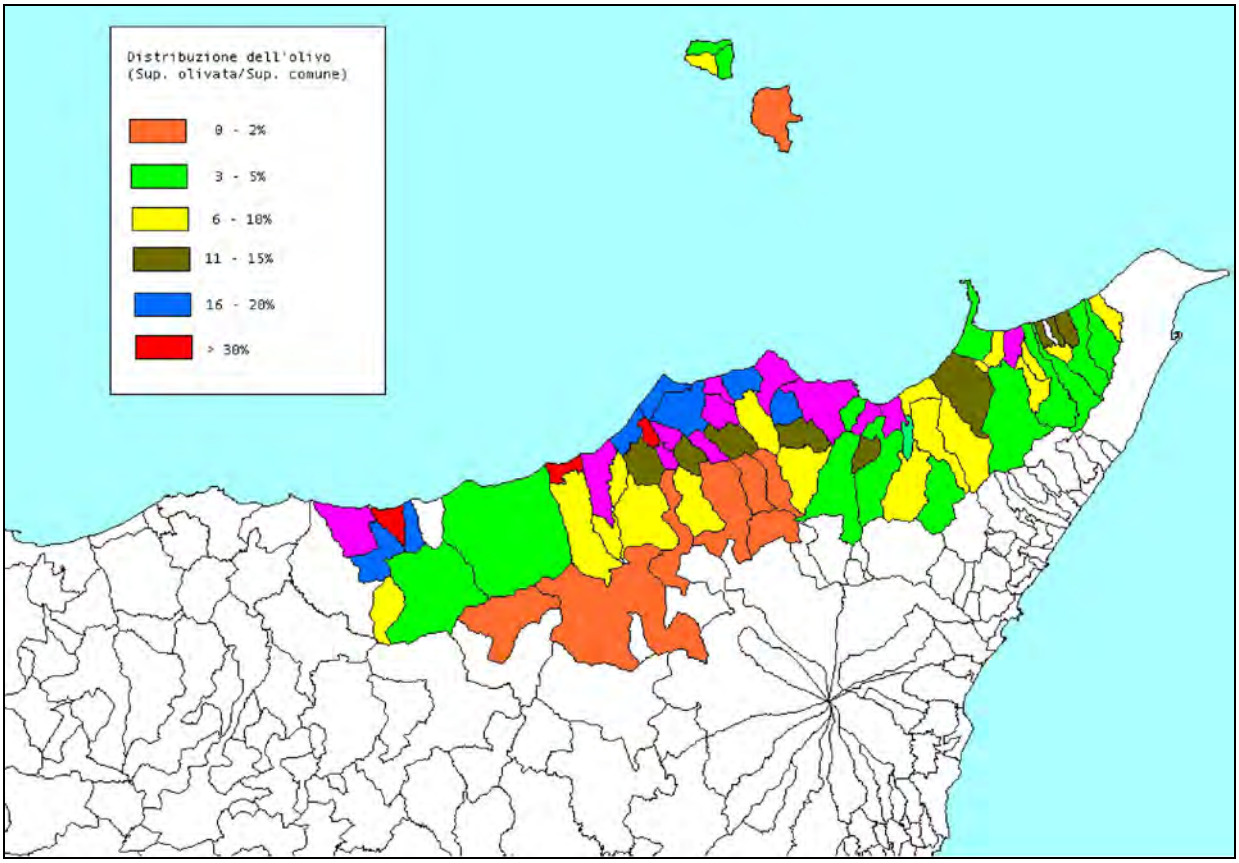

Distribuzione dell'olivo
(Sup. olivata/Sup. comune)
0 - 2%
3 - 5%
6 - 10%
11 - 15%
16 - 20%
> 30%

Fig. 4.2

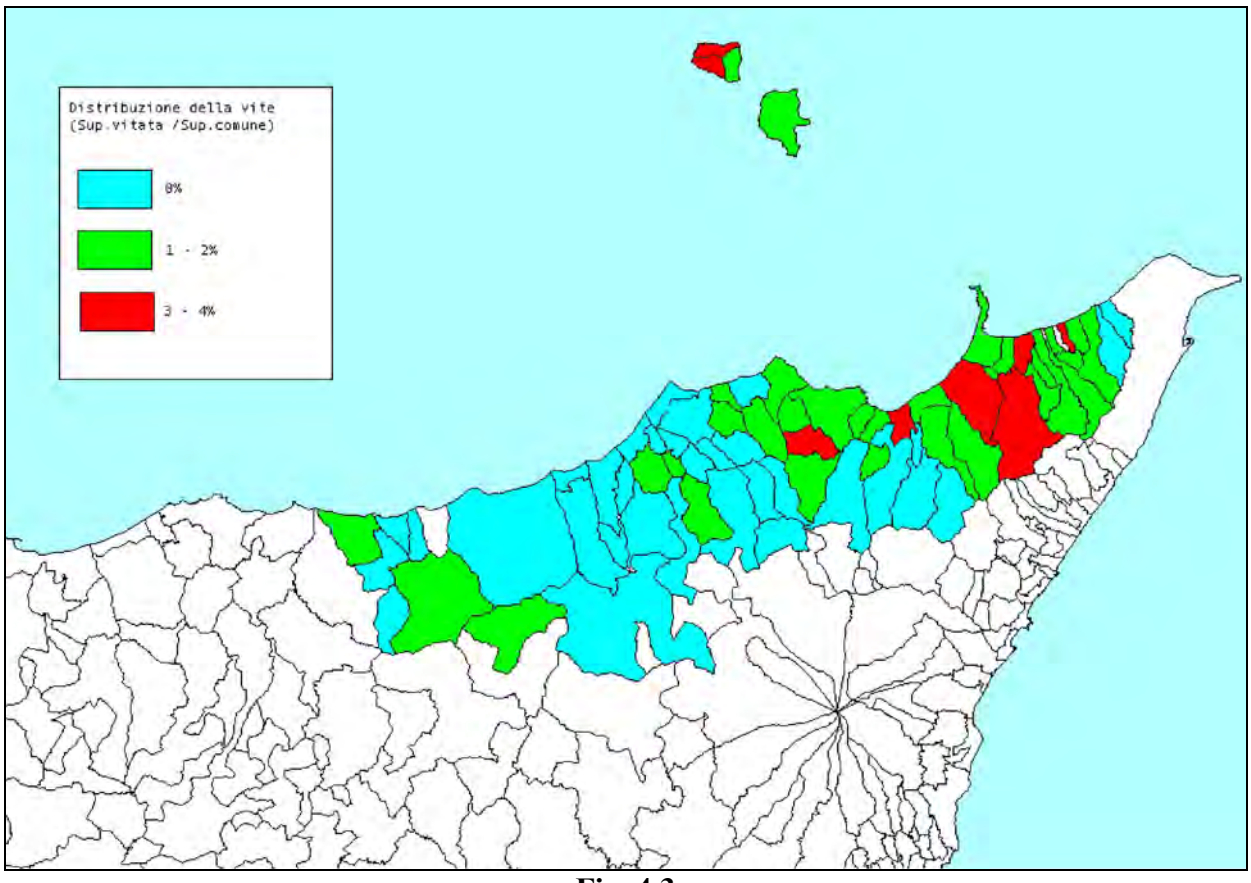

Distribuzione della vite
(Sup.vitata /Sup.comune)
0%
1 - 2%
3 - 4%

Fig. 4.3

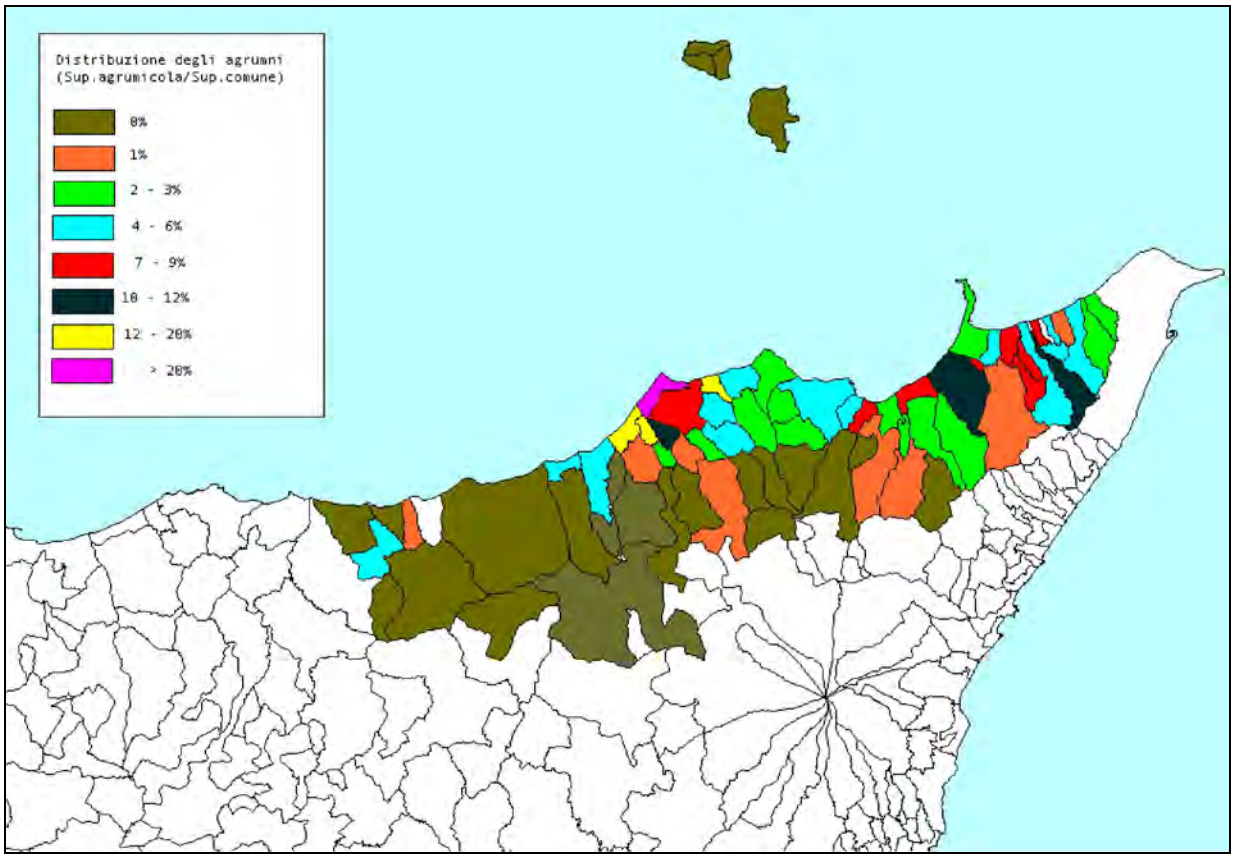


Fig. 4.4

La Piana di Milazzo, che comprende anche il Comune di Barcellona, rappresenta il cuore della orticoltura specializzata che viene praticata prevalentemente in pieno campo, mentre quella promiscua, come nel resto del territorio, è spesso consociata con gli agrumi .

Per i 16 Comuni (Barcellona Pozzo di Gotto, Castroreale, Condrò, Gualtieri Sicaminò, Malfa, Mazzarrà Sant'Andrea, Merì, Milazzo, Monforte San Giorgio, Pace del Mela, Rometta, San Filippo del Mela, San Pier Niceto, Santa Lucia del Mela, Terme Vigliatore e Torregrotta) interessati dalla valutazione più puntuale dell'impatto sulle rese produttive causato dalle emissioni inquinanti del polo energetico di Milazzo, i dati dell'ultimo censimento, pur evidenziando un calo delle superfici coltivate, testimoniano l'importanza che continua ad avere per l'economia locale il settore agricolo. Infatti, in questo comprensorio continuano ad essere ampie le superfici agricole coltivate, con punte intorno al 40% di quelle comunali presso Milazzo, Barcellona, Gualtieri Sicaminò, Merì, Pace del Mela e Torregrotta.

Tra le colture arboree gli agrumi (2000 ha), l'olivo (2700 ha) e la vite (640 ha) sono quelle più rappresentative.

Di un certo rilievo è, inoltre, soprattutto a Milazzo e Barcellona, la coltivazione della patata e del pomodoro. Quest'ultima, però, ha subito negli ultimi anni una significativa diminuzione a causa della diffusione di alcune temibili virosi.

Nell'area si rileva, inoltre, la presenza di numerosi vivai caratterizzati prevalentemente per la produzione di piante arboree da frutto. Queste realtà produttive, sviluppatesi in particolar modo nell'ultimo decennio, per l'entità degli investimenti richiesti, cominciano a rappresentare una interessante fonte economica ed occupazionale.

4.2 Valutazione degli effetti dell'anidride solforosa e dell'ozono sulle rese agricole

4.2.1 Determinazioni sperimentali delle concentrazioni di anidride solforosa e di ozono con campionatori passivi

4.2.1.1 Siti di campionamento

In **Tab. 4.1** sono elencate le 21 aziende agricole in cui sono stati posizionati i campionatori passivi ANALYST (**All. 4.20**). Tali aziende si trovano in Comuni limitrofi a quello di Milazzo e sono situate a distanza ed altitudine variabile dal polo industriale (da 0 m a 600 m s.l.m.) (**Fig. 4.5**).

Tab. 4.1

Codice azienda	Località	Coltura
1	S.Pier Niceto	Agrumeto
2	Monforte S.Giorgio	Agrumeto
3	Monforte S.Giorgio	Vigneto-oliveto
6	Torregrotta	Pescheto-ortaggi
6B	S.Pier Niceto	Ortaggi
14	Gualtieri Sicaminò	Oliveto
14A	Gualtieri Sicaminò	Agrumeto
15	S.Filippo del Mela	Agrumeto
16	Milazzo	Vivaio
18	S. Pier Niceto	
19	S.Lucia del Mela	Oliveto
20	Merì	Orticole
21	Barcellona Pozzo di Gotto	Orticole
21A	Milazzo	Orticole
24	Terme Vigliatore	Vivaio
25	Terme Vigliatore	Vivaio
26A	Condrò	Agrumeto biologico
26	Castroreale	Agrumeto biologico
30	Pace del Mela	Agrumeto
31	Rometta	Orticole (serre)
32	Salina-Malfa	

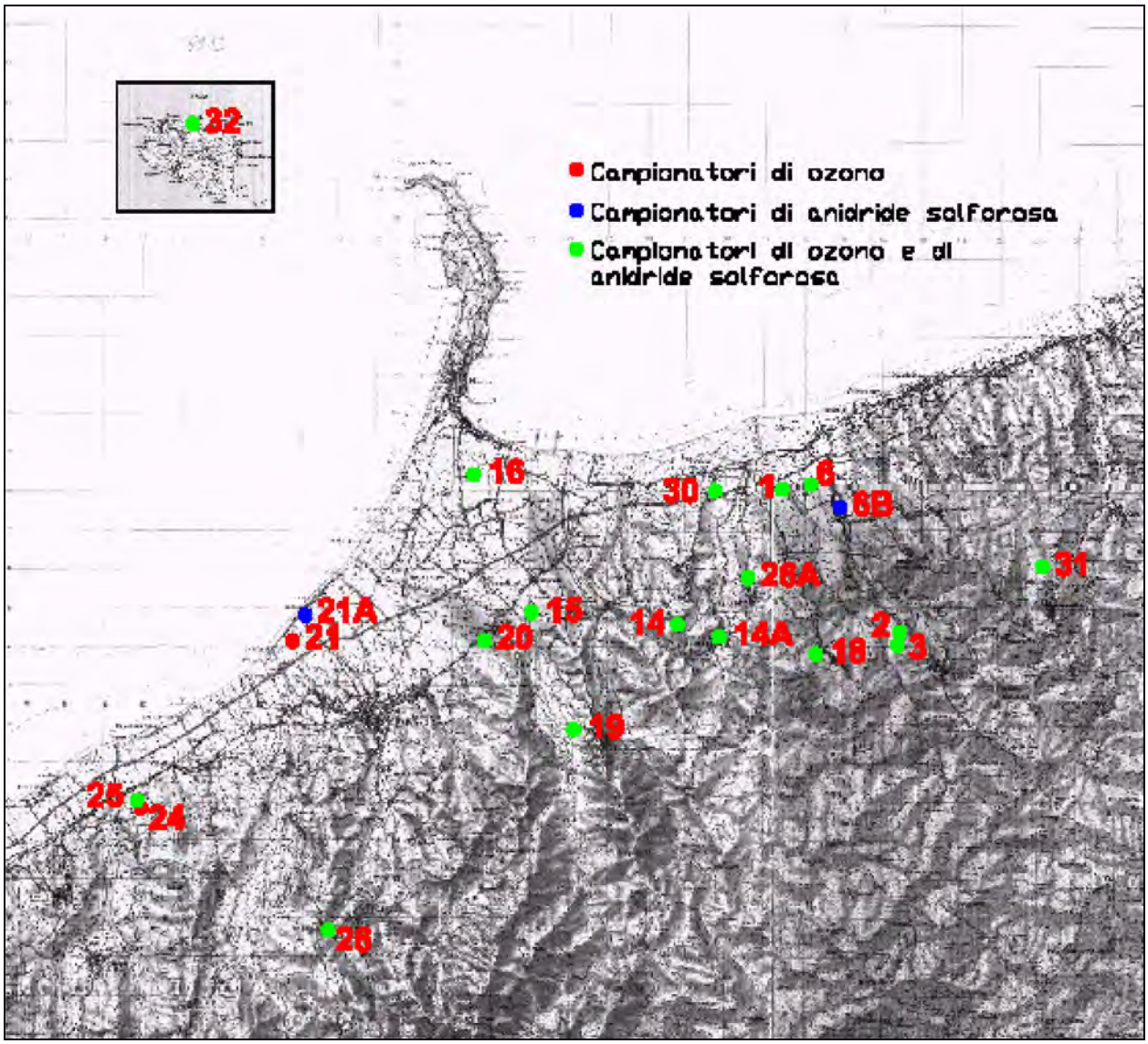


Fig. 4.5

Ciascuna azienda è contrassegnata dal numero che è stato usato per distinguere i campionatori. Gli ANALYST per O_3 sono stati classificati con la sigla O_3 n° azienda (es. O_3 1), mentre i bianchi con O_3B n°azienda (es. O_3B 1); gli ANALYST per SO_2 sono stati classificati con la sigla SO_2 n° azienda (es. SO_2 1), mentre i bianchi con SO_2B n°azienda.

4.2.1.2 Periodo di campionamento

Tra maggio ed ottobre 2001 sono stati effettuati cinque campionamenti, ciascuno della durata di circa un mese (**Tab. 4.2**).

Tab. 4.2

Campionamenti	Data
I	8/5 –13/6
II	13/6 – 11/7
III	11/7 – 7/8
IV	7/8 – 11/9
V	11/9 – 10/10

Tale periodo è stato scelto per i seguenti motivi:

- elevata incidenza della radiazione luminosa, che favorisce la formazione di O_3;
- maggiore traffico veicolare dovuto al turismo;
- stato vegetativo suscettibile all'impatto degli inquinanti sulle colture agricole più rilevanti dal punto di vista economico presenti nel territorio studiato.

4.3.1.3 Concentrazioni di anidride solforosa in atmosfera

In **Tab. 4.3** ed in **Fig. 4.6** sono mostrate le concentrazioni di SO_2 (espresse in $\mu g/m^3$) rilevate nei cinque campionamenti effettuati.

Tab. 4.3 Concentrazioni di SO_2 in atmosfera ($\mu g/m^3$)

Stazione	I camp.	II camp.	III camp.	IV camp.	V camp.
S. Pier Niceto (Az. 1)	30,3	14,6	20,3	31,9	13,06
Monforte S. Giorgio (Az. 2)	-	-	53,1	20,3	16,91
Monforte S. Giorgio (Az. 3)	-	-	54,3	54,6	12,91
Torregrotta (Az. 6)	16,2	9,6	14,1	19,3	-
S. Pier Niceto (Az. 6B)		9,5	13,3	14	41,38
Gualtieri Sicaminò (Az. 14)	20,2	35,7	39,5	34,9	17,78
Gualtieri Sicaminò (Az. 14A)	16,2	33,7	44,3	-	14,39
S. Pier Niceto (Az. 18)	26,4	35,3	77,2	42,8	29,5
Milazzo (Az. 16)	7,8	9,2	9,8	12,3	8,85
S. Filippo del Mela (Az.15)	-	89,4	-	94,6	47,07
Merì (Az. 20)	-	-	-	111,2	65,51
S. Lucia del Mela (Az. 19)	25,7	32,8	55,9	58,7	20,95
Barcellona P.G. (Az 21)	22,8	9,5	45,5	8,2	14,59
Milazzo (Az. 21A)	20,3	26,1	27,3	12	12,07
Vigliatore Terme (Az.25)	-	-	68,4	32	13,68
Castroreale (Az. 26)	21,9	19,2	42,8	36,6	20,08
Condrò (Az.26A)	16,3	23,5	38,3	24,2	20,06
Pace del Mela (Az.30)	28,6	14,7	16,5	30,8	11,47
Rometta (Az.31)	-	-	20,5	48,7	26,92
Salina-Malfa (Az.32)	-	7,3	-	-	3,36

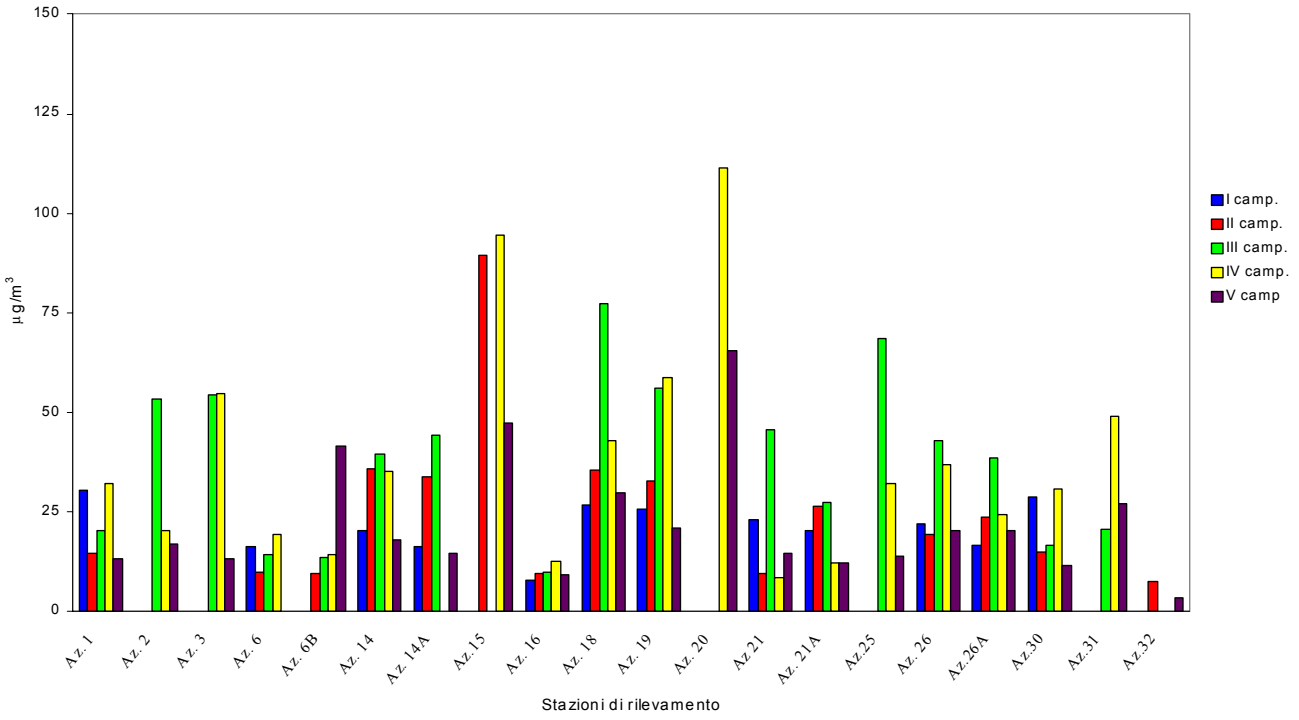


Fig. 4.6 Concentrazioni atmosferiche di SO_2

I risultati ottenuti dal campionamento di SO_2 mostrano valori piuttosto variabili tra i siti. Sono stati riscontrati valori elevati in alcuni siti, mentre in altri la concentrazione di SO_2 rientra nei livelli considerati bassi.

Le correlazioni tra i campionamenti, riportate in **Tab. 4.4**, sono sempre positive.

Tab. 4.4 Valori delle correlazioni tra i campionamenti

	I	II	III	IV	V
I	-				
II	0,17	-			
III	0,33	0,88	-		
IV	0,54	0,9	0,82	-	
V	0,31	0,61	0,78	0,75	-

Solo il primo campionamento mostra una correlazione con gli altri non troppo elevata, con valori dal 17 al 54%, mentre per gli altri campionamenti si osservano correlazioni elevate e significative con valori quasi sempre superiori al 70%. Ciò conferma che l'andamento della concentrazione di SO_2 è simile in ciascun sito nei cinque campionamenti.

La media delle concentrazioni di SO_2 misurate in ogni campionamento è evidenziata in **Tab. 4.5** e **Fig. 4.7**.

Tab. 4.5 Valori medi della concentrazione di SO_2 calcolati su cinque campionamenti

Stazione	Media ($\mu g/m^3$)
S. Pier Niceto (Az. 1)	22
Monforte S. Giorgio (Az. 2)	30
Monforte S. Giorgio (Az. 3)	40,6
Torregrotta (Az. 6)	14,8
S. Pier Niceto (Az. 6B)	19,5
Gualtieri Sicaminò (Az. 14)	29,6
Gualtieri Sicaminò (Az. 14A)	27,1
S. Pier Niceto (Az. 18)	42,2
Milazzo (Az. 16)	9,6
S. Filippo del Mela (Az.15)	77,0
Merì (Az. 20)	88,3
S. Lucia del Mela (Az. 19)	38,8
Barcellona P.G. (Az. 21)	20,1
Milazzo (Az. 21A)	19,5
Vigliatore Terme (Az.25)	38
Castroreale (Az. 26)	28,1
Condrò (Az.26A)	24,5
Pace del Mela (Az.30)	20,4
Rometta (Az.31)	32
Salina-Malfa (Az.32)	5,3

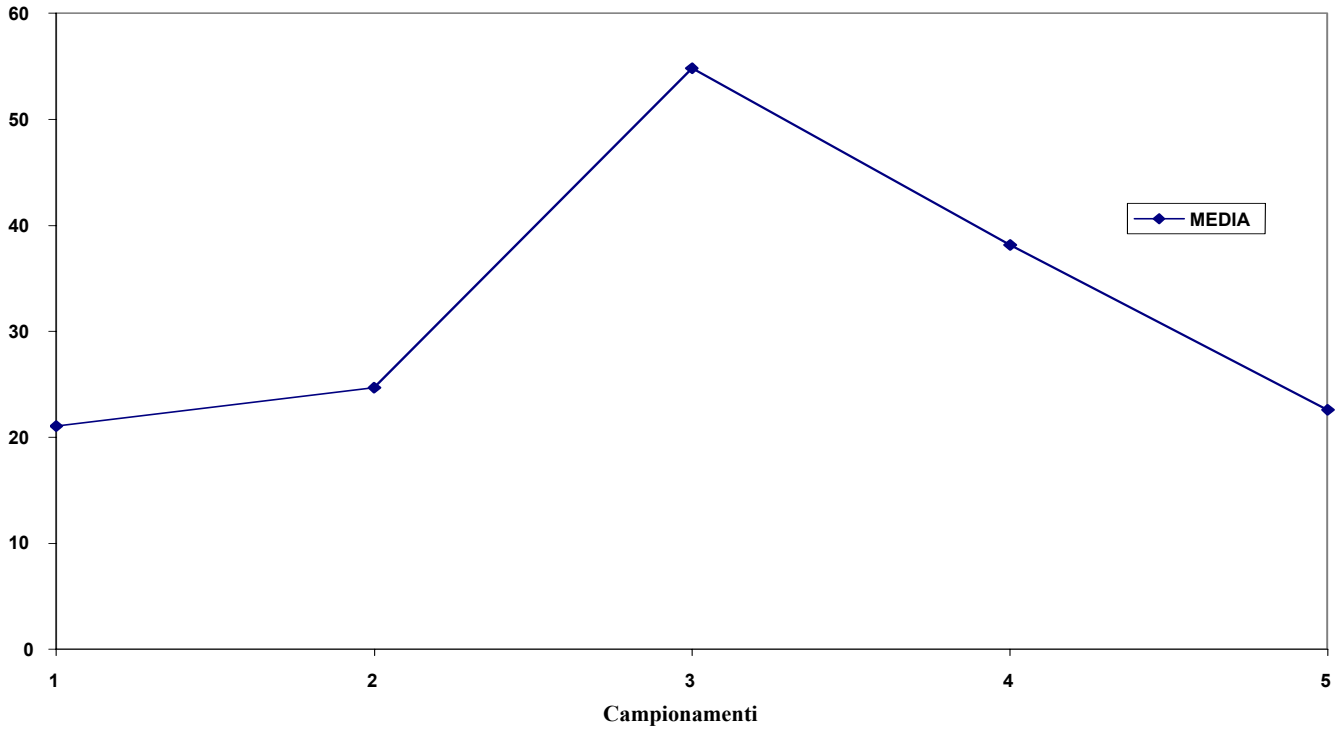


Fig. 4.7 Valori medi delle concentrazioni di SO_2 per campionamento ($\mu g/m^3$)

Considerando la media dei valori ottenuti per ciascun campionamento (**Fig. 4.7**) si osserva un andamento con un picco di concentrazione nel terzo campionamento, effettuato nel periodo luglio-agosto. In tale campionamento il valore ottenuto è circa il doppio rispetto alla media delle concentrazioni rilevate nel primo, nel secondo e nel quinto campionamento, nei quali la concentrazione di SO_2 presenta per lo più valori simili. Questo risultato potrebbe dipendere dalle emissioni connesse con il traffico veicolare, oppure da quelle del polo industriale. In tale periodo, infatti, le emissioni potrebbero subire un incremento per il notevole afflusso di turisti nell'area in esame.

Dall'analisi dei valori della media delle concentrazioni in **Tab. 4.5** si osserva, inoltre, una distribuzione spaziale della concentrazione di SO_2 ben definita, con i valori più alti compresi nella fascia Sud dell'area di studio.

Le stazioni 15 (S. Filippo del Mela) e 20 (Merì), che si trovano molto vicine tra loro ed in prossimità dell'autostrada, presentano picchi di concentrazione (**Fig. 4.6**). Soltanto le stazioni 6 (Torregrotta), 6B (S. Pier Niceto), 16 (Milazzo), 21 A (Milazzo) e 32 (Salina-Malfa), situate nelle vicinanze della costa, mostrano valori inferiori ai 20 $\mu g/m^3$.

Tale concentrazione è considerata come valore limite per la protezione degli ecosistemi dalla Direttiva CEE 1999/30/CE dal 19 luglio 2001 (**Tab. 4.12**).

Sembrerebbe, quindi, che l'azione dei venti provenienti dal mare tenda a spostare questo inquinante verso l'entroterra dal momento che concentrazioni elevate di SO_2 sono state riscontrate anche in remote zone collinari lontane dalle fonti di emissione (Sito 18 - S. Pier Niceto).

È utile ora confrontare i valori ottenuti per l'SO_2 con i *passive samplers* nel periodo di riferimento con i dati ottenuti dalla rete di rilevamento della Provincia Regionale di Messina, costituita da nove stazioni (**Fig. 4.8**).

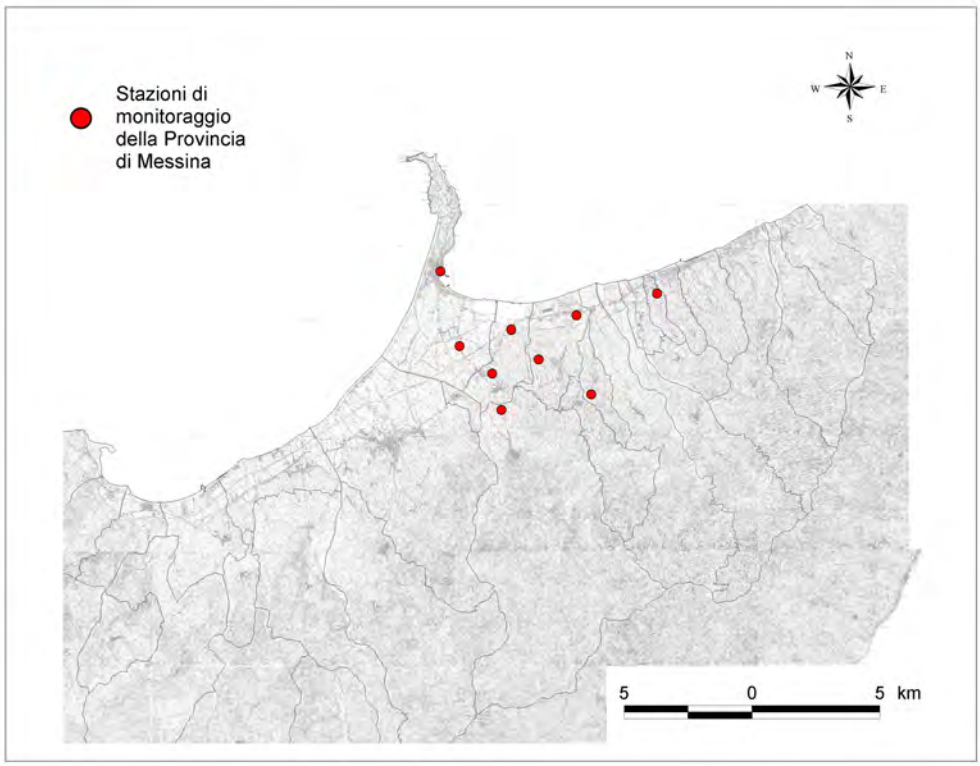


Fig. 4.8 Rete di rilevamento della Provincia di Messina

Per fornire la tipologia di dati più vicina a quelli del monitoraggio ENEA si riporta per ogni stazione il valore della media aritmetica annuale degli ultimi dieci anni (**Tab. 4.6**).

Tab. 4.6

DATI della RETE della PROVINCIA REGIONALE DI MESSINA

Comune/media aritmetica annuale(µg/m ^{3})	91-'92	92-'93	93-'94	94-'95	95-'96	96-'97	97-'98	98-'99	99-'00
S.Lucia del Mela	25,3	17	26	28	39	50	24	17	16,6
S. Filippo del Mela (C/da Angeli)	7	16	31	37	45	46	28	28	30,9
S. Filippo del Mela (C/da Archi)	9,4	18	35	41	42	40	36	26	-
Milazzo (ospedale)	10	23	37	36	43	43	38	32	-
Milazzo (porto)	12,4	10	15	25	27	33	38	17	_
Pace del Mela (C/da Mandravecchia)	17,4	32	30	39	33	55	25	_	16,1
Pace del Mela (C/da Giammoro)	11	14	39	46	34	42	44	18	15,2
Condrò	_	_	_	_	25	27	_	45	20,5
Valdina	_	_	_	_	49	43	_	21	26,7

Fonte: ARPA Sicilia

Per gli ultimi dieci anni sono disponibili anche i dati della rete di monitoraggio dell'EUROGEN SpA che gestisce da alcuni anni la centrale termoelettrica precedentemente di proprietà dell'ENEL (**Fig. 4.9**). In tal caso si considerano come dati più confrontabili con i risultati del monitoraggio ENEA i valori della mediana annuale delle concentrazioni (**Tab. 4.7**).

Fig. 4.9 Rete di rilevamento della Centrale ex-ENEL EUROGEN

Tab. 4.7

DATI della RETE EUROGEN

Comune/mediana annuale($\mu g/m^3$)	91-'92	92-'93	93-'94	94-'95	95-'96	96-'97	97-'98	98-'99	99-'00	00-'01
Valdina	6	7	6	8	5	5	10	12	9	10
S. Pier Niceto	11	6	9	10	7	8	10	11	10	8
Pace del Mela	9	9	7	9	10	8	12	17	18	15
S. Filippo del Mela	6	5	14	14	10	8	10	7	11	25
Milazzo	3	3	3	3	4	3	4	4	3	4

Fonte: ARPA Sicilia

I dati delle medie aritmetiche annuali ottenuti dall'Amministrazione Provinciale di Messina, raccolti per un decennio, non possono essere confrontati con rigore con quelli rilevati usando i *passive samplers*, che rappresentano un periodo di soli cinque mesi estivi del 2001. Comunque in alcuni casi si ottengono discrete coincidenze, mentre in altri (S.Filippo del Mela e S. Lucia del Mela) si evidenziano concentrazioni medie mensili più elevate nei campionamenti effettuati con *passive samplers*. Il monitoraggio della rete EUROGEN non riporta le concentrazioni medie aritmetiche annuali, ma le mediane annuali per cinque stazioni, che risultano nettamente inferiori rispetto a quelle dell'ENEA.

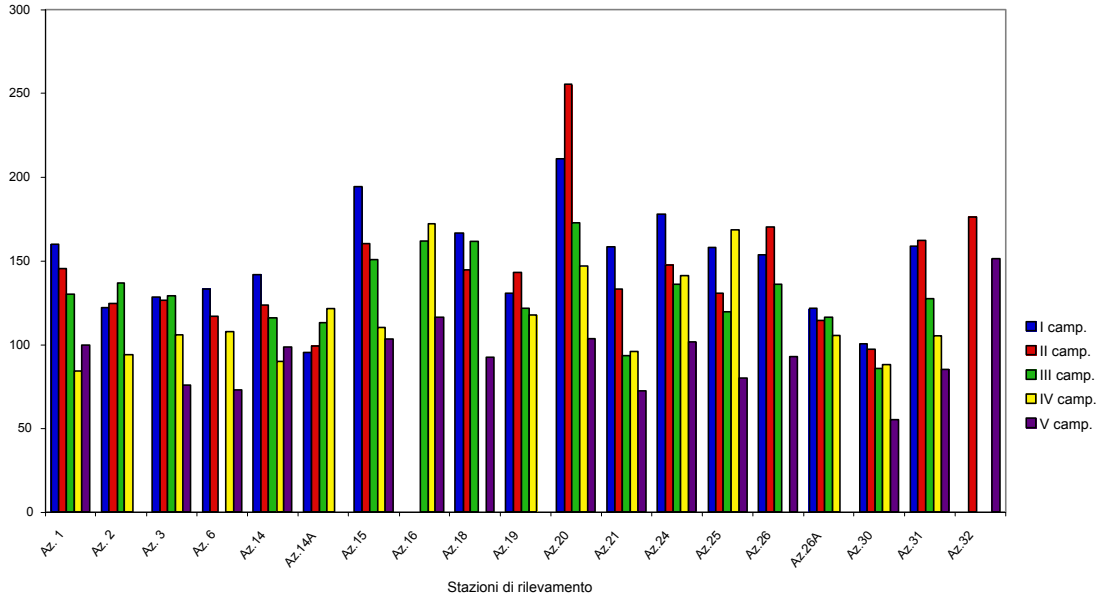
4.2.1.3 Concentrazioni di ozono in atmosfera

In **Tab 4.8** e in **Fig. 4.10** sono mostrati i risultati delle concentrazioni di O_3 ottenute nei cinque campionamenti effettuati, espressi in $\mu g/m^3$.

Tab. 4.8 Concentrazioni di O_3 in atmosfera ($\mu g/m^3$)

Stazione	I camp.	II camp.	III camp.	IV camp.	V camp.
S. Pier Niceto (Az. 1)	160,2	145,5	129,9	84,1	99,8
Monforte S. Giorgio (Az. 2)	122,1	124,8	136,7	94,2	-
Monforte S. Giorgio (Az. 3)	128,3	126,2	129,1	105,9	75,8
Torregrotta (Az. 6)	133,2	117,1	-	107,8	72,9
Gualtieri Sicaminò (Az. 14)	141,8	123,5	116,2	89,9	98,5
Gualtieri Sicaminò (Az. 14A)	95,3	99,3	113,2	121,2	-
S. Filippo del Mela (Az.15)	194,4	160,5	151	110,1	103,4
Milazzo (Az. 16)	-	-	161,7	172	116,6
S. Pier Niceto (Az. 18)	166,8	144,7	161,5	-	92,5
S. Lucia del Mela (Az. 19)	130,6	143,3	121,9	117,7	-
Merì (Az. 20)	211	255,2	172,7	146,9	103,5
Barcellona P.G. (Az. 21)	158,3	133	93,7	95,6	72,4
Vigliatore Terme (Az. 24)	177,9	147,9	136,1	141	101,5
Vigliatore Terme (Az. 25)	157,9	130,5	119,6	168,6	80,2
Castroreale (Az. 26)	153,8	170,1	136	-	92,6
Condrò (Az. 26A)	121,4	114,4	116,4	105,6	-
Pace del Mela (Az. 30)	100,4	97,2	85,7	88,1	55,4
Rometta (Az. 31)	158,5	162,5	127,4	105,2	85,2
Salina-Malfa (Az.32)	-	176,3	-	-	151,5

Fig. 4.10 Concentrazioni atmosferiche di O_3 ($\mu g/m^3$) in 5 campionamenti



Una visione generale dei dati fornisce un'indicazione preoccupante: secondo la normativa nazionale i valori ottenuti superano abbondantemente il limite di concentrazione per la protezione della vegetazione, previsto dal D.M del 15.06.'96, che è di 65 $\mu g/m^3$. In generale in ciascuna stazione si osserva un decremento della concentrazione di O_3 nel tempo. Tale risultato è in accordo con i meccanismi che regolano la formazione di O_3, che è favorita dalla radiazione solare.

Le concentrazioni più elevate sono state registrate nel primo e nel secondo campionamento (maggio-giugno e giugno-luglio), che sono stati effettuati entrambi nel periodo dell'anno caratterizzato dalla durata del giorno più lunga.

La figura seguente (**Fig. 4.11**), dove sono riportati i valori medi delle concentrazioni di O_3 calcolati per ciascun campionamento su tutte le stazioni, mostra chiaramente questo andamento.

Dalla metà di maggio alla metà di ottobre si è osservata una riduzione del contenuto di O_3 in atmosfera di circa il 34%.Le correlazioni tra i campionamenti, riportate in **Tab. 4.9** sono sempre positive.

Tab. 4.9 - Valori delle correlazioni tra i campionamenti.

	I	II	III	IV	V
I	-				
II	0,83	-			
III	0,7	0,75	-		
IV	0,41	0,41	0,53	-	
V	0,81	0,56	0,8	0,45	-

Solo il quarto campionamento mostra una correlazione con gli altri non troppo elevata, con valori intorno al 50%, mentre per gli altri campionamenti si osservano correlazioni elevate e significative con valori quasi sempre superiori al 70%.

Dall'analisi dei valori della media dei cinque campionamenti si osserva una distribuzione spaziale di O_3 ben definita con i valori più alti compresi nella parte Sud-Ovest dell'area di studio.

Ciò si evince dai dati di **Tab. 4.10** e **Fig. 4.11** e può essere ben evidenziato dalla mappa dei Comuni limitrofi al polo industriale di Milazzo che sono stati oggetto di studio.

Tab. 4.10 Valori medi delle concentrazioni di O_3 calcolati su cinque campionamenti

Stazione	Media ($\mu g/m^3$)
S. Pier Niceto (Az. 1)	123,8
Monforte S. Giorgio (Az. 2)	119,5
Monforte S. Giorgio (Az. 3)	113
Torregrotta (Az. 6)	107,8
Gualtieri Sicaminò (Az. 14)	114
Gualtieri Sicaminò (Az. 14A)	107,3
S. Filippo del Mela (Az.15)	149,3
Milazzo (Az. 16)	150,1
S. Pier Niceto (Az. 18)	141,4
S. Lucia del Mela (Az. 19)	128,4
Merì (Az. 20)	177,9
Barcellona P.G. (Az. 21)	110,6
Vigliatore Terme (Az. 24)	140,9
Vigliatore Terme (Az. 25)	131,4
Castroreale (Az. 26)	138,1
Condrò (Az. 26A)	114,5
Pace del Mela (Az. 30)	85,4
Rometta (Az. 31)	127,8
Salina-Malfa (Az.32)	163,9

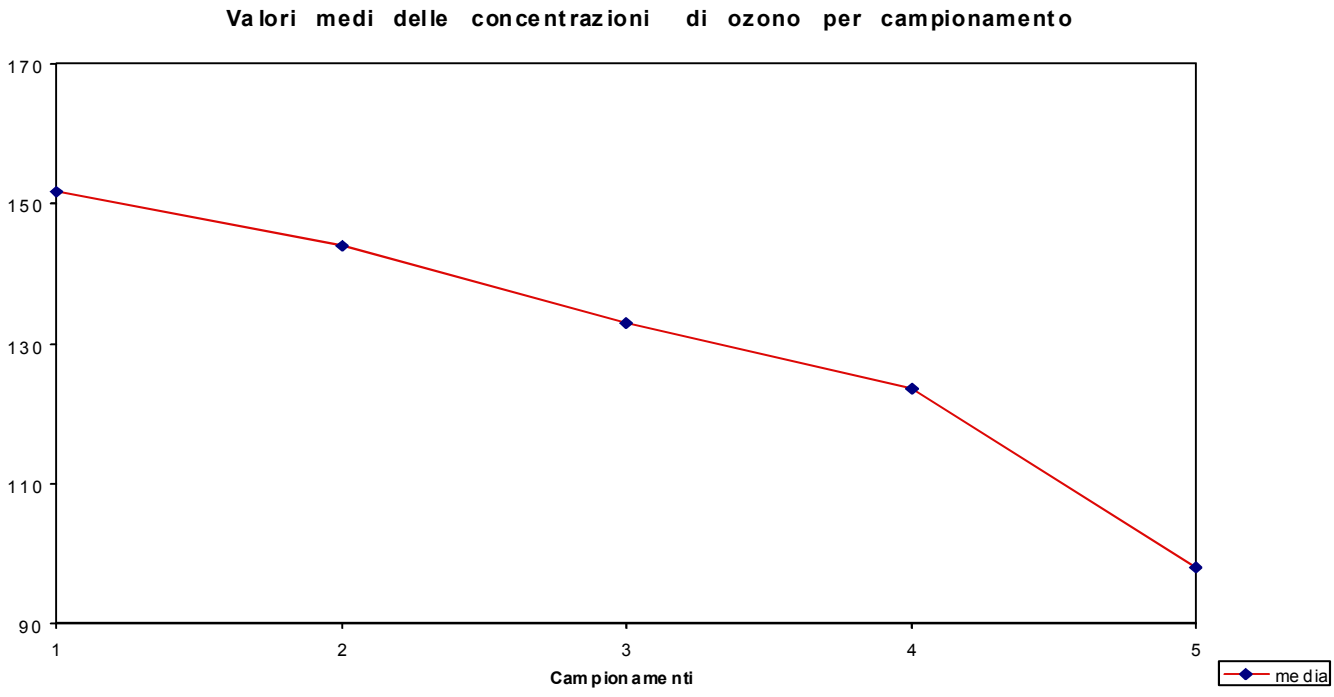


Fig. 4.11 Valori medi ($\mu g/m^3$) delle concentrazioni di O_3 per campionamento

La **Tab. 4.10** mostra, in dettaglio, i valori più elevati ottenuti nei siti campionati. I siti 15 (S. Filippo del Mela), 16 (Milazzo) e 20 (Merì) sono piuttosto vicini tra loro e si trovano nel territorio dove confinano i tre Comuni, in prossimità delle principali vie di Comunicazione (autostrada e strada provinciale). Il sito 18 si trova in una zona collinare del territorio di S. Pier Niceto**.**

Nel sito 32, che si trova fuori dalla fascia suddetta in quanto posizionato nell'Isola di Salina, sono state riscontrate concentrazioni di O_3 vicine ai valori più elevati osservati negli altri siti. Tale sito si trova presso Malfa, un centro abitato con elevato traffico veicolare, quindi si ritiene che l'alta concentrazione di O_3 riscontrata sia dovuta all'emissione di NO_x prodotti in loco.

Il limite vigente per la protezione della vegetazione è di 65 $\mu g/m^3$ (periodo di riferimento: giorno; tempo di mediazione dei dati: ora) secondo il DM 16/05/96.

I valori ottenuti sperimentalmente superano questo limite in tutte le stazioni ed in tutti i campionamenti.

È da notare che il limite per la protezione della vegetazione nel limite di riferimento orario, che è di 200 $\mu g/m^3$ (secondo lo stesso D.M. citato) è stato superato dal valor medio mensile nella stazione di Merì, mentre in altri casi (S. Filippo del Mela e Terme Vigliatore) la concentrazione è molto vicina a tale limite.

Tali risultati lasciano presupporre che ci sia un effetto negativo sullo sviluppo di piante spontanee e coltivate, che sarebbe opportuno investigare anche attraverso l'osservazione in campo di eventuali segni diagnostici dei danni visibili dell'ozono.

Si riportano di seguito i limiti alle concentrazioni di inquinanti dell'aria previsti dalla normativa nazionale (**Tab. 4.11**) e dalle Direttive 1999/30/CE (**Tab. 4.12**) e 2002/03/CE (**Tab. 4.13**).

Tab. 4.11

LIMITI ALLE CONCENTRAZIONI DI INQUINANTI DELL'ARIA PREVISTI DALLA NORMATIVA NAZIONALE

Inquinante	*Periodo di riferimento*	*Limite ($\mu g/m^3$)*	*Tempo di mediazione dei dati*	*Commenti*
Biossidi di zolfo	Anno (1 apr. 31 mar.)	80 (mediana) 250 (98° percentile)[1]	Giorno	Valore limite DPR 203/24.5.1988
	Semestre freddo (1 ott. 31 mar.)	130 (mediana)	Giorno	Valore limite DPR 203/24.5.1988
	Anno (1 apr. 31 mar.)	40-60 (media aritmetica)	Giorno	Valore guida DPR 203/24.5.1988
	Giorno	100-150	Giorno	Valore guida DPR 203/24.5.1988
	Giorno	125 (attenzione) 250 (allarme)	Giorno	Livelli di attenzione e di allarme DM 25.11.1994
Particolato (gravimetrico)	Anno	150 (media aritmetica) 300 (95° percentile)	Giorno	Limite massimo di accettabilità DPCM 28.03.1983
	Giorno	150 (attenzione)[2][3] 300 (allarme)[2][3]	Giorno	Livelli di alterazione e di allarme DM 25.11.1994
Particolato (fumi neri)	Anno (1 apr.-31 mar.)	40-60 (media aritmetica)	Giorno	Valore guida DPR 203/24.5.1988
	Giorno	100-150 (media aritmetica)	Giorno	Valore guida DPR 203/24.5.1988
Ozono	Ora	200 [4]	Ora	Livelli di attenzione e di allarme DM 28.3.1983
	Ora	180 (attenzione) [6] 360 (allarme) [6]	Ora	Livelli di attenzione e di allarme DM 16.5.1996
	8 ore	110 (media mobile trascinata)	Ora	Livello per la protezione della salute DM 16.05.1996
	Ore Giorno	200 65	Ora Ora	Livello per la protezione della vegetazione DM 16.05.1996

1. ai sensi del DPR 203/88 si devono prendere tutte le misure atte ad evitare il superamento di questo valore per più di 3 gg. consecutivi.
2. Valori delle concentrazioni di particelle sospese totali misurate in modo non automatico con metodo gravimetrico, concorrono alla determinazione degli stati di attenzione e di allarme e ai conseguenti provvedimenti da adottare, compatibilmente con i tempi necessari per il completamento delle operazioni di prelievo e di misurazione.
3. Questi valori corrispondono ai valori fissati come standard di qualità nel DPCM 28/3/83.
4. Da non raggiungere più di una volta al mese.
5. Questi valori corrispondono rispettivamente alla soglia per l'informazione alla popolazione e alla soglia di allarme previste dalla direttiva 92/72/CEE sull'inquinante dell'aria provocato dall'ozono.
6. In periodi del giorno da specificarsi secondo le zone a cura delle autorità regionali competenti; da adottarsi soltanto nelle zone e nei periodi dell'anno nei quali si sono verificati superamenti significativi dello standard dell'aria per l'ozono (200 µg/m3).

Tab. 4.12

LIMITI ALLE CONCENTRAZIONI DI INQUINANTI DELL'ARIA INDICATI DALLA DIRETTIVA 1999/30/CE

Inquinante	***Tipo di limite***	***Limite ($\mu g/m^3$)***	***Tempo di mediazione dei dati***	***Margine di tolleranza***	***Entrata in vigore***
Biossido di zolfo	Valore limite per la protezione della salute umana	350 (da non superare più di 24 volte l'anno)	Media oraria	150 $\mu g/m^3$ (43%) (*)	1 gennaio 2005
	Valore limite per la protezione della salute umana	125 (da non superare più di 3 volte l'anno)	Media nelle 24 ore	Nessuno	1 gennaio 2005
	Valore limite per la protezione degli ecosistemi	20	Media anno e inverno	Nessuno	10 luglio 2001
PM 10 (fase 1)	Valore limite per la protezione della salute umana	50 (da non superare più di 35 volte l'anno)	Media nelle 24 ore	50% (*)	1 gennaio 2005
	Valore limite per la protezione della salute umana	40	Media anno	20% (*)	1 gennaio 2005
PM 10 (fase 2)	Valore limite per la protezione della salute umana	50 (da non superare più di 7 volte l'anno)	Media nelle 24 ore	(in base ai dati: deve essere equivalente al valore limite della fase 1)	1 gennaio 2010
	Valore limite per la protezione della salute umana	20	Media anno	50% (**)	1 gennaio 2010

(*) all'entrata in vigore della presente normativa, con una riduzione lineare il 1 gennaio 2001 ed ogni dodici mesi successivi, per raggiungere lo 0% il 1 gennaio 2005.

(**) al 1 gennaio 2005, con riduzione ogni dodici mesi successivi, per raggiungere lo 0% entro il 1 gennaio 2010.

Tab. 4.13

VALORI LIMITE DI QUALITA' DELL'ARIA AMBIENTE PER L'OZONO INDICATI NELLA DIRETTIVA 2002/03/CE

Inquinante	*Tipo di limite*	*Limite ($\mu g/m^3$)*	*Indice*	*Margine di tolleranza*	*Entrata in vigore*
Ozono	Valore obiettivo per la protezione della salute umana	120 (da non superare in più di 25 giorni in un anno di calendario mediato su tre anni)	Massimo valore ottenuto calcolando la media mobile su otto ore		Da raggiungere entro il 2010
	Valore obiettivo per la protezione della vegetazione	18000 $\mu g/m^3$ h (mediato su cinque anni)	AOT40 (*) calcolato sul valore orario da maggio a luglio		Da raggiungere entro il 2010
	Soglia di informazione	180	Media oraria		
	Soglia di allarme	240	Media oraria		
	Obiettivo a lungo termine per la salvaguardia della vegetazione	6000 $\mu g/m^3$ h	AOT40 (*) calcolato sul valore orario da maggio a luglio		

(*) AOT40 (Accumulated exposure Over a Threshold) rappresenta la somma della differenza tra le concentrazioni orarie maggiori di 80 $\mu g/m^3$ (= 40 parti per bilione) e 80 $\mu g/m^3$ in un dato periodo usando solo i valori misurati tra le ore 8.00 e le 20.00 di ogni giorno.

4.2.2 - Gli effetti dell'SO_2 sulle rese agricole

In **Fig 4.11** si possono osservare le concentrazioni di SO_2 al suolo provenienti dalle emissioni delle grandi sorgenti puntiformi descritte precedentemente.

Le aree diversamente colorate, che danno una misura delle concentrazioni medie annue di SO_2 sovrastanti i territori comunali, sono utili per stimare il contributo di tali sorgenti di emissione rispetto a tutte le altre presenti nel territorio.

Nella stessa figura sono evidenziati i siti in cui sono stati esposti i campionatori passivi per la rilevazione delle concentrazioni sperimentali di SO_2 e di O_3.

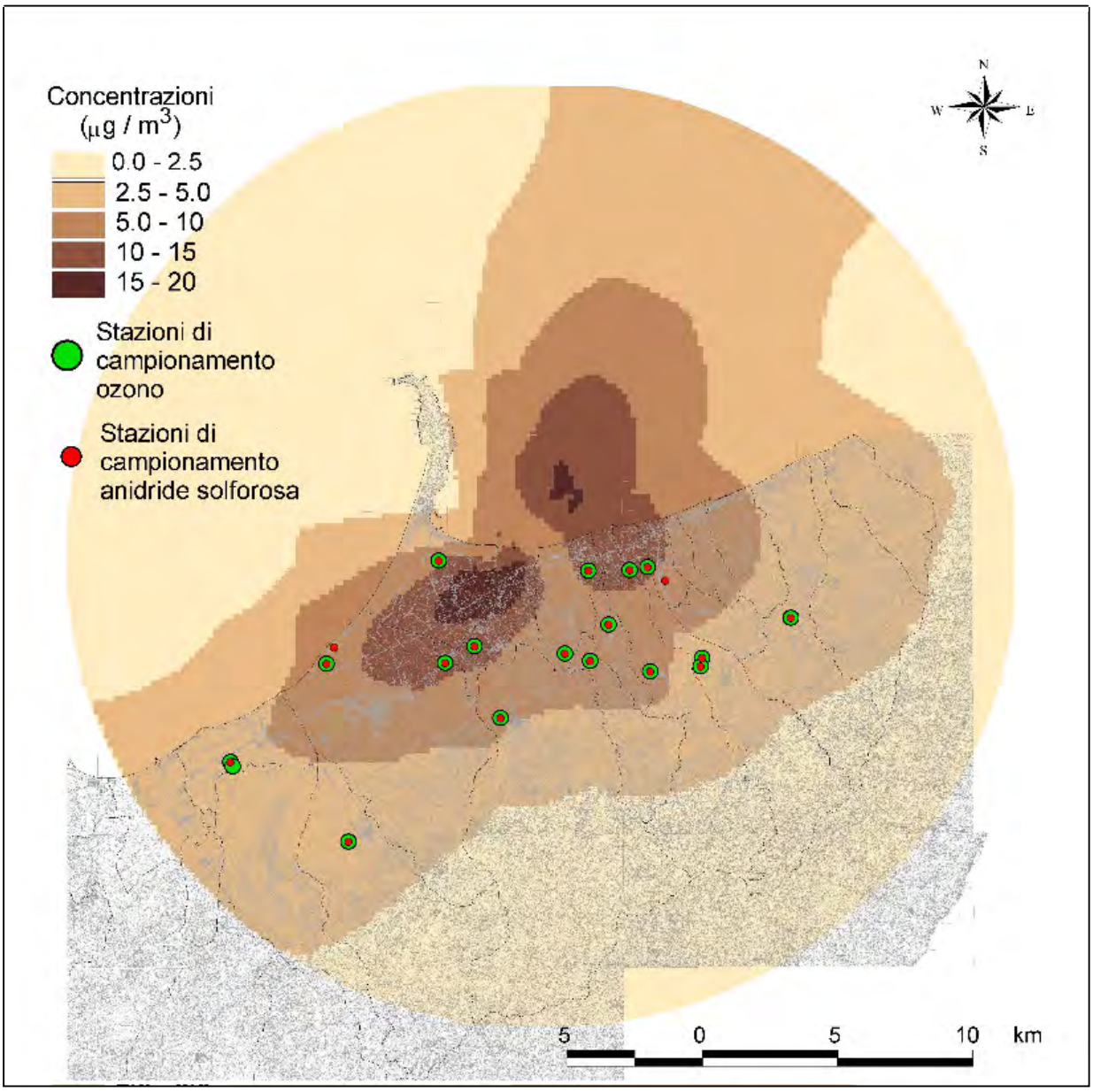


Fig. 4.11

I dati sperimentali di concentrazioni di SO_2 esposti precedentemente rappresentano il risultato della sommatoria di tutte le concentrazioni. In questo studio è utilizzato il valore medio di cinque campionamenti (**Tab. 4.5**) per il calcolo dei cali di resa per le principali colture presenti nei territori comunali, che sono riportati negli **Allegati 4.1-4.15**.

Per quanto riguarda la sensibilità delle varie specie vegetali a tale inquinante si riporta in **Tab. 4.14** una classificazione di tipo qualitativo.

Tab. 4.14
Scala di sensibilità all'anidride solforosa
Intervallo di concentrazione media annuale di SO_2 ($\mu g/m^3$)

<30	31-50	51-100	100-140
Pinus strobus*	Abies alba Mill. *	Pinus nigra Arnold*	Acer pseudoplatanus*
Picea abies*	Populus canadiensis*	Picea sitchensis*	Alnus glutinosa*
Pinus sylvestris*	Fagus sylvatica*	Populus spec*.	Betula pendula*
Acer platanoides*	Vicia faba**	P.interamericana var. Donk*	Glycine max. **
Carpinus betulus*	Hordeus vulgare**	Trifolium subterraneum L**.	Hordeum vulgare L. cv.Golden Promise, Patty**
Quercus robur*	Poa pratensis**	Trifolium Repens L. cv.Regal**	Hordeum distichum**
Tilia cordata*	Lolium perenne**	Medicago sativa cv.Europa**	Festuca rubra**
	Dactylis glomerata**	Hordeum vulgare cv.Hassan**	Helianthus annuus**
	Hordeum vulgare**	Phaseolus radiatus***	Raphanus sativus***
	Lolium multiflorum**	Phaseolus vulgaris***	
	Lolium perenne**	Pisum sativum cv.Wunder von Kelvedon***	
		Cucumis sativus L. cv.National Pickling***	

cv = cultivar
• = specie di interesse forestale
** = specie di interesse agrario
*** = specie di interesse orticolo

Nel **Capitolo III** sono state esposte le funzioni dose-risposta riportate nella letteratura (in alcuni casi derivate da elaborazioni ENEA), che costituiscono, assieme alle concentrazioni di inquinante, una componente centrale dell'*assessment* dei cali di resa. Attraverso l'impiego di queste due componenti si possono calcolare le percentuali dei cali di resa agricola.

I valori assoluti delle perdite di raccolto si otterranno dall'impiego dei dati di produzione agricola per ciascun Comune esposti nel terzo capitolo (**Tabb. 3.1** e **3.2)** che si riferiscono alle superfici agricole investite della specie e che sono rappresentate (anche come siti di collocazione delle colture) nelle carte d'uso del suolo (**Allegati 4.1-4.15**). Occorre specificare che tali carte, originariamente ottenute da foto satellitari interpretate in Unità operative ENEA, derivano da un aggiornamento ottenuto dai dati dell'ultimo Censimento dell'ISTAT (2000) con il supporto di funzionari locali della Coldiretti. In esse sono messe in evidenza le tipologie di colture che più sono interessate dalla valutazione degli effetti dell'inquinamento. Le superfici di ogni singola tipologia sono percentualmente rappresentative della tipologia colturale stessa rispetto all'intera superficie comunale. Le tipologie descritte in ciascuna area sono quelle maggiormente rappresentative del territorio dell'area stessa. È da specificare, inoltre, che alla voce "altro" di ciascuna figura corrispondono aree sulle quali non è stato possibile operare una distinzione quantitativa e definire con rigore la collocazione, investite da cereali, prati-pascoli e boschi.

I Comuni nei quali si valutano effetti rilevanti causati da SO_2 sono: Merì e San Filippo del Mela. A Merì, infatti, si stima un calo di resa per gli agrumi del 10% e un calo di assimilazione fotosintetica nell'olivo, che comunque non è un parametro traducibile direttamente in calo di

produzione, dell'6%; a S. Filippo del Mela si stimano cali piuttosto consistenti negli agrumi (-9%) e nelle patate (-16%), una diminuzione dell'assimilazione fotosintetica del 5% nell'olivo.

Negli altri Comuni si osservano dimensioni più contenute delle perdite di raccolto e specificatamente: cali di resa nel frumento del 6%, nella patata dell'8%, negli agrumi del 5% sono valutati per il Comune di S. Lucia del Mela, mentre a Monforte S. Giorgio i cali più consistenti sono nella patata (-7%) e negli agrumi (-5%).

Un calo del 7% si registra per le colture di patata a S. Pier Niceto, mentre per tale coltura a Pace del Mela il calo di produzione non supera il 4% e a Milazzo il 3%.

Anche a Barcellona Pozzo di Gotto si valuta un calo di resa nella patata del 4%, al quale si aggiunge una eguale perdita di raccolto di frumento.

A Terme Vigliatore l'unico calo di resa apprezzabile è a carico degli agrumi: -5%, mentre a Castroreale, Condrò, Gualtieri Sicaminò, Malfa, Milazzo si valuta solo un calo di resa della patata del 3% e a Torregrotta non dovrebbero sussistere rischi di perdita per il raccolto, perché le concentrazioni medie di SO_2 sono al di sotto dei valori di rischio calcolabile dalle funzioni dose-risposta.

Nei Comuni di Merì e San Filippo del Mela le concentrazioni sperimentali medie di SO_2 di 88 $\mu g/m^3$ e 77 $\mu g/m^3$, che determinano i cali di resa più consistenti del territorio, sono solo in piccola parte attribuibili alle grandi sorgenti di emissioni della raffineria e della centrale termoelettrica. Infatti nel territorio di Merì la concentrazione di SO_2 attribuita a queste sorgenti e rappresentata in **Fig. 4.11** è compresa tra 10-15 $\mu g/m^3$, che corrisponde a meno del 10% della concentrazione media sperimentale, mentre nel territorio di S. Filippo del Mela il contributo delle grandi sorgenti può raggiungere anche 20 $\mu g/m^3$ contro una concentrazione sperimentale misurata di 77 $\mu g/m^3$.

I dati delle stazioni di monitoraggio della Provincia di Messina relativi a S. Filippo del Mela sono nel decennio 91/92-99/00 più bassi -il valor medio di questo periodo è, infatti, pari a 30,5 $\mu g/m^3$ -rispetto a quelli misurati nel periodo estivo del 2001 e indicano in tal caso che il potenziale contributo delle grandi sorgenti riportate in **Fig. 4.1** è circa il 67%. I cali di resa in questo Comune sarebbero dunque, considerando queste concentrazioni, del 5,5% per la patata, 5% per gli agrumi e per l'olivo (calo di attività fotosintetica) del 5% rispetto ai valori sperimentali esposti in **All. 4.18** dai quali, per le tre specie risultano valori di cali del 9%, 16% e 5% rispettivamente.

Anche per il Comune di S. Lucia del Mela se si applicassero i valori medi dell'ultimo decennio delle concentrazioni di SO_2 delle stazioni della provincia di Messina, la cui media è 27 $\mu g/m^3$, si avrebbe un calo di resa per il frumento del 5%, rispetto a quello calcolato con i dati sperimentali precedentemente esposti, che è del 6%. Analogamente per le patate si valuta un calo di resa del 6% rispetto all'8%.

Per il Comune di Pace del Mela i dati sperimentali indicano un calo di resa, come si è visto, del 4%, che è inferiore tuttavia al dato stimato usando la concentrazione media del monitoraggio della Provincia, che è pari al 6%. Lo stesso risultato per Condrò, dove per la stessa coltura il calo calcolato è del 5%, mentre con i dati di concentrazione di SO_2 di tre anni raccolti dalla Provincia la perdita di resa è del 6%.

Si può, dunque, convenire che esiste un buon accordo tra le stime dei cali di resa ottenuti con i risultati sperimentali della campagna di monitoraggio dell'estate 2001 e quelle calcolate per i medesimi Comuni sulla base dei valori medi annui delle stazioni di monitoraggio della Provincia.

4.2.3 Gli effetti dell'O_3 sulle rese agricole

Ben più consistenti effetti sono prodotti sulle rese agricole dalle concentrazioni di O_3 misurate nelle 24 stazioni collocate nel territorio studiato.

È necessario premettere che a differenza delle analisi riportate nel paragrafo *4.3.2* sugli effetti dell'SO_2, dove si è potuto operare un confronto con i dati delle concentrazioni al suolo

misurate in un decennio dalla Provincia Regionale di Messina, nel caso dell'O_3 le stime degli effetti sono basate unicamente sui dati sperimentali dei sensori chimici collocati nelle aziende agricole indicate in **Tab. 4.10.**

Occorre ribadire, inoltre, con molta chiarezza che nei cinque periodi di campionamento di O_3 dell'anno 2001 non è stato possibile un confronto analitico con strumentazioni chimico-fisiche, che sono quelle più diffusamente impiegate e quindi è necessario considerare con molta cautela anche i dati relativi agli effetti, in tal caso i cali di resa delle colture esposte a questo gas tossico.

L'entità del danno alle colture deriva sia dalle concentrazioni di O_3 misurate nelle aziende dei diversi territori comunali sia dalla sensibilità relativa che le specie vegetali hanno rispetto a questo inquinante, che spesso non coincide con la suscettibilità ad altri gas tossici, quali SO_2, NOx ecc., a causa del diverso meccanismo d'azione del danno.

In **Tab. 4.15** si riporta una classificazione di tipo qualitativo della sensibilità di varie specie vegetali all'O_3.

Tab. 4.15
Classi di sensibilità all'ozono

Specie sensibili	Specie a tolleranza intermedia	Specie tolleranti
Juglans regia*	Acer negundo*	Acer platanoides*
Larix decidua*	Larix kaempferi*	Betula pendula*
Ligustrum vulgare var.Pyramidale*	Ligustrum vulgare*	Buxus sempervirens*
Pinus nigra*	Pinus sylvestris*	Fagus sylvatica*
Sorbus acuparia*	Syringa vulgaris*	Ilex aquifolium*
Allium cepa**	Brassica oleracea***	Picea abies*
Avena sativa**	Brassica rapa***	Quercus robur*
Hordeum vulgare**	Cichorium endivia***	Quercus rubra*
Fagopyrum esculentum**	Cucumis sativus***	Robinia pseudoacacia*
Lycopersicon lycopersicum***	Daucus carota***	Tilia cordata*
Medicago sativa**	Pastinaca sativa***	Apium graveolens***
Nicotiana tabacum**	Petroselinum crispum***	Beta vulgaris**
Phaseolus vulgaris***	Pisum sativum***	Lactuca sativa***
Raphanus sativus***	Vicia faba**	Poa annua**
Secale cereale**	Zea mays**	Sinapsis arvensis***
Solanum tuberosum**		
Spinacia oleracea***		
Trifolium pratense**		
Trifolium repens**		
Triticum aestivum**		
Vicia sativa**		
Vitis vinifera**		

cv = cultivar
• = specie di interesse forestale
** = specie di interesse agrario
*** = specie di interesse orticolo

In quasi tutti i Comuni le perdite di raccolto valutabili sulla base delle concentrazioni rilevate nei cinque periodi mensili da maggio ad ottobre del 2001 sono elevate. A tal proposito si ricorda che il periodo di monitoraggio chimico prescelto è il più critico per lo sviluppo di O_3, sia per le condizioni di insolazione e di temperatura, sia perché nello stesso periodo si assommano in quel territorio altre emissioni oltre quelle della raffineria e della Centrale termoelettrica causate dal maggior traffico automobilistico associato al turismo.

È noto che nelle emissioni associate al traffico sono presenti anche dei precursori chimici della sintesi di O_3, gli ossidi di azoto e gli idrocarburi. Quindi adattare tali concentrazioni alle funzioni dose-risposta che si riferiscono alle concentrazioni di O_3 di tutto l'anno sopravvaluta l'effetto.

Se si utilizzassero, invece, funzioni che si riferiscono alle concentrazioni della parte centrale del giorno nel periodo da aprile a settembre, gli effetti valutati sarebbero sottostimati perché i dati sperimentali si riferiscono alle ventiquattro ore.

Anche le equazioni configurate sulle dodici ore di luce al giorno sottovalutano gli effetti se inserite nel calcolo concentrazioni come quelle misurate dai *passive samplers*, che integrano i dati delle ventiquattro ore per i mesi estivi.

Nel Capitolo III (paragrafo 3.1.4) sono state esposte le funzioni dose-risposta per i cali di resa per diverse specie. È stato riportato per completezza di informazione ciò che è reperibile in letteratura, ma poiché esistono differenze tra le diverse funzioni, per ogni specie agraria è stata necessaria l'adozione di alcuni criteri per la scelta della funzione da applicare, in particolare nel caso del pomodoro, del frumento e delle leguminose.

Considerando il pomodoro, è stata scartata la funzione riportata da Bocola et al (1989) perché si riferisce alle ore centrali del giorno ed ai mesi di maggiore insolazione e dunque la sua applicazione sottovaluterebbe la stima del calo di resa. Delle altre funzioni, in particolare quella di Nali et al. (2002) e quella del Centre for Ecology and Hydrology (2002), è stata preferita la funzione di Nali et al (2002). perché ricavata da esperimenti di vari Autori partecipanti in USA all'NCLAN (National Crop Loss Assessment Network), effettuati considerando variabili indipendenti la concentrazione media di O_3 nelle dodici ore del giorno ed impiegando una equazione esponenziale di Weibull.

Per il frumento, la patata e la vite è stata impiegata la funzione ricavata dal lavoro di assessment dell'UNECE (Centre for Ecology and Hydrology, 2002) condotto su numerose specie d'interesse agrario, in cui la variabile dipendente è l'AOT40 e le funzioni sono state elaborate sulla base di risultati sperimentali condotti in venti siti di dieci paesi durante quattro stagioni estive sia in Europa sia in USA.

Per le leguminose è stato preferito l'impiego di dati sperimentali ottenuti sul fagiolo dal gruppo di ricerca dell'ENEL in due località italiane (Fumagalli et al., 2001).

Per quanto attiene ai prati-pascoli sono state adottate con forte approssimazione, che probabilmente determina una sovrastima del danno, le equazioni di Nali et al. (2002) e di Sommerville (1989) per l'erba medica. Infatti questa specie è molto più sensibile all'O_3 di altre essenze che compongono i prati polifiti, per le quali sono state trovate in letteratura funzioni dose-riposta. Poiché i boschi del territorio studiato sono composti da numerose specie arboree di cui non sono note le funzioni di danno, sono stati adottati alcuni dati sperimentali sui cali produttivi di specie che sono presenti nelle aree forestali del territorio, riportati da Furher (1997).

Una netta differenza si nota rispetto ai risultati ottenuti nella stima di impatto dell'SO_2: i danni alle rese causati dall'ozono spesso sono espressi da cali percentuali di due cifre, che nel caso dell'SO_2 si sono verificati solo in due Comuni.

Poiché i cali di resa dovuti all'O_3 sembrano essere i più rilevanti impatti determinati in questo studio, sarebbe necessario aggiungere nelle stazioni di monitoraggio della Provincia di Messina e dell'EUROGEN, misuratori in continuo di O_3 soprattutto nei territori rurali con più rilevanti produzioni agricole.

Sarebbe così possibile verificare, soprattutto nella stagione primaverile-estiva, attraverso anche le determinazioni orarie, i rischi per la vegetazione, l'agricoltura e la salute umana.

L'entità degli effetti dell'O_3 in tutti i Comuni studiati appare molto elevata: è sempre superato il limite giornaliero di protezione della vegetazione di 65 $\mu g/m^3$; spesso è anche superato rispetto ai valori delle medie mensili misurate, il limite di protezione per le otto ore della salute pari a 110 $\mu g/m^3$ (DM 19.5.96).

I Comuni che sono più colpiti dall'O_3 per quanto attiene le colture sono: Merì, Milazzo, S. Filippo del Mela, Castroreale, S. Pier Niceto e S. Lucia del Mela. Cali di resa leggermente più bassi si riscontrano a Barcellona Pozzo di Gotto, Gualtieri Sicaminò, Monforte S. Giorgio, Pace del Mela, Terme Vigliatore e Torregrotta.

Ciò è abbastanza ben rappresentato anche dalla **Fig. 4.1**. Le concentrazioni di SO_2 in essa rappresentate, provenienti dalle emissioni della raffineria e della Centrale Termoelettrica dell'EUROGEN, sono un indicatore per stimare la diffusione anche di NOx e HC, che sono i presursori dell'O_3. Tali risultati possono essere letti anche osservando l'andamento delle curve delle concentrazioni di particolato in aria (**Fig. 4.15**) e delle deposizioni di particolato al suolo (**Fig. 4.14**).

I valori più elevati nelle stime dei cali di resa sono quelli del frumento :-40% a Castroreale, -37% a S. Lucia del Mela, -30% a Barcellona P. di G., ai quali seguono i cali di resa negli agrumi: -35% a Merì, -30% a Milazzo, -28% a S. Filippo del Mela, -25% a Castroreale e a Terme Vigliatore, -24% a S. Lucia del Mela.

La patata, specie che risulta sensibile all'O_3, appare discretamente investita dall'effetto sulla produttività. Compaiono negli **Allegati 4.16-4.18** relativamente a questa specie due valori che si riferiscono all'impiego delle due funzioni di Pell et al. (1988) e dell'UNECE (Centre for Ecology and Hydrology, 2002).

I Comuni sui quali esistono effetti più rilevanti sono Milazzo, S. Filippo del Mela, Castroreale, S. Pier Niceto e S. Lucia del Mela.

Per quanto attiene l'olivo le stime riportate in **All. 4.16-4.18** si riferiscono alla diminuzione di attività fotosintetica che, pur essendo una grandezza importante nell'organicazione della CO_2, nella sintesi di carboidrati e nella produzione di energia biochimica, deve essere valutata con cautela e principalmente in una dimensione qualitativa.

4.3 Valutazione degli effetti di elementi e composti tossici sui suoli e sulla qualità dei prodotti agroalimentari

Allo scopo di monitorare la qualità ambientale e dei prodotti agroalimentari relativi al territorio di Milazzo e dei Comuni limitrofi, nel corso del 2001 sono stati effettuati tre campionamenti di suoli e di prodotti agricoli: nel mese di maggio, nel mese di luglio e nel mese di ottobre.

I campioni, prelevati in circa 20 delle aziende agricole situate nel territorio oggetto di indagine, sono stati analizzati per il contenuto di elementi potenzialmente tossici, quali: alluminio (Al), arsenico (As), cadmio (Cd), cromo (Cr), manganese (Mn), nichel (Ni), piombo (Pb) e vanadio (V). L'origine di questi elementi, che sono potenzialmente tossici in misura diversa, può essere litogenica o antropica, sebbene in grado estremamente diverso per i vari elementi e la diversa origine dell'elemento può influire, anche in maniera considerevole, sulla sua biodisponibilità, ossia sul grado di assimilabilità da parte della pianta.

L'apporto litogenico è strettamente correlato alla geochimica del suolo ed ai fenomeni naturali di erosione e di vulcanesimo.

Per quanto riguarda l'origine antropica di questi elementi, Pb. Ni e V sono presenti in quantità elevate nei prodotti petroliferi; il Cd, elemento particolarmente tossico che si propaga e si accumula con facilità nella catena alimentare, può derivare dalla fabbricazione, lavorazione o riprocessamento di diverse leghe metalliche, materiali metallici rivestiti o materiali plastici; dalla

fabbricazione o riprocessamento di accumulatori elettrici al cadmio-nichel; dai pigmenti per vernici; dalla combustione di combustibili liquidi e solidi derivati dal petrolio e dal carbone, dall'uso di concimi chimici a base di fosfati, dalle emissioni di inceneritori. L'As, il Mn ed il V sono presenti in fertilizzanti e pesticidi e possono essere tossici se ingeriti al di sopra di determinate quantità; il Cr è presente in quantità considerevoli nei fertilizzanti fosfatici e nei fanghi di depurazione e sebbene ritenuto oligoelemento essenziale, può risultare tossico se ingerito in dosi elevate; l'Al, pur essendo contenuto a basse concentrazioni in tutte le piante, è riconosciuto essere un composto potenzialmente tossico nelle catene alimentari ed il suo accumulo può provocare effetti negativi alla salute umana.

Su alcuni campioni di suoli è stata effettuata, inoltre, la determinazione analitica di composti organici tossici, quali gli Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA).

4.3.1 Siti ed aziende oggetto di campionamento

Sono di seguito elencate le località, le aziende agricole e le date in cui sono stati effettuati i prelievi di campioni dei suoli e dei prodotti agricoli considerati (**Tabb. 4.16, 4.17** e **4.18**) mentre i siti di campionamento sono evidenziati in **Fig. 4.12** ed in **Fig. 4.13**.

Tab. 4.16 Campionamenti di suoli per determinazioni analitiche di elementi tossici

Azienda/Località	Codice	Data prelievo
Az. 6B - S.Pier Niceto	6B	09/05/01
Az.15 - S.Filippo del Mela	15	09/10/01
Az.16 - Milazzo	16	11/07/01
Az.20 - Merì	20	09/10/01
Az.21 - Barcellona P.G.	21	08/05/01
Raffineria / Centrale - Milazzo	M	11/10/01
Parcheggio Raffineria - Milazzo	PR	11/10/01

Tab. 4.17 Campionamenti di suoli per determinazioni analitiche di IPA

Azienda/Località	Codice	Data prelievo
Az. 6 - Torregrotta	6	09/05/01
Az.6B - Torregrotta	6B	09/05/01
Az.15 - Torregrotta	15	09/10/01
Az18 - S.Pier Niceto	18	10/10/01
Az.19 - S.Lucia del Mela	19	09/10/01
Az.20 - Merì	20	09/10/01
Terme Vigliatore	FF	11/10/01
S.Paolo - Barcellona P.G.	T	11/10/01
Raffineria / Centrale - Milazzo	M	11/10/01

Tab. 4.18 Campionamenti di prodotti ortofrutticoli per determinazioni analitiche di elementi tossici

Azienda/Località	Codice	Coltura prelevata	Data prelievo
Az. 1 - S.Pier Niceto	1	arancia	09/05/01
Az. 2 - Monforte S.Giorgio	2	arancia	09/05/01
Az. 6B - S.Pier Niceto	6B	patata	09/05/01
Az. 6B - S.Pier Niceto	6B	zucchina	11/07/01
Az.14 - Gualtieri Sicaminò	14	oliva	09/10/01
Az.14A - Gualtieri Sicaminò	14A	arancia	10/05/01
Az.15 - S.Filippo del Mela	15	oliva	09/10/01
Az.15 - S.Filippo del Mela	15	limone, nespola	10/05/01
Milazzo	16	melanzana	11/07/01
Milazzo	16	pomodoro	11/07/01
Az.18 - S.Pier Niceto	18	oliva	10/10/01
Az.19 - S.Lucia del Mela	19	oliva	09/10/01
Az.20 -	20	insalata	11/07/01
Az.21 - Barcellona P.G.	21	insalata	08/05/01
Az.21A - Milazzo	21A	pisello	08/05/01
Az.21A - Milazzo	21A	pomodoro	10/07/01
Az.26A - Condrò	26A	oliva	09/10/01
Az.26 - Castroreale	26	limone	10/05/01
Az.26 - Castroreale	26	oliva	10/10/01
Az.31 - Rometta	31	melanzana	10/07/01
S.Paolo - Barcellona P.G.	T	oliva	11/10/01
Mazzarrà	BI	oliva	11/10/01
Terme Vigliatore	FF	oliva	11/10/01
Raffineria/Centrale - Milazzo	M	oliva	11/10/01

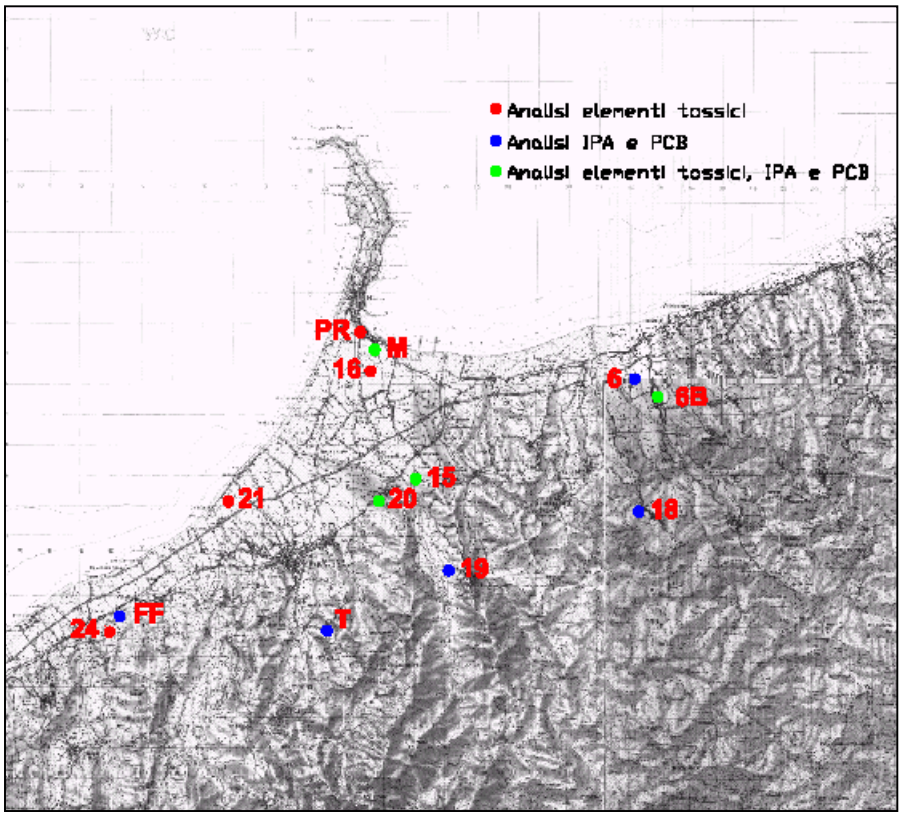


Fig. 4.12 Siti di campionamento di suoli per analisi di elementi tossici ed IPA

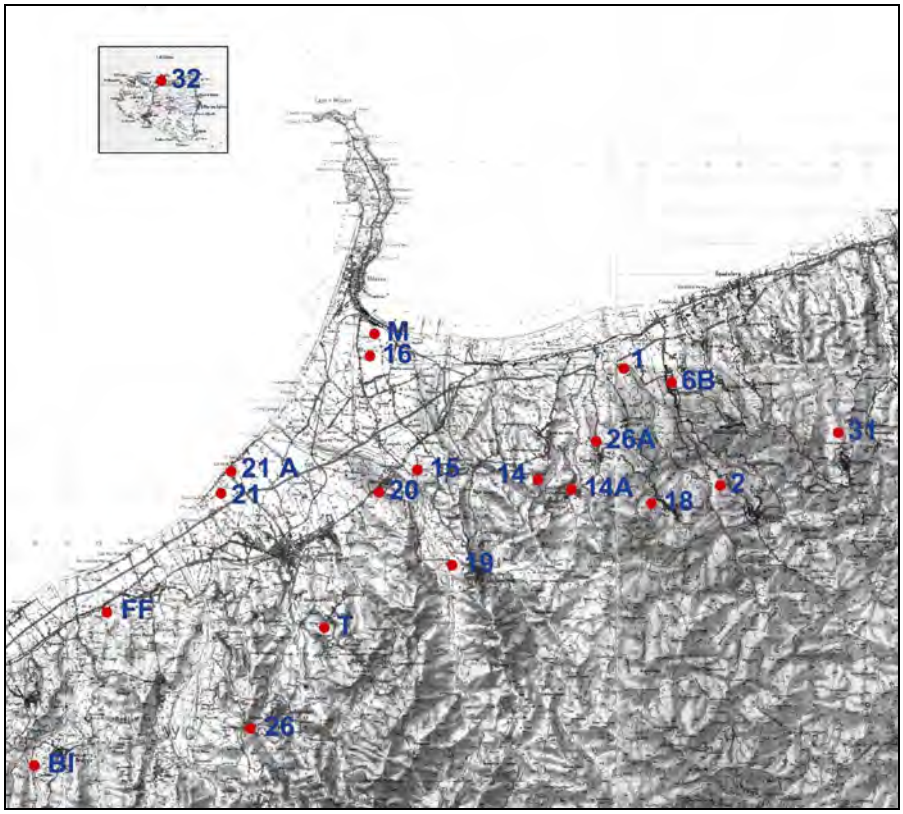


Fig. 4.13 Siti di campionamento di prodotti agricoli

Al fine di ottenere una rappresentatività dei campioni analizzati si è adottata una procedura di campionamento che prevedeva prima la raccolta di campioni elementari (5-15 a seconda dell'estensione della zona) prelevati in punti diversi, quindi la loro miscelazione a formazione di un campione globale (tipicamente 5 kg di suolo e 15 kg di prodotto per aree agricole di 1000-5000 m^2) e successivamente, da questo, la preparazione di un campione di laboratorio (ca. 1kg) ottenuto per quartazione. Il campione di laboratorio è stato poi ulteriormente omogeneizzato al fine di ottenere aliquote analitiche rappresentative dell'intero campione.

Per la determinazione di Al, As, Cr, Mn, Ni e V è stata impiegata la tecnica di Analisi per Attivazione Neutronica (INAA), utilizzando il reattore TRIGA – MARK II dell'ENEA – Casaccia come sorgente di neutroni, mentre per le determinazioni analitiche dei contenuti di Pb e Cd si è impiegata la tecnica di Spettrofotometria di Assorbimento Atomico (ET-AAS), dopo mineralizzazione dei campioni con sistema a microonde ad alta pressione.

Al fine di verificare l'accuratezza analitica delle metodologie impiegate sono stati utilizzati materiali di riferimento certificati di composizione quanto più possibile simile ai campioni da analizzare.

Per la determinazione di IPA si è impiegata la tecnica di gas-cromatografia (GC) utilizzando tre diversi tipi di rivelatori: ionizzazione a fiamma (GC-FID), ionizzazione a cattura di elettroni (GC-ECD) e spettrometro di massa (GC-MS), dopo aver sottoposto i campioni alle opportune procedure di estrazione e di purificazione, utilizzando standard per la valutazione del recovery.

4.3.2 Residui di elementi tossici nei suoli

Risultati sperimentali

I valori delle concentrazioni di elementi potenzialmente tossici presenti nei campioni dei suoli analizzati sono riportati in **Tab. 4.19**.

Tab. 4.19 Concentrazioni di elementi tossici nei suoli (in mg/g o in µg/g di peso secco)

Azienda/Località	Al	As	Cd	Cr	Mn	Ni	Pb	V
	mg/g	µg/g	µg/g	µg/g	mg/g	µg/g	µg/g	µg/g
Az. 6B - S.Pier Niceto	84,7	3,9	0,33	79,5	7,9	23,2	14	112
Az.15 - S.Filippo del Mela	80,0	10,9	0,13	60,0	6,6	24,3	26	122
Az.16 - Milazzo	84,3	16,4	0,44	87,8	8,8	32,4	33	116
Az. 20 - Merì	81,9	10,2	0,28	79,6	7,5	39,8	27	114
Az. 21 - Barcellona P.G.	75,8	11,4	0,55	61,9	8,0	18,5	33	93
Raffineria - Centrale (Milazzo)	79,8	12,7	0,25	63,1	10,9	n.r.	28	118
Parcheggio Raffineria (Milazzo)	65,6	4,1	0,34	46,7	5,0	22,3	37	64

n.r. = non rilevabile

In **Fig. 4.14**, dove si riportano per ciascun elemento le variazioni rispetto alla media dei valori trovati nei diversi siti, è rappresentato il confronto tra i contenuti di elementi potenzialmente tossici analizzati nei suoli.

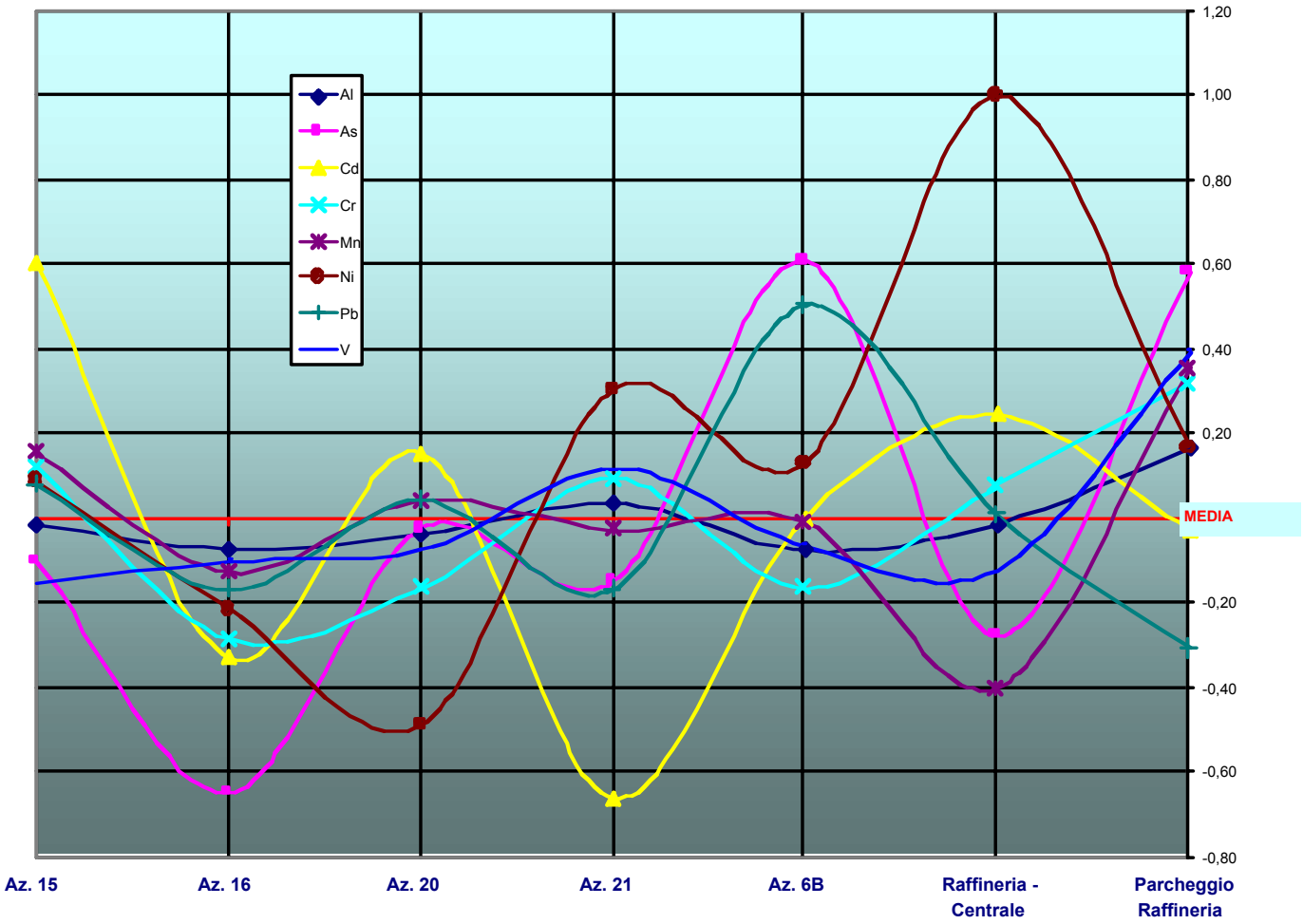


Fig. 4.14

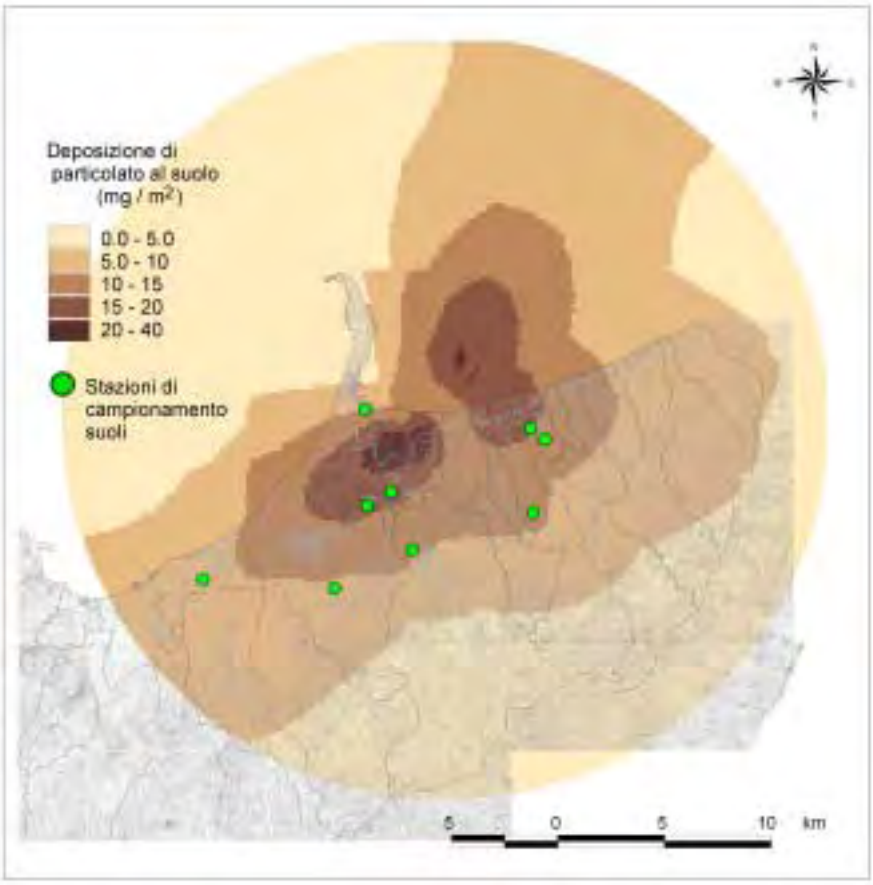
Valutazione dei risultati sperimentali

Appare subito evidente che non vi sono differenze sostanziali nella composizione di suoli prelevati in siti diversi relativamente agli elementi considerati e non si evidenziano correlazioni particolarmente significative tra il contenuto dei vari elementi.

Tale fatto sembra non trovare piena corrispondenza con le concentrazioni delle deposizioni di particolato al suolo (espresse in mg/m^2 x anno) stimate con l'utilizzo del modello (**Fig. 4.15**).

Da tale rappresentazione, infatti, ci si sarebbe aspettati un accumulo di elementi tossici soprattutto nei suoli prelevati nei siti 15 (S.Filippo del Mela), 20 (Merì) e 16 (Milazzo), cui corrispondono le più elevate concentrazioni di particolato al suolo (20-40 mg/m^2 x anno).

Fig. 4.15 Deposizioni di particolato al suolo (mg/m^2 x anno)



Le concentrazioni degli elementi tossici misurate sperimentalmente sono state paragonate con i valori di concentrazione limite accettabili previsti nell'Allegato 1 del DM n. 471 del 25 ottobre 1999 per siti destinabili ad uso verde pubblico, privato e residenziale (**Tab. 4.20**).

Tab. 4.20 Valori di concentrazione limite accettabili nel suolo

Composti inorganici	**Concentrazioni (mg kg^{-1} espressi come sostanza secca)**
Arsenico	20
Cadmio	2
Cromo totale	150
Nichel	120
Piombo	100
Vanadio	90

Fonte: DM 471/1999 (Allegato 1)

Dal confronto appare evidente che le concentrazioni di elementi tossici misurate nei campioni di suoli esaminati sono tutte al di sotto dei limiti corrispondenti previsti nel citato Decreto del Ministero dell'Ambiente, tranne per quanto riguarda il vanadio, che li supera in quasi tutti i campioni analizzati.

I contenuti di cadmio, piombo e nichel sono stati paragonati, poi, con il tenore degli stessi in terreni agricoli italiani non inquinati (**Tab. 4.21**).

Tab 4.21 Tenore di Cd, Ni e Pb in terreni agricoli non inquinati

ELEMENTO	LIVELLO DI METALLI PESANTI					INTERVALLO DI ATTENZIONE
	Totale (ppm)			Assimilabile (ppm)		
	Min.	Max.	Media	Min.	Max.	Totale (ppm)
Cadmio	0,5	0,7	0,6	0,2	1,1	1,7 - 5
Nichel	3	120	50	1	10	120 - 150
Piombo	2	100	18	0,5	1,8	300 - 400

Fonte: Ferraresi A., Corticelli C., 2002.

I dati sperimentali devono essere confrontati con il livello di concentrazione totale, dal momento che non è stato determinato il livello di concentrazione assimilabile degli elementi. Anche in questo caso i dati sperimentali confermano ulteriormente il basso contenuto dei contaminanti considerati nei suoli presi in esame. Infatti, il Cd è presente in quantità inferiori ai livelli minimi tipici (e dunque sempre in quantità notevolmente inferiori al valor minimo dell'intervallo di attenzione) e solo nel campione prelevato a Barcellona P.G. si osserva un valore di poco superiore al livello minimo di concentrazione tipica.

Le concentrazioni di Ni misurate sono tutte nettamente inferiori alla media e quelle di Pb sono di poco superiori a quella tipica media ma nettamente inferiori a quella massima.

Per valutare il contributo delle emissioni delle grandi sorgenti puntiformi alle concentrazioni di elementi tossici nei suoli, è stata considerata la percentuale di Ni, V e Cd presente nelle emissioni di particolato di una centrale a olio combustibile, che sono costituite mediamente dal 9.2% di V, dal 2.5% di Ni e dallo 0.13% di Cd (Pinchera et al., 1984).

Se si considerano le ricadute di particolato in alcune aree del territorio in studio, ad esempio a Barcellona P.G., le concentrazioni di V, Ni e Cd che derivano da un deposito totale di particolato pari a 20 mg/m^2 anno nel sito di prelievo del terreno (**Fig. 4.15**), sono rispettivamente pari ad 1.84 mg/m^2 anno di V, 0.5 mg/m^2 anno di Ni e 0.026 mg/m^2 anno di Cd mg/m^2 anno. Prendendo in esame, poi, l'accumulo di tali deposizioni in un volume di 1 m^2 x 20 cm = 200 l di massa 200 x la densità del terreno (che si assume mediamente pari a 1,300 kg/l), si ricavano le seguenti concentrazioni:

V: 1.84 mg/200. · 1,3 = 0,0070 ppm

Ni: 0.5 mg/200 ·. 1,3 = 0,0019 ppm

Cd: 0,026 mg/200 ·. 1,3 = 0,0001 ppm

Considerando ora i valori di concentrazione misurati nei suoli del sito di Barcellona P.G. (**Tab. 4.19**), si ha: per il V, 92.93 ppm; per il Ni 118,51 ppm e per il Cd 1.1. ppm.

Ciò significa che l'accumulazione di 100 anni di deposito di particolato contribuirebbe ad una concentrazione di V pari a 0,92 ppm, che corrisponde ad appena l'1% della concentrazione misurata; per il Ni a 0.25 ppm e per il Cd a 0,013 ppm, che corrispondono rispettivamente all'1,4% ed all'1,3% delle concentrazioni misurate.

Dunque il contributo delle ricadute delle grandi sorgenti di emissioni (centrale termoelettrica e raffineria) derivante da una distribuzione di elementi nel particolato pari a quello delle emissioni della combustione dell'olio combustibile è trascurabile rispetto a quello già esistente nel suolo o comunque proveniente da altre fonti di emissione.

Volendo calcolare con lo stesso procedimento le ricadute di altri tre elementi tossici presenti ad esempio nei terreni di Merì, e cioè il Cr, il Pb e il Mn, si ricava che le loro percentuali nel particolato emesso dalla combustione di olio combustibile sono pari rispettivamente allo 0,075%, allo 0,2% ed allo 0,077%.

Ciò significa che le ricadute a Merì, dove si stima una deposizione al suolo di circa 40 mg/m^2 anno (**Fig. 4.15**), sono rispettivamente 3,0 8,0 e $3,1 \cdot 10^{-2}$ $mg/m^2 \cdot$ anno, che determinano un incremento di concentrazioni per anno in uno spessore di suolo di 20 cm di $3 \cdot 10^{-2}$ mg/200 · 1,3 pari a $1,2 \cdot 10^{-4}$ ppm per il Cr; 8. 10^{-2} /200.1,3 per il Pb (pari a $3 \cdot 10^{-4}$ ppm) ed infine $3,1 \cdot 10^{-2}$ /200 · 1,3 per il Mn (pari a $1,2 \cdot 10^{-4}$ ppm).

Le concentrazioni sperimentali degli stessi elementi sono, d'altra parte, rispettivamente uguali a 79,6 ppm, 27 ppm e 746 ppm (**Tab. 4.19**).

Rispetto a tali concentrazioni i contributi percentuali delle deposizioni calcolati per un periodo di 100 anni sono dell'$1,8 \cdot 10^{-2}$ % per il Cr, del $6,8 \cdot 10^{-2}$ % per il Pb e dello $0,2 \cdot 10^{-2}$ % per il Mn e sembrano ancora una volta trascurabili rispetto ai contenuti totali del suolo (naturali o provenienti da deposizioni causate da altre emissioni).

Su tali aspetti è anche utile un confronto con i dati di Polveri Totali Sospese misurate nel decennio 1991-99 dall'Amministrazione Provinciale di Messina. I valori medi di tale periodo delle medie aritmetiche annue misurate nelle diverse stazioni sono riportate di seguito (**Tab. 4.22**):

Tab. 4.22 Dati della Rete della Provincia Regionale di Messina. Concentrazioni di Particolato Totale Sospeso nel decennio 1991-1999

COMUNE	Media annua ($\mu g/m^3$)
S. Lucia del Mela	31,3
S. Filippo del Mela (C/da Angeli)	35,4
S. Filippo del Mela (C/da Archi)	29,0
Milazzo (ospedale)	35,4
Milazzo (porto)	39,3
Pace del Mela (C/da Mandravecchia)	28,0
Pace del Mela (C/da Giammoro)	29,3
Condrò	29,8
Valdina (due anni)	59,5

Le concentrazioni stimate dal modello, che sono rappresentate in **Fig. 4.16** risultano di un ordine di grandezza circa inferiori di quelle determinate sperimentalmente nelle stazioni di monitoraggio dell'Amministrazione Provinciale di Messina elencate in **Tab. 4.22**.

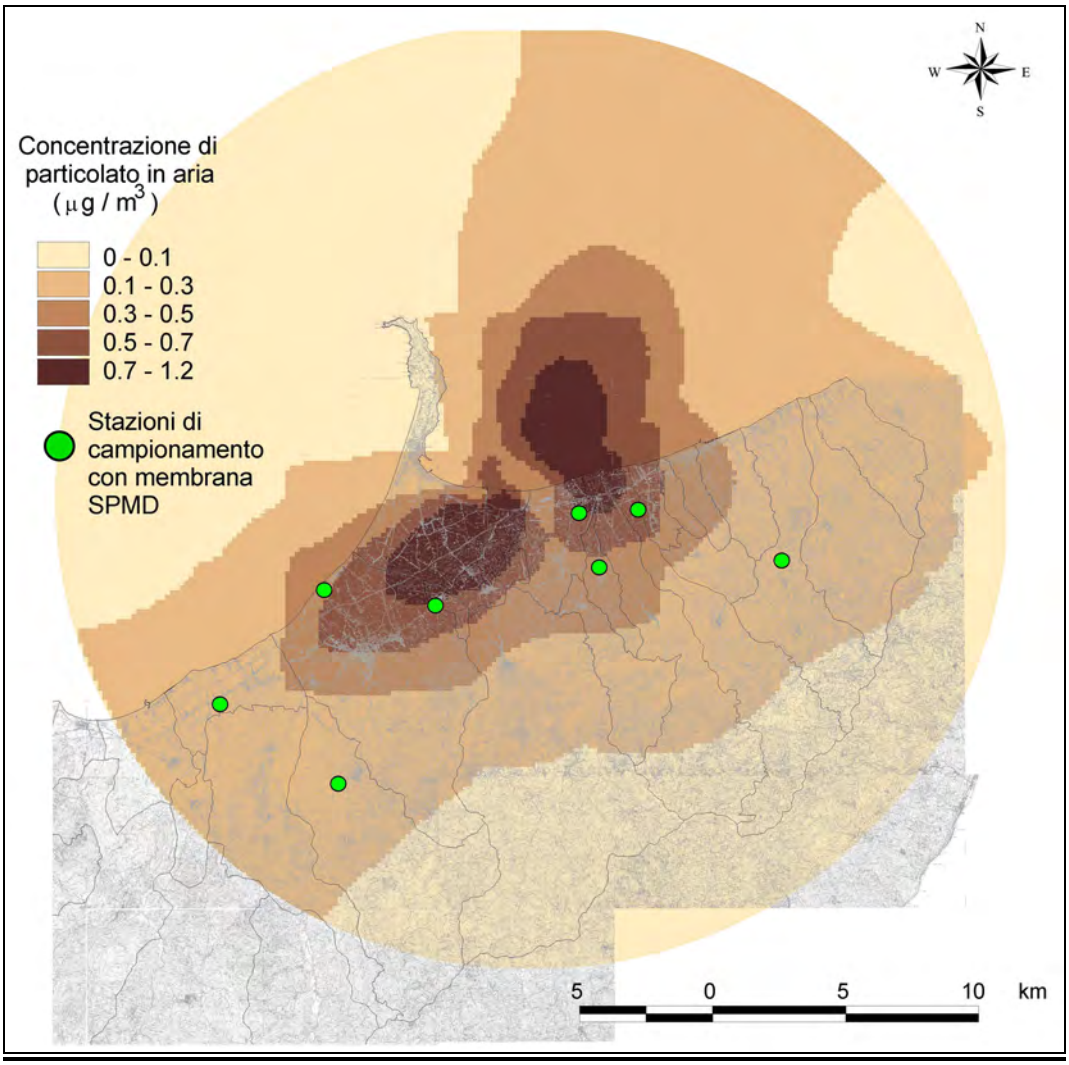


Fig. 4.16 Concentrazioni stimate di particolato in aria (µg/m^3)

È da considerare, inoltre, che una valutazione più significativa della qualità dei suoli agricoli e dei prodotti agroalimentari e del conseguente rischio di assunzione di elementi tossici attraverso la catena alimentare sarebbe meglio determinata più che dalla valutazione del contenuto di detti elementi nei suoli, dalla misura della frazione biodisponibile, ossia quella direttamente assimilabile dalla pianta. Tale frazione dipende, oltre che dalla forma chimica in cui l'elemento è presente nel suolo, anche da altri parametri chimico-fisici, che possono intervenire nel processo di trasporto suolo-pianta. Prendendo in considerazione la frazione biodisponibile, inoltre, il contributo delle ricadute delle grandi sorgenti di emissione potrebbe assumere in tal senso un ruolo più rilevante.

4.3.3 – Residui di IPA nei suoli

Risultati sperimentali

Per quanto riguarda gli IPA, nei campioni di suoli prelevati sono state misurate le concentrazioni di pirene ed antracene poiché altri IPA, quali naftalene, benzo(a)pirene, benzo(a)antracene, fluorantene, fluorene e benzofluorantene erano presenti in tracce (**Tab. 4.23**)

Tab. 4.23 Concentrazioni (µg/g) di IPA nei suoli

Azienda/Località	IPA	
	Antracene (µg/g)	Pirene (µg/g)
Az.6 - Torregrotta	10,5	39,3
Az.6B -S. Pier Niceto	3,1	3,4
Az.15 -S.Filippo del Mela	9,8	1,4
Az.18 -S. Pier Niceto	9,2	1,4
Az.19 - S. Lucia del Mela	12,7	9,9
Az.20 - Merì	4,8	2,9
Az.F.-Terme Vigliatore	103,8	52,8
Az. L. T.-S.Paolo	4,7	1,3
Raffineria-Centrale (Milazzo)	12,2	3,3

Valutazione dei risultati

Osservando la **Tab. 4.23** occorre notare che l'antracene non rientra tra i composti aromatici policiclici considerati dalla normativa (DM 471/99). Per il pirene alcuni dei campioni prelevati (S. Pier Niceto, S. Filippo del Mela, Merì, S.Paolo e Milazzo) indicano concentrazioni inferiori a quelle che nel decreto corrispondono al limite per i siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale (pari a 5 mg/kg s.s.) mentre i campioni prelevati a S.Lucia del Mela, Torregrotta e Terme Vigliatore rientrerebbero nei limiti indicati per siti ad uso commerciale ed industriale (50 mg/kg s.s.).

Da un punto di vista delle caratteristiche mutagene e cancerogene pirene ed antracene sono definiti dallo IARC di Classe 3, nella quale sono riportate le "sostanze di cui non si hanno sufficienti informazioni per una corretta valutazione" e dunque non associate a rischi rilevanti per la salute umana almeno finché non emergano nuovi risultati tossicologici dalla ricerca.

Gli IPA analizzati, di cui sono state rilevate soltanto tracce, presentano le seguenti caratteristiche di genotossicità:

- il benzo(a)antracene è classificato dall'Ag. Int. per le Ricerche sul Cancro delle Nazioni Unite (IARC) di classe 2 A[1)] , ovvero probabile cancerogeno per l'uomo;
- il benzo(a)pirene è anch'esso di classe 2A ed inoltre mutageno di seconda categoria per la classificazione UE;
- il benzofluorantene ed il naftalene sono di classe 2B[2)] secondo IARC, ovvero possibili cancerogeni per l'uomo.

Per quanto attiene ai PCB i dati sperimentali ottenuti sugli stessi campioni di suolo nei quali sono stati analizzati gli IPA esigono ulteriori verifiche sperimentali, mirate ad una completa attendibilità dei dati stessi.

[1)] Gruppo 2A – Classificazione IARC: Probabile cancerogeno - limitata evidenza di effetti cancerogeni nell'uomo (per limitati studi o assenza di studi epidemiologici) e sufficiente evidenza di effetti cancerogeni sugli animali da esperimento. In questo caso i meccanismi coinvolti nel processo di cancerogenicità negli animali sono gli stessi che operano nell'uomo.

[2)] Gruppo 2B – Classificazione IARC: Possibile cancerogeno - limitata evidenza di effetti cancerogeni sull'uomo (per limitati studi o assenza di studi epidemiologici) e limitata evidenza di effetti cancerogeni sugli animali da esperimento.

4.3.4 – Residui di elementi tossici nei prodotti ortofrutticoli

Le concentrazioni (espresse in ppm di peso fresco) degli elementi potenzialmente tossici determinate nei prodotti agricoli sono riassunte nelle tabelle seguenti.

Tab. 4.24 Contenuto di elementi tossici in prodotti agricoli (ppm-peso fresco)

I Campionamento

Campioni	Azienda/Località	Al	As	Cd	Cr	Mn	Ni	Pb	V
Insalata	Az. 21 - Barcellona P.G.	7,2	n.r.	0,019	0,04	0,81	n.r.	0,012	0,02
Piselli	Az. 21A - Milazzo	6,5	n.r.	0,013	0,12	2,77	0,23	0,06	n.r.
Patate	Az. 6B - Torregrotta	6,3	0,004	0,037	0,13	1,24	n.r.	0,06	0,02
Nespole	Az. 15 - S. Filippo del Mela	1,3	0,002	0,009	0,14	0,42	n.r.	0,08	n.r.
Arance	Az. 1- S.Pier Niceto	1,2	0,001	0,006	0,08	0,27	n.r.	0,18	n.r.
	Az. 2 - Monforte S.Giorgio	1,2	0,001	0,001	0,09	0,28	n.r.	< 0,02	n.r.
	Az. 14A - Gualtieri Sicaminò	1,2	n.r.	0,016	0,06	0,21	n.r.	< 0,04	n.r.
Limoni	Az. 15 - S. Filippo del Mela	1,2	n.r.	0,004	0,06	0,34	n.r.	0,029	n.r.
	Az. 26A - Condrò	1,8	0,002	0,005	0,08	0,34	n.r.	0,07	0,003

n.r. = non rilevabile

Tab. 4.25

II Campionamento

Campioni	Azienda/Località	Al	As	Cd	Cr	Mn	Ni	Pb	V
Insalata	Az.20 - Merì	1,9	n. r.	0,029	0,005	1,99	0,012	< 0,04	0,010
Zucchine	Az.6B - Torregrotta	2,2	0,001	0,002	0,003	0,41	0,015	0,007	0,002
Melanzane	Az.16 - Milazzo	1,6	0,006	0,030	0,008	1,19	0,024	0,02	n. r.
	Az.31- Rometta	4,3	n. r.	0,055	0,013	1,19	0,019	0,05	0,003
Pomodori	Az.16 - Milazzo	4,2	n. r.	0,011	0,012	1,55	0,034	< 0,01	0,011
	Az.21A - Barcellona P.G.	1,7	n. r.	0,014	0,01	0,78	0,011	< 0,01	n.r.

n.r. = non rilevabile

Tab. 4.26

III Campionamento

Campioni	Azienda/Località	Al	As	Cd	Cr	Mn	Ni	Pb	V
Olive	Az.14 - Gualtieri Sicaminò	3,9	n.r.	0,005	0,07	1,32	0,14	< 0,1	n.r.
	Az.15 - S. Filippo del Mela	4,2	n.r.	0,022	0,16	1,15	0,36	< 0,1	n.r.
	Az.18 - S. Pier Niceto	4,7	n.r.	0,015	n.r.	1,39	n.r.	0,4	n.r.
	Az.19 - S. Lucia del Mela	3,7	0,015	0,048	n.r.	1,41	0,24	< 0,1	n.r.
	Az.26 - Castroreale	3,8	n.r.	0,013	0,16	1,97	n.r.	< 0,2	n.r.
	Az.26A - Condrò	2,2	n.r.	0,008	0,14	1,75	n.r.	0,2	n.r
	Az. T - Barcellona P.G.	6,0	0,016	0,008	0,18	1,30	0,20	< 0,2	n.r.
	Az.B. - Mazzarrà	5,0	n.r.	0,038	0,14	1,89	n.r.	0,2	n.r.
	Az. F. F. - Terme Vigliatore	2,9	n.r.	0,010	0,10	1,3	n.r.	< 0,1	n.r.
	Raffineria /Centrale - Milazzo	4,7	n.r.	0,018	0,15	1,54	0,38	< 0,1	0,032

n.r. = non rilevabile

È noto che l'assimilazione di elementi tossici per via radicale e attraverso la parte aerea della pianta è diversa nelle varie specie. Dunque il confronto tra specie diverse coltivate in siti diversi non è significativo per definire le relazioni con il differente grado di inquinamento atmosferico dei diversi siti.

Nei casi dove per la stessa specie sono stati prelevati campioni in diversi siti (arance, limoni, pomodori e olive) non si misurano concentrazioni più elevate di elementi tossici nei campioni prelevati nei siti che dovrebbero risultare più inquinati a causa delle emissioni delle sorgenti puntiformi (Centrale Termoelettrica, raffineria e cementificio) (**Fig. 4.17**).

Tali risultati sono in accordo con l'analisi precedentemente formulata nella quale le concentrazioni di elementi tossici dei suoli non sono correlate con i valori di deposizioni al suolo di elementi causate dalle emissioni delle sorgenti considerate.

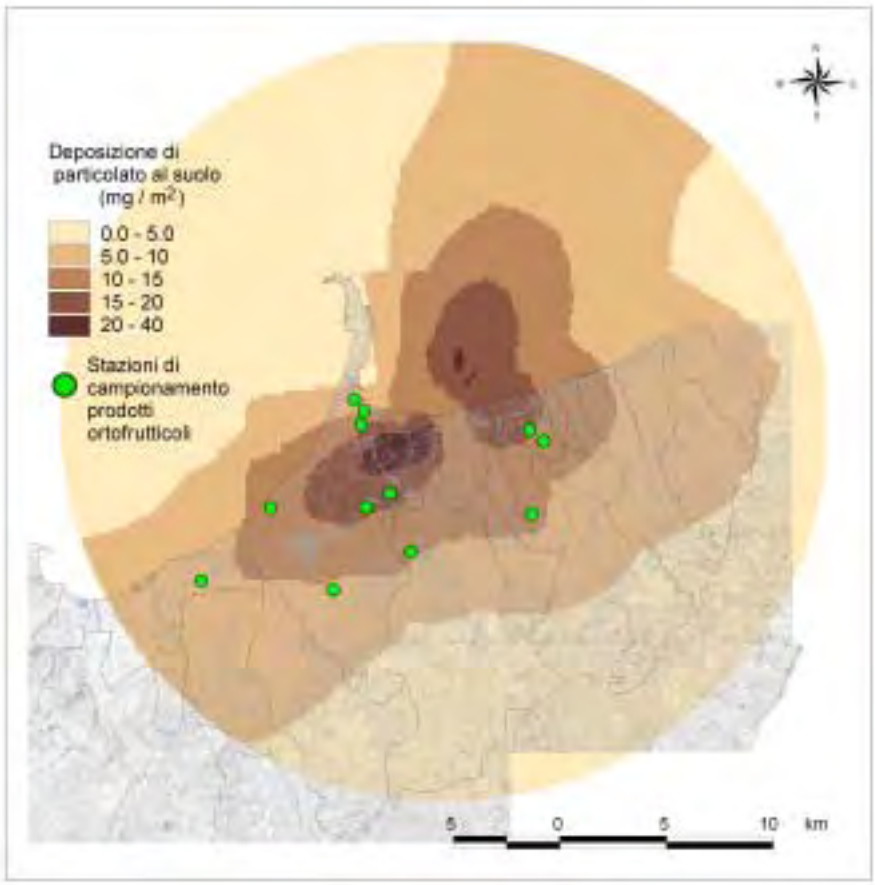


Fig. 4. 17

Allo scopo di approfondire alcuni aspetti relativi alla qualità dei prodotti agricoli considerati e di valutare i possibili effetti derivanti alla salute umana dall'ingestione degli elementi in traccia in essi contenuti, si è fatto riferimento alla normativa vigente in materia e si è cercato di tradurre i dati ottenuti sperimentalmente in termini di rischio per il consumatore.

Si è ritenuto necessario, perciò, considerare in primo luogo il Regolamento (CE) N. 466/2001 della Commissione delle Comunità Europee (entrato in vigore il 5 aprile 2002), che definisce i tenori massimi di alcuni contaminanti presenti nei prodotti alimentari, tra i quali il Pb ed il Cd.

Per quanto riguarda il primo, infatti, la Comunità afferma che "l'assorbimento di piombo può costituire un grave rischio sanitario, può ostacolare lo sviluppo del processo cognitivo e delle prestazioni intellettuali nei bambini, nonché aumentare la pressione sanguigna e le patologie cardiovascolari negli adulti", mentre "il cadmio può essere accumulato nel corpo umano e comportare disfunzioni renali, danni a carico dello scheletro e carenze dell'apparato riproduttore e peraltro non è possibile escludere una sua eventuale azione cancerogena". La stessa Comunità afferma, perciò, che "è opportuno proseguire nell'azione a lungo termine allo scopo di ridurre ulteriormente il tenore medio di piombo nei prodotti alimentari" e ritiene necessario intensificare gli sforzi "per ridurre l'esposizione alimentare al cadmio, dal momento che i prodotti alimentari sono la fonte principale dell'assunzione umana di cadmio".

I tenori massimi di Pb e Cd stabiliti nella suddetta normativa per i prodotti vegetali sono evidenziati in **Tab. 4.27** ed in **Tab. 4.28**.

Tab. 4.27 Tenori massimi di Pb nei prodotti vegetali

Prodotto	Tenore massimo di Pb (mg/kg di peso fresco)
Cereali, legumi e leguminose	0,2
Ortaggi, fatta eccezione per cavoli; ortaggi a foglia, erbe aromatiche e tutti i tipi di funghi. Nel caso delle patate ci si riferisce a patate sbucciate	0,1
Cavoli, ortaggi a foglia e funghi coltivati	0,3
Frutta, escluse bacche e frutta di piccole dimensioni	0,1
Bacche e frutta di piccole dimensioni	0,2
Oli e grassi	0,1

Fonte: Reg. (CE) n. 466/2001 e successive modifiche

Tab. 4.28 Tenori massimi di Cd nei prodotti vegetali

Prodotto	Tenore massimo di Cd (mg/kg di peso fresco)
Cereali (esclusi crusca, germi di frumento e riso)	0,1
Ortaggi e frutta, esclusi ortaggi a foglia, erbe aromatiche, tutti i tipi di funghi, ortaggi a stelo, ortaggi da radice e patate	0,05
Ortaggi a foglia, erbe aromatiche, sedano rapa e tutti i funghi coltivati	0,2
Ortaggi stelo, ortaggi da radice e patate. Nel caso delle patate ci si riferisce a patate sbucciate	0,1

Fonte: Reg. (CE) n. 466/2001 e successive modifiche

Come si può vedere dal confronto tra i dati sperimentali (**Tab. 4.24-25** e **26**) ed i limiti di legge, i prodotti analizzati presentano per lo più concentrazioni di Pb e Cd notevolmente inferiori a quelli previsti dalla normativa citata.

Allo scopo di considerare gli aspetti afferenti ai possibili effetti derivanti alla salute umana dall'ingestione degli elementi in traccia presenti nei campioni dei prodotti agricoli analizzati e di tradurre i dati ottenuti sperimentalmente in termini di rischio per il consumatore, sono state calcolate le quantità di ogni elemento potenzialmente tossico che ingerirebbe in un giorno un individuo di peso medio di 60 Kg che assumesse tali prodotti in quantità paragonabili a quelle indicate in una dieta italiana media. Tali quantità (Turrini A. et al., 2001) sono specifiche per i singoli prodotti considerati e sono riferite al consumo medio giornaliero pro capite per la popolazione italiana

Le quantità ingerite sono state, quindi, confrontate con i limiti di tossicità OMS corrispondenti.

Nell'eseguire i calcoli numerici necessari per tali valutazioni nei casi in cui le concentrazioni di uno stesso elemento non fossero state rilevabili in tutti i campioni analizzati sono state comunque utilizzate le medie delle concentrazioni presenti nei campioni nei quali si è ottenuto il dato numerico e ciò sempre nell'ottica di effettuare una stima approssimata sicuramente per eccesso .

Si è supposto, infine, che dalla lavorazione delle olive si ottenesse una resa media di olio pari a circa il 20%.

I rapporti percentuali - fra la dose di ogni elemento ingerita giornalmente con la dieta ed i rispettivi limiti di tossicità - che sono stati ottenuti (**Tab. 4.29**) permettono di valutare accettabile la qualità dei prodotti agroalimentari considerati in quanto i residui degli elementi tossici esaminati sono al di sotto della soglia di rischio per il consumatore.
È necessario, comunque, tener presente che nella dieta altri apporti degli stessi elementi possono derivare anche dall'assunzione dei prodotti cerealicoli, carnei, lattiero-caseari e dall'acqua potabile.

Tab. 4.29 Quantità di elementi in traccia assunte da consumatori di prodotti ortofrutticoli

	Al (mg/die)	As (µg/die)	Cd (µg/die)	Cr (µg/die)	Mn (mg/die)	Ni (µg/die)	Pb (µg/die)	V (µg/die)	Consumo giornaliero* (g/die)
Arance	0,029	0,02	0,19	1,88	6,61	n.r.	4,25	n.r.	**23,62**
Insalata	0,163	n.r.	0,86	0,79	50,44	4,32	0,43	0,54	**36,03**
Limoni	0,002	0	0,01	0,15	0,52	n.r.	0,09	0,01	**1,84**
Melanzane	0,020	0,04	0,28	0,09	7,97	0,14	0,23	0,02	**6,7**
Nespole	0,001	0	0,01	0,01	0,03	n.r.	0,06	n.r.	**0,8**
Patate	0,250	0,16	1,48	5,2	49,6	n.r.	2,4	n.r.	**40**
Piselli	0,035	n.r.	0,07	0,65	14,96	1,24	0,32	n.r.	**5,4**
Pomodori	0,218	n.r.	0,89	0,74	85,84	1,63	n.r.	n.r.	**74**
Zucchine	0,036	0,01	0,02	0,04	5,05	0,18	0,09	n.r.	**12,32**
Olio	0,410	1,5	2,8	14	150	26	2,8	3,2	**19,8**
α (quantità tot.assunta/die)	1,16	1,74	6,61	23,53	0,37	33,52	10,68	3,90	
β (limiti - tossicità)	7 [1] (mg/Kg p.c./week)	15 [2] (µg/Kg p.c./week)	7 [3] (µg/Kg p.c./week)	250 [4] (µg/die)		600 [5] (µg/die)	25 [5] (µg/Kg p.c./week)	200 [6] (µg/die)	
% (α/ β * 100)	1,95	1,35	11,02	9,41		5,59	2,99	1,95	

Fonti: Elaborazione ENEA da dati WHO (1996) ed INRAN

* I dati sono specifici per i singoli prodotti e sono riferiti al consumo medio giornaliero pro capite per la popolazione italiana (quantità al netto degli scarti)
[1] assunzione settimanale tollerabile
[2] livello di sicurezza raccomandato per l'esposizione di individui adulti
[3] assunzione settimanale massima tollerabile
[4] limite superiore del range di sicurezza dei livelli medi di assunzione
[5] livello soglia per la tossicità
[6] quantità che hanno dimostrato di avere effetti farmacologici sull'uomo
p.c. = peso corporeo
n.r. = non rilevabile

Per il Cr, che è un oligoelemento ritenuto essenziale se assunto in determinate quantità, si può osservare che il consumo quotidiano dei soli prodotti considerati contribuirebbe ad un'assunzione giornaliera di cromo pari a circa il 43% di quello che l'OMS definisce essere il "minimo livello medio di assunzione riferito alla popolazione tale da soddisfare le esigenze normative, che si colloca intorno ai 33 µg/die" (WHO, 1966).

Il manganese, invece, è considerato un oligoelemento probabilmente essenziale e l'OMS fissa nel range 2,0-5,0 mg/die il suo livello di assunzione adeguato e sicuro per gli adulti. In base a ciò il consumo quotidiano degli ortofrutticoli in esame fornirebbe alla dieta un contributo quotidiano di Mn compreso tra il 7 ed il 14% del fabbisogno stimato per tale elemento.

4.4 Valutazione ecotossicologica degli inquinanti areodispersi campionati tramite Semipermeable Membrane Devices (SPMDs)

Risultati sperimentali

1ª campagna (luglio-agosto)

I risultati delle analisi ecotossicologiche degli estratti dalle membrane SPMDs sono mostrati in **Tab. 4.30** dove sono riportati i valori di EC50 (15 minuti di incubazione), con i limiti di confidenza (p=0,05) e il coefficiente di correlazione (R^2).

Tab. 4.30 : luglio-agosto

Aziende agricole	Località	EC50*	EC50 l.c.	R^2
Az. 25	Terme Vigliatore	0,64	0,62-0,67	0,99
Az.30	Pace del Mela	0,42	0,36-0,47	0,98
Az.31	Rometta	0,55	0,41-0,73	0,82
Az.21A	Milazzo	0,31	0,25-0,40	0,97
Az.26A	Condrò	10,42	3,0-38	0,86
Az.6	Torregrotta	0,75	0,69-0,81	0,97
Az.20	Merì	0,55	0,51-0,59	0,98
Az.26	Castroreale	1,25	1,12-1,40	0,83

15 minuti EC50 : mg SPMD/ml, carrier : DMSO

Tutti i campioni analizzati hanno prodotto una consistente diminuzione della bioluminescenza batterica, come espresso dai bassi valori di EC50.

Questi ultimi non identificano un tipo particolare di distribuzione della tossicità rilevata, in quanto la maggior parte dei campioni estratti dalle SPMD inducono valori di EC50 compresi nell'intervallo tra 0,31 mg SPMD/ml e 0,75 mg SPMD/ml, indice di una tossicità piuttosto elevata.

Questi campioni risultano localizzati nei Comuni di Milazzo (cod.21A), di Pace del Mela (cod. 30), di Rometta (cod. 31), di Merì (cod.20), di Terme Vigliatore (cod. 25) e di Torregrotta (cod. 6).

Una diminuzione della tossicità è espressa dal campione di Castroreale (cod. 26), mentre un ulteriore e deciso abbassamento si osserva con il campione estratto dalla membrana posizionata a Condrò (cod. 26 A).

2ª campagna (settembre-ottobre)

In **Tab. 4.31** sono riportati i valori di tossicità acuta ottenuti dall'analisi dei campioni estratti dalle membrane in seguito al secondo periodo di esposizione (settembre-ottobre).

Tab. 4.31 : settembre-ottobre

Aziende agricole	Località	EC50*	EC50 l.c.	R^2
Az.25	Terme Vigliatore	0,45	0,40-0,52	0,98
Az.30	Pace del Mela	1,48	1,42-1,55	0,98
Az.31	Rometta	0,43	0,37-0,50	0,97
Az.21A	Milazzo	0,72	0,69-0,76	0,99
Az.26A	Condrò	nt°	nt°	nt°
Az. 6	Torregrotta	0,42	0,36-0,48	0,97
Az.20	Merì	3,00	2,66-3,37	0,98
Az.26	Castroreale	1,12	1,05-1,19	0,96

15 minuti EC50 : mg SPMD/l, carrier : DMSO
° : non tossico

Analogamente a quanto detto in precedenza, anche i campioni della seconda campagna di esposizione delle SPMDs inducono effetti di tossicità acuta sul batterio *Vibrio fisheri*, ad eccezione del campione 26A, del Comune di Condrò, che risulta non tossico.

Tuttavia, la maggiore eterogeneità mostrata dai valori di EC50 della 2ª campagna consente di identificare delle priorità tra la tossicità espressa dai diversi campioni analizzati:

1. una tossicità più elevata, espressa dai più bassi valori di EC50 compresi nell'intervallo 0,42-0,75 mgSPMD/ml, è indotta dai campioni dei Comuni di Torregrotta (cod. 6), di Rometta (cod 31), di Terme Vigliatore (cod. 25) e di Milazzo (cod. 21A);
2. una tossicità intermedia, espressa dai campioni ottenuti dalle SPMDs esposte nei Comuni di Pace del Mela (cod. 30) e di Castroreale (cod. 26) ;
3. una tossicità minore espressa dal campione del Comune di Merì (cod. 20);
4. un'assenza di tossicità da parte del campione di Condrò (cod. 26A), come già riportato.

Valutazione dei risultati sperimentali

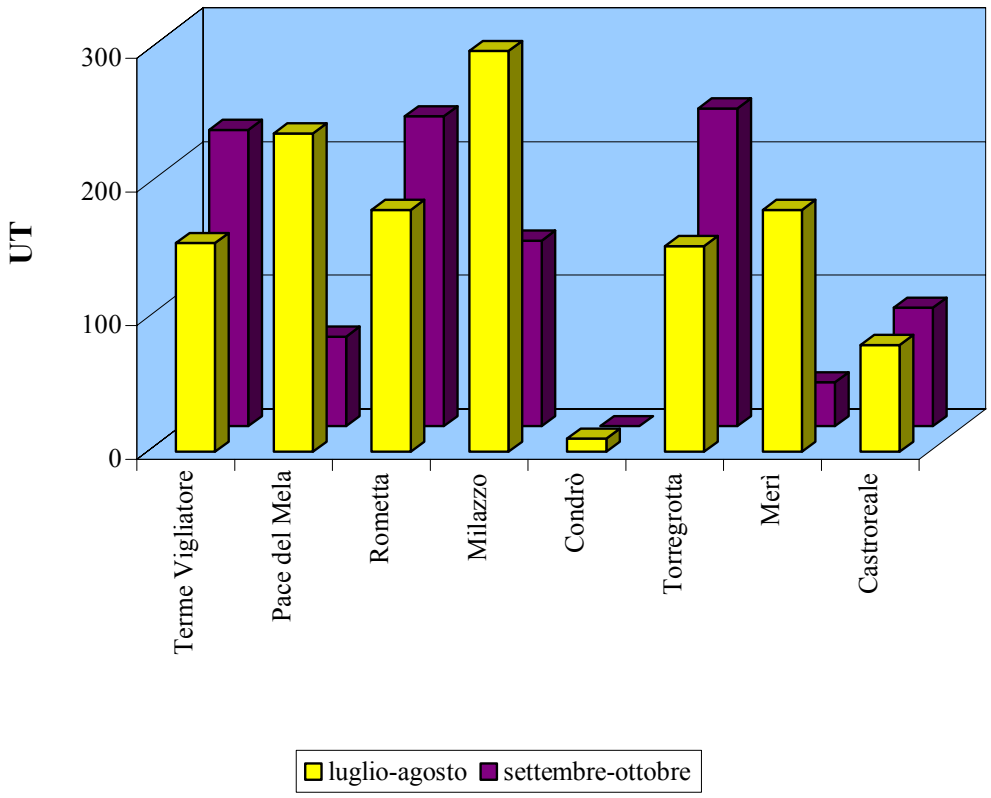
Un confronto tra gli andamenti della tossicità espressa dai campioni di inquinanti accumulati dalle SPMDs nei periodi di luglio-agosto e settembre-ottobre, è mostrato in **Fig. 4.17** I valori sono espressi come Unità di Tossicità (UT), definite come:

$$UT = 1/EC50 \times 100$$

In tal modo è possibile avere una relazione diretta tra la tossicità e il valore che la esprime.

Fig. 4.17

Confronto tra luglio-agosto e settembre-ottobre



Come si può osservare dal grafico, l'andamento della tossicità degli inquinanti organici areodispersi accumulati dalle membrane SPMDs nei due periodi di prelievo mostra un andamento variabile tra aumenti e diminuzioni, ad eccezione dell'unico campione localizzato a Castroreale, che conserva inalterata la sua tossicità.

L'andamento opposto si osserva per il campione di Condrò che, caratterizzato dall'induzione sui batteri della tossicità più bassa nel periodo luglio-agosto, risulta non tossico nel successivo periodo di esposizione delle membrane.

Il campione che in assoluto ha espresso la tossicità più elevata è stato accumulato dalla membrana esposta nell'azienda agricola di Milazzo, durante il periodo luglio-agosto.

Successivamente si osserva una diminuzione della tossicità indotta sui batteri dal carico inquinante accumulato nel periodo settembre-ottobre.

Un'analoga riduzione della tossicità,decisamente più netta, si osserva per i campioni di Merì e di Pace del Mela.

Un andamento opposto si ha,invece, per i campioni derivati dalle membrane esposte a Terme Vigliatore, Rometta e Torregrotta: la tossicità del periodo di esposizione settembre-ottobre è maggiore di quella rilevata nella campagna di luglio-agosto.

L'aumento osservato è costante per i tre campioni e, in generale, di minore intensità rispetto alle situazioni descritte precedentemente, in cui si osserva una diminuzione di tossicità tra le due campagne di prelievo.

Nell'indagine riportata sono stati valutati gli effetti tossici prodotti dalla componente biodisponibile degli inquinanti areodispersi nell'area di Milazzo, prodotti principalmente dal polo industriale presente nella zona in esame e campionata mediante l'utilizzo di un particolare metodo (SPMD) che risponde verosimilmente a ciò che "naturalmente" si verifica dall'incontro tra molecole xenobiotiche e substrato biologico.

La tossicità espressa dai batteri è una misura "aggregata" dell'insieme delle sostanze biodisponibili accumulate nel periodo di esposizione dalle membrane e, come tale, prende in considerazione gli effetti interattivi (additivi, sinergici, antagonistici) che possono manifestarsi tra esse.

Questa premessa è indispensabile nel valutare il confronto dei dati di Unità di Tossicità (UT) ottenuti con i batteri con le concentrazioni medie annuali di particolato atmosferico ottenuti dal modello matematico partendo dalle concentrazioni di SO_2 prodotta principalmente dalle emissioni della raffineria di Milazzo e suddivise in cinque intervalli arbitrari come riportato in **Fig. 4.18** .

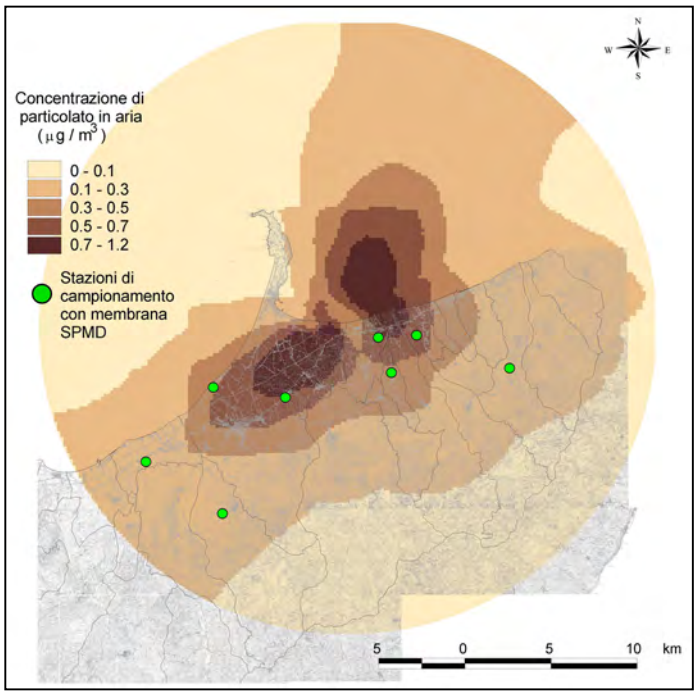


Fig. 4.18

Tale confronto, effettuato utilizzando il valore più elevato di UT prodotto dai campioni nelle due campagne di prelievo, evidenzia:

1. l'assenza di relazione tra le concentrazioni di particolato ed il valore di UT: infatti un'elevata concentrazione di contaminante non sempre è associata ad un alto valore di UT, così come a una bassa contaminazione corrisponde analogamente una tossicità elevata;
2. è possibile, tuttavia, osservare che i campioni dei Comuni di Torregrotta (cod.6), di Merì (cod. 20) e di Pace del Mela (cod. 30), compresi nell'area con le concentrazioni di particolato comprese tra 0,5-0,7 µg/m^3, producono valori elevati di tossicità, mentre
3. i campioni con la tossicità più bassa, corrispondenti ai Comuni di Castroreale (cod. 26) e di Condrò (cod. 26A), sono compresi nell'area con intervalli di concentrazioni inferiori di particolato;
4. le eccezioni più rilevanti a quanto riportato nei punti 2 e 3 sono rappresentate dai campioni dei Comuni di Rometta (cod.31), di Milazzo (cod. 21A) e di Terme Vigliatore (cod. 25) che, pur esprimendo valori elevati di UT elevati (il campione di Milazzo esprime il valore

di UT in assoluto più alto), sono compresi nelle aree con concentrazioni di particolato comprese tra 0,1-0,5 $\mu g/m^3$.

Le relazioni evidenziate tra la concentrazione di particolato e la tossicità possono essere spiegate sia con le caratteristiche del metodo di campionamento e con le modalità di espressione della tossicità, come precedentemente riportato, sia con la presenza di altri inquinanti ambientali in grado di accumularsi nelle membrane SPMD e produrre tossicità sui batteri.

Tra i possibili fattori ambientali, un ruolo importante può essere svolto dalle attività agricole presenti nel territorio e dal conseguente uso di pesticidi il cui accumulo nelle membrane può influire sull'effetto tossico risultante.

Un altro fattore ambientale in grado di contribuire a tale effetto è indubbiamente prodotto dalle emissioni del traffico veicolare.

Una considerazione a supporto di quanto detto si ottiene dal confronto dei valori di UT con i dati di particolato atmosferico misurati nel decennio '91-'99 dall'Amministrazione Provinciale di Messina (**Tab. 4.22**). I valori medi delle concentrazioni di particolato del decennio in esame si riferiscono all'inquinamento prodotto da tutte le fonti di emissione presenti nel territorio considerato (nove stazioni) e non soltanto dal polo industriale di Milazzo.

Tale confronto, anche se limitato a sole tre stazioni (Milazzo, Pace del Mela e Condrò) e svolto utilizzando i valori medi di UT ottenuti nelle due campagne di prelievo, indica che:

- la concentrazione più elevata di particolato atmosferico è stata rilevata a Milazzo (valore medio di due postazioni: 37 $\mu g/m^3$) dove si misura anche la tossicità media più alta (UT: 230);
- una concentrazione più bassa di particolato, rilevata nel Comune di Pace del Mela (valore medio di due postazioni: 29 $\mu g/m^3$) corrisponde ad una tossicità più bassa (UT: 152);
- l'eccezione rilevante è nuovamente rappresentata dal Comune di Condrò in cui, nonostante la concentrazione di particolato sia paragonabile a quella di altri Comuni, si rileva una tossicità molto bassa (UT: 5).

È probabile che questa ripetuta assenza di relazione tra particolato e tossicità sia ascrivibile, a sua volta, alla specificità di posizionamento delle centraline (particolato totale) e delle membrane SPMD (tossicità).

4.5 Valutazione della complessità delle Comunità batteriche in terreni agricoli non coltivati in cui sono stati riscontrati residui di IPA

Risultati sperimentali

I risultati della conta batterica e della valutazione del tipo morfologico di colonie sono riportati in **Tab. 4.32** .

I dati mostrano una variabilità del numero totale di batteri/g di terreno nei diversi terreni, con valori minimi di 10^3/g e massimi di 10^5/g.

L'osservazione del tipo morfologico delle colonie ha evidenziato differenze tra i vari terreni, che hanno presentato un minimo di 3 e un massimo di 10 tipi differenti.

Il numero più basso è indice della predominanza di poche specie, mentre il numero più elevato è indice di una maggiore biodiversità delle Comunità.

Tab. 4.32 Numero batteri/g di terreno e tipi di colonie

Località	N° batteri/g	Tipi di colonie
6	$9{,}60 \times 10^4$	4
6B	$3{,}1 \times 10^4$	10
14	$3{,}43 \times 10^4$	5
15	$4{,}63 \times 10^4$	5
Milazzo	$4{,}7 \times 10^4$	10
TOT	$6{,}0 \times 10^4$	5
18	$7{,}53 \times 10^4$	3
19	$3{,}4 \times 10^5$	3
20	$1{,}9 \times 10^6$	3
25	$8{,}23 \times 10^5$	3

I valori più elevati nel numero di batteri/g riscontrati in terreni sono corrispondenti alla predominanza di poche specie. Non sono state riscontrate concentrazioni tra numero e tipo di colonie e concentrazione di contaminanti.

I risultati dei dati di metabolismo microbico misurato con le piastre BIOLOG sono riportati in **Tab. 4.33**.

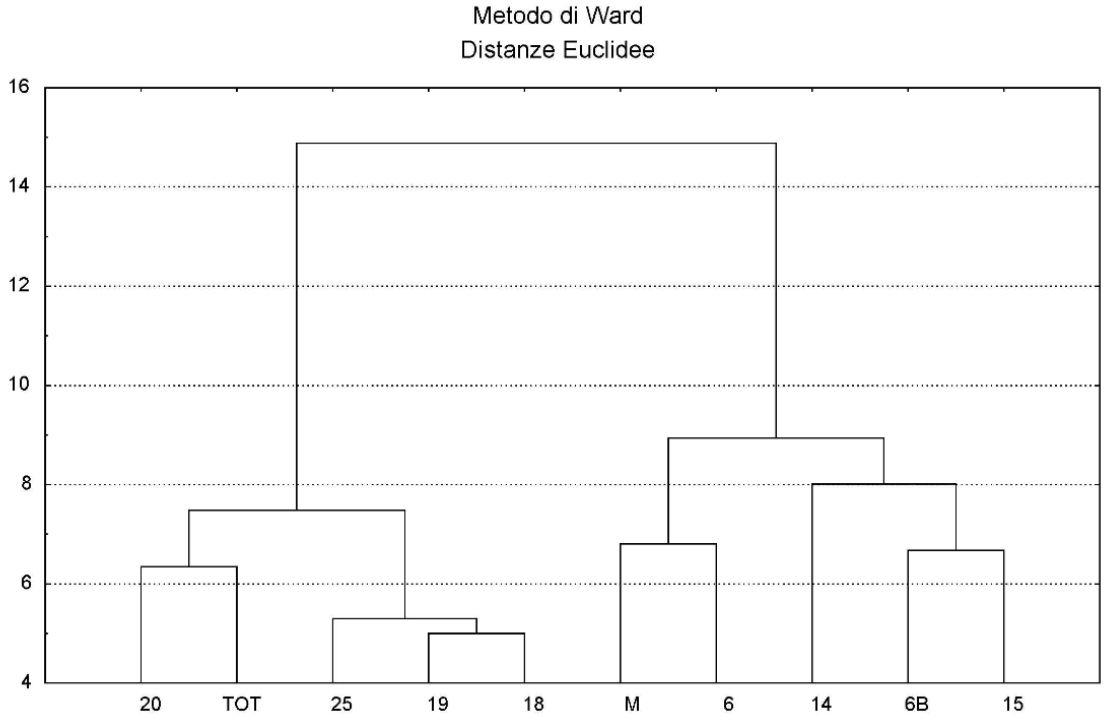
METABOLISMO MICROBICO (Media di 3 repliche, Abs. O.D. 595 nm)																
		SUBSTRATO														
	Controllo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
località																
15	0,42	1,96	1,99	1,76	1,43	1,41	2,03	1,89	1,66	0,54	0,40	1,77	1,54	2,37	1,26	2,08
18	0,44	1,77	1,74	1,88	1,58	2,30	2,05	2,39	1,92	1,17	0,37	1,59	1,92	2,39	0,83	2,05
25	0,43	1,70	1,48	2,10	1,75	2,39	2,05	2,34	2,21	1,41	0,86	1,21	2,10	2,24	1,97	2,10
6	0,50	1,78	1,50	1,52	1,73	1,36	1,73	1,78	1,76	0,90	0,49	1,18	1,59	2,41	1,73	1,50
6B	0,49	1,86	1,90	0,78	1,71	1,88	2,16	2,11	1,80	0,62	0,59	0,85	2,13	2,53	0,48	1,77
M3	0,43	1,15	1,76	1,73	1,40	1,05	1,88	2,13	1,60	1,08	0,39	0,62	1,37	1,87	0,91	1,64
TOT	0,57	2,06	1,95	2,08	1,98	2,32	2,20	2,25	2,16	1,16	0,40	2,15	2,24	2,33	0,59	2,14
14	0,33	1,81	1,57	1,90	1,92	2,14	1,90	2,28	2,13	0,66	0,31	0,56	2,04	2,44	2,07	1,96
19	0,41	1,71	1,64	1,67	1,77	2,43	2,21	2,17	2,07	1,12	0,61	1,78	2,20	2,42	1,69	2,17
20	0,41	1,92	1,99	1,85	1,95	2,41	2,00	2,16	2,17	1,27	0,36	2,04	2,36	2,41	1,56	2,13

	SUBSTRATO															
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
località																
15	1,53	2,05	1,26	0,76	1,58	1,55	0,54	0,82	2,21	1,24	0,39	0,69	2,10	0,62	0,73	1,41
18	1,97	2,28	1,74	0,64	1,42	1,26	0,92	0,88	2,25	1,50	0,44	2,16	1,96	0,55	0,85	1,42
25	2,29	2,11	1,95	0,66	1,03	1,80	2,05	0,76	2,29	1,38	0,49	1,95	1,78	0,60	1,11	1,45
6	1,17	1,73	1,31	0,63	1,08	1,25	1,55	0,73	1,69	1,17	0,51	1,08	0,92	0,55	1,38	1,32
6B	1,90	2,34	0,66	0,52	0,64	0,94	0,61	0,89	2,34	1,58	0,47	0,41	1,06	0,71	0,76	1,12
M3	1,53	1,50	0,88	0,47	1,03	1,37	0,48	0,62	1,90	0,79	0,40	0,45	0,90	0,52	0,68	1,19
TOT	2,23	2,27	2,24	0,68	1,30	1,62	1,06	1,36	2,29	1,55	0,42	2,21	1,72	0,77	0,88	1,00
14	0,97	2,25	2,00	0,44	0,43	1,56	1,47	0,76	2,26	1,28	0,32	1,87	0,90	0,48	0,87	1,25
19	2,25	2,28	1,82	0,80	2,15	1,16	2,14	0,99	2,31	1,69	0,46	2,22	1,48	0,65	1,39	1,12
20	2,38	2,23	2,28	305,51	2,17	2,20	2,25	0,97	2,31	1,88	0,38	2,25	2,25	0,64	1,60	1,25

Tab. 4.33

Su tali data è stata effettuata analisi cluster col Metodo Statistico Ward, per evidenziare le similarità tra i veri terreni. **Tab. 4.34** mostra il dendrogramma ottenuto dall'analisi cluster.

Tab. 4.34 Analisi cluster dei risultati del metabolismo microbico di 10 terreni (ascisse)



I terreni hanno presentato alcuni raggruppamenti (cluster) che sono indice di biodiversità microbica. Tali cluster possono essere messi in relazione alle concentrazioni di alcuni contaminanti riscontrate con metodi gas-cromatografici come indicato:

CLUSTERS METABOLISMO MICROBICO	Concentrazioni IPA
Cluster 1: Campioni 18 e 19	Elevate per alcuni IPA
Cluster 2: Campioni Milazzo e 6	Molto elevate per pirene
Cluster 3: Campioni 6B e 15	Basse in generale, elevato 1 IPA
Cluster 4: Campioni 20 e TOT	Basse per IPA

Il terreno 14 risulta correlato al gruppo 6B-15 e il 25 al gruppo 18-19.

Si riscontrano piena correlazione con la concentrazione stimata di particolato al suolo (**Fig. 4.14**), per il Cluster 1, formato dai campioni 18 e 19 entrambi in zone con concentrazioni stimate di 10-15 $\mu g/m^2$. anno.

Una correlazione si potrebbe evidenziare per il cluster dei campioni 6B-15, situati in zone caratterizzate da alte concentrazioni (15-20 $\mu g/m^2$. anno) l'uno, e al limite inferiore della zona medio alta (20-40 $\mu g/m^2 \cdot$ anno) l'altro.

I campioni del cluster 6- Milazzo si trovano rispettivamente in zone di alta e medio-alta concentrazione di particolato. Si nota, comunque, che il campione Milazzo, pur avendo concentrazioni stimata di particolato medio-alta, presenta elevate concentrazioni di antracene e pirene, probabilmente di altra origine, in analogia al campione 6.

Conclusioni

È stata individuata variabilità nel numero batteri/grammo e tipi di colonie presenti nei diversi terreni. Tali variazioni sono indipendenti dalle concentrazioni nel terreno di IPA.

Sono stati individuati gruppi di terreni in base alle variazioni nel metabolismo complessivo delle Comunità batteriche. Tali variazioni sono indice di diversità ed hanno corrisposto in alcuni casi a variazioni registrate nelle concentrazioni di IPA ed alla concentrazione stimata di particolato al suolo.

4.6 Valutazione dell'impatto di contaminanti sulla composizione delle Comunità batteriche in relazione alla presenza di colture

Risultati sperimentali

In **Fig. 4.19** si riporta il grafico ottenuto dall'analisi del metabolismo di 31 substrati da parte delle Comunità microbiche nel terreno, dopo 21 giorni dal trapianto di pomodoro.

I valori di metabolismo per i singoli substrati corrispondono alla complessità delle Comunità.

Tali misure sono state eseguite su tre repliche diverse per ogni trattamento producendo risultati simili.

Il terreno con piante presenta valori significativamente più elevati rispetto al terreno controllo non coltivato, per tutti i 31 parametri analizzati.

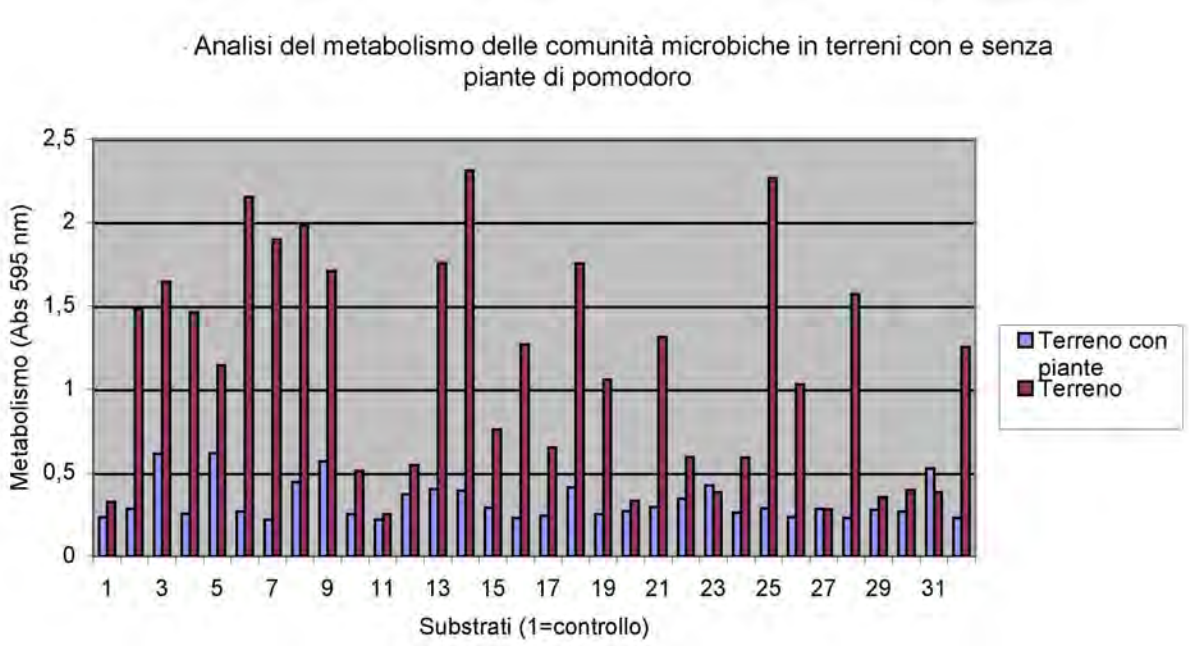


Fig. 4.19

Valutazione dei risultati

La presenza di piante influisce significativamente sulla composizione delle Comunità batteriche nel terreno (biodiversità).

Gli elevati valori di metabolismo dei singoli substrati riscontrati nei terreni coltivati sono indice di un maggior numero di specie ed individui.

Nei terreni coltivati, inoltre, è stata riscontrata una significativa diminuzione della concentrazione di alcuni IPA rispetto al controllo non coltivato. Tale diminuzione può essere messa in relazione alla diversità e capacità metaboliche riscontrata nelle Comunità microbiche della rizosfera, rispetto al terreno non coltivato.

4.7 Conclusioni

L'analisi dei dati delle **concentrazioni di SO_2**, rilevate mediante campionatori passivi nel periodo maggio-ottobre 2001, evidenzia valori piuttosto variabili tra i siti oggetto di indagine.

Considerando, inoltre, la media delle concentrazioni misurate si osserva una distribuzione spaziale di questo inquinante ben definita, con i valori più alti compresi nella fascia Sud dell'area di studio. Infatti soltanto le stazioni di Torregrotta, S. Pier Niceto, Milazzo e Salina (Isola di Malfa) situate nelle vicinanze della costa, mostrano valori medi inferiori a 20 $\mu g/m^3$**,** che è il limite per la protezione degli ecosistemi indicato nella Direttiva 1999/30/CE del 19 luglio 2001. Le stazioni di S. Filippo del Mela e di Merì, che si trovano molto vicine tra loro, presentano, invece, picchi di concentrazione compresi tra 77-88 $\mu g/m^3$.

Relativamente ai dati sperimentali di **concentrazione di O_3**, i valori ottenuti superano abbondantemente il limite per la protezione della vegetazione, previsto dal D. M. del 15.06.'96, che è di 65 $\mu g/m^3$. Le concentrazioni più elevate sono state registrate nel primo e nel secondo campionamento (maggio-giugno e giugno-luglio), effettuati entrambi nel periodo dell'anno caratterizzato dalla durata del giorno più lunga. Dall'analisi dei valori della media dei cinque campionamenti si osserva, inoltre, una distribuzione spaziale di O_3 ben definita, con i valori più alti (140-180 $\mu g/m^3$) riscontrati nella parte Sud-Ovest dell'area di studio.

I Comuni nei quali si valutano **gli effetti** più rilevanti **sulle rese agricole causati dalle concentrazioni misurate di SO_2**, in parte attribuibili alle emissioni della raffineria e della centrale termoelettrica, sono Merì e S. Filippo del Mela. Nel primo, infatti, si stima un calo di resa per gli agrumi del 10% e un calo di assimilazione fotosintetica nell'olivo, che comunque non è un parametro traducibile direttamente in calo di produzione, del 6%. Nel secondo, invece, si stimano cali piuttosto consistenti negli agrumi (-9%) e nella patata (-16%) ed una diminuzione dell'assimilazione fotosintetica del 5% nell'olivo.

Negli altri Comuni si osservano dimensioni più contenute delle perdite di raccolto dovute all'SO_2 e, ad esempio: cali di resa del 5% circa negli agrumi e del 6-8% nella patata sono valutati per i Comuni di Monforte S. Giorgio e S. Lucia del Mela; a Terme Vigliatore si stima un calo di resa per gli agrumi del 5%, mentre a Barcellona ed a Castroreale si valutano solo cali di resa del 4-5% per la patata e del 4% per il frumento. A Milazzo ed a Condrò, infine si valuta solo una diminuzione della resa della patata del 3-5%, mentre a Malfa ed a Torregrotta non dovrebbero sussistere rischi di perdita per il raccolto, perché le concentrazioni medie di SO_2 sono al di sotto dei valori di rischio calcolabili dalle funzioni dose-risposta.

Ben più consistenti sono **gli effetti prodotti sulle rese agricole dalle concentrazioni di O_3** misurate nel territorio studiato ed in quasi tutti i Comuni le perdite di raccolto valutabili sono elevate. A tal proposito si ricorda che il periodo di monitoraggio chimico prescelto è il più critico per lo sviluppo di O_3 sia per le condizioni di insolazione e di temperatura, sia perché nello stesso periodo si assommano nel territorio alle emissioni della raffineria e della Centrale termoelettrica quelle causate dal maggior traffico automobilistico associato al turismo.

I Comuni che sono più colpiti dall'O_3 per quanto attiene le colture sono: Merì, Milazzo, S. Filippo del Mela, Castroreale, S. Pier Niceto e S. Lucia del Mela. Cali di resa leggermente più bassi si riscontrano a Barcellona P.G, Gualtieri Sicaminò, Monforte S. Giorgio, Pace del Mela, Terme Vigliatore e Torregrotta.

I valori più elevati nelle stime dei cali di resa sono quelli per il frumento (-40% a Castroreale, - 37% a S. Lucia del Mela e -30% a Barcellona P.G.), ai quali seguono i cali di resa negli agrumi (-35% a Merì, -30% a Milazzo, -28% a S. Filippo del Mela, -25% a Castroreale ed a Terme Vigliatore, -24% a S. Lucia del Mela).

Anche la patata, specie che risulta sensibile all'O_3, appare discretamente investita dall'effetto sulla produttività. I Comuni nei quali esistono effetti più rilevanti per questa coltura sono: Milazzo, S. Filippo del Mela, Castroreale, S. Pier Niceto e S. Lucia del Mela.

Per quanto riguarda la determinazione sperimentale di residui di **elementi tossici nei suoli**, non si rilevano differenze sostanziali nella composizione di campioni prelevati in siti diversi relativamente agli elementi considerati e non si evidenziano correlazioni particolarmente significative tra il contenuto dei vari elementi.

Le concentrazioni degli elementi tossici misurate sperimentalmente, paragonate con i valori di concentrazione limite accettabili previsti nell'Allegato 1 del DM n.471 del 25 ottobre 1999 per siti destinabili ad uso verde pubblico, privato e residenziale, mostrano tutte valori al di sotto dei limiti previsti, tranne per quanto riguarda il vanadio, che li supera in quasi tutti i campioni analizzati. Inoltre i contenuti sperimentali di cadmio, piombo e nichel, confrontati con il tenore degli stessi in terreni agricoli italiani non inquinati, confermano ulteriormente il basso contenuto dei contaminanti considerati nei suoli presi in esame.

Relativamente agli IPA, le concentrazioni misurate di pirene ed antracene mostrano nei Comuni di S. Lucia del Mela, Torregrotta e Terme Vigliatore valori per il pirene compresi tra 10-50 μg/g che definiscono i suoli analizzati, secondo l'All.1 del DM 471/99 sopra citato, "siti ad uso commerciale ed industriale", mentre le analisi degli stessi composti effettuate nei Comuni di S. Pier Niceto, S. Filippo del Mela, Merì, Barcellona (S. Paolo) e Milazzo consentono di definire questi suoli "siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale", perché le concentrazioni di pirene sono al di sotto di 5μg/g.

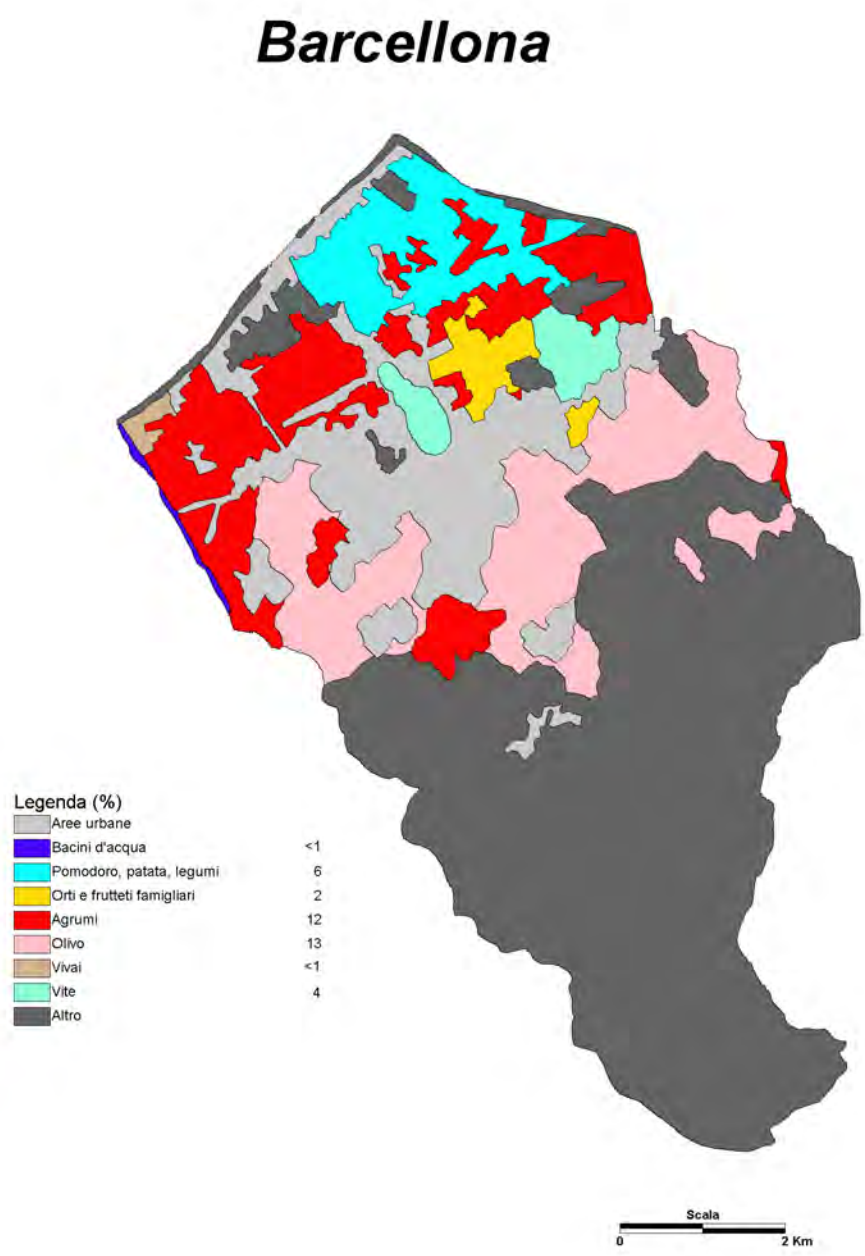
Per quanto riguarda i **residui di elementi potenzialmente tossici nei prodotti ortofrutticoli**, non si misurano in arance, limoni, olive ed orticole concentrazioni più elevate nei siti che dovrebbero risultare più inquinati a causa delle deposizioni delle sorgenti puntiformi (Centrale Termoelettrica, Raffineria e Cementifici) valutate dal modello.

Allo scopo di approfondire alcuni aspetti relativi alla qualità dei prodotti agricoli considerati e di valutare i possibili effetti derivanti alla salute umana dall'ingestione degli elementi in traccia in essi contenuti, si è fatto riferimento alla normativa vigente in materia e si è cercato di tradurre i dati ottenuti sperimentalmente in termini di rischio per il consumatore.

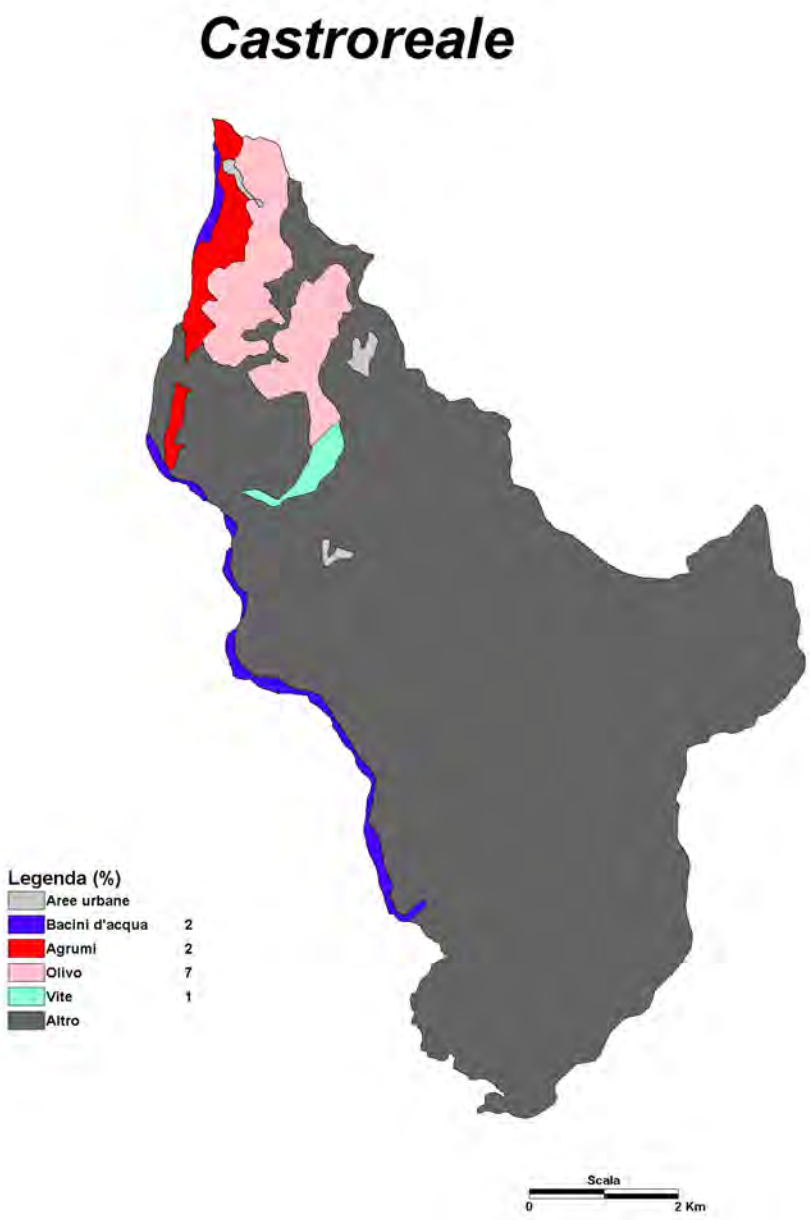
Si è ritenuto necessario, perciò, considerare il Regolamento (CE) N. 466/2001 della Commissione delle Comunità Europee (entrato in vigore il 5 aprile 2002), che definisce i tenori massimi di alcuni contaminanti (tra i quali il Pb ed il Cd) nei prodotti alimentari e si è evidenziato che i prodotti analizzati presentano per lo più concentrazioni di Pb e Cd notevolmente inferiori a quelli previsti dalla normativa.

Inoltre i rapporti percentuali - fra la dose di ogni elemento ingerita giornalmente con la dieta ed i rispettivi limiti di tossicità - che sono stati ottenuti permettono di valutare accettabile la qualità dei prodotti agroalimentari considerati in quanto i residui degli elementi tossici esaminati sono al di sotto della soglia di rischio per il consumatore.

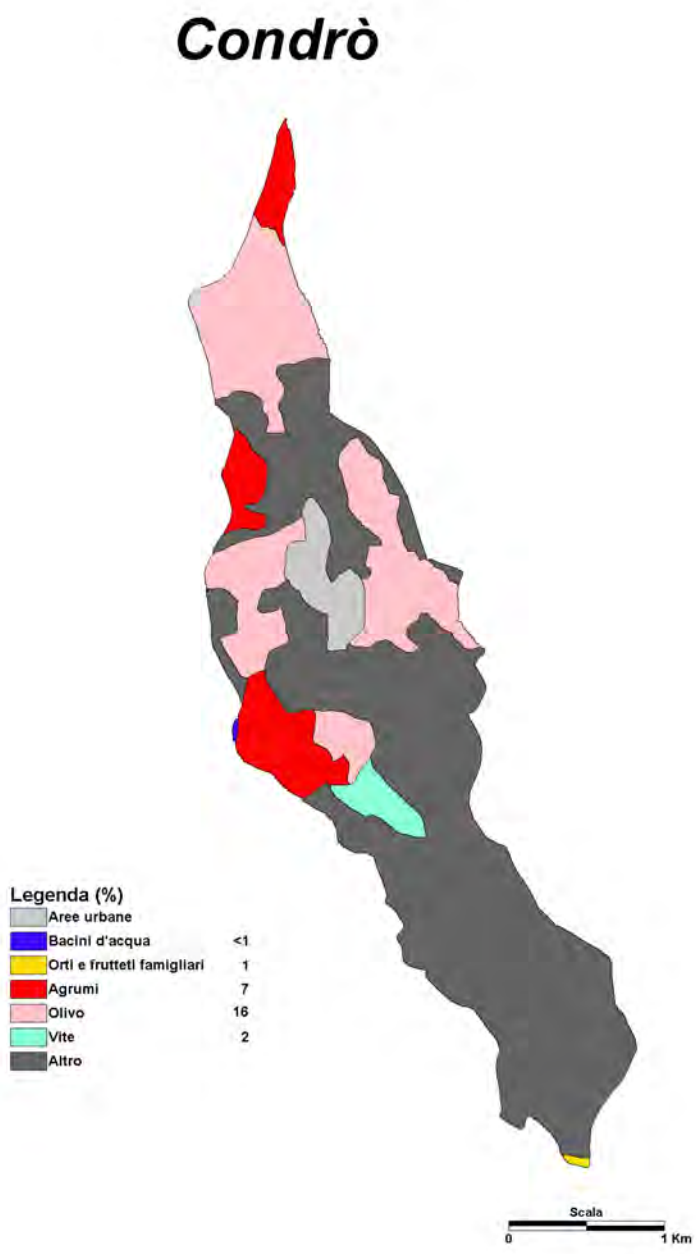
All. 4.1


Barcellona
Legenda (%)
Aree urbane
Bacini d'acqua <1
Pomodoro, patata, legumi 6
Orti e frutteti famigliari 2
Agrumi 12
Olivo 13
Vivai <1
Vite 4
Altro
Scala
0
2 Km

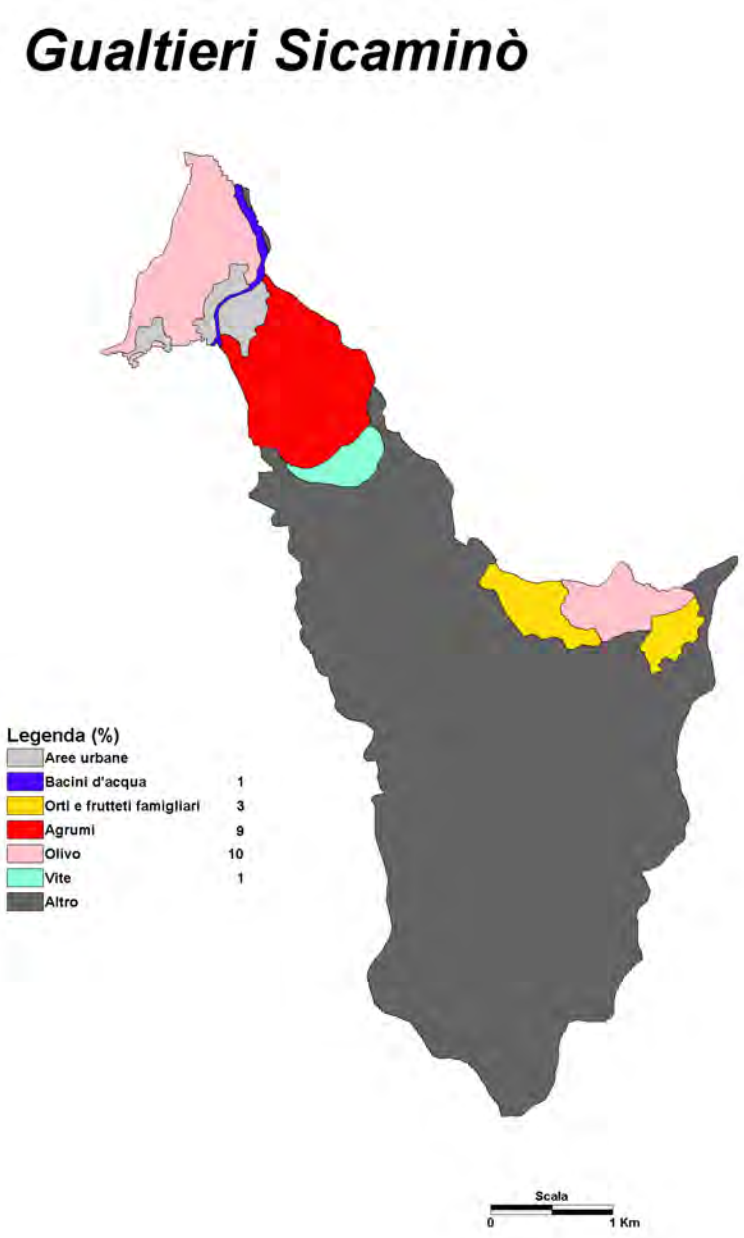
All. 4.2


Castroreale
Legenda (%)
Aree urbane
Bacini d'acqua 2
Agrumi 2
Olivo 7
Vite 1
Altro
Scala
0
2 Km

All. 4.3

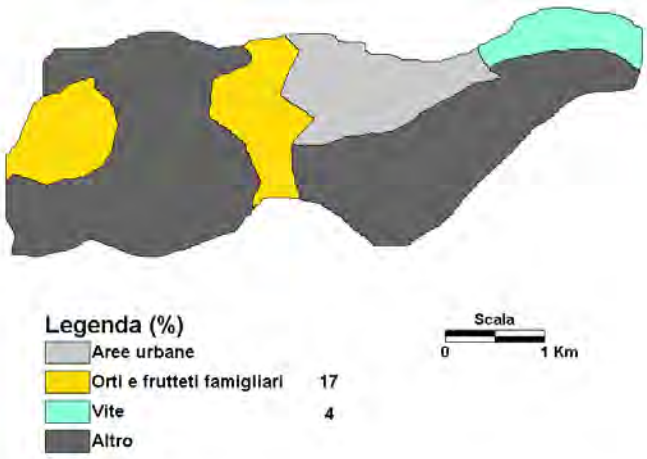

Condrò
Legenda (%)
Aree urbane
Bacini d'acqua <1
Orti e frutteti famigliari 1
Agrumi 7
Olivo 16
Vite 2
Altro
Scala
0
1 Km

All. 4.4

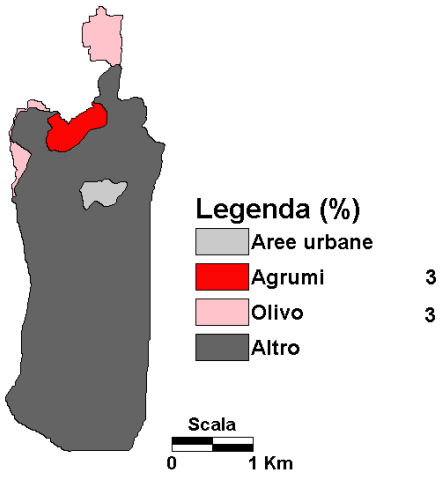

Gualtieri Sicaminò
Legenda (%)
Aree urbane
Bacini d'acqua 1
Orti e frutteti famigliari 3
Agrumi 9
Olivo 10
Vite 1
Altro
Scala
0
1 Km

All. 4.5

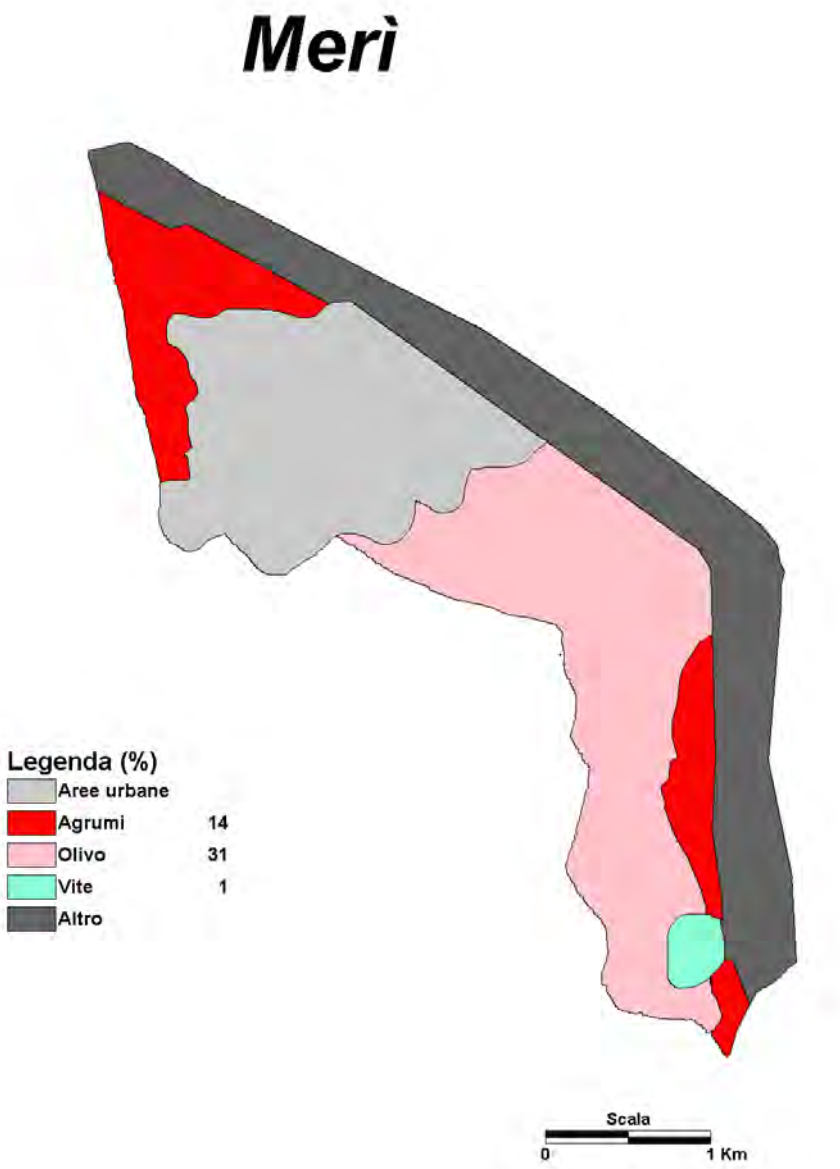
Malfa



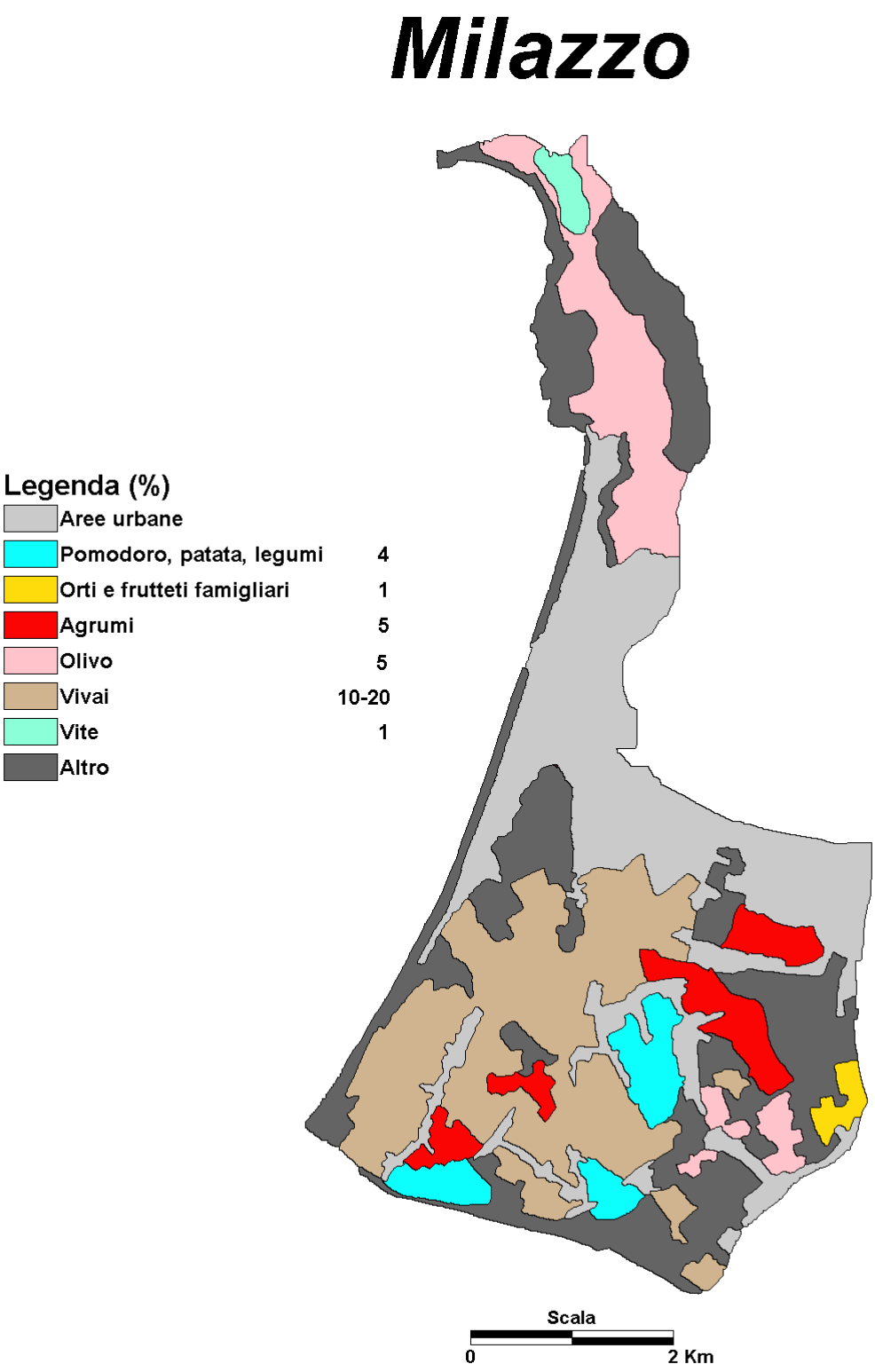
Mazzarrà S.Andrea



All. 4.6

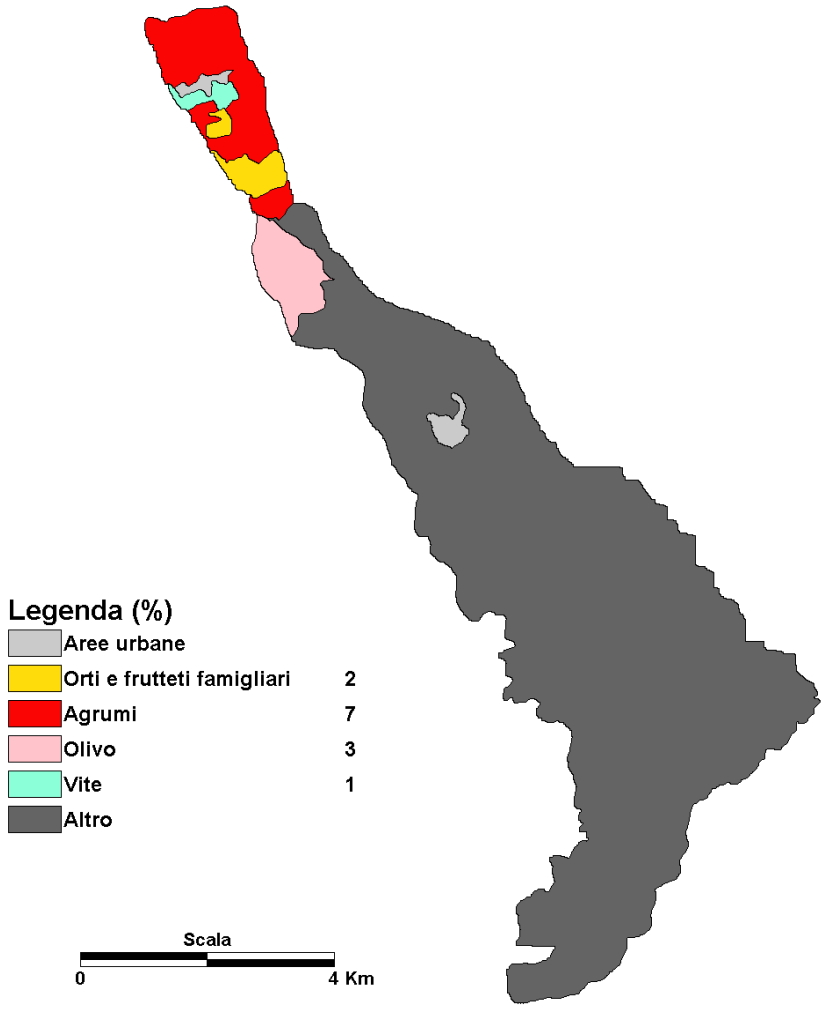

Merì
Legenda (%)
Aree urbane
Agrumi 14
Olivo 31
Vite 1
Altro
Scala
0
1 Km

All. 4.7


Milazzo
Legenda (%)
Aree urbane
Pomodoro, patata, legumi 4
Orti e frutteti famigliari 1
Agrumi 5
Olivo 5
Vivai 10-20
Vite 1
Altro
Scala
0
2 Km

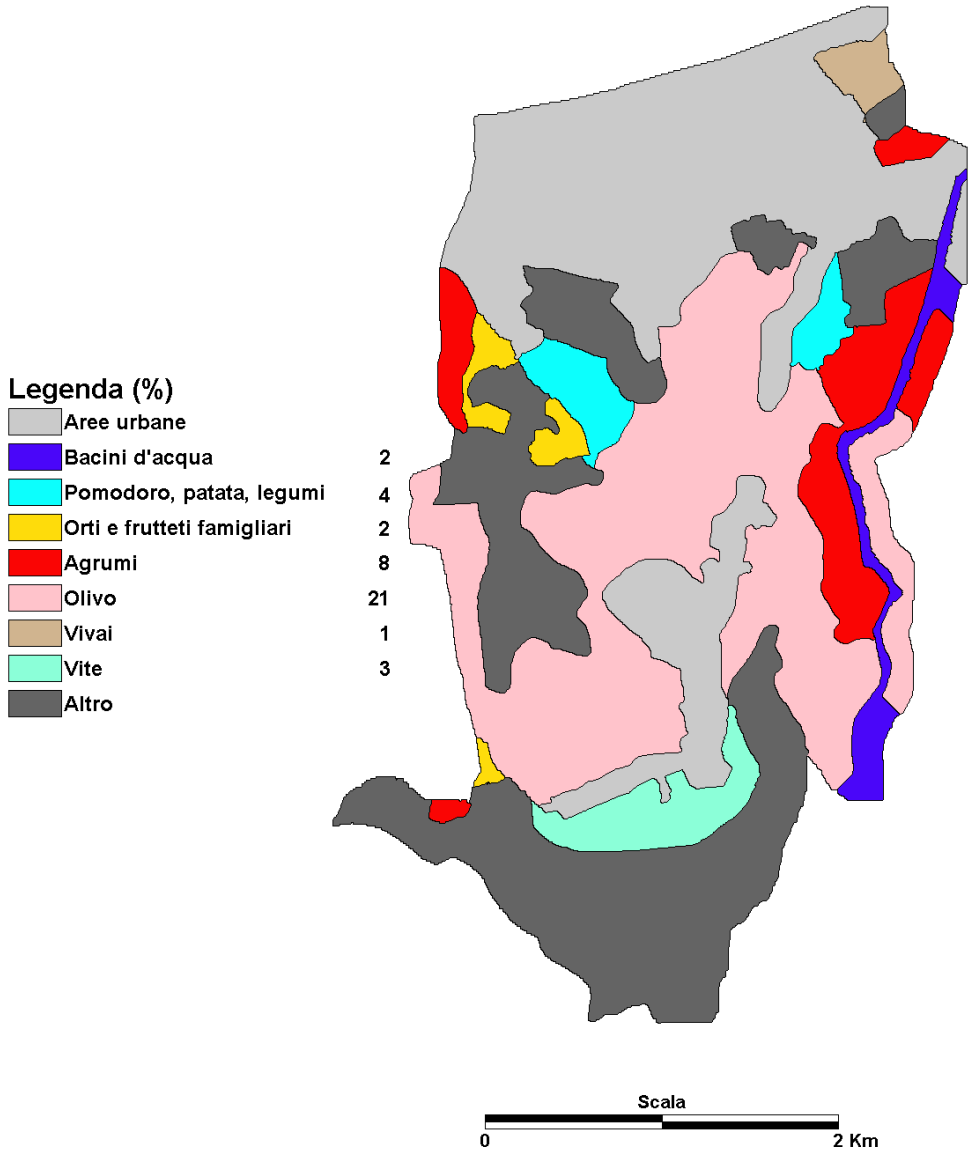
All. 4.8

Monforte S.Giorgio

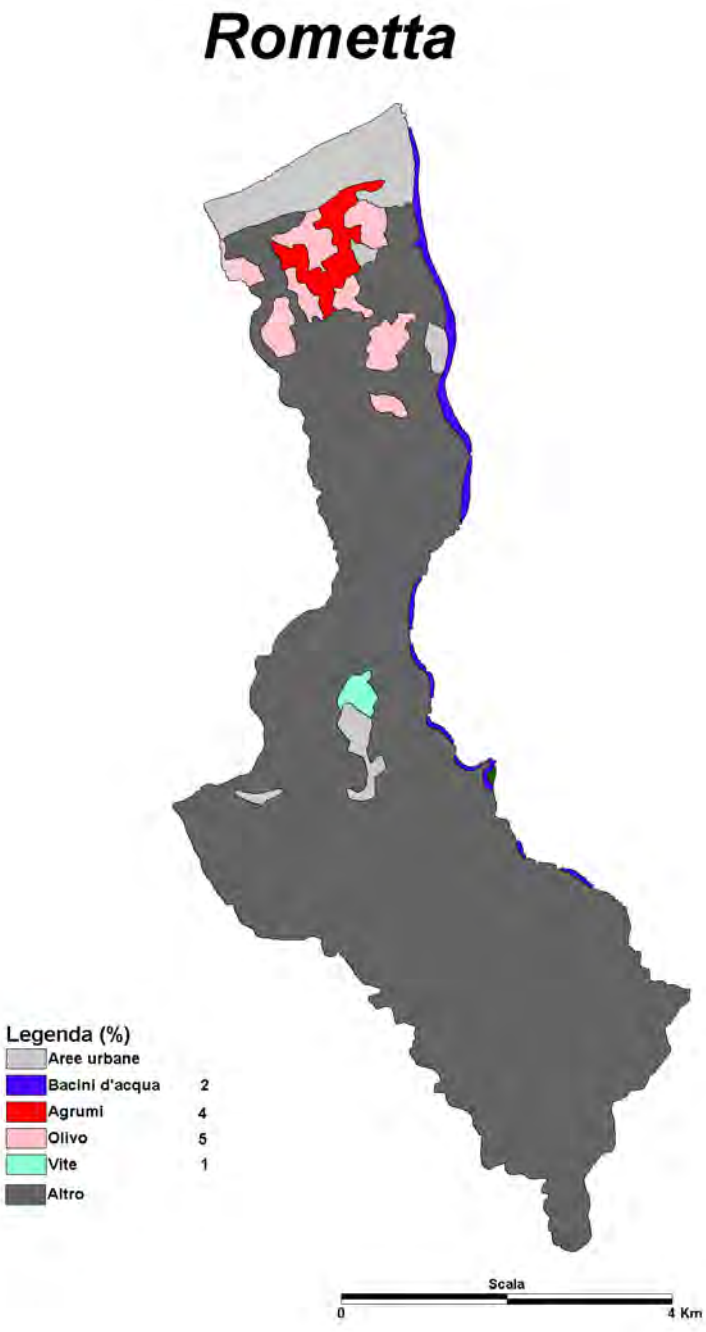


All. 4.9

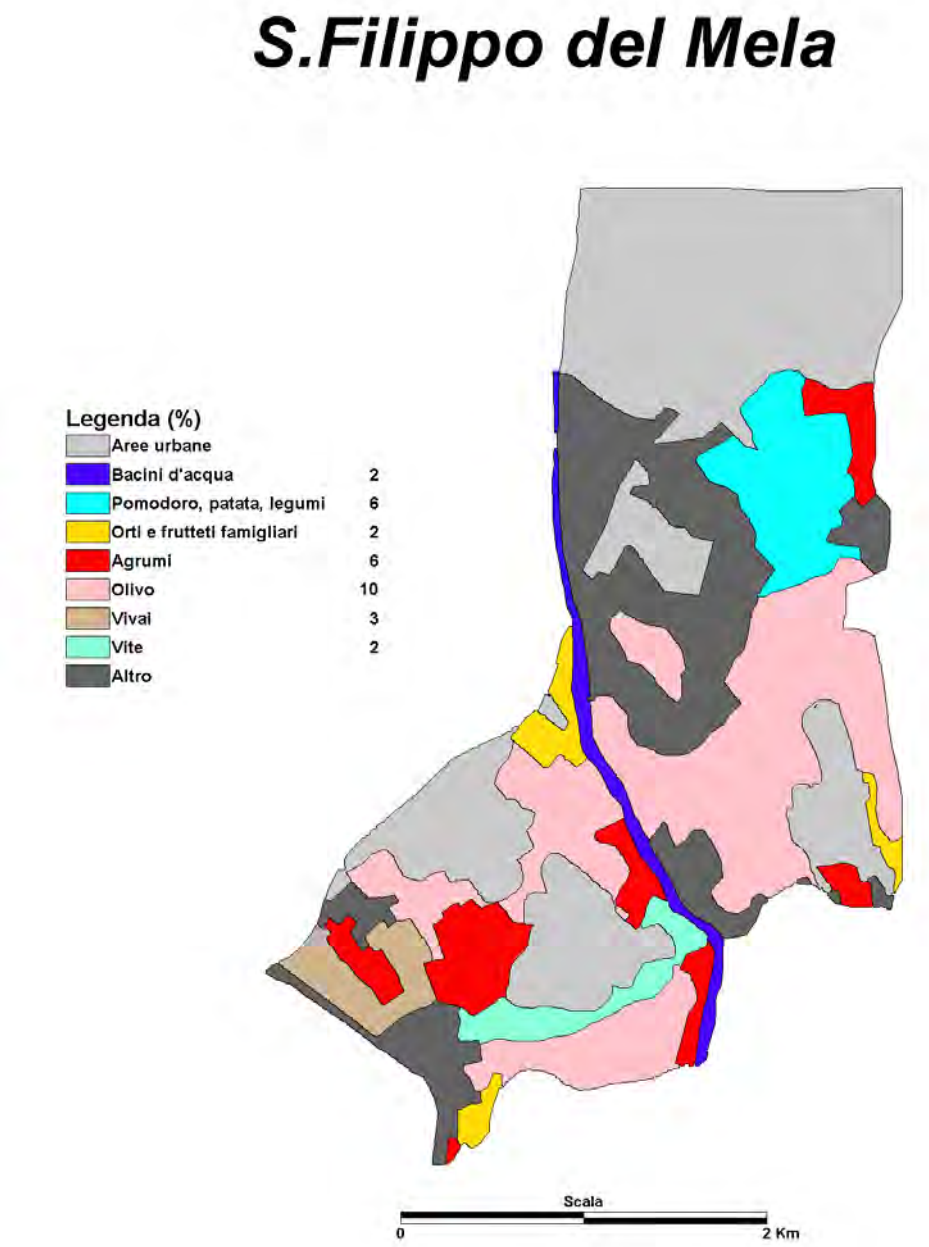
Pace del Mela



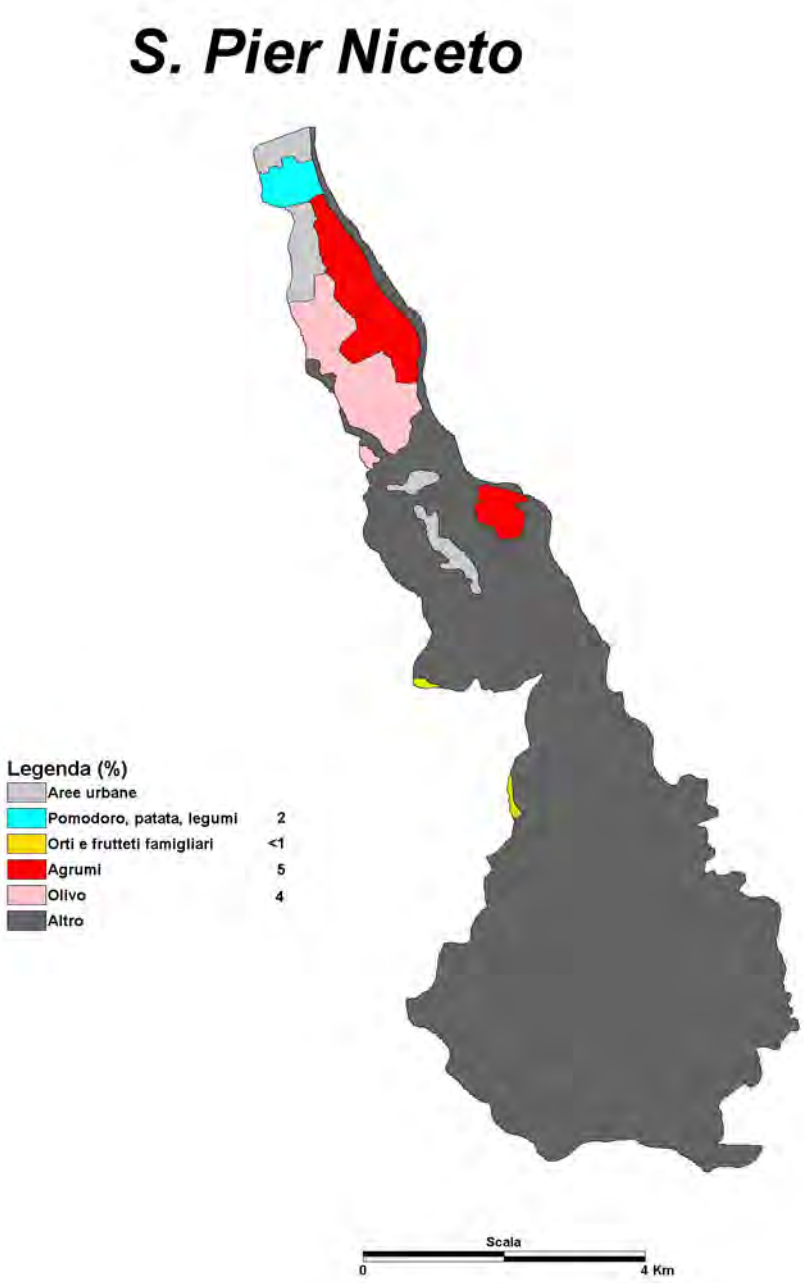
All. 4.10


Rometta
Legenda (%)
Aree urbane
Bacini d'acqua 2
Agrumi 4
Olivo 5
Vite 1
Altro
Scala
0
4 Km

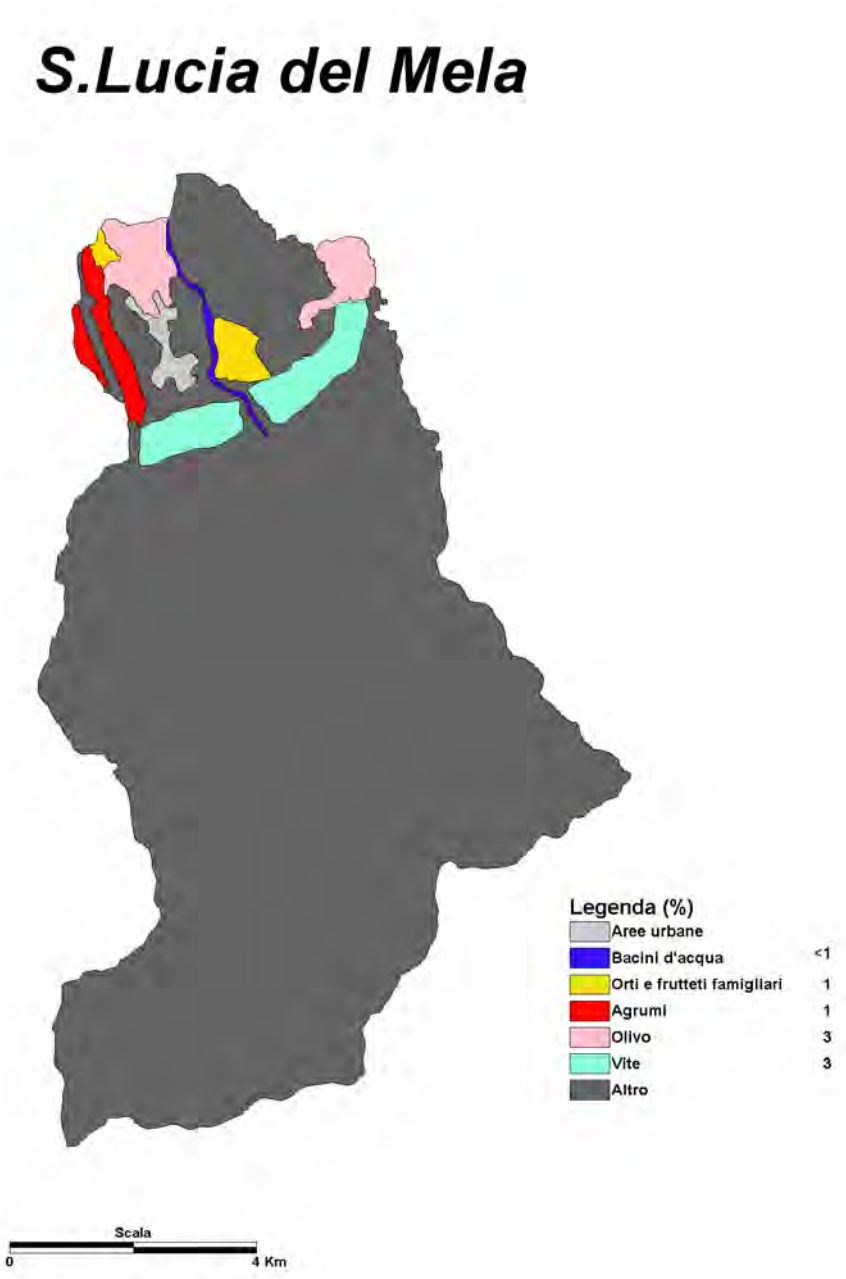
All. 4.11


S.Filippo del Mela
Legenda (%)
Aree urbane
Bacini d'acqua 2
Pomodoro, patata, legumi 6
Orti e frutteti famigliari 2
Agrumi 6
Olivo 10
Vivai 3
Vite 2
Altro
Scala
0
2 Km

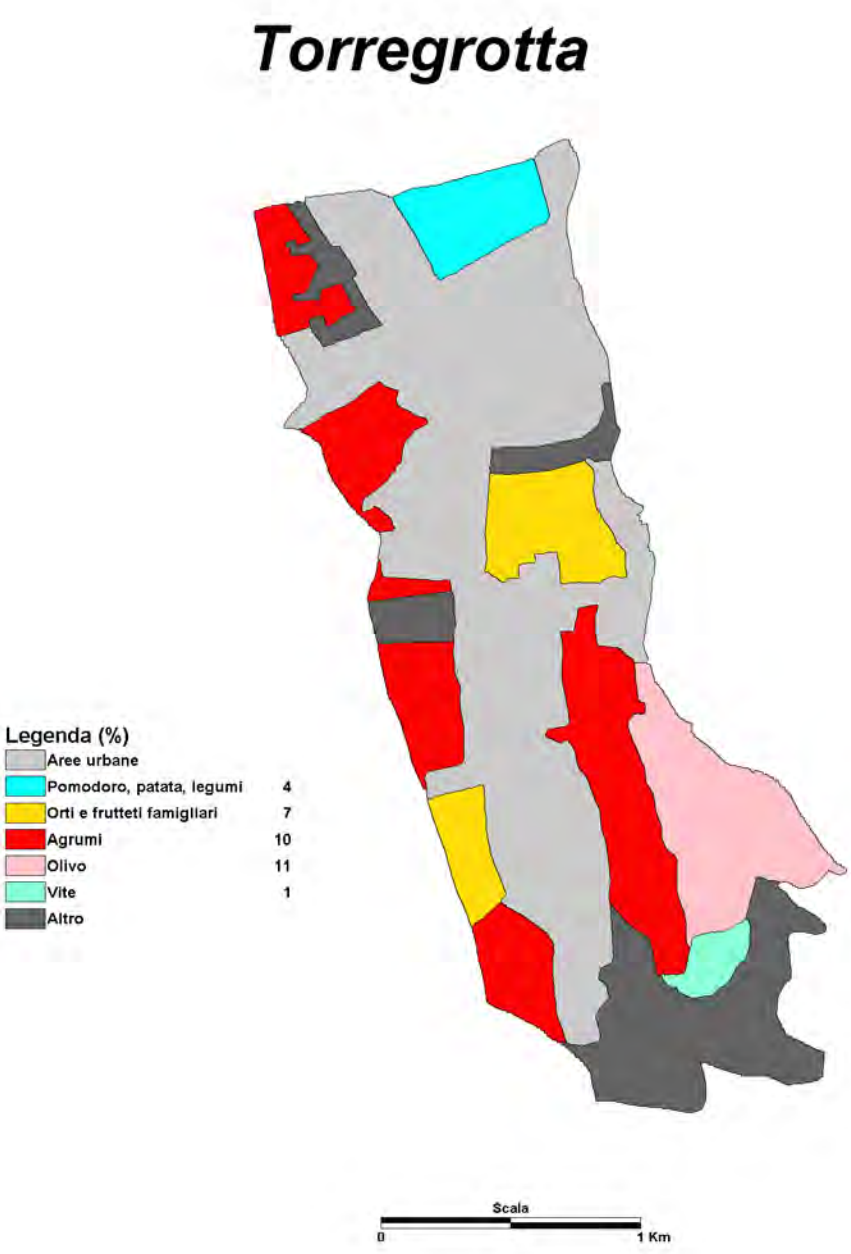
All. 4.12


S. Pier Niceto
Legenda (%)
Aree urbane
Pomodoro, patata, legumi 2
Orti e frutteti famigliari <1
Agrumi 5
Olivo 4
Altro
Scala
0
4 Km

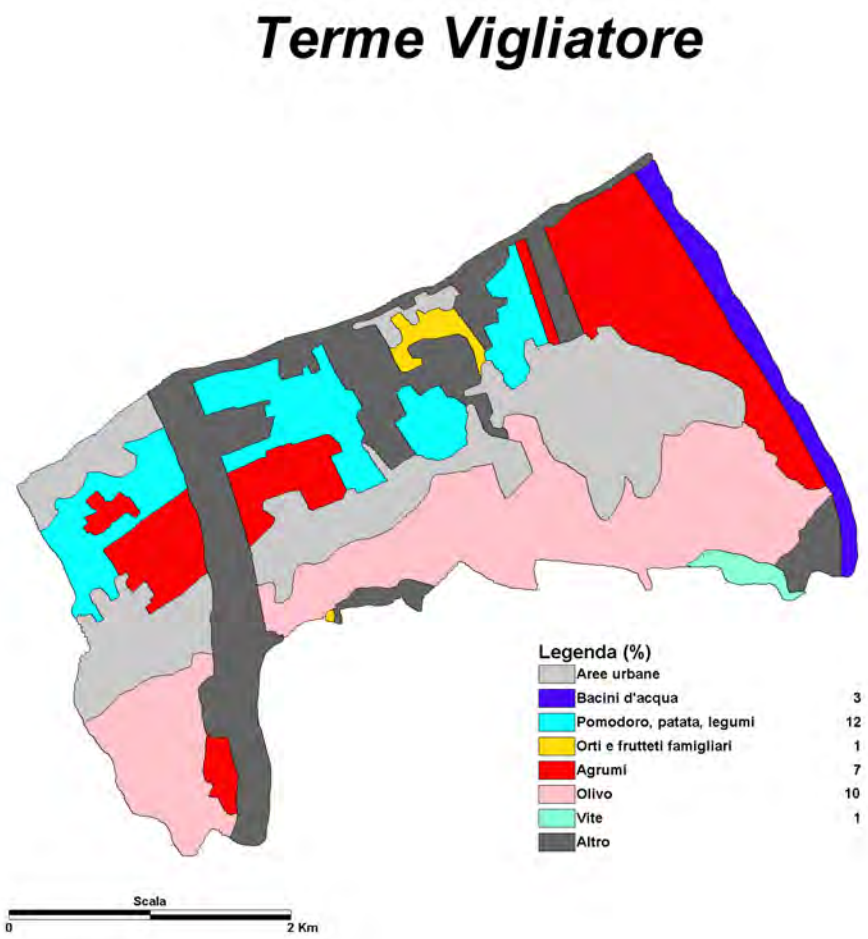
All. 4.13


S.Lucia del Mela
Legenda (%)
Aree urbane
Bacini d'acqua <1
Orti e frutteti famigliari 1
Agrumi 1
Olivo 3
Vite 3
Altro
Scala
0
4 Km

All. 4.14


Torregrotta
Legenda (%)
Aree urbane
Pomodoro, patata, legumi 4
Orti e frutteti famigliari 7
Agrumi 10
Olivo 11
Vite 1
Altro
Scala
0
1 Km

All. 4.15


Terme Vigliatore
Legenda (%)
Aree urbane
Bacini d'acqua 3
Pomodoro, patata, legumi 12
Orti e frutteti famigliari 1
Agrumi 7
Olivo 10
Vite 1
Altro
Scala
0
2 Km

All. 4.16

BARCELLONA

Colture	Cali di resa (%)	
	causati da SO_2	causati da O_3
Agrumi	0	18
Vite	0	10
Olivo*	1	20
Pomodoro	0	11
Frumento	4	30
Patata	4	17[1)] 18[2)]
Leguminose	0	12,5
Bosco	-	~10
Prati-pascoli	0	9[3)] 15[4)]

CASTROREALE

Colture	Cali di resa (%)	
	causati da SO_2	causati da O_3
Agrumi	0	25
Vite	0	13
Olivo*	2	27
Pomodoro	-	-
Frumento	4	40
Patata	5	23[1)] 25[2)]
Leguminose	0	15,2
Bosco	-	~18
Prati-pascoli	0	15[3)] 23[4)]

CONDRO'

Colture	Cali di resa (%)	
	causati da SO_2	causati da O_3
Agrumi	0	20
Vite	0	10
Olivo*	0	21
Pomodoro	0	11
Frumento	-	-
Patata	5	18[2)] 20[2)]
Leguminose	-	12,8
Bosco	-	-
Prati-pascoli		-

GUALTIERI SICAMINO'

Colture	Cali di resa (%)	
	causati da SO_2	causati da O_3
Agrumi	0	18
Vite	0	10
Olivo*	2	20
Pomodoro	0	-
Frumento	-	-
Patata	-	- -
Leguminose	-	-
Bosco	-	-
Prati-pascoli	0	9[3)] 15[4)]

*per questa coltura è stata considerata la diminuzione di attività fotosintetica

[1)] Pell, 1988

[2)] Centre for Ecology and Hydrology,2002

[3)] Nali et al., 2002

[4)] Sommerville, 1989

All. 4.17

MALFA (Isola di Salina)

Colture	Cali di resa (%)	
	causati da SO_2	causati da O_3
Agrumi	-	-
Vite	0	15
Olivo*	0	32
Pomodoro	-	-
Frumento	-	-
Patata	-	-
Leguminose	-	17,6
Bosco	-	-
Prati-pascoli	-	-

MERI'

Colture	Cali di resa (%)	
	causati da SO_2	causati da O_3
Agrumi	10	35
Vite	0	18
Olivo*	6	35
Pomodoro	-	-
Frumento	-	-
Patata	-	-
Leguminose	-	-
Bosco	-	-
Prati-pascoli	-	-

MILAZZO

Colture	Cali di resa (%)	
	causati da SO_2	causati da O_3
Agrumi	0	30
Vite	0	14
Olivo*	0	30
Pomodoro	0	17
Frumento	-	-
Patata	3	25[1)] 27[2)]
Leguminose	-	-
Bosco	-	-
Prati-pascoli	0	15[3)] 25[4)]

MONFORTE S. GIORGIO

Colture	Cali di resa (%)	
	causati da SO_2	causati da O_3
Agrumi	5	20
Vite	0	10
Olivo*	2	20
Pomodoro	0	11
Frumento	-	-
Patata	7	20[1)] 20[2)]
Leguminose	-	12,9
Bosco	-	~12
Prati-pascoli	0	11[3)] 16[4)]

N.B.: è stata usata la media delle concentrazioni rilevate nelle due stazioni.

*per questa coltura è stata considerata la diminuzione di attività fotosintetica

1) Pell, 1988

2) Centre for Ecology and Hydrology,2002

3) Nali et al., 2002

4) Sommerville, 1989

All. 4.18

PACE DEL MELA

Colture	Cali di resa (%) causati da SO_2	Cali di resa (%) causati da O_3
Agrumi	0	13
Vite	0	7
Olivo*	1	17
Pomodoro	0	7
Frumento	-	-
Patata	4	15[1)] 13[2)]
Leguminose	-	-
Bosco	-	-
Prati-pascoli	0	5[3)] 10[4)]

ROMETTA

Colture	Cali di resa (%) causati da SO_2	Cali di resa (%) causati da O_3
Agrumi	0	23
Vite	0	12
Olivo*	2	24
Pomodoro	0	13
Frumento	-	-
Patata	6	22,5[1)] 23[2)]
Leguminose	-	14,2
Bosco	-	~15
Prati-pascoli	0	11[3)] 20[4)]

S. FILIPPO DEL MELA

Colture	Cali di resa (%) causati da SO_2	Cali di resa (%) causati da O_3
Agrumi	9	28
Vite	0	13
Olivo*	5	28
Pomodoro	0	16
Frumento	-	-
Patata	16	24[1)] 25[2)]
Leguminose	-	-
Bosco	-	-
Prati-pascoli	-	14[3)] 25[4)]

SANTA LUCIA DEL MELA

Colture	Cali di resa (%) causati da SO_2	Cali di resa (%) causati da O_3
Agrumi	5	24
Vite	0	12
Olivo*	2,5	24
Pomodoro	0	13
Frumento	6	37
Patata	8	22[1)] 22[2)]
Leguminose	-	14,1
Bosco	-	~15
Prati-pascoli	0	11[3)] 20[4)]

*per questa coltura è stata considerata la diminuzione di attività fotosintetica

[1)] Pell, 1988

[2)] Centre for Ecology and Hydrology,2002

[3)] Nali et al., 2002

[4)] Sommerville, 1989

All. 4.19

S. PIER NICETO

Colture	Cali di resa (%)	
	causati da SO_2	causati da O_3
Agrumi	0	23
Vite	0	13
Olivo*	2	2
Pomodoro	0	13
Frumento	-	-
Patata	7	20[1)] 23[2)]
Leguminose	-	13,7
Bosco	-	~30
Prati-pascoli	0	14[3)] 19[4)]

N.B.: per calcolare gli effetti dell'O_3 su agrumi, pomodoro, e patata è stata considerata la concentrazione rilevata stazione 1 (123,8 µg/m^3); su agrumi, olivo,boschi, prati e pascoli quella rilevata nella stazione 18 (141,4 µg/m^3).

TERME VIGLIATORE

Colture	Cali di resa (%)	
	causati da SO_2	causati da O_3
Agrumi	5	25
Vite	0	13
Olivo*	2,5	26
Pomodoro	0	15
Frumento	-	-
Patata	-	-
Leguminose	-	-
Bosco	-	-
Prati-pascoli	0	- -

N.B.: è stata usata la media delle concentrazioni rilevate nelle stazioni 24 e 25.

TORREGROTTA

Colture	Cali di resa (%)	
	causati da SO_2	causati da O_3
Agrumi	0	19
Vite	0	10
Olivo*	0	20
Pomodoro	0	-
Frumento	-	-
Patata	0	18[1)] 18[2)]
Leguminose	-	-
Bosco	-	-
Prati-pascoli	-	-

*per questa coltura è stata considerata la diminuzione di attività fotosintetica

1) Pell, 1988

2) Centre for Ecology and Hydrology,2002

3) Nali et al., 2002

4) Sommerville, 1989

All. 4.20

Stazione di monitoraggio di SO_2 e di O_3

Ringraziamenti

Si ringraziano:

-la dr.ssa Francesca Intravaia dell'ARPA Sicilia per aver fornito dati sull'inquinamento atmosferico e sulle risorse agricole del territorio in studio;

-il sig. Domenico La Torre della Coldiretti di Barcellona P.G. per la collaborazione nella revisione delle mappe di uso del suolo;

-il dr. Massimo Iannetta del Gruppo BIOTEC-DES dell'ENEA, che ha fornito mappe di uso del suolo da telerilevamento del territorio;

-la dr.ssa Maria Rita Rapagnani della Sez. BIOTEC-SIC dell'ENEA, che ha definito da un punto di vista tossicologico alcuni degli Idrocarburi Policiclici Aromatici rinvenuti nel monitoraggio;

-il dr. Franco Barbera della Sez. BIOTEC-SIC dell'ENEA, che ha collaborato nella valutazione dell'esposizione del consumatore a composti xenobiotici;

-la sig.ra Giulia Minelli per il supporto amministrativo.

Bibliografia

- Centre for Ecology and Hydrology (Natural Environment Research Council), 2002. Economic Assessment of Crop Yield Losses from Ozone Exposure. Contract EPG 1/3/170: The UNECE International Cooperative Programme on Vegetation. April 2002.
- Ferraresi A., Corticelli C., 2002. Cosa sono i metalli pesanti che si "nascondono" nel cibo. Agricoltura, n.6, giugno 2002.
- Fuhrer J., Skarby L., Ashmore M.R., 1997. Critical Levels for Ozone Effects on Vegetation in Europe. Environmental Pollution, 97, No 1-2, 91-106.
- Fumagalli I., Ambrogi R., Mignanego L., 2001.Yield responses of plants exposed to ambient ozone in the river Po Valley (Italy).Agronomie 21, 227-233.
- ISTAT, 2000. 5° Censimento Generale dell'Agricoltura.
- Nali C., Pucciariello, C., Lorenzini G., 2002. Ozone distribution in central Italy and its effects on crop productivity. Agriculture, Ecosystems and Environment 90, 277-289,
- Pell E. J., Pearson N.S., Vinten-Johansen C., 1988. Qualitative and Quantitative Effects of Ozone and/or Sulfur dioxide on Field-grown Potato Plants. Environ. Pollut. 53, 171-186.
- Pinchera G. C., Bocola W., Cirillo M. C., Martinella M., Triolo L., 1984. An assessment of the environmental effects of energy systems, with emphasis on oil. Environment International, vol.10, 395-417.
- Sommerville M.C., Spruill S.E., Rawlings J.O., Lesser v.M., 1989. NCARS Techn.Bull., 292-190.
- Turrini A., Saba A., Perrone D., Cialfa E., D'Amicis A., 2001. Food consumption patterns in Italy: the INN-CA Study 1994-1996. European Journal of Clinical Nutrition, 55, 571-588.
- WHO, 1996. Trace elements in human nutrition and health.

CAPITOLO V

Caratterizzazione dello stato di salute delle popolazioni residenti nei Comuni dell'area contigua al polo industriale di Milazzo

R. Uccelli, M. Mastrantonio, A. Binazzi
(ENEA)

Premessa

L'epidemiologia ambientale si propone di studiare e interpretare le relazioni fra l'ambiente e la salute umana sia per evidenziare eventuali fonti di rischio, sia per valutare la reale sostenibilità dei contesti territoriali, sia come supporto alla pianificazione delle politiche di intervento per la prevenzione ed il risanamento.

I dati da utilizzare come indicatori di impatto sulla salute delle popolazioni, come ad esempio i dati di incidenza dei tumori o di altre patologie, sono generalmente dispersi tra le diverse strutture competenti e richiedono un lungo lavoro di acquisizione, reperimento ed elaborazione. Gli unici dati sanitari immediatamente disponibili per tutti i Comuni italiani sono i dati di mortalità per causa, che vengono registrati da oltre un secolo dall'Istituto Nazionale di Statistica (ISTAT) su tutto il territorio nazionale e sono raccolti nella banca dati epidemiologica dell'ENEA che consente di elaborarli sotto forma di indici utili per le valutazioni epidemiologiche. Il quadro delle cause di morte viene infatti considerato un indicatore dello stato di salute delle popolazioni residenti e, pur essendo il riflesso di una serie di fattori difficilmente discriminabili tra loro quali la suscettibilità individuale, l'esposizione ambientale, l'esposizione professionale, le condizioni socio-economiche e le abitudini di vita come il fumo di sigaretta, può costituire un utile strumento per formulare ipotesi sulla presenza di condizioni ambientali rischiose e per attivare quindi indagini epidemiologiche puntuali che consentano di confermare le eventuali associazioni causali.

Scopo del presente studio è quello di caratterizzare, mediante il quadro della mortalità per causa, lo stato di salute delle popolazioni dei Comuni che circondano il polo industriale di Milazzo.

5.1 Materiali e metodi

5.1.1 Ambito territoriale

Il territorio selezionato per la presente indagine (**Fig. 5.1**) comprende complessivamente 21 Comuni che sono stati studiati sia come unico aggregato, sia suddivisi in 3 fasce a seconda della distanza dal polo industriale:

- la fascia 1 (0-5 km) comprendente 5 Comuni (S. Filippo del Mela, Milazzo, Pace del Mela, Condrò, Merì);
- la fascia 2 (5-10 km) comprendente 10 Comuni (San Pier Niceto, Santa Lucia del Mela, Barcellona Pozzo di Gotto, Gualtieri Sicaminò, Manforte San Giorgio, Torregrotta, Valdina, Venetico, Roccavaldina, Spadafora);
- la fascia 3 (10-15 km) comprendente 6 Comuni (Rometta, Saponara, Villafranca Tirrena, Castroreale, Rodì Millici, Terme Vigliatore).

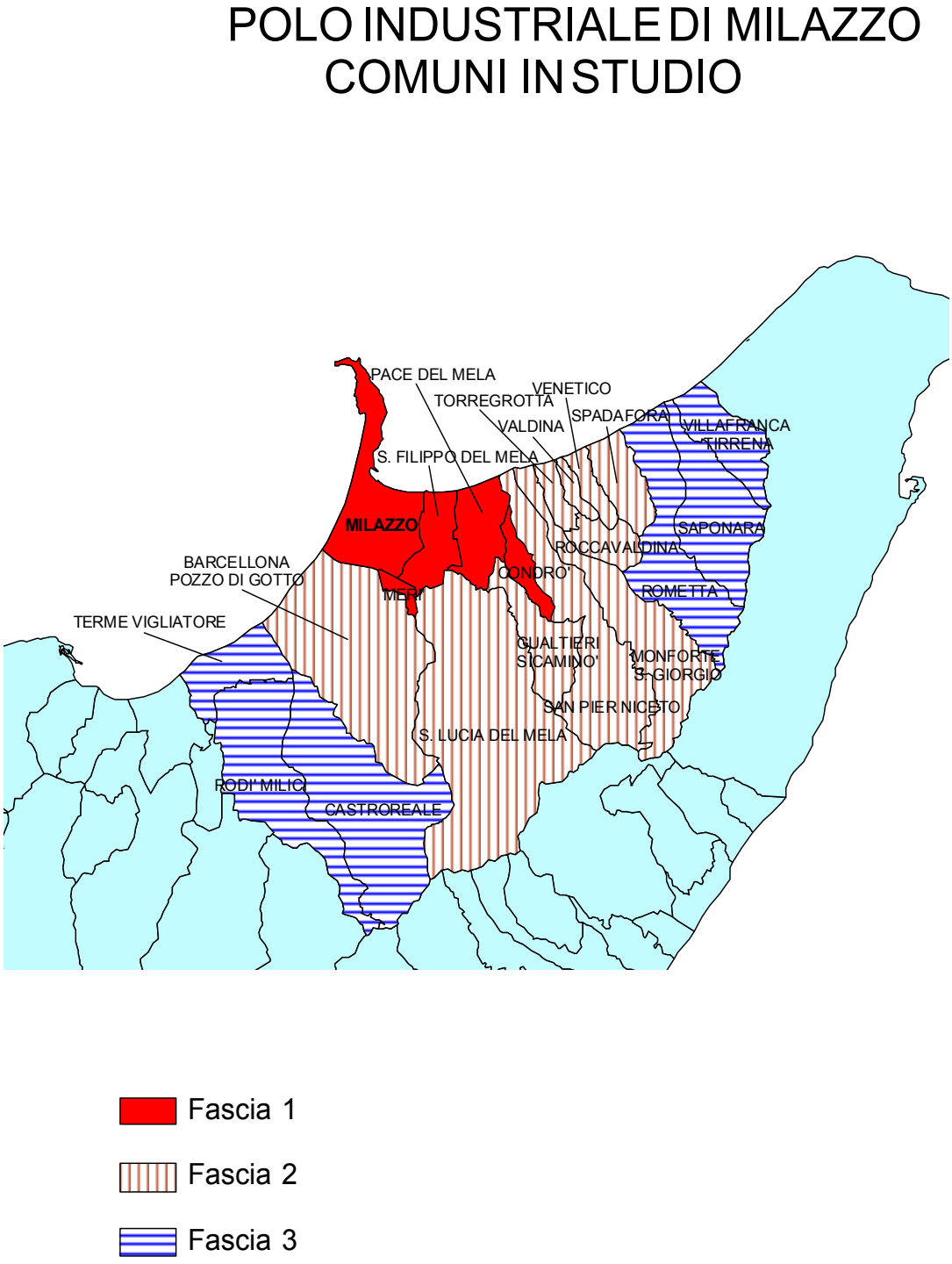


Fig. 5.1 Comuni in studio suddivisi in tre fasce a seconda della distanza dal polo industriale

5.1.2 Analisi epidemiologica

Utilizzando la banca dati epidemiologica dell'ENEA, che contiene le schede individuali di decesso relative alla popolazione italiana dal 1969 e la popolazione residente in ciascun comune ai censimenti del 1961, '71, '81 e '91 (dati di fonte ISTAT), è stata studiata la distribuzione della mortalità totale e di diverse cause di morte sia tumorali che non tumorali (28 cause per gli uomini e 29 per le donne) riportate nella **Tab. 1**, codificate secondo la IX Classificazione Internazionale delle Malattie, Traumatismi e Cause di Morte (ISTAT, 1975). Per evidenziare eventuali effetti di "anticipo" della mortalità, per alcune cause l'analisi è stata condotta anche su classi di età "tronche" inferiori a 65 o a 15 anni (mortalità totale, tumori totali, tumori della trachea bronchi e polmoni, tumori della mammella, tumori dell'encefalo, leucemie, malattie del sistema circolatorio, malattie dell'apparato respiratorio). Per le malformazioni congenite sono state prese in considerazione solamente le classi di età inferiori a 15 anni. Il periodo di tempo al quale lo studio si riferisce è il 1980-1997 ed è stato selezionato in base a diverse considerazioni: la centrale elettrica è entrata in esercizio nel 1970; le patologie tumorali sono caratterizzate da lunghi periodi di latenza e pertanto sono necessari diversi anni prima che l'effetto si manifesti; per rilevare eventi rari in Comuni con relativamente pochi abitanti è meglio estendere l'osservazione ad un periodo di tempo consistente.

Per ciascuna causa di morte sono stati calcolati il numero dei decessi, i tassi standardizzati diretti di mortalità (TSD) riferiti alla popolazione italiana al censimento del 1991 con i relativi errori standard (ES), i rapporti standardizzati di mortalità (SMR) rispetto sia agli attesi provinciali che regionali e i rapporti fra i tassi standardizzati diretti di mortalità (RR) delle diverse fasce in cui sono stati raggruppati i Comuni. La significatività statistica di SMR e RR è stata valutata in base agli intervalli di confidenza al 99% o al 95% (Breslow and Day, 1987).

Per la mortalità totale, i tumori totali, i tumori della trachea bronchi e polmoni, i tumori del fegato, le malattie respiratorie e l'asma sono stati studiati anche gli andamenti temporali dei TSD suddivisi in trienni.

Tab. 1 Cause di morte considerate e relativi codici secondo la IX Classificazione Internazionale delle Malattie, Traumatismi e Cause di Morte (ISTAT, 1975)

MORTALITÀ GENERALE (TUTTE LE CAUSE)	000,0 - 999,9
TUMORI TOTALI	140,0 - 239,9
TUMORI MALIGNI DELLO STOMACO	151,0 - 151,9
TUMORI MALIGNI DEL COLON, RETTO, GIUNZIONE RETTOSIGMOIDEA E ANO	153,0 - 154,8
TUMORI MALIGNI DEL FEGATO E DEI DOTTI BILIARI	155,0 - 156,9
TUMORI MALIGNI DEL PANCREAS	157,0 - 157,9
TUMORI MALIGNI DELLA LARINGE	161,0 - 161,9
TUMORI MALIGNI DELLA TRACHEA, DEI BRONCHI E DEI POLMONI	162,0 - 162,9
TUMORI MALIGNI DELLA PLEURA	163,0 - 163,9
TUMORI MALIGNI DELLA VESCICA	188,0 - 188,9
TUMORI MALIGNI DELLA MAMMELLA	174,0 - 174,9
TUMORI MALIGNI DELL'UTERO	179,0 - 182,8
TUMORI MALIGNI DELLA PROSTATA	185,0
TUMORI MALIGNI DELL'ENCEFALO E DEL SISTEMA NERVOSO	191,0 - 192,9
LINFOMI NON HODGKIN	200,0 - 200,8
	202,0 - 202,9
MALATTIA DI HODGKIN	201,0 - 201,9
MIELOMA MULTIPLO	203,0
LEUCEMIE	204,0 - 208,9
MALATTIE DEL SISTEMA CIRCOLATORIO	390,0 - 459,9
MALATTIE DELL'APPARATO RESPIRATORIO	460,0 - 519,9
MALATTIE CRONICHE OSTRUTTIVE DELL'APPARATO RESPIRATORIO	490,0 - 508,9
ASMA	493,0 - 493,9
MALATTIE DELL'APPARATO GENITO-URINARIO	580,0 - 629,9
MALATTIE INFETTIVE	000,0 - 139,8
DIABETE	250,0 - 250,9
CIRROSI EPATICA E ALTRE MALATTIE CRONICHE DEL FEGATO	571,0 - 571,9
MALFORMAZIONI CONGENITE	740,0 - 759,9
TRAUMATISMI E AVVELENAMENTI	800,0 - 999,9
INCIDENTI STRADALI	E810,0-E829,0

5.2 Risultati e discussione

5.2.1 Periodo complessivo

Nelle **Tabb. 2-9** sono riportati, per le diverse cause di morte e separatamente per i due sessi, il numero dei decessi, i TSD con gli ES e gli SMR provinciali e regionali nel periodo 1980-1997 relativi all'aggregato complessivo dei Comuni e alle diverse fasce individuate in funzione della distanza dal polo industriale. Gli eccessi statisticamente significativi della mortalità rispetto agli attesi provinciali o regionali sono evidenziati in rosso, i difetti in verde.

Nelle **Tabb. 2 e 3** si può osservare il quadro della mortalità per l'insieme dei 21 Comuni (fasce 1+2+3). E' immediato notare come lo stato di salute delle popolazioni di entrambi i sessi sia migliore di quello della provincia e ancora di più della regione per il gran numero di difetti significativi e relativi sia alla mortalità totale, sia alla mortalità per cause tumorali e non tumorali. Si osserva un unico eccesso della mortalità rispetto agli attesi provinciali per traumi e avvelenamenti nella popolazione maschile. La mortalità per questa causa, in gran parte evitabile, è diminuita notevolmente in Italia negli ultimi anni, ma in maniera minore nelle regioni del sud rispetto a quelle del centro e soprattutto del nord (OMS, 1997).

Nelle **Tabb. 4 e 5** sono riportati i risultati relativi ai Comuni della fascia 1. Anche in questo caso, lo stato di salute dei residenti appare buono rispetto al contesto regionale e, nei soli maschi, anche rispetto a quello provinciale in quanto si osservano alcuni difetti significativi della mortalità. Nella popolazione femminile si osserva un unico eccesso della mortalità per tumori dell'encefalo rispetto alla regione. Questo tipo di tumori, a eziologia ancora poco conosciuta, sono stati spesso associati ad alcune tipologie professionali come i lavoratori delle industrie del petrolio e della gomma, i contadini esposti ai pesticidi e agli insetticidi, i veterinari o i ricercatori che usano formaldeide e i lavoratori esposti a campi elettromagnetici (Doll, 1991; Simonato, 1996; Trichopoulos et al.,1996).

Nelle **Tabb. 6 e 7** si possono osservare i quadri della mortalità per i Comuni della fascia 2; anche in questo caso le popolazioni residenti sembrano caratterizzate da uno stato di salute molto buono rispetto alla provincia e alla regione in quanto si riscontrano numerosi difetti significativi della mortalità. Solo nella popolazione maschile emerge un eccesso della mortalità per traumi e avvelenamenti, rilevato anche nello studio dell'aggregato di tutti i Comuni.

Nelle **Tabb. 8 e 9** sono riportati i risultati relativi alla fascia 3. Anche in questo caso lo stato di salute delle popolazioni sembra buono se paragonato agli attesi provinciali e regionali, come evidenziato dai numerosi difetti della mortalità.

Se passiamo ora ad osservare i valori di RR delle varie fasce di Comuni, si può notare dalle **Tabb. 10 e 12** come la popolazione maschile dei Comuni della fascia più prossima al polo industriale (fascia 1) sia caratterizzata, rispetto alla popolazione della fascia 2, da una mortalità significativamente maggiore per leucemie, malattie circolatorie, malattie respiratorie e asma e, rispetto alla popolazione della fascia 3, oltre che per malattie circolatorie e respiratorie (queste ultime nelle classi "tronche"), anche per la mortalità generale e per tumore e, in particolare, per i tumori della trachea bronchi e polmoni.

Il fattore eziologico più importante per l'insorgenza delle leucemie è rappresentato dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti, ma anche le esposizioni al benzene, ai solventi, ai campi elettromagnetici, ad alcuni pesticidi ed erbicidi non devono essere sottovalutate (Zanetti e Crosignani, 1992; Blair et al., 1992; Simonato 1996; Trichopoulos et al., 1996; Waterhouse et al., 1996).

Le patologie del sistema circolatorio, che rappresentano la prima causa di morte in Italia, sono influenzate da diversi fattori come l'ipertensione, lo stress, la massa corporea e alcuni inquinanti presenti soprattutto nel fumo di tabacco ma anche nell'aria ambiente quali il monossido di carbonio e il piombo (Dockery et al., 1993; Forestiere, 1994; OMS, 1997).

Le patologie respiratorie sono particolarmente interessanti in quanto, proprio per la modalità inalatoria dell'esposizione, la causa ambientale primaria è costituita dagli inquinanti dell'aria. Sono stati infatti spesso descritti eccessi della mortalità acuta e a lungo termine, dell'incidenza delle malattie croniche ostruttive e dell'asma e delle alterazioni della funzione polmonare per esposizioni a ossidi di zolfo, particolato sospeso, inquinanti fotochimici, alcuni metalli non carcinogeni e composti organici volatili (Dockery et al., 1993; Dockery e Pope, 1994; Pope et al., 1995; Lebowitz, 1996; Katsouyanni et al., 1997; OMS, 1997).

Per quanto riguarda l'asma, un ruolo dominante spetta alla predisposizione genetica ma è probabile che molti dei soggetti predisposti, non incontrando gli agenti fisici, chimici o biologici in grado di scatenare l'attacco asmatico, possano rimanere per tutta la vita esenti da asma (Grassi & Meloni, 1992).

Il tumore del polmone, la cui incidenza è aumentata drasticamente nel corso dell'ultimo secolo, attualmente costituisce in Italia e in molti altri paesi sviluppati la prima causa di decesso per neoplasia nella popolazione maschile. Il responsabile principale è il fumo di sigaretta, ma non sono trascurabili anche l'esposizione lavorativa a numerosi agenti tossici e/o carcinogeni quali l'amianto, i cromati, l'arsenico inorganico, gli idrocarburi policiclici aromatici e il radon e l'esposizione ambientale agli inquinanti dell'aria. Numerose indagini epidemiologiche evidenziano comunque che, anche se si tiene conto del fattore fumo e dei rischi occupazionali, l'incidenza del cancro del polmone nelle aree urbane è più alta che nelle aree rurali e che tra i residenti delle aree urbane sembrano attribuibili all'inquinamento atmosferico dal 2,5 al 10% dei tumori del polmone (Pershagen e Simonato, 1990; Doll, 1991; Dockery et al., 1993; OMS, 1997; Zanetti e Crosignani, 1992; Forestiere et al., 1993; Hemminki e Pershagen, 1994; Pope et al., 1995; Biggeri et al., 1996; Kafadar et al., 1996; Simonato et al., 1996; Trichopoulos et al., 1996; Uccelli et al., 2000).

La mortalità generale nelle classi "tronche" e quella per tumori del fegato è invece significativamente superiore nella seconda fascia rispetto alla prima. Le evidenze epidemiologiche hanno costantemente associato il cancro del fegato all'infezione del virus dell'epatite B, ad un elevato consumo di alcool e, probabilmente, anche al fumo. Per quanto riguarda l'esposizione professionale è stata stabilita una associazione con il cloruro di vinile e con il tetracloroetilene (Doll, 1991; Zanetti e Crosignani, 1992; Trichopoulos et al., 1996; Simonato, 1996; Simonato et al., 1996).

Per quanto riguarda la popolazione femminile, dalle **Tabb. 11 e 13** si può osservare come la mortalità dei residenti della fascia 1 sia significativamente superiore alla fascia 2 per incidenti stradali e non lo sia mai rispetto alla fascia 3.

Esaminando i valori significativi di RR relativi alle fasce 2 e 3 della **Tab. 14**, si osserva una maggiore mortalità della popolazione maschile per tutte le cause e per tumori della trachea bronchi e polmoni (per entrambe anche nelle classi "tronche"), per tumori del fegato, malattie respiratorie nelle classi "tronche" e cirrosi epatica. La cirrosi epatica, come i tumori del fegato, è stata spesso associata, oltre che al virus dell'epatite B e all'abuso di alcool, anche all'esposizione professionale nelle industrie siderurgica e della gomma (ISPESL, 1995; Pirastu et al., 1998).

I valori della mortalità per tumori dell'encefalo, malattia di Hodgkin e asma della fascia 2 sono invece inferiori a quella della fascia più distante dal polo industriale (fascia 3). La malattia di Hodgkin sembra associata alle classi socio-economiche più elevate o all'esposizione professionale a solventi, fenossiacidi e clorofenoli (Zanetti e Crosignani, 1992; Simonato, 1996).

Per quanto riguarda la popolazione femminile, dalla **Tab. 15** non si rileva in nessun caso una mortalità maggiore nei Comuni della fascia 2 rispetto alla fascia 3 ma anzi, per alcune cause (malformazioni congenite e traumi e avvelenamenti), la mortalità è addirittura significativamente inferiore.

Tab. 2 - Numero dei decessi, tassi standardizzati diretti di mortalità (TSD), errori standard (ES) e rapporti standardizzati di mortalità (SMR) statisticamente significativi rispetto agli attesi provinciali e regionali negli anni 1980-1997

TUTTI I COMUNI (FASCE 1+2+3)

MASCHI

Causa	N.Casi	TSD	ES	SMR/Prov.	SMR/Reg.
TUTTE LE CAUSE	11880	977,32	9,06	96,26 **	92,72 **
TUTTE LE CAUSE (0-64)	2959	290,24	5,41	95,07 **	91,89 **
TUTTI I TUMORI	2610	215,42	4,25	92,99 **	91,51 **
TUTTI I TUMORI (0-64)	853	86,14	2,97		92,73 *
TUM.STOMACO	256	21,33	1,35		
TUM.COLON-RETTO	236	19,58	1,28		
TUM.FEGATO-DOTTI	187	15,29	1,13	85,8 *	72,57 **
TUM.PANCREAS	81	6,79	0,76		78,22 *
TUM.LARINGE	73	6,04	0,71		
TUM.TR.BR.POLM.	707	58,55	2,22		91,85 *
TUM.TR.BR.POLM. (0-64)	272	27,70	1,69		
TUM.PLEURA	16	1,32	0,33		
TUM.VESCICA	157	12,91	1,04	83,89 *	
TUM.PROSTATA	214	17,48	1,20		
TUM.ENCEFALO	51	4,29	0,60		68,59 **
TUM.ENCEFALO (0-14)	1	0,37	0,37		
LINF.NON HODGKIN	39	3,24	0,52		67,93 *
MAL.DI HODGKIN	15	1,25	0,33		
MIELOMA MULTIPLO	28	2,27	0,43		
LEUCEMIE	112	9,22	0,88		
LEUCEMIE (0-14)	1	0,37	0,38		16,1 *
MAL.SIST.CIRC.	5386	445,84	6,14		95,16 **
MAL.SIST.CIRC. (0-64)	781	80,65	2,92	90,85 **	88,76 **
MAL.APP.RESP.	1001	82,64	2,64		84,81 **
MAL.APP.RESP. (0-64)	145	14,34	1,21		
MAL.CRON.APP.RESP.(0-64)	89	9,30	1,00		
ASMA	38	3,11	0,51	68,06 *	56 **
MAL.APP.GEN.-URINARIO	250	20,63	1,32		
CIRROSI EPATICA	291	24,48	1,45		66,66 **
DIABETE	352	28,18	1,51		81,19 **
MAL. INFETTIVE	44	3,57	0,54		
MALF. CONGENITE (0-14)	45	15,92	2,38		
TRAUM.-AVVELENAMENTI	707	58,34	2,21	111,81 **	
INCIDENTI STRADALI	209	17,03	1,19		

*** p <0.05**

**** p <0.01**

Tab. 3 - Numero dei decessi, tassi standardizzati diretti di mortalità (TSD), errori standard (ES) e rapporti standardizzati di mortalità (SMR) statisticamente significativi rispetto agli attesi provinciali e regionali negli anni 1980-1997

TUTTI I COMUNI (FASCE 1+2+3)

FEMMINE

Causa	N.Casi	TSD	ES	SMR/Prov.	SMR/Reg.
TUTTE LE CAUSE	11036	1015,68	9,83	97,03 **	92,85 **
TUTTE LE CAUSE (0-64)	1694	162,88	4,01	94,01 *	90,94 **
TUTTI I TUMORI	1869	161,14	3,77	91,75 **	90 **
TUTTI I TUMORI (0-64)	682	68,07	2,62		
TUM.STOMACO	159	14,29	1,15		
TUM.COLON-RETTO	224	19,61	1,33		
TUM.FEGATO-DOTTI	175	15,46	1,18	84,04 *	72,56 **
TUM.PANCREAS	58	4,94	0,65	75,95 *	66,98 **
TUM.LARINGE	5	0,45	0,21		
TUM.TR.BR.POLM.	98	8,28	0,84	81,17 *	81,12 *
TUM.TR.BR.POLM. (0-64)	35	3,49	0,59		
TUM.PLEURA	10	0,93	0,30		
TUM.VESCICA	27	2,37	0,46		
TUM.UTERO	169	14,50	1,13		
TUM.MAMMELLA	395	33,66	1,71		
TUM.MAMMELLA (0-64)	193	19,39	1,40		
TUM.ENCEFALO	57	4,62	0,62		
TUM.ENCEFALO (0-14)	2	0,80	0,57		
LINF.NON HODGKIN	23	1,91	0,40	61,38 *	60,29 *
MAL.DI HODGKIN	9	0,74	0,25		
MIELOMA MULTIPLO	12	1,00	0,29	55,17 *	53,86 *
LEUCEMIE	84	7,04	0,78		
LEUCEMIE (0-14)	2	0,73	0,52		
MAL.SIST.CIRC.	5908	560,33	7,40		95,47 **
MAL.SIST.CIRC. (0-64)	370	37,31	1,95	87,84 *	81,36 **
MAL.APP.RESP.	578	54,60	2,32		89,94 *
MAL.APP.RESP. (0-64)	76	7,04	0,82		
MAL.CRON.APP.RESP.(0-64)	34	3,40	0,59		
ASMA	34	2,87	0,50		
MAL.APP.GEN.-URINARIO	168	15,15	1,18		
CIRROSI EPATICA	174	14,99	1,15		61,98 **
DIABETE	606	54,11	2,23		81,96 **
MAL. INFETTIVE	40	3,43	0,56		
MALF. CONGENITE (0-14)	51	19,48	2,74		
TRAUM.-AVVELENAMENTI	312	27,90	1,61		86,5 **
INCIDENTI STRADALI	46	3,80	0,58		

*** p <0.05**

**** p <0.01**

Tab. 4 - Numero dei decessi, tassi standardizzati diretti di mortalità (TSD), errori standard (ES) e rapporti standardizzati di mortalità (SMR) statisticamente significativi rispetto agli attesi provinciali e regionali negli anni 1980-1997

COMUNI FASCIA 1 (0 - 5 KM)

MASCHI

Causa	N.Casi	TSD	ES	SMR/Prov.	SMR/Reg.
TUTTE LE CAUSE	3456	1023,21	17,65		96,65 *
TUTTE LE CAUSE (0-64)	892	278,92	9,49	90,75 **	87,74 **
TUTTI I TUMORI	798	231,21	8,27		
TUTTI I TUMORI (0-64)	261	83,54	5,23		
TUM.STOMACO	76	21,94	2,54		
TUM.COLON-RETTO	75	21,99	2,57		
TUM.FEGATO-DOTTI	46	12,93	1,92	74,39 *	62,48 **
TUM.PANCREAS	29	8,53	1,60		
TUM.LARINGE	27	7,94	1,54		
TUM.TR.BR.POLM.	221	63,40	4,30		
TUM.TR.BR.POLM. (0-64)	80	26,09	2,95		
TUM.PLEURA	3	0,83	0,48		
TUM.VESCICA	43	13,46	2,07		
TUM.PROSTATA	60	18,54	2,42		
TUM.ENCEFALO	16	4,46	1,12		
TUM.ENCEFALO (0-14)	0	0,00	0,00		
LINF.NON HODGKIN	10	2,62	0,84		
MAL.DI HODGKIN	5	1,44	0,65		
MIELOMA MULTIPLO	4	1,15	0,58		
LEUCEMIE	43	12,20	1,88		
LEUCEMIE (0-14)	1	1,20	1,20		
MAL.SIST.CIRC.	1552	472,27	12,14		
MAL.SIST.CIRC. (0-64)	225	74,96	5,07	83,51 **	81,6 **
MAL.APP.RESP.	296	90,94	5,36		
MAL.APP.RESP. (0-64)	48	15,55	2,28		
MAL.CRON.APP.RESP.(0-64)	33	10,83	1,91		
ASMA	13	3,90	1,09		
MAL.APP.GEN.-URINARIO	70	21,47	2,60		
CIRROSI EPATICA	75	21,99	2,57		59,11 **
DIABETE	108	31,28	3,04		
MAL. INFETTIVE	12	3,28	0,96		
MALF. CONGENITE (0-14)	16	17,72	4,45		
TRAUM.-AVVELENAMENTI	194	52,58	3,82		
INCIDENTI STRADALI	70	18,57	2,25		

*** p <0.05**

**** p <0.01**

Tab. 5 - Numero dei decessi, tassi standardizzati diretti di mortalità (TSD), errori standard (ES) e rapporti standardizzati di mortalità (SMR) statisticamente significativi rispetto agli attesi provinciali e regionali negli anni 1980-1997

COMUNI FASCIA 1 (0 - 5 KM)

FEMMINE

Causa	N.Casi	TSD	ES	SMR/Prov.	SMR/Reg.
TUTTE LE CAUSE	3141	1033,18	18,84		94,73 **
TUTTE LE CAUSE (0-64)	531	165,63	7,30		
TUTTI I TUMORI	570	170,90	7,28		
TUTTI I TUMORI (0-64)	215	69,38	4,77		
TUM.STOMACO	38	12,31	2,05		
TUM.COLON-RETTO	71	21,75	2,62		
TUM.FEGATO-DOTTI	47	14,56	2,15		68,96 **
TUM.PANCREAS	18	5,47	1,31		
TUM.LARINGE	1	0,27	0,27		
TUM.TR.BR.POLM.	30	9,29	1,72		
TUM.TR.BR.POLM. (0-64)	10	3,45	1,10		
TUM.PLEURA	3	0,84	0,49		
TUM.VESCICA	9	2,72	0,91		
TUM.UTERO	55	16,42	2,26		
TUM.MAMMELLA	124	35,92	3,27		
TUM.MAMMELLA (0-64)	55	17,59	2,38		
TUM.ENCEFALO	24	6,43	1,32		158,42 *
TUM.ENCEFALO (0-14)	1	1,21	1,21		
LINF.NON HODGKIN	6	1,75	0,72		
MAL.DI HODGKIN	2	0,53	0,38		
MIELOMA MULTIPLO	4	1,11	0,56		
LEUCEMIE	21	6,41	1,43		
LEUCEMIE (0-14)	0	0,00	0,00		
MAL.SIST.CIRC.	1663	576,15	14,39		
MAL.SIST.CIRC. (0-64)	111	37,07	3,55		80,51 *
MAL.APP.RESP.	165	56,29	4,48		
MAL.APP.RESP. (0-64)	16	4,85	1,23		
MAL.CRON.APP.RESP.(0-64)	8	2,53	0,91		
ASMA	11	3,20	0,98		
MAL.APP.GEN.-URINARIO	54	17,90	2,47		
CIRROSI EPATICA	50	14,97	2,15		62,52 **
DIABETE	162	51,78	4,13		78,81 **
MAL. INFETTIVE	13	3,76	1,08		
MALF. CONGENITE (0-14)	17	20,58	5,01		
TRAUM.-AVVELENAMENTI	91	28,44	3,06		
INCIDENTI STRADALI	20	5,39	1,26		

*** p <0.05**

**** p <0.01**

Tab. 6 - Numero dei decessi, tassi standardizzati diretti di mortalità (TSD), errori standard (ES) e rapporti standardizzati di mortalità (SMR) statisticamente significativi rispetto agli attesi provinciali e regionali negli anni 1980-1997

COMUNI FASCIA 2 (5- 10 KM)

MASCHI

Causa	N.Casi	TSD	ES	SMR/Prov.	SMR/Reg.
TUTTE LE CAUSE	5938	982,70	12,89	96,74 *	93,17 **
TUTTE LE CAUSE (0-64)	1518	304,92	7,93		
TUTTI I TUMORI	1280	213,14	6,01	91,96 **	90,49 **
TUTTI I TUMORI (0-64)	430	88,97	4,32		
TUM.STOMACO	118	19,87	1,85		
TUM.COLON-RETTO	107	17,98	1,75		
TUM.FEGATO-DOTTI	112	18,33	1,75		
TUM.PANCREAS	40	6,71	1,07		
TUM.LARINGE	34	5,84	1,01		
TUM.TR.BR.POLM.	363	60,95	3,23		
TUM.TR.BR.POLM. (0-64)	152	31,72	2,59		
TUM.PLEURA	11	1,77	0,54		
TUM.VESCICA	84	14,00	1,54		
TUM.PROSTATA	97	15,64	1,60		
TUM.ENCEFALO	19	3,28	0,76	59,17 *	52,23 **
TUM.ENCEFALO (0-14)	1	0,75	0,75		
LINF.NON HODGKIN	18	3,11	0,74		
MAL.DI HODGKIN	3	0,51	0,29	32,79 *	
MIELOMA MULTIPLO	16	2,66	0,67		
LEUCEMIE	47	7,70	1,13		
LEUCEMIE (0-14)	0	0,00	0,00		
MAL.SIST.CIRC.	2657	440,84	8,64		94,08 **
MAL.SIST.CIRC. (0-64)	407	85,97	4,30		
MAL.APP.RESP.	474	78,06	3,63	89,98 *	80,42 **
MAL.APP.RESP. (0-64)	82	16,26	1,83		
MAL.CRON.APP.RESP.(0-64)	45	9,71	1,46		
ASMA	11	1,74	0,53	39,48 **	32,65 **
MAL.APP.GEN.-URINARIO	124	20,44	1,85		
CIRROSI EPATICA	164	28,05	2,21		76 **
DIABETE	177	28,16	2,13		81,95 **
MAL. INFETTIVE	25	4,14	0,84		
MALF. CONGENITE (0-14)	19	13,71	3,15		
TRAUM.-AVVELENAMENTI	360	60,77	3,23	115,94 **	
INCIDENTI STRADALI	96	15,84	1,63		

*** p <0.05**

**** p <0.01**

Tab. 7 - Numero dei decessi, tassi standardizzati diretti di mortalità (TSD), errori standard (ES) e rapporti standardizzati di mortalità (SMR) statisticamente significativi rispetto agli attesi provinciali e regionali negli anni 1980-1997

COMUNI FASCIA 2 (5- 10 KM)

FEMMINE

Causa	N.Casi	TSD	ES	SMR/Prov.	SMR/Reg.
TUTTE LE CAUSE	5552	1011,97	13,81	96,43 **	92,29 **
TUTTE LE CAUSE (0-64)	803	157,55	5,63	90,19 **	87,21 **
TUTTI I TUMORI	910	156,69	5,25	89,04 **	87,32 **
TUTTI I TUMORI (0-64)	325	66,18	3,69		
TUM.STOMACO	79	14,07	1,61		
TUM.COLON-RETTO	102	17,73	1,78		
TUM.FEGATO-DOTTI	90	15,84	1,69		74,15 **
TUM.PANCREAS	27	4,52	0,88		62,04 *
TUM.LARINGE	2	0,34	0,24		
TUM.TR.BR.POLM.	54	9,02	1,24		
TUM.TR.BR.POLM. (0-64)	18	3,64	0,86		
TUM.PLEURA	7	1,36	0,52		
TUM.VESCICA	9	1,59	0,54		
TUM.UTERO	84	14,38	1,58		
TUM.MAMMELLA	192	33,13	2,42		
TUM.MAMMELLA (0-64)	96	19,77	2,03		
TUM.ENCEFALO	25	4,17	0,84		
TUM.ENCEFALO (0-14)	0	0,00	0,00		
LINF.NON HODGKIN	12	2,02	0,59		
MAL.DI HODGKIN	3	0,47	0,27		
MIELOMA MULTIPLO	4	0,64	0,32	36,56 *	36 *
LEUCEMIE	43	7,06	1,09		
LEUCEMIE (0-14)	2	1,48	1,05		
MAL.SIST.CIRC.	2936	546,13	10,24		93,43 **
MAL.SIST.CIRC. (0-64)	180	36,66	2,75	86,27 *	79,76 **
MAL.APP.RESP.	275	51,06	3,14		84,37 **
MAL.APP.RESP. (0-64)	42	7,69	1,21		
MAL.CRON.APP.RESP.(0-64)	18	3,61	0,86		
ASMA	18	3,02	0,72		
MAL.APP.GEN.-URINARIO	80	14,19	1,61		
CIRROSI EPATICA	91	15,65	1,66		64,48 **
DIABETE	310	54,20	3,12		82,83 **
MAL. INFETTIVE	23	3,97	0,85		
MALF. CONGENITE (0-14)	19	14,62	3,36		
TRAUM.-AVVELENAMENTI	139	24,55	2,11		76,51 **
INCIDENTI STRADALI	16	2,58	0,66	57,25 *	

*** p <0.05**

**** p <0.01**

Tab. 8 - Numero dei decessi, tassi standardizzati diretti di mortalità (TSD), errori standard (ES) e rapporti standardizzati di mortalità (SMR) statisticamente significativi rispetto agli attesi provinciali e regionali negli anni 1980-1997

COMUNI FASCIA 3 (10 - 15 KM)

MASCHI

Causa	N.Casi	TSD	ES	SMR/Prov.	SMR/Reg.
TUTTE LE CAUSE	2486	913,50	18,57	90,18 **	86,83 **
TUTTE LE CAUSE (0-64)	549	273,17	11,78	89,77 *	86,74 **
TUTTI I TUMORI	532	201,98	8,88	86,79 **	85,38 **
TUTTI I TUMORI (0-64)	162	83,39	6,59		
TUM.STOMACO	62	24,49	3,16		
TUM.COLON-RETTO	54	20,62	2,85		
TUM.FEGATO-DOTTI	29	11,00	2,08	60,64 **	51,51 **
TUM.PANCREAS	12	4,49	1,32	57,03 *	53,05 *
TUM.LARINGE	12	4,55	1,33		
TUM.TR.BR.POLM.	123	47,36	4,33	75,19 **	74,29 **
TUM.TR.BR.POLM. (0-64)	40	20,66	3,28	70,86 *	68,83 *
TUM.PLEURA	2	0,74	0,53		
TUM.VESCICA	30	10,42	1,92		
TUM.PROSTATA	57	20,55	2,74		
TUM.ENCEFALO	16	6,50	1,64		
TUM.ENCEFALO (0-14)	0	0,00	0,00		
LINF.NON HODGKIN	11	4,42	1,35		
MAL.DI HODGKIN	7	2,65	1,01		
MIELOMA MULTIPLO	8	2,78	0,99		
LEUCEMIE	22	8,42	1,82		
LEUCEMIE (0-14)	0	0,00	0,00		
MAL.SIST.CIRC.	1177	426,52	12,59		91,09 **
MAL.SIST.CIRC. (0-64)	149	77,13	6,37		
MAL.APP.RESP.	231	82,67	5,50		85,58 *
MAL.APP.RESP. (0-64)	15	7,79	2,03	45,94 **	46,04 **
MAL.CRON.APP.RESP.(0-64)	11	5,85	1,78		
ASMA	14	5,08	1,37		
MAL.APP.GEN.-URINARIO	56	19,78	2,67		
CIRROSI EPATICA	52	19,58	2,75		55,39 **
DIABETE	67	24,73	3,06		68,73 **
MAL. INFETTIVE	7	2,41	0,92		
MALF. CONGENITE (0-14)	10	18,42	5,84		
TRAUM.-AVVELENAMENTI	153	60,07	4,93		
INCIDENTI STRADALI	43	17,24	2,67		

*** p <0.05**

**** p <0.01**

Tab. 9 - Numero dei decessi, tassi standardizzati diretti di mortalità (TSD), errori standard (ES) e rapporti standardizzati di mortalità (SMR statisticamente significativi rispetto agli attesi provinciali e regionali negli anni 1980-1997

COMUNI FASCIA 3 (10 - 15 KM)

FEMMINE

Causa	N.Casi	TSD	ES	SMR/Prov.	SMR/Reg.
TUTTE LE CAUSE	2343	1003,33	20,99	95,9 *	91,73 **
TUTTE LE CAUSE (0-64)	360	173,60	9,24		
TUTTI I TUMORI	389	159,47	8,16		88,78 *
TUTTI I TUMORI (0-64)	142	71,17	6,00		
TUM.STOMACO	42	17,50	2,73		
TUM.COLON-RETTO	51	21,46	3,03		
TUM.FEGATO-DOTTI	38	15,83	2,60		
TUM.PANCREAS	13	5,23	1,46		
TUM.LARINGE	2	0,92	0,67		
TUM.TR.BR.POLM.	14	5,50	1,49	54,79 *	54,64 *
TUM.TR.BR.POLM. (0-64)	7	3,38	1,28		
TUM.PLEURA	0	0,00	0,00		
TUM.VESCICA	9	3,72	1,25		
TUM.UTERO	30	12,51	2,31		
TUM.MAMMELLA	79	32,23	3,66		
TUM.MAMMELLA (0-64)	42	21,13	3,28		
TUM.ENCEFALO	8	3,02	1,08		
TUM.ENCEFALO (0-14)	1	2,12	2,12		
LINF.NON HODGKIN	5	1,99	0,89		
MAL.DI HODGKIN	4	1,66	0,83		
MIELOMA MULTIPLO	4	1,71	0,86		
LEUCEMIE	20	7,92	1,78		
LEUCEMIE (0-14)	0	0,00	0,00		
MAL.SIST.CIRC.	1309	573,85	16,04		
MAL.SIST.CIRC. (0-64)	79	39,47	4,47		
MAL.APP.RESP.	138	60,96	5,26		
MAL.APP.RESP. (0-64)	18	8,83	2,11		
MAL.CRON.APP.RESP.(0-64)	8	4,22	1,50		
ASMA	5	2,15	0,97		
MAL.APP.GEN.-URINARIO	34	14,20	2,46		
CIRROSI EPATICA	33	13,40	2,36		55,23 **
DIABETE	134	56,23	4,92		83,97 *
MAL. INFETTIVE	4	1,64	0,84		
MALF. CONGENITE (0-14)	15	31,11	8,07		
TRAUM.-AVVELENAMENTI	82	35,02	3,91		
INCIDENTI STRADALI	10	4,35	1,40		

*** p <0.05**

**** p <0.01**

Tab. 10 - Rapporti (RR) fra i tassi standardizzati diretti di mortalità dei Comuni della fascia 1 (0-5 km dal polo industriale) e quelli della fascia 2 (5-10 km) relativi al periodo 1980-1997

RR COMUNI FASCIA 1 E FASCIA 2

MASCHI

Causa	RR
TUTTE LE CAUSE	
TUTTE LE CAUSE (0-64)	0,91 *
TUTTI I TUMORI	
TUTTI I TUMORI (0-64)	
TUM.STOMACO	
TUM.COLON-RETTO	
TUM.FEGATO-DOTTI	0,71 *
TUM.PANCREAS	
TUM.LARINGE	
TUM.TR.BR.POLM.	
TUM.TR.BR.POLM. (0-64)	
TUM.PLEURA	
TUM.VESCICA	
TUM.PROSTATA	
TUM.ENCEFALO	
TUM.ENCEFALO (0-14)	
LINF.NON HODGKIN	
MAL.DI HODGKIN	
MIELOMA MULTIPLO	
LEUCEMIE	1,58 *
LEUCEMIE (0-14)	
MAL.SIST.CIRC.	1,07 *
MAL.SIST.CIRC. (0-64)	
MAL.APP.RESP.	1,17 *
MAL.APP.RESP. (0-64)	
MAL.CRON.APP.RESP.(0-64)	
ASMA	2,24 *
MAL.APP.GEN.-URINARIO	
CIRROSI EPATICA	
DIABETE	
MAL. INFETTIVE	
MALF. CONGENITE (0-14)	
TRAUM.-AVVELENAMENTI	
INCIDENTI STRADALI	

*** p <0.05**

**** p <0.01**

Tab. 11 - Rapporti (RR) fra i tassi standardizzati diretti di mortalità dei Comuni della fascia 1 (0-5 km dal polo industriale) e quelli della fascia 2 (5-10 km) relativi al periodo 1980-1997

RR COMUNI FASCIA 1 E FASCIA 2

FEMMINE

Causa	RR
TUTTE LE CAUSE	
TUTTE LE CAUSE (0-64)	
TUTTI I TUMORI	
TUTTI I TUMORI (0-64)	
TUM.STOMACO	
TUM.COLON-RETTO	
TUM.FEGATO-DOTTI	
TUM.PANCREAS	
TUM.LARINGE	
TUM.TR.BR.POLM.	
TUM.TR.BR.POLM. (0-64)	
TUM.PLEURA	
TUM.VESCICA	
TUM.UTERO	
TUM.MAMMELLA	
TUM.MAMMELLA (0-64)	
TUM.ENCEFALO	
TUM.ENCEFALO (0-14)	
LINF.NON HODGKIN	
MAL.DI HODGKIN	
MIELOMA MULTIPLO	
LEUCEMIE	
LEUCEMIE (0-14)	
MAL.SIST.CIRC.	
MAL.SIST.CIRC. (0-64)	
MAL.APP.RESP.	
MAL.APP.RESP. (0-64)	
MAL.CRON.APP.RESP.(0-64)	
ASMA	
MAL.APP.GEN.-URINARIO	
CIRROSI EPATICA	
DIABETE	
MAL. INFETTIVE	
MALF. CONGENITE (0-14)	
TRAUM.-AVVELENAMENTI	
INCIDENTI STRADALI	2,09 *

*** p <0.05**

**** p <0.01**

Tab. 12 - Rapporti (RR) fra i tassi standardizzati diretti di mortalità dei Comuni della fascia 1 (0-5 km dal polo industriale) e quelli della fascia 3 (10-15 km) relativi al periodo 1980-1997

RR COMUNI FASCIA 1 E FASCIA 3

MASCHI

Causa	RR
TUTTE LE CAUSE	1,12 **
TUTTE LE CAUSE (0-64)	
TUTTI I TUMORI	1,14 *
TUTTI I TUMORI (0-64)	
TUM.STOMACO	
TUM.COLON-RETTO	
TUM.FEGATO-DOTTI	
TUM.PANCREAS	
TUM.LARINGE	
TUM.TR.BR.POLM.	1,34 *
TUM.TR.BR.POLM. (0-64)	
TUM.PLEURA	
TUM.VESCICA	
TUM.PROSTATA	
TUM.ENCEFALO	
TUM.ENCEFALO (0-14)	
LINF.NON HODGKIN	
MAL.DI HODGKIN	
MIELOMA MULTIPLO	
LEUCEMIE	
LEUCEMIE (0-14)	
MAL.SIST.CIRC.	1,11 **
MAL.SIST.CIRC. (0-64)	
MAL.APP.RESP.	
MAL.APP.RESP. (0-64)	2,00 *
MAL.CRON.APP.RESP.(0-64)	
ASMA	
MAL.APP.GEN.-URINARIO	
CIRROSI EPATICA	
DIABETE	
MAL. INFETTIVE	
MALF. CONGENITE (0-14)	
TRAUM.-AVVELENAMENTI	
INCIDENTI STRADALI	

*** p <0.05**

**** p <0.01**

Tab. 13 - Rapporti (RR) fra i tassi standardizzati diretti di mortalità dei Comuni della fascia 1 (0-5 km dal polo industriale) e quelli della fascia 3 (10-15 km) relativi al periodo 1980-1997

RR COMUNI FASCIA 1 E FASCIA 3

FEMMINE

Causa	RR
TUTTE LE CAUSE	
TUTTE LE CAUSE (0-64)	
TUTTI I TUMORI	
TUTTI I TUMORI (0-64)	
TUM.STOMACO	
TUM.COLON-RETTO	
TUM.FEGATO-DOTTI	
TUM.PANCREAS	
TUM.LARINGE	
TUM.TR.BR.POLM.	
TUM.TR.BR.POLM. (0-64)	
TUM.PLEURA	
TUM.VESCICA	
TUM.UTERO	
TUM.MAMMELLA	
TUM.MAMMELLA (0-64)	
TUM.ENCEFALO	
TUM.ENCEFALO (0-14)	
LINF.NON HODGKIN	
MAL.DI HODGKIN	
MIELOMA MULTIPLO	
LEUCEMIE	
LEUCEMIE (0-14)	
MAL.SIST.CIRC.	
MAL.SIST.CIRC. (0-64)	
MAL.APP.RESP.	
MAL.APP.RESP. (0-64)	
MAL.CRON.APP.RESP.(0-64)	
ASMA	
MAL.APP.GEN.-URINARIO	
CIRROSI EPATICA	
DIABETE	
MAL. INFETTIVE	
MALF. CONGENITE (0-14)	
TRAUM.-AVVELENAMENTI	
INCIDENTI STRADALI	

*** p <0.05**

**** p <0.01**

Tab. 14 - Rapporti (RR) fra i tassi standardizzati diretti di mortalità dei Comuni della fascia 2 (5-10 km dal polo industriale) e quelli della fascia 3 (10-15 km) relativi al periodo 1980-1997

RR COMUNI FASCIA 2 E FASCIA 3

MASCHI

Causa	RR
TUTTE LE CAUSE	1,08 **
TUTTE LE CAUSE (0-64)	1,12 *
TUTTI I TUMORI	
TUTTI I TUMORI (0-64)	
TUM.STOMACO	
TUM.COLON-RETTO	
TUM.FEGATO-DOTTI	1,67 *
TUM.PANCREAS	
TUM.LARINGE	
TUM.TR.BR.POLM.	1,29 *
TUM.TR.BR.POLM. (0-64)	1,54 *
TUM.PLEURA	
TUM.VESCICA	
TUM.PROSTATA	
TUM.ENCEFALO	0,51 *
TUM.ENCEFALO (0-14)	
LINF.NON HODGKIN	
MAL.DI HODGKIN	0,19 *
MIELOMA MULTIPLO	
LEUCEMIE	
LEUCEMIE (0-14)	
MAL.SIST.CIRC.	
MAL.SIST.CIRC. (0-64)	
MAL.APP.RESP.	
MAL.APP.RESP. (0-64)	2,09 **
MAL.CRON.APP.RESP.(0-64)	
ASMA	0,34 **
MAL.APP.GEN.-URINARIO	
CIRROSI EPATICA	1,43 *
DIABETE	
MAL. INFETTIVE	
MALF. CONGENITE (0-14)	
TRAUM.-AVVELENAMENTI	
INCIDENTI STRADALI	

*** p <0.05**

**** p <0.01**

Tab. 15 - Rapporti (RR) fra i tassi standardizzati diretti di mortalità dei Comuni della fascia 2 (5-10 km dal polo industriale) e quelli della fascia 3 (10-15 km) relativi al periodo 1980-1997

RR COMUNI FASCIA 2 E FASCIA 3

FEMMINE

Causa	RR
TUTTE LE CAUSE	
TUTTE LE CAUSE (0-64)	
TUTTI I TUMORI	
TUTTI I TUMORI (0-64)	
TUM.STOMACO	
TUM.COLON-RETTO	
TUM.FEGATO-DOTTI	
TUM.PANCREAS	
TUM.LARINGE	
TUM.TR.BR.POLM.	
TUM.TR.BR.POLM. (0-64)	
TUM.PLEURA	
TUM.VESCICA	
TUM.UTERO	
TUM.MAMMELLA	
TUM.MAMMELLA (0-64)	
TUM.ENCEFALO	
TUM.ENCEFALO (0-14)	
LINF.NON HODGKIN	
MAL.DI HODGKIN	
MIELOMA MULTIPLO	
LEUCEMIE	
LEUCEMIE (0-14)	
MAL.SIST.CIRC.	
MAL.SIST.CIRC. (0-64)	
MAL.APP.RESP.	
MAL.APP.RESP. (0-64)	
MAL.CRON.APP.RESP.(0-64)	
ASMA	
MAL.APP.GEN.-URINARIO	
CIRROSI EPATICA	
DIABETE	
MAL. INFETTIVE	
MALF. CONGENITE (0-14)	0,47 *
TRAUM.-AVVELENAMENTI	0,70 *
INCIDENTI STRADALI	

*** p <0.05**

**** p <0.01**

5.2.2 *Andamenti temporali*

Dalla **Fig. 5.2** è immediato notare come la mortalità totale nei 21 Comuni oggetto dell'indagine (fasce 1+2+3) segua in entrambi i sessi gli andamenti temporali della provincia, della regione e dell'Italia. Si osserva una diminuzione dal triennio 1980-82 al triennio 1989-91 e poi una stabilizzazione del valore dei TSD. Per quanto riguarda la popolazione maschile i valori triennali dei TSD dei Comuni delle tre fasce accorpate sono sempre inferiori a quelli della provincia, della regione e dell'Italia mentre nelle donne, pur mantenendosi al di sotto di quelli regionali, e nella seconda metà del periodo considerato anche di quelli provinciali, sono però superiori ai valori medi nazionali.

Diverso è invece l'andamento dei tumori totali (**Fig. 5.3**) per i quali si assiste in entrambi i sessi a degli incrementi in tutti i territori considerati. I valori dei TSD, sempre più bassi nella popolazione femminile rispetto a quella maschile, nell'insieme dei Comuni delle tre fasce sono comunque inferiori a quelli della provincia e della regione e, soprattutto, a quelli dell'Italia.

Simile al precedente è l'andamento della mortalità per tumori della trachea bronchi e polmoni (**Fig. 5.4**); si accentua invece la differenza del valore dei TSD fra uomini e donne.

Nella **Fig. 5.5** sono riportati gli andamenti per i tumori del fegato. La situazione dei due sessi è completamente diversa in quanto, ad un tendenziale incremento della mortalità maschile in tutti i territori considerati, corrisponde un andamento piuttosto costante nelle donne, almeno fino al triennio 1989-91. Successivamente per l'insieme dei Comuni delle tre fasce e per la provincia di Messina si osserva un decremento; per la Sicilia si rileva ancora un andamento piuttosto costante e per l'Italia una leggera ascesa. I valori dei TSD dei Comuni delle tre fasce sono in entrambi i sessi per lo più inferiori a quelli degli altri riferimenti territoriali considerati; i TSD italiani rappresentano i valori più alti nei maschi ma non altrettanto nelle donne in quanto sono inferiori a quelli della regione e spesso anche della provincia.

Gli andamenti della mortalità per malattie respiratorie sono riportati nella **Fig. 5.6**. Si rileva un decremento della mortalità in entrambi i sessi per tutti i riferimenti territoriali considerati. I TSD, sempre superiori nella popolazione maschile rispetto a quella femminile, non evidenziano per i Comuni delle 3 fasce valori che si discostano nettamente dagli altri riferimenti territoriali. La popolazione maschile della Sicilia sembra caratterizzata dai valori più elevati.

La mortalità per asma (**Fig. 5.7**) mostra in entrambi i sessi un incremento fino al triennio 1986-88 ma, successivamente, sembra decrescere e/o stabilizzarsi in tutti i riferimenti territoriali considerati. A causa dell'esiguo numero di decessi per questa causa le oscillazioni del valore dei TSD sono notevoli e non è facile individuare con chiarezza quali territori abbiano i valori più alti o più bassi. La mortalità maschile nei Comuni delle tre fasce sembrerebbe comunque inferiore a quella degli altri territori, ad eccezione dell'Italia nell'ultimo triennio.

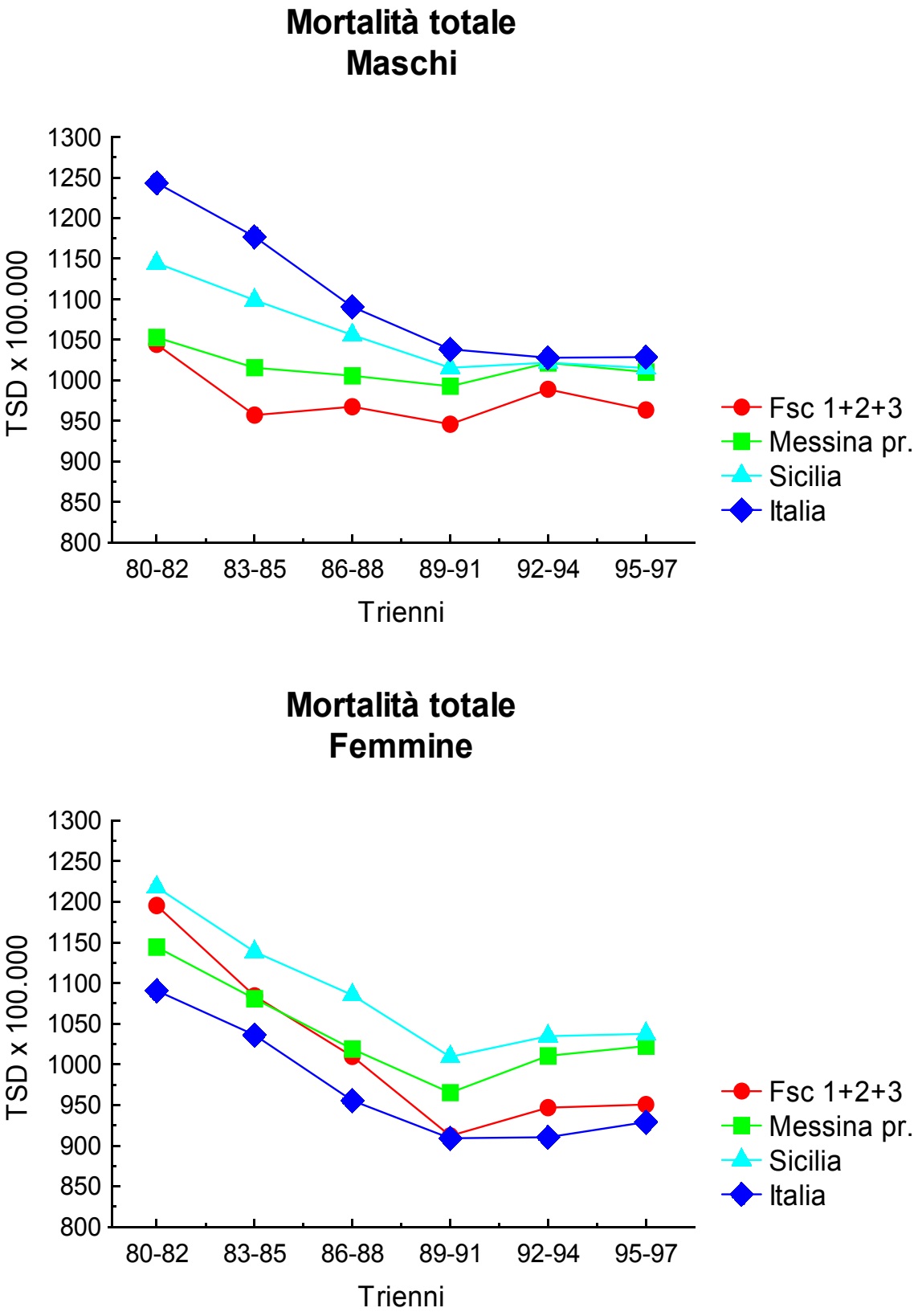


Fig. 5.2 - Andamenti triennali dei tassi standardizzati diretti di mortalità per tutte le cause (TSD) x 100.000 (popolaz. standard: Italia 91) per l'insieme dei Comuni delle tre fasce, per la provincia di Messina, per la Sicilia e per l'Italia negli anni 1980-1997

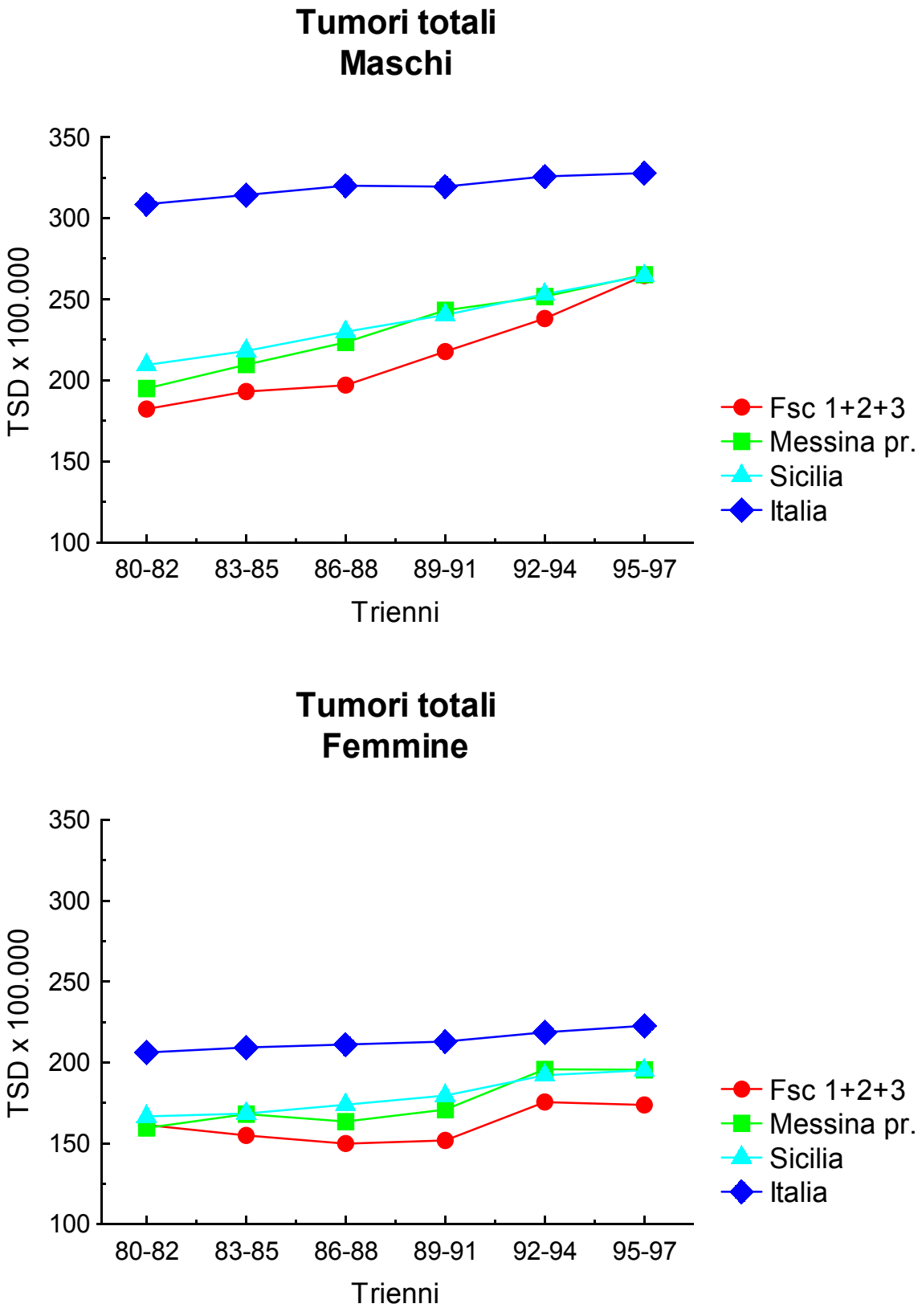


Fig. 5.3 - Andamenti triennali dei tassi standardizzati diretti di mortalità per tumori totali (TSD) x 100.000 (popolaz. standard: Italia 91) per l'insieme dei Comuni delle tre fasce, per la provincia di Messina, per la Sicilia e per l'Italia negli anni 1980-1997

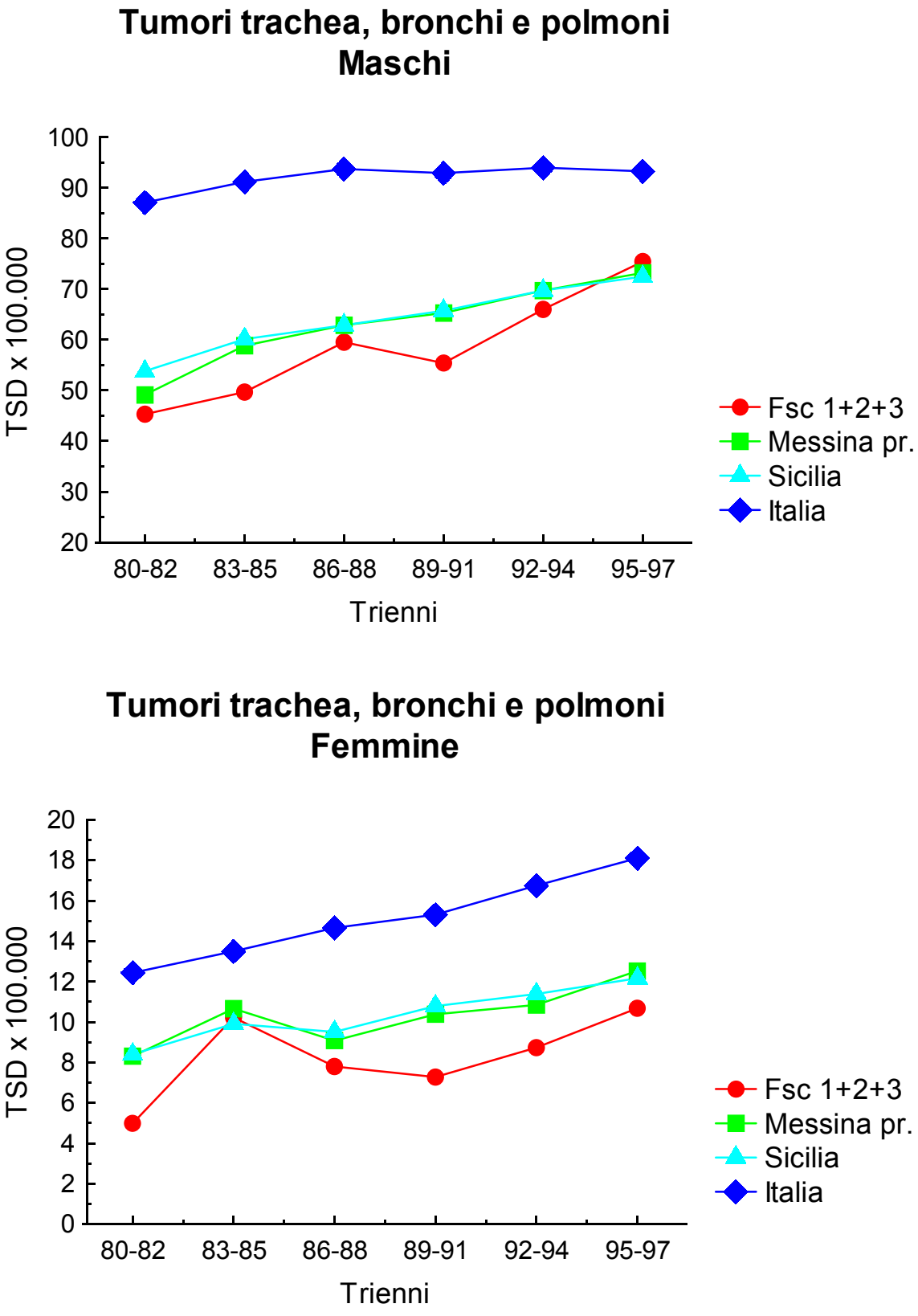


Fig. 5.4 - Andamenti triennali dei tassi standardizzati diretti di mortalità per tumori della trachea, bronchi e polmoni (TSD) x 100.000 (popolaz. standard: Italia 91) per l'insieme dei Comuni delle tre fasce, per la provincia di Messina, per la Sicilia e per l'Italia negli anni 1980-1997

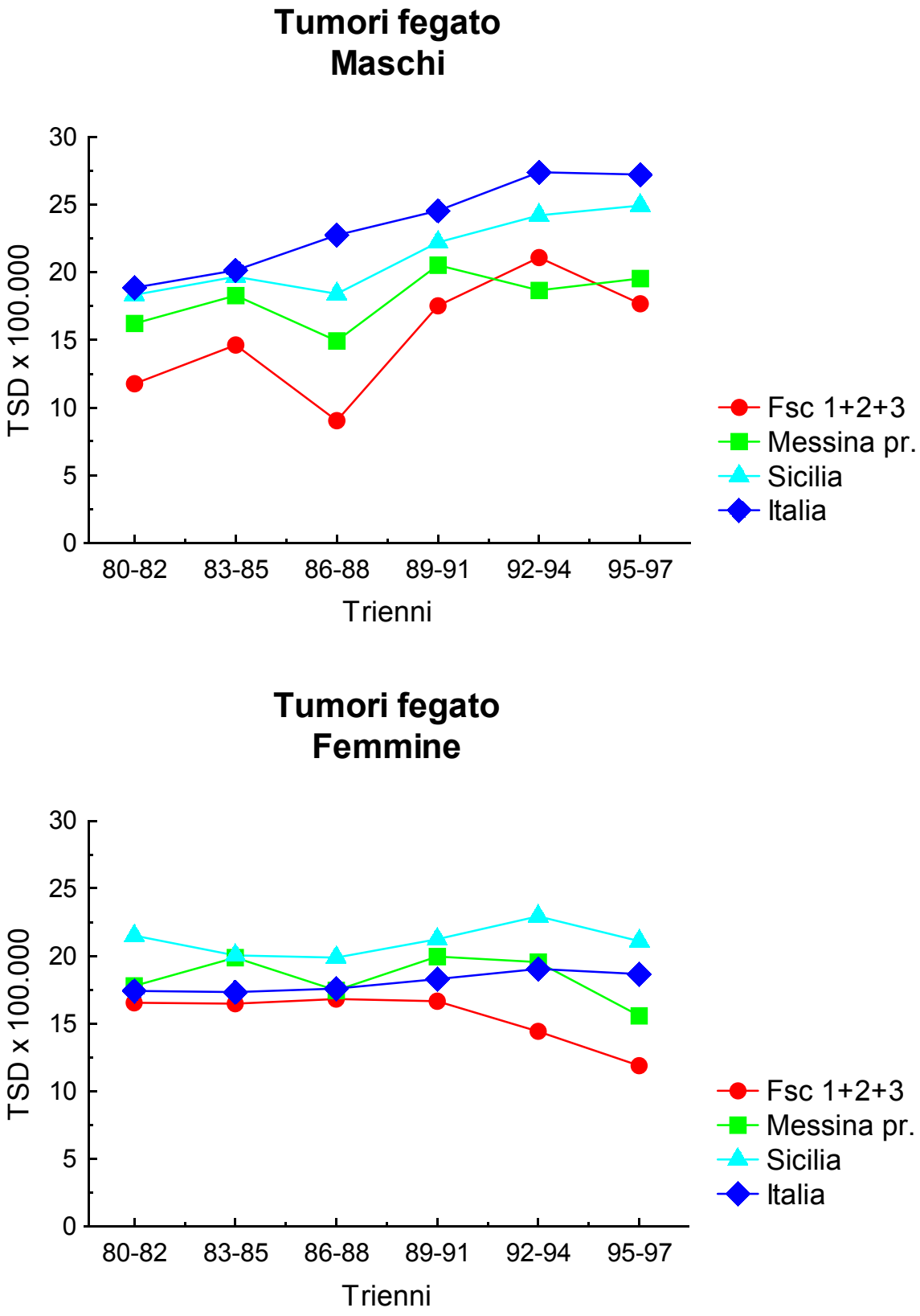
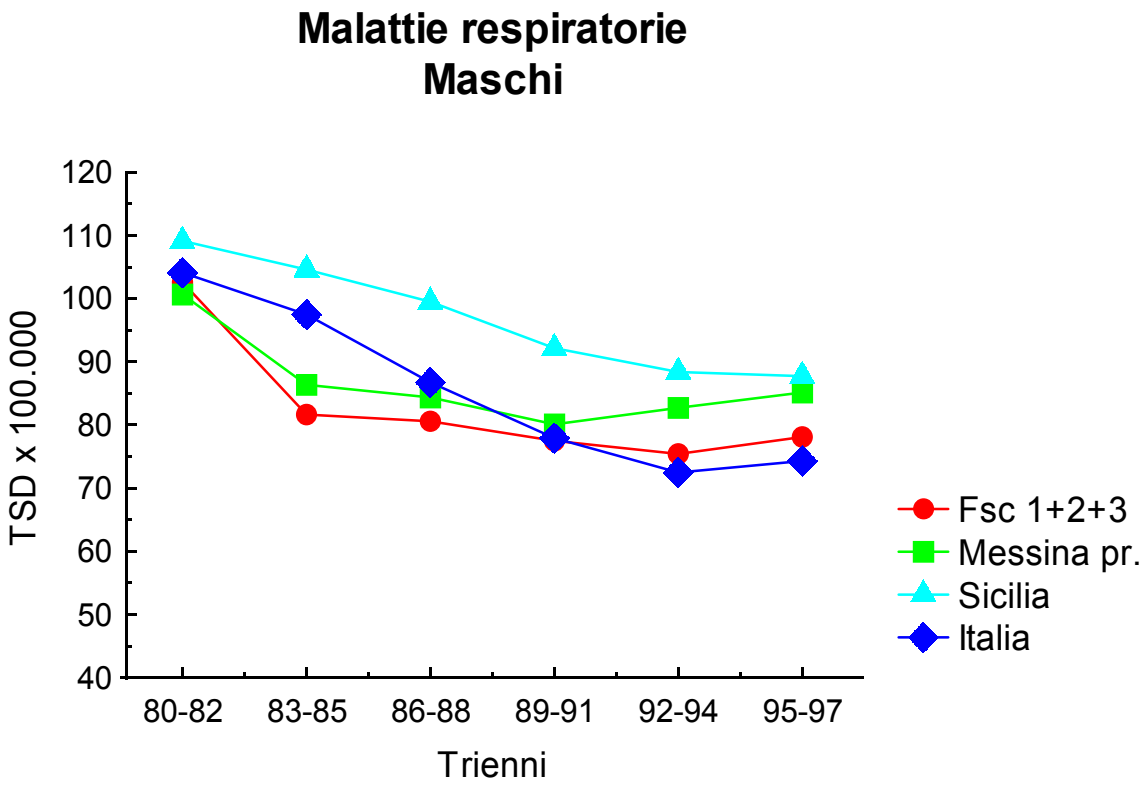


Fig. 5.5 - Andamenti triennali dei tassi standardizzati diretti di mortalità per tumori del fegato (TSD) x 100.000 (popolaz. standard: Italia 91) per l'insieme dei Comuni delle tre fasce, per la provincia di Messina, per la Sicilia e per l'Italia negli anni 1980-1997



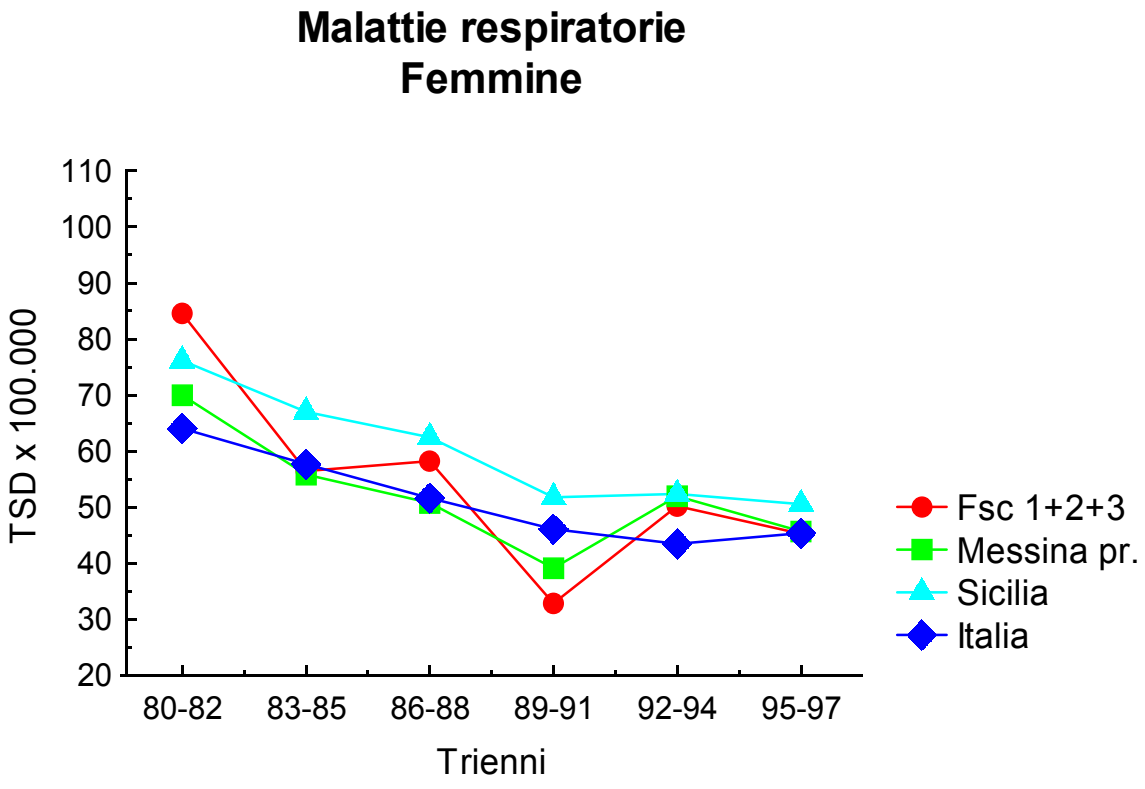


Fig. 5.6 - Andamenti triennali dei tassi standardizzati diretti di mortalità per malattie respiratorie (TSD) x 100.000 (popolaz. standard: Italia 91) per l'insieme dei Comuni delle tre fasce, per la provincia di Messina, per la Sicilia e per l'Italia negli anni 1980-1997

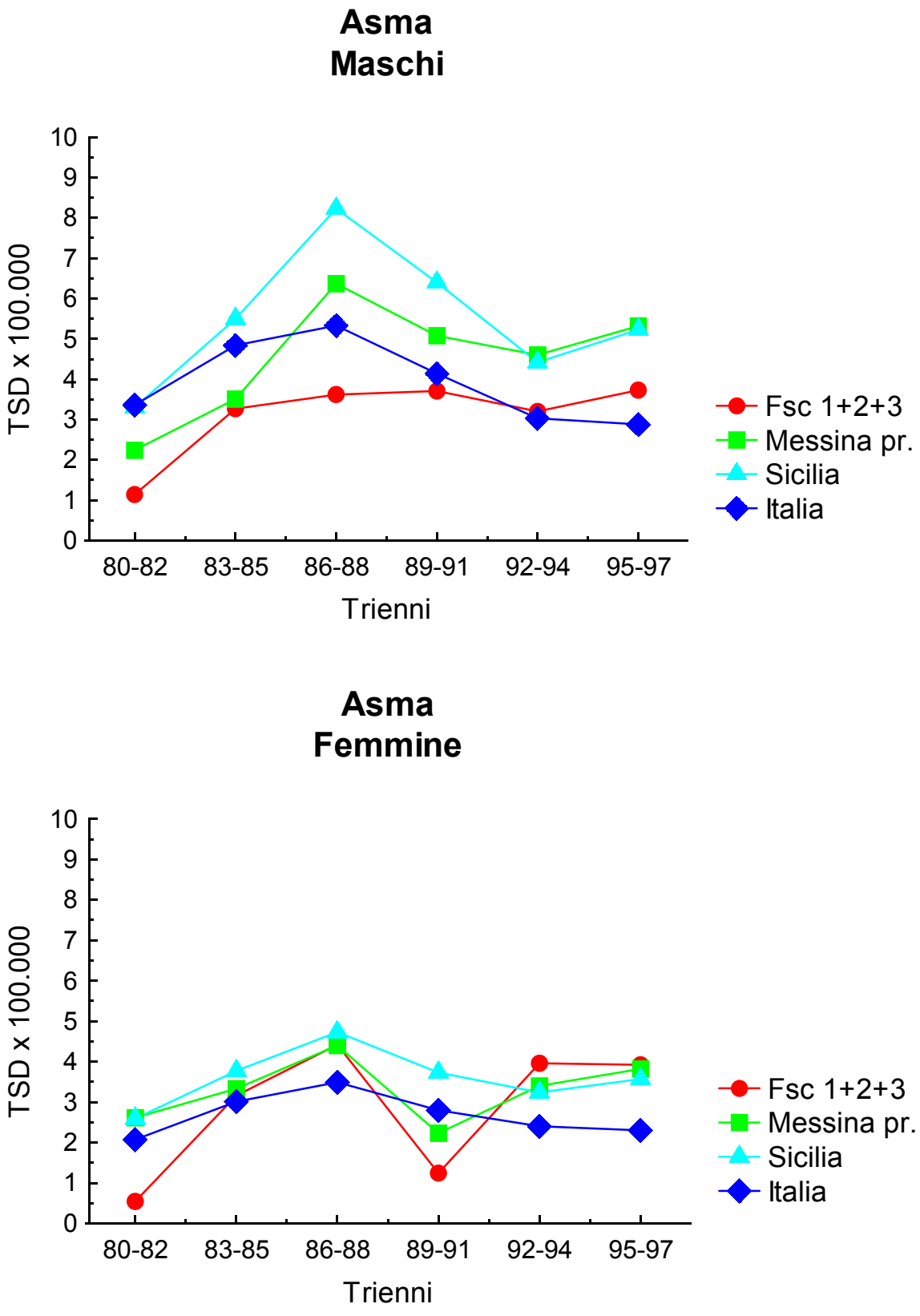


Fig. 5.7 - Andamenti triennali dei tassi standardizzati diretti di mortalità per asma (TSD) x 100.000 (popolaz. standard: Italia 91) per l'insieme dei Comuni delle 3 fasce, per la provincia di Messina, per la Sicilia e per l'Italia negli anni 1980-1997

5.3 Conclusioni

Lo studio ha consentito di evidenziare, mediante il quadro della distribuzione di alcune cause di morte, come lo stato di salute delle popolazioni residenti nel territorio esaminato sia decisamente buono rispetto alla provincia di Messina e alla Sicilia nel suo complesso.

In ogni caso è stato anche possibile rilevare come la popolazione maschile residente nelle due fasce di Comuni più vicine al polo industriale sia caratterizzata da un quadro della mortalità che riflette uno stato di salute peggiore rispetto alla fascia dei Comuni più distanti. Oltre a una maggiore mortalità generale, si evidenzia infatti una mortalità significativamente superiore per tumori del polmone, del fegato e per malattie respiratorie nelle classi di età inferiori a 65 anni. Mentre però la mortalità totale e per malattie respiratorie è in calo, quella per tumori del polmone e del fegato sembra essere in crescita, anche se i livelli sono sempre inferiori alla media nazionale. Le popolazioni dei Comuni della fascia più distante sembrano invece caratterizzate da una maggiore mortalità per asma, soprattutto rispetto a quelle della seconda fascia. Quanto evidenziato per gli uomini non sembra altrettanto vero per le donne, a parte la maggiore mortalità per incidenti stradali nella popolazione della fascia di Comuni più prossima al polo industriale. Il fatto di riscontrare una situazione così diversa tra i due sessi in funzione della distanza di residenza dal polo industriale spingerebbe a ipotizzare una maggiore influenza dell'esposizione professionale rispetto a quella ambientale.

Ringraziamenti

Si ringrazia il Dr. Pierluigi Altavista dell'ENEA per le preziose osservazioni e per i consigli metodologici.

Bibliografia

Biggeri A., Barbone F., Lagazio C., Bovenzi M. and Stanta G. *Air pollution and lung cancer in Trieste, Italy: spatial analysis of risk as a function of distance from sources.* Environ. Health Perspect., 104: 750-754, 1996.

Blair A., Zahm S.H., Pearce N.E., Heineman E.F. and Fraumeni J.F. jr. *Clues to cancer etiology from studies of farmers.* Scand. J. Work Environ. Health, 18: 209-215, 1992.

Breslow NE, Day NE. Statistical Methods in Cancer Research, Vol II - *The Design and Analysis of Chort Studies.* IARC Scientific Pubblication n. 82, Lyon, 1987.

Dockery D.W. and Pope C.A. III. *Acute respiratory effects of particulate air pollution*. Annual Review of Publich Health, 15: 107-132, 1994.

Dockery D.W., Pope C. A.. III, Xiping XU M.D., Spengler J.D., Ware J.H., Fay M.E., Ferris B.G. jr. and Speizer F.E. *An association between air pollution and mortality in six U.S. cities*. N. England J. Med., 329: 1753-1759, 1993.

Doll S.R. *Urban and rural factors in the aetiology of cancer*. Int. J. Cancer, 47: 803-810, 1991.

Forastiere F., Perucci C.A., Arcà M. and Axelson O. *Indirect estimates of lung cancer death rates in Italy not attribuible to active smoking*. Epidemiology, 46: 502-510, 1993.

Forastiere F., Perucci C.A., Di Pietro A., Miceli M., Rapiti E. and Bargagli A. *Mortality among urban policemen in Rome*. Am. J. Ind. Med., 26: 785-798, 1994.

Grassi C. e Meloni F. *Effetti acuti e cronici dell'inquinamento dell'aria sull'apparato respiratorio*. In: Inquinamento dell'Aria e Patologia Umana (Canonica G.W., ed.), Editoriale Fernando Folini, Alessandria, 1992, pp. 188-204.

Hemminki K. and Pershagen G. *Cancer risk of air pollution: epidemiological evidence*. Environ. Health Perspect., 102: 187-192, 1994.

ISPESL. *Mortalità per professioni in Italia negli anni '80*. Progetto ReSò. Collana Quaderni Istituto Superiore per la Prevenzione e la Sicurezza del Lavoro n. 2, 1995.

ISTAT (Istituto Centrale di Statistica). *Classificazione delle malattie, traumatismi e cause di morte*. IX revisione 1975. ISTAT, Metodi e norme serie CN. 10/1, 1975.

Kafdar K., Freedman L.S., Goodall C.R. and Tukey J.W. *Urbanicity-related trends in lung cancer mortality in US counties: white females and white males, 1970-1987*. Int. J. Epidemiol., 25: 918-932, 1996.

Katsouyanni K., Touloumi G., Spix C., Schwartz J., Balducci F., Medina S., Rossi G., Wojtyniak B., Sunyer J., Bacharova L., Schouten J.P., Ponka A. and Anderson H.R. *Short term effects of ambient sulphur dioxide and particulate matter on mortality in 12 European cities: results from time series data from the APHEA Project*. Br. Med. J., 314: 1658-1663, 1997.

Lebowitz M.D. Noncarcinogenic respiratory disease. In: R. Bertollini, M.D. Lebowitz, R. Saracci and D.A. Savitz (Eds.). *Environmental Epidemiology: Exposure and Disease*. World Health Organization, Lewis Publisher New York, 1996.

OMS (Organizzazione Mondiale della Sanità). *Ambiente e Salute in Italia*. R. Bertollini, M. Faberi, e N. Di Tanno (Eds.). OMS Centro Europeo Ambiente e Salute, Divisione di Roma. Il Pensiero Scientifico Editore, Roma, 1997.

Pershagen G. and Simonato L. *Epidemiological evidence on air pollution and Cancer*. In: L. Tomatis (Ed.). Air Pollution and Human Cancer. Springer-Verlag, Berlin: 63-74, 1990.

Pirastu R., Bruno C., De Santis M., Comba P. *Indagine epidemiologica sui lavoratori esposti a cloruro di vinile negli stabilimenti di Ferrara, Rosignano e Ravenna.* Epidemiologia & Prevenzione, 22:226-236, 1998.

Pope C.A., Thun M.J., Namboodiri M.M., Dockery D.W., Evans J.S., Speizer F.E. and Heath C.W. jr. *Particulate air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of U.S. adults*. Am. J. Respir. Crit. Care Med., 151: 669-674, 1995.

Simonato L., Boffetta P. and Kogevinas M. *Epidemiological aspects of cancer risk associated with exposure in the occupational environment*. Med. Lav. 87: 5-15, 1996.

Simonato L. Neoplastic diseases (lung cancer excluded). In: R. Bertollini, M.D.Lebowitz, R. Saracci and D.A. Savitz (Eds.). *Environmental Epidemiology: Exposure and Disease.* World Health Organization, Lewis Publisher New York, 1996.

Trichopoulos D., Li F.P. and Hunter D.J. *Che cosa provoca il cancro?* Le Scienze, 339: 48-54, 1996.

Uccelli R., Mastrantonio M., Di Paola M. *Distribuzione delle cause di morte in Comuni a diverso grado di urbanizzazione*. Epidemiologia & Prevenzione, 24:28-37, 2000.

Waterhouse D., Carman W.J., Schottenfeld D., Gridley G. and McLean S. *Cancer incidence in the rural community of tecumseh, Michigan: a pattern of increased lymphopoietic neoplasm*. Cancer 77: 763-770, 1996.

Zanetti R. e Crosignani P. Il Cancro in Italia. *I dati di incidenza dei Registri Tumori 1983-1987*. Tipolitografia Silvestrelli e Cappelletto s.r.l., Torino, 1992.

CAPITOLO VI

Selezione ed applicazione delle matrici meteo-diffusive e dei modelli matematici per la valutazione delle concentrazioni in aria e delle deposizioni al suolo per via umida e secca

P. Cagnetti, G. Grandoni, P. Fedele, M. Boccadoro, M.C. Mammarella
(ENEA)

Premessa

Al fine di poter valutare l'impatto sull'ambiente e sull'uomo degli effluenti aeriformi emessi da impianti industriali è necessario disporre dei **dati meteorologici** opportuni (matrice meteo-diffusiva), che, insieme ai **dati relativi agli impianti** (altezza del camino, temperatura degli effluenti, velocità di efflusso ecc.), devono essere introdotti nei **modelli matematici meteo-diffusivi** per risalire alle **curve di uguale concentrazione in aria e di uguale deposizione al suolo** degli inquinanti prodotti dagli impianti, indispensabili per le valutazioni di impatto sia ambientale che sanitario.

Dopo una ricognizione dei dati meteo-diffusivi reperibili sul territorio in esame e delle caratteristiche/modalità di rilascio degli impianti industriali della zona, sono stati **individuati i modelli meteo-diffusivi dell'ENEA** più adatti all'applicazione. Tali modelli sono stati applicati alla zona in esame, utilizzando le matrici meteorologiche ottenute dalle stazioni meteo dell'AM, rendendo così possibile la valutazione delle concentrazioni in aria e delle deposizioni al suolo per qualsiasi simulazione di rilascio.

L'utilizzo dei **dati effettivi di emissione** dei vari impianti della zona industriale, forniti dalla Provincia di Messina, hanno permesso di riportare sulla cartografia i contributi che tali impianti danno ai livelli attuali di qualità dell'aria nel territorio in esame. Questa fase è estremamente importante per poter correttamente valutare l'inserimento di eventuali nuovi impianti nella stessa area, affinché i livelli della qualità dell'aria possano essere mantenuti quanto più possibile bassi (v. DM 25/II/2000, n. 124).

Nel presente Capitolo vengono esposti:

- **i dati meteorologici relativi alla matrice meteo-diffusiva;**
- **i dati caratteristici dei principali impianti presenti;**
- **il modello meteo-diffusivo utilizzato.**

6.1 I dati meteorologici relativi alla matrice meteo-diffusiva

Poiché nella zona in esame non è stato possibile reperire dati meteorologici sufficientemente rappresentativi per poter risalire alla **matrice meteo-diffusiva caratteristica della zona stessa**, è stato necessario selezionare una stazione meteorologica dell'AM in posizione simile dal punto di vista degli effetti locali (brezze).

È stata scelta a tal fine la matrice meteo-diffusiva relativa ai dati meteorologici rilevati dalla stazione A.M. 405 di Palermo Punta Raisi, lat. 38° 11', long. 13° 6', alt. s.l.m. 21 m, che, seppur distante da Milazzo, è collocata in un sito costiero alla stessa latitudine, con lo stesso orientamento della costa e la stessa presenza di rilievi montagnosi a ridosso.

Le matrici meteo-diffusive utilizzate si riferiscono ad un periodo di osservazioni meteorologiche di 30 anni, dal 1/1961 al 12/1991, ed i cui dati sono stati elaborati nell'ambito di una collaborazione fra ENEL e Servizio Meteorologico Aeronautica Militare.

Direzione e velocità del vento sono correlati ora per ora con le categorie di stabilità secondo Pasquill-Gifford: tali categorie come noto caratterizzano il grado di diffusività dell'atmosfera nei confronti degli inquinanti immessi in essa.

Poiché non esiste una correlazione oraria con le situazioni di pioggia, per la valutazione della deposizione per via umida, è stata utilizzata la rosa dei venti relativa alla categoria D (caratterizzata da cielo coperto e/o forte intensità del vento).

Nelle otto tabelle di seguito riportate (**Tabb. 6.1-6.9**) sono mostrati i valori delle frequenze delle varie categorie in funzione della direzione e della velocità del vento, e che si basano sull'elaborazione relative al periodo sopra detto.

Nelle **Figg. 6.1-6.6** sono riportate le relative rose dei venti relative ad ogni categoria di stabilità.

STAZIONE METEOROLOGICA A.M. 405								
FREQUENZE ANNUALI E STAGIONALI DELLE CLASSI DI STABILITA' (‰)								
NUMERO DELLE OSSERVAZIONI 58523								
STAGIONI	CLASSI DI STABILITA`							
	A	B	C	D	E	F + G	NEBBIA	TOTALE
DIC-GEN-FEB	0.56	8.77	8.07	173.15	28.42	45.26	0.07	264.29
MAR-APR-MAG	7.72	21.15	21.43	135.25	24.45	45.25	0.17	255.42
GIU-LUG-AGO	14.70	38.24	30.91	60.28	25.05	55.67	0.05	224.90
SET-OTT-NOV	4.00	17.28	15.38	126.79	29.90	62.03	0.02	255.39
TOTALE	26.98	85.44	75.78	495.46	107.82	208.21	0.31	1000.00

Tab. 6.1 ***Staz. A.M. Palermo Punta Raisi: distribuzione delle frequenze stagionali e annuali delle categorie di stabilità***

STAZIONE METEOROLOGICA A.M. 405 - PALERMO PUNTA RAISI								
DIREZIONE E VELOCITA' DEL VENTO								
NUMERO DELLE OSSERVAZIONI 89670								
DISTRIBUZIONE DELLE FREQUENZE ANNUALI (‰)								
SETTORI		CLASSI DI VELOCITA' (NODI)						
N.	GRADI	0 - 1	2 - 4	5 - 7	8 - 12	13 - 23	≥ 24	TOTALE
1	0.0 - 22.5		5.31	9.87	7.83	4.53	1.88	29.42
2	22.5 - 45.0		8.35	20.60	25.45	10.61	1.42	66.42
3	45.0 - 67.5		13.59	28.91	38.69	19.72	0.88	101.79
4	67.5 - 90.0		8.51	16.61	18.02	8.92	0.54	52.61
5	90.0 - 112.5		4.99	7.36	6.19	3.23	0.27	22.04
6	112.5 - 135.0		3.45	3.03	1.54	0.67	0.16	8.84
7	135.0 - 157.5		4.33	2.60	1.31	1.46	1.17	10.86
8	157.5 - 180.0		8.10	9.57	9.16	14.63	6.00	47.46
9	180.0 - 202.5		9.42	14.35	21.06	30.87	6.96	82.67
10	202.5 - 225.0		10.23	17.79	24.03	25.38	3.30	80.74
11	225.0 - 247.5		5.22	8.60	12.53	15.83	3.60	45.78
12	247.5 - 270.0		4.88	8.20	13.35	23.83	6.27	56.53
13	270.0 - 292.5		5.91	9.52	14.35	17.29	2.96	50.03
14	292.5 - 315.0		5.64	8.93	9.62	8.68	1.70	34.58
15	315.0 - 337.5		6.62	9.33	7.92	7.23	1.59	32.69
16	337.5 - 360.0		5.15	8.60	6.19	5.27	0.99	26.20
DIREZIONE VARIABIL		0.10	0.35	0.16	0.16	0.00	0.76	
CALME (≤ 1 NODO)		250.59						250.59
TOTALE		250.59	109.81	184.20	217.39	198.32	39.70	1000.00

Tab. 6.2 ***Staz. A.M. Palermo Punta Raisi: distribuzione delle frequenze totali del vento***

STAZIONE METEOROLOGICA A.M. 405 - PALERMO PUNTA RAISI								
CLASSE DI STABILITA` A								
NUMERO DELLE OSSERVAZIONI 1579								
DISTRIBUZIONE DELLE FREQUENZE ANNUALI (‰)								
SETTORI		CLASSI DI VELOCITA' (NODI)						
N.	GRADI	0 - 1	2 - 4	5 - 7	8 - 12	13 - 23	≥ 24	TOTALE
1	0.0 - 22.5		33.88	22.96	0.00	0.00	0.00	56.84
2	22.5 - 45.0		35.47	41.32	0.00	0.00	0.00	76.79
3	45.0 - 67.5		32.30	20.11	0.00	0.00	0.00	52.41
4	67.5 - 90.0		2.85	4.91	0.00	0.00	0.00	7.76
5	90.0 - 112.5		3.48	1.27	0.00	0.00	0.00	4.75
6	112.5 - 135.0		2.53	0.95	0.00	0.00	0.00	3.48
7	135.0 - 157.5		0.79	0.79	0.00	0.00	0.00	1.58
8	157.5 - 180.0		1.42	2.06	0.00	0.00	0.00	3.48
9	180.0 - 202.5		3.80	1.58	0.00	0.00	0.00	5.38
10	202.5 - 225.0		11.72	7.60	0.00	0.00	0.00	19.32
11	225.0 - 247.5		6.97	3.64	0.00	0.00	0.00	10.61
12	247.5 - 270.0		12.98	10.92	0.00	0.00	0.00	23.91
13	270.0 - 292.5		24.22	14.72	0.00	0.00	0.00	38.95
14	292.5 - 315.0		27.39	23.27	0.00	0.00	0.00	50.66
15	315.0 - 337.5		41.48	24.22	0.00	0.00	0.00	65.71
16	337.5 - 360.0		32.30	26.12	0.00	0.00	0.00	58.42
DIREZIONE VARIABIL		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CALME (≤ 1 NODO)		519.95						519.95
TOTALE		519.95	273.59	206.46	0.00	0.00	0.00	1000.00

Tab. 6.3 ***Staz. A.M. Palermo Punta Raisi: distribuzione delle frequenze annuali della categoria A***

STAZIONE METEOROLOGICA A.M. 405 - PALERMO PUNTA RAISI								
CLASSE DI STABILITA` B								
NUMERO DELLE OSSERVAZIONI 5000								
DISTRIBUZIONE DELLE FREQUENZE ANNUALI (‰)								
S E T T O R I		CLASSI DI VELOCITA' (NODI)						
N.	GRADI	0 - 1	2 - 4	5 - 7	8 - 12	13 - 23	≥ 24	TOTALE
1	0.0 - 22.5		13.15	39.10	9.85	0.00	0.00	62.10
2	22.5 - 45.0		20.85	71.60	37.45	0.00	0.00	129.90
3	45.0 - 67.5		26.75	66.90	32.55	0.00	0.00	126.20
4	67.5 - 90.0		8.35	12.40	5.75	0.00	0.00	26.50
5	90.0 - 112.5		4.55	4.65	0.50	0.00	0.00	9.70
6	112.5 - 135.0		3.75	2.45	0.20	0.00	0.00	6.40
7	135.0 - 157.5		4.85	1.00	0.40	0.00	0.00	6.25
8	157.5 - 180.0		9.35	2.80	0.20	0.00	0.00	12.35
9	180.0 - 202.5		11.95	6.70	0.75	0.00	0.00	19.40
10	202.5 - 225.0		14.65	12.70	2.45	0.00	0.00	29.80
11	225.0 - 247.5		10.45	13.70	3.95	0.00	0.00	28.10
12	247.5 - 270.0		13.25	18.10	5.45	0.00	0.00	36.80
13	270.0 - 292.5		14.00	29.00	9.95	0.00	0.00	52.95
14	292.5 - 315.0		12.70	23.40	7.85	0.00	0.00	43.95
15	315.0 - 337.5		10.85	25.75	4.75	0.00	0.00	41.35
16	337.5 - 360.0		10.75	26.35	6.55	0.00	0.00	43.65
DIREZIONE VARIABIL		0.00	0.60	0.60	0.00	0.00	1.80	6.00
CALME (≤ 1 NODO)		322.80						322.80
TOTALE		322.80	190.80	357.20	129.20	0.00	0.00	1000.00

Tab. 6.4 ***Staz. A.M Palermo Punta Raisi: distribuzione delle frequenze annuali della categoria B***

STAZIONE METEOROLOGICA A.M. 405 - PALERMO PUNTA RAISI								
CLASSE DI STABILITA` C								
NUMERO DELLE OSSERVAZIONI 4435								
DISTRIBUZIONE DELLE FREQUENZE ANNUALI (‰)								
S E T T O R I		CLASSI DI VELOCITA' (NODI)						
N.	GRADI	0 - 1	2 - 4	5 - 7	8 - 12	13 - 23	≥ 24	TOTALE
1	0.0 - 22.5		3.89	17.36	24.69	1.30	0.56	47.80
2	22.5 - 45.0		6.03	27.17	111.39	16.97	0.34	161.89
3	45.0 - 67.5		6.65	35.91	145.38	46.67	0.45	235.06
4	67.5 - 90.0		3.61	19.22	43.57	10.15	0.00	76.55
5	90.0 - 112.5		1.63	7.78	7.72	0.85	0.00	17.98
6	112.5 - 135.0		0.06	2.25	0.62	0.06	0.00	2.99
7	135.0 - 157.5		1.07	1.58	1.13	0.23	0.39	4.40
8	157.5 - 180.0		3.33	7.33	5.07	1.24	1.52	18.49
9	180.0 - 202.5		5.07	15.50	18.55	3.33	2.71	45.15
10	202.5 - 225.0		6.09	22.04	31.17	7.16	1.01	67.47
11	225.0 - 247.5		5.02	16.91	25.03	6.76	0.51	54.23
12	247.5 - 270.0		4.00	11.95	33.26	20.63	1.07	70.91
13	270.0 - 292.5		3.21	13.08	45.21	24.24	0.23	85.96
14	292.5 - 315.0		2.20	14.88	27.06	4.74	0.00	48.87
15	315.0 - 337.5		4.85	12.29	16.85	0.90	0.00	34.89
16	337.5 - 360.0		4.17	10.37	11.22	0.23	0.00	25.99
DIREZIONE VARIABIL		0.23	0.23	0.45	0.45	0.00	1.35	8.83
CALME (≤ 1 NODO)								
TOTALE			61.10	235.85	548.37	145.88	8.79	1000.00

Tab. 6.5 ***Staz. A.M. Palermo Punta Raisi: distribuzione delle frequenze annuali della categoria C***

STAZIONE METEOROLOGICA A.M. 405 - PALERMO PUNTA RAISI								
CLASSE DI STABILITA` D								
NUMERO DELLE OSSERVAZIONI 28996								
DISTRIBUZIONE DELLE FREQUENZE ANNUALI (‰)								
S E T T O R I		CLASSI DI VELOCITA' (NODI)						
N.	GRADI	0 - 1	2 - 4	5 - 7	8 - 12	13 - 23	≥ 24	TOTALE
1	0.0 - 22.5		1.76	3.28	10.36	10.08	2.78	28.25
2	22.5 - 45.0		2.40	5.91	23.64	18.93	2.90	53.77
3	45.0 - 67.5		4.43	10.07	39.57	31.05	1.97	87.10
4	67.5 - 90.0		3.67	7.74	22.21	17.03	1.13	51.78
5	90.0 - 112.5		2.28	3.26	8.81	6.66	0.66	21.67
6	112.5 - 135.0		1.58	1.76	2.38	1.38	0.38	7.48
7	135.0 - 157.5		1.85	1.38	1.93	3.10	2.32	10.59
8	157.5 - 180.0		3.75	5.09	17.11	31.66	11.96	69.56
9	180.0 - 202.5		4.96	7.56	37.75	63.24	13.82	127.33
10	202.5 - 225.0		5.13	10.22	38.95	50.60	6.42	111.33
11	225.0 - 247.5		2.50	4.83	20.98	32.75	7.50	68.56
12	247.5 - 270.0		1.88	4.09	21.43	49.55	13.40	90.34
13	270.0 - 292.5		2.20	3.65	20.16	33.69	6.22	65.91
14	292.5 - 315.0		2.18	3.99	15.04	18.10	3.95	43.26
15	315.0 - 337.5		2.28	3.80	13.48	15.59	3.10	38.26
16	337.5 - 360.0		1.67	3.28	10.24	11.86	2.36	29.43
DIREZIONE VARIABILE		0.00	0.17	0.21	0.28	0.00	0.72	10.19
CALME (≤ 1 NODO)		94.67						94.67
TOTALE		94.67	190.80	357.20	129.20	0.00	0.00	1000.00

Tab. 6.6 ***Staz. A.M. Palermo Punta Raisi: distribuzione delle frequenze annuali della categoria D***

STAZIONE METEOROLOGICA A.M. 405 - PALERMO PUNTA RAISI								
CLASSE DI STABILITA` E								
NUMERO DELLE OSSERVAZIONI 6310								
DISTRIBUZIONE DELLE FREQUENZE ANNUALI (‰)								
S E T T O R I		CLASSI DI VELOCITA' (NODI)						
N.	GRADI	0 - 1	2 - 4	5 - 7	8 - 12	13 - 23	≥ 24	TOTALE
1	0.0 - 22.5		3.25	25.44	6.50	0.00	0.00	35.18
2	22.5 - 45.0		4.28	63.39	22.27	0.00	0.00	89.94
3	45.0 - 67.5		10.74	101.19	43.82	0.00	0.00	155.74
4	67.5 - 90.0		9.87	70.21	24.48	0.00	0.00	104.56
5	90.0 - 112.5		5.11	27.30	8.72	0.00	0.00	41.13
6	112.5 - 135.0		3.13	10.02	1.43	0.00	0.00	14.58
7	135.0 - 157.5		3.49	11.65	1.82	0.00	0.00	16.96
8	157.5 - 180.0		7.13	52.77	13.47	0.00	0.00	73.38
9	180.0 - 202.5		11.49	73.22	22.70	0.00	0.00	107.41
10	202.5 - 225.0		7.53	74.88	18.74	0.00	0.00	101.15
11	225.0 - 247.5		4.16	29.99	9.07	0.00	0.00	43.23
12	247.5 - 270.0		3.21	32.13	10.82	0.00	0.00	46.16
13	270.0 - 292.5		4.20	35.82	11.53	0.00	0.00	51.55
14	292.5 - 315.0		4.60	31.70	4.71	0.00	0.00	41.01
15	315.0 - 337.5		6.46	30.82	3.53	0.00	0.00	40.81
16	337.5 - 360.0		3.76	28.84	3.37	0.00	0.00	35.97
DIREZIONE VARIABIL		0.00	1.11	0.00	0.00	0.00	1.27	6.00
CALME (≤ 1 NODO)		0.00						0.00
TOTALE		0.00	92.55	700.48	206.97	0.00	0.00	1000.00

Tab. 6.7 ***Staz. A.M. Palermo Punta Raisi: distribuzione delle frequenze annuali della categoria E***

STAZIONE METEOROLOGICA A.M. 405 - PALERMO PUNTA RAISI								
CLASSE DI STABILITA` F+G								
NUMERO DELLE OSSERVAZIONI 12185								
DISTRIBUZIONE DELLE FREQUENZE ANNUALI (‰)								
SETTORI		CLASSI DI VELOCITA' (NODI)						
N.	GRADI	0 - 1	2 - 4	5 - 7	8 - 12	13 - 23	≥ 24	TOTALE
1	0.0 - 22.5		9.77	3.49	0.00	0.00	0.00	13.25
2	22.5 - 45.0		16.78	7.92	0.00	0.00	0.00	24.70
3	45.0 - 67.5		32.07	14.03	0.00	0.00	0.00	46.10
4	67.5 - 90.0		20.29	8.78	0.00	0.00	0.00	29.07
5	90.0 - 112.5		11.14	4.14	0.00	0.00	0.00	15.29
6	112.5 - 135.0		7.73	1.93	0.00	0.00	0.00	9.66
7	135.0 - 157.5		9.89	2.26	0.00	0.00	0.00	12.15
8	157.5 - 180.0		19.74	6.77	0.00	0.00	0.00	26.51
9	180.0 - 202.5		18.69	7.94	0.00	0.00	0.00	26.63
10	202.5 - 225.0		19.96	7.32	0.00	0.00	0.00	27.29
11	225.0 - 247.5		8.37	2.17	0.00	0.00	0.00	10.55
12	247.5 - 270.0		8.45	2.79	0.00	0.00	0.00	11.24
13	270.0 - 292.5		10.50	2.87	0.00	0.00	0.00	13.38
14	292.5 - 315.0		9.93	3.82	0.00	0.00	0.00	13.75
15	315.0 - 337.5		9.36	3.30	0.00	0.00	0.00	12.66
16	337.5 - 360.0		9.89	2.77	0.00	0.00	0.00	12.66
DIREZIONE VARIABIL		0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.16	3.50
CALME (≤ 1 NODO)		694.95						694.95
TOTALE		694.95	222.65	82.40	0.00	0.00	0.00	1000.00

Tab. 6.8 ***Staz. A.M. Palermo Punta Raisi: distribuzione delle frequenze annuali della cat. F+G***

STAZIONE METEOROLOGICA A.M. 405 - PALERMO PUNTA RAISI								
CLASSE DI STABILITA` NEBBIA								
NUMERO DELLE OSSERVAZIONI 18								
DISTRIBUZIONE DELLE FREQUENZE ANNUALI (‰)								
SETTORI		CLASSI DI VELOCITA' (NODI)						
N.	GRADI	0 - 1	2 - 4	5 - 7	8 - 12	13 - 23	≥ 24	TOTALE
1	0.0 - 22.5		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	22.5 - 45.0		0.00	111.11	0.00	0.00	0.00	111.11
3	45.0 - 67.5		69.44	55.56	0.00	0.00	0.00	125.00
4	67.5 - 90.0		41.67	0.00	55.56	0.00	0.00	97.22
5	90.0 - 112.5		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	112.5 - 135.0		55.56	0.00	0.00	0.00	0.00	55.56
7	135.0 - 157.5		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	157.5 - 180.0		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	180.0 - 202.5		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	202.5 - 225.0		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	225.0 - 247.5		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	247.5 - 270.0		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13	270.0 - 292.5		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14	292.5 - 315.0		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	315.0 - 337.5		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16	337.5 - 360.0		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DIREZIONE VARIABIL		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CALME (≤ 1 NODO)		611.11						611.11
TOTALE		611.11	166.67	166.67	55.56	0.00	0.00	1000.00

Tab. 6.*9* ***Staz. A.M. Palermo Punta Raisi: distribuzione delle frequenze annuali della nebbia***

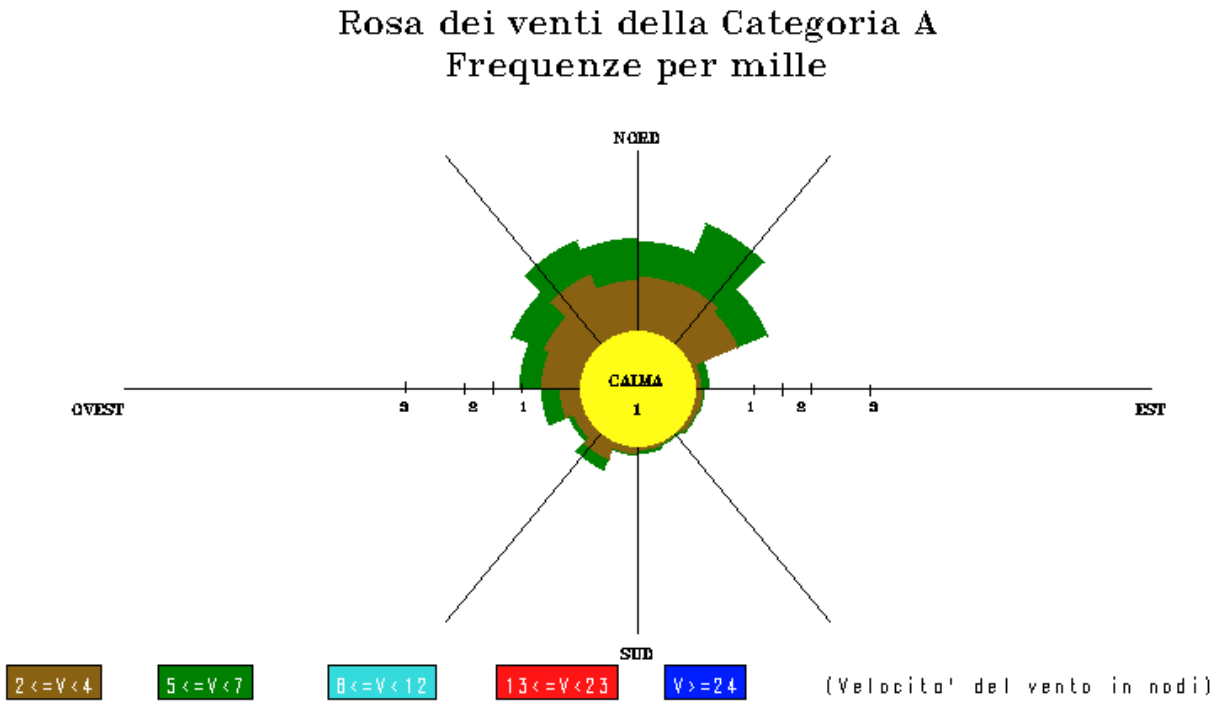


Fig. 6.1 ***Staz. A.M. Palermo Punta Raisi: rosa dei venti per la cat. A (1961-1991)***

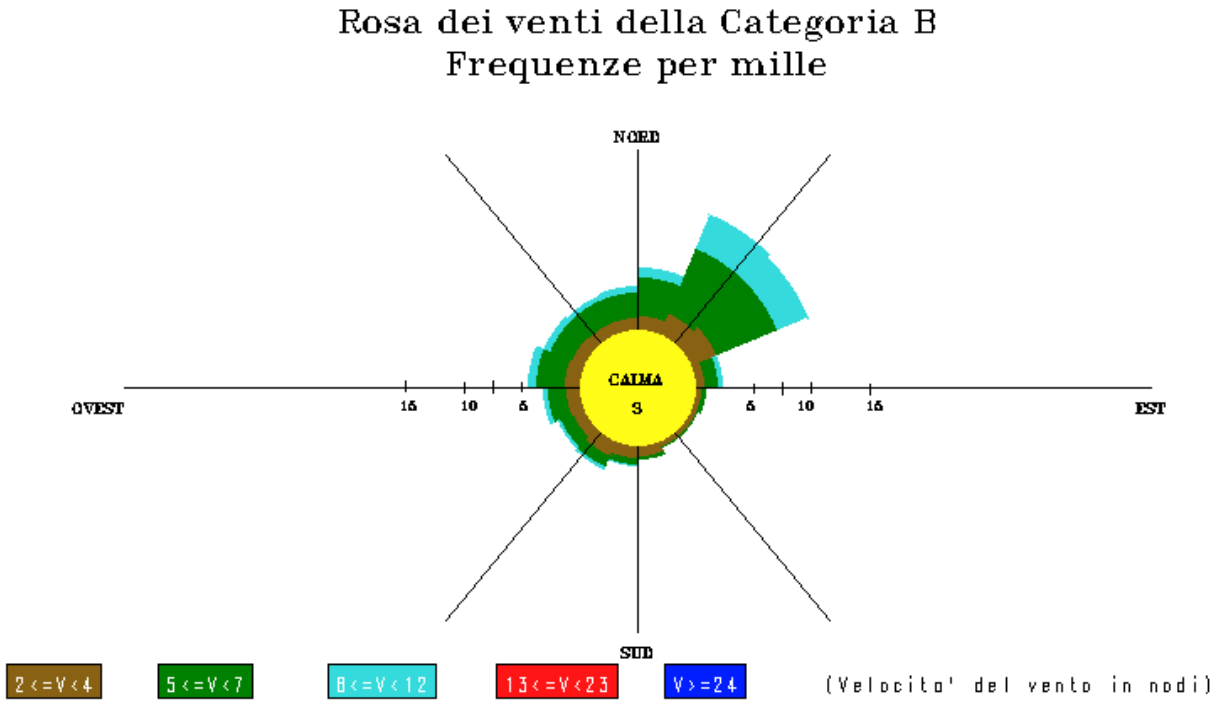


Fig. 6.2 ***Staz. A.M. Palermo Punta Raisi: rosa dei venti per la cat. B (1961-1991)***

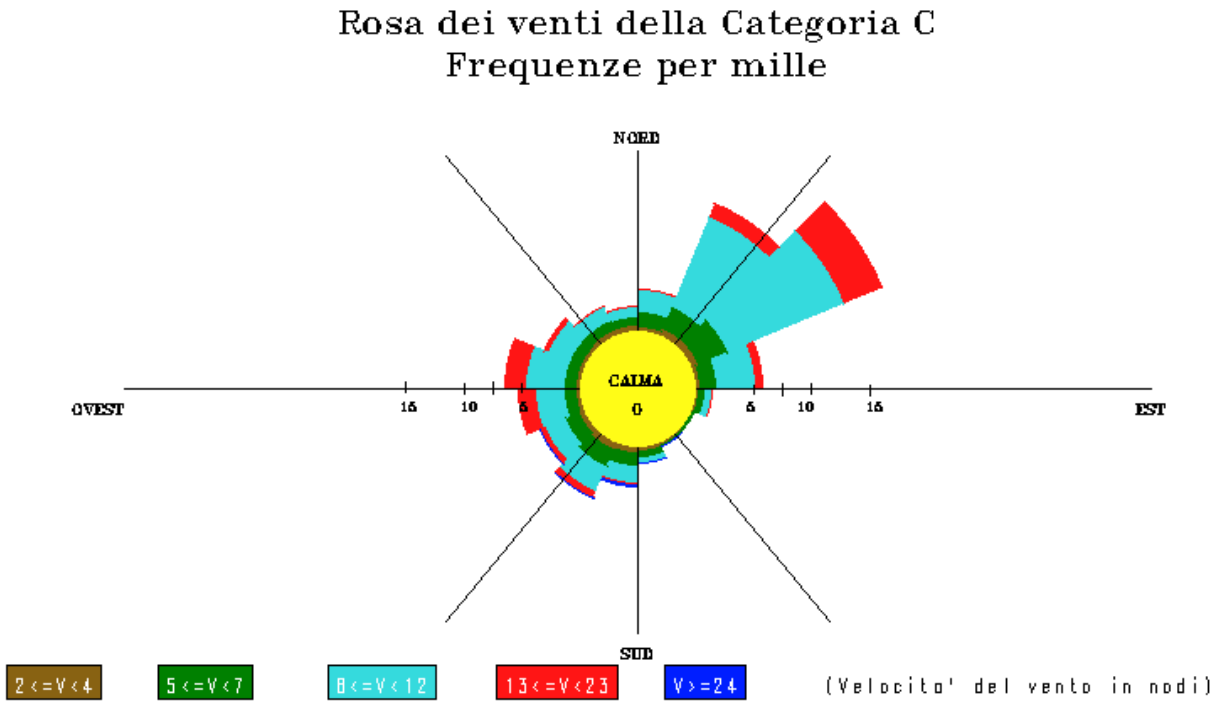


Fig. 6.3 ***Staz. A.M. Palermo Punta Raisi: rosa dei venti per la cat. C (1961-1991)***

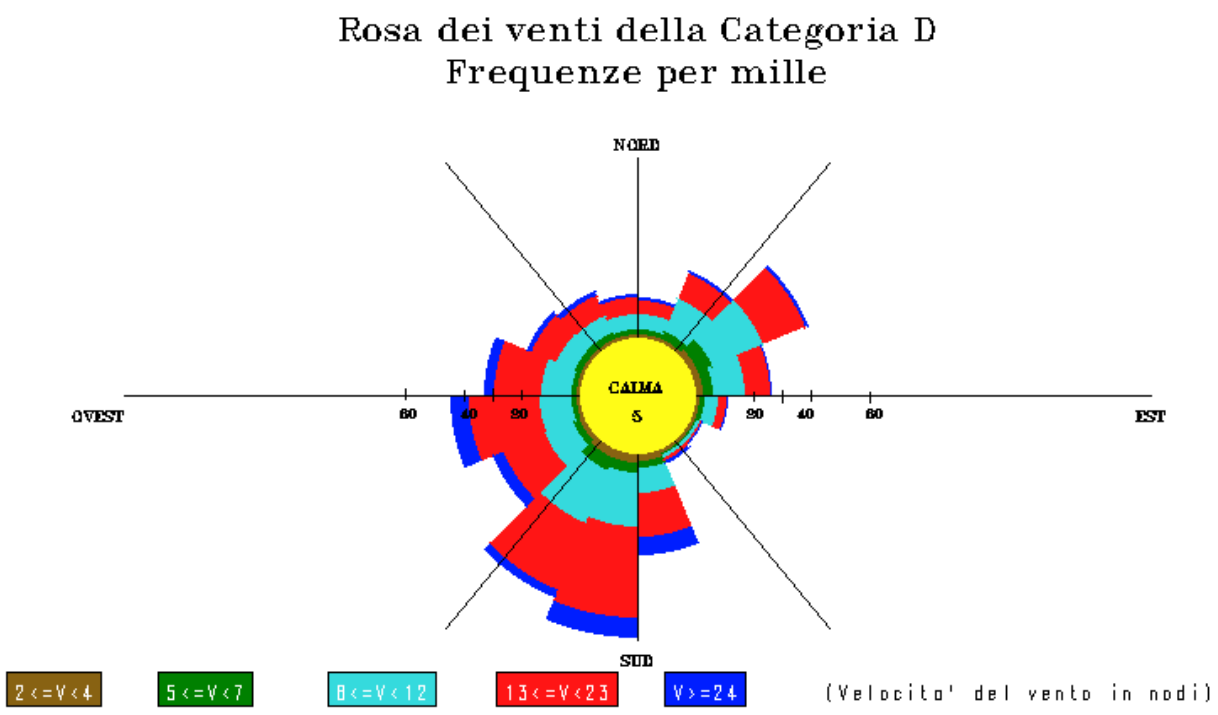


Fig. 6.4 ***Staz. A.M. Palermo Punta Raisi: rosa dei venti per la cat. D (1961-1991)***

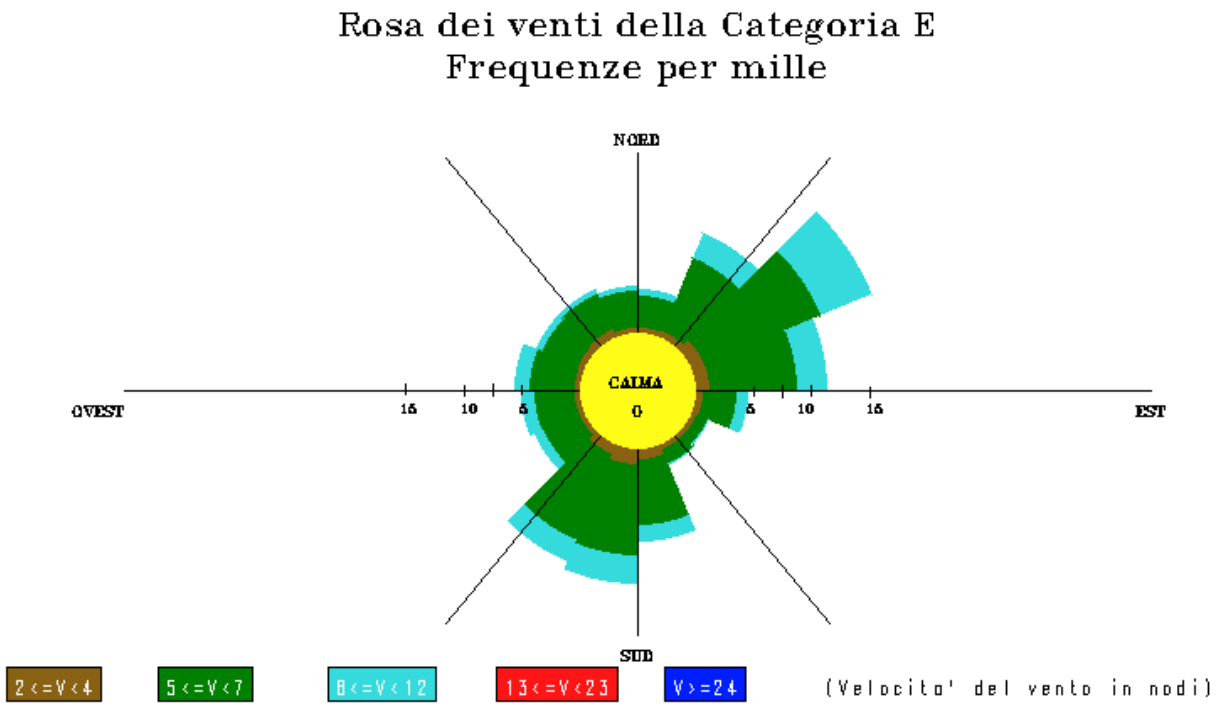


Fig. 6.5 ***Staz. A.M. Palermo Punta Raisi: rosa dei venti per la cat. E (1961-1991)***

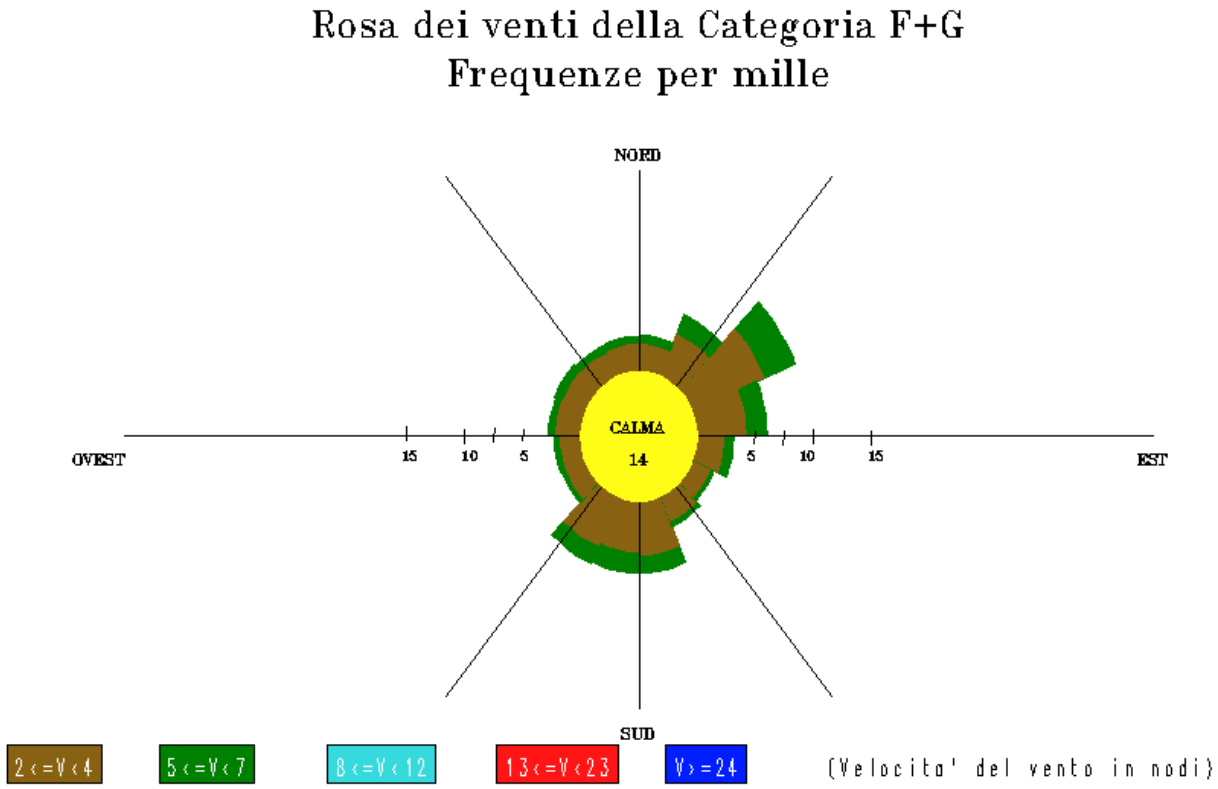


Fig. 6.6 ***Staz. A.M. Palermo Punta Raisi: rosa dei venti per la cat. F+G (1961-1991)***

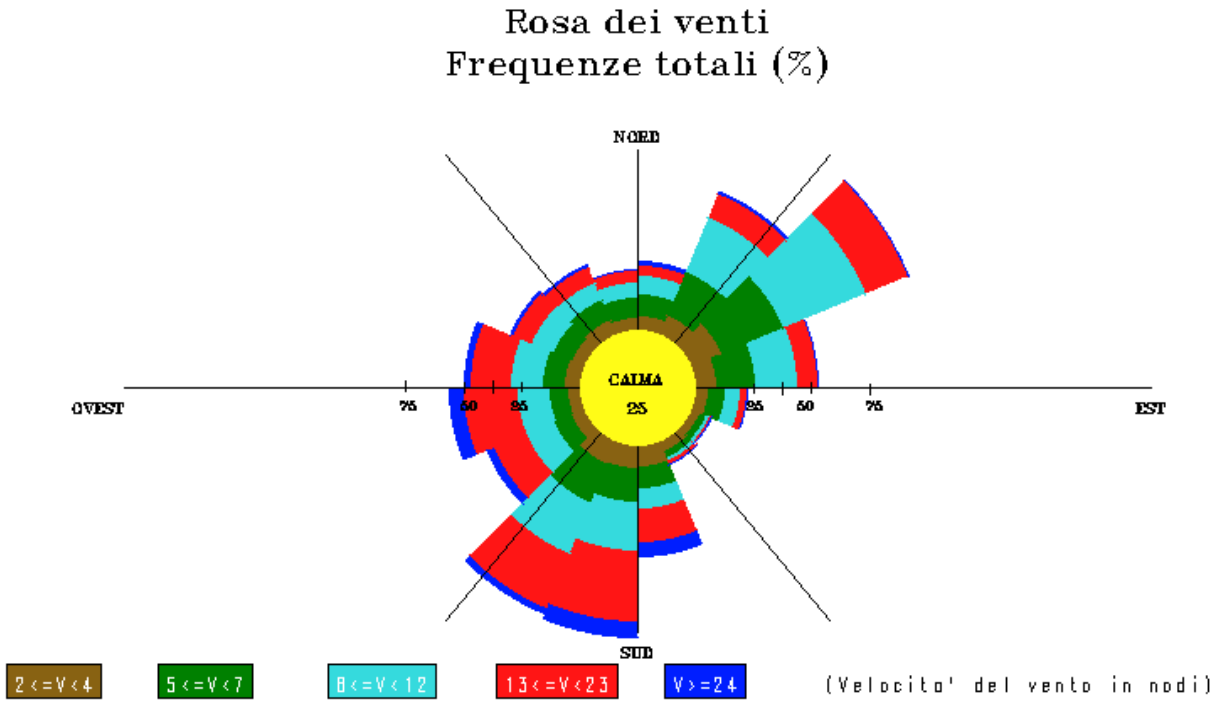


Fig. 6.7 ***Staz. A.M. Palermo Punta Raisi: rosa dei venti (1961-1991)***

6.2 I dati caratteristici dell'impianto

Come sopra detto l'applicazione del modello presuppone la conoscenza, oltre che della matrice meteo-diffusiva caratteristica del sito, anche dei dati caratteristici dell'impianto di cui si vuol valutare la perturbazione sull'ambiente.

Una schermata su video mostra quali siano i dati relativi all'impianto da introdurre nel DSS. Tali dati sono di seguito elencati:

- altezza del camino in metri (m);
- diametro del camino (m);
- velocità dell'emissione (m/s);
- temperatura dell'emissione (°K);
- intensità dell'emissione per ogni singolo inquinante (g/s);
- ubicazione del camino in coordinate geografiche UTM.

Sulla base di questi dati e di quelli relativi alla matrice meteo-diffusiva, il modello è in grado di eseguire una valutazione sia delle concentrazioni in aria che delle deposizioni al suolo, che all'interno del DSS vengono sovrapposti in modo dinamico alla cartografia presente.

6.3 Modello matematico meteo-diffusivo CMPM 98

Fra i vari modelli sviluppati dall'ENEA è stato selezionato il modello ENEA **CMPM 98** (Modello Climatologico Puntiforme Multisorgente), in quanto offre la possibilità di stimare sia i livelli medi annui di concentrazione in aria dei vari inquinanti emessi da un impianto, sia il valore

dei percentili (98°, 95° ecc.), oltre alle deposizioni medie annue per via umida e secca. Tale modello inoltre tiene conto anche delle situazioni di calma di vento.

Di seguito vengono esposte le assunzioni e le ipotesi relative al modello.

6.3.1 Valutazione delle concentrazioni in aria

Il modello di diffusione CMPM 98 dell'ENEA si basa sulle seguenti assunzioni.

Per la valutazione dell'innalzamento del pennacchio sono state utilizzate le formule di Briggs **[3]**, assumendo conservativamente che l'altezza massima raggiunta dagli effluenti sia di 1000 metri: per altezze superiori a tale limite (ad es. in condizioni di instabilità) si considera cautelativamente nei calcoli un valore costante di 1000 m. Il modello climatologico di diffusione è descritto nella pubblicazione ENEA, RT/PAS/85/26 **[4]**.

Nella stessa pubblicazione è pure indicato il modello, utilizzato in questo Progetto, per la diffusione in presenza di calma di vento: si assume una velocità del vento di 0,25 m/s (valore centrale dell'intervallo 0 – 0,5 m/s, relativo alla calma strumentale), e si attribuisce una frequenza per ogni settore proporzionale a quella relativa al primo gradino (0,5-1 m/s) della velocità del vento nella categoria in esame.

Bisogna considerare comunque che nel caso di calma di vento la sopraelevazione del pennacchio è notevole, per cui le situazioni di calma, soprattutto nei casi di instabilità, danno un contributo relativamente piccolo.

Per il suo funzionamento il modello ha bisogno dei seguenti **dati di ingresso**:

- **matrice meteo-diffusiva** del sito in esame;
- **caratteristiche del rilascio** (altezza del camino, suo diametro, velocità di efflusso, temperatura dell'emissione);
- **intensità di emissione** per ogni inquinante considerato.

Utilizzando tali dati di ingresso è possibile risalire alle concentrazioni medie in aria e alle deposizioni al suolo intorno ad ogni singolo impianto.

L'area analizzata è stata estesa fino a 20 km intorno all'impianto per la valutazione della situazione attuale e fino ad una distanza di 10 km, per le valutazioni relative alla selezione del sito a minor impatto per l'insediamento di un nuovo impianto.

La motivazione di questa scelta è che al di là di 10 km il contributo per la valutazione di impatto è minimo, mentre per la valutazione della situazione attuale potrebbe essere determinante, come ad esempio nel caso del Parco dei Nebrodi.

6.3.2 Valutazione delle quantità depositate annualmente al suolo per via secca

Per quanto riguarda la valutazione delle quantità depositate annualmente al suolo per via secca basta moltiplicare i valori medi annui di concentrazione in aria (espressi in $\mu g/m^3$) per la velocità di deposizione (espressa in m/s) e per il numero di secondi di un anno.

Come noto i valori delle velocità di deposizione, oltre che dalla tipologia di inquinante considerato, dipendono pure dalla natura del terreno sottostante e dalle caratteristiche dello strato d'atmosfera più prossimo al suolo. Infatti la deposizione per via secca ha luogo quando l'inquinante raggiunge per diffusione il livello del suolo, dal quale in parte viene trattenuto sotto l'azione di diversi meccanismi fisici e chimico-fisici. Comunque in prima approssimazione si può considerare un valor medio dipendente soltanto dal tipo di inquinante considerato.

Se si assume che la velocità di deposizione per via secca per l' **NO_x** presenti un valore di **0,3 cm/s = 0,003 m/s (**v. Delany, 1976), per l'**SO_2** (v. Altshuller, 1984) di **0,002 m/s**, e per il **PST**

(particolato) **0,001 m/s,** l'intensità della deposizione secca si ottiene semplicemente moltiplicando i valori delle concentrazioni medie annue in aria per tali valori; la quantità totale depositata all'anno si ottiene moltiplicando l'intensità della deposizione per il numero di secondi presenti in un anno, cioè $0{,}31536 \cdot 10^{+8}$ s.

In conclusione *i valori delle concentrazioni in aria* (espressi in massa/m^3) devono essere moltiplicati per un **fattore pari a** (0,003 m/s x $0{,}31536 \cdot 10^{+8}$ s =) **95000 m** per ottenere direttamente la quantità totale annua depositata al suolo per unità di superficie di $\mathbf{NO_x}$ sotto forma di nitrati, e per **63000 m per l'SO_2**, e **31500 m per il PST**.

L'entità della deposizione secca viene a dipendere dall'altezza del camino: tanto più alto è il camino, tanto inferiore sarà la quantità totale depositata per via secca al suolo e tanto più lontano sarà il punto di massima deposizione, rispecchiando naturalmente i valori delle concentrazioni in aria.

6.3.3 Valutazione delle quantità depositate annualmente al suolo per via umida

Il contributo maggiore alla deposizione, soprattutto in prossimità del rilascio, è dato tuttavia dalla deposizione per via umida, o "wash-out": di esso una valutazione precisa sarebbe possibile se si disponesse di dati orari disaggregati di pioggia e direzione e velocità del vento (almeno su di un anno).

Una stima del deposito per via umida è stata fatta nel presente caso applicando un modello di wash-out a partire dalle seguenti ipotesi di lavoro:

- precipitazione media annua di 643 mm/anno;
- pioggia presente per il 10% dell'anno;
- distribuzione delle direzioni del vento in presenza di pioggia uguali a quelle della categoria di stabilità D (relativa a cielo coperto o a forte vento) **(v. §6.1)**;
- coefficiente di wash-out **[4]** uguale a $\mathbf{\Lambda = K\ R}$, dove **R** è l'intensità della pioggia in mm/h e **K** un parametro caratteristico dell'inquinante considerato;
- intensità media della pioggia pari a 2 mm/h.

Per le distanze prese in considerazione l'effetto delle trasformazioni chimiche da inquinante primario a secondario dell'$\mathbf{S0_2}$ può essere trascurato, essendo il rateo di conversione ad $SO_4^=$ dell'ordine dell'l% all'ora **[10]**. Pertanto in prima approssimazione nelle analisi che seguiranno l'SO_2 verrà considerata come una sostanza inerte.

I meccanismi chimico-fisici che avvengono in atmosfera all'atto del dilavamento dell'$\mathbf{SO_2}$ presente in atmosfera da parte della pioggia portano **[10]** ad assumere $\mathbf{10^{-5}}$ come valore maggiormente attendibile e realistico per **K:** pertanto $\mathbf{\Lambda}$ viene assunto per l' $\mathbf{S0_2}$ pari a $\mathbf{10^{-5}\ s^{-1}}$.

Per il particolato (**PTS**) è stato assunto un valore di $\mathbf{\Lambda}$ pari a $\mathbf{10^{-4}\ s^{-1}}$.

Per l'$\mathbf{NO_2}$ il coefficiente di wash-out $\mathbf{\Lambda}$ è stato assunto un valore pari a $\mathbf{2{,}8 \cdot 10^{-4}\ s^{-1}}$.

Tale valore è stato ottenuto supponendo che l'NO_2 si trasformi in aria in HNO_3, e che questo venga dilavato dalla pioggia non appena si formi. Infatti il coefficiente di wash-out per l'HNO_3 è valutabile intorno a 0,2 s^{-1}, e quindi la deposizione dovrebbe essere considerata istantanea: tuttavia la velocità di trasformazione in HNO_3 è variabile da qualche percento a circa il 10% all'ora, in funzione delle condizioni atmosferiche. Pertanto si è assunto come ipotesi di lavoro che la trasformazione sia costante e pari a circa il 10% di NO_2 trasformato all'ora (in realtà è variabile da qualche percento al 10% all'ora, in funzione delle condizioni atmosferiche). Sulla base di queste ipotesi si ottiene un valore equivalente di $\mathbf{\Lambda}$ pari a $\mathbf{2{,}8 \cdot 10^{-4}\ s^{-1}}$.

Come si vedrà dai risultati ottenuti nell'esempio **(v. §§ 6.4-6.5-6.6)** i valori massimi delle quantità depositate per unità di superficie all'anno si presentano questa volta, a differenza della deposizione per via secca, in prossimità del punto di rilascio: ciò è conseguenza del meccanismo di wash-out della pioggia, associato al fatto che i valori dell'integrale delle concentrazioni in aria sulla verticale sono più elevati quanto più ci si avvicina al punto di rilascio.

Il confronto con i dati relativi alla deposizione secca mostra **(v. §§ 6.4-6.5-6.6)** l'importanza della deposizione umida non solo nei pressi del camino, ma anche fino ad alcuni km di distanza dal rilascio, mentre per distanze maggiori prevale la deposizione per via secca.

6.4 Applicazione del modello CMPM 98 ad un caso esemplificativo

A scopo esemplificativo viene qui mostrata un'applicazione del modello ENEA CMPM98 ad un caso specifico di rilascio in atmosfera di un inquinante: la emissione di SO_2 da uno dei camini della Centrale Elettrica ENEL-EUROGEN, i cui dati caratteristici sono stati forniti dalla Provincia di Messina. È stato scelto un camino dei tre camini della Centrale, le cui caratteristiche di emissione sono le seguenti:

- altezza del camino: 100 m;
- intensità di emissione per l'SO_2: 199,5 g/s;
- temperatura dell'effluente: 417 °K;
- velocità di efflusso: 6,0 m/s;
- dimensioni della sezione del camino: 14,4 m^2.

Utilizzando i valori delle frequenze annue delle diverse categorie di stabilità, così come esposte nelle relative rose dei venti e nelle tabelle per categoria di stabilità, è stato possibile risalire alle concentrazioni medie in aria ed alle deposizioni al suolo intorno all'impianto.

6.4.1 Valutazione delle curve di uguali valori di concentrazione in aria

Nelle **Figg. 6.8, 6.9, 6.10, e 6.11** sono mostrate le curve dei **valori medi annui** e del **98° percentile** dei valori orari delle concentrazione in aria, per due scale (una fino a 8 km la prima ed una fino a 2 km), ottenute dall'applicazione del modello CMPM 98.

Come si può notare dalle prime due figure vi è una netta direzionalità SW-NNE, caratteristica del regime di brezza sul tratto Nord della Sicilia, e che porta in quelle direzioni a registrare i valori più elevati delle concentrazioni in aria, il cui massimo (circa **10 µ/m^3**) cade a circa **1-2 km** dalla base del camino.

Le curve relative al **98° percentile** mostrano inoltre le aree nelle quali, per circa 1 settimana all'anno (2% dell'anno), i valori orari delle concentrazione in aria superano i valori indicati nelle curve: nelle direzioni SW e NNE si ottengono valori massimi di 150 µ/m^3 a circa 1-2 km di distanza dalla base del camino, su di un area dell'ordine del km^2.

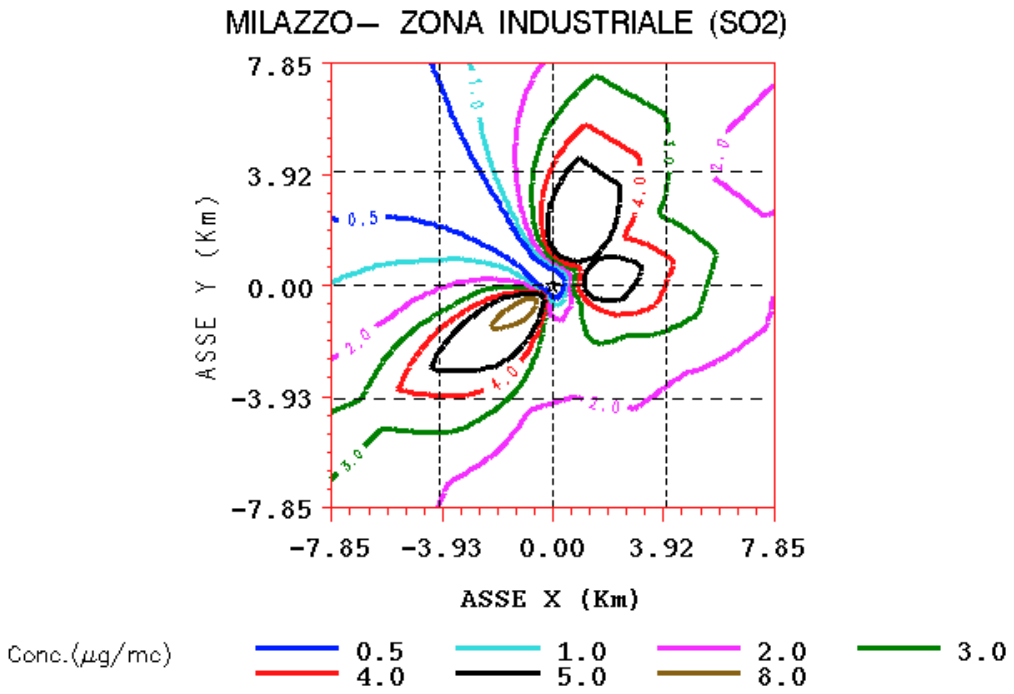


Fig. 6.8 ***Curve di uguale valore delle concentrazione in aria al livello del suolo (µg/m^3) per il rilascio di SO_2 dal camino da 100 m della Centrale ENEL-EUROGEN (fino a 8 km di distanza)***

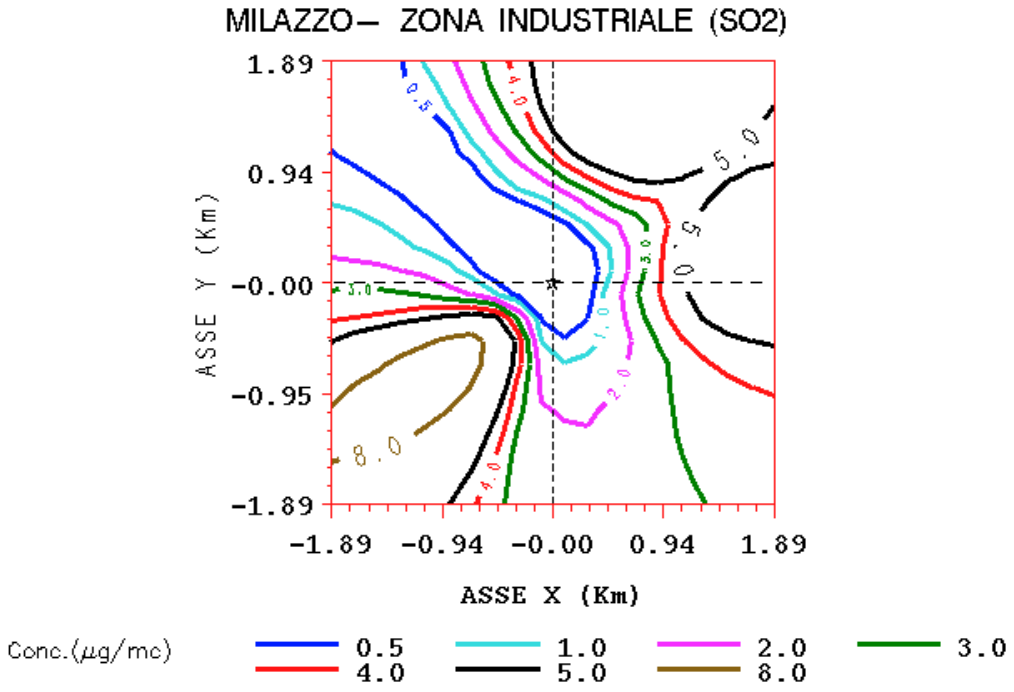


Fig. 6.9 ***Curve di uguale valore delle concentrazione in aria al livello del suolo (µg/m^3) per il rilascio di SO_2 dal camino da 100 m della Centrale ENEL-EUROGEN (fino a 2 km di distanza)***

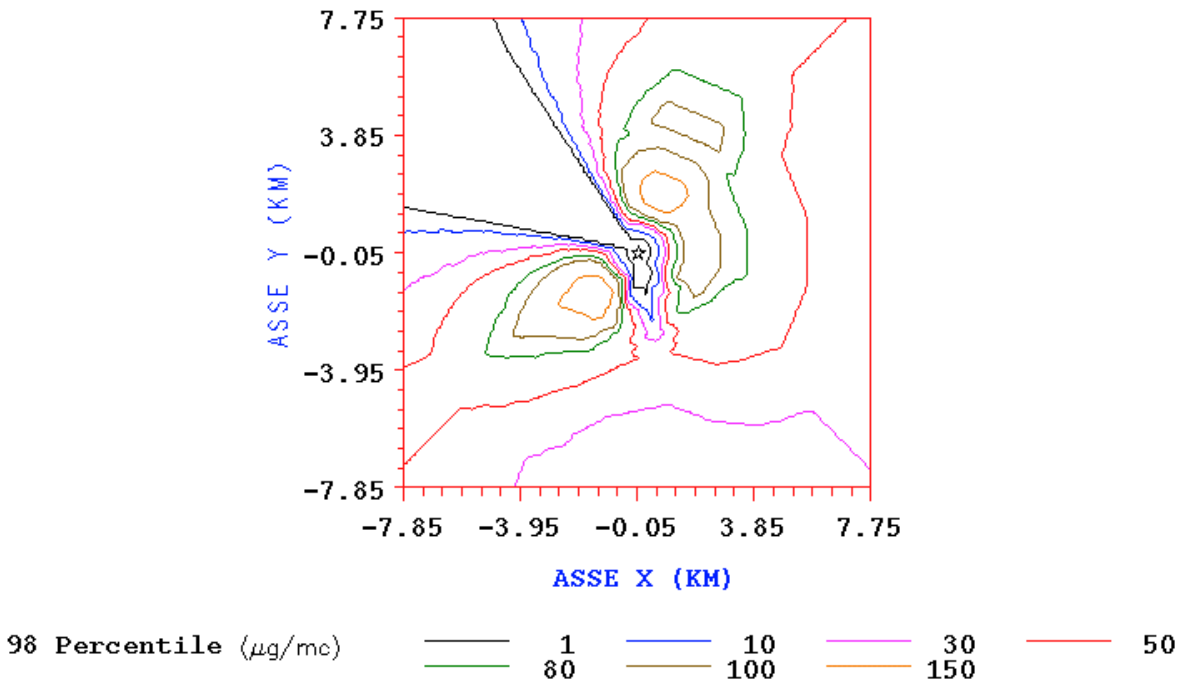


Fig. 6.10 ***Curve di uguale valore del 98° percentile delle concentrazione in aria al livello del suolo (µg/m^3) per il rilascio di SO_2 dal camino da 100 m della Centrale ENEL-EUROGEN (fino a 8 km di distanza)***

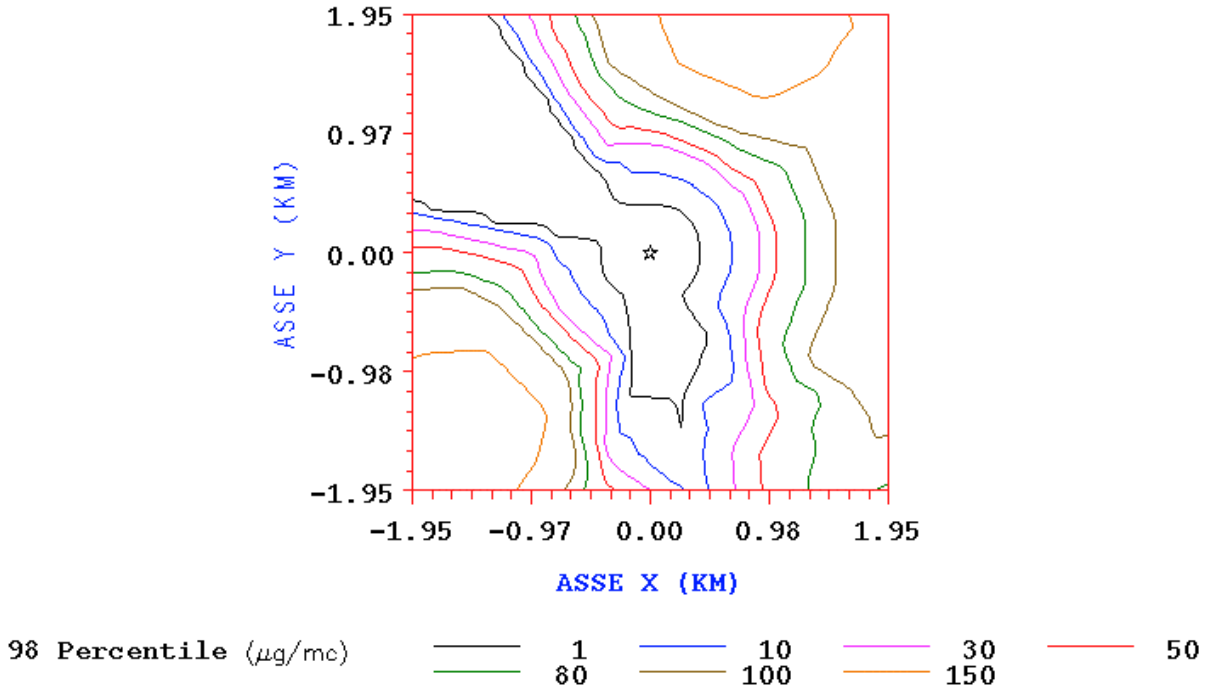


Fig. 6.11 ***Curve di uguale valore del 98° percentile delle concentrazione in aria al livello del suolo (µg/m^3) per il rilascio di SO_2 dal camino da 100 m della Centrale ENEL-EUROGEN (fino a 2 km di distanza)***

6.4.2 Valutazione della curve di uguali valori di deposizione per via secca al suolo

Nel caso portato come esempio, relativo al rilascio di SO_2, i valori di uguale deposizione al suolo per via secca, ottenuti applicando il modello CMPM 98, sono riportati nelle **Figg. 6.12-6.13** che seguono, espressi in mg/m^2 all'anno.

Come già detto nel **§ *6.3.2*** precedente l'andamento ricalca quello delle concentrazioni medie annue al livello del suolo mostrate sopra: i valori massimi di deposizione per via secca si riscontrano pertanto negli stessi punti nei quali sono massimi i valori delle concentrazioni in aria, ed in questo caso sono di circa 500 mg/m^2 all'anno.

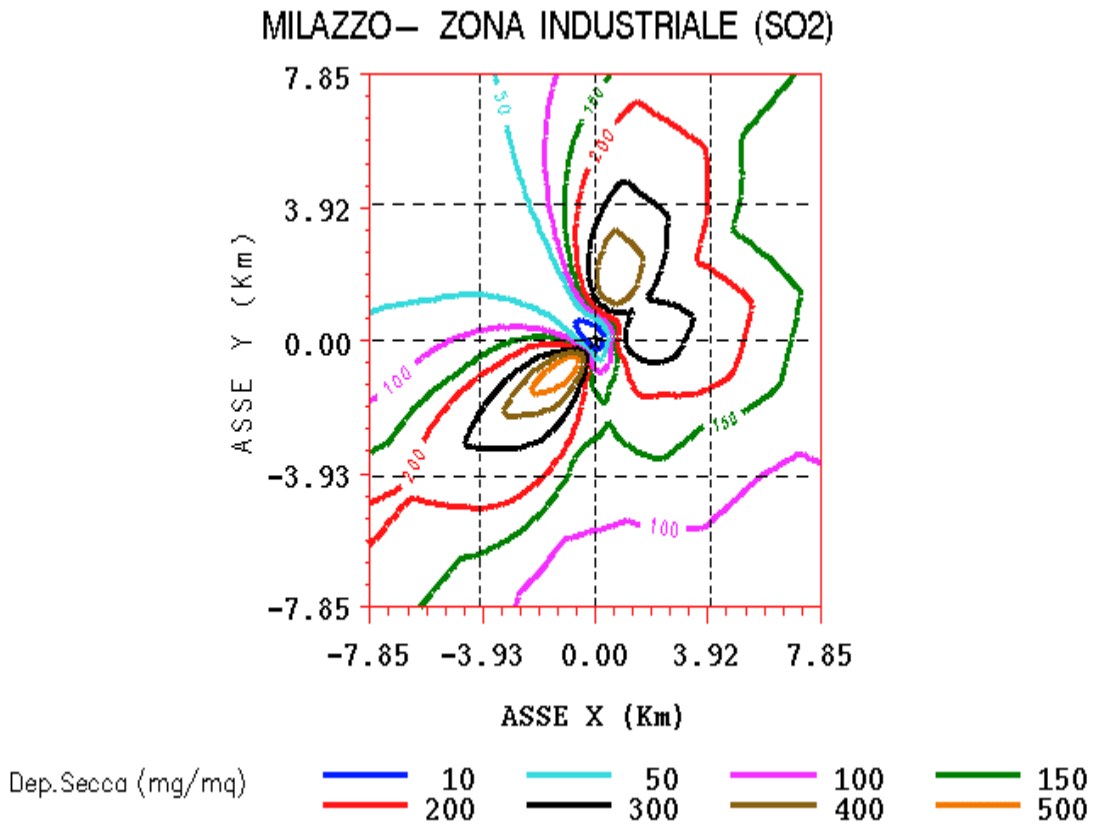


Fig. 6.12 ***Curve di uguale valore delle quantità depositate all'anno al suolo per via secca (mg/m^2) per il rilascio di SO_2 dal camino da 100 m della Centrale ENEL-EUROGEN (fino a 8 km di distanza)***

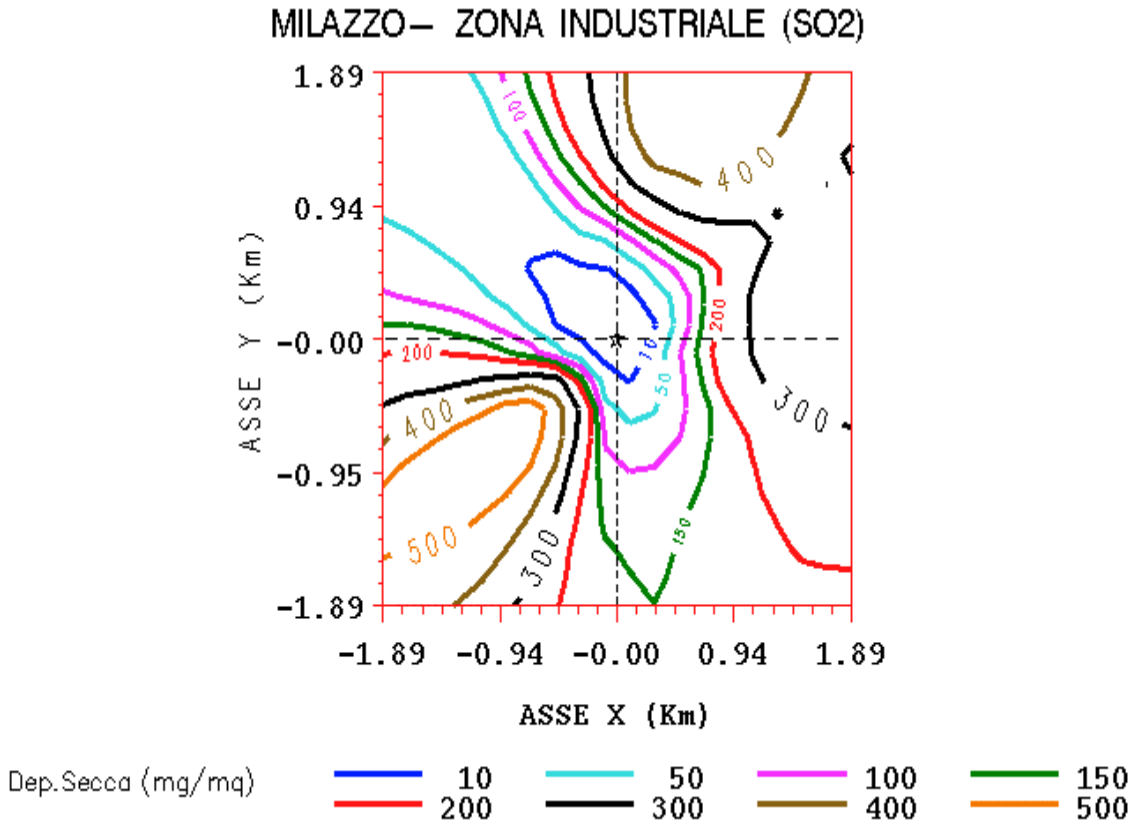


Fig. 6.13 ***Curve di uguale valore delle quantità depositate all'anno al suolo per via secca (mg/m^2) per il rilascio di SO_2 dal camino da 100 m della Centrale ENEL-EUROGEN (fino a 2 km di distanza)***

6.4.3 Valutazione della curve di uguali valori di deposizione per via umida al suolo

Il contributo maggiore alla deposizione, soprattutto in prossimità del rilascio, è dato come detto dalla deposizione per via umida, o "wash-out.

Applicando il modello per l'SO_2, cioè con un valore di Λ pari a 10^{-5}, e con le ipotesi descritte nel **§ *6.3.3*** si ottengono i risultati, espressi in mg/(m^2 anno), mostrati nelle **Figg. 6.14 e 6.15**.

Come si vede i valori massimi delle quantità depositate per unità di superficie all'anno si presentano questa volta, a differenza della deposizione per via secca, in prossimità del punto di rilascio e ad 1 km di distanza sono già di 2000-3000 mg/(m^2 anno): come detto ciò è conseguenza del meccanismo di wash-out della pioggia associato al fatto che i valori dell'integrale delle concentrazioni in aria sulla verticale sono più elevati quanto più ci si avvicina al punto di rilascio, dove presumibilmente si raggiungono valori prossimi fino ad 15 g/(m^2 anno).

Questi dati confrontati con quelli relativi alla deposizione secca mostrano l'importanza della deposizione umida non solo nei pressi del camino, ma anche fino a qualche km di distanza. In particolare alla distanza di 1-2 km, per la quale vi è il massimo del deposito per via secca (pari a 500 mg/(m^2 anno) in direzione SW, come visto nel § precedente), il deposito per via umida presenta un valore massimo nella stesso punto di circa 2000-3000 mg/(m^2 anno), cioè 4-6 volte superiore.

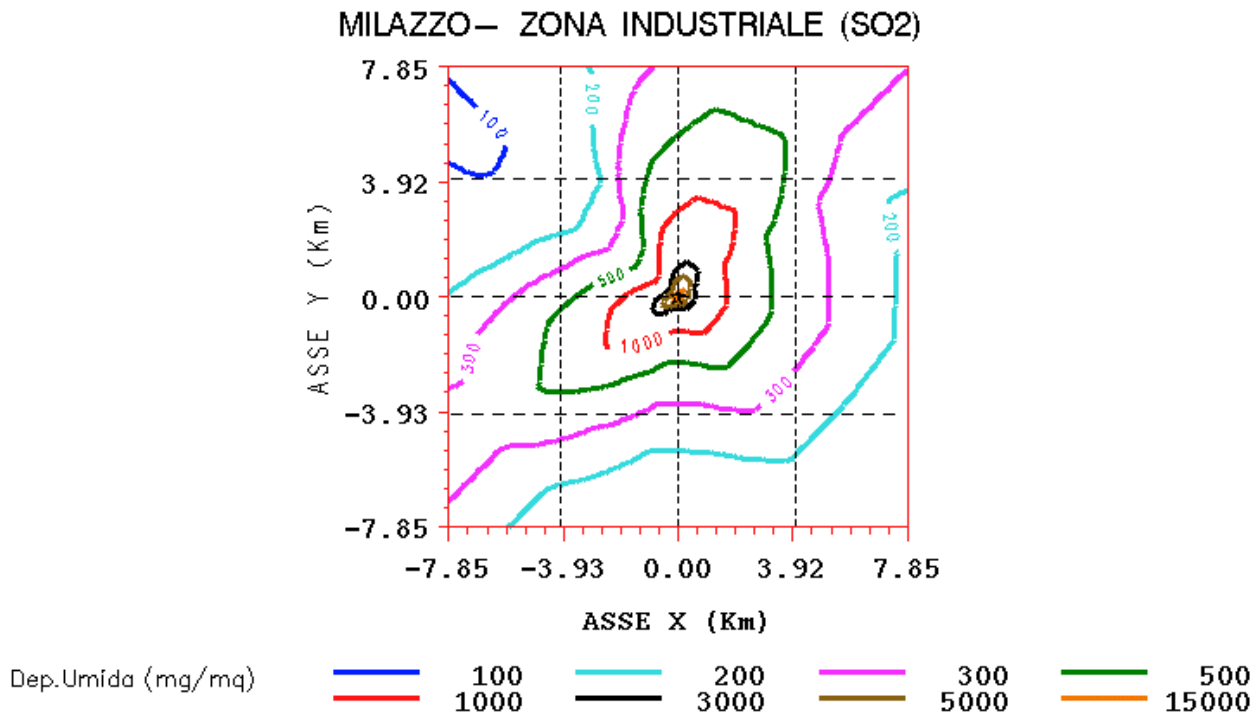


Fig. 6.14 ***Curve di uguale valore delle quantità depositate all'anno al suolo per via umida (mg/m^2) per il rilascio di SO_2 dal camino da 100 m della Centrale ENEL-EUROGEN (fino a 8 km di distanza)***

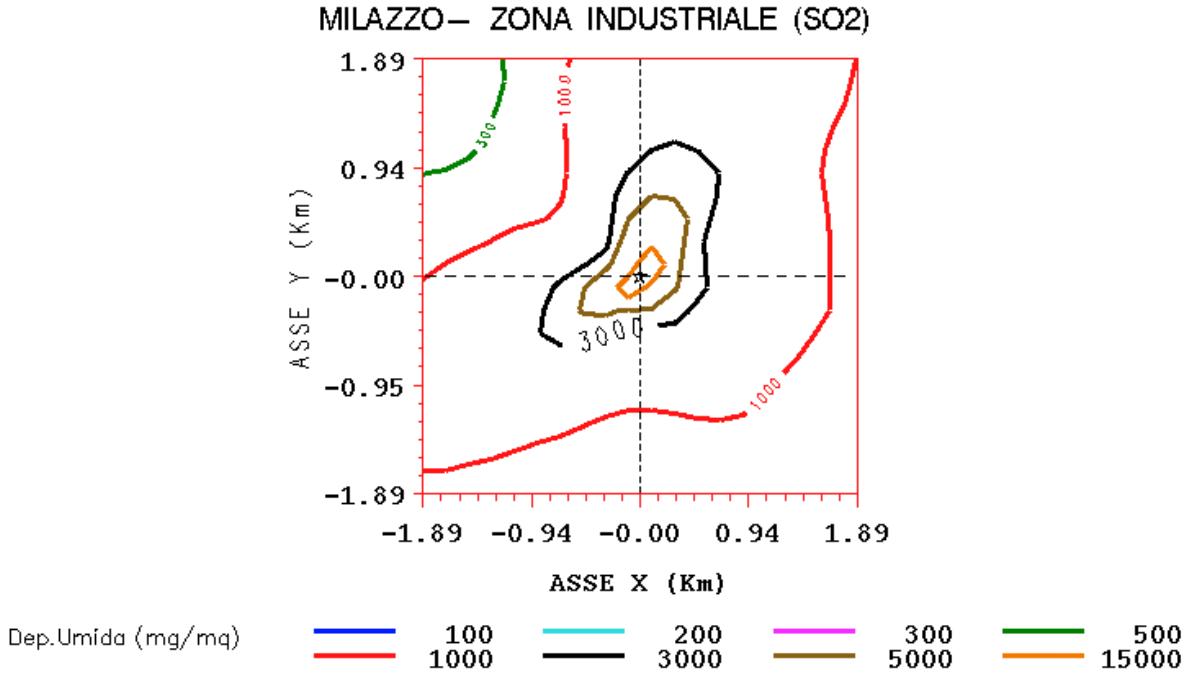


Fig. 6.15 ***Curve di uguale valore delle quantità depositate all'anno al suolo per via umida (mg/m^2) per il rilascio di SO_2 dal camino da 100 m della Centrale ENEL-EUROGEN (fino a 2 km di distanza)***

Bibliografia

[1] Alkezweeny, A.J. and Powell, D.C.: *"Estimation of transformation rate of S02 to S04 from atmospheric concentration data",* Atm. Env., Vol. 1 1, pp. 179 - 182, 1977

[2] Altshuller, A.P.: *"Atmospheric particle sulfur and sulfur dioxide relationships at urban and non urban locations"*, Atm. Env., Vol. 18, n.7, pp. 1421 -1431, 1984

[3] Briggs, G.A.: Plume rise predictions, da *"Lectures on Air Pollution and Environmental Impact Analysis",* ed. Haugen, Cap. III, pp. 59-111, Am. Met. Soc., Boston, 1975

[4] Brofferio, C., Cagnetti, P. e Ferrara, V.: *"Metodologie per la valutazione delle concentrazioni in aria e delle contaminazioni del suolo da rilasci aeriformi radioattivi"*, ENEA, RT/PAS/85/26

[5] Cagnetti, P. e Ferrara, V.: *" Analyse critique des situations de pluie: évaluation du dépot humide jusqu'aux grandes distances"*, CNEN, RT/PROT(81)1

[6] Cagnetti, P. e Ferrara, V.: *"The medium and long range transport and diffusion of radioactive discharges to atmosphere: the evaluation of concentrations in air and ground deposition"*, Rep. Euratom DG V, n. 1124-5-781/V, Luxembourg, 1980

[7] Cagnetti, P., et al.*: "Metodo per la valutazione della stabilità atmosferica applicato al sito della Casaccia"*, CNEN, RT/PROT (81) 23

[8] Cagnetti, P. e Ferrara, V.: *"Two possible simplified diffusion models for very low wind-speed",* Rivista di Meteorologia Aeronautica, Vol. 42, n. 4, pp. 399-404, 1982

[9] Delany, A.C. and Davies, T.D.: *"Dry deposition of NOX to grass in rural East Anglia"*, Atm. Env.,Vol. 17, pp. 1391 -1394, 1983

[10] Eliassen, A. and Saltbones, J: *"Modelling of long-range transport of sulfphur over Europe":* a two year model run and some model experiments, Atm. Env., Vol. 17, n. 8, pp. 1457-1473,1983

[11] Fisher, E. A.: *"The long range transport of air pollutants - Some thoughts on the state of modelling"*, Atm. Env., Vol. 18, n. 3, pp. 553-562, 1984

[12] Forrest, J. e Newman, L.: *"Further studies in the oxidation of sulfur dioxide in coal fired power plant plumes",* Atm. Env., Vol. 11, pp. 465-474, 1977

[13] Roberts, D.B. and Williams, D.J.: *"The kinetics of oxidation of sulphur dioxide within the plume from a sulphide smelter in a remote region",* Atm. Env., Vol. 13, pp. 1485-1499, 1979

CAPITOLO VII

Individuazione di indicatori per la selezione di siti a minor impatto sull'ambiente e sull'uomo a fronte di rilasci di sostanze inquinanti aeriformi

P. Cagnetti, M.C. Mammarella, G. Grandoni
(ENEA)

Premessa

Per il raggiungimento degli obiettivi del Progetto, è necessario stabilire alcune regole e metodologie specifiche, al fine di avere indicazioni quanto più possibile obiettive per la valutazione, sia a carattere assoluto che relativo, degli effetti di effluenti aeriformi sull'ambiente e sull'uomo, in vista di una selezione di siti a minor impatto, che tenga conto della situazione ambientale e territoriale presente nell'area considerata.

Nel presente Capitolo viene pertanto descritta la metodologia seguita per la determinazione di opportuni indicatori, pensati nella logica suddetta, che permettano di ottenere informazioni su tre principali **soggetti sensibili alla perturbazione** introdotta dalle emissioni aeriformi in atmosfera di un eventuale nuovo impianto progettato nell'area in esame**: l'uomo, la produzione agricola e le acque di falda.** La scelta di questi tre soggetti è stata fatta perché si è ritenuto che fossero i più importanti da considerare in una valutazione che tenga conto sia dell'ambiente sia della salute dell'uomo.

Per poter procedere in tal senso è necessario distinguere **le seguenti fasi**, che presuppongono conoscenze specialistiche sia nel campo della modellistica della diffusione in atmosfera di inquinanti (**Cap. VI**) che in quelli della biologia, agronomia, chimica, geologia, idrogeologia, informatica ecc. (v. **Cap. II, III, IV, V**):

1. la prima consiste nello specificare quantitativamente la perturbazione introdotta dalle emissioni aeriformi del nuovo impianto, valutando, con l'utilizzo del modello meteo-diffusivo CMPM98, sia **le concentrazioni in aria che le deposizioni al suolo**;
2. la seconda prevede per ognuno dei tre soggetti la **valutazione della vulnerabilità** (rappresentata per la popolazione e per la produzione agricola dalla rispettiva distribuzione sul territorio, e per la falda dal rischio potenziale di perdita dei nitrati, **v. Cap. II**);
3. la terza consiste nella predisposizione di algoritmi per la valutazione di **indicatori**, che, tenendo conto dei due punti precedenti, **permettano di valutare, anche se relativamente, gli effetti della perturbazione sui soggetti prescelti**.

Va sottolineato che gli indicatori sopra menzionati devono rispondere alle esigenze specifiche del Progetto, il cui obiettivo principale è quello di fornire alle AAPP (Amministrazioni Pubbliche) un DSS (**v. Cap. VIII**) che permetta di selezionare, su aree predeterminate, il/i sito/i a minor impatto relativamente ai tre soggetti prescelti: ciò si ottiene producendo per ogni soggetto gli indicatori di impatto calcolati su tutto il territorio.

Questa finalizzazione semplifica la loro determinazione: infatti non è necessario disporre di valutazioni assolute (anche se per il soggetto della produzione agricola ciò è possibile), ma solo di valutazioni relative che permettano di confrontare siti diversi per uno stesso soggetto di impatto.

Requisito necessario e sufficiente è pertanto che i valori forniti da tali indicatori siano crescenti al crescere degli effetti della perturbazione introdotta, e ciò per ogni singolo soggetto. Vedremo nei paragrafi successivi come sia stato possibile attuare tale ipotesi.

7.1 Indicatore per la valutazione dell'impatto sulla produzione agricola

Questo è l'unico caso nel quale è possibile avere una valutazione quantitativa dell'impatto degli effluenti aeriformi.

Infatti, come si può dedurre dal **Cap. IV**, per ogni inquinante esiste la possibilità di rilevare dalla bibliografia una funzione che permette di valutare il calo di resa della produzione di un particolare prodotto agricolo, noto che sia il valore della concentrazione in aria o della quantità depositata la suolo dello stesso inquinante.

Facendo pertanto riferimento ai tre punti elencati nella premessa, l'indicatore per il soggetto "produzione agricola" è stato calcolato, per un determinato impianto e per una sua collocazione specifica nel punto $\mathbf{P(x_I,y_I)}$, (con $\mathbf{x_I}$, $\mathbf{y_I}$ variabili nell'area selezionata, all'interno della griglia di lavoro, per la valutazione delle zone a minor impatto), secondo questo percorso:

1. valutazione, attraverso il modello meteo-diffusivo, delle **concentrazioni in aria** (dell'inquinante considerato emesso dall'impianto posto nella sua collocazione specifica) in un punto P di coordinate x, y del territorio, variabile all'interno della griglia di lavoro;
2. calcolo del valore del **coefficiente** che permette di stimare il **calo di produzione**, introducendo il valore di concentrazione, rilevato nel punto P(x,y), nella funzione caratteristica del prodotto e dell'inquinante, proposta negli studi esposti nel **Cap. IV**;
3. valore della **quantità di prodotto agricolo** in un areola Δx Δy intorno al punto P(x,y) (vulnerabilità del prodotto considerato);
4. valutazione del **calo di produzione in funzione del prodotto agricolo, del tipo di inquinante e dell'areola** considerata intorno al punto P(x,y); questa si ottiene semplicemente moltiplicando i due valori rilevati nei punti **2. e 3.** precedenti;
5. **valore, da attribuire al punto $\mathbf{P(x_I,y_I)}$, dell'indicatore di impatto per l'impianto considerato posto in $\mathbf{P(x_I,y_I)}$, per un determinato inquinante e relativamente al calo di produzione di un determinato prodotto. Tale valore si ottiene come somma dei valori per tutte le areole** che ricoprono la griglia di lavoro, calcolati con il procedimento esposto nel punto 4.

In definitiva si può dire che:

- i valori di **concentrazione in aria** dell'inquinante danno una misura della **perturbazione** introdotta nell'ambiente dall'uomo con il nuovo impianto in una sua collocazione specifica $\mathbf{P(x_I,y_I)}$;
- la **distribuzione sul territorio del prodotto agricolo** considerato nell'intorno di tale collocazione rappresenta la **situazione di vulnerabilità** dello stesso;
- la somma dei prodotti di questi due valori e del relativo coefficiente di calo di produzione, ottenuti per tutti i punti dell'area considerata, danno **una valutazione dell'indicatore utilizzato nel presente Progetto per confrontare due o più siti per il soggetto di impatto "produzione agricola".**

Questa operazione, ripetuta scegliendo come posizione specifica $\mathbf{x_I}$, $\mathbf{y_I}$ dell'impianto tutti i punti di un'area nella quale si desidera collocare l'impianto, permette di attribuire ad ogni pixel di 200 m x 200 m di tale area un valore dell'indicatore, e quindi di costruire la distribuzione dei siti a minor impatto sulla produzione agricola del particolare inquinante considerato, emesso dall'impianto in esame.

Nella **Fig. VII.1** sono mostrati in modo schematico i passi seguiti per valutare tale indicatore.

7.2 Indicatore per la valutazione dell'impatto sulla popolazione

Nel caso della esposizione della popolazione, non essendo possibile reperire dalla letteratura alcuna correlazione fra valori di concentrazione in aria di sostanze inquinanti e incidenza di malattie, si è semplicemente supposto che tanto più elevato è il valore della concentrazione in presenza di popolazione, tanto maggiore è il danno che ci si può attendere statisticamente nella popolazione stessa.

Pertanto, per un determinato impianto e per una sua collocazione specifica, l'indicatore è calcolato, molto più semplicemente del caso precedente, secondo i seguenti passi:

1. valutazione, attraverso il modello meteo-diffusivo, delle **concentrazioni in aria** (dell'inquinante considerato emesso dall'impianto posto nella sua collocazione specifica) in un punto P di coordinate x,y del territorio;
2. valutazione della **popolazione** presente in un areola intorno al punto P(x,y);
3. **indicatore dell'impatto di un determinato inquinante sulla popolazione: somma a tutte le areole** che ricoprono l'area di interesse del prodotto dei due valori calcolati nei due punti precedenti.

Anche qui in definitiva si può dire che:

- i valori di **concentrazione in aria** dell'inquinante danno una misura della **perturbazione** introdotta nell'ambiente dall'uomo con il nuovo impianto;
- la **distribuzione sul territorio della popolazione discretizzata con un passo di 200 m x 200 m** permette di stabilire la **vulnerabilità** della stessa, rappresentabile attraverso una carta tematica georeferenziata;
- la somma dei prodotti di questi due valori, ottenuti per tutti i punti della griglia di lavoro, rappresenta **la valutazione dell'indicatore utilizzato nel presente Progetto per confrontare due o più siti per il soggetto di impatto "popolazione".**

Come nel caso della produzione agricola sopra esposto, questa operazione ripetuta per tutti i punti dell'area selezionata per la collocazione dell'impianto, permette di attribuire ad ogni pixel di 200 m x 200 m un valore dell'indicatore, e quindi di costruire la distribuzione dei siti a minor impatto sulla popolazione del particolare inquinante considerato, emesso dall'impianto in esame.

Nella **Fig. 7.1** sono mostrati in modo schematico i passi seguiti per valutare tale indicatore.

7.3 Indicatore per la valutazione dell'impatto sulle acque di falda

Nel caso della esposizione delle acque di falda, si è supposto che tanto più elevato è il valore della deposizione al suolo dell'inquinante considerato, tanto più alto è il rischio di contaminazione della falda, tenuto conto della sua vulnerabilità in ogni punto considerato.

Pertanto, per un determinato impianto e per una sua collocazione specifica, l'indicatore per l'impatto sulle acque di falda è stato così definito:

1. valutazione, attraverso il modello meteo-diffusivo, delle **deposizioni al suolo per via umida e secca** (dell'inquinante considerato emesso dall'impianto posto nella sua collocazione specifica) in un punto di coordinate P(x,y) del territorio;
2. valutazione della **vulnerabilità della falda** relativamente al punto P(x,y) ed una sua areola circostante, a partire dalle informazioni sul territorio del rischio potenziale di perdita dei nitrati;
3. **indicatore dell'impatto di un determinato inquinante sulle acque di falda: somma a tutte le areole** che ricoprono l'area di interesse del prodotto dei due valori calcolati nei due punti precedenti.

Anche qui in definitiva si può dire che:

- i valori di **deposizione umida e secca al suolo** dell'inquinante danno una misura della **perturbazione** introdotta nell'ambiente dall'uomo con il nuovo impianto;
- la **rappresentazione sul territorio del rischio potenziale di perdita dei nitrati, (v. Cap. II) permette di valutare la vulnerabilità della falda**;
- la somma dei prodotti di questi due valori, ottenuti per tutti i punti della griglia di lavoro, danno **una valutazione dell'indicatore utilizzato nel presente Progetto per confrontare due o più siti per il soggetto di impatto "acque di falda".**

Questa operazione ripetuta per tutti i punti dell'area selezionata permette di attribuire ad ogni pixel di 200 m x 200 m un valore dell'indicatore, e quindi di costruire la carta dei siti a minor impatto sulle acque di falda del particolare inquinante considerato, emesso dall'impianto in esame.

Nella **Fig. 7.1** sono mostrati in modo schematico i passi seguiti per valutare tale indicatore.

Calcolo degli indicatori di impatto

impatto sulla popolazione	=			**concentrazione in aria**	x	**numero abitanti**
impatto sulla produzione agricola	=	**coeff. funzione di inquinante e prodotto agricolo**	x	**concentrazione in aria**	x	**produzione agricola**
impatto sulle acque sotterranee	=			**deposizione al suolo**	x	**capacità idrica**

Fig. 7.1 Schema generale di valutazione degli indicatori di impatto per i tre soggetti considerati

Va specificato che la distribuzione di vulnerabilità della falda può essere valutata in diversi modi, in dipendenza dei dati disponibili sul territorio. In un lavoro precedente tale valutazione era stata effettuata da ricercatori ENEA sulla base di un modello denominato DRASTIC, che fra le altre cose teneva conto della profondità della falda, della permeabilità dello strato di terreno interposto ecc.

Poiché nel caso dell'area di Milazzo non erano disponibili tutti i valori misurati dei parametri necessari per l'applicazione del modello DRASTIC, si è ovviato a tale mancanza di dati assumendo come carta di vulnerabilità della falda quella costruita dai funzionari dell'Assessorato Agricoltura e Foreste, e denominata "Carta della capacità idrica – vulnerabilità nitrati".

Bibliografia

Cagnetti P., Grandoni G., Mammarella M.C., Racalbuto S., Boccadoro M., Fedele P.: "*Analisi dei dati relativi a 180 stazioni meteorologiche al fine di individuare un indice per la caratterizzazione meteodiffusiva dei siti*", Convegno CNEA, Roma, Palazzo dei Congressi, 25-28 novembre 1998

Cagnetti P., Grandoni G., Mammarella M.C., Racalbuto S., Boccadoro M., Fedele P.: "*Proposta per un sistema integrato di indicatori sull'ambiente urbano per un centro nazionale di monitoraggio*", Cap. 8.2 e 1.1, Convegno CNEA, Roma, Palazzo dei Congressi, 25-28 novembre 1998

Cagnetti P., Grandoni G., Mammarella M.C., Racalbuto S., Boccadoro M., Fedele P.: "*Uno strumento informatico per il trattamento e la rappresentazione cartografica georeferenziata di indicatori urbani sul territorio nazionale*", ENEA, giugno 1999

Crespi M., Grandoni G., Mammarella M.C., Mazzotta V.: "*Fattori geografici dei Comuni d'Italia*", ENEA, dicembre1998

CAPITOLO VIII

Progettazione e realizzazione del Sistema a Supporto delle Decisioni: ARTEMISIA 2

*M. C. Mammarella, G. Grandoni, P. Fedele, *G. Patrizi*
*(ENEA, *Servin)*

Premessa

Per poter studiare ed interpretare il comportamento dell'ambiente in presenza di sollecitazioni, è necessario superare l'uso tradizionale dei GIS (Sistemi Informatici Georeferenziati) con cui si realizzano i SIT (Sistemi Informatici Territoriali), in quanto la loro struttura, puramente descrittiva, non permette di valutare in modo dinamico gli effetti di tali sollecitazioni.

A tal fine si è pensato di progettare e realizzare un Sistema innovativo che, pur utilizzando come base un GIS, avesse la capacità di simulare il comportamento di ciascun soggetto di impatto sul territorio.

La struttura informatica che in modo dinamico più si adatta alle esigenze sopra definite è il DSS (Sistema a Supporto delle Decisioni). A tutt'oggi una tale struttura, pur risultando molto versatile in campo ambientale, viene relativamente poco utilizzata in questo ambito, a causa della complessità dell'integrazione fra cartografia e regole di comportamento dell'ambiente.

La progettazione e realizzazione del Sistema è stata effettuata secondo lo schema logico dei DSS ed ha permesso di ottenere uno strumento di gestione ed elaborazione trasparente dei dati, in grado di simulare in modo dinamico il comportamento dell'ambiente. Il Sistema, così progettato, risulta inoltre innovativo sia per la struttura informatica che per la qualità delle informazioni ottenute, derivanti dall'integrazione delle regole con i dati cartografici e numerici inseriti.

Al fine di individuare le modalità di comportamento tipiche della zona in esame, che vanno a formare la base di regole nel DSS, sono state attivate all'interno dell'ENEA e presso la Regione Siciliana varie competenze (geologica, biologica, meteorologica ecc.). L'esperienza maturata dai ricercatori e dai tecnici coinvolti nel Progetto nei rispettivi campi di competenza, ha permesso di acquisire tutti quegli elementi necessari a stimare gli effetti ambientali e sanitari degli inquinanti aeriformi.

Inoltre sono state effettuate opportune campagne di misure di inquinanti in alcune matrici alimentari ed ambientali, al fine di avere nel Sistema un quadro complessivo più dettagliato dell'area in studio.

Il DSS è stato finalizzato alla creazione di una Stazione *WEB*, unitamente ai risultati degli studi epidemiologici e delle misure di monitoraggio ambientale prodotte dall'ENEA, garantendo un utilizzo in ambiente *WEB* intuitivo ed immediato per un ampio spettro di utenza.

Nel presente capitolo viene esposta la struttura e le funzionalità di tutto il Sistema al quale è stato assegnato il nome di ARTEMISIA 2.

8.1 Caratteristiche generali di un DSS di tipo ambientale

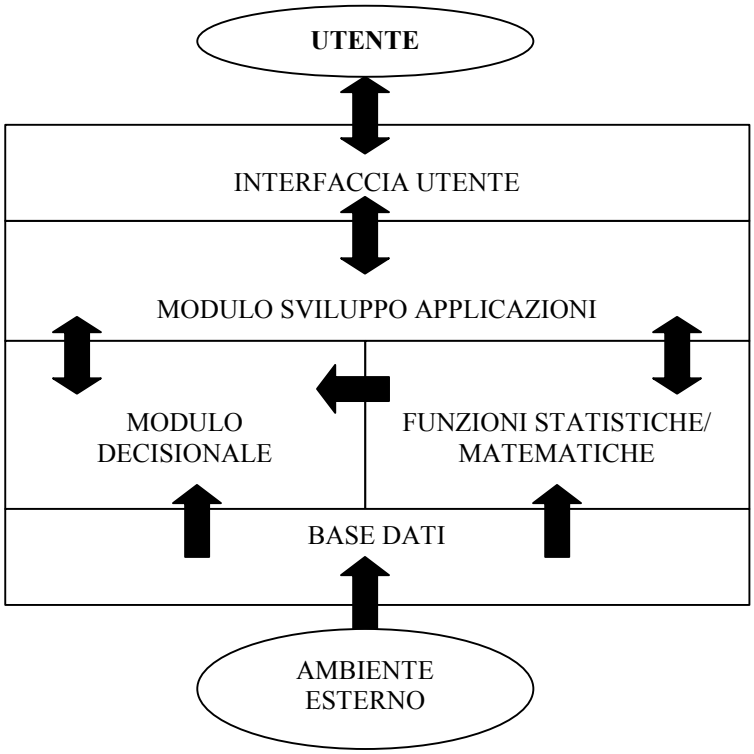
L'utilizzo equilibrato delle risorse ambientali si può oggi avvalere delle tecniche derivate dalle analisi decisionali e dal *decision making* integrate con l'uso di Sistemi Informativi Territoriali (SIT), basati a loro volta su strumenti software potenti come i GIS (Sistemi Informatici Georeferenziati). Proprio l'incontro, negli ultimi anni, tra le teorie decisionali, i GIS e l'ambiente di distribuzione dei dati in rete (*world wide web*) ha dato un impulso fondamentale alla realizzazione delle applicazioni, consentendo di rendere disponibili in uno stesso contesto informatico i dati di base, le applicazioni modellistiche, i sistemi di regole.

Concettualmente, un DSS è un sistema computerizzato in grado di aiutare il decisore nella formulazione di una decisione, che a sua volta consiste nello scegliere una soluzione entro una lista di alternative. Il processo decisionale si avvale di dati, regole, informazioni, ma anche dei risultati dei modelli numerici con i quali è possibile simulare, attraverso il calcolo, alcuni degli effetti sull'ambiente di taluni processi fisici, ad esempio quello della dispersione in atmosfera di sostanze inquinanti.

La ricerca ha posto le basi dei sistemi di supporto alle decisioni fin dagli anni '60 (Simon 1957, 1960, 1969), ma solo l'evolvere degli strumenti di calcolo, delle basi di dati e delle reti telematiche ha consentito nei decenni successivi di portare il metodo anche in settori applicativi estremamente complessi come lo spazio geografico. Oggi il settore della ricerca operativa e delle teorie decisionali in genere, è affollato di metodi e tecniche che afferiscono al *decision making*; alla programmazione lineare (Dantzig, 1949) si sono affiancati la logica *fuzzy* (Zadeh, 1965), gli algoritmi genetici (Holland, 1975), le reti neurali (Rosenblatt, 1958), i sistemi multicriteriali gerarchizzati (Saaty, 1977) e altro ancora.

Quando i metodi di calcolo e di rappresentazione dei dati si sono incontrati con i sistemi informativi geografici si è aperto uno degli spazi di maggior interesse e soprattutto si è fatta strada l'applicazione dei Sistemi di Supporto alla Decisione dedicati all'ambiente (Heywood, Oliver & Tomlinson, 1994).

Oggi, un sistema decisionale efficiente deve disporre di alcuni moduli operativi fondamentali, ciascuno dei quali in grado di affrontare una fase specifica del processo decisionale, che comprende quindi un'interfaccia utente e un modulo di sviluppo di applicazioni che gestisce i dati, i modelli di simulazione ed il modulo decisionale (basato su una o più delle tecniche disponibili), come da schema seguente:

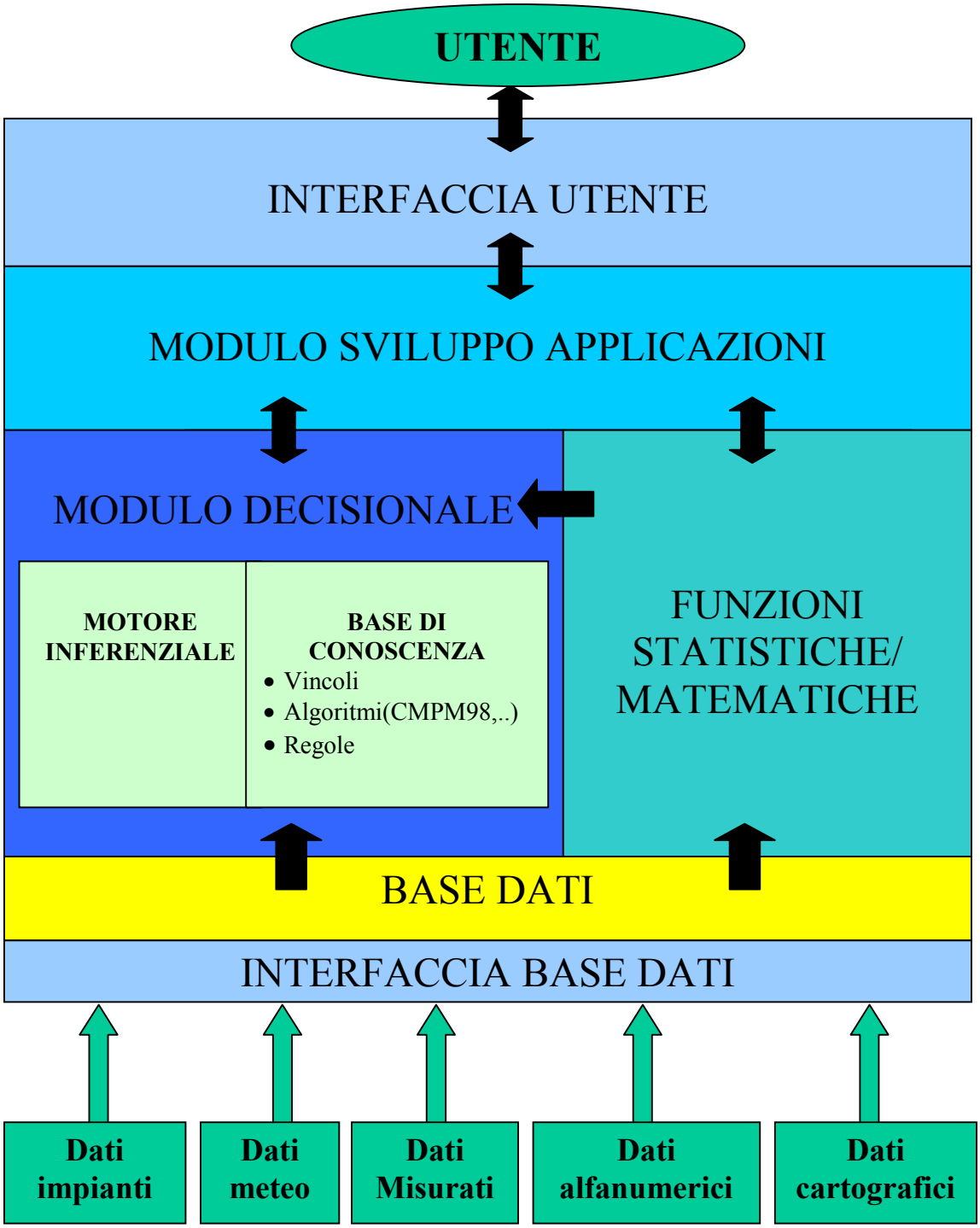


È necessario identificare le caratteristiche e le componenti (anche sotto il profilo degli strumenti software commerciali, oltre che dei risultati dei laboratori di ricerca) utili per configurare un DSS vero e proprio. Se la struttura descritta con lo schema precedente è un riferimento ancora abbastanza generico, la struttura operativa di un DSS deve prevedere le seguenti parti:

- *un sistema di gestione di dati* nel senso più oggi ampio del termine (DBMS + GIS + datawarehouse);
- *un modulo di sviluppo* applicazioni, che orienta le funzioni del DSS agli obiettivi richiesti;
- *una interfaccia utente*, che è interfaccia uomo-macchina nel senso ampio oggi impiegato nelle applicazioni a distanza (ambiente *web* genericamente inteso), con tutte le estensioni necessarie per vedere nel medesimo ambiente *web* almeno alcune delle funzioni tipiche dei DBMS e dei GIS (nei limiti della tecnologia corrente);
- *un modulo decisionale:* è uno degli aspetti fondamentali, dato che la capacità di affrontare un problema non strutturato passa attraverso l'adozione di strumenti con i quali la strutturazione diventa possibile e, in ultima analisi, la capacità di porre a confronto le alternative e dell'utilizzare sistemi complessi di criteri nel quadro della decisione (*multicriteria multiobjective analisys*, nel senso più lato).

8.2 Schema logico del Sistema ARTEMISIA 2

La struttura di ARTEMISIA 2 ha lo schema logico dei DSS, come mostrato di seguito:



Essa, infatti, prevede:

- una **Base Dati**, costituita da una parte cartografica e da una alfanumerica, strutturata con un SIT in ambiente Arcview;
- un **modulo decisionale**, che dispone di una *base di regole* e di un *motore di inferenza* in grado di determinare le concentrazioni in aria, le deposizioni al suolo degli inquinanti ed i tre indicatori di impatto (**v. Cap. VI e VII**);
- un **modulo sviluppo applicazioni**, che, interagendo con il modulo decisionale, indirizza i dati e le operazioni finalizzati alla valutazione dei tre indicatori di impatto, della situazione preesistente della qualità dell'aria e della scelta di siti a minore impatto per l'insediamento di un nuovo impianto;
- una **interfaccia utente**, sviluppato in ambiente Map Object di tipo "friendly".

Il Sistema è stato progettato per poter operare in ambiente *web*, che garantisce una fruizione intuitiva ed immediata ad un ampio spettro di utenza.

8.2.1 Base Dati e SIT

Il SIT e la Base Cartografica e Alfanumerica dei dati, dove vengono organizzate tutte le informazioni provenienti dagli Enti e dalle Strutture coinvolte dal Progetto (v. **Cap. I e II**), sono stati realizzati in ambiente ArcView della ESRI; in questo ambiente vengono effettuate tutte le operazioni di acquisizione, gestione e controllo. La scelta è ricaduta su questo tipo di software in quanto è uno standard di fatto per la gestione della cartografia.

Il SIT è stato realizzato per svolgere due funzioni:

- fornire i dati di input alla parte del Sistema dedicata alle funzioni di calcolo (modulo decisionale), al fine di determinare gli indicatori ed i siti a minor impatto per i tre soggetti considerati;
- concentrare in un'unica parte del Sistema, dedicata alle funzioni di consultazione, tutte le informazioni, comprese quelle di carattere "sussidiario", che non partecipano direttamente al calcolo, ma consentono una lettura più approfondita del territorio oggetto di esame.

Le carte sono state acquisite in formato vettoriale (uso del suolo, vincoli, limiti amministrativi, aree archeologiche ecc.), indicando la provenienza e le rispettive caratteristiche (v. **Cap. I e II**) . Tale cartografia costituisce la base sulla quale il Sistema opera, ed ogni carta è stata elaborata come copertura ArcView, completa delle topologie necessarie alle elaborazioni previste dal DSS.

Sono stati acquisiti dati forniti dalla Provincia di Messina in formato dxf/dwg e integrati nella base dati cartografica del Sistema.

Si è quindi proceduto alla trasformazione in coperture ArcView con la costruzione delle topologie ed al caricamento delle tabelle di attributi correlati.

8.2.2 Modulo Decisionale

Il DSS si basa su un modulo decisionale che agisce su un dominio di dati per la determinazione degli indici di impatto e la selezione di siti. Questa operazione viene

compiuta dal **"motore d'inferenza"** secondo una **"base di regole"** definita nel Sistema; il "motore d'inferenza" è un sistema logico atto a definire la veridicità di una operazione attraverso la quale si perviene ad una conclusione. Con questo sistema si passa da una "verità" ad un'altra, che viene giudicata tale in virtù del suo stretto legame logico con la prima.

La base di regole è costituita dalla **"conoscenza"** espressa sotto forme di modelli, algoritmi e vincoli; questa è l'elemento più importante e distintivo di un DSS, in quanto con la base di regole vengono trasferite al Sistema le conoscenze degli esperti (geologica, biologica, meteorologica etc.), che permettono di pervenire ad una valutazione degli indicatori per i tre soggetti di impatto considerati (v. **Cap. VII).**

Nel **modulo decisionale** esiste un **sistema di modelli meteo-diffusivi (**v. **Cap. VI)** per la valutazione della dispersione e delle ricadute al suolo.

8.2.3 Modulo sviluppo applicazioni

È una parte funzionale del DSS composto principalmente da tre procedure specializzate in grado di attivare tutte le componenti del DSS compresi i modelli, gli algoritmi, le regole e i vincoli del modulo decisionale al fine di determinare:

- la situazione attuale della qualità dell'aria;
- gli indicatori di impatto per la vegetazione, la popolazione e la falda;
- l'individuazione di siti a minore impatto per l'insediamento di un nuovo impianto.

Gli indicatori sono i tre criteri fondamentali con i quali è possibile valutare gli effetti della localizzazione di un impianto.

8.3 Realizzazione di ARTEMISIA 2

L'obiettivo del DSS è quello di consentire la valutazione degli effetti prevedibili a seguito dell'ipotesi di collocazione sul territorio di una sorgente di emissione, caratterizzata da parametri definiti del relativo impianto, come l'altezza dal suolo e la quantità di effluenti emessa.

Il Sistema, che opera su un dominio discretizzato, deve (v. **fig. 8.1**):

- calcolare la dispersione e la ricaduta al suolo delle emissioni sulla base dell'assetto meteo-climatico tipico dell'area di applicazione;
- integrare i valori di concentrazione così ottenuti con altre variabili presenti nel SIT (popolazione, acque sotterranee, uno o più indicatori agronomici);
- generare una carta dei siti a minor impatto per ognuno dei tre indicatori considerati, per poter valutare gli elementi discreti del territorio in termini di alternative.

Il Sistema così definito è stato sviluppato in ambiente ArcView, che svolge la funzione di contenitore e gestore del SIT, e in ambiente NetWeaver, che è il componente integrato con lo stesso ArcView (a cura della ESRI) atto ad assolvere

funzioni del motore d'inferenza e più in generale del modulo decisionale. La fase più importante dello sviluppo è nella definizione del problema in termini decisionali: si identificano le variabili di ingresso (i criteri, sotto forma di entità cartografiche residenti nel SIT), la struttura di collegamento tra tali entità, gli operatori cui bisogna fare ricorso per integrare i dati. Si definiscono altresì i livelli di visualizzazione degli output desiderati.

Nel caso specifico, è stata applicata una struttura decisionale limitata ad alcuni criteri legati alla concentrazioni in aria, alla deposizione al suolo, alla popolazione, alle acque sotterranee, all'agricoltura. Definita la logica in ambiente NetWeaver, il problema viene gestito attraverso ArcView, che provvede a farne l'applicazione su un *discreto spaziale* opportunamente definito.

La struttura generale del problema è riportata nella **Fig. 8.1**: il controllo delle condizioni di ammissibilità e di accettabilità regolano i flussi decisionali.

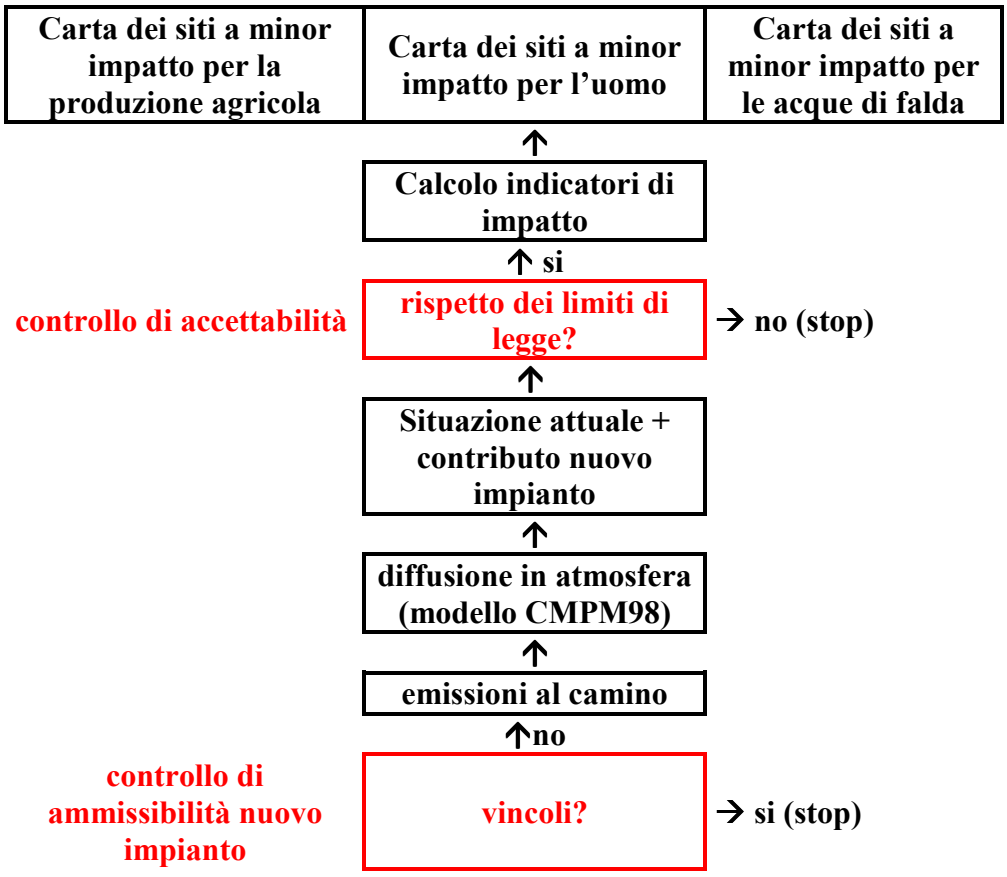
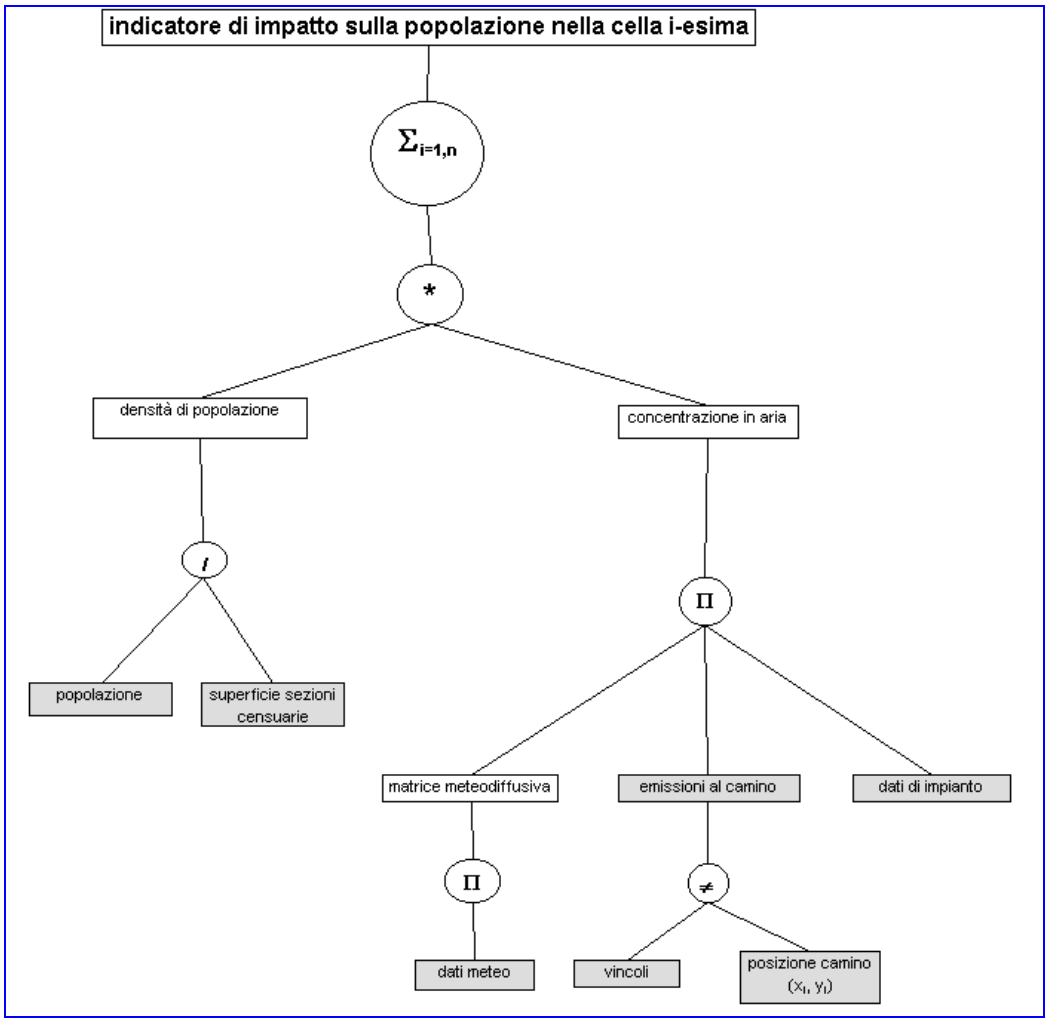


Fig. 8.1 Schema di flusso decisionale del DSS ARTEMISIA 2

In particolare ciascun indicatore, che nel **Cap. VII** è stato descritto dal punto di vista fenomenologico, è di seguito schematizzato con un processo logico-numerico in cui compare, una parte simulata attraverso il modello di diffusione e l'altra attraverso il contesto territoriale, demografico e produttivo.

Le variabili che partecipano a ciascuno degli indicatori sono (v. **Cap. VII**):

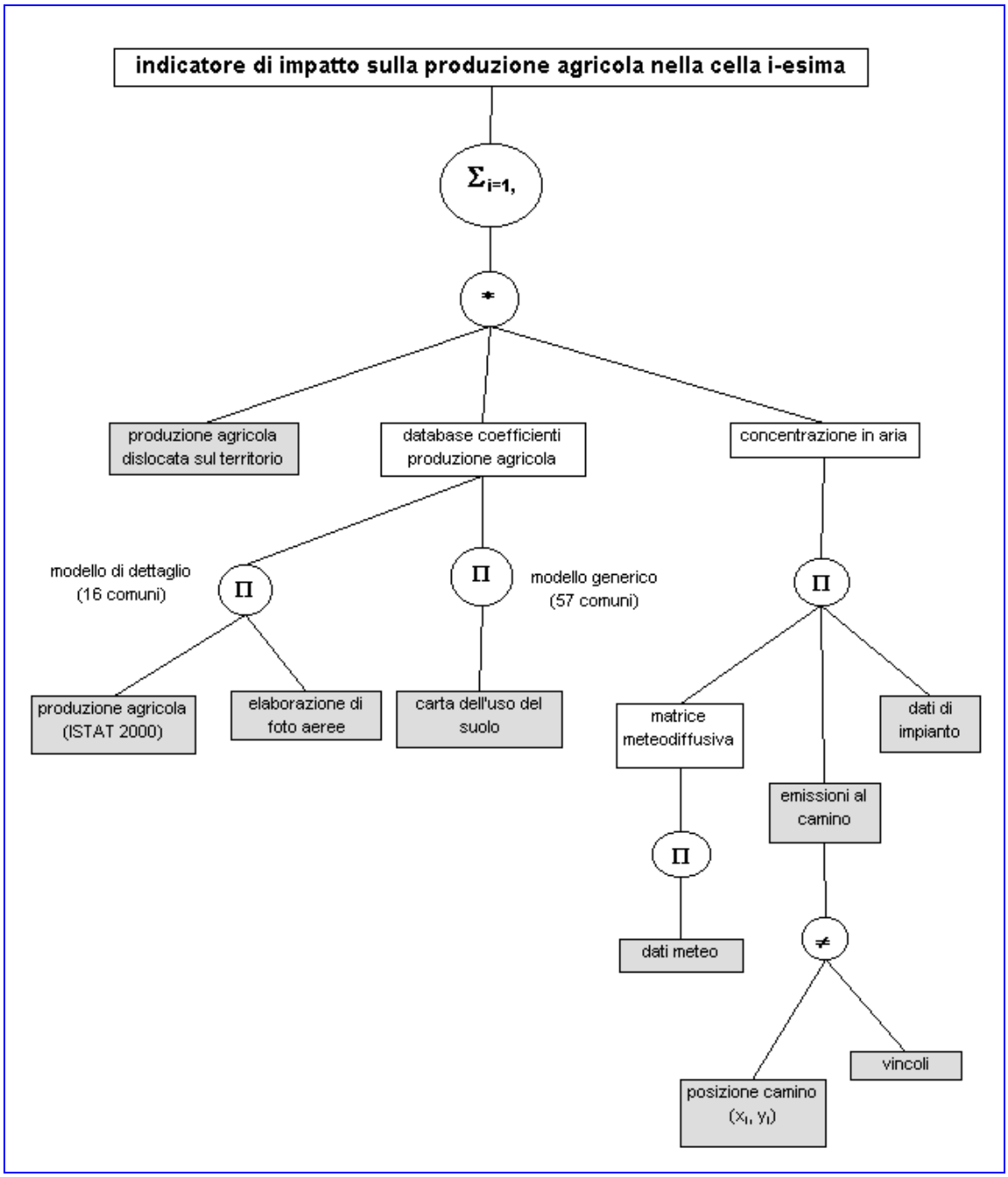
- *indicatore di impatto sulla popolazione*: concentrazione in aria, superficie delle sezioni censuarie ISTAT, popolazione residente; lo schema logico-numerico è mostrato nella **Fig. 8.2**;



Legenda operatori: / (divisione), * (moltiplicazione), ≠ (diverso), Π (modelli)
Legenda flusso dati: input output
n = numero delle celle nel grigliato di lavoro

Fig. 8.2 Schema logico di valutazione dell'indicatore di impatto sulla popolazione per la cella i-esima

- *indicatore di impatto sull'agricoltura*: concentrazione in aria, produzione agricola, coefficiente di calo di produzione; lo schema logico-numerico è mostrato nella **Fig. 8.3**;

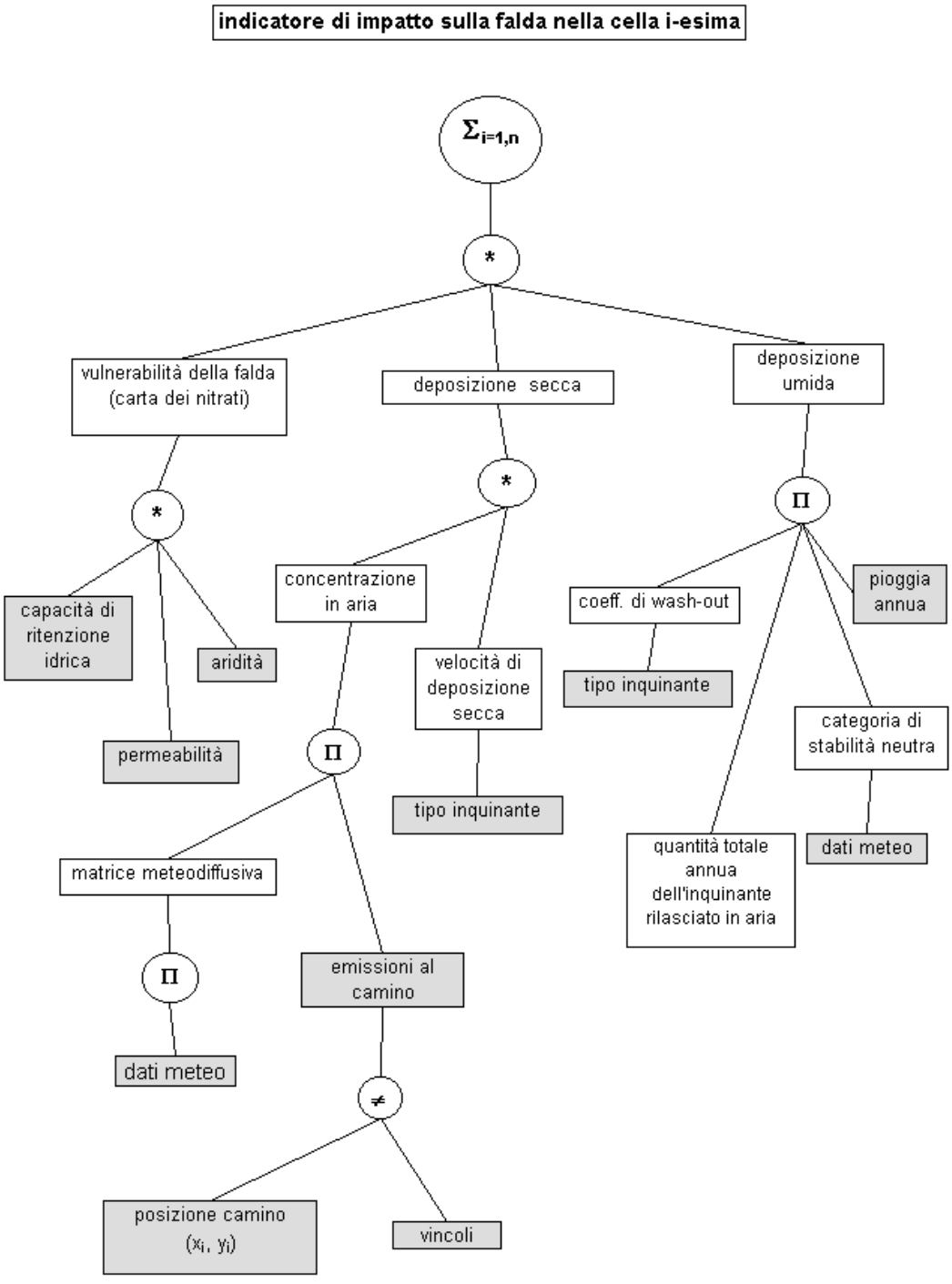


Legenda operatori: / (divisione), * (moltiplicazione), ≠ (diverso), Π (modelli)

Legenda flusso dati: input output

n = numero delle celle nel grigliato di lavoro

Fig. 8.3 Schema logico di valutazione dell'indicatore di impatto sull'agricoltura per la cella i-esima



Legenda operatori: / (divisione), * (moltiplicazione), ≠ (diverso), **Π** (modelli)

Legenda flusso dati: input output

n = numero delle celle nel grigliato di lavoro

Fig. 8.4 Schema logico di valutazione dell'indicatore di impatto sulla falda per la cella i-esima

- *indicatore di impatto sulla falda*: deposizione secca e umida al suolo, capacità di ritenzione idrica del terreno+permeabilità+aridità (dalla carta di rischio di rilascio di nitrati in falda, **v. Cap. I-II**); lo schema logico-numerico è mostrato nella **Fig. 8.4**.

8.4 ARTEMISIA 2: un DSS utilizzabile anche via *web*

La realizzazione di ARTEMISIA 2 è stata basata sulla possibilità di fornire il supporto a distanza in ambiente intranet ed internet. Questa filosofia di base, coerente con lo sviluppo delle tecnologie ed il trasporto telematico dei dati, si è concretizzata nella scelta di dotare il sistema di un Map Application Server (MAS). Per questo motivo gli ambienti di sviluppo utilizzati sono:

- MapObject con funzione di Map Application Server (interfaccia uomo-macchina mediante codifica HTML);
- ArcView con funzione di GIS per la realizzazione del SIT;
- NetWeaver con funzione di gestione della struttura decisionale.

Un altro modo di schematizzare questi strumenti, è attraverso la classificazione delle funzioni di ciascuno di questi moduli:

Modulo	Funzione	Attività
MapObject	Map Application Server (MAS)	Transazioni in codice HTML
ArcView	Geographic Information System (GIS)	Sorregge il SIT
NetWeaver	Motore Inferenziale	Sorregge il modulo decisionale

La scelta delle risorse utilizzate è stata effettuata in funzione della compatibilità verso ArcView; MapObject è infatti un ambiente di sviluppo proprietario di ESRI, mentre NetWeaver è il motore decisionale utilizzato per la realizzazione di EMDS (Ecosystem Management Decision Support), progetto co-partecipato da ESRI.

La caratteristica fondamentale di un MAS è il poter realizzare nella logica client–server le transazioni tra stazioni di lavoro. Questa interfaccia altro non è che una codifica in linguaggio HTML delle transazioni stesse, con il loro carico di informazioni per controllare gli input da cui dipendono le operazioni da svolgere sul server e la visualizzazione degli output relativi sul lato del client.

Alcune funzioni più specifiche sono supportate da altri moduli applicativi che sono:

- il modello meteo-diffusivo CMPM98;
- il post processore di CMPM98, realizzato sia per consentire il passaggio dell'output del modello all'ambiente di visualizzazione, sia per svolgere i calcoli necessari a collegare i coefficienti che derivano dall'analisi multicriteriale con le concentrazioni delle sostanze emesse.

ARTEMISIA 2 opera in ambiente Windows 98/2000 ed il server ospite è dotato di tecnologia IIS (**Internet Information Server**) per la diffusione in rete. Il browser di riferimento è Internet Explorer, ma test adeguati hanno consentito di verificare la compatibilità verso l'ambiente Unix e Netscape.

La stazione di lavoro è basata sulle seguenti *sezioni di attività*:

- una *sezione di controllo amministrativo*, che mantiene le funzioni di registrazione degli utenti, del controllo di accesso, delle statistiche di accesso;
- una *sezione documentale*, opportunamente strutturata sulla base degli argomenti descritti;
- una *sezione di lavoro*, a sua volta sommariamente ripartita in un SIT vero e proprio e in una sezione dedicata alla simulazione della diffusione in atmosfera e al supporto alla decisione.

La *sezione di controllo amministrativo* consente di gestire una procedura di registrazione per l'identificazione dell'utente; a questa corrisponde una finestra di login nell'area di lavoro. È prevista anche la possibilità di accesso diretto, senza registrazione, alle aree di carattere generale (documentazione e alcune basi di dati).

La *sezione documentale* è divisa, coerentemente con la struttura della stazione, in tre aree dedicate rispettivamente al sistema di supporto alla decisione, alla diffusione in atmosfera degli effluenti aeriformi e al contenuto del SIT.

La *sezione di lavoro* costituisce il cuore del sistema e si basa su un'interfaccia interattiva (in termini transazionali) tra il server e l'utente, locale o remoto che sia.

Il Sistema è rappresentato nello schema logico funzionale che segue (v. **Fig. 8.5**), nel quale sono stati rappresentati i principali blocchi di dati con le principali funzionalità che il Sistema esprime, e che sono stati individuati in funzione delle caratteristiche d'uso richieste; sommariamente, si tratta di quattro sezioni che corrispondono agli ambienti applicativi principali (nell'ordine NetWeaver, ArcView, MapObject e CMPM98).

Le sezioni relative ad ArcView e MapObject (**A** e **B** nello schema) sono quelle fondamentali per l'intero Sistema, dato che svolgono il primo la funzione principale di gestore della Base di Dati, il secondo la gestione delle funzioni che consentono la navigazione e l'interazione dell'utente (locale e remoto) con il Sistema.

Gli altri due moduli applicativi, NetWeaver e CMPM98 (**C** e **D** nello schema), svolgono invece funzioni molto più specifiche e limitate all'ambito dell'elaborazione dei dati dal punto di vista strettamente logico e numerico. CMPM98 è inoltre dotato di un post processore, che nello schema non compare, che svolge il ruolo di collegamento dell'output del modulo diffusivo con il resto del Sistema.

La Base di Dati, seguendo lo schema logico funzionale, è divisa in tre partizioni:

- la prima (**A1** nello schema) consente il funzionamento di CMPM98 per la simulazione della diffusione in aria e della deposizione al suolo ed opera in due fasi distinte: (i) utilizza in input la matrice meteo-diffusiva caratteristica dell'area di interesse (in questo caso la provincia di Messina); (ii) riceve in

input i dati di intensità e di modalità di emissione dell'impianto, che permettono di risalire alla valutazione delle concentrazioni in aria ed alle deposizioni al suolo (per via umida e secca);

- la seconda è costituita da quelle carte tematiche, che vanno a concorrere con l'insieme dei dati caratteristici del soggetto d'impatto, a supportare la fase decisionale (basi DSS **A3** nello schema), questa gestita da NetWeaver in ambiente ArcView. Queste carte sono state determinate dal post-processore del CMPM98, il quale produce le mappe di concentrazione in aria e deposizione al suolo e calcola gli indici di impatto sia proporzionali che assoluti; queste divengono a loro volta un tematismo da gestire attraverso MapObject nell'ambito della visualizzazione e dell'eventuale archiviazione;
- la terza costituisce il set di dati inerenti al SIT vero e proprio (**A4** nello schema), con ciò intendendo i tematismi che non vengono modificati nel corso della simulazione per l'individuazione degli indicatori di impatto e che si limitano a fornire l'input per la navigazione da parte dell'utente.

La parte più complessa è quella che costituisce il modulo decisionale: infatti, il modello CMPM98 genera input per il prosieguo delle funzioni all'interno del modulo decisionale stesso. Questo utilizza le concentrazioni in aria, le deposizioni al suolo, e gli altri layer posti sotto ArcView (popolazione, agricoltura, acque sotterranee) e, sulla base delle variabili di controllo (dati di progetto da simulare, **B2** nello schema) produce le mappe degli indicatori di impatto in ambiente ArcView (shape files). Attraverso l'interfaccia HTML generata da MapObject, l'intero Sistema (basi GIS e basi DSS) è visibile dall'utente, che può così valutare l'effetto delle sue ipotesi di progetto.

La definizione della logica del problema e della struttura decisionale vera e propria avviene in ambiente NetWeaver (blocco **C**): la funzione di questo ambiente è quella di consentire la progettazione di tale struttura applicando gli operatori logici e numerici del caso. Attraverso opportune funzioni di link, NetWeaver consente il puntamento alle basi di dati, mentre ArcView viene utilizzato per applicare la struttura del processo all'insieme dei nodi del reticolo previsto per la risoluzione del problema in esame.

L'accesso alla struttura decisionale è consentita solo agli utenti esperti a basso livello, mentre è inibita all'utente e viene aggiornata o rigenerata in funzione delle caratteristiche dell'applicazione.

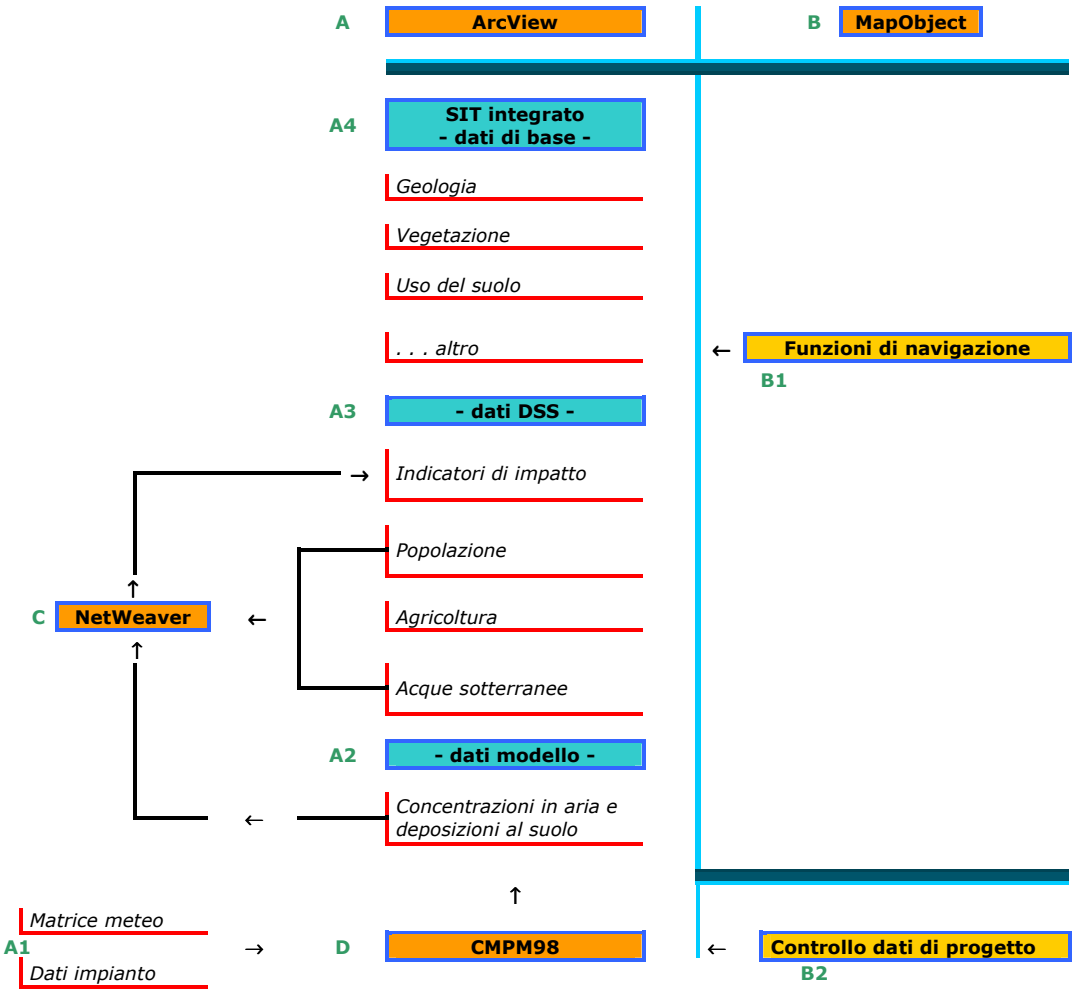


Fig. 8.5 Schema funzionale del Sistema ARTEMISIA 2

8.5 Sistema di comunicazione

L'interfaccia uomo-macchina, nell'ambito delle attività/informazioni distribuite in rete, ha costituito negli ultimi anni una vera e propria rivoluzione nei sistemi di comunicazione dei dati a distanza.

L'aspetto fondamentale di questo tipo di comunicazione, allo stato della tecnologia disponibile, consiste nell'interpretare localmente (al livello della stazione client) i dati forniti dall'utente, di trasmetterli alla stazione server, di elaborare tali dati sul server e, infine, di trasmettere i risultati di nuovo al client.

Si tratta di un processo non diverso da quello tra un PC e le sue periferiche locali (monitor, tastiera, mouse ecc.), ma che ha in più l'esigenza di delegare ad un altro calcolatore il compito di svolgere alcune fondamentali funzioni, mentre al client resta la

funzione di interpretare correttamente i risultati della transazione in modo da renderli intelligibili da parte dell'utente.

La chiave di volta è quindi la fase di codifica/trasmissione/decodifica, cioè la comunicazione tra due sottosistemi, il server ed il client, che obbliga a scegliere una tecnica colloquiale tale da non dover dipendere dalle caratteristiche specifiche hardware e software della stazione, che di volta in volta riceve la richiesta di transazione. Le stazioni di lavoro, infatti, tendono ad essere sempre abbastanza diverse tra loro, come caratteristiche, tanto da obbligare a trasferire al metodo di comunicazione la capacità di superare le differenze HW e SW.

Tale tecnica di comunicazione consiste nel basare il dialogo tra i sottosistemi su sequenze organizzate di istruzioni, contenenti oggetti incapsulati più o meno sofisticati (istruzioni, immagini, suoni ecc.); le istruzioni vengono interpretate localmente dalla macchina ricevente.

La base della comunicazione tra due nodi (macchine) della rete, è la transazione; questa consiste in uno scambio di istruzioni da interpretare, il cui risultato è un'altra serie di istruzioni (pure da interpretare) che costituiscono la risposta.

Nel caso particolare dei sistemi di dati geografici, come ARTEMISIA 2, le limitazioni relative alla comunicazione sono ancor più vincolanti, dato che la gestione di un oggetto connotato anche dalla propria geometria spaziale è più complessa di quella di un oggetto puramente alfanumerico.

Il problema è stato risolto attraverso dispositivi software che svolgono la funzione di Map Server, che consiste tra l'altro nel trasferire da una stazione all'altra le definizioni delle attività da svolgere in un ambiente SIT; in questo caso, la funzione è stata realizzata con MapObject, che provvede a svolgere le seguenti funzioni:

- controllo, generazione e visualizzazione di progetti cartografici in ambiente ArcView (shape file);
- gestione delle legende, dei tematismi e dei colori;
- gestione delle funzioni di navigazione (zoom, pan, scalatura, definizione);
- gestione della transazione client-server;
- generazione del codice HTML per la comunicazione del contenuto della transazione.

Pertanto la comunicazione uomo-macchina è stata risolta attraverso l'uso di un'interfaccia interattiva, "user-friendly", dove l'utente, sia in modalità locale che remota, viene assistito nelle varie fasi di navigazione all'interno del Sistema con un "help-on-line".

8.6 La Stazione *WEB* di ARTEMISIA 2

L'intera Stazione che ospita il DSS è realizzata in uno spazio *web* dedicato (v. **Fig. 8.6**), costituito da due sezioni (v. **Fig. 8.7**):

- una sezione "documenti" che raccoglie la documentazione relativa a:
  - le modalità di funzionamento del modello e dei calcoli;
  - la architettura e al contenuto del SIT.
- una sezione "stazione di lavoro", fondamentale, che permette l'accesso al Sistema vero e proprio ed è dotata di "pagine" per:
  - agire interattivamente sulla cartografia attraverso una "frame" dedicata ed i pulsanti per l'accesso alle funzionalità operative;
  - gestire i layers cartografici disponibili, sia quelli statici dipendenti dal SIT, sia quelli dinamici generati con il modello di diffusione;
  - inserire i dati necessari allo sviluppo delle simulazioni.

L**'**utente accede alla Stazione attraverso una procedura di "login" contenuta nella prima pagina; tale procedura, a sua volta, dipende da una fase di registrazione che consente l'identificazione dell'utente e l**'**assegnazione di un livello di accesso con restrizioni maggiori o minori.

La documentazione, invece, è disponibile anche senza il riconoscimento e può essere utilizzata senza restrizioni per dare più visibilità al sistema e maggiore diffusione al contenuto. In definitiva, sono state previsti tre profili di utenza:

- visitatore, che può accedere alla parte documentale del sito per rendersi conto del contenuto e delle potenzialità, ma che non può accedere alla stazione di lavoro vera e propria senza una procedura preventiva di riconoscimento;
- utente, al quale viene consentito di operare attraverso le procedure di simulazione più avanti descritte;
- amministratore di sistema, l'unico che può generare lo stato esistente dei livelli di inquinamento dell'aria per la zona di Milazzo e aggiornare l'intero archivio.

La seconda sezione di lavoro (v. **Fig. 8.8**) ha le funzioni necessarie sia per le visualizzazioni (zoom avanti, zoom indietro, pan, diversi rapporti di scala fissi, selezione delle cartografie ecc.) che per selezionare ed interrogare la cartografia stessa. Le funzioni dedicate alla fase di modellazione sono raggruppate in:

- generazione dello stato esistente della qualità dell'aria sulla base di tutte le sorgenti di emissione autorizzate e presenti nel database (procedura 1);

- simulazione delle concentrazioni in aria (v. **Fig. 8.9**) e delle deposizioni al suolo per una sola sorgente di impatto e del contributo rispetto allo stato esistente (procedura 2);
- ricerca dell'area a minor impatto (procedura 3) sulla base dell'ipotesi di una sola sorgente emissiva o confronto fra due differenti sorgenti, attraverso la stima dei tre indicatori di impatto (popolazione, agricoltura e falda) (v. **Cap. VII**).

Quest'ultime due procedure attivabili dall'utente si basano sulle caratteristiche della sorgente da simulare (v. **Fig. 8.10**) ed utilizzano i dati ottenuti dalla simulazione dello stato preesistente definito nel database (generazione riservata all'amministratore di sistema).

Prima dell'esecuzione della simulazione, il Sistema effettua un controllo fra la posizione su cui si intende porre la sorgente emissiva e i vincoli ambientali e territoriali presenti nella zona d'interesse, ed in caso di conflitto inviando un messaggio di errore e sospendendo l'attività.

La multiutenza viene assicurata dal Sistema attraverso un identificativo univoco assegnato ad ogni utente, che gli permette di accedere ad una propria sessione e area di lavoro temporanea riservata, dove potrà consultare anche la situazione dello stato preesistente ed operare secondo le procedure sopra descritte; inoltre, l'utente ha la possibilità di memorizzare localmente le immagini relative ai risultati che ha ottenuto.

La scelta delle dimensioni della *finestra* da selezionare per l'individuazione dell'area a minor impatto (procedura 3) deve essere accuratamente valutata dall'utente in quanto i tempi di risposta sono strettamente dipendenti dal numero di maglie definite in tale finestra (le maglie, nella versione corrente sono costituite da quadrati con 200 metri di lato). Una richiesta eccessiva può allungare considerevolmente i tempi di risposta.

Fig 8.6 La pagina iniziale di ARTEMISIA 2

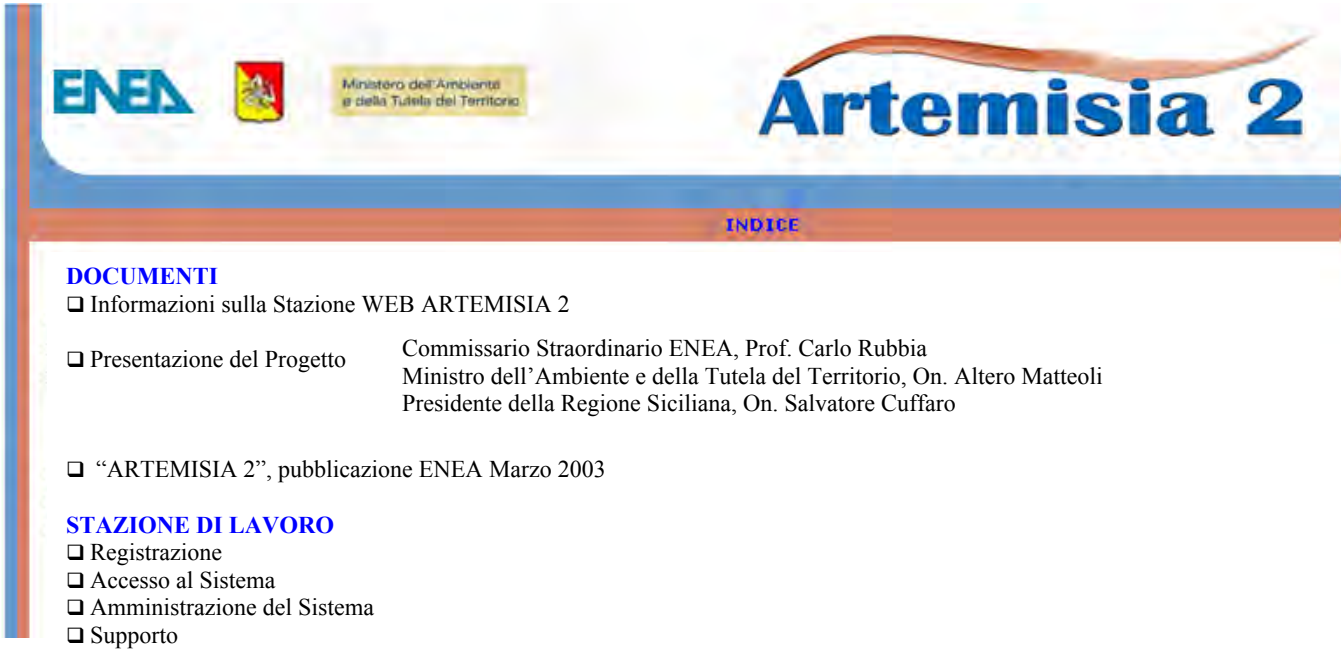


Fig 8.7 Le Sezioni di ARTEMISIA 2: Documenti e Stazione di Lavoro

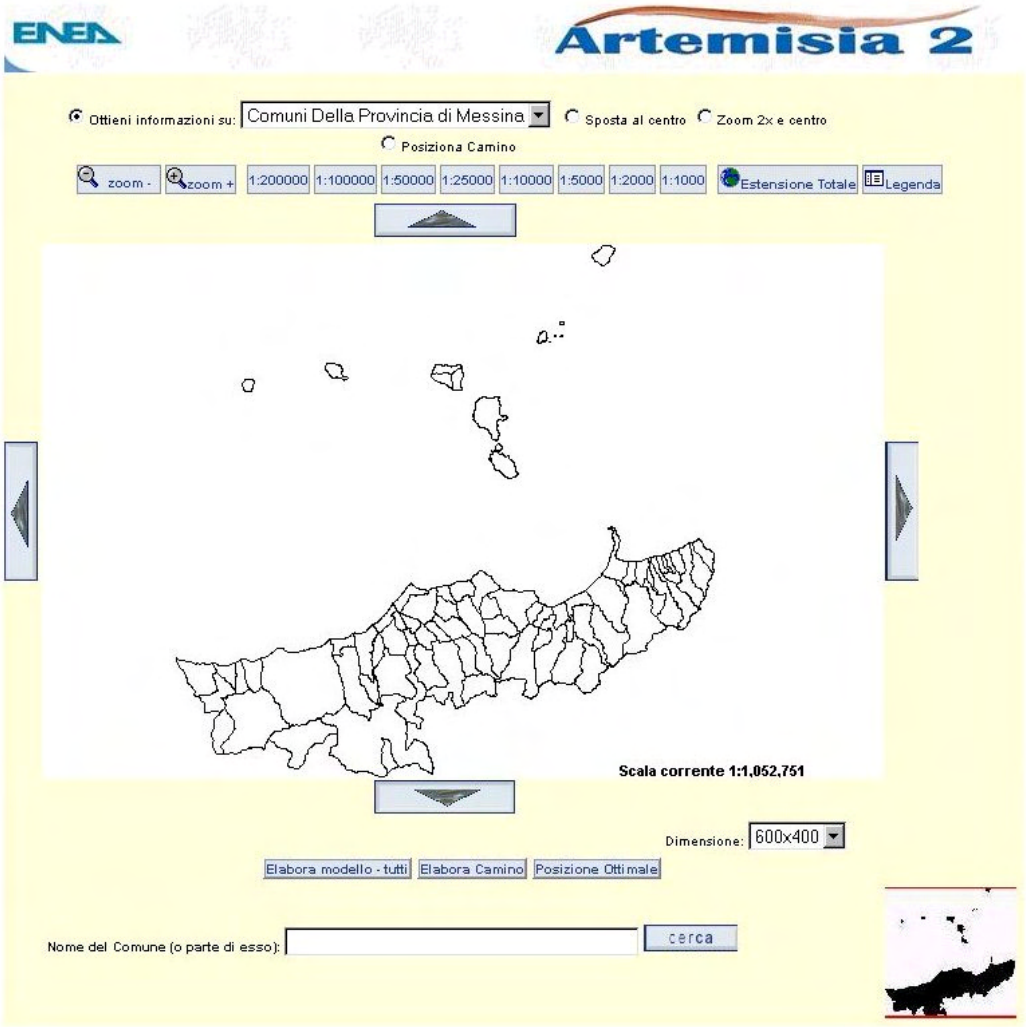


Fig 8.8 La sezione SIT di ARTEMISIA 2

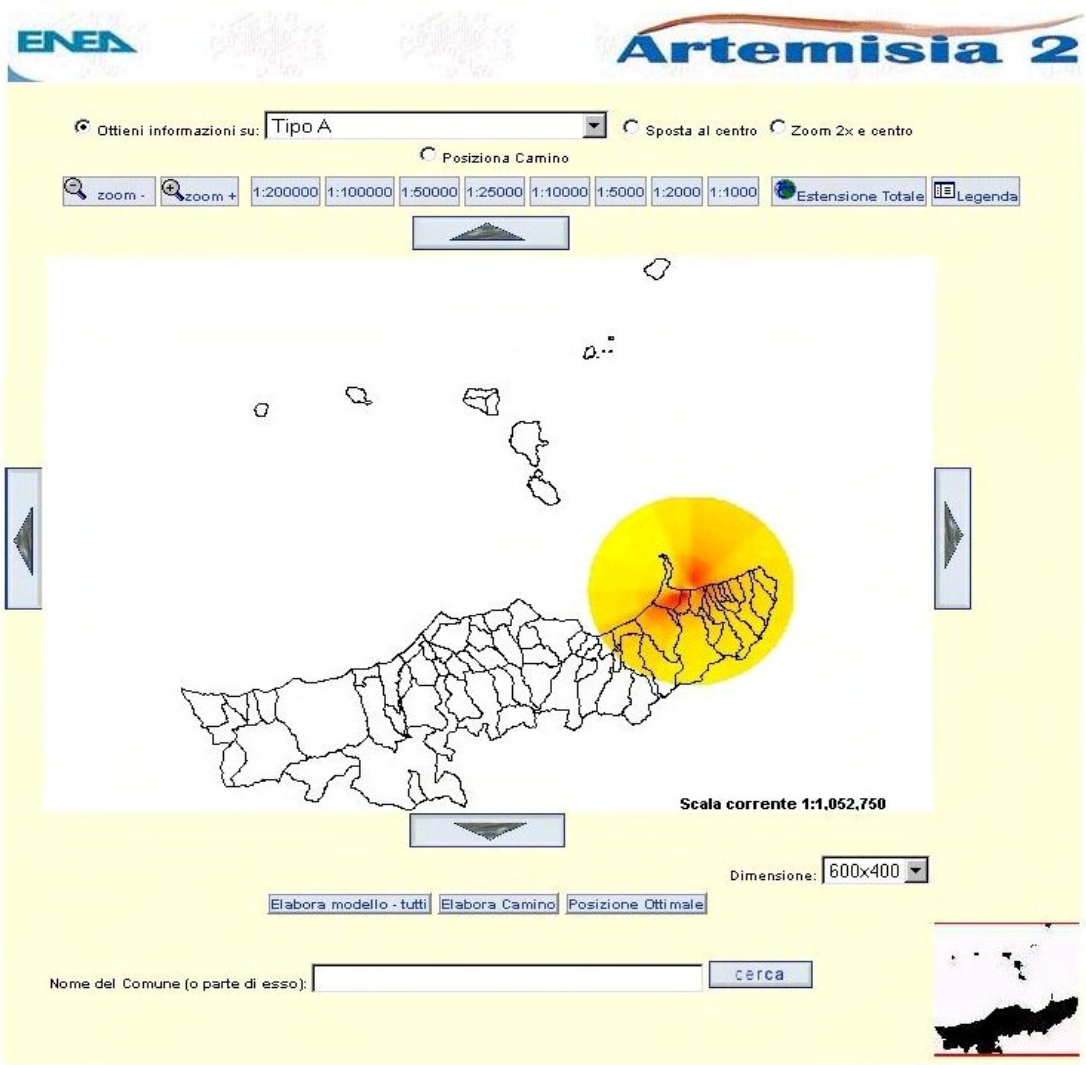


Fig 8.9 Esempio di concentrazioni in aria al livello del suolo da rilascio puntiforme

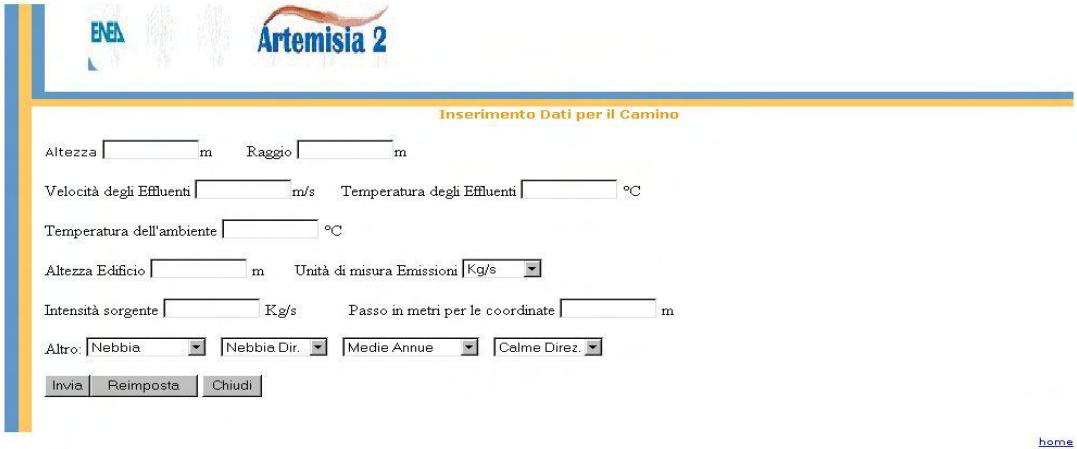


Fig 8.10 Inserimento delle caratteristiche della sorgente da simulare

Bibliografia

Bishop C. M., *Neural Networks for Pattern Recognition*. Clarendon Press, Oxford, 482 pp., 1995.

Carver S. (1991). Integrating Multi-Criteria Evaluation into Geographic Information Systems. *International Journal of GI*S. Vol. 5 (3). Pp 321-339.

Chankong V. & Haimes Y. Y., *Multiobjective Decision Making*. Theory and Methodology Series, vol. 8, North Holland ed., pp. 406, 1983.

Cohon J. L., *Multiobjective Programming and Planning*. Math. In Sc. And Eng., vol. 140, Academic Press, pp. 333, 1978.

Colson G. & De Bruyn C. eds., *Models and Methods in Multiple Criteria Decision Making*. Pergamon Press, pp. 1201-1435, 1989.

Dalkey N. C., *An Experimental Study of Group Opinion - The Delphi Method*. Futures, sept. 1969, pp. 408-426, 1969.

Dantzig G. B., *Programming interdependent activities, II, mathematical model*. Econometrica, vol. 17, pp. 200-211, 1949.

Dantzig, G.B., *Application of the simplex method to a transportation problem*, pp. 359-373) in Activity Analysis of Production and Allocation (T.C. Koopmans ed.), Wiley, NY, 1951.

Dubois D. & Prade H., *Fuzzy Sets and Systems: Theory and Applications*. Academic Press, pp. 393, 1980.

El-Najdawi M. K. & Stylianou A. C., *Expert Support Systems: Integrating AI technologies*. Communications of the ACM, 36, (2), pp.55-65, 1993.

Fabos J. G., Greene C. M. & Joyner S. A. jr., *The Metland Landscape Planning Process: Composite Landscape Assessment*. Mass. Agr. Exp. Station, Univ. of Mass., Amherst, pp. 229, 1978.

Fabos J.G. & Petrasovits I., *Computer-Aided Land Use Planning and Management*. Mass. Agr. Exp. Station, Univ. of Mass. at Amherst, Res. Bull. n. 693, July 1984, 100 pp., 1984.

Fedele P., Grandoni G. & Mammarella M. C., *Banche dati, sistemi esperti e information retrieval*, Rapporto Tecnico ENEA, n. RT/PAS/89/32

Godefroy P. & Humbert M., *La cartographie des risques naturels liés aux mouvements de terrain et aux seismes*. B.R.G.M., Hydrogéologie - Geologie de l'Ingegneur, 2, pp. 69-90, 1983.

Goldberg D. E. (1989). Genetic Algorithms in Search, Optimisation and Machine Learning. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley.

Haastrup P. (1995). *Designing Risk and Environmental Management Support Systems*. In Beroggi, G. And Wallace, W. (Eds.), Computer Supported Risk Management, pp. 49-59. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.

Heywood I., Oliver J. & Tomlinson J., *Building and Exploratory Multi-Criteria Modelling Environment for Spatial Decision Support*. In Proceedings of the EGIS'94 Conference. Paris, 1994.

Holland J. M., *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. University of Michigan Press, Ann Arbor, MI., 1975.

Holtzman S., *Intelligent Decision Systems.* Addison-Wesley, Reading, 1989.

in the brain. Psychological Review, 65, 386-408, 1958.

Keeney R. L. & Raiffa H., *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs*. J. Wiley & Sons, 569 pp., 1976.

Kim T. J., Wiggins L. L. & Wright J. R. eds., *Expert Systems: Applications to Urban Planning*. Springer Verlag, 268 pp., 1990.

Klahr D. & Kenneth K. eds., *Complex Information Processing.* Hillsdale, NJ, Lawrence Erlbaum Associates, 1989.

McConnell S., *Rapid Development. Taming Wild Software Schedules*. Microsoft Press, Redmond, Washington, 1996.

Newell, A., & Simon, H. A., *Human problem solving.* Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1972.

Nilsen T.H., Wright R.H., Vlasic T.C., Spangle W.E., *Relative Slope Stability and Land-Use Planning in the San Francisco Bay Region, California*. Geol. Surv. Prof. Paper, 944, 96 pp., 1979.

Painho M., Fabos J.G. & Gross M., *Alternative Plan Formulation: The Application of a Multi-Objective Programming Model in Landscape/Land Use Planning*. Mass. Agr. Exp. Station - College of Food and Nat. Res. - Univ. of Mass. at Amherst, Res. Bull. n. 715, June 1987, 68 pp.

Ripley B. D., *Statistical Inference for Spatial Processes*. Cambridge University Press, 148 pp., 1988.

Ripley B. D., *Stochastic Simulation*. Wiley Ser. In Prob. and Math. Stat., pp. 237, J. Wiley & Sons, 1987.

Rosenblatt F., *The perceptron: A probabilistic model for information storage and organization*

Roy B., *Méthodologie Multicritére d'Aide à la Décision*. Gestion, Parigi, 423 pp., 1985.

Saaty T. L. & Kearns K.P., *Analytical Planning*. RWS Pubb. ed., Pittsburgh, PA, pp. 208, 1985.

Saaty T. L. & Vargas L. G., *The Logic of Priorities*. RWS Pubb. ed., Pittsburgh, PA, pp. 302, 1991.

Saaty T. L. , *Fundamentals of Decision Making*. RWS Pubb. ed., Pittsburgh, PA, pp. 527, 1994.

Saaty T. L., *A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structure*. Journ. Of Math. Psyc., 15, 234-281, Academic Press, N.Y., 1977.

Saaty T. L., *Decision Making for Leaders*. RWS Pubb. ed., Pittsburgh, PA, pp. 315, 1995.

Saaty T. L., *The Analytic Hierarchy Process*. RWS Pubb. ed., Pittsburgh, PA, pp. 287, 1996.

Sage A. P., *Methodology for Large Scale Systems*. Mc Graw Hill Book Company, pp. 445, 1977.

Simon H. A. & Siklossy, L. eds, *Representation and meaning: Experiments with information processing systems.* Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall., 1972.

Simon H. A., *Models of thought.* New Haven, CT: Yale University Press, 1979.

Simon H. A., Smithburg D. W. & Thompson, V. A. , *Public administration.* New York: Knopf, 1950.

Simon H. A., *The New Science of Management Decision*, Harper and Row, New York, 1960.

Simon H. A., *The sciences of the artificial.* Cambridge, MA: MIT Press, 1969.

Simon, H. A. (1957). *Administrative behavior (2nd ed.)*. New York: Macmillan.

Sprague, R., *A Framework for the Development of Decision Support Systems*. In Ralph Sprague and Hugh Watson (Eds.), Decision Support Systems: Putting Theory into Practice, pp. 7-32. London, Prentice-Hall International (UK) Limited, 1986.

Steuer, R. E., *Multiple Criteria Optimisation Theory, Computation and Application*. New York, Wiley & Sons, 1986.

Turban, E., *Decision Support and Expert Systems*. New York: Macmillan Publishing Company, 1990.

Voogd H., *Multicriteria Evaluation for Urban and Regional Planning*. Pion Lmtd. ed., 367 pp., 1983.

Zadeh L. A., *Fuzzy sets*. Information and Control 8 (1965) 338-353.

Zimmerman H. J., L. A. Zadeh & Gaines B. R. eds., *Fuzzy sets and decision analysis*. North Holland ed., Studies in the Management Sc., vol. 20, pp. 522, 1984.

Zurada J. M., *Introduction to Artificial Neural Systems*, West Publ. Comp., 683 pp., 1992.

CAPITOLO IX

Applicazione di ARTEMISIA 2 all'area in esame e considerazioni conclusive del Progetto

M.C. Mammarella, P. Cagnetti, G. Grandoni, P. Fedele, M. Boccadoro
(ENEA)

Premessa

Nei tre Capitoli precedenti è stato descritto il modello meteo-diffusivo CMPM98 e la matrice meteorologica utilizzati (**Cap. VI**), è stato individuato l'insieme di indicatori per selezionare i siti a minor impatto sanitario e ambientale (**Cap. VII**), ed infine è stata esposta la progettazione e la realizzazione del Sistema a Supporto delle Decisioni ARTEMISIA 2 (**Cap. VIII**).

Nel presente Capitolo viene illustrata l'applicazione di tale DSS all'area presa in esame, sulla base di tutti i dati alfa-numerici e cartografici raccolti (**Capitoli I-II**), nonché dei coefficienti individuati nel **Capitolo III** relativamente al calo di produzione agricola.

In particolare viene mostrata l'area prescelta come esempio di applicazione, con i dati cartografici indispensabili per effettuare le valutazioni dei tre indicatori di impatto per l'uomo, la produzione agricola e le acque di falda. Per tale area è stato calcolato, su apposito griglia di lavoro, l'andamento delle concentrazioni medie annue in aria, a partire dalle emissioni caratteristiche dei principali impianti industriali presenti nella zona (ex ENEL-EUROGEN, Raffineria, Comparto Laterizi).

Viene quindi simulata la presenza di un nuovo impianto, per il quale, in un'area predeterminata, viene individuato il sito a minor impatto relativo. Tale operazione può dal DSS essere effettuata anche semplicemente fra due collocazioni diverse, per valutare la migliore dal punto di vista dei tre impatti considerati.

A conclusione del Capitolo, viene svolta una trattazione riepilogativa critica dei risultati ottenuti nello svolgimento delle attività relative al Progetto. Vengono fra l'altro messi a confronto i dati emersi dall'applicazione del DSS ARTEMISIA 2 con quelli rilevati sia dalle misure sperimentali di monitoraggio ambientale che dalle reti di monitoraggio della qualità dell'aria presenti nella zona in esame.

9.1 Area di indagine e relative valutazioni di vulnerabilità

Il DSS ARTEMISIA 2 viene applicato all'area prescelta in accordo con Regione Siciliana e Ministero dell'Ambiente, come descritto nel **Cap. I**.

Si fa presente che, per comodità del lettore nella consultazione, le carte tematiche sono state riprodotte in formato A4; maggiori dettagli possono essere osservati negli elaborati grafici ottenibili dalla Stazione WEB ARTEMISIA 2.

9.1.1 L'area di indagine

L'area di indagine, rispetto alla quale si applica tutto il Sistema, riguarda una frazione della Provincia di Messina, 73 Comuni sulla fascia costiera settentrionale, più una fascia di "sconfinamento" degli effetti, di circa dieci chilometri lungo l'intero perimetro (**v. Fig. 9.1**).

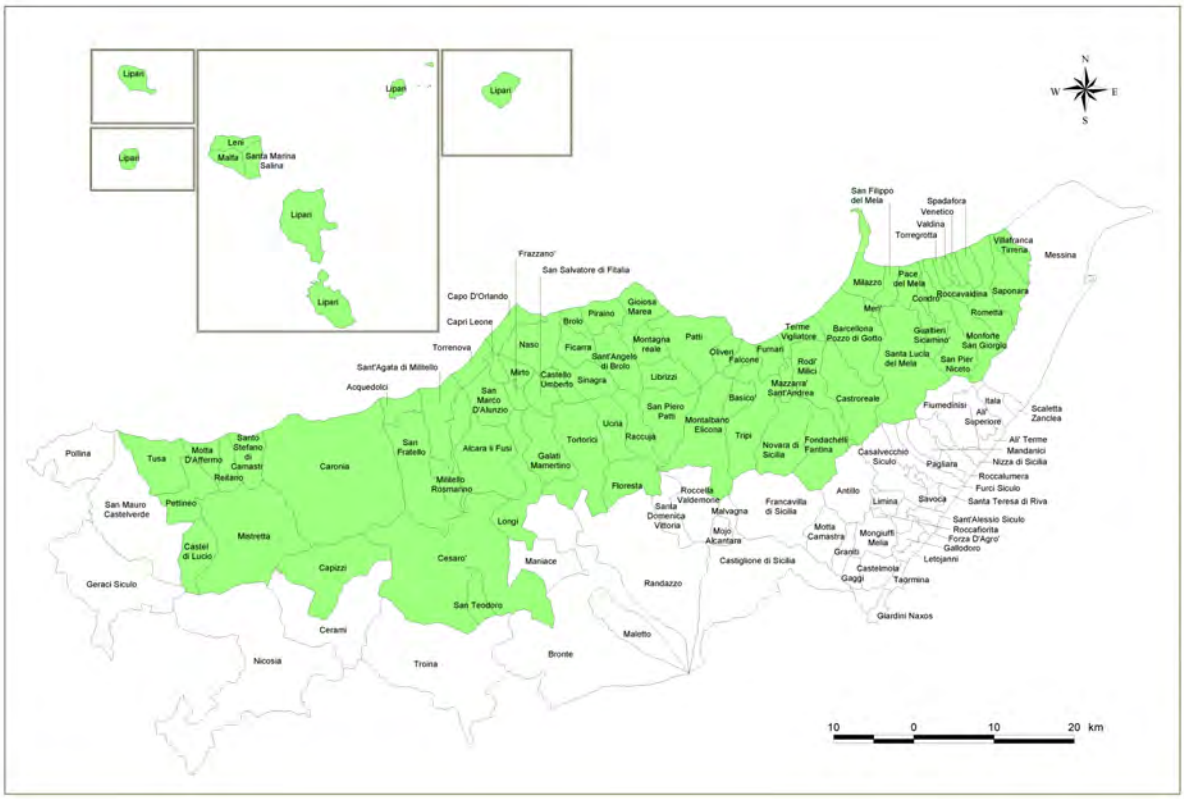


Fig. 9.1 ***Area di indagine (verde), con la fascia di sconfinamento (bianco)***

Come descritto nel **Cap. VII** ed applicato successivamente nel **Cap. VIII**, per effettuare le valutazioni ambientali è necessario specificare la dimensione dell'areola Δx Δy intorno al punto P(x,y); la dimensione di questa deve essere abbastanza piccola da poter descrivere bene il territorio, e non troppo grande onde far si che i livelli di concentrazione degli inquinanti forniti dai modelli matematici non presentino brusche discontinuità. È stato scelto $\Delta x = \Delta y = 200$ metri, che è sembrato un ottimo compromesso per non sovraccaricare i tempi di calcolo del DSS, pur mantenendo una buona definizione del territorio e dei livelli di qualità dell'aria.

Nella **Fig 9.2** è riportato la griglia di lavoro sopra una frazione della zona in esame.

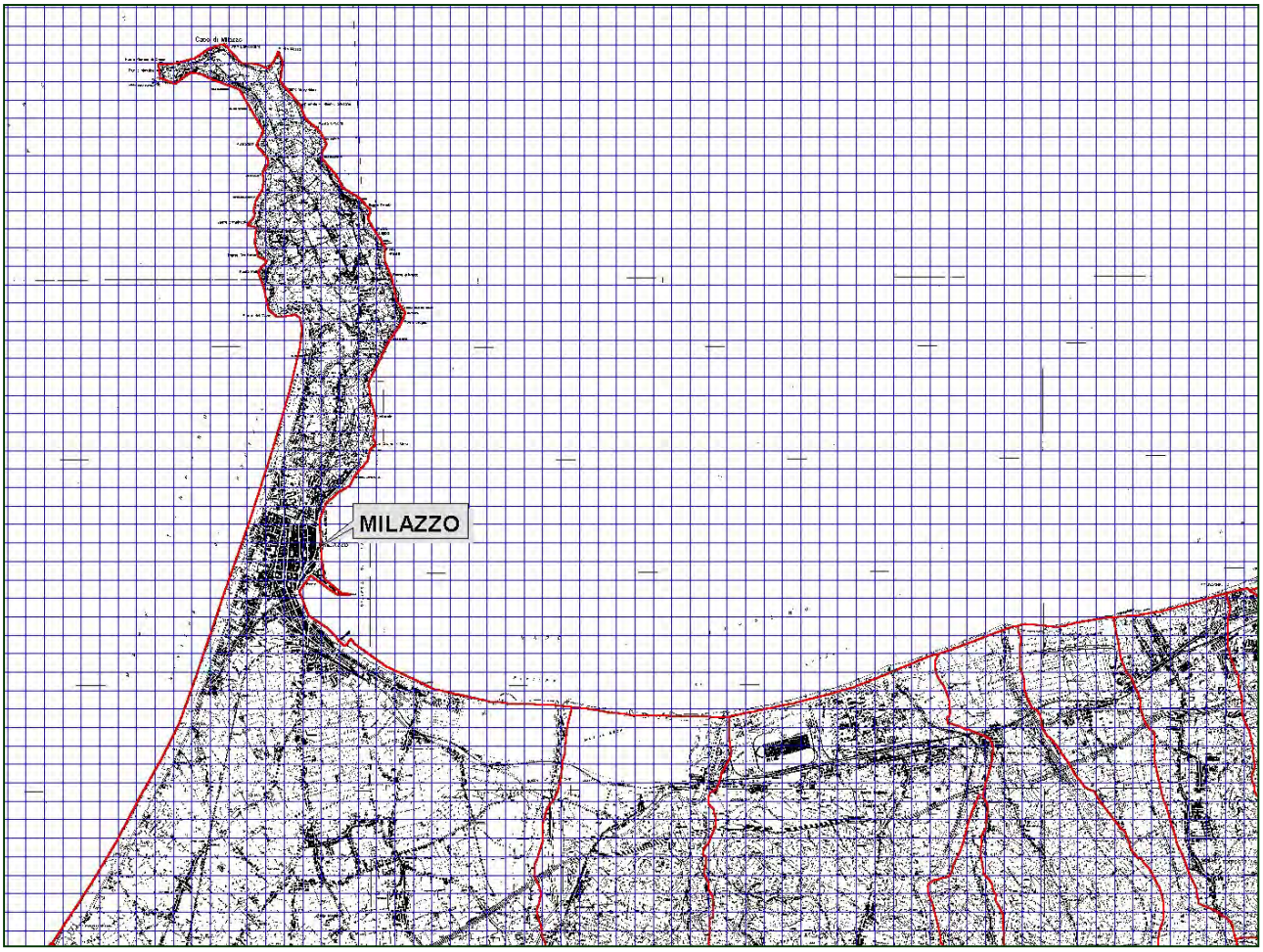


Fig. 9.2 ***Frazione dell'area di indagine, con l'indicazione della griglia di lavoro***

9.1.2 Gli indici di vulnerabilità per i tre soggetti di impatto

Come indicato nei **Cap. VI e VII**, per poter risalire agli indicatori di minor impatto è necessario disporre delle valutazioni di vulnerabilità dei tre soggetti considerati: **l'uomo, la produzione agricola e le acque di falda**.

9.1.2.1 Valutazione di vulnerabilità per la popolazione

Nel caso della popolazione la valutazione di vulnerabilità si riferisce alla distribuzione della stessa sul territorio. È necessario avere un dettaglio quanto più possibile accurato dei dati, in modo che la valutazione finale dell'indicatore di impatto sia più realistica. A tale scopo si sono utilizzate le sezioni censuarie, in modo da disporre per ogni Comune un dettaglio maggiore.

Il risultato è mostrato nella **Fig. 9.3**, dove a scopo illustrativo la vulnerabilità, espressa in densità di popolazione, è indicata in classi di colore con un dettaglio di 200 m x 200 m.

A scopo di verifica sono state sovrapposte le informazioni desunte dalla carta di uso del suolo, limitatamente alle zone abitate, con le sezioni censuarie: si può notare una buona corrispondenza con i dati ISTAT, che peraltro sono più dettagliati. Inoltre i dati ISTAT messi a confronto con le ortofoto digitali mostrano una corrispondenza migliore di quella osservata nel confronto con quelli della carta di uso del suolo.

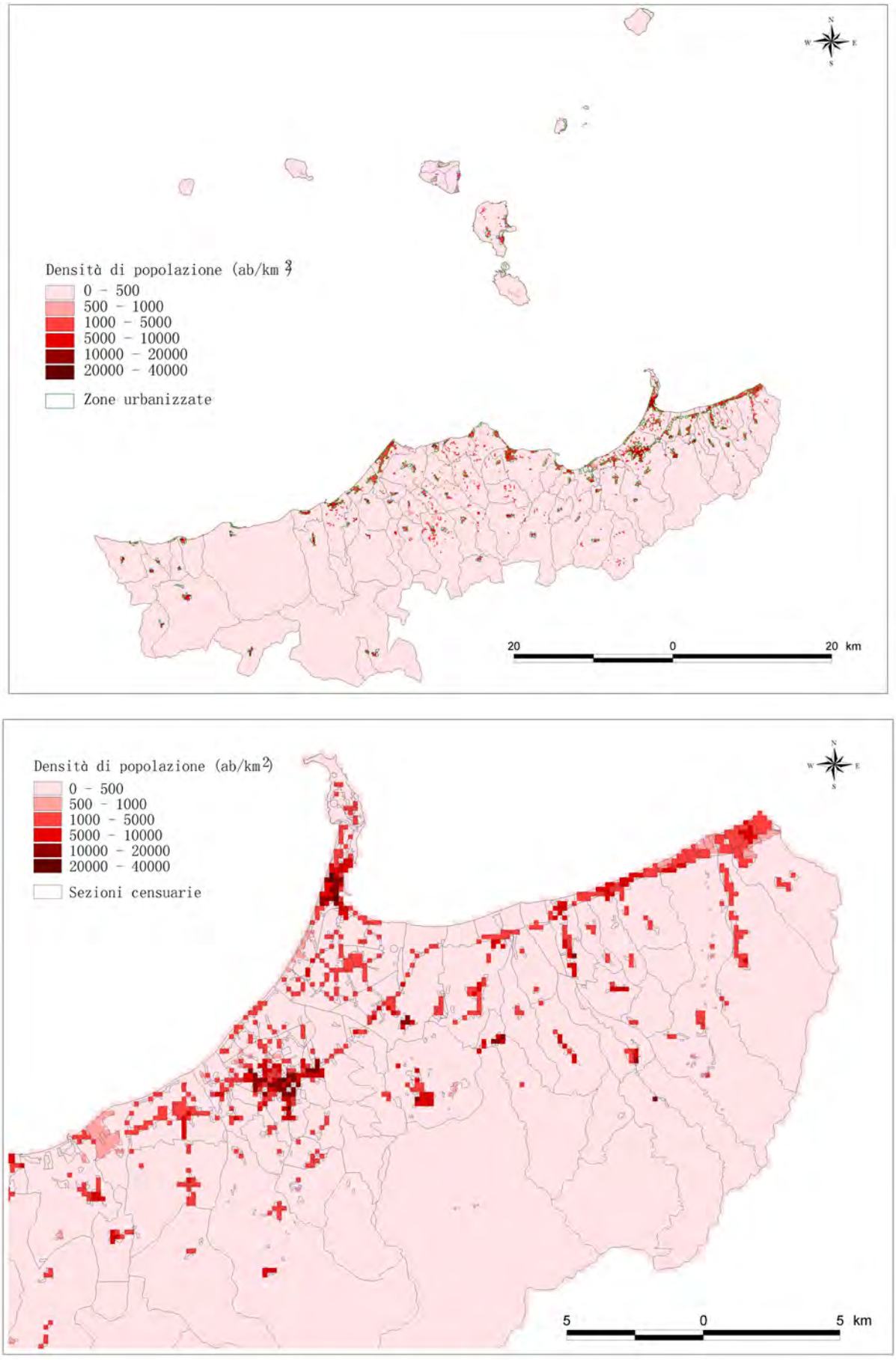


Fig. 9.3 ***Rappresentazioni tematiche di vulnerabilità della popolazione***

9.1.2.2 Valutazione di vulnerabilità per la produzione agricola

Nel caso della produzione di agrumi la valutazione di vulnerabilità si riferisce alla distribuzione della stessa sul territorio.

Essendo necessario avere un dettaglio quanto più possibile accurato dei dati, in modo che la valutazione finale dell'indicatore di impatto sia più realistica, sono state acquisite dal DSS i dati dettagliati di produzione agricola dell'ISTAT rilevati nel 2000 (v. **Cap. III**).

Il risultato è mostrato nella **Fig. 9.4**, dove a scopo illustrativo la vulnerabilità espressa nella distribuzione della produzione di agrumi è indicata in classi di colore con un dettaglio di 200 m x 200 m.

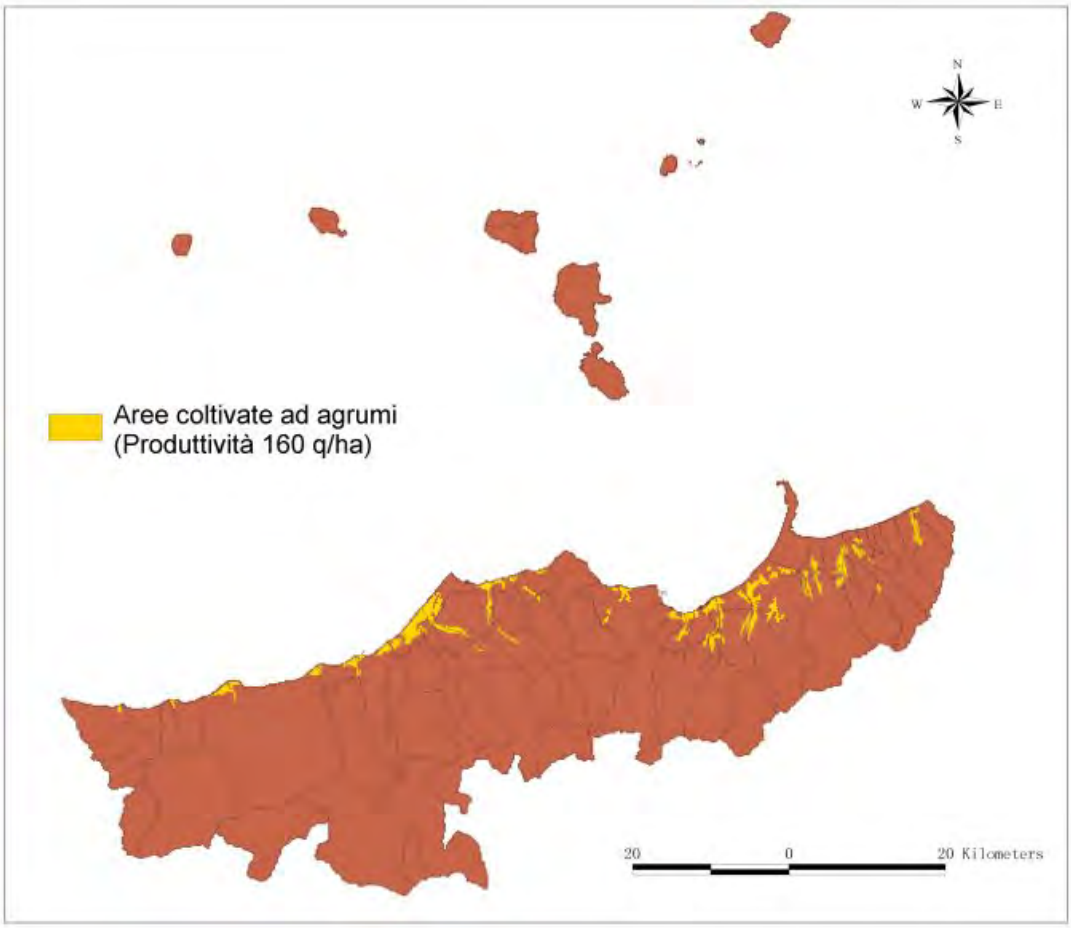


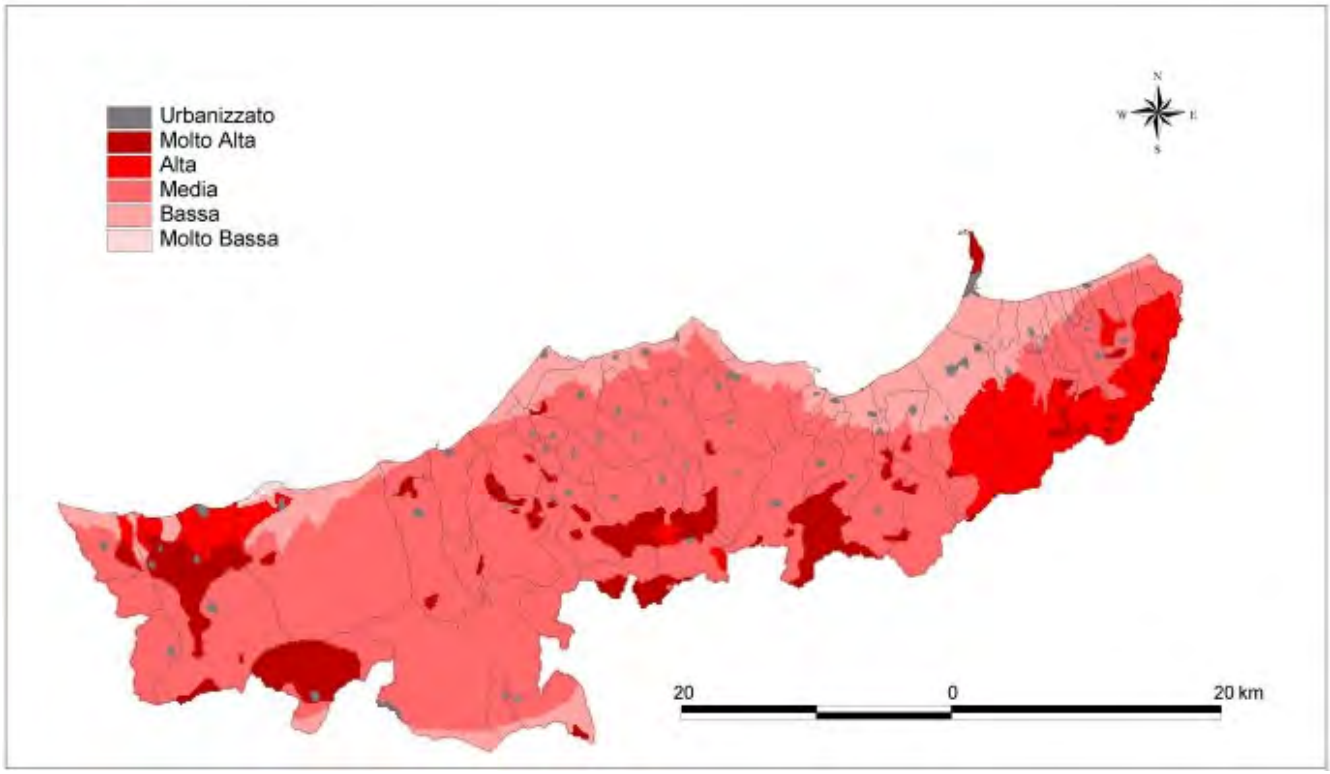
Fig. 9.4 ***Rappresentazione tematica della vulnerabilità della produzione di agrumi***

9.1.2.3 Valutazione di vulnerabilità per le acque di falda

Nel caso delle acque di falda la valutazione di vulnerabilità si riferisce alla distribuzione sul territorio dell'indice fornito dall'Assessorato Agricoltura e Foreste e desunto da una carta denominata "Carta dei nitrati" (**v. Cap. II**).

In questo caso il dettaglio è quello relativo alla carta originaria e non può essere affinato. Comunque, tenendo conto che le zone a caratteristiche simili sono ampie, la valutazione finale dell'indicatore di impatto dovrebbe risultare sufficientemente realistica.

Il risultato è mostrato nella **Fig. 9.5**, dove a scopo illustrativo la distribuzione dell'indice di vulnerabilità della falda è indicato con gradazione diversa di colore.



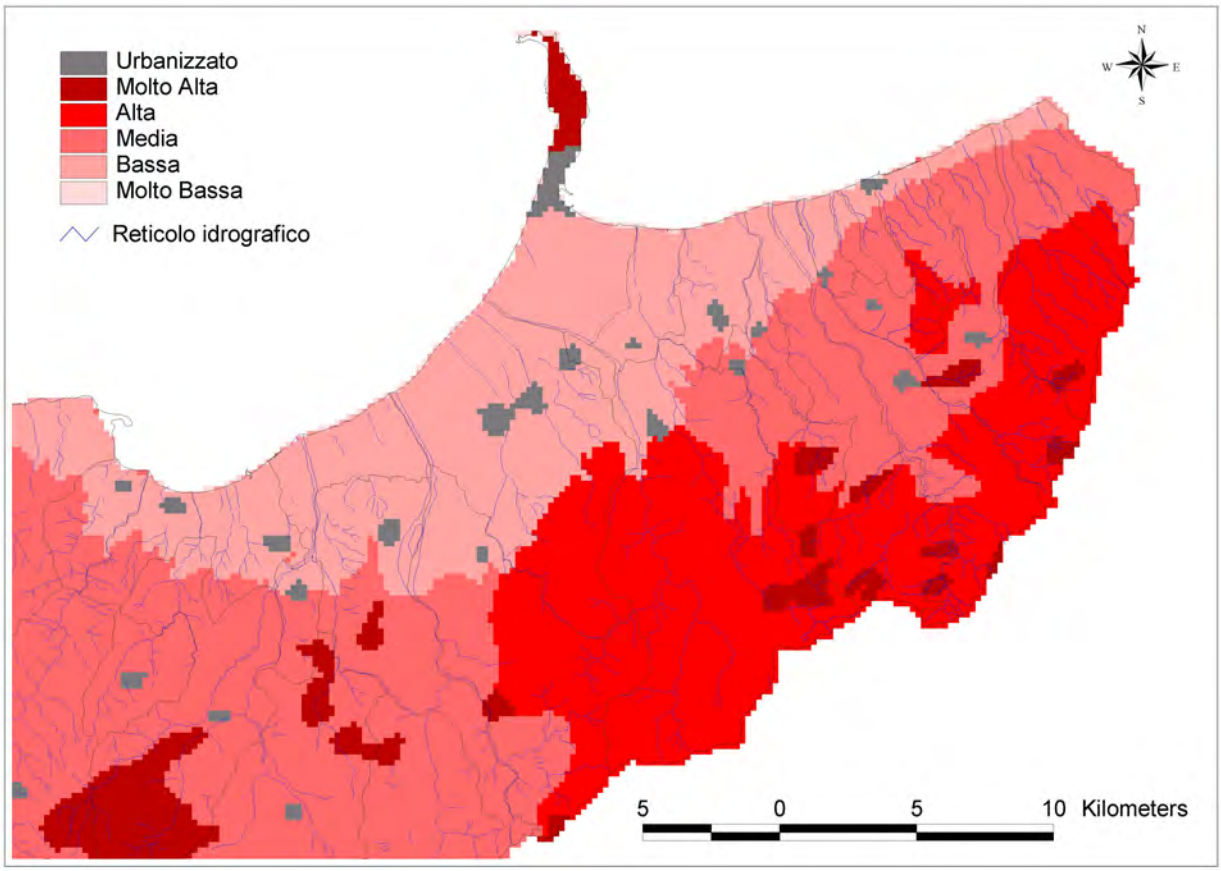


Fig. 9.5 ***Rappresentazioni tematiche della vulnerabilità della falda (ripresa dalla "Carta dei nitrati", Ass. Agr. e Foreste.)***

9.2 La situazione esistente della qualità dell'aria

Utilizzando le matrici meteo-diffusive ed i modelli matematici descritti nel **Cap. VI**, sulla base dei dati di emissione dei principali impianti industriali della zona, Raffineria (**Foto 9.2-9.3**), Comparto Laterizi, Centrale ex-ENEL EUROGEN (**Foto n. 9.1-9.3**), è stata ricostruita la situazione della qualità dell'aria, limitatamente all'$\mathbf{SO_2}$ quale inquinante emesso in quantità più rilevante da tali impianti.

L'utilizzo dei **dati effettivi di emissione** dei vari impianti, forniti dalla Provincia (v. **Cap. VI**), anche se non attuali (quando saranno disponibili dati più recenti si potrà aggiornare la Banca Dati, essendo il Sistema aperto **Cap. VIII**), hanno permesso di riprodurre sul territorio i contributi che tali impianti danno ai livelli esistenti di qualità dell'aria nella zona in esame.

La costruzione del tematismo relativo alla "situazione esistente" è estremamente importante per poter correttamente valutare l'inserimento di eventuali nuovi impianti nella stessa area, affinché i livelli della qualità dell'aria possano essere mantenuti quanto più possibile bassi (v. DM 25/II/2000, n. 124).

Foto n. 9.1 Centrale ex-ENEL EUROGEN

Foto n. 9.2 La raffineria di Milazzo

Foto n. 9.3 Complesso della raffineria e della centrale di Milazzo

9.2.1 I valori e le caratteristiche di emissione dei principali impianti industriali

I valori e le caratteristiche di emissione, necessari per l'applicazione del modello **CMPM 98**, sono stati messi a disposizione dalla Provincia di Messina. Nella tabella di seguito sono riportati tali dati.

Punto di emissione	Altezza Camino	Emissione SO_2 (g/s)	Temperatura °K	Velocità m/s	Sezione m^2
E1	58,1	5,97	761	10,1	14,5
E2	53,8	4,81	686	10,2	3,36
E3	58,1	14,9	463	7,2	7,5
E5	57,5	37,5	700	11,1	9,67
E6	47,35	3,66	819	7,5	3,63
E7	48	35,1	516	16,5	8,04
E8	75,5	1,7	467	7,4	3,97
E9	35,1	0,4	672	8,8	0,78
E10	50	15,6	635	13,7	1,8
E12	11	0,01	857	4,6	0,13
E13	41	0,003	340	12,2	0,09
E14,1	106	12,7	470	17,3	13,07
E14,2	106	4,7	436	8,5	13,07
E25,1	70	4,4	453	4,8	19,6
E25,2	70	1,61	295	13,5	19,6
E25,3	70	1,5	479	9	19,6
E25,4	70	0,35	420	8,5	19,6
ENELE1	100	199,5	417	6,0	14,4
ENELE2	100	202,5	417	6,5	14,4
ENELE3	200	210,1	420	3,7	25

Per ognuno di questi punti di emissione (la prima serie si riferisce alla Raffineria, la seconda al Comparto Laterizi, la terza all'ex-ENEL EUROGEN) sono state fornite anche le coordinate geografiche: la localizzazione dei punti è mostrata nella **Fig. 9.6**, dove ogni serie è riportata con colore diverso.

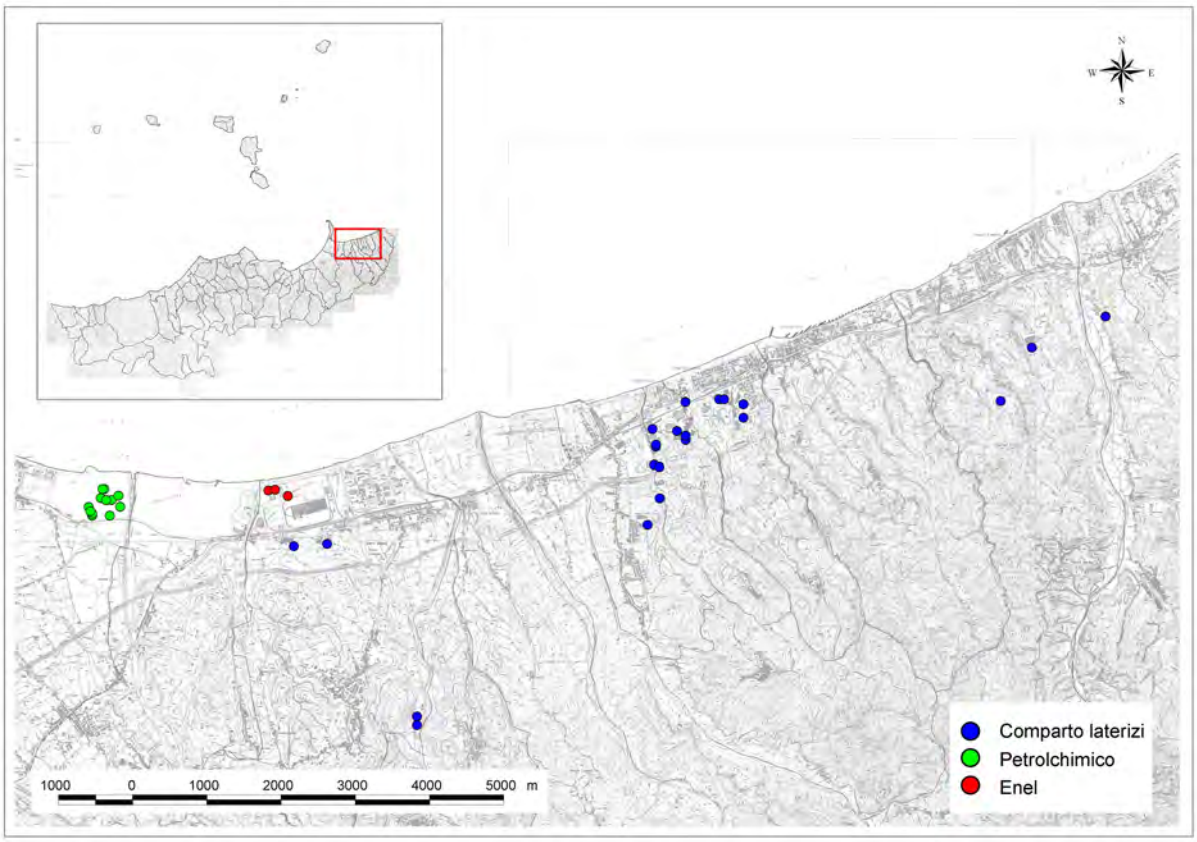


Fig. 9.6 ***Ubicazione dei principali punti di emissione della Raffineria, del Comparto Laterizi e della Centrale ex-ENEL EUROGEN***

9.2.2 La situazione esistente della qualità dell'aria sulla base dei dati del § precedente

Per "situazione esistente" si intende la qualità dell'aria ottenuta dall'applicazione del modello CMPM 98 (v. **Cap. VI e VII**) utilizzando i valori di emissioni riportati nella tabella di cui sopra come dati di *input*. Qualora tali valori venissero a cambiare, sarebbe necessario ricostruire di nuovo la rappresentazione della "situazione esistente", cosa possibile da parte di un utente autorizzato, come indicato nel **Cap. VIII**.

Per risalire, quindi, alla "situazione esistente" è necessario applicare tale modello ai punti di emissione considerati, al fine di ottenere la risultante di tutti i contributi delle concentrazioni medie annue in aria per poterne valutare la distribuzione sul territorio.

Successivamente (v. **Cap. VIII**) ad ogni pixel della griglia di lavoro viene attribuito un valore che è la somma di tutti i contributi forniti dai diversi impianti.

Il risultato di questa successione di operazioni può essere osservata nella seguente **Fig. 9.7**. Come si può notare i valori massimi si aggirano intorno a 20 $\mu g/m^3$.

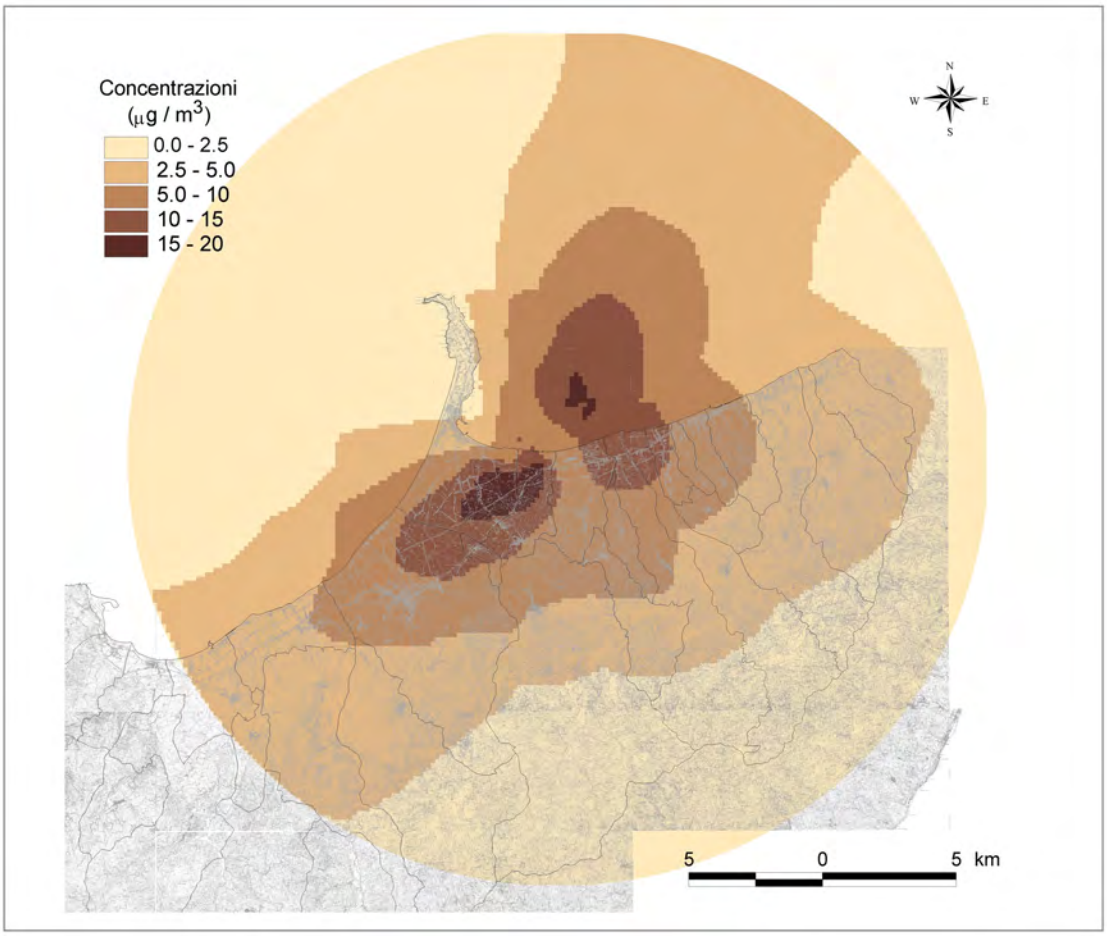


Fig. 9.7 ***Rappresentazione della "situazione esistente" della qualità dell'aria***

9.2.3 La situazione esistente della qualità dell'aria confrontata con le misure della rete provinciale

Poiché si dispone (v. **Cap. I**) dei dati orari della rete provinciale per la misura della qualità dell'aria, è possibile confrontare i valori medi annui delle concentrazioni di SO_2 misurati negli anni da 1996 al 1998, con i valori negli stessi punti delle concentrazioni dedotte dall'applicazione del modello CMPM 98 utilizzando le emissioni certificate nel 2000.

Nella **Fig. 9.8** sono mostrati i valori medi annui misurati dalle centraline. Si può notare che negli anni 96-97 i dati hanno un andamento molto simile tra di loro e mostrano valori massimi per le stazioni 5, 6, 7 e 9 (rispettivamente, v. **Cap. I**, Milazzo Porto, Pace del Mela, Giammoro e Valdina). Stando alle valutazioni effettuate con il modello sulla base delle emissioni di cui sopra i livelli di qualità dell'aria sembrano notevolmente migliorati dal '96 ad oggi: i valori massimi si aggirano intorno a 50 $\mu g/m^3$ nel '96, a 40 $\mu g/m^3$ nel '97 e a 30 $\mu g/m^3$ nel 98, contro i 20 $\mu g/m^3$ rilevati dal modello.

L'ubicazione delle stazioni è riportata nella **Fig. 9.9.**

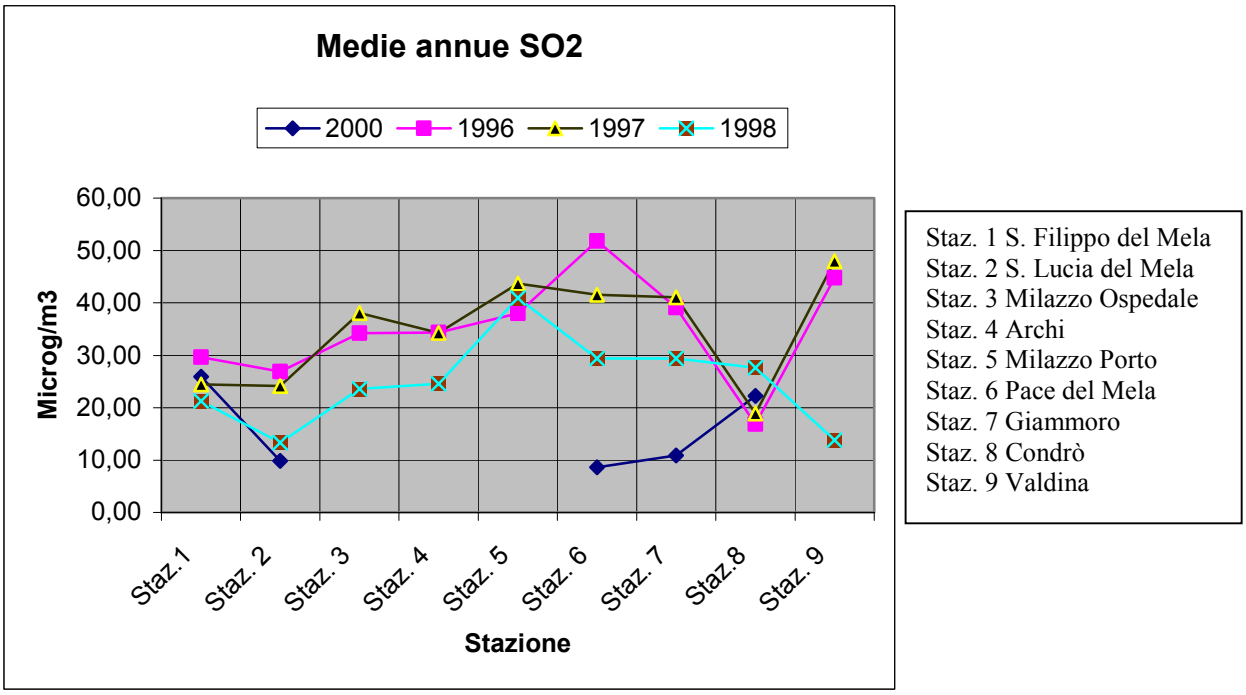


Fig. 9.8 ***Valori medi annui delle concentrazioni in aria di SO_2 relativi alle stazioni di misura della qualità dell'aria della rete provinciale***

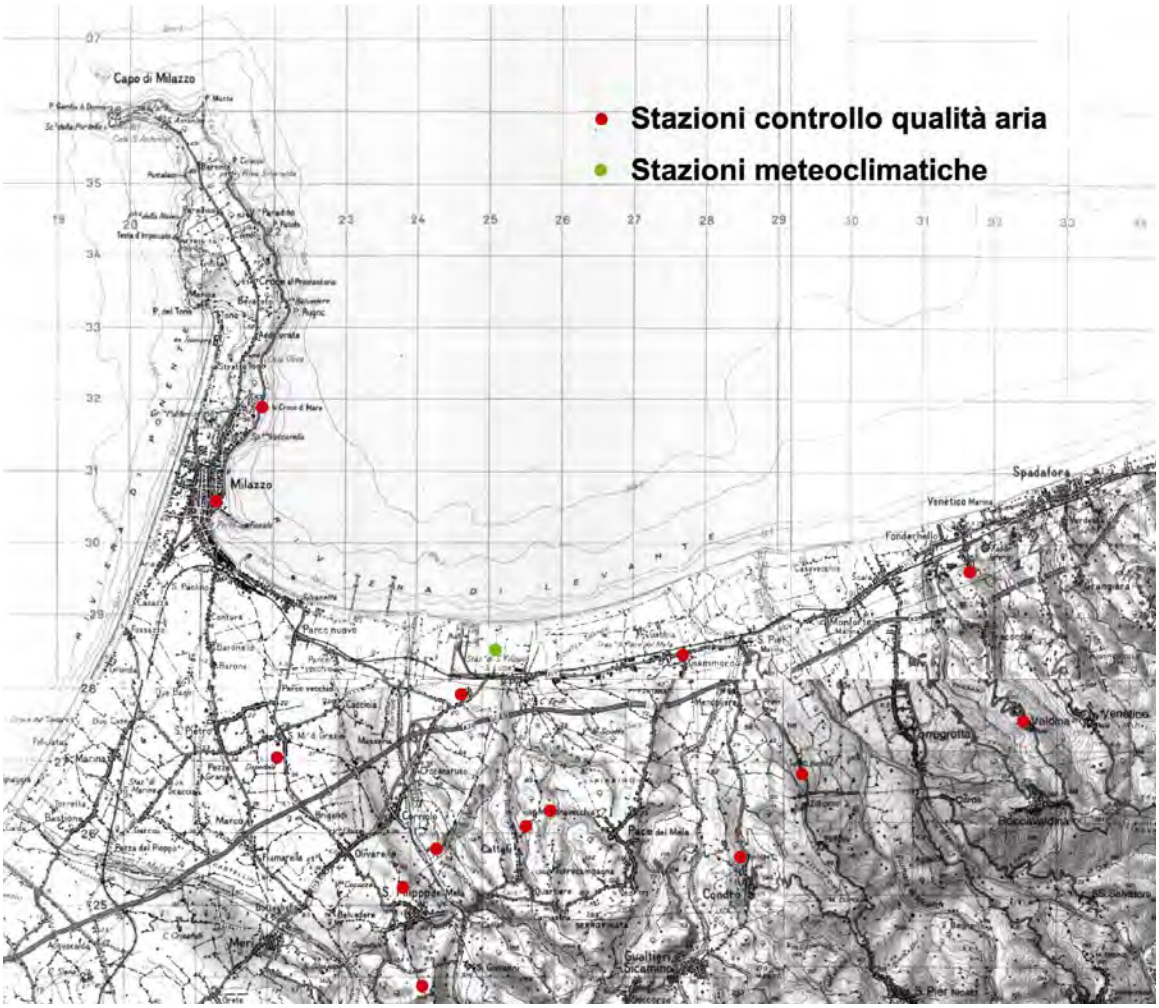


Fig. 9.9 ***Ubicazione delle stazioni di misura della qualità dell'aria della rete provinciale***

9.3 Un esempio di applicazione di ARTEMISIA 2 ad un nuovo impianto

Come esempio di applicazione di ARTEMISIA 2 ad un nuovo impianto è stato scelto il caso per il quale nel **Cap. VI** è stata effettuata l'applicazione esemplificativa del modello CMPM 98.

Si è scelta un'area di 5 km x 3 km per individuare i siti a minor impatto sanitario ed ambientale per tale impianto.

I valori ottenuti nel Capitolo di cui sopra sono stati ripresi e riportati nella griglia di lavoro.

Il risultato per i valori medi annui di concentrazione in aria per l'SO_2 è mostrato nella **Fig. 9.10**, dove la rappresentazione è limitata all'area relativa al territorio.

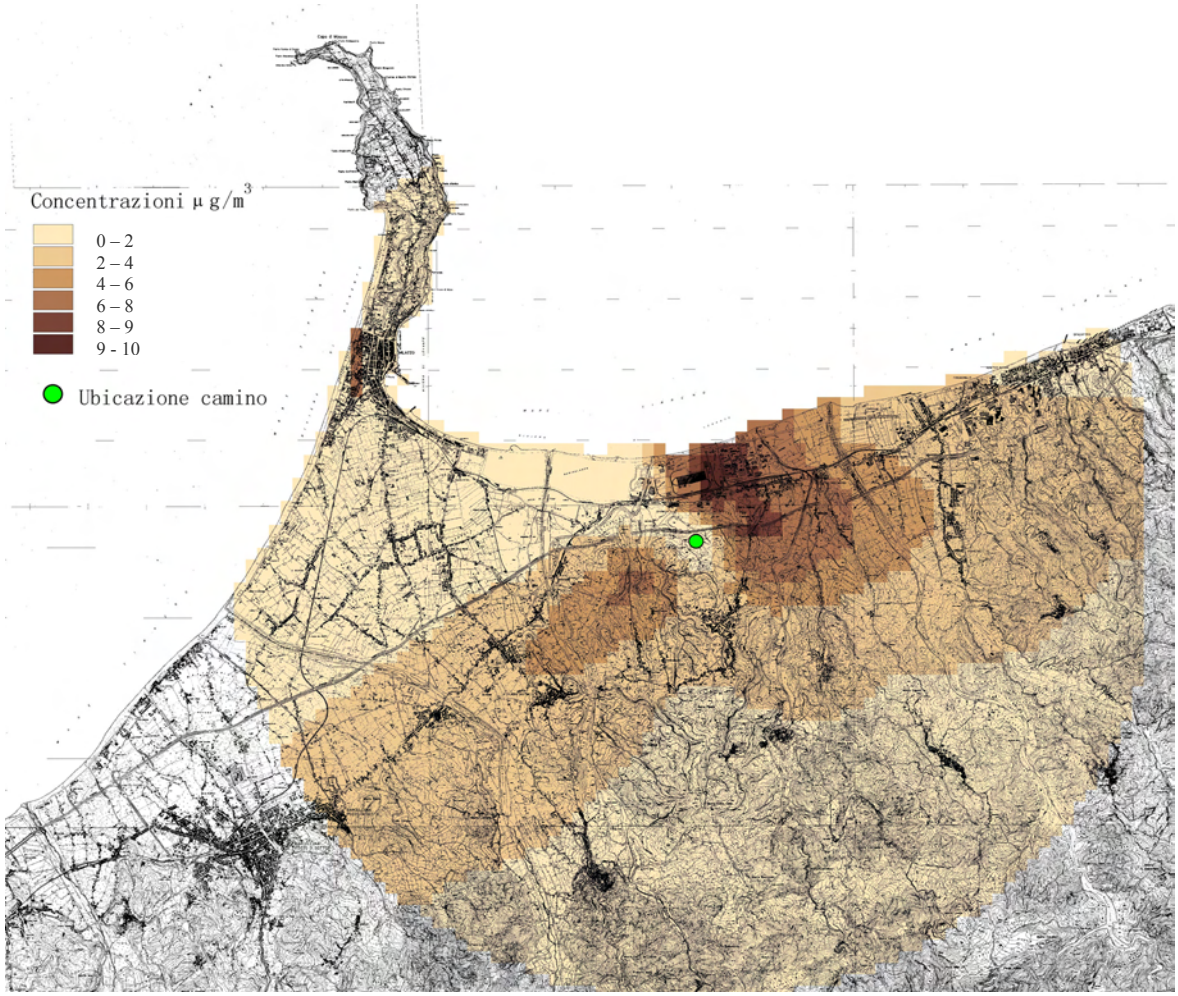


Fig. 9.10 ***Valori medi annui di concentrazione in aria (esempio ripreso dal Cap. VI, Fig. 6.8) riportati sulla griglia di lavoro, limitatamente al territorio***

La stessa procedura è stata svolta per la deposizione secca ed umida: i valori medi annui di deposizione totale al suolo per queste due vie è stata riportata nella **Fig. 9.11**, dove la rappresentazione è limitata all'area relativa al territorio.

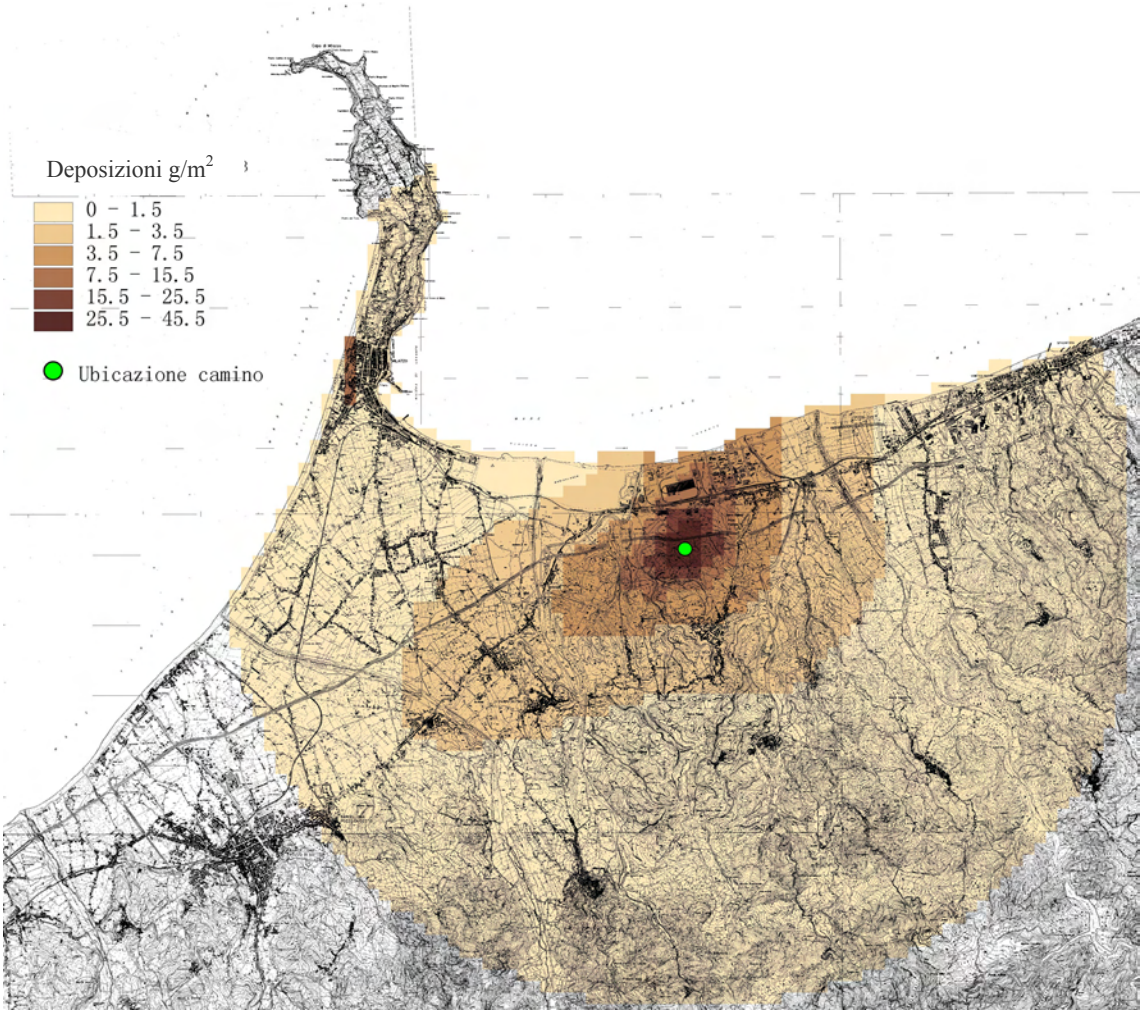


Fig. 9.11 ***Valori medi annui di deposizione al suolo per via umida e secca (esempio ripreso dal Cap. VI, Figg. 6.12-6.14) riportati sulla griglia di lavoro, limitatamente al territorio***

9.3.1 Individuazione dei siti a minor impatto sulla popolazione per il caso preso come esempio

I valori di concentrazione in aria degli inquinanti riportati nella **Fig. 9.10** congiuntamente ai dati riportati nella rappresentazione della vulnerabilità della popolazione (v. **Fig. 9.3**) sono stati utilizzati per pervenire alla valutazione degli indicatori relativi all'impatto sulla popolazione nell'area prescelta.

Utilizzando il DSS ARTEMISIA 2 si sono ottenuti i risultati mostrati nella **Fig. 9.12**.

Per una descrizione delle operazioni eseguite dal Sistema si rimanda la **Cap. VIII**: brevemente si ricorda che si è di volta in volta supposto il nuovo impianto ubicato in ognuno dei 25x15 pixel (griglia 5 km x 3 km, dove il pixel ha un lato di 200 m) dell'area considerata, e ad ognuno di essi è stato attribuito il valore dell'indice di impatto sulla popolazione (v. **Cap. VII**) così come valutato dal DSS, sommando a tutta l'area di lavoro il prodotto (popolazione) x (concentrazione in aria).

I valori riportati in tale rappresentazione, come già espresso nel **Cap. VII**, hanno solo un valore relativo, permettendo soltanto di selezionare il sito a minor impatto sulla popolazione nell'area prescelta.

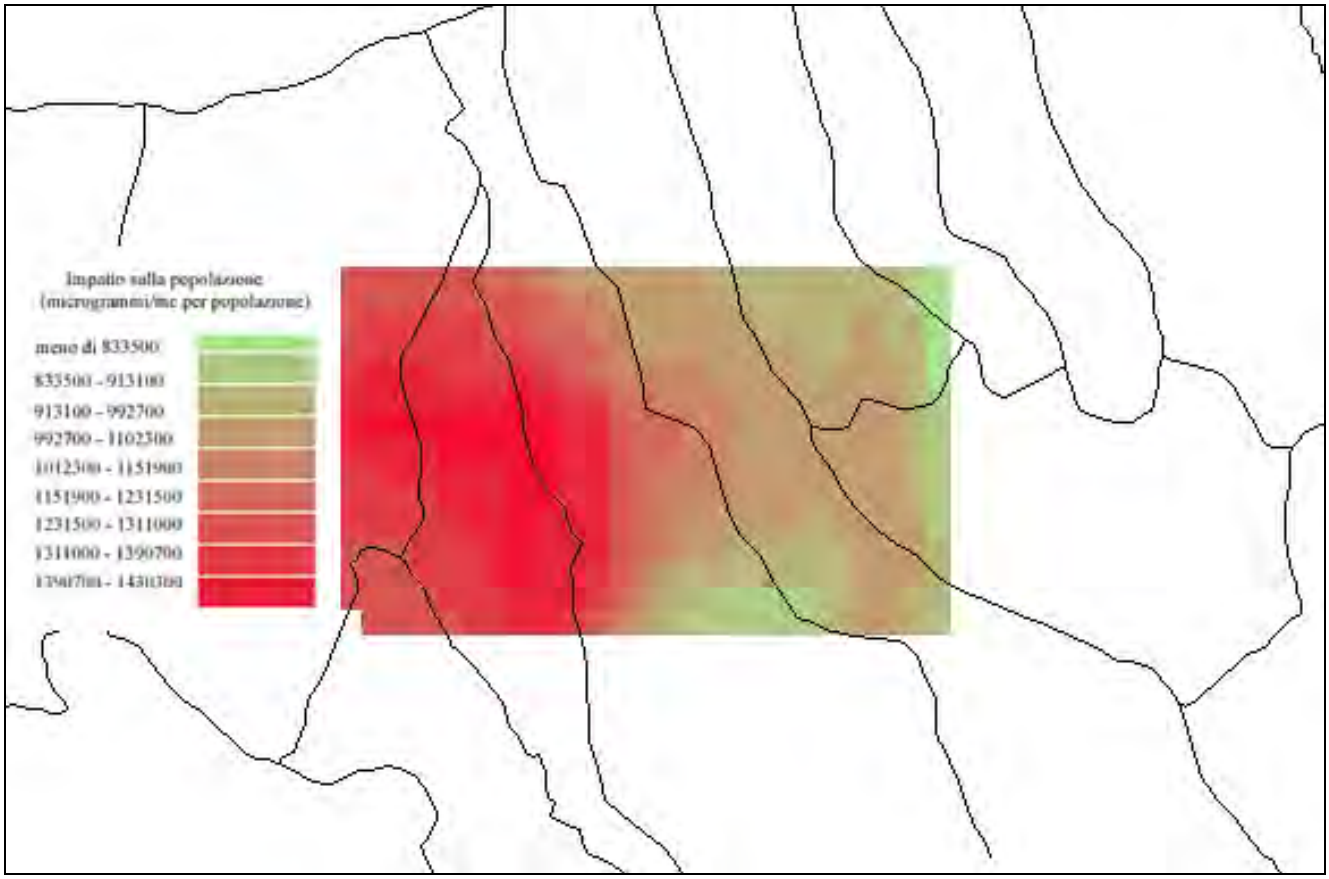


Fig. 9.12 ***Rappresentazione dei valori dell'indice di impatto sulla popolazione per i siti di un nuovo impianto sull'area considerata di 5 km x3 km***

9.3.2 Individuazione dei siti a minor impatto sulla produzione degli agrumi per il caso preso come esempio

I valori riportati nella **Fig. 9.10** congiuntamente ai dati riportati nella rappresentazione di vulnerabilità della produzione agricola di agrumi (v. **Fig. 9.4**) sono stati adoperati per pervenire alla valutazione degli indicatori relativi all'impatto sulla produzione di agrumi nell'area di 5 km x 3 km prescelta.

Utilizzando il Sistema ARTEMISIA 2 si sono ottenuti i risultati mostrati nella **Fig. 9.13**.

Per una descrizione delle operazioni eseguite dal DSS si rimanda la **Cap. VIII**: brevemente si ricorda che si è di volta in volta supposto il nuovo impianto ubicato in ognuno dei pixels dell'area considerata, e ad ognuno di essi è stato attribuito il valore dell'indice di impatto sulla produzione di agrumi, così come valutato dal Sistema, sommando a tutta l'area di lavoro il prodotto (produzione agricola)x(concentrazione in aria)x(fattore caratteristico del prodotto agricolo e dell'inquinante considerato).

I valori riportati in tale figura in questo caso sono proporzionali ad una stima del calo di produzione associata alla presenza del nuovo impianto, come già espresso nel **Cap. VII**, permettendo così di selezionare le aree a minor impatto sulla produzione di agrumi nell'area prescelta.

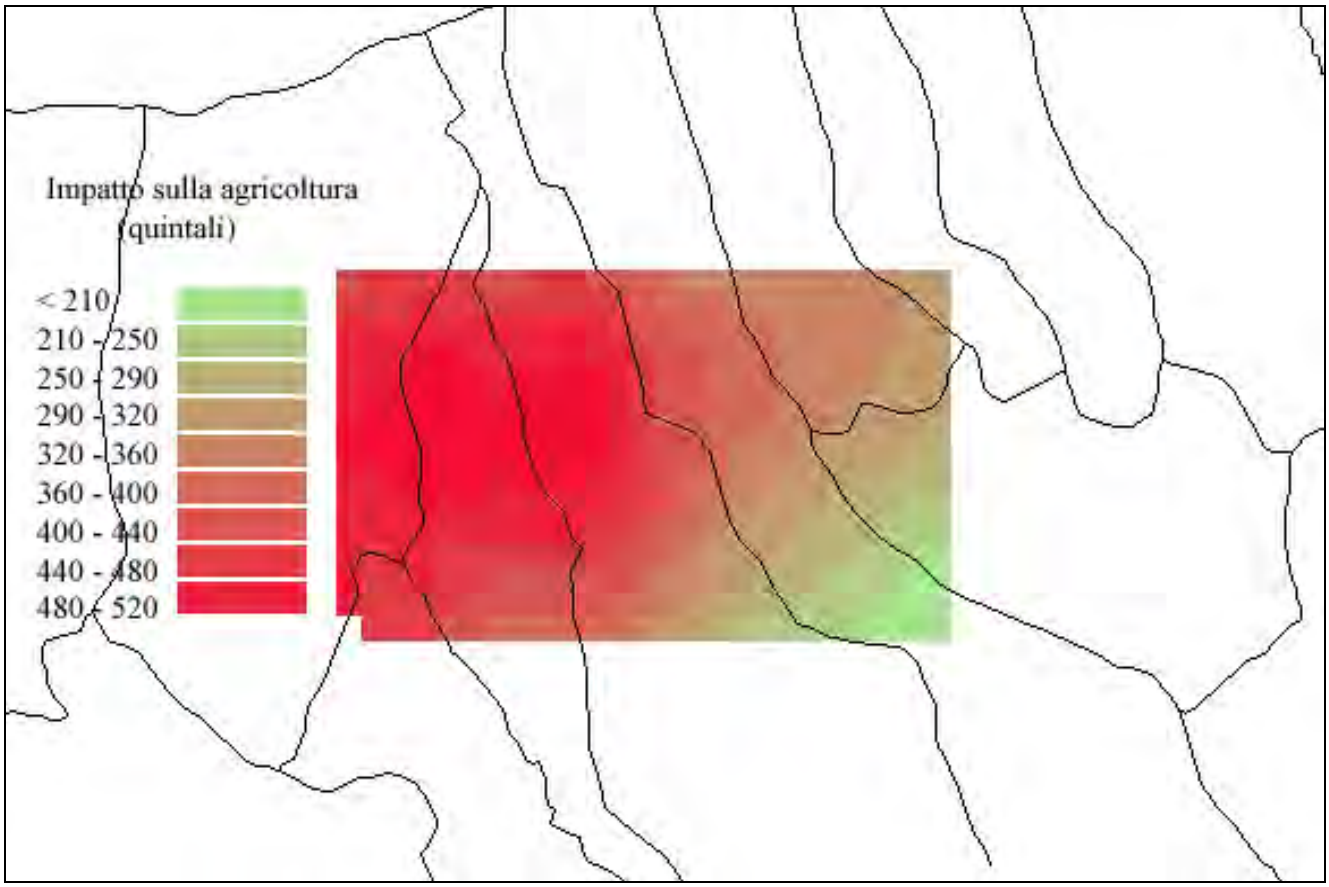


Fig. 9.13 ***Valori dell'indice di calo di produzione agricola di agrumi per i siti di un nuovo impianto sull'area di 5 km x3 km considerata***

9.3.3 Individuazione dei siti a minor impatto sulle acque di falda per il caso preso come esempio

I valori riportati nella **Fig. 9.11**, congiuntamente ai dati riportati nella rappresentazione della vulnerabilità della falda (v. **Fig. 9.5**), sono stati adoperati per pervenire alla valutazione degli indicatori relativi all'impatto sulle acque di falda nell'area di 5 km x 5 km prescelta.

Utilizzando il Sistema ARTEMISIA 2 si sono ottenuti i risultati mostrati nella **Fig. 9.14**.

Per una descrizione delle operazioni eseguite dal Sistema si rimanda la **Cap. VIII**: brevemente si ricorda che si è di volta in volta supposto il nuovo impianto ubicato in ognuno dei pixels dell'area considerata, e ad ognuno di essi è stato attribuito il valore dell'indice di impatto sulla falda (v. **Cap. VII**) così come valutato dal Sistema, sommando a tutta l'area di lavoro il prodotto (vulnerabilità della falda)x(deposizioni totali al suolo).

I valori riportati in tale figura, come già espresso nel **Cap. VII**, hanno solo un valore relativo, permettendo soltanto di selezionare il sito a minor impatto sulle acque di falda nell'area prescelta.

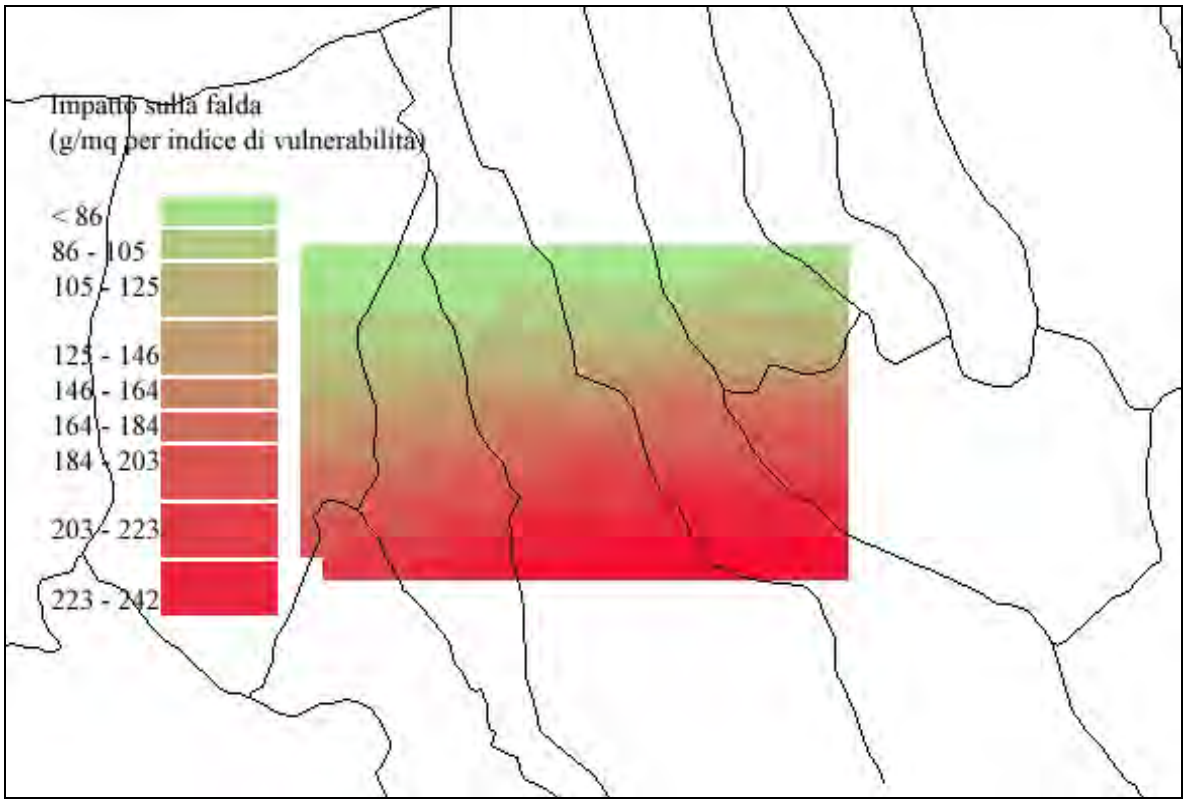


Fig. 9.14 ***Valori dell'indice di impatto sulle acque di falda per i siti di un nuovo impianto sull'area di 5 km x 3 km considerata***

9.3.4 Sovrapposizione del contributo di un ipotetico nuovo impianto alla "situazione esistente" della qualità dell'aria

Ogni volta che si vuole inserire un nuovo impianto in un contesto industriale è necessario conoscere prima la "situazione esistente" della qualità dell'aria, al fine di verificare se l'apporto aggiuntivo del nuovo impianto consente comunque il mantenimento dei livelli di qualità dell'aria entro i limiti di legge (v. DM 25/II/2000, n. 124).

I valori mostrati nella **Fig. 9.10** sono stati poi riportati automaticamente in sovrapposizione alla situazione esistente.

Nella sequenza di figure dalla **Fig. 9.15 alla 9.18** sono riportate le schermate della Stazione WEB ARTEMISIA 2 relativamente alle seguenti operazioni:

1. introduzione dei dati del camino del nuovo ipotetico impianto (**Fig. 9.15**);
2. valori delle concentrazioni in aria relativamente al nuovo ipotetico impianto (**Fig. 9.16**);
3. valori delle concentrazioni in aria relativamente alla situazione pre-esistente (**Fig. 9.17**);
4. valori delle concentrazioni in aria relativamente al nuovo ipotetico impianto sovrapposte alla situazione esistente (**Fig. 9.18**).

Come si può vedere in questo caso, avendo posizionato l'ipotetico impianto nei pressi della zona industriale, nei punti nei quali si verificano i valori massimi delle concentrazioni in aria della situazione esistente vengono a sommarsi i valori massimi relativi all'ipotetico impianto, passando da circa 17 a 20 $\mu g/m^3$.

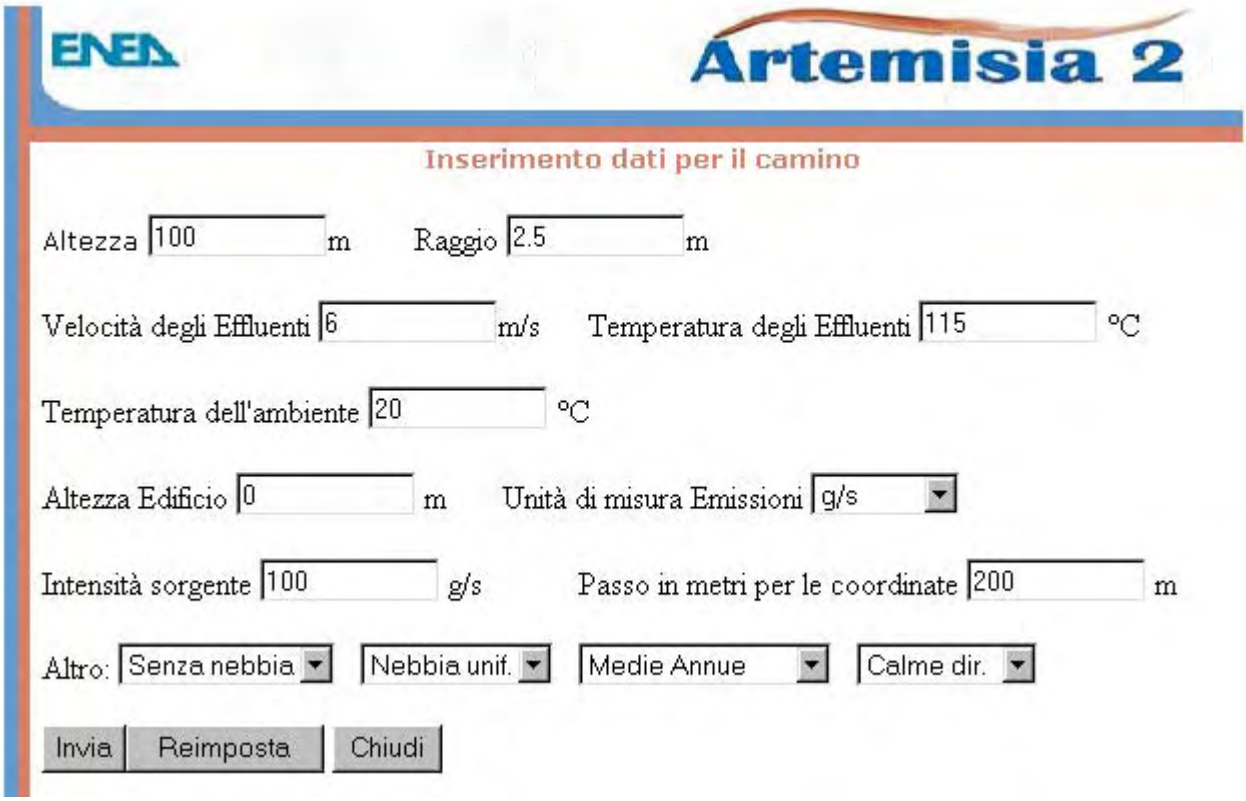


Fig. 9.15 ***Valori dei parametri relativi alla emissione di SO2 dell'ipotetico impianto***

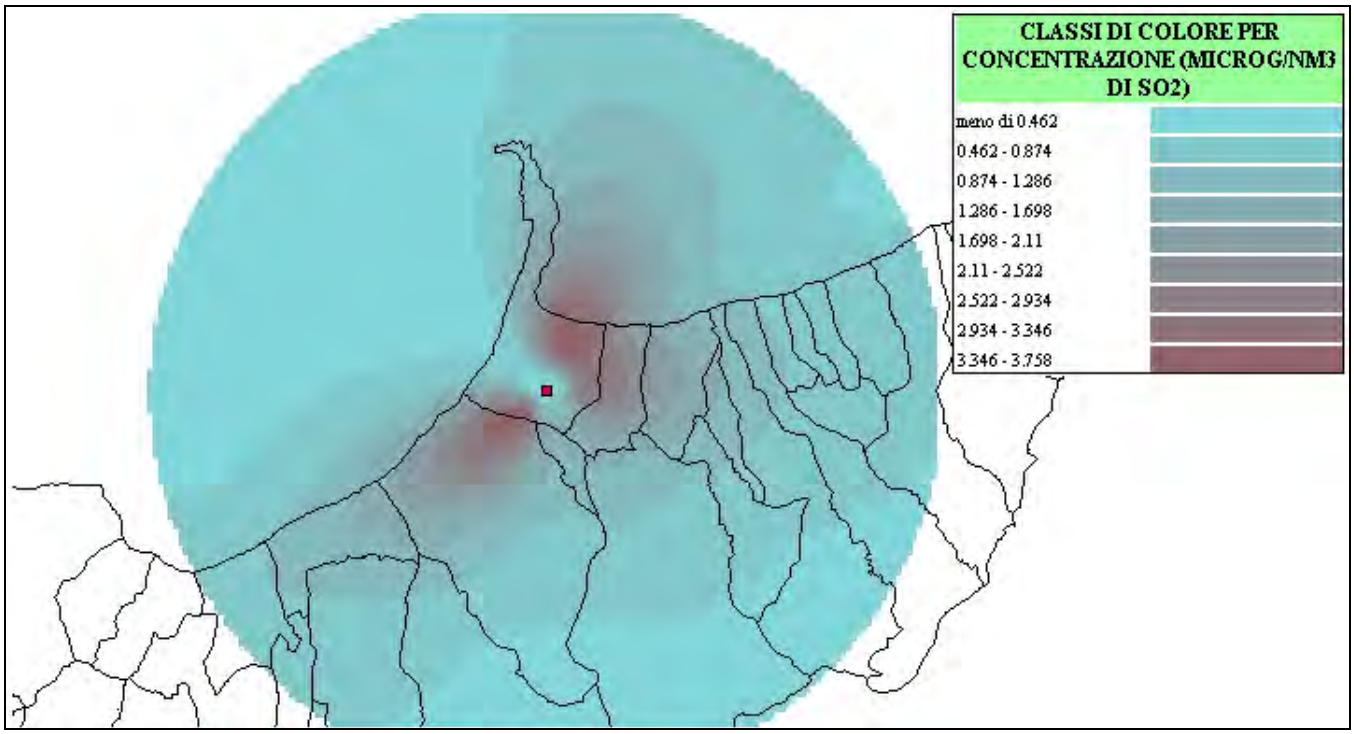


Fig. 9.16 ***Valori delle concentrazioni in aria di SO2 per l'ipotetico nuovo impianto***

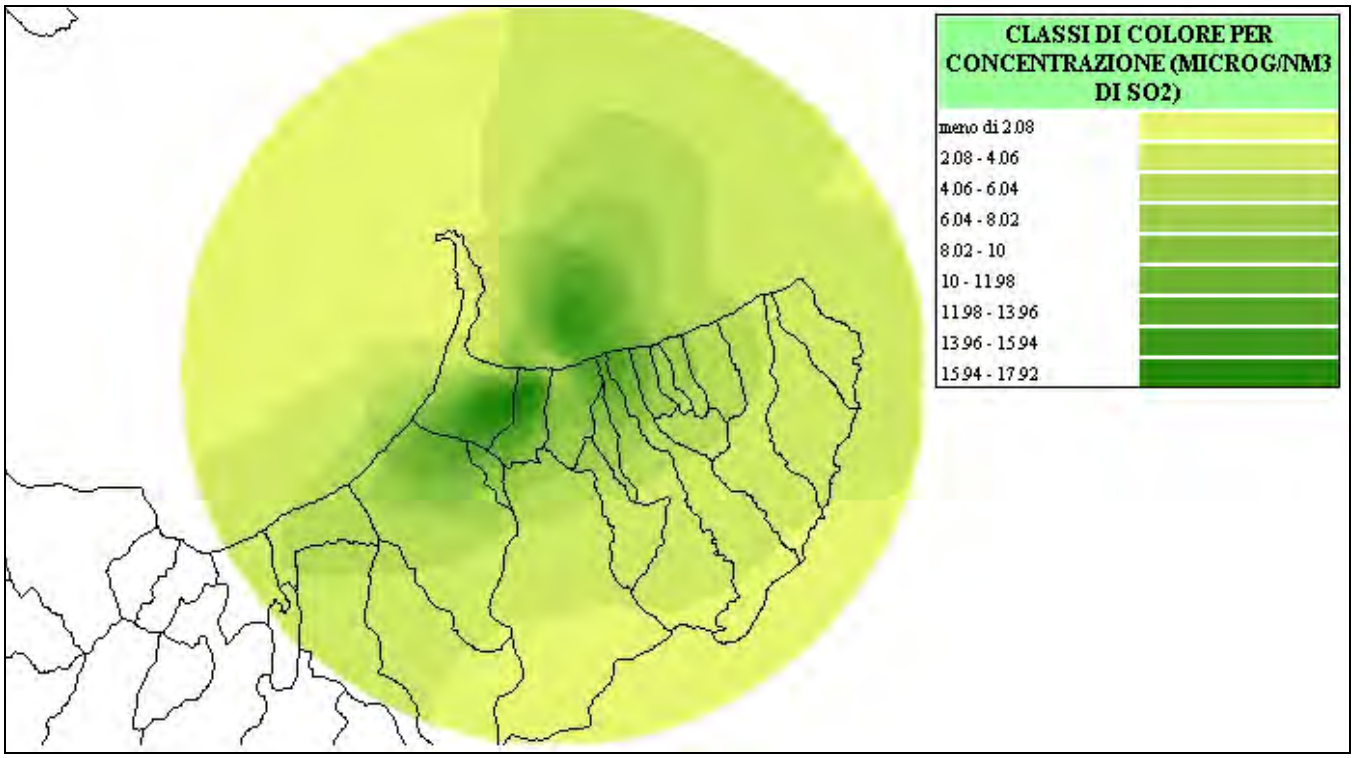


Fig. 9.17 ***Valori delle concentrazioni in aria di SO_2 relativamente alla situazione pre-esistente***

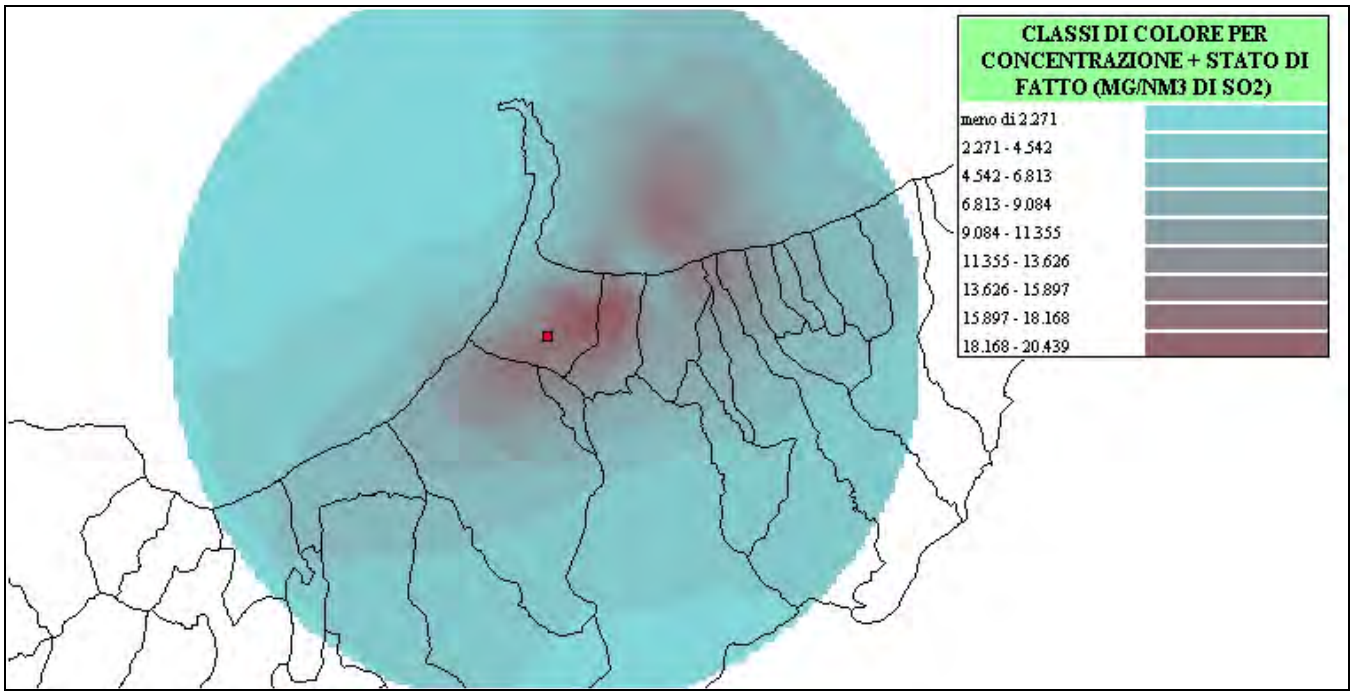


Fig. 9.18 ***Valori della qualità dell'aria con sovrapposizione del contributo del nuovo impianto alla "situazione esistente"***

9.4 Considerazioni conclusive

Lo scopo di questo Progetto è stato quello di individuare una procedura capace di definire lo stato della qualità dell'aria e valutare attraverso degli indicatori gli effetti causati all'uomo, alla vegetazione ed alle acque di falda, attraverso un approccio diversificato, con metodi e strumenti atti a definire uno scenario il più possibile vicino alla realtà, al fine di verificare la possibilità dell'inserimento di un nuovo impianto produttivo nel rispetto dell'ambiente.

Per questo, individuata la zona di interesse, si è organizzato il Progetto in tre tipologie di intervento diverse:

1. creazione ed applicazione del **DSS ARTEMISIA 2** all'area di Milazzo;
2. monitoraggio sperimentale della contaminazione dell'atmosfera, del suolo e dei prodotti agricoli ed applicazione di metodologie di assessment degli effetti nocivi sulla produzione agricola;
3. studi epidemiologici.

Nel presente Capitolo è stato mostrato un esempio di applicazione del DSS **ARTEMISIA 2**. Questo agisce sulla base dei dati cartografici e di sorgenti di inquinamento esistenti. In altre parole è necessario disporre dell'inventario delle emissioni sul territorio considerato, al fine di poter applicare i modelli meteodiffusivi che valutano la situazione esistente della qualità dell'aria.

Spesso quest'ultimo passo non è attuabile: nel caso di Milazzo si sono avuti a disposizione, grazie alla collaborazione fattiva della Provincia di Messina, tutti i dati di emissione di impianti industriali relativi al 2000, per cui è stato possibile stabilire la situazione esistente in tale anno, escludendo le emissioni private o da traffico veicolare (queste ultime hanno una certa rilevanza solo in prossimità di vie di comunicazione a grande traffico).

Una volta ricostruita la situazione esistente, ARTEMISIA 2 permette di simulare la presenza di un nuovo impianto e di valutare sia il sito a minor impatto su popolazione, agricoltura e falda, sia il contributo aggiuntivo dato alla situazione preesistente, onde verificare che non vengano superati i limiti di legge per la qualità dell'aria.

Va rilevato che ARTEMISIA 2 fornisce indicazioni sulla base di dati di emissione degli impianti presenti nella zona presa in esame. Ma i dati di emissione possono essere relativi ad un certo anno, possono non corrispondere alla realtà delle emissioni (necessità di un controllo al camino), oppure possono essere incomplete perché possono esistere altre sorgenti non denunciate. Pertanto è parte della metodologia l'integrazione di tali valutazioni con le informazioni a scala annuale provenienti dall'analisi dei dati di reti esistenti di rilevamento della qualità dell'aria, e a scala stagionale dall'effettuazione di misure sperimentali di monitoraggio sia di qualità dell'aria che di contaminazione dei suoli e dei prodotti agricoli.

Inoltre, sono sempre parte integrante della metodologia le indagini epidemiologiche sulla zona di maggior interesse che danno informazioni sullo stato di salute delle popolazioni. Tutte queste informazioni concorrono a stabilire se la situazione esistente ottenuta con ARTEMISIA 2 corrisponde alla reale situazione rilevata in campo, e se vi sia stata negli ultimi anni una evoluzione della situazione stessa.

I risultati che emergono dall'applicazione del Progetto alla zona di Milazzo, presa come esempio di indagine, mostrano (v. i dati di qualità dell'aria della rete provinciale) un miglioramento della qualità dell'aria dal 1996 al 2000; inoltre, le valutazione della situazione esistente al 2000 fornita dal DSS ARTEMISIA 2 a partire dai dati di emissione dei principali impianti industriali della zona sono congruenti con i dati rilevati dalla rete provinciale nello stesso periodo.

Molto inferiori sembrano i valori dei dati rilevati dalla rete ex-ENEL EUROGEN, anche se, essendo questi disponibili solo in forma già elaborata (mediana), non è stato possibile un confronto significativo con i dati della rete provinciale.

A tutto ciò si sovrappongono **i monitoraggi sperimentali effettuati dall'ENEA svolti da aprile a ottobre 2001**, che mostrano valori di SO_2 molto più elevati di quelli valutati da ARTEMISIA 2 e misurati dalla rete provinciale nel 2000: in media circa due volte superiori, con punte fino a 3-4 volte per i punti campionati nei Comuni di Merì e S. Filippo del Mela (v. **Cap. IV**). Questo dato va considerato con cautela, ma potrebbe essere un indice di una situazione anomala che comunque necessita di un monitoraggio più attento e mirato: in particolare, le postazioni della rete di monitoraggio devono essere localizzate in base a criteri di ottimizzazione nei confronti dei rilasci ed in ciò ARTEMISIA 2, se sono disponibili dati rappresentativi sia meteorologici che di emissione, può dare un notevole contributo.

Inoltre dalle stesse misure sperimentali dell'ENEA è emerso che notevole importanza riveste la conoscenza dei livelli di O_3 in aria, in quanto questo inquinante secondario ha effetti molto più rilevanti dell'SO_2 sulla produttività agricola, come mostrato in dettaglio nel Capitolo IV.

Le concentrazioni di elementi potenzialmente tossici nei suoli rientrano nei limiti di sicurezza previsti dall'All.1 del DM 471/99 ed il contributo a tali concentrazioni delle deposizioni di particolato al suolo stimate dal modello è trascurabile. Tali risultati hanno un riflesso positivo sui residui di elementi tossici nei prodotti ortofrutticoli (arance, limoni, olive ed alcune orticole), per i quali non esistono rischi di esposizione da ingestione per i consumatori.

Per quanto attiene agli IPA, i campioni di suolo prelevati in alcune aziende dei Comuni di S. Lucia del Mela, Torregrotta e Terme Vigliatore mostrano livelli di pirene abbastanza elevati, che definiscono i suoli analizzati "siti ad uso commerciale ed industriale", mentre negli altri campioni considerati i contenuti dello stesso pirene sono inferiori a 5 μg/g e consentono di definire i siti dei Comuni di S. Pier Niceto, S. Filippo del Mela, Merì, Barcellona (S. Paolo) e Milazzo "ad uso verde pubblico, privato e residenziale" (All.1 DM 471/99).

I dati infine rilevati dagli **studi epidemiologici**, anche se uguali o inferiori alla media della Provincia di Messina e della Regione Siciliana, mostrano una situazione più compromessa in prossimità della zona industriale, soprattutto nella popolazione maschile

Va rilevato infine che il DSS ARTEMISIA 2, con tutti i dati provenienti dalle misure sperimentali di monitoraggio ambientale, dagli studi epidemiologici e dalle informazioni ottenute dalla Regione Siciliana, dalla Provincia di Messina e dall'ARPA Sicilia sono contenuti in una **Stazione WEB** denominata **ARTEMISIA 2** accessibile via internet. L'accesso al sito permette a qualsiasi utente di simulare la presenza di un nuovo impianto nell'area interessata, oppure di interrogare il Sistema sulle Banche di Dati alfanumerici e cartografici in esso contenuti. La Regione Siciliana, disponendo di un accesso privilegiato, può nel futuro introdurre dati più aggiornati di emissioni dei vari impianti, al fine di rivalutare la situazione della qualità dell'aria esistente al momento.

Ringraziamenti

Si ringrazia la d.ssa Musumeci, Provincia di Messina, che con grande senso di responsabilità ed efficienza professionale, ha forniti tempestivamente i dati degli impianti industriali da noi richiesti.

Bibliografia

"L'inceneritore nella Provincia di Udine: applicazione di un Sistema a Supporto delle Decisioni per la selezione di siti a minore impatto ambientale", Ed. speciale ENEA, Novembre 1996

Bennett J.L., *"Building Decision Support System"*, Addison-Wesley Pub. Co., Reading, Mass, 1983.

Bielli M., Cini M., "*Architettura dei Sistemi di Supporto alle Decisioni: giornata di studio AICA su Decision Support System*", Roma, AICA Milano, 4 febbraio 1986.

Fedele P., Mammarella M. C., *"Un sistema informativo per la gestione del territorio. Relazione presentata alle "Giornate di cultura del Lazio"*, tenute nell'ambito della Mostra dell'architettura bioclimatica nella Repubbliche Federative Russe, Mosca, giugno 1989.

Fedele P., Grandoni G., Mammarella M. C., *"Banche Dati, Sistemi Esperti e Information Retrieval"*. Rapporto ENEA RT/PAS/89/32, 1989.

Fedra K., Weigkricht E., Winkelbauer L., *"A hybrid approach to information and decision support system: hazardous substances and industrial risk management"*, International Institute For Applied System Analysis, Laxenburg, Austria, 1986.

Ginzberg M.J., Reitman W., Stohr E.A.*, "Decision Support System: Proceedings of the NYU Symposium on Decision Support System"*, New York, Amsterdam, 1982.

Grandoni G. e Mammarella M. C., *"Un sistema informatico integrato dedicato all'asta fluviale del Po"*. Lavoro presentato al Convegno "Fiume Po: contributi scientifici per la conoscenza dell'ecosistema fluviale padano", 14-15 giugno 1989.

Guariso G., *"Tecnologie informatiche e Supporto alle Decisioni Ambientali*", ENEA,1996.

Guariso G., Werthner H., *"Environmental Decision Support System*", Ellis Horwood Ltd, Chichester, 1989.

Mammarella M. C., *"SICAMB: un sistema informatico integrato per la gestione ed elaborazione di dati di tipo geometrico, cartografico ed alfanumerico"*. RT/PAS/88/7, luglio 1988.

Mammarella M. C., *"Uno strumento informatico per lo studio dell'impatto ambientale: il SICAMB"*. Lavoro presentato al Convegno Nazionale dell'AIRP, 14-15 settembre 1988.

Mammarella M. C., *"Banca Dati Idro-meteorologica dedicata all'asta fluviale del Po"*. Rapporto ENEA, Progetto Po, 1990.

Mammarella M. C., Boarelli G., Lanciano P., *"Sistemi Informatici Ambientali: tecniche di rilevamento per modelli territoriali"*. Agricoltura e Innovazione, Notiziario Enea, Gennaio-Marzo 1991.

"*Progetto per la valutazione dell'impatto sull'ambiente e sull'uomo degli effluenti della centrale di Tavazzano-Montanaso"*, Rapporto ENEA, 1987.

Vercellis C., *"D.S.S. Decision Support Systems"*, ESTE, Milano, 1989.

Edito dall'ENEA
Unità Comunicazione
Lungotevere Thaon di Revel, 76 – 00196 Roma
www.enea.it

Edizione del volume a cura di Giuliano Ghisu e Mauro Ciamarra

Stampa: Grafiche Ponticelli SpA

Finito di stampare nel mese di marzo 2003