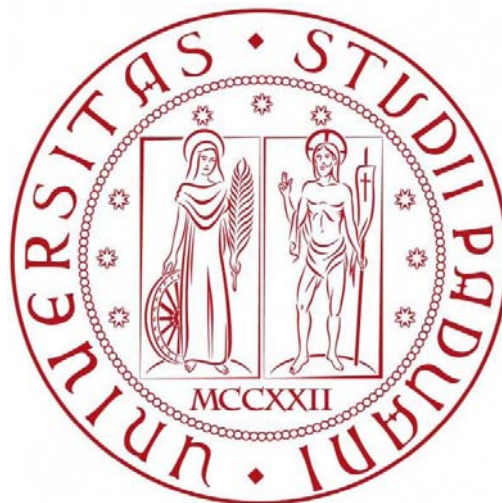


Università degli Studi di Padova

**FACOLTÀ DI INGEGNERIA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE**

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica

TESI DI LAUREA



**“MODELLO DEL SISTEMA ENERGETICO DEL COMUNE DI PADOVA E POSSIBILI
SCENARI AL 2020”**

Relatore: Prof.ssa **Anna Stoppato**

Laureando: **Andrea Baratto**

Matricola: **1038575**

Anno Accademico 2013 - 2014

Sommario

Ringraziamenti	4
Introduzione	5
1. Capitolo 1: Il software EnergyPlan	9
1.1. Introduzione	9
1.2. Prefazione	9
1.3. Scopo e applicazione	12
1.4. La logica di funzionamento di EnergyPLAN	14
2. CAPITOLO 2: Modellizzazione del sistema energetico padovano in EnergyPlan	19
2.1. Domanda di energia elettrica	19
2.2. Teleriscaldamento, impianti cogenerativi e termoelettrici tradizionali.....	24
2.3. Energie rinnovabili.....	27
2.4. Riscaldamento domestico e microgenerazione	35
2.5. Trasporti	45
2.6. Consumi e cogenerazione industriale	47
2.7. Raffrescamento (Cooling)	50
2.8. Scarti: calore, elettricità e biocombustibili ottenibili dalla conversione energetica dei rifiuti	53
2.9. Parametri di input aggiuntivi	58
2.10 Risultati ottenuti e verifica del modello	59
3. CAPITOLO 3: Analisi di scenari significativi	73
3.1. Fotovoltaico.....	73
3.2. Trasporti	75
3.3. Costruzione scenario completo per l'anno 2020	89
3.4. Confronto scenario 2013- scenario 2020	97
4. Conclusioni	103
5. Bibliografia	106
6. Appendice A: Sistema energetico padovano nel 1997	108

RINGRAZIAMENTI

“Desidero innanzitutto ringraziare la Prof.ssa Anna Stoppato per i preziosi insegnamenti forniti durante l'intero periodo universitario e per le numerose ore dedicate alla mia tesi. Intendo poi ringraziare la società Acegas- Aps, sottolineando la particolare disponibilità del Sig. Pietro Brazzarola, e il Sig. Paolo Fornea, responsabile dell'Ufficio Ambiente del Comune di Padova, per avermi fornito dati indispensabili per la realizzazione della tesi. Esprimo poi la mia gratitudine ai miei amici, quelli di sempre e quelli conosciuti nel periodo universitario, e alla mia fidanzata Silvia per avermi sostenuto, nei momenti di bisogno, con un clima di felicità e serenità. Infine, un ringraziamento speciale ai miei genitori, Alberto e Loredana, per avermi permesso di intraprendere gli studi universitari e per il grande sostegno che mi hanno dato in tutti questi anni di lavoro.”

GRAZIE

INTRODUZIONE

IL PERCORSO CHE HA PORTATO ALLA REALIZZAZIONE DEL PIANO DI MITIGAZIONE E DI ADATTAMENTO DEL COMUNE DI PADOVA.

Per oltre 800.000 anni, la naturale concentrazione di CO₂ nell'aria ha avuto oscillazioni costanti, ma con l'avvento della rivoluzione industriale i livelli di anidride carbonica nell'aria sono cresciuti in maniera molto veloce, con conseguenze negative per il riscaldamento globale ed i cambiamenti climatici. Considerando che la notevole crescita della popolazione mondiale che si avrà entro il 2030 farà aumentare il consumo di energia, se non vengono prese le giuste precauzioni la CO₂ potrebbe raggiungere livelli critici.

Per queste ragioni, l'Unione Europea ha deciso, per l'anno 2020, di aumentare del 20% la produzione di energia da fonti rinnovabili, di ridurre del 20% i consumi energetici e l'immissione di gas climalteranti in atmosfera; per raggiungere tali obiettivi, enti locali, scuole, imprese, cittadini e tutte le altre istituzioni devono agire in maniera congiunta.

Il Comune di Padova, a tal fine, ha aderito alla Campagna Europea dell'Energia Sostenibile (SEE) nel maggio 2008 (con la deliberazione della Giunta Comunale n. 2008/0034 del 20.05.2008) e nel maggio 2010 (deliberazione di Consiglio Comunale n. 2010/0041 del 10.05.2010) al Patto dei Sindaci.

Sottoscrivendo il Patto le città si impegnano a mettere in atto nel proprio territorio politiche per:

- Ridurre del 20% le emissioni di CO₂;
- Aumentare del 20% la produzione di energia da fonti rinnovabili;
- Aumentare del 20% l'efficienza e il risparmio energetico nel proprio territorio.

Gli obiettivi vanno tra loro integrati nel Piano di Azione per l'Energia Sostenibile (PAES) attraverso il quale l'Ente identifica gli ambiti su cui dovrà intervenire per adattare le città ai cambiamenti climatici che si stanno verificando.

Il Patto dei Sindaci: una forte iniziativa politica nella lotta al cambiamento climatico.

Il Patto dei Sindaci è la prima iniziativa pensata dalla Commissione Europea per coinvolgere direttamente i governi locali e i cittadini nella lotta contro il riscaldamento globale. Tutti i firmatari del Patto dei Sindaci prendono l'impegno volontario e unilaterale di

andare oltre gli obiettivi dell'UE, in termini di riduzione delle emissioni di CO₂. Per raggiungere questo obiettivo, i governi locali si impegnano a:

- ❖ Preparare un Inventario Base delle Emissioni;
- ❖ Presentare un Piano di Azione per l'Energia Sostenibile (PAES), approvato dal consiglio comunale entro l'anno successivo all'adesione ufficiale al Patto dei Sindaci, e includere concrete misure per ridurre le emissioni almeno del 20% entro il 2020;
- ❖ Pubblicare regolarmente ogni 2 anni, dopo la presentazione del Piano, un Rapporto sull'Attuazione approvato dal consiglio comunale, che dovrà indicare il grado di realizzazione delle azioni chiave ed i risultati intermedi.

Passo dopo passo verso -20% di CO₂ entro il 2020. Qual è il cammino che i firmatari del Patto intraprendono per mantenere i loro impegni?

1. Elaborazione di una chiara strategia di lungo periodo: stabilire una strategia fino al 2020 (o oltre), definire un obiettivo generale per la riduzione di CO₂, adattare la struttura amministrativa ed assegnare precise responsabilità.
2. Preparazione dell'Inventario Base delle Emissioni: questo stabilisce la quantità di emissioni di CO₂ (o sostanze equivalenti alla CO₂) dovute al consumo di energia all'interno dell'area geografica del comune firmatario del Patto, identifica le principali fonti di emissione di CO₂ e i rispettivi margini potenziali di riduzione. Ogni firmatario del Patto può scegliere il proprio metodo di calcolo per misurare le emissioni.
3. Sviluppo e realizzazione di un Piano di Azione per l'Energia Sostenibile: questo è un documento operativo che definisce la strategia per conseguire gli obiettivi al 2020. Il Piano utilizza i risultati dell'Inventario Base delle Emissioni per identificare le migliori aree di intervento e le opportunità per raggiungere gli obiettivi locali di riduzione delle emissioni di CO₂. Il Piano definisce concrete misure per ridurre le emissioni, l'arco di tempo ed i referenti assegnati che concretizzeranno la strategia di lungo periodo.
4. Controllo dei progressi: monitorare i progressi permette al governo locale di misurare l'efficacia del PAES. Ogni due anni dalla data di presentazione del PAES, i firmatari del Patto devono consegnare un rapporto sull'attuazione. Questo

rapporto contiene un elenco dei risultati raggiunti, sia in termini di misure adottate, sia in termini di riduzione delle emissioni di CO₂.

Le fasi che il Comune di Padova ha seguito coerentemente alle indicazioni della Comunità Europea per la realizzazione del Piano sono:

- ✓ Redazione dell'inventario delle emissioni (BEI- Baseline emission inventory);
- ✓ Individuazione delle azioni/ progetti da realizzare fino al 2020.

I principali settori da prendere in considerazione nella stesura del Piano sono gli edifici, gli impianti di riscaldamento e di condizionamento, il trasporto urbano, l'illuminazione pubblica, la produzione locale di energia (con particolare attenzione alle fonti rinnovabili), la produzione industriale e l'applicazione delle nuove tecnologie.

Il PAES deve prevedere azioni a breve e a lungo termine (fino al 2020):

- Le misure a breve termine devono tenere conto dei prossimi 3-5 anni, e devono essere dettagliate e realizzabili;
- Le misure a lungo termine vanno individuate, ma non necessariamente con lo stesso dettaglio;
- Le misure vanno monitorate e rendicontate ogni 2 anni alla Commissione Europea ed eventualmente riviste.

Il monitoraggio del Piano e la descrizione dei progressi

Monitoraggio, verifica e valutazione del Piano daranno l'opportunità strutturata di continuare a migliorare e di adattarsi ad eventuali cambiamenti per i quali si necessitino modificazioni importanti del Piano. La strutturazione a schede del Piano, inoltre, facilita la revisione.

Il processo di monitoraggio viene gestito dall'Ufficio del Piano del Settore Ambiente.

Bisogna inoltre sottolineare come la valutazione sui risultati in itinere del Piano debba essere presentata sia ai referenti tecnici, sia al Forum di Agenda 21, sia alla leadership politica che alla cittadinanza.

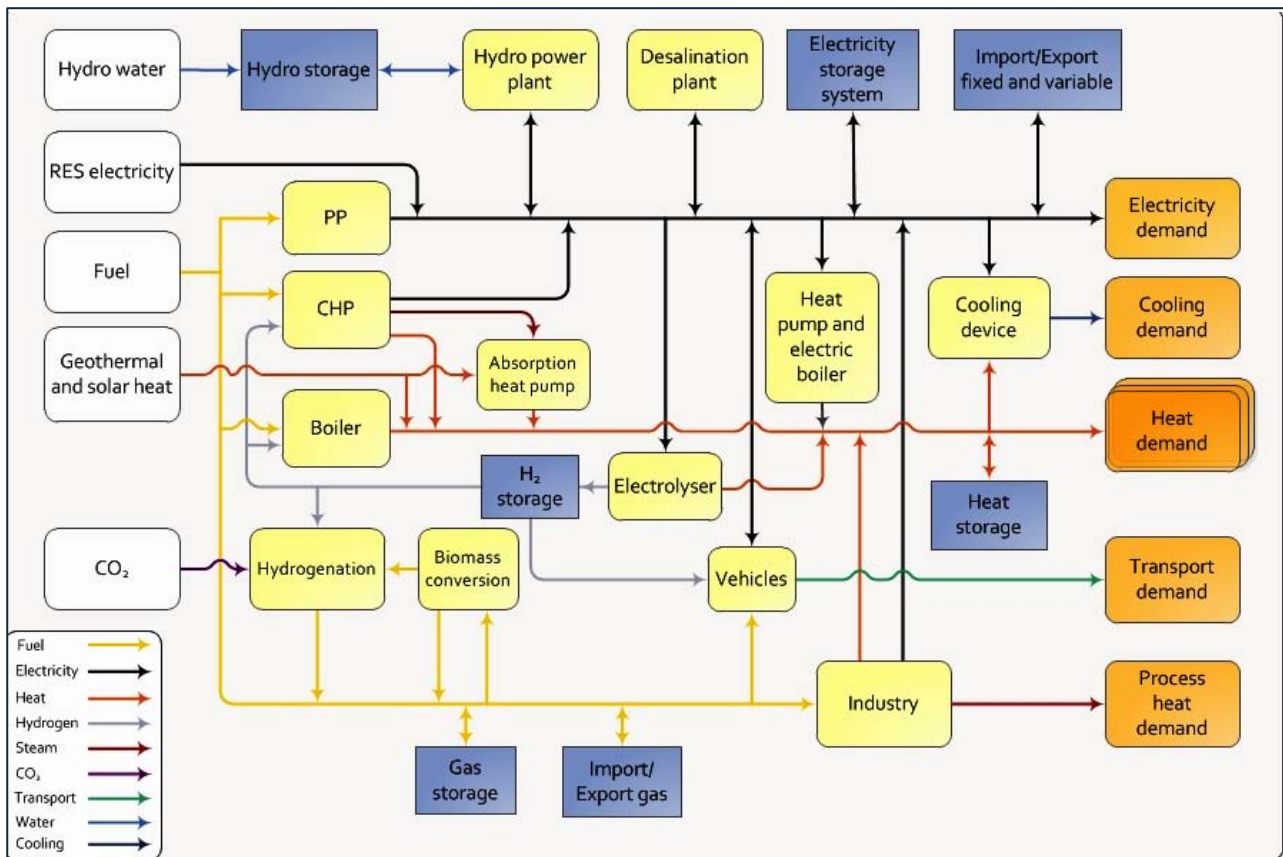
In particolare, il sistema di monitoraggio seguirà i seguenti punti:

1. Verifica dello stato di avanzamento delle misure previste dal Piano, valutando i progressi raggiunti in confronto al percorso prestabilito di raggiungimento degli obiettivi;
2. Aggiornamento della struttura degli obiettivi del Piano in conseguenza di nuove informazioni disponibili, di diverse politiche o in relazione alla variazione dei contesti economico e/o tecnologico;
3. Condivisione dei progressi nell'implementazione del Piano Clima attraverso un rapporto periodico di monitoraggio ed attraverso incontri con tutti i tavoli già attivati per la realizzazione di Inventario delle Emissioni e del Piano.

In questo lavoro, l'obiettivo che ci si pone è quello di modellizzare il sistema energetico Padovano nell'anno 2013, cercando successivamente di costruire uno scenario per l'anno 2020 che tenga conto delle misure proposte nel Piano di Azione per l'Energia Sostenibile (PAES), più altre misure ipotizzate che siano fattibili in un orizzonte di breve- medio termine in vista di una riduzione di gas climalteranti emessi in atmosfera, oltre che di un incremento di produzione di energia da fonti rinnovabili.

Il software utilizzato è EnergyPLAN: il metodo di funzionamento verrà descritto brevemente in seguito.

1. IL SOFTWARE EnergyPLAN



1.1 Introduzione.

Il software EnergyPLAN è un modello computazionale per l'analisi di sistemi energetici complessi. Il modello è stato sviluppato e ampliato a partire dal 1999. L'analisi è stata sviluppata in step orari nell'arco di un anno. I risultati sono analizzati sulla base di diverse strategie di regolazione di tipo tecnico o economico (di mercato).

1.2 Prefazione.

Il software EnergyPLAN è stato sviluppato e poi ampliato nella versione attuale 11.0 a partire dal 1999. Inizialmente, il modello è stato sviluppato da Henrik Lund e implementato in un foglio di calcolo EXCEL. In seguito, esso è cresciuto molto velocemente, e di conseguenza, nel 2001, la prima implementazione è stata convertita in Visual Basic (dalla versione 3.0 alla versione 4.4); allo stesso tempo, tutte le distribuzioni orarie dei dati sono state convertite in file di testo esterni, in maniera da non appesantire in maniera eccessiva il programma stesso: questo ha ridotto la taglia del modello di un fattore pari a 30.

Nel 2002, l'applicazione è stata riprogrammata in Delphi Pascal nella versione 5.0, mentre nel 2003 è stato ampliata nella versione 6.0: in questa si è introdotta la possibilità di

calcolare l'influenza delle emissioni di CO₂ e la quota delle fonti energetiche rinnovabili (RES): negli ultimi anni, infatti, la fornitura di energia elettrica da impianti tradizionali è diventata solo una parte del sistema energetico complessivo di una regione.

Sono state inoltre introdotte possibilità di analisi di differenti opzioni commerciali nel mercato elettrico.

Nella primavera del 2005, il modello è stato ampliato nella versione 6.2 grazie ad uno studio comparato con il modello H2RES, con particolare attenzione nell'analisi di sistemi energetici delle "isole rinnovabili". Come parte di questo lavoro, in EnergyPLAN sono state inserite due nuove opzioni: stoccaggio e conversione dell'energia elettrica dagli impianti di stoccaggio; la prima rappresenta sostanzialmente un'unità di stoccaggio dell'energia elettrica, che può essere utilizzata, ad esempio, nel dimensionamento di una batteria, mentre la seconda fa riferimento agli elettrolizzatori, che sono in grado di produrre combustibile (ad esempio idrogeno) e calore per il teleriscaldamento.

Nell'autunno del 2005 e nella primavera del 2006, il pacchetto è stato nuovamente ampliato nella versione 6.6. L'obiettivo principale, in questa circostanza, è stata la modellizzazione dei sistemi energetici di sei stati europei: questo è rientrato all'interno di un progetto dell'Unione Europea chiamato DESIRE. In quest'ottica, sono state introdotte la possibilità di selezionare più fonti rinnovabili, impianti nucleari, impianti idroelettrici con stoccaggio, pompe reversibili.

Nell'autunno del 2006 si è passati alla versione 7.0: in questo periodo sono state introdotte differenti opzioni per il riscaldamento domestico e per i trasporti. È stato poi introdotto un modello dettagliato per lo stoccaggio di aria compressa per la produzione di energia (CAES), oltre a differenti possibilità di sfruttamento delle maree. Tuttavia, il successo principale fu rappresentato dall'implementazione di una regolazione di tipo economico del sistema energetico completo, sulla base dell'ottimizzazione dei costi marginali di produzione di ogni singolo componente del sistema. È stata inoltre introdotta una nuova funzionalità che permette di calcolare i costi socio- economici a livello annuale.

All'inizio del 2010 è stata sviluppata la versione 8.0, che include nuovi impianti per la conversione di energia dalle maree, in combinazione con pompe di calore geotermiche e ad assorbimento.

L'aggiornamento alla versione 9.0 alla fine del 2010 è stata il risultato combinato di due progetti di ricerca, denominati CEESA (Coherent Energy and Environmental System Analysis): la novità di questa nuova versione è stata l'introduzione di tecnologie di conversione dell'energia da biomasse e i calcoli di bilanci della rete del gas, includendo lo

stoccaggio, l'import/export e le strategie di regolazione per minimizzare gli scambi con l'estero.

La rete del gas include il gas naturale con e senza l'inclusione di input come biogas e syngas. In aggiunta ai sistemi di produzione di gas da biomassa, la versione 9.0 include anche tecnologie di produzione di combustibile per i trasporti a partire dalle biomasse.

In aggiunta a ciò sono state anche introdotte nuove misure di stabilizzazione della rete.

Nella versione successiva (10.0) sono state introdotte le seguenti modifiche:

- Una scheda e una sezione completa dedicata ai gas di sintesi e ai combustibili, includendo anche l'idrogenazione del biogas e i gas derivanti dal processo di gassificazione, così come i gas di sintesi derivanti dal sequestro dell'anidride carbonica e dell'idrogeno dagli elettrolizzatori.
- È stato introdotto il raffrescamento, comprendendo anche il raffrescamento naturale e una presentazione grafica.
- La scheda dedicata ai trasporti è stata modificata introducendo i combustibili liquidi di sintesi.

Infine, nella versione 11, quella più recente, sono state attuate le seguenti modifiche:

- Nuova interfaccia, che include schemi a colori, nuovi pulsanti e supporti grafici;
- Strumenti di aiuto/supporto. Questi nuovi strumenti di supporto inseriti nella nuova versione sono:
 - ✓ Uno strumento denominato "Distribution file editor", dove l'utente può caricare, modificare e salvare file di distribuzione e vederli in diagrammi di tipo orario o in curve di durata. Questi grafici possono essere copiati qualora si dovesse andare a creare un report dei risultati ottenuti.
 - ✓ Uno strumento chiamato "Compare Version", dove l'utente può confrontare i risultati ottenuti per un determinato modello in differenti versioni di EnergyPLAN.
 - ✓ Uno strumento nominato "Compare Input", dove l'utente può confrontare differenti dati di input, in maniera da individuarne le differenze.
- Infine, è stata introdotta nel software la tecnologia della desalinizzazione. Questa è stata sviluppata come parte di un progetto, denominato JORIEW, finanziato dall'Unione Europea. [1]

1.3 Scopo e applicazione.

Lo scopo principale del modello è quello di assistere i progetti di pianificazioni energetiche nazionali sulla base di analisi tecniche ed economiche, consentendo di valutare e confrontare i risultati di differenti sistemi energetici e differenti tipi di investimenti.

Tuttavia, il modello è stato anche applicato a livello Europeo, così come a livelli più localizzati come provincie o città. Dalla prima versione, l'applicazione ha accentuato sempre di più l'analisi di differenti strategie di regolazione, con particolare attenzione nell'interazione tra impianti cogenerativi e fonti energetiche rinnovabili. Inoltre, il programma mette in evidenza le sinergie che si hanno quando si considera l'intero sistema energetico. Il modello include una vasta gamma di tecnologie, con particolare attenzione nell'analisi delle interazioni tra energia elettrica, gas, teleriscaldamento e le reti di raffrescamento.

Il modello è un modello input/output. Gli input sono costituiti dalle domande, dalle fonti energetiche rinnovabili, dalle capacità degli impianti energetici e le relative efficienze, dai costi, e da un numero di strategie differenti di regolazione, mettendo in evidenza l'import/export e gli eccessi di produzione di energia elettrica. Gli output sono costituiti dai bilanci energetici, dalle produzioni annuali, dai consumi di combustibile, dalle importazione ed esportazioni e dai costi totali, considerando anche i ricavi derivanti dallo scambio di energia elettrica con l'estero.

EnergyPLAN può essere utilizzato per differenti tipologie di analisi di sistemi energetici:

➤ Analisi di tipo tecnico.

Progettazione ed analisi di sistemi ampi e complessi a livello nazionale, sotto diverse strategie di regolazione (di tipo tecnico). In questa analisi, l'input è una descrizione della domanda energetica, della capacità di produzione ed efficienze degli impianti, delle fonti di energia. Gli output consistono in bilanci annuali di energia, consumi di combustibile ed emissioni di anidride carbonica.

➤ Analisi di mercato.

Questa è un'ulteriore analisi derivante dal commercio e dagli scambi nei mercati elettrici internazionali. In questo caso, il modello necessita di alcuni input aggiuntivi, in maniera da poter identificare i prezzi sul mercato e determinare la risposta di questi nei confronti di modifiche nelle importazioni o nelle esportazioni. Un ulteriore input è richiesto per poter determinare i costi marginali di produzione delle singole

unità di produzione di energia elettrica. La modellazione è basata sull'importante assunzione che ogni impianto ottimizza in base ai propri profitti, includendo eventuali tasse ed eventuali costi per le emissioni di CO₂.

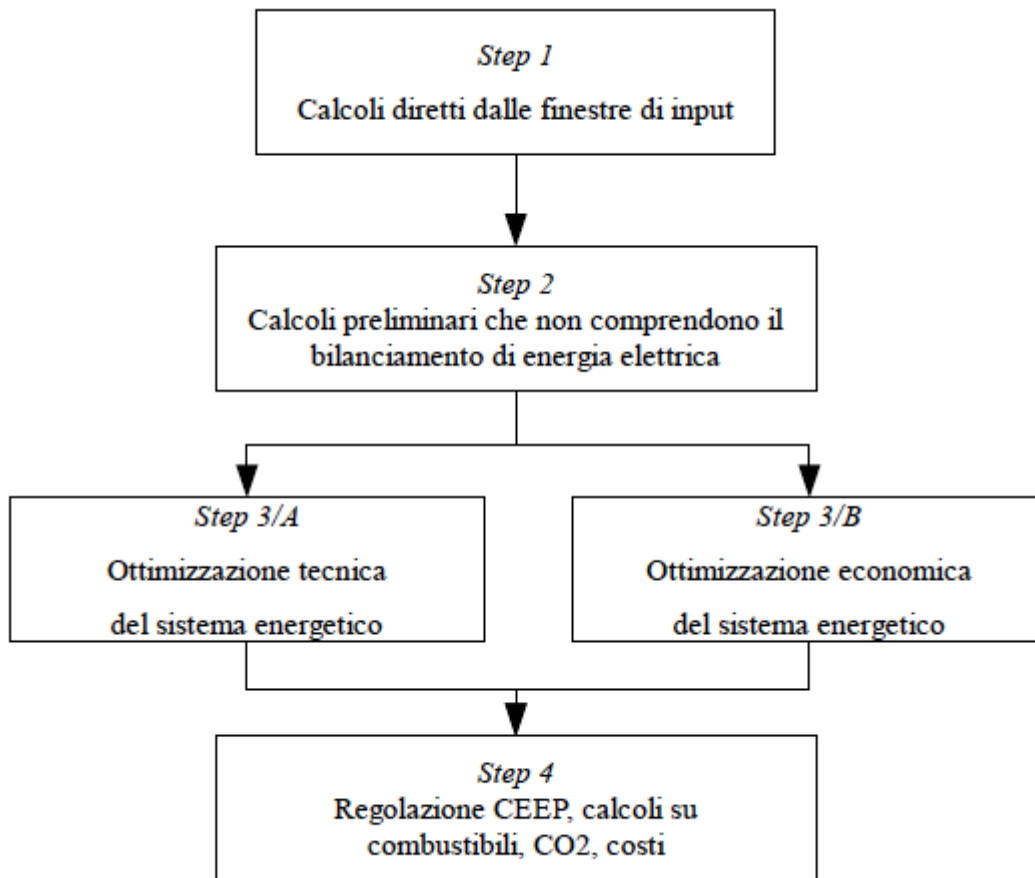
➤ Studi di fattibilità.

Sono sostanzialmente calcoli di fattibilità in termini di costi totali annuali del sistema sotto differenti strategie di progettazione e di regolazione. In questo caso gli input, come costi di investimento e costi di manutenzione, devono essere introdotti assieme con la durata di vita dell'impianto e con un tasso di interesse ipotizzato. Il modello, allora, determina i risultati socio- economici delle diverse produzioni. I costi sono suddivisi in:

- ✚ Costi del combustibile;
- ✚ Costi variabili di esercizio;
- ✚ Costi di investimento;
- ✚ Costi fissi di esercizio;
- ✚ Costi e benefici derivanti dagli scambi di energia;
- ✚ Possibili costi derivanti dall'immissione di anidride carbonica in atmosfera.

1.4 Logica di funzionamento di EnergyPLAN.

La logica di funzionamento del software può essere sintetizzata nello schema a blocchi seguente:



Nel primo step sono compresi tutti quei calcoli che vengono effettuati dal software nel momento stesso in cui l'utente introduce i dati di interesse. Il secondo step è invece rappresentativo di tutti i calcoli preliminari, escludendo però i bilanci di energia elettrica. A questo punto le possibilità a disposizione sono 2: ottimizzazione di tipo tecnico od ottimizzazione di tipo economico. L'ottimizzazione di tipo tecnico minimizza gli scambi di combustibile (import/export) e cerca di trovare la soluzione caratterizzata dal minor consumo possibile di combustibile; l'ottimizzazione di tipo economico, invece, identifica la soluzione a più basso costo sulla base dei costi economici di ogni unità di produzione.

Di seguito vengono riportate, con maggior dettaglio, le operazioni che vengono fatte in ogni singolo step.

➤ Step 1: calcoli diretti dalle finestre di input.

- Calcolo dei valori orari della domanda di energia elettrica sulla base della domanda oraria normalizzata inserita;

- Calcolo degli apporti derivanti dal solare termico;
 - Calcolo degli apporti dalle fonti rinnovabili (RES);
 - Calcoli preliminari relativi agli impianti nucleari e geotermici;
 - Distribuzione oraria del raffrescamento e del teleriscaldamento.
 - Fabbisogni e consumi nelle utenze domestiche;
 - Calcoli relativi ai gas di sintesi e ai biocombustibili;
 - Calcoli relativi all'utilizzo di biocombustibili per i trasporti;
 - Calcoli relativi agli utilizzi di biogas, biocombustibili e sistemi di gassificazione.
 - Prezzi di mercato.
- Step 2: calcoli preliminari che non comprendono i bilanci di energia elettrica.
- Importazioni ed esportazioni di energia elettrica prefissate;
 - Domanda di energia termica per il teleriscaldamento (riscaldamento centralizzato), includendo anche la domanda di energia termica per i sistemi ad assorbimento;
 - Produzione di calore ed elettricità tramite cogenerazione industriale (incluse le perdite);
 - Valori prefissati di produzione di energia termica da boilers. Queste quantità dovranno essere sottratte dalla domanda relativa ai sistemi di teleriscaldamento;
 - Teleriscaldamento con sola produzione di calore.
- Step 3A: Ottimizzazione tecnica del sistema energetico.
- Gestione di CHP, pompe di calore e caldaie (boilers) nei sistemi di teleriscaldamento;
 - Domanda flessibile di energia elettrica;
 - Gestione dell'idroelettrico;
 - Micro-generazione;
 - Gestione degli elettrolizzatori per la micro-generazione, trasporti, idrogenazione, cogenerazione e boilers nei sistemi di teleriscaldamento.
 - Gestione degli accumuli di calore;
 - Gestione dell'accumulo di energia elettrica;
 - Gestione dell'energia per i trasporti;

- Gestione degli impianti termoelettrici tradizionali, includendo i calcoli su EEEP (energia elettrica prodotta in eccesso che è possibile esportare) e CEEP (energia elettrica prodotta in eccesso che non è possibile esportare);
- Step 3B: ottimizzazione economica del sistema energetico.
 - In questo step vengono trattati tutti i punti considerati nell'ottimizzazione di tipo tecnico, ma questa volta l'ottimizzazione viene fatta in un'ottica di minimizzazione dei costi.
- Step 4: regolazione della CEEP, calcoli su combustibili, CO₂, costi.
 - Regolazione della CEEP;
 - Stabilizzazione della rete;
 - Bilanci termici nei sistemi di teleriscaldamento;
 - Consumi di combustibile;
 - Emissioni di CO₂;
 - Bilanci nella rete gas;
 - Calcolo della quota delle fonti rinnovabili;
 - Calcolo dei costi.

Nel caso in cui si voglia svolgere un'ottimizzazione di tipo tecnico, sono previste nel software più strategie di regolazione:

1. Strategia di regolazione 1: Inseguimento della domanda di calore.

In questa strategia, tutte le unità che producono calore producono esclusivamente in funzione della domanda di calore. Per i gruppi 2 e 3 della sezione del teleriscaldamento (che verranno spiegati in seguito), la priorità (su base oraria) viene data alle varie unità disponibili secondo la seguente sequenza:

- Solare termico;
- Calore in eccesso prodotto da cogenerazione industriale;
- Calore prodotto dalla termovalorizzazione dei rifiuti;
- Calore prodotto da impianti cogenerativi;
- Pompe di calore;
- Carico di picco di caldaie.

La produzione dalla fonte solare termica, dalla cogenerazione industriale e dalla termovalorizzazione sono calcolate su base oraria in base ai dati di input e alle rispettive distribuzioni introdotte. Il calore prodotto da CHP e da pompe di calore sono calcolati come differenza tra la domanda di calore e il calore prodotto dal solare termico e dalla cogenerazione industriale. Per gli impianti cogenerativi e per le pompe di calore, i calcoli rispettano i vincoli di massima capacità installata e di quota massima di energia termica che può essere fornita dalle pompe di calore rispetto alla domanda complessiva. Questo è rappresentativo del fatto che le pompe di calore possono essere utilizzate solamente per la produzione di calore a bassa temperatura. Le caldaie, con i loro picchi di carico, suppliscono la domanda rimanente.

Il modello inoltre verifica che nessuna produzione di energia termica diventi negativa, e il bilancio di energia termica è effettuato e poi mostrato nel foglio risultati.

2. Strategia di regolazione 2: inseguimento contemporaneo della domanda di calore e di energia elettrica.

In questa sezione, l'esportazione di energia elettrica è minimizzata sostituendo la produzione dei gruppi CHP con pompe di calore. Questo comporterà un contemporaneo aumento della domanda di energia elettrica e una diminuzione della produzione elettrica; questo perché se il calore prodotto dai gruppi CHP viene ridotto, anche l'energia elettrica prodotta andrà a diminuire.

Grazie all'utilizzo di capacità extra negli impianti CHP, combinata con stoccaggi di energia termica, la produzione da impianti termoelettrici tradizionali (a condensazione semplice) è minimizzata perché rimpiazzata appunto dalla produzione da parte degli impianti cogenerativi.

L'energia elettrica prodotta dagli impianti CHP deve essere, in ogni momento, inferiore o al limite uguale alla capacità massima installata e alla capacità corrispondente alla domanda termica che non è soddisfatta da cogenerazione industriale (incluso in questa anche la produzione da termovalorizzazione e gli impianti di conversione di biomasse) e dal solare termico.

3. Inseguimento contemporaneo della domanda di calore e di energia elettrica e riduzione dei CHP, anche quando sono parzialmente richiesti per garantire la stabilità della rete (essi verranno rimpiazzati con impianti termoelettrici tradizionali).

Questa strategia è sostanzialmente uguale alla strategia di regolazione numero 2. Nella strategia 2, però, la produzione da CHP non viene ridotta (e sostituita con pompe di calore) se questa è richiesta anche per ragioni di stabilità della rete. Al tempo stesso, in alcune situazioni è possibile ridurre la produzione in eccesso riducendo la produzione dei CHP e sostituendo quindi la produzione di calore con pompe di calore e caldaie per garantire la stabilità della rete con gruppi che lavorino in condensazione.

La scelta tra la strategia 2 e la strategia 3, quindi, è una scelta tra una maggiore efficienza del sistema e una minore produzione di energia elettrica in eccesso.

4. Strategia di regolazione 4: inseguimento della tariffa tripla.

Questa strategia di regolazione è sostanzialmente uguale alla prima, tranne per il fatto che i gruppi CHP del gruppo 2 del teleriscaldamento inseguono la tariffa tripla danese (particolarità del mercato elettrico danese) al posto della domanda di calore. Tale strategia di regolazione non è applicabile al sistema italiano (e, nello specifico, padovano), in quanto i criteri implementati in questa strategia non sono modificabili.

La produzione di energia elettrica da CHP del gruppo 2 è regolata secondo un ordine di priorità, come per esempio:

- Ore di picco: dalle 8 alle 12 dei giorni della settimana (in inverno anche dalle 17 alle 19);
- Ore di carico elevato: dalle 6 alle 21 dei giorni della settimana;
- Ore di carico di base: nei periodi non citati in precedenza.

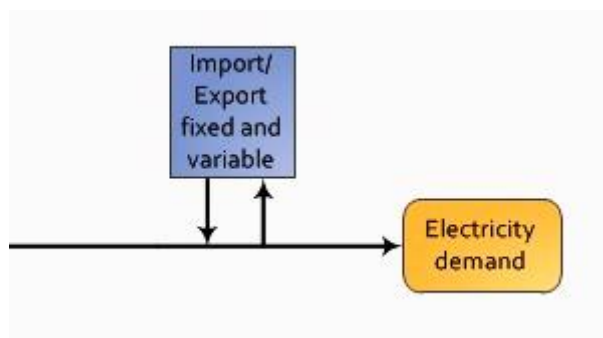
Le strategie di regolazione 1 e 4 sono le stesse nel senso che, in entrambi i casi, i CHP non regolano la loro produzione andando a seguire le fluttuazioni della fonte eolica (che è una fonte intermittente). [1]

2. Modellazione del sistema energetico padovano in EnergyPLAN

In questo lavoro è stato implementato un modello in EnergyPLAN che rappresenti il sistema energetico padovano, in modo da poter poi condurre analisi di vario tipo.

Verranno ora presentate le ipotesi di lavoro utilizzate per la creazione del modello, e verranno descritti singolarmente i principali input necessari.

2.1 Domanda di energia elettrica.



A livello comunale, si è dimostrato impossibile riuscire ad ottenere i dati relativi alla domanda di energia elettrica ora per ora per l'intera durata dell'anno. Sono infatti molte le entità distributrici di energia elettrica, e queste non mettono a disposizione i dati relativi alla domanda oraria per questioni di privacy. Molto utile allo scopo si è dimostrato il "Piano Energetico del Comune di Padova", elaborato da ENEA ed AMBIENTE ITALIA S.r.l.- Istituto di Ricerche per conto del Settore Pianificazione Urbanistica e Ambiente alla fine degli anni '90.

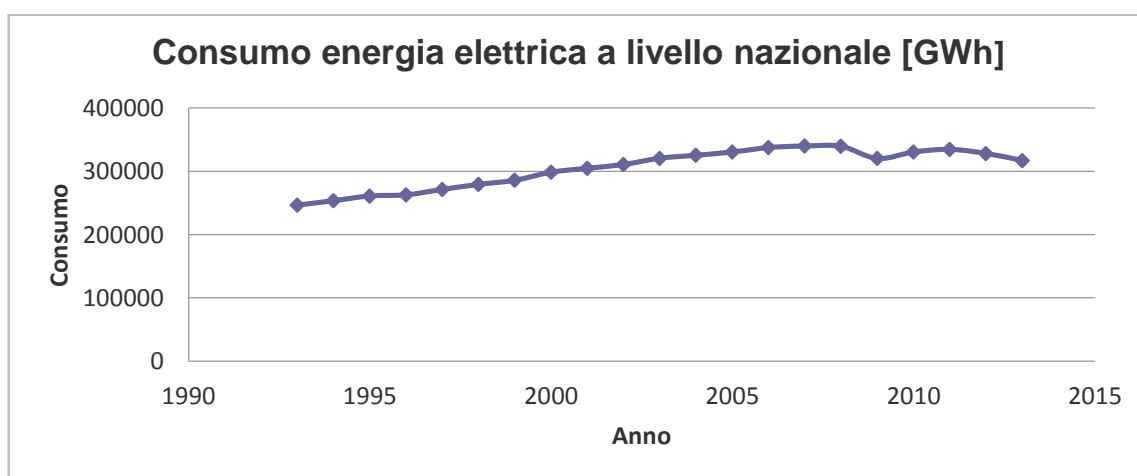
I dati che si hanno a disposizione sono i consumi totali annuali di energia elettrica per il comune di Padova dal 1993 al 1997:

Anno	Consumo [GWh]	Var. %
1993	1060,00	
1994	1081,90	2,02
1995	1095,41	1,23
1996	1097,28	0,17
1997	1153,19	4,85

Per gli anni successivi, è stato ipotizzato che il trend di consumi che c'è stato a livello comunale sia perfettamente coincidente con il trend a livello nazionale.

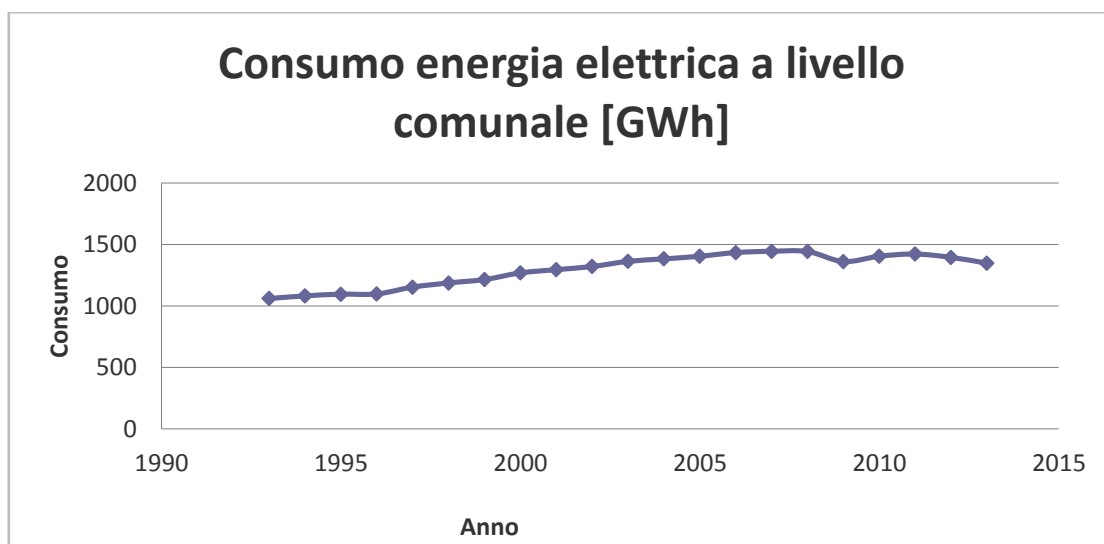
I dati relativi alle domande totali annuali di energia elettrica sono messe a disposizione da Terna- Sezione Dati Storici- Produzione e richiesta di energia elettrica in Italia dal 1883 al 2013:

Anno	Consumo [GWh]	Var. %
1993	246600	
1994	253611	2,76
1995	261009	2,83
1996	262873	0,71
1997	271392	3,14
1998	279317	2,84
1999	285844	2,28
2000	298510	4,24
2001	304832	2,07
2002	310726	1,90
2003	320658	3,10
2004	325357	1,44
2005	330443	1,54
2006	337459	2,08
2007	339928	0,73
2008	339481	-0,13
2009	320268	-6,00
2010	330455	3,08
2011	334640	1,25
2012	328220	-1,96
2013	317100	-3,51



È stato quindi ipotizzato che le stesse variazioni percentuali che ci sono state in un anno rispetto all'anno precedente (evidenziate nella tabella precedente) a livello nazionale ci siano state anche a livello comunale. Sotto questa ipotesi, quindi, sono stati costruiti tabella e grafico seguenti:

Anno	Consumo [GWh]	Var. %
1993	1060,00	
1994	1081,90	2,02
1995	1095,41	1,23
1996	1097,28	0,17
1997	1153,19	4,85
1998	1186,87	2,84
1999	1214,60	2,28
2000	1268,42	4,24
2001	1295,29	2,07
2002	1320,33	1,90
2003	1362,53	3,10
2004	1382,50	1,44
2005	1404,11	1,54
2006	1433,92	2,08
2007	1444,42	0,73
2008	1442,52	-0,13
2009	1360,88	-6,00
2010	1404,16	3,08
2011	1421,95	1,25
2012	1394,67	-1,96
2013	1347,42	-3,51



Ora, i dati relativi alla domanda di energia elettrica ora per ora, a livello nazionale, per l'intera durata dell'anno (l'anno di riferimento scelto è stato il 2013), sono disponibili sul sito web dell'ENTSO-E (European Network of Transmission System Operators for Electricity).

I dati sono messi a disposizione in forma matriciale, dove le righe sono indicative dei giorni dell'anno, mentre le colonne sono i riferimenti per gli orari:

Day	01:00:00	02:00:00	03:00:00	...	24:00:00
2013-01-01	27124	25999	24567	...	26986
2013-01-02	23686	22117	21243	...	29727
2013-01-03	26776	24657	23664	...	30213
2013-01-04	27276	25212	23951	...	30361
2013-01-05	27429	25283	24159	...	28609
2013-01-06	26612	24443	23269	...	27845
...
2013-12-31	24777	22731	21617	...	26471

L'operazione fatta è stata quella di ri-scalare i consumi a livello nazionale al livello del comune di Padova, moltiplicando ogni singolo valore per il consumo totale di energia elettrica del comune di Padova nel 2013, e dividendo per il consumo totale a livello nazionale sempre per l'anno 2013: in questo modo si ottiene una matrice simile a quella messa a disposizione nel sito sopracitato, ma i valori adesso sono relativi al comune di Padova.

Il problema successivo è relativo al funzionamento del software; in generale, EnergyPLAN, per i vari input, necessita di:

- ✓ Produzione/domanda annua totale (valori in GWh/anno, TWh/anno o PWh/anno a seconda di quello che viene impostato nella sezione "settings")
- ✓ La distribuzione oraria della produzione/domanda:
 - ✚ Deve essere composta da 8784 valori, uno per ogni ora di un anno bisestile; essendo il 2013 un anno non bisestile, è risultata necessaria la creazione di una giornata aggiuntiva (29 febbraio), e i valori orari caratteristici di questa giornata sono dati dalla media dei valori orari di tutto il mese di febbraio.
 - ✚ I valori possono essere compresi tra 0 e 1: in caso contrario, sarà il software a normalizzarli in modo che i valori della distribuzione oraria, sommati, diano il valore annuo totale specificato. I file con le distribuzioni devono essere in formato di testo semplice (file ".txt") e devono necessariamente venire salvati nella sezione "Distributions" all'interno della cartella principale del software.

Come già specificato in precedenza, i dati relativi ai consumi elettrici orari a livello nazionale sono resi disponibili in forma matriciale in foglio di calcolo Excel (vedi tabella a inizio pagina). Un metodo molto rapido per trasformare i dati contenuti in

una tabella come quella indicata in un file di testo è quello di usare alcune funzionalità del software Matlab: se infatti si copia il contenuto della tabella in una matrice M di dimensioni 366x24, è possibile creare un vettore ordinato con questi due semplici comandi:

$Mt=M'$ Trasposizione della matrice

$v= Mt (:)$ Creazione del vettore a partire dalla matrice trasposta

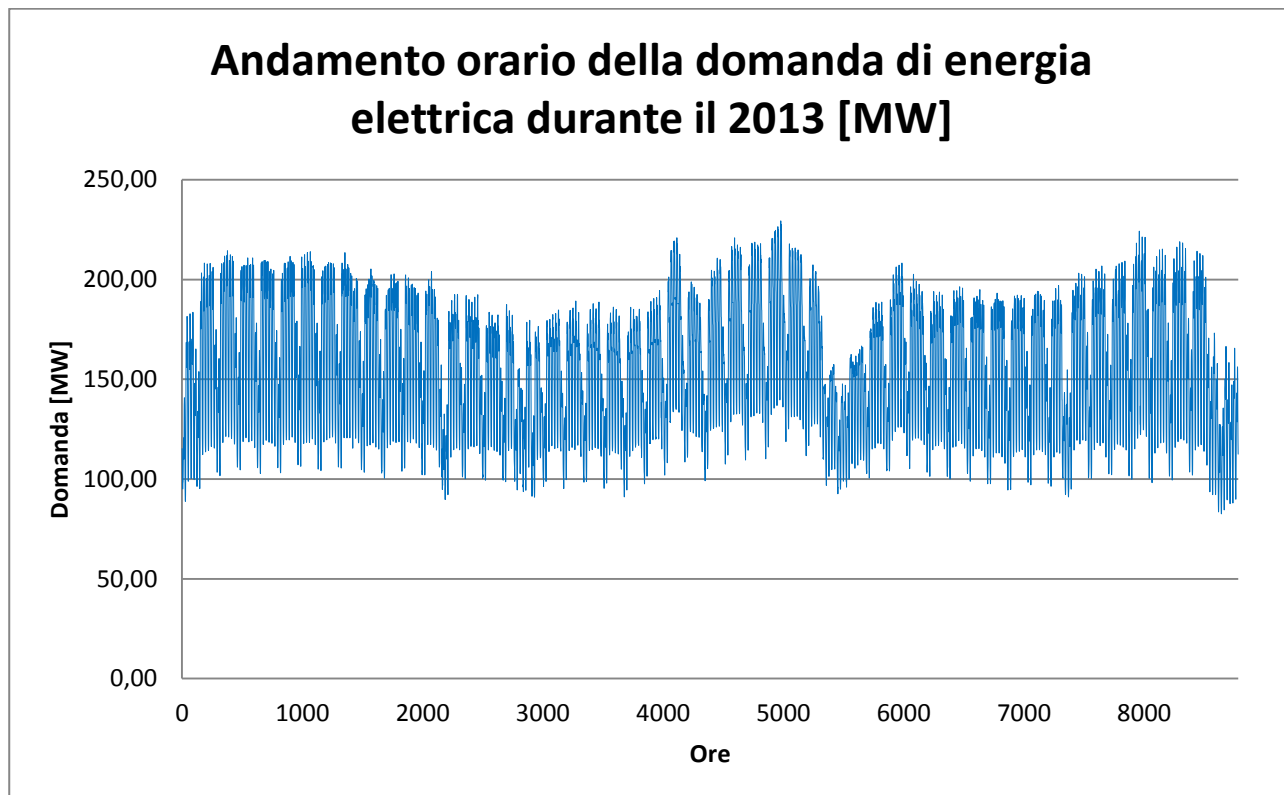
In questo modo, quindi, si ottiene un vettore con gli 8784 valori in ordine cronologico, e il cui contenuto può essere facilmente copiato e incollato in un nuovo file di testo.

Vengono di seguito riportati i valori della domanda in MW, in forma grafica.

I dati relativi ai consumi di energia elettrica per il riscaldamento e per il raffrescamento possono essere disaggregati dalla distribuzione appena creata, come verrà meglio specificato nel seguito.

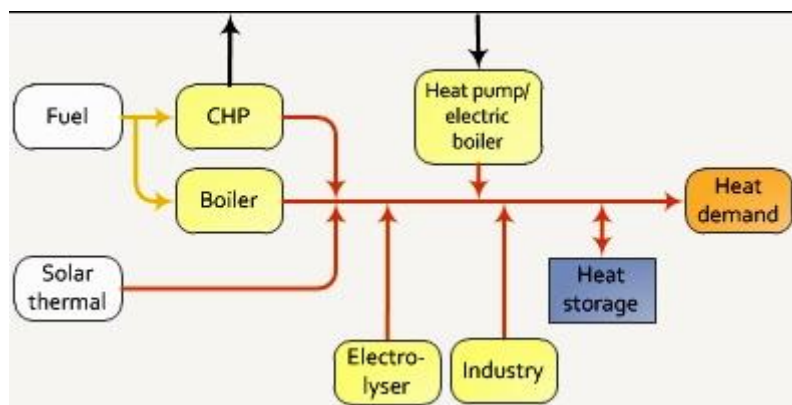
Sono state invece trascurate eventuali tipologie di domanda flessibile.

I consumi annui totali di energia elettrica (fabbisogno e perdite di rete) sono stati posti pari a circa 1,35 TWh.



Non essendoci a Padova impianti di produzione di energia elettrica di dimensioni notevoli, l'intera domanda di energia elettrica è stata considerata quasi interamente come energia elettrica importata.

2.2 Teleriscaldamento, impianti cogenerativi e termoelettrici tradizionali (District Heating)



In EnergyPLAN si ha la distinzione tra tre principali tipologie di sistemi di riscaldamento centralizzato:

- Gruppo 1: impianti per la sola produzione di energia termica;
- Gruppo 2: impianti cogenerativi (CHP) che possono lavorare solamente in cogenerazione, in quanto non possono smaltire il calore di scarto prodotto;
- Gruppo 3: impianti che possono lavorare anche in maniera tradizionale (sola produzione di energia elettrica: condensing mode).

Per ciascun gruppo è possibile fissare i seguenti parametri:

- ❖ Domanda da soddisfare;
- ❖ Efficienze termica ed elettrica;
- ❖ Possibilità di accumulo del calore;
- ❖ Integrazione con il solare termico;
- ❖ Combustibile con cui vengono alimentati gli impianti (Carbone, Olio combustibile, Gas naturale, Biomassa).

C'è inoltre la possibilità di scegliere dei sistemi di produzione del calore alternativi agli impianti cogenerativi, come caldaie, pompe di calore.

Premesso che anche a livello nazionale è molto difficile reperire dei dati precisi sul sistema energetico termico, a livello comunale diventa pressoché impossibile.

Tuttavia, a Padova si può affermare con certezza che non ci siano grandi impianti di teleriscaldamento: nel Rapporto di Legambiente “Comuni rinnovabili 2013”, infatti, la sezione finale è interamente dedicata al teleriscaldamento; c'è da dire che nel territorio italiano questa tecnologia sta prendendo piede in maniera abbastanza forte, soprattutto negli ultimi anni. Nonostante ciò, essa è presente in maniera marcata soprattutto in Trentino Alto Adige, Friuli Venezia Giulia, Piemonte, Lombardia (Brescia) ed Emilia Romagna (Ferrara) mentre nelle rimanenti regioni la presenza è molto scarsa.

Un piccolo impianto di teleriscaldamento è però presente anche nel territorio padovano: se infatti si va a consultare il “Piano di Azione per l'Energia Sostenibile del Comune di Padova”, nella sezione delle schede tecniche dei progetti realizzati c'è un progetto, iniziato nel 2005 e terminato nel 2008, che ha portato alla realizzazione di una rete di teleriscaldamento, nel quartiere Savonarola- Palestro, che soddisfa le esigenze di circa 250 famiglie.

Dal 2004 è infatti in funzione la prima centrale di cogenerazione di Padova a gas metano, che fornisce calore alle utenze mediante la rete di teleriscaldamento costruita negli anni successivi.

Tale servizio ha una continua evoluzione: la centrale Palestro era inizialmente dotata di una caldaia da 3 MW di potenza e di un cogeneratore Jenbacher 212 da 511 kW elettrici e 670 kW termici, poi è stata potenziata nel 2008 con l'installazione di una seconda caldaia da 2 MW.

Si riportano alla pagina successiva i dati principali che caratterizzano l'impianto di cogenerazione, che sono stati forniti dalla società ACEGAS- APS, proprietaria sia dell'impianto che della rete di teleriscaldamento.

Questo impianto, nel corso del 2009, ha ottenuto la qualifica IAFR, che ha sancito il diritto al rilascio dei certificati verdi da teleriscaldamento per il calore ceduto a partire dal 2007 e per i successivi otto anni.

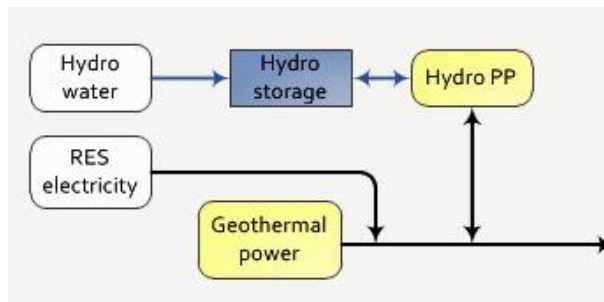
Nel corso del 2009 l'impianto ha prodotto 1.938 Certificati verdi, contro i 1.706 dell'anno precedente.

Inoltre, questo impianto di cogenerazione è considerato “ad alto rendimento” secondo la delibera 42/02 dell'AEEG.

Anno		2010	2011	2012	2013
EE Ricevuta	kW	92.240	112.960	102.080	125600
Gas Bruciato	Smc	1.329.732	1.271.186	1.276.110	1185198
EE Autoconsumata	KW	56.940	53.300	48.700	54360
EE Ceduta	kW	2.220.400	2.034.480	2.136.080	1954560
Energia Termica Prodotta	kW	9.065.000	8.100.000	8.312.000	7899000
Energia Termica alle Utenze	kW	8.316.760	7.421.849	7.427.763	7106885
ore	h	4820	4466	4645	4246
Energia Termica Cogeneratore	kW	3.011.110	2.805.660	2.890.300	2567640
Energia Elettrica Prodotta	kW	2.411.600	2.225.200	2.333.000	2131200
Gas Cogeneratore	Smc	710.028	649.172	666.526	592836
Energia Termica Cogeneratore / Totale	%	33,22%	34,64%	34,77%	32,51%
Rendimento elettrico	h %	35,45	35,78	36,54	37,53
Rendimento termico	h %	44,27	45,11	45,26	45,21
Potenza elettrica installata cogeneratore	kW	511	511	511	511
Potenza termica installata cogeneratore	kW	670	670	670	670

Per la costruzione della distribuzione oraria della domanda di potenza termica richiesta dalle utenze si è fatto riferimento alla stessa distribuzione utilizzata nella distribuzione "Individuals" e che verrà spiegata con maggior dettaglio nel seguito della trattazione.

2.3 Energie rinnovabili.



Nel software si ha la possibilità di implementare le seguenti tipologie di fonti rinnovabili per la produzione di energia elettrica:

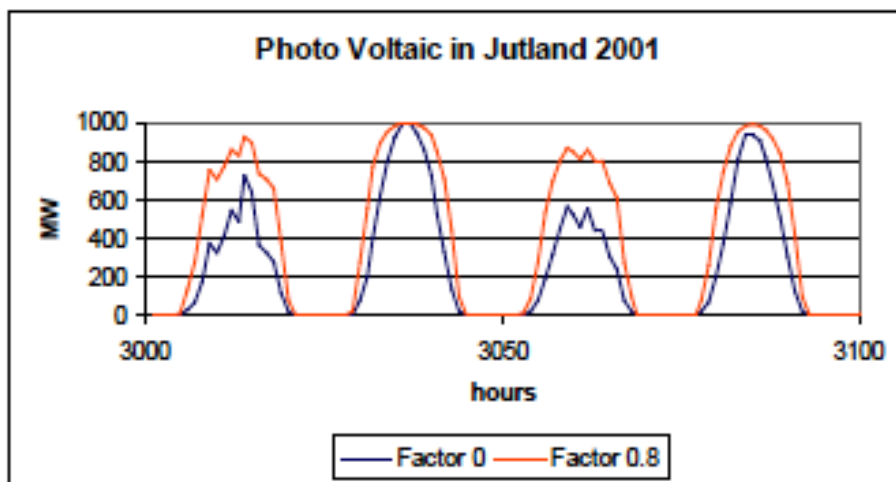
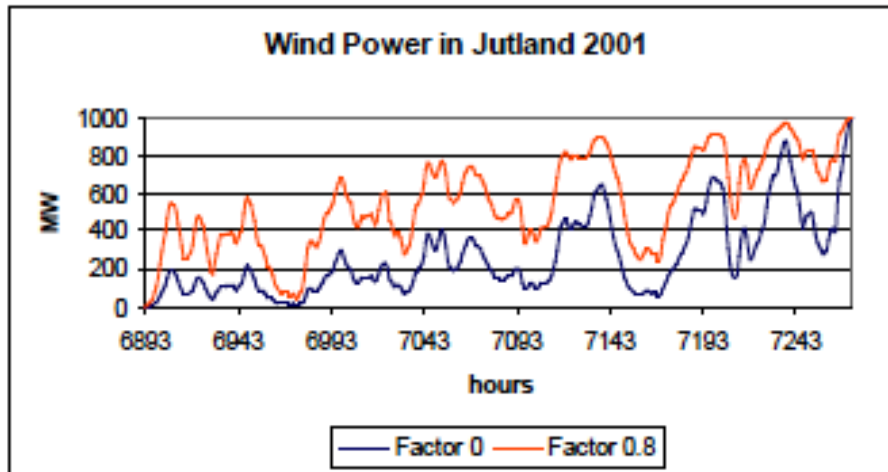
- ✚ Eolico on-shore;
- ✚ Eolico off-shore;
- ✚ Idrico ad acqua fluente;
- ✚ Idrico con accumulo;
- ✚ Maree;
- ✚ Fotovoltaico;
- ✚ Solare a concentrazione;
- ✚ Moto ondoso.

Ciascuna fonte rinnovabile è caratterizzata da una distribuzione oraria dei fattori di carico (potenza istantanea/potenza installata) e dalla capacità installata. Inoltre, è possibile definire quale percentuale della potenza installata possa essere considerata adeguata a garantire la stabilità della rete e un “fattore di correzione” F_{CORR} , che va a modificare la distribuzione dei fattori di carico secondo la formula:

$$f_c t' = f_c(t) \cdot \frac{1}{1 - F_{CORR}(1 - f_c t)}$$

Dove con $f_c(t)'$ si intende il fattore di carico al tempo t corretto, e con $f_c(t)$ si intende il fattore di carico originario.

Il fattore di correzione viene posto diverso da zero qualora si vada ad ipotizzare uno scenario futuro in cui le fonti rinnovabili subiscano un avanzamento a livello tecnologico tale per cui la capacità di conversione aumenti in maniera significativa. Si riportano di seguito due esempi per chiarire, in maniera grafica, come il fattore di correzione influisca sull'andamento dei fattori di carico.



Per conoscere le fonti rinnovabili presenti sul territorio padovano e le loro entità si è fatto riferimento al sito del GSE.

✚ Marea.

Essendo la città di Padova lontana dal mare, questa tipologia di fonte rinnovabile per produzione elettrica è stata esclusa a priori.

✚ Eolico.

Per quanto riguarda la fonte eolica, si è fatto riferimento all'”Atlante degli impianti Eolici- ATLAVENTO” messo a disposizione sul sito del GSE.

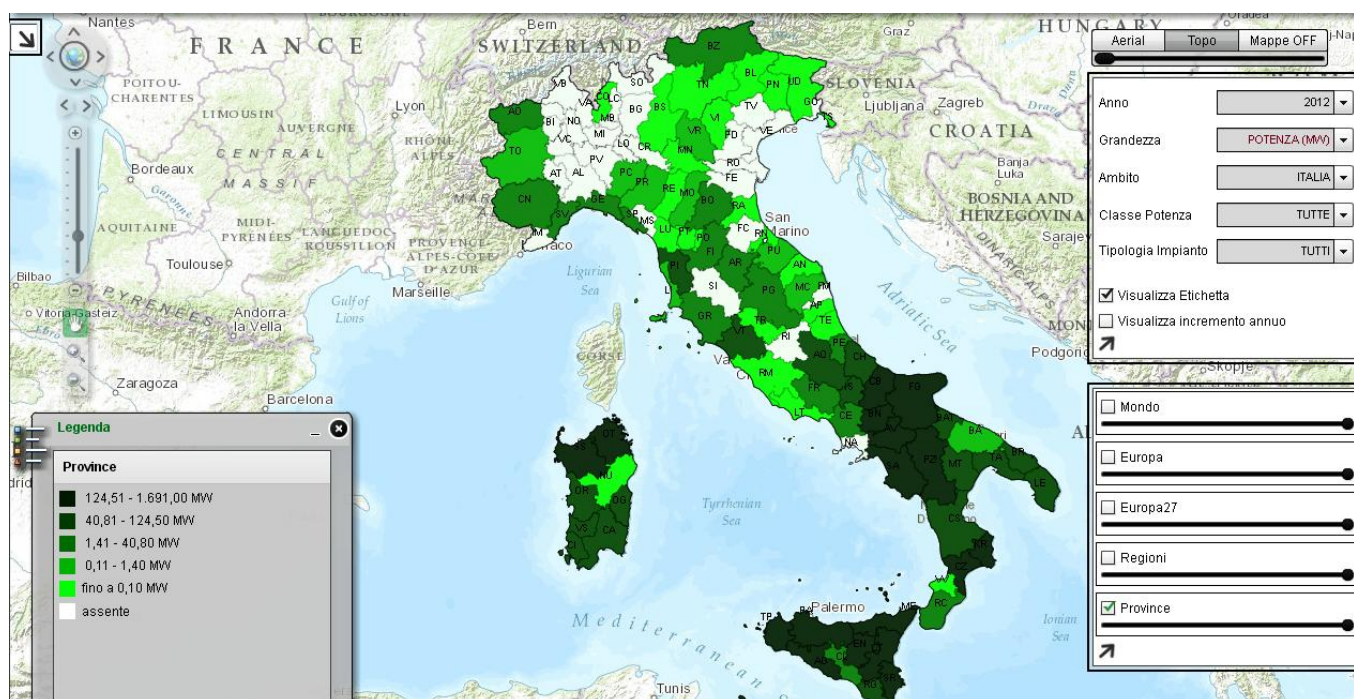
ATLAVENTO è un atlante interattivo per il web realizzato dal GSE per gli impianti eolici censiti statisticamente.

La sua realizzazione rientra nell'ambito delle attività previste all'art. 40 del D.lgs. 28/2011 di monitoraggio delle fonti rinnovabili.

ATLAVENTO permette la consultazione interattiva dei parchi eolici presenti nel Mondo ed in Europa per i quali sono disponibili i dati di potenza (MW) e produzione (GWh) a livello nazionale.

Per l'Italia sono presenti gli impianti eolici aggregati su base nazionale, regionale e provinciale, con i dati di numero, potenza (MW) e produzione (GWh).

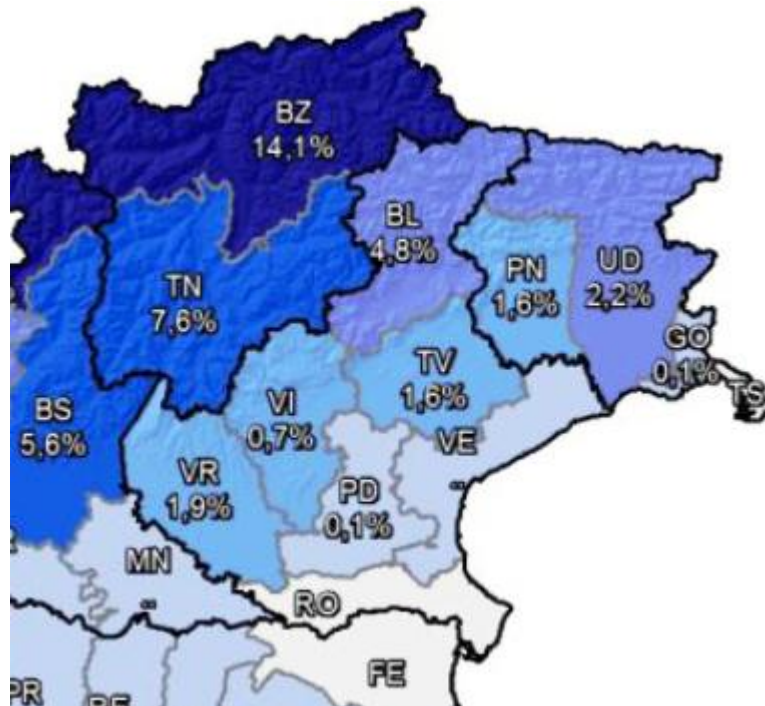
Nel dettaglio provinciale il dato è rappresentato solo con la tematizzazione della mappa.



Come si può notare dalla mappa, si vede che nell'intera provincia Padovana (città compresa) non sono presenti impianti eolici (nessuna capacità installata).

Idroelettrico.

Per la produzione da fonte idroelettrica si è fatto riferimento al “Rapporto statistico 2012- Impianti a fonte rinnovabili- Settore elettrico” elaborato dal GSE, e qui di seguito si riporta la mappa, suddivisa a livelli provinciali, dell'energia elettrica prodotta:



La produzione totale da fonte idroelettrica nell'anno 2012 è stata, per l'intero territorio nazionale, di 41.875 GWh (fonte GSE). La provincia di Padova ha contribuito per lo 0,1% alla produzione totale: la produzione si aggira quindi intorno a 41 GWh, cioè 0,041 TWh, che rappresenta una quota molto bassa rispetto alla domanda totale di energia elettrica ipotizzata per il comune di Padova, che come detto in precedenza si aggira intorno a 1,35 TWh. Essendo poi il dato fornito dal GSE un dato valido per l'intera provincia, a livello comunale esso sarà ancora più piccolo, e quindi trascurabile ai fini della nostra analisi.

✚ **Fotovoltaico.**

Per la costruzione della distribuzione oraria dei fattori di carico ci si è basati su un software accessibile gratuitamente dal web, denominato PVwatts, di origine americana e sviluppato dal NREL (National Renewable Energy Laboratory). Esso utilizza una banca dati meteorologica per stimare la potenza in uscita dal modulo in base alla località scelta, identificata da valori precisi di latitudine e longitudine, alla tecnologia utilizzata, al tipo di installazione (fissa o ad inseguimento), al rendimento del sistema (denominato rendimento del BOS), al tipo di sistema (la tipologia scelta è di tipo residenziale), e agli angoli di tilt e di azimut.

I dati meteorologici utilizzati si riferiscono all'anno tipo, e vogliono essere il più possibile rappresentativi delle condizioni medie.

Si è proceduto quindi con la compilazione della seguente scheda:

The screenshot shows the PVWatts Calculator interface. At the top, it says 'PVWatts Calculator' and 'NREL NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY'. The location is set to 'Padova'. The 'SYSTEM INFO' tab is selected, showing the following inputs:

Parameter	Value
DC System Size (kW)	1
Array Type	Fixed (open rack)
DC-to-AC Derate Factor	0.8
Tilt (deg)	35
Azimuth (deg)	180

There is also a 'Draw Your System' section with a map and a 'RESTORE DEFAULTS' button.

Si è scelto, per la costruzione del fattore di carico, un impianto che abbia una potenza di picco di 1 kW, di tipo fisso (non ad inseguimento del tragitto solare), con un rendimento di sistema pari a 0,8.

Questo valore è stato scelto sotto le seguenti ipotesi di perdite di potenza per effetto del generatore:

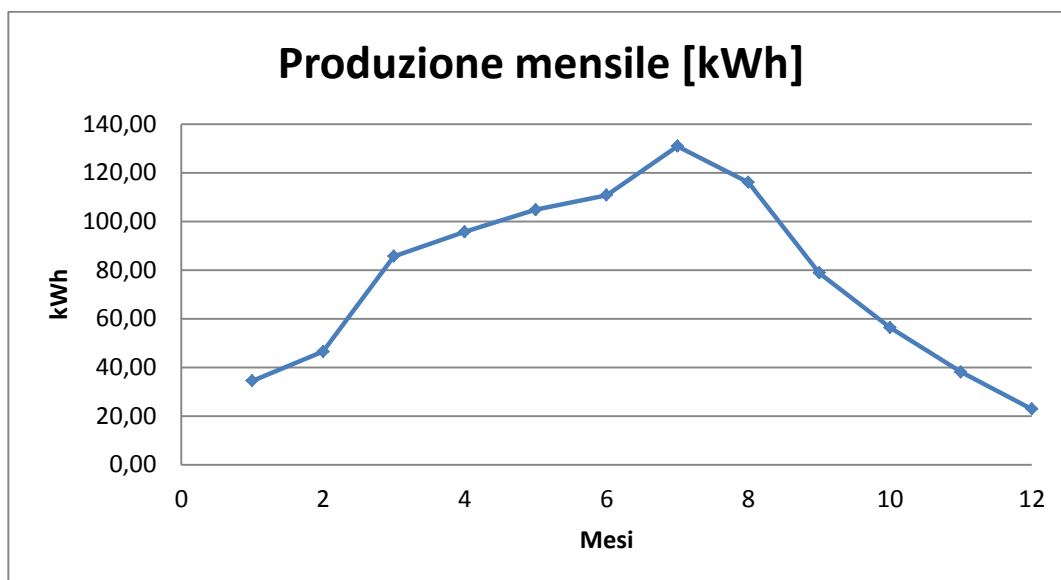
- Sporramento moduli: 2%;
- Effetto temperatura: 2%;
- Ombreggiamento: 1%;
- Perdite di collegamento e lungo i cavi in continua: 1,5%;
- Difetti nella ricerca del punto di massima potenza: 1,5%;
- Perdite all'inverter: 7,5%;
- Altre perdite lato alternata: 1%;
- Irraggiamento minore di 1000 W/m²: 3,5%.

L'angolo di tilt è stato posto pari a 35°, in quanto, considerando la latitudine della città di Padova, esso rappresenta con buona approssimazione la condizione di massima producibilità annua.

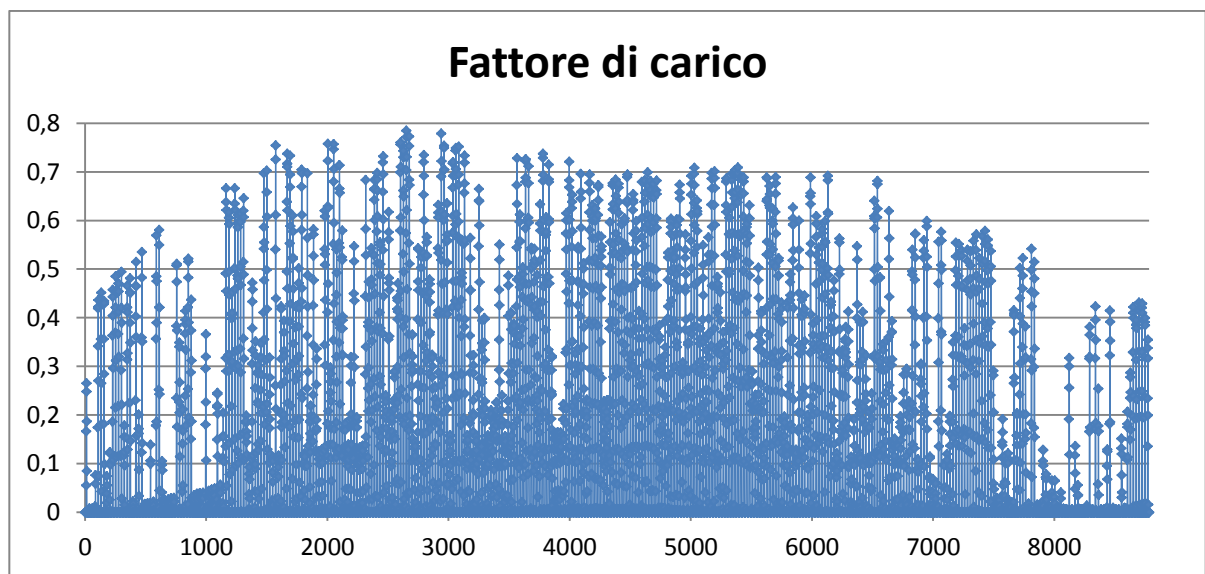
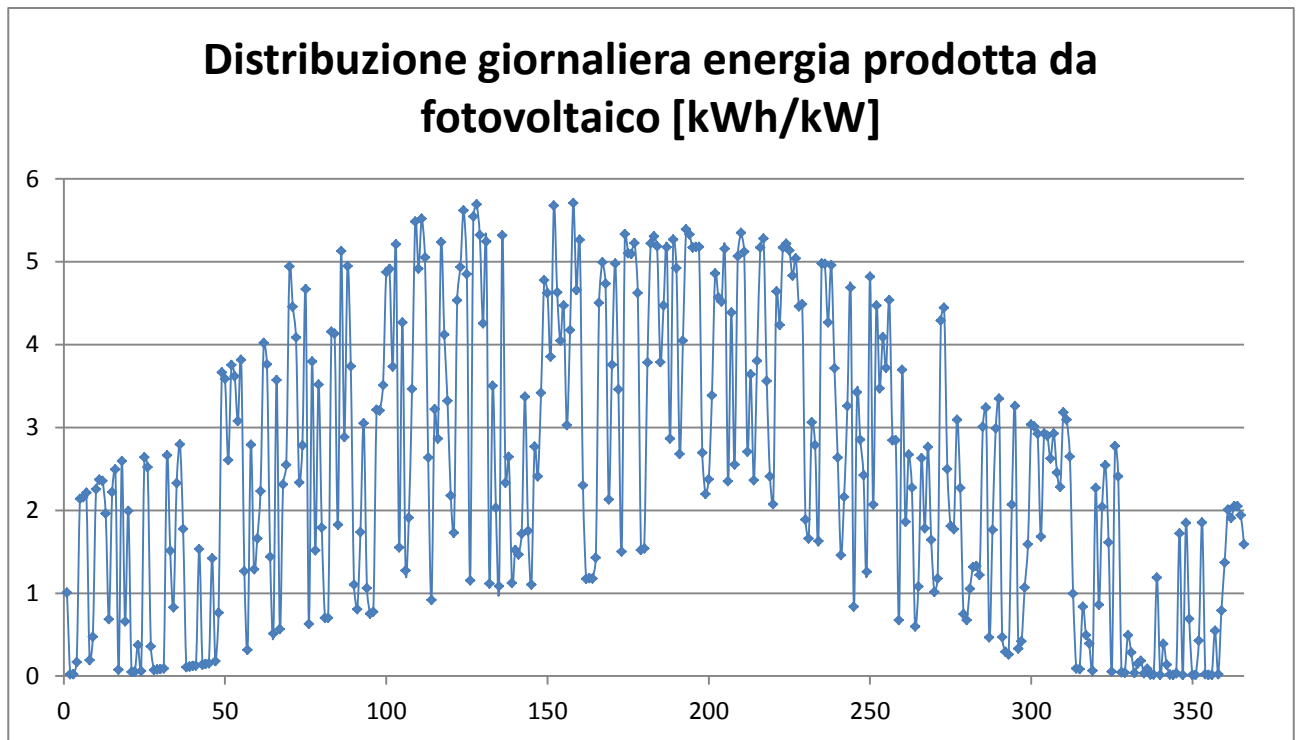
L'angolo di azimut è stato posto pari 180°, che per il software è rappresentativo di una superficie rivolta a sud.

Una volta compilati tutti i campi necessari, il programma fornisce delle tabelle con risultati a livello mensile- annuale e dati orari, entrambi riferiti all'anno tipo. Vengono qui di seguito riportati i risultati a livello mensile in forma tabellare ed in forma grafica:

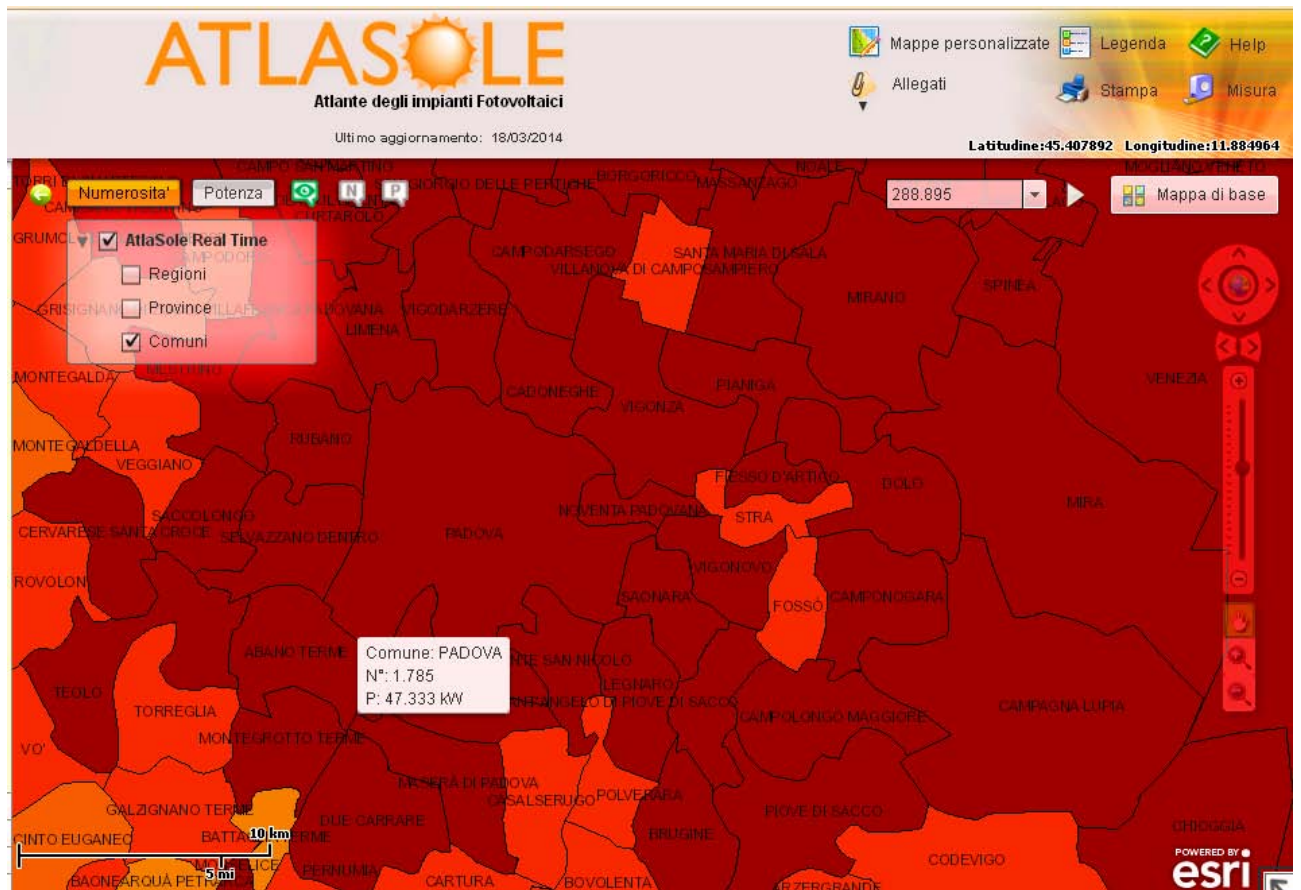
Month	AC System Output(kWh)	Solar Radiation (kWh/m ² /day)
1	34,46	1,54
2	46,52	2,26
3	85,61	3,63
4	95,71	4,23
5	104,78	4,67
6	110,74	5,23
7	130,88	6,01
8	116,00	5,28
9	78,78	3,65
10	56,37	2,51
11	38,04	1,80
12	22,87	1,09
Totale anno	920,77	



I dati di produzione elettrica a livello giornaliero e i fattori di carico orari sono riportati di seguito solo in forma grafica:



Per conoscere la capacità complessiva installata nel comune di Padova si è preso come riferimento il sito del GSE, sezione statistiche- ATLASOLE. Si è visto quindi che complessivamente la capacità installata è di 47.333 kW, come confermato dall'immagine seguente:



Nell'inserimento dei dati in EnergyPLAN, al fotovoltaico non sono state attribuite capacità di stabilizzazione della rete, essendo questa una fonte intermittente.

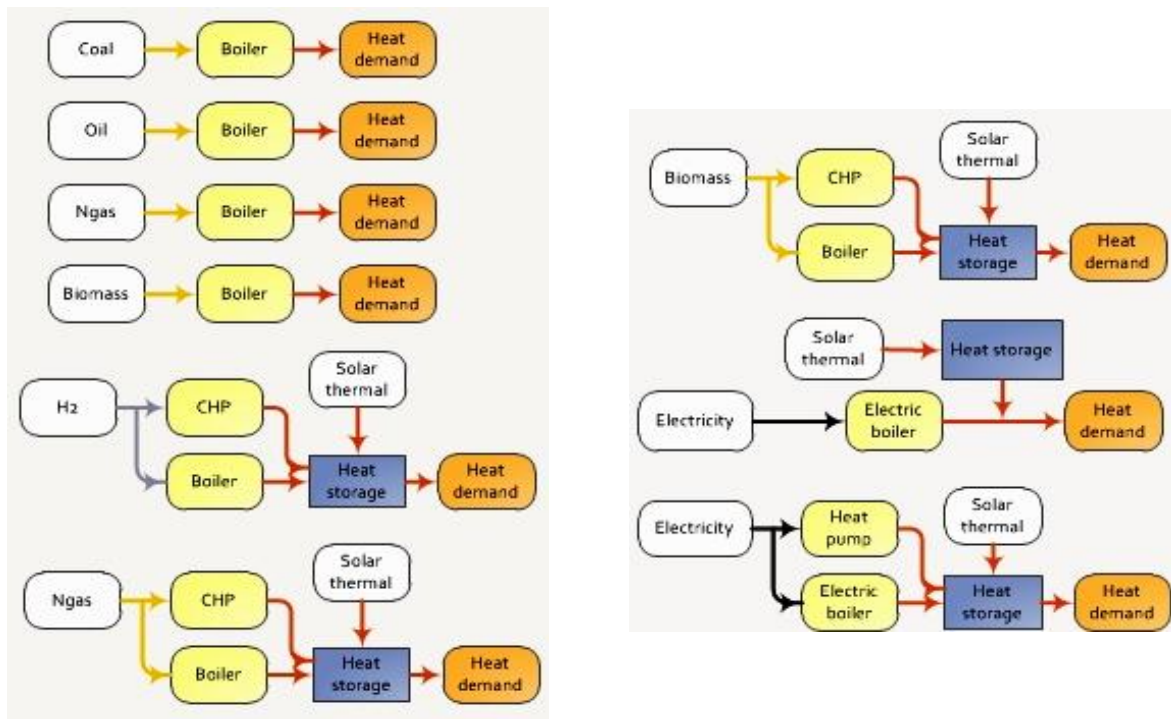
Dal software PVwatts, inoltre, possiamo concludere che il numero di ore equivalenti di funzionamento a livello annuale è pari a circa 921.

A tal proposito è necessario fare una precisazione: la producibilità a livello annuale di un pannello fotovoltaico con inclinazione ottimale per la città di Padova, secondo dati precisi, è circa pari a 1050 kWh/m². Ciò che si ottiene con il software sopra citato, tuttavia, rappresenta con buona approssimazione (errore inferiore al 9%) la situazione padovana. È chiaro che utilizzando dei software a pagamento la precisione dei dati ottenuti sarebbe certamente superiore. Inoltre, una componente che certamente influenza la resa annua calcolata è la banca dati meteorologica presa come riferimento.

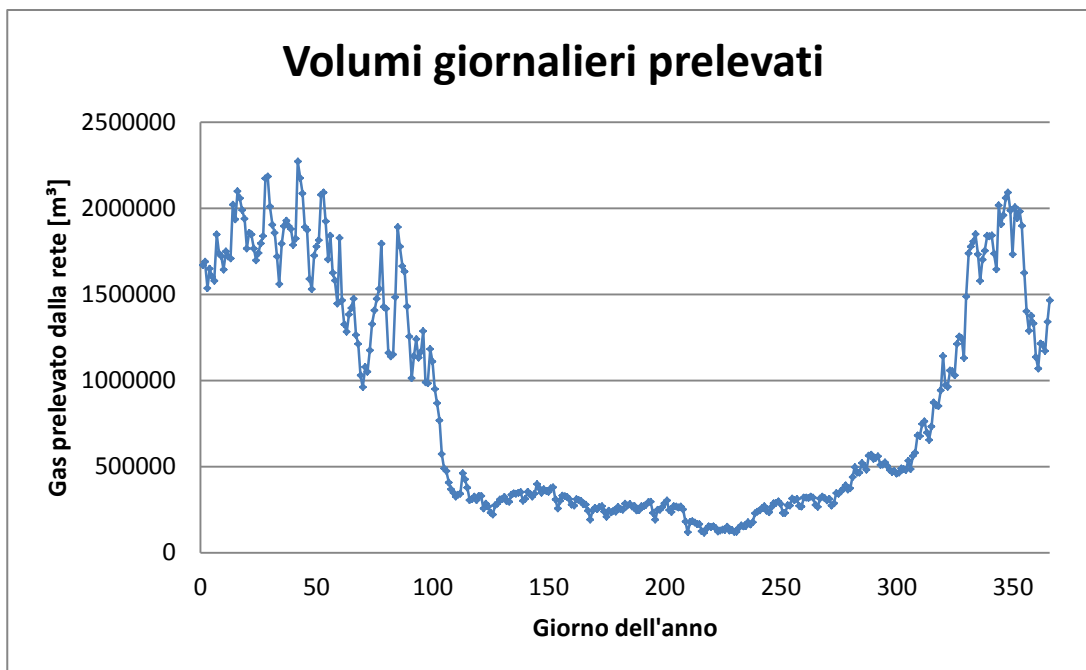
È inoltre opportuno specificare che, qualora si ritenga opportuno utilizzare un numero di ore equivalenti di funzionamento (e quindi un rendimento complessivo) differente dal valore che si ricava a partire dai risultati forniti dal

software, è sufficiente inserire in EnergyPLAN dei valori di potenza sopra o sottostimati rispetto al valore realmente installato.

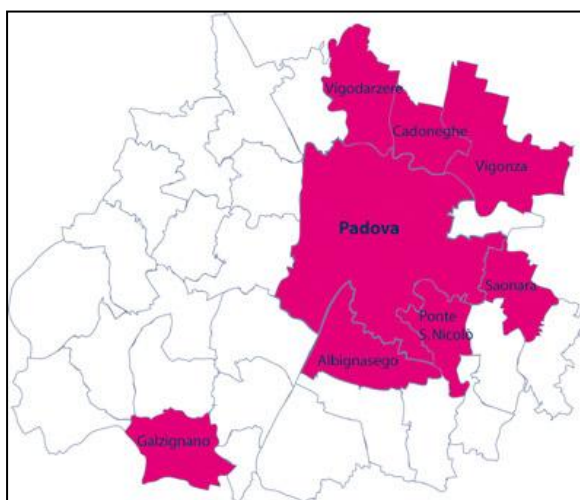
2.4 Riscaldamento domestico e microgenerazione (Individuals).



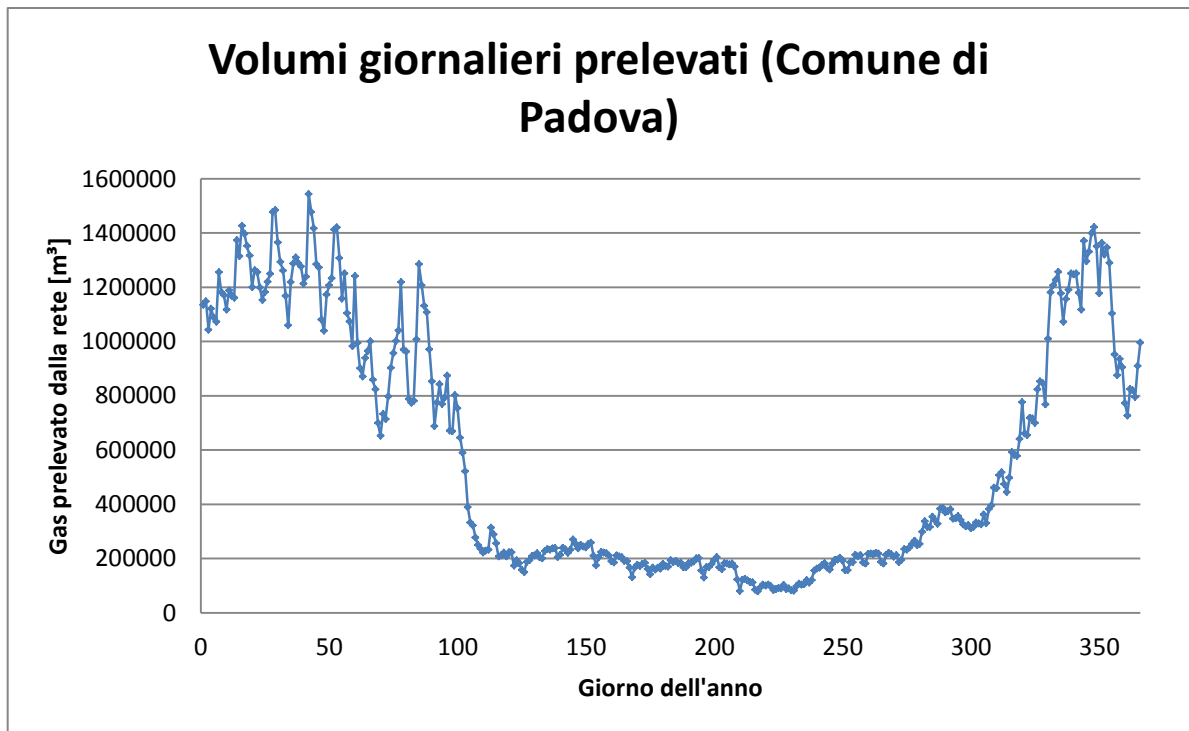
Questa è la sezione in cui vengono definiti i consumi per la produzione di calore adibito al riscaldamento residenziale, oltre che per la produzione di acqua calda sanitaria. Nel caso della città di Padova, sono stati presi in considerazione solamente sistemi di riscaldamento mediante caldaia (boilers) ed elettrico tradizionale, oltre all'integrazione con la fonte solare termica. Non sono state quindi prese in considerazione pompe di calore o microgeneratori. Il software va a calcolare il fabbisogno di energia termica sulla base dei consumi a consuntivo e in base ai valori di efficienza del sistema di produzione. Nel caso della città di Padova, sono stati sfruttati i dati messi a disposizione dalla società Acegas- Aps, che ha fornito i volumi/giorno prelevati dalla rete gas e riportati qui di seguito:



Il volume erogato si riferisce all'impianto di Padova (gestito da Acegas- Aps), che raggruppa, oltre al comune di Padova, anche alcuni comuni della cintura urbana (vedi piantina) escluso Galzignano:

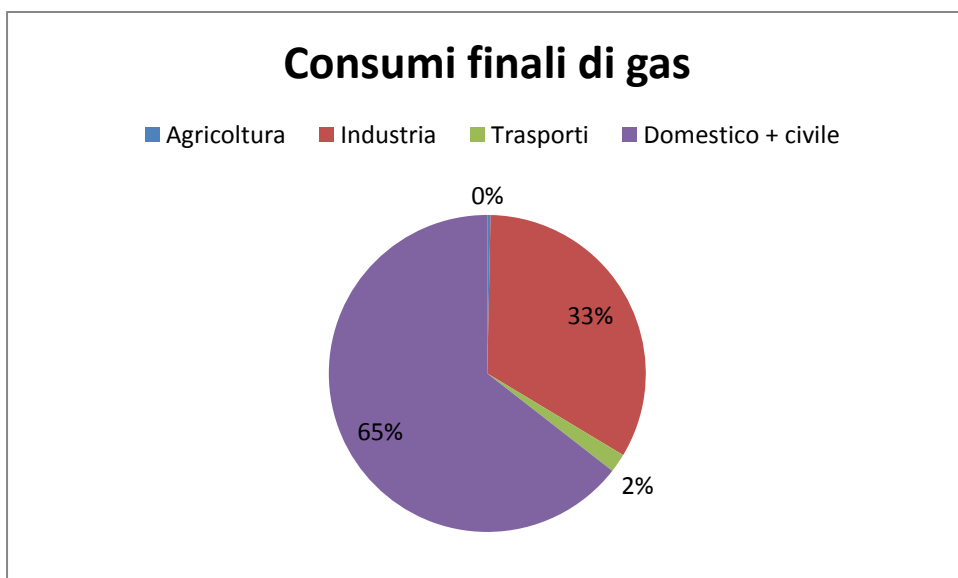


I volumi prelevati sono stati quindi ritirati sul numero di abitanti per ottenere, almeno a livello indicativo, una stima sui prelievi di gas, nell'anno 2013, del solo comune di Padova. I risultati sono riportati nel seguente grafico:



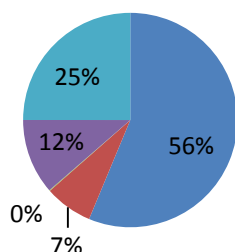
Il problema che si è presentato in questa fase del lavoro è dovuto al fatto che non si hanno informazioni relative alla quantità di gas utilizzato dai diversi settori.

Per questo motivo, si è reso necessario utilizzare un'approssimazione: partendo dal Bilancio Energetico Nazionale dell'anno 2012, si è costruito il seguente diagramma, relativi all'utilizzo dei combustibili nei diversi settori:



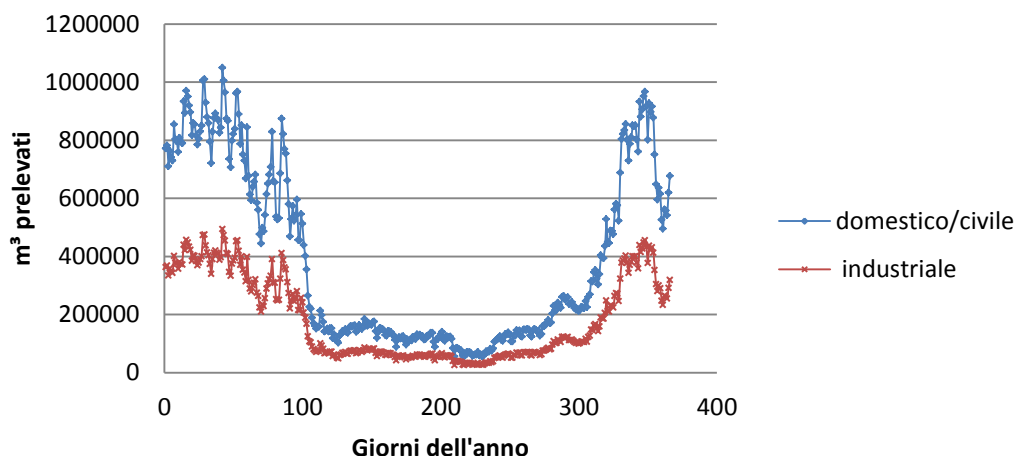
Energia consumata nel settore residenziale/terziario suddivisa per fonte

■ Gas ■ Olio ■ Carbone ■ Biomassa ■ Elettrica



Escludendo il settore dei servizi (che, nel BEN, raggruppa sostanzialmente l'intero settore dei trasporti, trattato nel seguito), la destinazione del gas naturale per la città di Padova è stata suddivisa tra settore civile/domestico e settore industriale con percentuali che, rispettivamente, sono state poste pari a 67% e 33%. Si è costruito quindi il seguente grafico per chiarire meglio la situazione:

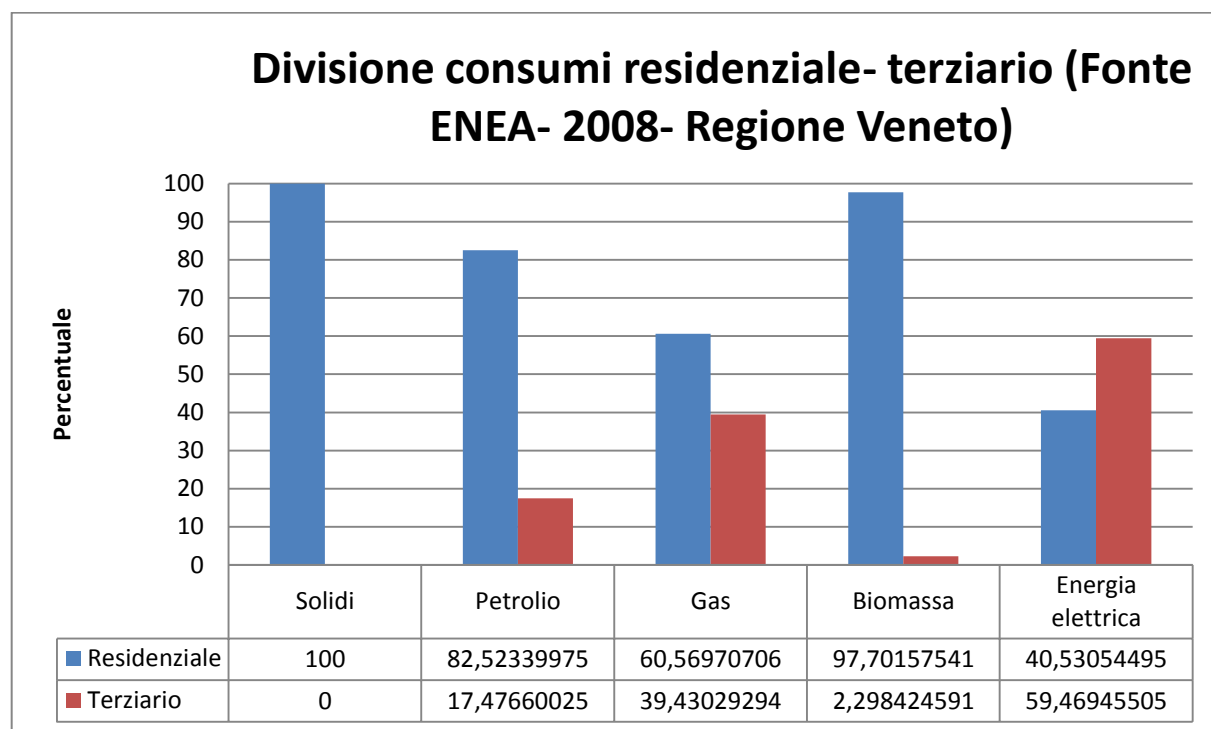
Gas prelevato suddiviso per settore



Il BEN 2012, tuttavia, non fornisce dati sufficienti per poter separare i consumi del settore residenziale dai consumi del settore terziario, e inoltre non esistono in letteratura, almeno per il momento, dati recenti che consentono di operare questa distinzione.

Per ottenere un'approssimazione abbastanza realistica si è quindi preso come riferimento il bilancio energetico compiuto dall'ENEA nell'anno 2008 per la regione Veneto. In questo viene fatta la distinzione tra consumi del settore residenziale e

consumi del settore terziario suddivisi per fonte, che vengono sintetizzati e rappresentati nel seguente istogramma:

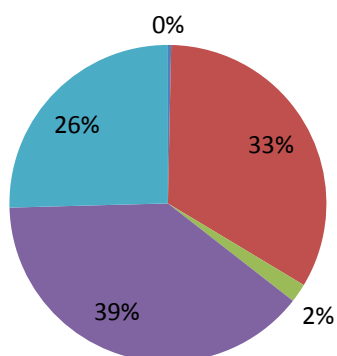


Con questi dati, quindi, si sono suddivisi i consumi e sono stati ricostruiti i grafici a torta inseriti nelle pagine precedenti:

Fonte	Consumi Residenziale + Terziario [GWh]	Consumi Resid. [GWh]	Consumi Terz. [GWh]
Gas	1346,78	815,74	531,03
Olio	170,61	140,79	29,82
Carbone	2,79	2,79	0,00
Biomassa	264,11	258,03	6,07
Energia Elettrica	593,85	240,69	353,16

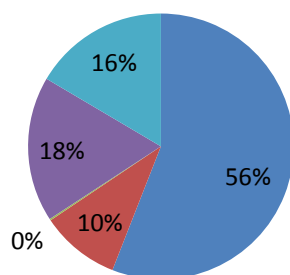
Consumi finali di gas

■ Agricoltura ■ Industria ■ Trasporti ■ Civile ■ Terziario



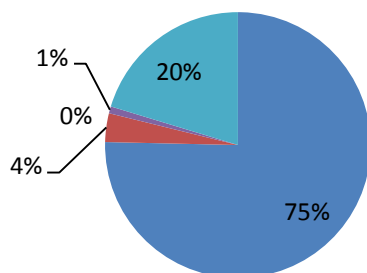
Energia consumata nel settore residenziale suddivisa per fonte

■ Gas ■ Olio ■ Carbone ■ Biomassa ■ Elettrica



Energia consumata nel settore terziario suddivisa per fonte

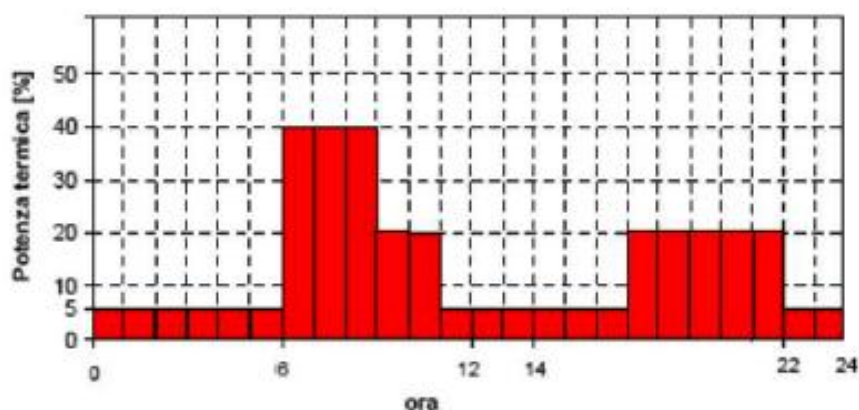
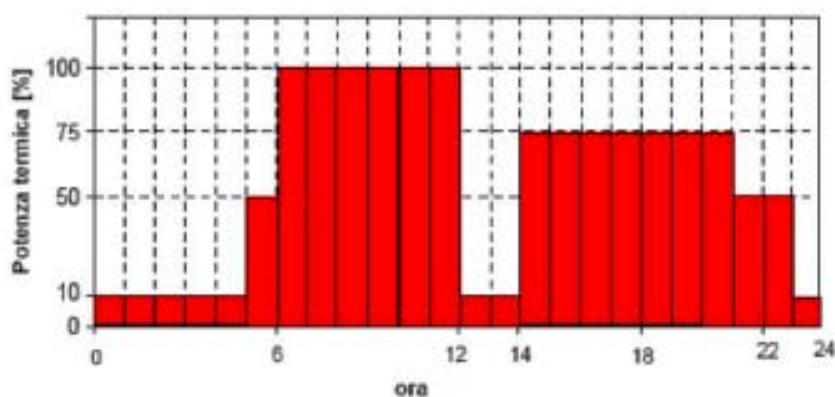
■ Gas ■ Olio ■ Carbone ■ Biomassa ■ Elettrica

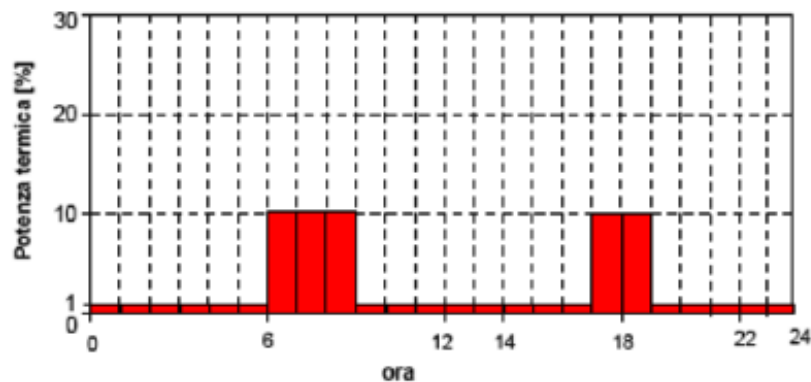


Con l'ausilio del secondo grafico alla pagina precedente e partendo dai consumi di gas (che per il lavoro svolto sono gli unici dati di partenza che si conoscono con buona precisione), si è costruita la seguente tabella (il dato di partenza per la compilazione dell'intera tabella è evidenziato):

Fonte	GWh	Quota % sul totale
Gas	815,7432741	55,95
Olio	140,7904466	9,66
Carbone	2,788253402	0,19
Biomassa	258,0328949	17,70
Elettrica	240,6857899	16,51

Per la costruzione della distribuzione oraria della domanda di energia termica richiesta dalle utenze, si è fatto riferimento al rapporto sullo studio condotto dal FIRE (Federazione Italiana per l'uso Razionale dell'Energia) intitolato "Analisi del potenziale della microgenerazione in Italia", che riporta i profili di prelievo suggeriti nella proposta di norma del Comitato Termotecnico Italiano (CTI) "Cogenerazione: Impianti di piccola cogenerazione alimentati a combustibili liquidi e gassosi- Misurazioni ex- ante delle prestazioni energetiche":





È stata quindi creata una distribuzione per le 8784 ore dell'anno, utilizzando per i mesi di dicembre, gennaio e febbraio i dati relativi alla giornata presa come riferimento per la stagione invernale, per i mesi di ottobre, novembre, marzo, aprile la giornata indicativa della "mezza stagione", e infine per i mesi di maggio, giugno, luglio, agosto e settembre la giornata tipo "estiva".

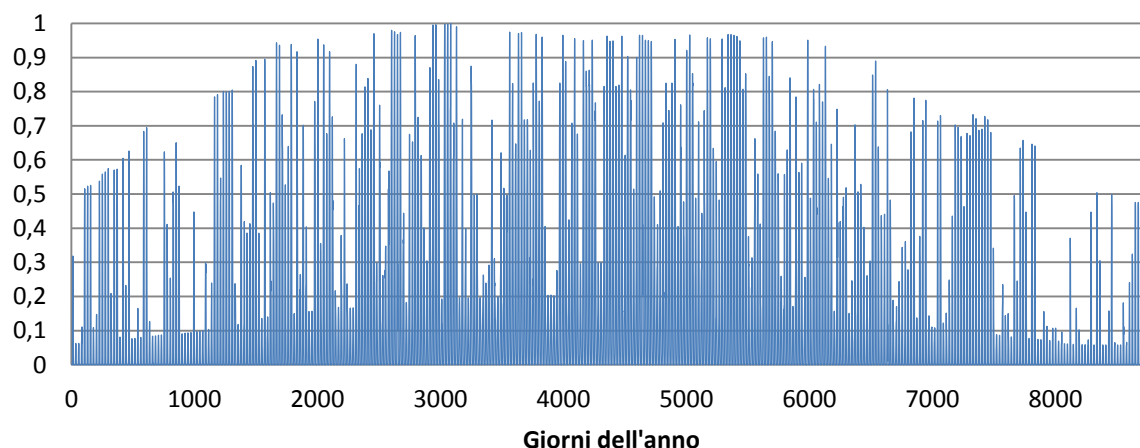
Ora, per la produzione di energia termica tramite il solare termico, il software necessita dei seguenti input:

- Andamento orario della radiazione;
- Capacità del sistema di accumulo (Heat Storage), espressa in giorni;
- Solar share, ovvero la percentuale di utenze sfruttano tale tecnologia;
- Input termico, ovvero il contributo della fonte solare che sarebbe possibile sottrarre teoricamente al consumo di combustibile se la fonte fosse sempre sfruttabile quando richiesto dall'utente (non considerando quindi l'intermittenza della fonte stessa).

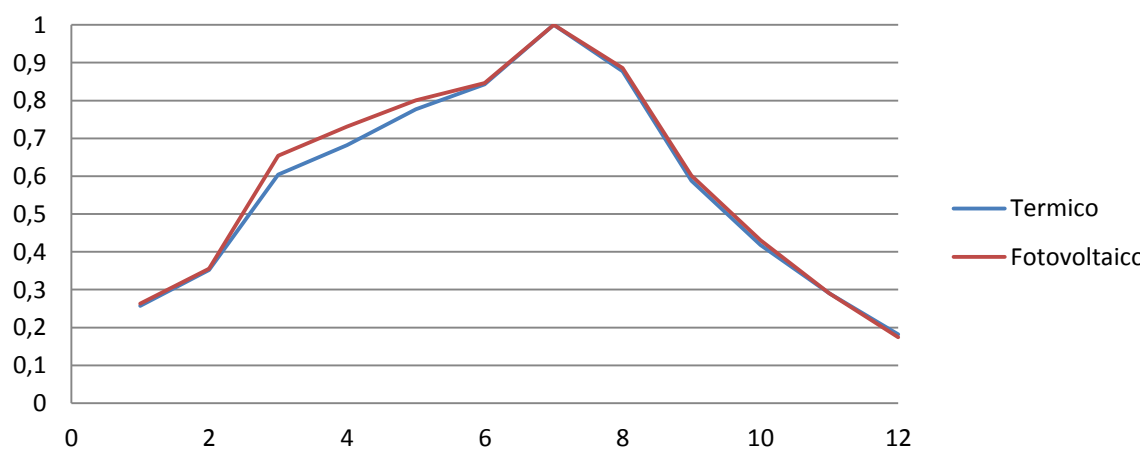
Sulla base di questi dati, EnergyPLAN calcola l'energia termica realmente convertita dai collettori. L'energia prodotta dalla fonte solare termica, ovviamente, non aumenta il fabbisogno, ma riduce il consumo di combustibili.

Per quanto riguarda l'andamento orario della radiazione solare, si è proceduto sfruttando la distribuzione creata in precedenza per il fotovoltaico, sostituendo i valori di energia elettrica prodotta giornalmente con quelli di irradiazione su superficie inclinata all'angolo ottimale.

Andamento normalizzato orario dell'irradiazione giornaliera su superficie inclinata con angolo ottimale



Andamento normalizzato mensile della produzione giornaliera di energia elettrica da fotovoltaico e dell'irradiazione giornaliera su superficie inclinata con angolo ottimale

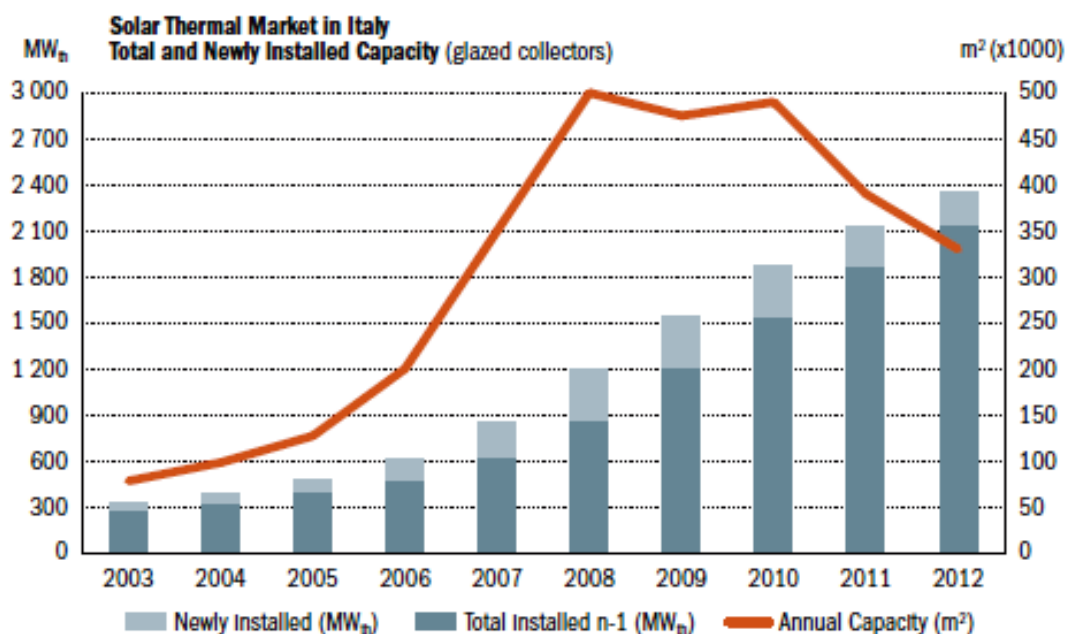


Come si nota dalla figura alla fine della pagina precedente, le due curve, quella relativa al solare termico e quella relativa al fotovoltaico, hanno un andamento simile, quindi l'approssimazione utilizzata è buona.

Il valore della capacità del sistema di accumulo è stato posto pari ad un giorno.

Per quanto riguarda il solare share, il riferimento utilizzato è stato il documento elaborato dalla European Solar Thermal Industry Federation (ESTIF), "Solar Thermal Markets in Europe- Trend and Market Statistics 2012", secondo la quale in Italia sono installati circa 3,37 milioni di m² di collettori. Nell'anno 2012 la nuova

capacità installata ammonta a 231 MWt (330.000 m²), con una flessione del 15,4% rispetto all'anno precedente. Nonostante questo, l'Italia rimane comunque al secondo posto nell'Unione Europea in termini di nuova capacità installata.



Secondo le stime riportate sempre nello studio del FIRE “Analisi del potenziale della microgenerazione in Italia”, in Italia sono presenti circa 11,1 milioni di edifici ad uso abitativo, mentre secondo i dati ISTAT il numero complessivo di abitazioni in edifici ad uso abitativo ammonta a circa 27,3 milioni. Il numero di impianti solari termici per la città di Padova è stato quindi ricostruito in questo modo:

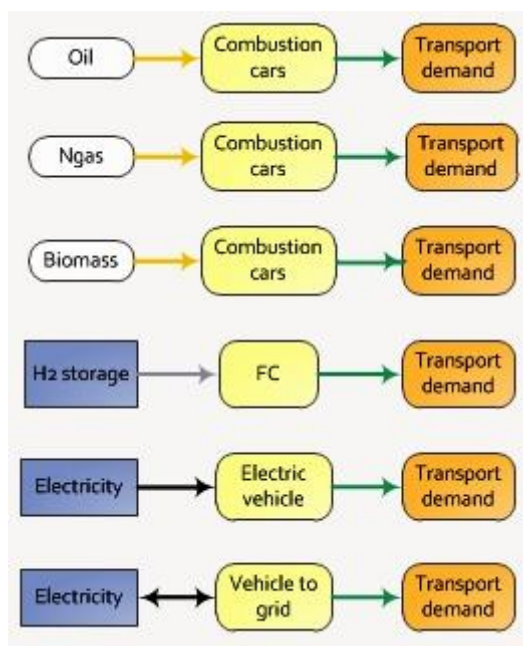
	Italia	Padova
Abitazioni	27268880	100420
Edifici ad uso abitativo	11100000	40877
Abitazioni per ogni edificio	2,456656	2,4567
Totale collettori installati a fine 2012 [m ²]	3365730	12395
m ² per ogni installazione	3	3
Numero installazioni	1121910	4131,5
Solar Share	0,10	0,10

In giallo: Valori disponibili

In rosso: Valori calcolati

Irradiazione solare annua: [kWh/m²·anno]	
	1280,22
m² di pannelli	
	12394,59
Totale kWh/anno prodotti da tutti gli impianti	
	15867799,15
Totale MWh/anno prodotti da tutti gli impianti	
	15867,80
Domanda termica totale Padova (civile) [MWh]	
	1298534,95
Quota fornita dal solare termico	
	0,01
Percentuale fornita da solare termico	
	1,22

2.5 Trasporti.



Per questa sezione si è fatto riferimento al sito dell'ACI, all'interno del quale è possibile individuare il parco veicoli a livello nazionale, regionale, provinciale e comunale. Si possono inoltre reperire informazioni relative ai consumi di carburante (benzina, gasolio, GPL) a livello regionale. Per determinare i consumi di carburante a livello comunale, l'operazione fatta è stata quella di ri-scalare i consumi a livello regionale in base al numero di veicoli presenti nel comune di Padova.

Per quanto riguarda i consumi di gas metano per i trasporti, non avendo a disposizione un dato regionale, si è partiti dal consumo nazionale, ricavato dal Bilancio Energetico Nazionale (BEN) dell'anno 2012, e successivamente si è riscalato tale valore sempre sulla base del numero di veicoli. Di seguito viene riportata la tabella con i dati di interesse:

	Veneto	Padova	Italia
Numero veicoli	3.882.071	163.874	49193242
Consumi Benzina [kt]	671,5	28,346	8.391,5
Consumi Gasolio [kt]	1.925,7	81,288	22.939,3
Consumi GPL [t]	119.359	5038,5	1.352.357
Consumi Metano [Mmc]	72,9172	3,0781	924

Legenda tabella:

- In blu: valori ricavati dalle tabelle messe a disposizione sul sito dell'ACI;
- In rosso: valore ricavato dal Bilancio Energetico Nazionale;
- In giallo: Valori ottenuti riscaldando i valori noti sulla base del numero di veicoli.

Nota: per verificare l'attendibilità del procedimento adottato, i consumi sono stati riscalati anche sulla base del numero di abitanti, e i valori che si ottengono sono confrontabili con quelli ottenuti nella tabella alla pagina precedente (differenze minori del 2%).

Inoltre, alcuni dati relativi ai consumi di carburanti sono stati confrontati con quelli redatti dal Ministero Dello Sviluppo Economico: anche in questo caso la differenza tra i dati forniti dalle due fonti è pressoché trascurabile.

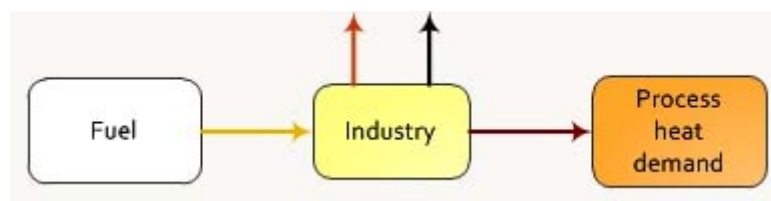
Viene di seguito riportata la tabella costruita per l'inserimento dei dati in EnergyPLAN:

Calcolo energia spesa per i trasporti Padova

	Tonnellate	PCI [MJ/kg]	Energia [MJ/anno]	Energia [MWh/anno]
Benzina	28.345,9	43,6	1.235.879.190	343.300
Gasolio	81.288,0	43,3	3.519.771.506	977.714
GPL	5.038,5	46,1	232.275.728,7	64.521
	Milioni di m³	PCI [MJ/m³]	Energia [MJ/anno]	Energia [MWh/anno]
Metano	3,1	34,54	106.316.069,9	29.532

Allo stato attuale, non sono stati inseriti valori relativi a veicoli alimentati tramite i vettori idrogeno od elettrico, anche se nella realtà padovana comincia ad esserci una leggera penetrazione di veicoli ad idrogeno (soprattutto nel settore dei servizi pubblici, anche se ancora a livello di prototipi); tuttavia, l'incidenza sul totale di questi veicoli è del tutto trascurabile, e per questo motivo non è stata presa in considerazione nella creazione del modello.

2.6 Consumi e cogenerazione industriale

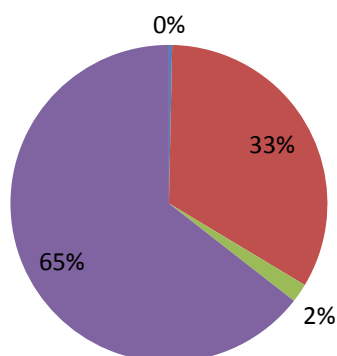


In questa sezione vengono inseriti i consumi di combustibile del settore industriale (Industry) e quelli relativi ad altri settori che non rientrano nelle categorie finora considerate (Various). In particolare, nella categoria Various sono compresi i consumi energetici dell'agricoltura e del settore terziario (al netto di quanto già specificato per il riscaldamento e la produzione di acqua calda sanitaria).

Non avendo a disposizione dati precisi per il comune di Padova (a parte quelli relativi ai prelievi di gas), anche in questo caso si è resa necessaria la costruzione di tali dati a partire dai dati ricavabili dal BEN 2012, rappresentati dai seguenti grafici a torta:

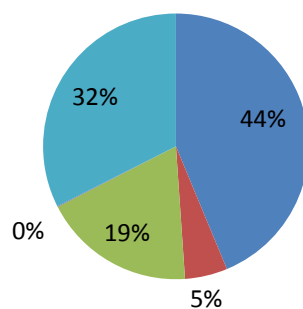
Consumi finali di gas

■ Agricoltura ■ Industria ■ Trasporti ■ Domestico + civile



Energia consumata nel settore industriale suddivisa per fonte

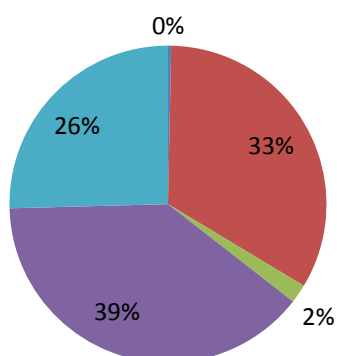
■ Gas ■ Olio ■ Carbone ■ Biomassa ■ Elettrica



Considerando anche il Bilancio ENEA per la regione Veneto nell'anno 2008 sono stati costruiti anche i seguenti grafici e tabelle:

Consumi finali di gas

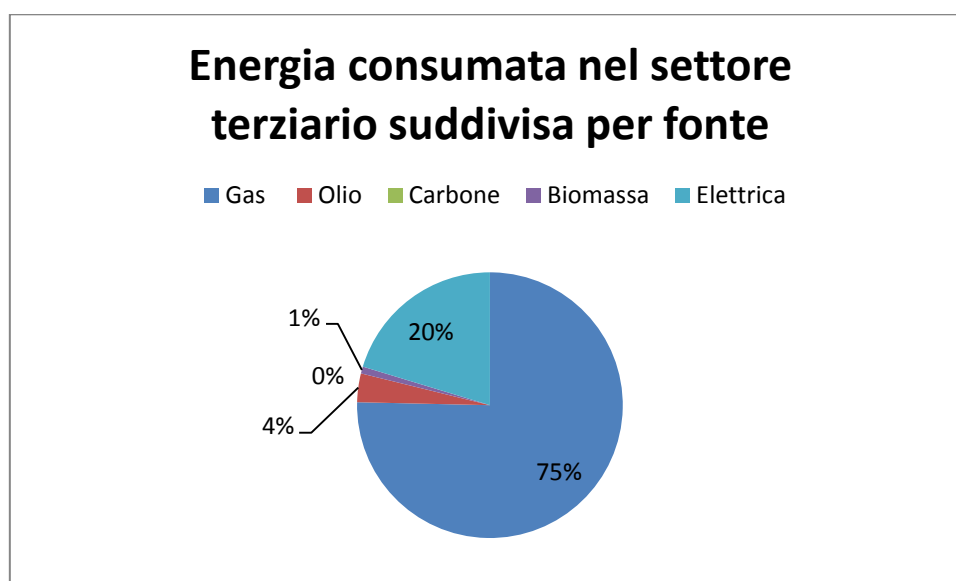
■ Agricoltura ■ Industria ■ Trasporti ■ Civile ■ Terziario



Consumi del settore industriale padovano:

Fonte	GWh	Quota % sul totale
Gas	663,34	44
Olio	78,55	5
Carbone	281,58	19
Biomassa	1,28	0,00
Elettrica	492,13	32

(In giallo: valore di partenza)

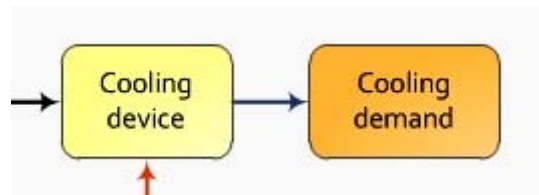


Fonte	GWh	Quota % sul totale
Gas	531,03	75,35
Olio	24,61	3,49
Carbone	0,00	0,00
Biomassa	5,93	0,84
Elettrica	143,14	20,31

Nota: non sono stati considerati consumi di energia per usi agricoli, essendo la città di Padova una realtà prevalentemente industriale.

In questa sezione è inoltre possibile specificare la produzione di energia elettrica prodotta in cogenerazione a livello industriale. Non essendoci impianti cogenerativi nel comune di Padova, tale aspetto è stato trascurato.

2.7 Raffrescamento (Cooling)



Questa sezione serve a definire i consumi di energia elettrica ed energia termica (nel caso in cui si utilizzino sistemi ad assorbimento) per la climatizzazione nel periodo estivo. Nel software viene data la possibilità di disaggregare tali consumi dalla domanda di energia elettrica complessiva, in maniera da poter analizzare casi particolari in cui il calore prodotto dagli impianti di teleriscaldamento possa essere sfruttato anche nel periodo estivo per l'alimentazione di impianti di refrigerazione ad assorbimento.

Trovare informazioni dettagliate per poter compilare questa sezione non è affatto semplice: risulta infatti pressoché impossibile a livello comunale riuscire a separare i consumi di energia elettrica finalizzati all'alimentazione dei sistemi di climatizzazione estiva, nonché riuscire a trovare il numero complessivo di impianti installati nel comune di Padova.

Per questo motivo si è costretti a partire da alcuni dati nazionali (purtroppo non recentissimi) per poi ricostruire il parco climatizzatori padovano con un'approssimazione che sia accettabile.

Proprio per la difficoltà nel reperire questo tipo di dati, si è scelto di esplicitare solamente i consumi di energia elettrica per impianti di climatizzazione di piccola taglia (raffrescamento residenziale).

Alcune stime che riguardano i consumi dei sistemi di climatizzazione di taglia inferiore ai 7 kW sono disponibili nel materiale preparato da Gianpiero Colli (Segretario dell'associazione ANIMA- Co.aer- Costruttori di apparecchiature ed impianti aeraulici) per il convegno FIRE del 2006:

STIMA DELLE UNITA' ATTIVE AL 30/09/2005
(POTENZIALITA' FRIGORIFERA FINO A 7 Kw)

	N° DI UNITA'	
	IMMESSE IN MERCATO	ATTIVE
CONDIZIONATORI MONOBLOCCO	199.530	100.000
PORTATILI MONOBLOCCO	1.112.462	840.000
PORTATILI SPLIT	708.508	560.000
MONOSPLIT FINO A 7kW	7.922.160	7.500.000
TOTALE FINO A 7 Kw	9.942.660	9.000.000

STIMA CONSUMI ELETTRICI
(POTENZIALITA' FRIGORIFERA FINO A 7 Kw)

	UNITA' ATTIVE	CONSUMO MEDIO ANNUO kWh	CONSUMO TOTALE ANNUO (kWh x 10 ⁶)
CONDIZIONATORI MONOBLOCCO	100.000	1.400	140
PORTATILI MONOBLOCCO	840.000	900	756
PORTATILI SPLIT	560.000	1.100	616
MONOSPLIT FINO A 7kW	7.500.000	1.250	9.375
TOTALE FINO A 7 Kw	9.000.000		10.887

Nota: i consumi sono riferiti a 1000 ore/anno di funzionamento.

Dati più recenti riguardanti il numero di installazioni che si hanno a livello nazionale sono stati stimati dal gruppo ANIMA-Co.aer, che valuta una quantità pari a circa 16 milioni nel 2013.

Negli ultimi anni l'andamento degli acquisti di nuovi condizionatori ha avuto una flessione negativa, dovuta alla crisi iniziata nel 2009, anche se alla fine del 2012-inizio del 2013 ci sono stati segnali di ripresa.

Un parametro importante per definire le prestazioni dei condizionatori è l'Energy Efficiency Ratio: prima dell'introduzione dell'etichettatura ecologia nel 2003, tale valore era inferiore a 2,5, mentre i condizionatori più recenti raggiungono anche valori pari o superiori a 4,5.

Per avere una stima del numero di condizionatori che sono stati sostituiti nel periodo 2005- 2013, inoltre, bisogna fare un'ipotesi sulla vita media di un condizionatore: sempre nel materiale di Colli, tale valore è stato assunto pari a 12 anni (Fonte EERAC- Final Report- May 1999). È inoltre fornita una tabella con le

vendite dei condizionatori nel decennio 1990-1999 e le vendite annuali dall'anno 2000 all'anno 2005.

PERIODO	1990-1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	TOTALE
CONDIZIONATORI MONOBLOCCO	155.613	7.385	8.340	8.452	11.256	4.375	4.109	199.530
PORTATILI MONOBLOCCO	564.475	53.200	56.709	92.953	143.843	115.627	85.655	1.112.462
PORTATILI SPLIT	453.422	41.275	56.980	41.019	52.855	42.477	20.480	708.508
MONOSPLIT FINO A 7KW	2.231.725	744.238	722.525	749.880	1.118.963	1.537.814	817.015	7.922.160
TOTALE FINO A 7 Kw	3.405.235	846.098	844.554	892.304	1.326.917	1.700.293	927.259	9.942.660

In base alle considerazioni fatte prima, si assume che, nonostante la crisi, i condizionatori venduti nel periodo 1990-2001 siano stati interamente (o quasi) sostituiti, in quanto giunti al termine della loro vita utile. Essi sono all'incirca 5,1 milioni.

Per i 4 milioni di condizionatori venduti nel periodo 2002- 2005 è stato assunto un valore di EER pari a 2,5.

Per gli altri 12 milioni di condizionatori venduti nel periodo successivo è stato assunto un EER pari a 3,5 (valore medio ipotizzato).

Facendo una media pesata sul numero di condizionatori, quindi, si è assunto un valore medio di EER pari a 3,2, valido per l'intero parco.

Essendo nel 2005 il consumo totale annuo di energia elettrica per la climatizzazione pari a 10,89 TWh, il fabbisogno di energia frigorifera per lo stesso anno (considerando EER=2,5) era di 27,22 TWh frigoriferi. Quest'ultimo valore è stato quindi riscalato sul numero di condizionatori presenti nel 2013, ottenendo un valore di 48,4 TWh: questa è quindi l'energia frigorifera che è stata assunta per l'anno 2013. Ipotizzando ora un valore di EER pari a 3,2 si giunge a conclusione che l'energia elettrica consumata si aggira intorno a 15,125 TWh.

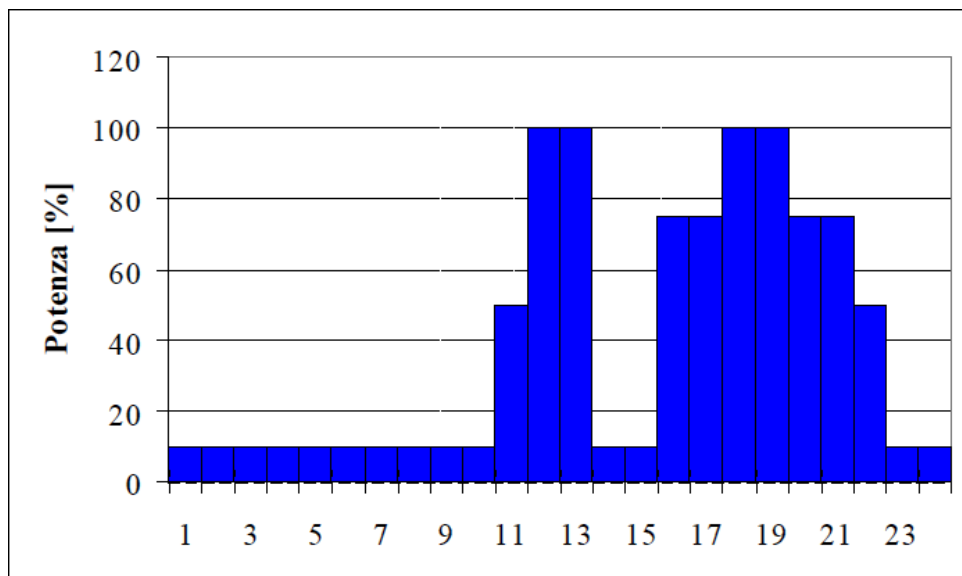
L'obiettivo, ora, è quello di ri-scalare tali valori sul territorio del comune di Padova.

A tal fine è stata costruita la seguente tabella:

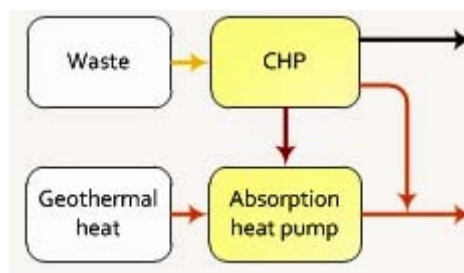
Abitazioni Padova	100420	(www.padovanet.it)
Abitazioni Italia	27268880	ISTAT
Edifici ad uso abitativo Italia	11100000	(FIRE)
Abitazioni per ogni edificio Italia	2,46	
Edifici Padova	40877	Riscalato su numero abitazioni
Totale condizionatori installati in Italia	16000000	ANIMA COAER
Totale Condizionatori installati a Padova	58921	Riscalato su numero edifici
Condizionatori Installati nel 2005 Italia	9000000	Presentazione Colli
Consumi energia elettrica 2005 Italia	10,89	TWh (Colli)
EER ipotizzato 2005	2,5	

Energia frigorifera richiesta 2005 Italia	27,225	
Energia frigorifera richiesta 2013 Italia	48,4	Riscalato su numero condizionatori
EER ipotizzato 2013	3,2	
Consumi energia elettrica 2013 Italia	15,125	TWh
Consumi energia elettrica 2013 Padova	0,056	TWh (Riscalato su numero condizionatori)

Per quanto riguarda la distribuzione oraria della domanda, si è fatto riferimento nuovamente al documento [4], applicando l'andamento proposto per il carico frigorifero nella giornata tipo "estiva" ai mesi di giugno, luglio, agosto.



2.8 Scarti: calore, elettricità e biocombustibili ottenibili dalla conversione energetica dei rifiuti.



I rifiuti sono considerati, nel software, come biomassa utilizzata per scopi energetici, cioè che non può essere stoccata ma che deve essere sottoposta regolarmente a processi di combustione finalizzati alla produzione di energia o altro. Anche in questa sezione c'è la possibilità di dividere l'ingresso di combustibile nelle tre tipologie di impianto già trattate nella sezione "District Heating". Tuttavia, può

essere definita una sola distribuzione oraria del fattore di carico necessario a definire la producibilità degli impianti.

Gli scarti possono essere trasformati in:

- Calore, al quale è data priorità di dispacciamento in un'eventuale rete di teleriscaldamento.
- Energia elettrica, che è mandata in rete;
- Biocombustibile liquido per trasporti, che è trasferito automaticamente dal programma nella sezione "Trasporti";
- Biocombustibili solidi per impianti cogenerativi e caldaie, che vengono quindi sottratti dal fabbisogno di combustibili nella sezione relativa alla produzione termoelettrica (District Heating);
- Prodotti non energetici, che possono avere ugualmente un certo valore economico (ad esempio cibo per animali).

Il modello necessita, in questa sezione, dei seguenti input:

- Gli scarti (rifiuti) utilizzati suddivisi nelle tre tipologie di impianti citati in precedenza (District Heating 1,2,3).
- Efficienze, specificando la quantità di combustibile in input che viene convertito nelle quattro forme di energia seguenti: calore, energia elettrica, combustibile liquido e solido.
- Una distribuzione oraria del combustibile in input.

In linea di principio, nel software si fa l'assunzione che per i rifiuti non vi sia possibilità di stoccaggio, e che quindi debbano essere convertiti in accordo con la distribuzione oraria inserita. Conseguentemente, gli output energetici sono trattati nella seguente maniera:

- ❖ Il calore prodotto ha priorità di dispacciamento assieme al calore prodotto dagli impianti solari termici e a quello prodotto come scarto di cogenerazione industriale. Se queste tre entità producono calore in quantità maggiore rispetto alla domanda, il calore viene perso.
- ❖ L'energia elettrica prodotta è immessa in rete e ha priorità di dispacciamento, assieme a quella prodotta dalle fonti rinnovabili come intermittenti (fotovoltaico). Le altre unità produttive, come eventuali impianti termoelettrici o cogenerativi, devono adattare la loro produzione in accordo con questa

condizione, e, se questo non è possibile, l'eccesso di energia elettrica viene esportata.

- ❖ Il combustibile liquido prodotto viene sottratto alla domanda di combustibile liquido per i trasporti, in accordo con un'eventuale variazione nell'efficienza dei veicoli dovuta all'utilizzo di questo nuovo combustibile.
- ❖ Il combustibile solido prodotto per alimentare gruppi cogenerativi e caldaie è sottratto automaticamente dalla domanda di fuel nelle sezioni dedicate.

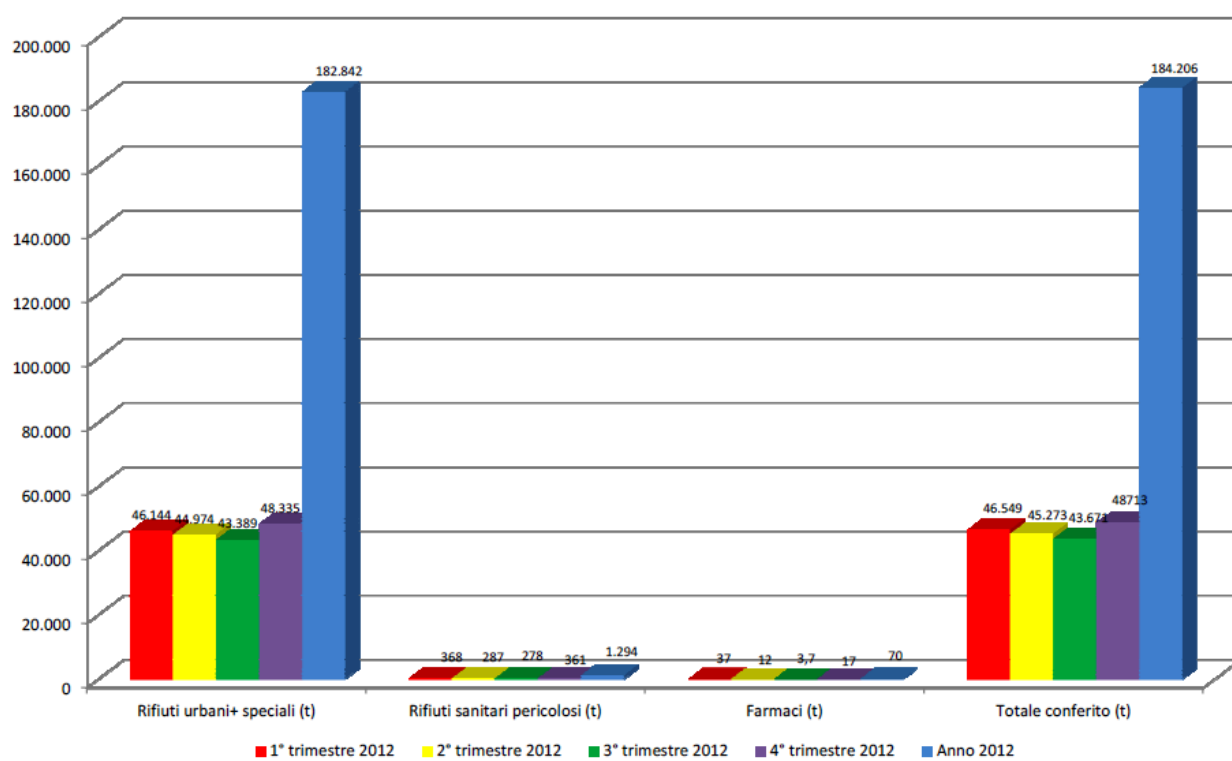
Nel caso della città di Padova, nel quartiere San Lazzaro è presente un impianto di incenerimento di rifiuti, costituito da un totale di 3 linee di incenerimento, ed è gestito dalla società Acegas- Aps, la quale ogni anno mette a disposizione in rete, sul proprio sito, una relazione annuale relativa al funzionamento dell'impianto.

Si riportano di seguito alcuni dati importanti relativi al funzionamento dell'impianto (anno 2012):

RIFIUTI INCENERITI	Anno 2006	Anno 2007	Anno 2008	Anno 2009	Anno 2010	Anno 2011	Anno 2012
Rifiuti urbani+ speciali (t)	69.177	72.725	78.410	78.907	146.619	170.782	182.842
Rifiuti sanitari pericolosi (t)	2.039	1.941	1.458	1.506	1.585	1.888	1.291
Farmaci (t)	406	497	262	339	259	177	49
Totale (t)	71.622	75.164	80.131	80.752	148.463	172.847	184.182

GIORNI DI ESERCIZIO	Anno 2007	Anno 2008	Anno 2009	Anno 2010	Anno 2011	Anno 2012
Linea 1	329	321	320	324	289	327
Linea 2	343	339	334	329	278	323
Linea 3	--	--	--	202	336	332
Totale (somma tre linee)	672	660	654	856	903	982

Quantità e tipologia rifiuti inceneriti Anno 2012



Anno 2012

<i>Tipologia del rifiuto</i>	<i>potere calorifico (kcal/kg)</i>	<i>kg/anno</i>	<i>Gcal/anno</i>
Rifiuti urbani+ speciali (t)	3070	182.842.000	561.325
Rifiuti sanitari pericolosi (t)	6000 (*)	1.294.000	7.764
Farmaci (t)	6000 (*)	70.000	420
TOTALE Mcal			569.509

(*) Dati stimati.

BILANCIO ENERGETICO	Anno 2006	Anno 2007	Anno 2008	Anno 2009	Anno 2010	Anno 2011	Anno 2012
Produzione lorda di Energia Elettrica (MWh)	29.199	30.113	32.914	36.588	75.969	115.019	122.833
Autoconsumo Energia Elettrica dell'impianto (MWh)	9.227	8.765	8.942	9.332	16.247	21.948	24.669
Cessione Energia Elettrica ENEL (MWh)	19.972	21.428	23.972	27.256	59.742	93.484	98.820
Autoconsumo Energia Elettrica dell'impianto (MWh)	9.227	8.765	8.942	9.332	16.247	21.948	24.669
Potenza media di produzione Linea 1, kWel	1.521	1.894	2.152	2.379	2.188	2.222	2.042
Potenza media di produzione Linea 2, kWel	2.166	2.057	2.100	2.350	2.224	2.401	2.918
Potenza media di produzione Linea 3, kWel	--	--	--	--	10.574	10.668	10.559
<i>Potenza media totale, kWel</i>	<i>3.688</i>	<i>3.950</i>	<i>4.252</i>	<i>4.729</i>	<i>14.986</i>	<i>15.291</i>	<i>15.519</i>
Giorni funzionamento Turbina 1	332	324	318	310	286	270	329
Giorni funzionamento Turbina 2	329	310	328	332	324	260	323
Giorni funzionamento Turbina 3	--	--	--	--	172	335	331
<i>Totale giorni funzionamento turbine</i>	<i>661</i>	<i>634</i>	<i>646</i>	<i>642</i>	<i>782</i>	<i>865</i>	<i>983</i>
<i>Totale giorni esercizio linee incenerimento</i>	<i>665</i>	<i>672</i>	<i>660</i>	<i>642</i>	<i>857</i>	<i>902</i>	<i>982</i>
Produzione specifica netta di energia elettrica (MWh/t rifiuti inceneriti)	0,279	0,285	0,299	0,338	0,394	0,541	0,536
Produzione specifica netta di energia elettrica (detratti i consumi di gasolio e metano) (tep/t rifiuto incenerito)	0,057	0,063	0,069	0,076	0,090	0,123	0,122

Consumo risorse energetiche	Anno 2006	Anno 2007	Anno 2008	Anno 2009	Anno 2010	Anno 2011	Anno 2012
Metano (m ³)	420.576	0	0	0	52.241	42.107	69.358
Gasolio (m ³)	158	213	192	172	143	105	-
Energia elettrica (MWh)	9.363	8.765	8.289	9332	16.944	21.950	24.802
Metano (tep)	-345	0	0	0	-42,8	-34,5	-56,9
Gasolio (tep)	-121	-173	-156	-139	-116	-85,1	-
Energia elettrica consumata (tep)	-2.153	-2.034	-1.906	-2.154	-3856	-5047	-5704
Consumi totali di risorse energetiche (tep)	-2.618	-2.207	-2.062	-2.293	-4015	-5167	-5761,3
Produzione risorse energetiche, tep:							
Energia elettrica prodotta (tep)	6.723	6.926	7.570	8.415	17.186	26.454	28.252
Produzione netta di energia elettrica (detratti i consumi di gasolio, metano, EE) (tep)	4.104	4.719	5.508	6.122	13.171	21.041	22.490

È stata quindi costruita la seguente tabella con i dati da inserire in EnergyPLAN:

Tipologia rifiuti	Quantità [t]	PCI [kcal/kg]	Prod. termica GWh/anno	Prod. elettrica [GWh/anno]
Rifiuti urbani + speciali	182842	3070	652,852	98,82
Rifiuti sanitari pericolosi	1294	6000	9,030	Rendimento elettrico
Farmaci	70	6000	0,488	0,15
Totale	184206		662,371	

Nota: per ricavare il rendimento elettrico a partire dall'energia elettrica, in quest'ultima non è stata contabilizzata l'energia elettrica destinata agli autoconsumi dell'impianto (per non creare problemi nei risultati forniti dal software).

È stato assunto un totale di giorni di funzionamento pari a 328 giorni/anno. La distribuzione oraria del fattore di carico è stato quindi posta pari a 1 per 328 giorni, pari a zero nei 38 giorni rimanenti. I 38 giorni di inattività (non avendo informazioni più precise a disposizione) sono stati distribuiti equamente nei 12 mesi.

Mese	Giorni di attività
Gennaio	27 giorni e 20 ore
Febbraio	25 giorni e 20 ore
Marzo	27 giorni e 20 ore
Aprile	26 giorni e 20 ore
Maggio	27 giorni e 20 ore
Giugno	26 giorni e 20 ore
Luglio	27 giorni e 20 ore
Agosto	27 giorni e 20 ore
Settembre	26 giorni e 20 ore
Ottobre	27 giorni e 20 ore
Novembre	26 giorni e 20 ore
Dicembre	27 giorni e 20 ore

2.9 Parametri di input aggiuntivi.

Quest'ultima sezione si riferisce alla produzione di anidride carbonica dovuta alla produzione di energia a partire da combustibili fossili. La compilazione è avvenuta in questo modo:

[kg/GJ]	Carbone	Petrolio (Olio)	Gas	Biomassa	Rifiuti
Produzione di CO ₂	95	70	57	0	30

2.10 Risultati ottenuti e verifica del modello sullo stato attuale del sistema energetico padovano.

Una volta inseriti nel software tutti i parametri di input citati in precedenza, i risultati ottenuti devono essere verificati e validati, in modo da essere sicuri sulla correttezza del modello implementato. Solo in seguito a questa verifica si potrà procedere con l'analisi di possibili scenari.

Per ottenere i risultati bisogna però aggiungere anche i seguenti ulteriori parametri:

- Strategia di ottimizzazione: si è scelto di eseguire un'ottimizzazione di tipo tecnico;
- Strategia di regolazione: nella realtà del comune di Padova, la cogenerazione rappresenta una realtà ancora marginale (con bassissimo livello di penetrazione); per questo motivo tale scelta non va ad influenzare i risultati. Nonostante ciò, è stata scelta la modalità di inseguimento della domanda di calore;
- Minima produzione da impianti stabilizzanti: questa scelta è relativa alla produzione da impianti di produzione di energia elettrica che comportano una certa stabilità nella rete elettrica. Essendo però l'energia elettrica utilizzata dall'intero comune quasi totalmente importata, si può concludere che anche questo parametro non rappresenta un vincolo significativo.
- Regolazione della CEEP: anche in questo caso non risulta necessaria alcuna opzione di regolazione, in quanto nel comune padovano non viene prodotta energia elettrica in eccesso rispetto alla domanda.

A questo punto, tutti gli input necessari sono stati inseriti, e quindi è possibile lanciare la simulazione. Nel software è possibile visualizzare i risultati anche in forma grafica (nella scheda "Graphics"), ma risulta di certo più conveniente importare tutti i risultati in forma tabellare in un foglio di calcolo EXCEL, in maniera tale da poter effettuare le operazioni desiderate. Prima di lanciare la simulazione, è possibile impostare il livello di dettaglio con cui si vogliono conoscere i risultati (è possibile ottenere valori orari, mensili, annuali) nella scheda "Screen".

L'ultima operazione da compiere è quella di verificare, nella sezione "Overview", che l'ultimo bottone in basso sia impostato in "Ascii": con questa impostazione, i

risultati ottenuti sono separati da “;”. In questo modo, infatti, l’importazione in EXCEL risulta molto semplice.

È possibile, inoltre, ottenere risultati più dettagliati, soprattutto per quanto riguarda il consumo di combustibili e la produzione di anidride carbonica: per far questo è possibile stampare (in forma cartacea o su file), il riepilogo completo degli output, cliccando sull’icona della stampante sul menu a tendina. Si otterrà un file risultati come quello riportato alla pagina seguente.

I due principali output di interesse sono i seguenti:

CONSUMO TOTALE DI ENERGIA PRIMARIA: 4938 GWh/anno

PRODUZIONE DI ANIDRIDE CARBONICA: 1031 kt/anno

LE EMISSIONI DEL COMUNE DI PADOVA.

L'inventario delle emissioni di gas serra del Comune è uno strumento fondamentale per realizzare un'efficace strategia di mitigazione. È tramite l'inventario, infatti, che emergono i settori maggiormente responsabili delle emissioni a livello locale, sui quali quindi è necessario intervenire per ottenere dei risultati efficaci.

Per il Comune di Padova, l'inventario è stato realizzato, nel Piano di Azione per l'Energia Sostenibile, prendendo come anno di riferimento il 2004, primo anno su cui erano disponibili serie storiche di dati complete ed affidabili.

Le emissioni sono suddivisibili in due grandi categorie, funzionali a definire gli ambiti di intervento prioritari:

- a. Emissioni del territorio comunale: comprende tutte le emissioni generate all'interno dei confini amministrativi del Comune (comprende quindi al suo interno anche quelle dirette dell'ente).
- b. Emissioni dell'ente: tutte le emissioni di cui è direttamente responsabile il comune (illuminazione pubblica, consumi elettrici e di riscaldamento di tutti gli edifici di proprietà del comune); questo gruppo di emissioni è un sottoinsieme di quelle generate a livello territoriale descritte nel punto precedente.

Ogni sezione è a sua volta suddivisa nei principali settori responsabili dei consumi energetici, e quindi della generazione di gas serra.

Di seguito viene riportata la tabella riassuntiva per l'anno 2004:

Emissioni a Padova nell'anno 2005	
Emissioni totali di gas serra del territorio comunale (tCO ₂ e)	1.892.158
Di cui emissioni dell'ente (tCO ₂ e)	53.809
Emissioni pro capite (tCO ₂ e)	8,93

L'unico dato che quindi si ha a disposizione per la verifica del modello è quello relativo alle emissioni di anidride carbonica: esso è pari a 1.852.158 t di CO₂ immesse in atmosfera. Il contributo che il Comune di Padova forniva, nel 2005, alle emissioni totali della nazione, ammontava allo 0,4%: le emissioni totali a livello nazionale erano infatti pari a 480 Mt di CO₂ (Dati Ispra). Le emissioni pro-capite ammontavano a 8,93 t di CO₂eq, mentre la media nazionale era pari a 8,21.

Per avere un valore, almeno teorico, per il 2013, sono state sottratte a tale valore le emissioni risparmiate per effetto dei progetti realizzati dal comune di Padova fino al 2013 e che hanno come finalità proprio la riduzione di emissioni di gas serra in atmosfera. Nella tabella seguente si riportano i calcoli effettuati:

Progetti realizzati al 2011	Fine Lavori	Risparmio annuale [t]
Impianti solari su edifici comunali	2009	
Fotovoltaico e geotermico	2009	
Fotovoltaico	2010	
Acquisto del 18% di elettricità verde del Comune	2008	
Impianto di digestione anaerobica dei fanghi	2005	
Assorbimento delle aree verdi	2009	
Teleriscaldamento Savonarola	2008	1870
Percorsi sicuri casa- scuola	2010	51
CITYPORTO	2010	31
Sostituzione veicoli comunali	2010	330
Realizzazione prima linea Metropolitana di superficie	2010	4316
Potenz. infrastruttura ferroviaria dell'Interporto	2010	5954
Progetti previsti entro il 2013		
Incentivi per diffusione fotovoltaico e solare termico	2011	
Padova Solare	2013	
Fotovoltaico su edifici comunali	2011	
Fotovoltaico su edifici comunali	2011	
Fotovoltaico su edifici comunali e pubblici	2011	
Fotovoltaico- Interporto	2011	
Fotovoltaico su edifici pubblici di grandi dimensioni	2011	
Biodigestore per rifiuti organici	2013	3694
Revamping del turboespansore di via Corrado	2011	2892
Efficientamento energetico degli edifici pubblici	2011	7240
Efficientamento illuminazione pubblica	2011	4318
Piano della ciclabilità di Padova	2015	17156
Totale risparmio emissioni [t]		67144,1

Emissioni al 2005 [t]		1852158
Emissioni teoriche al 2013 [t]		1785013
Totale abitanti comune di Padova (2013)		209679
Emissioni Procapite (2013)		8,51

Il valore ricavato sembra, almeno ad una prima analisi, molto diverso rispetto al valore restituito da EnergyPLAN. Il problema è che il software non tiene in considerazione, nel calcolo delle emissioni, dell'energia elettrica importata, che invece viene contabilizzata all'interno del documento redatto dal comune.

Per questo motivo, bisogna ricavare il dato relativo all'energia elettrica importata, considerare un dato che sia rappresentativo delle emissioni medie del parco di produzione elettrica italiano per poi trovare le emissioni derivanti dall'importazione di energia elettrica: queste infatti non sono emissioni rilasciate direttamente dal territorio padovano, ma sono comunque emissioni causate dalle esigenze energetiche di questo territorio, e per questo motivo risulta corretto prenderle in considerazione.

È stata quindi costruita la seguente tabella per trovare le emissioni totali per l'anno 2013, ipotizzando che l'energia elettrica importata sia prodotta da impianti termoelettrici:

Import energia elettrica comune Padova	1199	GWh
Emissioni medie parco termoelettrico	0,541	kg/kWh
Emissioni Comune Padova dovute ai consumi di EE	648659	t
Emissioni ricavate da EnergyPLAN (escluso import di Energia elettrica)	1031300	t
Totale emissioni (incluso import di energia elettrica)	1679959	t

Vengono ora confrontati i risultati ottenuti con il Piano di Azione per l'Energia Sostenibile e quelli ottenuti con EnergyPLAN:

Emissioni teoriche 2013 PAES [t]	Emissioni ricavate con EnergyPLAN [t]	Variazione percentuale
1785013	1679959	5,88

I risultati sono molto vicini (la variazione percentuale è bassa), quindi si può affermare che, in questa ipotesi, il modello sia stato implementato nella maniera corretta.

Bisogna però fare un'altra considerazione: non si ha infatti la sicurezza che l'energia elettrica importata dal Comune di Padova provenga interamente da produzione termoelettrica, ma potrebbe essere prodotta anche da fonti rinnovabili.

Per questo motivo, nella tabella seguente sono eseguiti gli stessi calcoli, ma considerando un valore di emissione media dell'intero parco di produzione di energia elettrica, che comprende quindi termoelettrico e fonti rinnovabili.

Per trovare il valore medio di emissione dell'intero parco, si considera la domanda nazionale di energia elettrica per l'anno 2012, pari a 328,2 TWh, e la quota coperta da fonti rinnovabili, pari a 87,5 TWh: la produzione da termoelettrico, quindi, è pari alla differenza tra questi due valori, cioè 240,7 TWh. Per le fonti rinnovabili si considera un fattore di emissione nullo, mentre per il termoelettrico si utilizza un fattore di emissione pari a 541 t/GWh (=0,541 kg/kWh).

Facendo una media pesata si ottiene il seguente risultato:

$$f_{emissione} = \frac{240,7 \cdot 0,541 + 87,5 \cdot 0}{(240,7 + 87,5)} = 0,397 \frac{kg}{kWh}$$

Questo valore viene quindi utilizzato per ricavare l'anidride carbonica immessa in atmosfera derivante dalla produzione di energia elettrica che viene importata dal comune di Padova:

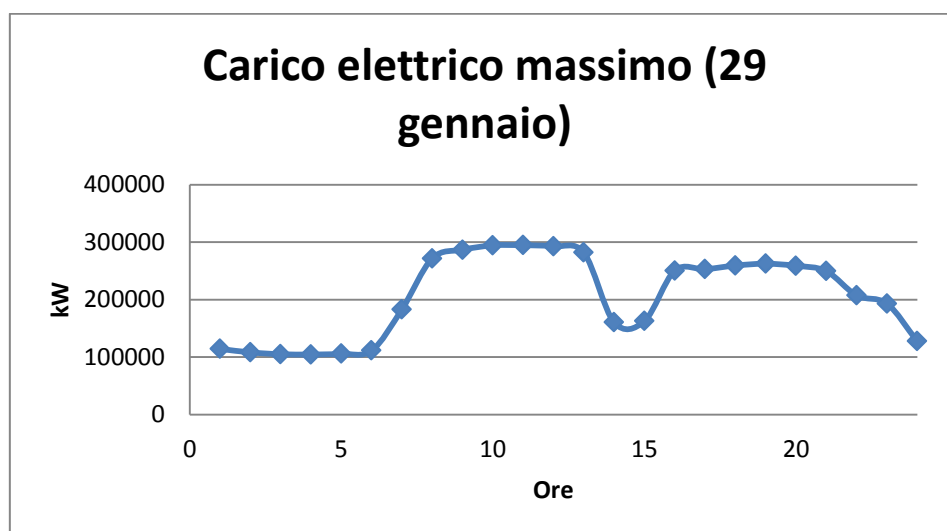
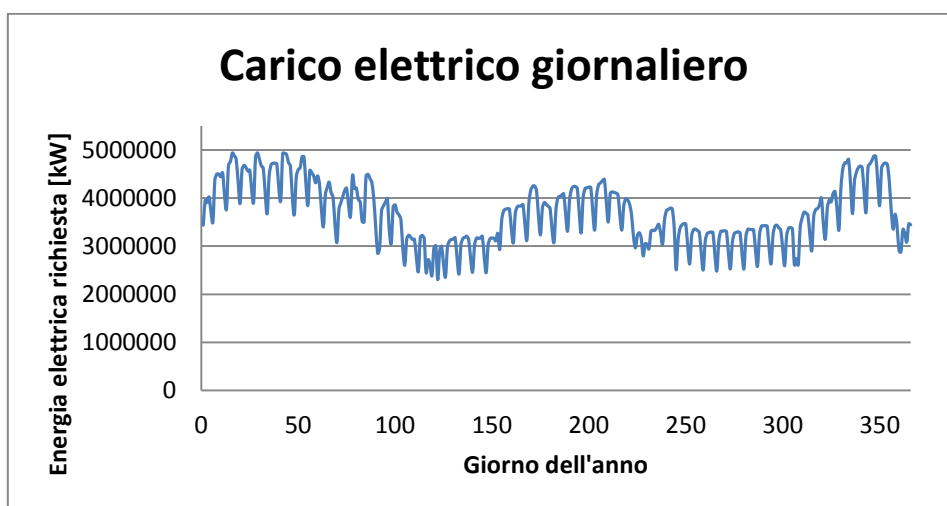
Import energia elettrica comune Padova	1199	GWh
Emissioni medie parco termoelettrico	0,397	kg/kWh
Emissioni Comune Padova dovute ai consumi di EE	476003	t
Emissioni ricavate da EnergyPLAN (escluso import di Energia elettrica)	1031300	t
Totale emissioni (incluso import di energia elettrica)	1507303	t

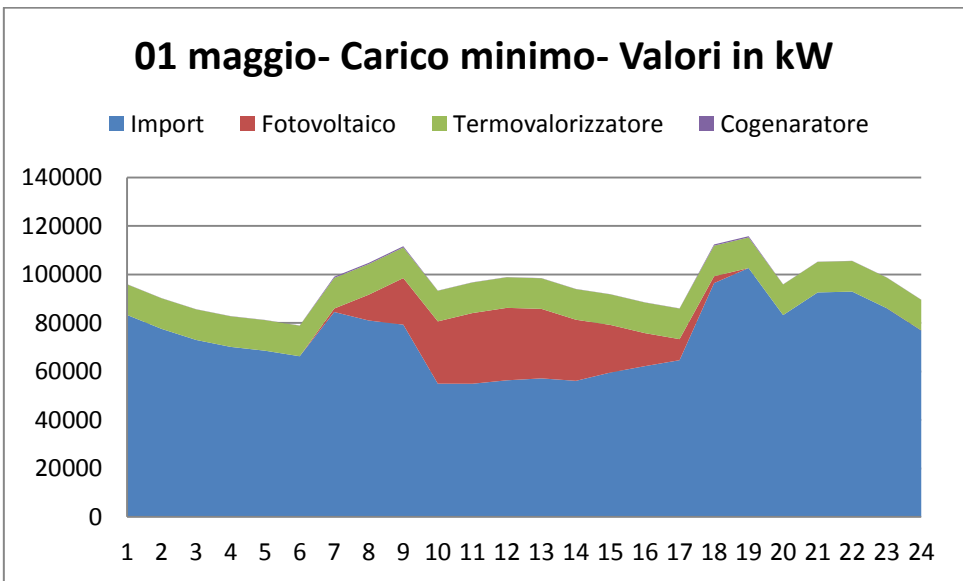
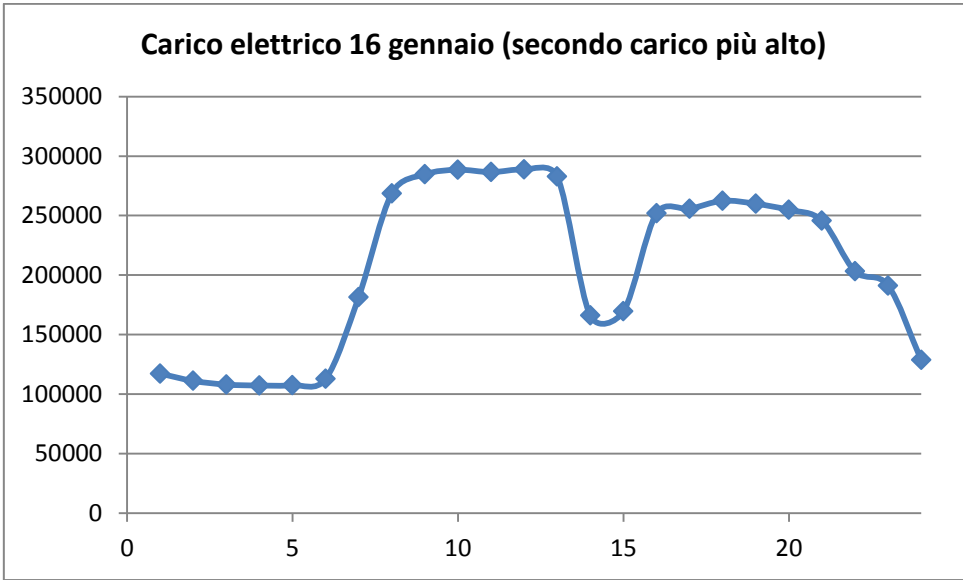
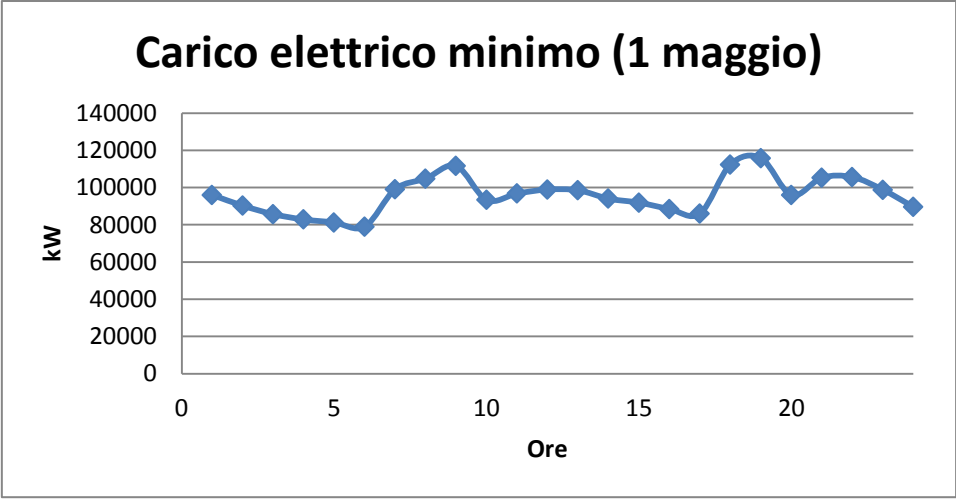
Emissioni teoriche 2013 PAES [t]	Emissioni ricavate con EnergyPLAN [t]	Variazione percentuale
1785013	1507303	15,5

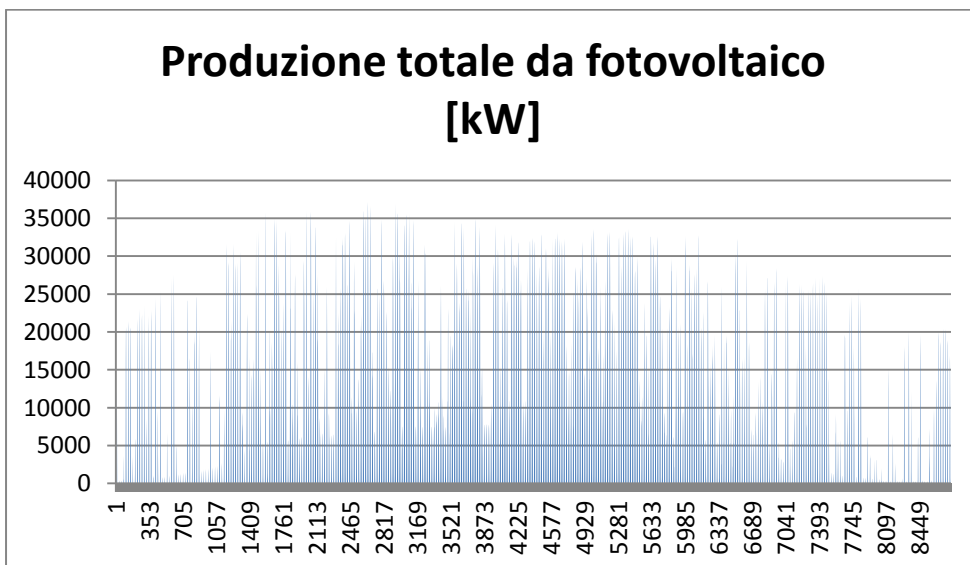
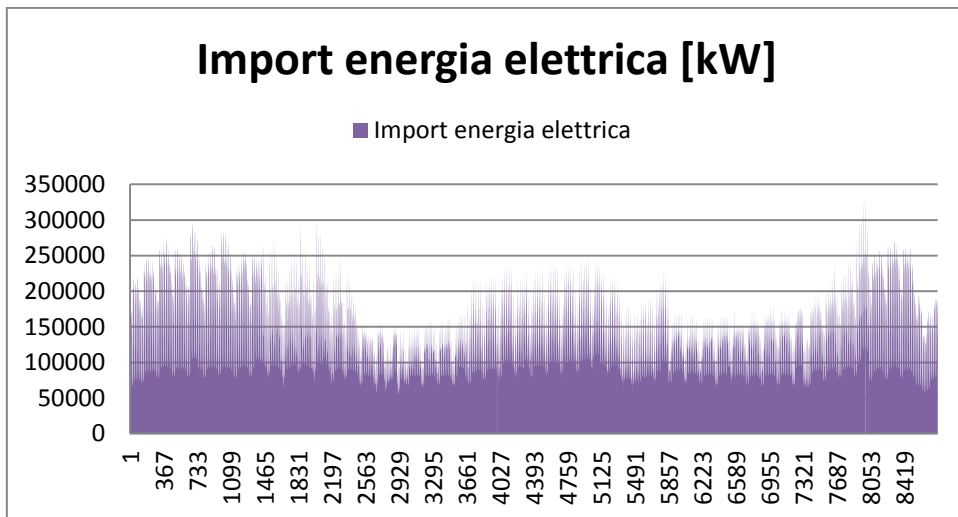
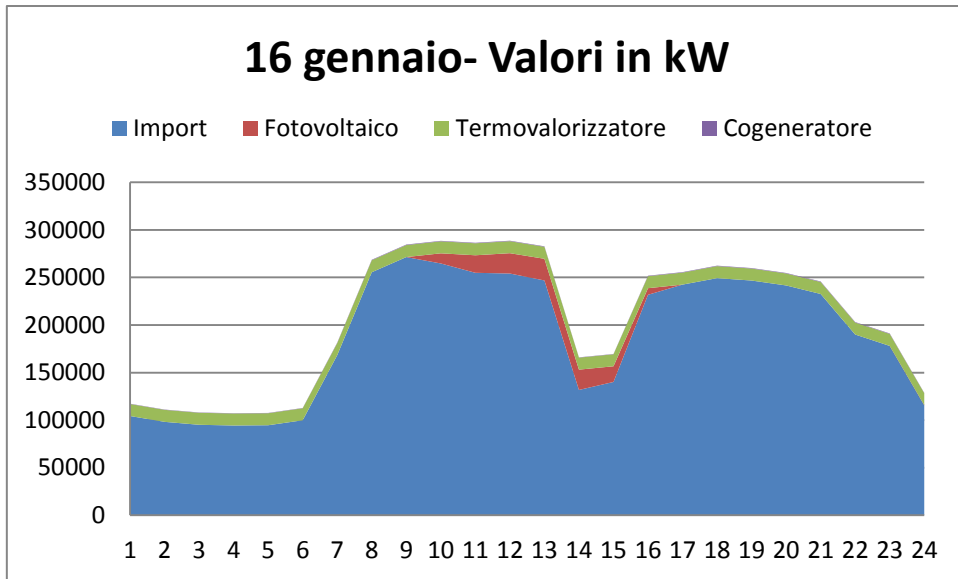
In quest'ultimo caso, la differenza nel valore delle emissioni non risulta più trascurabile. Bisogna però considerare che il settore energetico non è l'unico responsabile delle emissioni di gas climalteranti in atmosfera: di conseguenza il valore ricavato dal software sarà sicuramente un valore più basso rispetto alle emissioni reali. Un altro fattore che sicuramente ha causato un calo notevole delle emissioni di anidride carbonica rispetto al 2005 è stata la crisi economica, a partire dal 2009.

Si procede quindi ugualmente con l'analisi dei risultati ottenuti e la costruzione di nuovi scenari in quanto, anche se il valore esatto delle emissioni non è perfettamente coincidente con quello del PAES, gli incrementi o i decrementi che si otterranno nella costruzione di nuovi scenari saranno validi ugualmente.

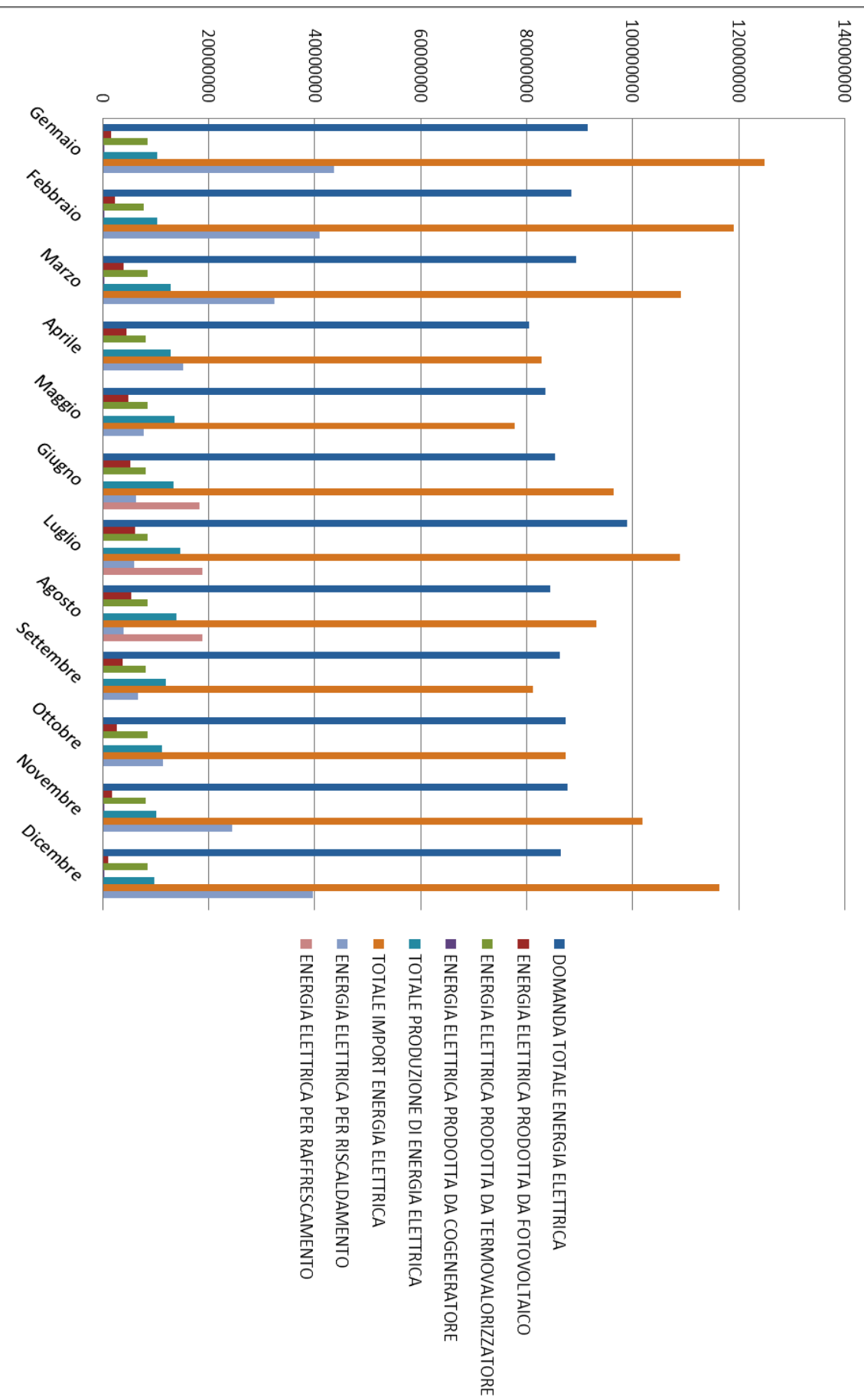
Vengono riportati di seguito alcuni diagrammi e alcuni grafici che sono stati costruiti a partire dal file risultati restituito in output dal software in seguito alla simulazione. il carico elettrico massimo si è avuto nella giornata del 29 gennaio. Tuttavia, sono stati riportati anche i grafici relativi alla giornata del 16 gennaio (secondo carico elettrico più elevato dell'anno). Questo perché nella modellizzazione del sistema energetico si è ipotizzato che nella giornata del 29 gennaio il termovalorizzatore non fosse funzionante. Per avere quindi risultati comprensivi anche del contributo della centrale di termovalorizzazione è stata considerata anche quest'altra giornata.

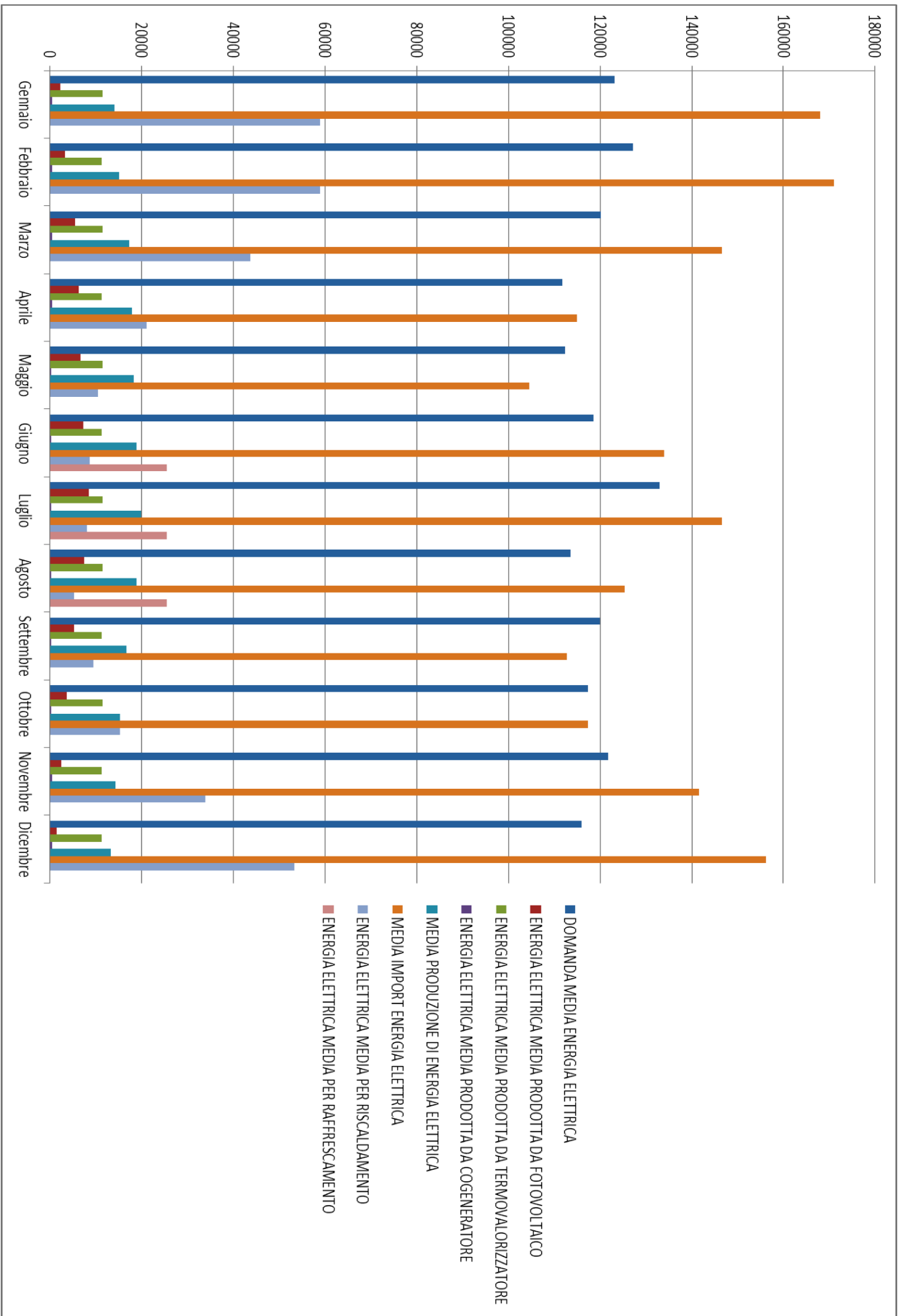




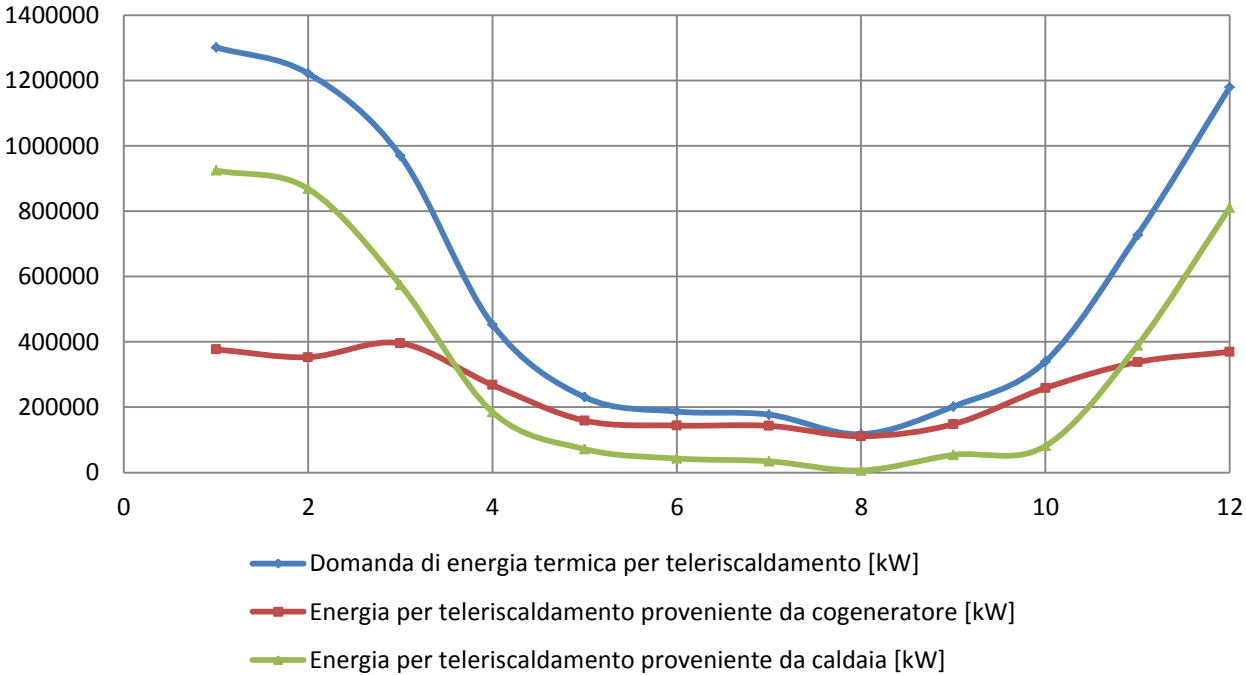


Energia elettrica [kW]





Teleriscaldamento



3. ANALISI DI SCENARI SIGNIFICATIVI

In questa sezione verranno presi in considerazione i progetti sviluppati dal comune di Padova che dovranno essere realizzati entro il 2020, e che servono a diminuire le emissioni di anidride carbonica in atmosfera delle quantità stabilite dal Patto dei Sindaci.

3.1 Fotovoltaico:

Si considererà dapprima una notevole espansione del fotovoltaico nel territorio comunale, che sarà incentivata attraverso 3 progetti:

✚ **Progetto 1:** Il comune si impegna a promuovere l'adozione, a partire dal 2015, di impianti fotovoltaici su altri 1.500 edifici privati, in modo da raddoppiare la performance prevista di introduzione del fotovoltaico nell'edificio privato.

Come già specificato in precedenza, nel territorio italiano la media di abitazioni per ogni edificio è pari a circa 2,46. Considerando poi una potenza media di installazione degli impianti fotovoltaici per ogni abitazione pari a 3 kWp, è stato effettuato il seguente calcolo per trovare la capacità complessiva installata (dato che poi verrà inserito in EnergyPLAN):

$$1500 \text{ edifici} \cdot 2,46 \frac{\text{abitazioni}}{\text{edificio}} \cdot 3 \frac{\text{kWp}}{\text{abitazione}} = 11.070 \text{ kWp}$$

Tale procedimento di calcolo è stato adottato in quanto non si avevano a disposizione dati precisi riguardanti la capacità che verrà installata nei 1500 edifici presi in considerazione.

Questo intervento dovrebbe comportare il risparmio di circa 3.240 tonnellate di CO₂.

✚ **Progetto 2:** Valutata l'estensione della Zona Industriale di Padova (circa 9 milioni di metri quadrati), è stato stimato il potenziale di produzione elettrica da fotovoltaico per i tetti presenti nell'area in 50 MWp, da realizzarsi con la sinergia di tutti gli interlocutori del territorio.

Questo secondo progetto porterà al risparmio di circa 31.765 tonnellate di CO₂.

✚ **Progetto 3:** Il comune di Padova prevede, per la seconda parte del Piano di mitigazione e di adattamento, di raddoppiare la potenza installata sugli edifici comunali (e sui parcheggi scambiatori) con i progetti a termine nel 2011, introducendo quindi altri 2786 kWp.

Questo terzo ed ultimo intervento previsto dovrebbe diminuire le emissioni di CO₂ di circa 1.506 tonnellate.

Si riporta qui di seguito una tabella riassuntiva dei tre progetti sopracitati:

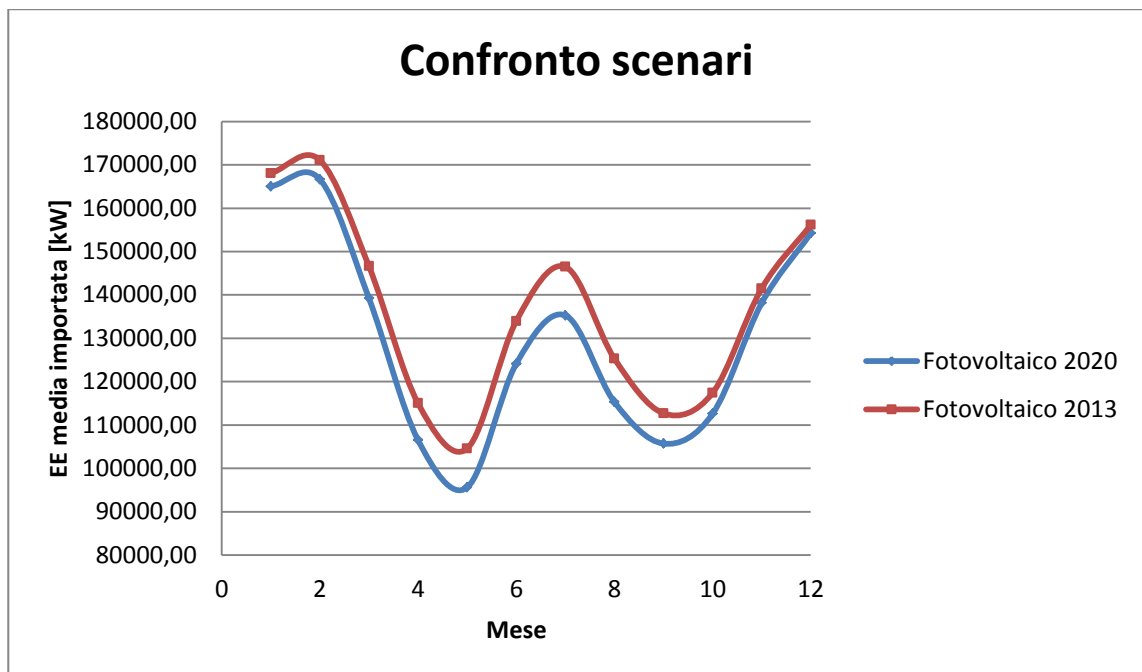
Progetto	Capacità installata [kW]	t CO2 risparmiate
1	11.070	3.240
2	50.000	31.765
3	2.786	1.506
Totale	63.856	36.511

I 63.856 kWp che verranno installati entro il 2020, quindi, si andranno ad aggiungere ai 47.333 kWp installati a fine 2013, per un totale di 111.189 kWp.

Questa nuova capacità installata andrà ovviamente a diminuire la quantità di energia elettrica che verrà importata dal comune di Padova (a parità di domanda).

Si riportano qui di seguito la tabella e il grafico che rappresentano il confronto tra energia elettrica importata nel 2013 e quella importata nel 2020:

	Fotovoltaico 2020	Fotovoltaico 2013
	Import	Import
Totale annuale [GWh/anno]	1140,04	1198,94
Valori medi mensili [kW]		
Gennaio	165053,00	168071,71
Febbraio	166661,00	171084,29
Marzo	139240,00	146616,17
Aprile	106517,00	115001,69
Maggio	95584,00	104558,57
Giugno	124116,00	133950,24
Luglio	135291,00	146489,64
Agosto	115303,00	125301,80
Settembre	105710,00	112688,85
Ottobre	112562,00	117391,30
Novembre	138122,00	141481,56
Dicembre	154208,00	156129,73



Osservando i risultati, si può concludere che i 3 progetti, se realizzati, comporteranno una diminuzione di energia elettrica importata pari a circa 59 GWh/anno. Considerando un valore medio di emissione del parco termoelettrico italiano pari a $0,56 \frac{kg_{CO_2}}{kWh_{el}}$, si avrà un totale emissioni risparmiate pari a:

$$59 \cdot 10^6 kWh \cdot 0,00056 \frac{t}{kWh} = 33.040 t$$

Il valore ottenuto è molto vicino a quello stimato dal comune di Padova nel Piano di Azione per l'Energia Sostenibile (differenza inferiore al 10%).

3.2 TRASPORTI.

In questa seconda analisi di scenario verrà preso in considerazione il settore dei trasporti, cercando di ricostruire una possibile evoluzione del parco mezzi del Comune di Padova fino al 2020.

Per fare questo, è stato preso come riferimento il documento elaborato dall'Unione Petrolifera dal titolo "Previsioni di domanda energetica e petrolifera italiana 2012>2025": questo documento, infatti, contiene diverse tabelle sulla trasformazione del settore trasporti nazionale dal 2012 al 2025.

Grazie a questo documento e alle tabelle fornite nel sito dell'ACI, i dati nazionali sono stati ricostruiti e ritirati per il comune di Padova. Ovviamente, nel considerare l'evoluzione di questo settore si possono assumere diverse ipotesi di partenza, che possono portare quindi a risultati diversi tra di loro. In questo lavoro, si è cercato di essere più fedeli possibile alle ipotesi fatte dall'Unione Petrolifera.

Nel sito dell'ACI è possibile scaricare la documentazione relativa all'intero parco mezzi della provincia di Padova, suddiviso per tipologia e categoria di alimentazione. Dati più precisi a livello comunale si hanno solamente per tipologia di veicoli, non per categoria di alimentazione. Per avere un valore indicativo riguardante la categoria di alimentazione, quindi, si sono riscaldati i dati provinciali a livello comunale; i risultati ottenuti sono rappresentati nella seguente tabella:

DATI TRATTI DAL SITO ACI			
	ALIMENTAZIONE	PROVINCIA DI PADOVA	COMUNE DI PADOVA
AUTOVETTURE	BENZINA	289801	62498
	BENZINA O GPL	47381	10218
	BENZINA O MET.	15730	3392
	GASOLIO	217397	46883
	TOTALE	570309	122991
AUTOBUS	BENZINA		0
	GPL		0
	METANO		105
	GASOLIO		291
	TOTALE		396
MOTOCICLI	BENZINA		27568
	TOTALE		27568
VEICOLI INDUS. LEGGERI + PESANTI	BENZINA	2007	335
	BENZINA O GPL	745	124
	BENZINA O MET.	1371	229
	GASOLIO	71112	11858
	TOTALE	75235	12546
TRATTORI STRADALI	BENZINA	4	0
	BENZINA O GPL	0	0
	BENZINA O MET.	0	0
	GASOLIO	3511	373
	TOTALE	3515	373

Note sulla tabella:

- Valori non evidenziati: dati tratti dal sito dell'ACI, e validi per la provincia di Padova;
- Valori evidenziati in verde: valori messi a disposizione dall'ACI e validi a livello comunale;
- Valore evidenziato in giallo: dato tratto dal sito www.apsholding.it (sito della Società responsabile del trasporto pubblico del comune di Padova);
- Valori scritti in rosso: valori ricavati riscaldando i valori che si hanno a livello provinciale.

TOTALE VEICOLI	163874
Totale veicoli benzina	90401
Totale veicoli benzina+ gpl	10342
Totale veicoli benzina + metano	3726
Totale veicoli Gasolio	59405

Ora, dal documento elaborato dall'Unione Petrolifera si sono ricavati i consumi di benzina e di gasolio a livello nazionale, calcolando anche la percentuale consumata per tipologia di veicolo:

Consumi nazionali benzina 2013	t	% sul totale
Autovetture	6394000	77,14
Motoveicoli	1540000	18,58
Veicoli commerciali	355000	4,28
Totale	8289000	100
Consumi nazionali gasolio 2013	t	% sul totale
Autobus	1260000	5,40
Veicoli commerciali	12462000	53,36
Autovetture	9631000	41,24
Totale	23353000	100

Partendo dai dati relativi ai consumi di combustibile nel settore dei trasporti del comune di Padova (vedi paragrafo "Trasporti" descritto in precedenza), e considerando le stesse quote percentuali che si hanno a livello nazionale riguardanti i consumi per tipologia di veicolo, è stata costruita la seguente tabella:

Consumi padovani benzina 2012	t	% sul totale	Numero veicoli	Consumo unitario [kg]
Autovetture	21865,53	77,14	62498	349,86
Motoveicoli	5266,33	18,58	27568	191,03
Veicoli commerciali	1213,99	4,28	335	3623,86
Totale	28345,85	100,00	90401	
Consumi padovani gasolio 2012	t	% sul totale	Numero veicoli	Consumo unitario [kg]
Autobus	4385,86	5,40	291	15071,67
Veicoli commerciali	43378,21	53,36	12231	3546,58
Autovetture	33523,96	41,24	46883	715,06
Totale	81288,03	100	59405	

L'Unione Petrolifera, tuttavia, non fornisce alcun dato riguardante i consumi di GPL e metano distinti per tipologia di veicolo. Tali valori sono stati quindi ricostruiti sulla base dei consumi che si hanno a livello comunale (ricostruiti sempre come spiegato nella sezione "Trasporti" descritta in precedenza) e considerando, per i veicoli a GPL, la stessa ripartizione percentuale dei veicoli a benzina (escludendo i motoveicoli), mentre per i veicoli a metano è stata considerata la stessa ripartizione dei veicoli a gasolio (in quanto i rispettivi parchi sono molto simili tra di loro):

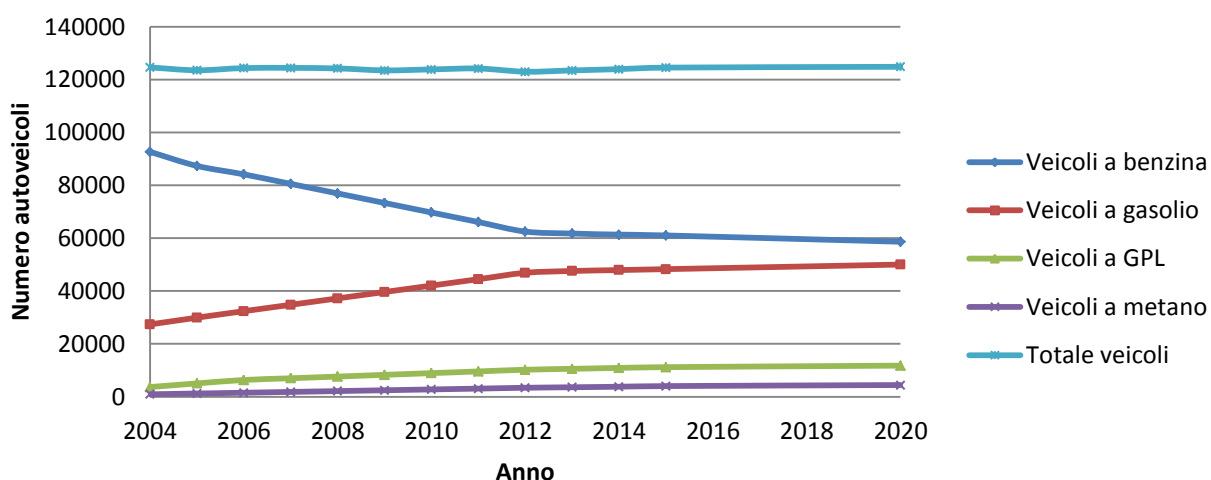
Consumi padovani GPL 2012	t	% sul totale	Numero veicoli	Consumo unitario [kg]
Autovetture	4822,73	95,72	10218	471,98
Veicoli commerciali	215,79	4,28	124	1740,23
Totale	5038,52	100	10342	
Consumi padovani metano 2012	Mmc	% sul totale	Numero veicoli	Consumo unitario [m³]
Autovetture	1,27	41,24	3392	374,24
Autobus	0,17	5,40	105	1581,67
Veicoli industriali	1,64	53,36	229	7172,76
Totale	3,08	100		

Tabella riassuntiva dei consumi:

Consumi benzina	Tonnellate	GWh	Consumo unitario [kg]	Consumo unitario [MWh]
Autovetture	21865,53	264,82	349,86	4,24
Motoveicoli	5266,33	63,78	191,03	2,31
Autocarri	1213,99	14,70	3623,86	43,89
Totale	28345,85	343,30		
Consumi gasolio	Tonnellate	GWh	Consumo unitario [kg]	Consumo unitario [MWh]
Autobus	4385,86	52,75	15071,67	181,28
Autocarri	43378,21	521,74	3546,58	42,66
Autovetture	33523,96	403,22	715,06	8,60
Totale	81288,03	977,71		
Consumi GPL	Tonnellate	GWh	Consumo unitario [kg]	Consumo unitario [MWh]
Autovetture	4773,49	61,13	467,17	5,98
Veicoli commerciali	265,03	3,39	2137,31	27,37
Totale	5038,52	64,52		
Consumi metano	Milioni di m³	GWh	Consumo unitario [m³]	Consumo unitario [MWh]
Autovetture	1,27	12,18	374,24	3,59
Autobus	0,17	1,59	1581,67	15,18
Veicoli commerciali	1,64	15,76	7172,76	68,82
Totale	3,08	29,53		

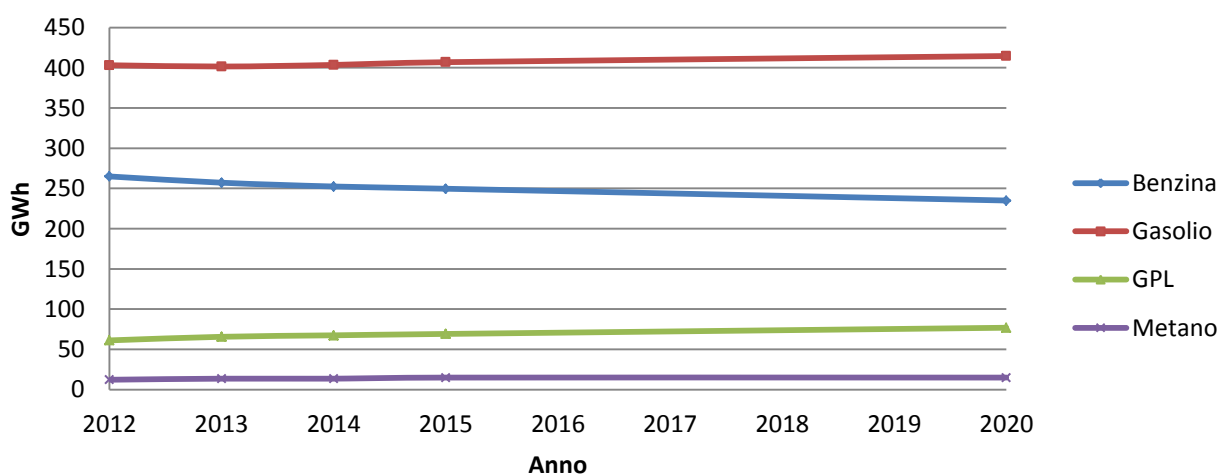
A questo punto, si assume che l'evoluzione del parco veicoli ipotizzata a livello nazionale dall'Unione Petrolifera sia valida anche per il Comune di Padova (si considerano quindi le stesse variazioni percentuali annuali sul numero di autoveicoli).

Ricostruzione parco veicoli Padovano (fonti: ACI e UP)



Si è successivamente costruito il grafico rappresentativo dei consumi di combustibile da parte delle sole autovetture (le tabelle prese come riferimento non includono anche gli altri mezzi), sempre partendo dai dati forniti dall'UP e considerando valide per il Comune di Padova le stesse variazioni percentuali annuali che si sono ipotizzate anche a livello nazionale.

Ricostruzione consumi autovetture comune di Padova fino al 2020



Infine, si è cercato di ricostruire anche una possibile evoluzione per gli altri mezzi, considerando per questi la stessa evoluzione annuale del parco autovetture; sono state considerate quindi le stesse variazioni percentuali anno per anno.

I risultati ottenuti sono rappresentati nella seguente tabella:

ANNO	2012	2013	2014	2015	2020
Consumo unitario auto a benzina [kg]	350,00	343,85	339,75	337,70	330,86
Numero auto a benzina	62498	61746	61345	61037	58637
Consumo complessivo [kg]	21874300,00	21231144,78	20841591,48	20611760,61	19400485,20
Consumo complessivo [GWh]	264,92	257,13	252,41	249,63	234,96
Variazione % consumo complessivo auto		-2,94	-1,83	-1,10	-5,88
Consumo altri mezzi [kg]	6480322,28	6289785,76	6174379,51	6106291,47	5747447,76
Variazione % consumo complessivo altri mezzi		-2,94	-1,83	-1,10	-5,88
Consumo altri mezzi [GWh]	78,48	76,18	74,78	73,95	69,61
Consumo complessivo auto + altri mezzi [GWh]	343,41	333,31	327,19	323,59	304,57
Consumo unitario auto a gasolio [kg]	715,00	701,74	700,09	700,92	689,32
Numero auto a gasolio	46883	47578	47925	48272	50009
Consumo complessivo auto a gasolio [kg]	33521345,00	33387265,37	33551556,07	33834677,00	34471699,08
Consumo complessivo [GWh]	403,19	401,57	403,55	406,96	414,62
Variazione % consumo complessivo auto		-0,40	0,49	0,84	1,88
Consumo altri mezzi [kg]	47764068,27	47573020,20	47807115,59	48210530,40	49118213,74
Variazione % consumo complessivo altri mezzi		-0,40	0,49	0,84	1,88
Consumo altri mezzi [GWh]	574,50	572,20	575,01	579,87	590,78
Consumo complessivo auto + altri mezzi [GWh]	977,68	973,77	978,56	986,82	1005,40
Totale benz+ gasolio (auto + altri mezzi) [GWh]	1321,09	1307,08	1305,76	1310,41	1309,97
Consumo unitario auto a GPL [kg]	467,00	484,72	482,68	482,28	509,73
Numero auto a GPL	10218	10562	10907	11194	11768
Consumo complessivo auto a GPL [kg]	4771806,00	5119868,87	5264537,80	5398621,21	5998468,01
Consumo complessivo [GWh]	61,11	65,56	67,42	69,13	76,81
Variazione % consumo complessivo auto		7,29	2,83	2,55	11,11
Consumo altri mezzi [kg]	215788,91	231528,88	238071,05	244134,52	271260,58
Variazione % consumo complessivo altri mezzi		7,29	2,83	2,55	11,11
Consumo altri mezzi [GWh]	2,76	2,96	3,05	3,13	3,47
Consumo complessivo auto + altri mezzi [GWh]	63,87	68,53	70,46	72,26	80,29
Consumo unitario auto a metano [mc]	374,00	392,79	372,38	384,64	350,45
Numero auto a metano	3392	3589	3785	4031	4424
Consumo complessivo auto a metano [mc]	1268608,00	1409564,44	1409564,44	1550520,89	1550520,89
Consumo complessivo [GWh]	12,17	13,52	13,52	14,88	14,88
Variazione % consumo complessivo auto		11,11	0,00	10,00	0,00
Consumo altri mezzi [mc]	1808636,61	2009596,23	2009596,23	2210555,85	2210555,85
Variazione % consumo complessivo altri mezzi		11,11	0,00	10,00	0,00
Consumo altri mezzi [GWh]	17,35	19,28	19,28	21,21	21,21
Consumo complessivo auto + altri mezzi [GWh]	29,52	32,80	32,80	36,09	36,09

ANNO	2012	2013	2014	2015	2020
Totale autovetture	122991	123474	123962	124534	124837
Consumo totale autovetture tutte le fonti [GWh]	741,39	737,79	736,90	740,60	741,27
Consumo totale altri mezzi tutte le fonti [GWh]	673,10	670,62	672,12	678,15	685,07
Consumo totale autovetture + altri mezzi [GWh]	1414,48	1408,41	1409,03	1418,75	1426,34

I dati appena ricavati sono stati successivamente inseriti nel software EnergyPLAN, in maniera da ricavare le emissioni totali di anidride carbonica dovute al settore trasporti nei diversi anni. Si riportano, nella seguente tabella, i risultati ottenuti in output (l'analisi di scenario parte dal 2014):

ANNO	2014	2015	2020
Emissioni totali [t]	365.755	368.364	371.669
Numero veicoli	123.962	124.534	124.837
Emissioni unitarie [t]	2,95	2,96	2,97

Conclusioni:

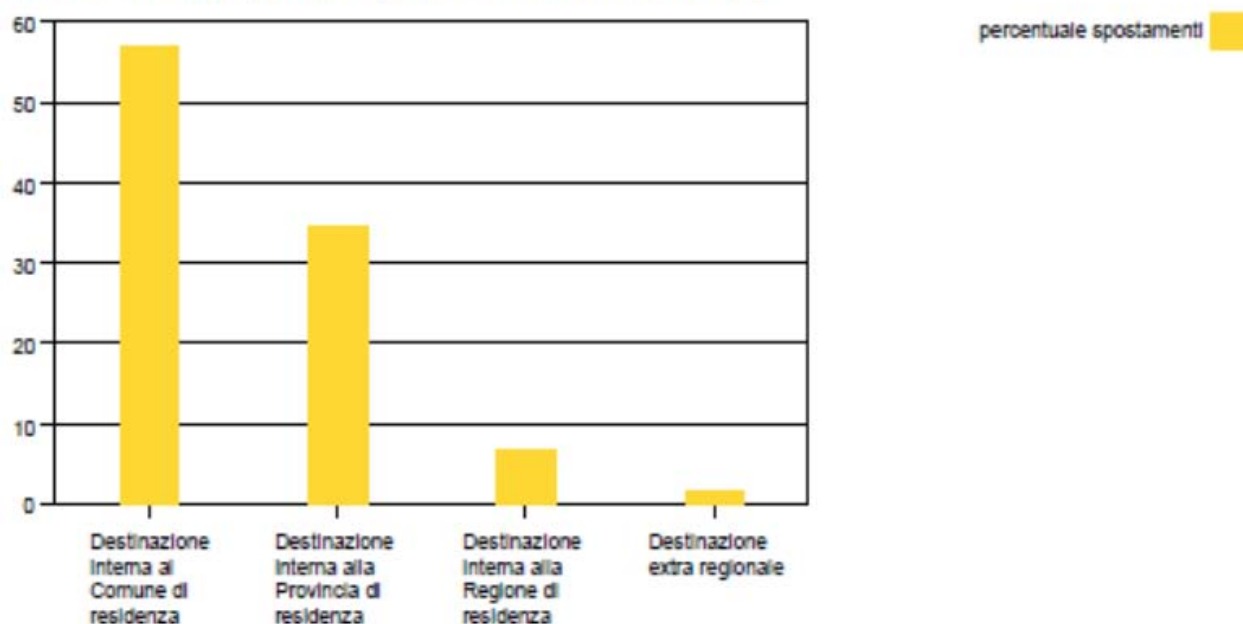
Dall'osservazione di grafici e tabelle si può affermare che, nelle ipotesi considerate dall'Unione Petrolifera, ci sarà una stabilizzazione delle emissioni (sia totali che unitarie) da parte del settore dei trasporti padovano.

Sarebbe stato di certo più interessante ottenere risultati che indicassero una diminuzione delle emissioni, ma anche una stabilizzazione delle emissioni non può essere considerato un risultato del tutto negativo, nel senso che si può sicuramente intervenire in maniera più efficace (incentivi, permessi di circolazione nelle giornate di blocco traffico...) per cercare di contrastare l'evoluzione descritta in precedenza, nonché incentivare e potenziare il settore dei trasporti pubblici per stimolare i cittadini, tramite una corretta ed efficace campagna di informazione, ad essere più sensibili nei confronti dei temi ambientali.

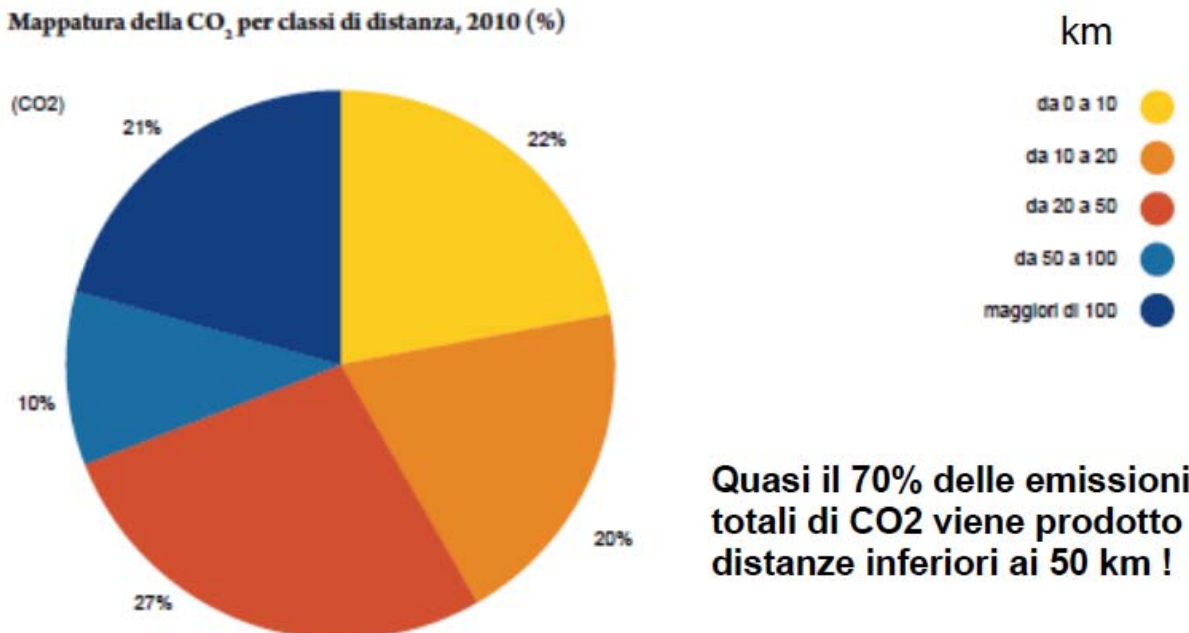
Procediamo ora con altre considerazioni, sempre inerenti il settore dei trasporti, partendo da alcuni diagrammi elaborati da ISPRA e FONDAZIONE PER LO SVILUPPO SOSTENIBILE. Ovviamente i diagrammi presi come riferimento sono validi a livello nazionale: per l'analisi di scenario che verrà trattata in questa trattazione essi sono stati ritenuti validi anche a livello comunale.

Un diagramma molto interessante è reperibile nella presentazione elaborata da Raimondo Orsini (Fondazione Sviluppo Sostenibile) e intitolata: “La riduzione delle emissioni di CO2 nel settore dei trasporti”, presentata nel 2013 al convegno organizzato dalla fondazione stessa.

Distribuzione degli spostamenti per area di destinazione, 2009 (%)



Mappatura della CO₂ per classi di distanza, 2010 (%)



Quasi il 70% delle emissioni totali di CO₂ viene prodotto su distanze inferiori ai 50 km !

Dal primo diagramma si può notare che poco più del 55% degli spostamenti avvengono all'interno del comune di residenza, quindi approssimativamente in una distanza compresa tra 0 e 10 km; dal secondo diagramma, inoltre, possiamo notare

che circa il 22% delle emissioni di anidride carbonica attribuibili al settore dei trasporti provengono da mezzi che compiono in media distanze inferiori a 10 km. Sarà su questi mezzi che verranno fatte alcune considerazioni in vista di una possibile diminuzione delle emissioni. Tale analisi, inoltre, sarà condotta solo per le autovetture: questo soprattutto per l'impossibilità riscontrata nel reperire dati relativi ai consumi di combustibile per le altre tipologie di veicoli.

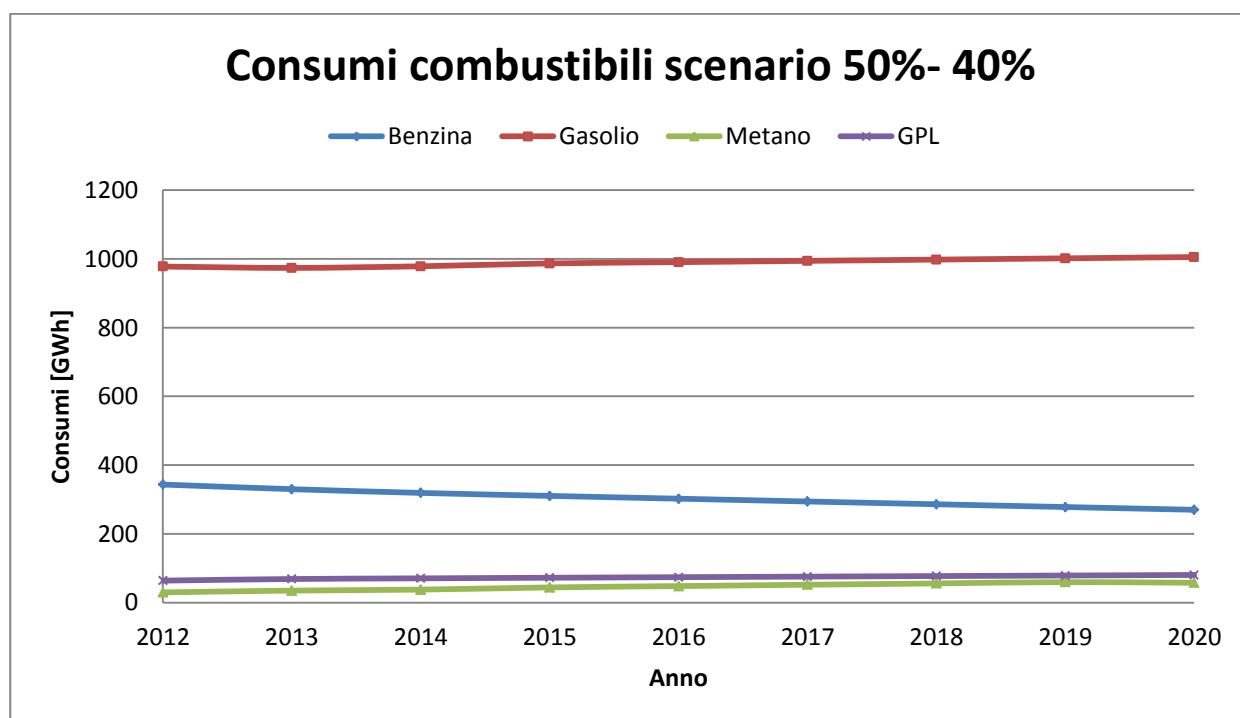
Considerando il numero totale di automobili presente nel comune di Padova, si assume che circa il 50% di questi compia tragitti molto brevi, all'interno del comune di residenza. In un'ottica di scenario molto breve, cioè entro il 2020, si ipotizza di ridurre questa percentuale rispettivamente al 40%, 30%, 20%, 10% e idealmente 0% (rispetto al totale), utilizzando una diminuzione del numero dei veicoli costante anno per anno, e incrementando contemporaneamente il settore dei trasporti pubblici (per 1/3 del totale) e l'uso di veicoli a basse emissioni (metano- 2/3 del totale). Si considera un cittadino per ogni auto, e una capienza di 30 cittadini per ogni autobus. Complessivamente, quindi, si costruiranno 5 scenari.

In questa analisi, inoltre, verranno prese in considerazione solo le automobili alimentate a benzina, in quanto in primo luogo questo combustibile (assieme al gasolio) contribuisce in maniera più rilevante alle emissioni in atmosfera di gas ad effetto serra, e in secondo luogo perché la percorrenza media delle auto a benzina, secondo i dati dell'Unione Petrolifera, è all'incirca la metà di quelle a gasolio, e quindi con molta probabilità le auto a benzina sono quelle maggiormente destinate per le brevi destinazioni (Dato 2012: 7790 km di un'auto a benzina contro i 15450 km di un'auto a gasolio). In terzo luogo, le auto a benzina, al 2012, rappresentano all'incirca il 50% del totale automobili presenti nel comune di Padova. Supponendo che queste siano quasi esclusivamente dedicate a tragitti di tipo urbano (normalmente una persona che deve compiere lunghi tragitti cerca soluzioni diverse dalla benzina), siamo perfettamente in accordo con le considerazioni fatte dalla Fondazione Sviluppo Sostenibile.

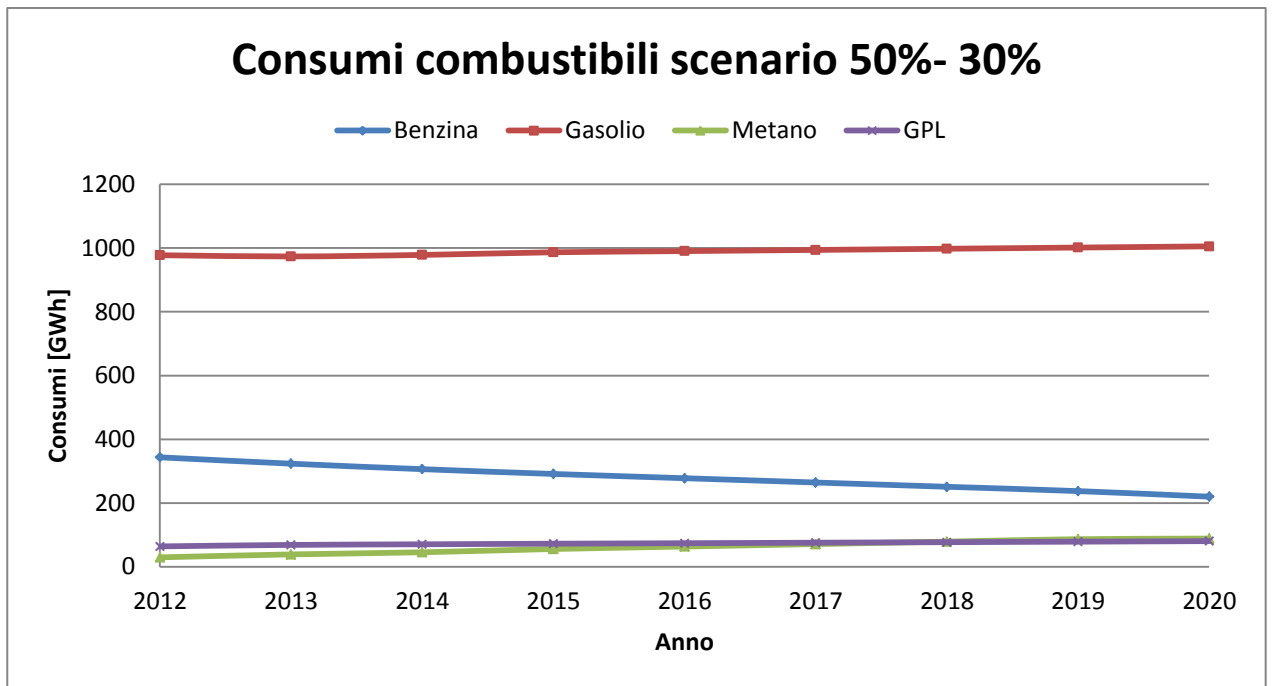
Per le automobili alimentate con gli altri combustibili (gasolio, GPL, metano) e gli altri mezzi si considera la stessa evoluzione, fino al 2020, ipotizzata dall'Unione Petrolifera.

Gli scenari costruiti sono di seguito descritti in maniera più dettagliata e rappresentati in opportuni grafici.

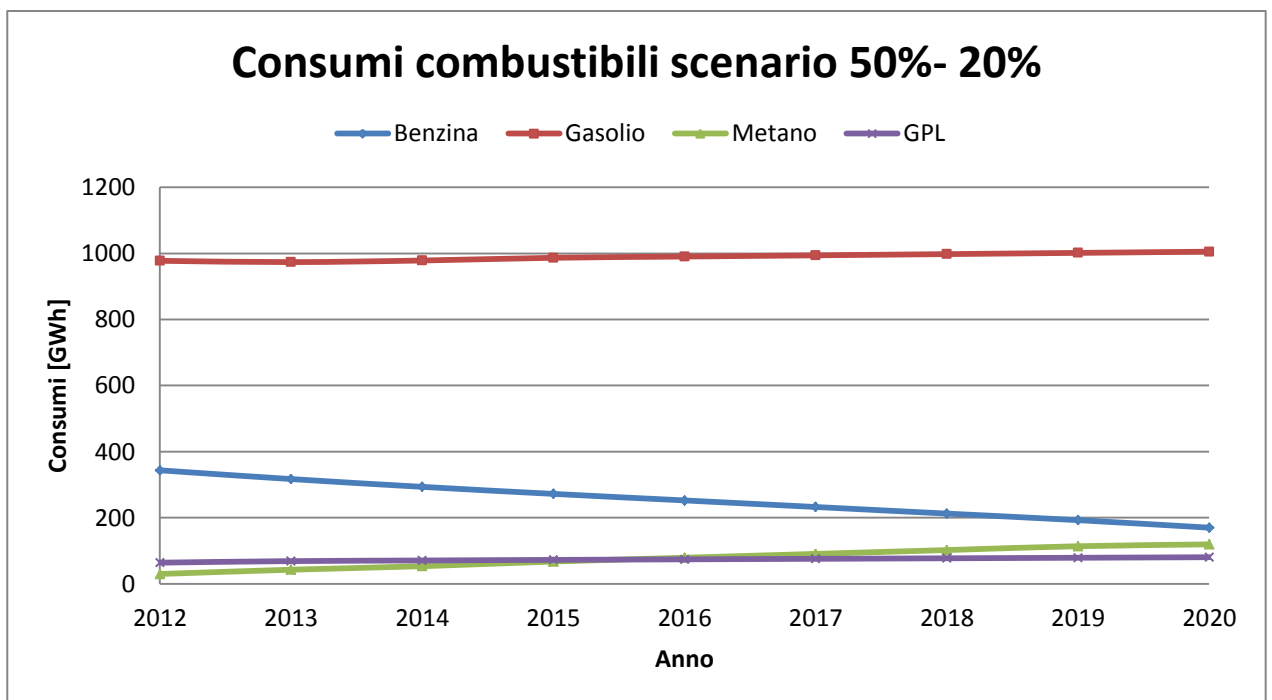
4. **Scenario 50%-40%**: le auto a benzina, nel 2012, rappresentano circa il 50% del totale auto del comune di Padova. Ipotizziamo di far scendere questa percentuale al 40%, aumentando i veicoli a metano e gli autobus per il trasporto pubblico. A fronte di una diminuzione dei veicoli a benzina, questa sarà rimpiazzata per 2/3 da auto a metano, e per 1/3 da autobus alimentati a metano (considerando un cittadino per ogni auto e una capienza media degli autobus di 30 cittadini).
5. **Scenario 50%-30%**: si fa scendere la percentuale delle auto a benzina al 30%, rimpiazzando sempre con veicoli a metano ed autobus a metano come spiegato per lo scenario precedente.
6. **Scenari 50%-20% , 50%-10%, 50%-0%**: si riduce la percentuale dei veicoli alimentati a benzina al 20%, 10%, 0%, usando sempre come unica alternativa veicoli ed autobus a metano.



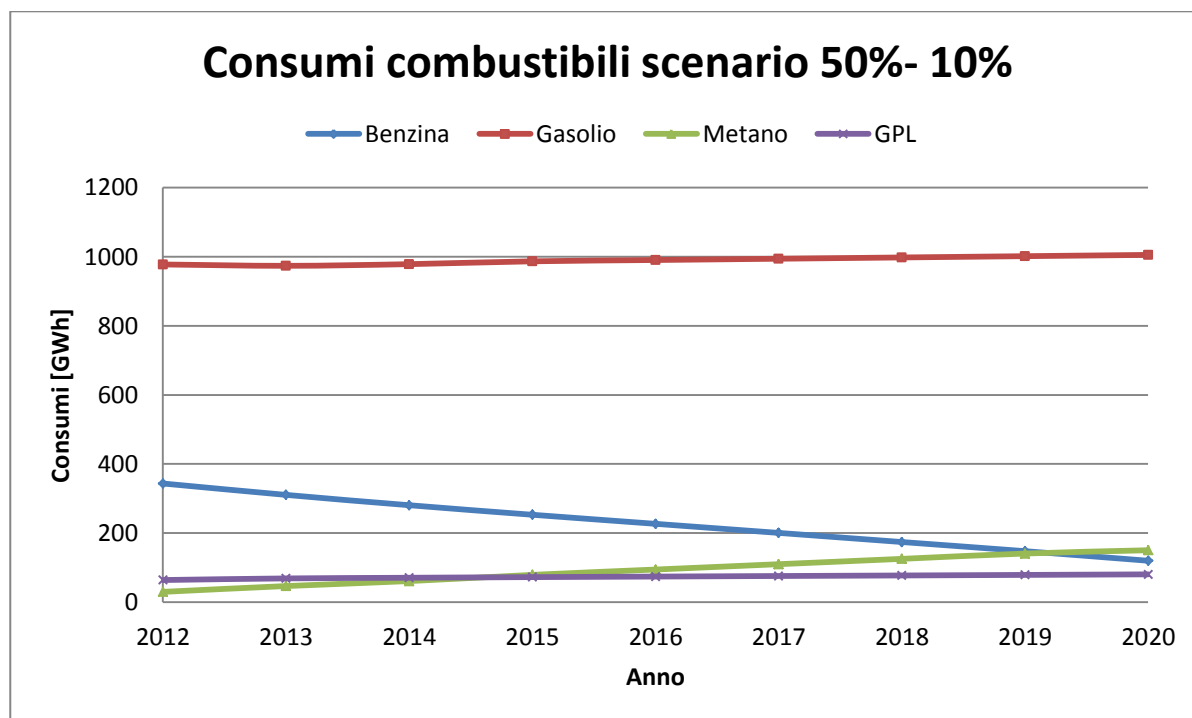
Questo primo scenario non si distacca molto dallo scenario tendenziale ipotizzato dall'Unione Petrolifera, sia in termini di ripartizione sui consumi di combustibile, sia in termini di emissioni di anidride carbonica in atmosfera.



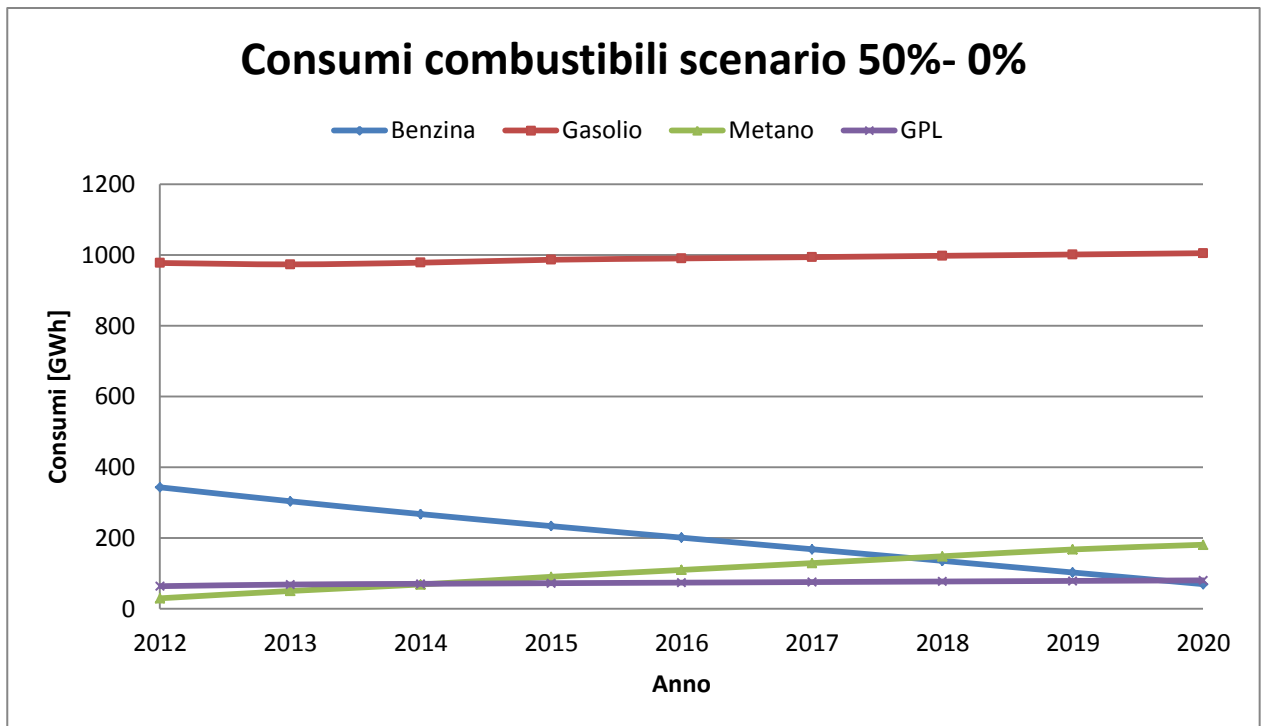
In questo secondo scenario, i consumi di metano vanno ad eguagliare all'incirca i consumi di GPL, e si ha un notevole calo dei consumi di benzina rispetto allo scenario base (circa 85 GWh in meno). Nel 2020, si ha un calo delle emissioni (del solo settore dei trasporti) di circa 5.200 t di CO₂ (pari all'1,4%).



Nello scenario 50%-20%, i consumi di metano (circa 120 GWh) superano, al 2020, i consumi di GPL, e diventano quasi confrontabili con i consumi di benzina, che rispetto al 2012 subiscono un calo ancora più notevole rispetto al caso precedente (decremento di circa 135 GWh). Le emissioni evitate, nel 2020, si aggirano intorno a 11.500 tonnellate (rispetto ai valori attuali), pari a circa il 3,1% del totale.

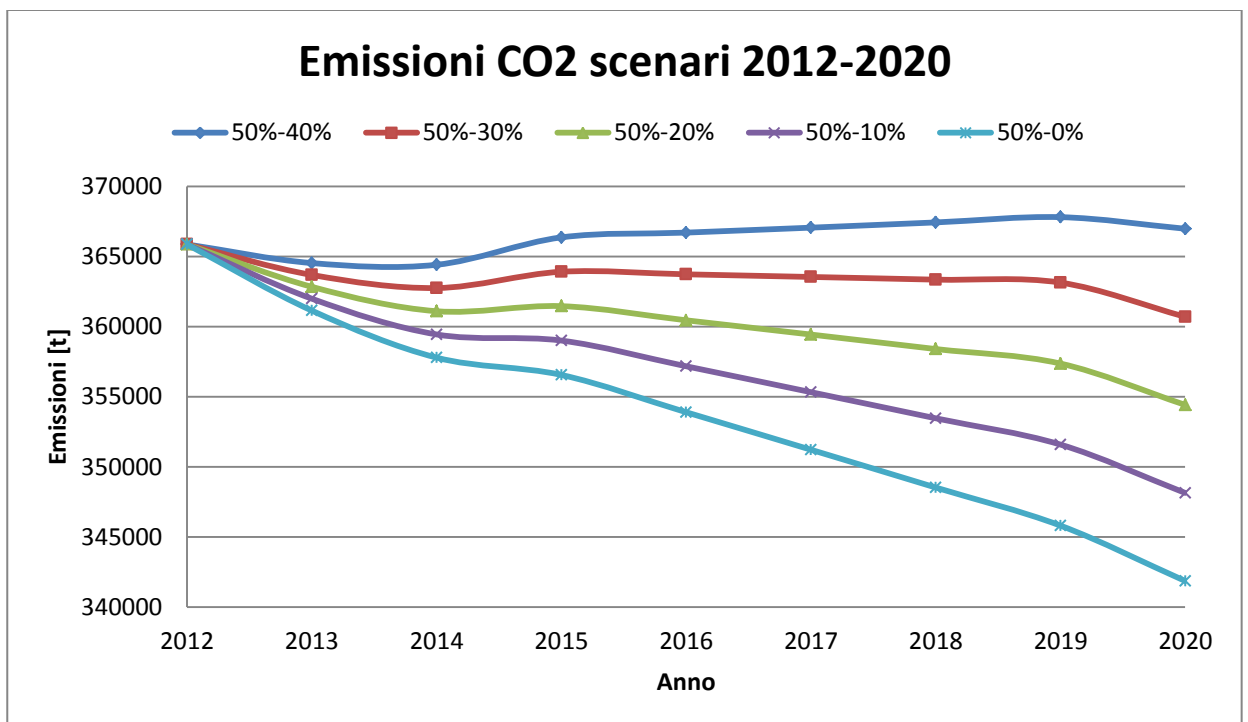


Il grafico costruito qui sopra ci fa osservare come, in questo ulteriore scenario, i consumi di metano superino i consumi di benzina (150 GWh di metano consumati a fronte dei 120 GWh di benzina). Le emissioni totali al 2020 si attestano attorno a 354.000 tonnellate di CO₂, subendo quindi un calo, rispetto al 2012, di circa 18.000 tonnellate (pari al 5%).



Quest'ultimo scenario, più utopico che reale, rappresenta un incremento molto notevole dei consumi di gas naturale a discapito dei consumi di benzina (180 GWh- 70 GWh). Le tonnellate di CO₂ risparmiate ammontano, nel 2020, a 24.000 tonnellate, pari al 7% delle emissioni totali di questo settore.

Si riportano qui di seguito le emissioni che caratterizzano i diversi scenari.



3.3 COSTRUZIONE SCENARIO COMPLETO PER L'ANNO 2020.

In questa fase del lavoro, si è cercato di costruire un modello completo del Comune di Padova valido per il 2020. Partendo dalla situazione energetica dell'anno 2013, e apportando alcune modifiche che siano realmente fattibili, si è caratterizzata la nuova situazione, considerando come obiettivi primari la riduzione dei consumi di combustibili tradizionali e la riduzione delle emissioni di anidride carbonica in atmosfera.

Di seguito vengono elencate le modifiche apportate ad ogni settore.

1. Consumi di energia elettrica: l'unica variazione apportata a questa voce riguarda i consumi di energia elettrica per l'illuminazione pubblica. Riuscire ad estrapolare dal totale dei consumi un dato preciso da associare all'illuminazione pubblica risulta pressoché impossibile: si è quindi partiti da quanto messo a disposizione dal "Piano di Azione per l'Energia Sostenibile del Comune di Padova"; in questo documento, infatti, sono messe in evidenza le tonnellate di anidride carbonica immesse in atmosfera e associabili alla pubblica illuminazione (il valore è relativo all'anno 2005): la quantità ammonta a 9.364 tonnellate.

Dal 2006 al 2011 è stato attuato un progetto che prevedeva l'efficientamento dell'illuminazione pubblica, attraverso la sostituzione di circa 10.000 apparecchi illuminanti obsoleti e delle relative lampade a bassa efficienza con dispositivi che avessero consumi più contenuti. Ciò comportò un risparmio di 4318 t di CO₂ all'anno.

Considerando che questo è l'unico progetto nominato del piano che va ad interessare l'illuminazione pubblica, si è fatta l'assunzione che, al giorno d'oggi, la quantità di CO₂ immessa in atmosfera ed associabile all'illuminazione pubblica ammonta a (9364- 4318)= 5046 tonnellate.

Considerando lo stesso valor medio di emissione del parco di produzione elettrica utilizzato in precedenza (0,397 kg/kWh), si trova che, approssimativamente, l'energia elettrica impiegata per la pubblica illuminazione ammonta a:

$$\frac{5046 \cdot 10^3 \text{ kg}}{0,397 \text{ kg/kWh}} = 12,71 \cdot 10^6 \text{ kWh} = 12,71 \text{ GWh}$$

Ora, nei progetti previsti entro il 2020 è prevista la riduzione dei consumi d'illuminazione pubblica dell'1% all'anno. Per ricavare invece un valore medio delle emissioni del parco di produzione elettrica italiano al 2020 si è fatto riferimento a 2 documenti:

- Unione petrolifera: Previsioni di domanda energetica e petrolifera Italiana 2012>2025 (Marzo 2012): in questo elaborato si possono trovare delle stime riguardanti la produzione elettrica dalle diverse fonti rinnovabili.
- TERNA: Previsioni della domanda elettrica in Italia e del fabbisogno di potenza necessario. – Anni 2013- 2023: qui sono reperibili informazioni riguardanti la domanda complessiva di energia elettrica in uno scenario base e in uno scenario di sviluppo: in questo lavoro, è stata presa come riferimento una domanda di energia elettrica data dalla media dei valori che si trovano nello scenario base e nello scenario di sviluppo.

I dati di interesse sono raccolti nella seguente tabella:

Anno	2012	2015	2020
Produzione da Fonti rinnovabili [TWh]	87,5	91,9	98,1
Domanda energia elettrica [TWh]	328,2	321,95	339,05
Produzione da termoelettrico [TWh]	240,7	230,05	240,95

Partendo poi dalle emissioni medie del parco di produzione termoelettrica si ricavano, per i tre anni considerati, i fattori di emissione medi dell'intero parco di produzione di energia elettrica (termoelettrico più rinnovabili).

I risultati sono riportati nella seguente tabella:

ANNO	2012	2015	2020
Fattore di emissione [kg/kWh]	0,397	0,387	0,384

Si è quindi costruita la seguente tabella per ricavare un valore indicativo dei consumi al 2020,

Anno	2005	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
CO2 emessa [t]	9364	5046			4773					4504
Emissione media [kg/kWh]		0,397			0,387					0,384
EE per illumin. pubblica [GWh]		12,71	12,58	12,46	12,33	12,21	12,09	11,97	11,85	11,73

Il valore evidenziato è stato sottratto dalla domanda complessiva di energia elettrica, ottenendo una domanda complessiva, nell'anno 2020, pari a 1335 GWh.

2. Energie rinnovabili: per questa sezione, sono state apportate delle modifiche alla capacità fotovoltaica complessivamente installata: essa è stata fissata pari a 111.189 kWp, sommando ai 47.333 kWp installati a fine 2012 i 63.856 kWp previsti dal Piano d’Azione del Comune di Padova.
3. Riscaldamento domestico (Individuals): in questo settore, si ipotizza che i consumi di carbone per riscaldamento domestico si annullino completamente entro il 2020, mentre i consumi di olio combustibile si riducano, sempre nel 2020, a un quarto rispetto al valore del 2013. A fronte di queste diminuzioni si ha un aumento dei consumi di biomassa, considerando, idealmente, costante la domanda di energia termica per il riscaldamento. Si è quindi costruita la seguente tabella per chiarire il tutto:

2013	INPUT COMBUSTIBILE [GWh/anno]	Rend. η	DOMANDA TERMICA [GWh/anno]
CARBONE	2,788	0,7	1,95
OLIO	140,79	0,8	112,63
GAS NATURALE	815,74	0,9	734,17
BIOMASSA	258,03	0,7	180,62
Tot. Domanda			1029,37
2020			
CARBONE	0	0,7	0
OLIO	35,2	0,8	28,16
GAS NATURALE	815,74	0,9	734,17
BIOMASSA	381,49	0,7	267,04
Tot. Domanda			1029,37

4. Solare termico: nello scenario che si va a costruire, si ipotizza che in circa il 50% degli edifici del Comune di Padova vengano installati pannelli solari termici (con un’area di 3 m² per edificio); il calore prodotto andrà a diminuire i consumi di energia elettrica indirizzata al riscaldamento domestico (tramite pompa di calore).
5. Industria- Terziario: il settore industriale, nell’analisi considerata, non viene modificato, mentre il settore terziario viene modificato con lo stesso criterio utilizzato nel settore residenziale, ovvero con notevoli riduzioni sui consumi di carbone e olio combustibile a favore delle biomasse. In quest’ottica, quindi, i consumi di carbone e olio combustibile sono stati azzerati e, a parità di

domanda, sono stati incrementati i consumi di biomassa. La tabella seguente chiarisce quanto appena spiegato:

GWh/anno	2013	2020
Carbone	0	0
Olio combustibile	24,61	0
Gas naturale	531,03	531,03
Biomassa	5,93	30,54

6. Trasporti: per l'evoluzione di questo settore si è preso come riferimento lo scenario 50%-20% spiegato nel paragrafo precedente: nel 2012, le auto a benzina rappresentavano il 50% dell'intero parco automobili presenti nel comune di Padova. Si ipotizza che, nel 2020, questa percentuale possa scendere fino al 20%, rimpiazzando il parco mezzi con veicoli alimentati a metano ed autobus alimentati a metano. Tale scenario, se stimolato con i giusti incentivi, può essere sicuramente raggiunto.

Inoltre, tra gli obiettivi del Comune c'è anche la completa sostituzione degli autobus dedicati al trasporto pubblico ed alimentati a gasolio con mezzi alimentati a metano.

Considerando entrambe le ipotesi, i consumi dei diversi combustibili per l'anno 2020 sono rappresentati nella seguente tabella:

Combustibile	Consumo totale [GWh]
Benzina	169,78
Gasolio	952,65
Gas naturale	123,63
GPL	80,29

7. Teleriscaldamento (District Heating): il teleriscaldamento costituisce uno degli elementi di maggiore importanza per l'abbattimento delle emissioni di CO₂ in atmosfera. Padova ha avviato l'introduzione di questa modalità di riscaldamento delle abitazioni con la centrale di Via Palestro, e nel futuro, come specificato nel PAES, proseguirà con l'evoluzione del servizio teletermo con la realizzazione di nuove reti, la più importante delle quali trarrà origine dal forno inceneritore, con il recupero attualmente disperso al condensatore del ciclo a vapore. Nel futuro a lungo termine è infine prevista la realizzazione di ulteriori centrali su nuovi nuclei abitativi o sul rimodernamento dell'esistente. Non avendo a disposizione dati

precisi sull'evoluzione di questo settore, si è optato di considerare un potenziamento della centrale esistente, raddoppiando la capacità della caldaia (considerando quindi 10 MW) e del il cogeneratore (passando da 511 MWel e 1022 MWel), in maniera da soddisfare il doppio della domanda termica rispetto al 2013: si passa quindi da una domanda di energia termica proveniente da teleriscaldamento pari a 7,1 GWh nel 2013 a circa 14,2 GWh nel 2020. I 7,1 GWh in più che si riusciranno ad ottenere andranno a ridurre, nel nostro modello, la domanda di gas naturale e di olio combustibile per il riscaldamento residenziale, che quindi scenderanno, rispettivamente, a 25 GWh e 730,62 GWh.

8. Raffrescamento (Cooling): fissando sempre a 12 anni la vita media di un condizionatore, si può concludere che al 2020 venga interamente sostituito l'intero parco condizionatori acquistato fino al 2008. I dati che si hanno a disposizione sono:

- Condizionatori installati a fine 2005: circa 9 milioni (fonte: ANIMA).
- Condizionatori installati a fine 2013: circa 16 milioni (fonte: ANIMA).

Non avendo dati più precisi relativi alle vendite annuali, si ipotizza che i 7 milioni di condizionatori venduti nel periodo 2005- 2013 vengano ripartiti in maniera uguale nei diversi anni: in questi 8 anni, quindi, c'è stata una vendita di circa 875.000 condizionatori all'anno.

A fine 2008, quindi, i condizionati presenti sono stati all'incirca 11.625.000: si ipotizza, quindi, che questi vengano interamente sostituiti entro il 2020 con condizionatori ad efficienza più elevata (si assume un EER per i nuovi condizionatori pari a 4,5).

Per i condizionatori venduti dal 2008 al 2013 (in totale 4.375.000) si assume un valore di EER pari a 3,5.

Il valore medio di EER per il totale condizionatori installati nel 2020 (assunto pari al valore del 2013, cioè 16 milioni) sarà quindi:

$$\frac{4.375.000 \cdot 3,5 + 11.625.000 \cdot 4,5}{16.000.000} = 4,23$$

ottenuto facendo una media pesata sul numero di condizionatori.

Se quindi nel 2013 la domanda di energia frigorifera è pari a 179,2 GWh, per un consumo di energia elettrica di 56 GWh (con EER pari a 3,2), considerando una

domanda di energia frigorifera nel 2020 pari a quella del 2013, l'energia elettrica consumata nel 2020 sarà allora pari a:

$$EE = \frac{E_{frigorifera}}{EER} = \frac{179,2}{4,23} = 42,36 \text{ GWh}$$

L'aumento dell'efficienza dei condizionatori, in questo caso, comporta un risparmio di energia elettrica pari a 13,64 GWh, cioè poco più del 24% rispetto al 2013.

9. Termovalorizzazione: introduzione di una linea di teleriscaldamento alimentata dal calore proveniente dalla terza linea di incenerimento del termovalorizzatore attivo nel comune di Padova. Attualmente, l'impianto è costituito da tre termogruppi, uno per linea, con funzionamenti analoghi (tecnologia del forno a griglia), ma con potenze medie di produzione diverse: 2.042 kWel per la linea 1, 2918 kWel per la linea 2, 10.559 kWel per la linea 3, per un totale di 15.519 kWel di potenza media (valori riferito all'anno 2012). La linea 3, quindi, rappresenta circa il 68% della produzione elettrica dell'intero impianto di termovalorizzazione, e si suppone che circa il 68% dei RSU venga trattato in questa linea. La tecnologia utilizzata per la combustione è quella del forno a griglia, il cui rendimento energetico varia, in media, dal 20% al 60% (a seconda che si recuperi solamente energia elettrica o anche calore). L'assunzione che si fa in questa fase del lavoro è quella di avere la terza linea dell'impianto dedicata anche all'alimentazione di una linea di teleriscaldamento: in tal caso, il rendimento complessivo si assume pari a circa il 55%.

Complessivamente, nel 2012 l'input di combustibile nell'impianto di termovalorizzazione è stato pari a 662,37 GWh. Del totale, si suppone che circa il 68%, cioè 450 GWh, sia stato trattato nella terza linea. Il rendimento elettrico si suppone uguale per tutte e tre le linee (e pari al 15%), mentre per la terza linea viene supposto un rendimento termico di circa il 40%: si avrà quindi una produzione ipotetica di 180 GWh, che andrà a soddisfare una domanda complessiva di energia termica per teleriscaldamento di 40 GWh (si assume questo valore, pari a meno di un quarto del valore complessivo di energia termica prodotta dall'impianto, perché quest'ultima viene prodotta in maniera costante durante l'anno, mentre la domanda ha un andamento più irregolare:

per evitare l'installazione di una caldaia integrativa di capacità elevatissima, necessaria a soddisfare i picchi di carico termico, si è optato per una domanda più bassa rispetto al valore potenziale di energia termica producibile). Questi 40 GWh andranno a ridurre la domanda di gas naturale per il riscaldamento residenziale (portandola a 715,62 GWh) e ad annullare completamente la domanda di olio combustibile (da 25 GWh a 0 GWh).

Non potendo suddividere in EnergyPLAN l'impianto nelle 3 linee di cui è costituito, si è inserito un rendimento termico fittizio: con un input totale di 662,37 GWh ed una produzione di energia termica pari a 180 GWh, il rendimento da inserire nel software sarà:

$$\frac{180}{662,37} = 0,272$$

Nota: gli impianti del gruppo 3 della sezione "District Heating" del software EnergyPLAN sono impianti cogenerativi che però possono lavorare anche in sola produzione elettrica. Di conseguenza, se la produzione di calore eccede la domanda, l'impianto andrà a funzionare in sola produzione elettrica.

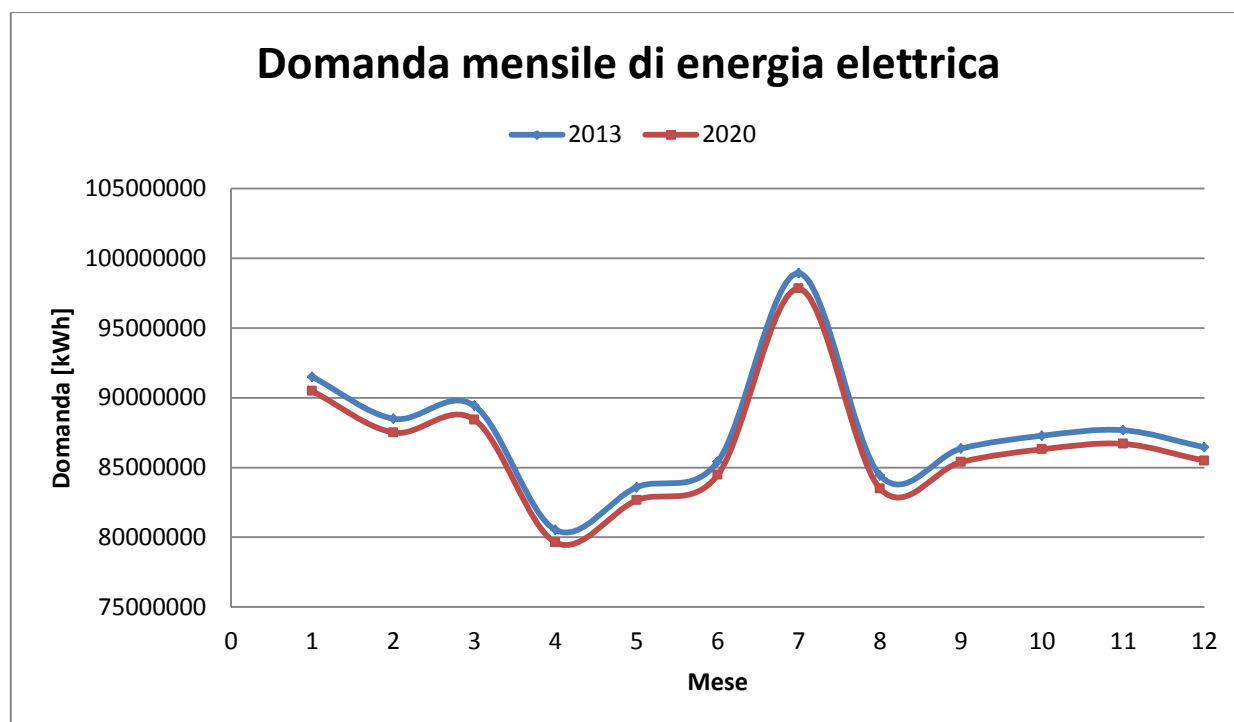
Infine, per soddisfare la necessità di calore nei momenti di picco, si suppone l'installazione di una caldaia integrativa con capacità pari a 25 MW.

Gli input di combustibile per il settore residenziale diventano quindi i seguenti:

Combustibile	Input [GWh/anno]	Rendimento	Domanda termica [GWh]
Carbone	0	0,7	0
Olio Combust.	0	0,8	0
Gas naturale	715,62	0,9	644,06
Biomassa	381,49	0,7	267,043
Totale	1097,11		911,1

3.4 CONFRONTO SCENARIO 2013- SCENARIO 2020.

Vengono qui di seguito riportati alcuni grafici utili ad effettuare un confronto tra il modello creato per l'anno 2013 e lo scenario costruito per l'anno 2020.



L'andamento della domanda di energia elettrica per l'anno 2020 è mediamente inferiore rispetto all'andamento del 2013. A livello annuale, la domanda del 2020 si è ridotta di circa 11,73 GWh; in termini di emissioni, questa diminuzione comporta un risparmio potenziale di:

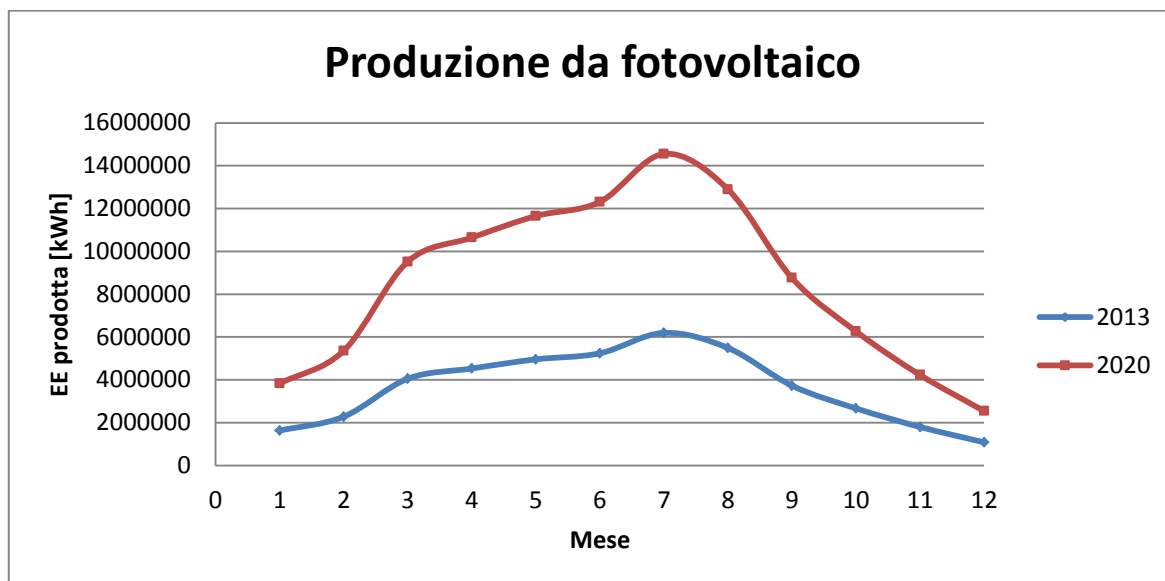
$$11,73 \cdot 10^6 kWh \cdot 0,384 \frac{kg}{kWh} = 4.504 t di CO_2$$

Tale riduzione sulla domanda di energia elettrica è dovuto, come spiegato in precedenza, a due fattori:

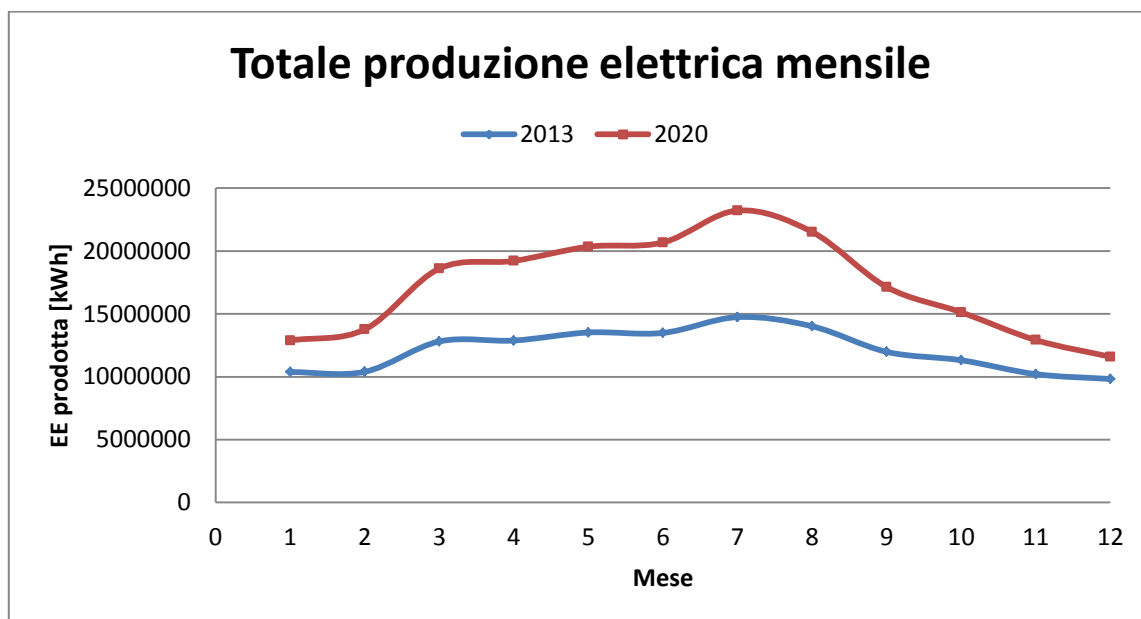
- Riduzione della domanda per l'illuminazione pubblica;
- Aumento dell'efficienza dei condizionatori.

Nota: in questo lavoro, si è ipotizzato che non ci sia una penetrazione significativa dell'auto elettrica nel settore dei trasporti. Secondo quanto ipotizzato dall'Unione Petrolifera, infatti, nel 2020 il numero di mezzi elettrici raggiungerà, nel 2020, le 10.000

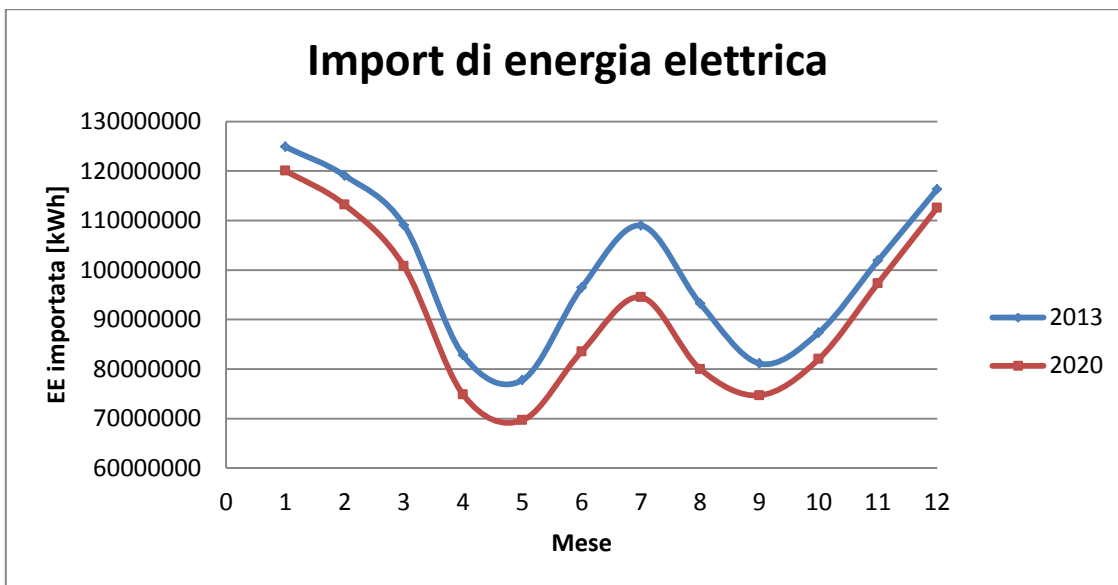
unità. Pertanto, a livello comunale l'incidenza di questa nuova tecnologia sarebbe del tutto trascurabile.



La capacità fotovoltaica che si ipotizza sia installata entro il 2020 è nettamente superiore rispetto a quella installata nel 2013 (111 MW- 47 MW): questo comporterà una produzione di energia elettrica di gran lunga superiore (circa il 135% in più, a parità di condizioni meteorologiche) e una conseguente diminuzione di energia elettrica importata.

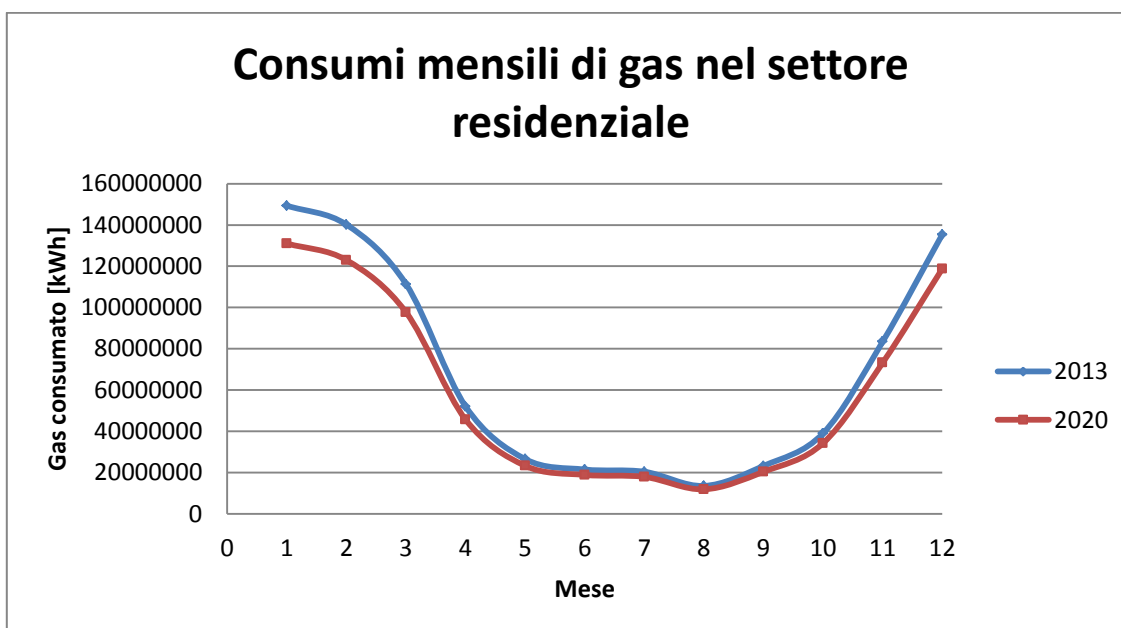


La produzione complessiva di energia elettrica, dal 2013 al 2020, è aumentata di circa il 42%: questo è dovuto alla maggior capacità fotovoltaica installata e al raddoppio della capacità ipotizzata per la centrale Teletermo- Palestro.

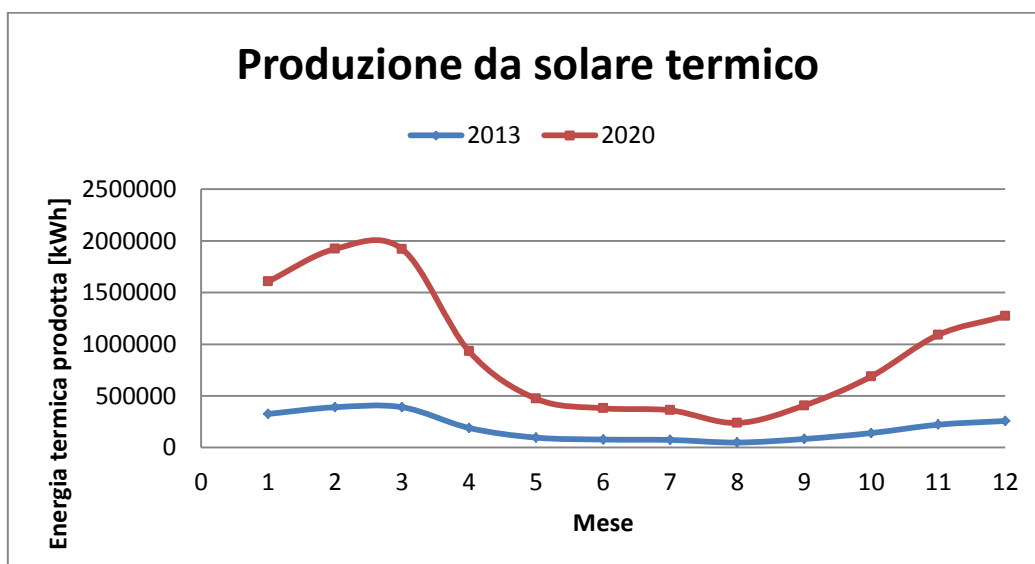


L'energia elettrica importata nell'anno 2013 ammonta, complessivamente, a circa 1200 GWh, mentre nello scenario ipotetico del 2020 cala a 1103 GWh: il risparmio è quindi di 97 GWh, pari a circa l'8% dell'import 2013.

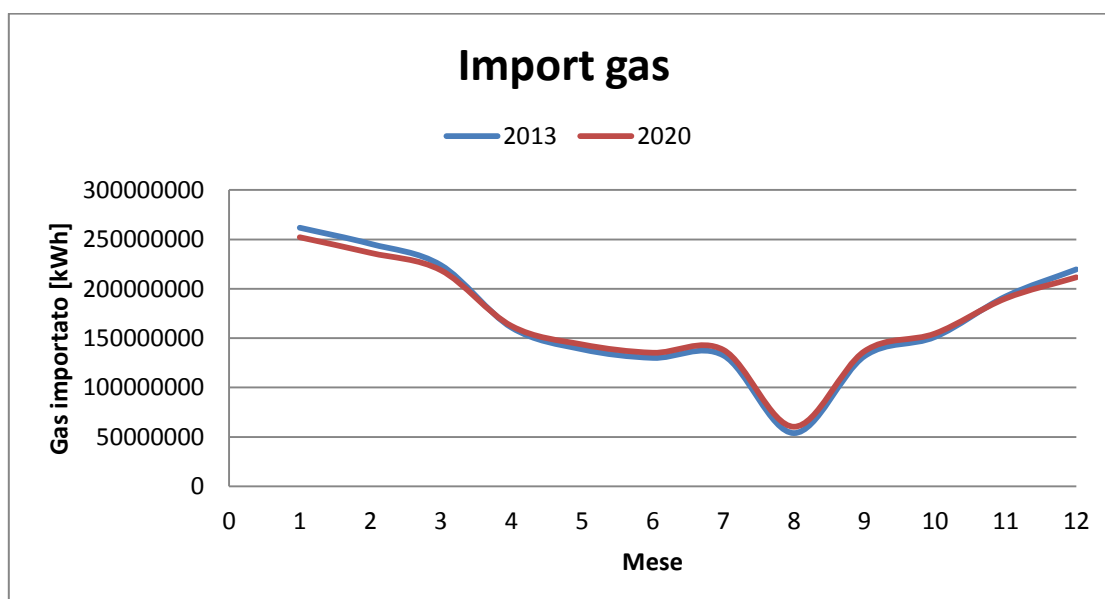
Questo, oltre a comportare un risparmio sulle emissioni atmosferiche, comporta anche un notevole risparmio economico a livello collettivo (sia per il comune, per quanto riguarda la pubblica illuminazione, sia per i cittadini per il risparmio che comporterebbe il rinnovamento del parco condizionatori).



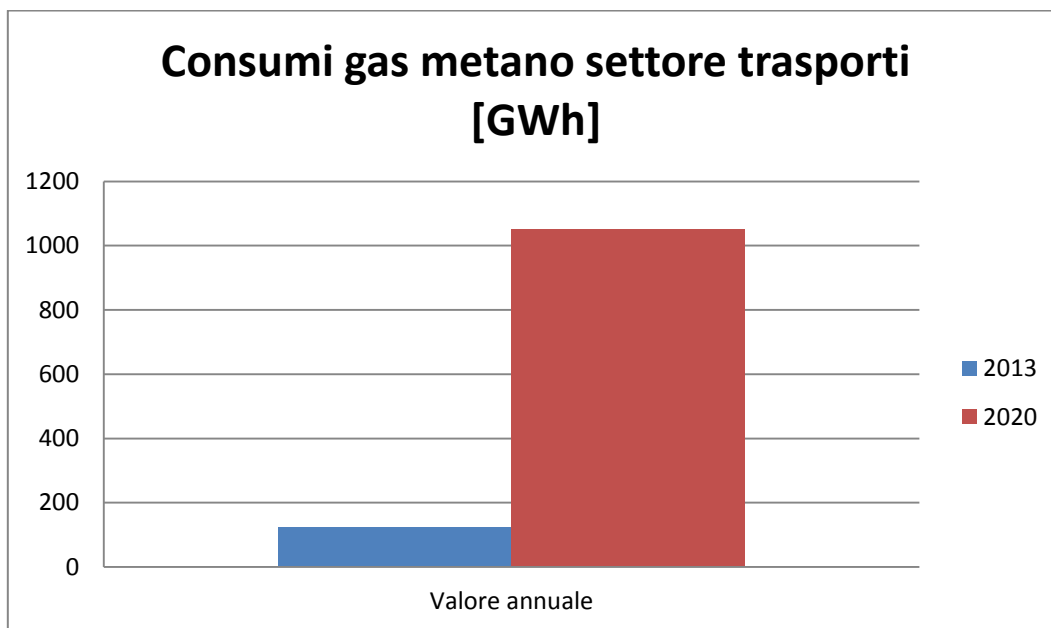
Il gas complessivamente utilizzato nel settore residenziale cala, tra il 2013 e il 2020, di circa il 12%, comportando, anche in questo caso, un notevole risparmio in termini economici. Questa riduzione è dovuta, principalmente, all'introduzione della linea di teleriscaldamento alimentata dal calore prodotto nella terza linea dell'inceneritore. La riduzione di gas consumato ammonta a circa 100 GWh (pari a poco più di 10 milioni di m³).



Supponendo che, al 2020, circa il 50% degli edifici presenti nel comune di Padova provveda all'installazione di pannelli solari termici, avremo una produzione ipotetica di 11,3 GWh (valore complessivo), contro i 2,3 GWh prodotti nell'anno 2013 (sempre a parità di condizioni meteorologiche): l'aumento nella produzione è di circa il 400%, e andrà a diminuire i consumi di gas e di energia elettrica per il riscaldamento domestico.



Nel periodo invernale il gas viene principalmente utilizzato per il riscaldamento domestico, mentre nel periodo estivo la quota principale è coperta dal consumo nel settore dei trasporti. Pertanto, il calo dell'importazione di gas nella stagione invernale è giustificato soprattutto dal notevole sviluppo ipotizzato per le fonti rinnovabili (fotovoltaico e solare termico), mentre l'aumento di importazione nel periodo estivo è giustificato dalla maggiore penetrazione di veicoli a metano (automobili ed autobus) a fronte di un decremento notevole dei veicoli a benzina.

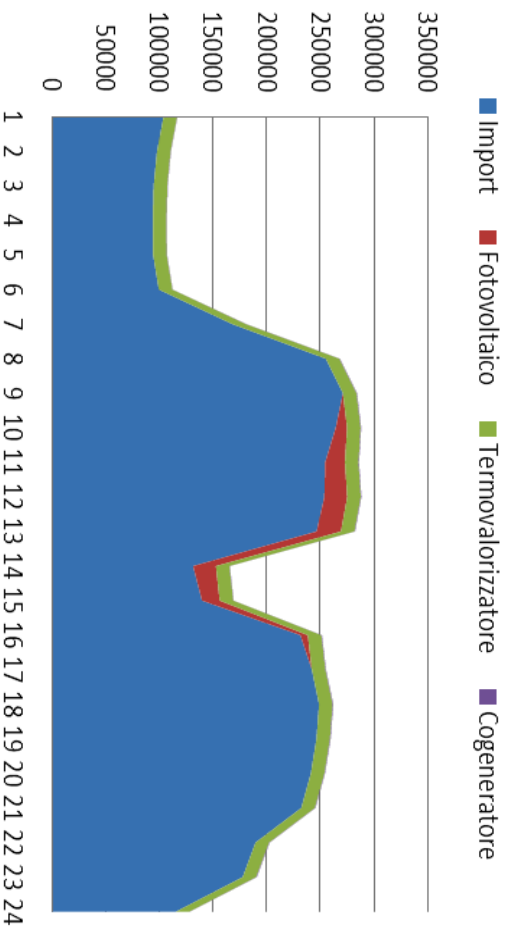


A livello complessivo, comunque, si ha tra il 2013 e il 2020 un calo nell'importazione di gas naturale per circa 1,8 GWh.

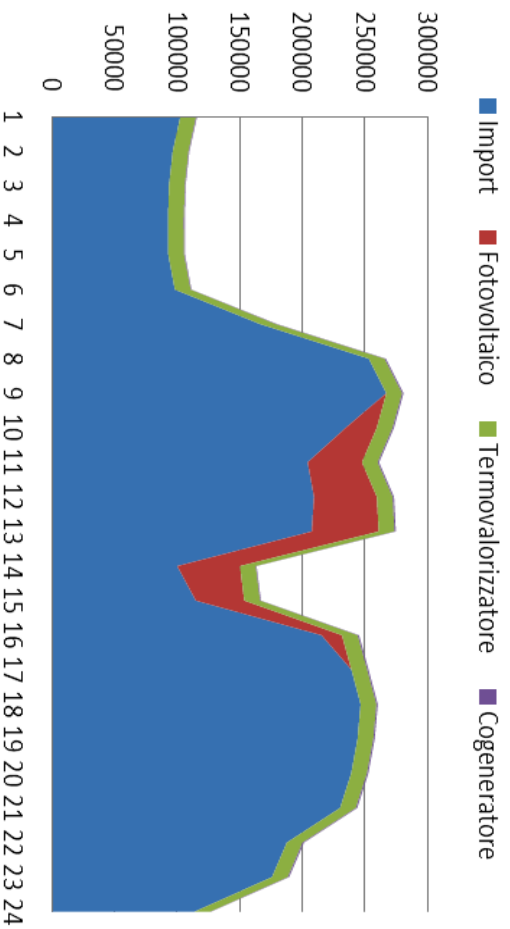
Nei diagrammi alla pagina seguente vengono rappresentate la giornata in cui si ha il carico elettrico più elevato (16 gennaio), e quella in cui il carico elettrico è il minimo a livello annuale (1 maggio), sia per l'anno 2013 che per l'anno 2020.

La cosa che si può notare immediatamente è un aumento notevole della produzione da fotovoltaico e una conseguente diminuzione dell'import di energia elettrica.

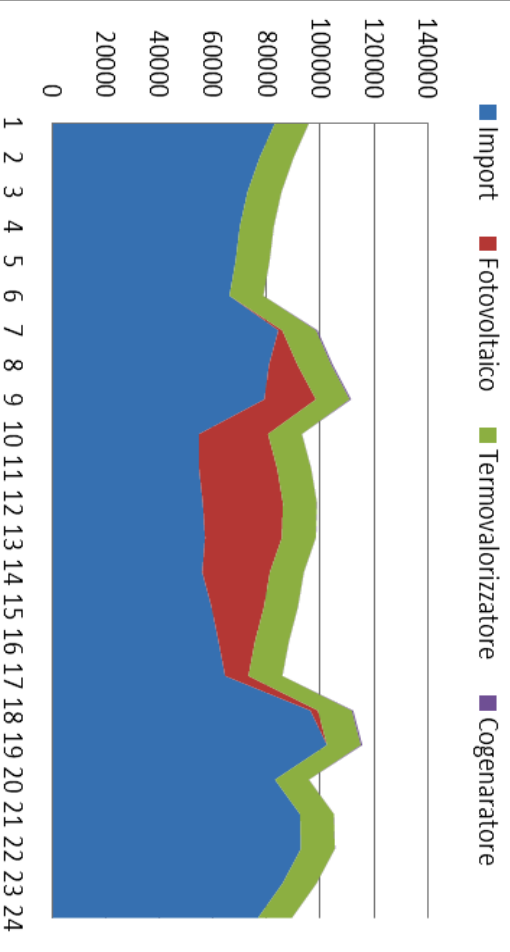
16 gennaio 2013- Valori in kW



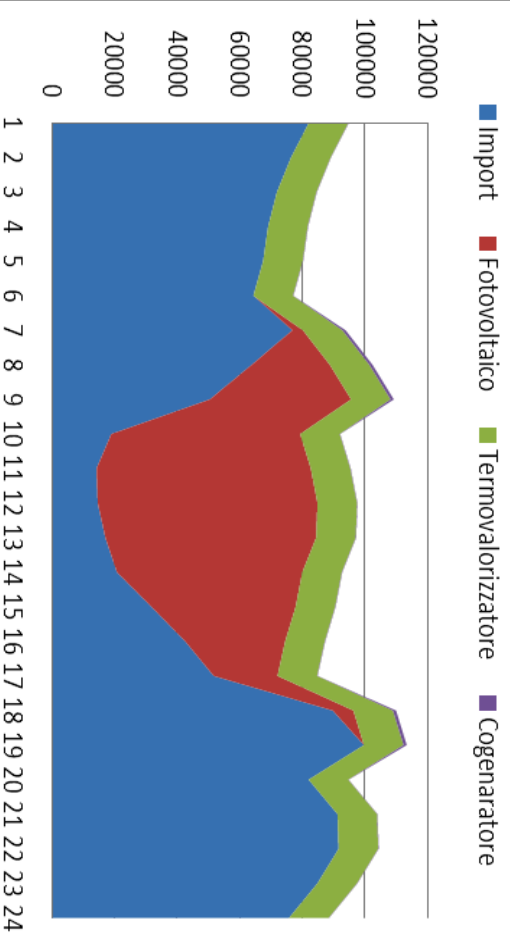
16 gennaio 2020- Valori in kWh



01 maggio 2013- Valori in kW



01 maggio 2020- Valori in kW



Emissioni di anidride carbonica.

Nel foglio risultati, il software indica un valore di emissioni complessivo pari a 926.938 tonnellate di CO₂; a questo valore deve essere aggiunto il valore di emissione causato dall'energia elettrica che viene importata dal Comune di Padova: essa ammonta a 1.103,13 GWh. Utilizzando il valor medio di emissione stimato per il 2020 e riferito all'intero parco di produzione di energia elettrica si ha:

$$1.103,13 \cdot 10^6 \text{ kWh} \cdot 0,384 \frac{\text{kg}}{\text{kWh}} = 423.602 \text{ t}$$

Sommando infine i valori, si ottiene un valore complessivo pari a 1.350.539 t di CO₂.

Nella tabella seguente vengono riportati i valori di emissione relativi agli anni 2013 e 2020:

Emissioni [t _{CO2eq}]	2013	2020
Dirette	1.031.000	926.938
Dovute all'import di EE	476.003	423.602
Totale	1.507.003	1.350.539

La differenza percentuale tra il 2013 e il 2020 ammonta al 10,38 %, mentre la differenza percentuale tra il 2005 e il 2020 ammonta al 28,62%: teoricamente, quindi, con le misure ipotizzate l'obiettivo previsto nel Pacchetto Clima- Energia viene addirittura superato. Come già detto in precedenza, però, nel 2005 non era ancora iniziata la crisi economica che ha interessato l'intero Paese dal 2009 e che tuttora è presente: questa sicuramente ha contribuito a diminuire in maniera notevole i consumi globali dei diversi combustibili (a partire dal settore dei trasporti).

Bisogna infine specificare che le emissioni calcolate con il software includono la maggior parte delle emissioni che si hanno a livello comunale, ma non la totalità: ad esempio, non vengono prese in considerazione le discariche, che come ben si sa causano anch'esse un'immissione di gas climalteranti in atmosfera.

Conclusioni

Scopo principale di questo lavoro è stata la modellizzazione con software EnergyPLAN del sistema energetico del Comune di Padova, con particolare attenzione all'aspetto dei consumi e delle emissioni di anidride carbonica in atmosfera.

Si è inoltre cercato di mettere in evidenza le potenzialità offerte da un'analisi integrata nello studio e nella pianificazione di sistemi per l'energia, anche se il software EnergyPLAN risulta sicuramente più adatto allo studio di sistemi su larga scala, quali sistemi energetici nazionali, piuttosto che allo studio di sistemi più circoscritti e localizzati, come una realtà comunale o cittadina.

Nello scenario creato per l'anno 2020 è stato messo in evidenza come l'aumento dell'efficienza energetica, lo sviluppo delle fonti rinnovabili, e la diminuzione dei consumi di combustibili tradizionali possa rendere il sistema energetico, senza particolari sforzi, idoneo alle direttive poste a livello europeo.

Interventi nel settore del condizionamento, come il miglioramento dell'EER medio dell'intero parco condizionatori, nel settore dei trasporti, con una maggiore incidenza di veicoli a metano (e, in un futuro più lontano, di veicoli elettrici e ad idrogeno), nel settore del riscaldamento, come la sostituzione di caldaie a gasolio con caldaie a biomassa, mostrano come non sia un'impresa impossibile ridurre, nel periodo 2005-2020, le emissioni del 20%, ritornando quindi ai livelli del 1990.

Si riportano di seguito i principali risultati ottenuti nello scenario creato:

- Riduzione consumi di energia elettrica per il condizionamento estivo, dovuta al miglioramento dell'EER complessivo: 13,64 GWh (-24% rispetto al 2013);
- Aumento energia elettrica prodotta da fotovoltaico: 60 GWh (+134% rispetto al 2013);
- Riduzione import di energia elettrica: 96 GWh (-8% rispetto al 2013);
- Percentuale della domanda elettrica soddisfatta da fonti rinnovabili: 20% circa (conforme alle direttive europee);
- Riduzione emissioni di CO₂ al 2020: 156.464 t risparmiate rispetto al 2013 (-10,38%), mentre le tonnellate risparmiate rispetto al 2005 ammontano a 541.619 (-28,62%).

I dati riguardanti le emissioni complessive del sistema energetico non sempre sono in perfetto accordo con quelli stimate nel "Piano di Azione per l'Energia Sostenibile": i sistemi di valutazione non è infatti detto che siano i medesimi; tuttavia si è posta maggiore

importanza non all'entità complessiva delle emissioni, ma alla differenza derivante dallo sviluppo del nuovo scenario.

Bisogna sicuramente specificare che la crisi economica, che ha avuto inizio nel 2009 e che tuttora non sembra terminare in tempi relativamente brevi, ha contribuito in maniera importante alla riduzione dei consumi, e di conseguenza alle emissioni. Quanto appena detto non vuole però avere carattere esaustivo: sono infatti molti gli interventi, anche a basso costo, che hanno contribuito ad avere notevoli riduzioni sulla produzione di gas climalteranti: da quando si è cominciato infatti a porgere attenzione alle questioni ambientali, ci si è resi subito conto che anche si potevano avere risultati significativi senza particolari sforzi, in quanto gli sprechi erano consistenti.

Per quanto riguarda lo sviluppo delle fonti rinnovabili intermittenti, nel comune di Padova l'attenzione può essere focalizzata solamente sul fotovoltaico, per la produzione di energia elettrica, e sul solare termico per la produzione di energia termica. Questo perché altre fonti come ad esempio l'eolico non possono avere grosse potenzialità per questioni legate al clima del territorio, così come l'idroelettrico per la mancanza di bacini di consistenza significativa.

Altre fonti come il geotermico ed il geotermoelettrico sono sviluppate, nell'intero territorio nazionale, solo in Toscana.

Maggiore attenzione potrebbe essere sicuramente dedicata al settore del teleriscaldamento: nel corso del lavoro è stato dimostrato infatti come l'introduzione di una linea di teleriscaldamento alimentata dalla terza linea del termovalorizzatore presente nel Comune possa dare un contributo importante in termini di riduzione sia di importazioni di energia sia di emissioni: la potenzialità nella produzione di energia termica ammonta, al giorno d'oggi, a circa 180 GWh, anche se nello scenario costruito si è ipotizzato il soddisfacimento di soli 40 GWh nel settore residenziale. Questo perché la produzione di energia termica da parte dell'impianto è pressoché costante per l'intero anno, mentre la domanda di energia termica nel settore residenziale presenta picchi di carico molto elevati soprattutto a inizio mattina e in serata: per soddisfare l'intero picco sarebbe necessaria una caldaia integrativa di taglia molto elevata (già per soddisfare i picchi di carico di una domanda termica di 40 MW è stata necessaria l'integrazione di una caldaia da 25 MW), cosa che ha una sua importante funzione in caso di malfunzionamento dell'impianto. Sarebbe di certo più conveniente avere un'utenza con una richiesta costante durante l'anno, riscontrabile solo a livello industriale, ma il software non permette infatti di analizzare una soluzione di questo tipo: nella sezione del teleriscaldamento, infatti, ci sono

3 tipologie di impianti per la produzione di energia (impianti che possono lavorare in sola produzione termica, impianti che possono lavorare in sola cogenerazione, e impianti che possono lavorare solo in produzione elettrica), ma l'andamento normalizzato della domanda termica è comune a tutte e tre le tipologie di impianto. Essendo già presente, nel comune di Padova, la linea di teleriscaldamento Teletermo- Palestro, adibita alla produzione di calore per il settore residenziale, è impossibile l'inserimento di una domanda con un andamento diverso.

Un possibile miglioramento del software riguarda quindi la possibilità di inserire domande termiche variabili a seconda della tipologia di utenza servita (residenziale, terziario, industriale), aumentando quindi la flessibilità nei confronti delle esigenze dell'utilizzatore.

Un altro limite del modello creato riguarda la produzione da fotovoltaico: per la costruzione del fattore di carico orario è stato utilizzato infatti un software gratuito presente nel web e di origine americana (software PVWatts). Chiaramente la banca dati meteorologica creata dipende da quante e quali stazioni di rilevamento presenti nel territorio sono state utilizzate. È chiaro che distribuzioni sicuramente più precise sono reperibili in software disponibili a pagamento.

Per concludere, è importante specificare che l'impostazione generale dello studio effettuato è stata elaborata in maniera da fornire delle utili linee guida su cui ci si può basare, in futuro, nello studio di pianificazioni energetiche di tipo tecnico a livello comunale o a livello nazionale, individuando, come è stato fatto, dei meccanismi fattibili nel medio e breve termine e che siano incentivanti al fine di raggiungere determinati obiettivi, siano essi stabiliti a livello comunale, nazionale o europeo.

Un altro possibile sviluppo di questo lavoro, infine, consiste in un'analisi di tipo economico del sistema energetico padovano; infatti, mentre in un'analisi di tipo tecnico si cerca di ridurre al minimo l'import energetico, in un'analisi di tipo economico si cerca la soluzione a minor costo. Non è sempre detto infatti, che i due aspetti coincidano.

BIBLIOGRAFIA:

- [1] Henrik Lund – EnergyPLAN – Advanced Energy Systems Analysis Computer Model- Documentation Version 11.0;
- [2] David Connolly- Finding and imputing data into the EnergyPLAN tool;
- [3] Piano Energetico del Comune di Padova;
- [4] Rapporto FIRE: “Analisi del potenziale della microgenerazione in Italia”;
- [5] ESTIF: “Solar thermal markets in Europe- Trend and market statistics 2012”
- [6] BEN: Bilancio energetico nazionale- Anno 2012.
- [7] Rapporto Legambiente “Comuni Rinnovabili 2013”.
- [8] Acegas- Aps: Impianto di incenerimento rifiuti- Padova San Lazzaro- Relazione annuale relativa all’anno 2012.
- [9] Piano di azione per l’energia sostenibile del comune di Padova.
- [10] Gianpiero Colli (Segretario ANIMA-Co.Aer): Climatizzazione estiva- Il mercato Italiano (2006).
- [11] F.Cotana, F.Asdrubali, L.Frezzini: Il contributo della termovalorizzazione dei rifiuti solidi urbani alla riduzione delle emissioni di gas climalteranti.
- [12] Unione petrolifera: Previsioni di domanda energetica e petrolifera Italiana 2012>2025 (Marzo 2012)
- [13] Raimondo Orsini: “La riduzione delle emissioni di CO2 nel settore dei trasporti”- Fondazione Sviluppo Sostenibile (Anno 2013).
- [14] TERNA: Previsioni della domanda elettrica in Italia e del fabbisogno di potenza necessario. – Anni 2013- 2023.

RISORSE WEB:

- www.entsoe.eu – European Network of transmission System Operators for Electricity;
- energy.plan.aau.dk – Advanced Energy System Analysis Computer Model;
- <http://pvwatts.nrel.gov/pvwatts.php> - National Renewable Energy Laboratory;
- www.gse.it – Gestore dei servizi energetici;
- www.aci.it ;
- www.sviluppoeconomico.gov.it – Ministero dello Sviluppo Economico;
- www.fire-italia.it- Federazione Italiana per l’uso Razionale dell’Energia;
- www.padovanet.it;
- www.terna.it - Gestore del sistema di trasmissione dell’energia elettrica in Italia;

- www.enea.it – Agenzia Nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile;
- www.gruppo.acegas-aps.it;
- <http://www.anima.it/ass/coaer> : Associazione costruttori di apparecchiature e impianti aeraulici.
- www.istat.it : Istituto nazionale di statistica;
- www.unione petrolifera.it;
- www.fondazione sviluppo sostenibile.org

APPENDICE A: SISTEMA ENERGETICO PADOVANO NEL 1997.

Per concludere il lavoro di questa tesi di laurea, si è costruito un modello del comune di Padova valido per l'anno 1997: questo perché nel 1998 il comune ha incaricato ENEA ed Ambiente Italia S.r.l.- Istituto di ricerche ad elaborare il "PIANO ENERGETICO DEL COMUNE DI PADOVA", all'interno del quale è possibile ricavare dati precisi sui consumi energetici dell'intero comune padovano, oltre che della provincia.

Pertanto, nella costruzione del modello si è fatto fede unicamente ai dati reperibili all'interno di questo documento.

I dati di interesse vengono rappresentati nelle seguenti tabelle:

Consumi energia elettrica	MWh	GWh
Totale	1153194	1153,19
Residenziale	243750	243,75
Condizionamento estivo	37780	37,78

Consumi di gas naturale	Mmc	GWh
Industria	50206	481,70
Terziario	81580	782,71
Residenziale	88493	849,04

Consumi di olio combustibile	t	GWh
Industria	2155	25,92
Terziario	1516	18,23
Residenziale	654	7,87

Consumi di GPL	t	GWh
Trasporti	3388	43,38
Residenziale	4700	60,18

Consumi di gasolio	t	GWh
Agricoltura	1009	12,14
Industria	2222	26,73
Terziario	6003	72,20
Trasporti	39142	470,79
Residenziale	6126	73,68

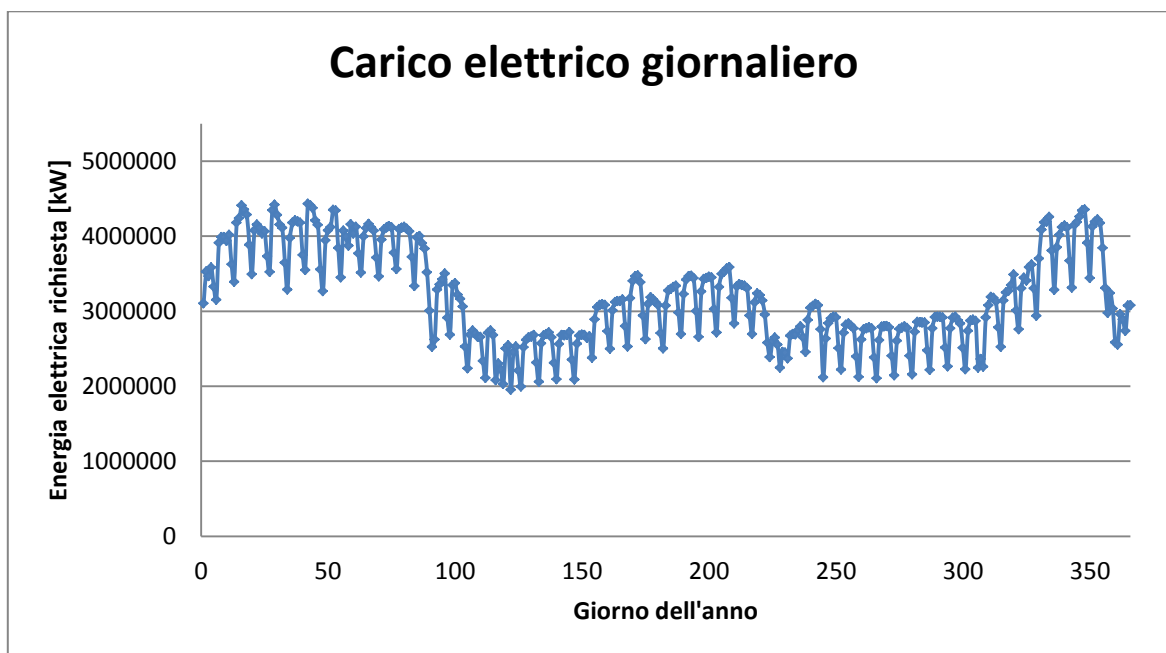
Consumi di benzina	t	GWh
Trasporti	80464	974,508

È stato quindi implementato il modello, utilizzando, dove richiesto, le stesse distribuzioni normalizzate valide per l'anno 2013 (domanda normalizzata di energia elettrica, fattori di carico per il gas naturale nel settore industriale e dei trasporti..).

Le fonti rinnovabili, non essendo nominate nel Piano Energetico, non sono state prese in considerazione: questo perché fino a 10 anni fa esse non erano ancora presenti in maniera apprezzabile sul territorio padovano e in generale nell'intero territorio italiano.

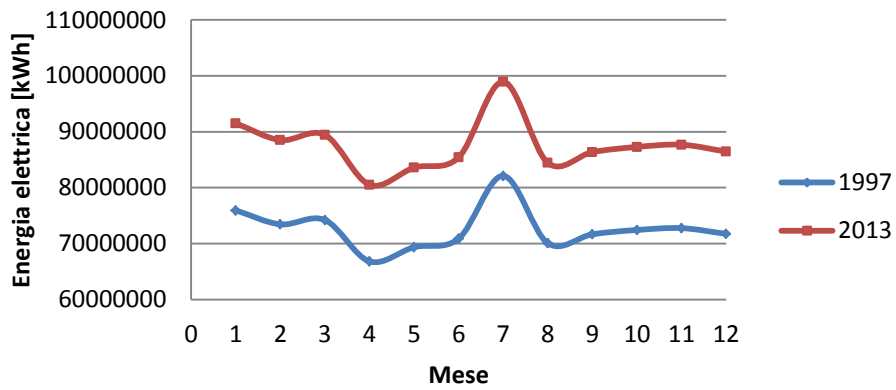
Sono state infine utilizzate le stesse strategie di regolazione e gli stessi fattori di emissione di anidride carbonica utilizzati nel modello del 2013.

Vengono riportati di seguito, in forma grafica, alcuni risultati significativi, facendo anche un confronto con i risultati ottenuti nel modello del 2013:

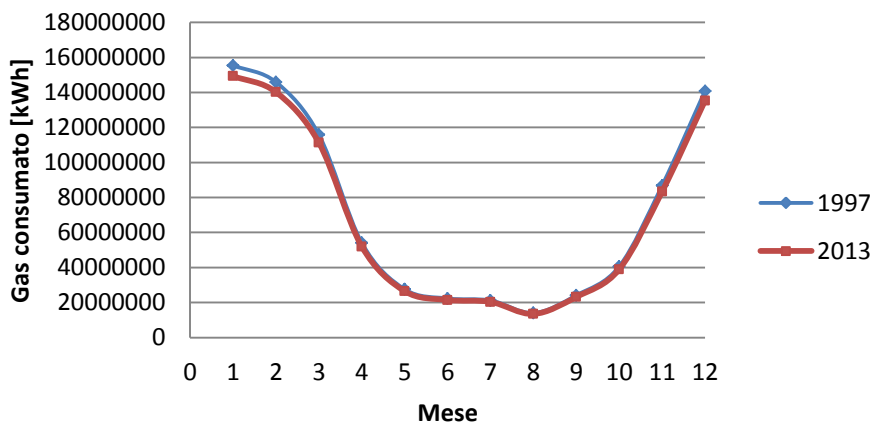


Il diagramma rappresentato è molto simile a quello ottenuto per l'anno 2013: valori più elevati di carico elettrico nella stagione invernale (per esigenze di riscaldamento) e nella stagione estiva (per il raffrescamento), mentre nei periodo di mezza stagione i consumi sono più contenuti.

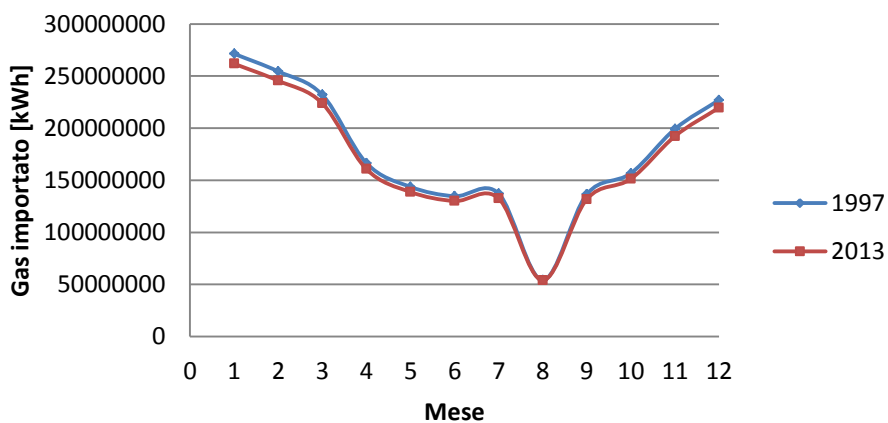
Domanda mensile di energia elettrica



Consumi di gas nel settore residenziale



Import gas



I diagrammi riportati hanno andamenti uguali in quanto, come già spiegato in precedenza, le distribuzioni normalizzate utilizzate sono state le medesime.

I consumi di gas nel settore residenziale e le importazioni di gas sono pressoché uguali, mentre i consumi di energia elettrica sono aumentati sensibilmente dal 1997 al 2013: questo perché, nell'ultimo ventennio, la penetrazione elettrica è aumentata moltissimo.

L'energia elettrica richiesta era coincidente con quella importata nel 1997, in quanto non erano ancora presenti impianti di produzione (tradizionali o a fonte rinnovabile) nel territorio padovano. L'introduzione, a partire dal nuovo millennio, del termovalorizzatore e di una quota significativa di capacità fotovoltaica ha contribuito ad una produzione interna al territorio, anche se questa non è in grado di soddisfare l'intera richiesta.

Bisogna infine specificare che i consumi di metano, nonostante l'andamento tra i due anni considerati sia molto simile, sono comprensivi, per il 2013, anche del settore dei trasporti, mentre nel 1997 non erano ancora presenti (se non probabilmente in forma ancora sperimentale) veicoli alimentati a metano.

Emissioni interne al comune nel 1997: 891.000 tonnellate di CO₂.

Fattore emissione media parco termoelettrico nel 1997 (fonte: ISPRA): 0,672 kg/kWh

Energia elettrica importata: 1153,19 GWh

Emissioni di CO₂ dovute all'energia elettrica importata:

$$1153,19 \cdot 10^6 \text{ kWh} \cdot 0,672 \frac{\text{kg}}{\text{kWh}} = 774.943 \text{ t}$$

Emissioni totali del settore energetico nel 1997: 1.665.943 t di CO₂.

Emissioni stimate nel PEC: 1.862.836 t

Differenza PEC/ EnergyPLAN: 196.893 t

Differenza %: 10,5%.