

# STUDIO TERRITORIALE DELLA RISORSA SOLARE NEL COMUNE DI PERUGIA: ASPETTI ENERGETICI ED AMBIENTALI

*Cinzia Buratti, Giorgio Baldinelli*

Dipartimento di Ingegneria Industriale, Università di Perugia, Via G. Duranti, 67 – 06125 Perugia

## **SOMMARIO**

Nell'ambito del piano Energetico e Ambientale del Territorio del Comune di Perugia si è valutato il potenziale dello sfruttamento della risorsa solare per usi termici sul territorio. Attraverso l'analisi comparata delle mappe delle esposizioni, delle ombre portate e della carta dei vincoli amministrativi, si fornisce un criterio secondo cui mitigare l'effetto dei vincoli stessi, al fine di incentivare la produzione energetica in zone particolarmente favorevoli alla captazione solare. Si sono inoltre effettuate una serie di simulazioni del funzionamento di sistemi solari termici di differenti caratteristiche, al fine di stimarne le prestazioni e supponendone l'installazione presso le tipologie edilizie più rappresentative nell'ambito territoriale, valutando, nel contempo, gli effetti energetici ed ambientali di diverse ipotesi di penetrazione all'interno del Comune.

## **ABSTRACT**

In the frame of the Energetic and Environmental Plan of Perugia municipality, the potential of solar resource for thermal applications is evaluated. Thematic maps (administrative ties, expositions and shadows) were compared, to find priority areas where is more convenient to direct funds and facilities; this analysis should supply a criterion to mitigate the effect of certain bonds, to stimulate the energetic production in particularly favourable zones to the solar tapping. After the appraisal of the total annual radiation in the territory, a set of simulations was implemented, concerning solar systems with different characteristics, to evaluate their performances and considering the installation on most representative building typologies of the territory. The objective of the municipality administration, imposed on the Energetic Plan, is to satisfy by 2010 the domestic heat water requirements of 30% of citizens with solar collectors, producing about 40.000 GWh. The results show that the goal is achievable with the installation of 70.000 m<sup>2</sup> of solar panels, obtaining, at the same time, a CO<sub>2</sub> reduction of 11.024 ton.

## **1. INTRODUZIONE**

L'introduzione su larga scala di sistemi solari termici per il riscaldamento di acqua sanitaria o degli ambienti è ad oggi ostacolata da problematiche di carattere economico-prestazionale.

Per entrambi gli aspetti le amministrazioni pubbliche possono svolgere un ruolo determinante, individuando le zone dove risulta maggiormente indicata la realizzazione di tali tipologie di impianto dal punto di vista tecnico e facendo confluire parallelamente risorse incentivanti nelle aree maggiormente vocate ed esenti da vincoli di natura amministrativa.

Il Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università di Perugia è stato incaricato dal Comune di Perugia di redigere il Piano Energetico ed Ambientale Comunale (PEAC) [1], nell'ambito del quale è previsto lo sviluppo di studi di fattibilità volti al raggiungimento degli obiettivi che il Piano stesso si pone in termini di risparmio energetico e di riduzione delle emissioni di gas serra, nell'ottica del Protocollo di Kyoto.

Nel presente lavoro è esaminata la possibilità di sfruttamento della risorsa solare nel territorio comunale, a partire dalla valutazione dell'energia solare disponibile fino alla determinazione, sotto opportune ipotesi, della penetrazione della tecnologia nel territorio stesso. La prima parte del lavoro riguarda la valutazione dell'energia solare disponibile e l'individuazione delle aree del territorio comunale più idonee alle installazioni solari, tenendo conto dei vincoli amministrativi, dell'esposizione rispetto ai punti cardinali e delle ombre portate legate all'orografia del territorio; tale parte si concretizza in mappe tematiche che individuano le aree più idonee.

La parte centrale comprende la simulazione del funzionamento di un sistema solare su diverse tipologie edilizie, nella configurazione destinata alla sola produzione di acqua calda sanitaria e nella configurazione di impianto combinato per la produzione di acqua calda sanitaria e integrazione all'impianto di riscaldamento. Sono quindi valutati il risparmio energetico e la riduzione delle emissioni di gas serra per ogni tipologia edilizia nelle due diverse configurazioni di impianto.

La parte finale del lavoro valuta la penetrazione della tecnologia solare nel territorio comunale, sulla base della reale distribuzione delle tipologie edilizie e di una realistica diffusione dell'impiego di tali sistemi; è infine valutato il contributo che, sotto queste ipotesi, la tecnologia solare è in grado di fornire globalmente nel territorio comunale in termini di risparmio energetico e riduzione di gas serra, all'interno degli obiettivi del Piano Energetico ed Ambientale del Comune di Perugia.

## **2. DISPONIBILITA' DI ENERGIA SOLARE NEL TERRITORIO COMUNALE**

Il potenziale energetico della risorsa solare può essere determinato attraverso la regressione di Angstrom-Page [2] che lega la radiazione totale media  $H$  incidente su superficie orizzontale all'eliofania  $n$ , secondo l'espressione:

$$H=H_0(a + bn/N) \quad (1)$$

dove  $N$  rappresenta il numero delle ore teoriche di insolazione, che possono essere valutate attraverso le coordinate astronomiche del sito,  $n$  è l'eliofania misurata, ossia le ore reali di insolazione del sito; i valori  $a$  e  $b$  si ottengono dal campione, tenendo conto che  $a$  è l'intercetta e  $b$  il coefficiente angolare della retta approssimante la serie di dati storici. La quantità  $H_0$  è il valore teorico medio dell'energia raggianti incidente nel periodo considerato (giorno, mese), su superficie orizzontale. Essa è ottenibile con una integrazione, nell'intervallo di tempo considerato, della potenza incidente su superficie orizzontale.

Il dato reale dell'eliofania (misurato) differisce da quello teorico (calcolato a partire dai dati astronomici) a causa dell'orografia dello specifico sito, della eventuale presenza di ostacoli e soprattutto delle condizioni meteorologiche. La radiazione solare totale è la somma delle due

componenti diretta e diffusa ed è misurata su un piano orizzontale, per l'intero arco temporale. In figura 1 è riportato l'andamento della radiazione solare totale su superficie orizzontale, nel periodo 1973-1995, misurata in una stazione ubicata nel centro storico della città.

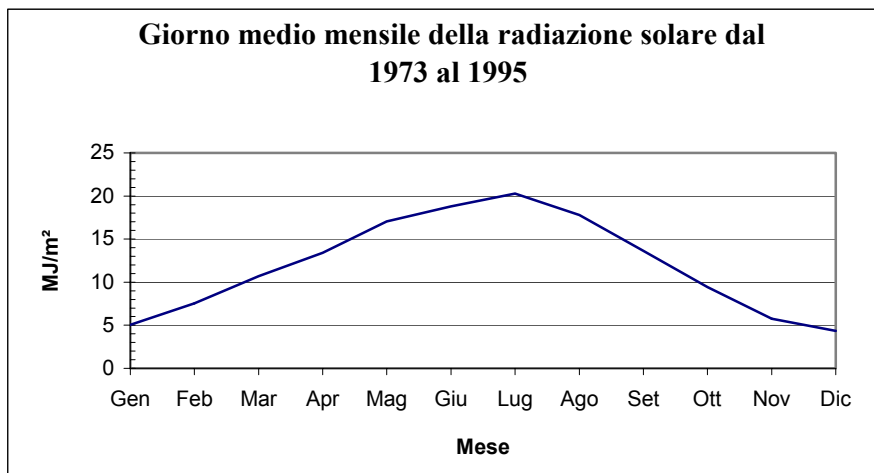


Fig. 1 - Andamento della radiazione solare totale giornaliera su superficie orizzontale, stazione di Perugia S. Pietro (media mensile nel periodo 1973-1995).

Si può notare come a Perugia la radiazione solare totale vari da un valore medio giornaliero di  $4,5 \text{ MJ/m}^2$  a dicembre a un valore medio giornaliero di  $20,2 \text{ MJ/m}^2$  a luglio; valutando poi i rapporti  $H/H_0$  e  $n/N$  su tutto il periodo in cui sono disponibili i dati (dal 1973 al 1995) è possibile ricavare i valori dell'intercetta  $a$  e della pendenza  $b$  della regressione di Angstrom-Page, ottenendo:

$$H=H_0(0,218 + 0,443n/N) \quad (2)$$

Oltre alla valutazione del potenziale energetico, lo sfruttamento dell'energia solare comporta un'approfondita conoscenza del territorio poiché è necessario definire le superfici di captazione (superfici agricole, forestali, industriali, tetti o facciate di edifici residenziali, commerciali e industriali, infrastrutture di produzione di energia elettrica).

Il Comune di Perugia è caratterizzato da un territorio prevalentemente collinare con limitate zone pianeggianti coincidenti con pianure alluvionali intermontane; la zona pianeggiante più importante è quella che coincide con le parti di Alta e Media Valle del Tevere comprese nel territorio del comune.

### 3. VINCOLI AMMINISTRATIVI

La superficie teoricamente a disposizione per l'installazione dei sistemi termici solari è quella di copertura di tutti gli edifici presenti nel territorio comunale, sia pubblici che privati, sia residenziali che commerciali o industriali. Gli impianti per la captazione dell'energia solare possono essere anche convenientemente installati a terra, quindi va considerata utile ai fini della conversione solare termica anche una grande parte del territorio comunale non edificato.

Tuttavia, non tutta la superficie teoricamente disponibile può essere convenientemente utilizzata per l'installazione di sistemi captanti; esistono infatti vincoli di diversa natura che impediscono o rendono non redditizio l'impiego dei sistemi solari termici.

In primo luogo l'installazione dei sistemi solari è subordinata a vincoli storici o paesaggistico-ambientali legati alle norme per la tutela dei beni di interesse storico-artistico e paesaggistico-ambientali [3, 4] e quelli introdotti dall'Amministrazione Comunale, al fine di limitare l'impatto visivo causato da collettori e serbatoi ubicati in centri storici ed aree protette; le aree risultano le seguenti:

- insediamenti accentrati in aree di interesse storico ambientale;
- beni individuati sparsi [5];
- aree sottoposte a vincolo paesaggistico ambientale, ai sensi del D.L. n° 490/99;
- centro storico di Perugia;
- zone A (zone con carattere storico, artistico e/o di particolare pregio ambientale) in centri storici minori;
- zone A\* (zone destinate a servizi pubblici al servizio degli insediamenti residenziali) in centri storici minori.

#### **4. VINCOLI OROGRAFICI**

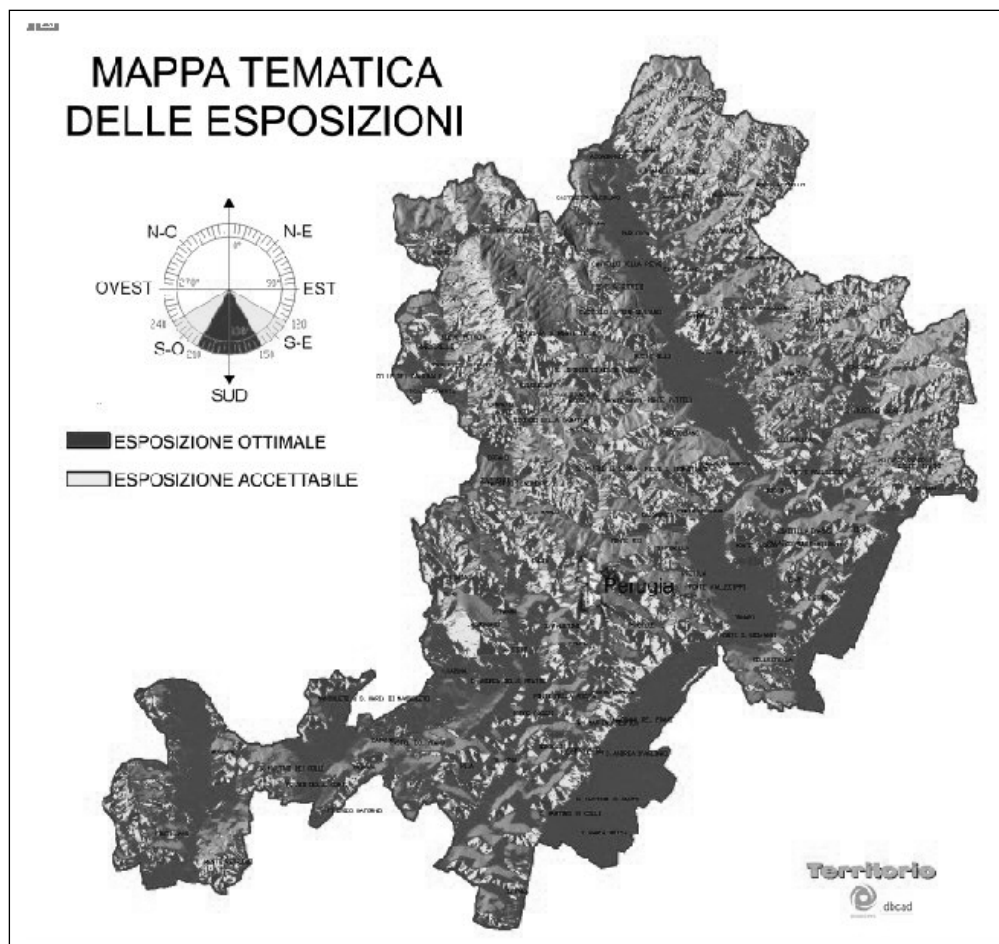
Al fine di stabilire un criterio che consenta di individuare nell'ambito del territorio del Comune di Perugia le aree più favorevoli o più sfavorite per la captazione dell'irraggiamento solare, sono state condotte delle indagini territoriali servendosi di un opportuno software che consente la manipolazione e l'analisi dei modelli numerici del terreno.

A partire da un modello numerico del terreno, realizzato con opportuna precisione di dettaglio (costituito da celle quadrate aventi lato di 50 m), le elaborazioni hanno consentito di produrre carte tematiche riguardanti le esposizioni ottimali e le ombre portate.

##### *4.1. Mappa delle esposizioni*

I pannelli solari piani, comunemente impiegati come sistemi di captazione dell'energia solare, sono installazioni fisse, pertanto esistono delle condizioni ottimali per la captazione della radiazione; è possibile, infatti, dimostrare che il massimo valore dell'energia raccolta nell'anno solare è ottenibile rivolgendo il collettore verso SUD ed inclinandolo, rispetto all'orizzontale, di un angolo pari alla latitudine, a cui va aggiunto o tolto il valore di 10° a seconda che l'impiego sia prevalentemente invernale od estivo.

Indicata con 0° la direzione Nord, sono quindi da ritenere esposte in maniera ottimale le zone del Comune di Perugia orientate in un intervallo compreso tra 150° e 210°; esse sono contrassegnate con il colore più scuro. Le aree, invece, caratterizzate da esposizione compresa nei range 120°-150° e 180°-210°, sono caratterizzate da una esposizione che, sebbene non ottimale, consente un livello di irraggiamento accettabile in quanto rende ancora conveniente un investimento indirizzato alla conversione solare termica; tali aree sono contrassegnate con il colore chiaro. Tutte le restanti aree (colore intermedio) sono da considerarsi esposte in maniera non favorevole rispetto all'irraggiamento solare. Adottando tali ipotesi ed impiegando il software Territorio 8.0 Professionall per analizzare l'esposizione dei versanti, si è ottenuta la mappa tematica delle esposizioni (figura 2).



*Fig. 2 - Carta tematica delle esposizioni.*

#### *4.2 Mappa delle ombre portate*

L'ambito territoriale del Comune di Perugia è caratterizzato da aree pianeggianti e basso collinari, ma anche da rilievi di significativa importanza, tra i quali spicca il Monte Tezio (961 m).

Si verifica quindi che specialmente in inverno, quando il sole è più basso sull'orizzonte, le ombre portate dai rilievi sul territorio impediscano la captazione della risorsa solare in aree altrimenti ben esposte all'irraggiamento. E' dunque opportuno individuare le aree interessate da ombre portate, particolarmente estese nel periodo invernale, che è anche il periodo dell'anno in cui è massimo il fabbisogno di energia termica per gli edifici.

Importando il modello numerico del terreno del territorio comunale in ambiente software per finalità di rendering, è stata simulata l'illuminazione solare andando a seguire l'andamento delle ombre portate dai rilievi man mano che il sole percorre la sua traiettoria nel solstizio d'inverno, giorno in cui è minima l'altezza solare sull'orizzonte e quindi massima l'estensione delle ombre portate dai rilievi. Si è scelto di limitare l'indagine nell'intervallo orario compreso tra le ore 10.00 e le ore 15.00, in quanto è in tali orari che viene irradiata dal sole la frazione più rilevante di energia.

La consultazione combinata delle due mappe tematiche (esposizioni e ombre portate) è in grado di fornire indicazioni molto utili ai fini di una politica di promozione dello sfruttamento

dell'energia solare, sia per fini termici che per fini elettrici, nelle zone particolarmente favorevoli alla captazione solare.

## 5. PROPOSTA DI INTERVENTO SU EDIFICI TIPO

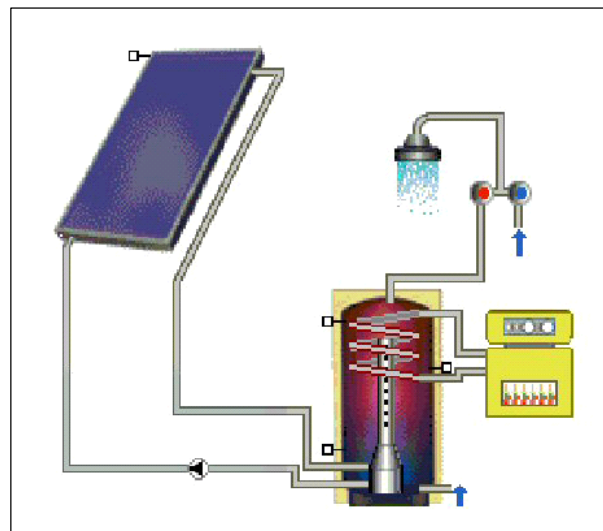
Al fine di fornire un quadro d'insieme dei risvolti energetici e ambientali legati all'adozione a livello comunale di sistemi di conversione termica dell'energia solare, è stata condotta una serie di simulazioni mediante un opportuno codice di calcolo, per verificare le prestazioni di tre diverse tipologie abitative e due diversi usi finali:

- esclusiva produzione di acqua calda sanitaria;
- produzione di acqua calda sanitaria e integrazione con l'impianto di riscaldamento.

Le tre tipologie abitative ipotizzate sono state scelte in base ai dati relativi al patrimonio edilizio comunale, tenendo conto degli standard urbanistici previsti dalla zonizzazione stabilita nel nuovo Piano Regolatore Generale; le tre tipologie scelte sono le seguenti:

- 1) edificio che ospiti un solo nucleo familiare, in cui la superficie netta da riscaldare sia pari a  $120 \text{ m}^2$ ;
- 2) edificio che ospiti sei unità abitative di  $100 \text{ m}^2$  ciascuna, dislocate su tre livelli;
- 3) edificio che ospiti 18 unità abitative di  $70 \text{ m}^2$  ciascuna, distribuite su sei livelli.

Lo schema di impianto tipico per l'esclusiva produzione di acqua calda sanitaria [6] è mostrato in figura 3.



*Fig. 3 - Schema di impianto per la produzione di acqua calda sanitaria.*

Le simulazioni condotte inserendo opportuni parametri di progetto diversi per le tre tipologie abitative [7, 8], hanno prodotto i risultati riassunti nella tabella 1.

Tab. 1 - Simulazioni condotte per l'esclusiva produzione di acqua calda sanitaria.

	TIPOLOGIA ABITATIVA n° 1	TIPOLOGIA ABITATIVA n° 2	TIPOLOGIA ABITATIVA n° 3
Fabbisogno energetico annuo per produzione di ACS	2,6 MWh	15,6 MWh	46,8 MWh
Superficie netta di collettori solari installata	4,5 m <sup>2</sup>	27,2 m <sup>2</sup>	54,5 m <sup>2</sup>
Energia termica fornita in un anno dall'impianto solare termico	2,3 MWh	13,5 MWh	36,9 MWh
Energia termica fornita in un anno da ogni m <sup>2</sup> di collettore installato	511 kWh/m <sup>2</sup>	496 kWh/m <sup>2</sup>	677 kWh/m <sup>2</sup>
Risparmio energetico annuo in metano	316 m <sup>3</sup>	1778 m <sup>3</sup>	4648 m <sup>3</sup>
Emissioni annue di CO <sub>2</sub> evitate	718 kg	4035 kg	10545 kg
Emissioni annue di CO <sub>2</sub> evitate per m <sup>2</sup> di collettori solari installati	160 kg/m <sup>2</sup>	148 kg/m <sup>2</sup>	193 kg/m <sup>2</sup>

In figura 4 è mostrato lo schema di impianto impiegato per la produzione di acqua calda sanitaria combinata al riscaldamento; in tabella 2 sono riassunti i risultati ottenuti dalle simulazioni.

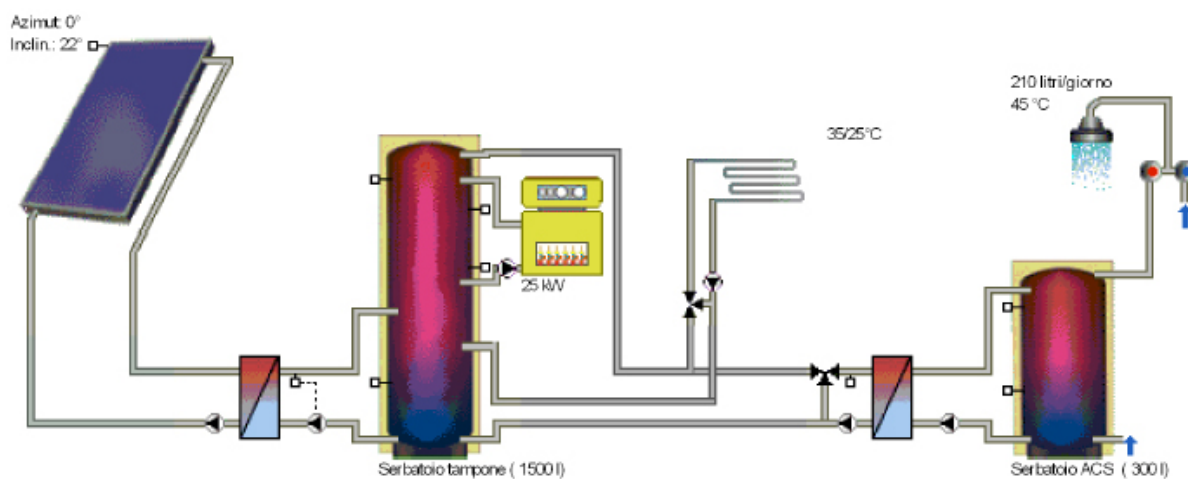


Fig. 4 - Schema di impianto per la produzione di acqua calda sanitaria e integrazione all'impianto di riscaldamento.

Tab. 2 - Risultati delle simulazioni condotte per la produzione di acqua calda sanitaria e integrazione all'impianto di riscaldamento.

	TIPOLOGIA ABITATIVA n° 1	TIPOLOGIA ABITATIVA n° 2	TIPOLOGIA ABITATIVA n° 3
Fabbisogno energetico annuo per produzione di ACS	2,6 MWh	15,6 MWh	46,8 MWh
Fabbisogno energetico annuo per impianto di riscaldamento	20,2 MWh	95,2 MWh	198,6 MWh
Fabbisogno annuo complessivo (ACS + riscaldamento)	22,8 MWh	110,8 MWh	245,5 MWh
Superficie netta di collettori solari installata	13,6 m <sup>2</sup>	81,7 m <sup>2</sup>	102,9 m <sup>2</sup>
Energia termica fornita in un anno dall'impianto solare termico	8,4 MWh	54,3 MWh	61,4 MWh
Energia termica fornita in un anno da ogni m <sup>2</sup> di collettore installato	617 kWh/m <sup>2</sup>	664 kWh/m <sup>2</sup>	597 kWh/m <sup>2</sup>
Risparmio energetico annuo in metano	1336 m <sup>3</sup>	8656 m <sup>3</sup>	9772 m <sup>3</sup>
Emissioni annue di CO <sub>2</sub> evitate	3030 kg	19638 kg	22170 kg
Risparmio percentuale sui consumi di metano	37 %	49 %	25 %
Emissioni annue di CO <sub>2</sub> evitate per m <sup>2</sup> di collettore solare installato	223 kg	240 kg	215 kg

## 6. PENETRAZIONE NEL TERRITORIO COMUNALE

Sulla base delle indicazioni del Piano Energetico e Ambientale del Comune di Perugia, sono stati valutati i benefici energetici ed ambientali derivanti dall'installazione di 50.000 m<sup>2</sup> di collettori solari piani [9]; a tal fine sono stati ipotizzati due scenari:

- a) 100% delle installazioni destinato alla esclusiva produzione di acqua calda sanitaria;
- b) 100% delle installazioni destinato alla produzione di acqua calda sanitaria e integrazione all'impianto di riscaldamento.

Sono inoltre state fissate le quote percentuali associate a ciascuna delle tipologie edilizie, considerando due diverse ripartizioni delle installazioni:

- 1) adottando la percentuale in cui sono ripartite le tre tipologie edilizie nel territorio comunale, ipotizzando una penetrazione uniforme:
  - 35% delle installazioni su edifici assimilabili alla tipologia edilizia n. 1;
  - 25% delle installazioni su edifici assimilabili alla tipologia edilizia n. 2;
  - 40% delle installazioni su edifici assimilabili alla tipologia edilizia n. 3.
- 2) ipotizzando una penetrazione maggiore nelle tipologie edilizie monofamiliari o di piccola taglia:
  - 60% delle installazioni su edifici assimilabili alla tipologia edilizia n. 1;
  - 30% delle installazioni su edifici assimilabili alla tipologia edilizia n. 2;
  - 10% delle installazioni su edifici assimilabili alla tipologia edilizia n. 3.

I risultati dei calcoli effettuati sotto le ipotesi di penetrazione nel territorio comunale esposte nel precedente paragrafo sono illustrati nelle tabelle 3, 4, 5 e 6.

L'installazione dei collettori previsti dai due obiettivi è stata ipotizzata in aree che, secondo le mappe illustrate, risultano favorevolmente esposte, non soggette a vincoli di tipo amministrativo e ad ombre portate dai rilievi.

*Tab. 3 - Risultati legati all'installazione di 50.000 m<sup>2</sup> di collettori adottando la suddivisione n°1 (35% monofamiliare, 25% piccolo condominio, 40% grande condominio) nello scenario a) (produzione sola acqua calda sanitaria).*

SUDDIVISIONE INSTALLAZIONI PER TIPOLOGIA EDILIZIA	ENERGIA TERMICA FORNITA ALL' ANNO	METANO RISPARMIATO ALL'ANNO	EMISSIONI DI CO <sub>2</sub> EVITATE ALL'ANNO
Quota assegnata alla tipologia edilizia n°1 = 35%	9,0 GWh	1,431x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	2822 ton CO <sub>2</sub>
Quota assegnata alla tipologia edilizia n°2 = 25%	6,2 GWh	0,986x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	1858 ton CO <sub>2</sub>
Quota assegnata alla tipologia edilizia n°3 = 40%	13,6 GWh	2,162x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	3879 ton CO <sub>2</sub>
	<b>Totale = 28,8 GWh</b>	<b>Totale = 4,579x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup></b>	<b>Totale = 8552 ton CO<sub>2</sub></b>

*Tab. 4 - Risultati legati all'installazione di 50.000 m<sup>2</sup> di collettori adottando la suddivisione n°2 (60% monofamiliare, 30% piccolo condominio, 10% grande condominio) nello scenario a) (produzione sola acqua calda sanitaria).*

SUDDIVISIONE INSTALLAZIONI PER TIPOLOGIA EDILIZIA	ENERGIA TERMICA FORNITA ALL' ANNO	METANO RISPARMIATO ALL'ANNO	EMISSIONI DI CO <sub>2</sub> EVITATE ALL'ANNO
Quota assegnata alla tipologia edilizia n°1 = 60%	15,5 GWh	2,464x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	4838 ton CO <sub>2</sub>
Quota assegnata alla tipologia edilizia n°2 = 40%	7,4 GWh	1,177x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	2230 ton CO <sub>2</sub>
Quota assegnata alla tipologia edilizia n°3 = 10%	3,3 GWh	0,525x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	968 ton CO <sub>2</sub>
	<b>Totale = 26,2 GWh</b>	<b>Totale = 4,166x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup></b>	<b>Totale = 8036 ton CO<sub>2</sub></b>

*Tab. 5 - Risultati legati all'installazione di 50.000 m<sup>2</sup> di collettori adottando la suddivisione n°1 (35% monofamiliare, 25% piccolo condominio, 40% grande condominio) nello scenario b) (integrazione acqua calda sanitaria - impianto di riscaldamento).*

SUDDIVISIONE INSTALLAZIONI PER TIPOLOGIA EDILIZIA	ENERGIA TERMICA FORNITA ALL' ANNO	METANO RISPARMIATO ALL'ANNO	EMISSIONI DI CO <sub>2</sub> EVITATE ALL'ANNO
Quota assegnata alla tipologia edilizia n°1 = 35%	10,0 GWh	1,590x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	3368 ton CO <sub>2</sub>
Quota assegnata alla tipologia edilizia n°2 = 25%	6,6 GWh	1,049x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	2097 ton CO <sub>2</sub>
Quota assegnata alla tipologia edilizia n°3 = 40%	13,6 GWh	2,162x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	3879 ton CO <sub>2</sub>
	<b>Totale = 30,2 GWh</b>	<b>Totale = 4,801x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup></b>	<b>Totale = 9337 ton CO<sub>2</sub></b>

Tab. 6 - Risultati legati all'installazione di 50.000 m<sup>2</sup> di collettori adottando la suddivisione n°2 (60% monofamiliare, 30% piccolo condominio, 10% grande condominio) nello scenario b) (integrazione acqua calda sanitaria - impianto di riscaldamento).

SUDDIVISIONE INSTALLAZIONI PER TIPOLOGIA EDILIZIA	ENERGIA TERMICA FORNITA ALL' ANNO	METANO RISPARMIATO ALL'ANNO	EMISSIONI DI CO <sub>2</sub> EVITATE ALL'ANNO
Quota assegnata alla tipologia edilizia n°1 = 60%	17,3 GWh	2,751x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	5943 ton CO <sub>2</sub>
Quota assegnata alla tipologia edilizia n°2 = 40%	7,9 GWh	1,256x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	2518 ton CO <sub>2</sub>
Quota assegnata alla tipologia edilizia n°3 = 10%	3,3 GWh	0,525x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	968 ton CO <sub>2</sub>
	<b>Totale = 28,5 GWh</b>	<b>Totale = 4,532x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup></b>	<b>Totale = 9429 ton CO<sub>2</sub></b>

Da risultati si evince che, a parità di collettori installati, l'impiego dei sistemi solari all'applicazione integrativa del riscaldamento forniscono prestazioni energetiche superiori rispetto allo sfruttamento per la produzione di sola acqua calda sanitaria, in quanto, una volta, soddisfatta la richiesta di acqua calda sanitaria, l'energia in surplus accumulata dai pannelli, può essere impiegata per il riscaldamento. Il sistema integrato porta ad un incremento dell'energia termica utile (medio sulle diverse possibili modalità di suddivisione) del 7% rispetto alla sole produzione di acqua calda sanitaria; tale dato si traduce in un incremento delle prestazioni ambientali pari al 14%.

L'installazione di 50.000 m<sup>2</sup> di collettori destinati alla produzione esclusiva di ACS produce, al massimo 28,8 GWh. Al fine di produrre l'energia necessaria (40 GWh) a soddisfare entro il 2010 il fabbisogno di acqua calda sanitaria del 30% degli abitanti del Comune di Perugia attraverso l'impiego della conversione solare termica, che rappresenta uno degli obiettivi che l'Amministrazione si è proposta nell'ambito del Piano Energetico ed Ambientale, sarebbe necessaria l'installazione di circa 70.000 m<sup>2</sup> di collettori solari, che produrrebbero i benefici energetico-ambientali [10, 11] riportati in tabella 7.

Tab. 7 - Risultati legati all'installazione di 70.000 m<sup>2</sup> collettori adottando la suddivisione n°1 (35% monofamiliare, 25% piccolo condominio, 40% grande condominio) nello scenario a) (produzione sola acqua calda sanitaria).

SUDDIVISIONE INSTALLAZIONI PER TIPOLOGIA EDILIZIA	ENERGIA TERMICA FORNITA IN UN ANNO	EMISSIONI DI CO <sub>2</sub> EVITATE IN UN ANNO
Quota assegnata alla tipologia edilizia n°1 = 35%	12,7 GWh	3951 ton CO <sub>2</sub>
Quota assegnata alla tipologia edilizia n°2 = 25%	8,7 GWh	2601 ton CO <sub>2</sub>
Quota assegnata alla tipologia edilizia n°3 = 40%	19,0 GWh	5472 ton CO <sub>2</sub>
	<b>Totale = 40,4 GWh</b>	<b>Totale = 12024 ton CO<sub>2</sub></b>

## 7. CONCLUSIONI

Lo sfruttamento della risorsa solare nell'ambito di una pianificazione energetico-ambientale deve fornire un approccio integrato, tenendo in considerazione, insieme alle indicazioni di carattere tecnico, le peculiarità del territorio dal punto di vista dell'orografia, dell'esposizione e dei vincoli amministrativi. Nel presente lavoro, sviluppato nell'ambito del Piano Energetico e Ambientale del Comune di Perugia, sono state realizzate una serie di cartografie per individuare i siti più adatti all'installazione dei collettori solari: la mappa delle esposizioni e la mappa delle ombre portate; si è poi proceduto al confronto con le carte dei vincoli storici, paesaggistici ed ambientali per escludere le aree in cui l'impatto visivo non risulterebbe ammissibile. Dopo l'individuazione dei siti idonei, è stata implementata una serie di simulazioni relative a sistemi solari di caratteristiche diverse per valutare le prestazioni dell'installazione sulle tipologie edilizie più rappresentative del territorio. L'obiettivo che l'Amministrazione comunale si è preposta di ricoprire il fabbisogno di acqua calda per usi igienico-sanitari del 30% dei cittadini del Comune è ottenibile attraverso l'installazione di 70.00 m<sup>2</sup> di pannelli solari. Con tale penetrazione si produrrebbero circa 40 GWh di energia termica, ottenendo, conseguentemente, una diminuzione della produzione di CO<sub>2</sub> vicina alle 11.000 tonnellate e fornendo un contributo rilevante alla riduzione complessiva delle emissioni di gas serra.

## Bibliografia

- [1] Comune di Perugia, (2003): "Piano Energetico e Ambientale del Comune di Perugia, Piano definitivo", Ottobre 2003.
- [2] M. Felli, (1998): "Lezioni di fisica tecnica – Volume 1", Perugia, 1998.
- [3] L. n° 1497 del 29 giugno 1939, (1939): "Protezione delle bellezze naturali".
- [4] L. n° 1089 del 1 giugno 1939, (1939) "Tutela delle cose d'interesse artistico e storico".
- [5] Comune di Perugia, (2002): "Piano Regolatore Generale", Perugia, 2002.
- [6] Ambiente Italia, (2002): "Impianti solari termici - Manuale per la progettazione e costruzione", gennaio 2002.
- [7] Brinkworth B. J. (2001): "Solar DHW system performance correlation revisited", Solar Energy, 71, p. 377.
- [8] Duffie J. A. , Beckam W. A., (1991): "Solar Engineering of thermal processes", John Wiley & Sons, New York, 1991.
- [9] ISIRIM, (2000): "Studio di piano energetico regionale per l'Umbria", settembre 2000.
- [10] ENEA, (2001): "Rapporto energia e ambiente 2001".
- [11] Governo italiano: (1999): "Libro bianco per la valorizzazione energetica delle fonti rinnovabili", aprile 1999.