



ISPRA

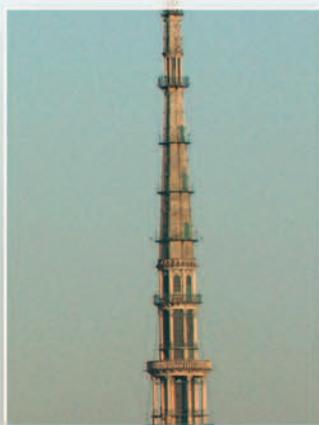
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



Istituto Superiore per la
Conservazione e il Restauro

Calcolo del rischio territoriale e del rischio individuale per i beni di interesse storico-artistico a Torino

RAPPORTI





ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



Istituto Superiore per
la Conservazione e il Restauro

Calcolo del Rischio Territoriale e del Rischio Individuale per i beni di interesse storico-artistico a Torino

Informazioni legali

L'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) e le persone che agiscono per conto dell'Istituto non sono responsabili per l'uso che può essere fatto delle informazioni contenute in questo manuale.

La Legge 133/2008 di conversione, con modificazioni, del Decreto Legge 25 giugno 2008, n. 112, pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale n. 195 del 21 agosto 2008, ha istituito l'ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale.

L'ISPRA svolge le funzioni che erano proprie dell'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i servizi Tecnici (ex APAT), dell'Istituto Nazionale per la Fauna Selvatica (ex INFS) e dell'Istituto Centrale per la Ricerca scientifica e tecnologica Applicata al Mare (ex ICRAM).

La presente pubblicazione fa riferimento ad attività svolte in un periodo antecedente l'accorpamento delle tre Istituzioni e quindi riporta ancora, al suo interno, richiami e denominazioni relativi ai tre Enti soppressi.

ISPRA – Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale
Via Vitaliano Brancati, 48 – 00144 Roma
www.apat.gov.it

ISPRA, Rapporti 88/2009

ISBN 978-88-448-0357-5

Riproduzione autorizzata citando la fonte

Elaborazione grafica

ISPRA

Grafica di copertina: Franco Iozzoli

Foto di copertina: Paolo Orlandi

Coordinamento tipografico:

Daria Mazzella e Simonetta Turco

ISPRA - Settore Editoria

Amministrazione:

Olimpia Girolamo

ISPRA - Settore Editoria

Distribuzione:

Michelina Porcarelli

ISPRA - Settore Editoria

Autori

Patrizia Bonanni (ISPRA)

Carlo Cacace (ISCR)

Raffaella Gaddi (ISPRA)

Annamaria Giovagnoli (ISCR)

Con la collaborazione di:

Stefano Bande, Massimo Muraro, Roberta De Maria, Monica Clemente (ARPA Piemonte).

Errori ed omissioni sono di esclusiva responsabilità degli autori

INDICE

Premessa	7
Introduzione	9
1. Il Rischio: modelli, strumenti e dati	10
1.1. Classificazione del Rischio	11
2. Metodologia per il calcolo del Rischio Territoriale e del Rischio Individuale	12
2.1. La caratterizzazione del territorio	13
2.2. La rappresentazione grafica della Pericolosità Territoriale e del Rischio Territoriale	14
3. Presentazione dei risultati	16
3.1. Pericolosità Territoriale	17
3.1.1. Pericolosità Territoriale rispetto alla componente PM ₁₀ dell'indice di annerimento	18
3.1.2. Pericolosità Territoriale rispetto alla componente NO _x dell'indice di erosione	20
3.1.3. Pericolosità Territoriale rispetto alla componente SO ₂ dell'indice di erosione	22
3.2. Rischio Territoriale (Pericolosità pesata sulla concentrazione di beni)	24
3.2.1. Calcolo del Rischio Territoriale rispetto alla componente PM ₁₀ dell'indice di annerimento	25
3.2.2. Calcolo del Rischio Territoriale rispetto alla componente NO _x dell'indice di erosione	27
3.2.3. Calcolo del Rischio Territoriale rispetto alla componente SO ₂ dell'indice di erosione	29
3.3. Vulnerabilità superficiale dei beni schedati	31
3.4. Rischio Individuale	33
3.4.1. Calcolo del Rischio Individuale rispetto alla componente PM ₁₀ dell'indice di annerimento	34
3.4.2. Calcolo del Rischio Individuale rispetto alla componente NO _x dell'indice di erosione	36
3.4.3. Calcolo del Rischio Individuale rispetto alla componente SO ₂ dell'indice di erosione	38
Conclusioni	40
Allegato 1: Il Sistema Modellistico diagnostico di ARPA Piemonte a supporto della attività di Valutazione Annuale dello stato di Qualità dell'Aria	42
Bibliografia	46

PREMESSA

Questo studio è inserito nell'ambito dell'iniziativa promossa da ISPRA, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (già APAT, Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici) che, nell'inverno 2007-2008, ha conferito un riconoscimento al Piemonte risultato il più virtuoso tra le regioni italiane nella gestione della qualità dell'aria.

In questo contesto è stato elaborato, in collaborazione con ISCR, Istituto Superiore per la Conservazione e il Restauro (già ICR Istituto Centrale per il Restauro), un progetto di ricerca suddiviso in tre fasi e finalizzato ad individuare il potenziale rischio di degrado del patrimonio culturale di Torino in relazione all'inquinamento atmosferico registrato nella città negli ultimi anni.

Nel presente lavoro vengono riportati i risultati della prima fase all'interno della quale, seguendo un percorso elaborato in collaborazione con ISCR e ARPA Piemonte, si è giunti ad individuare i monumenti e le zone maggiormente esposti all'azione degli inquinanti atmosferici attraverso il calcolo del Rischio Territoriale e del Rischio Individuale.

Le attività suddette ricadono all'interno di quelle previste dal protocollo d'intesa ISPRA- ISCR (già APAT-ICR) firmato nel giugno 2007, che si prefigge come obiettivo principale, nell'ambito della programmazione di efficaci interventi di risanamento territoriale, di pervenire ad una efficace valutazione e quantificazione del danno causato al patrimonio culturale italiano dall'inquinamento atmosferico e da altri fattori di pressione ambientali.

Ing. Domenico Gaudio
Responsabile del Servizio
Monitoraggio e prevenzione degli impatti sull'atmosfera
(AMB MPA)

INTRODUZIONE

Il presente lavoro realizzato da **ISPRA**¹ e **ISCR**² è finalizzato al calcolo del *Rischio Territoriale* e del *Rischio Individuale* per i beni di interesse storico-artistico di Torino.

Il progetto di ricerca è mirato ad individuare, in base alle conoscenze al momento disponibili, il potenziale rischio di degrado del patrimonio culturale di Torino in relazione all'inquinamento atmosferico registrato nella città negli ultimi anni.

Il progetto si articola in tre fasi.

La prima consiste nel calcolo del *Rischio Territoriale* e del *Rischio Individuale* di quei beni schedati³ a Torino dalla Carta del Rischio del Patrimonio Culturale [1], allo scopo di individuare i monumenti che si trovano in condizioni di maggiore pericolo. Nella seconda parte del progetto verrà aggiornata la Vulnerabilità dei beni precedentemente individuati e calcolato il nuovo indicatore di Rischio Individuale. Nella fase conclusiva, tra i monumenti esaminati, ne verrà selezionato uno a maggiore rischio potenziale di degrado, sul quale sarà avviato uno studio sperimentale per la valutazione puntuale del peso dei fattori ambientali sul degrado del bene esaminato.

In questa relazione vengono presentati i risultati della prima fase dello studio.

Il *Rischio Territoriale* ed il *Rischio Individuale* sono stati calcolati correlando i campi di concentrazione di alcuni inquinanti atmosferici (PM₁₀, SO₂ e NO_x) relativi alla città di Torino dal 2004 al 2007⁴, con i dati riguardanti la distribuzione e lo stato di conservazione dei beni schedati dalla Carta del Rischio del Patrimonio Culturale⁵.

Il calcolo di questi due indicatori permette, in prima approssimazione, di ottenere informazioni sull'interazione tra il bene e il territorio in cui esso è collocato, con l'obiettivo di riuscire, sulla base di processi di conoscenza, a pianificare le attività di manutenzione e gli eventuali interventi di restauro.

L'origine di questo approccio risale a Cesare Brandi, che nella Teoria del Restauro [2], introduce il concetto di "restauro preventivo" concepito come "tutela, rimozione di pericoli, assicurazione di condizioni favorevoli" per l'opera d'arte attraverso lo studio delle condizioni necessarie per il godimento dell'opera "come immagine e come fatto storico", ma anche attraverso la conoscenza sia dello stato dei materiali che delle condizioni ambientali del territorio in cui l'opera è collocata.

Il primo tentativo di attuare questa strategia risale al 1975, quando l'allora ICR, sotto la direzione di Giovanni Urbani, ha elaborato il "Piano pilota per la conservazione programmata dei beni culturali in Umbria". Una prima analisi sistematica del potenziale degrado cui sono soggette le opere d'arte in Italia, compare nel 1995 con la Carta del Rischio del Patrimonio Culturale.

In questo documento, attraverso la raccolta delle informazioni relative alla consistenza e alle caratteristiche dei beni culturali italiani, è stato possibile effettuare una prima valutazione dei livelli di rischio nei diversi territori comunali in funzione del numero dei beni schedati in quel territorio e dei fattori che influiscono sul loro degrado.

Questo studio ha lo scopo di approfondire, a distanza di 13 anni, alcuni dei temi affrontati nella Carta del Rischio sulla base dei dati aggiornati al 2007.

¹ Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (già APAT, Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici)

² Istituto Superiore per la Conservazione e il Restauro (già ICR, Istituto Centrale per il Restauro)

³ Il calcolo è stato effettuato per quei beni per i quali sono state redatte dal 1995 al 2000 le schede di vulnerabilità superficiale

⁴ Elaborazione di ARPA Piemonte

⁵ Fonte ISCR.

1. Il Rischio: modelli, strumenti e dati

Dato un certo insieme di elementi, il rischio viene definito da un punto di vista statistico, mettendo in relazione la *quantità di danno* che un evento produce su un determinato oggetto o individuo della popolazione considerata e la *probabilità* che quell'evento si verifichi. Applicando questo approccio al patrimonio culturale, si possono considerare i beni storico-artistici come unità di una particolare popolazione statistica e calcolare i livelli di rischio cui dette unità sono soggette, attraverso i valori che i Fattori di Rischio possono assumere per ognuna di esse. Ciò implica, ovviamente, che tali fattori possano essere quantificati, o meglio misurati, per ogni unità della popolazione e per ogni unità territoriale in cui la popolazione insiste.

Di conseguenza, la realizzazione del sistema informativo e della sua banca dati è stata dimensionata assumendo il *monumento* come elemento minimo georeferenziabile alla scala del bene (unità statistica della popolazione considerata) di cui bisogna calcolare il rischio di perdita, e il *comune* come elemento minimo della scala territoriale (unità territoriale) di cui bisogna quantificare i fattori di rischio. Se si considera che il danno subito da un bene è il risultato di un processo di deterioramento non scomponibile in eventi elementari esprimibili solo in termini probabilistici e che il meccanismo secondo cui si produce il danno coinvolge un elevato numero di variabili legate tra di loro in modo articolato e complesso, è facile accorgersi che *l'applicazione di un modello di rischio rigorosamente statistico non è possibile in quanto bisognerebbe definire a priori sia l'evento dannoso sia il contesto stocastico in cui l'evento può avvenire*. Poiché l'ambito storico-artistico non consente una misura del rischio in tali termini, *si sono individuate allora le variabili fisiche e sociali che influiscono sul processo di deterioramento da utilizzare nella quantificazione del rischio*, ponendo in relazione funzionale il Rischio con i Fattori di Rischio.

Ciò significa che il modello sviluppato è in pratica un modello misto, che si avvale allo stesso tempo di metodologie statistiche e deterministiche nei processi di calcolo dei parametri e nell'analisi dei dati. Da questo modello misto è derivata in concreto l'organizzazione logica del Sistema Informativo Territoriale (SIT MARIS) [3]. In altri termini la difficoltà di una misura puramente probabilistica del rischio ha portato in pratica alla costruzione di "Indicatori di Rischio" per esprimerne il livello attraverso il calcolo di indici, indipendentemente da una loro possibile correlazione con una valutazione di probabilità vera e propria (come è nel caso del dado, dove di fronte all'evento lancio, la probabilità che esca il numero 6 o qualsiasi altro numero segnato su una delle sei facce vale 1/6 ed è determinabile a priori). Allo stesso modo la misura dei diversi Fattori di Rischio è stata espressa in termini di Indicatori dei Fattori di Rischio. In pratica tali fattori sono stati suddivisi e organizzati secondo una logica deterministica di causa e effetto, che vede due componenti principali:

- la *Pericolosità Territoriale (P)*, una funzione che indica il livello di potenziale aggressione caratteristico di una data area territoriale, indipendentemente dalla presenza o meno di beni;
- la *Vulnerabilità Individuale (V)*, una funzione che indica il livello di esposizione di un dato bene all'aggressione dei fattori territoriali ambientali, in base allo stato di salute del bene.

In questo modo è possibile esprimere il Rischio in funzione di queste due componenti e misurarne l'intensità attraverso la misura delle grandezze fisiche, che concorrono alla loro determinazione. Il tempo (t) e la localizzazione spaziale (x,y,z) delle grandezze fisiche considerate, sono le variabili

introdotte per poter conoscere la distribuzione spazio/temporale dei parametri e dei fenomeni che si vogliono analizzare; ciò ne consente la rappresentazione geografica territoriale e la sua evoluzione nel tempo. Oltre alla quantificazione delle grandezze fisiche che, caratterizzando il dominio della vulnerabilità e quello della pericolosità, devono essere considerate nella loro interazione dinamica, nella loro diversa incidenza rispetto alle varianti tipologiche dei manufatti e nella determinazione dei differenti rapporti di scala per la rappresentazione delle informazioni e dei fenomeni, si è dovuto preliminarmente procedere alla definizione del sistema fisico di riferimento, ossia degli elementi geografici di base che caratterizzano lo spazio in cui i beni sono collocati.

Ovviamente la Carta del Rischio propone uno strumento che descriva e raggruppi informazioni relative ai beni culturali esprimendo la *probabilità che*, a seguito di un eventuale evento dannoso per i beni culturali, *possa esserci perdita di materiale del bene, e non descrive la certezza di quando questo evento avverrà né cosa provocherà*.

1.1. Classificazione del Rischio

Il calcolo del Rischio, effettuato secondo la metodologia elaborata dall'ISCR, prevede la suddivisione di questo indicatore in tre domini (Statico-Strutturale, Ambientale-Aria e Antropico) e in tre livelli (Territoriale, Individuale e Locale).

Si parla di *Rischio Statico-Strutturale* quando il degrado del materiale è legato ai fenomeni correlati alla statica dei beni (sismi, frane e dissesti, esondazioni, valanghe, fenomeni vulcanici, dinamica dei litorali).

Il *Rischio Ambientale –Aria*, invece, descrive il danno subito dai materiali a causa di fattori climatici e ambientali (inquinamento atmosferico) caratteristici del territorio in cui i monumenti sono collocati.

Il *Rischio Antropico* è connesso ai fattori che possono modificare lo stato di conservazione del bene o alterare il contesto in cui esso si trova (densità demografica, l'”abbandono” di aree o centri abitati, la concentrazione urbana dell'edificato, i flussi turistici, i visitatori di opere d'arte, il numero dei furti).

I tre differenti tipi di rischio sono indipendenti l'uno dall'altro e vengono calcolati separatamente. Per quanto riguarda la classificazione secondo i tre livelli, il *Rischio Territoriale* fa riferimento “allo stato di suscettibilità al processo di degrado che caratterizza il territorio nel quale è collocato un aggregato di beni”[1]. Questo indicatore è quindi calcolato in funzione dei livelli di pericolosità territoriale e delle caratteristiche dell'aggregato di beni considerato (per esempio il numero di monumenti che costituiscono l'aggregato, la tipologia, ecc.).

Il *Rischio Individuale* si riferisce “allo stato di suscettibilità al processo di degrado di un singolo bene” ed è rappresentato dal prodotto tra la pericolosità a livello di comune (P_j) e la vulnerabilità (V_j) del bene j -esimo presente sul territorio in quel dato comune.

Il *Rischio Locale* si riferisce, come quello Individuale, al singolo bene, ma la pericolosità viene calcolata a livello locale sub-comunale, moltiplicando la pericolosità (P_j) nell'intorno del bene, per la vulnerabilità (V_j) del bene stesso.

In questo lavoro sono stati calcolati il Rischio Territoriale e il Rischio Individuale, propedeutici al calcolo del Rischio Locale, considerando solo il dominio Ambientale- Aria.

2. Metodologia per il calcolo del Rischio Territoriale e del Rischio Individuale

Il calcolo del Rischio Territoriale e Individuale dei beni di Torino è stato effettuato partendo dall'elaborazione dei dati di Pericolosità Territoriale nel dominio Ambientale- Aria.

Questo tipo di Pericolosità è definita, nella Carta del Rischio, da tre indici:

- l'*indice di erosione*⁶, che calcola la perdita di materiale di un determinato bene causata dall'interazione del bene stesso con gli inquinanti presenti in aria (NO_x e SO_2) e con i fattori climatici (precipitazioni e pH della pioggia);
- l'*indice di annerimento*⁷ che correla la concentrazione di particolato presente in atmosfera con lo sporco delle superfici;
- l'*indice di stress fisico*⁸ che definisce l'interazione termica e igrometrica tra ambiente e materiale.

Prima di calcolare la *Pericolosità Territoriale* in funzione dei tre indici si è ritenuto importante, in questo studio, valutare la *Pericolosità* rispetto alle concentrazioni di PM_{10} , componente dell'indice di annerimento, e rispetto alle concentrazioni di NO_x e SO_2 , componenti dell'indice di erosione. Questo approccio, propedeutico al calcolo degli indici di pericolosità, è infatti utile per valutare in che misura, *considerati singolarmente*, questi tre inquinanti contribuiscono al potenziale rischio di degrado di un monumento.

Sono state utilizzate le concentrazioni di inquinanti prodotte dal sistema modellistico di ARPA Piemonte su una griglia regolare che copre l'intero territorio piemontese con una risoluzione orizzontale di 4 km. Tale sistema è utilizzato, a partire dall'anno 2005, per effettuare le simulazioni a supporto delle Valutazioni di Qualità dell'Aria (attualmente relative agli anni 2004, 2005 e 2006).

I campi di concentrazione media annuale, calcolati a partire dai campi di concentrazione orari prodotti direttamente nelle simulazioni, sono stati quindi utilizzati per il calcolo del Rischio Territoriale e Individuale dal 2004 al 2006.

⁶ L'indice di erosione è calcolato, nella Carta del Rischio, applicando la formula di Lipfert:

$$\text{Pm} = 18,8 \cdot \text{R} + 0,016 \cdot \text{H}^+ \cdot \text{R} + 0,18 \cdot (\text{Vd}_s[\text{SO}_2] + \text{Vd}_N[\text{HNO}_3])$$

dove:

Pm= perdita di materiale nell'unità di tempo ($\mu\text{m}/\text{anno}$)

R = quantità di pioggia (mm/anno)

H^+ = disponibilità di ioni idrogeno (nmol/cm^3)

Vd_s = velocità di deposizione di biossido di zolfo (cm/s)

(SO_2) = concentrazione del biossido di zolfo in aria ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Vd_N = velocità di deposizione di acido nitrico (cm/s)

(HNO_3) = concentrazione di acido nitrico in aria ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

⁷ Nella Carta del Rischio, per correlare lo sporco delle superfici con la concentrazione di Particolato Sospeso Totale (PST), viene utilizzata la seguente relazione:

$$\text{C_PST}_i = (\text{E_PST}_i * \text{Xi}) / (\text{Ui} * \text{H})$$

– C_PST_i è la concentrazione di particolato sospeso totale da determinare in $\mu\text{g}/\text{m}^3$

– Xi è l'estensione orizzontale standardizzata per il comune i in metri

– E_PST_i particellato sospeso totale emesso per superficie municipale in ettari dalle sorgenti di sostanze inquinanti del comune i, in $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{sec}$

– Ui è il valore medio dell'intensità del vento per il comune i, calcolato mediando i valori mensili nell'arco di un anno, ed espresso in m/sec .

– H è lo spessore medio dello strato di mescolamento, intorno a 550 m, in riferimento ad una scala di diffusione circoscritta e ad un'area urbana.

⁸ Per l'indice di stress fisico non è ancora stato individuato un algoritmo specifico

L'ARPA Piemonte ha inoltre fornito i campi di concentrazione prodotti da una simulazione diagnostica per l'anno 2005 ad altissima risoluzione (500 m) e da una simulazione prognostica ad alta risoluzione (1 km) per il 2007, che hanno permesso di calcolare i due indicatori di rischio utilizzando una scala con un maggiore dettaglio. In entrambi i casi sono stati utilizzati i campi di media annuale calcolati, come in precedenza, a partire dai valori orari.

2.1. La caratterizzazione del territorio

Il comune di Torino è stato caratterizzato attraverso la georeferenziazione (fig.1) di alcuni degli elementi presenti sul territorio (strade principali, locali e secondarie, idrografia e ferrovie).

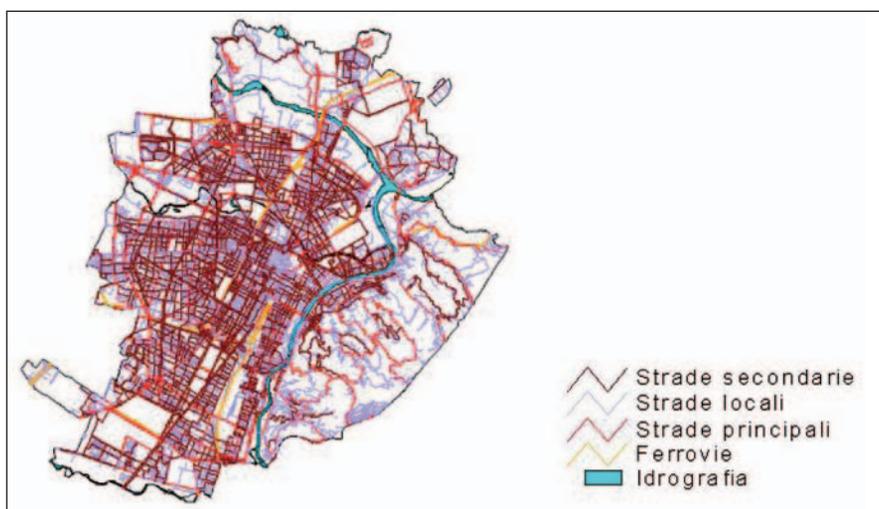


Fig.1: Caratterizzazione di Torino: strade, fiumi, ferrovie

La figura 2 riporta la distribuzione dei 556 beni schedati a Torino che sono localizzati prevalentemente nella parte centrale della città caratterizzata da una fitta rete di strade secondarie e locali.

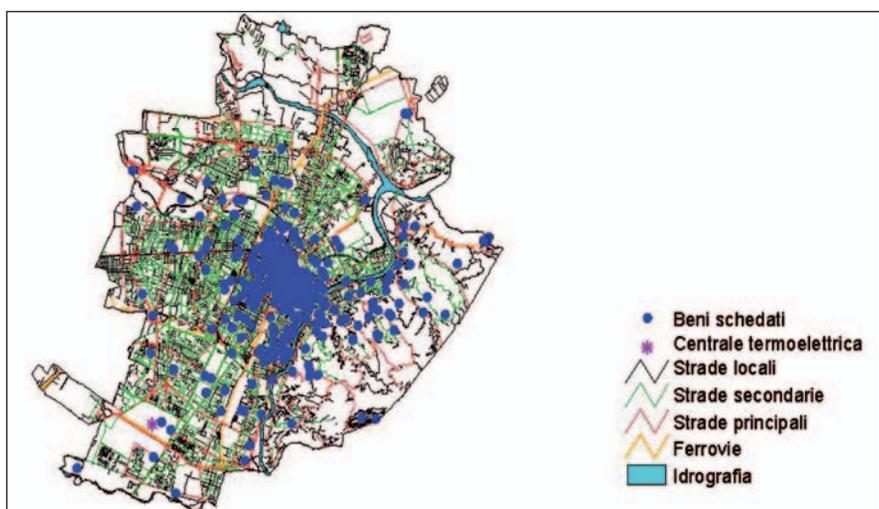


Fig.2: Caratterizzazione di Torino e distribuzione dei beni

La figura 3 mostra la localizzazione dei beni e la georeferenziazione delle centraline di monitoraggio della qualità dell'aria presenti nella città.

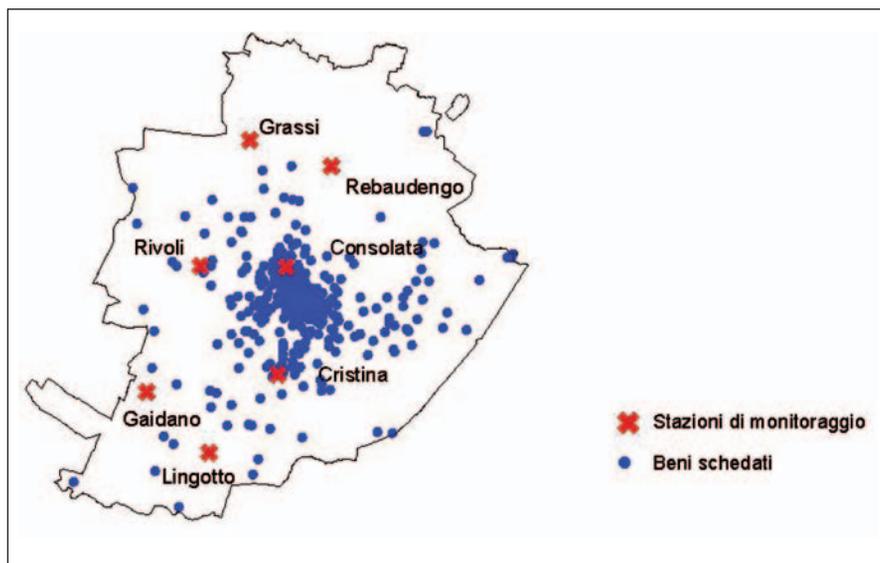


Fig. 3: Distribuzione dei beni e georeferenziazione delle centraline di monitoraggio della qualità dell'aria

2.2. La rappresentazione grafica della Pericolosità Territoriale e del Rischio Territoriale

Per la rappresentazione grafica della Pericolosità e del Rischio Territoriale dal 2004 al 2006 il comune di Torino è stato suddiviso in celle di 4 km di lato come mostrato nella figura 4.

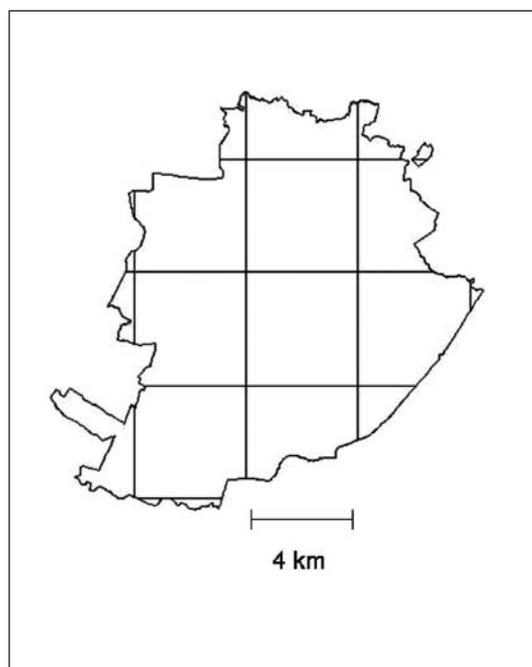


Fig.4: Suddivisione di Torino in celle di 4 km di lato

La Pericolosità ed il Rischio Territoriale sono stati calcolati per il 2005 applicando anche la simulazione diagnostica ad altissima risoluzione su celle di 500 m (fig.5), mentre per il 2007 (fig.6) è stata utilizzata la simulazione ad alta risoluzione (celle di 1 km).

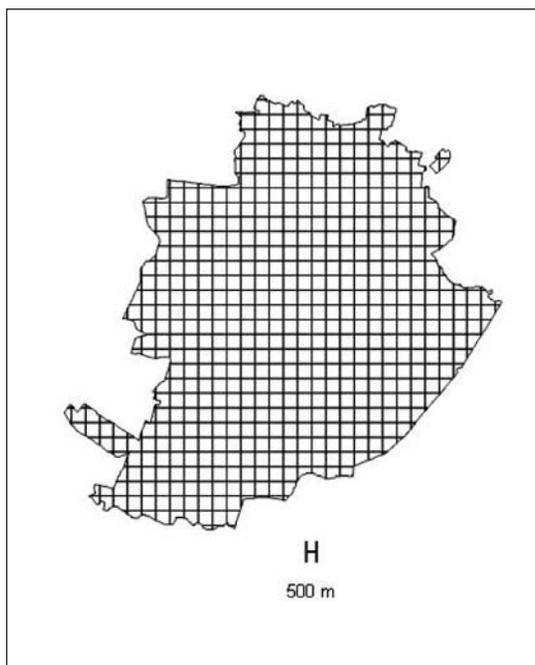


Fig.5: Suddivisione di Torino in celle di 500 m di lato

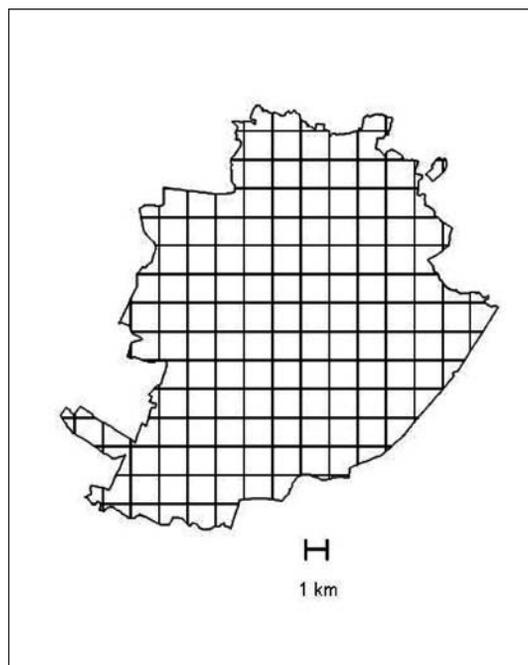
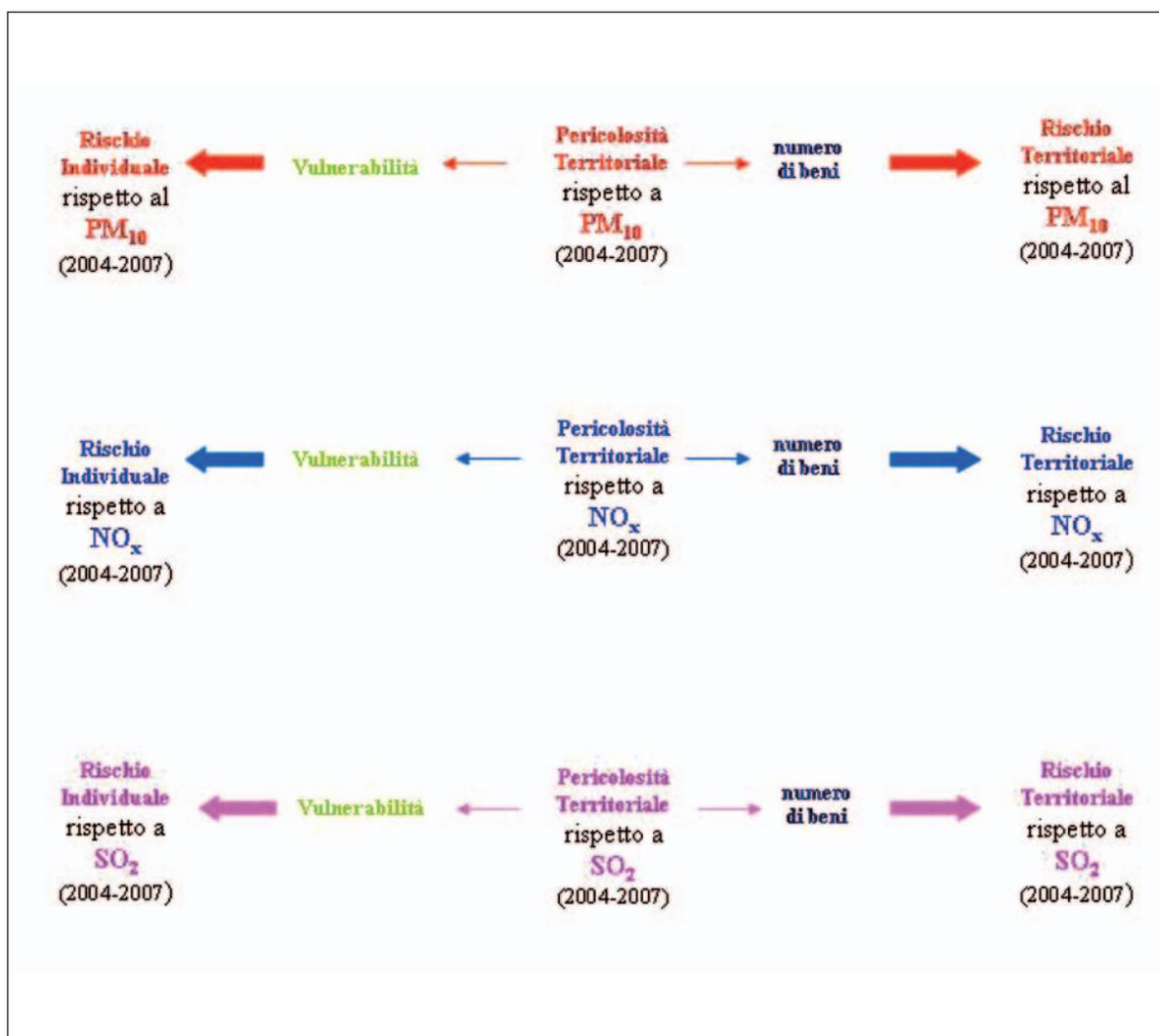


Fig.6: Suddivisione di Torino in celle di 1 km di lato

Ogni cella è caratterizzata dal valore che la Pericolosità e il Rischio Territoriale assumono in quell'area secondo le elaborazioni effettuate.

3. Presentazione dei Risultati

Lo schema 1 descrive in generale le fasi attraverso le quali è stato articolato lo studio.



Schema 1: Fasi dello studio

Nei paragrafi successivi verranno riportati:

a) le *rappresentazioni grafiche* di:

- Pericolosità Territoriale⁹, per ogni inquinante, dal 2004 al 2006 con risoluzione di 4 km (per il 2005 anche con risoluzione di 500 m) e per il 2007 con risoluzione di 1 km;
- Rischio Territoriale, per ogni inquinante, dal 2004 al 2006 con risoluzione di 4 km (per il

⁹ La Pericolosità Territoriale è rappresentata, in questo contesto, dai campi di concentrazione media annua di PM₁₀, NO_x e SO₂

-
- 2005 anche con risoluzione di 500 m) e per il 2007 con risoluzione di 1 km;
- b) le *elaborazioni* dei dati di:
- Vulnerabilità dei beni schedati dal 1995 al 2000;
- c) il *calcolo* di:
- Rischio Individuale, per ogni inquinante, dal 2004 al 2006 con risoluzione di 4 km (per il 2005 anche con risoluzione di 500 m) e per il 2007 con risoluzione di 1 km.

3.1. Pericolosità Territoriale

La legislazione italiana non prevede valori limite¹⁰ di concentrazioni di inquinanti per la tutela del patrimonio culturale [5] quindi sono stati presi come riferimento i valori limite annuali (tabella 1) previsti dalla normativa vigente per la salvaguardia della salute umana e degli ecosistemi¹¹.

Inquinante	Valore limite annuale
PM ₁₀ (tutela salute umana)	40 µg/m ³
NO _x (tutela ecosistemi)	30 µg/m ³
SO ₂ (tutela ecosistemi)	20 µg/m ³

Tab. 1: Valori limite per PM₁₀, NO_x e SO₂ per la tutela della salute umana e degli ecosistemi

La Pericolosità Territoriale è stata suddivisa in 8 classi; alla classe **1** è stato attribuito l'intervallo di concentrazione più basso (pericolosità minore), alla **8** l'intervallo più alto (pericolosità maggiore).

¹⁰ Valori al di sopra dei quali si riscontra il degrado dell'opera d'arte

¹¹ D.M 60/2002: Recepimento della direttiva 1999/30/CE del Consiglio del 22 aprile 1999 concernente i valori limite di qualità dell'aria ambiente per il biossido di zolfo, il biossido di azoto, gli ossidi di azoto, le particelle e il piombo e della direttiva 2000/69/CE relativa ai valori limite di qualità dell'aria ambiente per il benzene ed il monossido di carbonio.

3.1.1. Pericolosità Territoriale rispetto alla componente PM_{10} dell'indice di annerimento

Vengono di seguito riportate le elaborazioni dei campi di concentrazione di PM_{10} (media annuale in $\mu g/m^3$) dal 2004 al 2006 prodotti dal sistema modellistico su celle di 4 km di lato (fig.7).

Le 8 classi di Pericolosità Territoriale individuate sono definite nella tabella 2; la classe 1 è stata scelta come quella corrispondente al rispetto del limite di legge per la salute umana.

Classe	Pericolosità Territoriale ($\mu g/m^3$)
1	$PT \leq 40$
2	$40 < PT \leq 45$
3	$45 < PT \leq 50$
4	$50 < PT \leq 55$
5	$55 < PT \leq 60$
6	$60 < PT \leq 70$
7	$70 < PT \leq 95$
8	$PT > 95$

Tabella 2: Classi di Pericolosità Territoriale (PT) rispetto alla componente PM_{10}

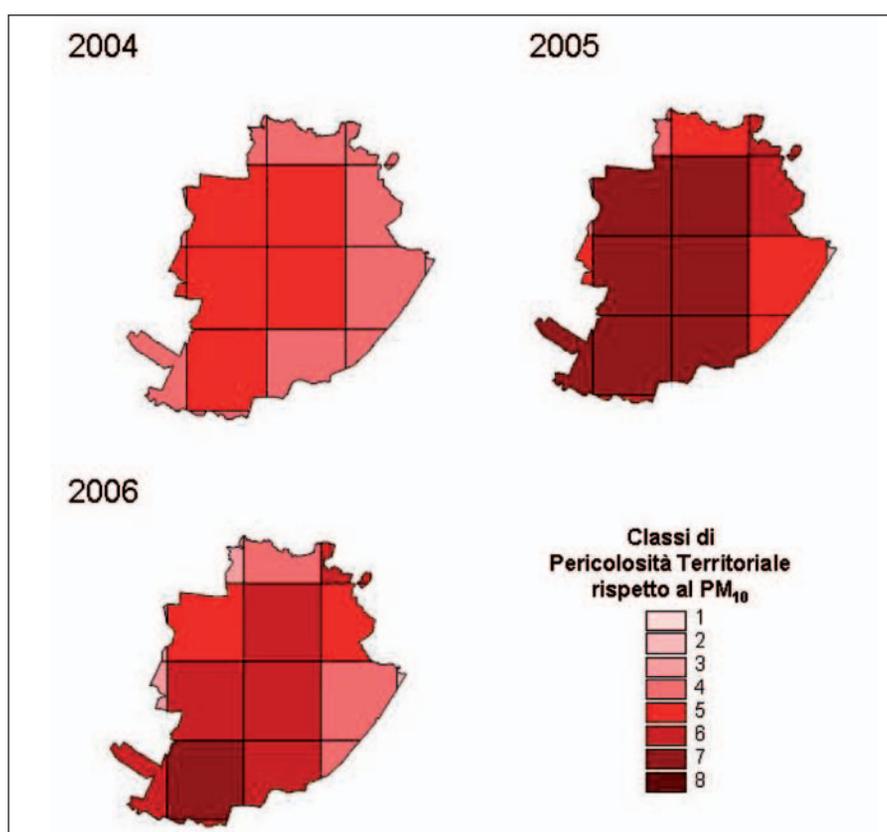


Fig. 7: Pericolosità Territoriale rispetto alla componente PM_{10} dal 2004 al 2006 (risoluzione di 4 km)

Il grafico riportato permette di analizzare l'andamento del PM_{10} dal 2004 al 2006; come si può notare per tutti e tre gli anni è stato superato il valore limite annuale stabilito per la tutela della salute umana ($40 \mu g/m^3$).

Le concentrazioni simulate dal sistema modellistico risultano maggiori nel 2005 (valore minimo: $44 \mu\text{g}/\text{m}^3$; valore massimo: $91 \mu\text{g}/\text{m}^3$) rispetto al 2004 (valore minimo: $49 \mu\text{g}/\text{m}^3$; valore massimo: $57 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e al 2006 (valore minimo: $42 \mu\text{g}/\text{m}^3$; valore massimo: $76 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Nel 2004, 2005 e 2006 la Pericolosità appartiene in prevalenza rispettivamente alle classi 5, 7 e 6.

Le figure 8 e 9 riportano le elaborazioni di Pericolosità Territoriale ottenute dai valori dei campi di concentrazione con risoluzione di 500 m e di 1 km rispettivamente per l'anno 2005 e per l'anno 2007.

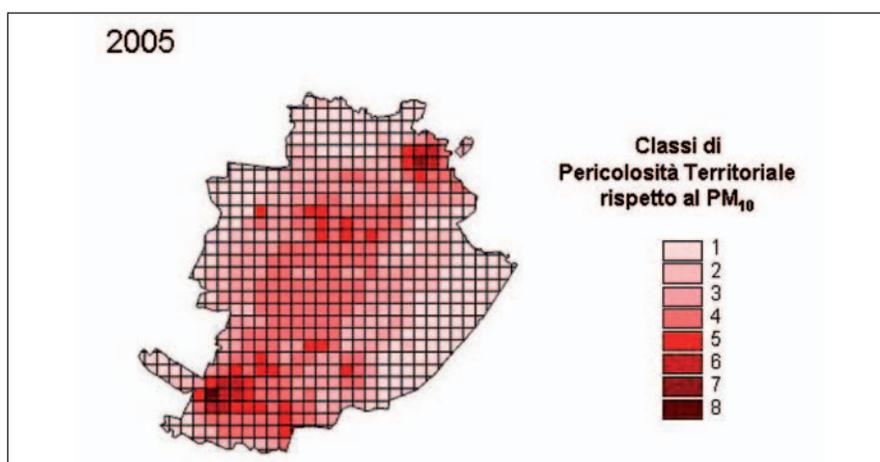


Fig. 8: Pericolosità Territoriale rispetto alla componente PM₁₀ per il 2005 (risoluzione di 500 m)

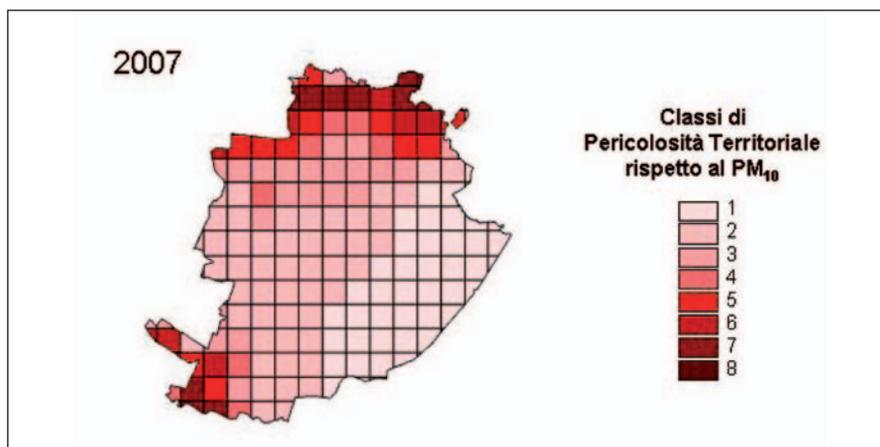


Fig. 9: Pericolosità Territoriale rispetto alla componente PM₁₀ per il 2007 (risoluzione di 1km)

Utilizzando i campi di concentrazione di PM₁₀ relativi all'anno 2005 prodotti dal sistema modellistico a risoluzione più alta (griglia con lato di 500 m) si osservano valori spazialmente meno omogenei che vanno da un minimo di $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (classe 1 quindi valori inferiori a quelli limite), ad un massimo $107 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (classe 8); le concentrazioni maggiori si hanno nelle zone a sud-est e a nord-ovest. Nel centro della città, contrariamente a quanto si osserva con le simulazioni a 4 km, si può notare una Pericolosità Territoriale più bassa (appartenente alle classi 3 e 4).

I campi di concentrazioni prodotti dal sistema prognostico per l'anno 2007 (risoluzione di 1 km), mostrano valori maggiori di PM₁₀ nelle aree a nord e a sud-est di Torino.

3.1.2. Pericolosità Territoriale rispetto alla componente NO_x dell'indice di erosione

Vengono di seguito riportate le elaborazioni dei campi di concentrazione di NO_x (media annuale in µg/m³) dal 2004 al 2006 prodotti dalla simulazione a 4 km di risoluzione (figura 10).

Le classi di Pericolosità Territoriale sono definite nella tabella 3:

Classe	Pericolosità Territoriale (µg/m ³)
1	PT ≤ 70
2	70 < PT ≤ 80
3	80 < PT ≤ 90
4	90 < PT ≤ 100
5	100 < PT ≤ 150
6	150 < PT ≤ 200
7	200 < PT ≤ 300
8	PT > 300

Tabella 3: Classi di Pericolosità Territoriale (PT) rispetto alla componente NO_x

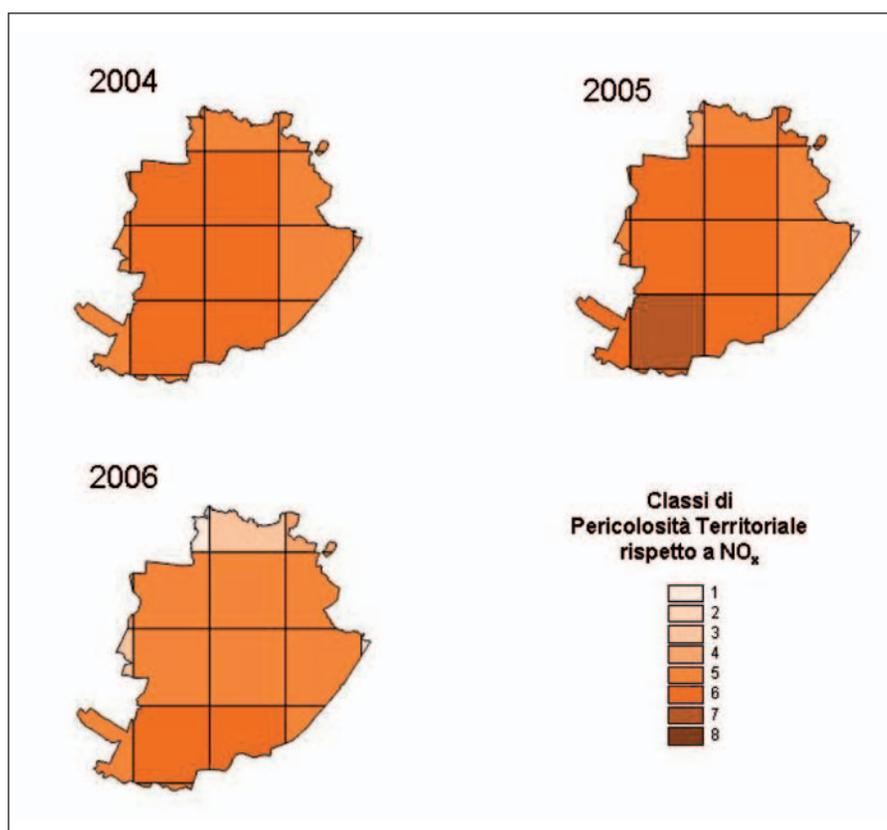


Fig. 10: Pericolosità Territoriale rispetto alla componente NO_x dal 2004 al 2006 (risoluzione di 4 km)

I valori simulati di concentrazione di NO_x superano, nel periodo che va dal 2004 al 2006 il valore limite previsto per la tutela degli ecosistemi (30 µg/m³).

In particolare si può notare nel 2005 un aumento generale (valore minimo: 69 µg/m³; valore massimo: 220 µg/m³) rispetto ai valori simulati nel 2004 (valore minimo 108 µg/m³; valore massimo:

169 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) mentre nel 2006 (valore minimo: 53 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; valore massimo: 175 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) si registra una diminuzione della concentrazione di inquinante nella parte centrale della città rispetto all'anno precedente.

Nelle figure 11 e 12 sono riportate le Pericolosità Territoriali rispetto a NO_x ottenute rispettivamente con la simulazione a 500 m di risoluzione per il 2005 e quella di 1 km per il 2007.

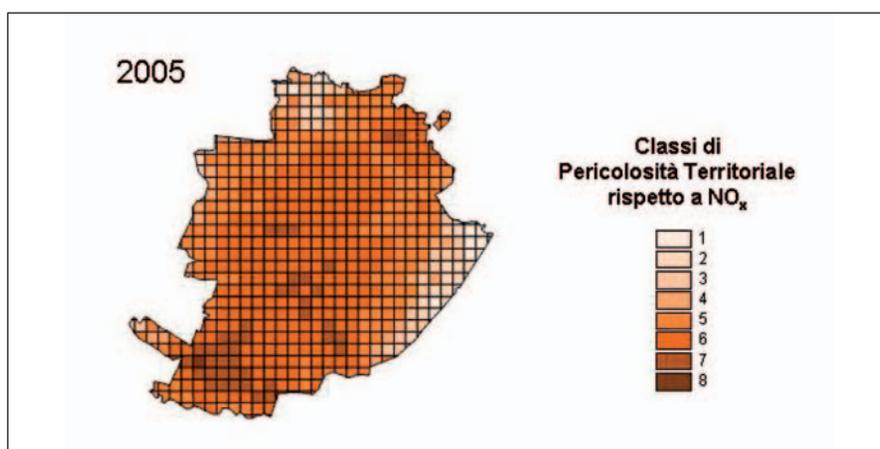


Fig. 11: Pericolosità Territoriale rispetto a NO_x per il 2005 (risoluzione di 500 m)

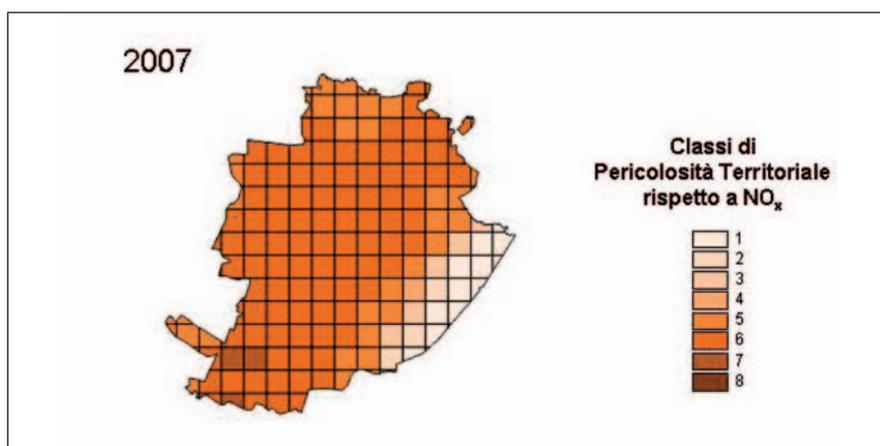


Fig. 12: Pericolosità Territoriale rispetto a NO_x per il 2007 (risoluzione di 1 km)

Per il 2005 i campi prodotti dal sistema diagnostico ad alta risoluzione mostrano un valore minimo di concentrazione di NO_x di 52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ed un massimo di 470 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (classe 8); i campi prodotti nelle simulazione prognostiche per il 2007, mostrano un valore minimo di 53 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e un valore massimo di 250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

3.1.3. Pericolosità Territoriale rispetto alla componente SO₂ dell'indice di erosione

Vengono di seguito riportate le elaborazioni dei campi di concentrazione di SO₂ (media annuali in µg/m³) prodotti dalla simulazione a 4 km di risoluzione (fig. 13).

Le classi di Pericolosità Territoriale sono definite nella tabella 4:

Classe	Pericolosità territoriale (µg/m ³)
1	PT ≤ 2.5
2	2.5 < PT ≤ 5
3	5 < PT ≤ 7.5
4	7.5 < PT ≤ 10
5	10 < PT ≤ 15
6	15 < PT ≤ 17.5
7	17.5 < PT ≤ 20
8	P > 20 ¹²

Tab. 4: Classi di Pericolosità Territoriale (PT) rispetto a SO₂

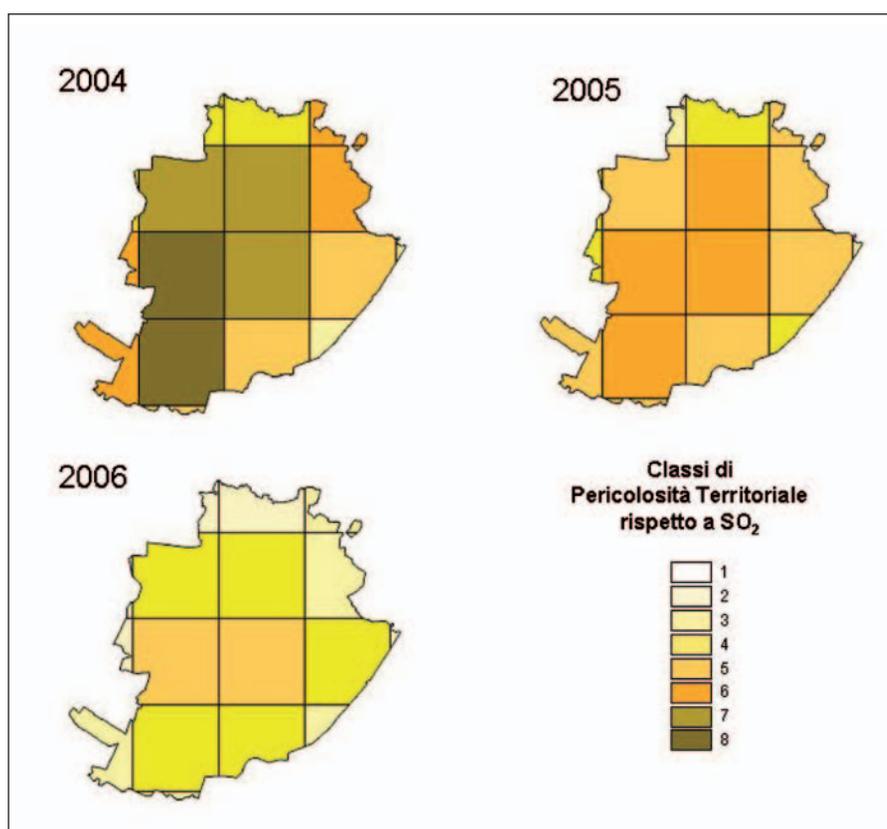


Fig 13: Pericolosità Territoriale rispetto alla componente SO₂ dal 2004 al 2006 (risoluzione di 4 km)

¹² Superamento del valore limite

La figura 13 mostra una chiara diminuzione della concentrazione di SO₂ dal 2004 al 2006. Nel 2004 il valore massimo simulato risulta essere 23 µg/m³ (classe di pericolosità 8), nel 2005 la concentrazione massima è 17 µg/m³ (pericolosità 6), mentre quella ottenuta per il 2006 è di 11 µg/m³ (classe 5).

Soltanto la classe 8 è quella che corrisponderebbe ad un superamento dei valori limite previsti per la tutela degli ecosistemi (20 µg/m³); questo andamento è una conseguenza delle riduzioni delle emissioni dei composti dello zolfo, che si sono riscontrate negli ultimi anni non solo a Torino, ma su tutto il territorio nazionale.

Nelle figure 14 e 15 sono riportate le elaborazioni di Pericolosità rispetto a SO₂ ottenute dai campi di concentrazione ad alta risoluzione per il 2005 (500 m) e per il 2007 (1 km).

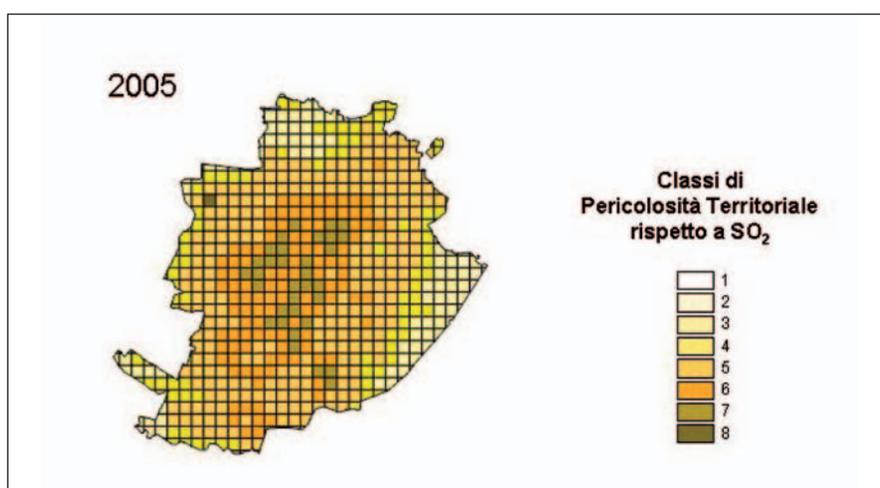


Fig. 14: Pericolosità Territoriale rispetto alla componente SO₂ per il 2005 (risoluzione di 500 m)

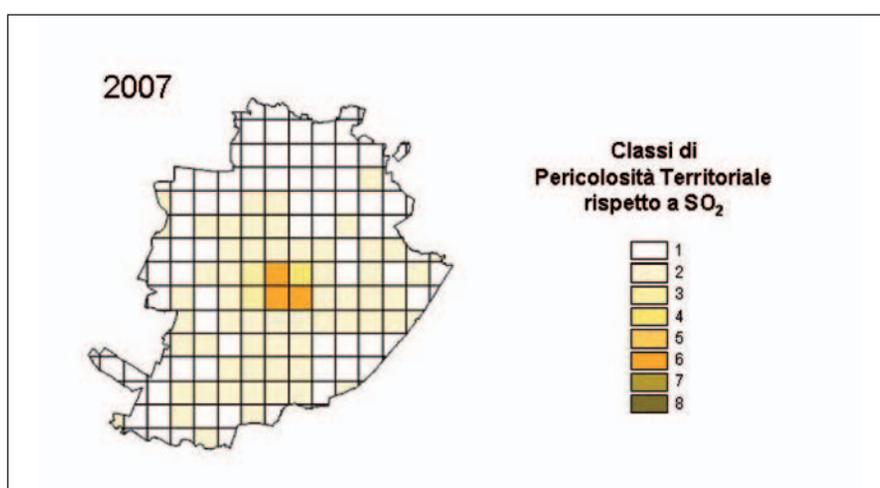


Fig. 15: Pericolosità Territoriale rispetto alla componente SO₂ per il 2007 (risoluzione di 1 km)

Per l'anno 2005 la Pericolosità Territoriale risulta appartenere prevalentemente alle classi 6 e 7 (il valore massimo di concentrazione simulata 18 µg/m³); per il 2007, le concentrazioni sono comprese tra i 4 µg/m³ e i 18 µg/m³ e corrispondono ad una pericolosità appartenente alle classi 5 e 6.

3.2. Rischio Territoriale (Pericolosità Territoriale pesata sulla concentrazione di beni)

Il Rischio Territoriale (o Pericolosità Territoriale pesata sulla concentrazione dei beni) si ottiene definendo quanti sono i beni che ricadono in una determinata area caratterizzata da una specifica concentrazione di inquinante; nella figura 16 si riporta, come esempio, la sovrapposizione della mappa di concentrazione media annuale di NO_x per l'anno 2004 con la mappa di distribuzione dei beni schedati a Torino.

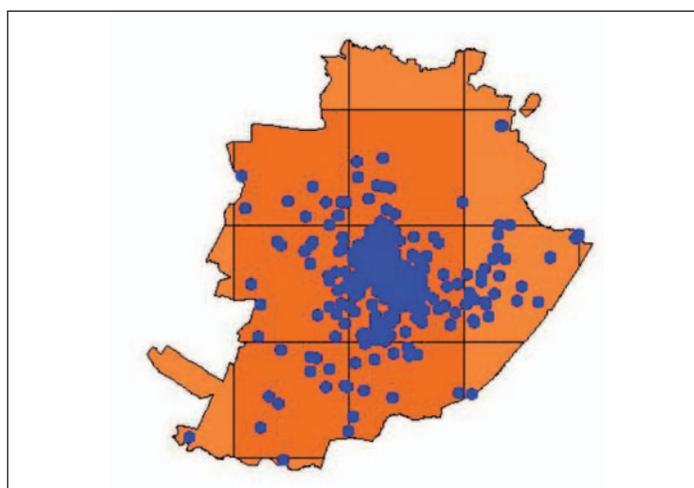


Fig. 16: Sovrapposizione della mappa di concentrazione di NO_x per il 2004, con la distribuzione dei beni schedati a Torino

Il Rischio Territoriale (espresso in $n \cdot \mu\text{g}/\text{m}^3$, con n numero di beni) si ottiene moltiplicando la concentrazione dell'inquinante esaminato ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), calcolata su ogni cella, per il numero di beni che ricadono nella cella considerata (n).

Anche per questo parametro, come per la Pericolosità Territoriale, sono state definite 8 classi; alla classe **1** è stato attribuito l'intervallo più basso (rischio minore) alla classe **8** l'intervallo più alto (rischio maggiore).

3.2.1 Calcolo del Rischio Territoriale rispetto alla componente PM₁₀ dell'indice di annerimento

Nella figura 17 è riportato il Rischio Territoriale calcolato rispetto alla componente PM₁₀ dell'indice di annerimento dal 2004 al 2006 utilizzando i campi di concentrazione a 4 km di risoluzione). Le classi di Rischio Territoriale sono definite nella tabella 5:

Classe	Rischio Territoriale ($n \cdot \mu\text{g}/\text{m}^3$)
1	RT = 0
2	$0 < \text{RT} < 800$
3	$800 < \text{RT} \leq 1500$
4	$1500 < \text{RT} \leq 2000$
5	$2000 < \text{RT} \leq 20000$
6	$20000 < \text{RT} \leq 25000$
7	$25000 < \text{RT} \leq 30000$
8	RT > 30000

Tab. 5: Classi di Rischio Territoriale (RT) rispetto alla componente PM₁₀

Il Rischio Territoriale appartenente alla classe 1 si registra in quelle zone in cui non sono presenti i monumenti.

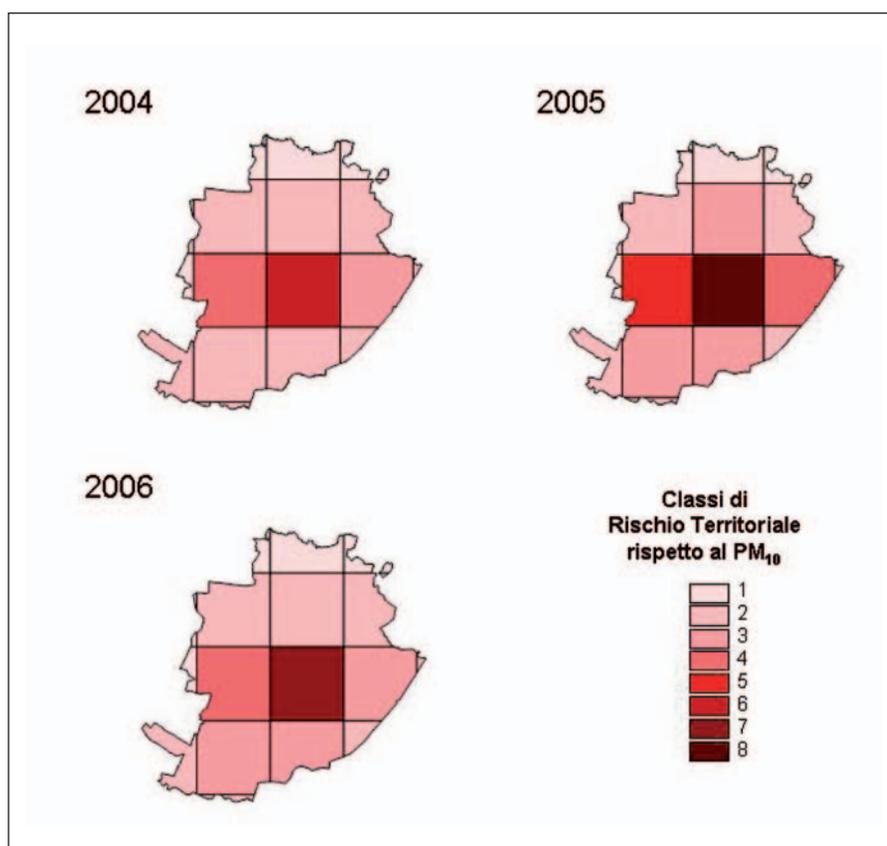


Fig.17: Rischio Territoriale calcolato rispetto alla componente PM₁₀ dal 2004 al 2006 (risoluzione di 4 km)

Il Rischio Territoriale calcolato per il 2004 è, rispetto agli altri due anni inferiore e rappresentato prevalentemente dalle classi 2 e 3; nel centro della città, nell'area in cui ricadono un numero più elevato di monumenti (447), il rischio appartiene alla classe 6.

La stessa area, nel 2005 e nel 2006, presenta un rischio con classi rispettivamente 8 e 7 a causa dell'aumento della concentrazione di PM_{10} registrato in questi due anni.

Nelle figure 18 e 19 è riportato il Rischio Territoriale calcolato rispetto alla componente PM_{10} per il 2005 e per il 2007, utilizzando rispettivamente le simulazioni a 500 m ed a 1 km di risoluzione.

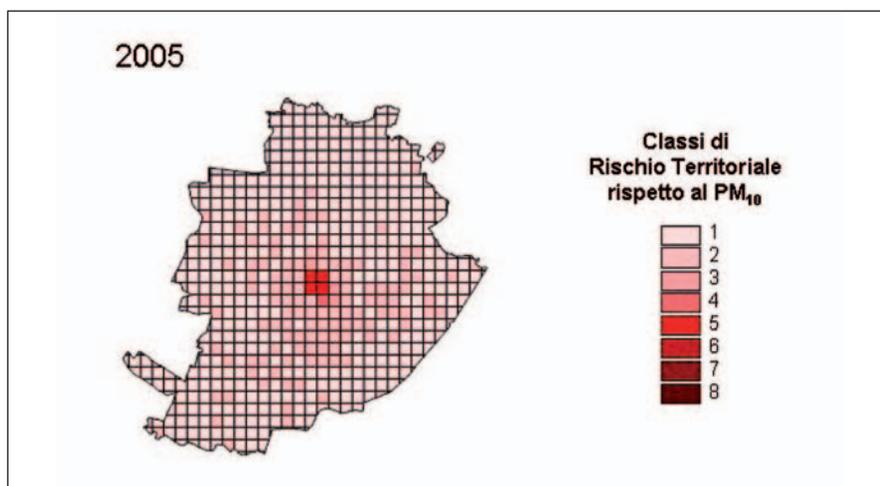


Fig. 18: Rischio Territoriale calcolato rispetto alla componente PM_{10} per il 2005 (risoluzione di 500 m)

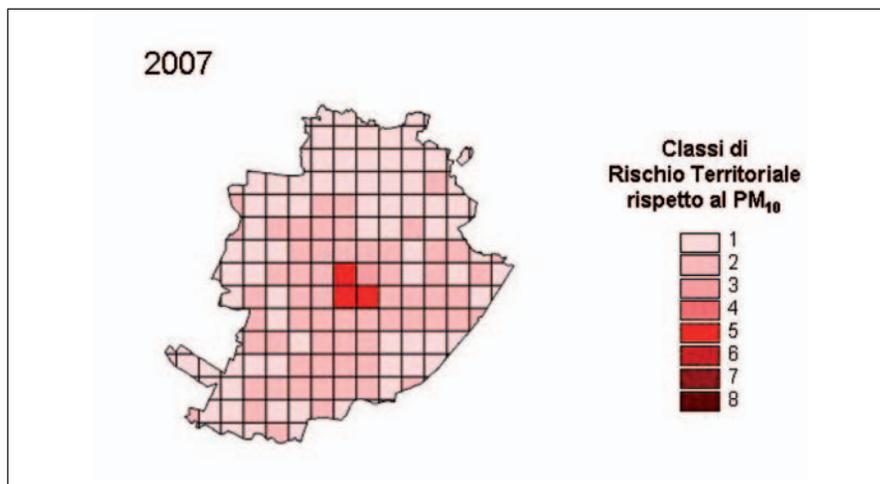


Fig. 19: Rischio Territoriale calcolato rispetto alla componente PM_{10} per il 2007 (risoluzione di 1 km).

Il valore del Rischio Territoriale ottenuto nel 2005, considerando una più elevata risoluzione spaziale (500 m), risulta ovviamente inferiore a quello calcolato sulle celle di 4 km, poiché queste ultime, essendo più estese, contengono un numero di beni superiore rispetto alle celle di 500 m.

Nel 2007 il Rischio Territoriale calcolato rispetto alla componente PM_{10} risulta, nella zona centrale della città, appartenere alle classi 3 e 5.

3.2.2. Calcolo del Rischio Territoriale rispetto alla componente NO_x dell'indice di erosione

Nei grafici di seguito riportati è rappresentato il calcolo del Rischio Territoriale rispetto alla componente NO_x dell'indice di erosione dal 2004 al 2006 su celle con lato di 4 km (fig.20).

Le classi di Rischio Territoriale rispetto alla componente NO_x sono definite nella tabella 6:

Classe	Rischio Territoriale (n·µg/m ³)
1	RT=0
2	0<RT≤ 1000
3	1000<RT≤ 2000
4	2000<RT≤ 5000
5	5000<RT≤ 35000
6	35000<RT≤ 70000
7	70000<RT≤ 80000
8	RT> 80000

Tab. 6: Classi di Rischio Territoriale (RT) rispetto alla componente NO_x

Il Rischio Territoriale appartenente alla classe 1 si registra in quelle zone in cui non sono presenti i monumenti.

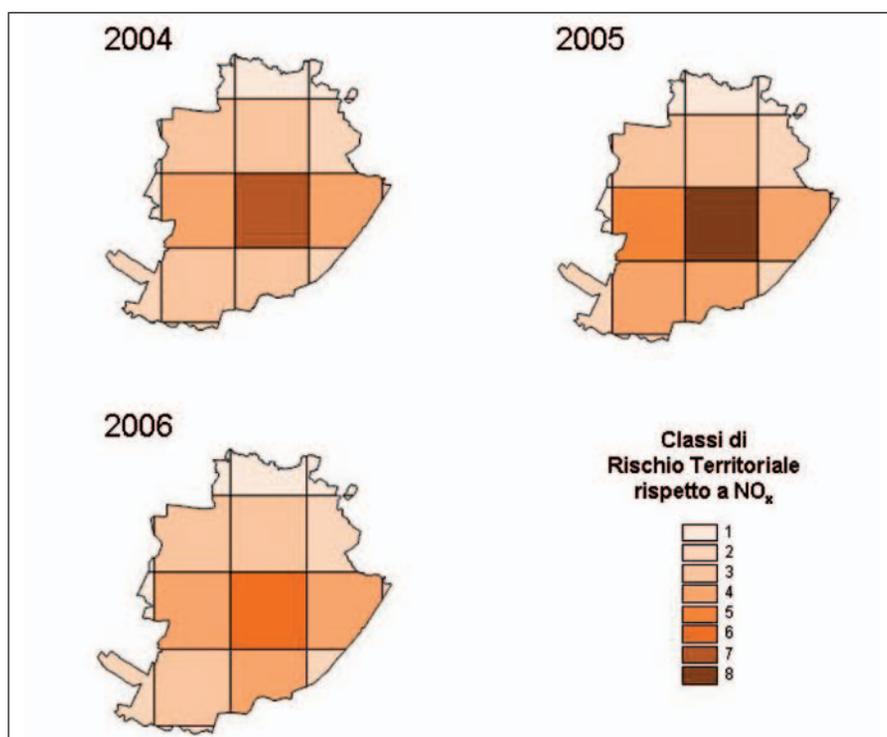


Fig. 20: Rischio Territoriale calcolato rispetto alla componente NO_x dal 2004 al 2006 (risoluzione di 4 km)

Il Rischio Territoriale calcolato nel 2005 è prevalentemente maggiore rispetto a quello ottenuto per il 2004 e il 2006. Si può osservare che nella cella che corrisponde alla zona centrale di Torino, quella caratterizzata da un maggiore numero di beni (447), nel 2004, 2005 e 2006 si calcola un Rischio Territoriale appartenente rispettivamente alle classi 7, 8 e 6.

Nelle figure 21 e 22 è riportato il Rischio Territoriale rispetto a NO_x per il 2005 (risoluzione 500 m) e per il 2007 (risoluzione 1 km).

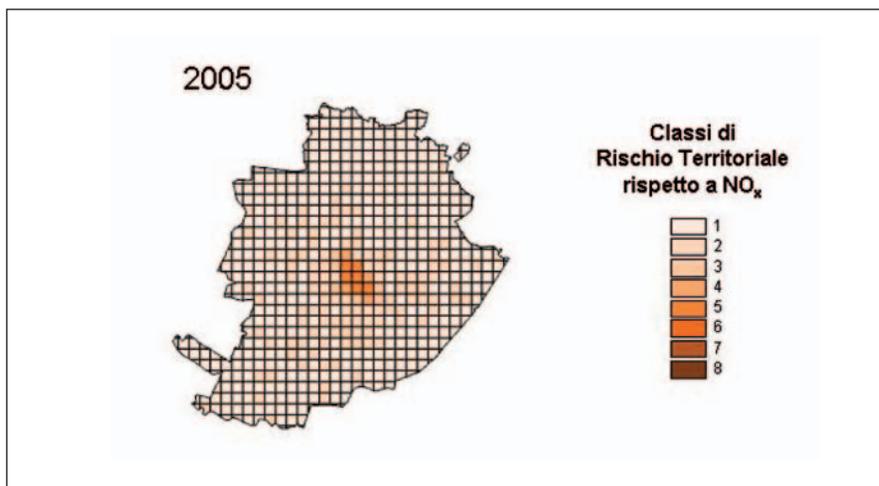


Fig. 21: Rischio Territoriale calcolato rispetto alla componente NO_x per il 2005 (risoluzione di 500 m)

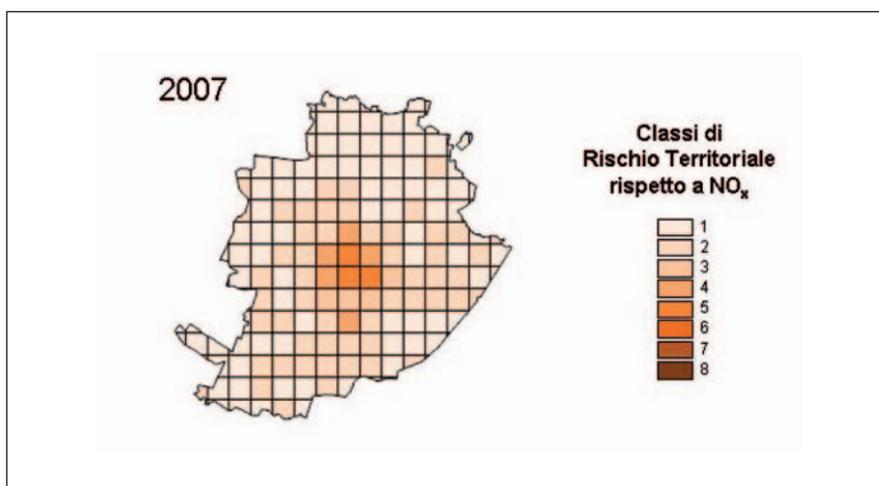


Fig. 22: Rischio Territoriale calcolato rispetto alla componente NO_x per il 2007 (risoluzione di 1 km)

Anche nel caso del Rischio Territoriale rispetto a NO_x , così come per il PM_{10} , all'aumentare della risoluzione spaziale utilizzata, diminuisce il Rischio poiché diminuisce il numero di beni contenuti nella cella.

3.2.3. Calcolo del Rischio Territoriale rispetto alla componente SO₂ dell'indice di erosione

Nei grafici di seguito riportati è rappresentato il calcolo del Rischio Territoriale rispetto alla componente SO₂ dell'indice di erosione dal 2004 al 2006 con le simulazioni con risoluzione di 4 km (fig.23). Le classi di Rischio Territoriale rispetto alla componente SO₂ sono definite nella tabella 7:

Classi	Rischio Territoriale ($n \cdot \mu\text{g}/\text{m}^3$)
1	RT = 0
2	$0 < \text{RT} \leq 200$
3	$200 < \text{RT} \leq 300$
4	$300 < \text{RT} \leq 500$
5	$500 < \text{RT} \leq 1000$
6	$1000 < \text{RT} \leq 6000$
7	$6000 < \text{RT} \leq 7500$
8	RT > 7500

Tab.7: Classi di Rischio Territoriale (RT) rispetto alla componente SO₂

Il Rischio Territoriale appartenente alla classe 1 si registra in quelle zone in cui non sono presenti i monumenti.

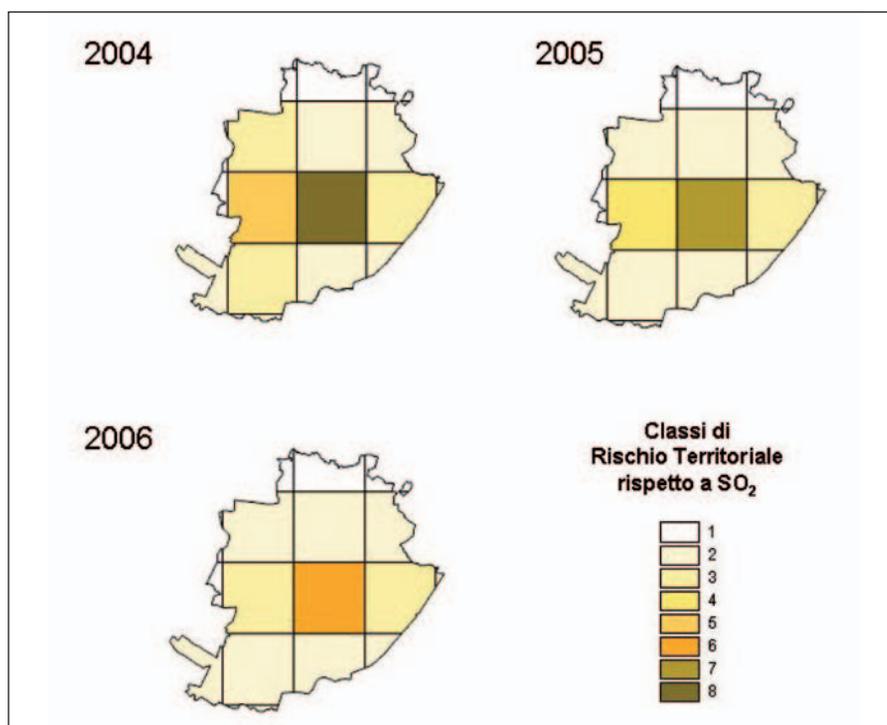


Fig. 23: Rischio Territoriale calcolato rispetto alla componente SO₂ dal 2004 al 2006 (risoluzione di 4 km)

In generale il Rischio Territoriale calcolato rispetto alla componente SO₂, contrariamente a quello calcolato per il PM₁₀ e NO_x, diminuisce nel triennio esaminato; in particolare considerando la cella caratterizzata da un maggiore numero di beni, si può notare che il Rischio Territoriale calcolato per il 2004 appartiene alla classe 8 mentre nel 2005 e 2006 rispettivamente alle classi 7 e 6.

Per il 2005 e il 2007 il Rischio Territoriale è stato calcolato rispettivamente su celle con lato di 500 m e 1 km (fig.24 e fig.25).

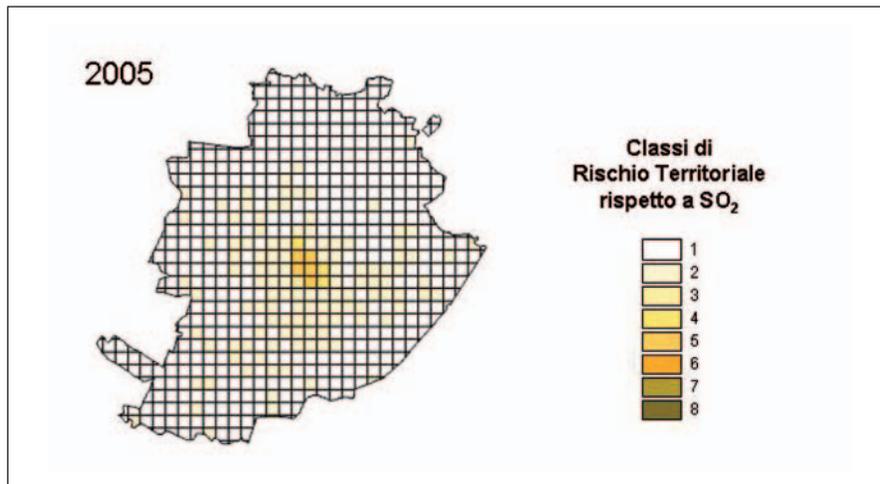


Fig. 24: Rischio Territoriale calcolato rispetto alla componente SO₂ per il 2005 (risoluzione di 500 m)

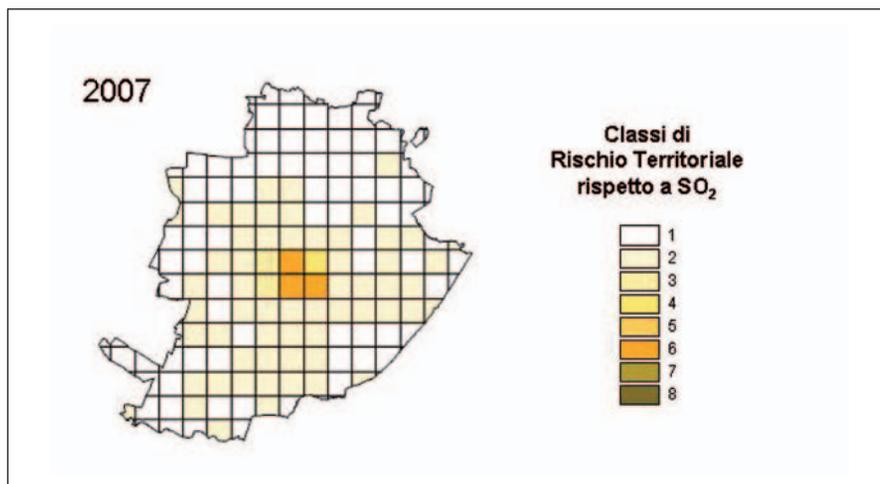


Fig. 25: Rischio Territoriale calcolato rispetto alla componente SO₂ per il 2007 (risoluzione di 1 km)

Per il 2005, il Rischio territoriale calcolato rispetto alla SO₂, aumentando la risoluzione spaziale, diminuisce rispetto a quello ottenuto su celle con lato di 4 km .
Per il 2007 l'indicatore calcolato risulta, nella zona centrale di Torino, appartenere alla classe 6.

3.3. Vulnerabilità superficiale dei beni schedati

La Vulnerabilità rappresenta lo stato di conservazione del bene e viene calcolata statisticamente su un numero consistente di variabili reperite attraverso fasi di schedatura che descrivono le condizioni conservative del bene¹³. Le schede, messe a punto dall'ISCR, hanno una sezione anagrafico identificativa e una sezione di rilevamento del danno. La sezione anagrafico identificativa segue le regole dell'ICCD (Istituto Centrale del Catalogo e Documentazione Grafica) la sezione danno rileva il degrado presente sulle strutture del bene [4]. La Vulnerabilità è stata distinta in tre categorie significative per i beni architettonici (globale; superficiale; statico – strutturale), in una sola categoria per i beni archeologici (globale). La sezione del rilevamento dei danni scompone l'edificio architettonico in 12 elementi costitutivi (fondazioni, strutture di orizzontamento e solai, coperture, collegamenti verticali, pavimenti interni, pavimenti esterni, rivestimenti, apparato decorativo interno, rivestimenti e decorazioni esterne, infissi interni, infissi esterni) e rileva la presenza degli impianti (smaltimento acque piovane, impianto idrico, impianto elettrico, impianto di riscaldamento). Per il bene archeologico la suddivisione è su 6 elementi costitutivi (fondazioni, strutture di orizzontamento e solai, coperture, collegamenti verticali, pavimenti interni, rivestimenti e decorazioni) e ne rileva inoltre l'uso del bene, gli impianti di deflusso delle acque, gli impianti di smaltimento acque/idrovore e l'eventuale presenza di una copertura di protezione. Infine per ogni elemento costitutivo vengono rilevati 6 tipologie di danno significativo (danno strutturale generico, disgregazione materiali, umidità, attacchi biologici, alterazioni strati superficiali, parti mancanti) definendone la gravità (valori 1, 2), l'estensione di cui si descrive se il danno è diffuso o localizzato sull'elemento in esame ed infine l'urgenza (valori 1, 2, 3) che rappresenta se il danno è passato, stabile o ancora attivo.

I valori di vulnerabilità (espressi in unità arbitrarie *u.a.*) reperiti all'interno delle schede di vulnerabilità esistenti¹⁴, sono stati raggruppati, in questo lavoro, in 8 classi (tabella 8).

Classi	Vulnerabilità (u.a.)
1	$V \leq 0$
2	$0 < V \leq 0,25$
3	$0,25 < V \leq 0,5$
4	$0,5 < V \leq 0,75$
5	$0,75 < V \leq 1$
6	$1 < V \leq 1,5$
7	$1,5 < V \leq 2$
8	$V > 2$

Tab. 8: Classi di Vulnerabilità del bene

¹³ La **Vulnerabilità** viene valutata attraverso i numerosi dati raccolti durante lo studio del manufatto, relativi ai tre domini ambientale-aria (vulnerabilità superficiale), statico-strutturale e antropico

$$V1i = V1(t,xyz,m1...mp...)$$

$$V2i = V2(t,xyz,n1.....np...)$$

$$V3i = V3(t,xyz,o1.....op...)$$

dove:

m1...mp... = variabili utilizzate per quantificare lo stato di conservazione della superficie in base al grado di urgenza, gravità ed estensione che più tipologie di danno possono assumere in relazione agli elementi che caratterizzano l'aspetto "superficiale" del bene i-esimo;

n1...np... = variabili utilizzate per quantificare lo stato di conservazione della struttura in base al grado di urgenza, gravità ed estensione che più tipologie di danno possono assumere in relazione agli elementi costruttivi fondamentali;

o1...op... = variabili utilizzate per quantificare le dinamiche d'uso e la sicurezza del bene

¹⁴ Per quanto riguarda il comune di Torino, dei 556 beni culturali schedati, soltanto 39 possiedono le schede di vulnerabilità superficiale realizzate (dal 1995 al 2000).

I beni con Vulnerabilità appartenente alla classe 1 sono quelli caratterizzati da un migliore stato di conservazione; la classe 8 rappresenta invece una maggiore tendenza al degrado.

Nella tabella 9 sono elencati i 39 beni presi in considerazione e sono state riportate le vulnerabilità per ogni bene schedato e la corrispondente classe di appartenenza.

BENE	V (u.a.)	Classe V
BASILICA DI SUPERGA	-0,46074	1
MAUSOLEO DELLA BELLA ROSINA	1,85167	7
PALAZZO DELL'UNIVERSITA'	-0,72481	1
CHIESA S. FRANCESCO DA PAOLA	1,47346	6
ARMERIA REALE E BIBLIOTECA REALE	-1,30148	1
CANONICA DI S. FRANCESCO DA PAOLA	2,64704	8
CAMPANILE DEL COMPL ECCLES DI	-0,60137	1
ROTONDA DI MEDICINA (TALUCCHI)	0,12963	2
EX LOCALI LICEO ARTISTICO	0,33611	3
CHIESA DI S. ROCCO	0,33901	3
CHIESA DELLA VISITAZIONE	-0,17235	1
PALAZZO CARIGNANO - ALA SEICENTO	0,76704	5
CHIESA DEI SS MARTIRI	0,08903	2
ACCADEMIA ALBERTINA DI BELLE ARTI	-0,05025	1
CONVITTO NAZIONALE UMBERTO I	-0,97988	1
ORATORIO DELL'ADDOLORATA	0,12083	1
CASA SPALLA	-0,82947	1
CHIESA DELLA SS TRINITA'	0,12	2
CORO DELLA CHIESA DELLA SS TRINITA'	0,65875	4
CONVENTO DI S. FILIPPO	-0,18284	1
VILLA DELLA REGINA	1,19444	6
GRAN RONDEAU	3,00119	8
ATRIO VIA PO 18	1,02968	6
ACCADEMIA DI MEDICINA	-0,30938	1
DIPARTIMENTO DI FILOSOFIA	-0,62986	1
SACRESTIA DELLA CHIESA DELLA SS TRINITA'	0,85524	5
MANICA 1925	1,1047	6
EX MANEGGIO REALE (CAVALLERIZZA)	0,48889	3
SACRESTIA DELLA CHIESA DEI SS MARTIRI	0,81788	5
PALAZZINA SVIZZERA	-1,27348	1
CHIESA DI S. LORENZO	-0,45167	1
ARCHIVIO DI STATO SEZIONI RIUNITE	1,70833	7
PALAZZO CARIGNANO - PARTE POSTERIORE	-0,20951	1
MANICA CEPPI	0,93606	5
PALAZZO DEGLI ARCHIVI	-1,15176	1
CHIESA DI S. FILIPPO	-0,34708	1
SACRESTIA DELLA CHIESA DI S. FILIPPO	-0,87444	1
ORATORIO DI S. FILIPPO	-0,75222	1
EX CASERMA GAMERRA	1,43706	6

Tab. 9: Vulnerabilità (espressa in u.a.) e classi di vulnerabilità per i beni schedati

Nella figura 26 è riportata la georeferenziazione dei beni elencati nella tabella 8.

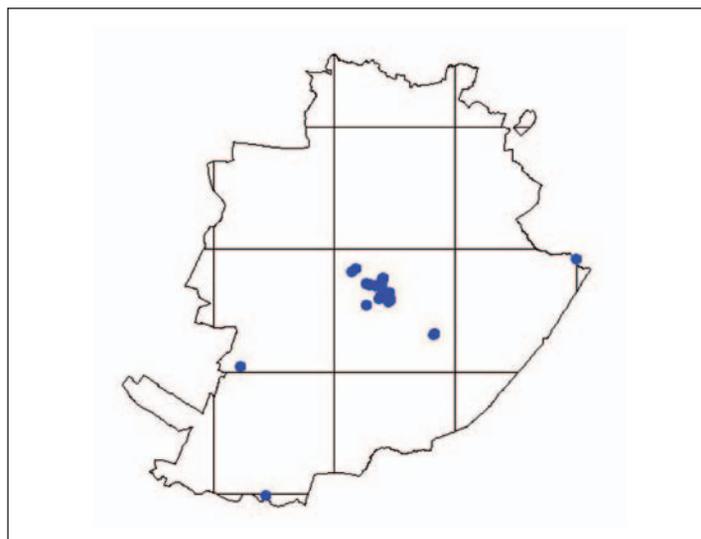


Fig. 26: Georeferenziazione dei beni per i quali sono state realizzate le schede di vulnerabilità dal 1995 al 2000

3.4. Rischio Individuale

Il Rischio Individuale è stato calcolato, come già detto, moltiplicando la Pericolosità Territoriale (concentrazione di inquinante espressa in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) per la Vulnerabilità del bene (espressa in u.a.) in base alla relazione **1**) [1]:

$$\mathbf{R = P \cdot 4V} \quad \mathbf{1)}$$

R: Rischio Individuale

P: Pericolosità Territoriale comunale

V: Vulnerabilità del bene

Il Rischio Individuale è stato suddiviso in 8 classi definite attribuendo alla classe **1** l'intervallo di rischio più basso e alla **8** l'intervallo più alto.

3.4.1. Calcolo del Rischio Individuale rispetto alla componente PM₁₀ dell'indice di annerimento

Il Rischio Individuale è stato calcolato per ciascun anno di riferimento mantenendo costante la vulnerabilità; la variazione della classe di rischio dipende quindi dall'andamento della Pericolosità Territoriale (concentrazione di inquinante).

Nella tabella 10 sono riportate gli intervalli delle 8 classi di Rischio Individuale calcolato rispetto alla componente PM₁₀ dell'indice di annerimento.

Classe	Rischio Individuale ($\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{u.a}$)
1	$\text{RI} \leq 0$
2	$0 < \text{RI} \leq 150$
3	$150 < \text{RI} \leq 300$
4	$300 < \text{RI} \leq 450$
5	$450 < \text{RI} \leq 600$
6	$600 < \text{RI} \leq 750$
7	$750 < \text{RI} \leq 900$
8	$\text{RI} > 900$

Tab. 10: Classi di Rischio Individuale (RI) rispetto alla componente PM₁₀

La Tab. 11 riporta, per ciascun bene, la classe di Rischio Individuale rispetto al PM₁₀ calcolata dal 2004 al 2006 utilizzando i campi di concentrazione della simulazione a 4 km.

BENE	2004	2005	2006	BENE	2004	2005	2006
BASILICA DI SUPERGA	1	1	1	CORO CHIESA DELLA SS TRINITA'	2	2	2
MAUSOLEO DELLA BELLA ROSINA	4	5	5	SACRESTIA CHIESA SS TRINITA'	3	3	3
PALAZZO DELL'UNIVERSITA'	1	1	1	VILLA DELLA REGINA	3	4	3
CHIESA S FRANCESCO DA PAOLA	4	5	4	GRAN RONDEAU	6	8	7
CANONICA DI S FRANCESCO DA PAOLA	5	7	6	ATRIO VIA PO 18	3	4	3
ARMERIA REALE E BIBLIOTECA REALE	1	1	1	ACCADEMIA DI MEDICINA	1	1	1
CAMPANILE COMPLESSO ECCLESIASTICO	1	1	1	DIPARTIMENTO DI FILOSOFIA	1	1	1
ROTONDA DI MEDICINA (TALUCCHI)	2	2	2	MANICA 1925	3	4	3
EX LOCALI LICEO ARTISTICO	2	2	2	EX MANEGGIO (CAVALLERIZZA)	2	3	2
CHIESA DI S. ROCCO	2	2	2	PALAZZINA SVIZZERA	1	1	1
CHIESA DELLA VISITAZIONE	1	1	1	CHIESA DI S. LORENZO	1	1	1
PALAZZO CARIGNANO - ALA SEICENTESCA	2	3	3	ARCHIVIO STATO SEZIONI RIUNITE	4	5	4
PALAZZO CARIGNANO - PARTE POSTERIORE	1	1	1	MANICA CEPPI	3	3	3
CHIESA DEI SS MARTIRI	2	2	2	PALAZZO DEGLI ARCHIVI	1	1	1
SACRESTIA CHIESA DEI SS MARTIRI	3	3	3	CHIESA DI S. FILIPPO	1	1	1
ACCADEMIA ALBERTINA DI BELLE ARTI	1	1	1	SACRESTIA CHIESA DI S. FILIPPO	1	1	1
CONVITTO NAZIONALE UMBERTO I	1	1	1	ORATORIO DI S. FILIPPO	1	1	1
ORATORIO DELL'ADDOLORATA	2	2	2	CONVENTO DI S FILIPPO	1	1	1
CASA SPALLA	1	1	1	EX CASERMA GAMERRA	4	4	4
CHIESA DELLA SS TRINITA'	2	2	2				

Tab. 11: Classi di Rischio Individuale rispetto alla componente PM₁₀, calcolate per ciascun monumento, dal 2004 al 2006 utilizzando i campi di concentrazione a 4 km.

I beni maggiormente in pericolo, evidenziati in grassetto, sono quelli che presentano una classe di rischio ≥ 3 e sono risultati 13 su 39.

Per questi monumenti, le classi di Rischio Individuale calcolate risultano più elevate per il 2005. Nella tabella 12 sono riportati i dati elaborati per il 2005 e per il 2007 utilizzando i campi di concentrazione ad alta risoluzione (rispettivamente 500 m e 1 km).

BENE	2005	2007	BENE	2005	2007
BASILICA DI SUPERGA	1	1	CORO DELLA CHIESA SS TRINITA'	1	1
MAUSOLEO DELLA BELLA ROSINA	4	4	SACRESTIA CHIESA SS TRINITA'	3	3
PALAZZO DELL'UNIVERSITA'	1	1	VILLA DELLA REGINA	3	3
CHIESA S FRANCESCO DA PAOLA	4	3	GRAN RONDEAU	5	4
CANONICA DI S FRANCESCO DA PAOLA	5	4	ATRIO VIA PO 18	3	3
ARMERIA REALE E BIBLIOTECA REALE	1	1	ACCADEMIA DI MEDICINA	1	1
CAMPANILE DEL COMPLESSO ECCLESIASTICO	1	1	DIPARTIMENTO DI FILOSOFIA	1	1
ROTONDA DI MEDICINA (TALUCCHI)	2	2	MANICA 1925	3	3
EX LOCALI LICEO ARTISTICO	2	2	EX MANEGGIO REALE (CAVALLERIZZA)	2	2
CHIESA DI SROCCO	2	2	PALAZZINA SVIZZERA	1	1
CHIESA DELLA VISITAZIONE	1	1	CHIESA DI S LORENZO	1	1
PALAZZO CARIGNANO - ALA SEICENTESCA	3	2	ARCHIVIO DI STATO SEZIONI RIUNITE	4	3
PALAZZO CARIGNANO - PARTE POSTE	1	1	MANICA CEPPI	3	3
CHIESA DEI SS MARTIRI	2	2	PALAZZO DEGLI ARCHIVI	1	1
SACRESTIA DELLA CHIESA DEI SS MARTIRI	3	2	CHIESA DI S FILIPPO	1	1
ACCADEMIA ALBERTINA DI BELLE ARTI	1	1	SACRESTIA DELLA CHIESA DI S FILIPPO	1	1
CONVITTO NAZIONALE UMBERTO I	1	1	ORATORIO DI S FILIPPO	1	1
ORATORIO DELL'ADDOLORATA	2	2	CONVENTO DI S FILIPPO	1	1
CASA SPALLA	1	1	EX CASERMA GAMERRA	3	3
CHIESA DELLA SS TRINITA'	2	2			

Tab. 12: Classi di Rischio Individuale rispetto alla componente PM_{10} , calcolate per ciascun monumento, per il 2005 e per il 2007 utilizzando rispettivamente i campi di concentrazione a 500 m e 1km.

Confrontando i risultati del 2005 ottenuti con le due differenti risoluzioni spaziali, si può notare che, per la maggior parte dei beni esaminati, le classi di rischio calcolate sulle celle di 500 m risultano inferiori a quelle ricavate sulle celle di 4 km.

3.4.2 Calcolo del Rischio Individuale rispetto alla componente NO_x dell'indice di erosione

La tabella 13 riporta la suddivisione delle 8 classi di Rischio Individuale calcolato rispetto alla componente NO_x dell'indice di erosione.

Classe	Rischio Individuale ($\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{V}$)
1	$R \leq 0$
2	$0 < RI \leq 250$
3	$250 < RI \leq 500$
4	$500 < RI \leq 750$
5	$750 < RI \leq 1000$
6	$1000 < RI \leq 1250$
7	$1250 < RI \leq 1500$
8	$RI > 1500$

Tab.13: Classi di Rischio Individuale (RI) rispetto a NO_x

Nella tabella 14 sono riportate per ciascun bene, le classi di Rischio Individuale rispetto alla componente NO_x calcolata dal 2004 al 2006 utilizzando i campi di concentrazione della simulazione a 4 km.

BENE	2004	2005	2006	BENE	2004	2005	2006
BASILICA DI SUPERGA	1	1	1	CORO DELLA CHIESA DELLA SS TRINITA'	4	4	3
MAUSOLEO DELLA BELLA ROSINA	5	6	5	SACRESTIA DELLA CHIESA SS TRINITA'	4	4	4
PALAZZO DELL'UNIVERSITA'	1	1	1	VILLA DELLA REGINA	5	5	4
CHIESA S FRANCESCO DA PAOLA	4	6	5	GRAN RONDEAU	8	8	8
CANONICA DI S FRANCESCO DA PAOLA	5	8	8	ATRIO VIA PO 18	4	5	4
ARMERIA REALE E BIBLIOTECA REALE	1	1	1	ACCADEMIA DI MEDICINA	1	1	1
CAMPANILE DEL COMPLESSO ECCLESIASTICO	1	1	1	DIPARTIMENTO DI FILOSOFIA	1	1	1
ROTONDA DI MEDICINA (TALUCCHI)	2	2	2	MANICA 1925	5	5	4
EX LOCALI LICEO ARTISTICO	2	3	2	EX MANEGGIO REALE (CAVALLERIZZA)	3	3	3
CHIESA DI S. ROCCO	2	3	2	PALAZZINA SVIZZERA	1	1	1
CHIESA DELLA VISITAZIONE	1	1	1	CHIESA DI S. LORENZO	1	1	1
PALAZZO CARIGNANO - ALA SEICENTESCA	3	4	3	ARCHIVIO DI STATO SEZIONI RIUNITE	6	7	6
PALAZZO CARIGNANO - PARTE POSTERIORE	1	1	1	MANICA CEPPI	4	4	4
CHIESA DEI SS MARTIRI	2	2	2	PALAZZO DEGLI ARCHIVI	1	1	1
SACRESTIA DELLA CHIESA DEI SS MARTIRI	4	4	3	CHIESA DI S. FILIPPO	1	1	1
ACCADEMIA ALBERTINA DI BELLE ARTI	1	1	1	SACRESTIA DELLA CHIESA DI S. FILIPPO	1	1	1
CONVITTO NAZIONALE UMBERTO I	1	1	1	ORATORIO DI S. FILIPPO	1	1	1
ORATORIO DELL'ADDOLORATA	2	2	2	CONVENTO DI S FILIPPO	1	1	1
CASA SPALLA	1	1	1	EX CASERMA GAMERRA	6	6	5
CHIESA DELLA SS TRINITA'	2	2	2				

Tab. 14: Classi di Rischio Individuale rispetto alla componente NO_x, calcolate per ciascun monumento, dal 2004 al 2006 utilizzando i campi di concentrazione a 4 km.

I beni maggiormente in pericolo, quelli con classe di rischio ≥ 3 , sono risultati 15 su 39. Le classi di Rischio Individuale calcolate per questi monumenti, sono più elevate per il 2005. Nella tabella 15 sono riportate per ciascun bene, le classi di Rischio Individuale rispetto alla componente NO_x calcolata per il 2005 e per il 2007 utilizzando i campi di concentrazione con risoluzione rispettivamente di 500 m e 1 km.

BENE	2005	2007	BENE	2005	2007
BASILICA DI SUPERGA	1	1	CORO DELLA CHIESA DELLA SS TRINITA'	3	4
MAUSOLEO DELLA BELLA ROSINA	6	6	SACRESTIA DELLA CHIESA DELLA SS TRINITA'	4	4
PALAZZO DELL'UNIVERSITA'	1	1	VILLA DELLA REGINA	5	4
CHIESA S FRANCESCO DA PAOLA	6	6	GRAN RONDEAU	8	7
CANONICA DI S FRANCESCO DA PAOLA	8	8	ATRIO VIA PO 18	5	4
ARMERIA REALE E BIBLIOTECA REALE	1	1	ACCADEMIA DI MEDICINA	1	1
CAMPANILE DEL COMPLESSO ECCLESIASTICO	1	1	DIPARTIMENTO DI FILOSOFIA	1	1
ROTONDA DI MEDICINA (TALUCCHI)	2	2	MANICA 1925	5	5
EX LOCALI LICEO ARTISTICO	3	2	EX MANEGGIO REALE (CAVALLERIZZA)	3	3
CHIESA DI S. ROCCO	3	3	PALAZZINA SVIZZERA	1	1
CHIESA DELLA VISITAZIONE	1	1	CHIESA DI S. LORENZO	1	1
PALAZZO CARIGNANO - ALA SEICENTESCA	4	4	ARCHIVIO DI STATO SEZIONI RIUNITE	7	7
PALAZZO CARIGNANO - PARTE POSTERIORE	1	1	MANICA CEPPI	4	4
CHIESA DEI SS MARTIRI	2	2	PALAZZO DEGLI ARCHIVI	1	1
SACRESTIA DELLA CHIESA DEI SS MARTIRI	4	4	CHIESA DI S. FILIPPO	1	1
ACCADEMIA ALBERTINA DI BELLE ARTI	1	1	SACRESTIA DELLA CHIESA DI S. FILIPPO	1	1
CONVITTO NAZIONALE UMBERTO I	1	1	ORATORIO DI S. FILIPPO	1	1
ORATORIO DELL'ADDOLORATA	2	2	CONVENTO DI S FILIPPO	1	1
CASA SPALLA	1	1	EX CASERMA GAMERRA	5	6
CHIESA DELLA SS TRINITA'	2	2			

Tab. 15: Classi di Rischio Individuale rispetto alla componente NO_x , calcolate per ciascun monumento, per il 2005 e per il 2007 utilizzando rispettivamente le concentrazioni simulate su celle con lato di 500 m e 1km.

Anche in questo caso, come per il PM_{10} , le classi di Rischio calcolate per il 2005 su celle di 500 m risultano, per la maggior parte dei beni esaminati, inferiori a quelle ricavate su celle di 4 km.

3.4.3. Calcolo del Rischio Individuale rispetto alla componente SO₂ dell'indice di erosione

La tabella 16 riporta la suddivisione delle 8 classi di rischio calcolato rispetto alla componente SO₂ dell'indice di erosione.

Classi	Rischio Individuale ($\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{V}$)
1	$R \leq 0$
2	$0 < R \leq 25$
3	$25 < R \leq 50$
4	$50 < R \leq 75$
5	$75 < R \leq 100$
6	$100 < R \leq 125$
7	$125 < R \leq 150$
8	$R > 150$

Tab.16: Classi di Rischio Individuale (RI) rispetto a SO₂

La tabella 17 riporta, per ciascun bene, la classe di Rischio Individuale rispetto alla componente SO₂ dell'indice di erosione calcolata dal 2004 al 2006 utilizzando i campi di concentrazione della simulazione a 4 km.

BENE	2004	2005	2006	BENE	2004	2005	2006
BASILICA DI SUPERGA	1	1	1	CORO DELLA CHIESA SS TRINITA'	3	3	2
MAUSOLEO DELLA BELLA ROSINA	6	6	3	SACRESTIA CHIESA SS TRINITA'	4	4	3
PALAZZO DELL'UNIVERSITA'	1	1	1	VILLA DELLA REGINA	5	5	4
CHIESA S FRANCESCO DA PAOLA	6	6	4	GRAN RONDEAU	8	8	7
CANONICA DI S FRANCESCO DA PAOLA	8	8	6	ATRIO VIA PO 18	4	4	3
ARMERIA REALE E BIBLIOTECA REALE	1	1	1	ACCADEMIA DI MEDICINA	1	1	1
CAMPANILE DEL COMPL. ECCLESIASTICO	1	1	1	DIPARTIMENTO DI FILOSOFIA	1	1	1
ROTONDA DI MEDICINA (TALUCCHI)	2	2	2	MANICA 1925	5	5	3
EX LOCALI LICEO ARTISTICO	2	2	2	EX MANEGGIO REALE (CAVALLERIZZA)	3	3	2
CHIESA DI S. ROCCO	2	2	2	PALAZZINA SVIZZERA	1	1	1
CHIESA DELLA VISITAZIONE	1	1	1	CHIESA DI S. LORENZO	1	1	1
PALAZZO CARIGNANO - ALA SEICENTO	4	4	3	ARCHIVIO STATO SEZIONI RIUNITE	6	6	5
PALAZZO CARIGNANO - PARTE POST	1	1	1	MANICA CEPPI	4	4	3
CHIESA DEI SS MARTIRI	2	2	2	PALAZZO DEGLI ARCHIVI	1	1	1
SACRESTIA DELLA CHIESA DEI SS MARTIRI	4	4	3	CHIESA DI S. FILIPPO	1	1	1
ACCADEMIA ALBERTINA DI BELLE ARTI	1	1	1	SACRESTIA CHIESA DI S. FILIPPO	1	1	1
CONVITTO NAZIONALE UMBERTO I	1	1	1	ORATORIO DI S. FILIPPO	1	1	1
ORATORIO DELL'ADDOLORATA	2	2	2	CONVENTO DI S FILIPPO	1	1	1
CASA SPALLA	1	1	1	EX CASERMA GAMERRA	6	6	4
CHIESA DELLA SS TRINITA'	2	2	2				

Tab. 17: Classi di Rischio Individuale rispetto alla componente SO₂, calcolate per ciascun monumento, dal 2004 al 2006 utilizzando i campi di concentrazione a 4 km.

I beni considerati maggiormente in pericolo, quelli con classe di rischio ≥ 3 , sono 14.

Le classi di Rischio Individuale per questi monumenti diminuiscono dal 2004 al 2006 (in funzione della diminuzione della concentrazione di inquinante).

Nella tabella 18 sono riportate per ciascun bene, le classi di Rischio Individuale rispetto alla componente SO₂ calcolata per il 2005 e per il 2007 utilizzando i campi di concentrazione rispettivamente a 500 m ed 1 km.

BENE	2005	2007	BENE	2005	2007
BASILICA DI SUPERGA	1	1	CORO DELLA CHIESA DELLA SS TRINITA'	3	3
MAUSOLEO DELLA BELLA ROSINA	4	5	SACRESTIA DELLA CHIESA SS TRINITA'	4	4
PALAZZO DELL'UNIVERSITA'	1	1	VILLA DELLA REGINA	4	3
CHIESA S FRANCESCO DA PAOLA	6	5	GRAN RONDEAU	8	6
CANONICA DI S FRANCESCO DA PAOLA	8	7	ATRIO VIA PO 18	4	4
ARMERIA REALE E BIBLIOTECA REALE	1	1	ACCADEMIA DI MEDICINA	1	1
CAMPANILE DEL COMPLESSO ECCLESIASTICO	1	1	DIPARTIMENTO DI FILOSOFIA	1	1
ROTONDA DI MEDICINA (TALUCCHI)	2	2	MANICA 1925	5	4
EX LOCALI LICEO ARTISTICO	2	2	EX MANEGGIO REALE (CAVALLERIZZA)	3	3
CHIESA DI S. ROCCO	2	2	PALAZZINA SVIZZERA	1	1
CHIESA DELLA VISITAZIONE	1	1	CHIESA DI S. LORENZO	1	1
PALAZZO CARIGNANO - ALA SEICENTESCA	4	3	ARCHIVIO DI STATO SEZIONI RIUNITE	6	6
PALAZZO CARIGNANO - PARTE POSTERIORE	1	1	MANICA CEPPI	4	4
CHIESA DEI SS MARTIRI	2	2	PALAZZO DEGLI ARCHIVI	1	1
SACRESTIA DELLA CHIESA DEI SS MARTIRI	4	4	CHIESA DI S. FILIPPO	1	1
ACCADEMIA ALBERTINA DI BELLE ARTI	1	1	SACRESTIA DELLA CHIESA DI S. FILIPPO	1	1
CONVITTO NAZIONALE UMBERTO I	1	1	ORATORIO DI S. FILIPPO	1	1
ORATORIO DELL'ADDOLORATA	2	2	CONVENTO DI S FILIPPO	1	1
CASA SPALLA	1	1	EX CASERMA GAMERRA	5	5
CHIESA DELLA SS TRINITA'	2	2			

Tabella 18: Classi di Rischio Individuale rispetto alla componente SO₂, calcolate per ciascun monumento, per il 2005 e per il 2007 utilizzando rispettivamente le concentrazioni simulate su celle con lato di 500 m e 1 km.

Nella figura 27 è mostrata la georeferenziazione dei beni risultati più a rischio.



Fig. 27: Georeferenziazione dei beni risultati a maggiore Rischio Individuale

Conclusioni

Il calcolo del *Rischio Territoriale* rappresenta il primo grado di conoscenza del potenziale livello di aggressione di un territorio nei confronti dei beni culturali in esso collocati. La definizione di questo indicatore permette di individuare le aree a maggiore rischio di degrado considerando i fattori climatici e ambientali ed il numero di monumenti presenti.

Il *Rischio Individuale* è uno strumento più approfondito che fornisce, in un determinato periodo di tempo, una valutazione più precisa dell'interazione tra un bene (caratterizzato da uno specifico stato di conservazione) ed i fattori ambientali tipici del territorio in cui il bene considerato è localizzato.

Questi due indicatori sono stati calcolati in funzione delle concentrazioni di tre inquinanti atmosferici (PM_{10} , NO_x e SO_2) ritenuti, in base agli studi effettuati, fra i maggiori responsabili dei processi di annerimento ed erosione che interessano le superfici dei monumenti esposti all'aria.

Sono stati utilizzati i campi di concentrazioni (a differente risoluzione) forniti dal sistema modellistico deterministico basato su modelli euleriani di chimica e trasporto utilizzato operativamente nella Regione Piemonte per le valutazioni e previsioni sullo stato della qualità dell'aria. I valori di concentrazione così ottenuti presentano, com'è naturale trattandosi di modelli, uno scostamento rispetto alle concentrazioni osservate; tale scostamento, poiché dai confronti svolti rientra generalmente nei limiti richiesti dalla vigente normativa nazionale, non è stato preso in considerazione nel presente lavoro.

Per ottenere gli indicatori di Rischio, omogenei sul territorio nazionale indipendentemente dalla localizzazione dei beni, all'interno del sistema Carta del Rischio sono stati utilizzati i fattori di pericolosità che rispondono alle normative nazionali di classificazione (conformemente a quanto è stato fatto per la pericolosità legata agli eventi sismici, frane, esondazioni, etc).

In analogia con questo approccio, non essendo stati ancora definiti in maniera statistica gli intervalli certi di degrado per i beni culturali in relazione ai parametri considerati, le classi di rischio sono state scelte in riferimento ai limiti previsti dalla normativa vigente (D.M. 60 /2002).

Il Rischio Territoriale, calcolato utilizzando i campi di concentrazione con risoluzione di 4 km, risulta, come atteso, maggiore nella zona centrale caratterizzata da un elevato numero di beni e più alti livelli medi di inquinamento.

Il Rischio Territoriale quantificato rispetto al PM_{10} e NO_x presenta generalmente valori maggiori nel 2005 mentre quello calcolato rispetto a SO_2 diminuisce nel triennio considerato.

Il Rischio Individuale è stato definito per indicare quali siano i monumenti maggiormente a rischio potenziale di degrado tra quelli per i quali sono state realizzate dal 1995 al 2000 le schede di Vulnerabilità del bene; sui beni così individuati, si procederà nella fase successiva del progetto, all'aggiornamento dei dati di Vulnerabilità e di Rischio Individuale.

I risultati ottenuti utilizzando i campi di concentrazione con risoluzione di 4 km hanno evidenziato che dei 39 beni esaminati, 13 sono caratterizzati da elevati valori di rischio calcolati rispetto alla componente PM_{10} dell'indice di annerimento, 14 sono quelli rispetto alla componente SO_2 dell'indice di erosione, mentre 15 sono risultati i beni a maggiore rischio rispetto alla componente NO_x .

La maggior parte di questi beni individuati ricadono nell'area risultata a maggiore Pericolosità Territoriale.

L'aggiornamento della Vulnerabilità dovrà sicuramente essere effettuato per i beni che presentano valori di Rischio Individuale più alti; ma sarebbe altrettanto importante valutare l'andamento del-

lo stato di conservazione anche per gli altri monumenti, allo scopo di stabilire se, anche per questi beni, nel corso degli anni, si siano verificate alterazioni e danni alle superfici in funzione delle variazioni delle concentrazioni degli inquinanti atmosferici.

In questo lavoro sono stati calcolati i suddetti indicatori, utilizzando per l'anno 2005 anche i campi di concentrazione degli inquinanti derivanti da una simulazione diagnostica ad altissima risoluzione (celle con lato di 500 m) e per il 2007 i campi di concentrazione prodotti da una simulazione prognostica ad alta risoluzione (celle con lato di 1 km).

Il Rischio Territoriale ed il Rischio Individuale, calcolati con questi dati, risultano più dettagliati e più differenziati rispetto a quelli definiti su celle con lato di 4 km; l'aumento della risoluzione permetterebbe, in futuro, di arrivare ad una migliore definizione dei due indicatori.

Sulla base dei risultati raggiunti, appare fondamentale proseguire questo studio per il calcolo del terzo e più dettagliato indicatore di rischio (il Rischio Locale) attraverso il monitoraggio ambientale e la valutazione del degrado superficiale di uno specifico bene.

Ciò fornirà agli operatori del settore uno strumento efficace per una pianificazione delle attività di conservazione e manutenzione che tenga conto delle misure di controllo ambientale realizzate sul territorio.

Allegato 1

Il Sistema Modellistico diagnostico di ARPA Piemonte a supporto della attività di Valutazione Annuale dello stato di Qualità dell'Aria

A cura di Stefano Bande, Massimo Muraro, Roberta De Maria, Monica Clemente
ARPA Piemonte

Negli ultimi anni una delle principali attività svolte da ARPA Piemonte nell'ambito della modellistica di qualità dell'aria è stata incentrata sullo sviluppo ed implementazione di una catena modellistica deterministica basata sull'applicazione dei modelli euleriani di chimica e trasporto (i modelli C.T.M, Chemical Transport Models), dedicata alla simulazione dei fenomeni di dispersione, trasformazione e deposizione degli inquinanti atmosferici. Il sistema così sviluppato ha permesso di produrre un insieme di informazioni estremamente dettagliate, sia dal punto di vista spaziale che temporale, con il quale poter effettuare valutazioni sullo stato della qualità dell'aria sul territorio regionale, e supportare quindi Regione Piemonte nell'adempimento ai compiti istituzionali previsti dalla normativa nazionale e comunitaria

Il sistema modellistico è stato pensato per realizzare, attraverso l'applicazione delle più evolute tecniche di modellistica di dispersione, la migliore ricostruzione possibile dello stato della qualità dell'aria sul territorio regionale a partire da tutte le informazioni disponibili: l'Inventario Regionale delle Emissioni in Atmosfera (I.R.E.A.), le misure rilevate dal Sistema Regionale di Rilevamento della Qualità dell'Aria (S.R.R.Q.A.), i dati meteorologici provenienti dalla Rete Meteoidrografica di ARPA Piemonte e dai campi di analisi della modellistica meteorologica, nonché i dati geografici e cartografici che caratterizzano il territorio piemontese.

L'architettura del sistema è rappresentata schematicamente in Figura 28. Il sistema è stato progettato con un'architettura il più possibile modulare, in modo da limitare l'interdipendenza tra i singoli moduli che lo compongono, rendendo così più agevoli sviluppi e miglioramenti, che possono essere effettuati sui singoli componenti, senza modificare la struttura generale. I principali moduli che lo costituiscono sono:

- ✓ il modello di trattamento delle emissioni EMMA (ARIANET);
- ✓ il modello meteorologico diagnostico MINERVE (ARIANET, ARIA Tech);
- ✓ il modulo di interfaccia GAP/SurfPRO (ARIANET) per la stima della turbolenza atmosferica e dei parametri di dispersione;
- ✓ il modello euleriano di chimica e trasporto Flexible Air quality Regional Model, F.A.R.M (ARIANET), in grado di trattare i principali inquinanti atmosferici, compreso il particolato, e di considerare processi di trasporto, trasformazione chimica e deposizione secca ed umida.

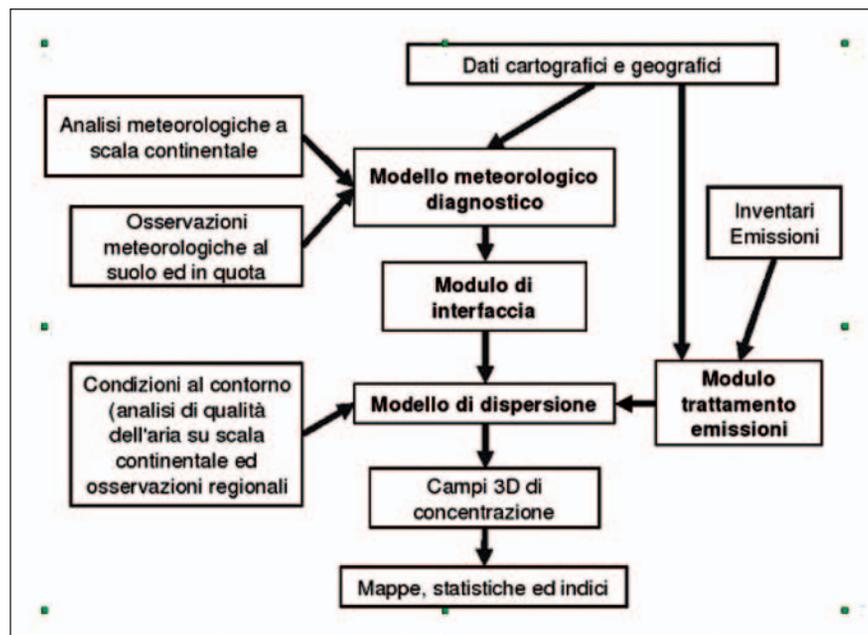


Fig. 28: Architettura del sistema modellistica utilizzato per la valutazione della qualità dell'aria in Piemonte.

Il dominio di calcolo (Figura 29) ha un'estensione di 220x284 km² e copre interamente il Piemonte e la Valle d'Aosta, buona parte della Liguria e della Lombardia (inclusa l'area metropolitana di Milano) e porzioni di territorio francese e svizzero, con una risoluzione orizzontale di quattro chilometri ed è sviluppato verticalmente su 12 livelli fino a circa 4000 m sopra il livello del suolo. La componente emissiva viene predisposta a partire dall'Inventario Regionale delle Emissioni del Piemonte (ultimo aggiornamento disponibile) con dettaglio su scala comunale a livello di attività SNAP (Selected Nomenclature for sources of Air Pollution) secondo la classificazione CORINAIR, opportunamente integrato con le informazioni riguardanti le sorgenti dei territori confinanti comprese nel dominio di calcolo (Inventario Regionale delle Emissioni per Lombardia e Valle d'Aosta, Inventario Nazionale per la Liguria ed inventario EMEP per Francia e Svizzera). Il modulo EMMA è stato utilizzato per produrre un input emissivo sulla griglia di calcolo, modulato temporalmente su base oraria e compatibile con il meccanismo chimico del modello FARM. I campi meteorologici sono stati ricostruiti con il modello diagnostico MINERVE basato sulla conservazione della massa e sulla minimizzazione della divergenza del campo di vento, il quale utilizza in input i dati provenienti dalle osservazioni della Rete Meteorografica di ARPA Piemonte, le misurazioni delle stazioni del Global Telecommunication System (GTS) e le elaborazioni della modellistica meteorologica numerica di European Centre for Medium range Weather Forecast (ECMWF).

A partire dai campi meteorologici elaborati da MINERVE, dalle informazioni sull'uso del suolo e sulle caratteristiche delle specie chimiche considerate, il modulo di interfaccia SurfPRO, basato su metodi di bilancio energetico superficiale e sulla teoria della similarità di MoninObukhov, effettua la stima dei campi bidimensionali dei parametri di turbolenza, delle diffusività turbolente e delle velocità di deposizione secca e umida per le diverse specie chimiche considerate dal modello euleriano. Infine i campi tridimensionali di concentrazione degli inquinanti sono prodotti dal modello FARM utilizzando come condizioni al contorno i campi di concentrazioni messi a disposizione dal servizio Prev'Air (<http://www.prevoir.org>) prodotti dal modello CHIMERE operante su scala continentale, corretti con i dati di qualità misurati dalle stazioni del S.R.R.Q.A.

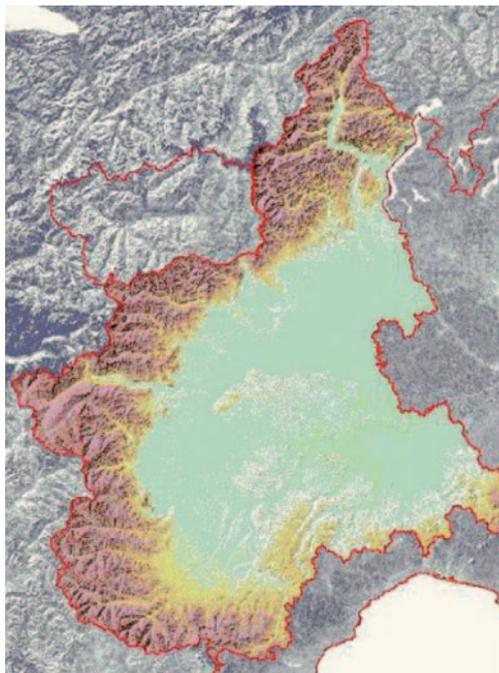


Fig. 29: Dominio di calcolo del sistema modellistico utilizzato nelle simulazioni per la valutazione della qualità dell'aria in Piemonte.

Il sistema modellistico, implementato a partire dall'anno 2005 e successivamente migliorato ed ottimizzato, è stato utilizzato per effettuare le Valutazioni di Qualità dell'aria relative agli anni 2004, 2005 e 2006. Le stime di concentrazione ottenute sono state infine validate con le misure del Sistema Regionale di Rilevamento della Qualità dell'Aria, ed i risultati del confronto, seppure diversificati per i diversi inquinanti, risultano soddisfacenti ed in linea con quanto previsto dalle norme comunitarie (1999/30/CE E 2000/69/CE) e nazionali (D.M 60/2002 e D.Lgs 183/2004) per l'incertezza sulla modellizzazione, evidenziando tuttavia una tendenza alla sottostima per quanto riguarda il particolato atmosferico ed il biossido di azoto[7]. Nella valutazione della qualità dell'aria per l'anno 2004, a differenza di quanto fatto nelle successive per l'anno 2005 e per l'anno il 2006, i dati osservati di qualità dell'aria non sono stati utilizzati nella costruzione delle condizioni al contorno, ma invece utilizzati per una assimilazione a posteriori, limitatamente ai campi al suolo di PM10, Ozono ed Ossidi di azoto (compreso il biossido).

A partire dalla simulazione per l'anno 2005 vengono utilizzati nella preparazione dell'input emissivo anche i dati provenienti dal Sistema Monitoraggio Emissioni (S.M.E) presenti in Piemonte.

Catena Operativa Prognostica Multiscala

ARPA Piemonte, partendo dall'esperienza maturata nella partecipazione al progetto Europeo FUMAPEX (*Integrated Systems for Forecasting Urban Meteorology, Air Pollution and Population Exposure, realizzato all'interno del 5° Programma Quadro*), ha sviluppato, in collaborazione con la società ARIANET, un sistema modellistico multiscala in grado di effettuare quotidianamente la previsione di concentrazione di inquinanti sul territorio regionale e su sottodomini ad alta risoluzione per il giorno di emissione ed il giorno successivo. Il sistema attualmente utilizza un dominio di background che interessa tutta la regione Piemonte (con una risoluzione orizzontale di 4 km) e due domini target (con 1 km di risoluzione orizzontale) centrati sull'area metropolitana di Torino e sulla Provincia di Novara.

L'approccio multiscala permette di considerare gli effetti delle sorgenti emissive localizzate al di fuori dei domini ad alta risoluzione e di meglio descrivere i fenomeni caratterizzati da più grandi scale spaziali.

Il sistema è funzionante in modo operativo dal luglio 2006 ed è sottoposto a continui aggiornamenti per migliorarne la qualità dei risultati.

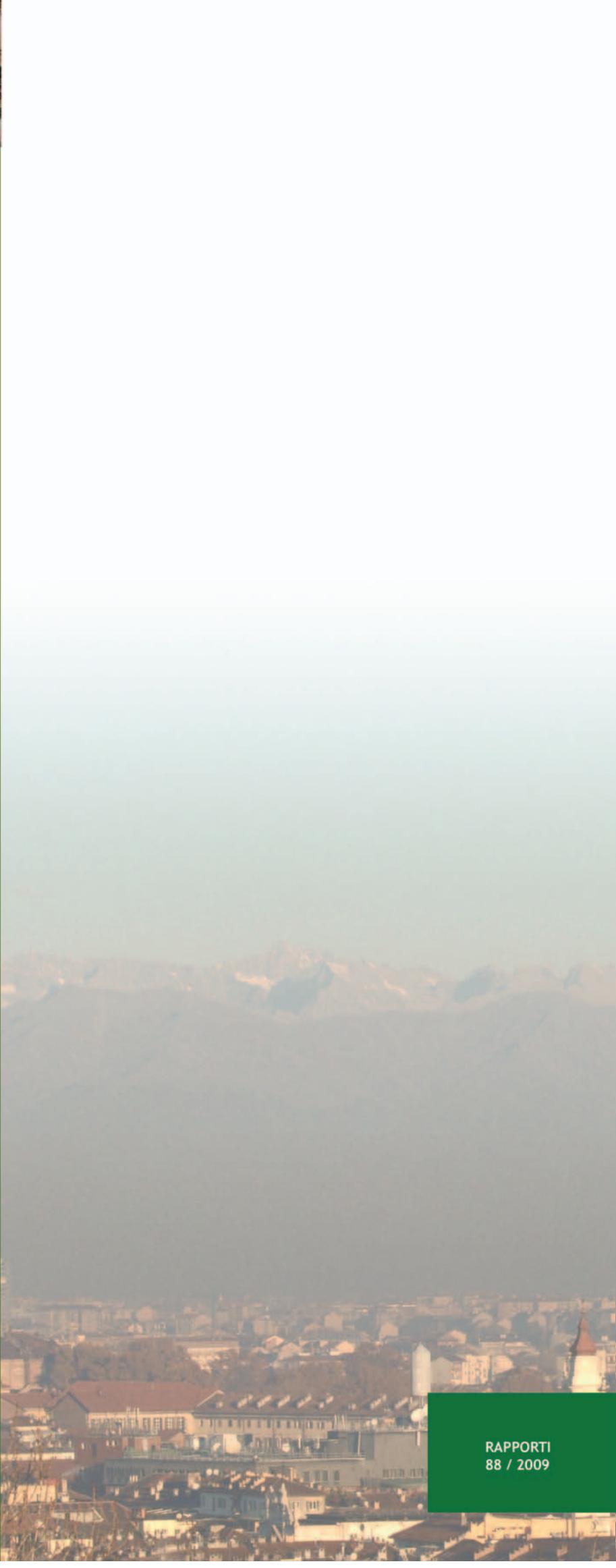
Per il presente lavoro sono state utilizzati i campi di concentrazione prodotti quotidianamente nel corso del 2007 dalla previsione per il giorno successivo a quello di emissione. Maggiori dettagli sull'architettura e sulle performance del sistema si possono trovare in [6].

Simulazione Diagnostica ad Alta Risoluzione sull'area Urbana Torinese

Allo scopo di valutare il fondo ambientale ante operam all'installazione di un impianto di termovalorizzazione, ARPA Piemonte ha effettuato una simulazione diagnostica ad alta risoluzione (500 m) su un dominio che interessa l'area metropolitana torinese. La simulazione è annuale e si riferisce al 2005; è stata effettuata con il sistema modellistico sviluppato ed utilizzato per le Valutazioni Annuali di Qualità dell'Aria ma con alcuni adattamenti (emissivi e meteorologici) necessari a causa dell'alta risoluzione adottata. Le simulazioni effettuate per la Valutazione annuale di Qualità dell'aria per l'anno 2005 sono state usate come condizioni al contorno.

Bibliografia

- [1] Ministero per i Beni Culturali ed Ambientali – Istituto Centrale per il Restauro, La Cartografia Tematica, *Carta del Rischio del Patrimonio Culturale*, vol. 1, a cura di A.T.I. MARIS, Bonifica, Roma 1996.
- [2] C. Brandi, *Teoria del Restauro*, Ed. Einaudi 1977
- [3] Ministero dei Beni Culturali ed Ambientali - Istituto Centrale per il Restauro, Il Sistema Informativo della Carta del Rischio, *Carta del Rischio del Patrimonio Culturale*, vol. 4, a cura di A.T.I. MARIS, Bonifica, Roma 1996;
- [4] G. Accardo, A. Altieri, C. Cacace, E. Giani, A. Giovagnoli, Risk map: a project to aid decision-making in the protection, preservation and conservation of Italian cultural heritage, *Conservation Science 2002*, pp 44-49
- [5] P. Bonanni, R. Daffinà, R. Gaddi, A. Giovagnoli, V. Silli, M. Cirillo, “L’impatto dell’inquinamento atmosferico sui beni di interesse storico – artistico esposti all’aperto”, *Rapporto APAT* (2006).
- [6] S. Bande, M. Clemente, R. De Maria, M. Muraro, S. Finardi, M. Giorcelli, M. G. Morselli; Multiscale Modelling System for Pollutant Concentration Predictions in Urban Areas, *Workshop on Air Pollution in Urban areas Torino*, 7 Novembre 2007.
- [7] S. Bande, M. Clemente, R. De Maria., M. Muraro, M.E. Picollo, G. Arduino, G. Calori, S. Finardi, P. Radice, C. Silibello, G. Brusasca, The Modelling System Supporting Piemonte Region Yearly Air Quality Assessment., *Atti della 6th International Conference on Urban Air Quality (UAQ 2007)*.



ISBN 978-88-448-0357-5



9 788844 803575

RAPPORTI
88 / 2009