



Stima della rappresentatività spaziale
delle stazioni di fondo di rete regionale
PM10 con il metodo β

REPORT



Stima della rappresentatività spaziale delle stazioni di fondo di rete regionale PM10 con il metodo β

A cura di:

Chiara Collaveri
Bianca Patrizia Andreini

ARPAT – Settore Centro Regionale per la Tutela della Qualità dell’Aria

Giugno 2022

Indice del documento

Introduzione

Calcolo della rappresentatività attraverso l'indice β

Analisi per zona

2.1 Zona valdarno pisano e piana lucchese

2.2 Agglomerato di Firenze

2.3 Zona Prato Pistoia

2.4 Zona del Valdarno aretino e val di Chiana

2.5 Zona costiera

2.6 Zona collinare montana

Appendice I Approfondimenti sul metodo

Processo di ottimizzazione

Calcolo della copertura regionale per le principali zone interne

Conclusioni

Introduzione

La rappresentatività spaziale non è una caratteristica che si mantiene costante nel tempo e può dipendere sia dalla variabile alla quale siamo interessati che dal tempo di mediazione scelto per la variabile (ad esempio per PM10 medie giornaliere o medie annuali hanno presumibilmente aree di rappresentatività diverse).

La rappresentatività fornisce un utile elemento di interpretazione dei dati delle stazioni di monitoraggio consentendo di valutare la valenza delle misure in un determinato territorio.

Nel 2014 è stato istituito il primo tavolo sulla rappresentatività spaziale delle stazioni della rete regionale a cui ARPAT ha partecipato insieme a Regione Toscana e Lamma. La rappresentatività è stata valutata secondo lo stato dell'arte delle metodologie disponibili [1,2,3]. Nel report prodotto [4] sono state applicate due diverse metodologie una basata sulla modellistica regionale e sviluppata da Lamma e l'altra, applicata da ARPAT, basata su un indicatore semiempirico chiamato β .

Dal 2014 il gruppo FAIRMODE che ha proposto queste metodologie, applicate e valutate da ENEA in Italia, ha continuato a lavorare per definire un metodo di riferimento che possa essere adottato in maniera omogenea in tutta Europa ed i lavori per la definizione di una linea guida sono tutt'ora in corso. Lamma e ARPAT partecipano al gruppo di lavoro.

Tra le fonti dati alla base del calcolo dal 2014 ad oggi sono stati aggiornati il database delle emissioni regionali (IRSE 2017) e il CORINE LAND COVER al 2018. Per questo motivo e per il fatto che la rappresentatività, non essendo un parametro assoluto, può essere come detto soggetta a variazioni nel tempo, il calcolo è stato aggiornato nel 2022 per entrambi i metodi.

Per quanto riguarda il metodo dell'indice β , illustrato di seguito nei dettagli, sono state introdotte alcune novità rispetto alla precedente applicazione in ragione della minore disponibilità di dati da una parte e dalla più chiara conoscenza di limiti e potenzialità del metodo. Queste modifiche anche se risultano per la maggior parte migliorative rendono più difficoltoso il confronto con i risultati precedenti.

Tra le principali novità introdotte c'è l'uniformazione della soglia di rappresentatività che passa dal 30% della precedente applicazione al 20% come previsto dal metodo originale, e l'introduzione di una valutazione della rappresentatività su base invernale per ottenere risultati più specifici relativamente al periodo critico per i superamenti del limite giornaliero. Per quanto riguarda la minore disponibilità dei dati (molte delle stazioni provinciali precedentemente disponibili sono state nel frattempo dismesse) questa ha determinato la definizione di coefficienti semiempirici medi uguali in tutte le zone della Regione anziché coefficienti specifici per ciascuna zona omogenea; ciò costituisce evidentemente una maggiore approssimazione rispetto a poter valutare coefficienti specifici.

Anche la modalità di presentazione dei risultati è in questo documento proposta in chiave diversa: alla luce dell'esperienza maturata si è ritenuto utile effettuare una valutazione generale e ragionata dei risultati senza attribuire percentuali di copertura ai singoli comuni. La forma circolare che il β attribuisce alla rappresentatività spaziale è un fattore geometricamente limitante, che restituisce un punto di vista centrato sul dato, "premiando" la maggior parte delle volte il comune di appartenenza della stazione in maniera ragionevolmente sovrastimata.

1. Calcolo della rappresentatività attraverso l'indice β

L'indice β è un indice sintetico che esprime il contributo del territorio in un'area circolare nell'intorno di un sito di misura ai livelli di PM misurati. Per il calcolo della rappresentatività si assume che se all'aumentare del raggio il valore dell'indice non subisce significative variazioni, nemmeno il PM lo farà e quindi il sito di misura sarà considerato rappresentativo della massima area per la quale non si hanno variazioni significative di β [2].

Nel presente lavoro la soglia di significatività per le variazioni di β è stata assunta pari al 20% ed il calcolo è stato effettuato per raggi di 2 km / 3km / 5km / 7,5 km / 10 km e 15 km.

Per una descrizione dettagliata delle modalità di calcolo si veda allegato.

Il calcolo del valore dell'indice si basa sull'uso del suolo. Nel presente lavoro è stato utilizzato il CLC 2018 [5].

Di seguito vengono analizzati i risultati ottenuti per ciascuna zona. I risultati sono presentati prevalentemente in forma di rappresentazioni cartografiche e ciascun paragrafo può schematizzarsi come segue:

- Presentazione dell'uso del suolo della zona e collocazione delle stazioni
- Uso del suolo nel buffer di 2 km (riferimento) intorno a ciascuna stazione
- Confronto tra le stazioni
- Raggi di rappresentatività
- Rappresentazione dei dati sulle aree di rappresentatività ottenute e interpretazione

Sono state calcolate 2 rappresentatività a diverse scale temporali di riferimento. Una rappresentatività delle medie annue, per l'indicatore di legge della media annuale, e una rappresentatività invernale (relativa ai mesi novembre-gennaio) indirettamente riconducibile all'indicatore dei superamenti delle medie giornaliere.

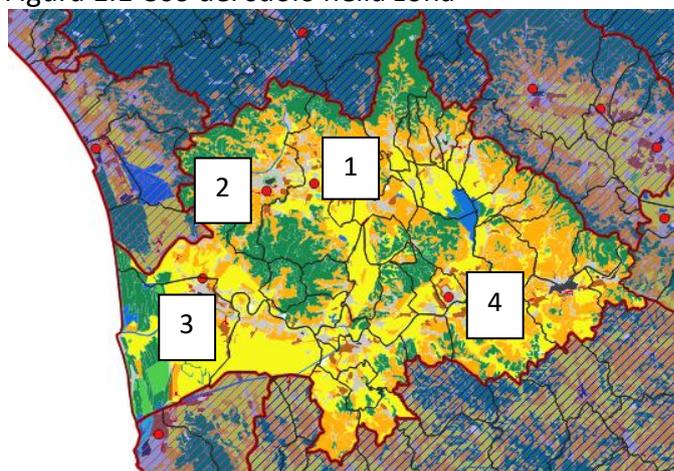
Essendo le zone (con l'eccezione dell'Agglomerato di Firenze) contraddistinte da precise delimitazioni geografiche, i confini della zonizzazione sono considerati gerarchicamente superiori alle aree di rappresentatività e perciò dopo aver calcolato il raggio di rappresentatività le aree sono tagliate sui confini delle zone.

La zona del Valdarno pisano e Piana lucchese è trattata per prima ed in maniera più estesa essendo di maggiore interesse per la sua criticità a livello regionale. Alcune spiegazioni sul metodo sono date in questo paragrafo e non sono ripetute per tutte le zone per ragioni di sintesi.

2. Analisi dei risultati per zona

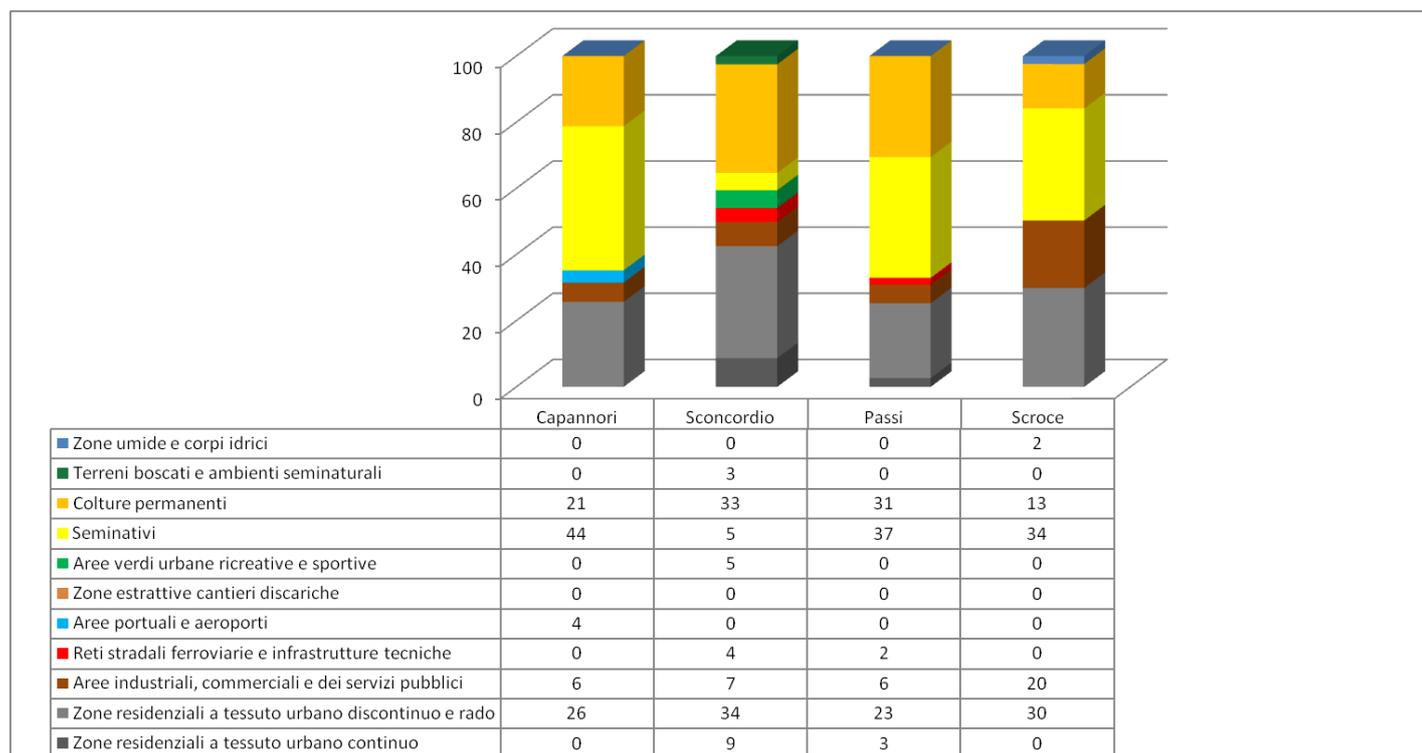
2.1. Zona valdarno pisano e piana lucchese

Figura 1.1 Uso del suolo nella zona



Stazione	US 2km	PM10 media annuale [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	PM10 media invernale [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
LU-Capannori 1		29	54
LU-S.Concordio 2		26	41
PI-Passi 3		23	30
PI-S. Croce 4		27	38

Uso suolo a 2 km di raggi: percentuali



La stazione di **LU-Capannori** nel buffer di raggio 2 km ha un uso del suolo prevalentemente agricolo con il 44% di superficie adibita a seminativi ed il 21% a colture permanenti. L'area urbana è di tipo discontinuo ed occupa il 26%. Un 6% è dedicato ad aree industriali e commerciali e il 4% della superficie è occupata da un'area di volo che viene classificata come aeroporto. Considerando il quinquennio che va dal 2013 al 2017, il valore della media annuale per questa stazione è pari a $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mentre se consideriamo i soli 3 mesi dicembre-febbraio il valore medio sale a $54 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

La stazione di **LU-S.Concordio**, che si trova a poco più di 2 km da LU-Capannori presenta una distribuzione di uso del suolo abbastanza diversa. La stazione è inserita in un tessuto urbano discontinuo, ma all'interno del raggio di 2 km è compresa l'intera area urbana di Lucca all'interno delle mura, considerata tessuto urbano continuo.

Le mura sono considerate verde urbano e rappresentano un 5% della superficie totale. Attigue all'area urbana ci sono le aree industriali (7%) e alcune delle principali infrastrutture stradali (4%). Per quanto riguarda le aree agricole esse sono prevalentemente costituite da colture permanenti (33%) e solo in piccola percentuale da seminativi (5%).

I livelli, nonostante l'incremento della quota urbana sono più contenuti rispetto a LU-Capannori (vedi considerazioni sui diversi contributi dell'uso del suolo in Allegato 1 descrizione del metodo) sia per la media annuale sul lungo periodo, che è di $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ma soprattutto per la media invernale che passa dai $54 \mu\text{g}/\text{m}^3$ di Capannori a $41 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

La stazione di **PI-Passi** ha una quota urbana pari al 26% (3% continua e 23% discontinua) e un'area agricola suddivisa nelle seguenti proporzioni: 37% seminativi e 31% colture permanenti; il 6% è occupato da aree industriali e di servizi ed il 2% da infrastrutture stradali. I valori data la maggiore vicinanza al mare e la maggiore apertura del territorio nella zona, sono nettamente inferiori: la media annuale scende a 23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e quella invernale a 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

La stazione di **PI-S.Croce** comprende nel buffer di 2 km una percentuale significativamente più elevata rispetto alle altre stazioni di uso del suolo di tipo industriale e di servizi (20%); il sito è inoltre caratterizzata da un 30% di suolo urbano discontinuo, un 34% di seminativi, un 13% di colture permanenti e da una porzione di suolo pari al 2% attraversata dal fiume Arno e classificata come zone umide e corpi idrici.

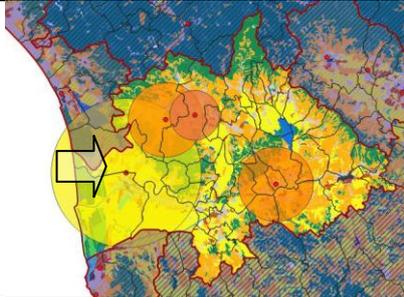
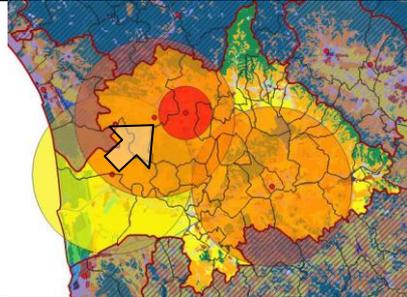
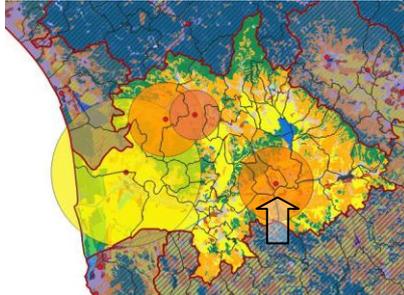
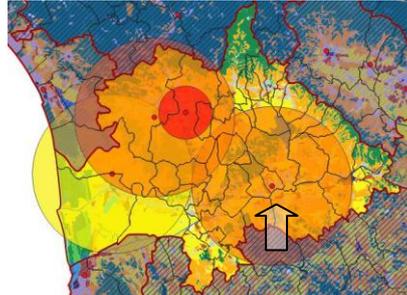
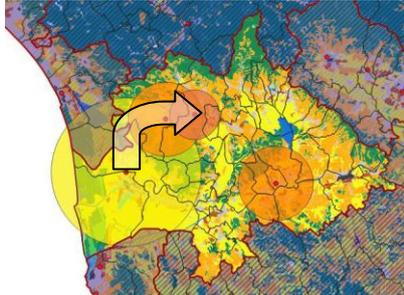
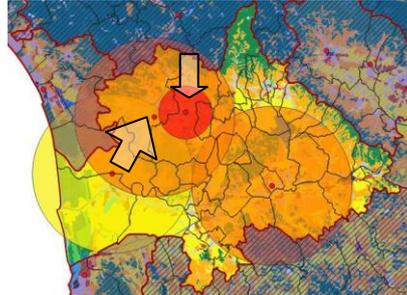
I risultati del calcolo β restituiscono i seguenti raggi di rappresentatività per le 4 stazioni:

Stazione	RR (media annua)	RR (nov-genn)
LU-Capannori	5 km	5 km
LU-S.Concordio	7,5 km	15 km
PI-Passi	15 km	15 km
Pi-S.Croce	7,5 km	15 km

Come si può notare la rappresentatività più estesa nella zona è quella della stazione PI-Passi che è anche la stazione con i valori medi più bassi, mentre LU-Capannori ha il raggio di rappresentatività inferiore e questo vale sia se consideriamo una rappresentatività annuale, sia per la rappresentatività calcolata sui valori invernali. In generale per questa zona si può osservare nel passaggio da media annua a mesi invernali, stazionarietà o aumento del raggio di rappresentatività.

I raggi di rappresentatività sono tali per cui le relative aree non sono separate ma mostrano delle sovrapposizioni. Ciò non deve stupire in quanto il valore misurato dalla stazione è un valore che può essere assunto come valore medio dell'area di rappresentatività, la quale area sarà comunque al suo interno caratterizzata da una certa variabilità dei livelli. La variabilità è comunque contenuta all'interno dei vincoli imposti dal metodo che, imponendo una variabilità massima del 30% sull'indice β , determina l'assunzione di un margine analogo di variazione dei livelli di PM.

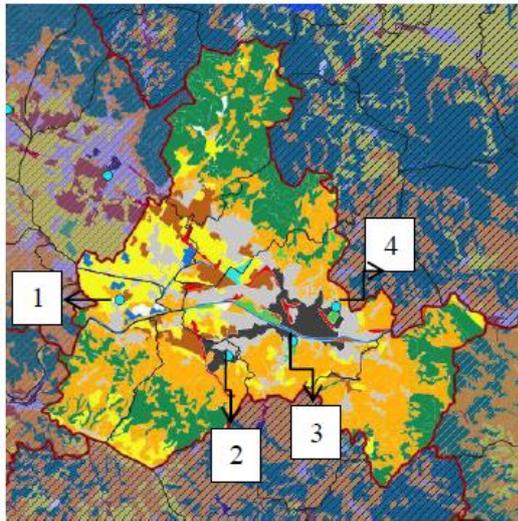
La sovrapposizione di aree con valori medi diversi indica quindi una tendenza ovvero, in maniera semplificata, si può immaginare una variazione lungo la direttrice che unisce le due stazioni con un gradiente approssimativamente pari alla differenza dei valori medi attribuiti alle due aree.

Media annuale		Media inverno (nov-gen)
	<p>La stazione di PI-Passi rappresenta tutta l'aera costiera fino al monte pisano con una media annua di 23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Considerando i 3 mesi invernali la stazione di PI-Passi sale ad una media di 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ed il gradiente verso i 41 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ si avvicina di circa 3 km alla costa.</p>	
	<p>A partire dal Monte pisano verso l'interno si distinguono le due aree della Piana lucchese e del Valdarno. Per quanto riguarda il Valdarno il livello medio annuale di 27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ della stazione di S.Croce può considerarsi esteso ai comuni dell'area del cuoio, mentre nella stagione invernale la media di 38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ diventa rappresentativa di tutta l'area sud della zona.</p>	
	<p>Per quanto riguarda la Piana lucchese su base annuale si individua una tendenza che a partire dalla costa verso l'interno trova il suo massimo (29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) nella stazione di LU-Capannori. Nei mesi invernali il dato di Lu-S.Concordio rappresenta il dato medio di tutta la piana e la sua area di rappresentatività va a congiungersi con quella della stazione di PI-S.Croce che ha valori simili. Il dato di Capannori in inverno rappresenta una variazione positiva all'interno dell'area di rappresentatività di S.Concordio.</p>	

I risultati del metodo β rafforzano l'interpretazione della modellistica (vedi relazione Consorzio LaMMA) in quanto entrambi i metodi individuano coerentemente la stazione di PI-Passi come rappresentativa di un'area estesa che va dalla costa fino alle prime zone interne, mentre PI-S.Croce rappresenta la zona del cuoio e LU-S.Concordio l'area della Piana Lucchese. L'area individuata dal modello ha una forma allungata che si colloca lungo il profilo dell'abitato mentre il metodo β individua necessariamente aree di forma circolare. Lungo l'asse LU-S.Concordio – Lu-Capannori si localizza l'area di maggior accumulo per tutta la zona. Anche il metodo basato sulla modellistica, come il metodo β , attribuisce a LU-Capannori una rappresentatività contenuta ed in diminuzione rispetto alle stime effettuate con i valori relativi agli anni precedenti.

2.2 Agglomerato di Firenze

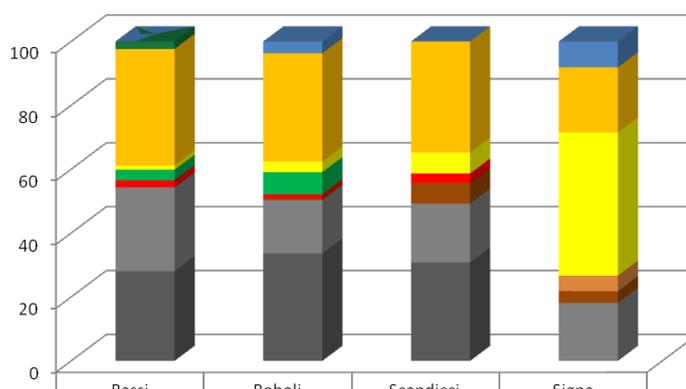
Figura 2.1 Uso del suolo nell'Agglomerato



Stazione	US 2km	PM10 media annuale [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	PM10 media invernale [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
FI-Signa 1		25	37
FI-Scandicci 2		22	31
FI-Boboli 3		19	24
FI-Bassi 4		20	26

I livelli medi delle quattro stazioni di fondo nell'Agglomerato di Firenze sono abbastanza omogenei con livelli superiori, specialmente nei mesi invernali, per le stazioni nei comuni limitrofi (Signa e Scandicci) rispetto alle stazioni del centro urbano di Firenze.

Uso del suolo a 2 km: percentuali



	Bassi	Boboli	Scandicci	Signa
■ Zone umide e corpi idrici	0	4	0	8
■ Terreni boscati e ambienti seminaturali	2	0	0	0
■ Colture permanenti	36	34	35	20
■ Seminativi	1	3	7	45
■ Aree verdi urbane ricreative e sportive	3	7	0	0
■ Zone estrattive cantieri discariche	0	0	0	5
■ Aree portuali e aeroporti	0	0	0	0
■ Reti stradali ferroviarie e infrastrutture tecniche	2	1	3	0
■ Aree industriali, commerciali e dei servizi pubblici	0	1	6	4
■ Zone residenziali a tessuto urbano discontinuo e rado	26	17	18	18
■ Zone residenziali a tessuto urbano continuo	28	34	31	0

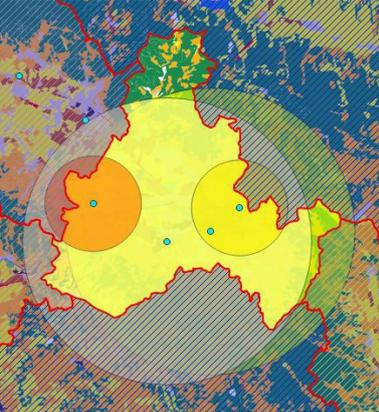
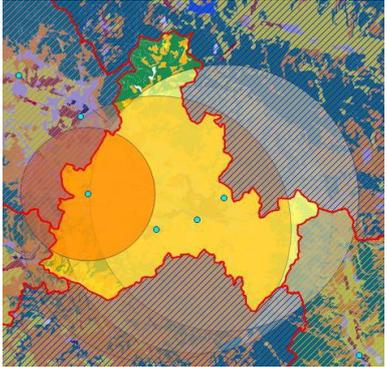
Tutte le stazioni dell'Agglomerato di Firenze comprendono nell'intorno di 2 km una considerevole percentuale di uso del suolo di tipo urbano. Per le stazioni di **FI-Boboli**, **FI-Bassi** e **FI-Scandicci** l'uso del suolo urbano complessivamente (continuo e discontinuo) copre circa il 50% del buffer di 2 km. La stazione di **FI-Scandicci** rispetto alle altre ha un contributo leggermente maggiore dei seminativi (7%), delle aree industriali (6%) e anche delle infrastrutture legate ai trasporti. **FI-Boboli** invece si distingue per un maggiore contributo del verde urbano (i giardini di Boboli all'interno dei quali la stazione è collocata) e per una quota relativa alla presenza dell'Arno (4% di Zone umide e corpi idrici).

La stazione di **FI-Signa** è quella che si differenzia maggiormente dalle altre per una percentuale molto significativa di seminativi (45%) che sostituisce in parte il contributo urbano che in questo buffer è solo discontinuo (18%). Da segnalare anche la presenza di uso del suolo adibito a zone estrattive e discariche per un 5% e zone umide che in questo caso sono rappresentate da parte del parco dei Renai e altre aree lacustri che hanno preso il posto delle ex aree estrattive.

I risultati del calcolo β restituiscono i seguenti raggi di rappresentatività per le 4 stazioni:

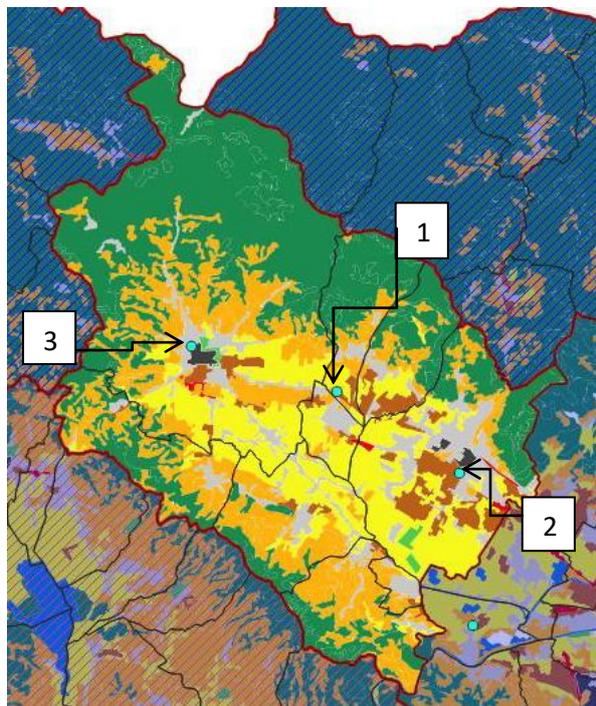
Stazione	RR (media annua)	RR (nov-genn)
FI-Bassi	5 km	15 km
FI-Boboli	15 km	15 km
FI-Scandicci	15 km	15 km
FI-Signa	5 km	7,5 km

Le aree di rappresentatività più estese sono quelle delle stazioni di FI-Boboli e FI-Scandicci che raggiungono la massima estensione prevista sia per il periodo annuale che per il solo periodo invernale. Le stazioni di FI-Bassi e FI-Signa hanno una rappresentatività più contenuta della media annuale che aumenta nei mesi invernali.

Media annuale		Media inverno (nov-gen)
	<p>Le stazioni di FI-Signa e FI-Bassi, le più lontane tra loro, distano 15 km. L'intero agglomerato di Firenze è compreso in un raggio di rappresentatività di 15 km centrato su FI-Boboli o FI-Scandicci che hanno livelli simili (entro il range di variabilità del β) sia nell'anno che nei mesi invernali.</p> <p>Sia a livello annuale che invernale l'Agglomerato fiorentino presenta livelli omogenei con un gradiente in aumento verso ovest nell'area rappresentata dalla stazione di FI-Signa.</p>	

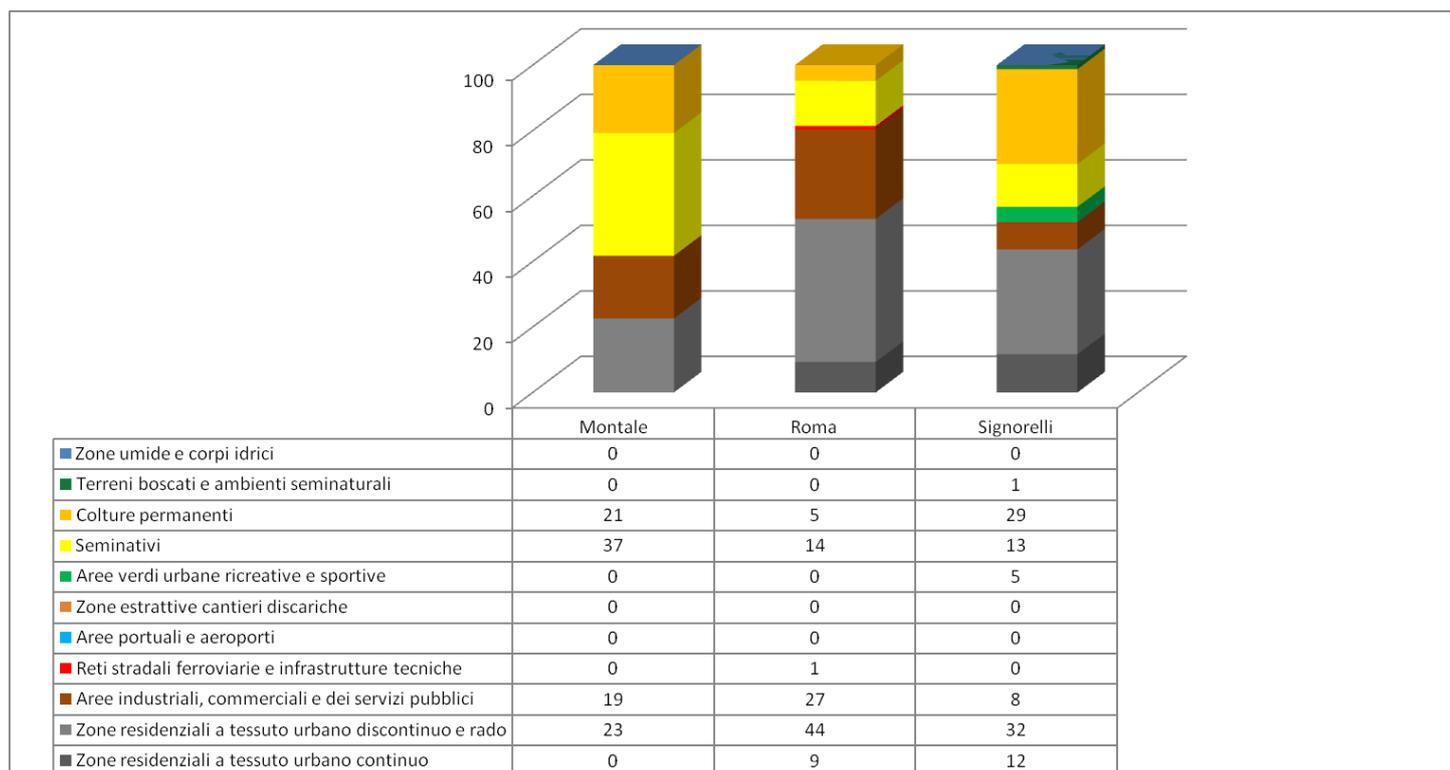
2.3. Zona Prato Pistoia

Figura 3.1 Uso del suolo nella zona Prato Pistoia



Stazione	US 2km	PM10 media annuale [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	PM10 media invernale [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
PT-Montale 1		28	45
PO-Roma 2		26	40
PT-Signorelli 3		21	28

Uso suolo a 2km: percentuale



In questa zona abbiamo livelli medio-alti nelle stazioni di PT-Montale e PO-Roma e livelli molto più contenuti nella stazione di PT-Signorelli.

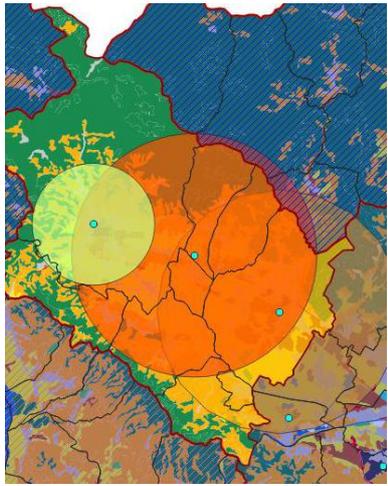
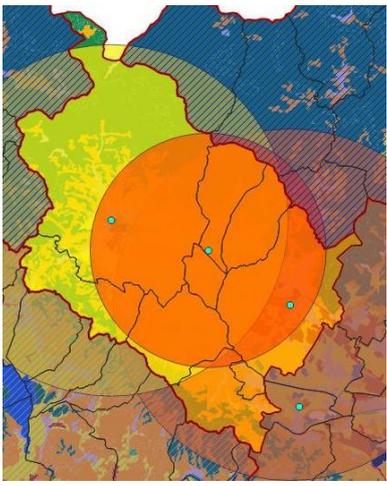
L'uso del suolo presenta caratteristiche diverse nelle 3 stazioni. **PT-Signorelli** è la classica stazione di fondo urbano che comprende tessuto urbano sia continuo che discontinuo per una quota vicina al 50%. A questo si aggiungono una piccola parte di verde urbano (5%), le aree industriali e di servizi (8%) e per quanto riguarda l'area esterna al centro urbano troviamo in misura maggiore le colture permanenti (29%) rispetto ai seminativi (13%). **PO-Roma** è una delle stazioni a livello regionale con il maggior contributo di superficie urbana che, tra continua e discontinua, arriva al 53%. Il restante 47% è costituito ancora da contributi "cittadini" di periferia quali la presenza di aree industriali e commerciali (27%) e infrastrutture stradali (1%). Il contributo extraurbano in senso lato è dato da un 5% di colture permanenti ed un 14% di seminativi.

La stazione di **PT-Montale** ha invece una prevalenza di seminativi che da soli costituiscono il 37% dell'area totale; le restanti aree agricole sono costituite da colture permanenti per il 21%. A livello urbano si ha un 23% di aree residenziali a tessuto urbano discontinuo e le aree industriali e commerciali occupano il 19%.

I risultati del calcolo β restituiscono i seguenti raggi di rappresentatività per le 3 stazioni:

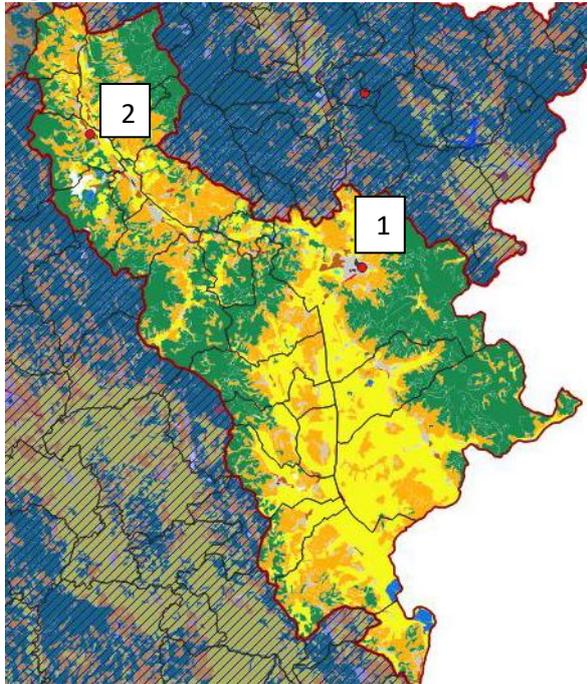
Stazione	RR (media annua)	RR (nov-genn)
PT-Montale	10 km	10 km
PO-Roma	10 km	15 km
PT-Signorelli	5 km	15 km

Le aree di rappresentatività sono a livello annuale piuttosto estese e coprono tutta la zona con ampie aree di sovrapposizione sia a livello annuale che come media invernale.

Media annuale		Media inverno (nov-gen)
	<p>Le aree di rappresentatività sono molto ampie e si individua nell'area centrale della piana, attribuita alla stazione di PT-Montale, la zona di massima concentrazione. L'area urbana di Prato, in gran parte sovrapposta si attesta su livelli medi di poco inferiori specialmente nei mesi invernali.</p> <p>Salendo, anche di quota, verso l'area urbana di PT-Signorelli e le retrostanti aree naturali i valori scendono decisamente, con un gradiente molto più brusco sia a livello annuale che nei mesi invernali.</p> <p>Tutta la zona risulta completamente caratterizzata dalle 3 stazioni.</p>	

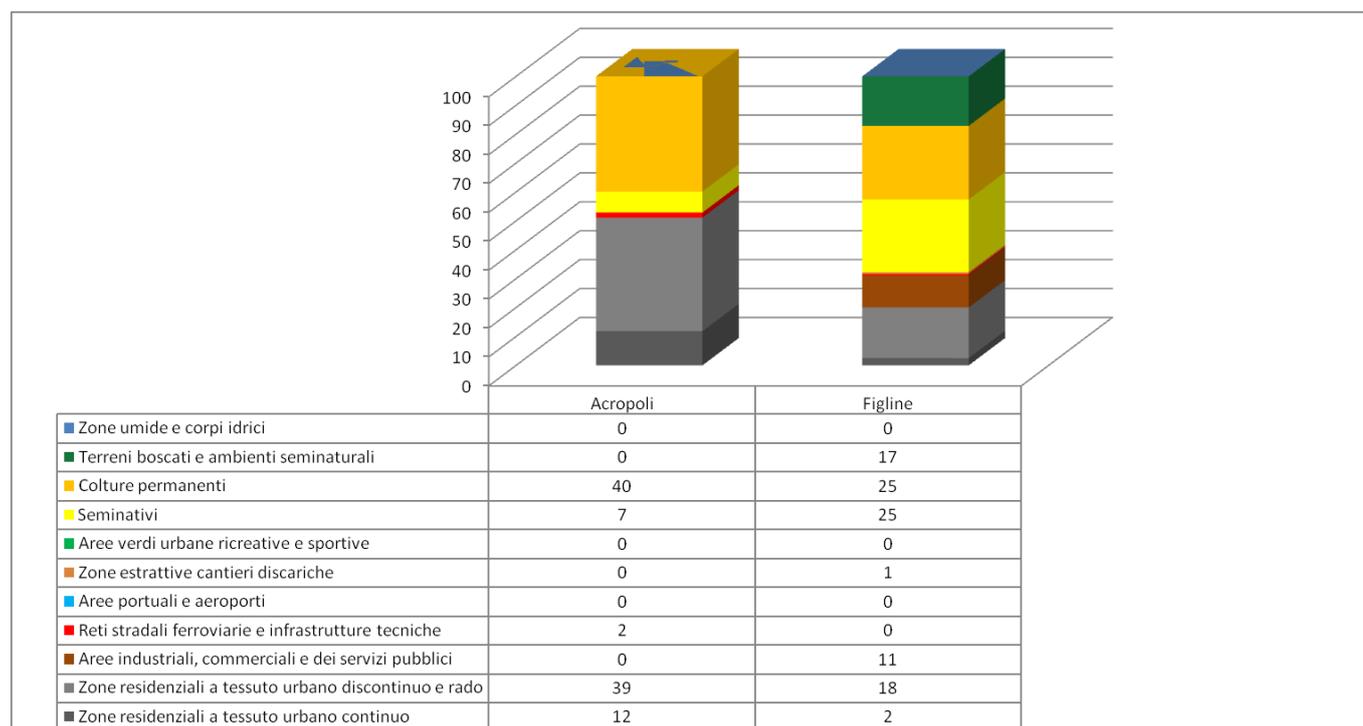
2.4. Zona Valdarno aretino e Val di Chiana

Figura 4.1 Uso del suolo nella zona Valdarno aretino e Val di Chiana



Stazione	US 2km	PM10 media annuale [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	PM10 media invernale [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
AR-Acropoli 1		21	28
FI-Figline 2		25	38

Uso suolo a 2km: percentuali



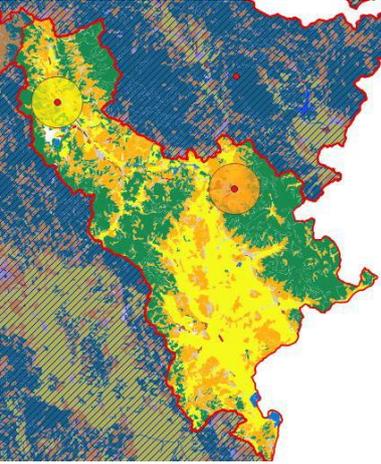
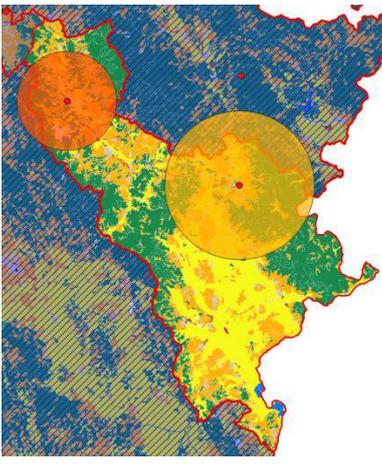
Le due stazioni sono molto diverse sia per la distribuzione dell'uso del suolo nel sito che per i livelli misurati. La stazione di **AR-Acropoli** ha caratteristiche decisamente urbane con un 50% del territorio nel raggio di 2 km di tipo residenziale continuo o discontinuo. Il resto del territorio, al netto di un 2% di infrastrutture trasporti, è di tipo agricolo con una prevalenza netta delle colture permanenti (40%) sui seminativi (7%).

La stazione di **FI-Figline** ha invece un 20% di territorio urbano complessivamente e un 11% di aree commerciali e industriali. Le aree agricole si suddividono equamente tra seminativi e colture permanenti (25% ciascuno) e il 17% del territorio è occupato da aree naturali.

I risultati del calcolo β restituiscono i seguenti raggi di rappresentatività per le 2 stazioni:

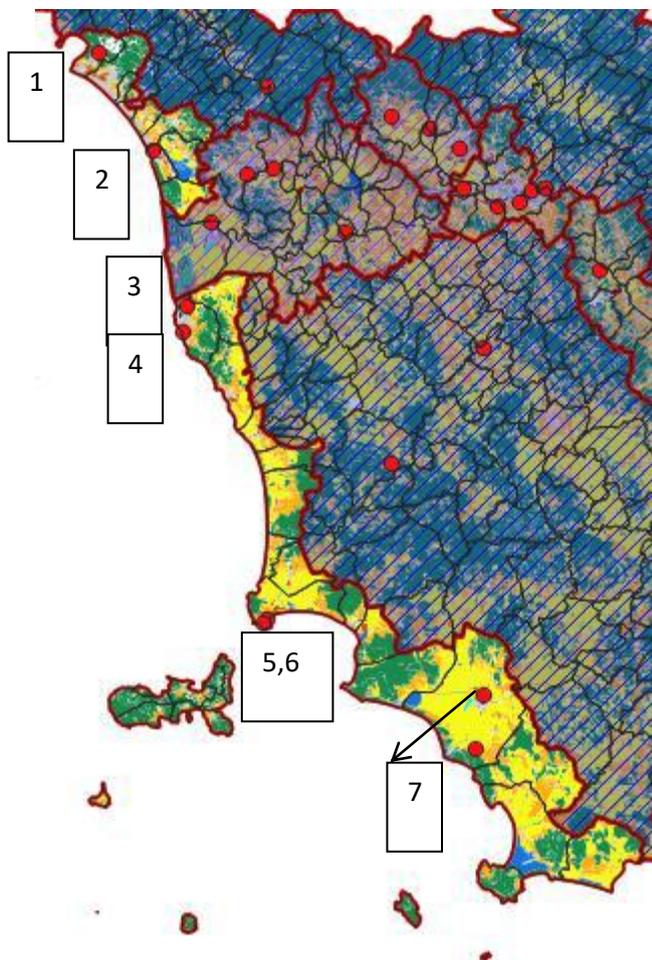
Stazione	RR (media annua)	RR (nov-genn)
AR-Acropoli	5 km	15 km
FI-Figline	5 km	10 km

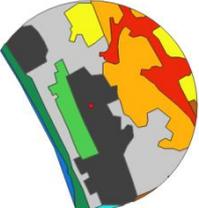
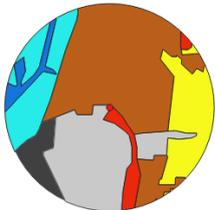
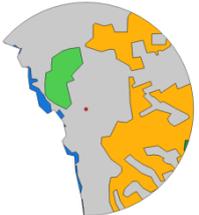
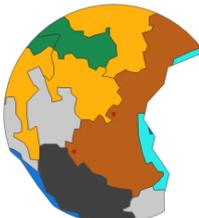
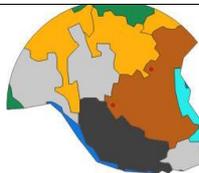
Le aree di rappresentatività risultanti sono di media estensione su base annua e piuttosto ampie per i mesi invernali.

Media annuale		Media inverno (nov-gen)
	<p>Vista la distanza tra le stazioni e la conformazione della zona, le aree di rappresentatività restano sempre separate con connotazioni distinte. La stazione di FI-Figline, come ben confermato dalla stima della rappresentatività attraverso metodo della modellistica, caratterizza l'area dell'alto Valdarno con particolare riferimento alla parte pianeggiante e abitata interessata da una meteorologia locale soggetta all'accumulo degli inquinanti. La stazione di AR-Repubblica, rappresenta il centro urbano più importante della zona che si trova in un'area più aperta. I livelli misurati sono quelli dell'area urbana ma nei mesi invernali rappresentano anche le limitrofe periferie con una combinazione di uso del suolo a cui è attribuito il valore medio che è tipica della parte della zona che va da Arezzo alla Valdichiana.</p>	

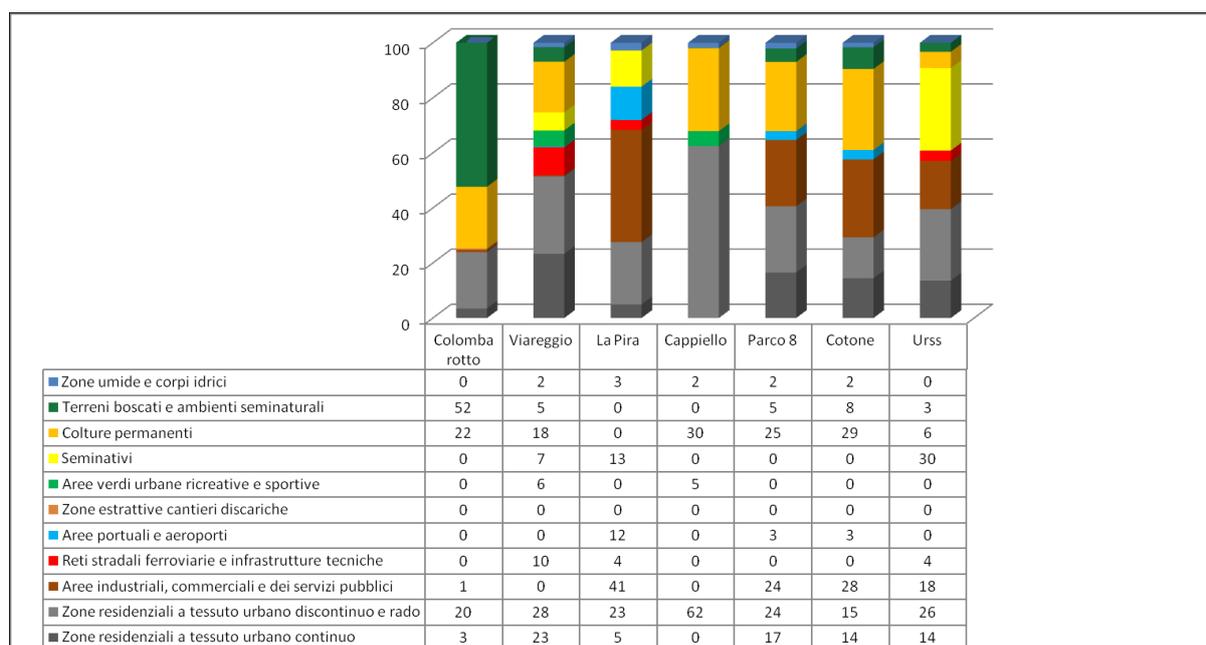
2.5. Zona Costiera

Figura 5.1 Uso del suolo nella zona Costiera



Stazione	US 2km	PM10 media annuale [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	PM10 media invernale [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
MS-Colombarotto 1		21	25
LU-Viareggio 2		25	34
LI-La Pira 3		19	21
LI-Cappiello 4		17	18
LI-Cotone 5		16	16
LI-Parco VIII marzo 6		17	17
GR-URSS 7		17	19

Uso suolo a 2 km: percentuale



Le stazioni di fondo che si trovano nella zona costiera sono 7 e, se da una parte sono tutte ben diverse tra loro per l'uso del suolo adiacente al sito di misura, dall'altra hanno valori abbastanza omogenei e simili se mediati sul periodo invernale o sull'intero anno.

Le stazioni che maggiormente si distinguono dalle altre sono MS-Colombarotto e LU-Viareggio entrambe nella costa nord dove le Apuane arrivano a ridosso del mare.

La stazione di **MS-Colombarotto** in particolare è interessata da un 52% di aree naturali e un 22% di colture permanenti; non ha seminativi che sono tipici delle aree pianeggianti. A livello di tessuto urbano prevale quello discontinuo ed in totale si ha un 23% di residenziale. I livelli di MS-Colombarotto non si distanziano particolarmente da quelli medi della costa ma c'è una maggiore differenza tra la media annuale e quella relativa a novembre-gennaio.

Un discorso a parte lo merita la stazione di **LU-Viareggio** dove la differenza dei livelli tra media annuale e media invernale è degna di nota. I dati di questa zona sono mediamente più elevati rispetto a quelli medi della costa, tanto che i comuni di Viareggio e Camaiore costituiscono l'area di superamento della Versilia ai sensi della DGRT 814/2016. Le correlazioni con le altre stazioni di rete regionale e con i dati di alcune campagne svolte in aree prossime suggeriscono che il sito presenti alcune caratteristiche tipiche delle aree più interne pur mitigate dall'influenza della costa. Complessivamente la stazione è interessata da un'area residenziale pari al 51% accompagnata da un 6% di aree verdi urbane. Importante il contributo del 10% da infrastrutture per trasporti. Le zone agricole constano di un 18% di colture permanenti e di un 7% di seminativi. Come evidente nel seguito la rappresentatività di questa stazione, come accade per le stazioni delle zone interne, cresce se si considerano le medie invernali rispetto all'intero anno; questo non accade per le altre

stazioni della costa per le quali, nei mesi invernali, il raggio di rappresentatività rimane costante o diminuisce.

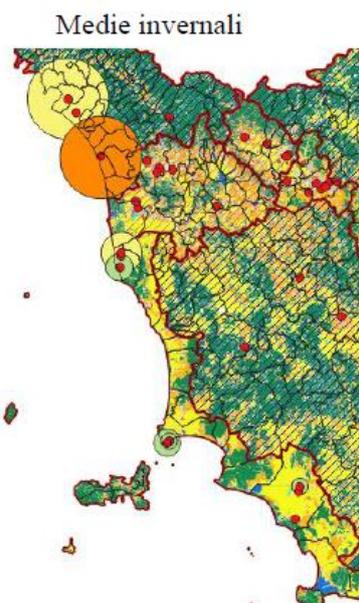
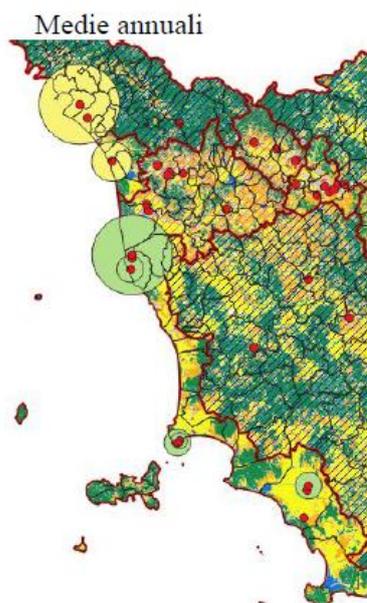
Per quanto riguarda le stazioni di Livorno queste presentano caratteristiche di uso del suolo molto diverse: la stazione di **LI-Cappiello** rappresenta la zona sud della città, prevalentemente residenziale ed è caratterizzata da tessuto urbano discontinuo per il 62% del territorio. Il resto è caratterizzato da aree verdi urbane (5%) e colture permanenti localizzate nell'area delle colline livornesi limitrofe alla città (30%).

La stazione di **LI-La Pira** rappresenta invece l'area nord della città caratterizzata da forte industrializzazione (41% di aree industriali) e presenza di infrastrutture quali il porto (12%) e le reti stradali (4%). Il tessuto urbano è sia continuo (5%) che discontinuo (23%) e per quanto riguarda il contributo agricolo è presente un 13% di seminativi.

Le stazioni situate a Piombino, invece, presentano un contesto molto simile l'una con l'altra. I due siti sono collocati a breve distanza l'uno dall'altro ed il loro posizionamento nasce dall'esigenza di distinguere il contributo urbano da quello limitrofo al polo siderurgico presenti in città.

Tra le due infatti la stazione di **LI-Cotone**, posta lungo il perimetro dello stabilimento, ha una minor percentuale di tessuto urbano discontinuo (24% -> 15%) a favore di un maggiore contributo industriale (24% -> 28%). Entrambe, Li-Cotone e **LI-Parco VIII marzo**, includono il contributo del porto (3%), delle colture permanenti (25%-29%) e di una certa percentuale di terreni naturali (5-8%).

La stazione di **GR-URSS** è l'unica tra le stazioni costiere con un contributo significativo dell'uso del suolo adibito a seminativi (30%) e per questo, per i suoi valori bassi, costituisce un'anomalia nel processo di ottimizzazione dei coefficienti (vedi appendice). Il resto del territorio intorno al sito è prevalentemente occupato da tessuto urbano continuo e discontinuo (40%) e aree industriali commerciali e di servizi (18%) a cui si aggiungono piccole percentuali di infrastrutture trasporti, colture permanenti e aree naturali.

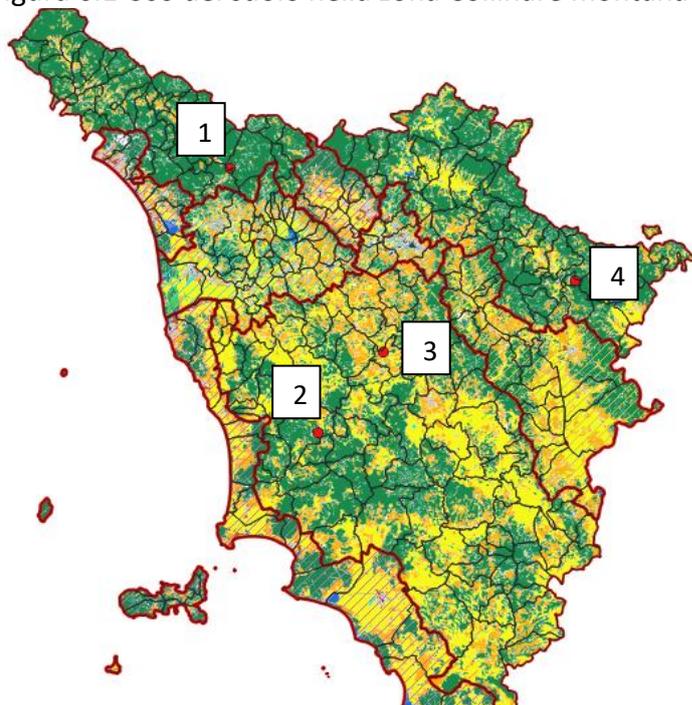


I risultati del calcolo β restituiscono i seguenti raggi di rappresentatività per le 7 stazioni:

Stazione	RR (media annua)	RR (nov-genn)
MS-Colombarotto	15 km	15 km
LU-Viareggio	7,5 km	15 km
LI-La Pira	15 km	7,5 km
LI-Cappiello	5 km	5 km
LI-Parco 8	5 km	5 km
LI-Cotone	3 km	3 km
GR-URSS	5 km	3 km

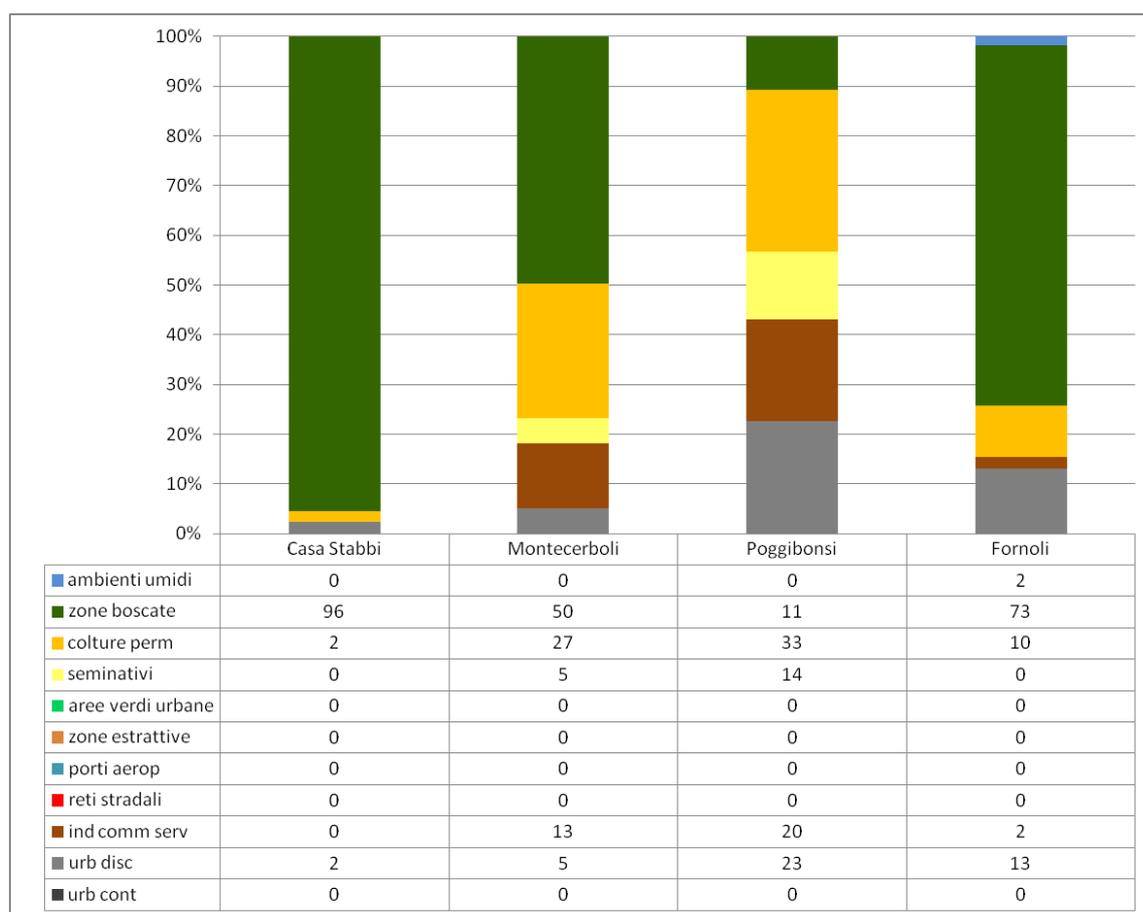
2.6. Zona Collinare montana

Figura 6.1 Uso del suolo nella zona Collinare montana



Stazione	US 2km	PM10 media annuale [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	PM10 media invernale [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
LU-Fornoli 1		23	39
PI-Montecerboli 2		11	10
SI-Poggibonsi 3		19	23
AR-Casa Stabbi 4		10	8

Uso del suolo a 2 km: percentuali



Nella zona collinare montana ci sono 4 stazioni di fondo. Due di queste stazioni AR-Casa Stabbi e PI-Montecerboli rappresentano per il PM10 il fondo regionale.

La stazione di Casa Stabbi è la stazione di fondo regionale della rete ed ha una copertura nel raggio di 2 km del 96% di suolo naturale. Come nel precedente lavoro si ritiene quindi possibile attribuire i valori medi di AR-Casa Stabbi a tutte le aree con uso del suolo di tipo naturale della Regione. La stazione di PI-Montecerboli ha una funzione diversa nella rete regionale specifica per il monitoraggio dell'area geotermica in cui si trova L'uso del suolo ha un 50% di copertura naturale e la restante metà è di tipo industriale, residenziale discontinuo e agricolo. Tuttavia per quanto riguarda il PM10 i valori sono molto vicini a quelli di Casa Stabbi e possono essere considerati anch'essi di fondo regionale. Per queste due stazioni, come per quelle costiere, i valori invernali e annuali delle medie sono molto simili. La stazione di SI-Poggibonsi rappresenta il contributo di fondo di un centro urbano, con le caratteristiche di una città di medie dimensioni, nel contesto della zona collinare montana e i livelli medi sono simili a quelli delle stazioni della costa. Anche la combinazione di uso del suolo è quella tipica delle altre aree urbane con un 23% di residenziale, in questo caso discontinuo, e un altro 20% di aree industriali e commerciali. Le aree agricole sono soprattutto colture permanenti (33%) ma c'è anche un contributo di seminativi (14%). Rispetto alle altre stazioni urbane c'è una percentuale più significativa di aree naturali (11%)

che caratterizzano l'appartenenza di questa stazione alla zona collinare montana. La stazione di LU-Fornoli rappresenta una situazione di area valliva che per la sua particolare meteorologia può presentare criticità rispetto all'accumulo di inquinanti. Infatti tra le stazioni di fondo della zona la stazione di LU-Fornoli è quella che presenta i valori più elevati e a livello regionale fa parte delle aree di superamento della delibera 814/2016. Per la sua caratteristica di rappresentare una valle il metodo beta non risulta adatto a stimarne la rappresentatività per cui questa stazione è stata esclusa dai calcoli e anche dalla procedure di ottimizzazione dei coefficienti. Il sistema infatti, come spiegato in maniera più dettagliata in appendice, fatica ad attribuire valori elevati ad una stazione con il 73% della superficie costituita da zone boscate e seminaturali. Il buffer iniziale di 2 km non è di per sé adatto a descrivere il contesto della stazione andando ben oltre il territorio della valle a comprendere le aree boschive sui rilievi circostanti.

Le aree di rappresentatività risultanti

Stazione	RR (media annua)	RR (nov-genn)
PI-Montecerboli	7,5 km	3 km
AR-Casa Stabbi	5 km	7,5 km
SI-Poggibonsi	15 km	3 km

Appendice I – approfondimenti sul metodo

Processo di ottimizzazione

Nell'analisi della rappresentatività delle varie stazioni si è posta l'attenzione in particolare sulla distribuzione dell'uso del suolo nel raggio convenzionale di 2km intorno al sito di misura, come indice dei possibili livelli di PM10.

In realtà l'indice β prevede di assegnare a ciascuna tipologia di uso del suolo coefficienti che ne indicano il peso e anche questa informazione contiene di per sé elementi interessanti per esprimere alcune valutazioni: ad esempio quanto può incidere il suolo urbano, o qualsiasi altra categoria tra quelle prese in considerazione, sul PM10.

Questi coefficienti devono essere in qualche modo stabiliti a priori per poter calcolare il β , ma vengono poi ri-stimati da un processo iterativo di ottimizzazione che rende il più possibile lineare la relazione tra PM misurato e indice β .

Il confronto tra i coefficienti stimati a priori (che si basano sulle emissioni) e quelli ricavati con l'ottimizzazione è in grado di fornire alcuni elementi di interpretazione sul modo in cui la presenza di una determinata pressione (declinata sotto forma di uso del suolo) si traduce nei livelli di PM effettivamente misurati.

La bontà del metodo risiede nella numerosità dei campioni da sottoporre al processo di ottimizzazione e questo ha comportato l'accorpamento di tutte le 24 stazioni di fondo in un unico insieme. Questa scelta rappresenta il miglior compromesso con il quadro attualmente disponibile, ed è stata effettuata dopo aver vagliato varie possibilità. La soluzione migliore sarebbe quella di assumere la zonizzazione come criterio guida ed ipotizzare che all'interno di una zona i fattori meteorologici che influenzano il contributo delle diverse tipologie di uso del suolo al PM siano omogenei. In questo modo si avrebbero valori medi di zona con una variabilità ragionevolmente contenuta. I dati disponibili sono decisamente insufficienti per poter applicare questo tipo di soluzione. Sono state effettuate alcune prove, che verranno esaminate nel seguito che ripartiscono l'insieme delle stazioni in due soli gruppi: stazioni sulla costa e stazioni nell'interno, individuando nel fattore costiero la discriminante più influente a livello meteorologico. Anche questa suddivisione, pur avendo fornito spunti di interesse, tra cui un miglior coefficiente di correlazione tra β e PM che conferma la validità della discriminante costa, presenta alcune importanti problematiche legate alla presenza statisticamente bassa di alcune classi di uso del suolo.

Alla fine di tutte queste valutazioni il miglior compromesso è stato, come detto, quello di considerare tutte le stazioni insieme, anche se questo abbassa il coefficiente di correlazione tra β e PM e anche se va considerato che questo ci fornisce coefficienti, e quindi interpretazioni, medie per tutta la regione, mentre probabilmente ci sono differenze almeno tra le zone costiere e quelle interne.

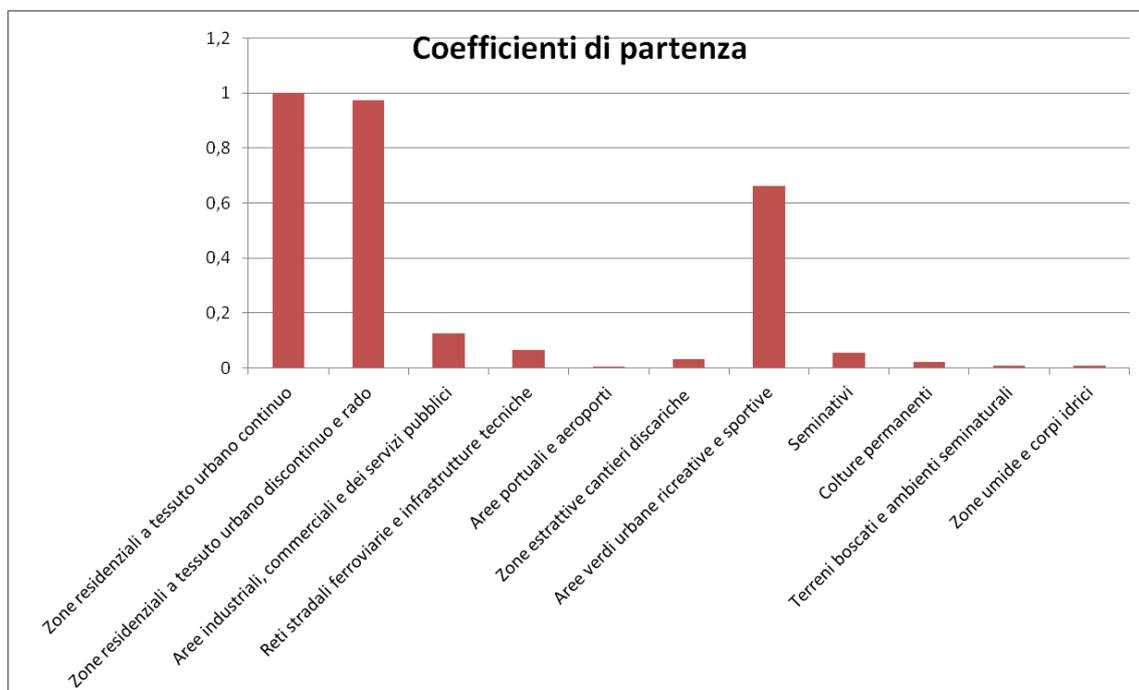
Di seguito le varie fasi del processo di ottimizzazione e le considerazioni di carattere generale che tale processo ha fornito.

Dati non ottimizzati

Per calcolare il beta è necessario stimare i coefficienti che attribuiscono il peso a ciascun uso del suolo. Come prima stima sono state seguite le indicazioni del metodo di prendere a riferimento le emissioni di PM10 (quindi PM10 primario) tratte da IRSE. Ovvero ciascun uso del suolo “prende” un coefficiente basato sulla quota di emissione da esso determinata. Per far questo è necessario stabilire dei collegamenti tra il tipo di uso del suolo e le categorie emissive utilizzate nell’inventario.

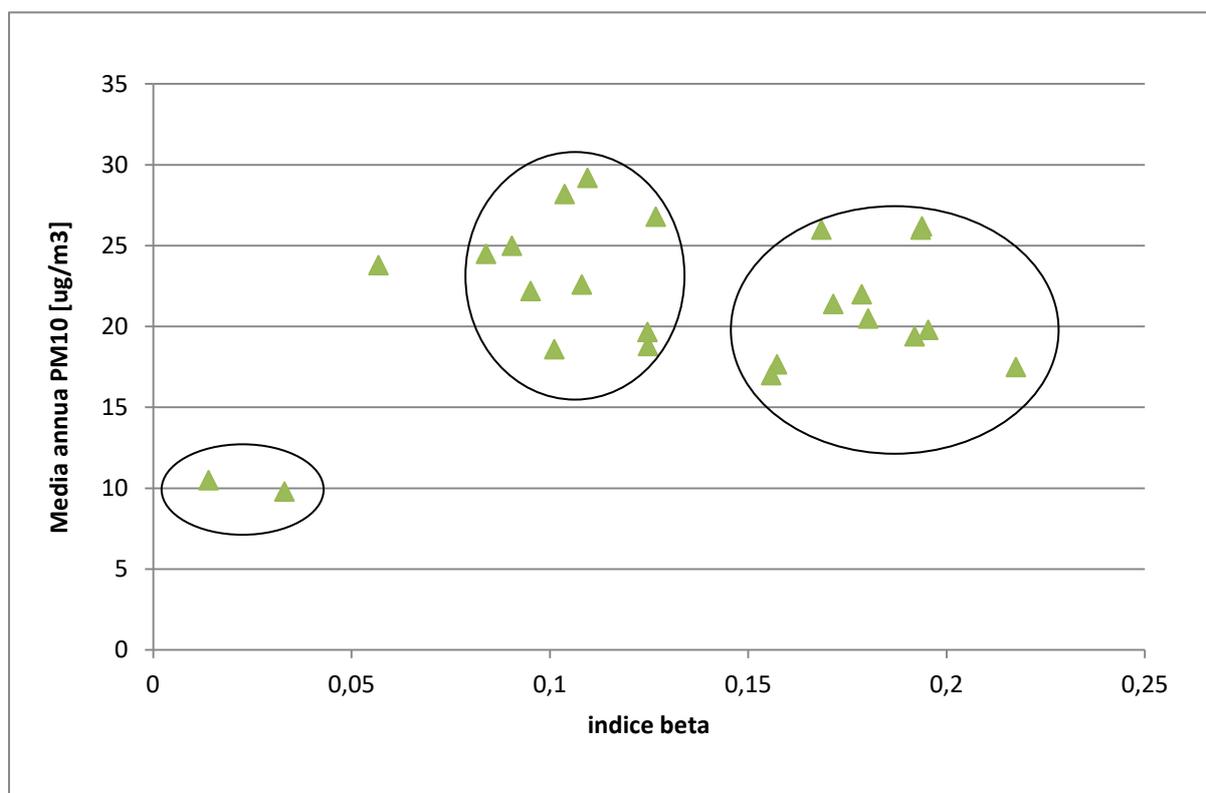
Uso del suolo per calcolo β	Macrosettori settori o attività di IRSE 2017
Zone residenziali a tessuto urbano continuo	Riscaldamento (residenziale) + Traffico urbano
Zone residenziali a tessuto urbano discontinuo e rado	Riscaldamento (residenziale) 70% + Traffico urbano 50%
Aree industriali, commerciali e dei servizi pubblici	Riscaldamento (terziario)+ Traffico urbano 30%+macro 1+ macro 3+macro 4+ macro 7 (escluso discariche)
Reti stradali ferroviarie e infrastrutture tecniche	Traffico extraurbano + Traffico autostrade+ Ferrovie 0802
Aree portuali e aeroporti	Attività marittime e traffico aereo
Zone estrattive cantieri discariche	Cave e discariche
Aree verdi urbane ricreative e sportive	Riscaldamento (residenziale) 70%
Seminativi	Coltivazioni cerealicole e orti + Comb residui agricoli+ Riscald agricoltura 020303 + Fuoristrada agricoltura
Colture permanenti	Coltivazioni permanenti+ uso pesticidi+ comb sfalci e patatei+ riscald agricoltura 020303 +Fuoristrada agricoltura
Terreni boscati e ambienti seminaturali	Fuoristrada in selvicoltura + 1% risc res
Zone umide e corpi idrici	Fuoristrada in selvicoltura + 1% risc res

Queste associazioni di massima sono state effettuate attraverso il senso comune; questo passaggio è considerato accettabile poiché si tratta di coefficienti di prima stima che sono una base di partenza per il calcolo e vengono modificati dal processo di ottimizzazione che li connoterà come coefficienti semiempirici aggiungendo alla loro determinazione il contributo delle misure. Tuttavia occorre considerare che, matematicamente, migliore è il punto di partenza migliore sarà il risultato dell’ottimizzazione. Inoltre attribuire coefficienti di prima stima ragionati aiuta a interpretare la variazione ottenuta nel processo di ottimizzazione.



Le emissioni primarie di PM10 in IRSE risultano determinate principalmente dal riscaldamento domestico per cui le categorie di uso del suolo urbano continuo o discontinuo hanno i coefficienti più elevati.

Mettendo in relazione i valori del β ottenuto con questi coefficienti rispetto al PM10 misurato nei siti in esame si ottiene la seguente distribuzione.

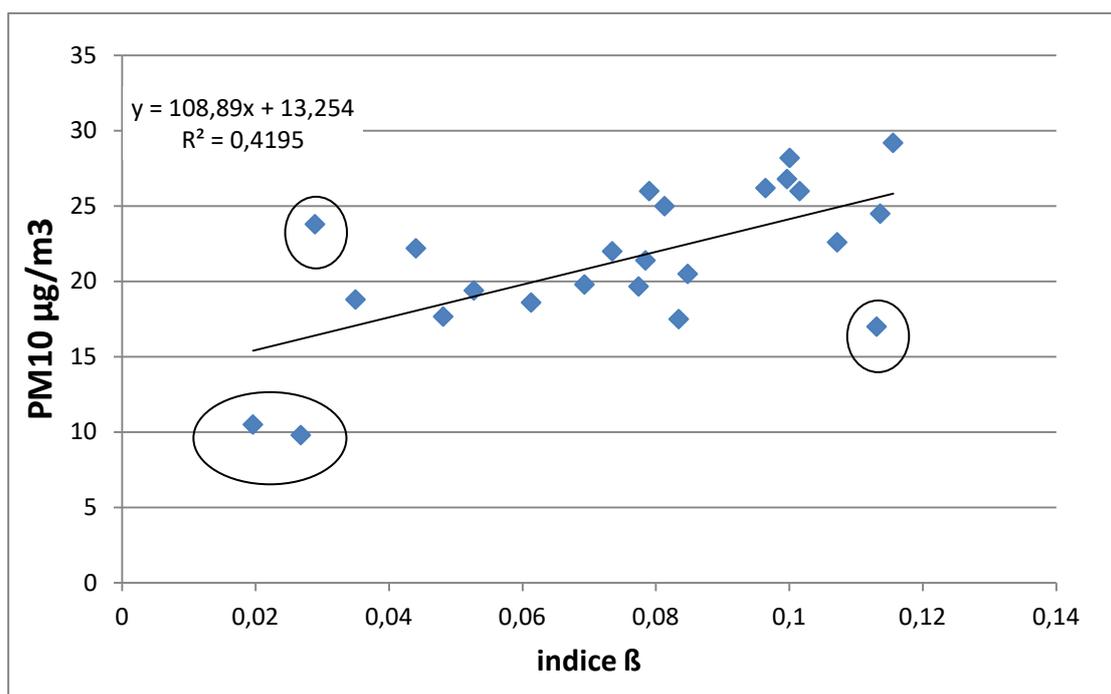


Le stazioni si distribuiscono sostanzialmente in 3 fasce di valori di β :

- Valori molto bassi (<0,05) con valori molto bassi di PM10. In questo gruppo ci sono soltanto le due stazioni che per il PM10 rappresentano il fondo regionale ovvero AR-Casa Stabbi e PI-Montecerboli
- Valori medi (0,08-0,13) in cui ricadono le stazioni con un basso livello di urbanizzazione nel loro intorno. I livelli di PM10 variano in pratica in tutto lo spettro dei valori regionali da 19 a 29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (quest'ultima la massima media nel lungo periodo)
- Valori alti (0,16 a 0,22) risultanti per le stazioni caratterizzate da un contesto di alta urbanizzazione. I livelli di PM10 variano da 17 a 26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ non distinguendosi dal gruppo precedente

Si evidenzia che esistono gruppi di β distinti ma non corrispondono a diversi livelli di PM10. Una stazione risulta al di fuori di ogni raggruppamento ed è la stazione di LU-Fornoli della quale si è già parlato in precedenza e per la quale il metodo non risulta applicabile. Per questa stazione infatti, immersa nel paesaggio naturale della Garfagnana il valore di β risultante è molto basso mentre il PM10, risentendo delle particolari condizioni meteo climatiche delle aree vallive che favoriscono l'accumulo delle emissioni, si colloca a valori medio alti.

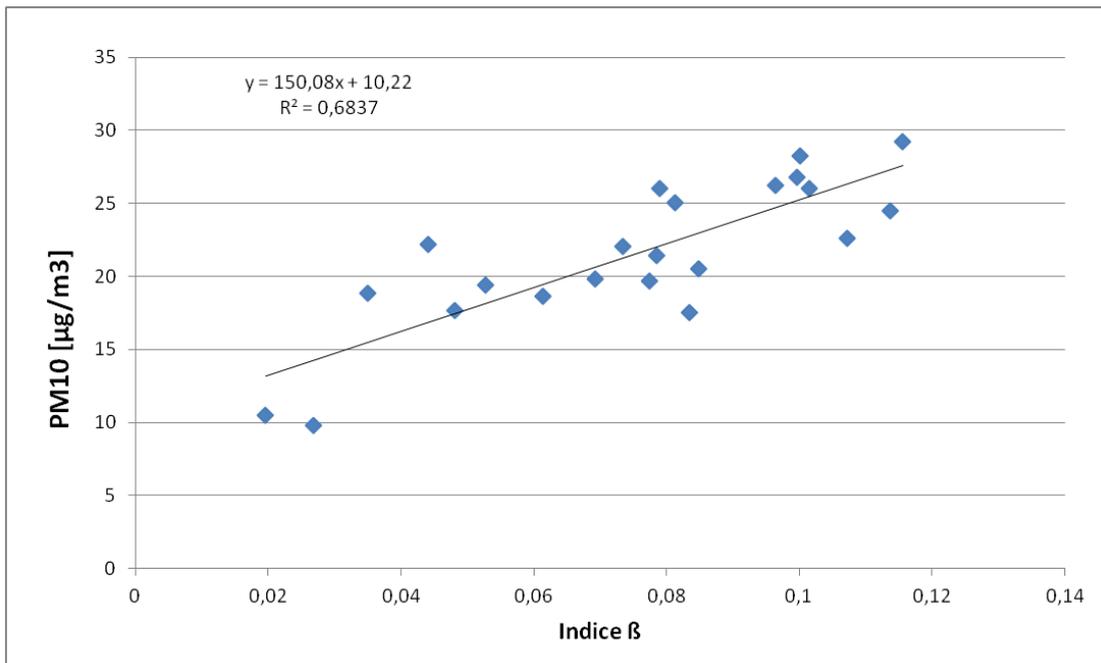
Primo step - Ottimizzazione completa: tutte le 24 stazioni senza nessuna modifica né condizione



I punti più lontani dalla retta sono le due stazioni di fondo regionale AR- Casa Stabbi e PI-Montecerboli, LU-Fornoli, che abbiamo già discusso e GR-URSS per la quale invece il valore di beta è troppo alto rispetto ai valori di PM. Infatti la stazione di GR-URSS si trova in un contesto con alta percentuale di aree urbana molto alta ma fa parte di una zona, la zona costiera, molto aperta alla circolazione atmosferica.

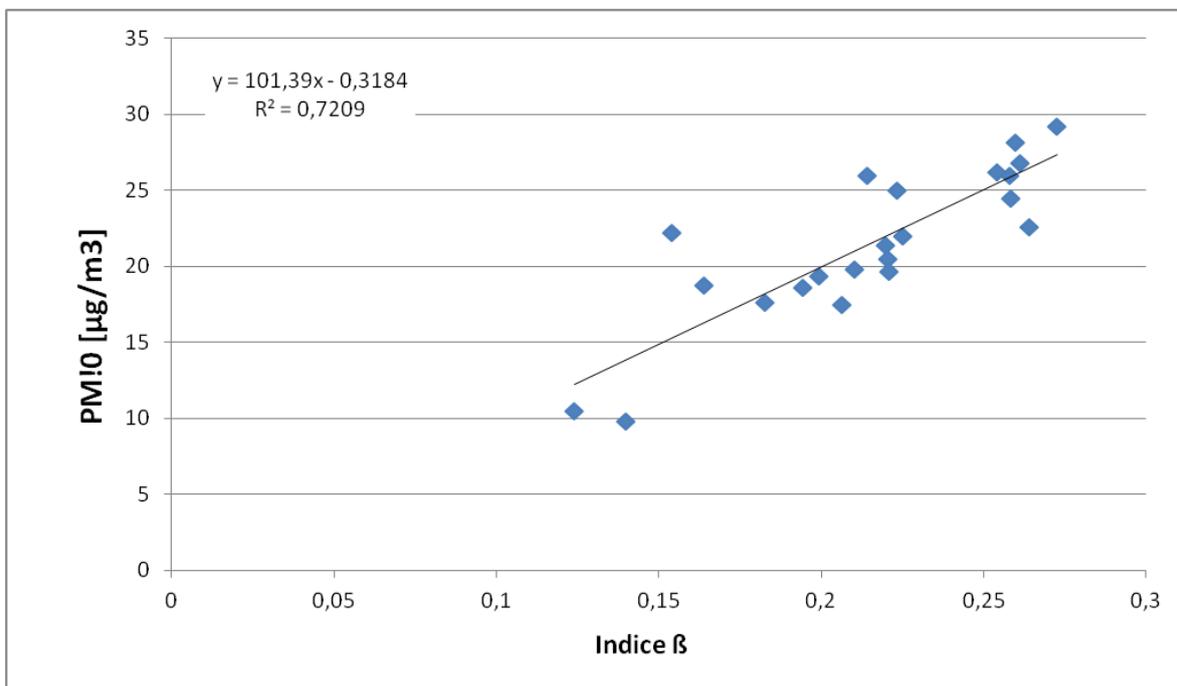
È interessante notare che in questa prima ottimizzazione ci sono 2 coefficienti negativi che sono attribuiti a due categorie di uso del suolo che effettivamente possono avere un effetto di mitigazione rispetto al PM: aree verdi urbane e zone umide.

Secondo step - si pone la condizione che tutti i coefficienti siano maggiori di zero in quanto fisicamente più sensato e si ripete l'ottimizzazione



In questo caso la teorica funzione lineare tra β e PM10 si può considerare ben approssimata a livello regionale se si escludono le eccezioni sopra menzionate che dipendono, come detto, dalle differenze nella diffusività di alcune aree.

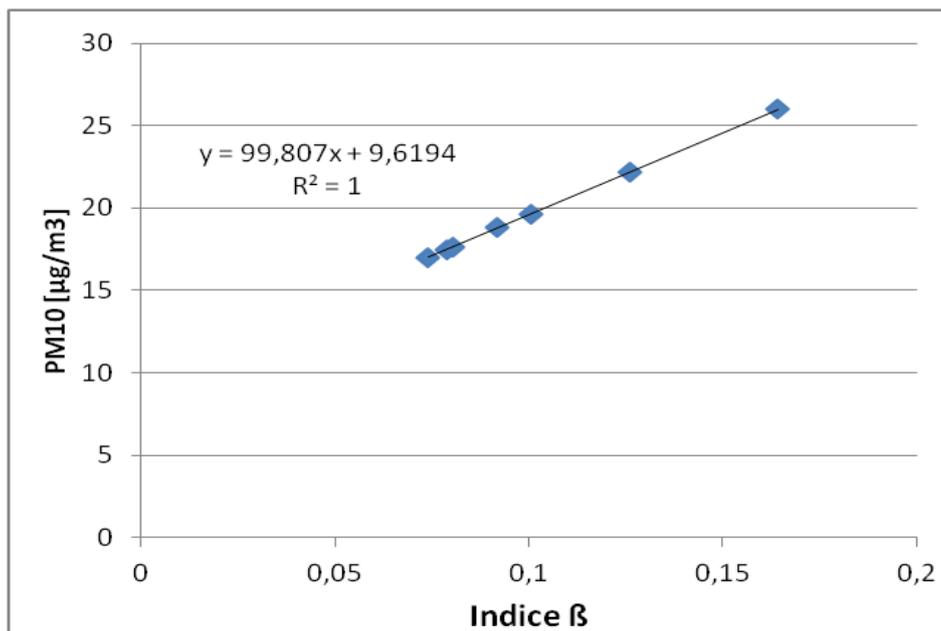
Escludendo quindi dal processo di ottimizzazione Fornoli e URSS abbiamo un'ottimizzazione regionale con un coefficiente di correlazione R^2 maggiore di 0,7 tra PM e beta.



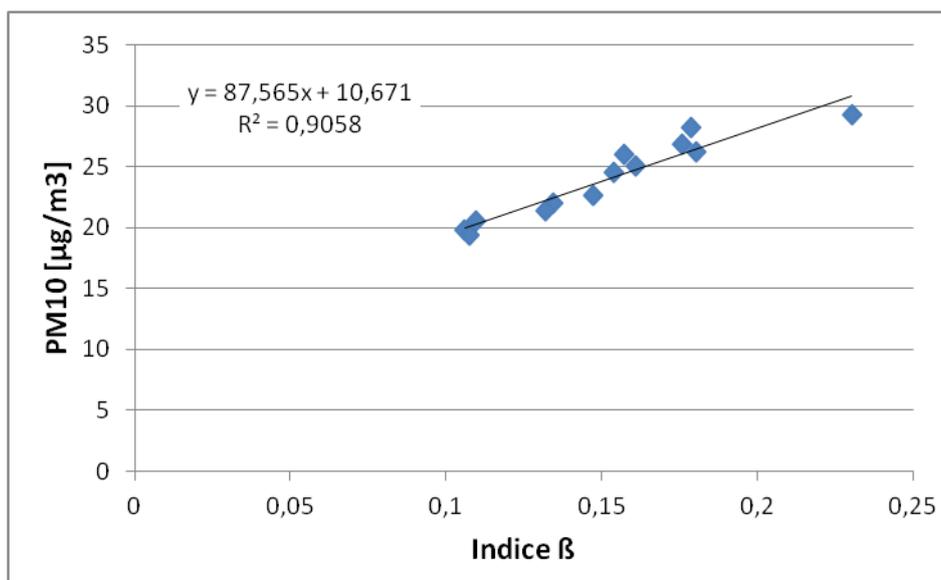
Step 3 ottimizzazione diversa per zona

Al contrario del precedente lavoro sulla rappresentatività delle stazioni con il metodo β , per il quale ENEA svolse per ARPAT il lavoro di ottimizzazione dei coefficienti per ciascuna zona omogenea, in questo caso non era disponibile un numero sufficiente di dati ed è stata effettuata la suddivisione in 2 soli gruppi: *INTERNO* (13 stazioni: si escludono le 4 stazioni della zona collinare montana -> 2 di fondo regionale, Fornoli e Poggibonsi) e *COSTA* (7 stazioni).

Costa:



Interno:



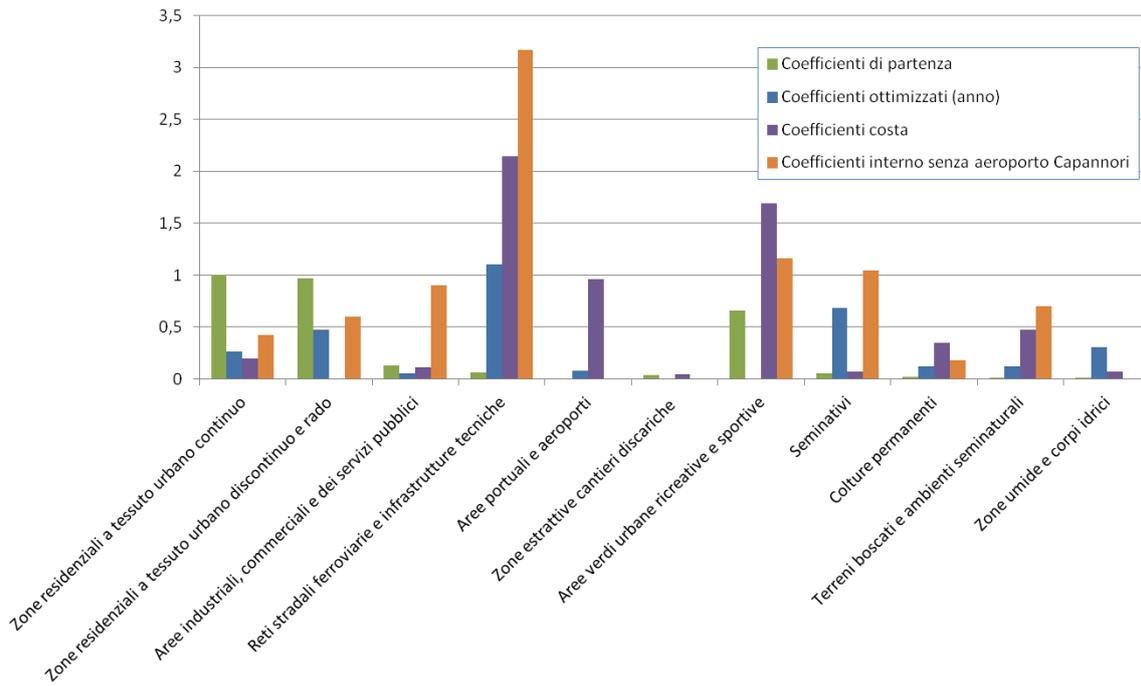
Anche se in questo modo le correlazioni tra β e PM migliorano nettamente, esiste un problema di scarsa rappresentatività del campione per cui alcune classi di uso del suolo sono poco presenti ed il peso che viene loro attribuito potrebbe essere fuorviante.

Per questo motivo si è preferito prendere a riferimento l'ottimizzazione regionale che pur rappresentando un risultato medio e quindi più approssimativo per il singolo sito, fornisce elementi generali di maggior validità perché è fondato su un buon numero di stazioni e tutte le classi di uso del suolo sono presenti e consistenti.

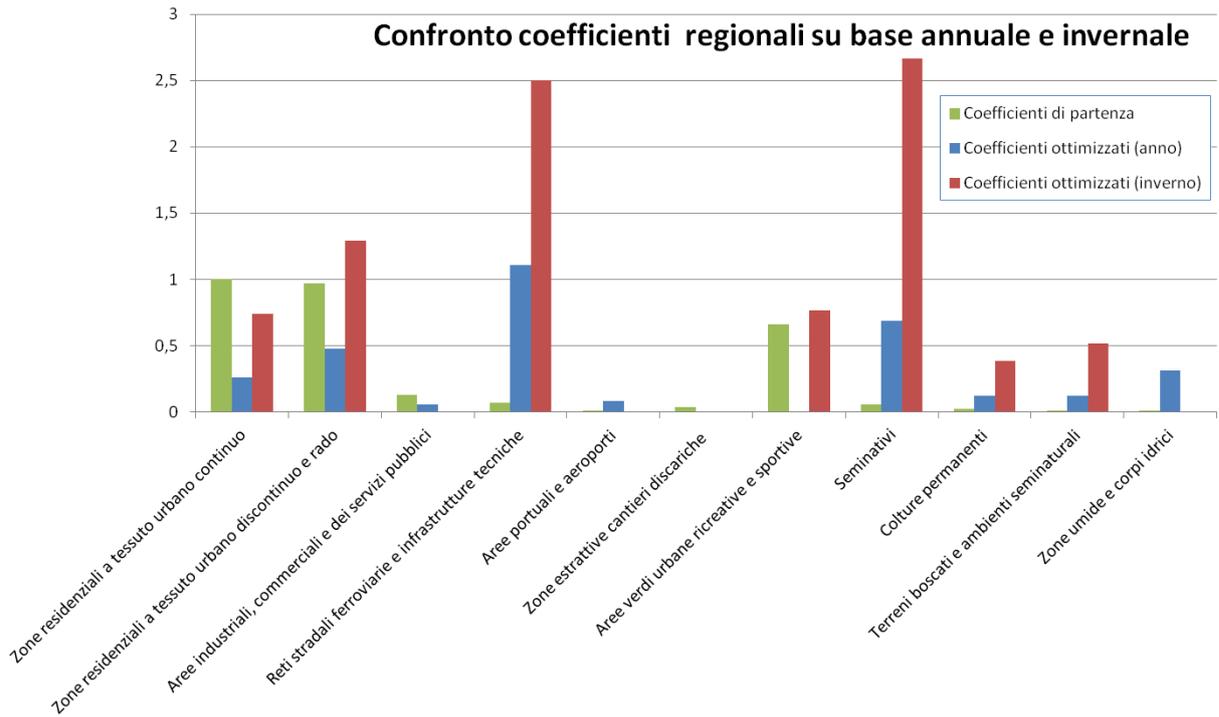
Sono state svolte quindi 2 ottimizzazioni a livello regionale, una per le medie annuali e una per le medie invernali.

Di seguito è riportato il confronto dei coefficienti ottenuti nelle diverse ottimizzazioni. La prima cosa che risulta evidente da questo confronto è l'aumento di alcuni coefficienti a scapito di quelli relativi alle aree urbane che invece diminuiscono nettamente con l'ottimizzazione. Questo accade più o meno in tutte le ottimizzazioni e ci indica che, nel passaggio da considerazioni che riguardano prettamente le emissioni di PM primario agli effetti che queste hanno sul PM si ha un cambiamento radicale. Anche se in ambiente urbano si concentrano le maggiori pressioni, le situazioni di accumulo possono verificarsi anche in aree limitrofe all'abitato con particolari caratteristiche, ad esempio le aree pianeggianti intorno ai centri urbani ben rappresentate dalla categoria dei seminativi. Si ritiene infatti che questa categoria, che (con la sola esclusione della costa trattata separatamente) aumenta in maniera importante in tutte le ottimizzazioni, assuma più il significato di una peculiarità del territorio che di una attività emissiva. Inoltre è interessante notare che nell'ottimizzazione invernale rispetto a quella annuale, le aree urbane recuperano un po' di importanza essendo presente in questo periodo la sorgente aggiuntiva del riscaldamento. Altro coefficiente che assume maggiore importanza rispetto a quanto attribuito in prima stima dal carico emissivo è quello legato alle infrastrutture dei trasporti extraurbane. Va detto che in termini di uso del suolo il CORINE LAND COVER attribuisce questa categoria ad aree molto ristrette e discontinue che costituiscono probabilmente i principali snodi nevralgici di smistamento del traffico veicolare e ferroviario. Dunque questa categoria è tendenzialmente presente in prossimità dei centri principali, ed è probabile che sia questo il motivo per cui alla sua presenza viene attribuita importanza in termini di livelli di PM10 attesi.

Confronto coefficienti prima stima e ottimizzati - BASE ANNUALE



Confronto coefficienti regionali su base annuale e invernale

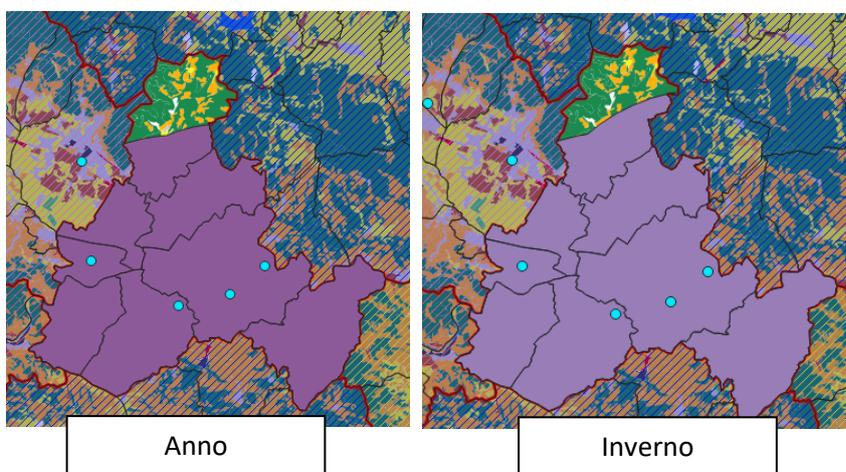


Calcolo della copertura regionale per le principali zone interne

Utilizzando i risultati della rappresentatività calcolata con il metodo β si stima per ciascuna delle zone interne, esclusa la Zona collinare montana, la copertura del territorio con i dati della rete regionale. Va considerato che, a quanto stimato in termini di area e popolazione coperte dai dati delle stazioni di rete regionale, per ciascuna zona si aggiunge tutto l'uso del suolo di tipo naturale (in verde) che può essere considerato, in analogia con quanto fatto in passato, rappresentato dal fondo regionale.

Agglomerato di Firenze

Superficie complessivamente coperta

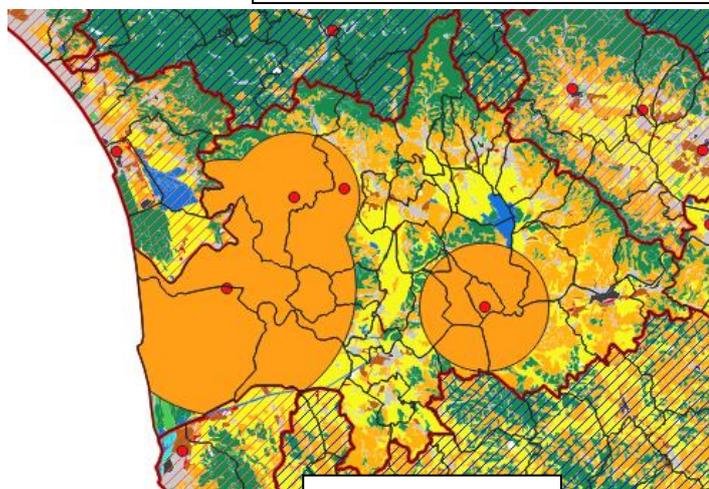


Agglomerato	Inverno	Anno	Totale zona
Area coperta (ha)	415.610.779	407.417.331	453.630.962
%	92	90	

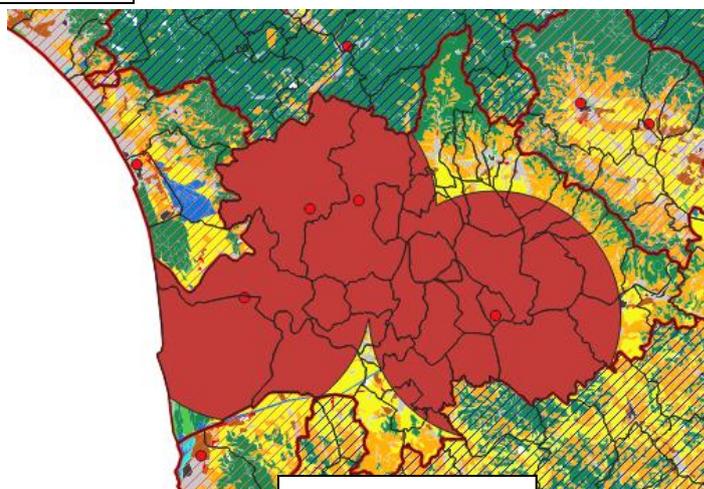
Agglomerato	Inverno	Anno	Totale zona
Popolazione	575912	574604	576.844
%	100	100	

Zona del Valdarno pisano e piana lucchese

Superficie complessivamente coperta



Anno



Inverno

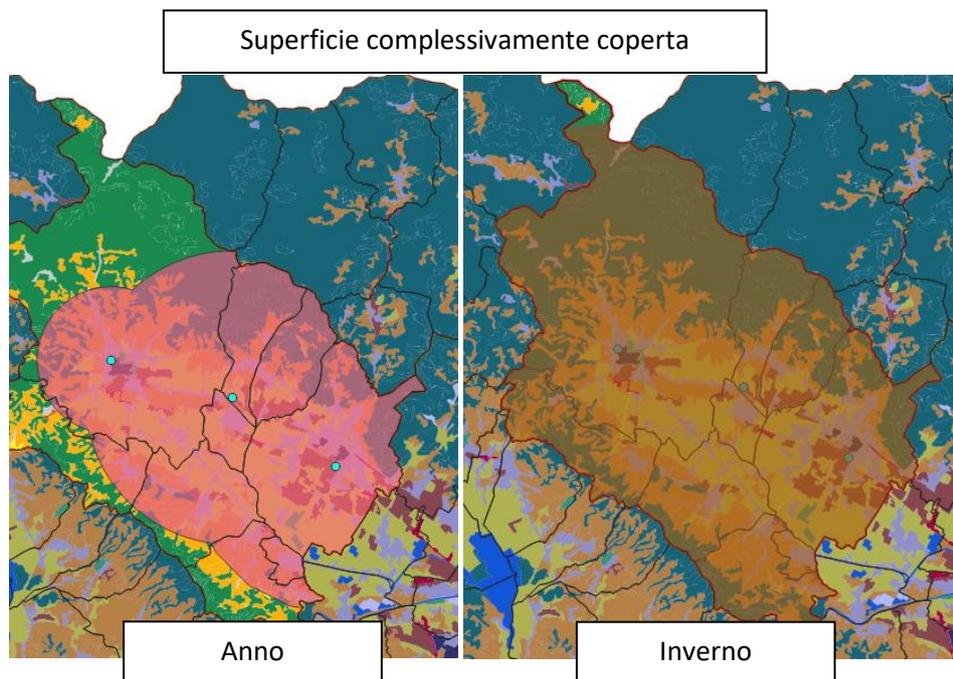
Zona VdP e PL	Inverno	Anno
Superficie (ha)	1.374.908.740	761.166.725
%	77	42

Totale zona
1.792.688.700

Zona VdP e PL	Inverno	Anno
Popolazione	560.080	356.426
%	77	49

Totale zona
731.313

Zona Prato Pistoia



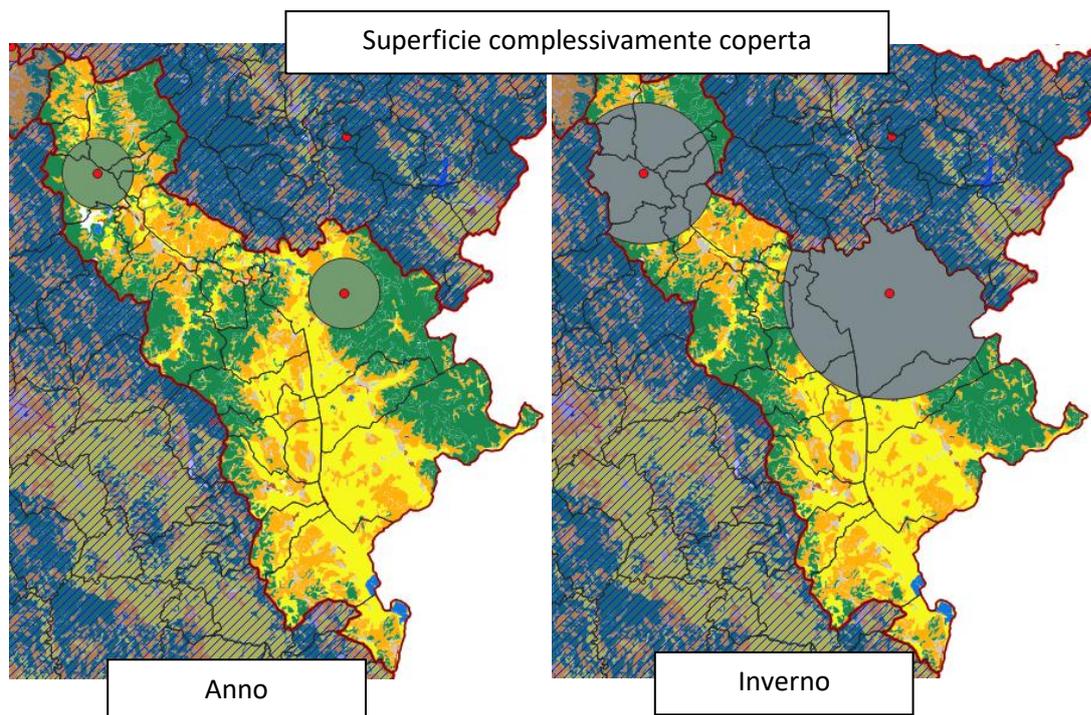
Area coperta	Inverno	Anno
Zona POPT	536.280.393	374.341.128
%	100	69

Totale zona
542.525.387

Popolazione	Inverno	Anno
Zona POPT	380.192	368.848
%	100	97

Totale zona
380.292

Zona Valdarno aretino e Val di Chiana



Area coperta	Inverno	Anno
Zona VdAeVdC	786.420.400	156.736.392
%	35	7

Totale zona
2.251.602.450

Popolazione	Inverno	Anno
Zona VdAeVdC	190.937	100.392
%	54	28

Totale zona
353.208

Conclusioni

L'applicazione del metodo β anche se non restituisce un riferimento quantitativo su base comunale, permette di effettuare alcune valutazioni che risultano coerenti con i risultati quantitativi ottenuti dalla modellistica. Come detto in premessa, il metodo β fornisce un punto di vista centrato sul dato della stazione e proprio per questo motivo di grande interesse per quanto concerne nello specifico il monitoraggio. Per ciascuna delle zone delle pianure interne (la zona costiera e la zona collinare montana hanno peculiarità note che non è possibile approfondire con questo metodo) è stato possibile valutare la copertura del territorio con i dati di rete regionale. Si è evidenziato che, per queste zone, i dati di poche stazioni esprimono per il PM, un valore che in media rappresenta e descrive se non la totalità una buona parte del territorio. Si individuano anche delle tendenze nel passaggio da un valor medio ad un altro.

Questo conferma anche la definizione delle zone all'interno delle quali sembra esistere una uniformità del fondo tale da poter essere rappresentata da poche stazioni. Le stazioni a loro volta rappresentano in proporzioni diverse i diversi aspetti caratteristici all'interno di una zona (aree urbane, aree agricole, aree naturali) e per questo misurano valori medi diversi. I risultati e le mappe ottenute con il β danno informazioni coerenti con quelle ottenute dal Consorzio Lamma con il metodo della modellistica.

Il passaggio da aree di rappresentatività ad aree amministrative (Comuni) è un passaggio che risulta necessario per la gestione dei provvedimenti ma che non è contenuto all'interno del metodo (né nel metodo β né in quello basato sulla modellistica). Le percentuali di copertura comunale delle aree di rappresentatività non sono state calcolate con il metodo β perché l'area circolare è considerata inadeguata ad una sovrapposizione con i confini comunali, pertanto non è possibile fornire a livello comunale un'indicazione quantitativa con questo metodo. Tuttavia dall'applicazione del metodo β emergono alcuni spunti di riflessione che possono essere utili per indirizzare ragionamenti e scelte.

In primo luogo l'applicazione del β rafforza come detto il concetto delle zone omogenee (in particolare quelle delle pianure interne, oggetto di indagini più approfondite) e conferma l'opportunità della scelta effettuata di tenere la zonizzazione ad un livello gerarchico superiore rispetto alle aree di rappresentatività e quindi "ritagliare" queste ultime all'interno delle zone di appartenenza.

Il fatto poi che le aree più antropizzate (vedi aree urbane), pur essendo le maggiori responsabili delle emissioni primarie, non sono poi sempre quelle più soggette a risentire dei livelli di fondo più elevati, genera una riflessione su una possibile separazione concettuale tra l'area critica e l'area soggetta a provvedimenti restrittivi o di risanamento. Infatti se da una parte è vero che l'area critica è quella più esposta ai livelli elevati, e quindi anche alle situazioni di superamento, dall'altra non è detto che sia né l'unica né la maggiore responsabile della situazione di criticità.

Quindi l'area di rappresentatività assume una valenza soprattutto ai fini della valutazione dell'esposizione, mentre per quanto riguarda la necessità di applicare le politiche di risanamento l'area di rappresentatività può considerarsi una base minima da poter estendere a tutta una zona o parte di essa sulla base di considerazioni prettamente emissive.

Infine, con l'ulteriore sviluppo dell'applicazione del metodo presentato in questo documento, si pone una ulteriore prospettiva nell'utilizzo del metodo β quale uno dei possibili driver da utilizzare per effettuare un'interpolazione dei dati di stazione da fondere con il modello. Un'applicazione simile è stata già effettuata in Belgio [6]. Questo possibile sviluppo deve essere valutato insieme al consorzio Lamma e implica innanzitutto la possibilità di poter aggregare un maggior numero di dati per l'ottimizzazione dei coefficienti.

Riferimenti

- [1] Piersanti A., Ciancarella L., Cremona G., Righini G., Vitali L. (2013), Rappresentatività spaziale di misure di qualità dell'aria. Valutazione di un metodo di stima basato su fattori oggettivi. Rapporto Tecnico RT/2013/1/ENEA, ENEA.
<http://openarchive.enea.it//handle/10840/4475>
- [2] Cremona G., Ciancarella L., Cappelletti A., Ciucci A., Piersanti A., Righini G., Vitali L. (2013): Rappresentatività spaziale di misure di qualità dell'aria. Valutazione di un metodo di stima basato sull'uso di dati emissivi spazializzati, Rapporto Tecnico RT/2013/2/ENEA, ENEA.
- [3] Vitali L., Ciancarella L., Cionni G., Cremona G., Piersanti A., Righini G. (2013): Rappresentatività spaziale di misure di qualità dell'aria. Valutazione di un metodo di stima basato sull'analisi dei campi di concentrazione simulati dal modello nazionale MINNI, Rapporto Tecnico RT/2013/3/ENEA, ENEA.
- [4] Report ARPAT-LAMMA sulla rappresentatività spaziale delle centraline: https://www.regione.toscana.it/documents/10180/14975509/ARPAT_Lamma_Rappresentativita.pdf/5fdf6337-e9d3-4790-b041-9be51ab1f26f
- [5] Corine Land cover 2018 <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc2018>
- [6] Land use to characterize spatial representativeness of air quality monitoring stations and its relevance for model validation Atmospheric Environment, Volume 59, November 2012, Pages 492-500 Stijn Janssen, Gerwin Dumont, Frans Fierens, Felix Deutsch, Bino Maiheu, David Celis, Elke Trimpeneers, Clemens Mensink