

**Cliente** Enel S.p.A. UBT Torrevaldaliga Nord

**Oggetto** Sistema di biomonitoraggio della qualità dell'aria del territorio circostante la centrale Enel di Torrevaldaliga Nord (Civitavecchia RM). Progetto definitivo.

**Ordine** A6024183 A.Q. 4000125768 del 11-09-06 (L48748B)

**Note** Rev. 0

PUBBLICATO A6024948 (PAD - 836994)

La parziale riproduzione di questo documento è permessa solo con l'autorizzazione scritta del CESI.

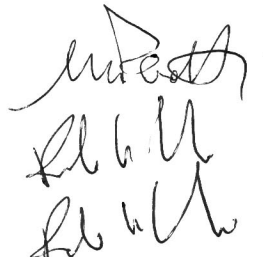
**N. pagine** 93                      **N. pagine fuori testo** 2

**Data** 26/09/2006

**Elaborato** Perotti Maurizio (CESI-AMB)  
A6024948 3711 AUT

**Verificato** Vitali Roberto (CESI-AMB)  
A6024948 3682 VER

**Approvato** Vitali Roberto (CESI-AMB)  
A6024948 3682 APP



Mod. RAPP v. 01

*Indice*

<b>RIASSUNTO</b> .....	<b>3</b>
<b>1 PREMESSA</b> .....	<b>3</b>
<b>2 ANALISI DEL TERRITORIO</b> .....	<b>3</b>
2.1 Inquadramento fisico e antropico.....	3
2.2 Uso del suolo.....	4
2.3 Lineamenti morfologici e idrogeografici.....	6
2.4 Elementi di geologia.....	7
2.5 Elementi di idrogeologia.....	8
2.6 Climatologia e meteorologia.....	9
2.7 Stato attuale della qualità dell'aria.....	15
2.8 Contributi dell'impianto trasformato (modellistica diffusionale).....	35
2.8.1 Quadro emissivo.....	35
2.8.2 Simulazioni modellistiche SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , PTS.....	35
2.8.3 Simulazioni modellistiche relative agli elementi in traccia.....	44
2.9 Suolo.....	52
2.10 Flora, fauna, ecosistemi.....	53
2.11 Dati disponibili di biomonitoraggio della qualità dell'aria.....	63
2.11.1 Biomonitoraggio Enel 1995 ÷ 1997.....	63
2.11.2 Biomonitoraggio Tirreno Power 2004.....	68
<b>3 PROGETTAZIONE DEL SISTEMA DI BIOMONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA</b> .....	<b>71</b>
3.1 Composti ed elementi da considerare per la progettazione della rete di biomonitoraggio.....	71
3.2 Individuazione dell'area di interesse.....	71
3.3 Requisiti del sistema.....	72
3.4 Analisi dell'applicabilità dei biosensori indicati nelle linee guida (2004).....	73
3.4.1 Licheni per la bioindicazione.....	73
3.4.2 Licheni per la determinazione del bioaccumulo di elementi in traccia.....	74
3.4.3 Specie arboree spontanee per la determinazione del bioaccumulo di elementi in traccia....	74
3.4.4 Specie erbacee spontanee per la determinazione del bioaccumulo di elementi in traccia....	74
3.4.5 Specie erbacee coltivate in vaso per la determinazione del bioaccumulo di elementi in traccia e bioindicazione.....	74
3.4.6 Micromammiferi / insetti autoctoni particolarmente sensibili alle condizioni ambientali presenti nell'area.....	75
3.4.7 Biosensori proposti per la rete di biomonitoraggio.....	75
3.5 Progettazione delle reti che compongono il sistema di biomonitoraggio.....	77
3.5.1 Rete di biomonitoraggio con i licheni come bioindicatori.....	77
3.5.2 Rete di biomonitoraggio con i licheni come bioaccumulatori.....	79
3.5.3 Rete di biomonitoraggio con specie arborea spontanea come bioaccumulatore fogliare....	81
3.5.4 Rete di biomonitoraggio con una specie erbacea coltivata in vaso come bioaccumulatore (Lolium sp.).....	84
3.5.5 Rete di biomonitoraggio con una specie erbacea coltivata in vaso come bioindicatore di ozono (Nicotiana tabacum).....	86
3.5.6 Sistema di biomonitoraggio.....	88
3.5.7 Programma cronologico del sistema di biomonitoraggio.....	88
3.5.8 Riesame della configurazione del sistema di biomonitoraggio.....	89
<b>4 BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>90</b>

## STORIA DELLE REVISIONI

Numero revisione	Data	Protocollo	Lista delle modifiche e/o dei paragrafi modificati
0	26/09/2006	A6024948	Prima emissione

## RIASSUNTO

Tra le prescrizioni contenute nel decreto autorizzativo del Ministero delle Attività Produttive n. 55/02/2003 del 24 dicembre 2003, è riportata la prescrizione "Dovrà essere messo in atto il programma di biomonitoraggio secondo le specifiche descritte da ENEL nello studio di impatto ambientale".

Nel gennaio 2004 Enel ha presentato il "Piano delle campagne di monitoraggio e biomonitoraggio" in cui ha delineato i principi da adottare per la redazione dei progetti delle campagne di monitoraggio delle emissioni e della qualità dell'aria. In particolare, il Piano fornisce le indicazioni di massima per la progettazione del sistema di biomonitoraggio del territorio circostante l'impianto termoelettrico autorizzato.

Il presente documento riporta la progettazione del sistema di biomonitoraggio della qualità dell'aria in conformità a quanto indicato nel documento di SIA e nel successivo documento di Piano (Enel, 2004).

### 1 PREMESSA

Tra le prescrizioni contenute nel decreto autorizzativo del Ministero delle Attività Produttive n. 55/02/2003 del 24 dicembre 2003, è riportata la prescrizione "Dovrà essere messo in atto il programma di biomonitoraggio secondo le specifiche descritte da ENEL nello studio di impatto ambientale".

Nel gennaio 2004 Enel ha presentato il "Piano delle campagne di monitoraggio e biomonitoraggio" in cui ha delineato i principi da adottare per la redazione dei progetti delle campagne di monitoraggio delle emissioni e della qualità dell'aria. In particolare, il documento fornisce le indicazioni di massima per la progettazione del sistema di biomonitoraggio del territorio circostante l'impianto termoelettrico autorizzato.

Il documento di Piano prevede che la progettazione si sviluppi attraverso l'analisi del territorio, al fine di definire la scelta dell'area di interesse, dei biosensori e delle tecniche di applicazione da adottare in conformità a quanto richiesto dal decreto autorizzativo;

Il presente documento, quindi, riporta il progetto del sistema di biomonitoraggio articolato nelle fasi di:

- analisi del territorio,
- progettazione.

### 2 ANALISI DEL TERRITORIO

#### 2.1 Inquadramento fisico e antropico

Il sito della Centrale di Torrevaldaliga Nord si trova sulla costa del Lazio settentrionale, in Provincia di Roma, nel Comune di Civitavecchia, circa 2 km a NNW di Punta La Mattonara.

L'area di centrale è ubicata in una stretta fascia pianeggiante che si estende parallelamente al mare a NW dell'abitato di Civitavecchia ed è percorsa, ad E dell'impianto, dalla ferrovia Roma-Pisa. Più all'interno transitano la S.S. n. 1 Aurelia ed il tratto settentrionale dell'Autostrada Roma-Civitavecchia.

Il pianoro su cui insiste l'impianto si raccorda, verso l'entroterra, con i rilievi col-linari della Tolfa, che raggiungono le quote massime in prossimità degli abitati di Allumiere e Tolfa (Monte Tolfaccia, 579 m s.l.m., circa 10 km ad E di Civitavecchia).

Verso NW, la fascia costiera continua con andamento pianeggiante raggiungendo la Punta S. Agostino e la foce del Fiume Mignone. A S, invece, si trovano, in successione l'area industriale occupata dalla Centrale termoelettrica di Torrevaldaliga Sud, l'area portuale e l'abitato di Civitavecchia.

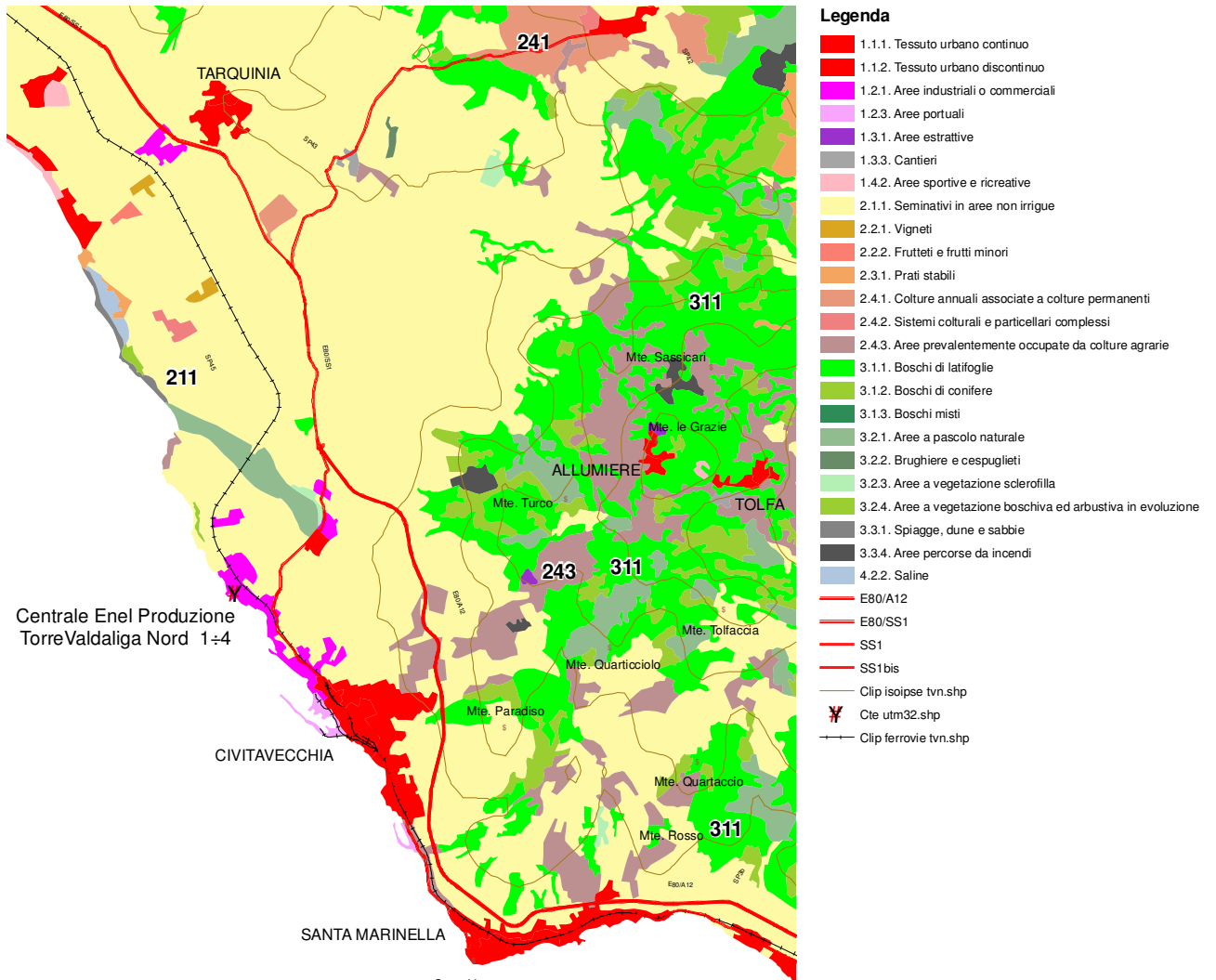
## 2.2 Uso del suolo

La principale fonte di informazione per la caratterizzazione di questa componente è costituita dalla carta di uso del suolo dell'area di interesse (fig.4.1.2.2/I), coincidente con il dominio di calcolo utilizzato per la modellazione degli effluenti gassosi. La cartografia è stata elaborata a partire dai dati numerici forniti dalla banca dati geografica (GeoAtlante, modulo Regione Lazio), realizzata da MONDOGIS in collaborazione con Tele Atlas, Istat, Ministero per i Beni Ambientali e Culturali, CEE e NIMA. I dati di uso del suolo derivano dalla cartografia nazionale realizzata per questa tematica nell'ambito del progetto Land Cover CORINE della CEE e aggiornata al 1999. L'analisi delle superfici cartografate ha consentito di stimare i rapporti percentuali tra le varie tipologie di uso del suolo presenti; nella Tabella 2.2-a sono riportati i valori percentuali di superficie coperta rispetto alla superficie totale del territorio regionale incluso nell'area rettangolare di 25x31 km considerata (esclusa la superficie di mare presente all'interno della stessa). Le estensioni elencate in Tabella 2.2-a indicano la netta prevalenza dei seminativi (circa il 58%), che occupano la parte di maremma laziale presente nella parte N e NO dell'area considerata. L'antropizzazione del territorio a scopo agricolo è sostenuta anche dalle colture annuali permanenti (1,62%) e dalle colture agrarie con presenza di spazi naturali (circa 7%). Al secondo posto come estensione, ma con una percentuale di superficie occupata decisamente inferiore ai seminativi (18,2%), seguono i boschi di latifoglie, in prevalenza ubicati sull'acrocoro tolfetano. Nella stessa area si ritrova maggior parte della vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione, con una superficie occupata intorno al 5%. Una percentuale non trascurabile dei Monti della Tolfa (circa il 4%) è anche occupata da pascolo naturale. L'urbanizzato e le aree industriali occupano circa il 4% della superficie considerata. La situazione complessiva è dunque caratterizzata da un elevato livello di antropizzazione (agricoltura), che peraltro risulta piuttosto comune anche nel resto della maremma laziale (piana di Montalto di Castro).

**Tabella 2.2-a. Classi di uso del suolo secondo la classificazione Corine Land cover e loro estensioni**

Codice CORINE di uso del suolo	Descrizione della classe di uso del suolo	AREA km <sup>2</sup>	% della superficie totale
111	TESSUTO URBANO CONTINUO	3,86	0,77
112	TESSUTO URBANO DISCONTINUO	12,30	2,46
121	AREE INDUSTRIALI O COMMERCIALI	4,13	0,82
123	AREE PORTUALI	0,72	0,14
131	AREE ESTRATTIVE	0,27	0,05
133	CANTIERI	0,54	0,11
142	AREE SPORTIVE E RICREATIVE	0,95	0,19
211	SEMINATIVI IN AREE NON IRRIGUE	292,51	58,48
221	VIGNETI	0,53	0,11
222	FRUTTETI E FRUTTI MINORI	0,48	0,09
231	PRATI STABILI	2,04	0,41
241	COLTURE ANNUALI ASSOCIATE A COLTURE PERMANENTI	8,08	1,62
242	SISTEMI CULTURALI E PARTICELLARI COMPLESSI	1,41	0,28
243	COLTURE AGRARIE CON PRESENZA DI SPAZI NATURALI	33,18	6,63
311	BOSCHI DI LATIFOGIE	91,06	18,20
312	BOSCHI DI CONIFERE	0,33	0,07
313	BOSCHI MISTI	0,11	0,02
321	AREE A PASCOLO NATURALE E PRATERIE DI ALTA QUOTA	18,32	3,66
322	BRUGHIERE E CESPUGLIETI	0,22	0,04
323	AREE A VEGETAZIONE SCLEROFILLA	0,95	0,19
324	VEGETAZIONE BOSCHIVA E ARBUSTIVA IN EVOLUZIONE	24,33	4,86
331	SPIAGGE DUNE SABBIE	0,63	0,13
334	AREE PERCORSE DA INCENDI	2,60	0,52
422	SALINE	0,68	0,14
<b>Superficie Totale</b>		<b>500,21</b>	<b>100</b>

Figura 2.2-a. Uso del suolo dell'area di interesse (Corine Land Cover ) GeoAtlante MondoGIS



### 2.3 Lineamenti morfologici e idrogeografici

L'unità idrogeologica della Tolfa (in cui si trova il Comune di Civitavecchia) comprende l'area più occidentale della Provincia di Roma, parte dei rilievi vulcanici della Tolfa e dei Monti Ceriti e del complesso dei rilievi flyscioidi, che li circondano quasi completamente. Essa risulta delimitata (fig.4.1.2.3/I), a partire da nord e proseguendo in senso orario, dal corso del fiume Mignone (nel tratto compreso fra la foce posta a nord-ovest di Civitavecchia e la confluenza con il fosso Lenta, in prossimità dell'abitato di Rota), dal corso del fosso Lenta, dal corso del fosso della Caldara (uno dei principali tributari di destra del fosso Vaccina) e, infine, dal corso del fosso della Mola, nel tratto compreso tra la confluenza con il fosso della Caldara e la sua foce, posta subito a nord dell'abitato di Ladispoli. Il tratto di mare compreso tra le due foci sopra citate completa i limiti dell'unità idro-geo-morfologica. L'andamento morfologico generale dell'unità della Tolfa è la conseguenza dell'esistenza, nell'ambito dell'unità stessa, di terreni con caratteristiche litologiche diverse fra di loro, che hanno risentito di intense vicende tettoniche e vulcaniche. Si tratta, nell'insieme, di un territorio prevalentemente collinare, che raggiunge in prossimità dell'abitato di Allumiere le sue quote massime, degradando, talora debolmente e talora con discreta pendenza, da questa zona verso i limiti precedentemente riportati, con andamento pressoché radiale. Sui bordi esterni esiste una fascia pianeggiante quasi continua, che è di estensione ridotta in corrispondenza dei corsi d'acqua principali, ma localmente ben sviluppata lungo la linea di costa. Questo territorio risulta modellato da una serie di incisioni vallive, talvolta deboli e a versanti molto ampi, talora incassate fino ad assumere l'aspetto di vere e proprie forre. Nel complesso, le acque vengono convogliate verso il fiume Mignone o verso il fosso della Caldara, oppure sfociano direttamente nel mare. Il Mare Tirreno, il fosso della Caldara e il fiume Mignone rappresentano infatti i collettori naturali di base per tutte le acque circolanti nell'area da loro delimitata, siano esse superficiali o sotterranee. Dato che nell'intera area sono rappresentati tre diversi motivi geomorfologici, è opportuno suddividerla in parti geologicamente ben distinte tra loro: zona collinare del flysch, zona delle cupole trachitiche e una zona costiera pianeggiante. Per ciascuna di esse si darà di seguito una breve descrizione del reticolo idrografico.

#### ***Zona collinare del flysch***

Costituisce gran parte del territorio della Regione, affiorando con continuità su di un'area molto vasta. Numerosi corsi d'acqua, a carattere torrentizio e in fase di prevalente erosione, modellano la zona. Questi, dopo percorsi generalmente brevi al fondo di ampie valli, versano le loro acque nei collettori naturali di base. I vari corsi d'acqua hanno un andamento da nord a sud, nella parte meridionale dell'area, da nord-est a sud-ovest, nella parte occidentale, da sud-est a nord-est, in quella settentrionale, e da sud-ovest a nord-est, in quella orientale, disponendosi cioè a raggiera rispetto alla zona centrale più elevata che risulta probabilmente condizionata, almeno in parte, dalle più importanti direzioni tettoniche localmente esistenti. Fra i più importanti corsi d'acqua si possono citare: il rio Eri, il rio Fiume e il fosso Marangone, che sboccano direttamente in mare, il fosso della Vite, il rio Melledra, il fosso di Capocaccia, il fosso di Costagrande e il fosso Cieco, tutti affluenti di sinistra del fiume Mignone.

#### ***Zona delle cupole trachitiche***

Nel territorio della regione tolfetana sono presenti due principali aree vulcaniche abbastanza estese, situate l'una a nord, in corrispondenza degli abitati di Tolfa e Allumiere e comprendente buona parte dei Monti della Tolfa, l'altra all'estremo meridionale, comprendente i Monti Ceriti. Esistono inoltre affioramenti vulcanici dello stesso tipo, ma molto più modesti, distribuiti lungo una fascia orientata approssimativamente da nord-ovest a sud-est e ubicata in corrispondenza della zona centrale della regione in esame. Le incisioni vallive sono molto scarse e impostate preferenzialmente fra i singoli apparati. Le incisioni più profonde, con versanti accentuatamente acclivi, si osservano soltanto in prossimità della periferia della massa vulcanica affiorante. I rispettivi corsi d'acqua che le percorrono hanno di solito portate molto modeste, ma continue. Fra i fossi più importanti si possono citare, per l'area settentrionale, il fosso Melledra e quello, senza toponimo, che scende dalla zona di Cave Vecchie, mentre per l'area sud orientale, i fossi della Caldara e del Norcino.

#### ***Zona costiera pianeggiante***

Lungo le zone più esterne alle aree precedentemente descritte si nota una serie di piccole zone pianeggianti, che interrompono, a più riprese, il pendio dei vari rilievi degradanti verso la periferia.

Lungo la linea di costa è presente inoltre una fascia pianeggiante, di dimensioni ridotte e discontinua nella parte cen-trale, che assume dimensioni rilevanti a nord, in prossimità della foce del fiume Mignone e in tutta la parte più meridionale dell'area considerata. La zona costiera è attraversata, oltre che dalla serie dei corsi d'acqua principali precedentemente accennati, anche da una serie di brevi incisioni dovute a modesti corsi d'acqua, che hanno un andamento in genere sub parallelo fra loro e normale alla linea di costa. I più importanti corsi d'acqua della Regione sono il fiume Mignone e il fosso Vaccina. Le loro ampie valli, a fondo pianeggiante, a differenza di quanto è riscontrabile nel resto della rete idrografica, mostrano un certo alluvionamento, anche se questo spesso risulta limitato sia come estensione che come potenza.

## 2.4 Elementi di geologia

Il sito in esame è ubicato sulla costa tirrenica laziale a 4-5 km a NNW di Civitavecchia. L'assetto geologico-strutturale generale dell'area è la risultante di movimenti tettonici attribuibili a diverse fasi evolutive. Sono riconoscibili unità tettoniche dovute alle fasi orogeniche compressive, sviluppatasi fino al Miocene inferiore, responsabili della costruzione dell'edificio strutturale a "thrust" vergente verso NE, che costituisce l'ossatura della catena appenninica. Seguono unità generate in seguito alle successive fasi tettoniche distensive, sviluppatasi a partire dal Miocene superiore, legate all'apertura del Mar Tirreno.

Le unità più antiche sono costituite da formazioni sedimentarie marine appartenenti a due gruppi principali:

- "Unità Toscane" di natura evaporitica, carbonatica e marnosa (Triassico-Oligocene), affioranti soltanto in pochissimi piccoli lembi intorno ai Monti della Tolfa ma presenti estesamente ad elevate profondità;
- "Unità Liguri" di natura torbida (flyschoidi) cioè calcarea, marnosa, argillitica e arenacea (Cretaceo-Eocene), poste tettonicamente al di sopra delle citate unità toscane ed affioranti estesamente su tutti i Monti della Tolfa fino alla costa.

Durante le più recenti fasi distensive si è verificato uno smembramento delle unità precedenti attraverso vari sistemi di faglie dirette, orientate NW-SE e NESW, con due principali conseguenze:

- la formazione di depressioni strutturali in cui si sono creati bacini sedimentari, caratterizzati da successioni continentali, di transizione e marine ("Successioni Neoaotone") di natura argillosa, sabbiosa e conglomeratica; di queste depressioni la più vicina al sito è quella di Montalto di Castro-Tarquinia che si estende a nord del fiume Mignone; in essa affiorano diffusamente depositi marini e continentali di età compresa tra il Miocene superiore e l'attuale;
- lo sviluppo di fenomeni vulcanici che ha dato origine ad una serie di rocce laviche e piroclastiche: le più vicine al sito sono anche le più antiche (circa 2,5 milioni di anni) ed affiorano principalmente nel nucleo centrale dei Monti della Tolfa, altre più recenti costituiscono i Monti Vulsini e Sabatini.

Il sito in esame si trova sulle propaggini occidentali dei Monti della Tolfa, che costituiscono un relativo alto strutturale su cui, negli ultimi milioni di anni, sono prevalsi i fenomeni erosivi e non si sono depositi quindi rilevanti spessori di successioni neoaotone, ma soltanto sottili coltri di depositi continentali detritici o travertinosi e di depositi marini terrazzati, legati alle interazioni tra sollevamento tettonico e oscillazioni del livello marino. Pertanto le formazioni che interessano direttamente il sito appartengono principalmente al gruppo delle citate unità liguri e, secondariamente, ai depositi marini neoaotoni. Secondo i vari autori che hanno studiato la zona (Servizio Geologico 1969; Fazzini et al., 1972; Ventriglia, 1988) le unità liguri sono qui suddivise al massimo in quattro unità formazionali:

- "Pietraforte": arenarie calcareo-quarzose (Cretaceo sup.);
- "Argillosisti varicolori manganiferi": argilliti con calcari marnosi ed arenarie (Cretaceo inf - sup.);
- "Flysch calcareo": calcari marnosi e marne (Cretaceo sup. - Paleocene);
- "Flysch argilloso-calcareo": argilliti con calcari marnosi ed arenarie (Cretaceo sup.).

A seconda delle diverse interpretazioni dei citati autori, i rapporti tra queste formazioni sono considerati semplicemente stratigrafici, con eteropie laterali e intercalazioni reciproche, oppure le prime due ("Serie della Pietraforte" o "Unità di Monte Morello") sono considerate separate dalle seconde due ("Serie dei Flysch Tolfetani" o "Unità di S. Fiora") da un contatto di sovrapposizione tettonica.

In particolare, si può rilevare che il sito considerato è direttamente interessato soltanto dall'ultima delle formazioni sopra citate e dalle sottili coltri di depositi quaternari che la ricoprono.

## 2.5 Elementi di idrogeologia

Le indagini e gli studi di seguito citati (Ventriglia, 1988) hanno avuto lo scopo di individuare le falde idriche presenti nel sottosuolo del territorio della regione tolfetana e di determinarne, per quanto possibile, il tipo di circolazione. A tal fine è stato eseguito il censimento di tutti i punti d'acqua esistenti nell'ambito della regione. Sono stati così censiti 1.661 punti d'acqua (850 sorgenti, 570 pozzi alla romana e 241 pozzi trivellati), per ciascuno dei quali è stata rilevata l'ubicazione, la quota del pelo libero dell'acqua, la portata e, per quelli per cui era possibile, la variazione della portata nel tempo. Quando è stato possibile sono stati rilevati anche dati geologici e stratigrafici dei terreni nei quali si trovano i punti d'acqua.

### Caratteristiche idrogeologiche delle formazioni

Le rocce presenti nella regione tolfetana sono le seguenti:

- sedimenti carbonatici mesozoici costituiti da calcari, calcari con selce, scaglia, calcari dolomiti e dolomie;
- formazioni del complesso flyscioide, comprendenti argille, marne, calcari e arenarie;
- formazioni mioceniche e plioceniche, costituite da sabbie, sabbie-argillose e argille;
- vulcaniti acide dell'apparato tolfetano;
- sedimenti pleistocenici e depositi di terrazzi quaternari costituiti da ciottolate e sabbie, limi e argille;
- piroclastiti basiche rappresentate dai prodotti degli apparati vulcanici Cimino e Sabatino;
- alluvioni e depositi costieri recenti e attuali.

Di seguito si dà una breve descrizione del comportamento delle singole unità litologiche nei riguardi della circolazione delle acque.

#### **Formazioni carbonatiche del Mesozoico**

I sedimenti carbonatici mesozoici presentano elevata permeabilità per fessurazione. Le acque circolanti in questi sedimenti sono mineralizzate e sono relativamente calde ( $20^{\circ}\div 65^{\circ}\text{C}$ ). Le sorgenti alimentate dalle acque di questa falda sono dovute a una circolazione attraverso importanti linee di frattura, che interessano, oltre i sedimenti mesozoici, anche i sovrastanti flysch. La portata delle singole sorgenti è in media di vari litri al secondo.

#### **Complesso flyscioide**

Il flysch nel suo complesso deve essere considerato un non acquifero avendo una permeabilità d'insieme quasi nulla o molto bassa. Solo gli elementi lapidei (termini carbonatici e arenacei) sono permeabili per fessurazione. In relazione a questi elementi lapidei, nel flysch si rinvengono alcune sorgenti che, anche se in qualche caso perenni, hanno sempre portate scarse (frazioni di litro al secondo). In definitiva nel complesso flyscioide non si ha una falda continua, ma solo piccole falde di limitata estensione, fra loro indipendenti e di modesta importanza, che possono alimentare una modesta circolazione molto superficiale. La maggior parte dei pozzi nella zona del flysch sono pertanto poco profondi, dai 4 ai 9 m di profondità.

#### **Formazioni sabbioso-argillose del Miocene e Pleistocene**

Dal punto di vista idrogeologico questi sedimenti debbono considerarsi praticamente impermeabili. Soltanto nei livelli superiori, dove a volte la formazione è costituita essenzialmente da sabbia e ghiaia, si può avere un assorbimento e un accumulo d'acqua, ma sempre in quantità molto modeste.

#### **Formazioni pleistoceniche e attuali**

I sedimenti così raggruppati (depositi terrazzati marini e fluviali, depositi costieri, alluvioni, travertini, panchina) si riscontrano in genere su aree molto limitate poggianti su terreni appartenenti soprattutto al complesso del flysch. Essi presentano in genere comportamento uniforme rispetto alla circolazione delle acque e, pertanto, in essi si può riscontrare la presenza di falde acquifere, delle quali è possibile ricostruire abbastanza agevolmente l'andamento delle isofreatiche. Tali falde, tuttavia, esistono in questi sedimenti soltanto quando sono ubicati a quote poco elevate rispetto alle principali linee di drenaggio. Fra i sedimenti pleistocenici, tutti più o meno permeabili, solamente la panchina e i travertini possiedono permeabilità molto elevate e costituiscono aree fortemente assorbenti.



### *Vulcaniti*

Le vulcaniti acide tolfetane sono costituite in massima parte da materiali permeabili per fessurazione (piroclastiti e lave), anche se una permeabilità per porosità, peraltro sempre modesta, si riscontra dove la roccia ha una marcata vacuolarità. Nell'ambito dei suddetti apparati vulcanici esiste una circolazione di acqua che si manifesta, a quote variabili, con numerose sorgenti, talvolta anche di portata elevata. Queste sorgenti risultano legate, sia singolarmente che a gruppi, a falde pensili, localizzabili nell'ambito di ciascuna cupola vulcanica; esse sono in genere ubicate al piede delle varie cupole laviche.

Le altre formazioni presenti (depositi marini pleistocenici, depositi recenti marini e continentali, materiali di riporto), insieme alla coltre di alterazione delle citate formazioni flyscioidi, possono essere considerate un'unica sottile copertura superficiale eterogenea, mediamente permeabile per porosità, che ospita una modesta falda freatica in diretto rapporto con le acque superficiali e con il mare e fortemente influenzata dall'andamento stagionale delle precipitazioni.

Laddove tale coltre raggiunge uno spessore sufficiente, la falda risulta sfruttata nei dintorni principalmente per scopi agricoli.

## **2.6 Climatologia e meteorologia**

Le regioni dell'Italia centrale che si affacciano sul Mare Tirreno sono caratterizzate da un clima subtropicale denominato "mediterraneo" e che appartiene, secondo la classificazione di Koppen, al clima temperato con estate secca.

Secondo una più dettagliata suddivisione del territorio italiano, fatta dal Rosini e dal Mennella, il sito in esame rientra nella regione tirrenica, regione che mostra una ben definita unità climatica per il prevalere di fattori di prim'ordine sulle condizioni zonali piuttosto varie. La più o meno compatta protezione montana ad oriente e l'uniforme esposizione al Mare Tirreno determinano una particolare distribuzione anemologica (protezione dai venti settentrionali e libero accesso alle correnti umide occidentali) ed una profonda influenza mitigatrice del mare.

Dalla costa verso l'interno è inoltre possibile individuare tre varietà fondamentali o tipiche di clima: quello marittimo lungo la fascia costiera, quello temperato, con inverno più marcato, nelle valli del Tevere e del Volturno e lungo i versanti occidentali dei rilievi sotto i 500 m ed infine quello di collina e di montagna sopra tale quota. La relativamente breve distanza delle catene montuose dalla costa determina un passaggio molto rapido da un clima marittimo ad uno sublitoraneo.

A livello dinamico, il comportamento dei vari elementi del clima è determinato dalle condizioni bariche e dal passaggio di perturbazioni di origine diversa. In inverno, i periodi più lunghi di maltempo sono provocati o dal transito di perturbazioni atlantiche o da quello delle depressioni del Golfo di Liguria. Queste ultime danno luogo a periodi piovosi, con vento da S-SE, per afflusso di aria umida meridionale che tende a spirare in senso antiorario rispetto al centro della depressione che transita piuttosto rapidamente dall'Alto Tirreno verso l'Alto ed il Medio Adriatico.

Viceversa i periodi di tempo buono sono in connessione con l'anticiclone dell'Europa Centrale o con i regimi di pressione livellate. I primi determinano temperature molto basse ed i secondi, frequenti situazioni di fitta nebbia nelle valli.

In primavera, il Lazio Settentrionale risente ancora delle depressioni, che interessano più frequentemente le regioni più settentrionali, e si manifesta un certo carattere di variabilità, con bruschi passaggi da situazioni di tempo umido e piovoso, associato a correnti di origine meridionale, a situazioni di tempo bello e secco, associato a correnti fredde di tramontana. Queste ultime, che rappresentano il tipo di tempo invernale da E, decrescono in frequenza, mentre accade più spesso il tipo anticiclonico estivo. Prevalgono le nuvolosità irregolari, spesso di tipo cumuliforme, ed è frequente pioggia associata a fenomeni d'instabilità, specie sui rilievi.

In estate, i lunghi periodi di tempo buono sono associati a condizioni di pressioni livellate (tipo sinottico tra i più importanti e frequenti in questa stagione).

Lungo le coste si ha il noto fenomeno delle brezze, ma i venti prevalenti spirano ugualmente da NW. Le piogge sono molto scarse e quasi esclusivamente a carattere temporalesco.

Il clima tende ad essere arido, con temperature non eccessivamente elevate.

In autunno, sono abbastanza frequenti le depressioni del tipo sottovento e quelle mediterranee, ma ciò soltanto a partire dalla stagione inoltrata. La condizione di pressione livellata è ancora il tipo di tempo

più frequente, almeno nella prima parte della stagione. Sulle zone costiere si ha un'elevata frequenza di temporali.

Le caratteristiche locali possono essere meglio delineate dagli andamenti mensili dei diversi parametri. L'andamento termico nella regione risente in maniera netta della presenza del Mare Tirreno e si presenta mite sia per la latitudine della stessa sia per la maggiore apertura e profondità del mare prospiciente. Le isoterme vere, come risulta dalla figura, si mantengono con valori elevati, come sulla pianura romana, e si avvicinano alla costa solo in corrispondenza dei Monti della Tolfa.

**Tabella 2.6-a. Valori medi mensili rilevati da alcune stazioni della zona circostante la centrale (come rilevate dal Mennella)**

Stazione	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	ANNO
Civitavecchia 4m slm	9,9	10,4	11,6	14,0	17,5	21,1	24,0	23,9	22,1	18,2	14,4	10,5	16,5
Tuscanica 327 m slm	6,3	7,4	9,5	12,7	16,5	20,6	23,8	24,1	21,0	16,1	11,2	7,8	14,8
Roma Lido 5 m slm	8,1	8,6	10,6	12,6	15,6	19,2	21,8	21,9	19,8	17,1	13,0	8,3	14,7
Orbetello 5 m slm	8,9	10,2	11,8	14,7	18,5	22,1	25,0	24,9	22,5	18,4	13,0	9,6	16,6

A differenza delle stazioni più interne, quelle della costa presentano il valore massimo di temperatura nel mese di luglio anziché in agosto. La loro temperatura media annuale è inoltre significativamente più alta.

L'andamento mensile a Civitavecchia evidenzia una temperatura media nei mesi estivi intorno ai 24°C e, in gennaio, un valore di 9,9°C. Confrontando i valori di Civitavecchia con quelli di Roma Lido, risulta evidente l'effetto di termoregolazione del corpo d'acqua: è innalzata di 2,4°C la temperatura media invernale e ridotta di 1,6°C quella estiva.

Per quanto riguarda il regime pluviometrico, il Lazio Settentrionale rappresenta l'inizio del territorio di transizione tra il regime sublitoraneo tipico della Toscana (con massimi più o meno spiccati nell'autunno ed in primavera) e quello mediterraneo di Calabria e Sicilia con un unico massimo nel mese di dicembre. Questa fase di transizione è manifestata dalla leggera accentuazione delle precipitazioni del mese di maggio e dalla diminuzione delle precipitazioni in novembre (Figura 2.6-a e Tabella 2.6-a). . Ciò è evidente in pianura e vicino al mare, ma va modificandosi passando nell'interno. La stazione di Tolfa rileva ancora un massimo in ottobre, mentre Bracciano lo presenta in novembre.

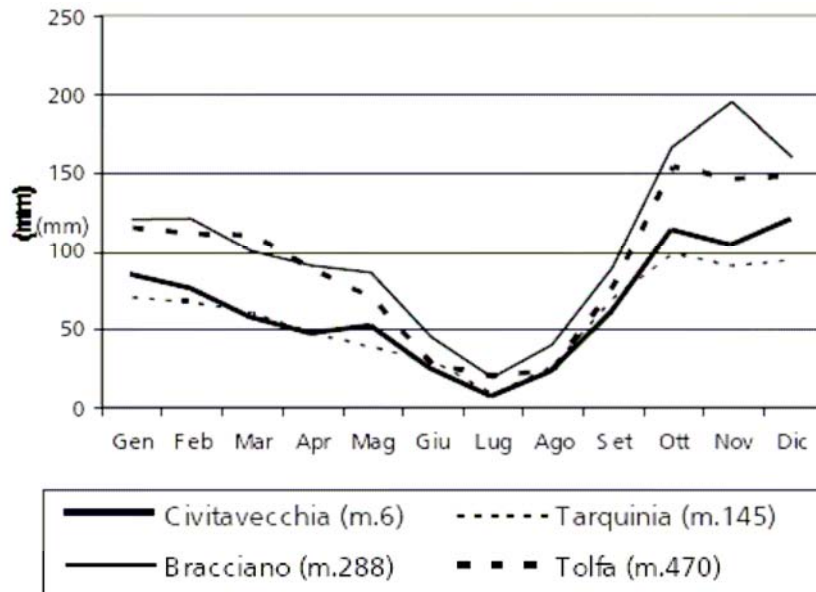
Nella stazione di Civitavecchia si riscontra, a livello annuale, una quantità di pioggia pari a 761 mm, non diversa da quella di Tarquinia (708 mm), mentre a Tolfa si raggiungono i 1.101 mm e a Bracciano i 1.231 mm. I giorni di pioggia sono variabili, tra i 53 ed i 90, in proporzione alla quantità totale caduta.

L'estate risulta molto secca: il limite massimo di 30 mm nel mese più caldo, che definisce, secondo Koppen, la componente di aridità del clima, viene raggiunto in almeno due mesi nelle stazioni più vicine alla costa. Ciò non reca disagio alle persone in quanto, anche per le stazioni di pianura, è presente l'azione rinfrescante del mare.

**Tabella 2.6-b Regime pluviometrico: valori medi delle precipitazioni e dei giorni di pioggia**

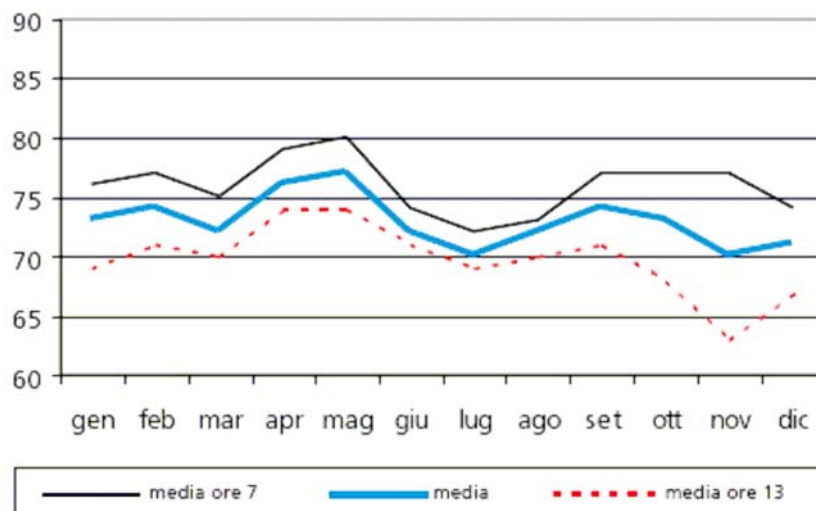
Stazione	U.M.	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	Anno
Civitavecchia 6 m slm	mm	84	75	57	46	51	24	6	22	60	113	103	120	761
	giorni	7	7	6	5	5	2	1	1	4	6	7	8	59
Tarquinia 145 m slm	mm	71	68	61	48	39	30	9	27	70	99	91	95	708
	giorni	6	6	5	5	4	2	1	1	4	6	7	6	53
Bracciano 288 m slm	mm	120	121	100	90	86	45	19	40	89	166	195	160	1231
	giorni	9	9	10	8	9	5	2	3	5	9	11	10	90
Montalto di Castro 46 m slm	mm	64	71	69	49	42	23	16	24	44	76	81	86	645
	giorni	7	7	6	5	6	3	1	2	4	6	8	7	62

Figura 2.6-a Precipitazioni medie mensili .



L'umidità atmosferica non assume valori elevati per tutto il corso dell'anno. In Figura 2.6-a sono riportati i valori medi mensili di Civitavecchia, dove si evidenzia la debole variabilità mensile e giornaliera: gli andamenti delle ore 7 e delle ore 13 non si discostano di molto dalla media, se non in novembre, quando si raggiungono i valori minimi, per quest'ultimo, intorno al 63%.

Figura 2.6-b. Civitavecchia: umidità relativa



Umidità elevate si riscontrano raramente: la frequenza massima delle giornate con umidità >95% alle ore 7 si riscontra in gennaio, aprile e maggio ed è pari a 0,6. Valori con umidità inferiore al 30% non si riscontrano in nessun mese dell'anno.

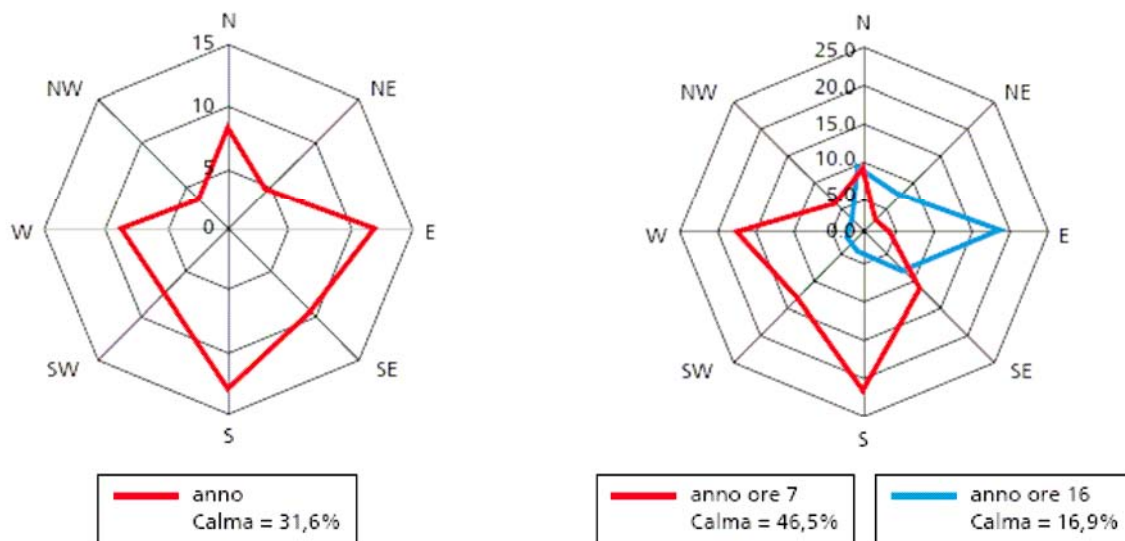
La ventosità della regione in esame è individuata nel suo complesso, prescindendo dalla direzione dei venti, dal numero delle calme e dal numero dei giorni con vento moderato o con vento forte. A Civitavecchia si riscontra una prevalenza dei venti moderati, egualmente distribuiti nelle varie stagioni. Le condizioni di calma divengono elevate nel periodo estivo, raggiungendo quasi la metà dei giorni della stagione. Venti forti sono presenti, sia pure con bassa frequenza, quasi esclusivamente in inverno, con le

velocità massime più elevate non molto diverse da quelle riscontrate nelle altre stagioni. La frequenza annua dei giorni con venti fortissimi (>55 km/ora corrispondenti alla burrasca, al fortunale e all'uragano) è nulla a Civitavecchia, mentre è pari a 3,7 a Roma Lido.

Il regime anemologico di questo compartimento, come già visto a livello regionale, è molto attivo e piuttosto complesso.

In Figura 2.6-c è riportata la rosa dei venti annuale della stazione di Civitavecchia come presentata dal Mennella: si riscontra una prevalenza dei venti meridionali con componente orientale. Quest'ultima è presente con evidenza nella rosa dei venti delle ore 7, principalmente dovuta ai venti di caduta dalle montagne della Tolfa. Alle 13 si evidenziano invece le direzioni di brezza comprese tra il S e l'W.

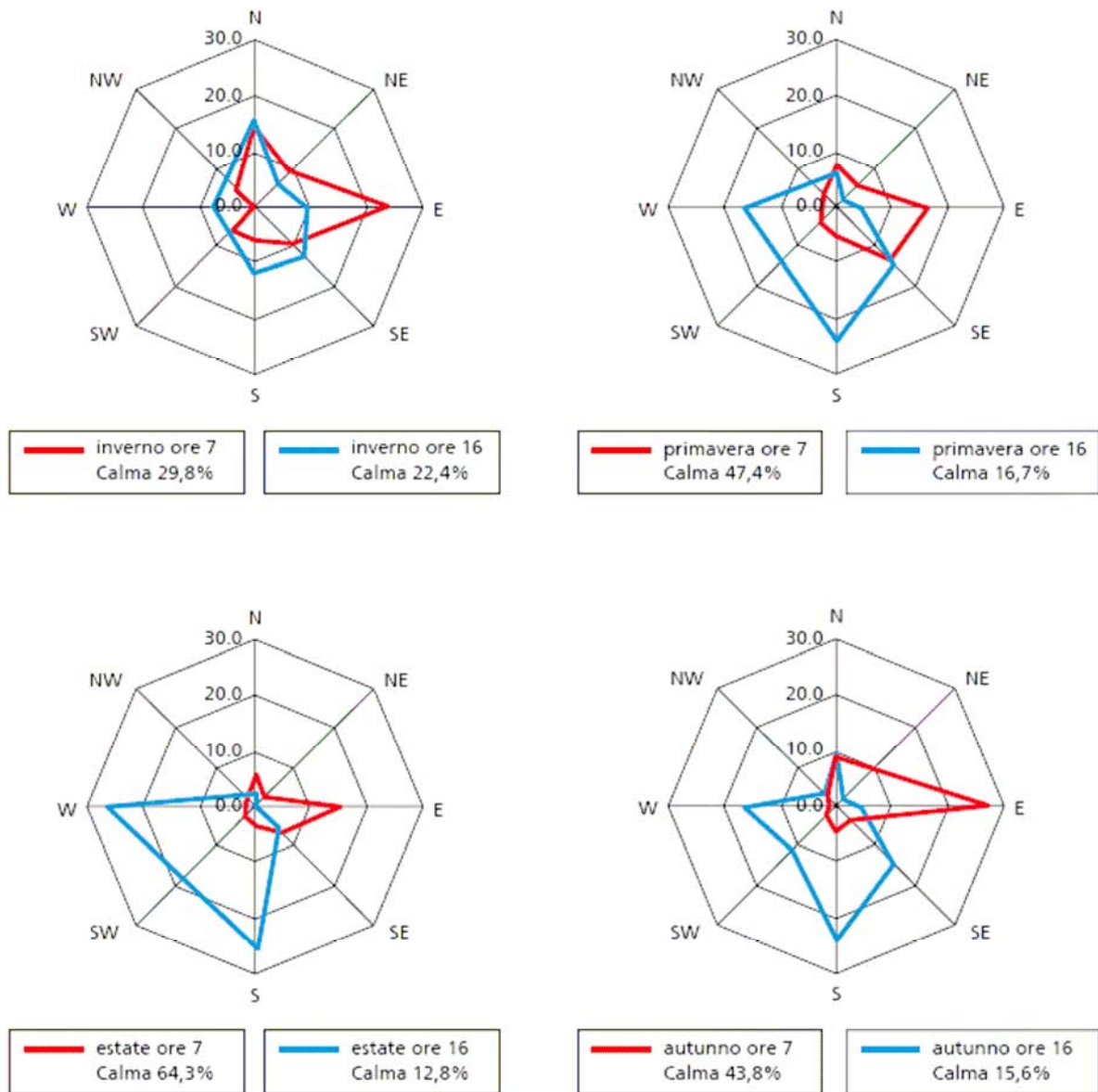
**Figura 2.6-c. Rosa dei venti annuale e rosa dei venti annuale alle ore 7 ed alle ore 16 della stazione di Civitavecchia**



Le rose di venti stagionali di Civitavecchia (Figura 2.6-d) evidenziano una prevalenza del N e dell'E in inverno, mentre in estate accade l'opposto: prevalgono l'W ed il S. In primavera ed in autunno sono evidenti i contributi meridionali e orientali tipici delle condizioni di transizione e di tempo perturbato.

Le situazioni di calma sono variabili nel corso dell'anno, con il massimo in estate (39%) e il minimo in inverno (26%).

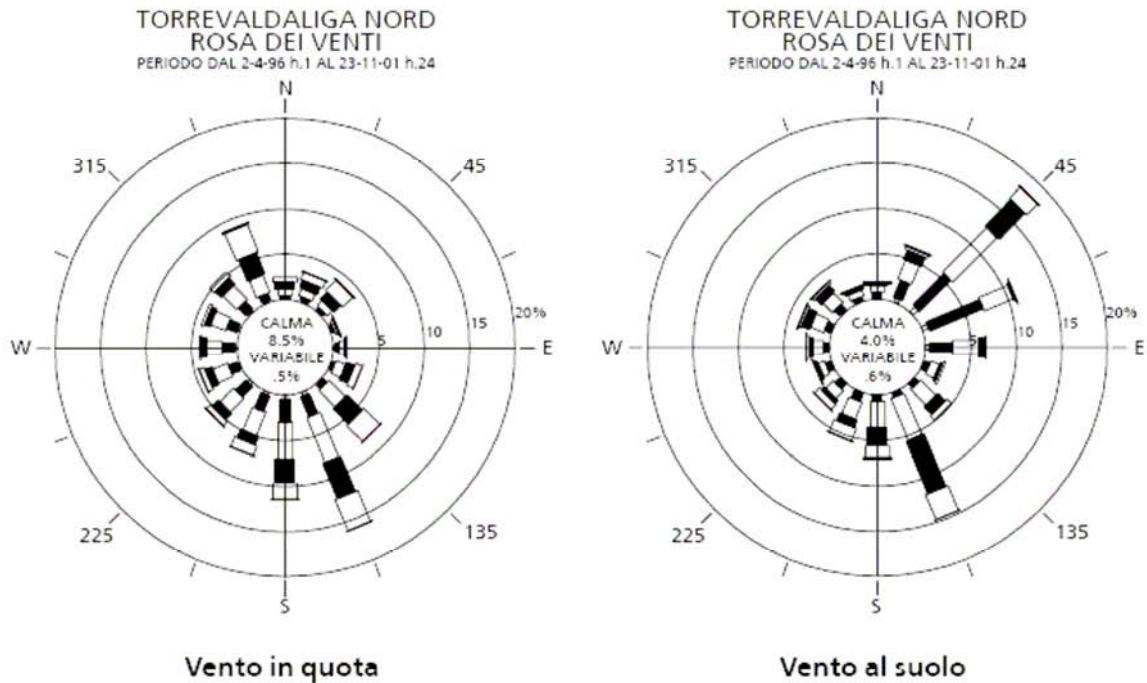
Figura 2.6-d. Rose di venti stagionali di Civitavecchia



Alle ore 7 si ha la prevalenza dei venti da E, mentre alle ore 16 quella dei venti da S ad W in tutte le stagioni escluso in inverno. La distribuzione delle direzioni prevalenti è legata in modo particolare alla conformazione orografica della stazione alle falde dei Monti della Tolfa e sulla costa tirrenica che è orientata da NW a SE. La differenza tra le ore 7 e le ore 16 è da imputarsi principalmente alla circolazione di brezza.

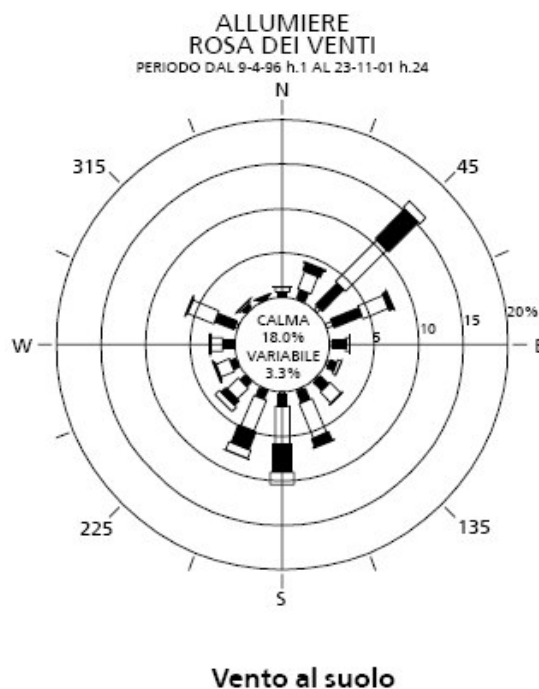
La stazione meteorologica di centrale, dotata di torre meteorologica presenta le rose dei venti di seguito riportate, rispettivamente ottenute dall'anemometro in quota (100 m) e da quello al suolo (10 m).

**Figura 2.6-e. Stazione meteorologica della centrale Enel. Rose dei venti ricavate dai dati dell'anemometro in quota (100 m) e di quello al suolo (10 m)**



In quota si riscontrano le massime frequenze per i venti da SSE e NNW e NE, con una mancanza delle provenienze orientali. Al suolo, invece, sono maggiormente accentuate le provenienze nordorientali e da SSE. Le prime sono legate alle condizioni di brezza, mentre la seconda al tempo perturbato.

**Figura 2.6-f. Stazione di Al lumiere. Rosa dei venti al suolo (10 m)**



Nella stazione di Allumiere, di cui si riporta la rosa dei venti al suolo (Figura 2.6-f), si riscontra ancora una buona prevalenza dal NE, seguita dai venti meridionali e dal WNW. Le condizioni di calma sono qui abbastanza elevate (18%), mentre a Torrevaldaliga si riducono notevolmente: il 4% è evidenziato dall'anemometro a 10 m e l'8,5% da quello a 100 m.

Nei periodi invernale 2000-2001 ed estivo 2001, sono state effettuate misure di vento in quota mediante SODAR, in occasione di campagne di monitoraggio della qualità dell'aria. I dati rilevati a diverse quote per i due periodi mostrano un andamento abbastanza simile a quello rilevato dall'anemometro al suolo, con prevalenza del SE, seguito dal NE e da tutte le provenienze occidentali, in particolare in estate. La variazione in funzione della quota mostra, oltre all'intensificarsi del vento, un leggero incremento delle provenienze settentrionali.

Le condizioni di stabilità atmosferica sono state analizzate considerando i dati della stazione A.M. di Civitavecchia. A livello stagionale, le categorie instabili raggiungono gli andamenti tipici: sono più frequenti nei periodi caldi, mentre le categorie più stabili mostrano i massimi in autunno e in inverno. La modulazione si risente maggiormente per la categoria D, che si presenta con frequenza elevata in inverno e primavera. L'andamento annuale mostra il massimo per la categoria D (45%), seguita dalla F+G (24%), ed un massimo relativo per la categoria B (11%).

Per quanto riguarda le distribuzioni di frequenza delle velocità e delle direzioni del vento, per ciascuna categoria di stabilità, l'andamento è ancora tipico, con passaggio da condizioni di vento debole o calma, per la categoria A, a situazioni di vento moderato, per la C. La categoria D è associata a tutte le possibili intensità del vento, mentre si ritorna a situazioni di vento moderato in categoria E e di venti deboli in categorie F e G. La categoria A è praticamente associata ai venti deboli di brezza tra S ed W e alle condizioni di calma (2,9% dei casi). La categoria B si manifesta associata ai venti deboli e alle direzioni da mare (S e NW) ma anche da NE. La categoria C si presenta associata alle stesse direzioni ma con venti più intensi. La categoria D presenta un andamento differente, essendo associata in modo prevalente alle direzioni da SSE e NE. Le categorie stabili E ed F risultano associate ai venti da NE, con la sostanziale differenza che per la categoria F sono molto elevate le condizioni di calma (18.2%).

## 2.7 Stato attuale della qualità dell'aria

Lo stato attuale della qualità dell'aria nel comprensorio d'interesse è ben descritto nel SIA per la trasformazione a carbone di quattro gruppi della CTE di Torrevaldaliga Nord (Enel, 2001), a cui si rimanda per le informazioni di dettaglio, dove è stata prodotta un'accurata analisi dello stato attuale della qualità dell'aria sulla base dei rilevamenti effettuati nelle stazioni della rete permanente di rilevamento della qualità dell'aria, installata attorno alla centrale dell'Enel (nel seguito RRQA), e dei risultati di diverse campagne di indagine eseguite sia dal Laboratorio di Piacenza dell'Enel sia dalla ASL/RM-F, con il Comune di Civitavecchia e la Provincia Roma.

La rete fissa è attualmente costituita da 11 postazioni di rilevamento dei parametri di qualità dell'aria e da 2 postazioni meteorologiche. La tabella Tabella 2.7-a mostra le informazioni sulla collocazione e sui parametri rilevati da ciascuna postazione, mentre la successiva figura rappresenta la disposizione geografica delle stesse.

Tabella 2.7-a. Postazioni della RRQA della CTE Enel di Torrevaldaliga Nord

N.	Denominazione	UTM Nord	UTMEst	SO2	PTS	NO	NO2	NOx	Meteo
1	Aurelia	4'669'000	730'375	x		x	x	x	
2	S.Agostino	4'671'350	726'625	x	x				
3	Fiumaretta	4'665'075	730'375	x	x				
4	Pincio	La postazione n. 4 è stata dimessa dal 1° giugno 1997							
5	Faro	4'664'650	732'900	x	x				
6	Campo dell'Oro	4'663'000	733'250	x		x	x	x	
7	S.Gordiano	4'661'900	733'100	x		x	x	x	
8	Allumiere	4'671'700	739'850	x		x	x	x	x
9	Tolfa	4'670'625	742'750	x					
10	S.Marinella	4'658'525	734'490	x					
11	Tarquini	4'680'150	728'310	x					
12	Monteromano	4'683'875	738'750	x					
	Torre meteo di centrale	4'667'650	728'000						x

NB La postazione n. 3 è collocata a Fiumaretta dal 1996.

Alcune campagne di indagine per il rilevamento delle concentrazioni di microinquinanti organici ed inorganici nell'area di interesse sono stati eseguite agli inizi degli anni '90 e, più recentemente, nell'inverno 2000/2001 e nell'estate 2001, a cura del Laboratorio di Piacenza.

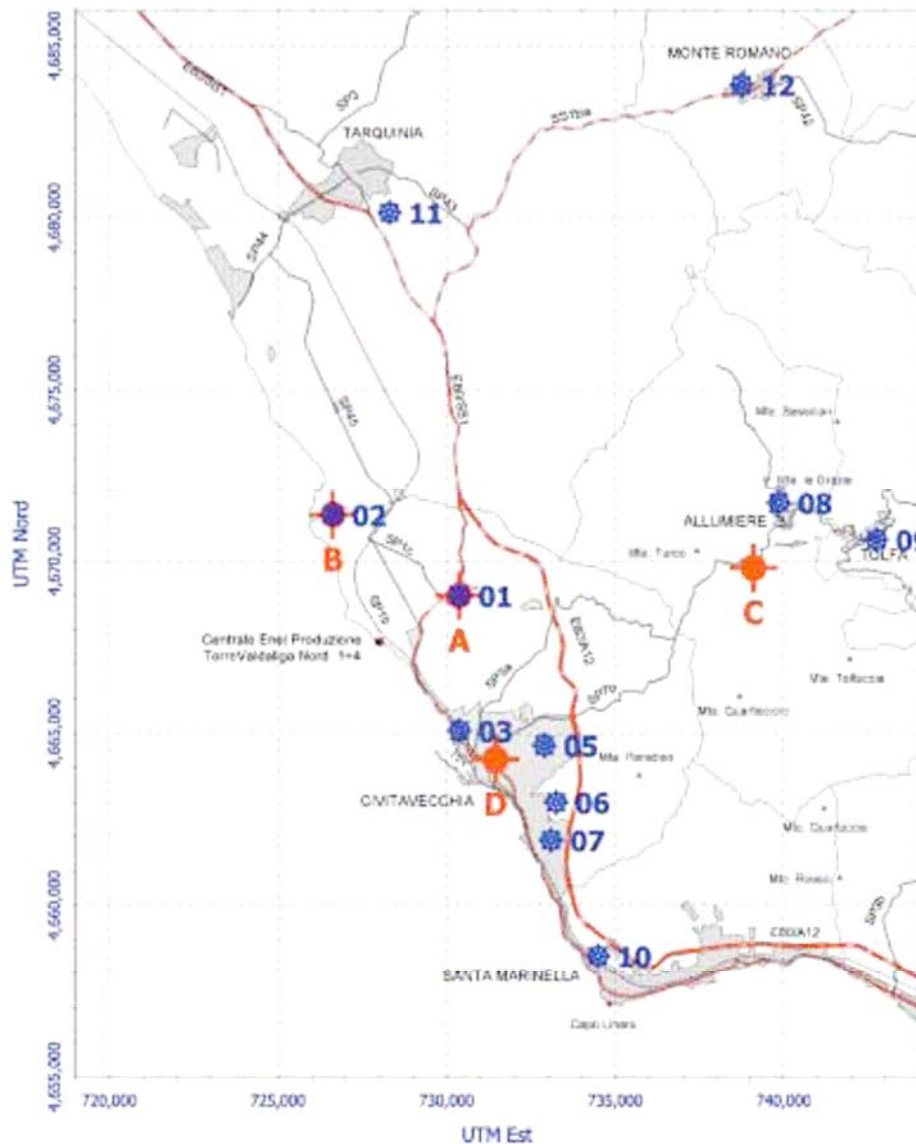
Tabella 2.7-b. Postazioni della campagna di indagine sui microinquinanti

N.	Denominazione	UTM Nord	UTM Est
A	Aurelia	4'669'000	730'375
B	S.Agostino	4'671'350	726'625
C	Poggio Ombriccolo	4'669'800	739'100
D	Civitavecchia - Parco Antonelli	4'664'250	731'450

Inoltre sono state concordate tra la direzione dell'impianto termoelettrico dell'Enel e l'ASL RM/F, la Provincia di Roma ed il Comune di Civitavecchia, alcune campagne di indagine con laboratorio mobile, eseguite tra il 1997 ed il 2000, in più punti dell'area urbana di Civitavecchia.



Figura 2.7-a. Postazioni della rete di rilevamento della qualità dell'aria (RRQA 01÷12). Postazioni delle campagne di indagine sui microinquinanti (A÷D).



I risultati dei rilevamenti eseguiti, valutati in rapporto agli Standard di Qualità dell'Aria (SQA) fissati dalla vigente normativa, o ai valori di riferimento indicati nella normativa comunitaria e/o internazionale, consentono di formulare un giudizio oggettivo sul grado di inquinamento atmosferico del territorio in esame. L'analisi dei dati consente anche una valutazione sul contributo globale delle diverse fonti inquinanti insistenti sul territorio stesso, che sono rappresentate principalmente da: traffico veicolare (locale e di lunga percorrenza), traffico navale, industrie (compresa la produzione di energia elettrica), riscaldamento e attività agricole.

A questo scopo si presentano alcune stime delle emissioni in atmosfera dovute alle principali fonti presenti sul territorio.

#### *Emissioni da traffico navale*

Il traffico navale è sicuramente una importante fonte di inquinamento, che, nel caso specifico, incide sul centro urbano; nella Tabella 2.7-c sono indicati i dati di movimentazione, merci e passeggeri, relative all'anno 2000, nel Porto di Civitavecchia.

Tabella 2.7-c. Porto di Civitavecchia. Dati di movimentazione merci e passeggeri nell'anno 2000

Tipo di merce	Unità di misura	Anno 2000
frumento	t	223.385
semi oleosi	t	23.169
carta e cellulosa	t	5.791
rottami metallici	t	18.412
minerali metallici	t	150.758
minerali non metallici	t	106.071
prodotti metallici	t	147.618
carbone	t	305.619
prodotti chimici	t	104.189
cemento	t	70.359
macchine, veicoli, parti	t	3.613
merce in container	t	56.877
altre merci	t	1.827
<b>Totale commerciale</b>	<b>t</b>	<b>1.286.250</b>
merce su mezzi gommati	t	3.130.675
merce su vagoni	t	872.302
<b>Totale RO/RO</b>	<b>t</b>	<b>4.002.977</b>
Prodotti petroliferi	t	4.559.611
<b>Totale generale merci</b>	<b>t</b>	<b>9.848.838</b>
Passeggeri traghetti	n.	1.866.422
Croceristi	n.	392.103
Autopass	n.	458.607
Auto in polizza	n.	32.218
Contenitori	TEU	12.617

Questi dati sono stati elaborati per ottenere una stima delle emissioni di alcuni inquinanti sulla base delle seguenti informazioni:

- caratteristiche delle navi, ricavate da informazioni relative alle flotte delle compagnie di traghetti che fanno scalo in questo porto;
- dati Istat '91 e '98 sulla stazza media delle tipologie di navi per i diversi porti italiani e per Civitavecchia;
- fattori di emissione e consumi di carburante pubblicati da US-EPA ("Analysis of Commercial Marine Vessels Emissions and Fuel Consumption Data" - February 2000).

Sono state considerate le seguenti ipotesi: contenuto medio di zolfo nel combustibile pari a 2,7%; stazionamento in porto pari a 6 ore per le navi traghetti, 48 ore per le navi commerciali e le navi cisterna, 36 ore per le navi da crociera.

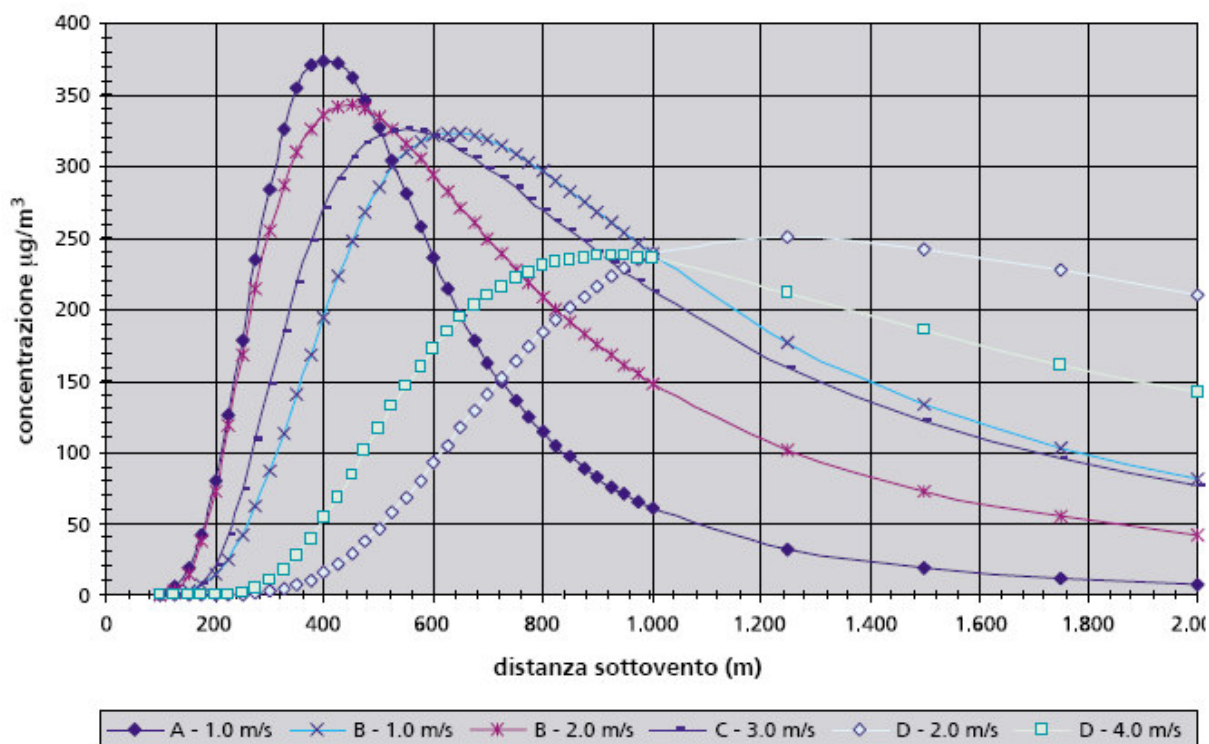
Sono state considerate inoltre le operazioni di manovra in fase di partenza ed arrivo (1 ora per le navi da carico e cisterne, mezz'ora per le altre), a cui si è aggiunta una breve fase di navigazione in prossimità della costa (mezz'ora sia per le fasi di arrivo che di partenza).

Le emissioni annuali complessive calcolate, con potenziale influenza sul centro urbano di Civitavecchia, sono riassunte nella Tabella 2.7-d.

Tabella 2.7-d. Emissioni da traffico navale nell'area portuale di Civitavecchia

Composto	Emissione annua (t)
SO <sub>2</sub>	4.400
NO <sub>x</sub>	3.500
Particolato	100
CO	700
HC	350

È possibile anche una valutazione sulle ricadute al suolo degli inquinanti derivanti dallo stazionamento in porto delle navi. A titolo di esempio, si riporta una valutazione relativa ai profili delle concentrazioni orarie sottovento al camino di una sola nave da crociera ancorata in porto, con i soli generatori ausiliari in funzione. I profili mostrati nel grafico di Figura 2.6-a sono riferiti a diverse condizioni meteorologiche, che possono verificarsi durante le ore diurne, quando la frequenza dei venti da mare verso terra è maggiore.

Figura 2.7-b. Concentrazioni orarie al suolo di SO<sub>2</sub> dovute a stazionamento in porto di una nave da crociera

Come si può constatare, possono essere raggiunti valori ragguardevoli di SO<sub>2</sub> al suolo, con massimi di circa 300 µg/m<sup>3</sup> fino a 600-700 m dalla nave e valori di 150 µg/m<sup>3</sup> anche oltre i 2 km dalla nave. Per il particolato, i massimi possono arrivare a 10 µg/m<sup>3</sup>, mentre per gli ossidi di azoto si raggiungono valori di 200 µg/m<sup>3</sup>.

Per quanto riguarda il particolato, i valori sopra esposti riguardano l'emissione diretta dai motori, ma una ulteriore fonte di polverosità, qui non valutata, è rappresentata dalla movimentazione delle merci all'interno dell'area portuale e dalle operazioni di carico e scarico.

#### **Emissioni da traffico veicolare**

Una stima di massima delle emissioni da traffico veicolare nel comprensorio in esame, è stata eseguita, limitatamente ad alcuni inquinanti (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, particolato), sulla base delle seguenti informazioni:

- dati di traffico in ingresso e uscita da Civitavecchia indicati nel "Piano generale del traffico urbano" del Comune di Civitavecchia (revisione 0 del novembre 2000);
- dati provinciali di vendite dei combustibili per autotrazione riferiti all'anno 2000;

- distribuzione del parco veicoli 1997 pubblicate da ANPA (“Le emissioni in atmosfera da trasporto stradale - Luglio 2000”);
- metodologie e fattori di emissione indicati dall'Agenzia Europea per l'Ambiente (“EEA Technical Report n. 49 - COPERT III - Methodology and emission factors (v 2.1)”).

Nel documento comunale sopra citato, sono indicati i flussi in ingresso ed in uscita dalle tre principali direttrici della città, suddivisi per le diverse tipologie di veicoli. I rilevamenti sono stati effettuati, durante le ore diurne, nei giorni 9 marzo 2000, 25 luglio 2000 e 1 agosto 2000. Dai flussi orari sono stati calcolati i flussi totali giornalieri secondo il seguente criterio: il flusso medio diurno misurato è stato mantenuto per 13 ore, mentre per le restanti 11 ore notturne è stato considerato un flusso medio pari al 25% di quello diurno. Da questi dati sono stati quindi ricavati i flussi totali stagionali ed annuali in ingresso/uscita dalla città. Sulla base di questi dati, applicando il parco veicoli e le metodologie precedentemente richiamate, sono stati calcolati i valori di consumo di combustibile e di emissioni di inquinanti (limitatamente a SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> e particolato), considerando un percorso medio di 35 minuti nel centro urbano e 30 minuti al di fuori di esso. I dati così calcolati tengono conto solo parzialmente dei percorsi extraurbani nel comprensorio. Al fine di migliorare la stima, sono stati quindi determinati i consumi di combustibile per autotrazione a livello locale, partendo dai dati provinciali, riproporzionati a livello locale sulla base della popolazione residente.

Considerando il comprensorio formato da Civitavecchia e dai comuni confinanti, dai dati provinciali del 2000, si ottengono i valori di Tabella 2.7-e.

**Tabella 2.7-e. Emissioni da traffico (t/anno)**

Combustibile	NO <sub>x</sub>	Polveri	SO <sub>2</sub>
Benzina	632	0	0
GPL	350	0	0
Gasolio	835	82	55

### ***Emissioni da riscaldamento***

Il riscaldamento domestico è una fonte di emissioni concentrata nella stagione fredda. Per il sito in esame, il contributo maggiore deriva dalla combustione di gas naturale, mentre il gasolio si va via via riducendo. Nelle zone montane o rurali si aggiunge un piccolo contributo da legna. Per la valutazione delle emissioni, è stato calcolato il fabbisogno energetico degli edifici, sulla base del numero e delle superfici medie delle abitazioni indicate nel censimento ISTAT del 1991, delle volumetrie risultanti e dei dati indicati nel DPR 26 agosto 1993, n. 412, secondo la seguente formula:

$$Q = C_g \eta V \eta_{24} G G \eta_{1/\eta}$$

dove:

- Q è il fabbisogno calorico in kJ/anno
- C<sub>g</sub> è il coefficiente globale di dispersione in kJ/(h \* m<sup>3</sup> \* °C), qui assunto pari a 4,187
- V è la volumetria degli edifici in m<sup>3</sup>
- GG sono i gradi giorno, come riportati per i diversi comuni nell'allegato A al DPR 26 agosto 1993, n. 412
- η è l'efficienza degli impianti di riscaldamento, qui assunta pari a 0,7.

Le emissioni sono state calcolate sulla base dei fattori di emissione (ENEA '89-CORINAIR per metano e gasolio; US-EPA '99 per stufe a legna), espressi in g/GJ.

Comuni Emissioni da riscaldamento domestico/stagione

Tabella 2.7-f. Emissioni stagionali da riscaldamento domestico

Comune	SO2	NOx	PM10	CO	COV
Allumiere	2,2	5,3	6,0	40,8	9,0
Civitavecchia	7,9	34,2	16,5	114,7	28,6
S.Marinella	2,5	9,4	7,2	49,5	11,4
Tolfa	2,7	6,5	10,8	74,1	15,7
Tarquinia	4,5	16,2	15,9	109,8	24,5
Totale	20	72	56	389	89

**Emissioni da fonti industriali**

Nel comprensorio in esame sono presenti alcuni grandi insediamenti industriali:

la centrale termoelettrica Enel Produzione di Torrevaldaliga Nord, la centrale termoelettrica Interpower di Torrevaldaliga Sud ed il cementificio di Civitavecchia (quest'ultimo da circa un anno ha cessato l'attività produttiva). Altre fonti di emissione di minore entità sono presenti sul territorio, ma non si dispone di dati sufficienti per una stima attendibile delle emissioni ad esse collegate. Va comunque segnalato che, sebbene le emissioni dei grandi impianti di combustione siano quantitativamente prevalenti sulle altre tipologie di impianti, l'impatto al suolo è molto più contenuto, grazie all'altezza dei camini e agli elevati flussi entalpici (portata e temperatura dei fumi), che ne favoriscono la dispersione e la diluizione in atmosfera.

**Risultati dei rilevamenti****Biossido di zolfo - SO<sub>2</sub>**

La vigente normativa nazionale prevede (Decreto Ministeriale n° 60 del 02/04/2002) prevede una serie di valori limite per il biossido di zolfo in funzione sia della protezione della salute umana sia della protezione degli ecosistemi (Tabella 2.7-g).

Tabella 2.7-g. DM n° 60 del 02/04/2002 All. I - Valori limite e soglia di allarme per il biossido di zolfo

	Periodo medio	Valore limite	Margine di tolleranza	Data alla quale il valore limite deve essere rispettato
1. Valore limite orario per la protezione della salute umana	1 ora	350 µg/m <sup>3</sup> da non superare più di 24 volte per anno civile	150 µg/m <sup>3</sup> (43%) all'entrata in vigore della presente direttiva, con una riduzione il 1° gennaio 2001 ed ogni 12 mesi successivi, secondo una percentuale annua costante, per raggiungere lo 0% il 1° gennaio 2005	1° gennaio 2005
2. Valore limite giornaliero per la protezione della salute umana	24 ore	125 µg/m <sup>3</sup> da non superare più di 3 volte per anno civile	nessuno	1° gennaio 2005
3. Valore limite per la protezione degli ecosistemi	anno civile e inverno (1° ottobre 31 marzo)	20 µg/m <sup>3</sup>	nessuno	19 luglio 2001

I valori rilevati per mediana e 98° percentile delle medie giornaliere, riportati nella Figura 2.7-c e nella

Figura 2.7-d, sono bassi e mostrano un ampio rispetto dei limiti in tutte le postazioni della RRQA. Si rileva anche una distribuzione spaziale e temporale con variazioni contenute, ed una tendenza generalizzata alla diminuzione dei valori nel corso degli anni più recenti.

**Figura 2.7-c. SO<sub>2</sub> Mediana delle medie di 24 ore rilevate dalle postazioni RRQA**

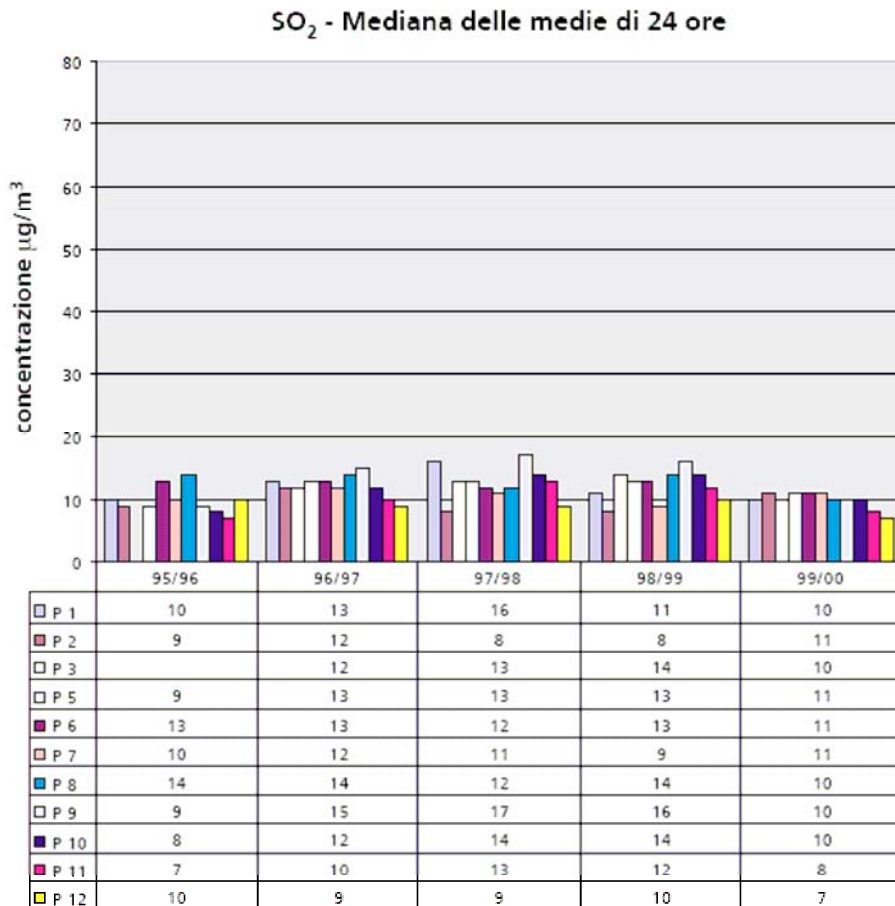
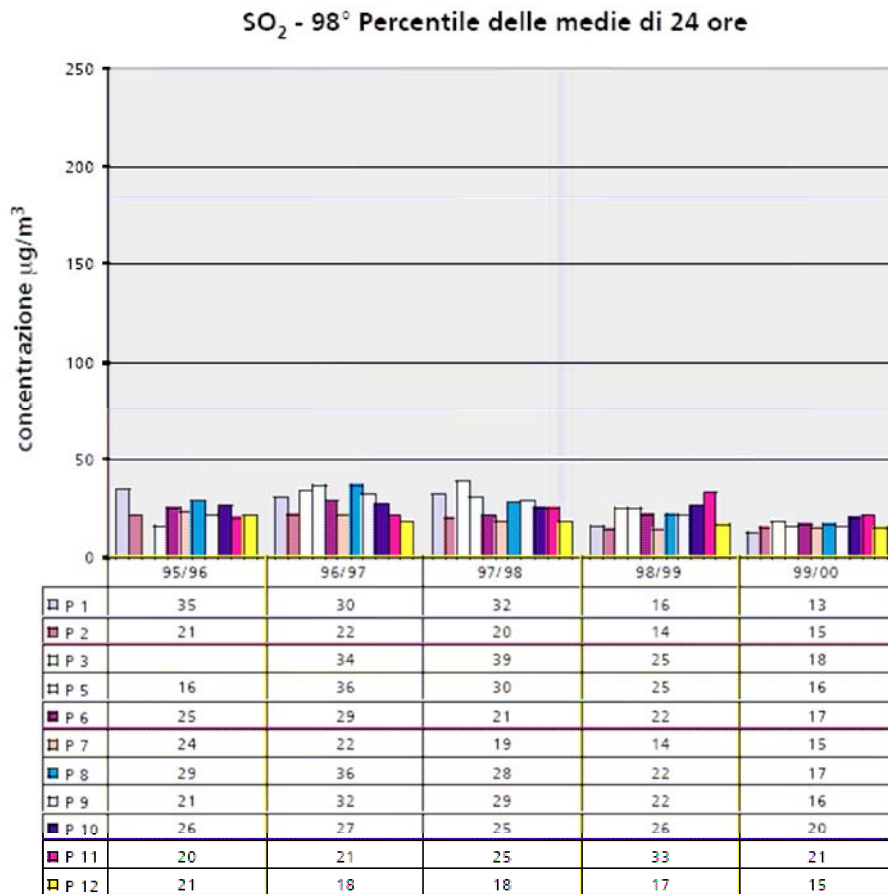


Figura 2.7-d. SO<sub>2</sub> 98° percentile delle medie di 24 ore rilevate dalle postazioni RRQA



*Biossido di azoto - NO<sub>2</sub>*

La vigente normativa nazionale (Decreto Ministeriale n° 60 del 02/04/2002) prevede per gli ossidi di azoto una serie di valori limite in funzione sia della protezione della salute umana sia della protezione degli ecosistemi (Tabella 2.7-h).



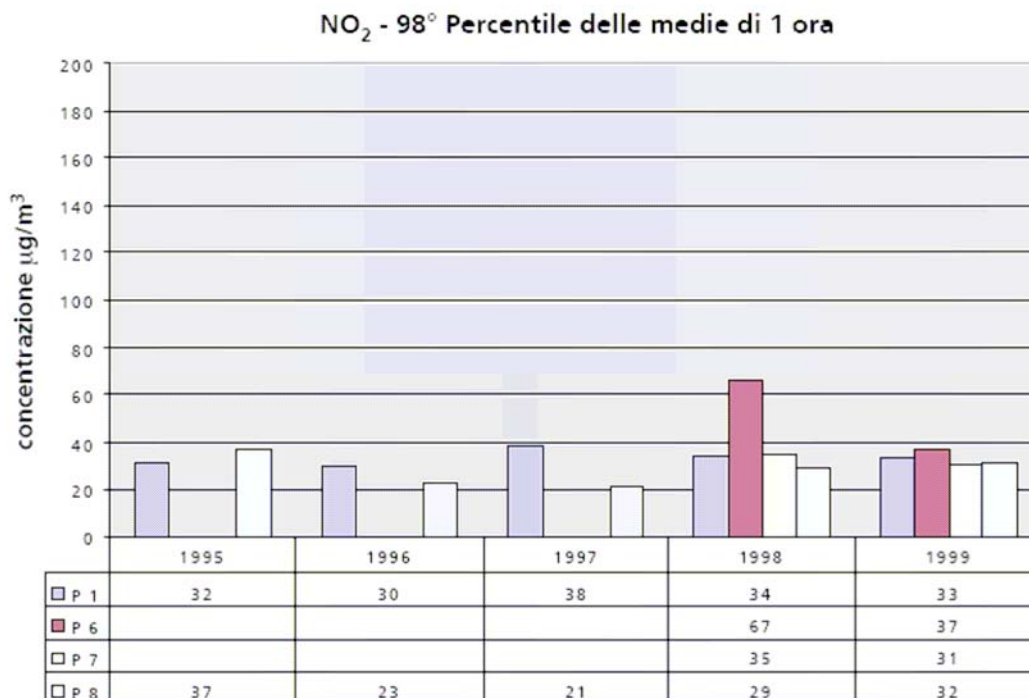
Tabella 2.7-h. DM n° 60 del 02/04/2002. All II - Valori limite per il biossido di azoto (NO<sub>2</sub>) e per gli ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>).

	Periodo medio	Valore limite	Margine di tolleranza	Data alla quale il valore limite deve essere rispettato
1. Valore limite orario per la protezione della salute umana	1 ora	200 µg/m <sup>3</sup> NO <sub>2</sub> da non superare più di 18 volte per anno civile	50% all'entrata in vigore della presente direttiva, con una riduzione il 1° gennaio 2001 ed ogni 12 mesi successivi, secondo una percentuale annua costante, per raggiungere lo 0% il 1° gennaio 2010	1° gennaio 2010
2. Valore limite annuale per la protezione della salute umana	Anno civile	40 µg/m <sup>3</sup> NO <sub>2</sub>	50% all'entrata in vigore della presente direttiva, con una riduzione il 1° gennaio 2001 ed ogni 12 mesi successivi, secondo una percentuale annua costante, per raggiungere lo 0% il 1° gennaio 2010	1° gennaio 2010
3. Valore limite per la protezione della vegetazione	Anno civile	30 µg/m <sup>3</sup> NO <sub>x</sub>	nessuno	19 luglio 2001

I valori rilevati per il 98° percentile delle concentrazioni di 1 ora di NO<sub>2</sub> sono mostrati nella Figura 2.7-e, per le quattro postazioni che prevedono la misura di questo parametro: Aurelia (1), Campo dell'Oro (6), S. Gordiano (7) e Allumiere (8).

Il limite e il valore guida sono sempre ampiamente rispettati. Con l'eccezione del dato relativo alla postazione 6 nel 1998, i valori misurati sono abbastanza uniformi nel tempo e nello spazio e si collocano mediamente tra i 30 e i 35 µg/m<sup>3</sup>.

**Figura 2.7-e. NO<sub>2</sub> 98° percentile delle medie di 1 ora rilevate dalle postazioni RRQA**



*Particolato totale aerodisperso*

La vigente normativa nazionale (Decreto Ministeriale n° 60 del 02/04/2002) prevede per gli ossidi di azoto una serie di valori limite in funzione sia della protezione della salute umana sia della protezione degli ecosistemi (Tabella 2.7-i).

**Tabella 2.7-i. DM n° 60 del 02/04/2002. All. III - Valori limite per il materiale particolato (pm10)**

	Periodo medio	Valore limite	Margine di tolleranza	Data alla quale il valore limite deve essere rispettato
<b>Fase 1</b>				
1. Valore limite di 24 ore per la protezione della salute umana	24 ore	50 µg/m <sup>3</sup> PM <sub>10</sub> da non superare più di 35 volte l'anno	50% all'entrata in vigore della presente direttiva, con una riduzione il 1° gennaio 2001 ed ogni 12 mesi successivi, secondo una percentuale annua costante, per raggiungere lo 0% il 1° gennaio 2005	1° gennaio 2005
2. Valore limite annuale per la protezione della salute umana	Anno civile	40 µg/m <sup>3</sup> PM <sub>10</sub>	20% all'entrata in vigore della presente direttiva, con una riduzione il 1° gennaio 2001 ed ogni 12 mesi successivi, secondo una percentuale annua costante, per raggiungere lo 0% il 1° gennaio 2005	1° gennaio 2005
<b>Fase 2*</b>				
1. Valore limite di 24 ore per la protezione della salute umana	24 ore	50 µg/m <sup>3</sup> PM <sub>10</sub> da non superare più di 7 volte l'anno	In base ai dati deve essere equivalente al valore limite della fase 1	1° gennaio 2010
2. Valore limite annuale per la protezione della salute umana	Anno civile	20 µg/m <sup>3</sup> PM <sub>10</sub>	50% al 1° gennaio 2005 con riduzione ogni 12 mesi successivi, secondo una percentuale annua costante, per raggiungere lo 0% il 1° gennaio 2010	1° gennaio 2010

La Figura 2.7-f e la Figura 2.7-g mostrano gli andamenti della media delle medie di 24 ore e del 95° percentile per le tre postazioni che attualmente misurano questo parametro: S. Agostino (2), Fiumaretta (3) e Faro (5). Come risulta evidente, i livelli sono ampiamente entro i limiti previsti dalla vigente normativa nazionale. Le figure mostrano una tendenza in diminuzione per tutte le postazioni, più marcata nel corso degli ultimi anni.

**Figura 2.7-f. Particolato totale. Media delle medie di 24 ore rilevate dalle postazioni RRQA**

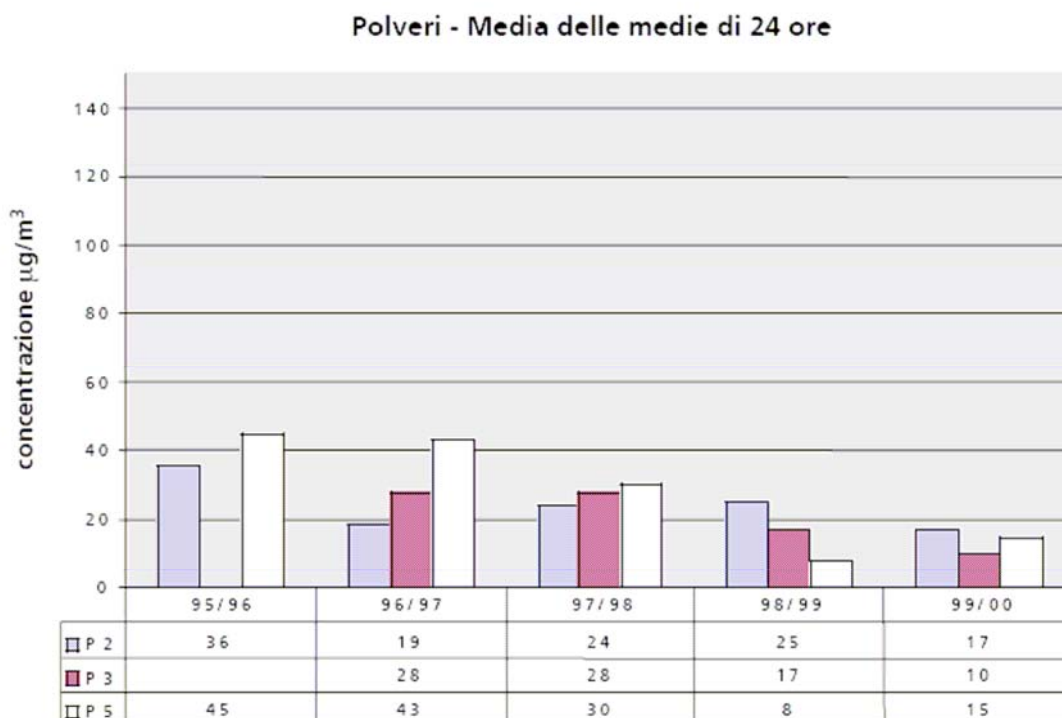
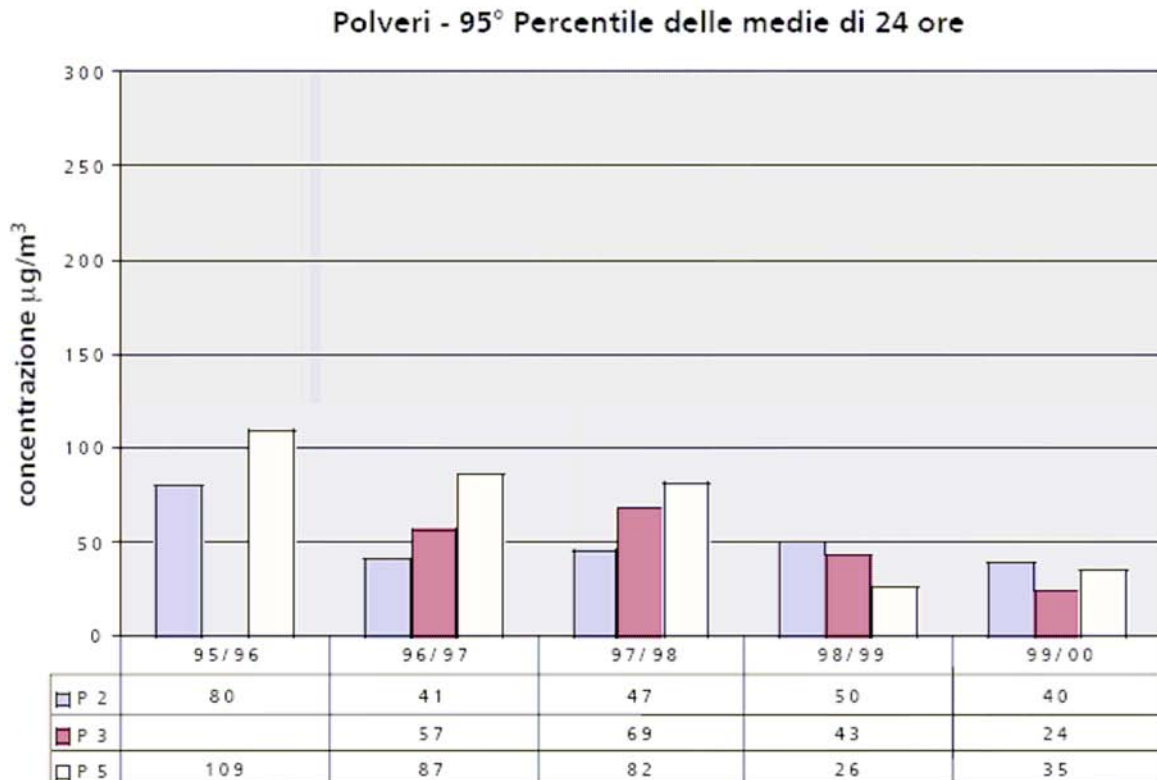


Figura 2.7-g. Particolato totale. 95° percentile delle medie di 24 ore rilevate dalle postazioni RRQA



### ***Campagne di indagine su PM10 e microinquinanti***

Nel seguito si descrivono i risultati delle due recenti campagne di indagine eseguite dal Laboratorio di Piacenza nell'inverno 2000/2001 e nell'estate 2001. Tali campagne di indagine sono state richieste dalla direzione dell'impianto ed eseguite in ottemperanza al decreto del Ministero delle Attività Produttive del 16 novembre 1992, di autorizzazione agli interventi di risanamento ambientale delle Centrali di Torrevaldaliga. L'articolo 2 del decreto prescriveva, tra l'altro, l'effettuazione, in accordo con le Autorità competenti, di campagne periodiche di controllo delle immissioni al suolo di inquinanti organici ed inorganici, diversi da quelli monitorati con l'esistente rete automatica di rilevamento.

Per una dettagliata ed approfondita descrizione del piano sperimentale e delle metodologie di indagine, si rimanda alla relazione tecnica di campagna (doc. Enel Laboratorio di Piacenza 212TN00968) in allegato 4.2.1/I. In questa sede si richiamano gli aspetti essenziali. La pianificazione delle campagne d'indagine ha tenuto conto dei seguenti fattori che principalmente influenzano la qualità dell'aria:

- a. qualità e quantità delle emissioni (nel breve e medio periodo, connesse a impianti industriali, traffico veicolare e riscaldamento domestico, principalmente legate al fattore stagionale);
- b. situazione meteorologica;
- c. posizione della zona (nel territorio di interesse, in relazione alla localizzazione delle sorgenti ed alla topografia).

Come suggerito in questi casi dalla teoria della progettazione sperimentale, la norma internazionale ISO 9359 ("Air quality: Stratified sampling method for assessment of ambient air quality") raccomanda l'adozione della tecnica del "campionamento stratificato", cioè l'effettuazione dei rilievi entro "strati statistici" predefiniti dai valori assunti ("livelli") dai suddetti fattori.

Il fattore a), "emissioni", è stato posto a due "livelli", corrispondenti alla stagione "fredda" e alla stagione "calda".

La situazione meteorologica, fattore b), evidentemente non "fisicamente controllabile", è stato controllato attendendo il verificarsi delle situazioni di interesse. La possibilità di tale approccio deriva dalla possibilità di disporre di una classificazione dei "tipi di tempo" e di una corretta previsione

meteorologica a medio termine. Con riferimento all'inquadramento meteorologico locale e alla classificazione di Borghi e Giuliacci, si sono quindi analizzate le condizioni meteorologiche più significative, e cioè:

- 1) regime adiabatico (tipi di tempo 2, 3 e 4; in alcuni casi anche il 9: se presente con curvatura ciclonica);
- 2) regime di brezza (tipi di tempo 5, 7 e 8; in molti casi anche l'1: fintanto che si rimane nella fase preliminare con curvatura anticiclonica sull'area in esame);
- 3) regime di blocco invernale (tipi di tempo 5 e 8; in alcuni casi anche il 10, se prevale la parte anticiclonica).

Il terzo fattore c) è stato controllato fissando le postazioni di misura nelle zone di interesse e al di fuori dell'influenza di specifiche sorgenti locali non soggette singolarmente a controllo. La scelta delle postazioni ha tenuto anche conto delle precedenti indagini sperimentali.

Eseguendo le campagne di misura delle concentrazioni degli inquinanti atmosferici nei punti rappresentativi del territorio ed in corrispondenza dei tipi di tempo più rappresentativi e/o critici ai fini dell'inquinamento atmosferico, possono essere caratterizzati in modo efficiente tutti gli aspetti di interesse della qualità dell'aria. Ovviamente le campagne sono state protratte per il tempo necessario al verificarsi spontaneo di tali tipi di tempo.

Durante le campagne sono state eseguite misure di molti parametri, sia organici che inorganici, nelle quattro postazioni di misura:

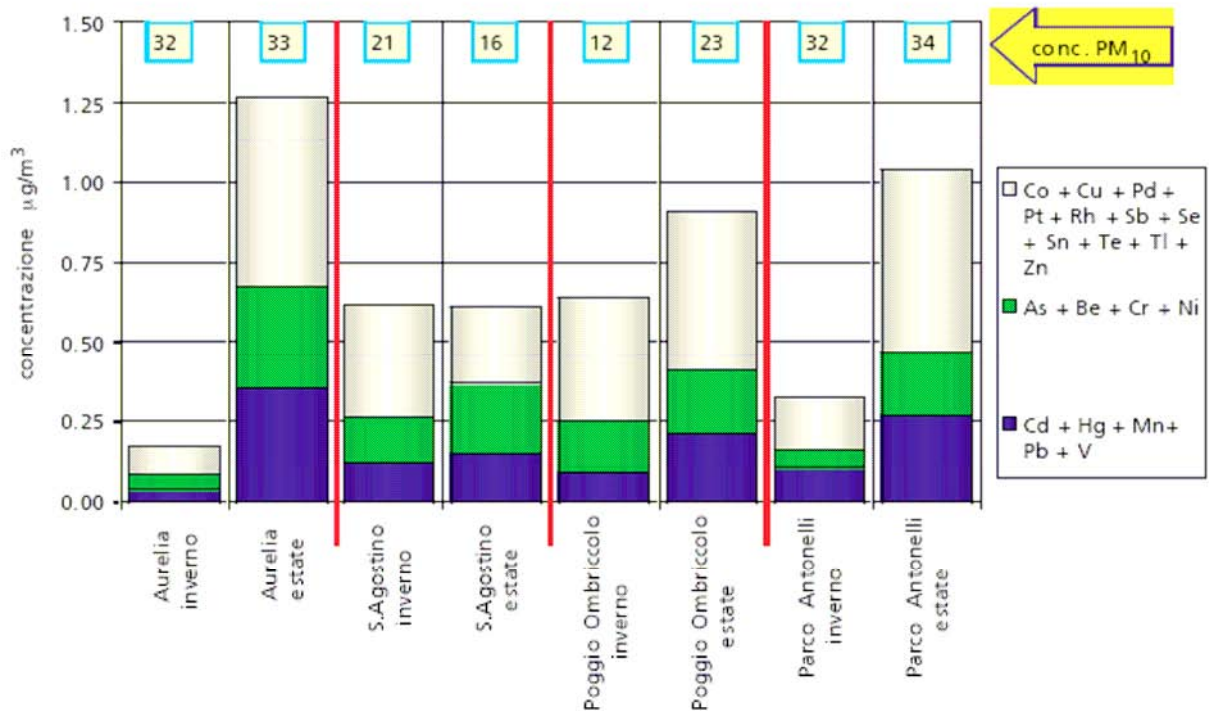
- concentrazioni in aria di particolato fine (PM10);
- concentrazioni in aria di idrocarburi aromatici policiclici (IPA: Naftalene; 2-Metilnaftalene; 1-Metilnaftalene; 2,6-Dimetilnaftalene; Acenaftilene; Acenaftene; 2,3,5-Trimetilnaftalene; Fluorene; Fenantrene; Antracene; 1-Metilfenantrene; Fluorantene; Pirene; Ciclopenta[c,d]pirene; Benzo[a]antracene; Crisene; Benzo[j]fluorantene; Benzo[b]fluorantene; Benzo[k]fluorantene; Benzo[e]pirene; Benzo[a]pirene; Perilene; Indeno[1, 2, 3-cd]pirene; Dibenz[a,h]antracene; Benzo[g,h,i]perilene; Dibenz[a,e]pirene; Dibenz[a,h]pirene; Dibenz[a, i]pirene; Dibenz[a, l]pirene);
- concentrazioni in aria di microinquinanti inorganici presenti nel particolato fine (As, Be, Cr, Co, Ni, Cd, Hg, Tl, Se, Te, Sb, Mn, Pd, Pt, Pb, Cu, Rh, Sn, V, Zn);
- deposizioni secche;
- deposizioni umide;
- sostanze influenzanti l'acidità atmosferica (Ca, Na, Mg, K, NH<sub>4</sub>, SO<sub>4</sub><sup>=</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e Cl<sup>-</sup>, oltre ad alcuni parametri chimico fisici quali pH e conducibilità).

In questa sede, ai fini della redazione del progetto della rete di biomonitoraggio, si presentano i risultati delle determinazioni relative ai microinquinanti inorganici come previsto nel documento Enel relativo al Piano della campagna di monitoraggio e biomonitoraggio (2004).

#### *Microinquinanti inorganici (metalli)*

Nella figura sono presentati i valori medi dei sei campionamenti di 24 ore eseguiti per ciascuna postazione e per ciascuna stagione. I dati sono raggruppati per le diverse classi di metalli e raffrontati con la concentrazione totale di PM10 rilevata nelle stesse giornate.

Figura 2.7-h. Metalli nel PM10 - Valori medi di campagna



Da una prima analisi si può constatare come, in generale, le concentrazioni di metalli nel periodo estivo siano maggiori rispetto ai valori invernali.

Tra le postazioni, quelle di Aurelia (A) e Parco Antonelli (D), presentano concentrazioni più basse d'inverno e più alte d'estate rispetto alle altre due. Inoltre l'aumento estivo di metalli rilevato da queste due postazioni non è associato ad un aumento di polverosità, ma consiste in una maggiore concentrazione di metalli nel particolato. Questo è vero anche per S. Agostino, dove, a parità di concentrazione totale di metalli, il PM10, nelle giornate di analisi dei metalli, diminuisce mediamente in estate. Per quanto riguarda Poggio Ombriccolo, invece, l'aumento estivo della concentrazione di metalli è associato all'aumento della polverosità e, contrariamente a quanto accade nelle altre postazioni, la concentrazione specifica dei metalli nel PM10 diminuisce in estate. Le figure Figura 2.7-i, Figura 2.7-j, Figura 2.7-k e Figura 2.7-l mostrano gli andamenti di dettaglio dei valori rilevati per tutti i metalli.

**Figura 2.7-i. Metalli nel PM<sub>10</sub> nella postazione A (Aurelia) in inverno ed in estate**

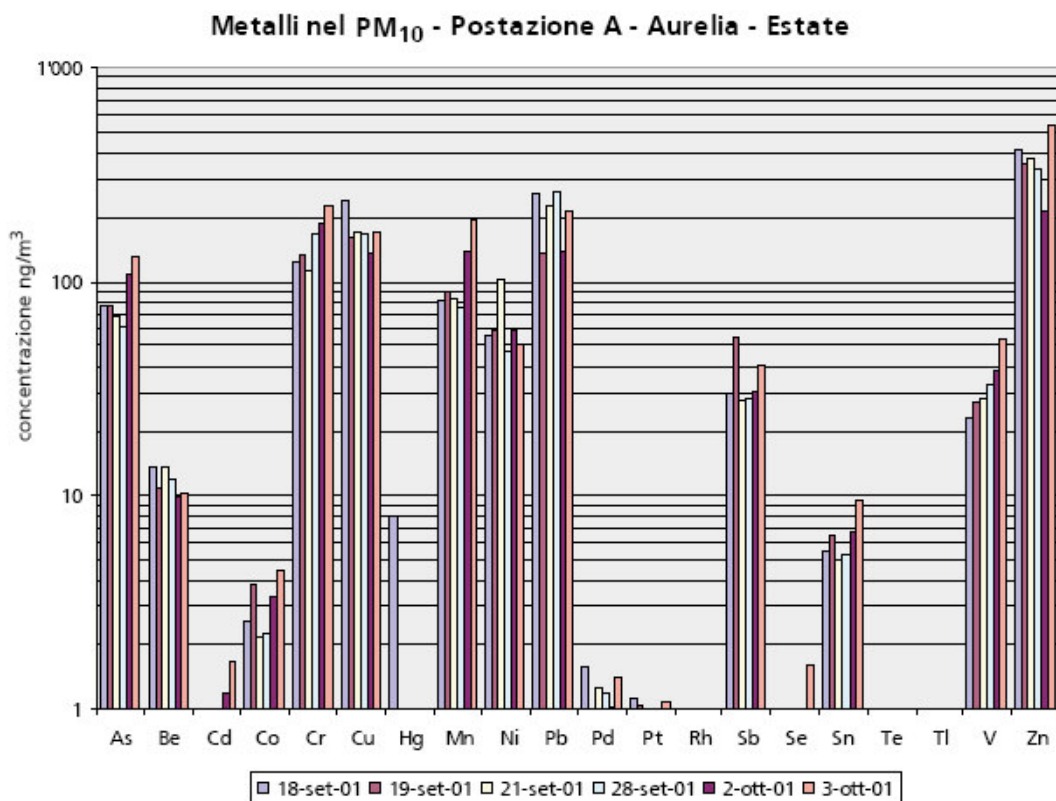
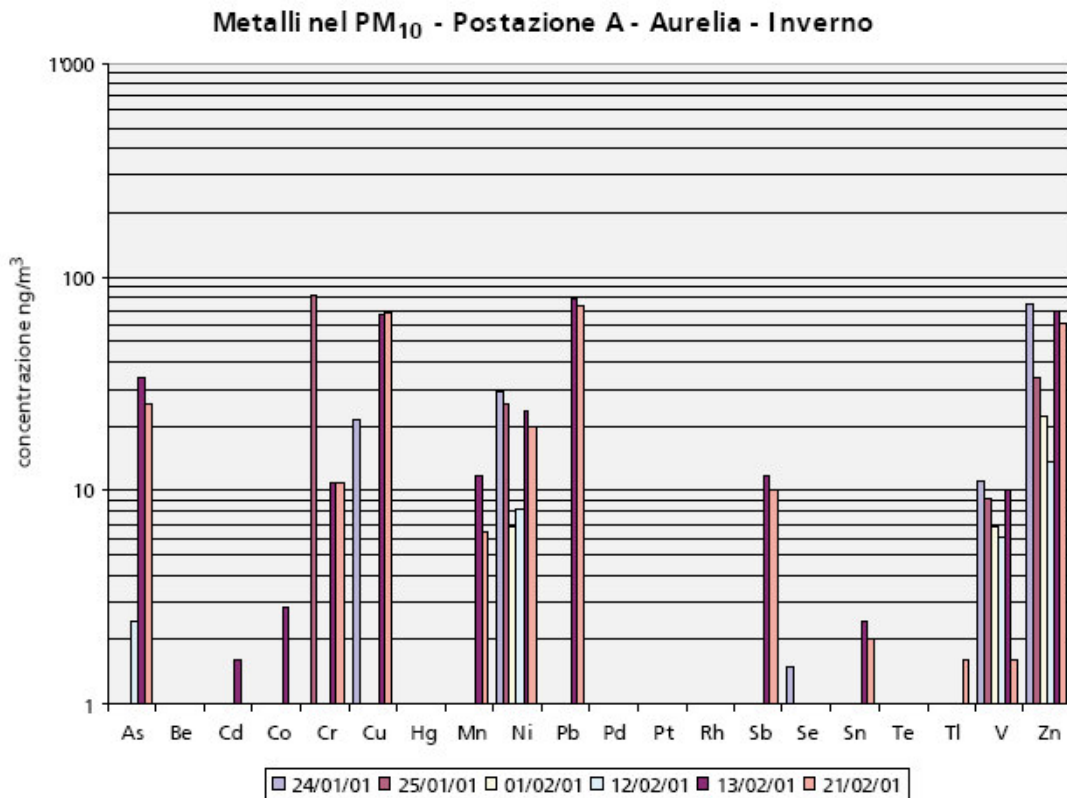




Figura 2.7-j. Metalli nel PM<sub>10</sub> nella postazione B (Sant'Agostino) in inverno ed in estate.

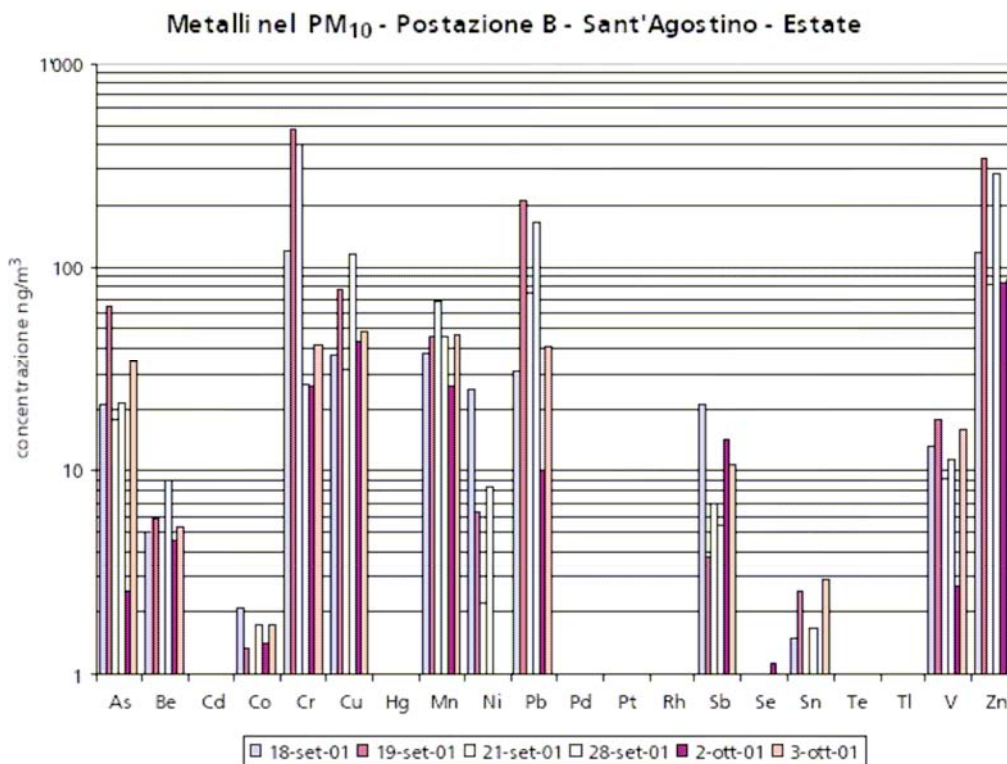
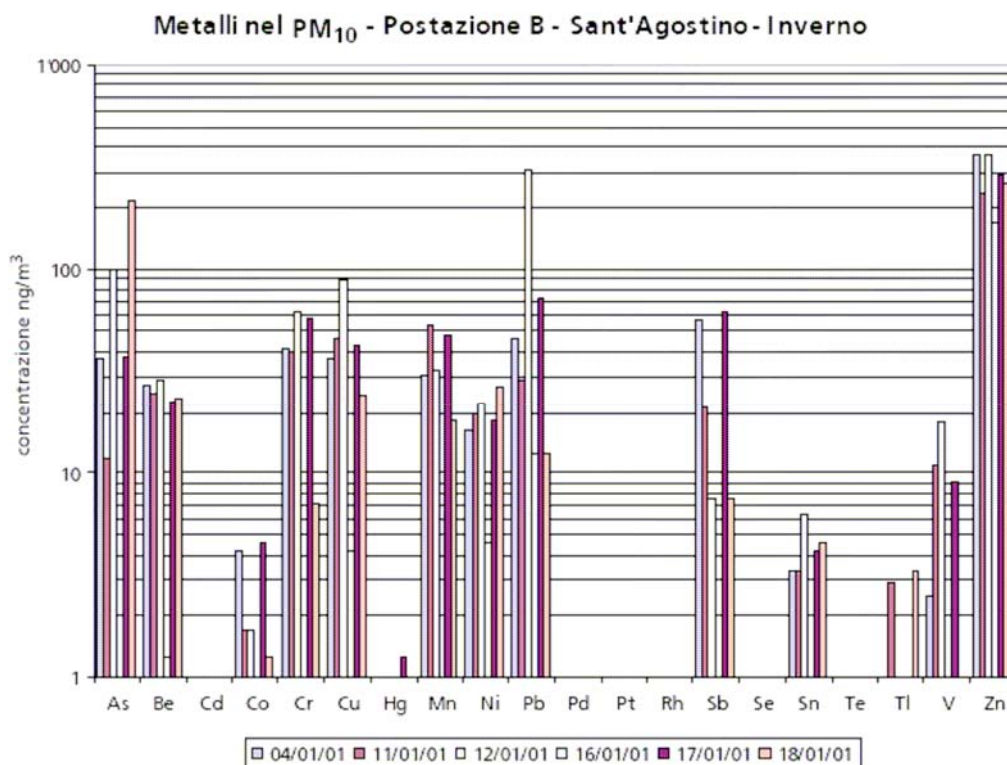




Figura 2.7-k. Metalli nel PM<sub>10</sub> nella postazione C (Poggio Ombriccolo) in inverno ed in estate.

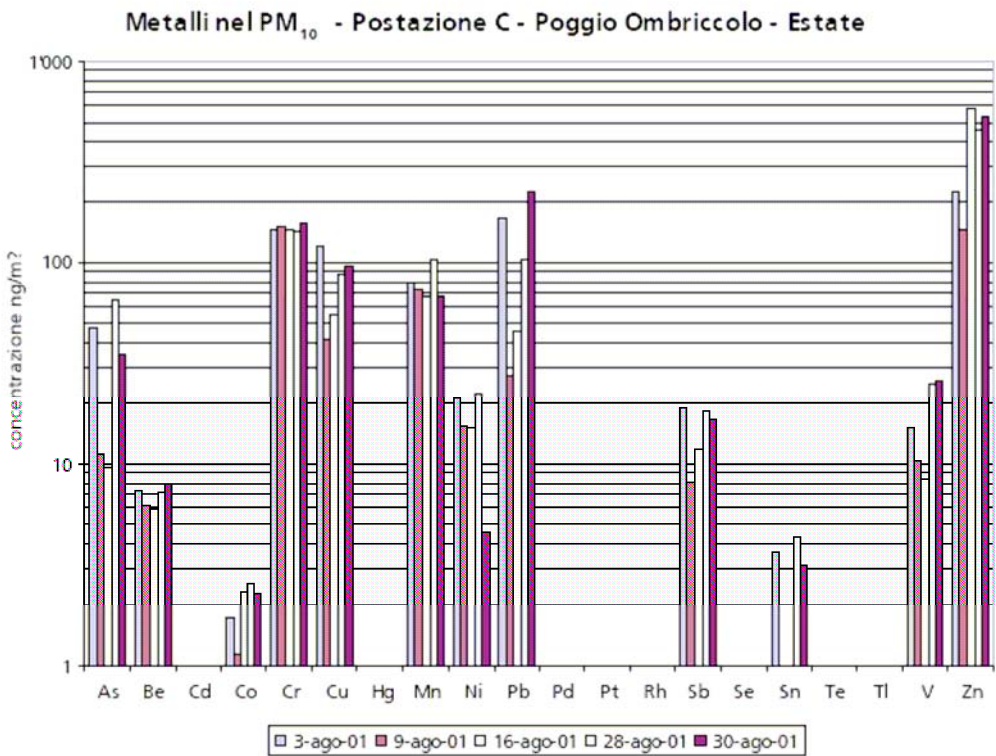
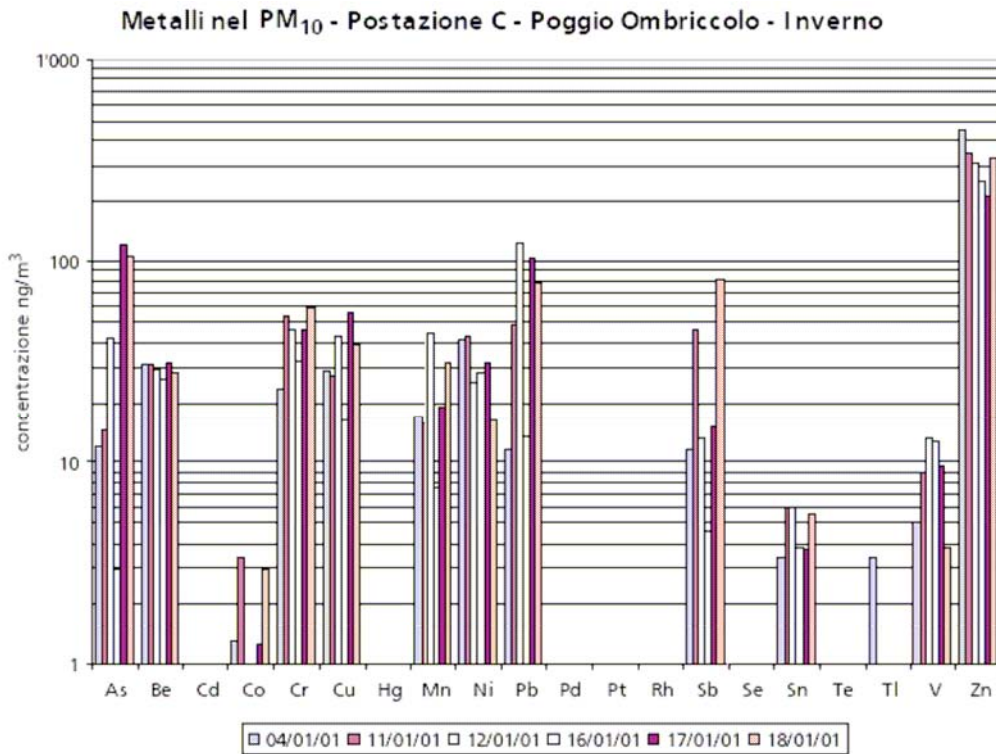
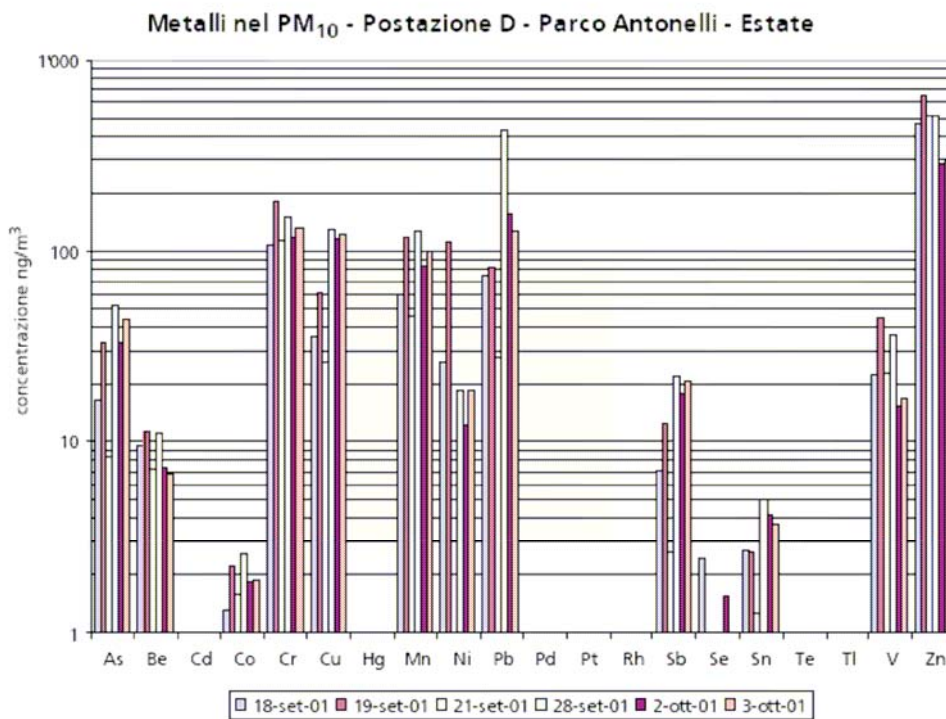
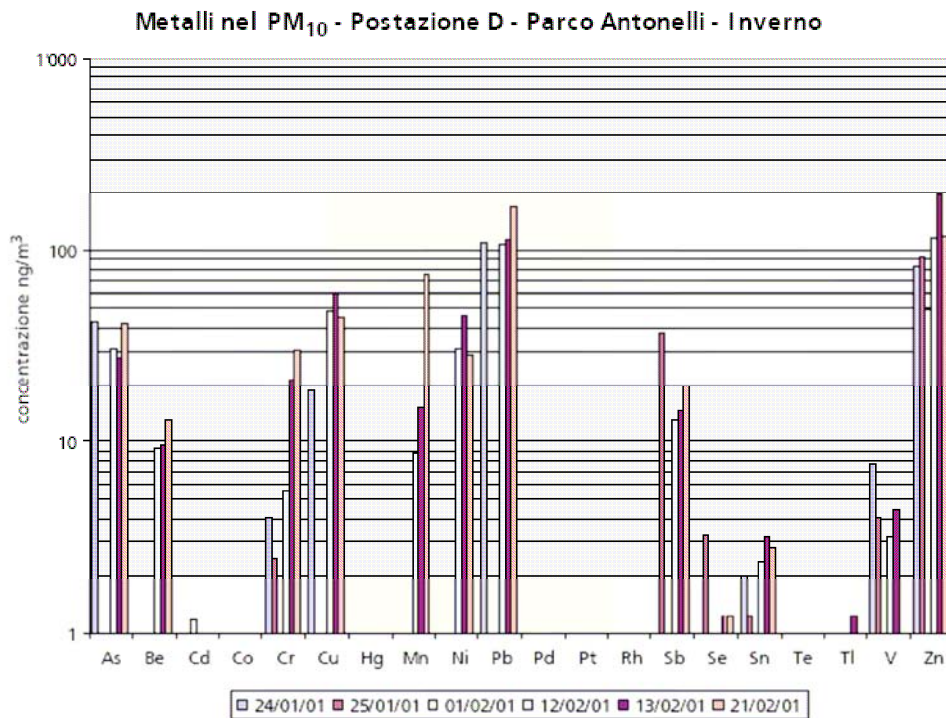


Figura 2.7-1. Metalli nel PM<sub>10</sub> nella postazione D (Parco Antonelli) in inverno ed in estate.



## 2.8 Contributi dell'impianto trasformato (modellistica diffusionale)

### 2.8.1 Quadro emissivo

La valutazione delle concentrazioni al suolo è stata condotta prendendo in considerazione un quadro emissivo che vede la centrale di Torrevaldaliga Nord operativa con 3 gruppi termoelettrici a carbone, che scaricano gli inquinanti in atmosfera attraverso un camino multiflusso le cui caratteristiche sono riportate in Tabella 2.8-a.

Tabella 2.8-a. Caratteristiche fisiche ed emissive dell'impianto trasformato

Sezione	Potenza MW	camino		Fumi		Emissioni mg/Nm <sup>3</sup> (fumi secchi)		
		h	d	Portata tal quali	Temp	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	Polveri
		(m)	(m)	(Nm <sup>3</sup> /h)	(°C)			
TN1	660		5.7	2 100 000	110	100	150	20
TN2	660		5.7	2 100 000	110	100	150	20
TN3	660		5.7	2 100 000	110	100	150	20
<b>Camino equivalente</b>								
TN1-2-3	1980	250	9.9	6 300 000	110	100	150	20

### 2.8.2 Simulazioni modellistiche SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PTS

L'assetto emissivo delineato nel precedente paragrafo è stato confrontato con la normativa di riferimento in materia di qualità dell'aria. A questo scopo sono state effettuate alcune simulazioni con il modello matematico ISCST3.

La griglia di calcolo dei punti recettori ed i dati meteorologici richiesti in input dal modello sono stati definiti sfruttando precedenti studi modellistici. In particolare, l'input meteorologico è stato ottenuto dai dati rilevati presso la stazione meteorologica della centrale di Torrevaldaliga Nord che dispone anche di rilievi anemologici in quota. Dai rilevamenti eseguiti nel periodo compreso tra il 1997 ed il 2001, sono stati estratti circa 2 anni per un totale di 20160 record orari corrispondenti a 840 giorni completi equamente ripartiti tra i vari mesi. L'altezza dello strato rimescolato è stata assunta pari a 10.000 m. Il dominio di calcolo, scelto in base alle caratteristiche del sito ed al tipo di emissione, è costituito da un'area di lato pari a 25 km in direzione E-O e 31 km in direzione N-S con la centrale ENEL situata in X = 728000 m (UTM Est) e Y = 4667650 m (UTM Nord). I punti ricettori sono stati disposti su una griglia a maglie quadrate con un passo variabile tra 500 e 250 metri, più fitte all'aumentare della quota, per un totale di 4216 punti ricettori.

I risultati delle simulazioni condotte sono riassunti nella successiva Tabella 2.8-b che riporta i valori massimi stimati nel dominio di calcolo dei diversi parametri statistici definiti dalla normativa vigente.

Per la valutazione degli standard di qualità dell'aria, non potendo predeterminare i periodi di effettivo funzionamento degli impianti, questi sono stati considerati funzionanti in modo continuo tutto l'anno.

La valutazione delle concentrazioni al suolo di biossido di azoto è stata effettuata applicando la metodologia di ossidazione e trasformazione fotochimica degli ossidi di azoto (metodologia nota come Nuvola). Per quanto riguarda invece le concentrazioni di polveri, essendo l'impianto dotato di sistemi di abbattimento in grado di eliminare la quasi totalità delle polveri di diametro superiore ai 10 µm, si è assunto cautelativamente che tutto il particolato emesso sia inferiore ai 10µm.

La Tabella 2.8-b riporta inoltre i valori massimi dei parametri statistici calcolati in precedenti studi modellistici e relativi all'assetto della centrale caratterizzato da 4 gruppi termoelettrici funzionanti a carbone.

**Tabella 2.8-b. Prospetto di riepilogo dei valori massimi calcolati nel caso di trasformazione a carbone di 4 gruppi e nel caso di trasformazione a tre gruppi (assetto autorizzato)**

<b>Ossidi di zolfo (SO<sub>2</sub>)</b>		<b>Limite</b>	<b>TN 4x660MWe</b>	<b>TN 3x660MWe</b>
<b>Normativa</b>	<b>Parametro</b>	<b>(µg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>(µg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>(µg/m<sup>3</sup>)</b>
valore limite 203/88	50 percentile giornaliero	80	0.01	0.0
valore limite 203/88	98 percentile giornaliero	250	20.0	18.0
D.M. 2 Apr 2002 n.60	Media annuale (Protezione ecosistemi)	20	2.3	2.0
D.M. 2 Apr 2002 n.60	Concentrazione superata per 3g/anno (percentile giornaliero 99.1781)	125	26.0	22.7
D.M. 2 Apr 2002 n.60	Concentrazione superata per 24h/anno (percentile orario 99.7260)	350	231.0	197.4
<b>Biossido di azoto (NO<sub>2</sub>)</b>				
<b>Normativa</b>	<b>Parametro</b>	<b>Limite (µg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>TN 4x660MWe (µg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>TN 3x660MWe (µg/m<sup>3</sup>)</b>
valori guida 203/88	50 percentile orario	50	0.0	0.0
valore limite 203/88	98 percentile orario	200	27.0	24.0
D.M. 2 Apr 2002 n.60	Media annuale	40	1.0	1.0
D.M. 2 Apr 2002 n.60	Concentrazione superata per 18h/anno (percentile orario 99.7945)	200	73.0	71.0
<b>Ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>)</b>				
D.M. 2 Apr 2002 n.60	Media annuale (Protezione vegetazione)	30	3.5	3.0
<b>Particolato fine (PM<sub>10</sub>)</b>				
<b>Normativa</b>	<b>Parametro</b>	<b>Limite (µg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>TN 4x660MWe (µg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>TN 3x660MWe (µg/m<sup>3</sup>)</b>
D.M. 2 Apr 2002 n.60	Media annuale - Fase1	40	0.5	0.4
D.M. 2 Apr 2002 n.60	Media annuale - Fase2	20	0.5	0.4
D.M. 2 Apr 2002 n.60	Concentrazione superata per 35g/anno - Fase 1 (percentile giornaliero 90.4110)	50	2.0	1.7
D.M. 2 Apr 2002 n.60	Concentrazione superata per 7g/anno - Fase 2 (percentile giornaliero 98.0822)	50	4.0	3.6
<b>Particolato totale (PTS)</b>				
valore limite 203/88	95 percentile giornaliero	300	2.8	2.5

L'esame della tabella evidenzia, nel passaggio da 4 a 3 gruppi termoelettrici funzionanti, una riduzione nei valori massimi dei vari parametri statistici definiti dalla normativa vigente. Tale riduzione non è direttamente proporzionale alla riduzione delle emissioni dal camino.

Nei paragrafi seguenti, uno per inquinante, sono presentate le mappe dei contributi prodotti nella configurazione della centrale con 3 gruppi termoelettrici a carbone per i parametri di maggiore interesse per il biomonitoraggio.



Figura 2.8-a. Concentrazioni medie annuali di SO<sub>2</sub>

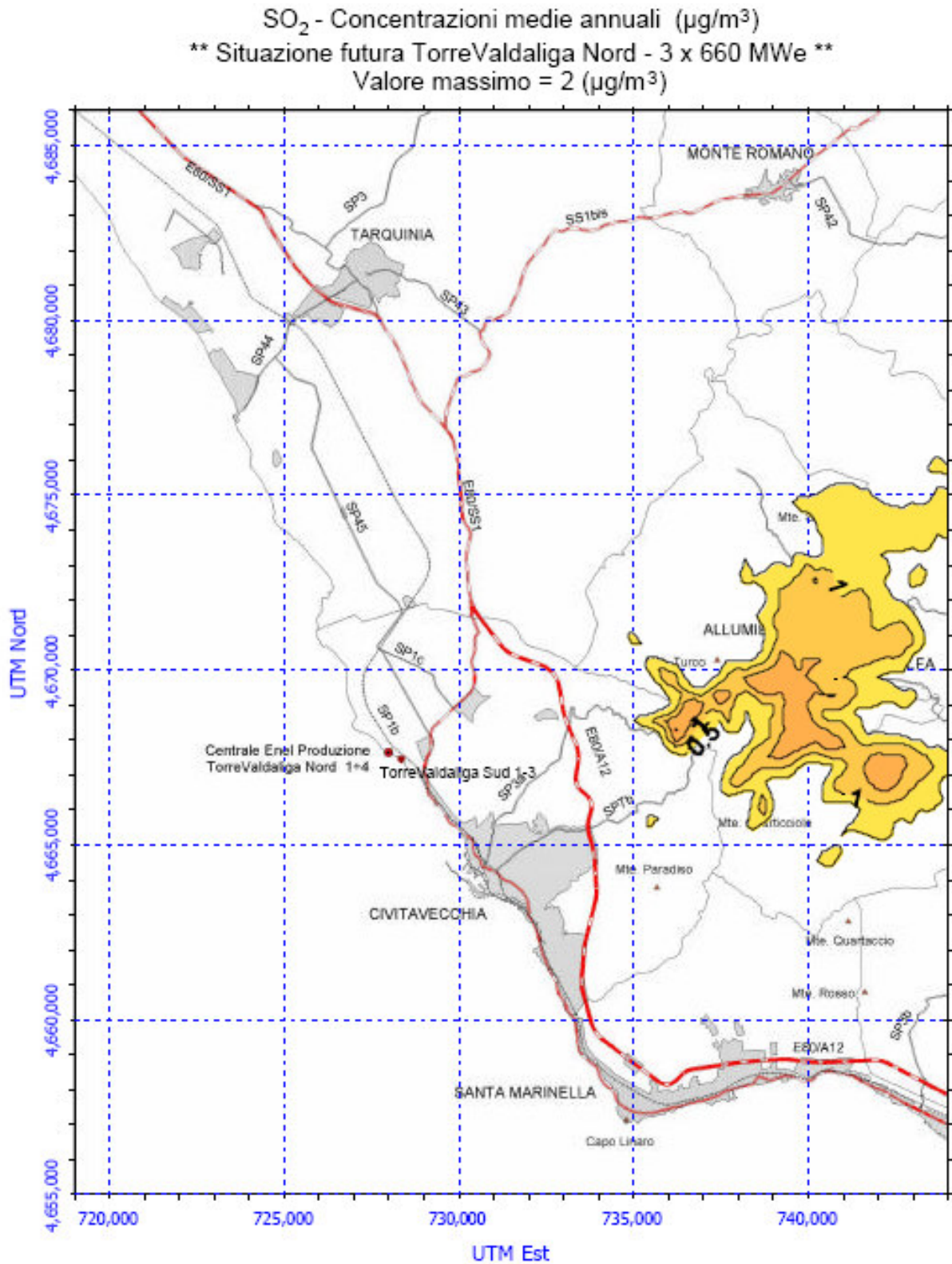


Figura 2.8-b. Situazione futura. 98° percentile delle concentrazioni medie giornaliere di SO<sub>2</sub>

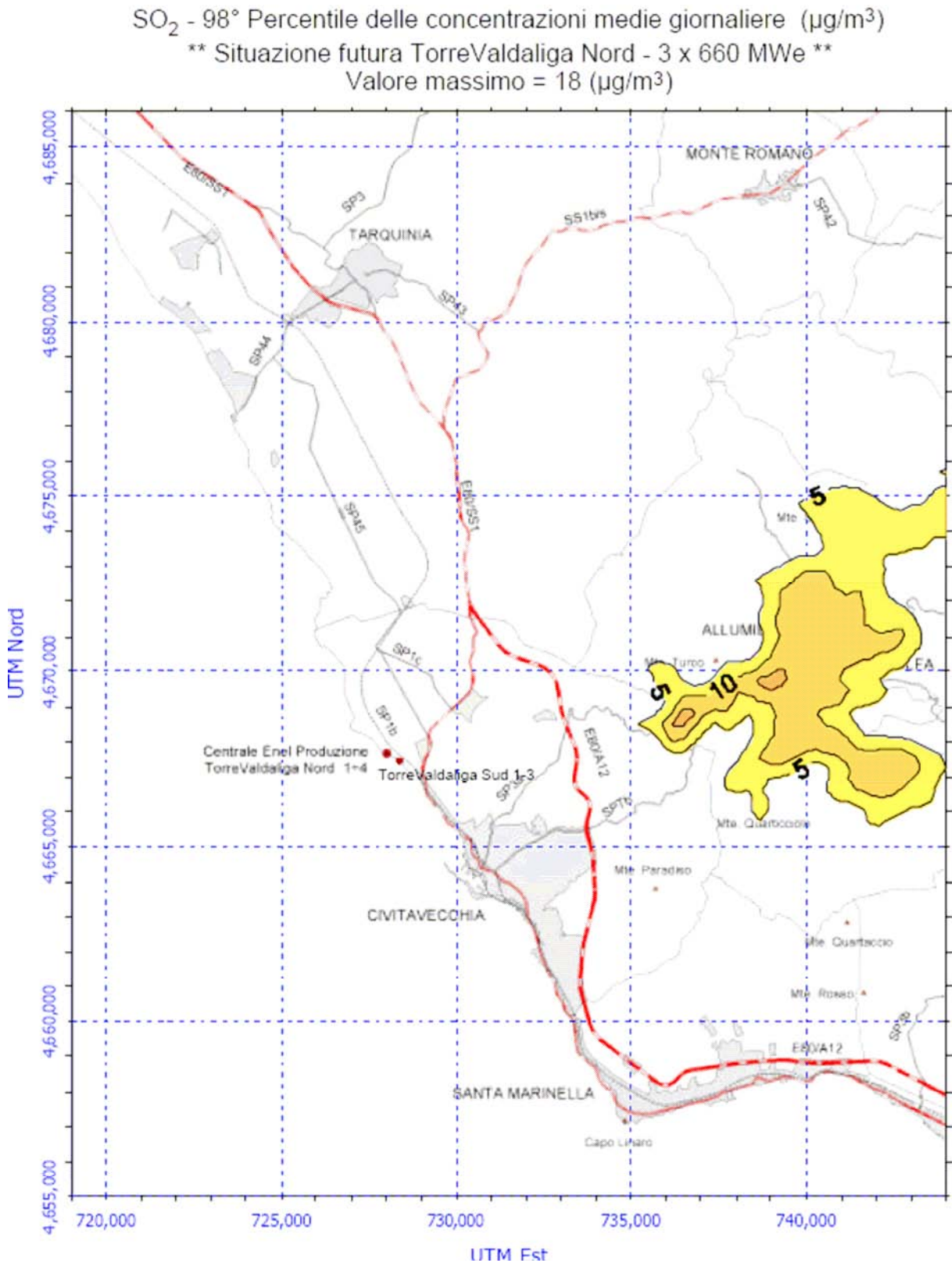


Figura 2.8-c. Concentrazione media annuale di NO<sub>x</sub>

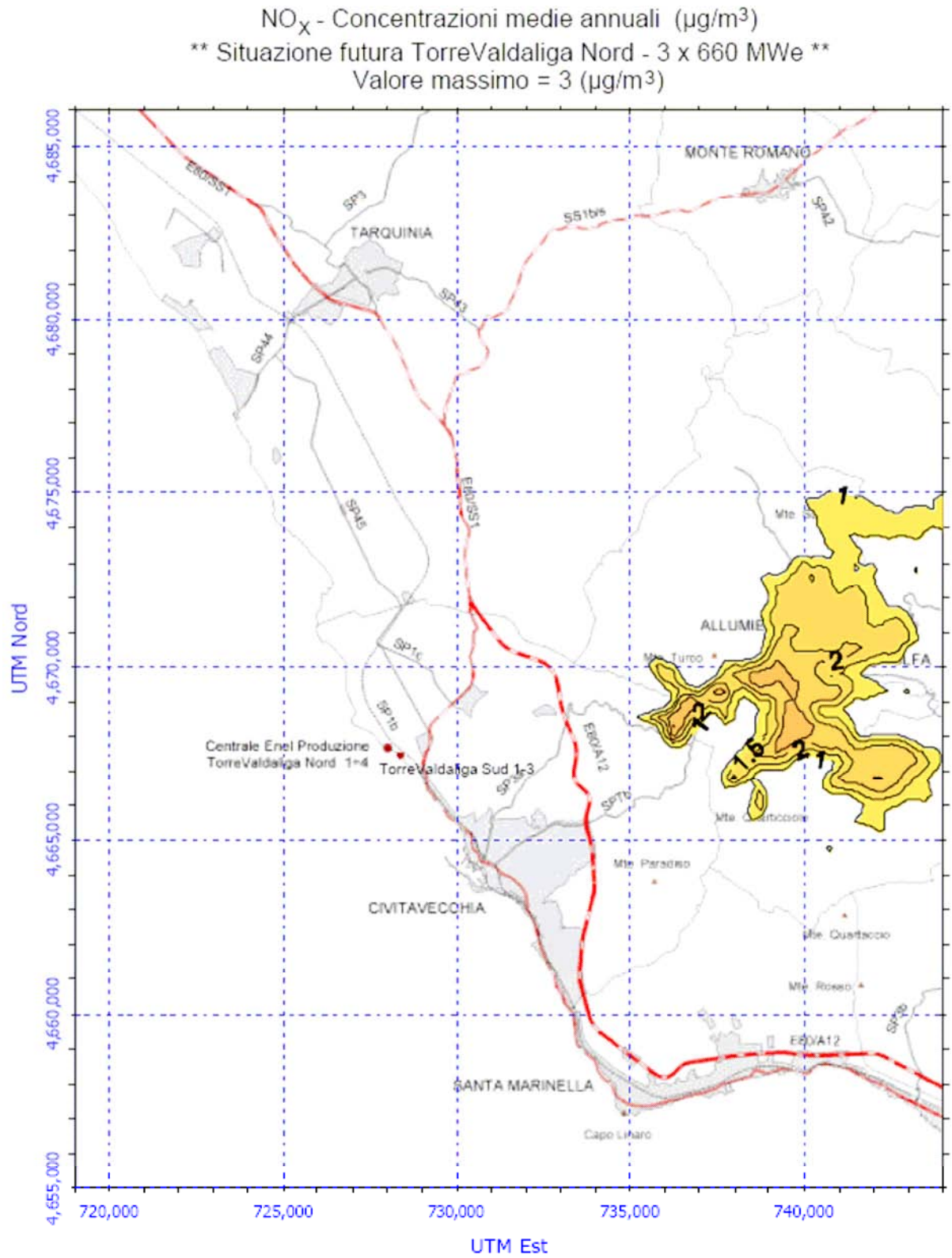




Figura 2.8-d. Concentrazione media annuale di NO<sub>2</sub>

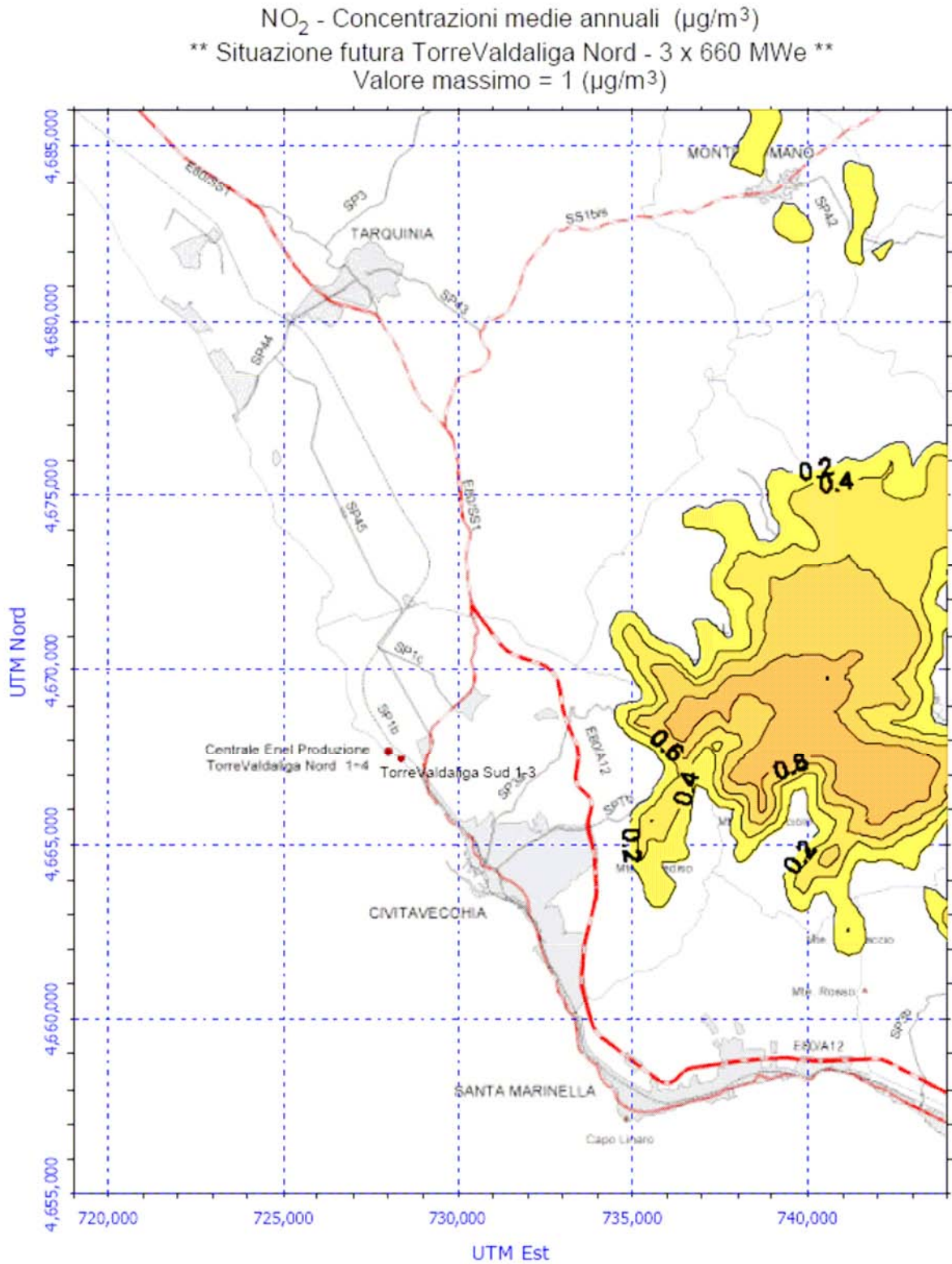




Figura 2.8-e. 98° percentile delle concentrazioni medie giornaliere di NO<sub>2</sub>

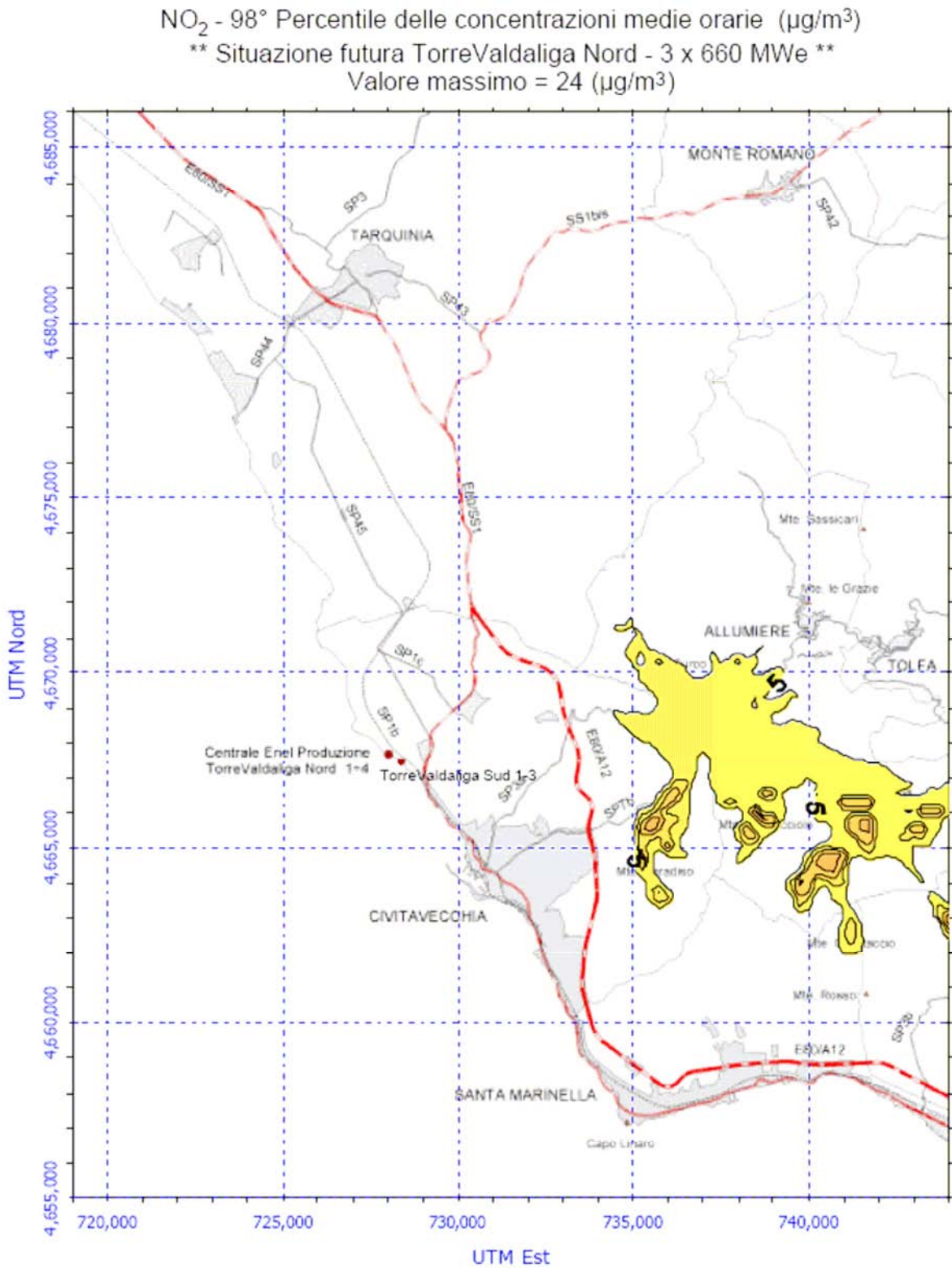
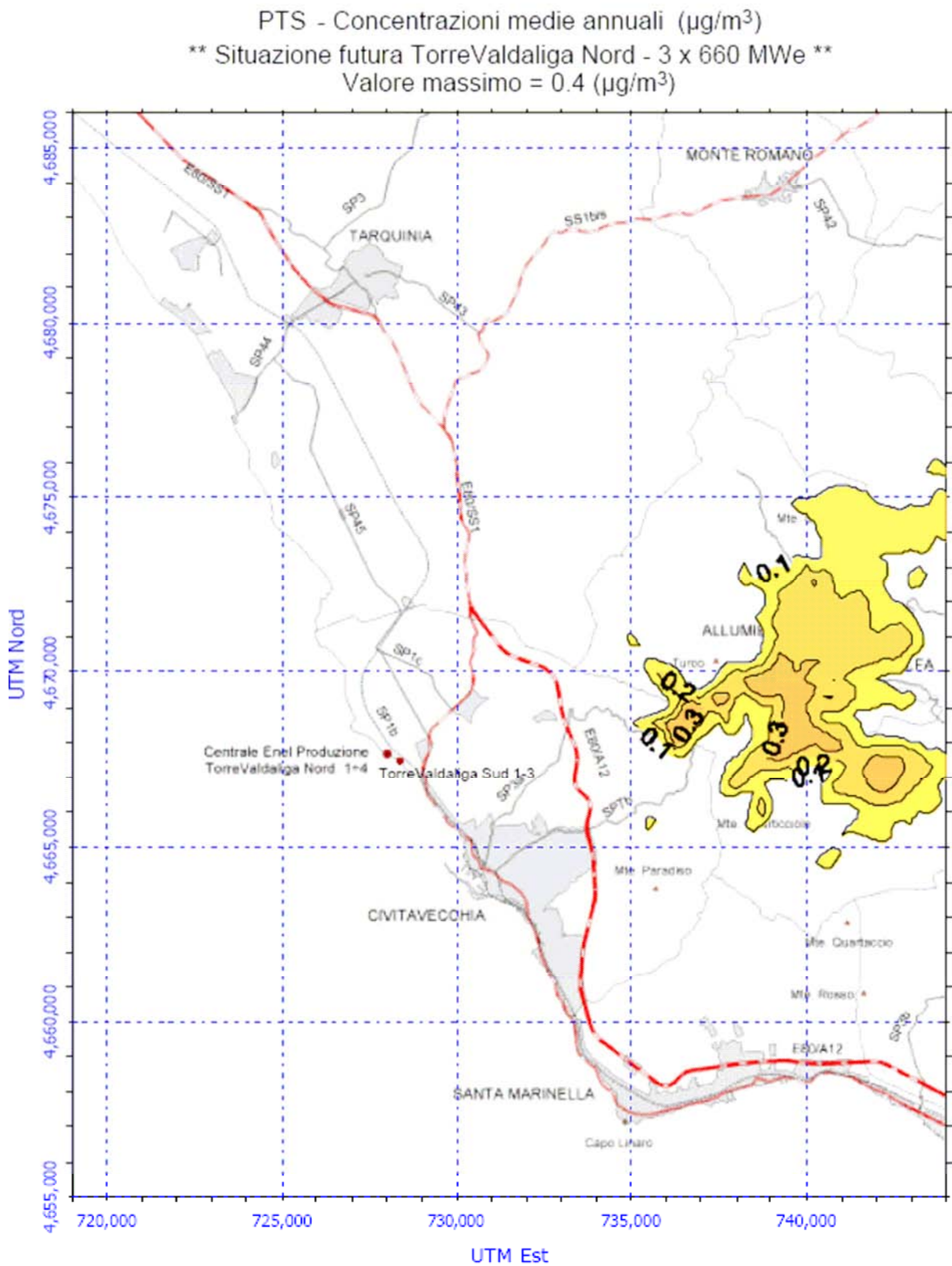
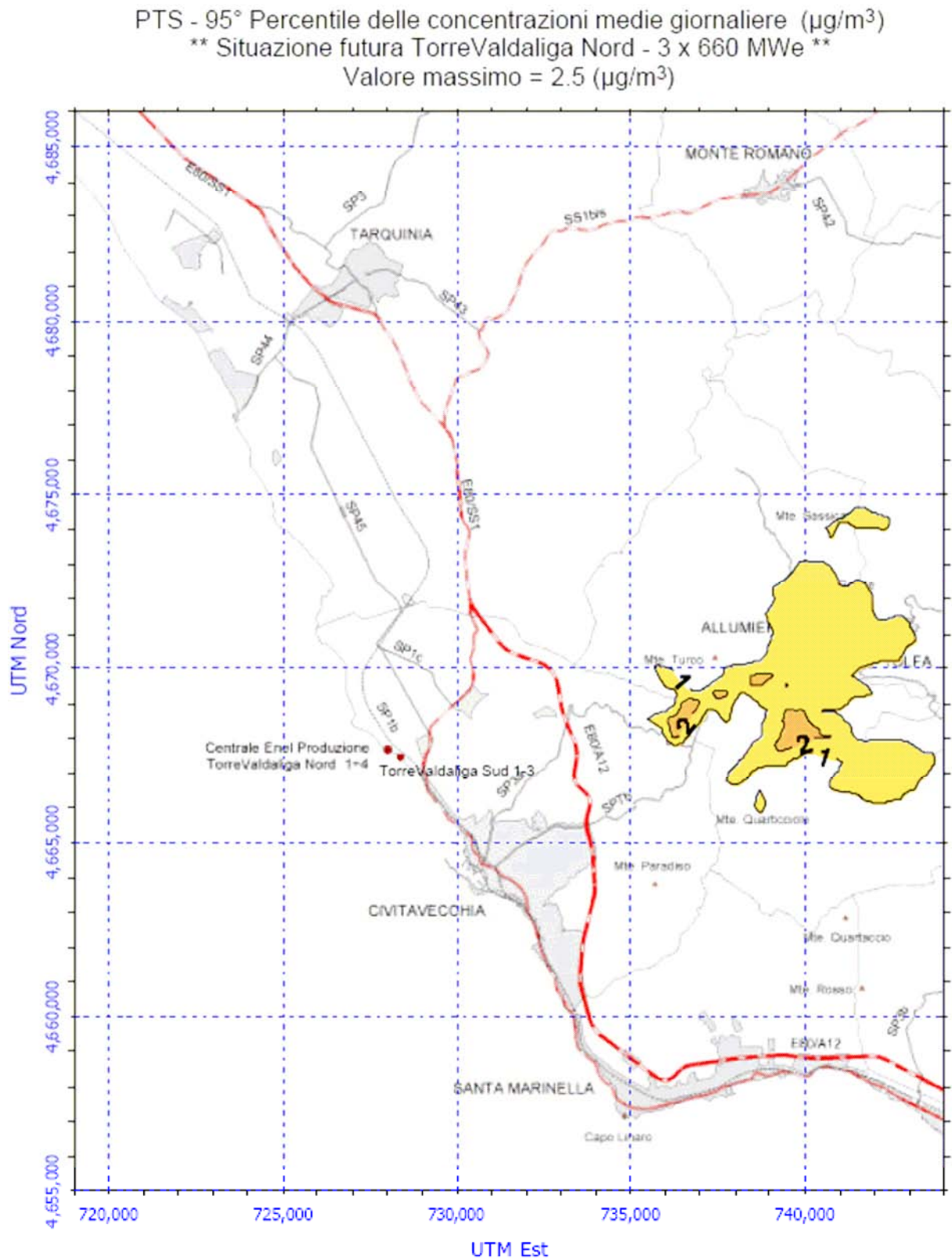


Figura 2.8-f. Concentrazione media annuale di PTS



**Figura 2.8-g. 95° percentile delle concentrazioni medie giornaliere di PTS**



### 2.8.3 Simulazioni modellistiche relative agli elementi in traccia

La tabella seguente presenta i valori di emissione in kg/anno stimati per la centrale di Torrevaldaliga Nord nella configurazione attuale a olio combustibile e le emissioni attese per le unità Unità da 660 MW alimentate a carbone, dotate di impianto DeSOx, rappresentative per la situazione futura. La tabella presenta l'emissione totale annua di 4 gruppi da 660 MW funzionanti a pieno carico per 6000 ore/anno (CESI, 2002).

**Occorre considerare che l'assetto futuro è rappresentato dall'esercizio di 3 gruppi 660 MW alimentati a carbone e, quindi, i dati sia di emissioni sia di immissioni riportati sono sicuramente sovrastimati; lo scopo dell'utilizzo di questi dati è di disporre unicamente di informazioni spaziali relative alla distribuzione degli elementi in traccia per la progettazione del sistema di biomonitoraggio.**

Tabella 2.8-c. Emissioni di metalli da 4 gruppi di 660 MW funzionanti a pieno carico per 6000 ore/anno

composto	Torre Nord attuale a OC	Emissioni attese per Torrevaldaliga Nord Futura a carbone con DeSOx e filtri a manica
	kg/anno	kg/anno
As	457	361
Be	11	14
Cd	30	6
Co	337	23
Cr	713	457
Cu	560	122
Hg	25	37
Mn	2 994	169
Ni	7 994	287
Pb	520	200
Pd	46	13
Pt	8	5
Rh	33	5
Sb	29	12
Se	292	198
Sn	249	200
Te	15	17
Tl	314	5
V	3 421	1 511

Le simulazioni modellistiche delle immissioni al suolo dei vari microinquinanti inorganici, mostrano, per l'area in esame, i seguenti valori massimi calcolati per le concentrazioni medie annuali:

**Tabella 2.8-d. Microinquinanti inorganici Prospetto di riepilogo dei valori massimi calcolati per la concentrazione media annuale Valori in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (picogrammi/metro cubo).**

composto	Torre Nord attuale a OC	Concentrazioni attese per Torrevaldaliga Nord Futura a carbone con DeSOx e filtri a manica
As	209	177
Be	5	7
Cd	14	3
Co	155	11
Cr	327	224
Cu	257	60
Hg	11	18
Mn	1372	83
Ni	3664	141
Pb	239	98
Pd	21	7
Pt	4	2
Rh	15	3
Sb	13	6
Se	134	97
Sn	114	98
Te	7	8
Tl	144	2
V	1568	741

Le figure Figura 2.8-h e Figura 2.8-i mostrano la distribuzione delle concentrazioni medie annuali riferite al Cromo totale sia per la situazione impiantistica attuale, che per la futura. Poiché i processi di dispersione sono gli stessi, la distribuzione spaziale delle concentrazioni degli altri inquinanti può essere ottenuta moltiplicando i valori delle curve per il rapporto tra la concentrazione massima per l'inquinante di interesse e quella del Cromo indicata nella tabella precedente.. Per gli inquinanti inorganici i fattori che si ottengono sono i seguenti:

**Tabella 2.8-e. Fattori moltiplicativi da applicare ai valori delle curve delle mappe relative al Cromo totale, per ottenere i valori corrispondenti del composto di interesse**

COMPOSTO	ASSETTO ATTUALE	ASSETTO FUTURO
As	0.64	0.79
Be	0.02	0.03
Cd	0.04	0.01
Co	0.47	0.05
Cr	1.00	1.00
Cu	0.78	0.27
Hg	0.03	0.08
Mn	4.20	0.37
Ni	11.21	0.63
Pb	0.73	0.44
Pd	0.06	0.03
Pt	0.01	0.01
Rh	0.05	0.01
Sb	0.04	0.03
Se	0.41	0.43
Sn	0.35	0.44
Te	0.02	0.04
Tl	0.44	0.01
V	4.80	3.31



Figura 2.8-h. Situazione Attuale. Medie annuali delle concentrazioni al suolo di Cr totale Valori in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Cromo - Media delle concentrazioni ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

\*\* Situazione attuale TorreValdaliga Nord \*\*

Valore massimo = 327 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

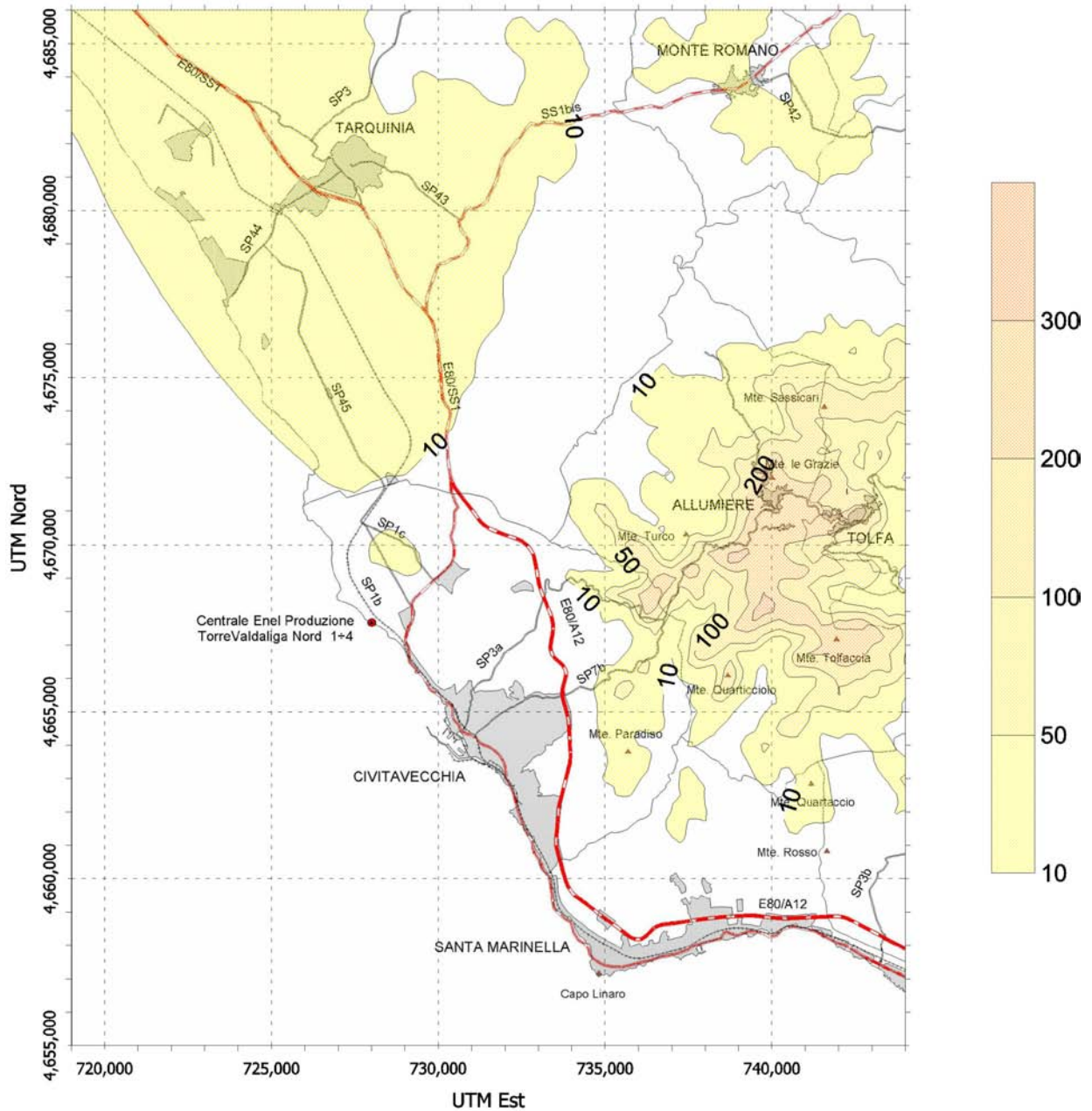
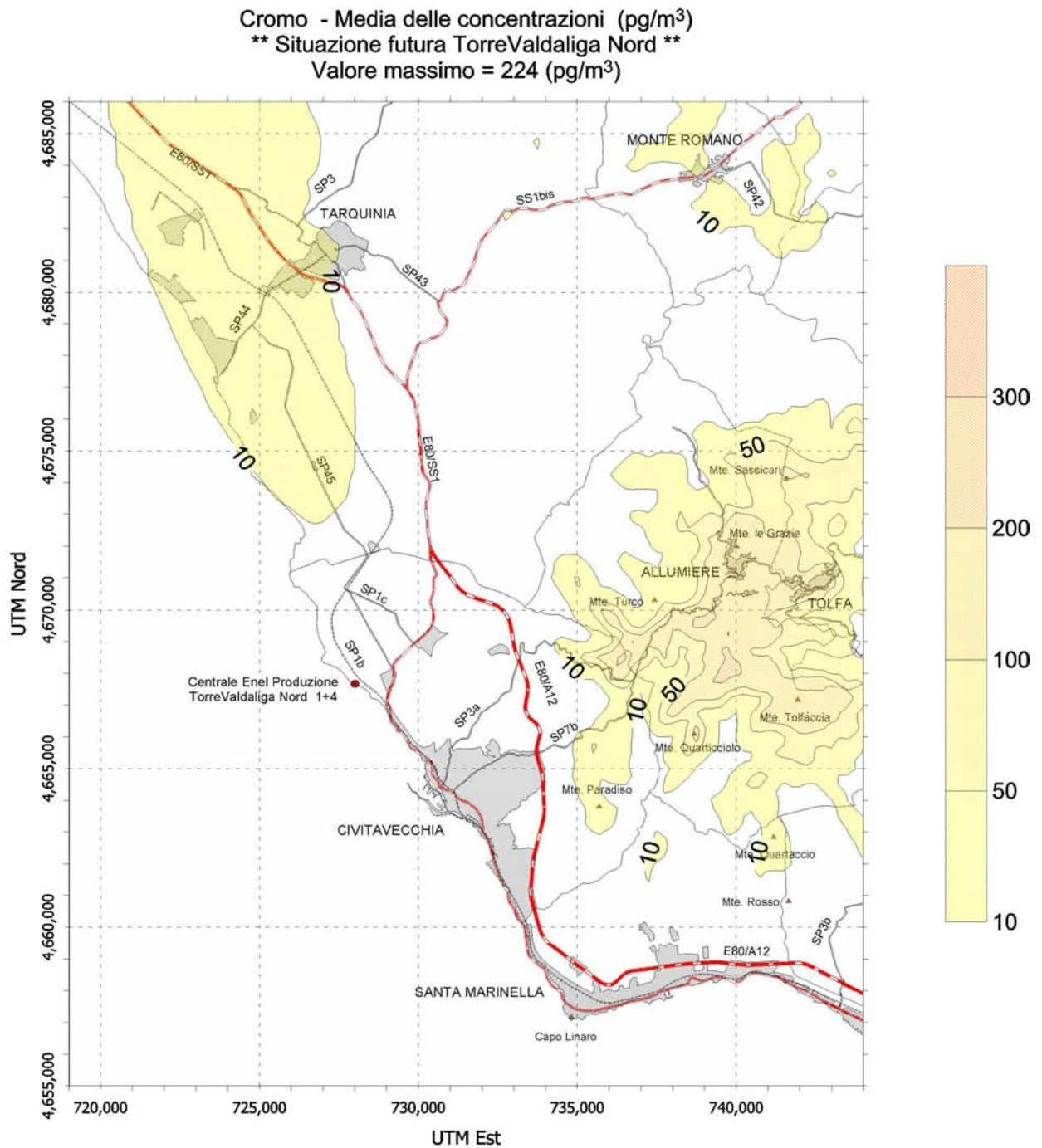


Figura 2.8-i. Situazione futura. Medie annuali delle concentrazioni al suolo di Cr totale Valori in  $\text{pg}/\text{m}^3$





Al fine di valutare le deposizioni al suolo, gli elementi in traccia emessi dall'impianto si possono considerare, in via cautelativa, associati al particolato.

I valori ottenuti dalle simulazioni vengono inoltre confrontati con le concentrazioni naturali presenti nei suoli interessati valutando i tempi di raddoppio delle concentrazioni naturali; a questo scopo si considerando, quindi, due tipologie di terreni: terreni forestali e a pascolo (Tolfa) e terreni agricoli (maremma laziale).

Il volume di terreno coinvolto nel processo di accumulo nelle aree forestali (Tolfa) per 1 m<sup>2</sup> di superficie è di 100.000 cm<sup>3</sup> (10.000 cm<sup>2</sup> x 10 cm di profondità). La densità apparente per un terreno argilloso con presenza di sostanza organica nell'orizzonte superficiale per la Tolfa è pari a circa 1,1 g/cm<sup>3</sup>: il peso di terreno in cui si miselano le deposizioni calcolate per m<sup>2</sup> è quindi di 110 kg.

Il volume di terreno coinvolto nel processo di accumulo nelle aree agricole (maremma laziale) per 1 m<sup>2</sup> di superficie è di 400.000 cm<sup>3</sup> (10.000 cm<sup>2</sup> x 40 cm di profondità di aratura. La densità apparente per un terreno franco argilloso è pari a circa 1,2 g/cm<sup>3</sup>: il peso di terreno in cui si miselano le deposizioni calcolate per m<sup>2</sup> è quindi di 480 kg.

Per ogni inquinante, sulla base del contenuto tipico nei suoli, viene calcolato il tempo necessario affinché si accumuli un valore equivalente a quello già presente nel suolo.

Questa stima viene eseguita, in via cautelativa, considerando un accumulo progressivo nel terreno, senza tener conto delle asportazioni e trasformazioni a cui i composti vanno incontro

Nella Tabella 2.8-f sono indicati i tassi di deposizione totali nei punti di massima ricaduta, calcolati per le due situazioni impiantistiche considerate (attuale e futuro).

**Tabella 2.8-f. Deposizioni di metalli da 4 gruppi di 660 MW funzionanti a pieno carico per 6000 ore/anno (situazione futura autorizzata 3 gruppi di 660 MW )**

COMPOSTO	TORREVALDALIGA NORD ASSETTO ATTUALE mg/m <sup>2</sup> /anno	TORREVALDALIGA NORD VALORI ATTESI PER L'ASSETTO FUTURO mg/m <sup>2</sup> /anno
As	6.59 x 10 <sup>-1</sup>	4.12 x 10 <sup>-1</sup>
Be	1.64 x 10 <sup>-2</sup>	1.65 x 10 <sup>-2</sup>
Cd	4.30 x 10 <sup>-2</sup>	7.16 x 10 <sup>-3</sup>
Co	4.86 x 10 <sup>-1</sup>	2.58 x 10 <sup>-2</sup>
Cr	1.03	5.22 x 10 <sup>-1</sup>
Cu	8.08 x 10 <sup>-1</sup>	1.39 x 10 <sup>-1</sup>
Hg	3.54 x 10 <sup>-2</sup>	4.22 x 10 <sup>-2</sup>
Mn	4.32	1.93 x 10 <sup>-1</sup>
Ni	1.15 x 10 <sup>+1</sup>	3.28 x 10 <sup>-1</sup>
Pb	7.51 x 10 <sup>-1</sup>	2.28 x 10 <sup>-1</sup>
Pd	6.62 x 10 <sup>-2</sup>	1.52 x 10 <sup>-2</sup>
Pt	1.18 x 10 <sup>-2</sup>	5.80 x 10 <sup>-3</sup>
Rh	4.73 x 10 <sup>-2</sup>	5.98 x 10 <sup>-3</sup>
Sb	4.19 x 10 <sup>-2</sup>	1.43 x 10 <sup>-2</sup>
Se	4.21 x 10 <sup>-1</sup>	2.26 x 10 <sup>-1</sup>
Sn	3.59 x 10 <sup>-1</sup>	2.28 x 10 <sup>-1</sup>
Te	2.13 x 10 <sup>-2</sup>	1.96 x 10 <sup>-2</sup>
Tl	4.53 x 10 <sup>-1</sup>	5.25 x 10 <sup>-3</sup>
V	4.94	1.73

Sulla base dei valori della Tabella 2.8-f sono stati valutati i tempi di accumulo, assumendo che le deposizioni coinvolgano lo strato superficiale dei terreni e considerando un accumulo progressivo nel terreno, senza tener conto delle asportazioni e trasformazioni a cui i composti vanno incontro.

Nel seguente prospetto vengono indicati, per le due tipologie di terreno, i tempi (in anni) necessari affinché, per effetto delle deposizioni dei metalli emessi dall'impianto, le concentrazioni nel terreno raggiungano un valore equivalente a quello già presente.

**Tabella 2.8-g. Tempi di accumulo**

COMPOSTO	CONTENUTO MEDIO/MEDIANO DI RIFERIMENTO PER I SUOLI  <b>mg/kg</b>	ASSETTO ATTUALE		VALORI ATTESI PER L'ASSETTO FUTURO	
		anni		anni	
		Aree agricole	Aree forestali e pascoli	Aree agricole	Aree forestali e pascoli
As	6	4400	1000	7000	1600
Be	0.9	26000	6000	26000	6000
Cd	0.35	3900	900	23000	5400
Co	8	7900	1800	150000	34000
Cr	70	33000	7500	64000	15000
Cu	30	18000	4100	100000	24000
Hg	0.06	810	190	680	160
Mn	1000	110000	25000	2500000	570000
Ni	50	2100	480	73000	17000
Pb	35	22000	5100	74000	17000
Pd	nd	nd	nd	nd	nd
Pt	nd	nd	nd	nd	nd
Rh	nd	nd	nd	nd	nd
Sb	3	34000	7900	100000	23000
Se	0.5	570	130	1100	240
Sn	4	5300	1200	8400	1900
Te	nd	nd	nd	nd	nd
Tl	0.49	520	120	45000	10000
V	150	15000	3300	42000	9600

Le figure Figura 2.8-j e Figura 2.8-k mostrano la distribuzione dei tassi annuali di deposizione per la situazione attuale e per quella futura relativamente al cromo totale. Per gli altri elementi basta moltiplicare il valore sulle curve per il rapporto tra tasso di deposizione dell'elemento di interesse e quello del cromo riportati nella precedente tabella contenente i valori massimi di deposizione.

Figura 2.8-j. Deposizione al suolo di Cr nella situazione attuale (mg/m<sup>2</sup>/anno)

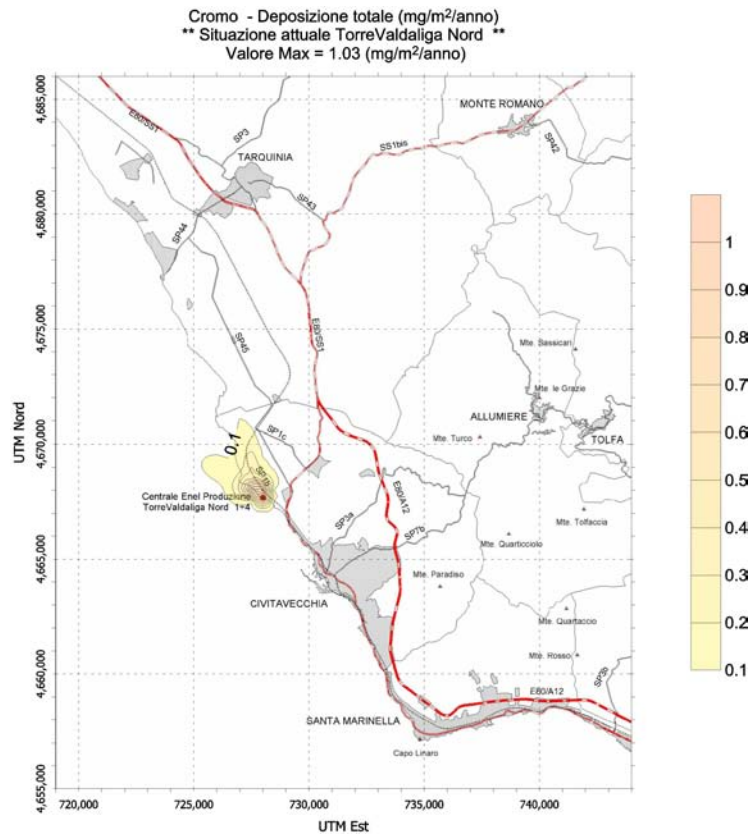
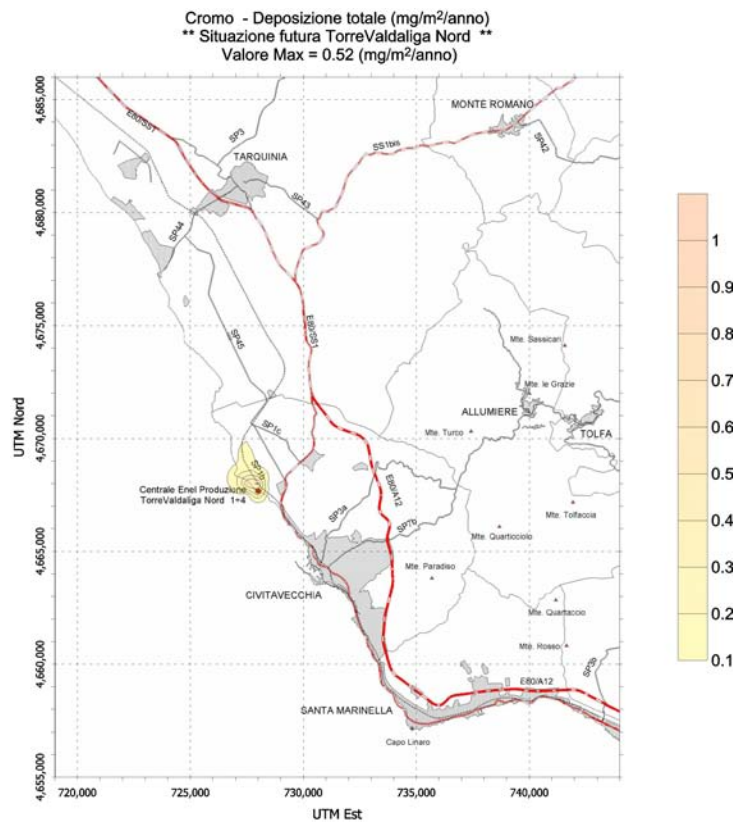


Figura 2.8-k. Deposizione al suolo di Cr nella situazione futura con 4 gruppi da 660 MW (mg/m<sup>2</sup>/anno)



## 2.9 Suolo

Dall'esame della Carta dei Suoli d'Italia (Mancini F., 1966a e 1966b), emerge che l'area di interesse è caratterizzata dalle seguenti associazioni di suoli:

- a) Suoli bruni mediterranei, suoli lisciviati e litosuoli.
- b) Regosuoli e vertisuoli.
- c) Andosuoli e litosuoli.
- d) Suoli bruni calcarei, rendzina e suoli bruni lisciviati.
- e) Vertisuoli e suoli alluvionali.
- f) Suoli rossi mediterranei, suoli bruni e litosuoli.
- g) Suoli alluvionali.

### a) Suoli bruni mediterranei, suoli lisciviati e litosuoli

Si tratta di suoli su substrato roccioso, talvolta affiorante, di varia natura. Tale substrato è frequentemente costituito da rocce eruttive (es. granito), sedimentarie (arenarie e argille), metamorfiche (gneiss, micascisti, filladi etc.) e di rado risulta costituito da calcari.

I suoli bruni mediterranei, presenti in prevalenza sui pendii, hanno un orizzonte umifero superficiale decisamente rilevante, specialmente sotto macchia densa o lecceta.

I suoli lisciviati, che tendono ad occupare i pianori, mostrano l'orizzonte A2 ben evidente; si tratta probabilmente di suoli di origine più antica e non di rado mostrano in profondità tracce di idromorfia. Sono, inoltre, presenti tutti gli stadi di passaggio ai suoli lisciviati a pseudogley.

I litosuoli non costituiscono un'elevata percentuale della superficie occupata dall'associazione.

Questa associazione occupa la superficie maggiore all'interno dell'area di studio, comprendendo anche l'area industriale in cui è ubicato l'impianto termoelettrico da trasformare.

### b) Regosuoli e vertisuoli

Associazione tipica del Pliocene marino argilloso e limoso (facies piacentiana). In particolare i regosuoli si possono ritrovare soprattutto dove sono presenti forti pendenze con forme calanchive. I vertisuoli invece sono presenti con maggiore probabilità dove i pendii sono meno accentuati ed il substrato è fortemente argilloso, con una mineralogia dominata da specie a reticolo espandibile.

L'associazione si sviluppa su di una superficie piuttosto estesa nella parte nord dell'area considerata ed è attraversata dal Fiume Mignone.

### c) Andosuoli e litosuoli

Associazione costituita da suoli di origine vulcanica con spiccate caratteristiche allofaniche (andosuoli), alternati con litosuoli ed affioramenti di substrato roccioso. Gli andosuoli generalmente presentano profondità piuttosto contenute (pochi decimetri) e quindi la coltivabilità è in genere bassa.

Tale associazione è presente in un'area relativamente poco estesa, ubicata al centro del comprensorio Tolfetano.

### d) Suoli bruni calcarei, rendzina e suoli bruni lisciviati

Si tratta di un complesso di suoli evoluti comprendente:

- i suoli bruni calcarei a profilo A(B)C, privi di carbonati nella parte alta del profilo e sensibilmente argillosi,
- i rendzina, molto evoluti, composti da un orizzonte morbido e spesso, poco acido, e con struttura areata (mollico) che sovrasta materiale calcareo
- i suoli bruni lisciviati con la tendenza alla formazione di un orizzonte B illuviale o argillitico.

Questa associazione è ubicata in prevalenza sulle pendici nord ed est del complesso Tolfetano ed inoltre occupa anche una sottile striscia (circa 2 km di larghezza ed 11 di lunghezza) a sud-est di Tarquinia.

### e) Vertisuoli e suoli alluvionali

Normalmente questa associazione comprende due tipi di vertisuoli: quelli non idromorfi tipici delle pendici, spesso accompagnati dai regosuoli, e quelli idromorfi che occupano i fondovalle e si uniscono ai suoli alluvionali. In quest'ultimo caso si tratta di suoli profondi e fertili a vocazione agricola. Si tratta di una piccola area lungo la costa, in corrispondenza della foce del Fiume Mignone.

#### **f) Suoli rossi mediterranei, suoli bruni e litosuoli**

I suoli rossi mediterranei di questa unità mostrano spesso profili relativamente profondi con un orizzonte A discretamente umifero, che in alcuni casi si avvicina all'epipedon mollico.

Accanto ai suoli rossi mediterranei si ritrovano i suoli bruni ad alta o media saturazione in basi, con profilo piuttosto uniforme e con la sostanza organica che decresce dall'alto verso il basso con molta gradualità.

Nell'associazione sono compresi anche i litosuoli che però risultano presenti sporadicamente.

Questo raggruppamento è segnalato lungo la costa tra la foce del Marta e quella del Mignone.

#### **g) Suoli alluvionali.**

Si tratta in genere di regosuoli profondi su sedimenti recenti o attuali.

Si tratta dell'associazione presente lungo il tratto terminale del fiume Marta, fino alla foce, e lungo la costa a nord di Tarquinia, fino alla foce del Fiora.

## **2.10 Flora, fauna, ecosistemi**

### *Area di indagine*

La caratterizzazione delle componenti naturalistiche è riferita ad un'area rettangolare di 25x31 km (Figura 2.2-a).

L'area è delimitata a Nord dagli abitati di Tarquinia e Monte Romano, a sud dall'abitato di S. Severa, ad ovest dalla costa e ad est dalle pendici del comprensorio tolfetano, in corrispondenza del corso del fiume Mignone e del Fosso Lenta.

Questa porzione di territorio comprende la maremma laziale ad elevata antropizzazione, i Monti della Tolfa, con un livello di naturalità più elevato rispetto al resto del territorio, e la costa Tirrenica, dal lido di Tarquinia a S. Severa, che presenta situazioni di degrado alternate ad aree antropizzate e a relitti di ambiente naturale.

### *Inquadramento bioclimatico*

La zona costiera è caratterizzata da un clima di tipo Mediterraneo, con modesta piovosità, escursioni termiche limitate ed un netto periodo di aridità estiva, mentre la parte più interna presenta un clima caratterizzato da una riduzione del periodo di aridità e maggiore piovosità.

I termoudogrammi, secondo Bagnouls Gausson, di Allumiere, di Tolfa e di Civitavecchia evidenziano i due principali aspetti climatici, rientrando Allumiere e Tolfa nel clima "Mediterraneo - umido" e Civitavecchia in quello "Mediterraneo - temperato", secondo i diagrammi di Emberger. Il comprensorio tolfetano è, nel settore costiero medio-tirrenico, quello nel quale l'isoieta dei 1000 mm annui di precipitazioni si avvicina maggiormente al mare, e questo è in rapporto anche alla morfologia del territorio. Si ha quindi un notevole accostamento al mare del bioclina "temperato" ed un contemporaneo restringimento dell'area a bioclina più strettamente "mediterraneo", limitato ad una stretta fascia del litorale.

Nella fascia continentale è pur sempre un fattore determinante l'afflusso continuo di umidità proveniente dal mare, il che determina il cosiddetto "effetto Colchico" (si riproduce, cioè, ciò che avviene sulla costa del Mar Nero, in Colchide, dove le masse d'aria umida, procedenti dal mare incontrano, in direzione Nord Est, territori freschi per elevata altitudine), che assicura un'umidità permanente ed abbondanti precipitazioni. Infatti il gruppo montuoso tolfetano, con la sua posizione topografica e con un'altitudine di 400-500 m, si accosta al mare sotto la permanente azione dei venti carichi di vapor d'acqua.

Per quanto riguarda la pluviometria talvolta viene modificata nei risultati dall'azione dei venti dominanti che asciugano rapidamente l'acqua di piogge leggere e brevi, specialmente nelle zone a "suolo caldo". La copertura vegetale comunque mantiene al suolo una temperatura moderata (pur sempre considerando

la natura del suolo stesso), evitandone il contatto diretto con la radiazione solare e assorbendo il calore per la evaporazione continua dell'acqua trattenuta dal manto vegetale e dallo humus.

Secondo la "carta bioclimatica d'Italia" (Tomaselli et al. 1973) il vero e proprio territorio dei Monti della Tolfa rientra nella "sotto-regione Mesomediterranea di tipo D", cioè con aridità estiva di circa due mesi, concentrata in un unico periodo (clima "xerico"), durante il quale i fenomeni di evapotraspirazione prevalgono su quelli di precipitazione e con piovosità che raggiunge il massimo in novembre ed il minimo in luglio. Un tale regime climatico permette la presenza di formazioni vegetali termo-mesofile con buona potenzialità per la roverella (*Quercus pubescens*) sempre però nel climax del leccio (*Quercus ilex*).

Questa sottoregione è delimitata, nelle zone più interne, da quella denominata "Ipomesoxerica di tipo B appenninica". Tale zona climatica presenta uno sdoppiamento della stagione piovosa in due massimi (primaverile e autunnale), alternati a due periodi aridi (estivo e invernale) e precipitazioni superiori a 1100 mm annui. Tutto ciò contribuisce al mantenimento di un discreto valore dell'umidità atmosferica, con formazioni di nebbie anche estive. Qui il climax è a roverella con formazione di latifoglie mesofile, quasi tutte decidue; è comunque il climax più termofilo della zona temperata ed è soggetto ad infiltrazioni della macchia Mediterranea.

La zona costiera Tosco-laziale è stata invece classificata come "sotto-regione Mesomediterranea di tipo A"; essa è caratterizzata da un periodo di aridità di tre o quattro mesi, un periodo subsecco ancora più accentuato e precipitazioni autunnali e invernali inferiori ai 900 mm annui, con andamento quasi "xerico". La vegetazione è di tipo sempreverde a latifoglie xerofile tipiche di macchia Mediterranea con dominanza di leccio.

Da questa situazione climatica così eterogenea ci si può quindi spiegare la presenza di formazioni termofile accompagnate nelle zone più temperate a formazioni di tipo termo-mesofilo (castagno, nocciolo) o addirittura mesofilo come il faggio, in associazione con l'agrifoglio, che si presenta ad un più basso limite altimetrico, o la particolare situazione microclimatica che in zone di umidità costante permette lo sviluppo di felci con *Osmunda regalis*, *Blechnum spicant*, *Phyllitis scolopendrium*.

Sono inoltre da tener presente i caratteri orografici, l'esposizione dei versanti e dei venti dominanti, le situazioni pedologiche e vegetazionali che concorrono a creare un complesso "mossico" di microclimi pur nella generale impronta di tipo mediterraneo.

#### *Flora e vegetazione*

Dal punto di vista botanico l'area dei Monti della Tolfa riveste sicuramente il maggiore interesse. Allo stato attuale delle conoscenze floristiche sul Lazio non è comunque ancora possibile identificare nella zona la presenza di popolazioni di particolare rilevanza sistematica nell'ambito delle specie di appartenenza. Prevalgono nell'insieme le specie a carattere Centro-Sudeuropeo; il contingente orientale domina fra le entità submediterranee, mentre quello occidentale sub-atlantico caratterizza le specie dell'elemento mediterraneo.

Il tipo climatico dominante nel gruppo dei Monti della Tolfa è quello mediterraneo. La presenza però di una fascia di foresta sempreverde, di estensione relativamente limitata, accanto ad una fascia a querce caducifoglie ampia ed articolata, rivela la massiccia interferenza di fattori meso- e microclimatici nella determinazione del paesaggio vegetale.

Fattori quali il rilievo e il drenaggio di masse d'aria fredda verso i profondi valori dell'acrocoro determinano un notevole abbassamento dei limiti climatici inferiori di tutta la vegetazione caducifoglia. A questo ed a altri fattori locali dovuti alla esistenza di un mosaico di substrati a diversa composizione litologica va imputata la presenza di cenosi disgiunte, "sottoquota", "abissali" a Faggio, e il costante fenomeno dell'inversione climatica (Monti S. Angelo, Sassicari, Rovello) che provoca, nella zona più interna, lo smistamento della flora sempreverde alla sommità dei rilievi, e la vegetazione caducifoglia a gradiente di mesofilia crescente verso il basso, nel fondovalle.

L'insieme delle comunità vegetali (fitocenosi) che le specie della flora locale vengono a costituire, si presenta perciò molto vario. Accanto all'alternanza fra prati e boschi che rappresenta una delle più immediate e vistose conseguenze dell'azione modificatrice dell'uomo sulla vegetazione, esiste nella zona un'ampia gamma di fitocenosi dominate da specie legnose distinguibili sia per la differenza di fisionomia (cespuglieti, boscaglie, boschi, macchia), che di struttura (boschi cedui, boschi d'alto fusto) che soprattutto per la diversità di composizione floristica.

Sono riconoscibili pertanto in successione altitudinale e di lontananza dalla linea di costa le seguenti fasce di vegetazione assimilabili alle classi di uso del suolo Corine land cover, indicate tra parentesi, cartografate in Figura 2.2-a:

- a) Boscaglie e boschi sempreverdi (macchia mediterranea) (cod. Corine 324 e 323).
- b) Boscaglie e boschi decidui a Roverella, Acero trilobo, e Albero di Giuda (cod. corine 324) .
- c) Boschi di Cerro (cod. Corine 311).
- d) Boschi di Castagno (cod. Corine 311).
- e) Boschi di Rovere (cod. Corine 311) .
- f) Boschi di Faggio (cod. Corine 311).

A questa seriazione si aggiungono forme di vegetazione derivate dalla degradazione progressiva della copertura vegetale forestale, che in condizioni di mancato intervento umano dovrebbe occupare tutto il territorio, eccezion fatta per le emergenze rupestri (domi) e zone legate alle manifestazioni idrotermali. Si tratta dei cespuglieti e prati, ottenuti nel corso del tempo per far posto a colture e al bestiame pascolante.

Si distingue perciò in una serie a parte di paesaggi vegetali più intensamente antropizzati:

- f) Cespuglieti mediterranei (cod. Corine 322 e 324).
- g) Cespuglieti submediterranei (cod. Corine 322 e 324).
- h) Pascoli (cod. Corine 321).

- a) Boscaglie e boschi sempreverdi (macchia mediterranea) (cod. Corine 324 e 323).

Il paesaggio della macchia mediterranea caratterizza gran parte dei rilievi litoranei, assumendo un tipico sviluppo ad andamento subparallelo alla linea di costa. Si estende con alcune soluzioni di continuità dai contrafforti ceriti alla grande ansa del Mignone e penetra, in particolari condizioni di esposizione, profondamente nell'entroterra.

Le specie costitutive più frequenti sono il Leccio (*Quercus ilex*), il Corbezzolo (*Arbutus unedo*), il Lentisco (*Pistacia lentiscus*), l'Alaterno (*Rhamnus alaternus*), la Fillirea (*Phyllirea media*), il Mirto (*Myrtus communis*); in alcune zone è identificabile persino un sottorizzonte a Sughera (*Quercus suber*), come sottilissimo e frammentario bordo costiero (da Centocelle a Palano, a Casale, a La Scaglia, a Sasso) con interessanti penetrazioni nell'entroterra a Tolfa (zona "La Sughera").

La fisionomia di questa foresta sempreverde è più frequentemente quella di un cespuglieto alto ("macchia") sia perché da sempre ovunque sottoposta a ceduzione per turni ravvicinati, sia per la presenza esclusiva (eccetto il Leccio) di specie di bassa statura e lento accrescimento, che solo a tarda età possono raggiungere le dimensioni di piccoli alberi. Il taglio e l'antica consuetudine del pascolo all'interno di questa vegetazione sempreverde, sono responsabili della preponderanza di specie cespugliose rispetto al leccio, l'unica specie legnosa capace di costituire, assieme alla Sughera, un piano arboreo dominante. Originariamente nella zona del comprensorio tolfetano gran parte dell'attuale macchia era verosimilmente rappresentata da foreste di Leccio. I cespugli, che ora invece dominano, erano limitati ai "bordi" della lecceta, cioè verso il mare o in corrispondenza delle emergenze di rupi. Da queste zone "ecotonali" sono passati, in seguito alla degradazione ad opera dell'uomo, alla conquista o meglio "sostituzione" della lecceta stessa.

In particolare il Corbezzolo è avvantaggiato rispetto alle altre specie qualora l'incendio abbia ripetutamente percorso la macchia in corrispondenza di suoli a tendenza acida, mentre il Lentisco è favorito dove, il pascolo ha agito per periodi particolarmente lunghi (Pian Sultano, versante costiero dei rilievi a Sud ovest). I cespuglieti a Mirto sono anch'essi una risposta all'azione del fuoco per l'elevata capacità rigenerativa delle ceppaie, unita alla non appetibilità da parte del bestiame, sconfinando così anche in zone non appartenenti alla fascia della vegetazione sempreverde (Poggio Cedraulli - Sasso della Strega). La Sughera tende a prevalere anch'essa in seguito alla ripetuta azione del fuoco mostrando addirittura capacità competitiva nei riguardi della cerreta (Macchia di Palano).

Verso l'interno del territorio, per le comunità sempreverdi isolate in seno ad altri tipi di vegetazione, prevale l'influenza del fattore "esposizione". Come prevedibile, questo fattore è particolarmente significativo in esposizione Sud-Ovest e Ovest, il settore occidentale del complesso montuoso mostra infatti una maggior ampiezza della vegetazione sempreverde e linee di penetrazione verso l'interno più profondo (tracce di boscaglie a Olivastro e Sughera sui contrafforti di Ripa Maiale).

- b) Boscaglie e boschi decidui a Roverella, Acero trilobo, e Albero di Giuda (cod. corine 324) .

A condizioni climatiche di transizione con la situazione tipicamente mediterranea della fascia costiera, si accompagnano forme di vegetazione caducifolia a carattere caldo arido che spesso entrano in intimo contatto con la vegetazione sempreverde, costituendo formazioni miste.

Si tratta delle boscaglie in cui domina la Roverella (*Quercus pubescens*), con Orniello (*Fraxinus ornus*), Albero di Giuda (*Cercis siliquastrum*), con l'Acero Trilobo (*Acer monspessulanum*), il Carpino orientale (*Carpinus orientalis*).

La struttura è quella di una boscaglia a densità eterogenea, dovuta alla diversa architettura delle singole specie costitutive. La sua distribuzione è approssimativamente parallela a quella della vegetazione mediterranea nelle zone di contatto e penetra all'interno in corrispondenza delle zone forestali più sfruttate o addirittura si è insediata sulle cosiddette "zone marginali" o abbandonate da tempo. Assume notevole estensione nella zona di Monte Acqua Tosta (versante Sud), Monte Ianne (versante Est), e soprattutto nei territori a Nord della "Lungara". Questa vegetazione è perciò quasi sempre derivata dalla degradazione di altri tipi forestali soprattutto, in passato, attraverso la prolungata e intensa pressione del pascolo, cui è seguita una situazione di abbandono delle attività, che ha favorito la formazione della boscaglia di Roverella. Nuclei originari di distribuzione possono essere individuati con grande probabilità intorno alle zone acclivi di Monte Ianne e rupi del complesso di Monte Pianangeli.

#### c) Boschi di Cerro (cod. Corine 311).

I boschi di Cerro costituiscono la nota dominante del paesaggio vegetale dell'entroterra tolfetano. Sono prevalentemente costituiti da cedui a struttura complessa con tendenza ad assumere un aspetto pluristratificato nel caso possano raggiungere un certo sviluppo (in pratica se viene evitato almeno un turno di ceduzione) e in prevalenza composti da Cerro (*Quercus cerris*), con un sottobosco o meglio un piano arboreo dominato, in cui è presente l'Acero minore o Loppo (*Acer campestre*), l'Orniello e un vero e proprio sottobosco a Pruno spinoso (*Prunus spinosa*), Biancospino (*Crataegus oxyacantha*), Ligustro (*Ligustrum vulgare*). Nell'ambito della cerreta vegeta, in alcune località del comprensorio (Macchia di Manziana e dintorni della zona di Monte S. Ansino), una quercia assai rara: il Farnetto (*Quercus frainetto*). La comparsa di questa specie nella cerreta, mette in luce l'esistenza di tracce di una fitocenosi molto simile alla fascia a Farnetto e Cerro caratteristica della parte meridionale della Penisola Balcanica, a carattere marcatamente continentale.

E' probabile che il taglio selettivo operato soprattutto in passato abbia portato alla rarefazione di questa specie e quindi alla successiva "uniformizzazione" delle Cerrete Tolfetane, cosicché due fitocenosi (Cerreta pura o con Carpino orientale e/o Carpino nero e Cerreta-farneta più continentale), corrispondenti a due diversi piani di vegetazione, hanno assunto in seguito all'azione antropica (il Farnetto forniva materiale da opera non inferiore a quello della farnia) fisionomia uguale.

#### d) Boschi di Castagno (cod. Corine 311).

Sulla originarietà dei castagneti appenninici il dibattito è tuttora aperto, in quanto è difficile trovare castagneti in cui l'uomo non abbia determinato il prevalere del Castagno sulle altre specie forestali. Anche nel comprensorio il dubbio è valido per tutti i grandi castagneti che costituiscono parte integrante del paesaggio vegetale del versante settentrionale dell'acrocoro. Ma la presenza di substrati litologici e pedologici particolari (acidità, scarso calcare attivo, ecc.) lasciano aperta la possibilità, peraltro molto verosimile, che nuclei di Castagno spontanei possano in origine essere stati presenti nell'ambito dei querceti dove i suoli avevano le caratteristiche suindicate. In seguito alla conquista della foresta, l'antichissimo coltivatore italico ha dato inizio a un processo di espansione del Castagno a partire da questi nuclei originari. Ciò è avvenuto a spese delle altre specie arboree, che venivano eliminate, creando l'antico paesaggio del castagneto da frutto e passando in seguito anche a vere piantagioni, sempre però in corrispondenza dei suoli adatti. In seguito il dissodamento progressivo di territori pianeggianti e l'evoluzione delle tecniche agricole, affermando il primato della cerealicoltura nell'approvvigionamento di farinacei, ha fatto, in genere, negli ultimi due secoli regredire il paesaggio del castagneto da frutto, trasformandolo in ceduo castanile, più consono al bisogno crescente di materiale legnoso che si era intanto venuto a determinare. In questo caso, le antiche specie compagne del Castagno sono ricomparse qua e là nel ceduo senza prendere il sopravvento, dato il veloce ritmo di accrescimento del castagno nei primi decenni di vita, fino al taglio di ceduzione.



In questa prospettiva, quindi, sono interpretabili i castagneti da frutto di tutto il comprensorio, i cedui castanili della zona di Castagneto della Camera (in cui ricompare con insistenza nel sottobosco la Rovere, il Carpino bianco e spesso il Faggio, i cedui misti della zona della Polveriera e del settore occidentale del Castagneto dei Cinque Bottini e delle zone di fondovalle agli Sbroccati, dove sono forse individuabili probabili aree originarie di castagno in querceto misto. I castagneti ospitano inoltre diverse specie di orchidee quali *Cephalanthera longifolia*, *Dactylorhiza romana*, *Epipactis helleborine*, *Limodorum abortivum*, *Orchis provincialis*, *Orchis purpurea* e *Neottia nidus-avis*.

e) Boschi di Rovere (cod. Corine 311) .

A Nord dello spartiacque di Monte Urbano e la Rocca di Tolfa, le Cerrete si arricchiscono di un altro componente delle antiche foreste appenniniche, ormai ovunque in via di progressiva rarefazione: la Rovere (*Quercus petraea*). In concomitanza soprattutto con la presenza di Carpino bianco (*Carpinus betulus*) e la diminuzione di Cerro, si può parlare di un vero e proprio orizzonte vegetazionale della Rovere, ormai pressochè assente sull'appennino e qui nel tolfetano ancora discretamente conservato. Valgono per la Rovere le stesse considerazioni fatte a proposito del Farnetto relativamente al taglio selettivo. Data la convivenza a stretto contatto con altre formazioni, il Rovereto è di frequente una fitocenosi molto eterogenea, in quanto il piano arboreo annovera più specie quercine, carpini, spesso il Castagno, il Tiglio e a volte il Faggio (La Concia, Monte Urbano). I rapporti di abbondanza fra le specie legnose stanno in una sorta di delicato equilibrio instabile, che in natura avrebbe visto il succedersi ciclico di generazioni di alberi dominanti appartenenti alla stessa specie (alternanza di specie dominanti nel tempo), mentre in condizioni di antica utilizzazione antropica la fisionomia è determinata dalla ampiezza di turno di taglio delle varie specie legnose del ceduo composto, oppure dal prevalere definitivo dell'una sull'altra nel caso di ceduo semplice.

f) Boschi di Faggio (cod. Corine 311).

I veri e propri boschi di Faggio sono presenti nella zona di Monte Urbano, dove si ritrovano nel sottobosco gli autentici rappresentanti delle faggete appenniniche. Da questo settore si articola e si attenua in direzione Nord e Nord-Est una zona di distribuzione del faggio a carattere sporadico, in cui piccoli gruppi e esemplari isolati nei fondovalle o addirittura filari ripariali lungo i corsi d'acqua, testimoniano una regressione recente della faggeta stessa. In questo caso non si tratta che di querceti a Cerro e Rovere o castagneti caratterizzati dalla presenza di Faggio più che di veri e propri lembi di faggeta.

La regressione, documentata dal rarefarsi del Faggio fra la sommità dell'acrocoro tolfetano e la zona a Ovest del lago di Bracciano, è il risultato sia di naturali fluttuazioni climatiche in senso continentale a favore dei querceti, sia di una trasformazione in senso caldo-arido di tutta la vegetazione forestale da parte dell'uomo (taglio). Il Faggio perciò trova ormai possibilità di rifugio solo in ambienti a regime idrico più uniforme durante il corso dell'anno, in genere i valloni più profondi (Fosso dei cinque Bottini), dove si ricostituisce una seriazione "inversa" della vegetazione a partire dai crinali che ospitano vegetazione mediterranea, attraverso la cerreta, il castagneto, il querceto a Rovere, il carpineto e la faggeta nel fondovalle. Tracce di una analoga seriazione sono presenti sulla sinistra orografica del fosso degli Sbroccati, dove è in atto una riappropriazione, da parte sia del querceto a Cerro e Rovere sia del Faggio, di una zona dove l'uomo in passato ha favorito la dominanza del Castagno, ma che oggi, in seguito alla trasformazione d'uso, si va riorganizzando nella composizione floristica. Le faggete tolfetane sono considerate "sotto quota" rispetto ai normali limiti altitudinali della specie. Una compagna frequente e significativa è l'Agrifoglio (*Ilex aquifolium*) che caratterizza nell'appennino l'orizzonte più basso della faggeta. Inoltre si rileva anche la presenza della felce *Osmunda regalis*, indicata come specie rara, e di diverse specie di orchidee (cfr. boschi di Castagno).

f) Cespuglieti mediterranei (cod. Corine 322 e 324).

La messa a coltura o la trasformazione di vasti territori in pascoli, il successivo abbandono di questi o una sostituzione nel tempo degli animali pascolanti con altri, hanno portato dapprima ad una sostituzione della foresta con il prato o il prato arborato e in seguito ad una evoluzione più o meno lenta di questa vegetazione verso fitocenosi sempre più prossime alla foresta, o in ogni caso con una aliquota di rappresentanti dell'originaria flora legnosa.

Sono nati così i cespuglieti che coprono attualmente notevoli estensioni di territorio e sono costituiti da specie che possono rivelare il tipo di vegetazione originaria della quale hanno preso il posto.

Nelle radure sono presenti le orchidee del genere *Orchis* come *Orchis italica*, *Orchis morio*, *Orchis provincialis* e *Orchis purpurea*.

I cespuglieti mediterranei costituiti da Cisti (*Cistus salviaefolius* e *incanus*) o da Lentisco (*Pistacia lentiscus*) sono caratteristici di tutta l'area più intensamente sfruttata della fascia a foresta sempreverde da cui derivano, prendendo contatto con gli aspetti di macchia degradata. Coprono vaste estensioni a mosaico nell'entroterra e a Sud-Ovest di Ripa Maiale. Sono spesso compenetrati di specie caratteristiche dei cespuglieti submediterranei.

g) Cespuglieti submediterranei (cod. Corine 322 e 324).

Si tratta del tipo più diffuso, nel caso siano dominati da Marruca (*Paliurus spina-christi*) e Terebinto (*Pistacia terebinthus*), rivelano connessioni con l'ambiente della foresta mediterranea e soprattutto della boscaglia a Roverella. Sono presenti in particolare sui versanti dei rilievi che digradano verso Rio Fiume, dove esistono possibili aree di presenza originaria (zone acclivi) da cui si sono irradiati una volta che l'uomo ha aperto varchi nella foresta.

Nel caso in cui i cespuglieti siano costituiti da Rovo (*Rubus sp.*), Pruno spinoso, Biancospino e Perastro, si tratta di forme di degradazione di cerrete. Caratteristici dei coltivi abbandonati sono invece i ginestreti che si insediano velocemente, una volta cessato il continuo rimaneggiamento del suolo. Questa tipica vegetazione di sostituzione può evolvere nei suddetti cespuglieti a seconda della zona fitoclimatica.

h) Pascoli (cod. Corine 321).

Dal punto di vista botanico si tratta di brometi e Xerobrometi con aspetti a leguminose in zone argillose (Sulla) e piante annue mediterranee nelle zone più esposte e a suoli più superficiali. Un elemento caratteristico sono le popolazioni di carduacee, in cui domina *Cynara* (Carciofo selvatico), che si sviluppano sui suoli ad elevato contenuto di azoto (sovrapascolamento), creando un meccanismo di alternanza con le specie pabulabili, in quanto data la loro spinosità allentano per determinati periodi la pressione del pascolo su piccole superfici. Anche nelle fitocenosi prative sono presenti diverse specie di orchidee prevalentemente appartenenti ai generi *Ophrys*, *Serapias* e *Orchis*.

#### Fauna

Contoli et al. (1980), nella proposta di parco naturale di Allumiere e Tolfa, basano le loro analisi della fauna locale su diversi autori ed in particolare:

- per i Mammiferi, Contoli, 1976 e 1977; Contoli & Agostini 1979;
- per gli Uccelli, Bologna, 1976; Di Carlo, 1977; Chiavetta, 1977; Chiavetta, Contoli, Bonora, 1973;
- per i Rettili e gli Anfibi, Bruno, 1973 e 1977.

Inoltre Faraglia e Riga (1997) forniscono un ulteriore contributo alla conoscenza della fauna dell'acrocoro tolfetano.

Per semplificare la descrizione del territorio compreso nell'area di studio in funzione degli habitat presenti e per inquadrare la fauna in modo più preciso, sono state individuate 5 principali unità ambientali faunistiche, facendo riferimento alle formazioni vegetali principali ed all'uso del suolo:

- A) Boschi
- B) Formazioni ripariali
- C) Cespuglieti
- D) Pascoli arborati
- E) Coltivi
- F) Zone rupestri, aree nude ed ambienti urbanizzati

Ognuna delle tipologie ambientali è caratterizzata da una propria struttura della vegetazione e, di conseguenza, da differenti rispettive popolazioni di vertebrati. Naturalmente non è possibile fornire una precisa linea di demarcazione fra le diverse unità ambientali, soprattutto per quelle specie animali che necessitano di ecosistemi complessi; tuttavia di seguito è riportata una descrizione dei lineamenti fondamentali di queste unità ambientali che permetta di inquadrare in modo sintetico le caratteristiche faunistiche. Per un'analisi più dettagliata della distribuzione della fauna presente nell'area di studio si rimanda alle Tabb 4.2.4.1.2/I-III.

#### A) Boschi

I boschi del comprensorio, ubicati nella maggior parte dei casi nel complesso Tolfetano-Cerite, ospitano tutto l'anno ricche ornitocenosi con Ghiandaia, Pandolino, Merlo, Tordela, Verdone, Fringuello, Torcicollo, Rampichino, Pettiroso, Luì piccolo, Capinera, Occhiocotto, Cincia bigia, Fagiano (di continuo introdotto a scopo di caccia) e, probabilmente, il Colombaccio ed il raro Picchio muratore.

Piuttosto scarsi invece i "veri" Picchi, dei quali solo il Verde sembra sicuramente stanziale; ciò si deve alla scarsa evoluzione strutturale dei boschi, quasi tutti governati a ceduo e privi dunque di piante mature adatte a questi uccelli.

Per la stessa ragione, oltre che per la sistematica distruzione subita fino a tempi molto recenti, tra i predatori è assai dubbia la presenza dell'Astore, pure segnalato a volte nel comprensorio. Tra i rettili è particolarmente vistoso il Ramarro. Tra i Mammiferi, è attivo in pieno giorno il Campagnolo rossastro, mentre lo Scoiattolo sembra ormai scomparso, benché forse ancora presente nei dintorni (ad es., nel Manziate).

Nelle ore notturne è attivo il Topo selvatico dal collo giallo, che in questa area sembra convivere con il suo congenere comune.

Anche il Cinghiale è comune nella zona, affiancato da un forte contingente di suini domestici con i quali spesso si incrocia.

Di notte è attivo l'Allocco (ancora diffuso) tra gli uccelli rapaci e tra i mammiferi carnivori la Martora ed il Gatto selvatico sono ancora presenti (benché rari), con il più frequente Tasso.

Nei boschi del comprensorio sono attivi, tranne che nella stagione fredda, anche molti altri animali: di giorno, rettili quali il Colubro liscio (poco comune); di notte, prevalentemente mammiferi, come il Riccio, il Ghiro (assai localizzato e raro) il Quercino e il Moscardino (molto più comune), ma anche rettili, come l'Orbettino (anch'esso piuttosto raro e localizzato) ed il Colubro di Riccioli.

Nella stagione calda nidificano nella "macchia" molti altri uccelli: il Cuculo, il Pigliamosche, la Cinciallegra, la Cinciarella, il Luì piccolo, il Codibugnolo, la Bigia grossa, il codiroso, il Frosone, il Rigogolo, tra i rapaci lo Sparviero (in netto regresso) e il Lodolaio; nelle ore serali, si nota anche il Succiacapre.

D'inverno il bosco ospita invece la Beccaccia (di elevato interesse venatorio), il Tordo bottaccio, la Cincia mora, la Colombella, il Lucarino, il Ciuffolotto, il Regolo e, tra i Picchi rossi, il maggiore e il minore, mentre è dubbio il mezzano. Tra i rapaci, giunge il Gufo comune.

Durante il passo, poi, compaiono il Beccafico, le Balie (nera e dal collare) e i Luì (verde, bianco e grosso).

Ma altre specie appaiono legate al bosco, anche se in situazione spesso ecotonale verso le "larghe", o i "fossi", o le "coste"; così, tra gli Anfibi, il Rospo comune e in parte la Raganella arborea, nonché la rana greca; così, tra i Rettili, la Lucertola muraiola, ai margini della vegetazione arborea, verso i "fossi", e il Saettone, il Cervone e la Vipera comune verso i campi aperti, più o meno cespugliati, oltre alla Testuggine comune; tutti attivi nella buona stagione.

Tra gli uccelli, molte importanti e vistose specie rientrano in questa categoria, oltre al Cardellino, Verzellino, Fiorrancino, anche la Cornacchia grigia (oggi vera dominatrice del territorio), la Gazza, lo Zigolo muciatto e vari predatori, dal Gheppio (il più comune falconiforme del comprensorio) alla Poiana (più strettamente legata al bosco), al raro Nibbio reale, un tempo stabilmente stazionario nella zona e più frequente del congenere, ma oggi forse non più svernante; tutti questi uccelli predatori nidificano sovente sugli alberi del bosco, ma cacciano a lungo sui campi aperti.

Ad essi al crepuscolo si aggiunge la Civetta, insieme ai vari Mammiferi, tra i quale il Toporagno (attivo anche di giorno) e il Mustiolo tra gli insettivori, il Serotino e l'Orecchione tra i Chiroteri, la non comune Istrice (poco attiva d'inverno) la Puzzola (spesso vicina all'acqua) la Faina e persino il Lupo, rarissimo e perseguitato tuttora con ogni mezzo.

Nella stagione della nidificazione si possono rilevare anche l'Usignolo, l'Upupa, la Tortora, il Cuculo dal ciuffo (legato ai Corvidi che "parassitizza"), la Sterpazzolina e il Canapino, oltre a falco pecchiaiolo (o "Adorno"), quivi al limite del suo areale di nidificazione.

D'inverno, tra gli uccelli si aggiungono il Tordo sassello, la Peppola, la Passera scopaiola e durante il passo la Bigiarella e forse altre specie certamente esotiche, quali l'Usignolo levantino, il Beccofrusone, l'Averla cenerina.

Per quanto riguarda il Gufo reale, la situazione è incerta; alcuni AA. lo considerano solo erratico nel comprensorio, mentre altri lo danno come probabilmente stazionario e nidificante. Faraglia e Riga (1997) non citano la presenza di questa specie.

#### B) Formazioni ripariali

La fauna legata alle acque interne occasionalmente si può rinvenire la Nutria o Castorino, sfuggita agli allevamenti per i quali è stata imprudentemente importata nel nostro Paese, nel quale non è certo autoctona. Sulle sponde è probabilmente presente l'Arvicola acquatica.

Tra i maggiori predatori troviamo la rarissima Lontra che però sovente compie percorsi anche lunghi sulla terraferma.

Frequentano poi le acque e i loro dintorni numerosi uccelli: Ballerina bianca e gialla, Gallinella d'acqua, Porciglione, Usignolo di fiume e Martin pescatore.

D'inverno si aggiungono a questa zoocenosi il Migliarino di palude e la Folaga; si può vedere anche il Falco di palude, prevalentemente specie di passo, come lo Svasso maggiore, gli Aironi rosso e cenerino, varie anatre (Marzaiola, Germano, Alzavola, Codone) e persino il rarissimo Falco pescatore.

Nei pressi dei corsi d'acqua, in particolare nelle aree umide, sostano pure durante il passo: Combattente, Piro piro boschereccio, Piro piro culbianco, Beccaccino, Mignattino e a volte lo Spioncello.

Al di fuori della stagione fredda, sono presenti costantemente il Tritone crestato, l'Ululone, la Biscia tassellata e la Testuggine palustre (che però esce dall'acqua per l'ovodeposizione); nelle ore notturne il Vespertilio di Capaccini batte la superficie dei corsi d'acqua.

Nella stagione riproduttiva troviamo poi anche le altre specie di Anfibi, alcune delle quali, comunque, si tengono sempre nei pressi dell'acqua (Salamandrina, Tritone punteggiato, Rana di Lessona - soprattutto nei fontanili), al pari della Biscia dal collare. Ad essi si aggiungono tra gli uccelli nidificanti, il Corriere piccolo, il Piro piro piccolo ed il Tuffetto presso le rive, il Topino in costante volo sulle acque.

#### C) Cespuglieti

Dal punto di vista vegetazionale, questa tipologia di habitat è identificabile con i cespuglieti submediterranei e quelli mediterranei, descritti nel paragrafo precedente (cfr. flora e vegetazione). Si tratta comunque di tipologie vegetazionali presenti sia lungo la costa sia alle pendici e sui monti della Tolfa; sono invece presenti in misura minore nelle aree coltivate, dove peraltro rappresentano gli unici lembi di naturalità rimasti.

Per quanto riguarda l'avifauna che frequenta questi habitat, si segnala lo Zigolo capinero o testanera, l'Averla piccola, l'Averla cenerina e l'Averla capirossa. Altri uccelli legati agli arbusti sono il Codibugnolo, la Capinera, la Sterpazzolina, il Fanello e lo Zigolo nero.

Tra gli anfibi si può incontrare la Rana agile ed il Rospo smeraldino, mentre i rettili sono rappresentati dalla Testuggine comune, dal Saettone, dal Cervone e dal Ramarro; sono peraltro presenti anche specie maggiormente eurieche, come la Luscengola, il Colubro liscio, il Colubro di Riccioli, la Tarantola muraiola, il Biacco, la Lucertola campestre, la Lucertola muraiola e la Vipera comune.

I mammiferi legati a questo tipo di habitat sono diversi ed in particolare è possibile rilevare la presenza di roditori come l'Arvicola del Savi, il Topo selvatico comune, l'Istrice e in condizioni di maggiore antropizzazione il Ratto delle chiaviche, il Ratto nero ed Topolino delle case. Gli insettivori sono rappresentati dalla Crocidura minore, dalla Crocidura ventre bianco, dal Mustiolo, dal Riccio, dalla Talpa romana, dal Toporagno, dal Toporagno appenninico e dal Toporagno nano. Tra i lagomorfi, la lepre è la specie che frequenta questi habitat. Risulta inoltre possibile la frequentazione a scopo trofico da parte di alcune specie di Chiroterteri quali l'Orecchione, il Pipistrello albolimbato, ed il Serotino.

Infine, a seconda del grado di antropizzazione, è possibile anche la presenza di carnivori, come la Donnola, la Faina, la Puzzola, il Gatto selvatico e la Volpe.

#### D) Pascoli arborati

Si tratta di aree ubicate in prevalenza sul complesso dei Monti della Tolfa, dove l'originaria vegetazione boschiva è stata sostituita dall'uomo con il pascolo, spesso inframmezzato ai e dai boschi, con alberi e cespugli sparsi, sovente con elevata pietrosità e a volte evidenti fenomeni erosivi del suolo, a causa dell'eccessivo ed incontrollato carico di pascolo. In questo tipo di habitat, dove la frammentazione produce anche diverse fasce ecotonali, il bovino maremmano riveste un'importanza non secondaria,

poichè vive durante tutto l'anno allo stato brado, tutt'al più con modeste integrazioni alimentari, utilizzando il bosco come stalla e, sottoposto a predazione (anche da parte del Lupo), fornisce (con le carogne, le placente, gli escrementi) la base trofica per molti animali, anche assai importanti, quali ad esempio il Capovaccaio. Si può quindi affermare che questa specie è divenuta un elemento determinante.

I cavalli (che costituiscono forse un particolare ecotipo della razza maremmana) e gli asini completano questo quadro di buon inserimento ambientale di animali "domestici" ed utilizzati dall'uomo.

Passando agli animali più strettamente "selvatici", Contoli et al (1980) citano, tra gli Uccelli: Cappellaccia, Calandra, Allodola, Tottavilla, Saltimpalo, Strillozzo, Zigolo nero, Fanello; tra i Mammiferi, attivi soprattutto nelle ore non diurne, le elusive Crocidure (ventre bianco e minore), l'onnipresente Campagnolo del Savi, la Talpa romana (che esce più spesso del credibile dalle tane, soprattutto di notte, come provano i reperti di questa specie tra le prede degli Strigiformi) e, tra i predatori, la Donnola.

Il Lanario e il Pellegrino (che nidificano entrambi sulle rupi) rarissimi e minacciati rapaci, sono entrambi ancora visibili nella zona.

Al di fuori della stagione fredda si incontrano pure in questo ambiente la Rana agile ed il Rospo verde (anche se sempre in prossimità dell'acqua) tra gli Anfibi, la Lucertola campestre e la Luscengola (o "Fenarola" dei locali).

Nidificano quivi anche la Quaglia, la Sterpazzola, il Calandro, la Calandrella, la Sterpazzola di Sardegna, la Monachella orientale, i piccoli predatori Averla piccola e Averla capirossa (in rapporto comunque perlomeno a macchie d'arbusti), mentre la Starna conta ormai solo sugli esemplari eventualmente introdotti a scopo venatorio. Rientrano nella categoria dei nidificanti altre specie assai interessanti, come lo Zigolo capinero, la cui nidificazione nella costa tirrenica è stata segnalata per la prima volta nel 1970 nei monti della Tolfa, da Allavena (Contoli et al, 1980), come la Rondine rossiccia, non comune come nidificante lungo la costa tirrenica, come l'Albanella minore (al limite del suo areale di nidificazione) o il Biancone (che predilige le latifoglie, meglio se sempreverdi), o come il già citato Capovaccaio, che invece nidifica su aspre pareti rocciose, ma che sembra quasi scomparso nella zona.

D'inverno sono presenti la Pavoncella, la Cesena, la Pispola, il Corvo comune. L'avifauna di passo è costituita dallo Stiaccino, dal Culbianco, dalla Cutrettola, dalla Rondine rupestre, dal Prispolone, dal Rondone alpino e pallido, dal Falco cuculo, dal Falco della Regina, dal Grillaio e dallo Smeriglio. Secondo Faraglia e Riga (1997), anche l'Albanella reale è avvistabile da ottobre a marzo presso le aree prative.

#### F) Zone rupestri, aree nude ed ambienti urbanizzati

Le zone rupestri e le pareti rocciose ("Coste", "Castelline", ecc. secondo la terminologia locale), anche a causa della loro non eccessiva estensione, non dovrebbero figurare autonomamente tra i grandi ambienti faunistici dei monti della Tolfa, se non ospitassero per la nidificazione numerose ed importanti specie, pur legate ad altri ambienti per l'alimentazione.

A queste zone, inoltre, si può assimilare in parte anche l'ambiente "urbano". Infatti l'analogia fra la struttura verticale degli edifici (con riferimento, soprattutto, a quelli abbandonati o poco frequentati dall'uomo) e quella delle falesie rocciose naturali costituisce la base per la presenza nei centri urbani e negli edifici isolati abbandonati di specie rupicole.

Questa tipologia di habitat ospita, tra i rettili, il Geco comune ed il Geco verrucoso, con la lucertola muraiola (presso i fossi e le zone cespugliate), mentre l'avifauna annovera specie come il Passero solitario e la Passera montana, come la Taccola e il Piccione selvatico; è attivissimo di notte il Barbagianni. Ad eccezione del periodo invernale, troviamo pure in attività numerosi Chiroterteri, tra i quali il Pipistrello di Savi (visibile una volta anche nella stagione fredda), il Ferro-di-cavallo maggiore e minore (a bassa quota), il Vespertilio maggiore (a quote medie), mentre il Miniottero ed il raro Molosso del Cestoni volano a quote relativamente elevate.

Nella stagione adatta nidificano nell'ambiente considerato anche la Ghiandaia marina, i Rondoni, la Tortora dal collare ed il Gruccione .

D'inverno possono essere avvistati il Codiroso spazzacamino e soprattutto il Picchio muraiolo.

L'avifauna di passo è probabilmente rappresentata dalla Passera lagia e, forse erratico, del Corvo imperiale, tuttavia rarissimo e non più segnalato da qualche anno nella zona; infatti, Faraglia e Riga (1997) non segnalano quest'ultima specie.

Resta da dire di alcune specie che, ampiamente diffuse in una vasta gamma di ambienti o caratterizzate da vasti spostamenti regolari od irregolari, possono essere notate in svariate circostanze e situazione in tutto il comprensorio.

Sempre presenti tra tali specie, sono la Cinciallegra, la Cinciarella, la Passera d'Italia, lo Scricciolo; prevalentemente di notte, la Lepre, (la cui popolazione locale è ormai da considerare quasi del tutto alterata a causa dei ripopolamenti a scopo venatorio con esemplari dell'Europa centro-orientale), il Topo selvatico comune, il Ratto nero e il Ratto delle chiaviche (tuttavia legato in prevalenza alle aree antropizzate), il Topolino delle case (del quale esistono nella zona, come in genere nella fascia costiera mediterranea, delle popolazioni non sinantropiche, cioè non inquiline nè commensali dell'uomo) e, tra i predatori, la Volpe, la cui diffusione peraltro sembra più contenuta rispetto a molte zone italiane.

A questa specie si aggiungono il Balestruccio, la Rondine, il Rondone, lo Storno, e, tra i predatori, il Nibbio bruno, uno dei pochissimi rapaci in fase di espansione a causa appunto della sua amplissima nicchia ecologica; durante il passo o erratici, il Gabbiano reale, quello comune e il Canapino maggiore.

#### *Sottosistemi ecologici terrestri*

Dall'analisi delle informazioni riportate nei paragrafi relativi alla vegetazione, flora e fauna, al quale si rimanda per dati di maggior dettaglio su singole componenti ecosistemiche e per la relativa cartografia tematica, è possibile effettuare una lettura del territorio dal punto di vista ecosistemico.

La classificazione delle tipologie ecosistemiche terrestri è stata effettuata su base essenzialmente vegetazionale; la vegetazione costituisce, infatti, l'elemento ambientale che più si presta a fornire un quadro ecologico sinottico, grazie al ruolo di interconnessione ecologica che svolge il mondo vegetale fra la componente abiotica degli ecosistemi e le altre componenti biocenotiche.

Sulla base di questo criterio, nell'area di studio si possono riconoscere le seguenti tipologie ecologiche terrestri:

ciò

##### a) Sottosistema delle aree urbanizzate

E' rappresentato dagli ambienti urbani, con particolare riferimento agli insediamenti di media e piccola estensione, distribuiti nell'area considerata. Essi offrono habitat, in genere marginali, a specie in grado di tollerare il disturbo causato dalla presenza dell'uomo e di utilizzare le particolari opportunità di questo tipo di ambienti (risorse alimentari, rifugio in strutture abbandonate, vantaggio nella competizione con le specie meno antropofile, etc.).

Si tratta di un sottosistema estremamente ridotto poiché nell'area sono presenti pochi centri abitati di dimensioni significative la cui estensione è piuttosto contenuta.

##### b) Sottosistema delle aree coltivate

E' costituito in prevalenza dai seminativi presenti nella porzione di maremma laziale a Nord dell'area di studio ed in piccole aree tra le pendici dell'acrocoro tolfetano e la costa; il suo grado di antropizzazione piuttosto elevato relega nelle aree marginali (siepi, bordi di canali o fossi, soluzioni di continuità tra aree coltivate) i pochi residui di naturalità. Esso svolge in prevalenza funzioni trofiche per una fauna estremamente adattata alle attività dell'uomo.

##### c) Sottosistema delle aree boscate

Questo sottosistema è presente in prevalenza nell'area dei Monti della Tolfa ed è costituito da fitocenosi di diversa complessità e composizione. Si tratta essenzialmente di boschi di sempreverdi, costituiti in prevalenza dalle essenze della macchia mediterranea, e di boschi di latifoglie decidue.

La complessità e la distribuzione delle fitocenosi determina la notevole importanza dal punto di vista ecologico di questo sottosistema. Esse, infatti, ospitano le zoocenosi più pregiate dell'area considerata e svolgono anche le funzioni di connettività tra aree geografiche diverse

In particolare, nell'area considerata, Contoli et al. (1980) individuano una serie di ponti biotici (connessioni), sia lungo le aree boscate sia lungo i corsi d'acqua, che attraversano l'acrocoro tolfaiano in diverse direzioni garantendo quindi la mobilità della fauna (connettività).

Anche la complessità delle reti trofiche operanti in quest'ambito sembra elevata, in rapporto sia all'elevato numero di specie predatrici presenti in molti gruppi sistematici, sia sulla base del discreto numero di esemplari appartenenti a queste specie.

## 2.11 Dati disponibili di biomonitoraggio della qualità dell'aria

### 2.11.1 Biomonitoraggio Enel 1995 ÷ 1997

Negli anni 1995, 1996 e 1997 è stato effettuato, a cura di Enel (Enel, 1999 e Nimis, 1997), uno studio di biomonitoraggio della qualità dell'aria relativo al territorio dei Monti della Tolfa in ottemperanza alle prescrizioni del decreto MICA del 16/11/92 che autorizzava il risanamento del Polo Energetico di Civitavecchia.

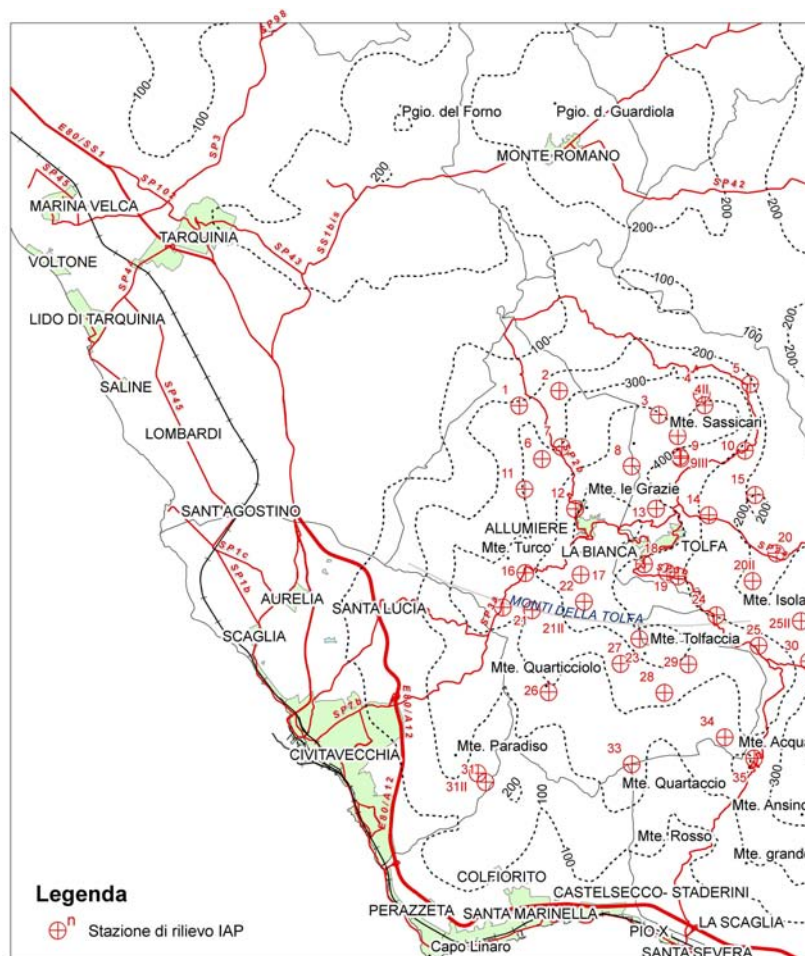
#### Materiali e metodi

L'area di indagine era delimitata da un rettangolo ideale di 10x14 km (fig.1) suddiviso in 35 quadrati di 2 km di lato.

I biosensori utilizzati, esclusivamente di tipo passivo (spontaneamente presenti sul territorio), erano i seguenti:

- licheni come bioindicatori in 35 stazioni per la determinazione dell'Index of Atmospheric Purity (IAP),

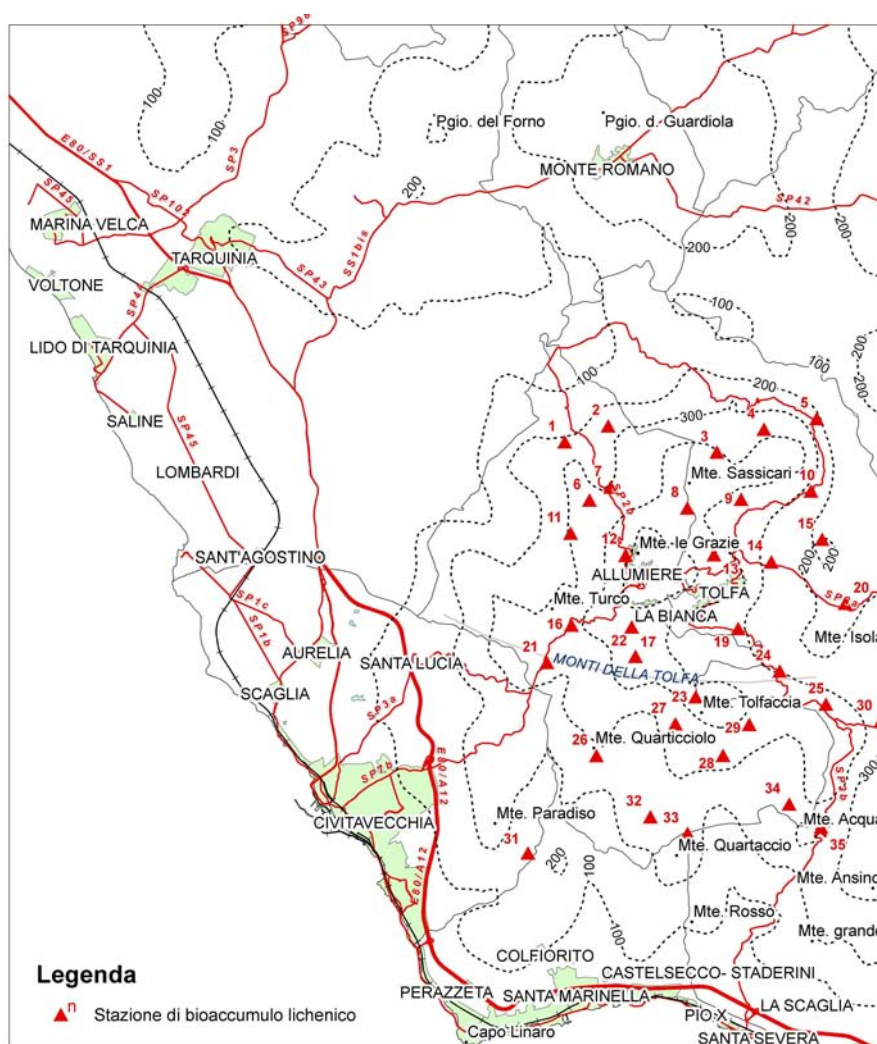
Figura 2.11-a. Distribuzione delle stazioni di bioindicazione (IAP)



- licheni come bioaccumulatori in 35 stazioni per la determinazione di Al, Zn, Ti, Mn, Pb, V, Ni, Cd, Be, Cr, Cu, As e Hg,

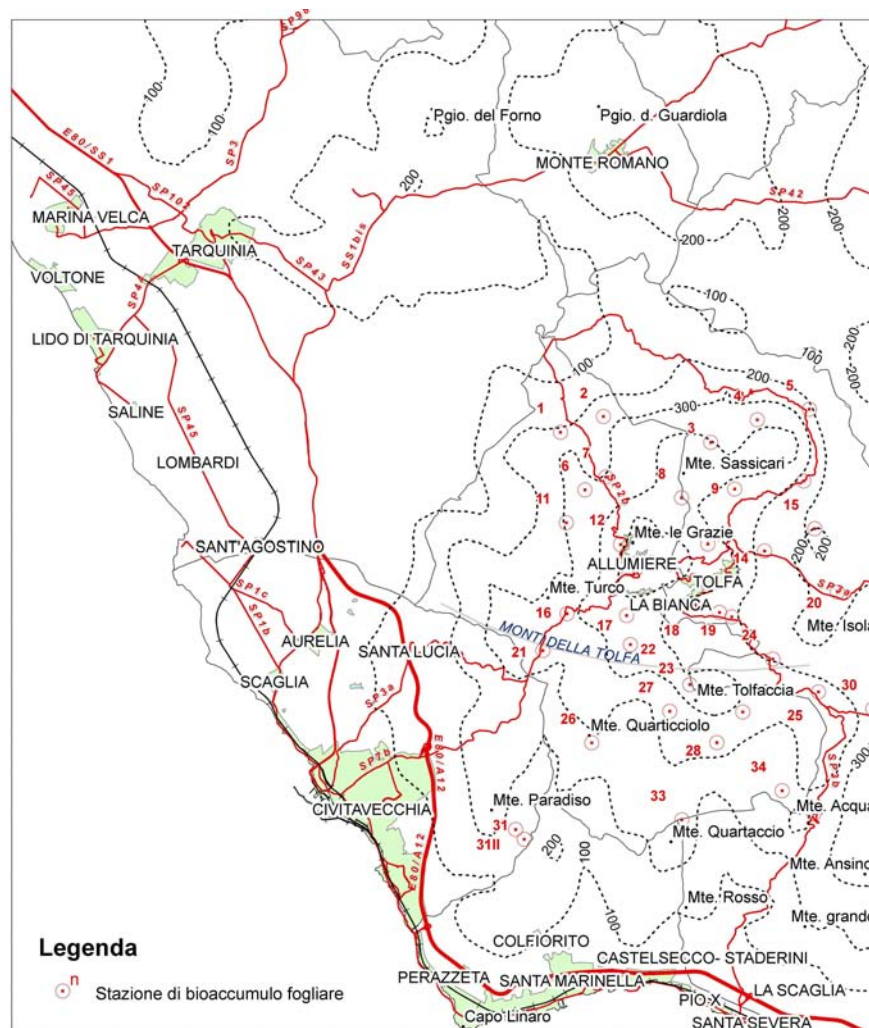


Figura 2.11-b. Distribuzione delle stazioni di bioaccumulo lichenico.



- foglie di specie caducifoglie del genere *Quercus* come bioaccumulatori in 36 stazioni per la determinazione di Al, Zn, Ti, Mn, Pb, V, Ni, Cd, Be, Cr, Cu, As e Hg.

Figura 2.11-c. Distribuzione delle stazioni di bioaccumulo fogliare



Le stazioni (insieme di 3 alberi per il bioaccumulo fogliare e di almeno 3 forofiti per la bioindicazione lichenica) sono state individuate facendo riferimento al reticolo ideale a maglia quadrata di 2 km di lato ed adottando criteri specifici di idoneità per ciascuna tipologia di biosensori; inoltre, per quanto possibile si è cercato di far coincidere spazialmente le stazioni del bioaccumulo fogliare con quelle dell'indagine lichenologica.

Inoltre, nelle stazioni del bioaccumulo fogliare sono stati prelevati campioni di suolo dello strato da -1 a -50 cm dal piano di campagna per la determinazione delle frazioni assimilabili degli elementi indagati e nelle stazioni di bioaccumulo lichenico sono stati prelevati campioni di suolo superficiale al fine di valutare il contributo terrigeno nei talli lichenici

I metodi di campionamento adottati sono i seguenti:

#### *Bioaccumulo fogliare*

- il periodo di raccolta coincidente con la fine della stagione vegetativa, prima del cambiamento di colore delle foglie,
- il prelievo di fronde (alla stessa altezza per tutti gli alberi), dai diversi lati della chioma, che abbiano foglie esposte alla luce,
- la raccolta delle foglie più vecchie, per un totale di almeno 6 g di sostanza secca,
- il lavaggio delle foglie con acqua distillata o demineralizzata (simulazione di un evento di pioggia per tutte le stazioni),
- l'essiccamento del materiale raccolto alla temperatura massima di 40°C, al fine di evitare la perdita degli elementi più volatili (Hg).

### *Bioindicazione lichenica*

Rilevamento della biodiversità dei licheni epifiti (IAP) è stato effettuato seguendo il metodo Svizzero, modificato da Nimis et al. (1991).

### *Bioaccumulo lichenico*

- scelta della *Flavoparmelia caperata* come specie uniformemente diffusa su tutto il territorio indagato,
- prelievo con coltellino in acciaio inox di almeno 6 talli di *F. caperata*, insediati sulle cortecce di alberi ad un'altezza dal suolo non inferiore a 1,5 m
- costituzione di un campione unico per ogni stazione conservato in buste di carta per il trasporto,
- prelievo al microscopio binoculare delle parti esterne dei talli raccolti, che in generale rappresentano la crescita dell'ultimo anno, e loro pulizia manuale allo scopo di eliminare il materiale estraneo (es. scorza, terra, muschio etc.),
- essiccazione all'aria al fine di evitare la perdita degli elementi in traccia più volatili (es. Hg).

I metodi analitici utilizzati sono i seguenti:

### *Bioaccumulo fogliare*

mineralizzazione totale con  $\text{HN0}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$  e HF in forno a microonde. Con le soluzioni ottenute sono state effettuate le seguenti determinazioni:

- Al, Mn, Ti e Zn **ICP-AES**,
- Be, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb e V **ICP-MS**,
- As **FI-HG-AAS**,
- Hg **FI-HGAAS**.

### *Bioaccumulo lichenico*

mineralizzazione totale con  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$  e HF in forno a microonde. Con le soluzioni ottenute sono state effettuate le seguenti determinazioni:

- Al, Zn, Ti, Mn **ICP-AES**,
- Pb, V, Ni, Cd, Be, Cr, Cu, As **ICP-MS**,
- Hg **FI-HGAAS**.

## **Sintesi dei risultati**

### *Bioindicazione*

La flora lichenica epifita dell'area di studio è piuttosto ricca, e si caratterizza per la presenza di numerose specie generalmente sensibili all'inquinamento atmosferico.

La vegetazione lichenica si articola in due comunità principali, una più acidofila, igrofila e sciafila, appartenente all'alleanza del *Parmelion*, l'altra più xerofila, nitrofila, eliofila e meno acidofila appartenente all'alleanza dello *Xanthorion*. I valori di biodiversità lichenica non sembrano essere influenzati dal tipo di vegetazione rilevata.

Le florule licheniche rilevate nelle varie stazioni si suddividono anch'esse in due gruppi principali, uno dominato da specie di *Parmelion*, l'altro da specie di *Xanthorion*. L'analisi dei dati basata sulla presenza-assenza delle specie nelle stazioni mette in rilievo un gruppo di stazioni caratterizzate dall'abbondante presenza di un gruppo di specie aeroigrofile a carattere suboceanico. Queste stazioni sono localizzate nella parte meridionale dell'area di studio, aperta ai venti umidi marittimi, e nella parte centrale, soprattutto ad altitudini elevate, in cui è probabile il frequente ristagno di nebbie.

I valori di I.A.P. sono medio-alti in tutta l'area di studio, con scarse variazioni da zona a zona. La parte con valori relativamente meno elevati è quella meridionale, unitamente ad alcune porzioni della parte settentrionale. Nel complesso, comunque, non si rilevano fenomeni di inquinamento atmosferico particolarmente gravi. L'area di studio, per quel che riguarda la componente lichenica, sembra ancora trovarsi in una situazione prossima a quella naturale.

### *Bioaccumulo*

A seguito della discussione dei risultati ottenuti in tre anni di monitoraggio, effettuato con l'ausilio di due tipi di bioaccumulatori vegetali, sono emerse alcune informazioni relative alla distribuzione spaziale degli elementi considerati riassumibili nei seguenti punti:

Al - si tratta di uno degli elementi principali nella composizione dei suoli e non risulta che localmente vi siano sorgenti antropiche in grado di emetterlo in quantità significative. Il bioaccumulo fogliare indica una sua distribuzione relativamente omogenea in tutto il territorio indagato, presentando inoltre un'analogia di distribuzione spaziale con Ti e V. Il bioaccumulo nei licheni conferma la correlazione di Al con Ti e V e mostra altre analogie di distribuzione spaziale con Ni, Cr, Be e Zn.

La correlazione tra Al fogliare ed Al nei licheni indica un'origine comune che potrebbe essere rappresentata dal particolato aerodisperso di origine terrigena,

As - lo studio ha evidenziato un contenuto elevato dell'elemento nei suoli di alcune stazioni ed in particolare nella stazione 17. Le analisi hanno mostrato che la biodisponibilità di tale elemento risulta piuttosto ridotta facendo presumere che esso sia presente quasi esclusivamente in forma minerale (arsenopirite); ciò è suffragato dal fatto che il valore più alto sia stato rilevato in corrispondenza di una zona dove nel passato si sono sviluppate attività di estrazione di solfuri metallici (es. PbS). Il contenuto di As nei licheni è influenzato in prevalenza dal contributo terrigeno,

Be - questo elemento non mostra concentrazioni di particolare interesse in entrambe i bioaccumulatori e la sua origine è presumibilmente di tipo terrigeno; il bioaccumulo fogliare degli anni 1995 e 1996 ha mostrato una correlazione con l'assimilabile nei terreni, mentre nei licheni è stata evidenziata una significativa correlazione con Ti e Al,

Cd - l'elemento ha mostrato una bassa variabilità spaziale per entrambe i bioaccumulatori raggiungendo concentrazioni relativamente basse,

Cr - presenta concentrazioni comprese negli intervalli di letteratura per entrambi i bioaccumulatori e mostra correlazioni significative con gli elementi tipicamente terrigeni; in particolare per i licheni è stata evidenziata una correlazione significativa con il contenuto nei suoli,

Cu - si tratta di uno degli elementi che presenta in generale un'elevata omogeneità di distribuzione spaziale per quanto riguarda il bioaccumulo fogliare, confermata in parte anche dal bioaccumulo nei licheni,

Hg - l'area tolletana è caratterizzata dalla presenza del minerale di Hg (cinabro), specialmente nella parte centrale dell'area di studio, ed il rilevamento, in alcune stazioni, di valori di concentrazione relativamente più elevati è probabilmente legato alle emissioni naturali,

Mn - si tratta di un elemento essenziale per la nutrizione dei vegetali e quindi l'assorbimento radicale fornisce un contributo al contenuto fogliare, risulta quindi difficile discriminare il contributo fornito dalla deposizione del particolato aerodisperso anche se la correlazione altamente significativa con il contenuto nei licheni porterebbe ad ipotizzare una prevalenza del contributo del particolato aerodisperso. Per quanto riguarda i licheni si rileva una distribuzione spaziale relativamente omogenea con l'eccezione di due stazioni al margine nord dell'area di monitoraggio (staz. 1 e 3),

Ni - le concentrazioni fogliari di questo elemento mostrano sostanzialmente una bassa variabilità temporale con i valori massimi rilevati al margine sud est dell'area. La correlazione significativa tra il contenuto nei licheni ed il contenuto nei suoli consente di ipotizzare la prevalenza del contributo terrigeno locale al particolato aerodisperso catturato,

Pb - anche questo metallo è presente nell'area come minerale (PbS) ed in passato è stato oggetto di estrazione. Il bioaccumulo fogliare mostra una bassa variabilità spaziale dell'elemento ed i valori di concentrazione raggiunti risultano relativamente contenuti. Per quanto riguarda i licheni si registrano in alcune stazioni valori relativamente più elevati rispetto a quelli indicati in letteratura; una parziale indicazione dell'origine di tale elemento è fornita dalle correlazioni altamente significative con elementi tipicamente terrigeni come Al e Ti e con elementi come Cr, V e Ni che nel caso specifico hanno mostrato una provenienza terrigena, Ti - si tratta di un elemento prevalentemente di origine terrigena che non rappresenta un problema dal punto di vista ambientale,

V - la correlazione tra il suo contenuto nei licheni e quello nei suoli consente di ipotizzare una prevalenza del contributo terrigeno al particolato depositatosi sui bioaccumulatori impiegati,

Zn - l'elemento mostra una bassissima variabilità spaziale per entrambe i bioaccumulatori ed una correlazione con gli elementi di origine terrigena. Tale condizione porta ad ipotizzare che i valori rilevati rappresentino il background dell'area.

In conclusione, per quanto riguarda i risultati del bioaccumulo fogliare, emerge che, in generale, la distribuzione degli elementi in traccia veicolati nell'atmosfera risulta influenzata da più fattori, naturali o antropici, che difficilmente possono essere discriminati tra di loro. Per i licheni invece è possibile ipotizzare un'influenza di sorgenti naturali (suolo) per diversi elementi ricercati; questo emerge sia dalle correlazioni esistenti tra contenuto nei licheni e contenuto nei suoli sia dalle correlazioni con gli elementi tipicamente terrigeni (Al e Ti); per quest'ultimi, infatti, non è possibile ipotizzare l'esistenza di sorgenti antropiche, anche nell'area circostante l'acrocoro tolfetano.

### 2.11.2 Biomonitoraggio Tirreno Power 2004

Nell'anno 2004 è stata avviata da Tirreno Power una rete di biomonitoraggio per il controllo degli ecosistemi (Strategie Ambientali, 2004) in ottemperanza al Decreto Autorizzativi MICA n. 012/2001 del 28 novembre 2001, relativo alla trasformazione in ciclo combinato delle sezioni 1, 2 e 3 della centrale termoelettrica di Torrevaldaliga Sud.

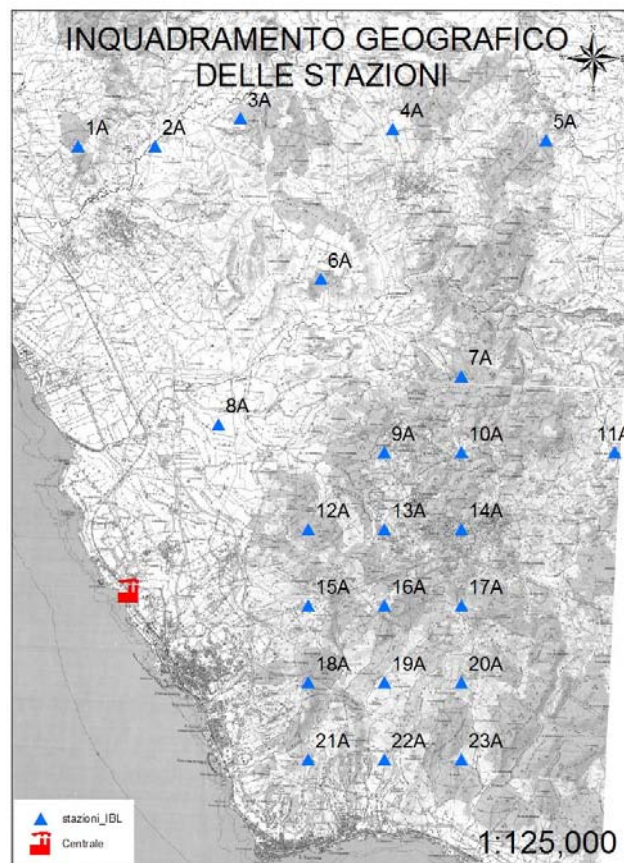
#### *Materiali e metodi*

La realizzazione del biomonitoraggio, basata sull'utilizzo di biosensori vegetali con funzione di bioindicatori e di bioaccumulatori, è stata effettuata in 31 stazioni:

#### *Bioindicazione*

23 stazioni (Figura 2.11-d), distribuite sul territorio con una maglia di dimensioni 3x3 Km, sottomaglia del reticolo nazionale ANPA 18x18 è stato effettuato il rilievo dell'IBL (ANPA, 2001),

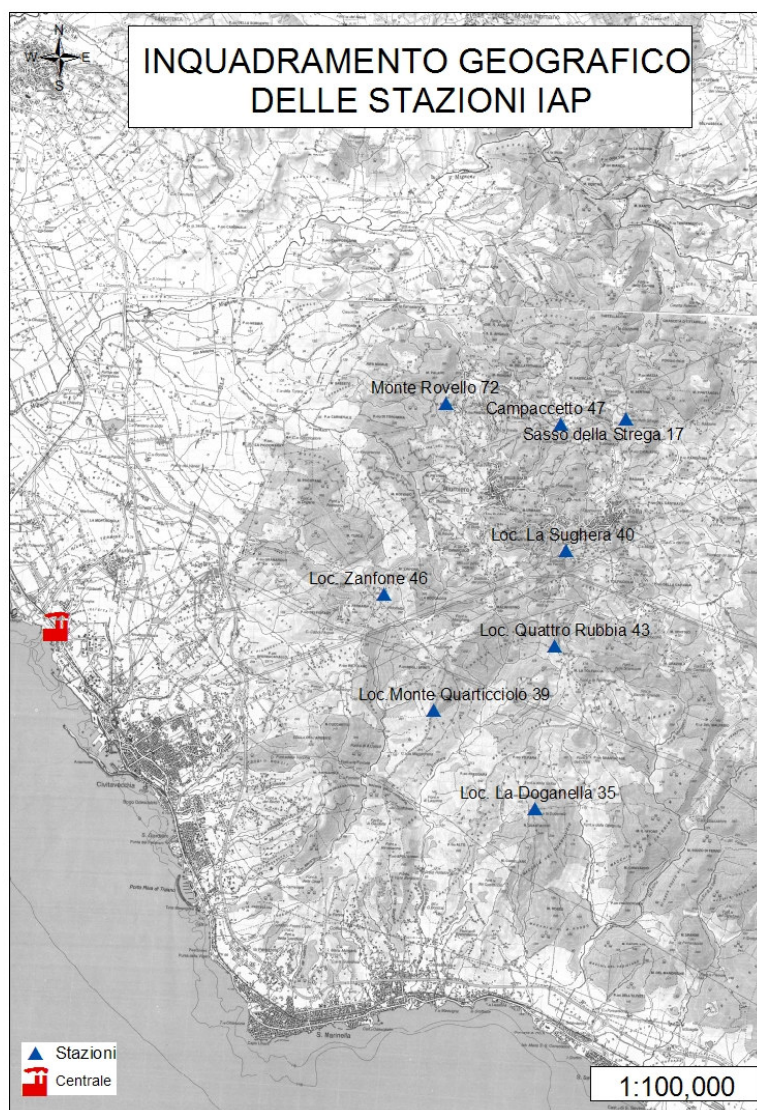
**Figura 2.11-d. Stazioni scelte per l'IBL (estratto da Strategie Ambientali, 2004)**





8 stazioni appartenenti alla rete di bioindicazione Enel (1999) è stato effettuato il rilievo dell'IAP (Index of Atmospheric Purity) messo a punto da Nimis per il territorio italiano (Nimis et al., 1990 e Nimis et al., 1991), al fine di valutare eventuali tendenze evolutive della qualità dell'aria rispetto agli anni passati.

**Figura 2.11-e. Inquadramento geografico delle 8 stazioni scelte per lo IAP (Estratto da Strategie Ambientali, 2004)**



### *Bioaccumulo*

23 stazioni di *Flavoparmelia caperata* come specie lichenica bioaccumulatrice (Nimis et al., 1999) con la stessa distribuzione delle stazioni di bioindicazione (Figura 2.11-d),

23 stazioni di bioaccumulo fogliare di specie del genere *Quercus spp.* (VDI 3792 parte 5) con la stessa distribuzione delle stazioni delle stazioni di bioindicazione (Figura 2.11-d),

Inoltre, nei pressi dei forofiti dove sono stati raccolte le porzioni di tallo per il bioaccumulo lichenico, sono stati effettuati i prelievi di terreno superficiale per la verifica del contributo terrigeno alla concentrazione degli elementi indagati nei talli lichenici.

Gli elementi ricercati in entrambe i bioaccumulatori sono stati: As, Pb, V, Hg, Cr, Cu, Ni, Ti, Pb, Al e Mg (quest'ultimo solo nei talli lichenici).

### *Sintesi dei risultati*

Il risultati ottenuti attraverso lo studio dell'INDICE di BIODIVERSITA' LICHENICA suggeriscono che nel territorio oggetto di studio la situazione ambientale non risulta omogenea, ma mostra zone con diverse condizioni di alterazione.

Ciò viene dimostrato dall'analisi delle mappe di distribuzione dell'IBL ove si rende noto che la situazione di disturbo segue un andamento iperbolico (dalla stazione 5A arriva alla stazione 23A interessando le stazioni 6A, 8A, 15A e 19A). Questo trend circonda un'area meno disturbata dove i valori di BL sono maggiori, come nelle stazioni 10A, 11A, 13A, 14A, 16A, 17A, situate nella parte centrale della rete (vedi allegato 5). In questo contesto particolarmente bassi risultano i valori di BL nelle stazioni 6A, 8A e 15A con indice inferiore a  $BL = 40$ , circa la metà del valore massimo riscontrato nell'area ( $IBL = 74$ ).

Interessante risultato dello studio è la forte correlabilità e sovrapponibilità della mappa dell'IBL con la mappa dell'EUTROFIZZAZIONE (estrapolata come indice ecologico).

Da questo confronto sembra chiaro il rapporto esistente tra l'EUTROFIZZAZIONE cui è sottoposta il territorio e il disturbo presente.

Altri dati e informazioni sono stati ottenuti dalla bioindicazione secondo il metodo IAP. Tale studio è stato una ripetizione di uno studio già condotto nel 1995. Alla luce dei risultati ottenuti si può dire che la situazione nel complesso non sembra aver subito sostanziali cambiamenti dal 1995 ad oggi. In entrambi gli studi infatti, la maggiore diversità lichenica è stata riscontrata nella zona nord-occidentale della sotto-rete e la situazione di maggiore disturbo rimane situata nella zona a nord-est della stessa.

Per quanto riguarda i risultati di bioaccumulo, per questa fase di gestione iniziata nell'ottobre del 2003 e conclusa nel luglio del 2004, ci si è limitati unicamente allo studio di biosensori passivi la cui risposta, per la maggior parte degli elementi chimici controllati, ha restituito valori di concentrazione medi inferiori ai valori di riferimento naturali.

Riassumendo i risultati ottenuti dai tre sistemi di analisi, si può affermare che l'area del Tolfetano, anche se fortemente antropizzata, non presenta particolari elementi di disturbo.

Dal confronto della mappa dell'IBL con le mappe di dispersione degli elementi, si nota però come nell'area posta ad est della rete dove i risultati della bioindicazione hanno fornito una situazione ambientale migliore (stazioni 10A, 11A, 13A, 14A, 16A, 17A, 20A), anche il risultato del bioaccumulo ha dato la stessa informazione. Di contro dove i risultati dell'IBL hanno dato informazioni su una situazione ambientale peggiore (stazioni 1A, 2A, 4A, 5A, 6A, 8A, 15A), come quella a nord nord-ovest della rete, anche il bioaccumulo ha dato la stessa informazione.



### 3 PROGETTAZIONE DEL SISTEMA DI BIOMONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA

#### 3.1 Composti ed elementi da considerare per la progettazione della rete di biomonitoraggio.

Il documento delle linee guida (Enel, 2004) ha individuato alcuni composti gassosi ed alcuni elementi la cui diffusione spaziale deve essere monitorata:

1. SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> e O<sub>3</sub>,
2. Al, As, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Se, Pb, Ti, V e Zn.

Il primo gruppo è costituito da composti gassosi emessi dai processi di combustione (SO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub>), definiti come inquinanti primari, e da composti gassosi che si producono in atmosfera (O<sub>3</sub>) a seguito di reazioni fotochimiche che coinvolgono gli inquinanti primari, definiti come inquinanti secondari.

Il secondo gruppo è composto da elementi che sono presenti sia nelle emissioni dei processi di combustione con combustibili liquidi e solidi sia nei suoli.

In particolare Al e Ti determinati nei suoli superficiali prima dell'entrata in esercizio dell'impianto autorizzato consentiranno di valutare il contributo terrigeno al contenuto degli elementi considerati nei talli lichenici (Fattore di Arricchimento).

#### 3.2 Individuazione dell'area di interesse

Sulla base delle informazioni fornite dall'analisi del territorio ed in particolare dalle modellazioni diffusionali e delle indagini pregresse è possibile definire un'area di interesse che le Linee guida definite nel documento Enel (2004) indicano in modo generale come un'area compresa entro un raggio di 20 km a fare centro dalla centrale.

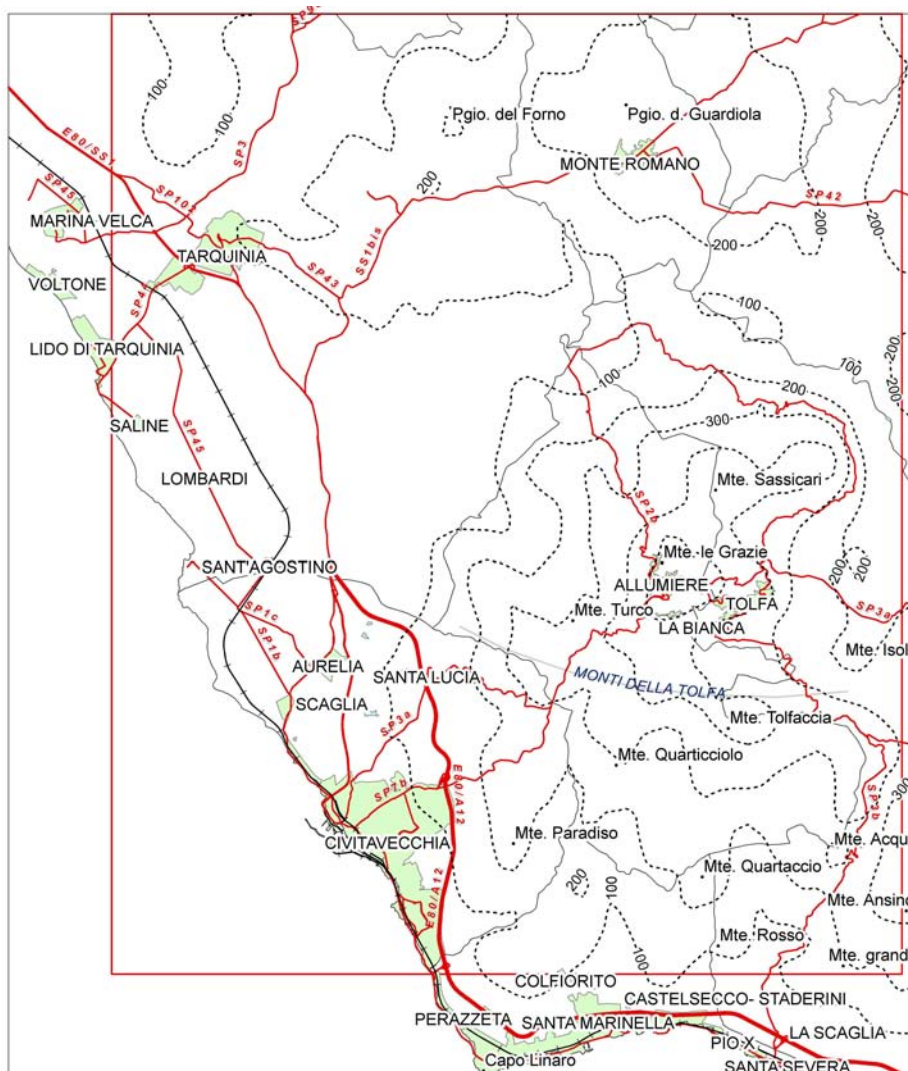
Il territorio indagato è caratterizzato da una zona pianeggiante nel quadrante NO, da una zona collinare nel quadrante NE e da una zona prevalentemente montagnosa nella parte S; quest'ultima, quindi, a causa della complessità morfologica presenta condizioni locali diversificate dal punto di vista sia microclimatico sia antropico.

La modellazione diffusionale ha elaborato diversi indici statistici dei contributi di SO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub> a livello del suolo (cfr. 1.8.2) che mostrano una loro distribuzione prevalente nei Monti della Tolfa e la loro sostanziale assenza nella parte N dell'area considerata. In particolare, il 98° delle medie giornaliere di SO<sub>2</sub> (Figura 2.8-b), che alcuni autori hanno correlato alla biodiversità lichenica (Nimis et al., 1991 e Nimis et al., 1990) mostrando che valori inferiori a 20 µg/m<sup>3</sup> non influenzano in modo significativo la biodiversità lichenica, raggiunge il valore puntiforme massimo di 18 µg/m<sup>3</sup>; il resto delle aree è interessato da concentrazioni decisamente inferiori.

La modellazione delle deposizioni al suolo di elementi inorganici nell'assetto futuro (Figura 2.8-k) mostra che i valori massimi sono localizzati all'interno dell'impianto ed il fenomeno si esaurisce sostanzialmente entro 1 km dalla sorgente di emissione.

Considerando, quindi, le situazioni riportate e l'ulteriore indicazione delle Linee guida (Enel, 2004) *"Dovranno essere inoltre localizzate porzioni di territorio non interessate dai contributi della centrale che costituiranno il "bianco ambientale" utile per il controllo e la validazione dei dati rilevati"* è possibile individuare un'area di circa 26x30 km (780 km<sup>2</sup>) ubicata come mostrato in figura Figura 3.2-a

Figura 3.2-a. Area di interesse per la rete di biomonitoraggio (perimetro in rosso)



### 3.3 Requisiti del sistema

Il documento Enel Produzione (2004) "Piano delle campagne di monitoraggio e biomonitoraggio" riporta le linee guida per la realizzazione del sistema di biomonitoraggio della qualità dell'aria del territorio circostante la Centrale termoelettrica di Torrevaldaliga Nord, in ottemperanza a quanto prescritto nel decreto del Ministero delle Attività Produttive n. 55/02/2003 del 24 dicembre 2003.

In particolare si indica quanto segue:

*"Tutti i biosensori da utilizzare per l'allestimento della rete di biomonitoraggio dovranno comunque essere individuati tra le seguenti tipologie:*

1. *licheni per la bioindicazione della qualità dell'aria (biomonitoraggio passivo);*
2. *licheni per la determinazione del bioaccumulo di elementi in traccia (biomonitoraggio passivo);*
3. *specie arboree spontanee autoctone per la determinazione del bioaccumulo di elementi in traccia e/o per la bioindicazione (biomonitoraggio passivo);*
4. *specie erbacee spontanee autoctone per la determinazione del bioaccumulo di elementi in traccia e/o per la bioindicazione (biomonitoraggio passivo);*
5. *specie erbacee coltivate in vaso per la determinazione del bioaccumulo di elementi in traccia (biomonitoraggio attivo);*

6. *micromammiferi / insetti autoctoni particolarmente sensibili alle condizioni ambientali presenti nell'area.*

*La scelta dei biosensori da utilizzare, oltre che tenere conto del precedente biomonitoraggio basato su biosensori passivi e quindi spontaneamente presenti, deve partire dalle seguenti considerazioni morfologiche-strutturali del territorio:*

- *la presenza nell'area vasta di due tipologie orografiche, la Maremma laziale e il complesso dei Monti della Tolfa;*
- *l'ubicazione del territorio potenzialmente interessato dai contributi dell'impianto in prevalenza all'interno dell'acrocoro tolfetano, dove la vegetazione arborea presenta una buona distribuzione;*
- *la presenza, dal punto di vista climatico, di una maggiore umidità all'interno delle valli, dove per questo si sviluppa la vegetazione mesofila, e lo sviluppo di vegetazione sempreverde, tendenzialmente più xerofila, alle altitudini maggiori (distribuzione altitudinale inversa).*

***Sulla base delle precedenti considerazioni, risulterà quindi opportuno orientare la scelta prevalentemente verso biosensori passivi utilizzando come tecnica di biomonitoraggio sia la biondicazione sia il bioaccumulo ove possibile mediante licheni epifiti (licheni che crescono sulle cortecce degli alberi) adottando la tecnica proposta dall'APAT nell'ambito del progetto di biomonitoraggio del territorio nazionale (ANPA 2001 e successivi) ovvero mediante piante erbacee, arboree e, se possibile, micromammiferi o insetti.***

Al fine di procedere ad una corretta applicazione di quanto indicato nelle linee guida e quindi effettuare la scelta dei biosensori adatti per l'esercizio della rete oggetto del presente progetto, occorre eseguire un'analisi delle tipologie di biosensori indicate in funzione dei seguenti elementi:

- i composti o elementi considerati,
- le caratteristiche territoriali,
- la sensibilità specifica dei singoli biosensori ai composti o elementi considerati,
- la disponibilità sul territorio (biosensori passivi),
- le caratteristiche climatiche e microclimatiche per l'utilizzo dei biosensori attivi.

### **3.4 Analisi dell'applicabilità dei biosensori indicati nelle linee guida (2004)**

#### **3.4.1 Licheni per la bioindicazione**

L'utilizzo come biosensori dei licheni epifiti (presenti spontaneamente sulle cortecce degli alberi) si basa sulla correlazione tra la concentrazione di composti gassosi fitotossici come SO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub> in aria e la composizione specifica delle comunità licheniche epifite (biodiversità): a concentrazioni elevate le comunità licheniche sono caratterizzate da pochissime specie oppure sono completamente assenti, mentre a basse concentrazioni le comunità presentano un numero elevato di specie. Diversi studi hanno verificato sperimentalmente l'esistenza di correlazione significativa tra gli indici di biodiversità rilevati e le concentrazioni dei gas fitotossici in aria ed hanno portato alla redazione di norme applicative sia a livello europeo (VDI 3957 part 13, 2004) che a livello nazionale (ANPA, 2001).

Nel caso specifico si rileva (cfr. 1.11) che i licheni quali bioindicatori della qualità dell'aria sono già stati ampiamente utilizzati nel territorio da indagare (Nimis, 1997 e Strategie Ambientali, 2004) ed hanno fornito preziose indicazioni sullo stato di qualità dell'aria dell'area. Occorre, però, considerare che il metodo di scelta delle stazioni e di effettuazione dei rilievi applicato nel 1996 (Nimis, 1997) e in parte anche nel 2003 (Strategie Ambientali, 2004) è significativamente diverso dal metodo normato da APAT nel 2001.

Ai fini della progettazione, le caratteristiche territoriali, in particolare la disponibilità di forofiti (alberi che ospitano sulle cortecce le comunità licheniche), consentono di suddividere essenzialmente l'area di interesse in due parti:

- la parte Nord dell'area considerata dove si sviluppa lo sfruttamento agricolo intensivo e si riscontra una bassa presenza di forofiti idonei,
- la parte Sud caratterizzata dalla presenza dell'acrocoro tolfetano dove la presenza di boschi e di pascoli determina una maggiore presenza di forofiti idonei.

Questo potrà comportare difficoltà nel reperimento di forofiti idonei nella parte N dell'area ma non dovrebbe compromettere l'applicabilità di questo tipo di biosensori.

### **3.4.2 Licheni per la determinazione del bioaccumulo di elementi in traccia**

Questo tipo di biosensore è ampiamente utilizzato a diversi anni nel territorio italiano e si basa sulla capacità dei talli lichenici di una specie generalmente fogliosa spontanea di trattenere gli elementi in traccia (intrappolamento, complessazione ionica extracellulare e complessazione ionica intracellulare).

Nel 1998 è stata formulata una proposta di metodo per l'utilizzo dei licheni come bioaccumulatori patrocinata da APAT (Nimis e Bargagli, 1999).

Anche in questo caso, nel territorio considerato si sono effettuate alcune indagini di bioaccumulo lichenico (Enel, 1999 e Strategie Ambientali, 2003) che hanno fornito numerose informazioni (cfr. 2.11).

Le considerazioni sulle caratteristiche territoriali formulate per la bioindicazione lichenica sono estendibili anche nel caso del bioaccumulo. In particolare la suddivisione del territorio descritta nel paragrafo precedente potrebbe portare a problemi di reperimento di una stessa specie lichenica su tutta l'area indagata; infatti, ciò che emerge dagli studi precedenti è che la specie ampiamente diffusa sull'acrocoro tolfetano (*Flavoparmelia caperata*) non sia molto frequente nelle zone di pianura e collina dei settori NO e NE.

Questo problema non pregiudica l'utilizzo di questo biosensore e lo rende uno strumento utile in particolare per i rilievi dei Monti della Tolfa.

### **3.4.3 Specie arboree spontanee per la determinazione del bioaccumulo di elementi in traccia**

L'utilizzo delle specie arboree è diffuso sia a livello europeo sia a livello italiano e si basa sulla possibilità di intercettazione e di assorbimento di elementi inorganici da parte delle foglie di specie arboree. Il metodo applicativo è stato normato in Germania dalla VDI (3792 part 5).

Nel caso specifico tale metodo è stato applicato nei precedenti studi effettuati in parte dell'area considerata e riportati dal presente documento (cfr. 2.11).

Si devono evidenziare, ai fini dell'interpretazione dei dati, alcuni problemi legati alla difficoltà di trovare individui della stessa specie ed età e di valutare il contributo dell'assorbimento radicale. Questi problemi possono essere in parte superati integrando i dati analitici fogliari con le informazioni stazionali e vegetative (condizioni ambientali locali e frazione assimilabile degli elementi nei suoli).

Questo tipo di biosensore può essere utilizzato per la progettazione della rete.

### **3.4.4 Specie erbacee spontanee per la determinazione del bioaccumulo di elementi in traccia**

Diversi autori indicano l'utilizzo delle specie erbacee spontanee come bioaccumulatori di elementi in traccia presenti nei suoli. Bargagli (1998) riporta diverse applicazioni nel campo biogeochimico sia di biomonitoraggio sia di fitodepurazione dei suoli. Questo evidenzia la forte influenza della composizione del suolo nel contenuto di elementi in traccia delle specie erbacee spontanee dovuta ai processi di assorbimento radicale sia di tipo attivo sia di tipo passivo; occorre, inoltre, considerare anche la notevole contaminazione diretta della parte epigea dovuta al particolato terrigeno sollevato dall'azione del vento o dalle attività antropiche (lavorazioni agricole) e dall'azione delle forti piogge.

Nell'area di interesse non risultano studi di biomonitoraggio che hanno utilizzato questo biosensore.

Nel caso specifico, sulla base degli obiettivi della rete in progettazione (biomonitoraggio degli elementi in traccia veicolati dal particolato presente in aria) si ritiene che questo biosensore non possa essere utilizzato.

### **3.4.5 Specie erbacee coltivate in vaso per la determinazione del bioaccumulo di elementi in traccia e bioindicazione**

Questa tipologia di biosensori è stata utilizzata in diversi studi di sia a livello europeo sia a livello italiano. Si tratta di esporre nel territorio una specie erbacea coltivata in vaso su substrato standardizzato. In Germania, a seguito di studi e numerose applicazioni, sono state emesse alcune norme tecniche da parte della VDI (es. 3957 part 2 e 3957 part 6), mentre in Italia sono state messe a punto alcune metodologie applicative verificate nelle condizioni territoriali mediterranee (Lorenzini et al., 1995; Lorenzini, 1994; Lorenzini et al., 1999).

In Italia sono stati effettuati diversi studi di bioaccumulo con *Lolium spp.* (Antognoni et al., 1995, Ferretti et al., 1992, ) e di biomonitoraggio dell'O<sub>3</sub> troposferico con piante di *Nicotiana tabacum* cultivar

Bel-W3 e Bel-B (Biondi et al., 1992; Antognoni et al. 1995; Bettassa et al., 1996; Lorenzini et al., 1986; Schenone et al., 1988; Ferretti et al., 1992; Mercorelli S., 1992).

L'analisi territoriale ed in particolare la modellazione della distribuzione spaziale delle deposizioni al suolo di particolato individua un'area di poche centinaia di metri intorno al camino come zona di interesse per i valori relativamente più elevati di deposizione. In quest'area non sono presenti biosensori spontanei utilizzabili a causa dell'elevata antropizzazione. Risulta, quindi, necessario disporre di un biosensore attivo (collocato appositamente nel territorio da indagare) con una metodica applicativa consolidata come il *Lolium sp.* Inoltre, l'applicazione di questa tecnica avverrebbe in condizioni climatiche e microclimatiche abbastanza omogenee.

La distribuzione spaziale dei livelli ozono è, invece, piuttosto difficile da reperire come informazione territoriale, a causa sia del numero ridotto di punti di misura strumentale sia delle difficoltà di modellazione previsionale. Nel caso specifico, quindi, l'utilizzo del bioindicatore *Nicotiana tabacum* specialmente nei mesi di luglio e agosto, quando si raggiungono i massimi livelli di ozono troposferico a causa dell'aumento della radiazione solare, consentirebbe di fornire informazioni sulla distribuzione di questo inquinante secondario, la cui produzione è il risultato delle molteplici attività antropiche che producono ossidi di azoto e sostanze organiche volatili (es. traffico veicolare, combustione, emissioni naturali di sostanze organiche volatili etc.).

#### **3.4.6 Micromammiferi / insetti autoctoni particolarmente sensibili alle condizioni ambientali presenti nell'area.**

Meriggi (1998) afferma che in Italia l'uso delle comunità animali come bioindicatori è scarsamente sviluppato, se si eccettuano i macroinvertebrati acquatici, alcuni gruppi di insetti e gli uccelli. Anche in questi casi però lo stato delle ricerche non è molto avanzato. In particolare vengono usualmente applicati metodi messi a punto in altre situazioni ambientali e viene trascurata la ricerca metodologica. L'utilizzo è spesso di tipo generico; infatti, dalle ricerche effettuate è emerso che le comunità che raggruppano le specie più mobili, in particolare uccelli e mammiferi, sono di scarsa utilità nell'identificazione dei fattori che hanno causato alterazioni ambientali, ma permettono solamente di mettere in evidenza situazioni di stress, le cui cause devono essere poi identificate con indicatori più precisi. Gli uccelli, inoltre, spesso rispondono ad alcuni effetti secondari della causa primaria e così perdono efficacia come reali indicatori dei cambiamenti (Morrison, 1986).

I micromammiferi sono facilmente campionabili e sono strettamente legati, per quanto riguarda la ricchezza e la diversità specifica, alla naturalità degli habitat. Negli ambienti sottoposti a variazioni drastiche della copertura vegetale e a lavorazioni periodiche del suolo come i campi coltivati, le comunità sono in genere povere di specie. In alcuni casi estremi si arriva a registrare la presenza di una o due specie al massimo. Nelle aree dove la vegetazione naturale è più presente e dove si riducono i trattamenti con pesticidi, le comunità si arricchiscono con la presenza di specie insettivore. Il campionamento quantitativo delle comunità presenta qualche problema per la selettività delle trappole utilizzate e richiede un maggior dispendio economico e di tempo.

In particolare Aste e Contoli (1987) hanno evidenziato che la diversità biotica delle comunità dei micromammiferi del comprensorio vulcanico laziale, in cui sono compresi i monti della Tolfa, è significativamente ed inversamente correlata con l'antropizzazione territoriale (gestione del territorio prevalentemente in senso agricolo o silvo-pastorale), ma non con altri fattori ambientali di origine antropica.

Per quanto riguarda l'entomofauna terrestre, le metodologie consolidate di biomonitoraggio riguardano esclusivamente lo stato dei suoli. Inoltre, occorre considerare che dal punto di vista dell'influenza della qualità dell'aria sull'entomofauna esiste sicuramente una maggiore influenza della concentrazione di pesticidi (diretta per gli insetticidi ed indiretta per anticrittogamici e diserbanti). Anche per l'entomofauna, quindi, è possibile monitorare l'antropizzazione territoriale (gestione del territorio prevalentemente in senso agricolo o silvo-pastorale), ma non altri fattori ambientali di origine antropica. Nel caso specifico, quindi, risulta sconsigliabile l'utilizzo del biosensore di tipo animale ai fini degli obiettivi proposti (cfr. 3.1).

#### **3.4.7 Biosensori proposti per la rete di biomonitoraggio**

Sulla base di quanto esposto nei paragrafi precedenti, si propone di adottare i seguenti biosensori:

*Biosensori passivi (spontaneamente presenti nel territorio)*

- licheni come bioindicatori degli andamenti spaziali di SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>,
- licheni come bioaccumulatori di lungo periodo (circa 1 anno) di Al, As, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Se, Pb, Ti, V e Zn,
- foglie delle specie arboree come bioaccumulatori di medio periodo (circa 6 mesi) di Al, As, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Se, Pb, Ti, V e Zn,

*Biosensori attivi (appositamente collocati nel territorio)*

- specie erbacee coltivate in vaso:
  - o *Lolium sp.* come bioaccumulatori di breve periodo (1 mese) di Al, As, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Se, Pb, Ti, V e Zn,
  - o *Nicotiana tabacum* come bioindicatore di breve periodo (14 gg) di O<sub>3</sub>.

**Occorre, comunque, considerare che i biosensori proposti forniranno principalmente dati sul complesso emissivo del territorio indagato come descritto nel capitolo 2.7 (emissioni da traffico navale, traffico veicolare, riscaldamento ed emissioni industriali).**

### 3.5 Progettazione delle reti che compongono il sistema di biomonitoraggio

#### 3.5.1 Rete di biomonitoraggio con i licheni come bioindicatori

L'APAT ha adottato a livello nazionale una metodologia messa a punto dal Prof. P.L. Nimis dell'Università di Trieste (1999) e, raccogliendo anche i contributi di altri esperti del settore, ha perfezionato il protocollo applicativo (ANPA, 2001).

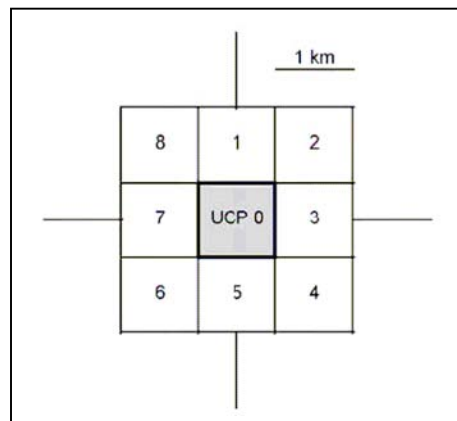
La metodologia citata è stata utilizzata da APAT per la realizzazione della rete nazionale di biomonitoraggio della qualità dell'aria mediante la stima della biodiversità lichenica ed è raccomandata anche per la realizzazione di reti locali di biomonitoraggio basate sullo stesso principio.

Il metodo prevede la suddivisione del territorio oggetto di indagine in un insieme di Unità di Campionamento Primarie (UCP) e di Unità di Campionamento Secondarie (UCS), intese come porzioni di territorio, con superficie e forma definite, all'interno delle quali, seguendo procedure standard, vanno individuati gli alberi (forofiti) per il rilevamento della Biodiversità Lichenica. Tali unità hanno lo scopo di assicurare l'uniformità e l'omogeneità della distribuzione dei siti di rilevamento e di rendere minima la soggettività degli operatori.

La forma delle UCP è quadrata e le loro dimensioni variano, a seconda delle scale territoriali, da 1x1 km a 250x250 m. La citata rete nazionale di biomonitoraggio è, infatti, costituita da un insieme di UCP di 1x1 km, posizionate baricentricamente alle intersezioni di una griglia di 18x18 km (UCP 0).

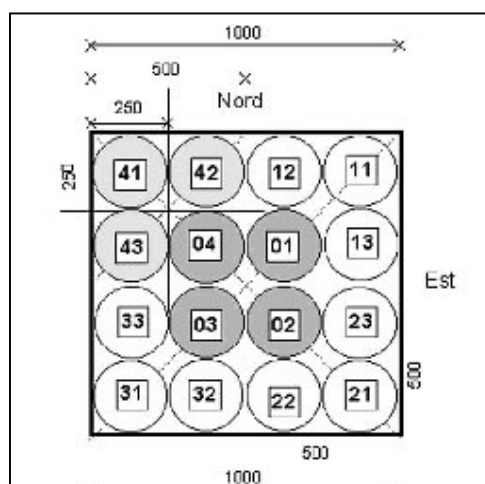
In caso di non idoneità (mancanza del numero minimo di 3 forofiti idonei all'interno delle UCS) dell'UCP 0, il manuale APAT prevede che vi sia la possibilità di ricercare i forofiti in UCP limitrofe (UCP 1÷8) seguendo regole di ricerca codificate (Figura 3.5-a).

Figura 3.5-a. Sistema delle UCP di ricerca



Le UCS, di forma circolare con raggio di 125 m, sono distribuite all'interno delle UCP (16 UCS per ogni UCP) e sono le porzioni di territorio all'interno delle quali si deve procedere alla scelta dei forofiti (Figura 3.5-b).

Figura 3.5-b. Sistema delle UCS di ricerca.



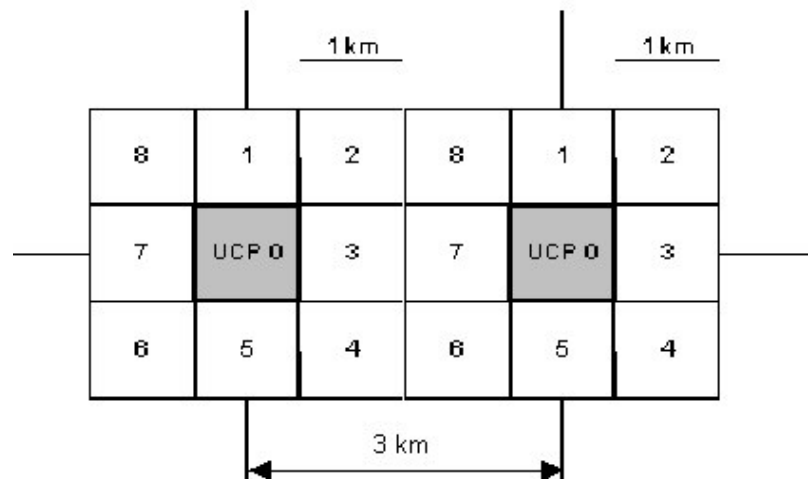


Per essere rilevabile, è necessario che un UCS abbia almeno 1 albero nelle condizioni di rilevabilità. Per essere considerata rilevabile è necessario che ogni UCP abbia almeno 1 UCS rilevabile. Se tra le UCS una sola è rilevabile questa deve avere 3 forofiti.

Vista l'estensione dell'area, le caratteristiche del territorio circostante la centrale ENEL di Torrovaldliga Nord e gli elementi di interesse per il biomonitoraggio (modello diffusionale, etc.), si è deciso di applicare preliminarmente (anno di monitoraggio preoperazionale ovvero prima dell'entrata in esercizio) all'area di interesse individuata una griglia di riferimento per la ricerca delle stazioni di bioindicazione lichenica, costruita a partire dall'intersezione più vicina della rete nazionale ANPA (732000 E, 4692000 N UTM ED50 fuso 32), con un passo di 6x6 km, rinfittito a 3x3 km nelle aree dove la modellazione diffusionale degli effluenti gassosi prevede i contributi più significativi (Monti della Tolfa).

Il rinfittimento 3x3 Km comporta sicuramente un problema di applicazione integrale del sistema di ricerca adottato poiché lo spostamento dell'UCP 0 in celle chilometriche adiacenti (1÷8) non è possibile a causa del rischio elevato di individuazione di stazioni vicine; infatti le UCP alternative di un'intersezione di griglia sono adiacenti a quelle delle intersezioni limitrofe (Figura 3.5-c).

**Figura 3.5-c. Disposizione degli schemi di sostituzione dell'UCP 0 di due intersezioni di griglia 3x3km**



Volendo, quindi, evitare il fenomeno di autocorrelazione spaziale ai fini di una corretta applicazione delle tecniche geostatistiche, si deve prevedere l'utilizzo della sola UCP 0 per le intersezioni di rinfittimento.

In sintesi, la individuazione dei gruppi di forofiti avverrà secondo due reti sovrapposte ed integrate

(Figura 3.5-d):

- una rete con passo 6x6 km (distanza tra le intersezioni), costruita a partire dall'intersezione della rete nazionale più vicina, dove si applica lo schema di ricerca integrale (8 UCP per intersezione),
- una rete di rinfittimento con passo 3x3 km (distanza tra le intersezioni) che individua altre intersezioni intermedie a quelle della rete sopra descritta, dove si applica lo schema di ricerca semplificato costituito dall'utilizzo della sola UCP 0 al fine di evitare il fenomeno di autocorrelazione spaziale.

Su tali basi si ritiene possibile la realizzazione di una rete potenzialmente costituita da un totale di 38 stazioni di bioindicazione lichenica.

Per quanto riguarda la scelta della specie del forofita da ricercare, nel caso specifico di una rete locale, sarebbe opportuno minimizzare la variabilità legata al forofita (alberi che ospitano sulla corteccia le comunità licheniche) scegliendo una sola specie. L'analisi vegetazionale e floristica (2.10) e le indagini di biomonitoraggio pregresse (2.11.1) indicano che le specie caducifoglie del genere *Quercus* sono presenti in tutto il territorio indagato, ma la vastità del territorio indagato e l'ampio spettro delle condizioni microclimatiche e stazionali non consentono di disporre di una sola specie uniformemente

diffusa; questo comporta la scelta delle due specie decidue del genere *Quercus* più diffuse localmente: *Quercus cerris* (cerro), per le facies mesofile, e *Quercus pubescens* (roverella) per le facies xerofile. L'adozione di due specie decidue del genere *Quercus* non dovrebbe comportare un'elevata variabilità legata alle caratteristiche del forofiti (Giordani et al., 2002; Loppi et al., 2002).

Le tecniche di rilievo e di elaborazione sono essenzialmente quelle previste dal metodo ANPA (2001).

I dati di realizzazione (primo anno pre-operazionale) devono essere inseriti in un Database Geografico costruito con software ESRI ArcGis - ArcView 9.1 (formato shp o geodatabase).

Alla fine di ogni campagna di rilievo dell'IBL deve essere prodotta la relazione che riporta le condizioni operative, i dati, le elaborazioni ed i confronti con gli anni precedenti. Anche per i dati di gestione, deve essere previsto l'inserimento nel Database Geografico costruito con software ESRI ArcGis - ArcView 9.1 (formato shp o geodatabase).

### 3.5.2 Rete di biomonitoraggio con i licheni come bioaccumulatori

La metodica proposta da Nimis et al. (1999) è interamente applicabile senza che debbano essere effettuate ulteriori modifiche, oltre a quella approntata in fase di scelta delle stazioni per la bioindicazione (cfr. 3.5.1).

Le specie utilizzabili nel territorio considerato sono essenzialmente due: *Xanthoria parietina* e *Flavoparmelia caperata*.

Come evidenziato anche da recenti studi (Minganti et al., 2003), esiste una variabilità interspecifica nel bioaccumulo dei diversi elementi e questo comporta la necessità di utilizzare una sola specie.

Nel caso specifico la scelta della specie da campionare deve essere effettuata procedendo ad una verifica della distribuzione di *Xanthoria parietina* e di *Flavoparmelia caperata* durante la fase di individuazione dei forofiti per la bioindicazione.

Normalmente i talli vanno prelevati sui forofiti della stazione di bioindicazione, avendo cura di non prelevare nell'area di rilievo dell'Indice di Biodiversità Lichenica o IBL, oppure su altri forofiti presenti nei dintorni della stazione stessa.

Il prelievo è considerato idoneo se avviene su almeno 3 forofiti di qualsiasi specie che presentino almeno 6 talli campionabili in totale (almeno 6 talli distribuiti su 3 alberi).

Per quanto riguarda le stazioni dove i forofiti già scelti per la bioindicazione non presentino talli campionabili, si deve prima procedere alla ricerca dei talli nella stessa UCS e nelle UCS immediatamente limitrofe e, in caso di esito negativo, si deve procedere alla ricerca all'interno dell'UCP secondo le modalità adottate per la bioindicazione.

La metodica descritta porta a delineare una rete di bioaccumulo lichenico di 38 stazioni potenzialmente coincidenti con quelle della bioindicazione lichenica.

Le modalità di prelievo, preparazione, analisi e le informazioni da raccogliere in campo sono indicate in Nimis et al. (1999); per quanto riguarda le informazioni, da inserire nell'apposito Foglio di Raccolta Dati (di seguito FRD), si ritiene, però, opportuno modificare in parte le indicazioni del metodo rilevando i dati complessivi della stazione (insieme di forofiti da cui si preleva), in alternativa al rilievo delle informazioni relative al singolo tallo campionato. In particolare si devono rilevare le seguenti informazioni:

- Data e stazione di prelievo.
- Descrizione della stazione se diversa da quella di bioindicazione
- Le specie dei forofiti interessati dal campionamento.
- Il numero dei forofiti interessati dal campionamento
- Una sola posizione di riferimento generale per l'insieme dei forofiti di prelievo.
- L'altezza dal suolo minima e massima invece dell'altezza dal suolo dei singoli talli.
- L'esposizione prevalente dei talli campionati anziché del singolo tallo.
- La circonferenza minima e massima dell'insieme dei forofiti campionati.
- Il grado di danneggiamento complessivo dei talli.
- Distanza massima tra i forofiti.

L'opportunità di questa modifica è stata valutata in relazione al fatto che il campione raccolto è costituito da materiale proveniente da diversi talli in una misura difficilmente stimabile e, quindi, non risulta possibile distinguere il contributo del singolo tallo alle concentrazioni misurate. Le informazioni

dettagliate per tallo non possono, perciò, essere utilizzate per interpretare i valori di concentrazione del campione unico di stazione. Risulta, invece, fondamentale caratterizzare il gruppo di forofiti campionati. Inoltre, al fine di valutare il contributo terrigeno (particolato terrigeno aerodisperso) al contenuto di elementi in traccia nei talli lichenici, si dovrà procedere alla raccolta di campioni di suolo superficiale non coperto da vegetazione presente in un raggio di 50 m dai forofiti interessati; ovviamente il campionamento non verrà eseguito in tutte quelle stazioni di prelievo dei talli lichenici ubicate in aree completamente vegetate, asfaltate o cementate.

Il campionamento e la preparazione dei suoli superficiali devono essere effettuati secondo le seguenti modalità:

- effettuazione di almeno tre prelievi di suolo superficiale (subcampioni) nelle aree prive di vegetazione (suolo nudo potenzialmente sottoposto all'erosione eolica), presente in un raggio di 50 m dai forofiti dove è stato effettuato il campionamento dei talli,
- costituzione di un unico campione formato aliquote uguali di ogni subcampione,
- conservazione e trasporto in sacchetti di plastica ,
- essiccazione all'aria o in stufa a 40°C,
- separazione della frazione inferiore ai 200 µm da sottoporre ad analisi,
- conservazione della frazione suddetta in provette di polistirene fino al momento dell'analisi.

Per ogni stazione, dove è stato possibile effettuare il campionamento dei suoli superficiali, occorre inserire nel FRD le seguenti informazioni:

- stima qualitativa dell'estensione delle aree nude (es: estensione ridotta, estensione media e estensione ampia),
- indicazione sulla tipologia azione di sollevamento del particolato terrigeno (es.: passaggio di automezzi, terreno soggetto a lavorazione agricola, erosione eolica etc.), al fine di valutare l'entità del fenomeno.

I risultati analitici relativi ai licheni ed ai suoli superficiali dovranno essere utilizzati per il calcolo del fattore di arricchimento:

$$Fa_x = \frac{\frac{C_x \text{ lichene}}{C_{Al/Ti} \text{ lichene}}}{\frac{C_x \text{ suolo}}{C_{Al/Ti} \text{ suolo}}} \quad (1)$$

dove:

$Fa_x$  = fattore di arricchimento dell'elemento  $x$

$C_x$  = concentrazione dell'elemento  $x$

$C_{Al/Ti}$  = concentrazione dell'elemento terrigeno Al o Ti

Per una corretta applicazione del fattore di arricchimento è opportuno adottare la tecnica di mineralizzazione totale, come indicato in Appendice 1 delle Linee Guida ANPA (Nimis et al., 1999) per i licheni e in EPA 3052 per i suoli; entrambe i metodi prevedono l'aggiunta di HF.

La scelta di questo metodo comporta però alcune considerazioni in relazione all'utilizzo della scala di naturalità/alterazione contenuta in Nimis (1999). Negli studi di bioaccumulo basati sul confronto tra stazioni di una stessa area, la mineralizzazione maggiormente utilizzata è quella che prevede l'uso dell'acido nitrico in sistemi di mineralizzazione a microonde. La percentuale di recupero per gli elementi terrigeni (es: Al) varia dal 70 % circa nelle determinazioni in materiale a contenuto certificato come SRM 1672 Citrus leaves (Bargagli, 1998) al  $74 \pm 15$  % con lichene *Pseudevernia furfuracea* CRM 482 (Minganti et al., 2003). Il secondo metodo con l'utilizzo di HF porta alla mineralizzazione totale del campione e degli eventuali contributi terrigeni presenti (mineralizzazione anche dei silicati), garantendo sia il recupero di tutti quegli elementi associati alla matrice silicea, che una bassa variabilità dell'efficienza di mineralizzazione. Inoltre, alcuni autori (Bettinelli et al., 2002) evidenziano che gli elementi in traccia associati al particolato emesso dalle sorgenti antropiche non sempre sono facilmente recuperabili con attacchi parziali ( $HNO_3$ ) (es. particolato emesso da alcune sorgenti di combustione). Sulla base di quanto esposto si può affermare, quindi, che la mineralizzazione totale sia più adatta ad essere adottata come metodo di riferimento; la validità di quanto affermato è confermata sia in

letteratura (Bargagli, 1998), che raccomanda l'utilizzo di questo metodo specialmente nelle indagini giudiziarie, sia nelle linee guida proposte (Nimis e Bargagli, 1999).

I problemi per l'utilizzo di questo metodo sono riconducibili fondamentalmente alla confrontabilità tra i dati ottenuti con la mineralizzazione totale e quelli ottenuti nelle indagini che prevedono la mineralizzazione parziale (buona parte dei dati storici). In particolare, il problema assume un'importanza notevole quando si tratta di applicare la scala di naturalità/alterazione proposta da Nimis e Bargagli (1999). La scala assegna diversi gradi di naturalità/alterazione a 7 intervalli di concentrazione relativi a 17 elementi frequentemente ricercati negli studi di bioaccumulo nei licheni. I dati utilizzati per l'elaborazione della scala provengono da diversi lavori effettuati precedentemente al 1999, dove in prevalenza si è ricorsi a tecniche di mineralizzazione parziale, con conseguente possibile sottostima delle concentrazioni per diversi elementi di interesse (es. Al, Ni, V e Ti). Ne consegue che l'adozione del metodo di mineralizzazione totale potrebbe portare, in alcuni casi, all'attribuzione di livelli di alterazione superiori rispetto alla realtà (Perotti, 2004).

**La scelta del metodo totale per gli elementi inorganici considerati (cfr. 3.1), quindi, deve necessariamente essere associata ad una interpretazione dei dati esclusivamente locale, escludendo l'uso della scala di naturalità/alterazione.**

Le elaborazioni da effettuare sui dati di bioaccumulo lichenico sono essenzialmente le seguenti:

- calcolo del fattore di arricchimento,
- analisi statistica (cfr. Nimis et al., 1999),
- interpretazione mediante i confronti tra le stazioni e con i dati di letteratura considerando i metodi analitici utilizzati.

I dati di realizzazione (primo anno pre-operazionale) devono essere inseriti in un Database Geografico costruito con software ESRI ArcGis - ArcView 9.1 (formato shp o geodatabase).

Alla fine di ogni campagna di determinazione del bioaccumulo si deve produrre la relazione che riporta le condizioni operative, i dati, le elaborazioni ed i confronti con gli anni precedenti. Anche per i dati di gestione, si deve prevedere l'inserimento nel Database Geografico costruito con software ESRI ArcGis - ArcView 9.1 (formato shp o geodatabase).

### **3.5.3 Rete di biomonitoraggio con specie arborea spontanea come bioaccumulatore fogliare.**

Per il bioaccumulo fogliare di specie arboree occorre scegliere preferibilmente individui di una sola specie con età comparabili ed in buono stato fitosanitario. La disponibilità di individui di una sola specie della stessa classe di età è piuttosto difficile da ottenere su di un numero di stazioni elevato; infatti, nell'indagine precedente (Enel, 1999), che ha individuato un totale di 35 stazioni, 12 stazioni erano costituite da 3 individui di *Quercus cerris* (cerro) e 23 stazioni erano costituite da 3 individui di *Quercus pubescens* (roverella). Occorre, però, segnalare che diversi individui di entrambe le specie mostravano caratteri intermedi facendo presumere un certo grado di ibridazione.

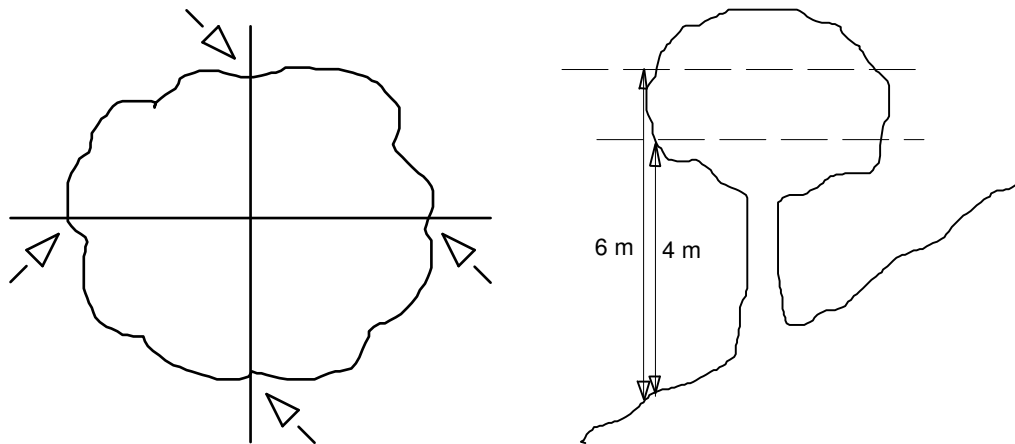
Sulla base di quanto emerso dal precedente studio, si deve quindi procedere a considerare entrambe le specie.

Le stazioni di bioaccumulo fogliare dovranno preferibilmente coincidere con quelle di bioindicazione lichenica e, quindi, anche per questa rete si intende adottare lo schema di ricerca APAT (2001). Questa scelta comporta un numero totale potenziale di 38 stazioni.

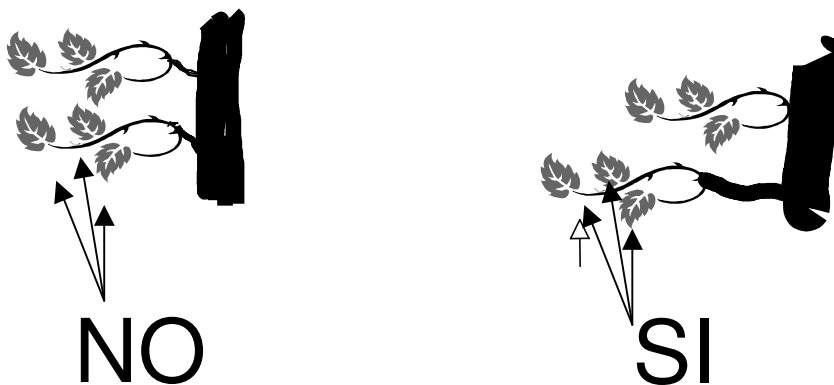
La metodica proposta dalla VDI 3792 part 5 è interamente applicabile senza che debbano essere effettuate ulteriori modifiche, oltre a quella apportata in fase di scelta delle stazioni.

Al fine di aumentare la ripetibilità e la confrontabilità con gli studi futuri, si integra il contenuto della norma con alcune ulteriori specificazioni di seguito riportate.

Le stazioni di bioaccumulo fogliare sono costituite da almeno 3 individui della stessa specie da cui prelevare le foglie in quattro punti della chioma disposti possibilmente secondo i quattro punti cardinali entro una fascia il cui limite superiore è a 6 m dal suolo e quello inferiore è a 4 m dal suolo, come mostrato nella Figura 3.5-e:

**Figura 3.5-e. Indicazioni di campionamento delle foglie**

Nel caso non sia possibile effettuare il campionamento nei 4 punti della chioma individuati come sopra descritto, si procede ad individuare i punti di campionamento sulle parti della chioma che vengono ritenute idonee e si indica nel campo “note” del Fogli di Raccolta Dati (FRD) le operazioni effettuate. Le fronde da campionare non devono essere sovrastate da altre fronde (Figura 3.5-f):

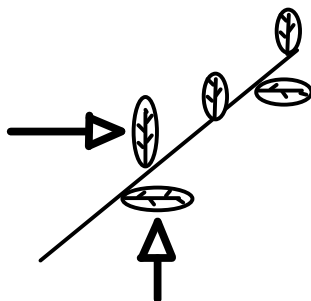
**Figura 3.5-f. Indicazione generica della posizione della fronda da campionare**

Il campionamento della fronda viene effettuato con uno sveltatore montato sul palo esteso cercando di evitare o limitare, per quanto possibile, il contatto con il terreno a seguito della caduta.

La dimensione ed il numero delle fronde da prelevare devono essere valutati cercando di minimizzare i danni all'albero e quindi evitando di asportare fronde di notevoli dimensioni; è preferibile tagliare più fronde di dimensioni ridotte.

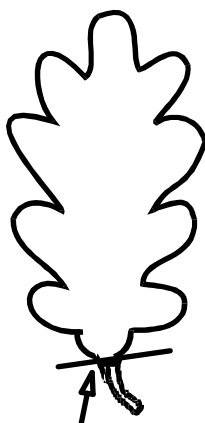
Dalle fronde così prelevate si asportano le foglie più vecchie, che solitamente sono inserite nella parte basale dei rametti.

**Figura 3.5-g. Posizione sul ramo delle foglie da prelevare**



Si effettua l'asportazione mediante un taglio al punto di inserimento del picciolo nella lamina fogliare con l'ausilio delle forbici e dei guanti (i guanti vanno cambiati ad ogni stazione).

**Figura 3.5-h. Punto di taglio della foglia**



Le foglie selezionate devono inoltre essere possibilmente esenti da fenomeni di necrosi o di ingiallimento; nel caso in cui tali fenomeni siano presenti, non devono interessare una superficie superiore al 10% di quella totale.

Il campione deve essere costituito da quantità uguali di foglie provenienti da ognuno dei 4 punti di prelievo di ogni singola chioma e la quantità totale da campionare, che varia a seconda delle condizioni della chioma, è la seguente:

- 40 g in peso fresco (10g di peso fresco per ognuno dei 4 punti di prelievo di ogni singola chioma) in caso di chioma non trasparente,
- 30g in peso fresco (7,5g per ognuno dei 4 punti della chioma) in caso di chioma trasparente.

Le foglie campionate vanno inserite nel sacchetto relativo all'albero appena campionato e pesate per verificare il raggiungimento dell'aliquota prevista.

La tara ed il peso lordo del campione, dopo il completamento della raccolta in ogni punto di campionamento della singola chioma, vanno registrati sul FRD.

Completata la raccolta delle foglie di una chioma si chiude il sacchetto ermeticamente, avendo cura di fare fuoriuscire l'aria, e si ripone nel frigorifero portatile.

Terminata la raccolta di foglie da tutti gli alberi della stazione, si procede al risciacquo delle forbici con l'acqua demineralizzata ed alla loro asciugatura con i foglietti di carta da filtro.

Il campione da analizzare deve essere costituito in laboratorio come segue:

- costituzione di un campione unico per stazione composto da uguali quantità di foglie, in peso secco, provenienti dal campione unico di ciascuna delle 3 chiome.

La preparazione dei campioni e la determinazione degli elementi considerati (cfr. 3.1) devono essere effettuate sulla base di quanto indicato in Appendice 1 della proposta di Nimis et al. (1999).

Inoltre, al fine di valutare il possibile contributo dell'assorbimento radicale al contenuto fogliare degli elementi considerati si dovrà procedere al prelievo mediante carotaggio dell'orizzonte di suolo potenzialmente esplorato dalle radici (0 - 50cm) secondo le indicazioni seguenti:

### **Suoli**

#### *Campionamento e preparazione*

- Scelta di 4 punti di campionamento fuori chioma per ogni singola pianta, secondo uno schema a croce.
- Asportazione di uno strato superficiale di circa 1-2 cm (parte vegetata e orizzonte organico) seguita dal carotaggio possibilmente sino ad una profondità di circa 50 cm con trivella manuale del diametro di 7 cm.
- Tutti i campioni di ogni stazione (di norma 12 campioni) devono essere miscelati al fine di costituire un campione omogeneo.
- La preparazione dei campioni deve essere eseguita secondo quanto indicato nel metodo II.1 "Preparazione del campione e determinazione dello scheletro" contenuto nel D.M. 13 settembre 1999 "Approvazione dei <<Metodi ufficiali di analisi chimica del suolo>>".

#### *Estrazione ed analisi*

- Sui suoli preparati come indicato al paragrafo precedente devono essere effettuate le seguenti determinazioni:
  - o Determinazione della granulometria (D.M. 13 settembre 1999- Metodo II.6 )
  - o Determinazione del pH (D.M. 13 settembre 1999- Metodo III.1 - pH in acqua)
  - o Determinazione del calcare totale (D.M. 13 settembre 1999- metodo V.1)
  - o Determinazione del calcare attivo (D.M. 13 settembre 1999- metodo V.2)
  - o Determinazione della sostanza organica (D.M. 13 settembre 1999- metodo VII.1 oppure VII.2 oppure VII.3)
  - o Determinazione fosforo assimilabile (D.M. 13 settembre 1999- metodo XV.3)
  - o Determinazione della C.S.C. totale (D.M. 13 settembre 1999- metodo XIII.2)
  - o Determinazione delle basi di scambio (D.M. 13 settembre 1999- metodo XIII.5)
  - o Determinazione degli elementi in traccia assimilabili (cfr. 3.1)(D.M. 13 settembre 1999- metodi XII.1 o XII.2)
  - o Determinazione dell'azoto totale con analizzatore elementare (D.M. 13 settembre 1999- metodo XIV.1)

I dati di realizzazione (primo anno pre-operazionale) devono essere inseriti in un Database Geografico costruito con software ESRI ArcGis - ArcView 9.1 (formato shp o geodatabase).

Alla fine di ogni campagna di determinazione del bioaccumulo deve essere prodotta la relazione che riporta le condizioni operative, i dati, le elaborazioni ed i confronti con gli anni precedenti. Anche per i dati di gestione, deve essere previsto l'inserimento nel Database Geografico costruito con software ESRI ArcGis - ArcView 9.1 (formato shp o geodatabase).

### **3.5.4 Rete di biomonitoraggio con una specie erbacea coltivata in vaso come bioaccumulatore (*Lolium sp.*)**

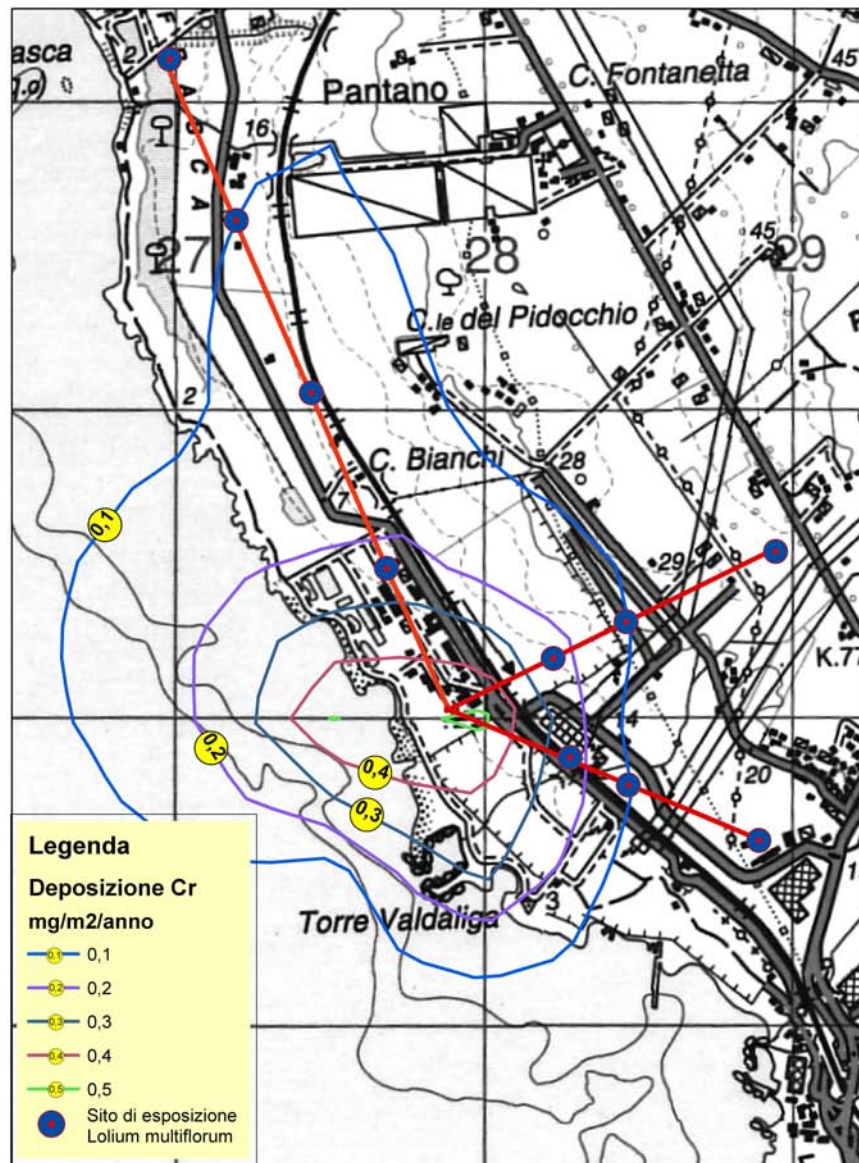
Al fine di valutare l'andamento spaziale delle deposizioni al suolo si intende impiegare un biosensore attivo già ampiamente utilizzato nel territorio nazionale (cfr. 3.4.5).

Nel caso specifico il biosensore deve essere utilizzato sull'area ristretta interessata dalla deposizioni degli elementi inorganici poiché si tratta di un'area priva di biosensori spontanei idonei (Figura 2.8-k).

La disposizione dei punti di misura (Figura 3.5-i) segue lo schema dei transetti orientati in funzione della modellazione diffusionale del Cr utilizzata come esempio dallo studio specifico (CESI, 2002) riportato nel capitolo 2.8.3; **occorre sempre ricordare che i valori di deposizione sono sovrastimati poiché lo studio considerava l'emissione di 4 gruppi invece dei 3 gruppi previsti nell'assetto autorizzato.**



Figura 3.5-i. Ubicazione dei siti di esposizione del *Lolium multiflorum* (autorizzazione IGM riportata in (Figura 3.5-d):)



La disposizione dei siti è basata sui seguenti considerazioni:

- le curve di isodeposizione con i valori relativamente più elevati (0,5 e 0,4 mg/m<sup>2</sup>/anno) si trovano in aree di impianto in cui non esistono le condizioni per l'esposizione,
- le aree dove presumibilmente è possibile esporre il biosensore si trovano oltre la curva di isodeposizione di 0,3 mg/m<sup>2</sup>/anno,
- si assume che la deposizione di 0,1 mg/m<sup>2</sup>/anno delimiti cautelativamente l'area di potenziale influenza,
- le direzioni dei transetti devono tenere conto sia della modellazione delle deposizioni sia della presenza di aree idonee per l'esposizione .

Questo porta ad individuare orientativamente 10 siti distribuiti come segue:

- 3 siti all'interno della fascia 0,3 - 0,2 mg/m<sup>2</sup>/anno, 1 per ciascuna direzione individuata (Figura 3.5-i)
- 3 siti in corrispondenza della curva di isodeposizione di 0,1 mg/m<sup>2</sup>/anno, 1 per ciascuna direzione individuata (Figura 3.5-i).

- 1 sito dove la fascia 0,2 - 0,1 mg/m<sup>2</sup>/anno si allarga (direzione NNO) Figura 3.5-i,
- 3 siti all'esterno della curva di isodeposizione di 0,1 mg/m<sup>2</sup>/anno, 1 per ciascuna direzione individuata (Figura 3.5-i), al fine di disporre di dati relativi ad aree non influenzate.

L'attività deve essere svolta secondo quanto previsto dalla norma tecnica VDI 3957 part 2.

In ogni sito verranno esposti 3+1 vasetti di *L. multiflorum*, al fine di disporre sempre di 3 replicati (1 vasetto è da considerarsi come riserva), per 4 periodi di 28±1 giorni durante la stagione vegetativa.

Sul materiale fogliare, raccolto alla fine del periodo di esposizione dai tre replicati idonei, vengono determinati gli elementi considerati (cfr. 3.1) seguendo i metodi dell'Appendice 1 della proposta di Nimis et al. (1999); si ottenendo, quindi, 3 valori per ciascun elemento indagato per stazione.

I dati di realizzazione (primo anno pre-operazionale) verranno inseriti in un Database Geografico costruito con software ESRI ArcGis - ArcView 9.1 (formato shp o geodatabase).

Alla fine di ogni campagna di determinazione del bioaccumulo deve essere prodotta la relazione che riporta le condizioni operative, i dati, le elaborazioni ed i confronti con gli anni precedenti. Anche per i dati di gestione, deve essere previsto l'inserimento nel Database Geografico costruito con software ESRI ArcGis - ArcView 9.1 (formato shp o geodatabase).

### **3.5.5 Rete di biomonitoraggio con una specie erbacea coltivata in vaso come bioindicatore di ozono (*Nicotiana tabacum*)**

Per la costruzione dell'ipotesi preliminare di rete di bioindicazione attiva dell'ozono si fa riferimento a quanto suggerito dalle Linee Guida VDI (VDI 3957/Part 10, 2004; VDI 3957/Part 6, 2003) e alle delle indicazioni sulle modalità di scelta dei siti fornite da APAT CTN/ACE nel Rapporto del 2001 relativo all'aggiornamento del Sistema di Indici e Indicatori afferente al Sistema nazionale conoscitivo e dei controlli in campo ambientale, al titolo "Biomonitoraggio dell'ozono troposferico tramite l'utilizzo di piante vascolari" per lo specifico dell'indicatore tabacco (APAT CTN ACE, 2001).

Si ritiene che la costruzione della rete di bioindicazione attiva debba essere effettuata con l'obiettivo di realizzare un rete di stazioni ragionata, attendibile ed efficace (rappresentazione adeguata dello stato della qualità dell'aria in relazione all'ozono nell'area prima della messa in esercizio dell'impianto), anche sotto il profilo costi/benefici. A supporto della scelta del numero e della dislocazione territoriale dei siti ci si deve avvalere di strumenti ed elementi conoscitivi, sia di ordine generale che specifici per l'inquinante atmosferico in esame, quali:

- le informazioni disponibili in materia di natura e conformazione del territorio indagato e di presenza antropica al suo interno,
- la modellazione previsiva della distribuzione delle concentrazioni in aria al suolo dei composti gassosi precursori (NO<sub>x</sub>) emessi dall'impianto,
- la conoscenza della natura specifica dell'inquinamento da ozono mediante l'esame degli aspetti legati:
  - o ai precursori emessi in atmosfera ed alle relative sorgenti locali,
  - o ai meccanismi di formazione da parte dei precursori,
  - o alla specifica suscettibilità dell'ozono al trasporto a distanza dalle sorgenti,
  - o alla nota tendenza a manifestare concentrazioni differenziali tra zone a diversa distanza dalle sorgenti emissive come ad esempio in zone ad intenso inurbamento e in zone rurali; in queste ultime spesso l'ozono raggiunge livelli più elevati,
  - o all'influenza della stagionalità sui livelli di ozono troposferico.

Sulla base di quanto indicato, quindi, si devono predisporre 12 stazioni di biomonitoraggio dell'ozono da ubicare come segue:

- 10 siti devono essere scelti nei quadranti di ricerca di 10 intersezioni della rete 6x6 km dell'IBL (UCP 0÷8), come mostrato in fig (Figura 3.5-j); questa distribuzione consente di ubicare stazioni di rilievo sia in aree interessate dai valori massimi dei contributi (cfr. 2.8.2) sia in aree non influenzate.
- una stazione deve essere posizionata in corrispondenza della stazione RRQA di Allumiere
- una stazione deve essere posizionata in corrispondenza della stazione RRQA di S. Agostino,

La scelta delle due stazioni coincidenti con le postazioni di misura RRQA ha lo scopo di effettuare un confronto tra dati strumentali e dati biologici, riferiti rispettivamente alle quote altimetriche relativamente elevate (Allumiere) ed a quelle di pianura (S. Agostino). Il numero totale di stazioni (12)

soddisfa le esigenze di comprensione del fenomeno e ottimizza il rapporto risorse/contenuto informativo dei dati raccolti.

Occorre, comunque, considerare che la distribuzione regolare ottenuta con le 10 stazioni comporta un'inevitabile variabilità altitudinale che dovrà essere considerata in fase di elaborazione ed interpretazione dei dati.

La ricerca dei siti idonei deve essere, di massima, effettuata in accordo con i requisiti di base per la localizzazione delle stazioni indicati nella norma VDI di riferimento (VDI 3957/Part 6, 2003), secondo la quale il sito in cui allocare l'infrastruttura di esposizione dei biosensori vegetali **non dovrebbe**:

- essere allocato in una zona di riflessione del calore da parte degli edifici circostanti,
- essere ombreggiato per la maggior parte del giorno,
- essere allocato in corrispondenza di flussi canalizzati di aria (es: effetto jet negli spazi inclusi tra due edifici), ma il flusso d'aria a cui è esposto dovrebbe essere il più possibile rappresentativo di quello tipico dell'area di indagine,
- essere allocato in punti in cui il terreno mostra caratteristiche atipiche (es: depressioni, avvallamenti, etc.),
- essere allocato in prossimità di campi coltivati a patata, per evitare il rischio di propagazione di infezioni virali,
- essere esposto ad attacchi da parte di animali e ad atti vandalici.

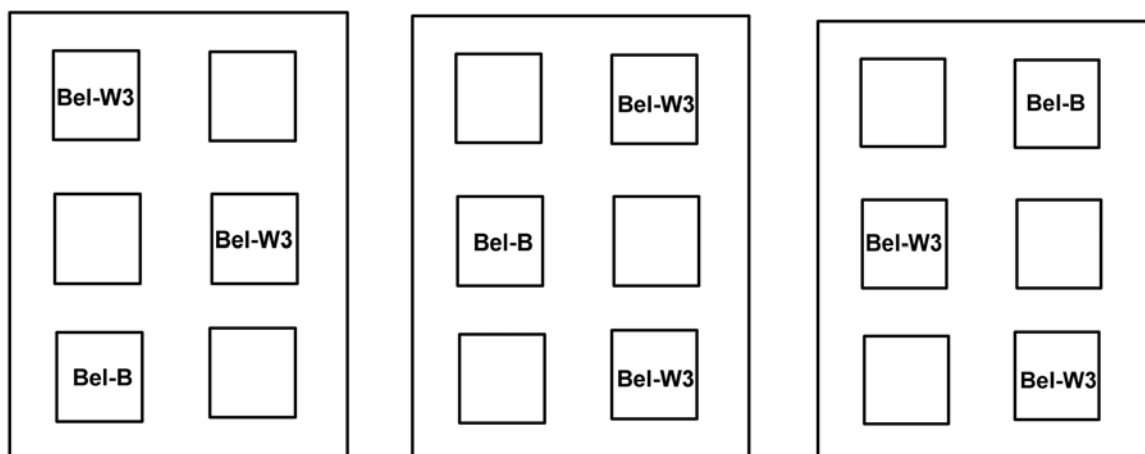
L'approccio adottato per la definizione della configurazione della stazione tipo di bioindicazione attiva dell'ozono troposferico si basa su criteri generali, in accordo con le indicazioni contenute nella norma VDI adottata come metodo di riferimento per il biomonitoraggio attivo con tabacco (VDI 3957/Part 6, 2003) ed in particolare occorre che:

- lo spazio occupato risulti ottimizzato ed il più possibile contenuto,
- siano garantite condizioni di crescita adeguate per ciascuna pianta esposta,
- tutte le piante siano ragionevolmente protette dall'azione di stressor fisici e biologici che ne possano inficiare lo sviluppo e/o le risposte all'ozono troposferico,
- tutte le piante siano uniformemente esposte degli effetti dell'ozono ambientale all'interno di ciascuna delle stazioni della rete,
- sia agevole l'esecuzione delle operazioni di controllo e di rilievo periodico sulla vegetazione esposta,
- sia possibile procedere alla comparazione delle risposte fornite dal biosensore nelle diverse stazioni delle rete.

L'esposizione annuale del biosensore *Nicotiana tabacum* deve essere effettuata nel solo periodo estivo, orientativamente dal mese di maggio fino al mese di ottobre di ciascun anno ed in funzione dell'andamento meteorologico stagionale, in accordo con quanto indicato dalla norma VDI di riferimento (VDI 3957/Part 6, 2003). I cicli espositivi (serie espositive) devono avere una durata unitaria di 14 giorni ( $\pm 1$ ), in accordo con quanto indicato dalla norma VDI di riferimento (VDI 3957/Part 6, 2003).

In ogni stazione, per ogni ciclo di esposizione, devono essere esposte 6 piantine di cultivar sensibile all'ozono (Bel-W3) e 3 piantine della cultivar resistente all'ozono (Bel-B). La disposizione delle piantine ospitate nei sistemi a reservoir idrico per l'esposizione dovrà seguire lo schema di :

**Figura 3.5-k. Schema di disposizione delle piantine appartenenti alle due cultivar (Bel-W3 e Bel-B) all'interno dei 3 sistemi a reservoir idrico presenti nella stazione di esposizione.**



Nel caso specifico, pertanto, l'esecuzione in un'annualità comporta da 7 a 8 cicli espositivi bisettimanali, equivalenti a 7 - 8 rilievi del danno indotto dall'ozono troposferico sulla vegetazione esposta nelle singole stazioni, per un totale di 12 stazioni.

I dati di realizzazione (primo anno pre-operazionale) devono essere inseriti in un Database Geografico costruito con software ESRI ArcGis - ArcView 9.1 (formato shp o geodatabase).

Alla fine di ogni campagna annuale di rilievo dell'indice di danno fogliare deve essere prodotta la relazione che riporta le condizioni operative, i dati, le elaborazioni ed i confronti con gli anni precedenti. Anche per i dati di gestione, deve essere previsto l'inserimento nel Database Geografico costruito con software ESRI ArcGis - ArcView 9.1 (formato shp o geodatabase).

### 3.5.6 Sistema di biomonitoraggio

Le reti previste costituiscono un sistema di monitoraggio complesso che dovrebbe fornire diverse informazioni relativamente alla distribuzione spaziale e temporale dei composti e degli elementi inorganici considerati (cfr. 3.1); nella Tabella 3.5-a sono riassunti gli ambiti spaziali e temporali a cui riferire i dati raccolti per ciascun biosensore:

**Tabella 3.5-a. Ambiti spaziali e temporali di riferimento dei dati raccolti dal sistema di biomonitoraggio.**

Biosensore	Metodo di riferimento	Ambito spaziale di riferimento	Ambito temporale di riferimento
Licheni bioindicazione	ANPA, 2001	Area vasta (Figura 3.5-d)	3-4 anni precedenti il rilievo
Licheni bioaccumulo	Nimis e Bargagli (1999)	Area vasta (Figura 3.5-d)	1 anno prima del campionamento
Foglie di specie arboree	VDI 3792 part 5	Area vasta (Figura 3.5-d)	Circa 5-6 mesi prima del campionamento
Specie erbacea in vaso bioaccumulo ( <i>L. multiflorum</i> )	VDI 3957 part 2	Area ristretta (Figura 3.5-i)	28±1 giorni dall'esposizione
Specie erbacea in vaso bioindicazione O <sub>3</sub> ( <i>N. tabacum</i> )	VDI 3957 part 10	Area vasta (Figura 3.5-d)	14±1 giorni dall'esposizione

Come si evince dalla tabella i biosensori forniscono informazioni in ambiti spaziali e temporali diversi, confrontabili solamente ai fini interpretativi, ma non direttamente correlabili tra di loro. Esiste una probabilità di correlazione tra i dati di bioaccumulo lichenico (riferiti ad un anno) e bioaccumulo fogliare (riferito alla stagione vegetativa) solamente nel caso che durante il periodo vegetativo dell'anno di riferimento lichenico si riproducano assetti emissivi e condizioni diffusive confrontabili con quelle annuali; ovviamente a condizione che i licheni siano campionati dopo il periodo vegetativo di riferimento per le specie arboree.

Le informazioni di derivanti da questo sistema potranno essere integrate da quelle raccolte nei prossimi anni dalla rete di biomonitoraggio gestita da Tirreno Power.

### 3.5.7 Programma cronologico del sistema di biomonitoraggio

In accordo con quanto indicato dalle Linee guida (Enel, 2004) e in funzione delle scelte progettuali, si riporta il seguente programma cronologico:

#### *Rete di biomonitoraggio con i licheni come bioindicatori*

Per quanto riguarda la rete dell'IBL si propone l'effettuazione di campagne di rilievi distanziate nel tempo poiché occorre considerare che la fisiologia dei licheni e la sinecologia delle loro comunità determina una velocità di risposta alla diminuzione o aumento degli inquinanti piuttosto lenta; sono, infatti, necessari alcuni anni per registrare variazioni significative della biodiversità.

Pertanto il programma cronologico deve prevedere almeno 1 anno prima dell'entrata in esercizio dell'impianto termoelettrico (orientativamente 2007) 2 e 5 anni dopo l'entrata in esercizio dei tre gruppi (orientativamente 2010 e 2013).

*Rete di biomonitoraggio con i licheni come bioaccumulatori*

Occorre considerare che la normale disponibilità di materiale lichenico da prelevare nelle stesse stazioni non è tale da consentire la ripetizione di prelievi annuali. Si ritiene, pertanto, che il programma cronologico debba essere lo stesso della rete di bioindicazione: almeno 1 anno prima dell'entrata in esercizio dell'impianto termoelettrico (orientativamente 2007) 2 e 5 anni dopo l'entrata in esercizio dei tre gruppi (orientativamente 2010 e 2013).

*Rete di biomonitoraggio con specie arborea spontanea come bioaccumulatore fogliare.*

Questa tipologia di biosensore consente la ripetizione annuale dell'indagine e, quindi, l'esecuzione del seguente programma cronologico:

- due anni prima dell'entrata in esercizio dei 3 gruppi (orientativamente 2007),
- un anno prima dell'entrata in esercizio dei 3 gruppi (orientativamente 2008),
- un anno dopo l'entrata in esercizio dei 3 gruppi (orientativamente 2009),
- due anni dopo l'entrata in esercizio dei 3 gruppi (orientativamente 2010),

*Rete di biomonitoraggio con una specie erbacea coltivata in vaso come bioaccumulatore (Lolium sp.)*

Anche per questa tipologia di biosensore è possibile la ripetizione annuale dei cicli espositivi e, quindi, l'esecuzione del seguente programma cronologico:

- due anni prima dell'entrata in esercizio dei 3 gruppi (orientativamente 2007),
- un anno prima dell'entrata in esercizio dei 3 gruppi (orientativamente 2008),
- un anno dopo l'entrata in esercizio dei 3 gruppi (orientativamente 2009),
- due anni dopo l'entrata in esercizio dei 3 gruppi (orientativamente 2010),

*Rete di biomonitoraggio con una specie erbacea coltivata in vaso come bioindicatore di ozono (Nicotiana tabacum)*

Come nel precedente caso anche il biosensore dell'ozono consente la ripetizione annuale dei cicli espositivi e, quindi, l'esecuzione del seguente programma cronologico:

- due anni prima dell'entrata in esercizio dei 3 gruppi (orientativamente 2007),
- un anno prima dell'entrata in esercizio dei 3 gruppi (orientativamente 2008),
- un anno dopo l'entrata in esercizio dei 3 gruppi (orientativamente 2009),
- due anni dopo l'entrata in esercizio dei 3 gruppi (orientativamente 2010),

### **3.5.8 Riesame della configurazione del sistema di biomonitoraggio**

La configurazione proposta è definita in base alla necessità di analizzare le dinamiche di distribuzione nello spazio degli inquinanti dell'area considerata poiché non si conoscono in modo approfondito tutte le sorgenti di emissione e le loro caratteristiche emissive e le caratteristiche microclimatiche del territorio.

Questa configurazione potrebbe, alla luce dei risultati del primo anno operativo (orientativamente 2009 per foglie di specie arboree e per le specie coltivate in vaso, 2010 per i licheni come bioindicatori e bioaccumulatori), risultare ridondante per il monitoraggio nel tempo dei fenomeni evidenziati dai dati raccolti.

Al fine, quindi, di ottimizzare l'impiego delle risorse, si dovrà procedere al riesame del sistema di biomonitoraggio, verificando l'effettivo contributo delle singole stazioni e delle tipologie di biosensori al controllo nel tempo dei fenomeni di interesse.

## 4 BIBLIOGRAFIA

ANPA, 2001. I.B.L. Indice di Biodiversità Lichenica. Manuale ANPA. Manuali e Linee Guida 2/2001.

Antognoni F., Bregoli A. M., Scaramagli S., Rossini P., Badini L., Trevissoi E., Ercoli L. e Bagni N. 1995. Plant biomonitoring of air pollutants in the Bologna urban area. *Agricoltura Mediterranea Spec.Vol.*, 181-188.

APAT CTN ACE, 2001. Sistema nazionale conoscitivo e dei controlli in campo ambientale. OB04.Sistema di Indici e Indicatori. OB04.01. Aggiornamento indicatori. Revisione e aggiornamento 2000. ACE-T-RAP-00-04, marzo 2001, Eds. ANPA CTN ACE.

Aste F., Contoli L., 1987. Diversità ed affinità dei sistemi trofici "*Tyto alba* - mammiferi terragnoli" nei comprensori vulcanici del Lazio. *Hystrix*, 2: 15-25

Bargagli R., 1998. Trace elements in terrestrial plants. Springer pp.324

Bettassa, T., Robotti, A. 1996. Valutazione della presenza di ozono mediante l'impiego di bioindicatori. *Acqua-Aria*, febbraio, 175-178.

Bettinelli M., Perotti M., Spezia S., Baffi C., Beone G.M., Alberici F., Bergonzi S., Bettinelli C., Cantarini P., Mascetti L. 2002. The role of analytical methods for the determination of trace elements in environmental biomonitors. *Microchemical Journal*, 73, 131-152.

Biondi, F., Mignanego, L. e Schenone, G. 1992. Correlation between environmental parameters and leaf injury in *Nicotiana tabacum* L. cv. 'B e l - W3'. *Environmental Monitoring and Assessment*, 22, 73-87.

Braun-Blanquet J., 1964, *Pflanzensoziologie*. Springer Verlag, Wien: XIV 865 pp.

Contoli L., Lombardi G., Spada F., 1980. Piano per un parco naturale nel territorio di Allumiere e Tolfa (Lazio). A cura della Provincia di Roma su incarico della Comunità montana (III zona) Monti della Tolfa. Istituto Poligrafico dello Stato.

Decreto Presidente della Repubblica 8 settembre 1997, n. 357 Regolamento recante attuazione della direttiva 92/43/CEE relativa alla conservazione degli habitat naturali e seminaturali, nonché Della flora e della fauna selvatiche. G.U. 23.10.1997 N. 248 suppl.ord.

Enel Laboratorio di Piacenza, 1999. Polo energetico di Civitavecchia. Decreto M.I.C.A. DEL 16/11/92. Rete di monitoraggio biologico terrestre. Indagine sul bioaccumulo di elementi in traccia nelle foglie e nei licheni. Relazione finale. Relazione tecnica n. 212TN00939.

Enel, 2001. Centrale di Torrevaldaliga Nord. Studio di Impatto Ambientale. Progetto di conversione a carbone.

Enel Produzione, 2004. Centrale di Torrevaldaliga Nord. Decreto del Ministero delle Attività Produttive n. del 24 dicembre 2003 di autorizzazione alla conversione a carbone della Centrale. Piano delle campagne di monitoraggio e biomonitoraggio.

F.W. Parrett, 1992. *Dust Emissions*. Computational Mechanics Publications, UK, Southampton.

Faraglia E., F.Riga, 1997. Guida alla natura dei monti della Tolfa. F.Muzzio Ed.

- Faraglia E., Riga F., 1997. Guida alla natura dei Monti della Tolfa. Franco Muzzio Editore.
- Fazzini P., Gelmini R., Mantovani M.P., Pellegrini M., 1972. Geologia dei Monti della Tolfa (Lazio settentrionale. province di Viterbo e Roma). Mem. Soc. Geol. It., 11. 65-144.
- Ferretti, M., Cenni, E., Pisani, B., Righini, F., Gambicorti, D., De Santis, P. e Bussotti, F. 1992. Biomonitoraggio di inquinanti atmosferici: un'esperienza integrata nella Toscana costiera. *Acqua-Aria*, 8, 747-758.
- Giordani P., Brunialti G., Alleteo D., 2002. Effects of atmospheric pollution on lichen biodiversity (LB) in a Mediterranean region (Liguria, northwest Italy). *Environmental Pollution*, 118 (2002), 53-64.
- JRC, 2001. *Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Draft Reference Document on Best Available Techniques on Emissions from Storage*.
- Loppi S., Giordani P., Brunialti G., Isocrono D. e Piervittori R., 2002. A new scale for the interpretation of lichen biodiversity values in the Thyrrhenian side of Italy. *Progress and Problems in Lichenology at the Turn of the Millenium – IAL 4. X. Llimona, H.T. Lumbsch & S. Ott (eds.): Bibliotheca Lichenologica* 82: 237-243
- Lorenzini G., 1999. Piante vascolari come bioindicatori della qualità dell'aria (inquinamento da ozono): proposte metodologiche. In Piccini C. & Salvati S. (curatori) *Atti del Workshop: "Biomonitoraggio della qualità dell'aria sul territorio nazionale"*. Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente, Atti 2, 199-216.
- Lorenzini, G., 1994. A miniaturized kit for ozone biomonitoring. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 48, 1-4.
- Lorenzini, G., Nali, C. e Biagioni, M. 1995. Long range transport of photochemical ozone over the Tyrrhenian Sea demonstrated by a new miniaturized bioassay with ozone-sensitive tobacco seedlings. *The Science of the Total Environment*, 166, 193-199.
- Lorenzini, G., Panattoni, A. 1986. An integrated, physico-chemical and biological survey of atmospheric ozone in coastal Tuscany, Italy. *Patologia Vegetale*, S IV, 22, 130-164.
- Mancini F., 1966a. Carta dei Suoli d'Italia.
- Mancini F., 1966b. Breve commento alla carta dei suoli d'Italia. In scala 1:1.000.000. Comitato della carta dei suoli.
- Mercorelli, S. 1992. Valutazione della presenza di ozono troposferico nel versante narnese della conca ternana mediante l'uso di *Nicotiana tabacum* L. cv. Bel-W3. *Biologia Ambientale*, 6, 5 - 14.
- Meriggi A., 1998. Bioindicatori a livello di popolazioni e comunità. In Sartori F. (curatore) *Bioindicatori ambientali*. Fondazione Lombardia per l'Ambiente: 368 pp.
- Minganti V., Capelli R., Drava G., De Pellegrini R., Brunialti G., Giordani P., Modenesi P., 2003. Biomonitoring of Trace Metals by Different species of Lichens (*Parmelia*) in North-West Italy. *Journal of Atmospheric Chemistry* 45: 219-229.
- Morrison, M. L. 1986. Bird population as indicator of environmental change. In: Johnston, R.F. (ed.): *Current Ornithology*, Vol. 3. Plenum Press, New York e Londra, 429-451.



Nimis P.L., 1997. Monitoraggio dell'inquinamento atmosferico nel comprensorio tolfetano attraverso l'uso di licheni come bioindicatori. Relazione finale. Università degli Studi di Trieste Dipartimento di Biologia. Coln. 988---5320.5320.12.TN00.0.5.----08.052E. Committente Enel

Nimis P.L., Bargagli R., 1999, Linee-guida per l'utilizzo di licheni epifiti come bioaccumulatori di metalli in traccia. In Piccini C. & Salvati S. (curatori) Atti del Workshop: "Biomonitoraggio della qualità dell'aria sul territorio nazionale". Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente, Atti 2, 279-287.

Nimis P.L., Castello M. & Perotti M., 1990. Lichens as biomonitors of sulphur dioxide in La Spezia (Northern Italy). *Lichenologist*, 22 (3): 333-344.

Nimis P.L., Lazzarin A., Lazzarin G. & D. Gasparo 1991 - Lichens as bioindicators of air pollution by SO<sub>2</sub> in the Veneto Region (NE Italy). - *Studia Geobotanica*, 11: 3-76.

Perotti M., 2004. I licheni epifiti come bioaccumulatori: applicazione nel contenzioso ambientale. *Acqua&Aria* n. 1 2004 pp.: 28-35.

Schenone, G. e Mignanego, L. 1988. Monitoraggio biologico dell'ozono in Lombardia: risultati preliminari. *Acqua-Aria*, 9, 1085-1090.

Servizio Geologico d'Italia, 1969. Carta Geologica d'Italia, Foglio 142 Civitavecchia.

Strategie Ambientali, 2004. Realizzazione e gestione di una rete di stazioni di biomonitoraggio per il controllo degli ecosistemi dell'area limitrofa alla centrale termoelettrica di Torrevaldaliga Sud. Relazione finale anno 2004. Tirreno Power.

Tommaselli R., 1973. LA VEGETAZIONE FORESTALE D'ITALIA. Collana Verde n. 33 . Ministero Agricoltura e Foreste

Tommaselli R., Balduzzi A., Filipello S., 1973. CARTA BIOCLIMATICA D'ITALIA. Collana Verde n. 33 . Ministero Agricoltura e Foreste

US-EPA, 2001. *AP-42, Volume I, Fifth Edition*. Office of Air Quality Planning and Standards, United States Environmental Protection Agency, Washington.

VDI 3792 part 5, 1991. Response dose determination; standardization of sampling of leaves and needles from trees at their natural site. Eds. Verein Deutscher Ingenieure.

VDI 3957 part 13, 2004. Biological measurement procedures for determining and evaluating the effects of ambient air pollutions on lichens (bioindication). Mapping the diversity of epiphytic lichens as indicators of air quality. Eds. Verein Deutscher Ingenieure.

VDI 3957 part 2, 2003. Biological measuring techniques for the determination and evaluation of effects of air pollutants on plants (bioindication). Method of standardised grass exposure. Eds. Verein Deutscher Ingenieure.

VDI 3957 part 6, 2003. Biological measuring techniques for the determination and evaluation of the effects of air pollutants on plants (bioindication). Determination and evaluation of the phytotoxic effect of photooxidants. Method of the standardised tobacco exposure.

VDI 3957/Part 10, 2004. Biological measuring techniques for the determination and evaluation of effects of air pollutants on plants (bioindication). Source-related measurements of ambient air quality using bioindicators. Eds. Verein Deutscher Ingenieure

Ventriglia U., 1988. Idrogeologia della Provincia di Roma. I volume. Regione Tolfetana. Amministrazione Provinciale di Roma.