

**APAT**

**Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i servizi Tecnici**

**Provvedimenti per il risanamento della qualità dell'aria:**

Analisi degli effetti sulle emissioni di inquinanti dalla sostituzione parziale o totale delle caldaie a gas metano con pannelli solari

**Dr.ssa Marcella Pinna**

**Tutor: Dr.ssa Patrizia Bonanni**

**Co-tutor: Dr.ssa Cristina Sarti**

**2007**

## **Prefazione**

Con il Decreto Legislativo 351/99, recepimento della Direttiva comunitaria 96/62/CE sulla qualità dell'aria, è stato assegnato all'APAT, Agenzia nazionale per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici, il ruolo istituzionale di tramite per la trasmissione delle informazioni in materia di qualità dell'aria tra le autorità locali responsabili della gestione della qualità dell'aria sul territorio (Regioni e Province autonome), ed il Ministero della Salute (MINSAL) e il Ministero dell'Ambiente e Tutela del Territorio e del Mare (MATTM), che a sua volta trasmette queste informazioni alla Commissione Europea.

Tale ruolo di tramite per la trasmissione delle informazioni è svolto, all'interno dell'APAT, dal Servizio "Monitoraggio e Prevenzione degli Impatti sull'atmosfera" del Dipartimento "Stato dell'Ambiente e Metrologia Ambientale".

L'attività di stage del candidato si è svolta all'interno del Servizio Monitoraggio e Prevenzione degli Impatti sull'atmosfera, nel Settore "Piani di Risanamento e impatti" che si occupa in particolare della trasmissione delle informazioni relative ai piani di risanamento della qualità dell'aria.

A partire dai dati relativi ai provvedimenti per il risanamento della qualità dell'aria indicati dalle Regione/Province autonome, contenuti all'interno dei Piani, nel presente lavoro è stata eseguita come caso di studio l'analisi degli effetti sulle emissioni di inquinanti della sostituzione parziale o totale delle caldaie a gas metano con pannelli solari per la produzione di acqua calda per uso sanitario domestico e per il riscaldamento domestico nella Provincia di Bolzano. In particolare è stato ipotizzato di sostituire le caldaie a gas metano nelle abitazioni al 100%, 75%, 50% con pannelli solari e si è valutato l'abbattimento delle emissioni dei principali inquinanti atmosferici.

## **Abstract**

### **Provvedimenti per il risanamento della qualità dell'aria:**

Analisi degli effetti sulle emissioni di inquinanti dalla sostituzione parziale o totale delle caldaie a gas metano con pannelli solari

Il presente lavoro si è proposto di verificare gli effetti sulle emissioni inquinanti in seguito alla sostituzione parziale o totale delle caldaie a gas metano con pannelli solari nella Provincia di Bolzano.

Sono stati considerati i dati ISTAT della Provincia di Bolzano sui consumi di gas metano per la produzione di acqua calda sanitaria (acs) e per il riscaldamento domestico relativi al 2001 ed i dati ISTAT sulla popolazione residente relativi al 14° Censimento della popolazione del 2001.

A partire da questi, utilizzando un modello fornito dall'ENEA sul "Calcolo semplificato del risparmio annuo di energia in fonte primaria ottenibile con l'installazione di pannelli solari", sono state calcolate le emissioni di inquinanti risparmiate e quindi realmente emesse sostituendo, esclusivamente per la produzione di acs, le caldaie a gas metano con pannelli solari al 100%, 75% e 50%.

Sono stati elaborati i dati per sezione di Censimento utilizzando il software GIS ArcView. Dall'analisi dei risultati, si osserva che la maggior parte della produzione di agenti inquinanti deriva dal riscaldamento domestico e solo una piccola parte dalla produzione di acqua calda per uso sanitario. L'introduzione di pannelli solari in sostituzione al 100%, 75% e 50% delle caldaie a metano per la produzione di acs, determina un abbattimento delle emissioni rispettivamente del 10%, 7% e 5%. Se inoltre, si considera il notevole risparmio energetico (34.353.449 m<sup>3</sup> di metano per acs), la sostituzione delle caldaie con pannelli solari risulta pienamente giustificata.

## **Abstract**

### **Measures for the improvement of air quality:**

Analysis of the effect on emissions of pollutants, for partial or total replacement, of boilers to natural gas with solar panels

This work has been proposed to check the effects on pollutant emissions following the partial or total replacement of boilers to natural gas with solar panels in the Province of Bolzano.

ISTAT data, of the Province of Bolzano on consumption of natural gas, for the production of sanitary hot water (shw) and domestic heating for 2001, and ISTAT data on the resident population on the 14th Census of 2001, are been considered. The model provided by ENEA "Simplified calculation of annual saving of energy from installation of solar panels", is been applied on these data.

The emissions of pollutants were calculated in the case of replacing of natural gas boilers with solar panels for 100%, 75% and 50%, for the exclusive production of shw.

Data were developed for each section of census using ArcView GIS software. Look at results, it seems that most of the production of pollutants comes from domestic heating and only a small part from the production of hot water for sanitary use. The introduction of solar panels to replace 100%, 75% and 50% of gas boilers for the production of shw, results in a reduction in emissions of pollutants, respectively, of 10%, 7% and 5%. Furthermore, if we consider the total energy savings (estimated in 34353449 m<sup>3</sup> of methane for shw), the replacement of boilers with solar panels is fully justified.

## Indice

<b>Introduzione</b>	<b>pag. 7</b>
<i>Le fonti di energia</i>	7
<b>Capitolo I - L'energia solare</b>	
<i>1. Energia Solare</i>	9
<i>1.1 Solare Termico – Tecnologia</i>	10
<i>Impianti a circolazione naturale</i>	11
<i>Impianti a circolazione forzata</i>	11
<i>1.1.1 Applicazioni a bassa temperatura</i>	13
<i>Impianti ad uso sanitario</i>	14
<i>Impianti per riscaldamento domestico</i>	15
<i>1.1.2 Applicazioni a media temperatura</i>	16
<i>1.1.3 Applicazioni ad alta temperatura</i>	16
<i>1.2 Vantaggi ambientali</i>	17
<b>Capitolo II - La Normativa</b>	
<i>2. Inquadramento Normativo</i>	21
<i>2.1 Le direttive internazionali per la riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub></i>	21
<i>Il Protocollo di Kyoto</i>	21
<i>Gli accordi di Marrakesh</i>	23
<i>Risorse finanziarie</i>	24
<i>2.2 La disciplina Nazionale</i>	25
<i>Il libro bianco sulle fonti rinnovabili</i>	27
<i>Risparmio energetico ed utilizzo di fonti rinnovabili</i>	28
<i>La conferenza dei Presidenti delle regioni e province autonome</i>	28
<i>2.3 La disciplina Provinciale</i>	29
<i>CasaClima</i>	29
<b>Capitolo III – Metodologia ed Elaborazione dati</b>	
<i>3 Metodologia</i>	<b>pag. 35</b>

3.1 Obiettivo	35
3.2 Raccolta dei dati	35
3.3 Ipotesi	35
3.4 Inquinanti considerati	35
3.4.1 Ossidi di carbonio	35
<i>Reazioni caratteristiche a livello atmosferico</i>	36
<i>Effetti sull'ambiente e sull'uomo</i>	36
3.4.2 Ossidi di azoto	37
<i>Reazioni caratteristiche a livello atmosferico</i>	37
<i>Effetti sull'ambiente e sull'uomo</i>	38
3.4.3 Composti organici	38
<i>Reazioni caratteristiche a livello atmosferico</i>	39
<i>Effetti sull'ambiente</i>	39
3.4.4 Particolato	40
<i>Reazioni caratteristiche a livello atmosferico</i>	40
<i>Effetti sull'ambiente e sull'uomo</i>	41
3.5 Fattori di emissione	41
3.6 Consumo di gas metano	42
3.7 Calcolo semplificato del risparmio annuo di energia in fonte primaria con l'installazione di pannelli solari	42
3.8 Disaggregazione spaziale dei dati	45
3.9 Elaborazione dati	47
<i>Disaggregazione spaziale dei dati</i>	53

## **Capitolo IV**

4. Conclusioni	68
----------------	----

<b>Bibliografia</b>	<b>69</b>
---------------------	-----------

## **Introduzione**

### **Le fonti di energia [1]**

Le fonti energetiche esistenti possono essere classificate in diversi modi:

primarie e secondarie,  
rinnovabili e non rinnovabili.

Si definiscono fonti primarie di energia quelle utilizzabili direttamente, così come si trovano in natura.

Sono fonti primarie il carbone, il petrolio, il gas naturale, il legno, i combustibili nucleari, il sole, il vento, le maree, i laghi montani e i fiumi (da cui è possibile ottenere energia idroelettrica) e il calore della Terra. Tali fonti fanno riferimento a precise trasformazioni della materia che possono essere: termochimiche, per i processi di combustione dei derivati del carbonio (idrocarburi); termonucleari, per i processi di reazione nucleare innescabili tra elementi radioattivi; termomeccaniche, per i processi naturali come la disponibilità di vento, sole, maree, calore.

Le fonti secondarie sono quelle che riguardano la trasformazione di energia derivata da fonti primarie: ad esempio l'energia elettrica ottenuta dalla conversione di energia meccanica (centrali idroelettriche, eoliche) o chimica (centrali termoelettriche) o nucleare (centrali nucleari). Le energie rinnovabili sono quelle che forniscono energia che si rigenera in continuazione mediante trasformazioni chimiche (come la biomassa, materia organica di origine animale e vegetale) o fisiche (come l'energia idrica, solare, eolica, ecc). In particolare il sole, il vento, il ciclo dell'acqua, le maree, il calore della Terra sono fonti sempre disponibili in natura in grande quantità per cui possono considerarsi praticamente illimitate. La biomassa, invece, è in grado di rigenerarsi in tempi confrontabili con quelli della vita dell'uomo come nel caso del legno che è possibile avere sempre a disposizione riforestando laddove sono stati abbattuti gli alberi.

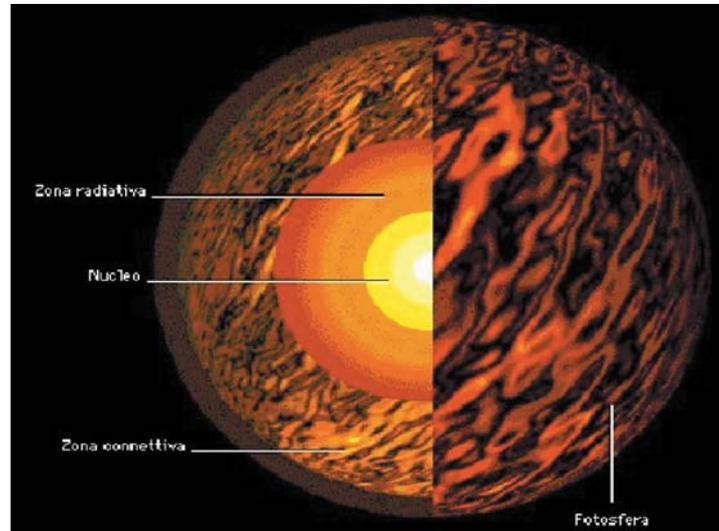
Le energie non rinnovabili sono quelle che si sono formate nel corso di milioni di anni, come i combustibili fossili (petrolio, carbone, gas naturale) o al momento della formazione del nostro pianeta, come l'uranio e hanno tempi di rigenerazione talmente lunghi (milioni di anni) che una volta sfruttate possono considerarsi esaurite. La disponibilità di queste fonti, per quanto grande, è limitata ed esse costituiscono una sorta di magazzino energetico della Terra.

Attualmente, solo il 14% dell'energia consumata nel mondo è prodotta da fonti rinnovabili mentre tutto il resto deriva da fonti non rinnovabili, perlopiù da combustibili fossili (85%).

# *Capitolo I*

## 1. L'energia solare [1]

E' quella che proviene dal sole (Fig. 1) e viene trasmessa alla terra sottoforma di radiazioni elettromagnetiche.



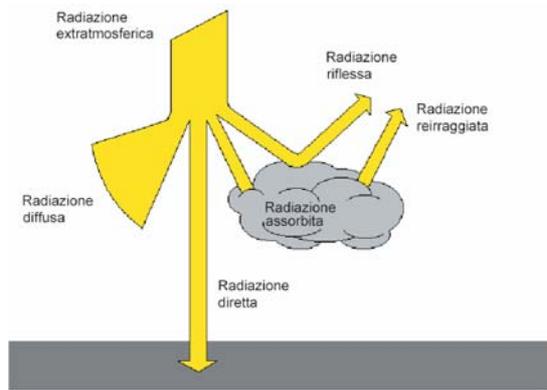
**Figura 1:** Il sole

Ogni istante il Sole trasmette sull'orbita terrestre 1367 watt per  $m^2$ . Tenendo conto del fatto che la Terra è una sfera (e quindi i raggi arrivano spesso angolati) che oltretutto ruota, l'irraggiamento solare sulla superficie terrestre mediato sulle 24 ore e sulle 4 stagioni è, alle latitudini europee, di circa 200 watt/ $m^2$ .

La quantità di energia solare che arriva sulla terra è quindi enorme, circa mille volte superiore a tutta l'energia usata dall'umanità nel suo complesso, ma poco concentrata, nel senso che bisogna raccogliere energia da aree molto vaste per averne quantità significative. L'energia solare è fondamentale per la maggior parte dei processi vitali e dei fenomeni fisici: fotosintesi, ciclo dell'acqua, formazione di venti, biomasse, combustibili fossili, ecc. L'intensità dell'irraggiamento solare si attenua nel passaggio attraverso l'atmosfera:

- una parte di radiazione viene riflessa verso lo spazio,
- una parte viene diffusa in tutte le direzioni dalle molecole dei gas atmosferici e dal vapore acqueo,
- una parte viene assorbita dalle molecole dell'atmosfera e da queste immessa come radiazione infrarossa.

La parte di irraggiamento che raggiunge direttamente il suolo costituisce la radiazione diretta mentre la parte rimanente costituisce la radiazione diffusa (Fig. 2).



**Figura 2:** Distribuzione della radiazione solare nel passaggio attraverso l'atmosfera

I dispositivi che consentono di ricavare direttamente energia dal sole sono di diverso tipo:

- i pannelli solari termici (*solare termico*), utilizzati per raccogliere calore a bassa temperatura per usi domestici ed industriali
- i pannelli fotovoltaici (*solare fotovoltaico*), che assorbono e trasformano le radiazioni solari direttamente in energia elettrica.

### 1.1. Solare termico-Tecnologia [2]

Gli impianti solari termici utilizzano l'effetto termico del sole come fonte primaria di energia, permettendone l'impiego per vari scopi. La tecnologia a riguardo cerca di trarne i benefici tentando di massimizzare l'effetto e rendere più efficienti i vari sistemi.

Nel solare termico, la radiazione solare viene captata da un "collettore solare" e trasferita sotto forma di energia termica ad un fluido vettore<sup>a</sup>, il quale può essere utilizzato per applicazioni industriali, riscaldamento di ambienti, produzione di acqua calda per usi igienici, ecc.

Tecnicamente gli impianti solari termici si distinguono in:

- impianti a circolazione naturale
- impianti a circolazione forzata

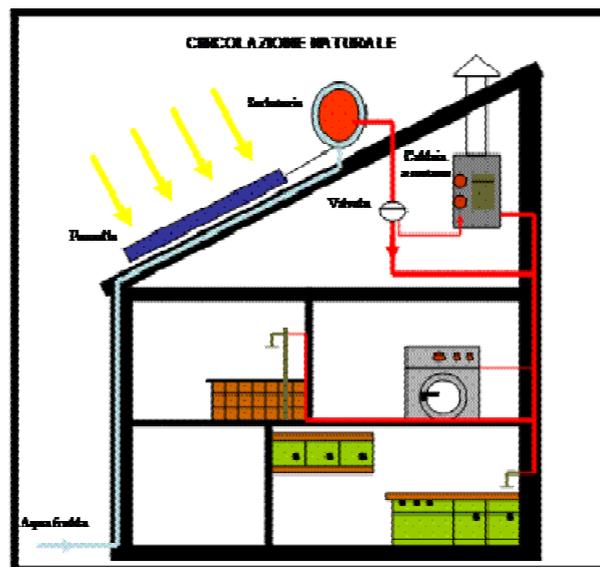
Nei primi la circolazione del fluido vettore è attivata fisicamente per l'effetto "termosifone", nei secondi la circolazione è forzata con l'utilizzo di specifiche pompe.

<sup>a</sup> Il fluido vettore, a seconda della tipologia del collettore, può essere costituito da acqua ( a cui viene aggiunto antigelo o antiebollizione), aria, olio, ecc

### ***Impianti a circolazione naturale***

In tali sistemi l'acqua riscaldata nel pannello solare si espande e sale nel serbatoio d'accumulo, venendo sostituita dall'acqua fredda che scende nel serbatoio. Tali sistemi tendono ad essere più economici (rispetto a quelli a circolazione forzata) essendo privi di pompe. I sistemi a circolazione naturale vengono usati principalmente nelle zone a maggiore incidenza solare. Il serbatoio coibentato accumula il calore necessario. Il calore viene trasportato dal fluido vettore fino al serbatoio attraverso un circuito specifico, il fluido non viene mai a contatto con l'acqua sanitaria. Il fluido nei pannelli, riscaldandosi con le radiazioni solari, diventa più leggero e sale nel serbatoio dove trasferisce il suo calore all'acqua sanitaria attraverso le pareti metalliche di uno scambiatore, perdendo calore il fluido si raffredda e torna verso il basso.

Di seguito viene rappresentato un semplice schema (schema 1) che descrive il collegamento dei vari componenti per un sistema a circolazione naturale:

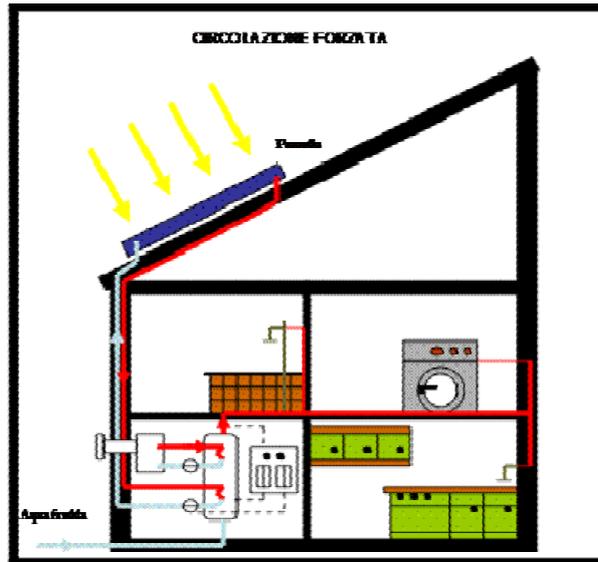


**Schema 1:** Impianto a circolazione naturale

### ***Impianti a circolazione forzata***

I sistemi a circolazione forzata sono un po' più complessi di quelli a circolazione naturale perchè il liquido del circuito primario è spinto da una pompa verso i pannelli solari. E' necessario installare un sistema a circolazione forzata laddove il serbatoio di accumulo dell'acqua non può essere posizionato ad un livello più alto rispetto ai pannelli solari. Il bollitore può essere installato, solitamente, in una locale che funge da centrale termica.

Di seguito viene rappresentato uno schema (schema 2) che descrive il collegamento dei vari componenti per un sistema a circolazione forzata:



**Schema 2:** Impianto a circolazione forzata

L'impianto funziona così: con il sole la temperatura del fluido in uscita dai collettori supera quella del bollitore e la centralina attiva la pompa che mette in circolo il fluido termovettore trasferendo il calore dai collettori all'acqua nel bollitore; dopo una giornata soleggiata il boiler, avendo accumulato l'energia captata, è caldo. Se il calore solare non è sufficiente la pompa si spegne per riaccendersi in condizioni più favorevoli, al tramonto il fluido all'uscita dei collettori si raffredda e la pompa si ferma. L'acqua calda immagazzinata nel boiler rimane in temperatura disponibile all'utenza per alcuni giorni. Di norma questi sistemi dispongono di bollitore a doppio scambiatore: quello solare posto inferiormente e quello di integrazione posto più in alto. La stratificazione dell'acqua calda nel boiler consente di sfruttare al meglio l'energia solare in quanto, se è necessaria l'integrazione, la caldaia opera su una quantità d'acqua limitata.

Sotto l'aspetto applicativo [1], va fatta una distinzione in riferimento alla temperatura raggiunta dal fluido vettore. Come parametro di confronto viene indicata la temperatura di 100°C ed in particolare si individuano i campi di applicazione riportati nella seguente tabella:

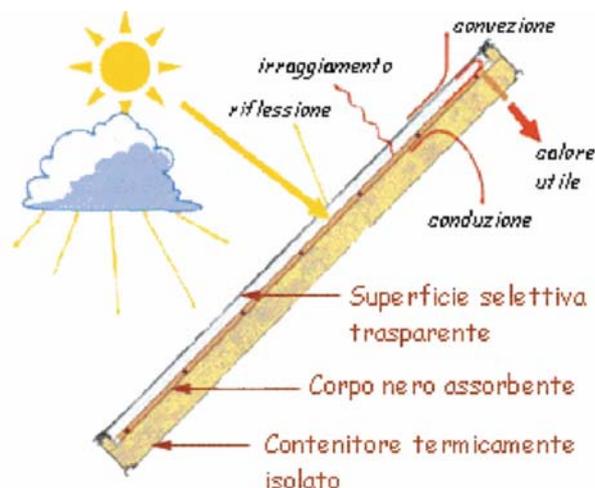
**Tabella 1:** Applicazione dei pannelli solari in funzione della temperatura del fluido vettore

Applicazioni a bassa temperatura	Temperatura del fluido vettore $\leq 100^{\circ}\text{C}$	Applicazioni finalizzate al riscaldamento di ambienti, produzione di acqua calda, ecc.
Applicazioni a media temperatura	Temperatura del fluido vettore compresa tra $100 - 300^{\circ}\text{C}$	Applicazioni di tipo industriale
Applicazioni ad alta temperatura	Temperatura del fluido vettore $\geq 500^{\circ}\text{C}$	Applicazioni di tipo industriale

### 1.1.1. Applicazioni a bassa temperatura

Tali sistemi solari sono sostanzialmente costituiti da due elementi fondamentali: **collettori di tipo piano** capaci di funzionare in presenza di radiazione solare sia diretta che diffusa e un serbatoio.

I *collettori piani* (Fig. 3), sono composti da una cella/intelaiatura termicamente isolata (in legno incollato a tenuta di acqua o in alluminio), coperta da un vetro protettivo in grado di sopportare pioggia, grandine e temperature rigide, che filtra i raggi solari e crea l'effetto serra per intrappolare il calore. All'interno della cella si trova l'assorbitore di calore vero e proprio, che è una lastra metallica scura, detta anche piastra captante, o corpo nero assorbente, sulla quale sono saldati i tubi all'interno dei quali circola il fluido vettore.



**Figura 3:** Schema di un collettore piano

Esistono numerose applicazioni del solare termico che differiscono per grandezza di impianto e per tipologia di uso finale (Fig. 4). Tra le applicazioni più diffuse, ricordiamo:

- produzione di acqua calda sanitaria da utilizzare per docce, bagni, cucine, ecc.;
- riscaldamento di piscine da utilizzare sia per quelle coperte che per quelle scoperte;
- riscaldamento degli ambienti in inverno;
- produzione di calore per processi di tipo agroalimentare o industriale.



**Figura 4:** Impianto termosolare. Tutti gli edifici che dispongono di uno spazio soleggiato (tetto inclinato, tetto terrazzato, giardino, ecc.) possono essere dotati di un impianto solare per la produzione di acqua calda sanitaria

### ***Impianto ad uso sanitario [2]***

Attraverso l'energia solare possiamo supplire all'85-90% del bisogno pro capite di acqua per utilizzo sanitario domestico, ovvero per lavarci e lavare indumenti e stoviglie (gli elettrodomestici dell'ultima generazione prevedono la possibilità di utilizzare acqua preriscaldata).

Calcolare il risparmio annuale derivante dall'utilizzo di un impianto solare per il riscaldamento dell'acqua ad uso sanitario non è immediato essendoci in gioco diversi fattori tra cui alcuni (esempio le abitudini individuali) molto variabili; volendo affrontare un discorso "di massima" è possibile però stimare un risparmio pari a circa 170-220 m<sup>3</sup> annui pro capite, includendo in tale stima anche il risparmio derivante dal completo spegnimento della caldaia, fiamma pilota compresa, per il periodo tra aprile ed ottobre.

Tale risparmio, per una famiglia di 4 persone con un impianto a gas metano, si traduce in un risparmio effettivo pari a 210–270 euro all'anno, al netto di effetti sostanziali quali l'inflazione ed il consueto rincaro del prezzo del gas medesimo.

A tale stima non è possibile non aggiungere, anche se difficilmente quantificabile in termini economici, il generale beneficio ambientale derivante dalla mancata emissione pari a circa 1000-1500 kg di CO<sub>2</sub>.

Il prezzo di un impianto per la produzione di acqua calda ad uso sanitario domestico [1] per una famiglia di 4 persone varia in funzione sia della quantità d'acqua desiderata sia della complessità di installazione dell'impianto medesimo; indicativamente i costi possono variare da un minimo di 3500 euro ad un massimo di 4500 euro (2 o 3 pannelli di circa 2 mq).

Ciò significa che, ad esempio, se l'impianto è costato 4500 euro, tenendo anche conto di inflazione ed aumenti futuri del combustibile paragonabili a quelli registrati negli ultimi anni, l'impianto potrà essere ammortizzato nel giro di 9-10 anni. Considerando, poi, la possibilità di chiedere il rimborso IRPEF del 41% così come previsto dalla normativa in vigore, il tempo di ammortamento si ridurrebbe proporzionalmente decrementando fino a 5-6 anni.

### ***Impianto per il riscaldamento domestico [2]***

Le attuali tecnologie permettono di ottenere una copertura del fabbisogno energetico per riscaldamento domestico anche pari al 60%, ma occorre fare qualche necessaria premessa.

Un impianto solare termico per il riscaldamento domestico si abbina tipicamente ad un impianto di riscaldamento funzionante a bassa temperatura, cioè un impianto costituito da pannelli radianti sottopavimento o a parete; ciò è dovuto al fatto che l'acqua è scaldata attraverso i pannelli solari ad una temperatura di circa 40-50 gradi centigradi. Alimentare attraverso un impianto solare di medie dimensioni un normale impianto di riscaldamento a termosifoni significa poter ottenere un risparmio potenziale pari a "solo" il 20-30%. I pannelli solari consigliati per questo tipo di applicazione sono del tipo "sotto vuoto" per assicurare un buon rendimento anche nei periodi invernali;

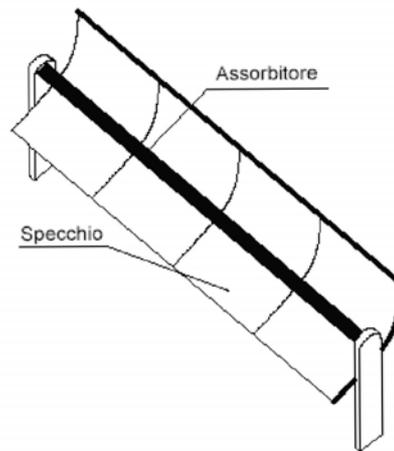
- Occorrono circa 9 m<sup>2</sup> di pannelli solari per ogni 150 m<sup>2</sup> di superficie da riscaldare;
- Occorre poter installare serbatoi di grandi dimensioni (1500-2000 litri circa)
- Occorre disporre di un'abitazione ben coibentata.

Ciò premesso è verosimile fissare il costo indicativo di un impianto solare per il riscaldamento domestico di circa 150 m<sup>2</sup> di abitazione attorno ai 9000 Euro, tale costo comprende i pannelli solari ed il serbatoio di 2000 litri; il risparmio stimato in presenza delle condizioni di cui sopra si aggira attorno al 60%.

Anche in questo caso sono attualmente disponibili dei contributi a livello regionale e la possibilità di ottenere uno sgravio sull'IRPEF pari al 36% sul costo dell'impianto.

### 1.1.2. Applicazioni a media temperatura [1]

Per questo tipo di applicazioni vengono solitamente impiegati i **collettori a concentrazione** (Fig. 5), costituiti da un cilindro parabolico a specchio e da un assorbitore tubolare. Gli specchi parabolici focalizzano la radiazione solare incidente nel fuoco della parabola dove è posizionato l'assorbitore.

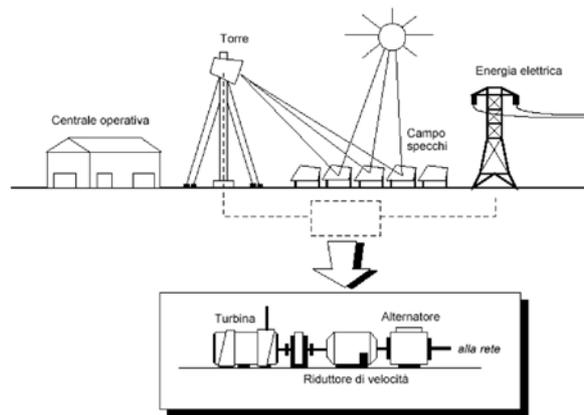


**Figura 5:** Collettori a concentrazione. Pannelli solari termici in cui si utilizza un sistema di specchi per concentrare i raggi solari a partire da un'area più ampia su di una superficie più ristretta.

Questo è costituito da un elemento tubolare di colore nero all'interno del quale circola il fluido vettore da riscaldare. Con questo tipo di collettore si raggiungono temperature del fluido vettore comprese tra 100°C e 300°C e quindi esso risulta particolarmente adatto a soluzioni impiantistiche che richiedono tali temperature. Un'applicazione tipica di questi collettori è quella del funzionamento a caldaia. Gli specchi parabolici focalizzano la radiazione solare sui tubi pieni di olio sintetico, il quale viene utilizzato per produrre vapore mediante uno scambiatore di calore. Gli inconvenienti di un tale sistema sono riscontrabili nella notevole occupazione di territorio.

### 1.1.3. Applicazioni ad alta temperatura (Centrale solare)

Questo tipo di applicazione riguarda gli impieghi per la produzione di energia elettrica. Si utilizzano normalmente i sistemi a torre, i cui elementi essenziali sono:



**Figura 6:** Centrale solare a torre. La radiazione solare investe il campo di specchi e viene focalizzata sulla caldaia che, raggiungendo temperature elevate (circa 500°C), fa evaporare l'acqua che vi circola. Il vapore prodotto, ad elevata temperatura e pressione, si espande in una turbina a vapore che, mettendo in rotazione l'alternatore, produce energia elettrica

- il *campo specchi*, formato da un elevato numero di superfici riflettenti che seguono automaticamente il percorso del sole e che concentrano istante per istante i raggi solari verso un ricevitore;
- il *ricevitore energetico* (caldaia puntuale), collocato su una torre posta in posizione centrale rispetto al campo specchi;
- il *sistema di conversione dell'energia termica* prima in energia meccanica (turbina a vapore) e successivamente in energia elettrica (generatore elettrico);
- il *sistema di regolazione* preposto a mantenere gli specchi ortogonali alla radiazione diretta. L'inseguimento può essere attuato da un computer o da elementi fotosensibili che, istante per istante, misurano l'errore di orientamento del singolo specchio.

## 1.2 Vantaggi ambientali [2]

Il sistema solare termico, specialmente se integrato negli edifici, per la sua silenziosità, l'assenza di qualsiasi emissione (non contribuisce all'effetto serra, alle patologie respiratorie, alle piogge acide), non ha praticamente impatto ambientale (se non per i processi industriali di produzione dei pannelli).

Per quantificare i vantaggi ambientali basta valutare la quantità di anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) emessa nell'atmosfera dai diversi modi comunemente utilizzati per produrre acqua calda (scaldabagno elettrico, caldaia a metano, pannelli solari).

Per inciso è utile ricordare che l'anidride carbonica è ritenuta una delle cause dell'eccessivo surriscaldamento del pianeta terra.

Per produrre l'acqua calda necessaria al proprio fabbisogno, una famiglia di 4 persone con uno scaldabagno elettrico utilizza circa 7,7kWh elettrici al giorno. Per produrre 1kWh con

una centrale termoelettrica si emettono circa 0,7kg di CO<sub>2</sub>, uno scaldabagno è, quindi, responsabile di circa 5,4 kg di CO<sub>2</sub> ogni giorno.

Una caldaia a metano, invece, utilizza circa 0,9 m<sup>3</sup> di combustibile al giorno per famiglia. Poichè nella combustione di metano si producono circa 1,96kg di CO<sub>2</sub> ogni m<sup>3</sup>, l'emissione giornaliera è pari a 1.77kg di CO<sub>2</sub>.

Con i pannelli solari non si ha nessuna emissione di CO<sub>2</sub> né di altri inquinanti atmosferici come le polveri, gli ossidi di azoto e ossidi di zolfo.

In ogni caso i pannelli possono essere usati anche ad integrazione della caldaia gas o dello scaldabagno con riduzioni delle emissioni del 60%.

Di seguito viene riportata una tabella riassuntiva di tre diversi sistemi usati per riscaldare l'acqua insieme ai loro consumi e le loro emissioni di CO<sub>2</sub> nell'atmosfera:

**Tabella 2:** Sistemi usati per riscaldare l'acqua, i loro consumi energetici e le loro emissioni di CO<sub>2</sub>

<b>Dispositivo</b>	<b>Fonte di energia</b>		<b>Emissioni di CO<sub>2</sub> (kg/anno)</b>
Scaldabagno	Energia elettrica	2800 kWh/anno	1970
Boiler a gas	Metano	328 m <sup>3</sup>	646
Pannello solare	Sole		0

Quindi i benefici ambientali ottenibili dall'adozione di un sistema solare termico sono proporzionali alla quantità di energia prodotta, supponendo che questa vada a sostituire dell'energia altrimenti fornita da fonti convenzionali; in particolare, il parametro di confronto tra le diverse tecnologie a disposizione può essere la quantità di CO<sub>2</sub> mediamente immessa nell'ambiente per produrre, nelle stesse condizioni, acqua calda sanitaria.

Tuttavia, essendo l'energia solare una fonte aleatoria sulla superficie terrestre, i collettori solari termici vanno realisticamente considerati integrativi rispetto alle tecnologie tradizionali: vanno quindi considerati capaci di fornire direttamente solo parte dell'energia necessaria che altrimenti dovrebbe essere prodotta dalla caldaia tradizionale.

La percentuale di energia termica prodotta annualmente da un collettore solare termico prende il nome di fattore di copertura del fabbisogno termico annuo. Per questo motivo un collettore solare termico per la produzione di acqua calda sanitaria dimensionato correttamente, viene progettato per soddisfare il 60÷65% del fabbisogno termico [1]. Questo limite è comune a moltissime tecnologie basate su fonti rinnovabili, il più delle volte caratterizzate da disponibilità aleatoria o periodica. Inoltre, con il crescere delle dimensioni dell'impianto, cresce il fattore di copertura del carico termico, ma la relazione

tra il costo dell'energia e l'energia prodotta resta lineare solo fino al 55%÷60%. Superato questo valore, il costo continua ad aumentare linearmente con le dimensioni dell'impianto, mentre l'energia prodotta aumenta meno rapidamente, il che si traduce in un maggiore costo dell'unità di superficie del collettore.

## *Capitolo II*

## **2 Inquadramento normativo**

Il quadro normativo in materia energetica è in continua evoluzione; nell'ultimo decennio infatti "l'energia" è stata oggetto di numerosi interventi legislativi [3].

### **2.1 Le direttive internazionali per la riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>**

La Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici (UN-FCCC) approvata a New York il 9 maggio del 1992 rappresenta il primo trattato internazionale vincolante riferito specificatamente ai cambiamenti climatici.

Nella Convenzione UN-FCCC viene istituito un organo definito "La Conferenza delle Parti", al quale venne demandato il compito fondamentale di dare attuazione ai principi e agli impegni generali contenuti nella convenzione stessa. Questo organo, che è l'organo supremo e decisionale, ha anche il compito di controllare l'effettivo svolgimento delle azioni per il raggiungimento degli obiettivi della UNFCCC.

Nella terza sessione plenaria della Conferenza delle Parti tenutasi a Kyoto dall'1 al 10 dicembre 1997 fu approvato il Protocollo di Kyoto che rappresenta lo strumento attuativo della Convenzione.

#### *Il Protocollo di Kyoto*

Il Protocollo di Kyoto impegna i Paesi industrializzati e quelli ad economia in transizione (i Paesi dell'est europeo) a ridurre complessivamente del 5%, entro il 2010, le principali emissioni antropogeniche di gas capaci di alterare l'effetto serra naturale del nostro pianeta. Questi gas, detti gas serra, sono:

- l'anidride carbonica;
- il metano;
- il protossido di azoto;
- i fluorocarburi idrati;
- i perfluorocarburi;
- l'esafluoruro di zolfo.

L'anno di riferimento per la riduzione delle emissioni dei primi tre gas è il 1990, mentre per i rimanenti tre (che sono anche gas lesivi dell'ozono stratosferico e che per altri aspetti rientrano in un altro protocollo: il Protocollo di Montreal) è il 1995.

La riduzione complessiva del 5%, però, non è uguale per tutti. Infatti per i Paesi dell'Unione Europea, nel loro insieme, la riduzione deve essere dell'8%, per gli Stati Uniti la riduzione deve essere del 7% e per il Giappone del 6%. Nessuna riduzione, ma solo stabilizzazione è prevista per La Federazione Russa, la Nuova Zelanda e l'Ucraina.

Possono, invece, aumentare le loro emissioni fino al 1% la Norvegia, fino al 8% l'Australia e fino al 10% l'Islanda.

Ai fini della riduzione delle emissioni di gas serra non va tenuto conto solo dei rilasci in atmosfera dei gas serra provenienti dalle attività umane, ma anche degli assorbimenti che vengono effettuati dall'atmosfera attraverso idonei assorbitori (sink) che eliminano tali gas e li immagazzinano opportunamente in modo da non aumentare l'effetto serra naturale.

Uno dei principali assorbitori di gas serra, ed in particolare dell'anidride carbonica, è costituito da piante, alberi e, in generale, dall'accumulo di biomassa attraverso la crescita della copertura vegetale. Pertanto, opere di forestazione iniziate dopo l'anno di riferimento, il 1990, vanno tenute in debito conto ai fini del bilancio fra quanto rilasciato in atmosfera e quanto assorbito da boschi e foreste.

Le azioni di forestazione possono essere di due tipi: riforestazione, cioè incrementare la crescita delle foreste su aree che erano già forestali e che incendi boschivi o l'azione umana hanno distrutto o depauperato, oppure afforestazione, cioè impiantare nuovi boschi e nuove foreste su territori potenzialmente idonei o da rendere idonei, ma che in passato non erano sede di boschi e foreste.

La riduzione delle emissioni di gas serra in atmosfera deve in definitiva essere intesa come riduzione delle "emissioni nette", vale a dire in termini di bilancio tra quanto complessivamente aggiunto all'atmosfera (rilasciato verso l'atmosfera) e quanto complessivamente sottratto dall'atmosfera (assorbito dall'atmosfera ed immagazzinato).

Per favorire non solo l'attuazione degli obblighi, ma anche la cooperazione internazionale, il Protocollo di Kyoto introduce formalmente alcune novità rispetto alla Convenzione UNFCCC: oltre alla "joint implementation" vale a dire l'attuazione congiunta di obblighi individuali (di cui si discuteva già da molto tempo), vengono stabiliti due nuovi strumenti attuativi: la "emission trading", vale a dire la commercializzazione dei diritti di emissione e il "clean development mechanism". La "joint implementation", ovvero l'attuazione congiunta degli obblighi definiti dal Protocollo è prevista come strumento di cooperazione all'interno del gruppo di Paesi a cui è destinato il Protocollo stesso, cioè fra i Paesi industrializzati e quelli ad economia in transizione.

Per quanto riguarda la "emission trading", il Protocollo di Kyoto stabilisce che è possibile, nella esecuzione dei propri obblighi, trasferire i propri diritti di emissione o acquistare i diritti di emissione di un altro Paese. In altre parole, se un Paese riesce a ridurre le proprie emissioni più della quota assegnata può vendere la rimanente parte delle sue emissioni consentite ad un altro Paese che non sia in grado o potrebbe non essere in grado, di

raggiungere l'obiettivo che gli spetta. Viceversa un Paese che, per ridurre una certa quota delle proprie emissioni, spenderebbe di più di quanto gli costerebbe acquistare la stessa quota da un altro Paese che è disposto a trasferirla, può acquistare tale diritto supplementare.

La possibilità di avvalersi di “emission trading”, che aveva generato qualche timore di un possibile disimpegno dei Paesi più ricchi e più fortemente emettitori di gas serra, è in realtà una possibilità prevista dalla stessa Convenzione UNFCCC dove si prescrive che le politiche e le misure da attuare ai fini del raggiungimento degli obiettivi della Convenzione devono essere ottimizzati dal punto di vista costi/benefici. L'introduzione di strumenti economici quali la “carbon tax”, la tassa sulle emissioni di anidride carbonica, e la “emission trading”, la commercializzazione dei permessi di emissione, concorrono all'ottimizzazione del rapporto costi/benefici, come risulta dalle valutazioni compiute da IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change: un organo consultivo delle Nazioni Unite per i cambiamenti climatici).

Infine, il “clean development mechanism” è un ulteriore strumento attuativo, che a differenza dei precedenti, è fundamentalmente orientato a favorire la collaborazione internazionale e la cooperazione tra Paesi industrializzati e Paesi in via di sviluppo su programmi e progetti congiunti in modo che, attraverso la attuazione degli impegni contenuti nella Convenzione UN-FCCC, venga dato impulso anche ai processi di sviluppo socio-economico ed industriale nel quadro di riferimento più generale dello sviluppo sostenibile. I meccanismi flessibili sono stati e seguitano ad essere oggetto di forti controversie soprattutto tra la UE da una parte e gli USA ed i Paesi del cosiddetto “umbrella group” (Australia, Canada, Giappone e Nuova Zelanda) dall'altra.

#### *Gli accordi di Marrakesh*

Nella Conferenza delle Parti tenutasi a Marrakesh (COP 7) il 29 Ottobre 2001 sono stati raggiunti alcuni compromessi sull'attuazione del protocollo di Kyoto i cui punti salienti riguardano:

- “sink”: una apposita decisione ha dato larghe concessioni alla Russia per l'uso dei “sink”. Inoltre, sono state definite ed approvate le regole su come si contabilizzano emissioni ed assorbimenti;
- “meccanismi flessibili”: sono state definite le regole per l'uso di tutti i meccanismi flessibili. In particolare, vengono definite le “unità di riduzione delle emissioni” oggetto di scambio nei meccanismi flessibili, come queste unità si certificano (unità di

emissione certificate), come vanno trasferite ed acquisite, ecc. Sono stati istituiti i “Registri Nazionali” per la registrazione e la contabilizzazione sia delle “unità” (obblighi, crediti, ecc) sia delle transazioni operate ed in corso. Inoltre, è stato istituito un “Executive Board” per il “Clean Development Mechanism”, composto da 10 membri, con compiti di supervisione, gestione e controllo di questo specifico meccanismo flessibile; compito di sorvegliare e controllare l’attuazione degli impegni e definire le sanzioni per gli inadempienti. E’ stato approvato anche il regolamento per le verifiche ed i controlli e sono state confermate le principali penalità sopraddette. Viene confermato che le penalizzazioni non saranno, per ora, “legalmente vincolanti”, tuttavia, si è convenuto che lo saranno solo dopo l’entrata in vigore del Protocollo (prevista nel 2003): gli approfondimenti su questo aspetto e, comunque, su tutti gli aspetti legali dovranno essere esaminati ed attuati solo a partire dalla data prevista.

#### *Risorse finanziarie*

Per quanto riguarda le risorse finanziarie, nella conferenza tenutasi a Bonn dal 16 al 27 Luglio 2001 sono stati istituiti tre fondi specifici:

- “climate change fund” per promuovere l’adattamento soprattutto nel campo dell’energia, dei trasporti, dell’industria e dell’agricoltura, nel campo della gestione forestale e della gestione dei rifiuti; sono previsti, tra l’altro, anche aiuti ai Paesi in via di sviluppo la cui economia è basata sulla produzione di petrolio
- “least-developed countries fund” per lo sviluppo sostenibile dei Paesi poveri da essere gestito in ambito GEF della World Bank;
- “Kyoto adaptation fund” per finanziare specifici progetti o programmi di adattamento mirati, con riferimento particolare ai problemi di vulnerabilità ai cambiamenti climatici degli Stati delle piccole isole e dei Paesi più poveri. A parte quest’ultimo fondo, non erano state fornite indicazioni precise su chi e su come alimentare questi fondi. Tuttavia, l’Unione Europea, il Canada, la Nuova Zelanda, la Svizzera, la Norvegia e l’Islanda avevano promesso un contributo di 410 milioni di dollari all’anno a partire dal 2005, con una revisione del finanziamento nel 2008. Non necessariamente tale contributo doveva essere versato sui fondi sopraddetti, ma poteva anche essere destinato, tramite accordi bilaterali, ai Paesi che ne avranno bisogno e ne usufruiranno. A Marrakesh sono state date indicazioni precise per il “Kyoto adaptation fund”, mentre restano indicazioni di carattere generale per gli altri due fondi. L’argomento sarà oggetto di ulteriori approfondimenti, con l’entrata in vigore del Protocollo.

## 2.2 La disciplina Nazionale

Fin dall'inizio degli anni novanta, l'Italia è stata fra le nazioni più attive nel promuovere una politica di protezione dell'atmosfera anche se oggi, dopo aver assunto importanti impegni internazionali, i relativi programmi di attuazione faticano a decollare e, in alcuni casi, non sono mai stati realizzati. Ecco i passi principali della politica nazionale sul clima:

- il 29 ottobre 1990, su proposta e sotto la presidenza italiana, l'UE assunse l'impegno di stabilizzazione delle emissioni di anidride carbonica ai livelli del 1990 entro il 2000 e di controllo delle emissioni degli altri gas serra;
- con la Legge n. 65 del 15 gennaio 1994, l'Italia ratifica la Convenzione Quadro sui Cambiamenti Climatici (entrata poi ufficialmente in vigore il 21 marzo 1994);
- con il "Programma Nazionale per il contenimento delle emissioni di anidride carbonica, approvato dal CIPE (Comitato Interministeriale per la Programmazione Economica) il 25 febbraio 1994, l'Italia emana il primo provvedimento nazionale in attuazione degli impegni della Convenzione;
- il 16 gennaio 1995 l'Italia trasmette alle Nazioni Unite e all'Unione Europea la Prima Comunicazione Nazionale alla Convenzione Quadro sui Cambiamenti Climatici che si limita, però, ad elencare una serie di possibili misure di risparmio energetico con vantaggi economici netti (nell'ottica costi/benefici) e a dimostrare la fattibilità teorica di una stabilizzazione delle emissioni di CO<sub>2</sub>eq, ignorando la previsione delle modalità attuative delle misure indicate;
- alla "Conferenza nazionale sui cambiamenti climatici, energia e trasporti, tenutasi a Roma dal 13 al 15 novembre 1997 (due settimane prima di Kyoto), viene presentata la Seconda Comunicazione Nazionale alla Convenzione Quadro sui Cambiamenti Climatici. In essa si è fatto il punto sulla situazione nel raggiungimento dell'obiettivo della stabilizzazione al 2000 e si è individuato un elenco di misure coerenti con il raggiungimento dell'obiettivo del -7% al 2010. In essa era stato inoltre valutato e formulato anche un ulteriore insieme di misure per il raggiungimento di un livello di riduzione pari a -13,1 %;
- la delibera CIPE del 3 dicembre 1997 ha formalmente approvato le linee generali della Seconda Comunicazione rimandando però l'approvazione dei programmi attuativi degli impegni che scaturiscono dalle decisioni internazionali ad una delibera successiva dello stesso CIPE, e ciò senza specificare né un termine di scadenza, né a quali impegni internazionali il nuovo programma avrebbe dovuto fare riferimento. La delibera CIPE si limitava a richiedere che i programmi fossero predisposti da ciascuna delle

amministrazioni competenti e che nell'individuazione delle misure fossero favorite quelle rispondenti ad alcuni criteri (rapporto favorevole fra risorse impegnate e risultati attesi; coerenza con gli obiettivi generali di politica economica; coinvolgimento finanziario degli operatori privati; utilizzo di risorse comunitarie). La stessa delibera CIPE non menzionava, infine, il fatto che gli impegni di Kyoto potessero attuarsi all'estero attraverso i meccanismi di flessibilità e, quindi, assumeva indirettamente che tutti gli obblighi dovessero attuarsi a livello nazionale;

- il 19 novembre 98 il CIPE approva le “Linee guida per le politiche e le misure nazionali di riduzione delle emissioni dei gas serra”. Nel corso del 1999 il Ministero dell’Ambiente ha avviato l’attuazione degli indirizzi e dei programmi previsti dalle seguenti delibere dei CIPE:
  - 3 dicembre 1997, approvazione delle linee generali della “Seconda comunicazione nazionale alla convenzione sui cambiamenti climatici”;
  - 19 novembre 1998, “Linee guida per le politiche e misure nazionali di riduzione delle emissioni dei gas serra”.

Le delibere del CIPE individuano i criteri, i tempi e le azioni per la riduzione delle emissioni dei gas serra entro il 2012 in attuazione degli Impegni assunti dall’Italia nell’ambito della Convenzione sui Cambiamenti Climatici del 1992 e del Protocollo di Kyoto del 1997.

In attuazione del Protocollo, e sulla base della decisione assunta successivamente dall’Unione Europea, l’Italia dovrà ridurre, entro il 2012, le proprie emissioni nazionali nella misura dei 6,5% rispetto ai livelli del 1990 (555 milioni di tonnellate).

## ***Linee guida per le politiche e le misure di riduzione delle emissioni di gas serra***

Azioni per la riduzione di emissioni di gas serra (Mt CO2 equivalente)			
	2002	2006	2008-2012
Aumento di efficienza del parco termoelettrico	- 4/5	- 5/6	- 7/8
Riduzione consumi energetici settore trasporti	- 2/3	- 5/6	- 6/7
Produzione di energia da fonti rinnovabili	- 4/5	- 7/9	- 8/9
Riduzione consumi energetici settore industriale abitativo Terziario	- 6/7	- 6/7	- 5/6
Riduzione emissioni nei settori non energetici	-2	- 7/9	- 4/5
Assorbimento delle emissioni di CO2 dalle foreste			-0.7
Totale	- 4/5	- 5/6	- 6/7

Fonte: ENEA

### ***Il Libro Bianco sulle fonti rinnovabili***

Approvato dal Cipe nell'agosto 1999, conferma la rilevanza strategica delle fonti rinnovabili in termini di maggiore sicurezza del sistema energetico, di riduzione dell'impatto ambientale, di opportunità di tutela del territorio e di sviluppo sociale.

L'obiettivo è quello di incrementare il loro contributo al bilancio energetico nazionale al 2008-2012, portandolo dagli 11,7 Mtep del 1997 a circa 20,3 Mtep.

Per favorire il raggiungimento di tali obiettivi è previsto un intervento dello Stato, concertato con le altre istituzioni pubbliche, articolato su più linee di azione. Una riguarda il crescente coinvolgimento delle Regioni e degli Enti Locali nei programmi di diffusione delle energie rinnovabili, garantendo, in una prima fase, le risorse necessarie ad incentivarne la produzione, fornendo le necessarie strutture tecniche di supporto e l'assistenza alla creazione e rafforzamento delle Agenzie Regionali per l'Energia (ARE). Un'altra intende promuovere iniziative per la creazione di una cultura delle fonti rinnovabili a livello di amministrazioni locali. Particolare importanza viene attribuita agli "accordi volontari" quali strumenti per conseguire gli obiettivi prefissati, attraverso il coinvolgimento dei vari soggetti interessati. Al fine di reperire risorse aggiuntive per l'incentivazione, il Libro Bianco prevede l'inserimento di uno specifico asse dedicato alle fonti rinnovabili nella programmazione 2000-2006 dei Fondi Strutturali dell'Unione Europea.

### ***Risparmio energetico ed utilizzo di fonti rinnovabili***

La normativa nazionale inerente il settore energetico comprende anche aspetti rivolti a promuovere il risparmio energetico e l'utilizzo delle fonti rinnovabili. Di seguito, sono richiamate le principali norme ad oggi vigenti a livello nazionale in proposito:

- La legge 9/1/1991 n. 9 concernente “Norme per l’attuazione del nuovo Piano energetico nazionale: aspetti istituzionali, centrali idroelettriche ed elettrodotti, idrocarburi e geotermia, autoproduzione e disposizioni fiscali”;
- La legge 9/1/1991 n. 10 concernente “ Norme per l’attuazione del Piano Energetico Nazionale (PEN) in materia di uso razionale dell’energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia”. Della legge 10/91 si richiama in particolare l’art. 5 che definisce i contenuti dei Piani Energetici Regionali (PER);
- In applicazione della legge 10/91 è stato inoltre emanato il D.P.R. 26/8/993 n. 412 concernente “Regolamento recante norme per la progettazione, l’installazione, l’esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi energia, in attuazione dell’art. 4, comma 4, della legge 9/1/91 n. 10”, successivamente modificato e integrato dal D.P.R. 551 in data 21/12/99;
- Il C.I.P.E., con deliberazione n. 126 in data 6/8/99, ha approvato Libro Bianco per la valorizzazione energetica delle fonti rinnovabili della Commissione europea del 26/11/1997;
- Il Decreto M.I.C.A. (Ministero Industria Commercio Artigianato) 24/4/2001, che individua gli obiettivi quantitativi nazionali di risparmio energetico e sviluppo delle fonti rinnovabili di cui all’art. 16, comma 4, del decreto legislativo 23/5/2000, n. 164;
- Il Decreto M.I.C.A. 24/4/2001, che individua gli obiettivi quantitativi per l’incremento dell’efficienza energetica negli usi finali ai sensi dell’art. 9, comma 1, del decreto legislativo 16/3/99, n. 79.

### ***La Conferenza dei Presidenti delle regioni e delle province autonome***

In questo contesto appare di estremo rilievo quanto emerso nella “Conferenza dei Presidenti delle Regioni e delle Province Autonome” tenutasi a Torino il 5 giugno 2001. Nell’ambito della Conferenza, infatti, è stato siglato un protocollo d’intesa per il coordinamento delle politiche finalizzate alla riduzione delle emissioni dei gas serra nell’atmosfera. Con tale intesa i Presidenti delle regioni e delle province autonome si impegnano a garantire:

- l’orientamento delle diverse politiche alla riduzione, quanto più possibile dei gas serra;

- il coordinamento degli interventi e dei finanziamenti sia statali sia locali per il prioritario obiettivo della sostenibilità;
- l'individuazione, nell'ambito dei Piani di Tutela e Risanamento della Qualità dell'Aria, delle strategie ottimali per la riduzione dei gas serra;
- l'elaborazione entro l'anno 2002 di un Piano Energetico Ambientale, sulla base dei singoli bilanci energetici che privilegino:
  - le fonti rinnovabili e l'innovazione tecnologica;
  - la razionalizzazione della produzione elettrica;
  - la razionalizzazione dei consumi energetici, con particolare riguardo al settore civile anche attraverso l'introduzione della Certificazione Energetica;
  - il raccordo dei diversi settori di programmazione ai fini della sostenibilità complessiva;
  - la valorizzazione del ruolo delle politiche di sostegno dell'innovazione tecnologica nonché degli strumenti macroeconomici fiscali, tariffari ed incentivanti;
  - la promozione nel settore produttivo dell'eco-efficienza e della cooperazione internazionale.

### **2.3 La disciplina Provinciale [4], [5]**

#### ***Casaclima***

Con lo pseudonimo di CasaClima si intende l'iniziativa provinciale per la riduzione del fabbisogno energetico negli edifici ad uso residenziale. Attraverso la definizione di consumi massimi di energia per metro quadrato di superficie abitata, viene ottenuta una riduzione del consumo di combustibile e pertanto una riduzione delle emissioni di inquinanti atmosferici e di "gas serra". Detti minori consumi di energia vengono ottenuti in primo luogo attraverso il migliore isolamento termico degli edifici, ma anche attraverso lo sfruttamento passivo dell'energia solare.

In particolare introduce l'obbligo:

- della certificazione per ogni nuova costruzione, con dichiarazione all'atto della concessione edilizia e accertamento definitivo all'atto della licenza d'uso;
- del raggiungimento dello standard minimo della "Classe C", con trattamento premiale per la "Classe A" (sconto 10% sugli oneri di urbanizzazione).

Gli standard di consumo energetico fissati dai protocolli di CasaClima sono:

per la classe A → 30 kWh / mq anno

per la classe B → 50 kWh / mq anno

per la classe C → 70 kWh / mq anno

Per le condizioni climatiche di Bolzano corrispondono ad un consumo di circa 3, 5 e 7 litri di gasolio per metro quadro annuo con evidenti effetti virtuosi sui consumi energetici e, con proporzione diretta, sulle emissioni in atmosfera (in particolare di CO<sub>2</sub> e PM10).

In data 8.10.2002 con delibera n. 96/38108 il Consiglio Comunale di Bolzano ha approvato la prima manovra normativa edilizia per l'eccellenza ambientale introducendo nel regolamento edilizio la procedura di CasaClima, secondo i protocolli della Provincia Autonoma.

Successivamente, in data 10.2.2004 con delibera nr. 11/8247 il Consiglio Comunale ha implementato la manovra normativa sulla qualità ambientale con l'introduzione della certificazione RIE (indice di Riduzione dell'Impatto Edilizio) che impone, per ogni nuovo edificio, l'obbligo di calcolo del coefficiente deflusso delle acque superficiali con il raggiungimento di standard minimi di permeabilità del lotto edificato, prefissati per ogni tipo di zona.

Inoltre, in data 15.01.2004 con delibera nr. 2/2668 il Consiglio Comunale ha approvato il piano di attuazione del nuovo quartiere CasaNova (oggi in via di realizzazione) secondo standard vincolanti di eccellenza ambientale:

- Classe A di CasaClima, teleriscaldamento e impianto fotovoltaico centralizzato, il tutto secondo un programma certificato di riduzione della bolletta energetica del 70%;
- controllo RIE e gestione integrale del ciclo dell'acqua.

La combinazione dei vari provvedimenti e la loro concreta applicazione ha contribuito ad innalzare sensibilmente lo standard di qualità ambientale della nuova produzione edilizia bolzanina.

Gli effetti più significativi sono particolarmente apprezzabili sotto i vari profili del risparmio energetico (con comprovate sensibili riduzioni delle bollette energetiche) e della salvaguardia ambientale (riduzione dell'inquinamento atmosferico da riscaldamento, protezione della falda acquifera, tetti verdi, ecc.).

Il bilancio diventa ancor più positivo se si considera la piena e attiva accettazione dei nuovi provvedimenti da parte del sistema professionale e immobiliare locale che ha reagito assai positivamente alla manovra, fino a rendere assolutamente consolidata e "naturale" la nuova prassi edificatoria. A ciò ha sicuramente contribuito la progressiva verifica *in itinere* circa:

- il modesto maggior costo delle buone pratiche edificatorie, se affrontate organicamente fin dalla fase di impostazione progettuale;

- l'effettivo vantaggio in termini di qualità edilizia, cioè di benessere e di riduzione dei costi per l'utente;
- la crescita di una specifica domanda di massa verso un'edilizia di alta qualità ambientale;
- il "rendimento" in termini di *marketing* commerciale dell'offerta di qualità.

Ne è derivato un progressivo allineamento del mercato edilizio locale agli *standard* medio-alti proposti dalle normative comunali: nella normale *routine* delle domande di concessioni edilizie solo raramente il richiedente ha scelto lo *standard* minimo della Classe C. Anzi, sempre più frequentemente, vengono scelti spontaneamente lo *standard* della Classe A.

Nel frattempo il Consiglio Comunale, prendendo atto dell'alto livello d'evoluzione e di diffusione della sensibilità ecologica e delle buone pratiche in materia di edilizia sostenibile, in data 19.05.2006 con delibera n. 59/36967 lo stesso ha approvato il Piano di Sviluppo Strategico che individua nell'eccellenza ambientale l'obiettivo centrale e qualificante del futuro della città di Bolzano. In quella prospettiva il Piano Strategico ha indicato, tra gli obiettivi concreti, proprio una manovra di ulteriore perfezionamento del pacchetto di norme ambientali del Regolamento Edilizio.

In questo quadro complessivo ha preso corpo la più recente manovra d'innovazione della normativa edilizia. In data 1.2.2007 con delibera n. 9/8926 il Consiglio Comunale ha approvato una nuova versione dell'art. 51-ter recante "certificato Casa Clima - Clima Haus" ed ha introdotto l'art. 19-ter del REC in materia di "risparmio energetico e fonti rinnovabili di energia".

La nuova normativa è entrata in vigore il 12.3.2007 ed è operativa dal giorno 11 maggio 2007; si applicherà a tutti gli edifici pubblici e privati di nuova costruzione ovvero sottoposti ad intervento di ristrutturazione che coinvolga almeno il 50 % del volume o della superficie utile.

Circa le procedure di certificazione e controllo nulla cambia per l'applicazione degli standard di CasaClima, salvo la restrizione degli interventi alle sole classi A e B.

Per quanto riguarda invece l'introduzione dell'obbligo d'utilizzo delle tecnologie solari o comunque rinnovabili si precisa quanto segue:

- l'obbligo vale per tutti gli edifici pubblici e privati di nuova costruzione ovvero sottoposti ad intervento di ristrutturazione che coinvolga almeno il 50 % del volume o della superficie utile;

- la “quota” di solare o comunque di energie rinnovabili deve essere almeno pari al 25% del fabbisogno energetico (= termico) totale e comunque non meno del 50% del fabbisogno di energia per la produzione di acqua calda sanitaria;
- si può indifferentemente ricorrere all’uso dei pannelli termici ovvero al fotovoltaico, o comunque a qualsiasi altra tecnologia che utilizza energie rinnovabili, documentandone l’equivalenza energetica;
- il rispetto della quota di solare, o comunque di energie rinnovabili, deve essere certificato in sede di domanda di concessione edilizia da un tecnico impiantista che dichiara il dato sul fabbisogno termico totale e la superficie di pannelli termici ovvero fotovoltaici necessari per rispettare la norma;
- le installazioni solari o comunque di tecnologie fondate su energie rinnovabili - nel loro aspetto formale e nel loro ingombro fisico -sono oggetto della concessione edilizia e vanno dunque rappresentate in tipologia, posizione e grandezza nel progetto di concessione, per essere opportunamente valutate anche sotto il profilo dell’impatto morfologico-architettonico;
- le eventuali deroghe al pieno rispetto della norma, per comprovate esigenze tecniche (incompatibilità dimensionale, incompatibilità ambientale, ecc.) o morfologiche (Vincolo Monumentale, Tutela degli Insiemi, Tutela Paesaggistica), saranno valutate dalla commissione edilizia e autorizzate esplicitamente nell’atto concessorio;
- adeguata certificazione tecnica dell’impiantista sulle installazioni eseguite costituirà documento indispensabile ai fini del rilascio della licenza d’uso.

Rispetto alla precedente normativa del 2002 la disciplina viene perfezionata con l’esplicita estensione a tutte le volumetrie ad uso civile, dunque non solo quelle residenziali, ma anche quelle terziarie e commerciali, sia private che pubbliche, con particolare cura nei confronti della qualità ambientale delle opere pubbliche.

Resta invece confermata l’applicazione della norma agli edifici di nuova costruzione e agli interventi di risanamento e/o ristrutturazione che coinvolgano almeno il 50% dell’edificio preesistente ovvero che coinvolgono direttamente l’impiantistica termica.

Appare in tutta evidenza il carattere d’eccellenza dell’evoluzione normativa, ma anche il suo limite intrinseco:

- il carattere della disposizione è di tipo permanente e quindi strutturale,

- mira ad una riduzione dell'utilizzo di combustibili di origine fossile che generano una moltitudine di inquinanti tra cui non vi sono solo quelli normati, ma anche una moltitudine di sostanze cancerogene,
- riduce in modo diretto e sostanziale le emissioni di anidride carbonica contribuendo alla riduzione dell'effetto serra.

Il 40% del fabbisogno energetico totale in Italia viene utilizzato nei consumi di carattere abitativo (riscaldamento, acqua sanitaria, energia elettrica, cucina ecc.) il 60% di questi consumi è costituito da energia utilizzata al solo scopo di riscaldare gli ambienti. Vi è quindi un grande potenziale di risparmio e di conseguenza un notevole potenziale di riduzione delle emissioni.

Infatti, una CasaClima A di 4 appartamenti rispetto ad una casa costruita in modo "tradizionale" (100 kWh/m<sup>2</sup>\*anno) emette in un anno circa 5 tonnellate di CO<sub>2</sub> in meno. Questo risparmio si traduce in una riduzione media annua di 3500 grammi di ossidi di azoto e di 300 grammi di polveri fini. Particolarmente importante è l'introduzione a livello provinciale di uno standard minimo di isolamento termico e della certificazione energetica degli edifici.

Il limite intrinseco della manovra sta invece nel fatto che la norma, che non può essere retro-attiva, investe "esclusivamente" gli interventi edilizi futuri in quanto agisce attraverso le nuove concessioni. Con ciò resta esclusa la massa edilizia già esistente, che ovviamente incide massimamente sulla qualità generale del patrimonio edilizio e sul bilancio ambientale generale. Ma è evidente che la manovra sul "nuovo" è destinata a fornire dimostrazione concreta circa i suoi effetti virtuosi anche in termini di reale contenimento dei costi di esercizio degli edifici di nuova generazione e ciò determinerà di fatto un potente effetto di emulazione spontanea anche sul "vecchio" patrimonio edilizio. Il tutto si combina con i già citati provvedimenti governativi che offrono significativi sgravi fiscali (per altro "cumulabili" con gli incentivi provinciali) per gli interventi di miglioramento dell'efficienza energetica degli edifici esistenti.

## *Capitolo III*

### **3 Metodologia**

#### **3.1 Obiettivo**

Analisi degli effetti sulle emissioni di inquinanti in seguito alla sostituzione parziale o totale delle caldaie a gas metano con pannelli solari per la produzione di acqua calda per uso sanitario domestico nella Provincia di Bolzano.

#### **3.2 Raccolta dei dati**

Le elaborazioni contenute nel presente studio sono state svolte a partire da dati ISTAT relativi al 14° Censimento della popolazione italiana (2001): Popolazione residente, Numero di famiglie, Numero di Edifici; e da dati ISTAT provenienti dall'Osservatorio ambientale sulle città (2004) relativi ai consumi di gas metano nella città di Bolzano [6].

Per il calcolo del risparmio energetico si fa riferimento ad un modello elaborato dall'ENEA [7].

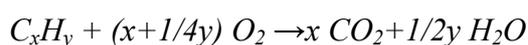
#### **3.3 Ipotesi**

E' stato ipotizzato di sostituire le caldaie a gas metano nelle abitazioni della Provincia di Bolzano al 100%, 75%, 50% con pannelli solari per la produzione di acqua calda sanitaria (acs).

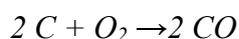
#### **3.4 Inquinanti considerati**

##### **3.4.1 Ossidi di Carbonio [8]**

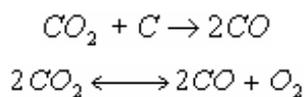
Gli ossidi di carbonio sono i tipici prodotti derivanti dalla combustione, sono incolori e inodori. La CO<sub>2</sub> (anidride carbonica) è anche un costituente naturale dell'aria che, per la sua capacità di assorbire i raggi infrarossi, gioca un ruolo importante per il bilancio termico dell'atmosfera terrestre. Il CO (monossido di carbonio) viene formato in modo consistente durante la combustione di combustibili con difetto di aria e cioè quando il quantitativo di ossigeno non è sufficiente per ossidare completamente le sostanze organiche a CO<sub>2</sub>, ciò avviene in modo consistente e sistematico in combustioni effettuate a volume costante come quella che avviene nei motori a scoppio. Quindi l'anidride carbonica ed il monossido di carbonio, vengono generati sia antropicamente che naturalmente durante un processo di combustione che, se condotto in modo corretto e completo, darebbe luogo solo a CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O, come espresso dalla:



ma con un rapporto di formazione di CO e CO<sub>2</sub> in stretta dipendenza dalle condizioni operative, dalla temperatura e dal rapporto combustibile comburente poiché:  
in funzione dell'ossigeno presente si ha:

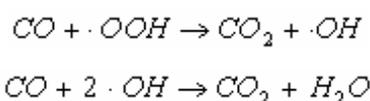


in funzione della temperatura elevata si ha:



### ***Reazioni caratteristiche a livello atmosferico***

Gli ossidi di carbonio sono composti generalmente piuttosto stabili tanto che le uniche reazioni avvengono a livello della troposfera e sono fondamentalmente volte alla conversione di CO in CO<sub>2</sub>, grazie all'azione di radicali perossidrilici (ž OOH) e idrossilici (ž OH) formatisi da reazioni fotochimiche:



Non interessanti sono le loro interazioni con le grandi biomasse ambientali (mari, vegetazione, inerti).

### ***Effetti sull'ambiente e sull'uomo***

Elevate quantità di CO sembra portino ad una riduzione della capacità di fissare l'azoto da parte dei batteri presenti sulle radici delle piante con conseguente ridotta capacità di sviluppo della vegetazione.

L'organismo umano nella sua funzione respiratoria è largamente indipendente dalle variazioni rilevate del livello di CO<sub>2</sub> in atmosfera e quindi generalmente per questo motivo non viene analizzata sistematicamente. In ambienti chiusi, al contrario, la CO<sub>2</sub> potrebbe diventare un potenziale veleno, il suo accumulo crea fenomeni di soffocamento progressivo e già a concentrazione eccedenti il 6% insorgono danni acuti.

Per la vegetazione quantitativi attorno all' 1% non sono dannosi anzi portano ad incrementare l'assimilazione e quindi ad un aumento della crescita.

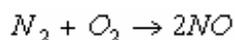
Per quanto riguarda gli effetti del CO sulla salute umana è nota la sua pericolosità data dalla capacità di fissarsi a livello emoglobinico circa 200 volte maggiore di quella dell'ossigeno. Questo porta ad una immediata riduzione delle capacità vitali e di conseguenza, permanendo in zone in cui il CO sia presente in quantità elevate, alla morte, motivo per cui il suo essere inodore lo rende un micidiale killer.

### 3.4.2 Ossidi di Azoto [9]

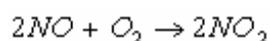
Con il termine  $\text{NO}_x$  viene indicato genericamente l'insieme dei più importanti ossidi di azoto a livello di inquinamento atmosferico:

- l'ossido di azoto (NO)
- il diossido di azoto o ipoazotide ( $\text{NO}_2$ ) gas bruno di odore acre e pungente.
- l'ossido di diazoto o protossido di azoto ( $\text{N}_2\text{O}$ , anche come dimero  $\text{N}_2\text{O}_4$ )
- il triossido di diazoto o anidride nitrosa ( $\text{N}_2\text{O}_3$ )
- il pentossido di diazoto o anidride nitrica ( $\text{N}_2\text{O}_5$ )

L'ossido di azoto, NO, è formato principalmente per reazione dell'azoto contenuto nell'aria (c.a. 70%  $\text{N}_2$ ) con l'ossigeno atmosferico in processi che avvengono ad elevata temperatura ed in special modo durante la combustione per la produzione di calore, vapore, energia elettrica, energia meccanica (autotrazione, esplosioni), incenerimento, ecc..



Una volta formatosi, l'ossido di azoto, interagendo con l'ossigeno durante il processo di raffreddamento dei fumi, si trasforma parzialmente in biossido di azoto con formazione di un miscuglio dei due ossidi chiamato  $\text{NO}_x$ .



Entrambe le suddette reazioni sono strettamente correlate con la temperatura, con il residuo di ossigeno presente ed, in particolare per il biossido di azoto, con il quadrato della concentrazione del monossido. In generale si può ritenere che la produzione di  $\text{NO}_2$ , quale inquinante primario, sia pari al 10 % dell'ossido di azoto complessivamente generato.

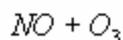
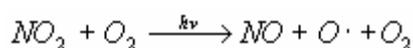
Il maggiore responsabile dell'inquinamento antropico da ossidi di azoto è il traffico autoveicolare che rappresenta quasi il 50% della produzione globale ed in particolare per l'utilizzo dei motori diesel.

Industrialmente questi possono essere emessi essenzialmente dagli impianti di produzione dell'acido nitrico e da quelli che lavorano composti azotati o che utilizzano direttamente l'acido nitrico come composto base come per la produzione di fertilizzanti, acido adipico, nylon 6.6, ecc.

#### ***Reazioni caratteristiche a livello atmosferico***

La notevole reattività fotochimica è sicuramente la caratteristica peculiare degli ossidi di azoto. Le reazioni fotochimiche avvengono in seguito all'assorbimento di energia proveniente dalla radiazione solare da parte di molecole, atomi e ioni.

Questo tipo di reattività li rende precursori di una innumerevole serie di reazioni radicaliche che avvengono nella troposfera le cui fondamentali sono riassunte nel seguente "Ciclo Fotolitico":



Da queste reazioni si vede che se non intervenissero altri fattori si manterrebbero costanti i rapporti tra  $NO_2$  e  $NO$  presenti in atmosfera. In realtà la presenza di altre molecole accettrici di radicali, quali ad esempio particolari idrocarburi, favoriscono l'accumulo di  $NO_2$  e di ozono,  $O_3$ . Ulteriori reazioni non ancora completamente studiate sono quelle che portano nel giro di tre, quattro giorni alla scomparsa completa sia di  $NO$  che di  $NO_2$ , si pensa per la loro trasformazione in presenza di umidità atmosferica in acido nitrico e di conseguenza in nitrati che ricadono poi al suolo con le piogge o sotto forma di particolati.

### ***Effetti sull'ambiente e sull'uomo***

I maggiori effetti diretti sull'ambiente degli ossidi di azoto sono dovuti sia alla loro ricaduta sotto forma di acido nitrico, sia agli ossidi in quanto tali. Sull'uomo è stato riscontrato che l' $NO_2$  è 4 volte più pericoloso dell' $NO$  ma data la facilità del loro interscambio entrambi sono potenzialmente pericolosi. Particolarmente significative sono comunque le esposizioni prolungate anche a bassi tassi di ossidi di azoto tanto che si sta studiando la possibilità che ben più importante debba essere l'apporto di ossidi di azoto respirati durante il soggiorno nelle abitazioni (inquinamento indoor) dovuto all'utilizzo dei fornelli a gas o alle caldaie di riscaldamento acqua e/o ambiente. Oltre alla loro pericolosità intrinseca, essendo questi particolarmente reattivi specialmente con sostanze di origine idrocarburica, si arriva alla formazione di composti la cui tossicità ne risulta fortemente amplificata.

### **3.4.3 Composti Organici**

Con la dicitura composti organici volatili, VOC - Volatile Organic Compound, si intende tutta quella serie di composti organici, prodotti dalle attività umane o naturali, che si trovano allo stato di gas alle condizioni di temperatura e pressione esistenti a livello troposferico. Possono essere semplici idrocarburi saturi o insaturi a molecola lineare e non, composti esclusivamente da carbonio e idrogeno, oppure molecole più complesse in cui ,

tra i più diffusi, sono presenti atomi di azoto, ossigeno e cloro. A livello naturale si ha la presenza di 1.0-2.0 ppm di metano, la più semplice molecola organica esistente, e valori inferiori a 0.1 ppm per la totalità di tutti gli altri idrocarburi più complessi.

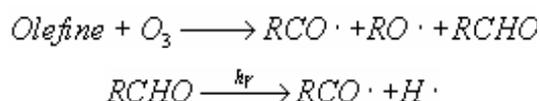
Questi valori sono giustificabili dall'elevato numero di processi di decomposizione biologica della materia organica dalle biomasse, quantità più modeste invece derivano da attività geotermiche, da giacimenti fossili, da gas naturale, petrolio e processi di combustione.

Per quanto riguarda l'introduzione di composti organici da parte dell'uomo si può affermare che la fonte maggiore è sicuramente quella dovuta al traffico autoveicolare. Infatti mentre nei fumi di combustioni delle centrali termiche (combustione a pressione costante) il contributo all'inquinamento atmosferico in idrocarburi incombusti, o parzialmente combusti sotto forma di aldeidi o acidi organici è modesto, quello dovuto alla combustione per la motorizzazione risulta assai elevato (combustione a volume costante).

Nei processi industriali le maggiori fonti sono i processi di verniciatura, la produzione di monomeri per l'industria delle materie plastiche e le industrie collegate alla produzione e utilizzo dell'etilene.

### ***Reazioni caratteristiche a livello atmosferico***

Essendo molto variegato il numero di possibili molecole organiche immesse in atmosfera è praticamente impossibile la descrizione e la conoscenza di tutti i processi in cui queste sono implicate. Certamente il gruppo di reazioni in cui sono maggiormente implicate sono i processi fotochimici, le cui reazioni più significative si possono riassumere come segue:



Ricordiamo inoltre come la produzione di un elevato numero di radicali liberi risulta determinante sia a livello del ciclo degli ossidi di azoto che per quello dell'ozono e come anzi siano direttamente correlate tutte queste reazioni.

### ***Effetti sull'ambiente***

Per la flora gli idrocarburi più nocivi sono soprattutto quelli difficilmente metabolizzabili che danno di conseguenza fenomeni di accumulo e problemi ad esso connessi.

**Tabella 3:** I più significativi inquinanti organici in atmosfera

metano
etano
propano
n-butano, isobutano
n-pentano, isopentano
etilene
acetilene
propilene
benzene, toluene, etil-benzene, xilene
aromatici policiclici

Con la sigla COV NM si intendono tutti i composti organici volatili tranne il metano.

#### **3.4.4 Particolato [10]**

Il particolato, o particolato sospeso, o pulviscolo atmosferico, o polveri sottili, o polveri totali sospese (PTS), sono termini che identificano l'insieme delle sostanze sospese in aria (fibre, particelle carboniose, metalli, silice, inquinanti liquidi o solidi). Questo particolato sospeso in aria si raccoglie soprattutto negli strati inferiori, in quantità e qualità variabile da luogo a luogo. Il particolato è l'inquinante che ha il maggiore impatto nelle aree urbane, ed è composto da tutte quelle particelle solide e liquide disperse nell'atmosfera, con un diametro che va da pochi nanometri fino ai 500  $\mu\text{m}$  e oltre.

La sigla PM10 identifica materiale presente nell'atmosfera in forma di particelle microscopiche, il cui diametro è uguale o inferiore a 10  $\mu\text{m}$ , ovvero 10 millesimi di millimetro.

#### ***Reazioni caratteristiche a livello atmosferico***

Qualora il particolato sia costituito da sostanze chimicamente attive, queste danno luogo a tutte quelle reazioni superficiali caratteristiche per i composti che lo costituiscono.

Di notevole e maggiore interesse è però la capacità anche di particolati inerti di adsorbire sostanze che si rendono così disponibili a reazioni con elevata reattività in quanto allo stato micronizzato e attivato. Non a caso il particolato creato dagli autoveicoli è ben più pericoloso di quello dovuto alle industrie poiché sul primo, generalmente costituito da particelle carboniose, possono essere adsorbiti tutta una serie di inquinanti, soprattutto

organici, che vengono quindi dispersi su un supporto particolarmente efficace sia come catalizzatore intrinseco che come veicolo di trasporto ai polmoni, mentre in generale i processi industriali danno granulometrie più grosse che quindi permangono per un minor tempo in atmosfera.

### ***Effetti sull'ambiente e sull'uomo***

Gli effetti ambientali del particolato sono direttamente connessi con la pericolosità intrinseca delle sostanze che lo formano o che sono adsorbite su di esso. Particolari effetti vengono riscontrati sulla vegetazione che risente in maniera sensibile sia delle particelle di polvere in quanto tali che di molte delle sostanze che su di esse si trovano adsorbite, metalli, sostanze organiche e altre.

Gli effetti sull'uomo sono evidenti tanto più le particelle sono piccole ed attive sia chimicamente che per la loro struttura (quarzo) o forma (amianto), in quanto superate le barriere naturalmente create dal nostro organismo si annidano a livello delle mucose polmonari per parecchio tempo dando così la possibilità ad eventuali reazioni nocive di instaurarsi nelle condizioni più favorevoli.

Sembra comunque che anche il pulviscolo inerte con diametro inferiore a 20  $\mu\text{m}$ , qualora la concentrazione superi la media annuale di 0.1  $\text{mg}/\text{m}^3$  determini una maggiore incidenza di infiammazioni croniche delle vie aeree, riniti, faringiti, laringiti, bronchiti.

### **3.5 Fattori di emissione [11]**

La stima delle emissioni di inquinanti relative al consumo di gas metano per uso domestico è stata effettuata utilizzando la seguente formula:

$$E/\text{anno}=A*FE \quad (1)$$

Dove E sono le emissioni (t di inquinante/anno)

A è un indicatore di attività le cui fonti possono essere: Censimenti ISTAT, associazioni di categoria, enti pubblici e privati (GJoule di prodotto/anno) in questo caso si riferisce al consumo di gas metano per uso domestico.

FE è il fattore di emissione per unità di attività e per specifico inquinante (kg di inquinante/GJoule di prodotto).

**Tabella 4:** Fattori di emissione, in kg di sostanze per GigaJoule di energia consumata tratti dal Manuale dei Fattori di Emissione ANPA, gennaio 2002, bozza n. 01 e, in particolare, riferiti alla combustione non industriale generata da impianti con potenza termica inferiore a 50 MW.

Inquinante	Fattore di emissione metano (Kg/GJ)	Fonte
CO <sub>2</sub>	55,459	ANPA,2001
N <sub>2</sub> O	0,003	EPA,1995
COVNM	0,005	EMEP-CORINAIR,1999
NO <sub>x</sub>	0,05	EMEP-CORINAIR,1999
PM10	0,0067	EPA,1995
CH <sub>4</sub>	0,003	EMEP-CORINAIR,1999
CO	0,025	EMEP-CORINAIR,1999

### 3.6 Consumo di gas metano [6]

I dati relativi al consumo di gas metano per uso domestico e per riscaldamento nella città di Bolzano sono ricavati dall'Osservatorio Ambientale sulle città – ISTAT 2004.

**Tabella 5:** Consumo di gas metano per comuni capoluogo di provincia – Anno 2001

Comune	Consumo di gas per uso domestico e per riscaldamento (m <sup>3</sup> per abitante)	Consumo di gas per uso domestico (m <sup>3</sup> per utenza)	Consumo di gas per riscaldamento (m <sup>3</sup> per utenza)	
			Individuale	Centralizzato
Bolzano	767,0	151,6	1281,4	6901,9

### 3.7 Calcolo semplificato del risparmio annuo di energia in fonte primaria ottenibile con l'installazione di pannelli solari [7]

La procedura di questo calcolo deriva dalla metodologia adottata dall'AEEG (Autorità per l'Energia Elettrica e il Gas) per l'applicazione dei decreti ministeriali per l'efficienza energetica 20 luglio 2004.

#### **Passo 1): individuazione della fascia solare**

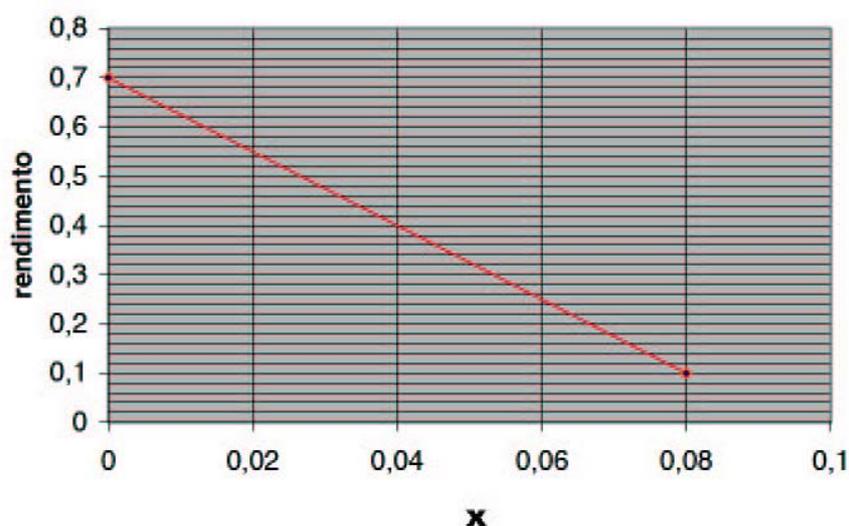
Dal punto di vista dell'irraggiamento solare, l'Italia è stata divisa, a livello provinciale, in cinque fasce. Si deve per prima cosa individuare la fascia di appartenenza della provincia in base alla seguente tabella:

**Tabella 6:** Distinzione di fascia solare in base alla provincia

Fascia 1	Alessandria, Aosta, Arezzo, Asti, Belluno, Bergamo, Biella, <b>Bolzano</b> , Como, Cuneo, Gorizia, Lecco, Lodi, Mantova, Milano, Novara, Padova, Pavia, Pistoia, Pordenone, Prato, Torino, Trieste, Udine, Varese, Verbania, Vercelli, Verona, Vicenza
Fascia 2	Ancona, Aquila, Ascoli, Bologna, Brescia, Cremona, Ferrara, Firenze, Forlì, Genova, Isernia, La Spezia, Lucca, Massa C., Modena, Parma, Perugia, Pesaro, Piacenza, Ravenna, Reggio Emilia, Rieti, Rimini, Rovigo, Salerno, Savona, Siena, Sondrio, Teramo, Terni, Trento, Treviso, Venezia, Viterbo
Fascia 3	Avellino, Benevento, Cagliari, Campobasso, Chieti, Foggia, Frosinone, Grosseto, Imperia, Livorno, Macerata, Matera, Pescara, Pisa, Potenza, Roma
Fascia 4	Bari, Brindisi, Caserta, Catanzaro, Crotone, Latina, Lecce, Messina, Napoli, Nuoro, Oristano, Reggio Calabria, Sassari, Taranto, Vibo-Valentia
Fascia 5	Agrigento, Caltanissetta, Catania, Cosenza, Enna, Palermo, Ragusa, Siracusa, Trapani

**Passo 2): verifica della rispondenza del rendimento del collettore al valore minimo ammissibile**

Ogni collettore posto sul mercato deve essere corredato della propria curva di rendimento, definita da un apposito laboratorio certificato. Va verificato che il rendimento del collettore prescelto per l'installazione rispetti i requisiti minimi di rendimento riportati nel seguente diagramma:



**Diagramma 1:** Curva di rendimento di un collettore

in cui:

- in ordinata è riportato il rendimento istantaneo del collettore, così definito:  $\eta = \frac{W}{I * S}$

- in ascissa compare il parametro  $x$ , dato da:  $x = \left[ \left( \frac{t_1 + t_u}{2} - t_a \right) / I \right]$

con:

$W$  = potenza termica prodotta [W]

$I$  = insolazione [ $W/m^2$ ]

$S$  = superficie trasparente attraverso cui viene captata la radiazione [ $m^2$ ]

$t_i$  = temperatura dell'acqua all'ingresso del collettore [ $^{\circ}C$ ]

$t_u$  = temperatura dell'acqua all'uscita dal collettore [ $^{\circ}C$ ]

$t_a$  = temperatura ambiente [ $^{\circ}C$ ]

$x$  = parametro caratterizzante le condizioni di funzionamento

***Passo 3): determinazione del risparmio specifico lordo per unità di superficie dei collettori***

Il risparmio specifico RSL può essere desunto dalla seguente tabella a tripla entrata, in funzione della fascia solare, del tipo di collettore installato (se piano o sotto vuoto) e dell'impianto di produzione termica sostituito (se boiler elettrico oppure a gas o gasolio):

**Tabella 7:** Risparmio specifico lordo per unità di superficie di collettore solare

Risparmio specifico lordo per unità di superficie di collettori (RSL):	RSL (kWh/anno/ superficie solari) m <sup>2</sup> di collettori			
	Piani		Sotto vuoto	
	Impianto integrato o sostituito		Impianto integrato o sostituito	
Fascia solare	Boiler elettrico	Gas, gasolio	Boiler elettrico	Gas, gasolio
1	1.419	<b>709</b>	1.779	884
2	1.919	953	2.233	1.116
3	2.105	1.047	2.430	1.209
4	2.651	1.314	2.895	1.442
5	2.872	1.430	3.128	1.558

#### ***Passo 4): calcolo del risparmio globale lordo di energia primaria***

Una volta determinato il risparmio specifico lordo - per m<sup>2</sup> di pannello solare - occorre moltiplicarlo per la superficie installata:

$$RL = RSL * S = [\text{kWh/anno}]$$

#### ***Esempio di calcolo***

Si voglia installare, in un'abitazione nella provincia di Bolzano, un impianto a pannelli solari piani di 4 m<sup>2</sup> di estensione, per la produzione di acqua calda sanitaria in sostituzione di una caldaia a gas, per una famiglia di 4 persone.

#### ***Procedura***

- 1) Bolzano appartiene alla fascia solare "1".
- 2) Il risparmio annuo conseguibile è dato dal fattore RSL ricavabile dalla Tabella 7. In corrispondenza di: "fascia solare 1", "collettori piani", "gas, gasolio" si ottiene il valore di 709 kWh/anno/m<sup>2</sup>
- 3) Moltiplicando il precedente valore per 4 m<sup>2</sup> (si suppone che 1m<sup>2</sup> soddisfi il fabbisogno di una persona), si ottiene il risparmio annuo conseguibile, pari a:  
709\*4 = 2836 kWh/anno.
- 4) Trasformando i kWh/anno in GJoule/anno, si può applicare l'equazione (1) e calcolare le t/anno di inquinante risparmiate.

### **3.8 Disaggregazione spaziale dei dati [11]**

Se si vogliono applicare modelli di dispersione di inquinanti in atmosfera è necessario stimare le emissioni su scale spaziali e temporali ristrette (tipicamente emissioni orarie su un reticolo chilometrico di passo dell'ordine di qualche chilometro) ed è quindi necessario disaggregare le emissioni inventariate sia spazialmente che temporalmente.

La metodologia di disaggregazione spaziale permette di stimare una certa grandezza nota su base territoriale a scala più vasta ad un livello territoriale diverso, utilizzando delle variabili correlate dette "variabili proxy". Se si indica con V<sub>p</sub> la grandezza nota su vasta scala, con S il parametro che caratterizza il territorio sia a vasta scala che bassa S<sub>p</sub> e S<sub>k</sub>, il valore di V a livello territoriale più basso V<sub>k</sub> è dato dalla:

$$V_k = \frac{S_k}{S_p} * V_p$$

dove:

$V_k$  = valore della variabile nel comune k;

$V_p$  = totale della variabile (provinciale o regionale);

$S_k$  = valore della variabile surrogata nel comune k;

$S_p$  = totale della variabile surrogata (provinciale o regionale).

Questa metodologia applicata nella disaggregazione delle emissioni permette quindi di ripartire a livello comunale il dato di emissione annuale provinciale attribuendo ad esso la stessa distribuzione territoriale di un'altra grandezza nota e supposta ben correlata al parametro in questione. Buoni risultati si avranno se la variabile scelta come surrogato è ben correlata con la variabile che si intende distribuire a livello comunale.

Nel caso sia necessario ripartire le emissioni areali su un grigliato, ad esempio per fornire dati di input ad un modello fotochimico o di dispersione, bisogna associare ad ogni attività una opportuna variabile surrogata e la stima del valore di tale variabile su ogni maglia del reticolo. La frazione delle emissioni comunali da attribuire ad una maglia è data dal rapporto fra il valore assunto dalla proxy sulla maglia stessa ed il valore assunto sull'intero comune. L'emissione complessiva di una maglia di reticolo dovuta all'attività in esame è naturalmente la somma dei contributi di ciascun comune su cui eventualmente giace la maglia stessa. Tipiche variabili surrogate da usare per la disaggregazione su reticolo sono le superfici delle diverse tipologie di uso del suolo. Un esempio è la cartografia vettoriale a scala nominale 1:250.000 CORINE Land cover che classifica tutto il territorio italiano in diversi tipi di uso del suolo. Un'altra fonte è la cartografia tematica regionale su supporto cartaceo o digitale (raster o vettoriale). Nel caso delle sorgenti lineari, per ciascun arco di sorgente intersecante una maglia di reticolo si deve calcolare la frazione delle emissioni da attribuire alla maglia stessa. Dato che l'arco è l'unità elementare di sorgente lineare su cui si dispongono informazioni, in quanto si può considerare omogeneo, la frazione delle sue emissioni da attribuire alla maglia va necessariamente calcolata come rapporto fra la lunghezza dell'intersezione tra arco e maglia e lunghezza dell'arco stesso. La somma dei contributi provenienti da tutti gli archi intersecanti la maglia in oggetto darà le emissioni totali della maglia prodotte da sorgenti lineari.

Le sorgenti puntuali sono invece caratterizzate in fase di censimento anche dalla posizione geografica e quindi non necessitano di alcuna disaggregazione in quanto ricadono univocamente in una singola maglia alla quale vanno interamente attribuite le emissioni.

L'emissione complessiva di una maglia di reticolo risulta infine dalla somma estesa a tutte le sorgenti diffuse, lineari e puntuali che interessano la maglia.

### 3.9 Elaborazione dati

A partire dalla Tabella 5 dei consumi di gas metano per uso domestico e per riscaldamento, e dalla popolazione totale (462.999), sono stati calcolati i m<sup>3</sup> di metano consumati nella provincia di Bolzano.

**Tabella 8:** Dati sul consumo di metano per la produzione di acqua calda per uso sanitario e per il riscaldamento domestico nella Provincia di Bolzano

m <sup>3</sup> /anno CH <sub>4</sub> per abitante per uso domestico e per riscaldamento nella Provincia di Bolzano	767
m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /anno consumati nella Provincia di Bolzano	355.120.233

Il dato ricavato è stato trasformato in GigaJoule dividendo per il fattore di conversione 29,069 GJ/m<sup>3</sup>

GJoule/anno	12.216.459
-------------	------------

Da questo risultato si è poi risaliti alle tonnellate di inquinanti emesse in un anno facendo riferimento alla Tabella 4 e all'equazione (1):

$$\text{Es. } [12.216.459 \text{ GJ/anno} * 55,459 \text{ Kg/GJ}] / 1000 = 677.513 \text{ t/anno di CO}_2$$

**Tabella 9:** t/anno di inquinante prodotte considerando i dati sul consumo di metano per la produzione di acqua calda per uso sanitario e per il riscaldamento domestico nella Provincia di Bolzano

Inquinante	t/anno prodotte
CO <sub>2</sub>	677.513
N <sub>2</sub> O	37
COVNM	61
NO <sub>x</sub>	611
PM10	82
CH <sub>4</sub>	37
CO	305

Utilizzando i dati ISTAT relativi alla popolazione residente all'ultimo Censimento ed il "Calcolo semplificato del risparmio annuo di energia in fonte primaria ottenibile con l'installazione di pannelli solari" è stato calcolato il risparmio di emissioni di inquinanti

nella Provincia di Bolzano se si sostituiscono le caldaie a gas metano al 100%, 75%, 50% con pannelli solari per la produzione di acqua calda sanitaria (acs).

ES. [1.181.759GJoule/anno totali\*55,459Kg/GJoule]/1000

**Tabella 10:** Emissioni di inquinante risparmiate sostituendo le caldaie a metano con pannelli solari al 100%, 75%, 50% per la produzione di acs.

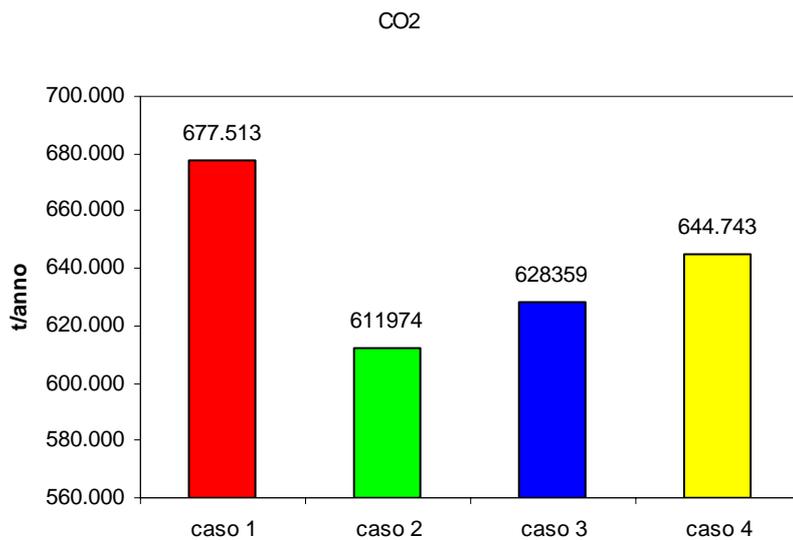
<b>Inquinante</b>	<b>t/anno risparmiate</b>	<b>t/anno risparmiate</b>	<b>t/anno risparmiate</b>
	<b>100% pannelli solari</b>	<b>75% pannelli solari</b>	<b>50% pannelli solari</b>
CO <sub>2</sub>	65539	49154	32770
N <sub>2</sub> O	4	3	2
COVNM	6	4	3
NO <sub>x</sub>	59	44	30
PM10	8	6	4
CH <sub>4</sub>	4	3	2
CO	30	22	15

La differenza tra le emissioni prodotte da caldaie a gas metano per acs e per riscaldamento e le emissioni risparmiate applicando pannelli solari per acs al 100%, 75%, 50%, permette di trovare le emissioni realmente ottenute.

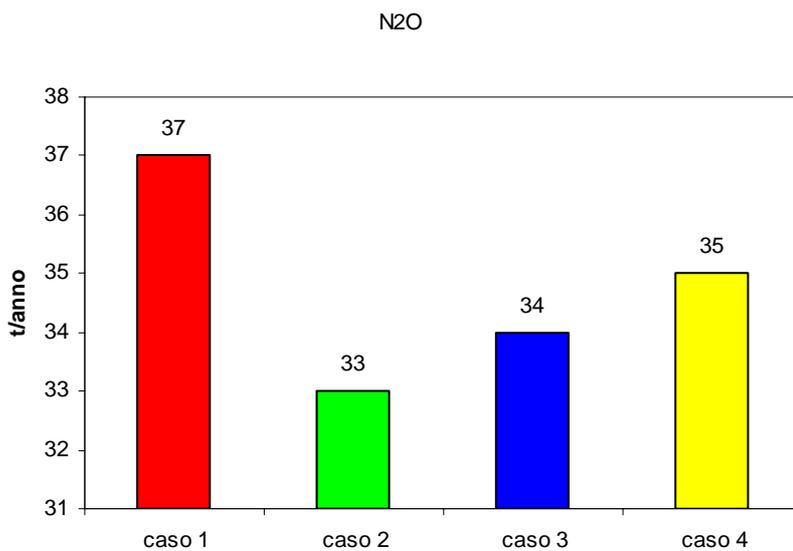
**Tabella 11:** Emissioni di inquinante realmente ottenute sostituendo le caldaie a metano con pannelli solari al 100%, 75%, 50%

<b>Inquinante</b>	<b>t/anno realmente emesse</b>	<b>t/anno realmente emesse</b>	<b>t/anno realmente emesse</b>
	<b>100% pannelli solari</b>	<b>75% pannelli solari</b>	<b>50% pannelli solari</b>
CO <sub>2</sub>	611974	628359	644743
N <sub>2</sub> O	33	34	35
COVNM	55	57	58
NO <sub>x</sub>	552	567	581
PM10	74	76	78
CH <sub>4</sub>	33	34	35
CO	276	283	291

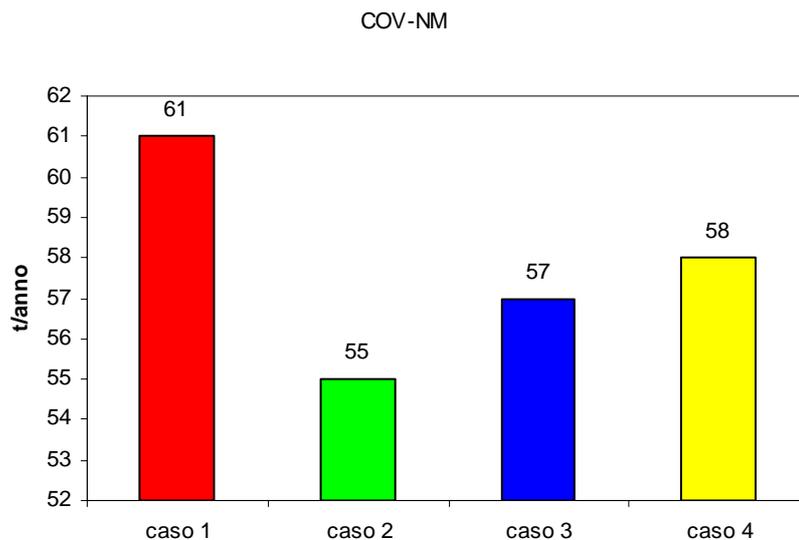
Riportando in grafico le t/anno di inquinante prodotte dalle caldaie a metano per produrre acqua calda sanitaria e per il riscaldamento domestico (caso 1), con sostituzione al 100% (caso 2), 75% (caso 3), 50% (caso 4) delle caldaie con pannelli solari per acs, si osserva che il risultato migliore si ottiene con una sostituzione del 100% delle caldaie a gas metano con pannelli solari.



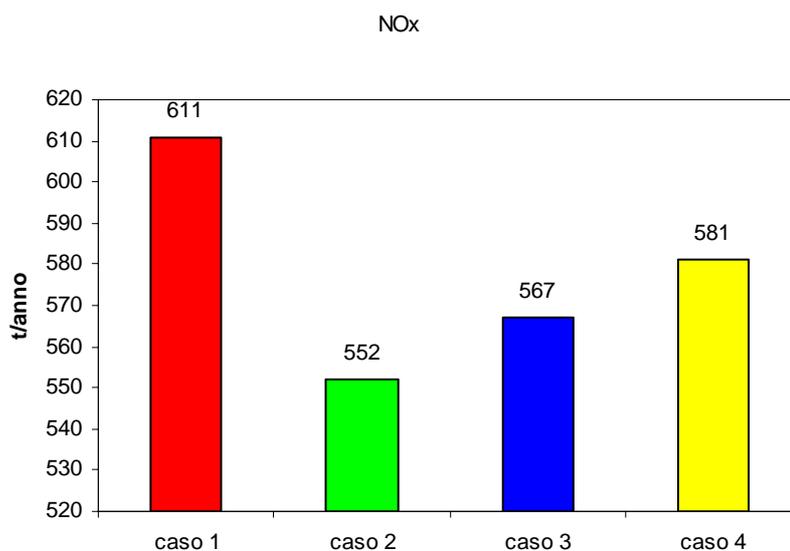
**Grafico 1:** t/anno di CO2 emesse da (caso 1) caldaia a gas metano per la produzione di acs e riscaldamento, (caso 2) sostituzione al 100%, (caso 3) sostituzione al 75%, (caso 4) sostituzione al 50%



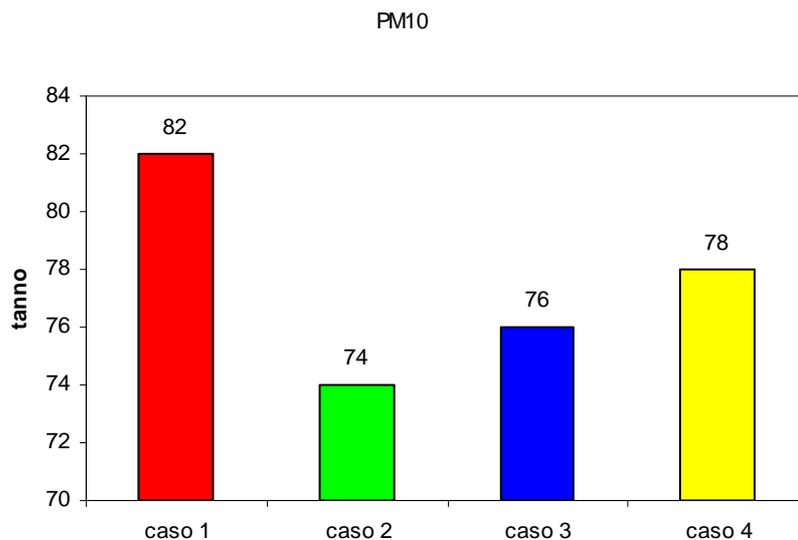
**Grafico 2:** t/anno di N2O emesse da (caso 1) caldaia a gas metano per la produzione di acs e riscaldamento, (caso 2) sostituzione al 100%, (caso 3) sostituzione al 75%, (caso 4) sostituzione al 50%



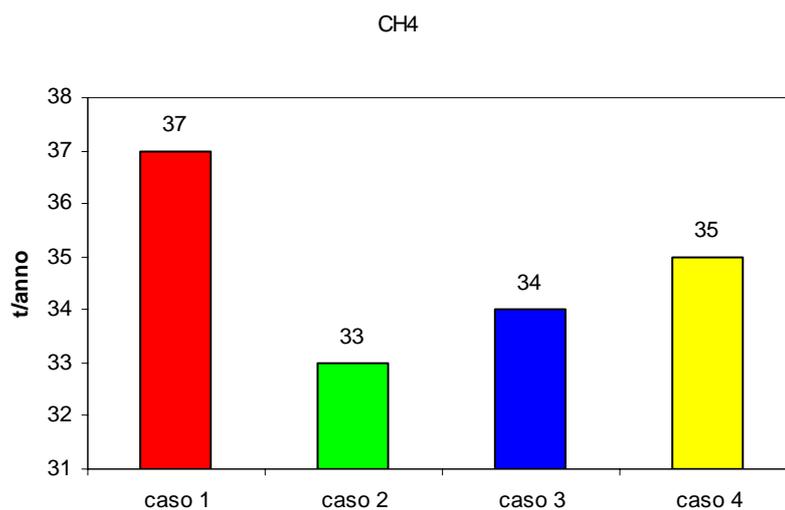
**Grafico 3:** t/anno di COV emesse da (caso 1) caldaia a gas metano per la produzione di acs e riscaldamento, (caso 2) sostituzione al 100%, (caso 3) sostituzione al 75%, (caso 4) sostituzione al 50%



**Grafico 4:** t/anno di NOx emesse da (caso 1) caldaia a gas metano per la produzione di acs e riscaldamento, (caso 2) sostituzione al 100%, (caso 3) sostituzione al 75%, (caso 4) sostituzione al 50%

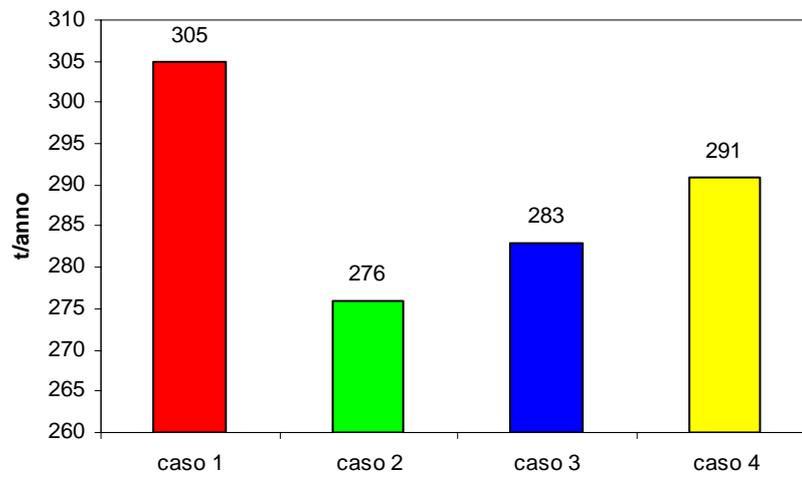


**Grafico 5:** t/anno di PM10 emesse da (caso 1) caldaia a gas metano per la produzione di acs e riscaldamento, (caso 2) sostituzione al 100%, (caso 3) sostituzione al 75%, (caso 4) sostituzione al 50%



**Grafico 6:** t/anno di CH4 emesse da (caso 1) caldaia a gas metano per la produzione di acs e riscaldamento, (caso 2) sostituzione al 100%, (caso 3) sostituzione al 75%, (caso 4) sostituzione al 50%

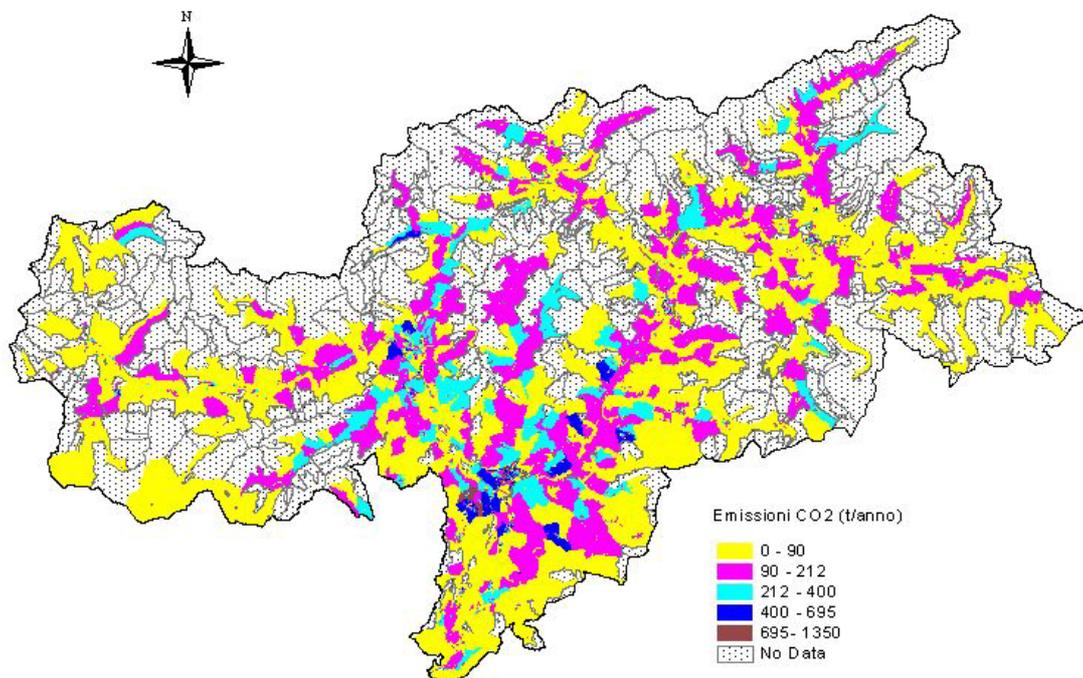
CO



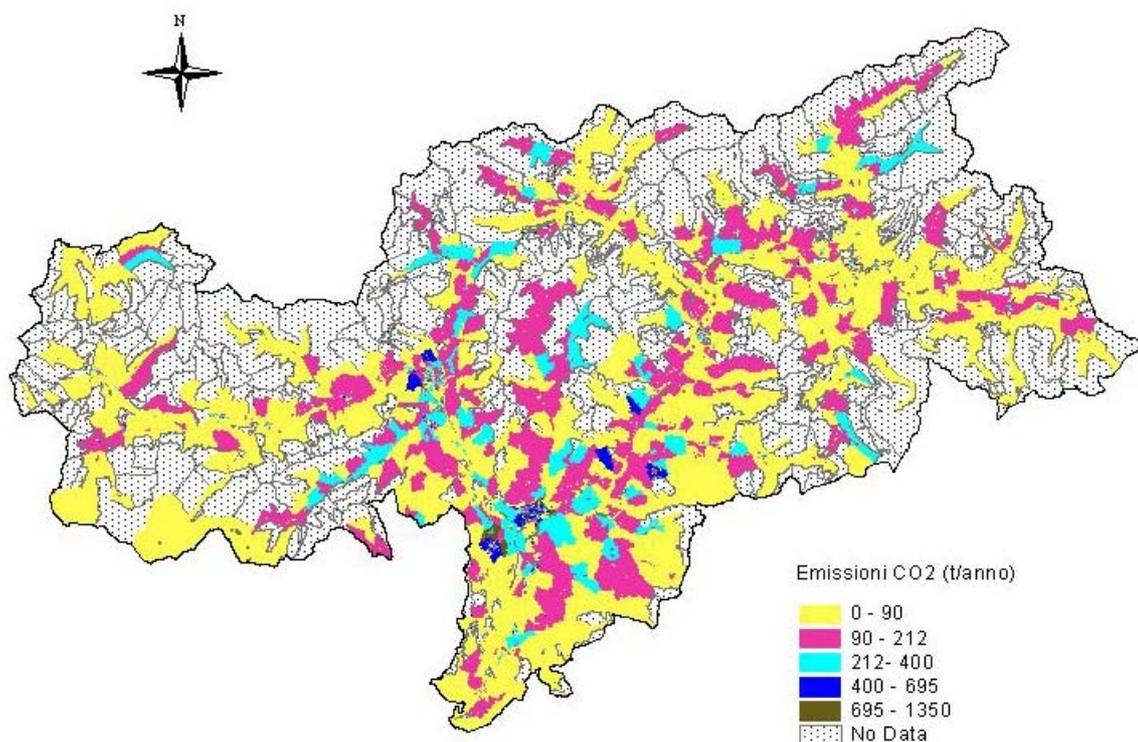
**Grafico 7:** t/anno di CO emesse da (caso 1) caldaia a gas metano per la produzione di acs e riscaldamento, (caso 2) sostituzione al 100%, (caso 3) sostituzione al 75%, (caso 4) sostituzione al 50%

### *Disaggregazione spaziale dei dati*

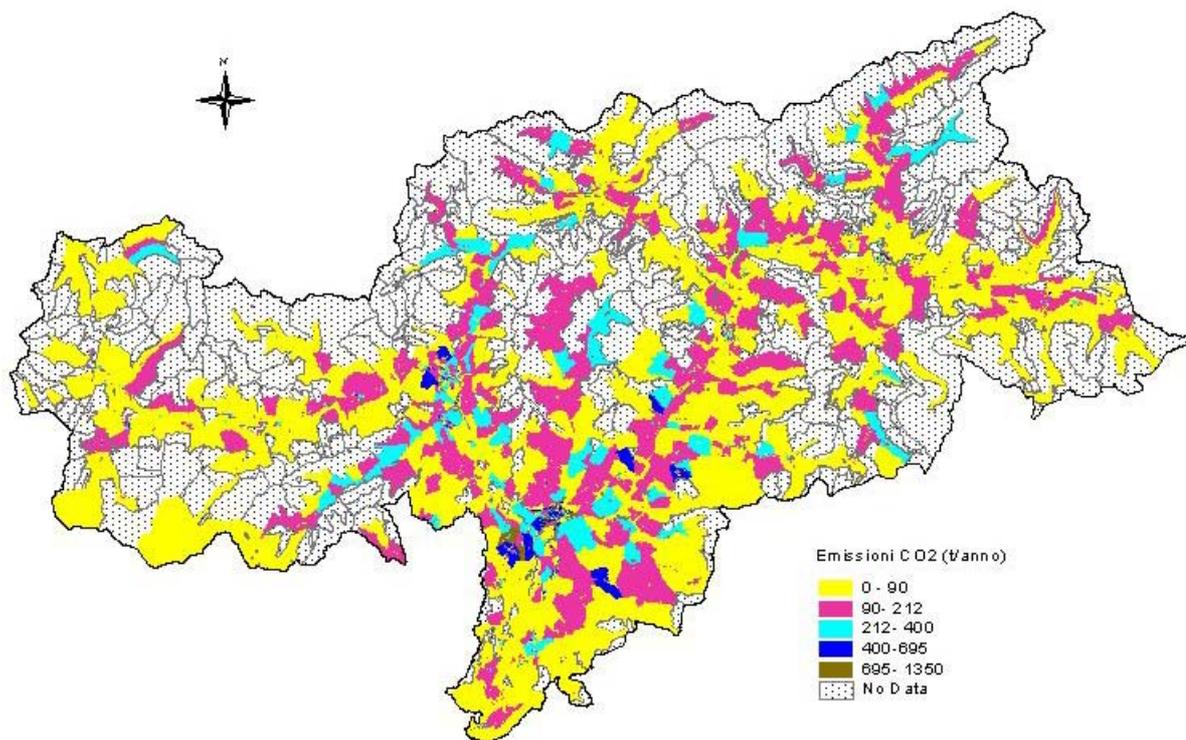
Sono stati elaborati i dati relativi alle emissioni finali di inquinanti per sezione di Censimento nella Provincia di Bolzano, i risultati sono stati riportati su ArcView 3.2 e sono state elaborate le mappe corrispondenti:



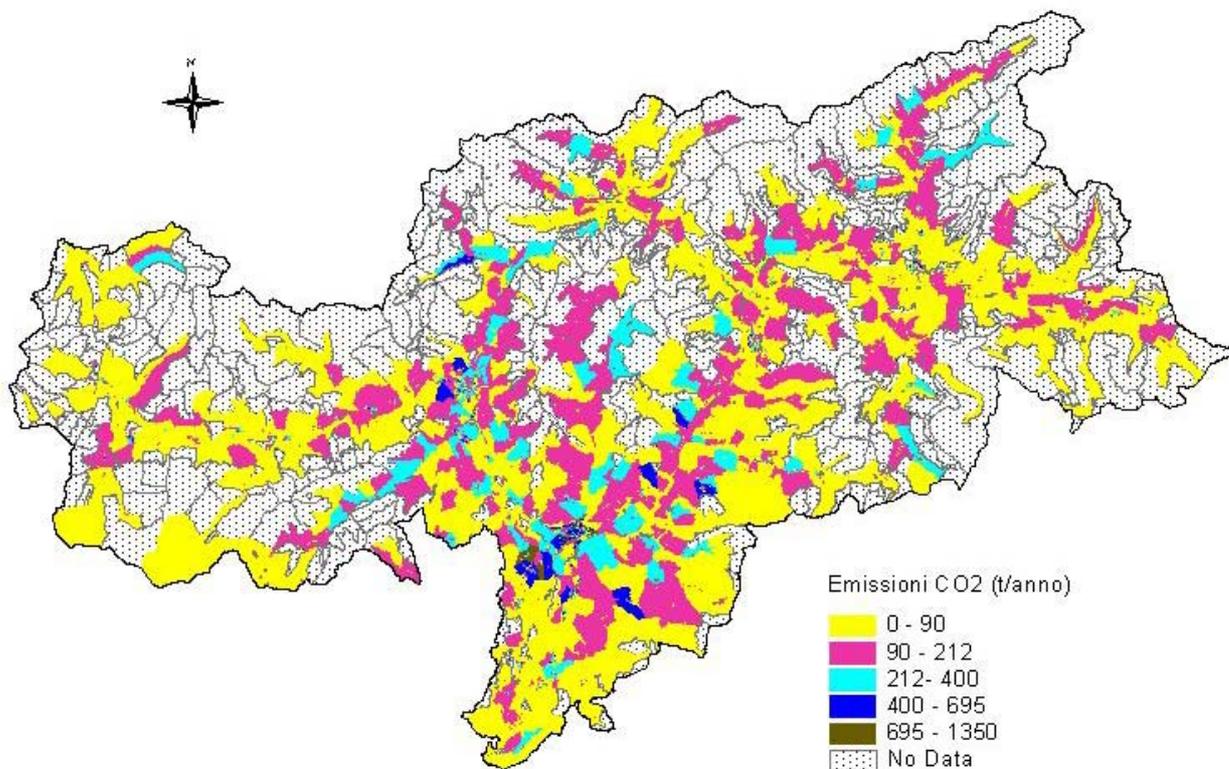
**Mappa 1:** Emissioni di CO<sub>2</sub> da caldaie a gas metano usate per la produzione di acs e per il riscaldamento domestico nella Provincia di Bolzano.



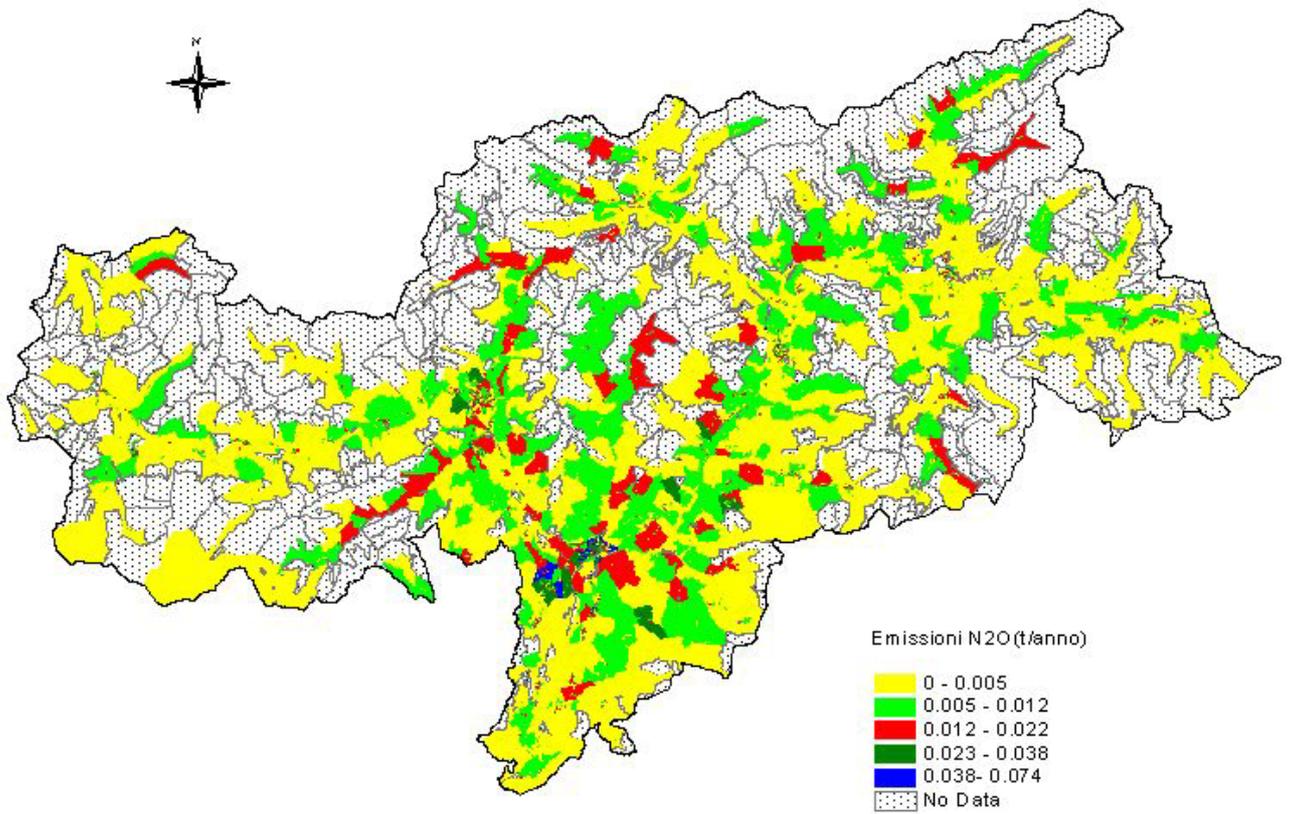
**Mappa 2:** Emissioni di CO<sub>2</sub> in seguito alla sostituzione di caldaie a gas metano con 100% di pannelli solari per la produzione di acs nella Provincia di Bolzano.



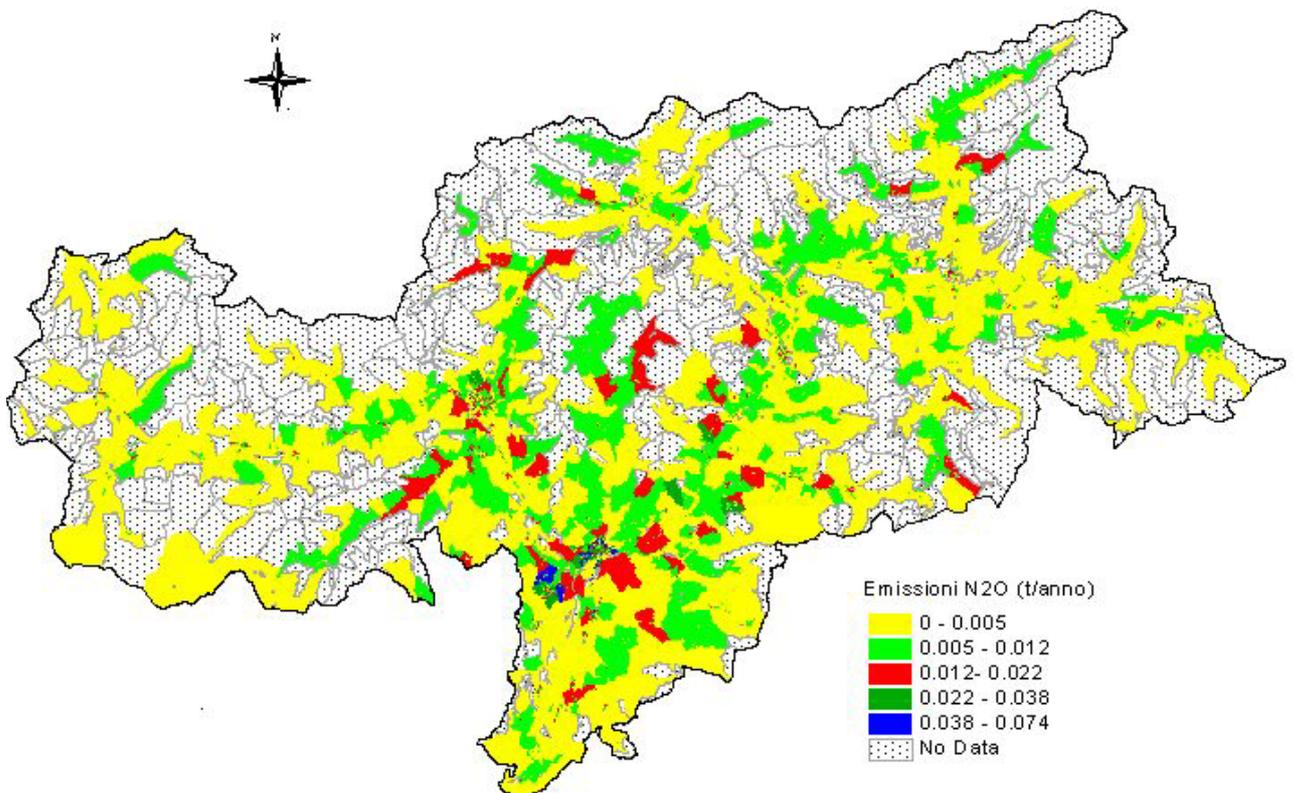
**Mappa 3:** Emissioni di CO<sub>2</sub> in seguito alla sostituzione di caldaie a gas metano con 75% di pannelli solari per la produzione di acs nella Provincia di Bolzano.



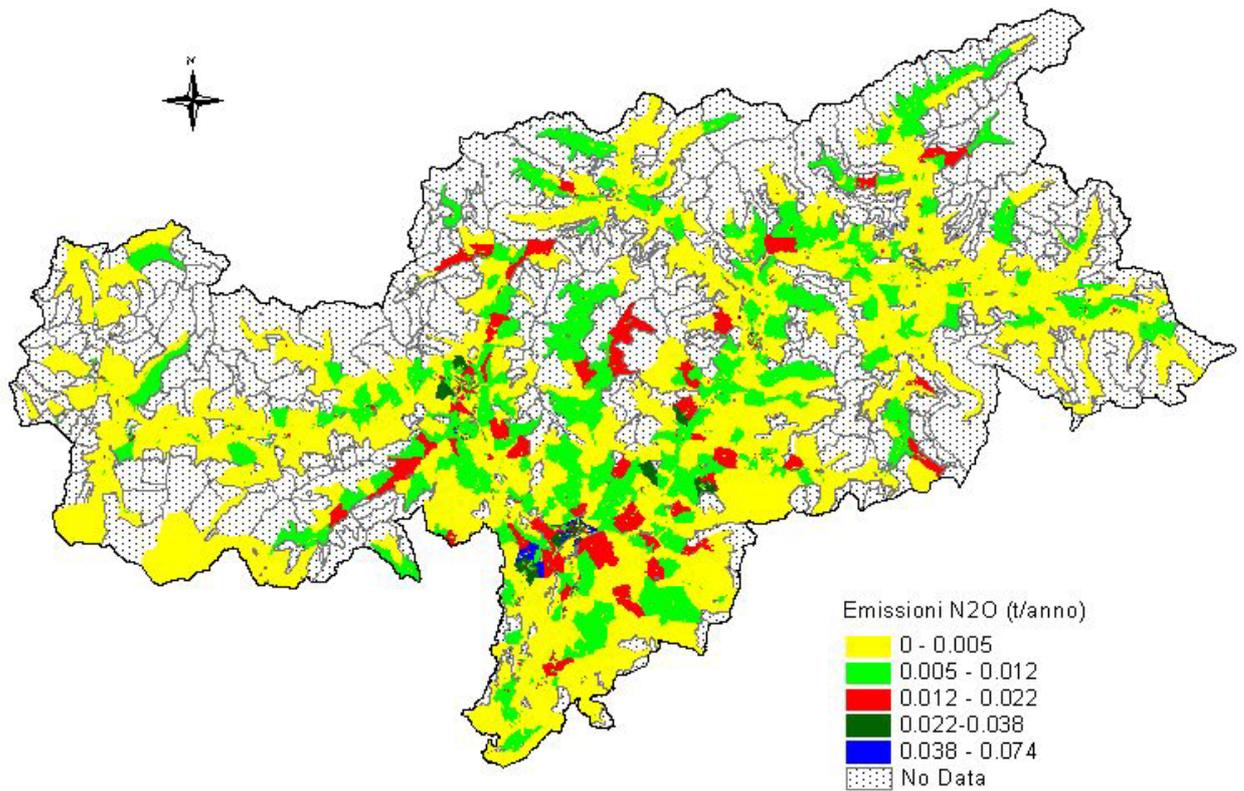
**Mappa 4:** Emissioni di CO<sub>2</sub> in seguito alla sostituzione di caldaie a gas metano con 50% di pannelli solari per la produzione di acs nella Provincia di Bolzano.



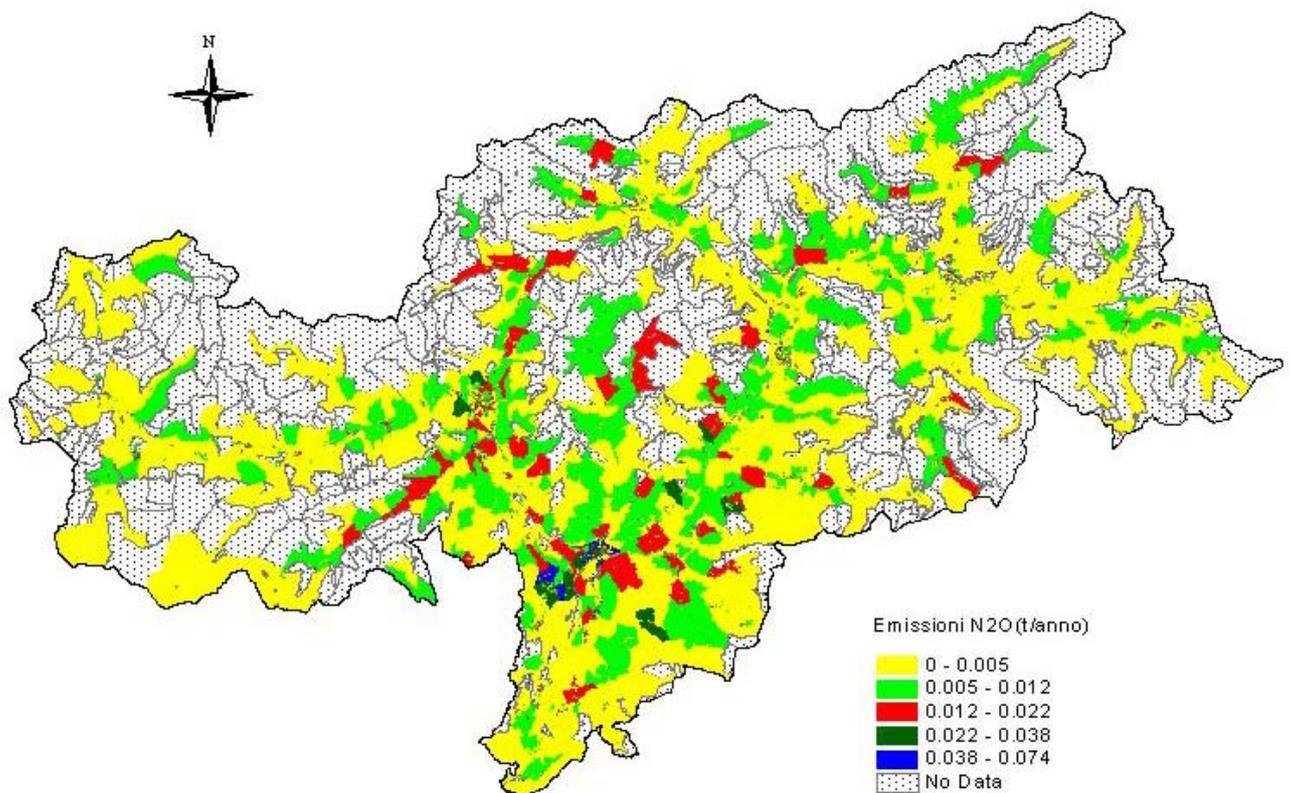
**Mappa 5:** Emissioni di N<sub>2</sub>O da caldaie a gas metano usate per la produzione di acs per il riscaldamento domestico nella Provincia di Bolzano.



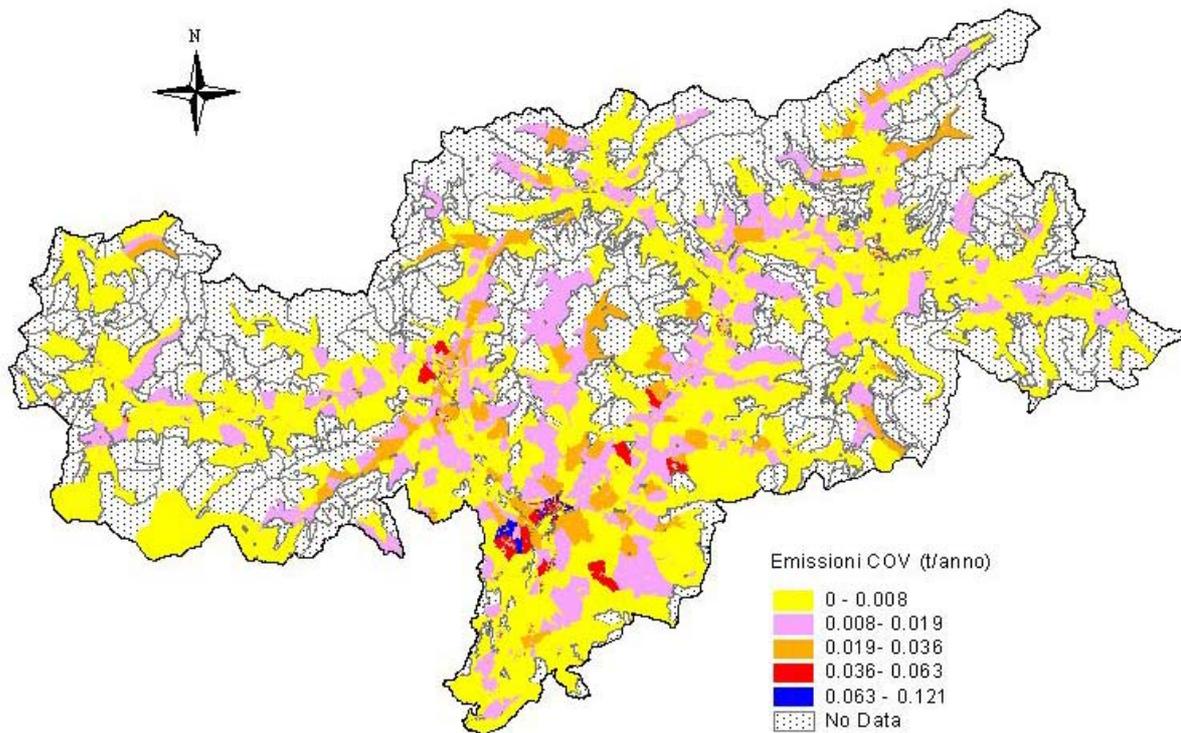
**Mappa 6:** Emissioni di N<sub>2</sub>O in seguito alla sostituzione di caldaie a gas metano con 100% di pannelli solari per la produzione di acs nella Provincia di Bolzano.



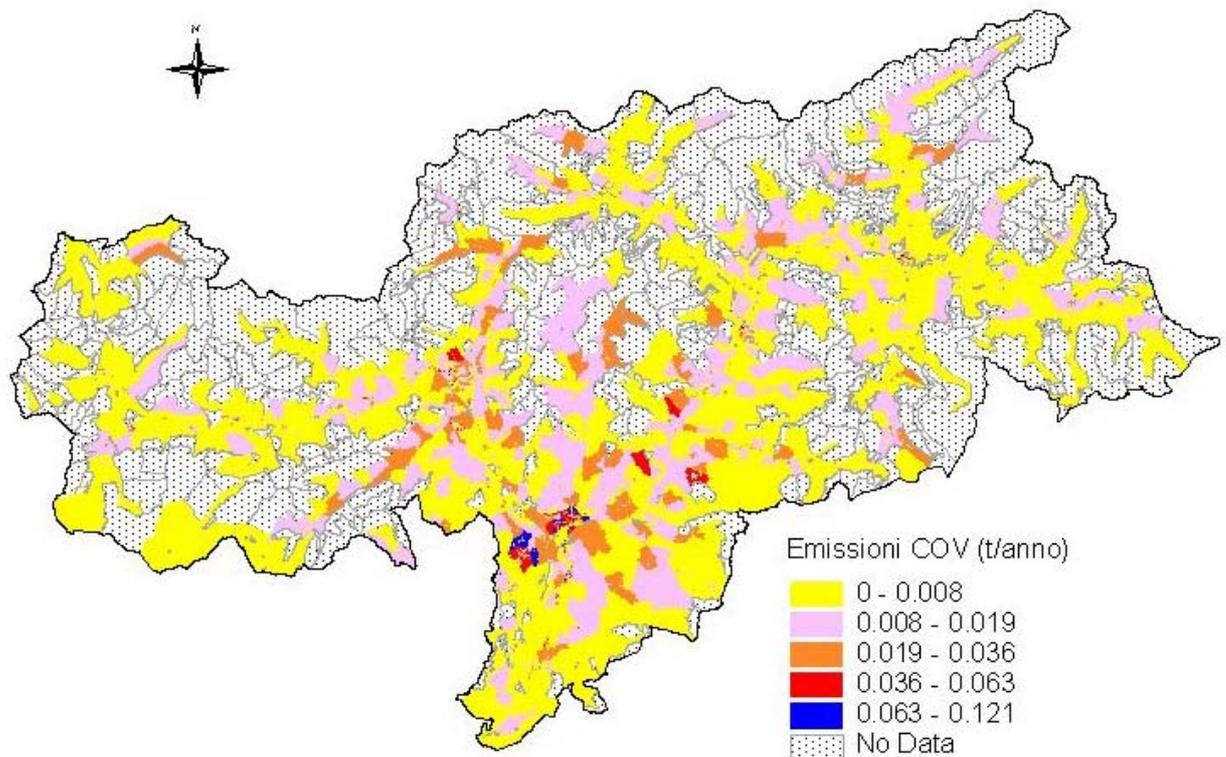
**Mappa 7:** Emissioni di N<sub>2</sub>O in seguito alla sostituzione di caldaie a gas metano con 75% di pannelli solari per la produzione di acs nella Provincia di Bolzano.



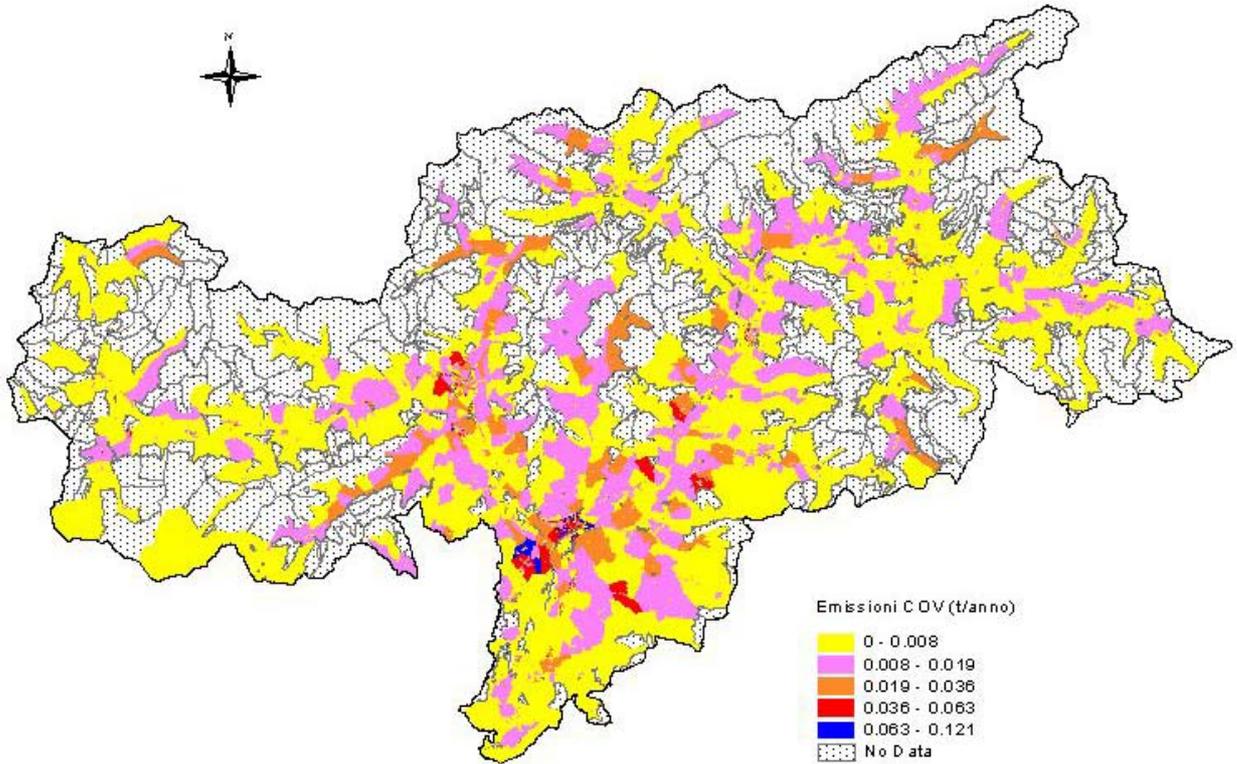
**Mappa 8:** Emissioni di N<sub>2</sub>O in seguito alla sostituzione di caldaie a gas metano con 50% di pannelli solari per la produzione di acs nella Provincia di Bolzano.



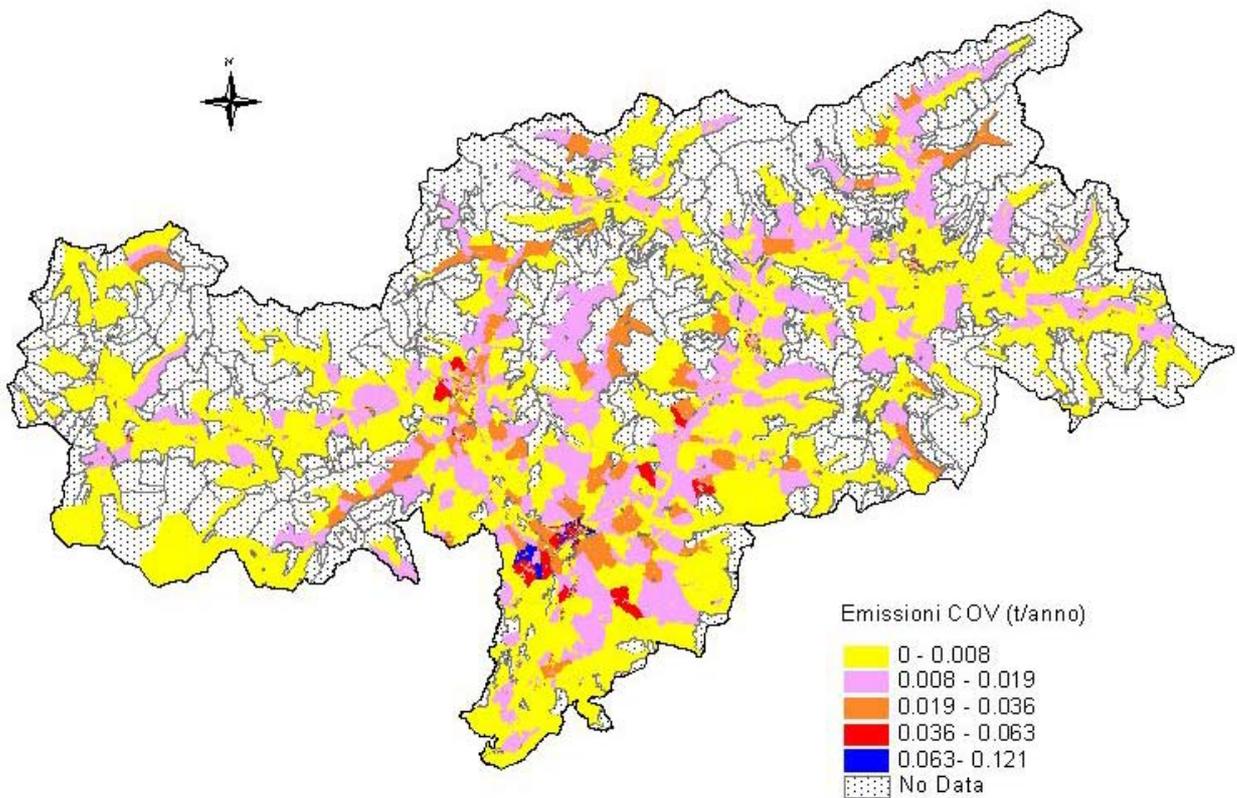
**Mappa 9:** Emissioni di COV dalle caldaie a gas metano usate per la produzione di acs per il riscaldamento domestico nella Provincia di Bolzano.



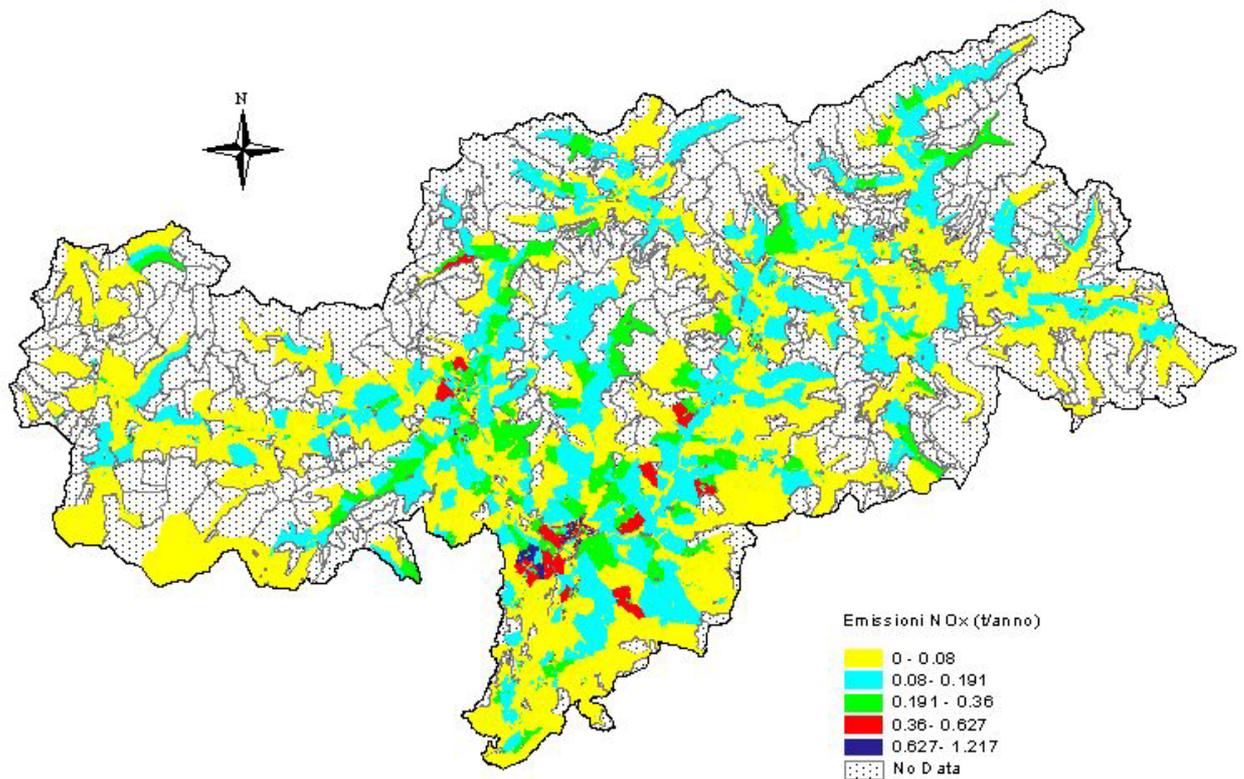
**Mappa 10:** Emissioni di COV in seguito alla sostituzione di caldaie a gas metano con 100% di pannelli solari per la produzione di acs nella Provincia di Bolzano.



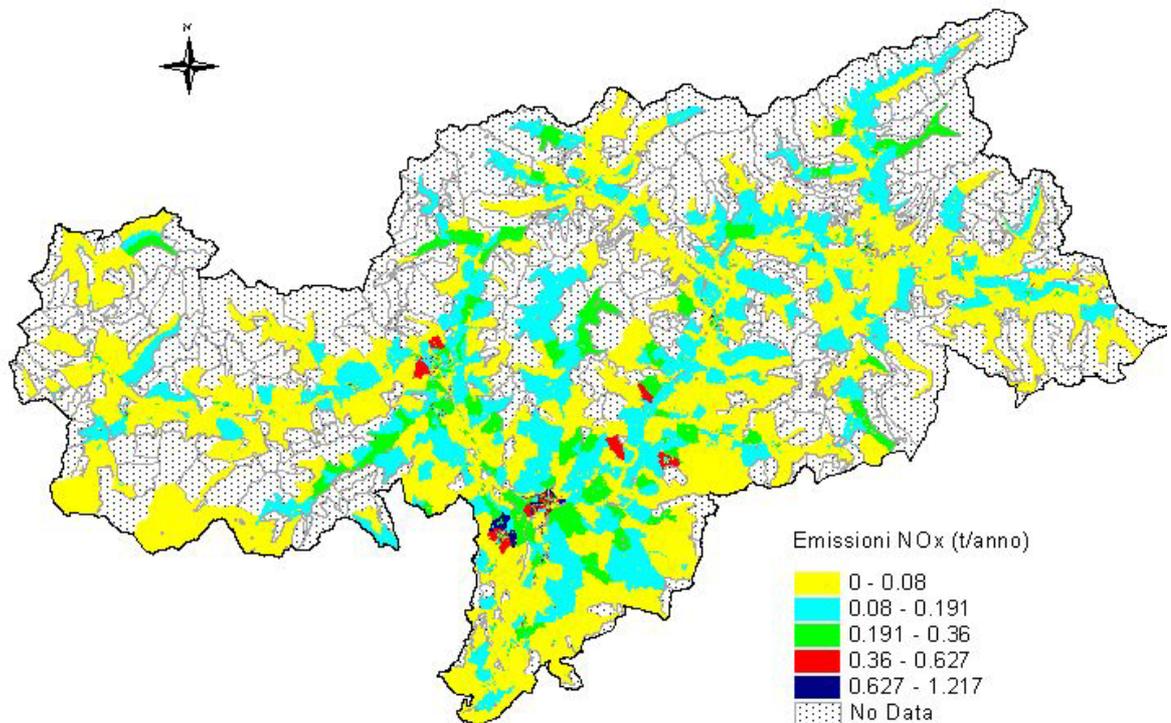
**Mappa 11:** Emissioni di COV in seguito alla sostituzione di caldaie a gas metano con 75% di pannelli solari per la produzione di acs nella Provincia di Bolzano.



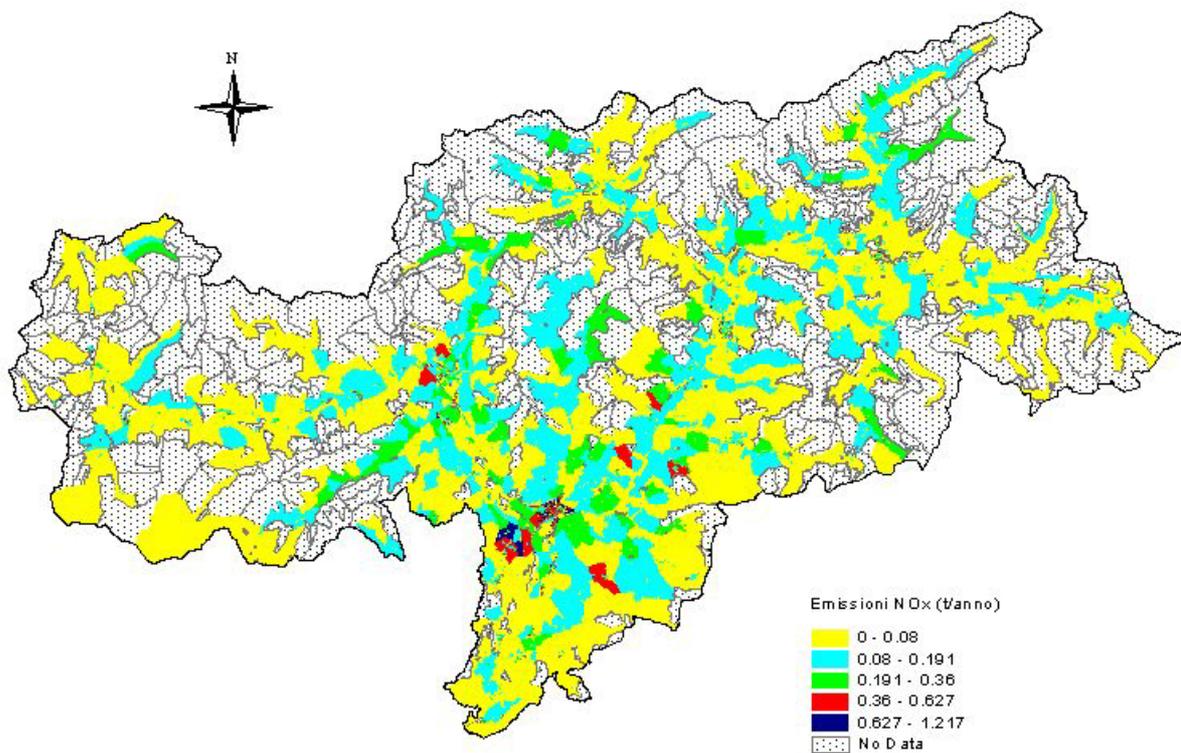
**Mappa 12:** Emissioni di COV in seguito alla sostituzione di caldaie a gas metano con 50% di pannelli solari per la produzione di acs nella Provincia di Bolzano.



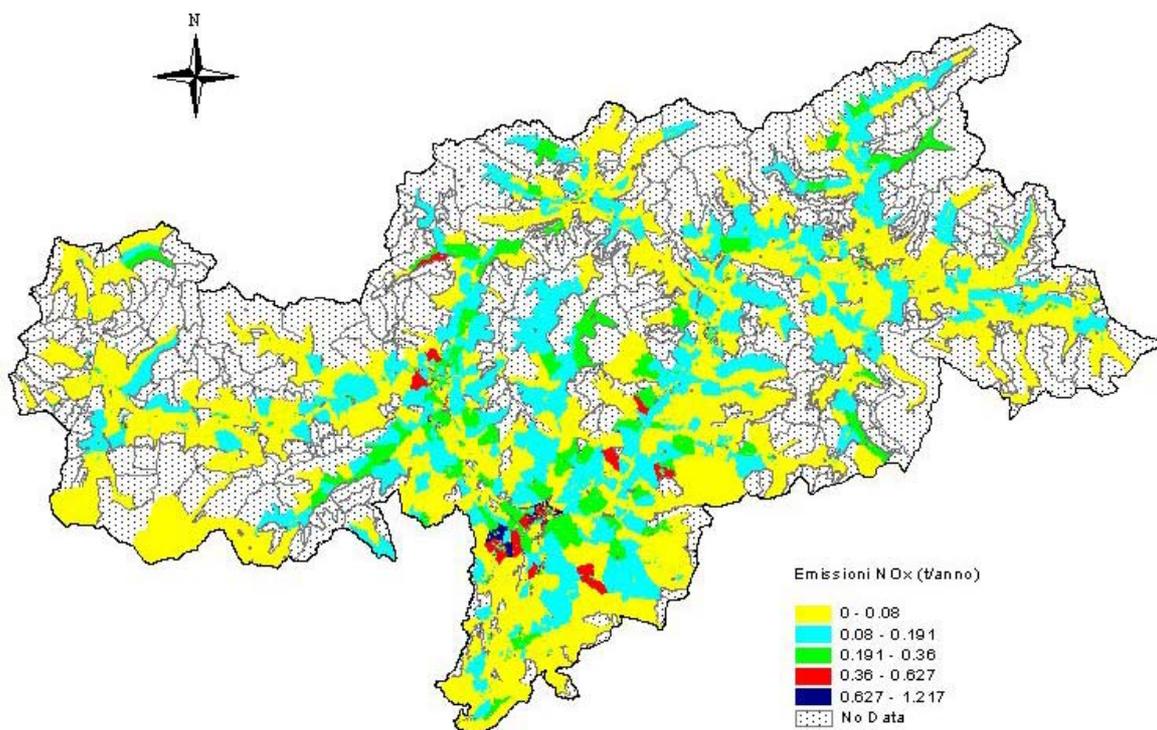
**Mappa 13:** Emissioni di NOx da caldaie a gas metano usate per la produzione di acs per il riscaldamento domestico nella Provincia di Bolzano.



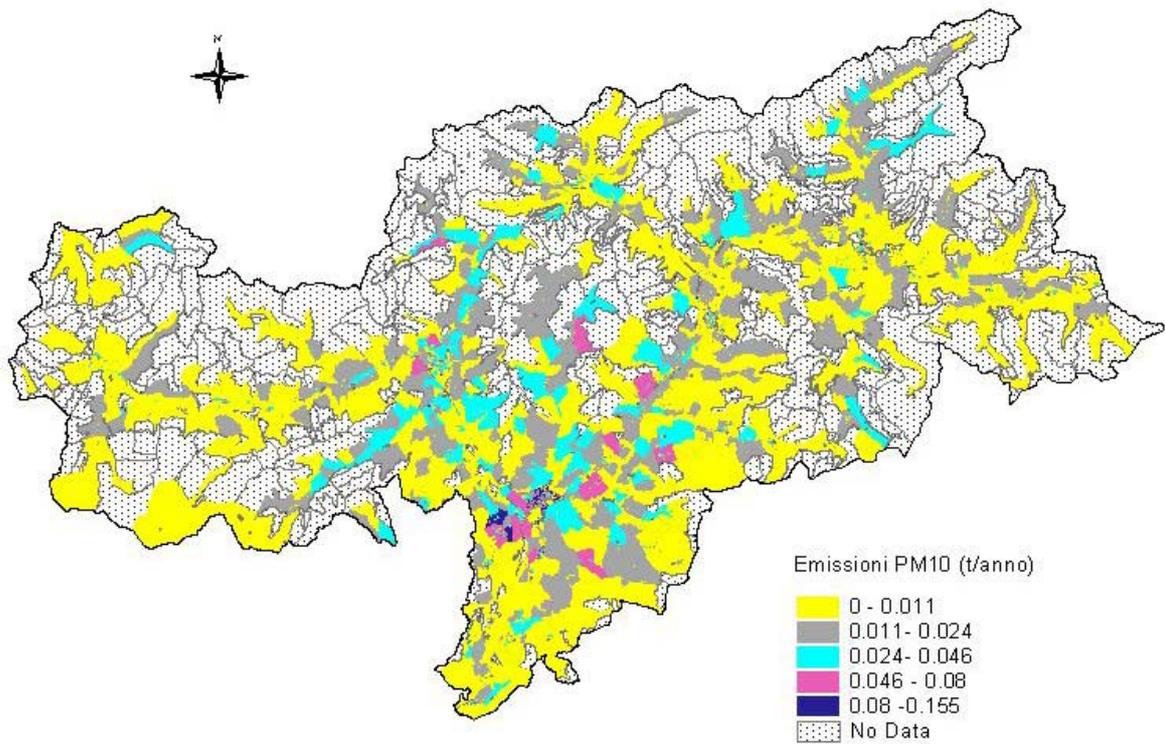
**Mappa 14:** Emissioni di NOx in seguito alla sostituzione di caldaie a gas metano con 100% di pannelli solari per la produzione di acs nella Provincia di Bolzano.



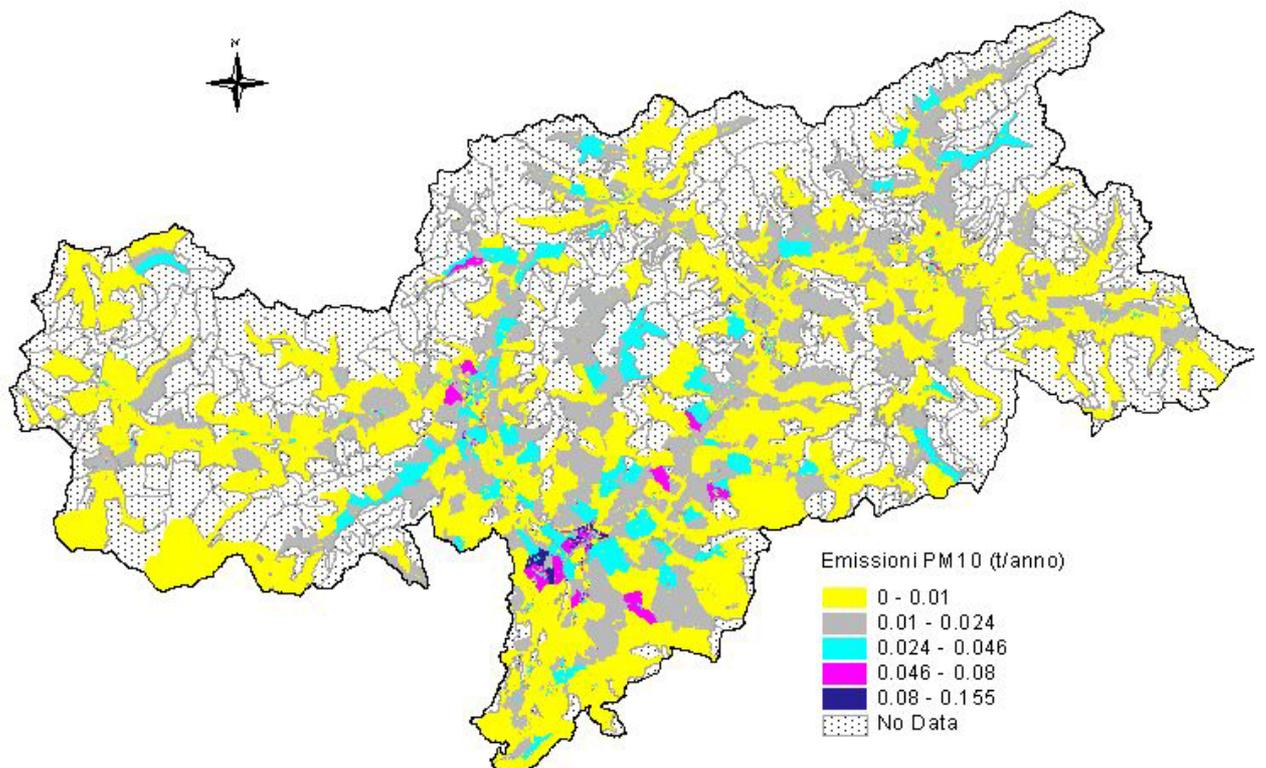
**Mappa 15:** Emissioni di NOx in seguito alla sostituzione di caldaie a gas metano con 75% di pannelli solari per la produzione di acs nella Provincia di Bolzano.



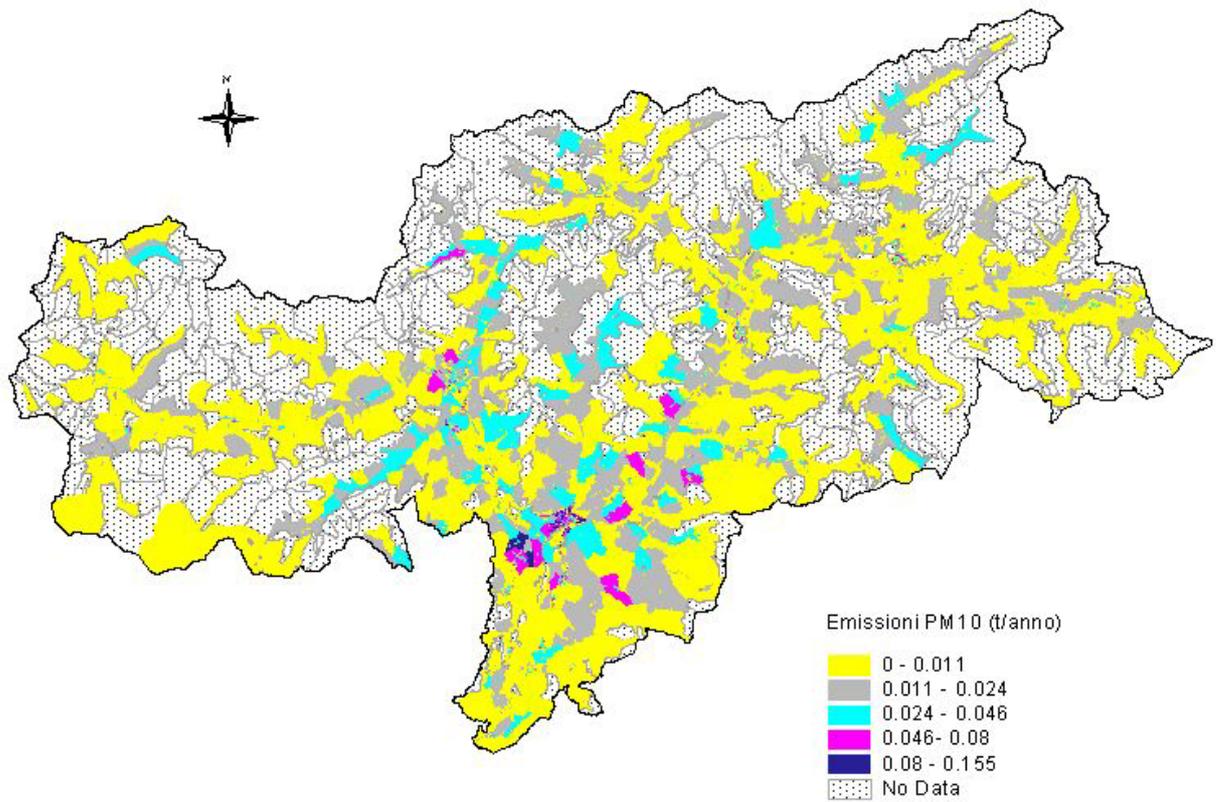
**Mappa 16:** Emissioni di NOx in seguito alla sostituzione di caldaie a gas metano con 50% di pannelli solari per la produzione di acs nella Provincia di Bolzano.



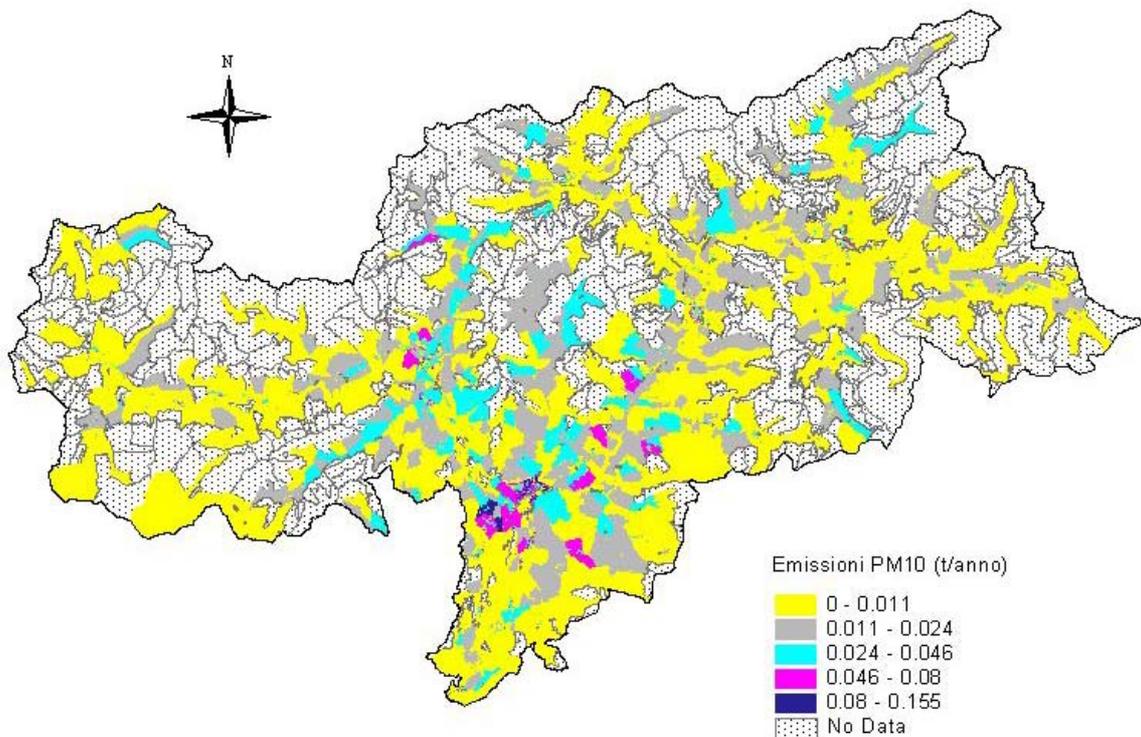
**Mappa 17:** Emissioni di PM10 da caldaie a gas metano usate per la produzione di acs per il riscaldamento domestico nella Provincia di Bolzano.



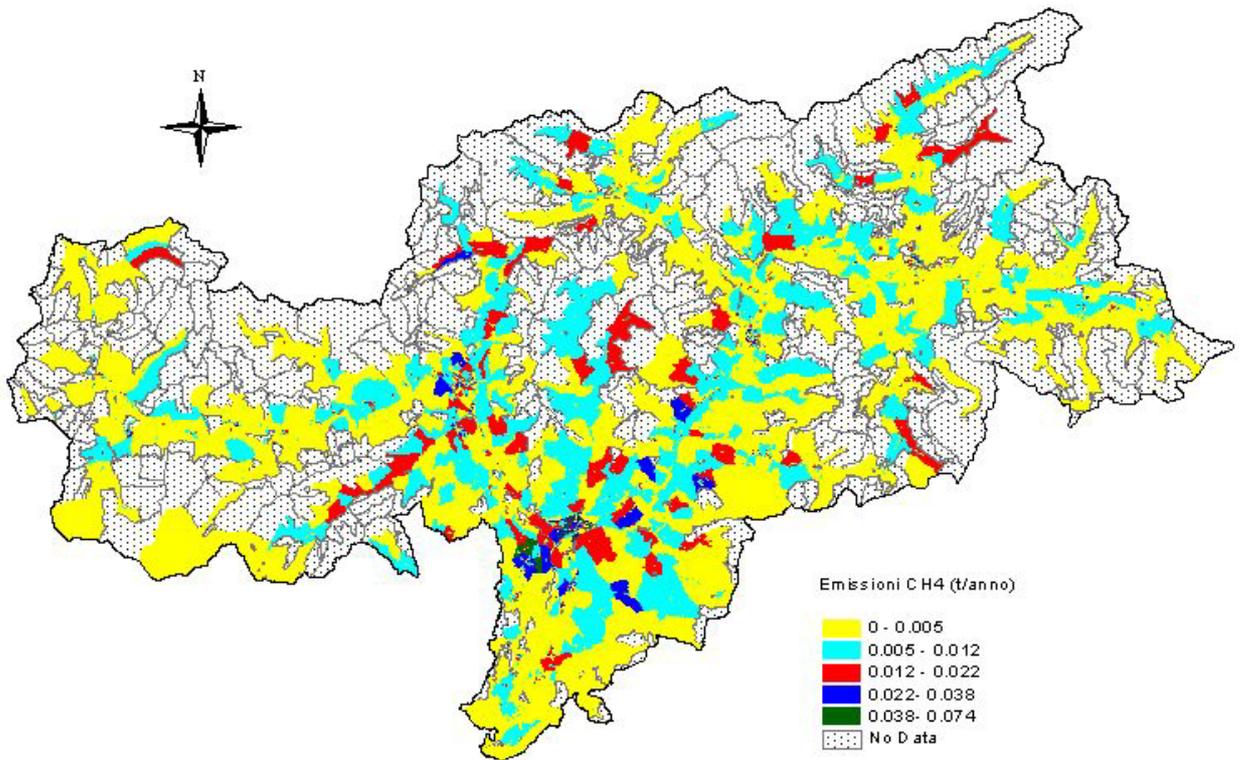
**Mappa 18:** Emissioni di PM10 in seguito alla sostituzione di caldaie a gas metano con 100% di pannelli solari per la produzione di acs nella Provincia di Bolzano.



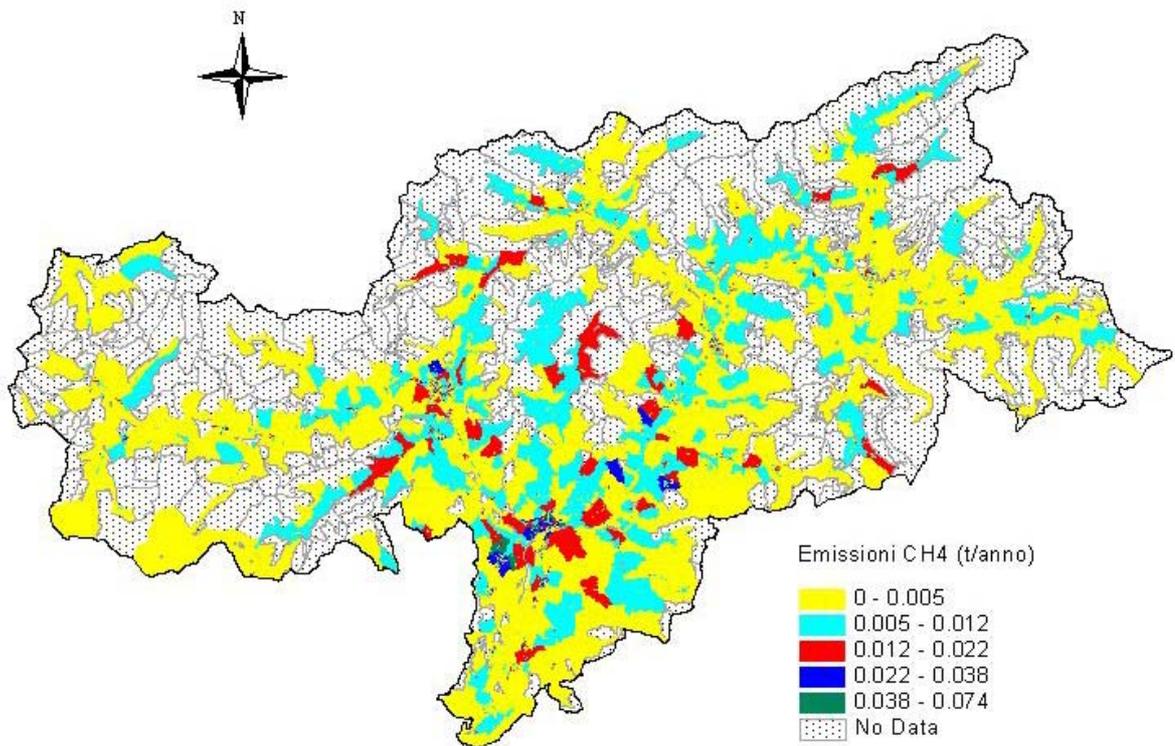
**Mappa 19:** Emissioni di PM10 in seguito alla sostituzione di caldaie a gas metano con 75% di pannelli solari per la produzione di acs nella Provincia di Bolzano.



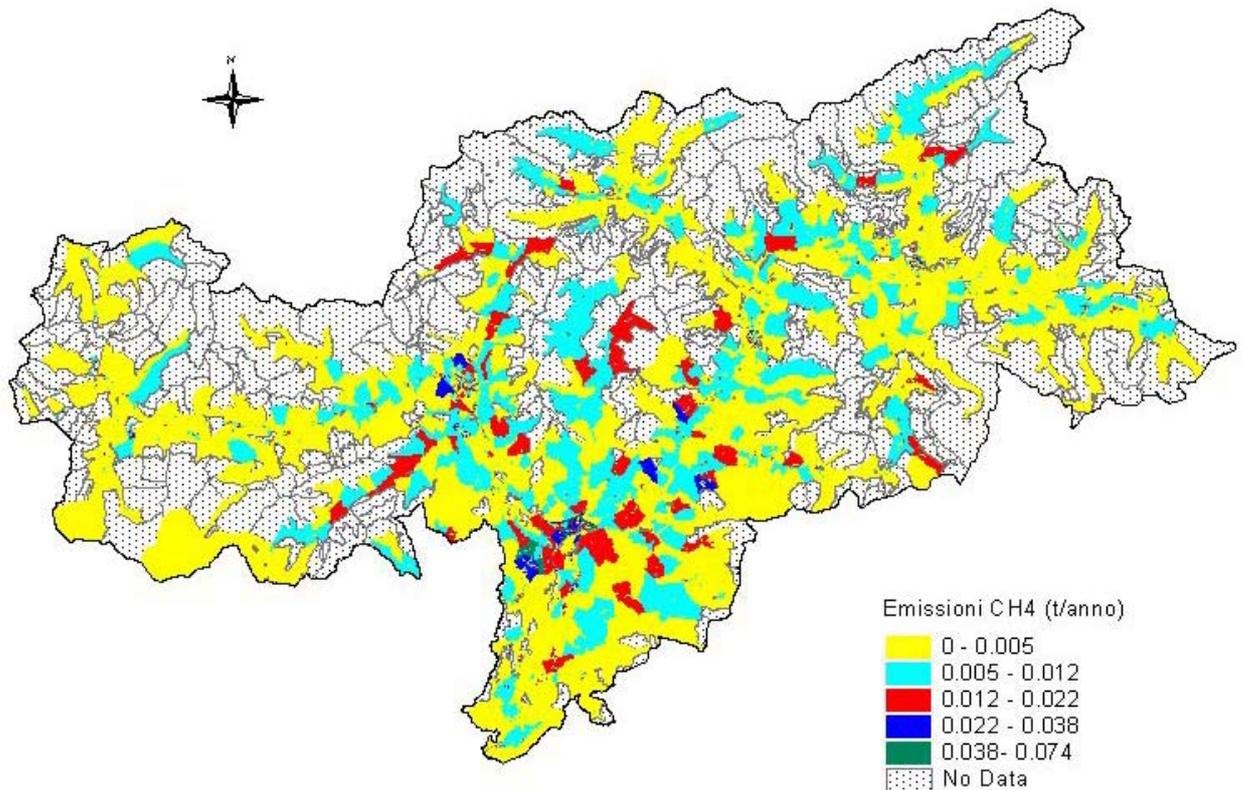
**Mappa 20:** Emissioni di PM10 in seguito alla sostituzione di caldaie a gas metano con 50% di pannelli solari per la produzione di acs nella Provincia di Bolzano.



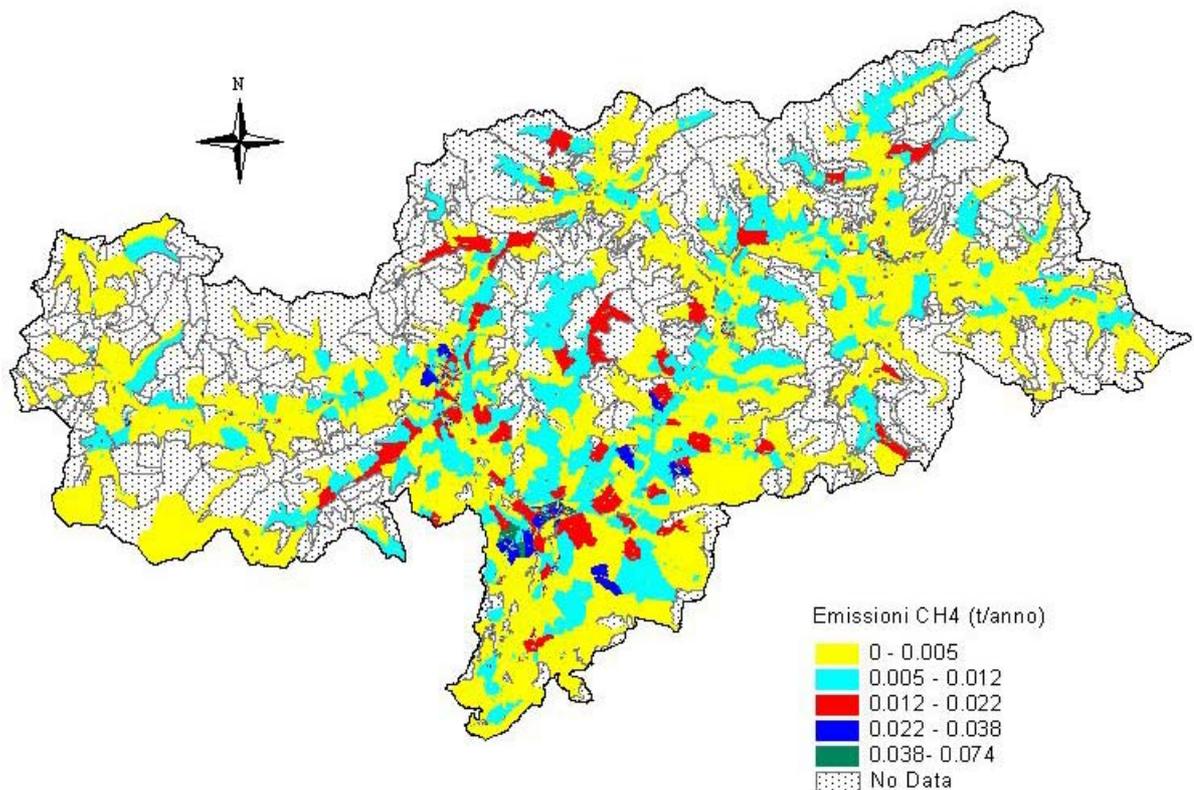
**Mappa 21:** Emissioni di CH<sub>4</sub> da caldaie a gas metano usate per la produzione di acs per il riscaldamento domestico nella Provincia di Bolzano.



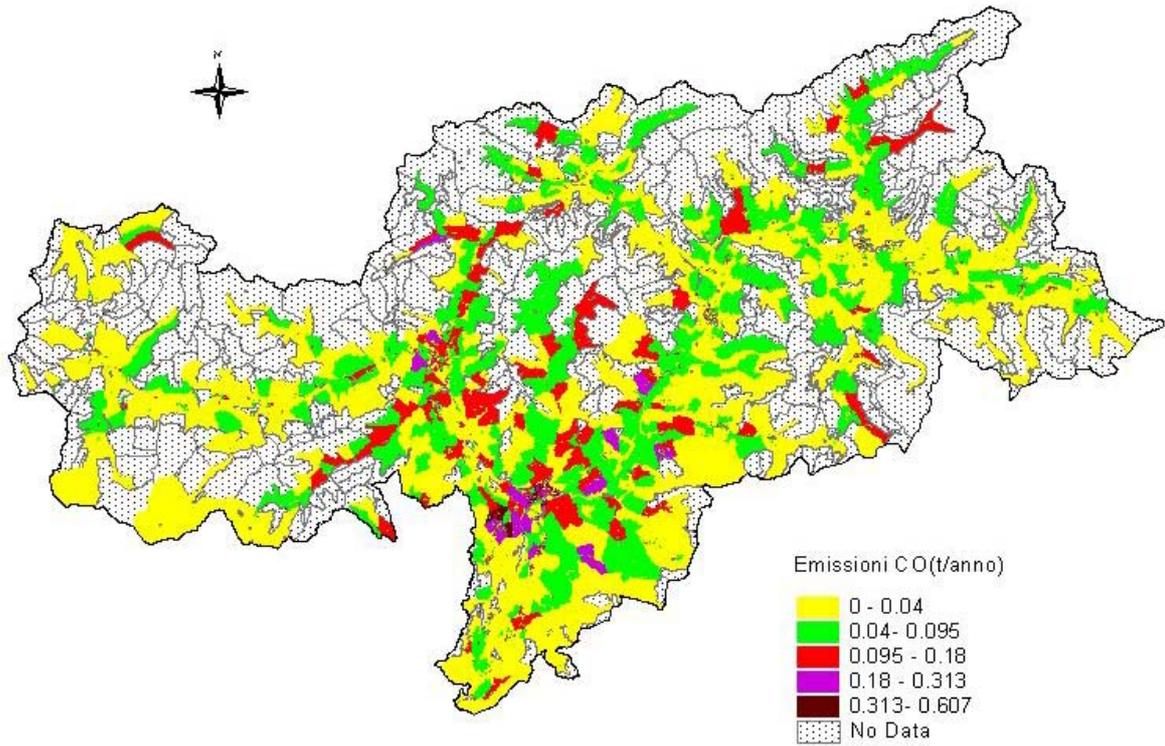
**Mappa 22:** Emissioni di CH<sub>4</sub> in seguito alla sostituzione di caldaie a gas metano con 100% di pannelli solari per la produzione di acs nella Provincia di Bolzano.



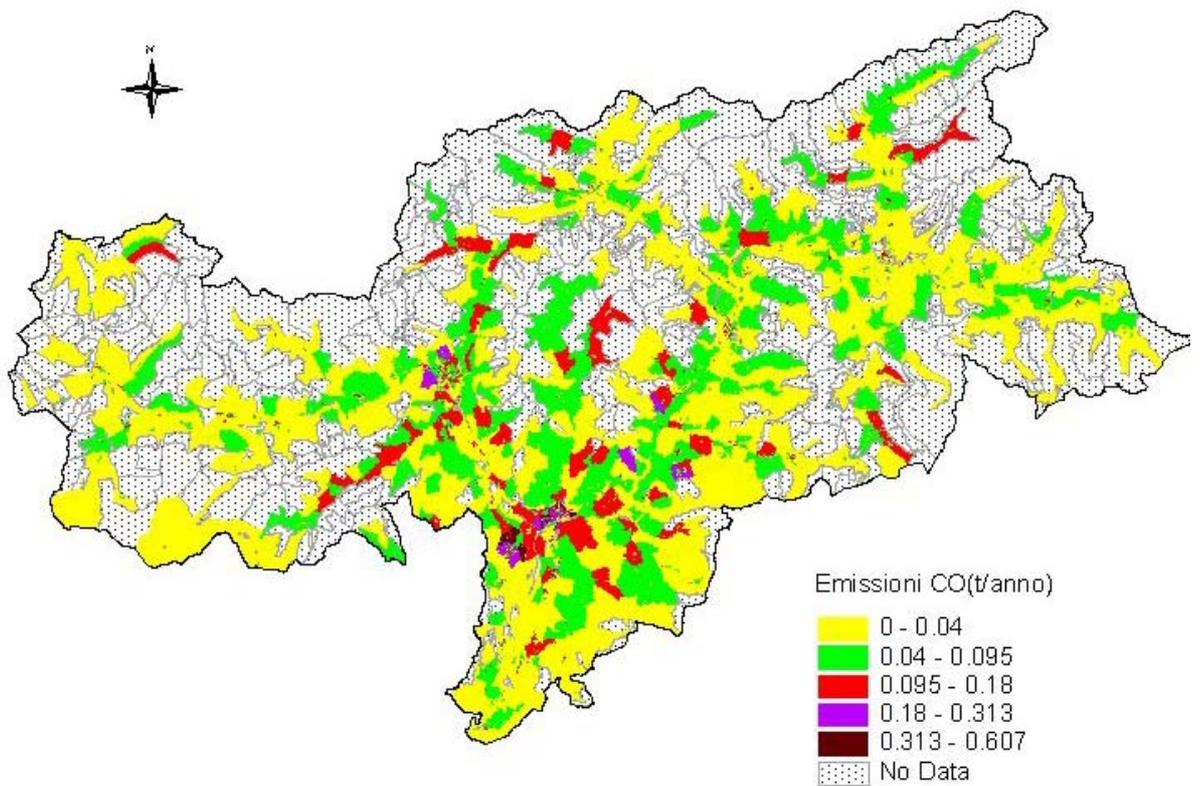
**Mappa 23:** Emissioni di CH<sub>4</sub> in seguito alla sostituzione di caldaie a gas metano con 75% di pannelli solari per la produzione di acs nella Provincia di Bolzano.



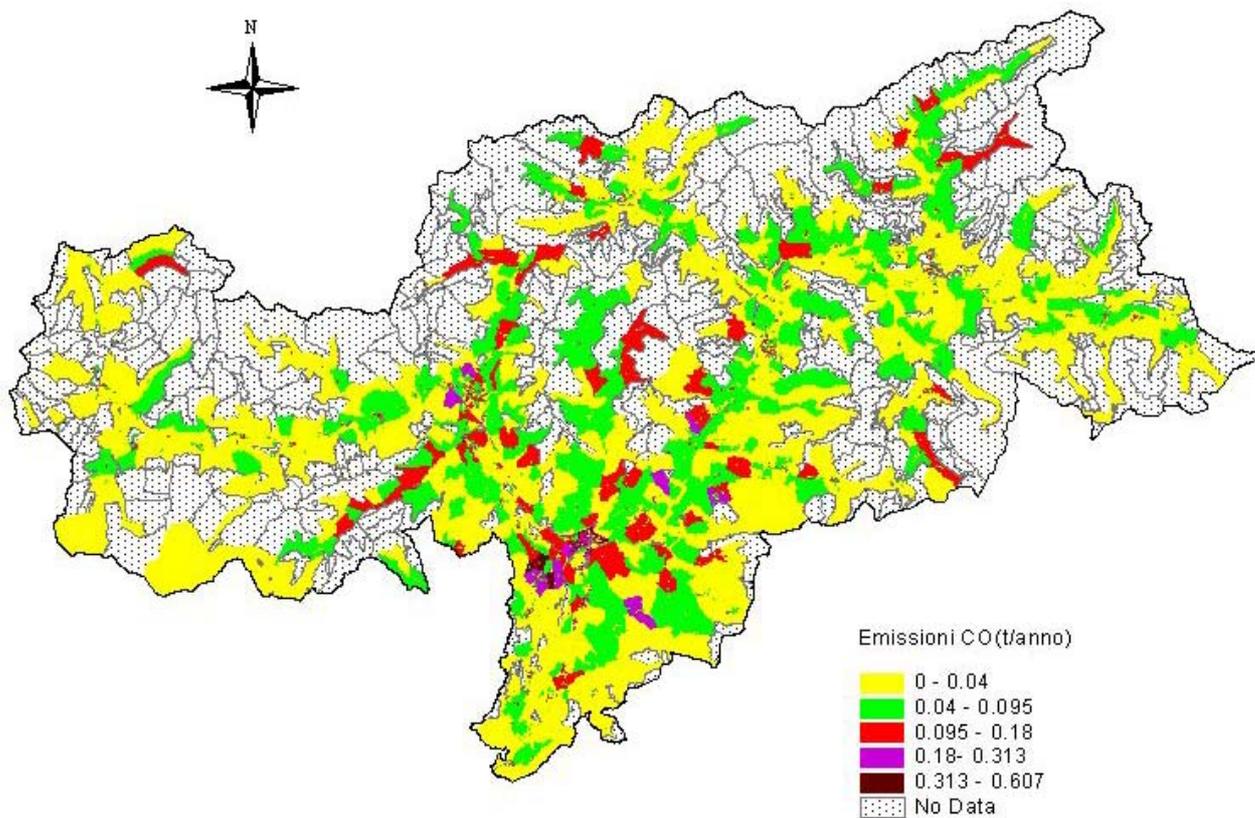
**Mappa 24:** Emissioni di CH<sub>4</sub> in seguito alla sostituzione di caldaie a gas metano con 50% di pannelli solari per la produzione di acs nella Provincia di Bolzano.



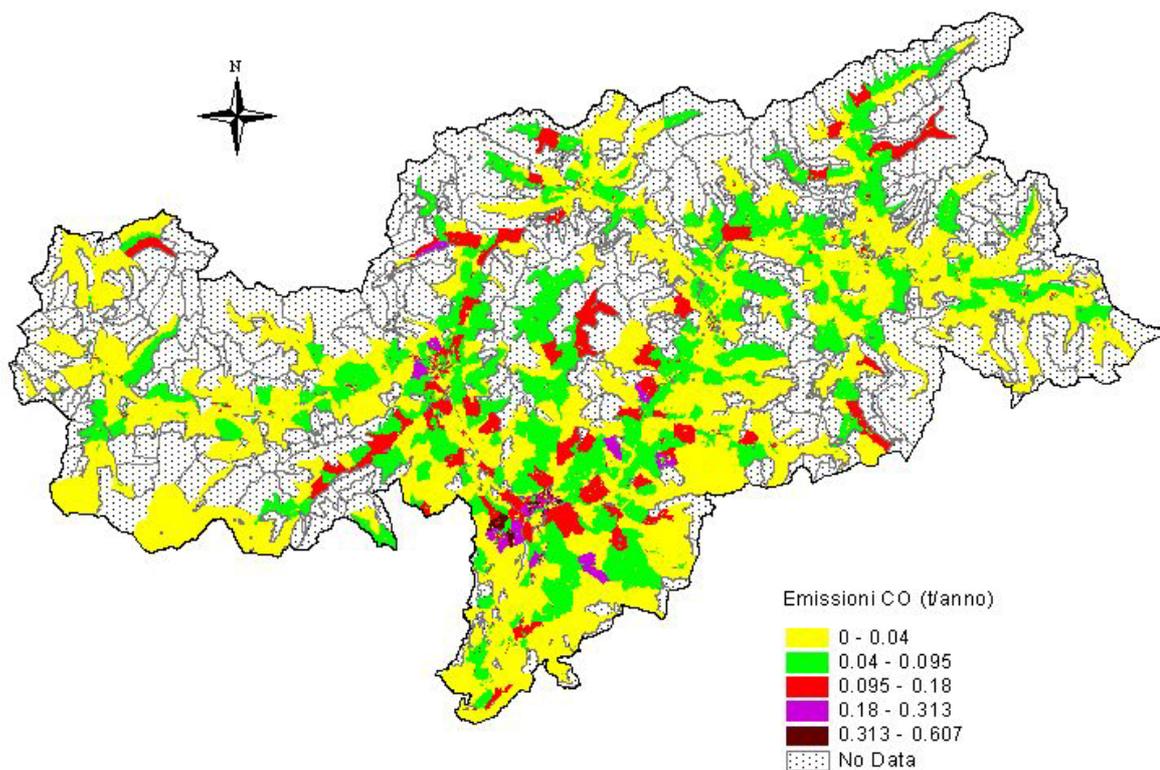
**Mappa 25:** Emissioni di CO da caldaie a gas metano usate per la produzione di acs per il riscaldamento domestico nella Provincia di Bolzano.



**Mappa 26:** Emissioni di CO in seguito alla sostituzione di caldaie a gas metano con 100% di pannelli solari per la produzione di acs nella Provincia di Bolzano.



**Mappa 27:** Emissioni di CO in seguito alla sostituzione di caldaie a gas metano con 75% di pannelli solari per la produzione di acs nella Provincia di Bolzano.



**Mappa 28:** Emissioni di CO in seguito alla sostituzione di caldaie a gas metano con 50% di pannelli solari per la produzione di acs nella Provincia di Bolzano.

# *Capitolo IV*

## 4. Conclusioni

Dall'analisi dei risultati ottenuti considerando le emissioni di inquinanti, si osserva che la maggior parte della produzione di agenti inquinanti deriva dal riscaldamento domestico e sola una piccola parte dalla produzione di acqua calda per uso sanitario. Tuttavia, l'introduzione di pannelli solari in sostituzione parziale o totale delle caldaie a metano determina un decremento della produzione di inquinanti con un abbattimento del 10%, 7%, 5%. Se inoltre, si considera il notevole risparmio energetico (34.353.449 m<sup>3</sup> di metano per acs), la sostituzione delle caldaie con pannelli solari risulta pienamente giustificata.

**Tabella 12:** t/anno di inquinanti prodotte dalle caldaie a metano per la produzione di acs e per il riscaldamento domestico

<b>Inquinante</b>	<b>t/anno prodotte (acs+risc)</b>
CO <sub>2</sub>	677.513
N <sub>2</sub> O	37
COVNM	61
NO <sub>x</sub>	611
PM10	82
CH <sub>4</sub>	37
CO	305

**Tabella 13:** Percentuale di inquinanti risparmiate sostituendo le caldaie a metano con pannelli solari al 100%, 75%, 50% per la produzione di acs

<b>Inquinante</b>	<b>(acs+risc)</b>		
	<b>% risparmio di emissioni</b>	<b>% risparmio di emissioni</b>	<b>% risparmio di emissioni</b>
	<b>100% pannelli solari</b>	<b>75% pannelli solari</b>	<b>50% pannelli solari</b>
CO <sub>2</sub>	10	7	5
N <sub>2</sub> O	10	7	5
COVNM	10	7	5
NO <sub>x</sub>	10	7	5
PM10	10	7	5
CH <sub>4</sub>	10	7	5
CO	10	7	5

Se infine si osservano le mappe ottenute dalla disaggregazione spaziale dei dati, apparentemente non ci sono grosse differenze nel passare da 100%, al 75%, al 50% ma un'analisi più attenta mostra un peggioramento soprattutto nelle zone più popolate.

## **Bibliografia**

[1] [http://www.apat.gov.it/site/\\_contentfiles/00143900/143938\\_Quaderni\\_formazione\\_ENERGIA.pdf](http://www.apat.gov.it/site/_contentfiles/00143900/143938_Quaderni_formazione_ENERGIA.pdf)

[2] <http://www.myenergy.it/termico/termico.aspx>

[3] Piano Energetico Ambientale della Regione Liguria (2001) –Dipartimento Tutela dell’Ambiente ed Edilizia – Servizio Energia-Regione Liguria

[4] [http://www.comune.bolzano.it/UploadDocs/3170\\_misure\\_energetiche\\_it.doc](http://www.comune.bolzano.it/UploadDocs/3170_misure_energetiche_it.doc)

[5] [http://www.comune.bolzano.it/urb\\_context02.jsp?area=75&ID\\_LINK=3157&page=1](http://www.comune.bolzano.it/urb_context02.jsp?area=75&ID_LINK=3157&page=1)

[6] [http://www2.minambiente.it/SVS/ufficio\\_statistica/docs/sintesi\\_istat\\_oac/tab3energia.pdf](http://www2.minambiente.it/SVS/ufficio_statistica/docs/sintesi_istat_oac/tab3energia.pdf)

[7] [http://efficienzaenergetica.acs.enea.it/tecnici/scheda\\_collettori.pdf](http://efficienzaenergetica.acs.enea.it/tecnici/scheda_collettori.pdf)

[8] [http://www.arpa.emr.it/cms3/documenti/\\_cerca\\_doc/aria/ossidi\\_carbonio.pdf](http://www.arpa.emr.it/cms3/documenti/_cerca_doc/aria/ossidi_carbonio.pdf)

[9] [http://www.arpa.emr.it/cms3/documenti/\\_cerca\\_doc/aria/ossidi\\_azoto.pdf](http://www.arpa.emr.it/cms3/documenti/_cerca_doc/aria/ossidi_azoto.pdf)

[10] [http://www.arpa.emr.it/cms3/documenti/\\_cerca\\_doc/aria/particolati.pdf](http://www.arpa.emr.it/cms3/documenti/_cerca_doc/aria/particolati.pdf)

[11] ANPA –Linee guida Inventari Emissioni Atmosfera - 2001