

# **Telerilevamento delle Coperture in Cemento Amianto**

**Un prezioso strumento di analisi a supporto delle valutazioni delle coperture in cemento amianto e del loro stato di conservazione**

**Mercoledì 27 Maggio 2015, Monza**

## **La mappatura delle coperture in cemento-amianto in Lombardia**

**Dario Bellingeri**  
**ARPA Lombardia**

## Sommario:

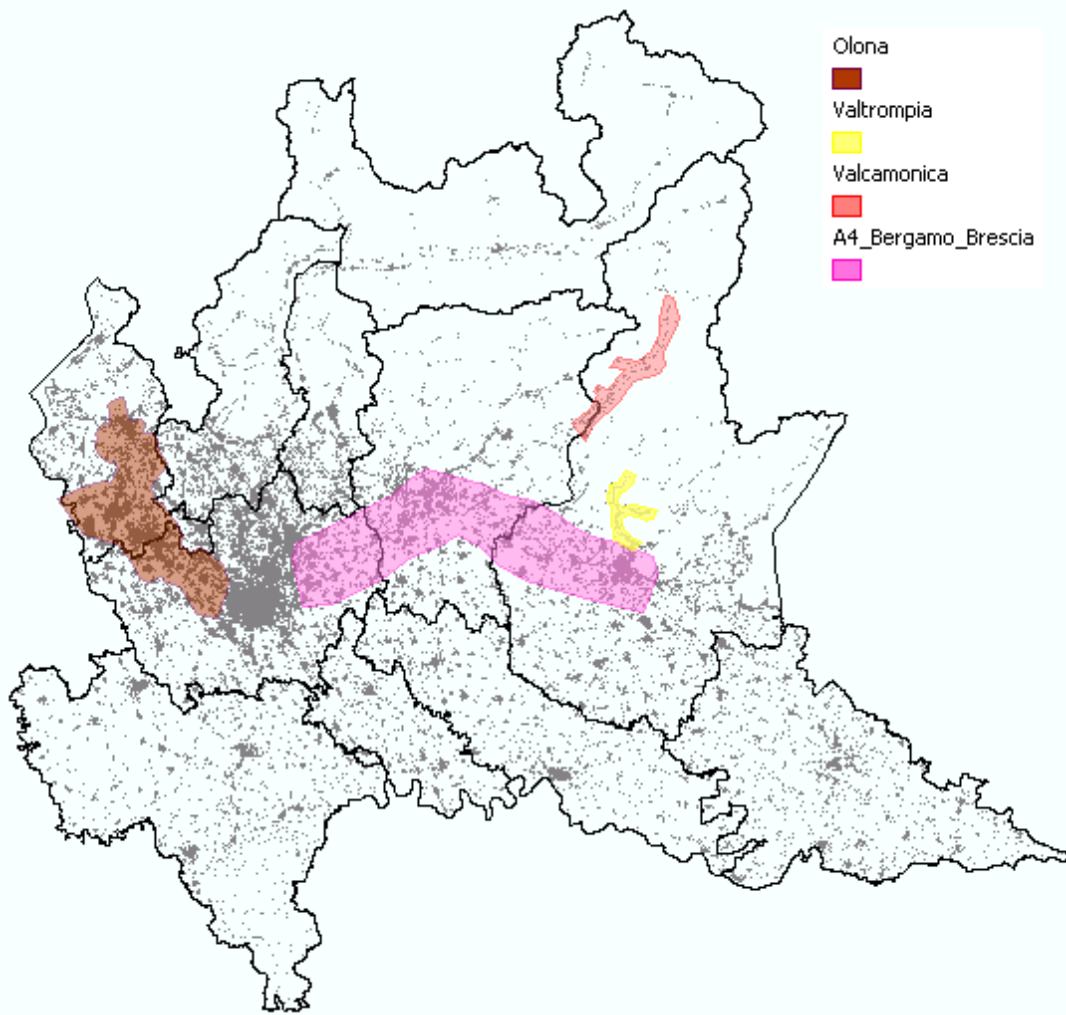
- La mappatura delle coperture nell'ambito del PRAL (2007)
- L'aggiornamento della mappatura al 2012
- Analisi dei risultati

## Il contesto

- La mappatura delle coperture in cemento-amianto in Lombardia è stata prevista dalla **Legge Regionale N°17/2003**.
- Il **Piano Regionale Amianto della Lombardia (PRAL)**, approvato con D.g.r. del 22/12/2005 n.8/1526, ha definito i requisiti e le modalità di esecuzione della mappatura, basate su telerilevamento da aereo con scanner iperspettrale.
- La accuratezza delle classificazioni ottenute in precedenti rilievi era risultata superiore al 90%.

# La mappatura 2007 nell'ambito del PRAL

## Le aree rilevate



Area	Km <sup>2</sup>
Bacino settentrionale dell'Olona	653
Corridoio autostradale Milano-Brescia	1202
Valcamonica	144
Valtrompia	63
<b>Totale</b>	<b>2062</b>

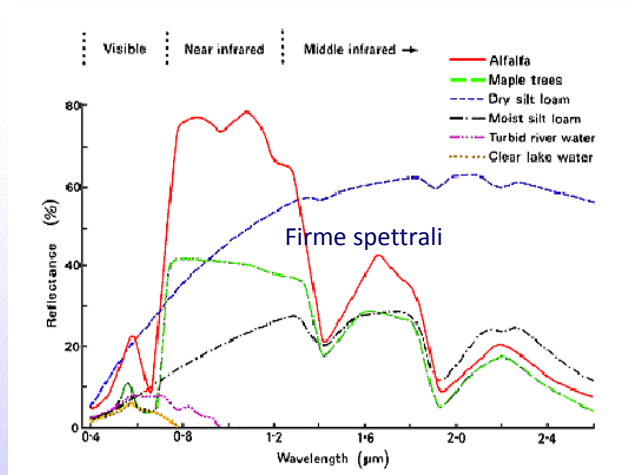
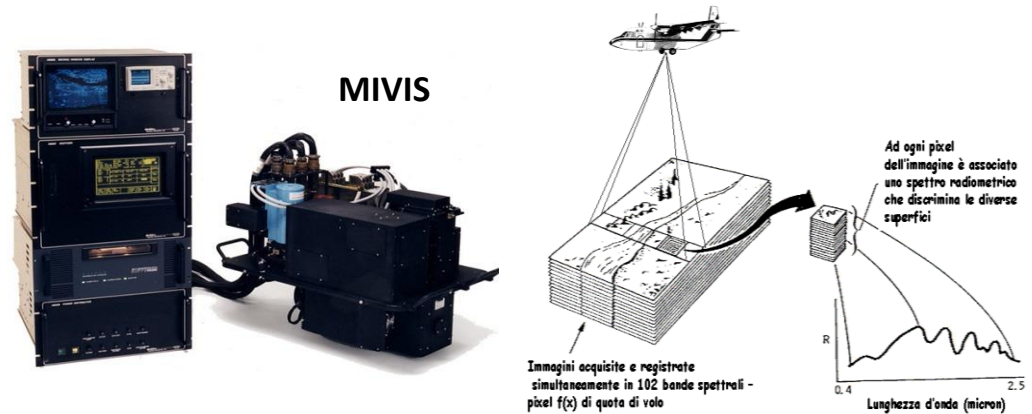
**N° Comuni mappati: 321**  
**Popolazione: 2.9 milioni,**  
**quasi il 30% della**  
**popolazione della Lombardia**



# La mappatura 2007 nell'ambito del PRAL

## Il metodo

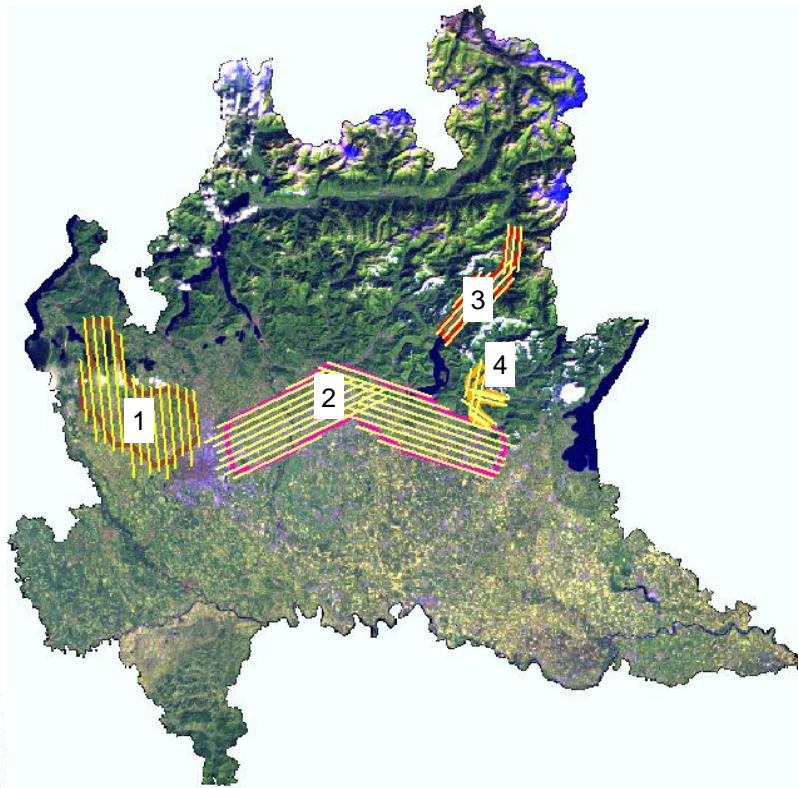
### MIVIS: Multispectral Infrared and Visible Imaging Spectrometer



Spettrometro	Bande Spettrali	Lunghezza d'onda ( $\mu\text{m}$ )
1	1 - 20	0.43 - 0.83
2	21 - 28	1.15 - 1.55
3	29 - 92	1.98 - 2.48
4	93 - 102	8.18 - 12.70

# La mappatura 2007 nell'ambito del PRAL

## Il metodo



Piani di volo

Altezza di volo dal suolo	~ 1500 m
Dimensione del pixel	~ 3 m
Larghezza della strisciata	~ 3000 m
Sovrapposizione tra le strisciate	> 20%
N° totale strisciate	47
Lunghezza totale strisciate	8100 Km
Periodo delle riprese	Luglio-Agosto 2007

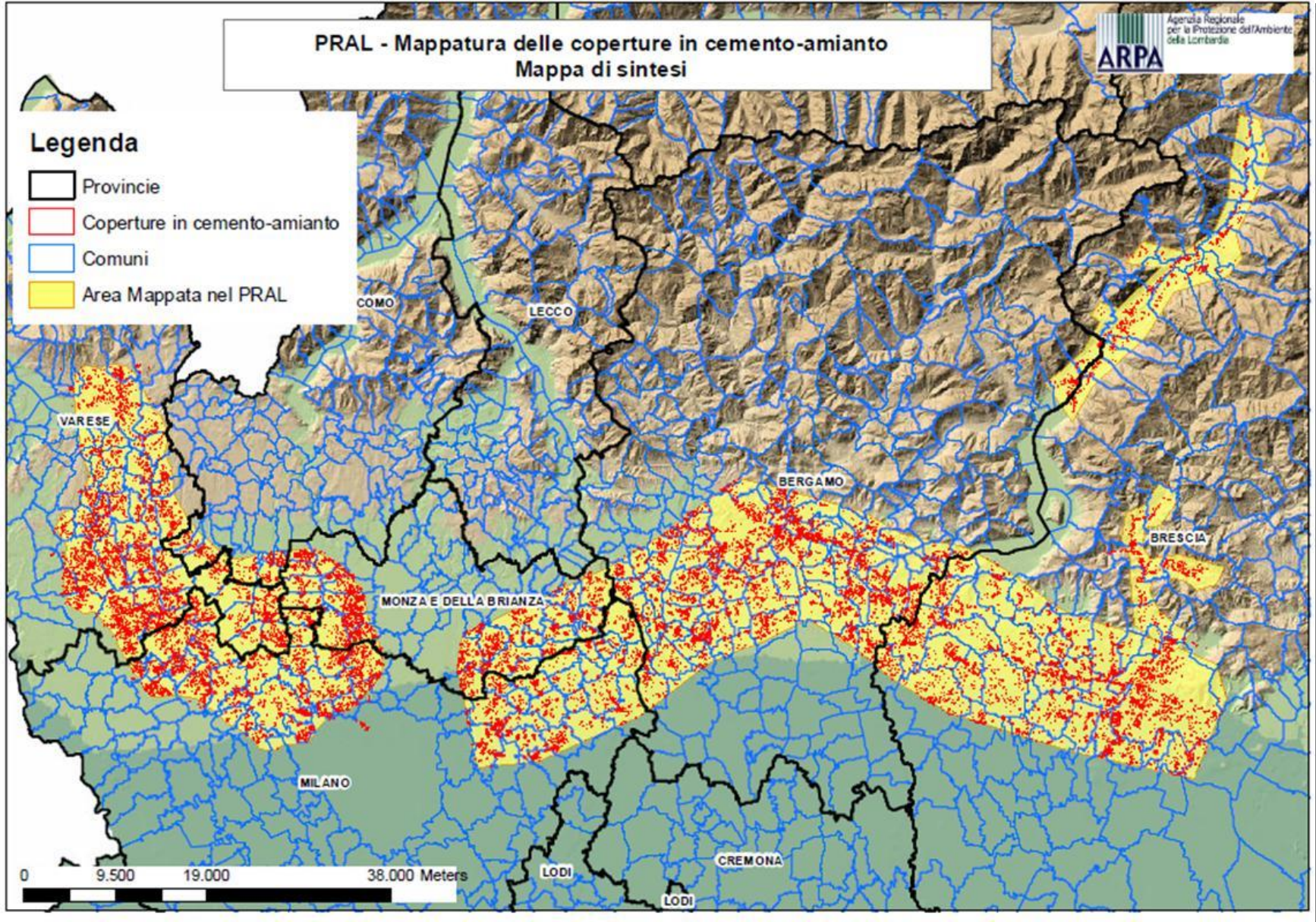
## Obiettivi

- Individuare puntualmente le coperture in cemento-amianto all'interno dell'area rilevata.
- Fornire la dimensione del problema in Lombardia in termini di stima dei quantitativi di coperture in cemento-amianto da rimuovere.



# La mappatura 2007 nell'ambito del PRAL

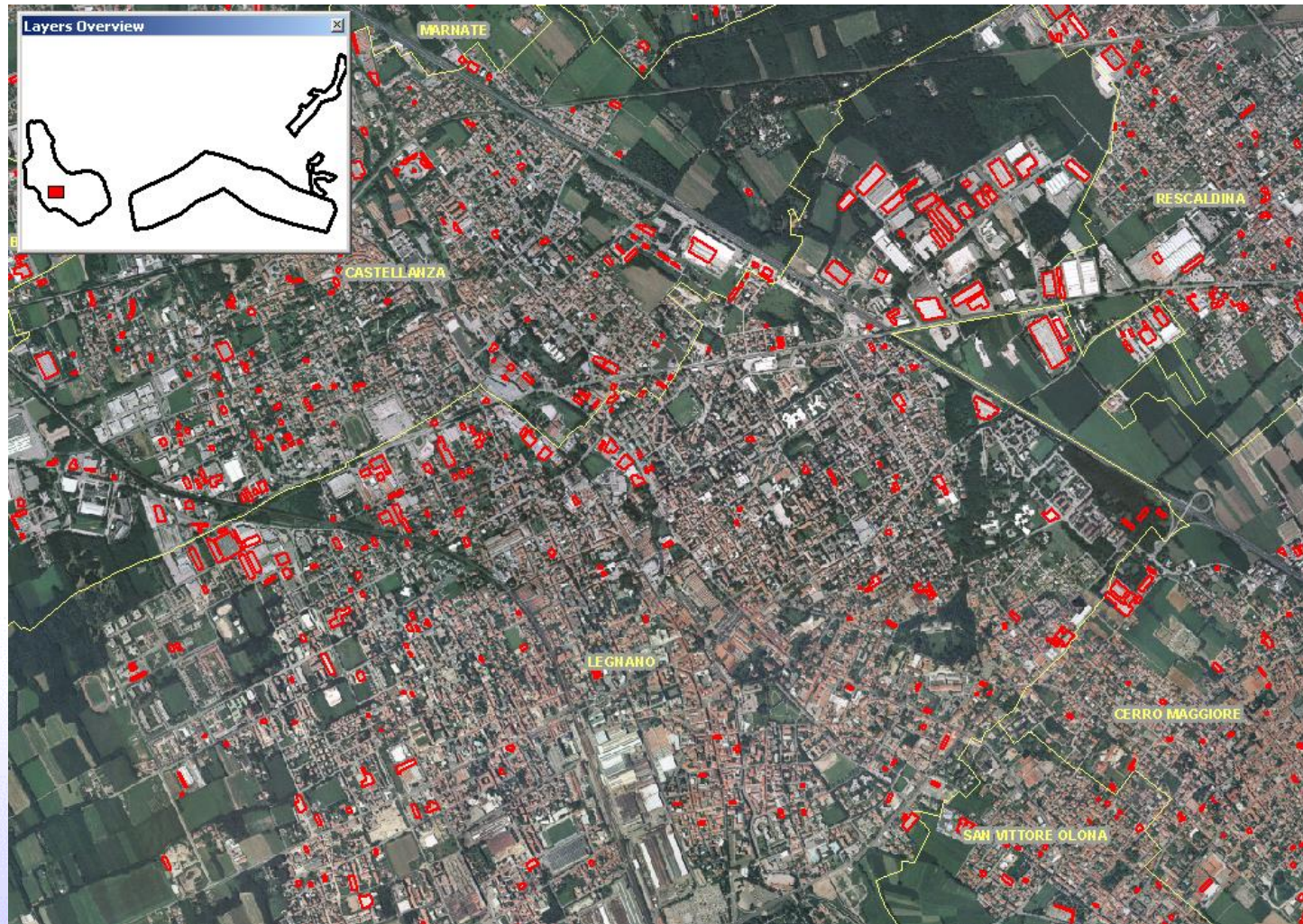
## I risultati: mappatura





## I risultati: mappatura

Es: bacino settentrionale dell'Olona



## I risultati: statistiche sull'area rilevata

**N° Comuni mappati: 321**

Area	Superficie Km <sup>2</sup>	Coperture in cemento-amianto		
		N° coperture	Superficie (Km <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )
Bacino settentrionale dell'Olona	653	10 445	8.19	273 986
Corridoio autostradale Milano-Brescia	1 202	13 258	13.87	462 273
Valcamonica	144	733	0.56	18 821
Valtrompia	63	525	0.42	14 122
<b>Totale</b>	<b>2 062</b>	<b>24 961</b>	<b>23.05</b>	<b>768 202</b>

**Fattore di conversione da superficie a volume adottato dal PRAL:  
30 m<sup>2</sup> corrispondono a 1 m<sup>3</sup>**



## Risultati: estrapolazione all'intera Regione mediante l'uso della cartografia DUSAF (aree urbanizzate come proxy)

Province	Stima Volume 2007 (m <sup>3</sup> )
BG	320 010
BS	446 473
CO	160 964
CR	174 014
LC	97 909
LO	90 765
MI+MB	784 808
MN	226 980
PV	205 664
SO	46 112
VA	278 774
<b>Regione</b>	<b>2 832 473</b>

## I risultati: accuratezza e limiti della mappatura

Accuratezza totale: (calcolata su 115 punti di verità a terra)	91.3%
Falsi positivi:	2.1%
Falsi negativi:	7.9%



**Difficoltà a rilevare correttamente coperture in cemento-amianto con superficie inferiore a 100 m<sup>2</sup>**



**Difficoltà a rilevare coperture in cemento-amianto parzialmente rinnovate**



**Impossibilità di riconoscere coperture in cemento-amianto incapsulate o sovracoperte**

## Il contesto

- Nel 2012 si tenne un ciclo di incontri tra le Direzioni Generali competenti in materia di amianto ed ARPA Lombardia che portarono alla formulazione della **Legge Regionale 31 Luglio 2012 N° 14**, “Modifiche e integrazioni alla Legge Regionale 29 Settembre 2003 N° 17 (Norme per il risanamento dell'ambiente, bonifica e smaltimento dell'amianto)”.
- Durante quegli incontri ARPA Lombardia propose di farsi carico dell'aggiornamento della mappatura del 2007 sfruttando le ortoimmagini AGEA 2012 che la Regione aveva già pianificato di acquistare.
- La proposta, il cui vantaggio era di garantire un risultato qualitativamente elevato senza richiedere oneri aggiuntivi, fu recepita dalla Regione con la **D.G.R. IX/3913 6 Agosto 2012**, “Attività inerenti la messa a sistema delle fonti di informazione sulla presenza di amianto in Lombardia finalizzata al monitoraggio della relativa bonifica” che **al punto 6 stabiliva di “aggiornare e integrare le informazioni derivanti dalla mappatura incaricando ARPA di rivalutare le quantità presenti utilizzando le immagini aerofotografiche derivanti dal nuovo volo AGEA 2012”**.

## Il metodo

- Fotointerpretazione a video delle ortoimmagini AGEA 2012. Interpretati oltre 26000 poligoni.
- Tipologia di trasformazione subita dalle coperture in cemento-amianto dal 2007 al 2012:

---

1 - Non variato

---

2 - Variato

---

3 - Variato con installazione di pannelli fotovoltaici

---

4 - Variato a seguito di demolizione dell'edificio

---

## Il metodo

**Esempi della classe 2: coperture variate (bonificate o in rari casi incapsulate o sovracoperte)**



2007



2012



2007



2012



## Il metodo

**Esempi della classe 3: coperture variate con installazione di pannelli fotovoltaici**



**2007**

**2012**



## Il metodo

### Esempi della classe 4: edificio demolito

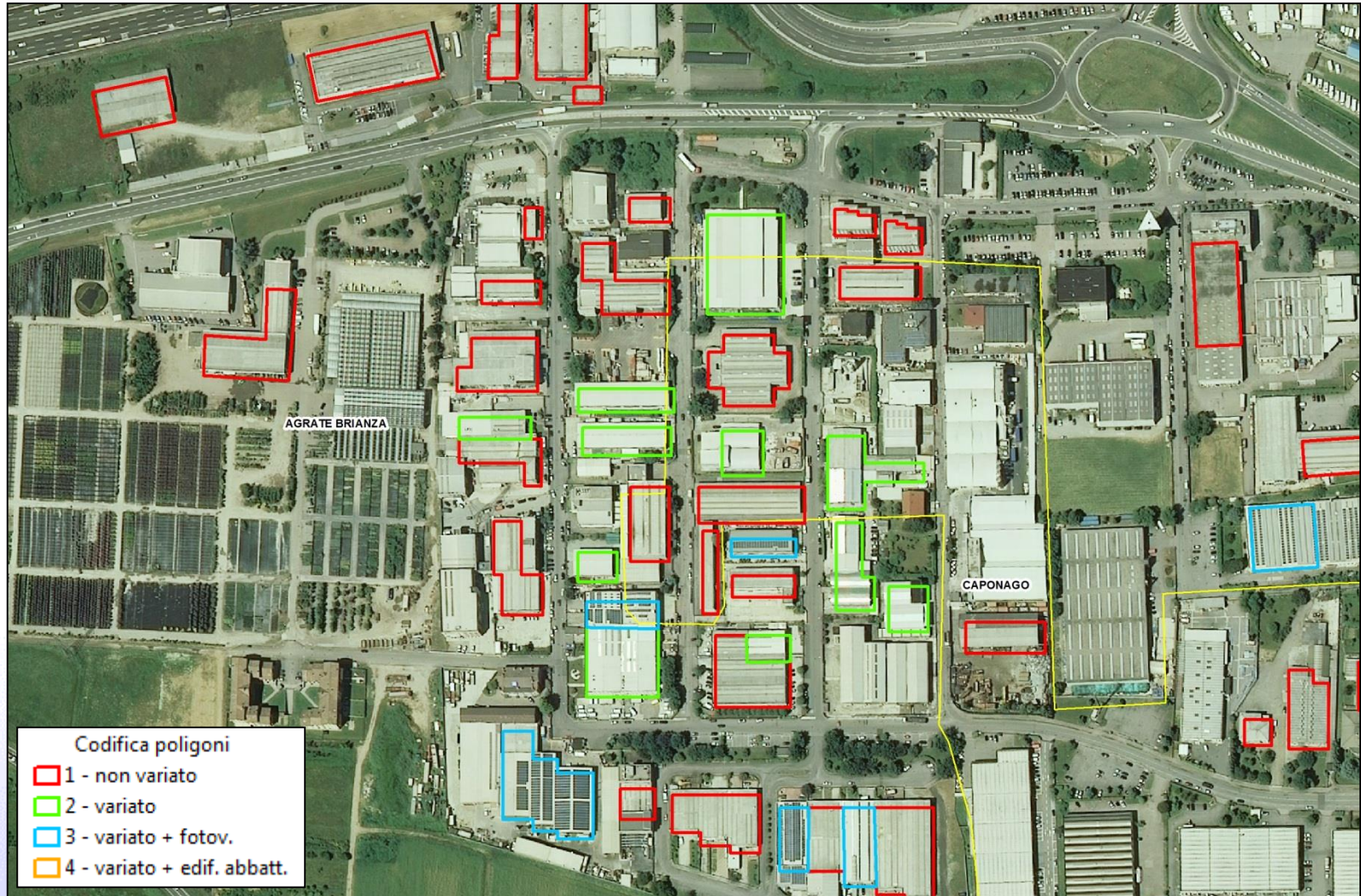


2007

2012

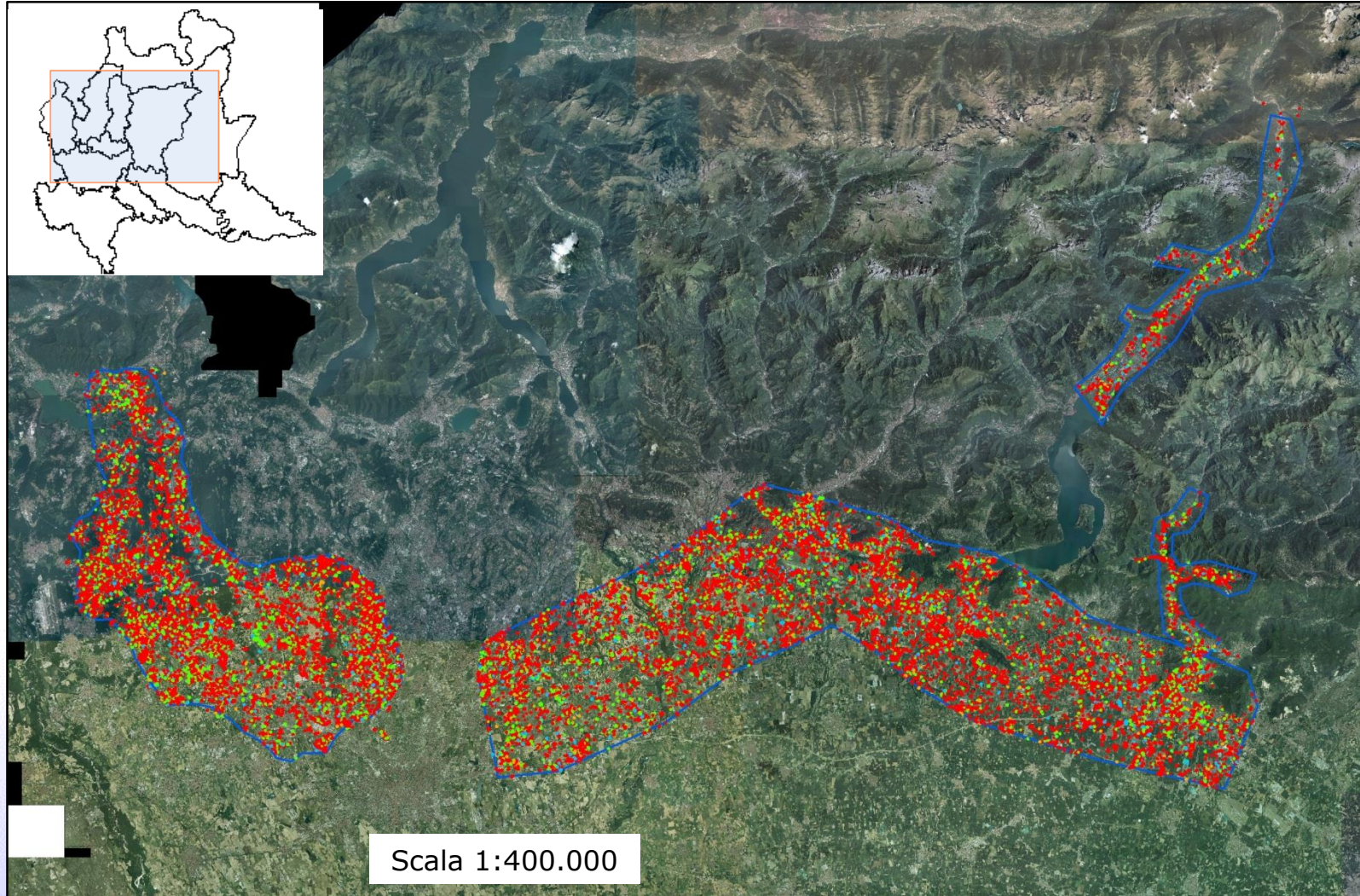


## Risultati: esempio mappatura



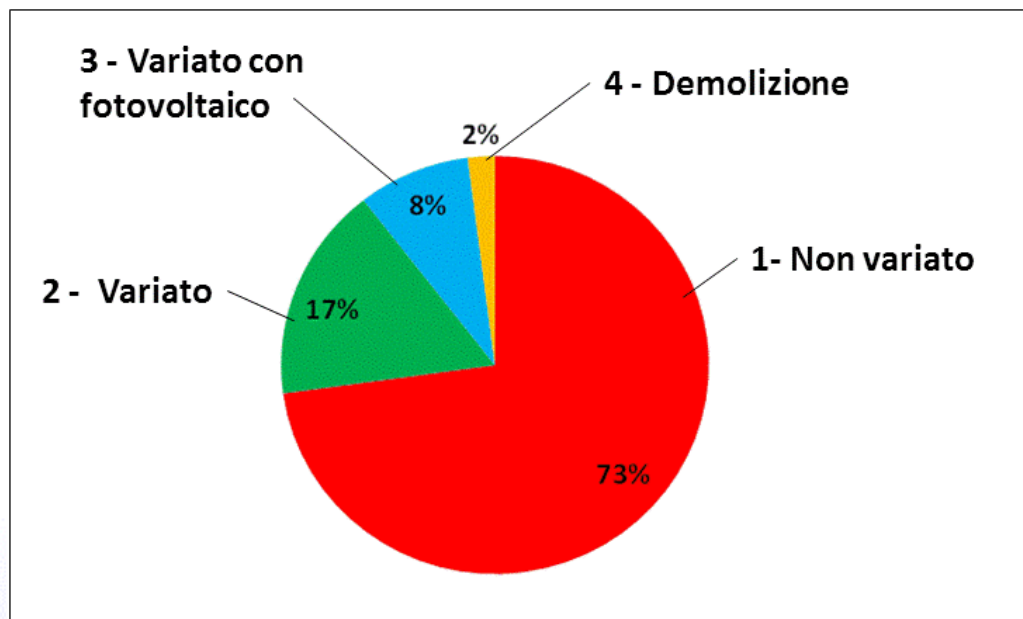


## Risultati: esempio mappatura



## Risultati: statistiche sull'area mappata

**Superfici (%)**



**Volumi (m<sup>3</sup>)**

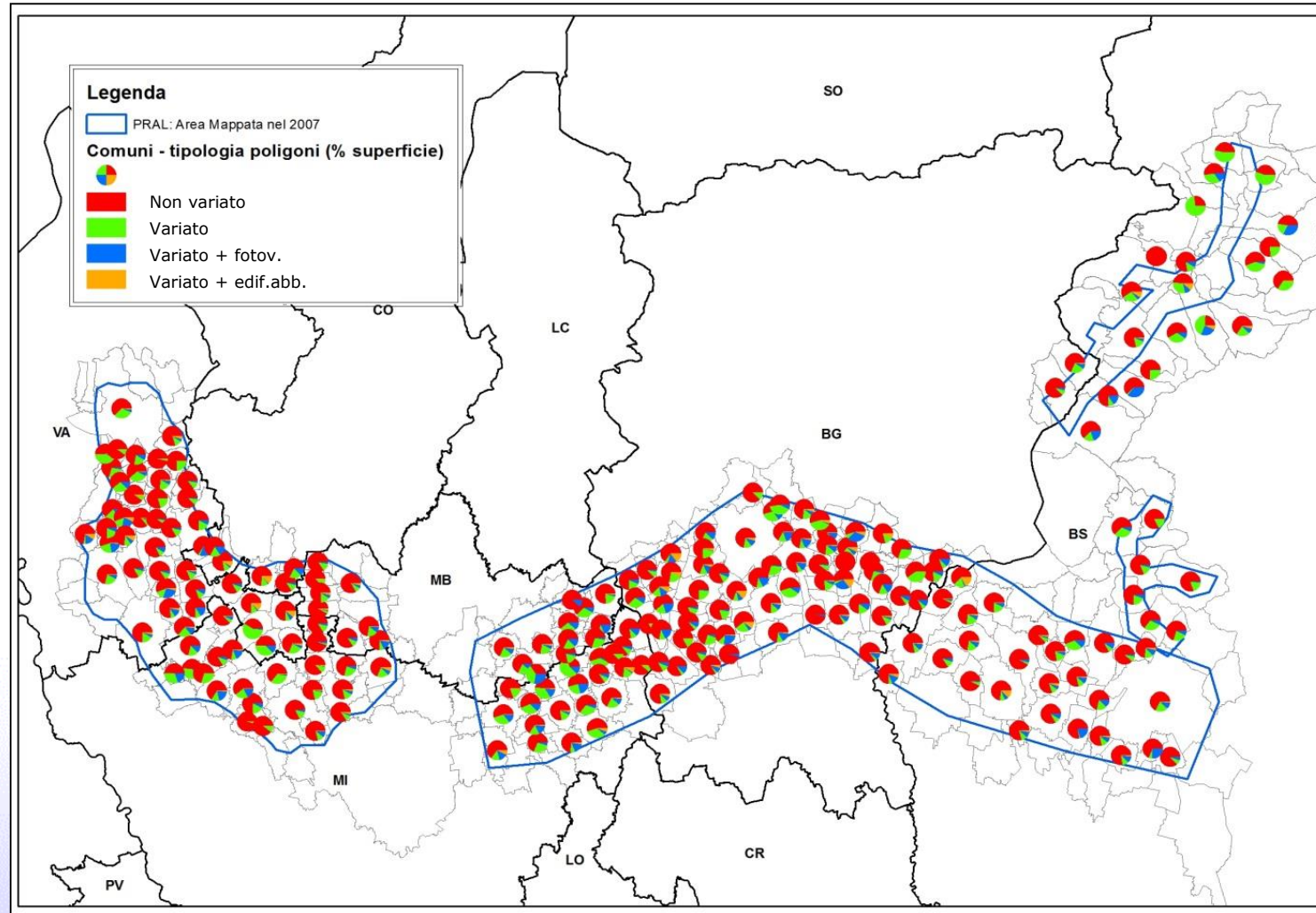
Codice	Volume (m <sup>3</sup> )
1 - Non variato	559 488
2 - Variato	127 803
3 - Variato con installazione di pannelli fotovoltaici	65 286
4 - Variato a seguito di demolizione dell'edificio	15 626
<b>Totale</b>	<b>768 203</b>

**Totale superfici variate dal 2007 al 2012: 27%**

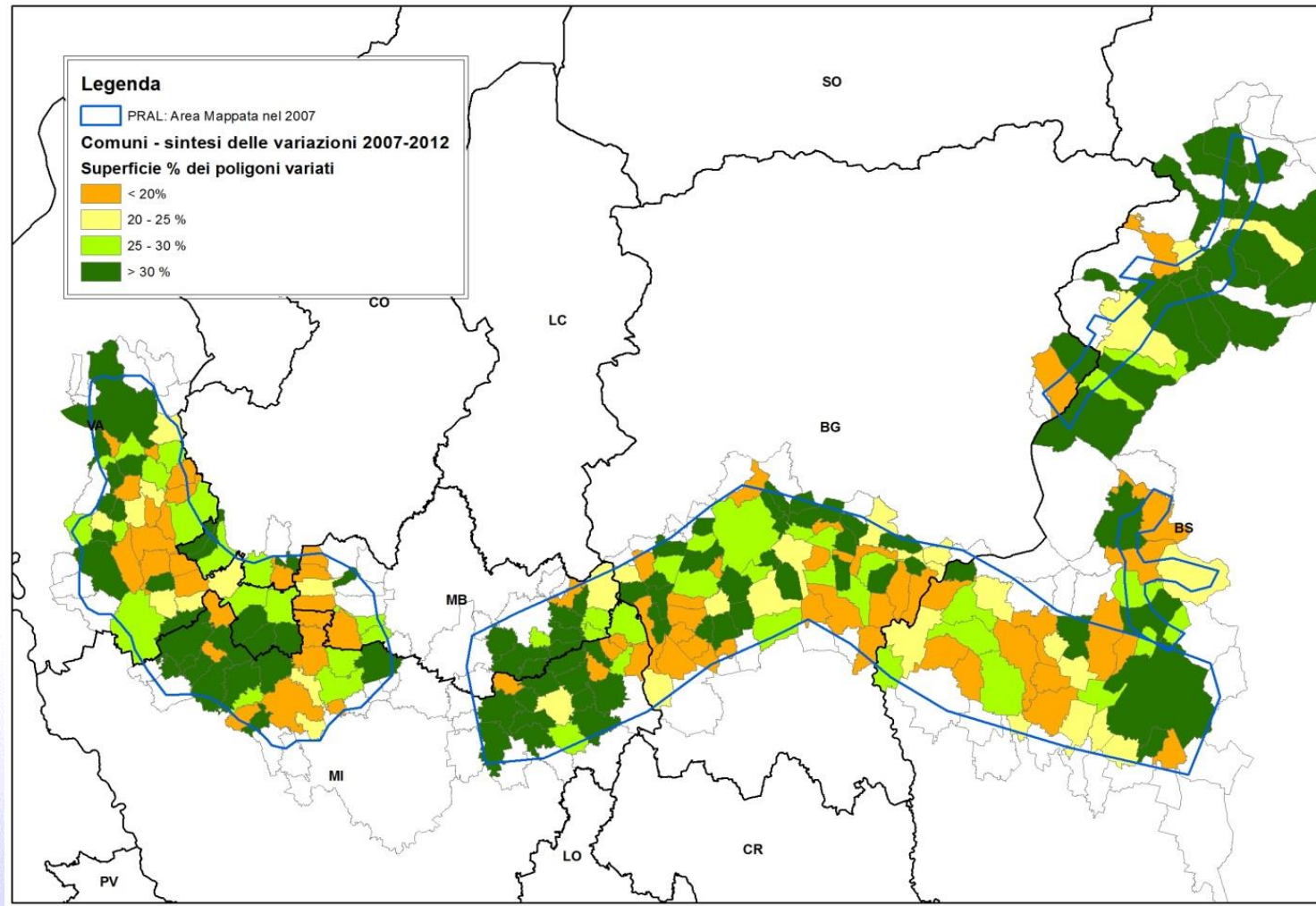
**Nell'ambito delle classi 2 e 3 le coperture incapsulate o sovracoperte sono inferiori all'1%**



## Risultati: sintesi a scala comunale

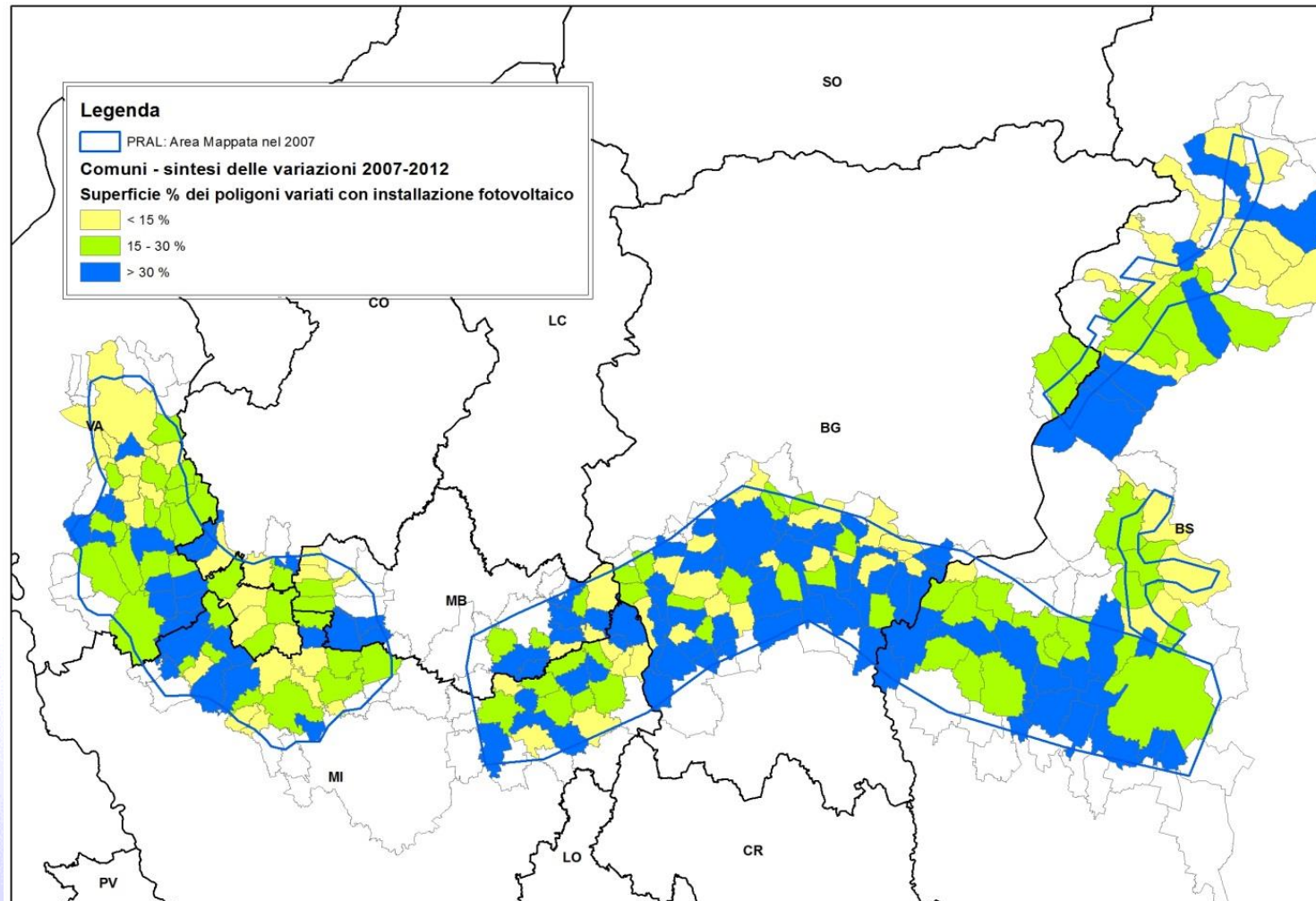


## Risultati: coperture variate

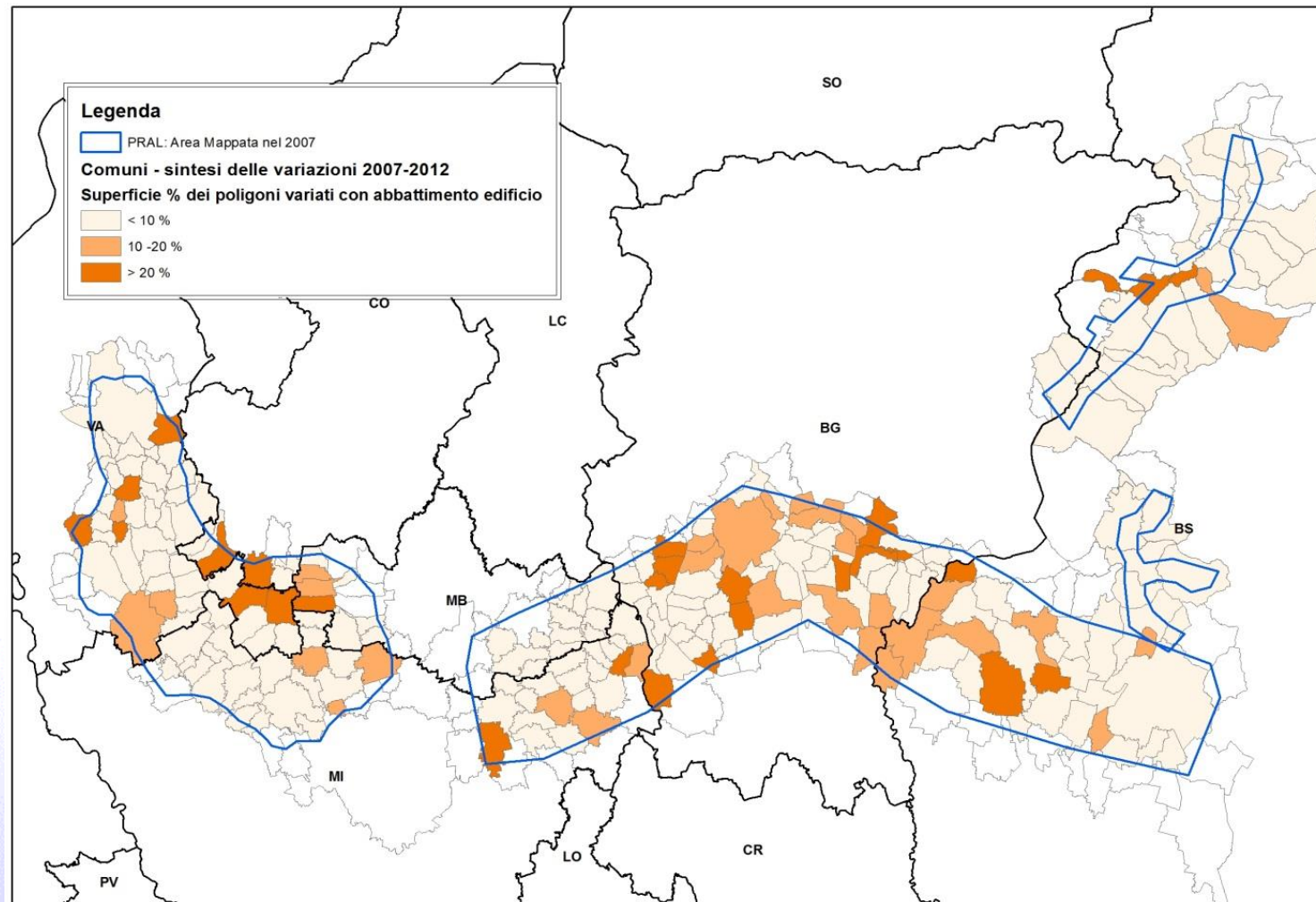




## Risultati: coperture variate con fotovoltaico

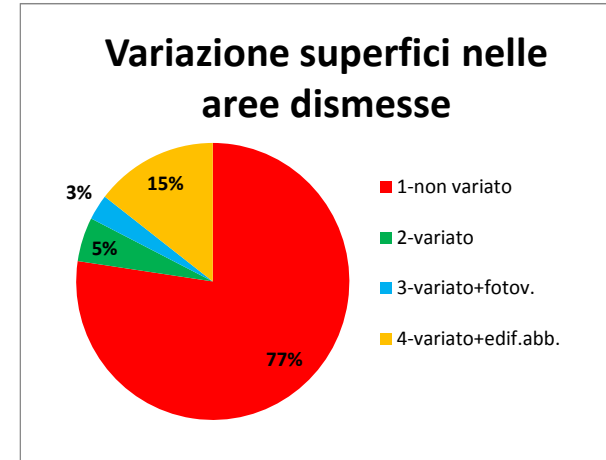
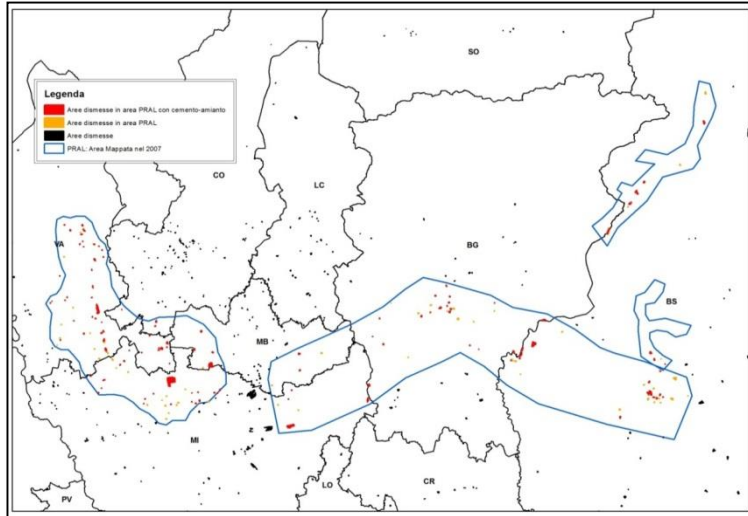


## Risultati: coperture variate per demolizione dell'edificio



## Risultati: coperture variate nelle aree dismesse

Nel 2008-2010 sono state censite 746 aree dismesse. Di queste, 191 (26%) ricadono all'interno dell'area oggetto della mappatura



Variazione totale superfici: 26%, demolizioni: 15%



2007

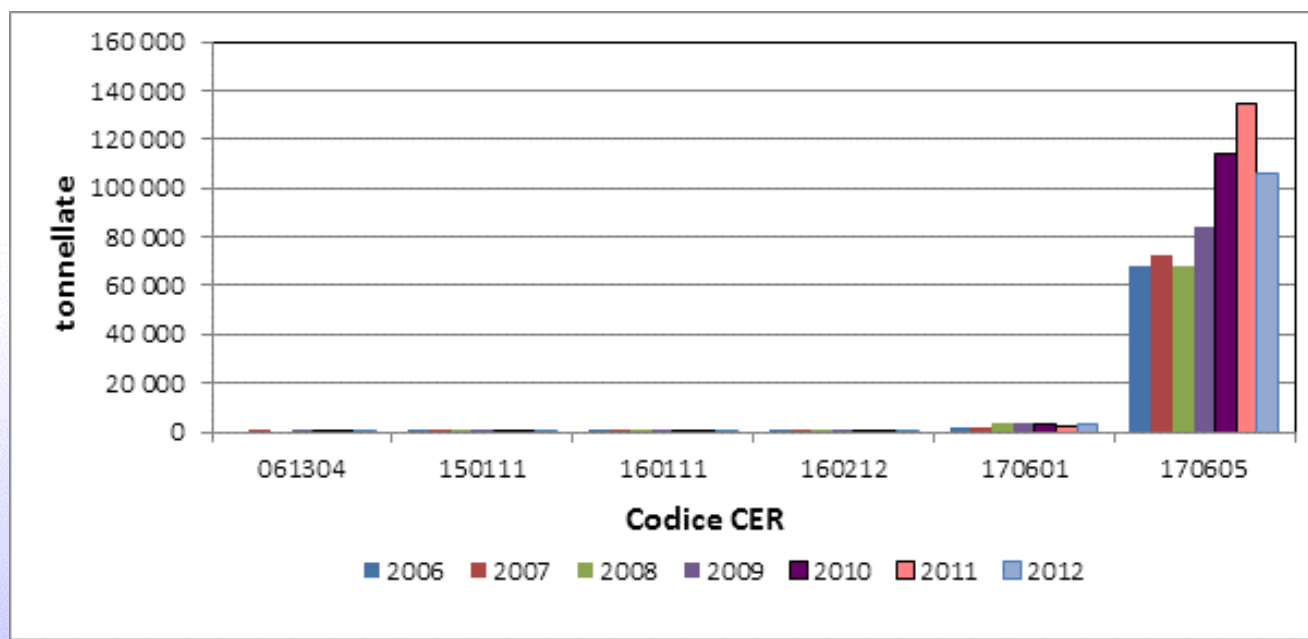


2012



## Il confronto con i dati di produzione rifiuti c.a. (dati MUD)

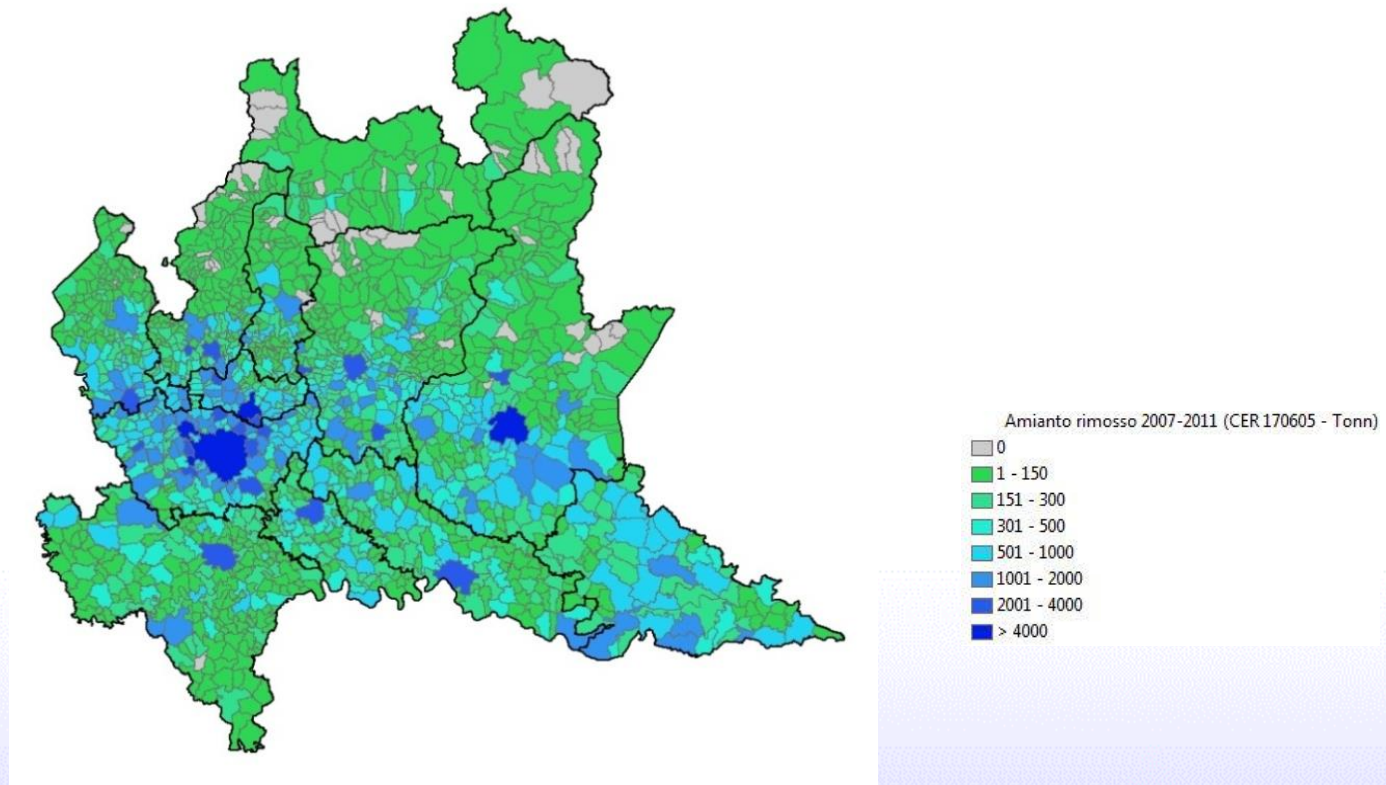
- I dati MUD sono complementari ai dati telerilevati perché forniscono i flussi di cemento-amianto rimosso annualmente mentre i dati telerilevati forniscono gli stocks di cemento-amianto presenti e sono acquisiti una-tantum (per ora: 2007 e 2012).
- I dati MUD forniscono informazioni sui flussi di **6 diverse tipologie di rifiuti contenenti amianto** (codici CER):
  - 061304 rifiuti della lavorazione dell'amianto
  - 150111 imballaggi metallici contenenti matrici solide porose pericolose (ad esempio amianto)
  - 160111 pastiglie per freni, contenenti amianto
  - 160212 apparecchiature fuori uso, contenenti amianto in fibre libere
  - 170601 materiali isolanti contenenti amianto
  - 170605 materiali da costruzione contenenti amianto**



# L'aggiornamento al 2012 della mappatura

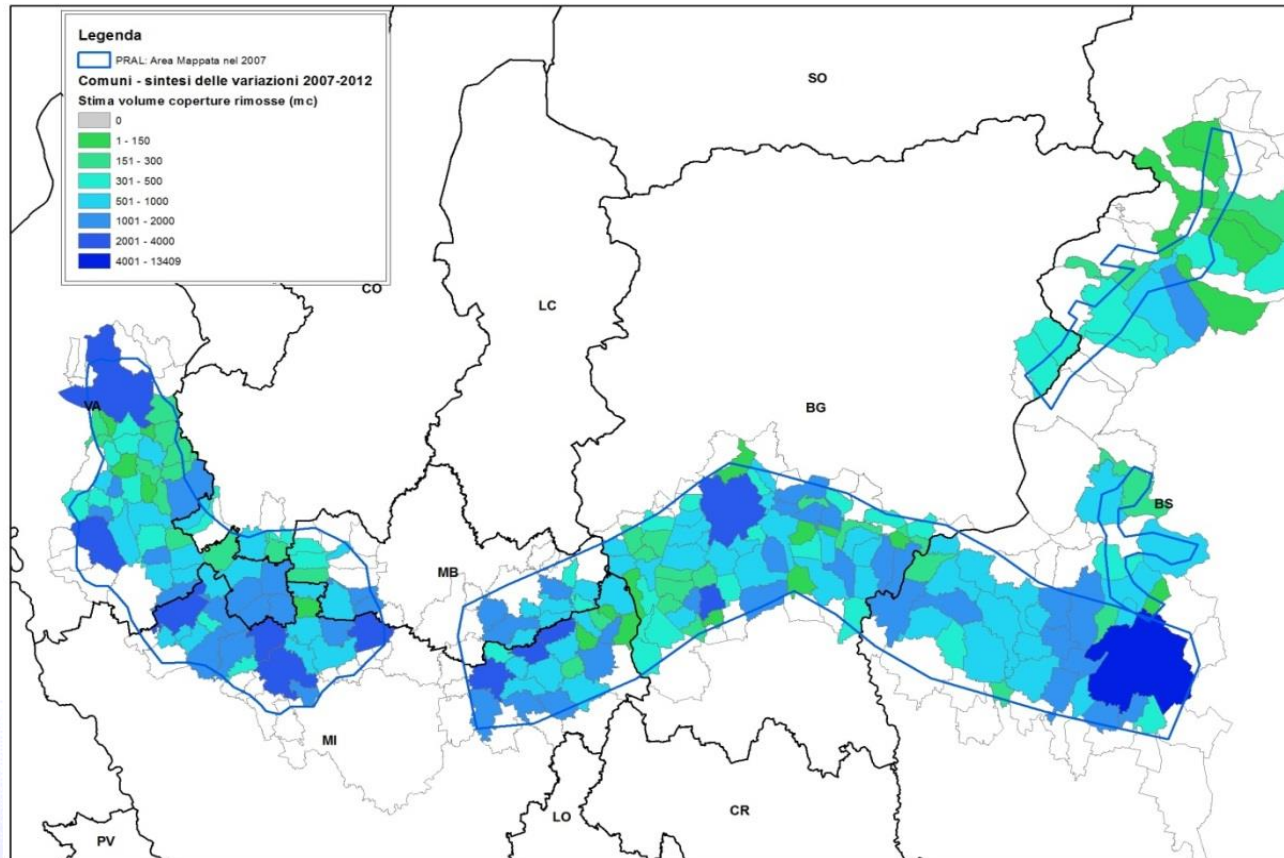
## Il confronto con i dati MUD

Produzione complessiva comunale di rifiuti CER 170605 nel periodo 2007-2011



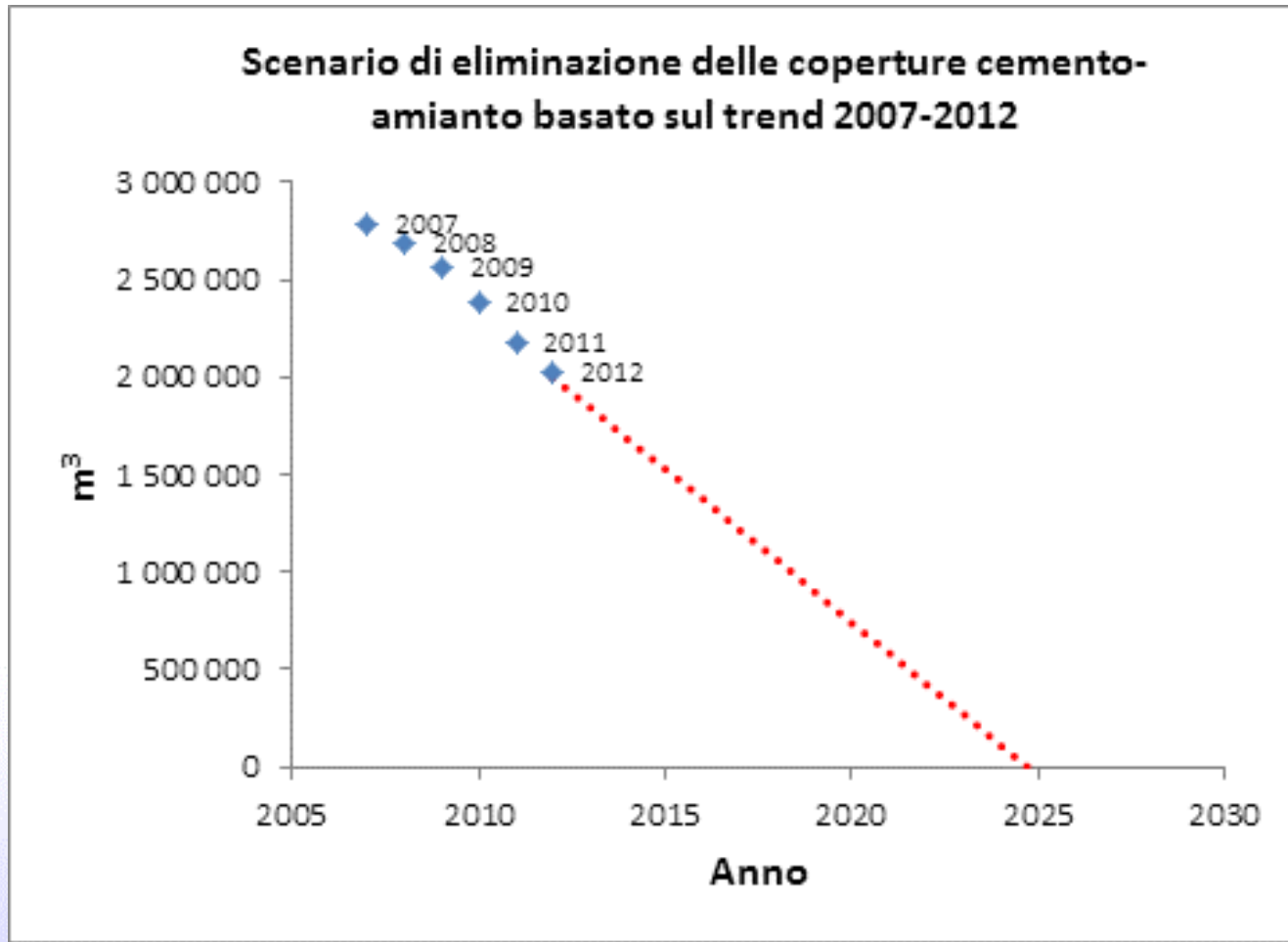
# L'aggiornamento al 2012 della mappatura

## Il confronto con i dati MUD

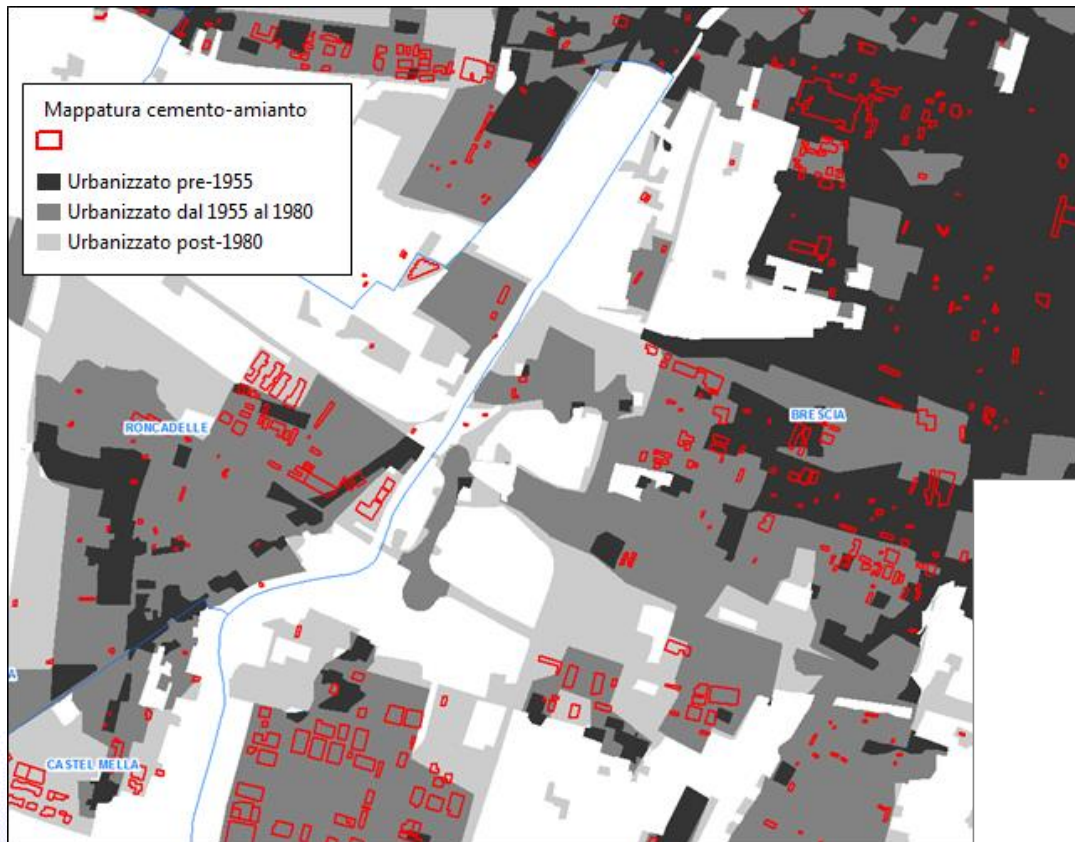




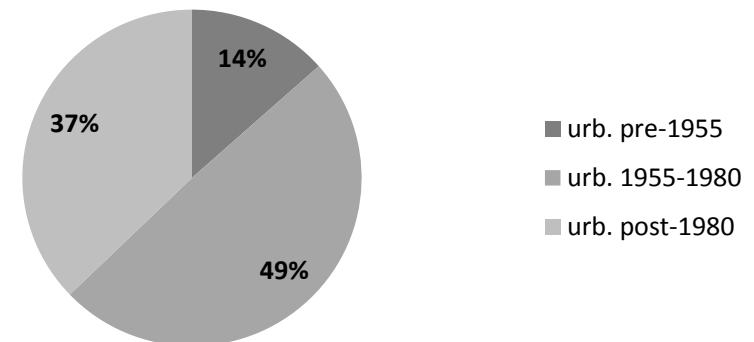
## Proiezioni



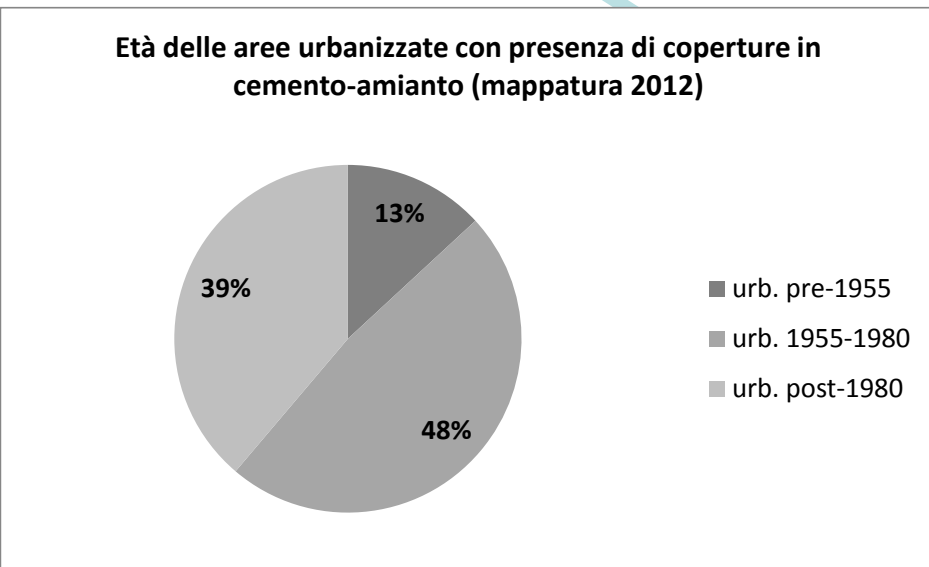
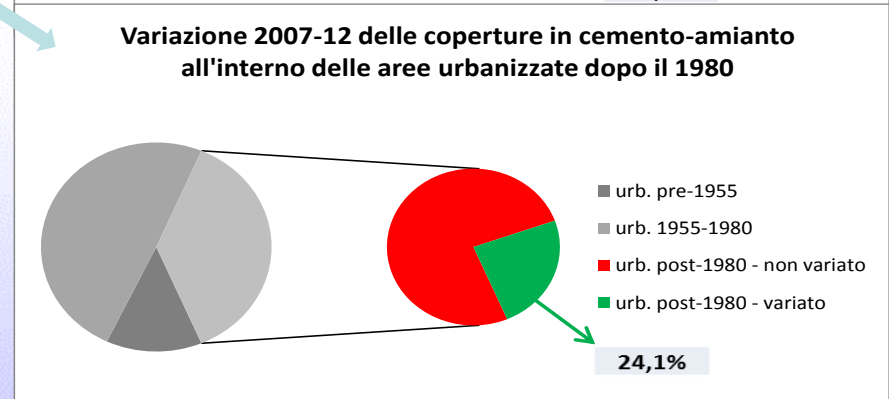
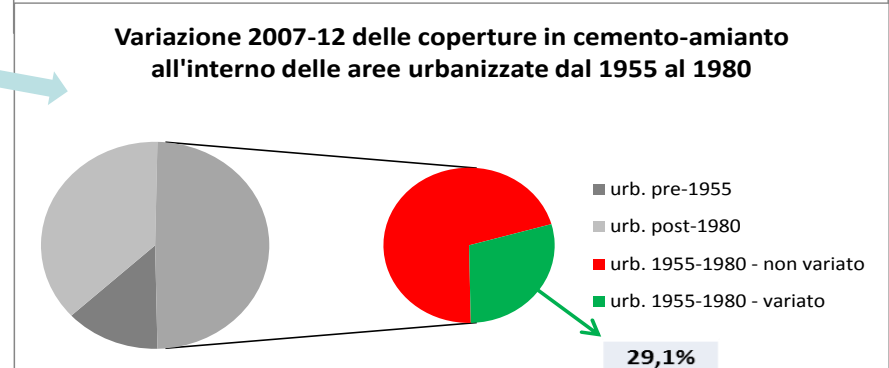
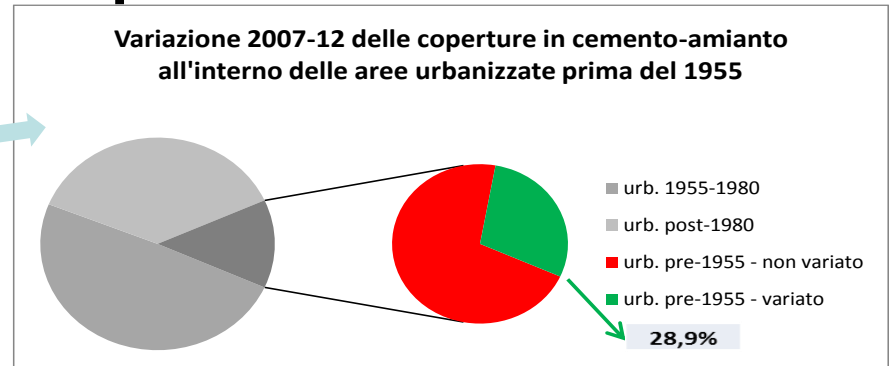
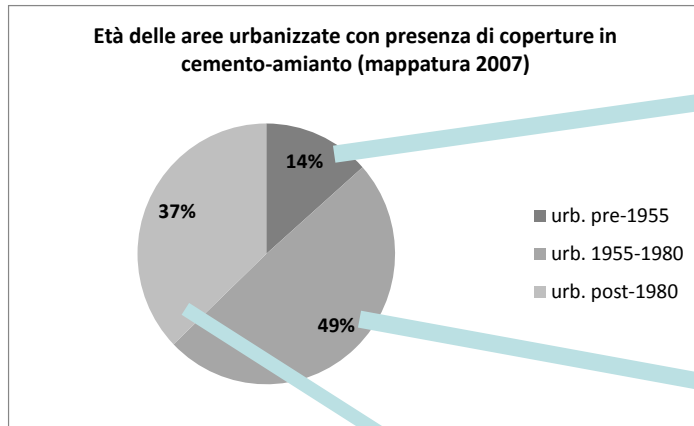
# Confronto con uso del suolo storico e considerazioni sull'età delle coperture



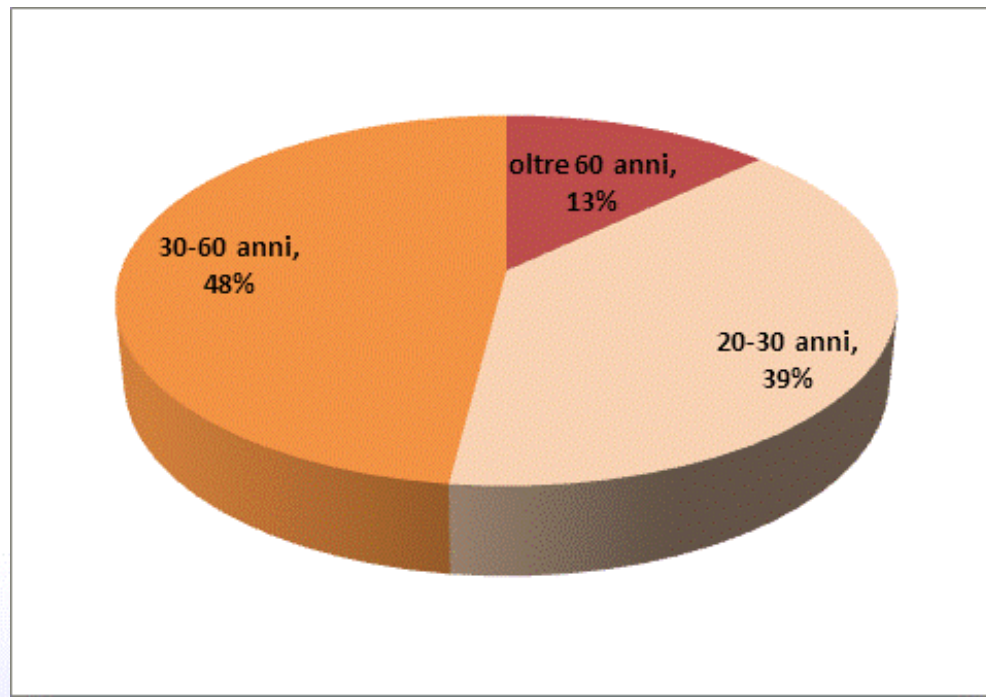
**Età delle aree urbanizzate con presenza di coperture in cemento-amianto (mappatura 2007)**



# Confronto con uso del suolo storico e considerazioni sull'età delle coperture



## Età stimata al 2012 delle coperture in cemento-amianto in base alla cartografia DUSAF storica



- I dati dell'aggiornamento della mappatura sono liberamente consultabili dal 7 Maggio 2015 sul sito di ARPA Lombardia:  
[www.arpalombardia.it](http://www.arpalombardia.it)  
<http://ita.arpalombardia.it/ita/settori/amianto/index.asp>
- Nel 2016: aggiornamento della mappatura sulla base delle ortoimmagini AGEA 2015.
- Miglioramento del confronto e integrazione delle informazioni tra ARPA, ASL e Comuni.
- Innovazione tecnologica: valutare la fattibilità d'uso dei satelliti di ultima generazione nella mappatura del cemento-amianto.





**Grazie per l'attenzione !**

**Dario Bellingeri**

**d.bellingeri@arpalombardia.it**

» Home

Chi siamo

Dipartimenti

Temi  
ambientali

Servizi

URP

Ufficio stampa

EduAmbiente

Bandi, concorsi

Area download

Contatti & PEC

FAQ: domande  
frequenti

Decreti e  
Regolamenti

Credits

## BENVENUTI SUL SITO DI ARPA Lombardia Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Lombardia

*ARPA Lombardia si occupa della prevenzione e della protezione dell'ambiente, affiancando le istituzioni regionali e locali in molteplici attività: dalla lotta all'inquinamento atmosferico e acustico agli interventi per la tutela delle acque superficiali e sotterranee, dal monitoraggio dei campi elettromagnetici alle indagini sulla contaminazione del suolo e sui processi di bonifica.  
In questo sito troverete utili informazioni sulle varie tematiche ambientali, dati storici e contestuali, riferimenti normativi, nozioni di educazione ambientale e molto altro. Buona navigazione.*



MILANO 2015

Bollettino Meteo EXPO  
EXPO Weather forecast

**ARPA Lombardia - Sede Centrale**  
Via I. Rosellini n° 17 - 20124 MILANO  
Centralino: 02 69 666 1

**URP** - Ufficio Relazioni con il Pubblico



PM10: media delle concentrazioni negli agglomerati urbani



sezione **CITTADINO**



sezione **IMPRESE**

Rapporto  
Stato  
Ambiente  
in Lombardia



Mappatura  
Coperture in  
Cemento-Amianto

Ogni pianta

» [Home](#) » [Amianto](#)

[Chi siamo](#)

[Dipartimenti](#)

[Temi  
ambientali](#)

[Servizi](#)

[URP](#)

[Ufficio stampa](#)

[EduAmbiente](#)

[Bandi, concorsi](#)

[Area download](#)

[Contatti & PEC](#)

## ARPA Lombardia

### La mappatura delle coperture in cemento-amianto in Lombardia

#### » | **Premessa**

La [Legge N°257/1992](#) ha proibito, a partire dal 1994, l'estrazione, l'importazione, la produzione e la commercializzazione di materiali contenenti amianto.

Sino a quest'ultima data l'amianto è stato ampiamente utilizzato nell'edilizia sia nelle coperture dei tetti, sotto forma di lastre di cemento-amianto, che all'interno degli edifici per la realizzazione di impianti e rivestimenti isolanti.

Le coperture in cemento-amianto rappresentano una frazione consistente del quantitativo di amianto presente sul territorio.

La loro identificazione è quindi un passo importante nel percorso verso l'obiettivo della completa eliminazione dell'amianto in Lombardia.

La tecnologia del telerilevamento permette di realizzare la mappatura delle coperture in cemento-amianto con una precisione elevata.



## » | La mappatura 2007

Il Piano Regionale Amianto della Lombardia (PRAL), previsto dalla Legge Regionale N° 17 del 29 Settembre 2003 e approvato con D.G.R. VIII/1526 del 22 Dicembre 2005, stabiliva che ARPA Lombardia avrebbe realizzato la mappatura delle coperture in cemento-amianto presenti nella regione, con la finalità di determinare l'estensione complessiva del problema.

Per conseguire per tale obiettivo, in accordo con Regione Lombardia, è stata adottata una tecnica campionaria, identificando innanzitutto le aree regionali più rappresentative, in base al livello di antropizzazione e la presenza diffusa di insediamenti industriali antecedenti al 1994. Su tali aree stata condotta una campagna di rilevamento aereo con scanner iperspettrale. Considerata la tecnica adottata, è stato possibile anche identificare puntualmente ognuna delle coperture in cemento-amianto presenti dell'area campionata.

Le aree scelte furono le seguenti:

Area	Superficie (Km <sup>2</sup> )
- 1 - Bacino dell'Olona con chiusura a nord di Milano	653
- 2 - Corridoio autostradale A4 nella tratta Milano-Bergamo-Brescia (esclusa la città di Milano perché già mappata dal Comune di Milano nel 2000)	1202
- 3 - Valcamonica	144
- 4 - Val Trompia	63
<b>Totale</b>	<b>2062</b>

*Aree selezionate per il rilevamento aereo nel 2007.*

Le aree selezionate si estendono nelle province di Varese, Como, Milano, Monza-Brianza, Bergamo e Brescia e coinvolgono, 321 Comuni, alcuni dei quali mappati parzialmente.

Le riprese aeree furono eseguite nell'estate 2007.

Nel 2008 ARPA Lombardia fornì alla Regione i risultati del lavoro che consistevano in:



Le aree selezionate si estendono nelle province di Varese, Como, Milano, Monza-Brianza, Bergamo e Brescia e coinvolgono, 321 Comuni, alcuni dei quali mappati parzialmente.

Le riprese aeree furono eseguite nell'estate 2007.

Nel 2008 ARPA Lombardia fornì alla Regione i risultati del lavoro che consistevano in:

1. una mappatura dettagliata, compatibile con la Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000, delle coperture in cemento-amianto presenti nelle quattro aree investigate ed una stima accurata, per ciascuno dei 321 Comuni interessati, delle superfici e dei volumi delle coperture in cemento-amianto;
2. stime, ottenute per estrapolazione, dei volumi delle coperture in cemento-amianto presenti in tutte le province lombarde, come descritte nella seguente tabella:

<b>Province</b>	<b>Stima Volume 2007 (m<sup>3</sup>)</b>
BG	320 010
BS	446 473
CO	160 964
CR	174 014
LC	97 909
LO	90 765
MI+MB	784 808
MN	226 980
PV	205 664
SO	46 112
VA	278 774
<b>Regione</b>	<b>2 832 473</b>

*Stima dei volumi delle coperture in cemento-amianto  
presenti nel 2007 nelle province lombarde.*

Secondo queste ultime stime, il volume complessivo del cemento-amianto presente in Lombardia nel 2007 ammontava ad oltre 2,8 milioni di metri cubi.

Per una descrizione degli aspetti metodologici e della valutazione dell'accuratezza, vedi il paragrafo: *Metodologia e accuratezza della mappatura del cemento-amianto 2007*.

## » | L'aggiornamento della mappatura al 2012

In base alla D.G.R. IX/3913 del 6 Agosto 2012, ARPA Lombardia ha condotto, a partire dal 2013, l'aggiornamento della mappatura tramite fotointerpretazione comparativa tra le ortoimmagini del 2007 e quelle del 2012.

Per ciascuna copertura si è valutato se aveva subito delle trasformazioni tra il 2007 e il 2012 e di quale tipo di trasformazione si trattava.

Sono stati presi in considerazione i seguenti casi:

### Tipologia delle possibili trasformazioni subite dalle coperture in cemento-amianto dal 2007 al 2012

1 - Non variato
2 - Variato
3 - Variato con installazione di pannelli fotovoltaici
4 - Variato a seguito di demolizione dell'edificio

*Legenda delle classi utilizzate per l'aggiornamento dal 2007 al 2012 della mappatura delle coperture in cemento-amianto*

La classe "2 - Variato" comprende sia i casi di rimozione delle coperture in cemento-amianto che quelli, molto rari, di incapsulamento e sovra-copertura, stimabili inferiori all'1%.

I risultati, estrapolati alla intero territorio regionale, sono descritti nella seguente tabella:

Provincia	Coperture Cemento-Amianto 2007 (m <sup>3</sup> )	Coperture Cemento-Amianto 2012 (m <sup>3</sup> )	Coperture Cemento-Amianto rimosse dal 2007 al 2012 (m <sup>3</sup> )	Coperture Cemento-Amianto rimosse dal 2007 al 2012 (%)
BO	222.010	222.550	27.450	27,20%

Provincia	Coperture Cemento- Amianto 2007 (m <sup>3</sup> )	Coperture Cemento- Amianto 2012 (m <sup>3</sup> )	Coperture Cemento- Amianto rimosse dal 2007 al 2012 (m <sup>3</sup> )	Coperture Cemento- Amianto rimosse dal 2007 al 2012 (%)
BG	320 010	232 552	87 458	27.3%
BS	446 473	320 587	125 886	28.2%
CO	160 964	117 744	43 220	26.9%
CR	174 014	126 019	47 995	27.6%
LC	97 909	71 449	26 460	27.0%
LO	90 765	65 722	25 043	27.6%
MI+MB	784 808	566 916	217 892	27.8%
MN	226 980	165 011	61 969	27.3%
PV	205 664	150 100	55 564	27.0%
SO	46 112	33 741	12 371	26.8%
VA	278 774	203 682	75 092	26.9%
<b>Regione</b>	<b>2 832 473</b>	<b>2 053 524</b>	<b>778 949</b>	<b>27.3%</b>

*Stima dei volumi delle coperture in cemento-amianto presenti nelle province lombarde nel 2007, nel 2012 e relative variazioni.*

Le valutazioni condotte portano a stimare che, nel 2012, il volume complessivo delle coperture in cemento-amianto ancora presenti in Lombardia ammontava ad oltre 2 milioni di metri cubi. I quantitativi rimossi dal 2007 al 2012 in termini percentuali sui volumi si attestano a circa il 27%.

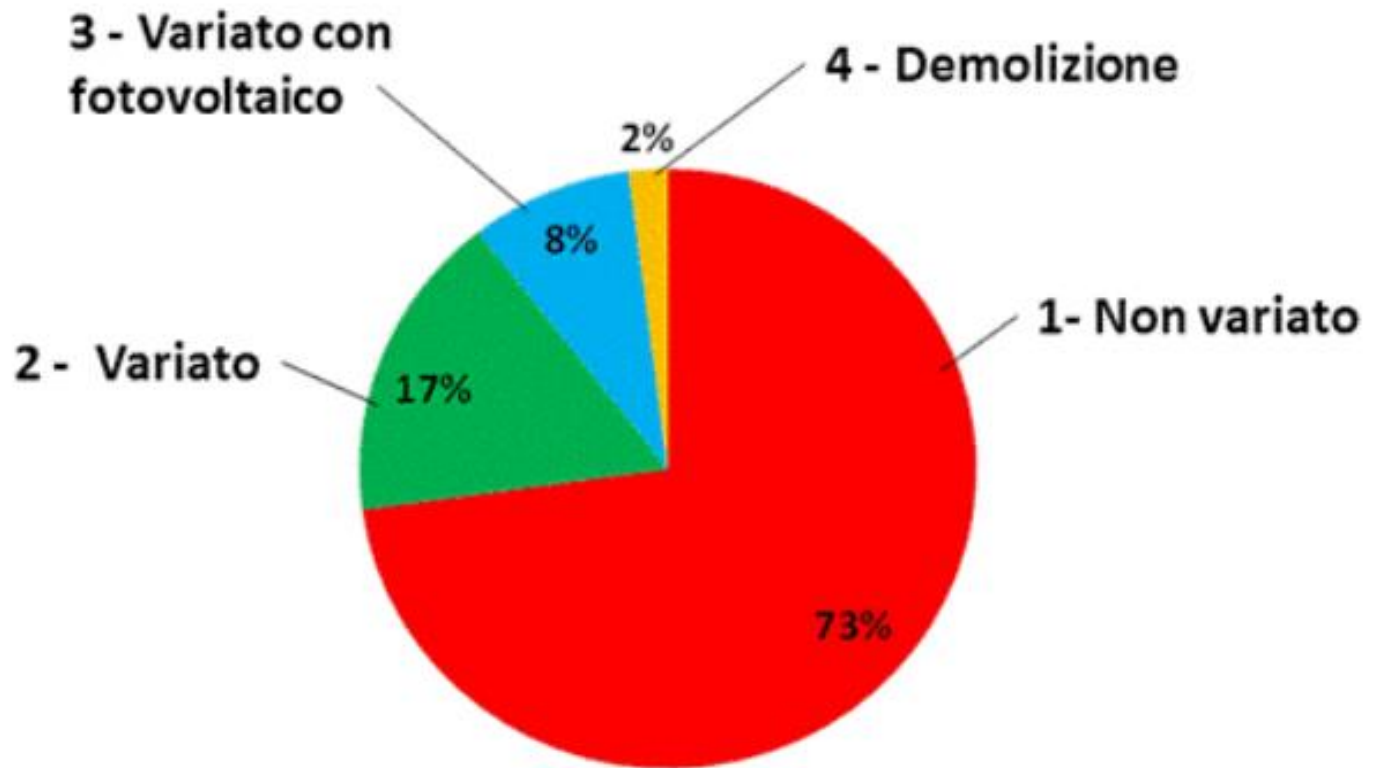
Per quanto riguarda l'analisi delle tipologie di variazione occorse dal 2007 al 2012, la variazione totale del 27% è composta nel modo seguente:

- l'8% delle coperture in cemento-amianto è stato rimosso e sulle nuove coperture sono stati installati pannelli fotovoltaici;
- il 2% delle coperture in cemento-amianto è stato rimosso contestualmente alla demolizione dell'edificio;



Per quanto riguarda l'analisi delle tipologie di variazione occorse dal 2007 al 2012, la variazione totale del 27% è composta nel modo seguente:

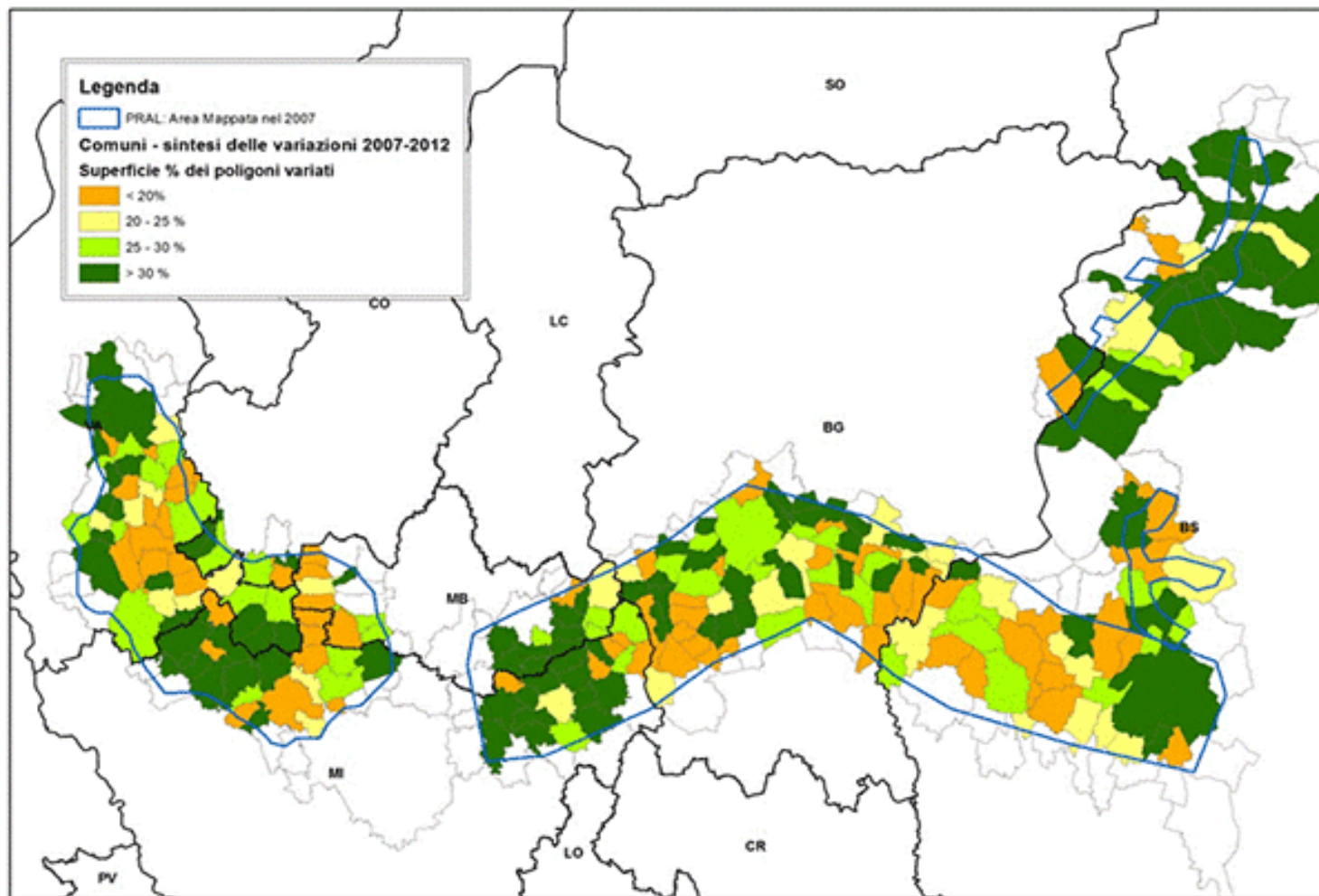
- l'8% delle coperture in cemento-amianto è stato rimosso e sulle nuove coperture sono stati installati pannelli fotovoltaici;
- il 2% delle coperture in cemento-amianto è stato rimosso contestualmente alla demolizione dell'edificio;
- il 17% delle coperture in cemento-amianto presenta una variazione che è spiegabile con la sostituzione della copertura; una piccola percentuale di coperture in cemento-amianto, inferiore al 1%, sarebbe stata sottoposta a incapsulamento o sovra-copertura.



*Tipologie di variazione subite dalle coperture in cemento-amianto dal 2007 al 2012 espresse in percentuale sui volumi.*

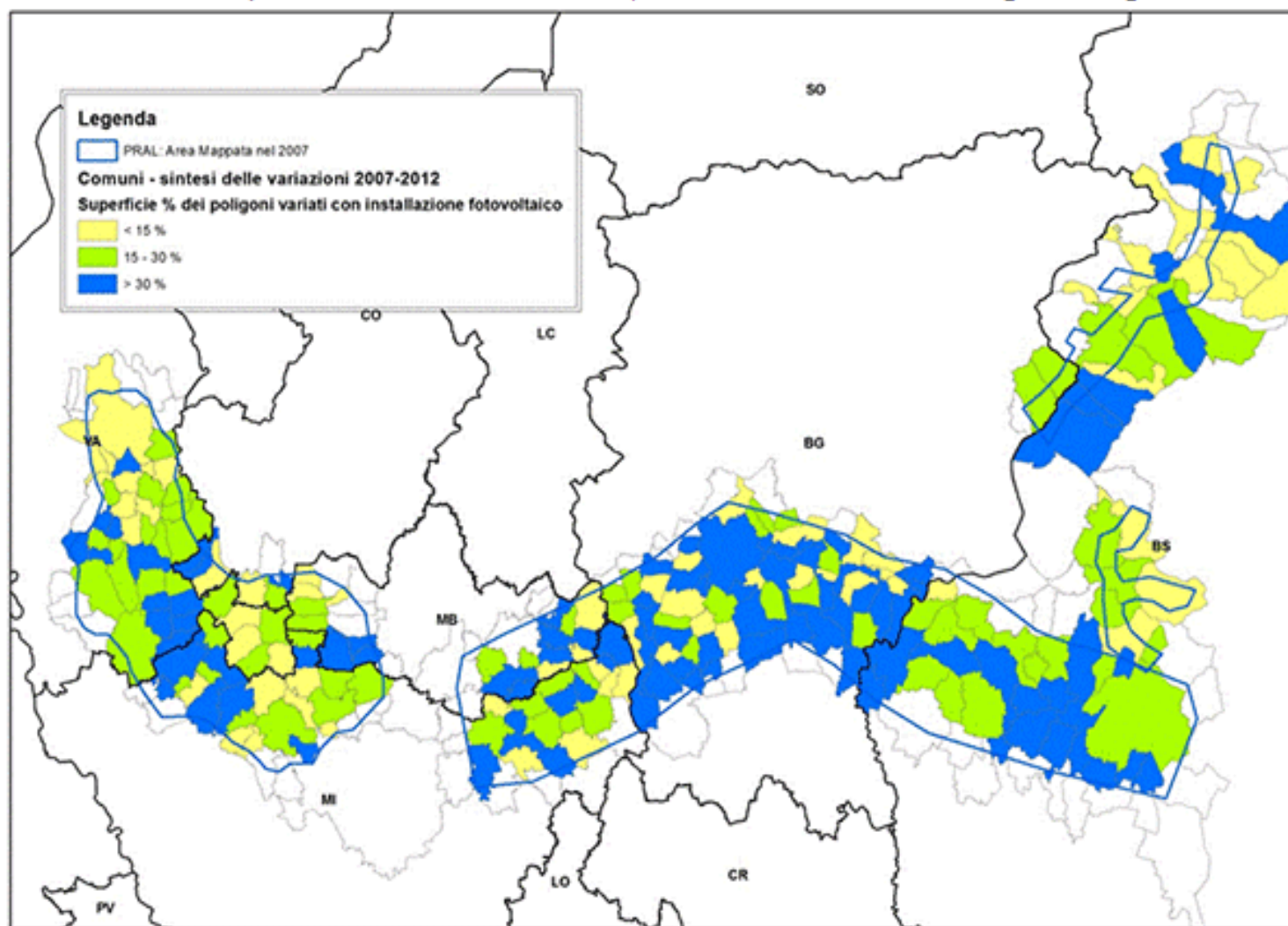
## » | Rappresentazione dei risultati più rilevanti a livello comunale

Aggregando a livello comunale i dati della mappatura aggiornati al 2012 si ottiene una visione di sintesi delle variazioni avvenute dal 2007 al 2012 per ognuno dei comuni coperti dal rilevamento aereo (vedi figura di seguito).



*Variazione complessiva a livello comunale delle coperture in cemento-amianto avvenuta dal 2007 al 2012. La variazione complessiva comprende tre tipologie di variazione: 1) la rimozione delle coperture in cemento-amianto; 2) la rimozione con installazione dei pannelli fotovoltaici; 3) la demolizione dell'edificio. I poligoni blu indicano le aree rilevate da aereo nel 2007. Nella figura sono rappresentati a colori solamente i Comuni le cui aree urbanizzate sono state rilevate nel 2007 per almeno il 90%.*

E' di interesse, in particolare, il livello di installazione di pannelli fotovoltaici in correlazione alla rimozione delle coperture in cemento-amianto, come evidenziato nella seguente figura.



*Rappresentazione a livello comunale dei casi in cui, insieme alla rimozione delle vecchie coperture in cemento-amianto, sono stati installati sulle nuove coperture i pannelli fotovoltaici. Le percentuali sono riferite al numero totale di casi variati (cioè le tre tipologie di variazioni: 1) la rimozione delle coperture in cemento-amianto; 2) la rimozione con installazione dei pannelli fotovoltaici; 3) la demolizione dell'edificio). I poligoni blu indicano le aree rilevate da aereo nel 2007. Nella figura sono rappresentati a colori solamente i Comuni le cui aree urbanizzate sono state rilevate nel 2007 per almeno il 90%.*



## » | Consultazione della cartografia

Cliccando sul link "**Consulta la cartografia**" viene caricato un visualizzatore cartografico con il quale è possibile consultare in maniera interattiva la mappa delle coperture in cemento-amianto.

La legenda è la seguente:

- Mappatura coperture cemento amianto >
  - 1 - cemento amianto
  - 2 - variato dal 2007
  - 3 - variato + fotovoltaico
  - 4 - variato + edif. abbattuto
- Area mappatura >
  - superficie rilevata

- La classe 1, rappresentata con poligoni di colore rosso, individua le coperture in cemento-amianto che non hanno subito variazioni nel periodo dal 2007 al 2012.
- La classe 2, rappresentata con poligoni di colore verde, individua le coperture in cemento-amianto che sono state rimosse nel periodo dal 2007 al 2012.
- La classe 3, rappresentata con poligoni di colore azzurro, individua le coperture in cemento-amianto che sono state rimosse nel periodo dal 2007 al 2012 e sulle nuove coperture sono stati installati pannelli fotovoltaici.
- La classe 4, rappresentata con poligoni di colore ocra, individua le coperture in cemento-amianto che sono state rimosse nel periodo dal 2007 al 2012 perché gli edifici su cui si trovavano sono stati demoliti.

E' possibile selezionare, tramite il menu "*strumenti*", uno dei seguenti sfondi: ortoimmagine 2007, ortoimmagine 2012, stradario.

» **Consulta la cartografia** »

## » | Download dei dati

E' possibile scaricare i seguenti file:

E' possibile scaricare i seguenti file:

- Mappatura delle coperture in cemento-amianto (formato *shapefile zippato*)**  
 Mappatura delle coperture in cemento-amianto in formato shapefile.  
 Per visualizzare il file è necessario disporre di un qualsiasi software GIS.  
 Il sistema di riferimento è: *WGS84-UTM32*.
- Statistiche a livello comunale della mappatura delle coperture in cemento-amianto (formato *excel*)**  
 File in formato *excel* contenente le statistiche a livello comunale della mappatura delle coperture in cemento-amianto 2007-2012.  
 Il file, nella sua intestazione, contiene una legenda esplicativa del significato dei campi delle colonne.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	Sintesi a livello comunale dei dati della mappatura delle coperture in cemento-amianto aggiornata al 2012 realizzata su 2062 Km <sup>2</sup>																
2	Legenda:																
3	% area mapp.	Percentuale della superficie comunale coperta dalla mappatura realizzata nel 2007															
4	% area urb. mapp.	Percentuale della superficie urbanizzata comunale (fonte: uso del suolo DUSAF 1.1) coperta dalla mappatura realizzata nel 2007															
5	1	Coperture in cemento-amianto che non hanno subito variazioni nel periodo dal 2007 al 2012															
6	2	Coperture in cemento-amianto che sono state rimosse nel periodo dal 2007 al 2012															
7	3	Coperture in cemento-amianto che sono state rimosse nel periodo dal 2007 al 2012 e sulle nuove coperture sono stati installati pannelli fotovoltaici															
8	4	Coperture in cemento-amianto che sono state rimosse nel periodo dal 2007 al 2012 perché gli edifici su cui si trovavano sono stati demoliti															
9	% variato	Percentuale delle coperture in cemento-amianto rimosse (somma delle classi 2, 3 e 4) nel periodo dal 2007 al 2012															
10	% fot./var.	Percentuale delle coperture in cemento-amianto che sono state rimosse nel periodo dal 2007 al 2012 e sulle nuove coperture sono stati installati pannelli fotovoltaici. La percentuale è riferita alla totalità dei casi di variazione (classi 2, 3 e 4)															
11	Stima cemento-amianto residuo (m <sup>3</sup> )	Stima dei volumi (m <sup>3</sup> ) di coperture in cemento amianto residue nel 2012 (cioè non rimosse)															
12				N° coperture					Superficie coperture (m <sup>2</sup> )					Sintesi variazioni		Stima cemento-amianto residuo (m <sup>3</sup> )	
13				1	2	3	4	Tot	1	2	3	4	Tot	% variato	% fot./var.		
14	Provincia	Comune	% area mapp.	% area urb. mapp.													
15	BG	ALBANO SANT'ALESSANDRO	100,0%	100,0%	112	32	8	5	157	95.536	22.211	11.913	3.173	132.833	28,1%	31,9%	3.185
16	BG	ALZANO LOMBARDO	3,6%	13,7%	20	9	0	3	32	7.859	3.350	0	1.443	12.653	37,9%	0,0%	262
17	BG	ARCENE	79,3%	97,8%	41	3	2	2	48	29.383	1.061	3.129	1.546	35.119	16,3%	54,5%	979
18	BG	AZZANO SAN PAOLO	100,0%	100,0%	69	5	7	0	81	64.939	9.019	15.669	0	89.627	27,5%	63,5%	2.165
19	BG	BAGNATICA	100,0%	100,0%	32	7	3	2	44	34.714	10.678	2.164	819	48.376	28,2%	15,8%	1.157
20	BG	BERGAMO	99,8%	100,0%	334	114	12	17	477	257.586	49.903	37.437	15.596	360.523	28,6%	36,4%	8.586
21	BG	BOLGARE	100,0%	100,0%	127	26	4	3	160	103.038	22.189	14.872	1.392	141.492	27,2%	38,7%	3.435
22	BG	BOLTIERE	100,0%	100,0%	39	8	0	2	49	41.069	7.677	0	517	49.263	16,6%	0,0%	1.369

cemento-amianto, è necessario individuare un campione di edifici in cui sia stata accertata attraverso ispezioni la presenza sui tetti di coperture in cemento-amianto. In questo modo è possibile realizzare una "libreria di firme spettrali". A questo punto si esamina in maniera completamente automatizzata l'immagine confrontando la risposta spettrale di ciascun pixel

completamente automatizzata l'immagine confrontando la risposta spettrale di ciascun pixel con le firme spettrali presenti nella libreria di firme spettrali. Se ad esempio, un pixel del tetto di un edificio presenta una firma spettrale molto simile a quella della firma spettrale del cemento-amianto, allora il pixel viene classificato come cemento-amianto. Il primo risultato della mappatura del cemento-amianto realizzata nel 2007 è stato quindi una nuova immagine in cui i pixels relativi al cemento-amianto erano evidenziati con un colore convenzionale. Il passo successivo è stato quello di tracciare manualmente a video, sullo sfondo di ortofotografie del 2003, i poligoni dei tetti nei quali erano presenti pixel classificati come cemento-amianto. Il risultato finale della classificazione eseguita nel 2007 è stato una mappa composta da oltre 25000 poligoni, in cui ciascun poligono identifica un tetto avente una elevata probabilità di essere costituito da cemento-amianto.

### » Accuratezza

Qualsiasi processo di classificazione di immagini telerilevate produce inevitabilmente degli errori. Per valutare l'accuratezza dei risultati della classificazione è necessario acquisire un campione di punti di cui siano state accertate le caratteristiche. Questo campione deve essere indipendente da quello utilizzato nella fase precedente per la costituzione della libreria di firme spettrali. Nel caso della mappatura del cemento-amianto è stato acquisito un apposito campione di 115 punti. Utilizzando questo campione, l'accuratezza complessiva della classificazione delle coperture in cemento-amianto è risultata pari al 91.3%. I casi di falsi positivi (cioè i casi di tetti che non sono ricoperti in cemento-amianto ma che sono stati classificati come se lo fossero) sono stati 2.1%, mentre i falsi negativi (cioè i casi di tetti che sono ricoperti in cemento-amianto ma che non sono stati classificati come tali) sono stati 7.9%.

Oltre ai normali errori insiti nel processo di classificazione, bisogna inoltre considerare i seguenti fattori che portano ad una sottostima delle superfici in cemento-amianto:

- le piccole coperture in cemento-amianto, inferiori ai 100 m<sup>2</sup>, sono difficilmente identificabili;
- le coperture in cemento-amianto che sono state incapsulate o sovracoperte non sono identificabili;
- la stima delle superfici delle coperture in cemento-amianto è basata sulla proiezione dei tetti sul piano orizzontale; nella realtà i tetti hanno superfici oblique o curve quindi la loro superficie reale è superiore rispetto a quella stimata.



### » Metodologia

L'Osservazione della Terra (*Earth Observation*) è la disciplina che studia la superficie terrestre mediante sensori posti a bordo di satelliti, aerei, elicotteri o droni. Ogni materiale presente sulla superficie terrestre come la vegetazione, l'acqua, le rocce, i suoli nudi, le coperture dei tetti, ecc., riflette la radiazione elettromagnetica proveniente dal Sole in una maniera specifica denominata, nel gergo dell'Osservazione della Terra, "firma spettrale" perché, così come una firma caratterizza una determinata persona, una firma spettrale può caratterizzare un determinato materiale. Utilizzando dei sensori speciali posti a bordo di aerei, denominati scanner iperspettrali, è possibile acquisire delle immagini in cui è registrata con grande dettaglio la radiazione elettromagnetica riflessa dai materiali presenti in superficie. Anche le coperture in cemento-amianto presentano una firma spettrale caratteristica. Nel rilievo aereo con scanner iperspettrale eseguito nel 2007 in Lombardia la dimensione media del pixel (cioè l'unità minima di informazione dell'immagine) è di 3 metri x 3 metri.

Il processo di riconoscimento dei materiali presenti nelle immagini è chiamato "classificazione". Il primo passo del processo di classificazione è quello di acquisire dei campioni di "verità a terra" (*ground truth*): si tratta di individuare un campione di materiali ben visibili nell'immagine e di cui sono certe le caratteristiche. Ad esempio, nel caso della mappatura delle coperture in cemento-amianto, è necessario individuare un campione di edifici in cui sia stata accertata attraverso ispezioni la presenza sui tetti di coperture in cemento-amianto. In questo modo è possibile realizzare una "libreria di firme spettrali". A questo punto si esamina in maniera completamente automatizzata l'immagine confrontando la risposta spettrale di ciascun pixel con le firme spettrali presenti nella libreria di firme spettrali. Se ad esempio, un pixel del tetto di un edificio presenta una firma spettrale molto simile a quella della firma spettrale del cemento-amianto, allora il pixel viene classificato come cemento-amianto. Il primo risultato della mappatura del cemento-amianto realizzata nel 2007 è stato quindi una nuova immagine in cui i pixels relativi al cemento-amianto erano evidenziati con un colore convenzionale. Il passo successivo è stato quello di tracciare manualmente a video, sullo sfondo di ortofotografie del 2003, i poligoni dei tetti nei quali erano presenti pixel classificati come cemento-amianto. Il risultato finale della classificazione eseguita nel 2007 è stato una mappa composta da oltre 25000 poligoni, in cui ciascun poligono identifica un tetto avente una elevata probabilità di essere costituito da cemento-amianto.

### » Accuratezza

Qualsiasi processo di classificazione di immagini telerilevate produce inevitabilmente degli errori. Per valutare l'accuratezza dei risultati della classificazione è necessario acquisire un campione di punti di cui siano state accertate le caratteristiche. Questo campione deve essere indipendente da quello utilizzato nella fase precedente per la costituzione della libreria di firme

## » Accuratezza

Qualsiasi processo di classificazione di immagini telerilevate produce inevitabilmente degli errori. Per valutare l'accuratezza dei risultati della classificazione è necessario acquisire un campione di punti di cui siano state accertate le caratteristiche. Questo campione deve essere indipendente da quello utilizzato nella fase precedente per la costituzione della libreria di firme spettrali. Nel caso della mappatura del cemento-amianto è stato acquisito un apposito campione di 115 punti. Utilizzando questo campione, l'accuratezza complessiva della classificazione delle coperture in cemento-amianto è risultata pari al 91.3%. I casi di falsi positivi (cioè i casi di tetti che non sono ricoperti in cemento-amianto ma che sono stati classificati come se lo fossero) sono stati 2.1%, mentre i falsi negativi (cioè i casi di tetti che sono ricoperti in cemento-amianto ma che non sono stati classificati come tali) sono stati 7.9%.

Oltre ai normali errori insiti nel processo di classificazione, bisogna inoltre considerare i seguenti fattori che portano ad una sottostima delle superfici in cemento-amianto:

- le piccole coperture in cemento-amianto, inferiori ai 100 m<sup>2</sup>, sono difficilmente identificabili;
- le coperture in cemento-amianto che sono state incapsulate o sovracoperte non sono identificabili;
- la stima delle superfici delle coperture in cemento-amianto è basata sulla proiezione dei tetti sul piano orizzontale; nella realtà i tetti hanno superfici oblique o curve quindi la loro superficie reale è superiore rispetto a quella stimata.

Una ulteriore avvertenza riguarda la accuratezza della perimetrazione delle coperture in cemento-amianto. I poligoni che delimitano le coperture in cemento-amianto risultano talvolta visibilmente spostati rispetto ai tetti visibili nelle ortoimmagini del 2007 o del 2012. Ciò è dovuto alla deformazione di parallasse presente in qualsiasi ortoimmagine e per effetto della quale gli edifici (e qualsiasi altro oggetto che si eleva rispetto alla superficie del terreno come viadotti, tralicci, alberi, ...) risulta inclinato su un lato. Questo effetto varia da zona a zona ed è diverso da una data di ripresa all'altra.



## Mappatura coperture in cemento amianto 2012

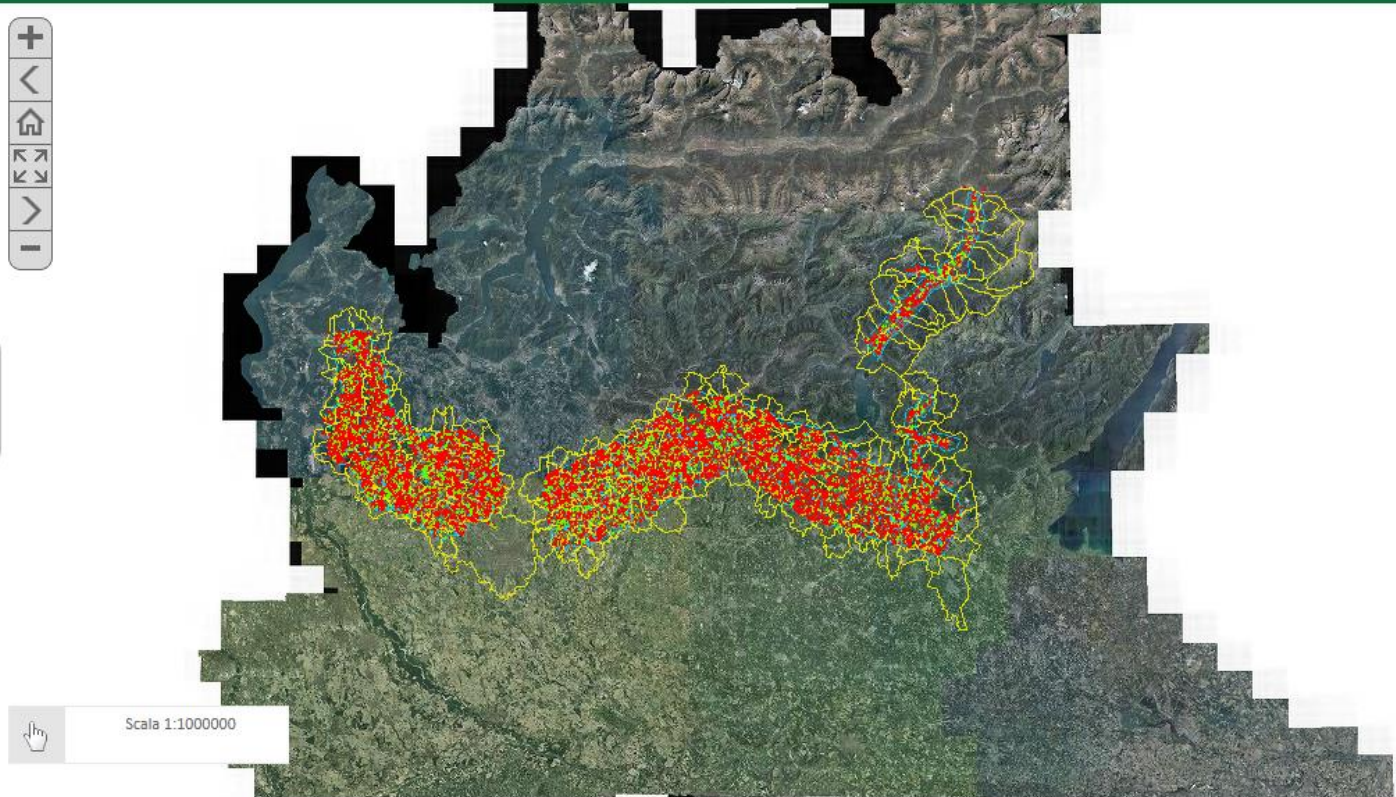
Dati 2007 aggiornati al 2012



Livelli   Strumenti   Contenuto

Spegni tutto   Comprimi tutto   **Legende**

- Cemento\_Amianto\_2012** >
- Mappatura coperture cemento amianto >
  - 1 - cemento amianto
  - 2 - variato dal 2007
  - 3 - variato + fotovoltaico
  - 4 - variato + edif. abbattuto
- Area mappatura >
  - superficie rilevata





## Mappatura coperture in cemento amianto 2012

Dati 2007 aggiornati al 2012



**Livelli** | Strumenti | Contenuto

Spegni tutto | Comprimi tutto | Legende

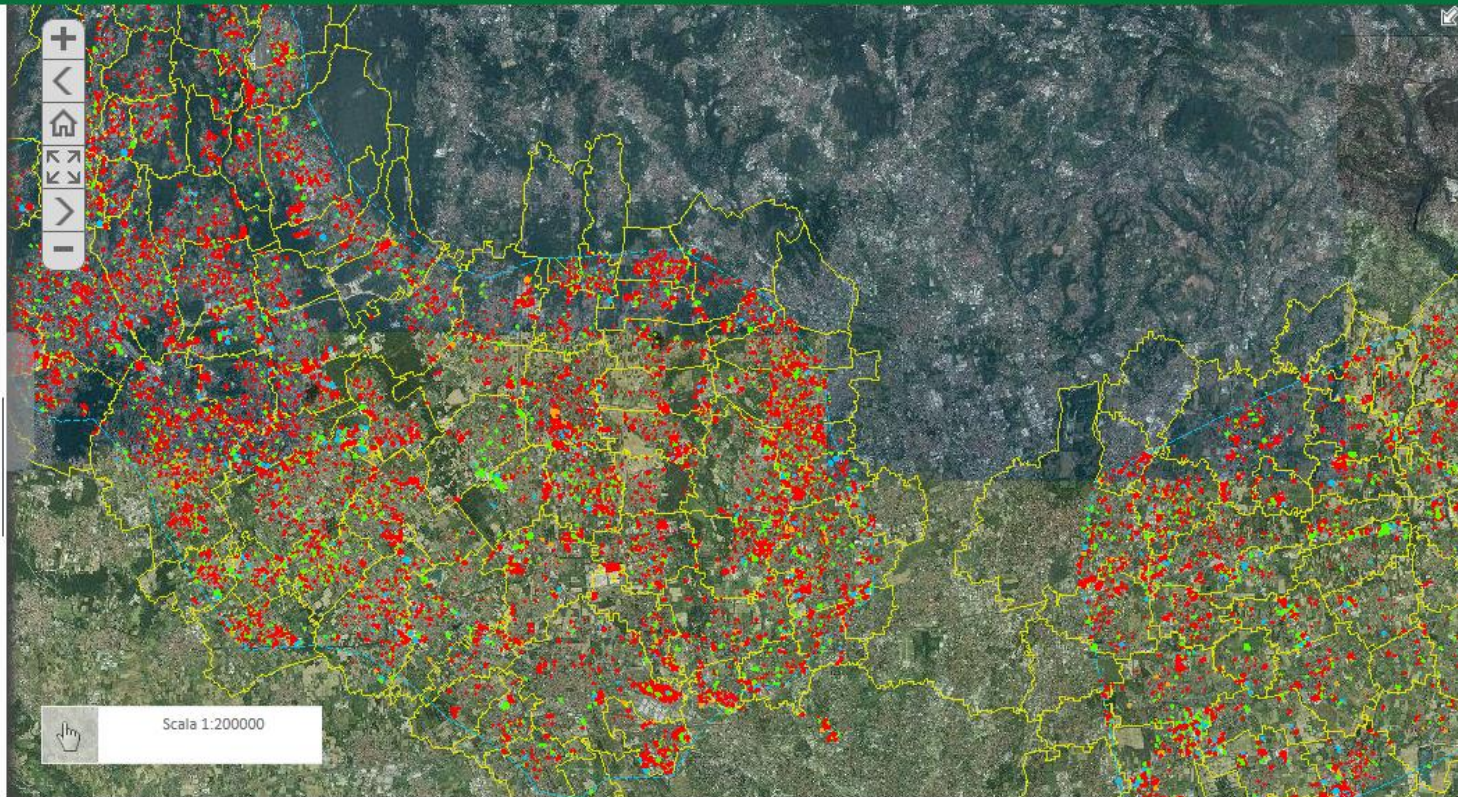
**Cemento\_Amianto\_2012** >

Mappatura coperture cemento amianto >

- 1 - cemento amianto
- 2 - variato dal 2007
- 3 - variato + fotovoltaico
- 4 - variato + edif. abbattuto

Area mappatura >

- superficie rilevata





## Mappatura coperture in cemento amianto 2012

Dati 2007 aggiornati al 2012



Livelli   Strumenti   Contenuto

Sfondi

Seleziona la Basemap:

-  Ortofoto 2012 (Reg. Lombardia)
-  Ortofoto 2007 (Reg. Lombardia)
-  Stradario (Reg. Lombardia)



## Mappatura coperture in cemento amianto 2012

Dati 2007 aggiornati al 2012



Livelli Strumenti Contenuto

Sfondi

Seleziona la Basemap:



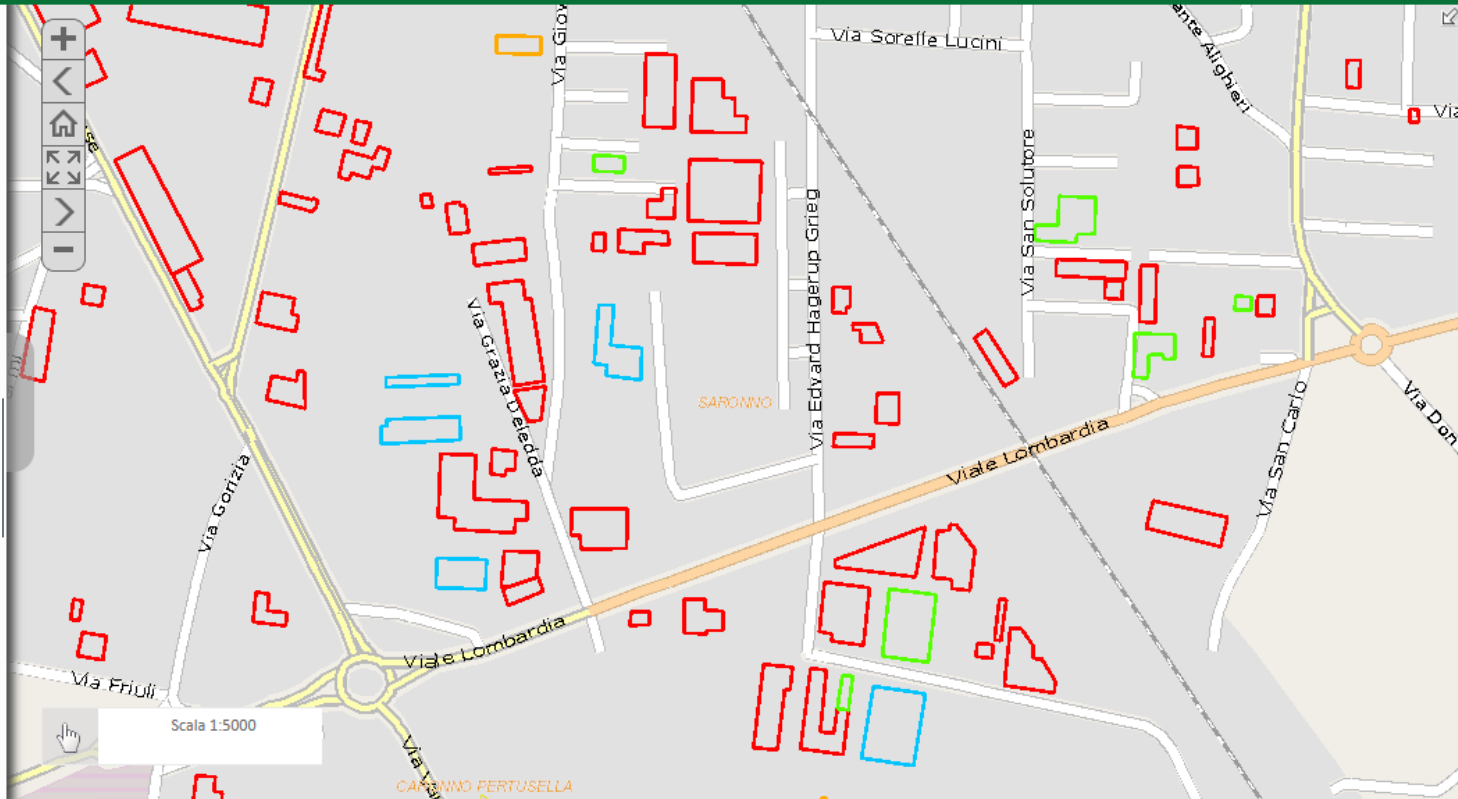
Ortofoto 2012  
(Reg. Lombardia)



Ortofoto 2007  
(Reg. Lombardia)



Stradario  
(Reg. Lombardia)





**Grazie per l'attenzione !**

**Dario Bellingeri**

**d.bellingeri@arpalombardia.it**