

# UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II

## Scuola Politecnica e delle Scienze di Base

Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale



### Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria per l'Ambiente ed il Territorio

(Classe delle Lauree Magistrali in Ingegneria per l'Ambiente ed il Territorio, Classe LM-35)

#### ABSTRACT

### “Sviluppo di un modello di simulazione dinamica della tecnologia Vehicle to Home applicata ai Net Zero Energy Building”

#### **Relatori:**

Ch.mo Prof. Francesco Calise

Ch.mo Prof. Adolfo Palombo

Ch.ma Prof.ssa Annamaria Buonomano

#### **Candidato:**

Valerio Volpecina

M67000329

#### **Correlatori:**

Ing. Maria Vicidomini

Ing. Francesco L. Cappiello

Anno Accademico 2017/2018

**ABSTRACT**

Il settore dell'edilizia produce una grande quantità di emissioni di gas serra a livello mondiale e consuma un'elevata quantità di energia primaria per la fornitura di sistemi di riscaldamento, raffrescamento e dispositivi elettrici. Pertanto, al fine di ridurre l'impatto ambientale di tali sistemi, vengono studiate e analizzate in modo sempre più approfondito strategie adeguate che consentono di accoppiare le fonti di energia rinnovabile con i sistemi di riscaldamento/raffrescamento.

Inoltre, una quota significativa delle emissioni mondiali di gas serra è dovuta anche al settore del trasporto privato, basato principalmente sull'utilizzo dei motori a combustione interna, responsabile di una grande quantità di inquinanti, come SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, CO e particolato (PM). Questo è un problema molto critico, principalmente per le città urbane affollate.

Pertanto, negli ultimi anni, al fine di ridurre il costo ambientale del settore del trasporto privato, il veicolo elettrico (EV) sta diventando un'opzione molto valida, raccomandata anche nel quadro delle politiche europee di diversi paesi, come l'"Accordo di Parigi". È importante sottolineare che gli EV non producono alcun tipo di emissioni, ma se sono caricati dall'energia elettrica prodotta dalla rete nazionale, il problema ambientale viene spostato solo perché tale produzione ha un costo ambientale. Lo stock nazionale di produzione di energia elettrica utilizza ancora centrali elettriche a combustibili fossili, quindi la produzione di inquinanti e gas serra non è realmente ridotta.

Pertanto, negli ultimi anni, in letteratura molti studiosi hanno incentrato i loro lavori sull'integrazione tra edificio, EV e fonti rinnovabili.

Il presente lavoro di tesi ha avuto come obiettivo lo sviluppo di un modello che, attraverso lo svolgimento di simulazioni dinamiche in ambiente TRNSYS, ha consentito l'analisi delle prestazioni energetiche, ambientali ed economiche di un edificio ad energia quasi zero (Nearly Zero Energy Building, NZEB) equipaggiato con collettori termici fotovoltaici integrati (Building Integrated Photovoltaics/Thermal, BIPVT), accoppiati sia ad un sistema di accumulo di energia elettrica (batterie al piombo acido) sia ad un veicolo elettrico (EV).

Il veicolo elettrico è stato preso in considerazione sia al fine di ridurre il costo energetico, economico ed ambientale del trasporto privato sia al fine di valutare l'efficacia della tecnologia V2H.

Pertanto, questo lavoro riguarda:

- Analisi e valutazione della fattibilità energetica, ambientale ed economica del sistema proposto;
- l'effetto dell'adozione dell'EV sulla prestazione elettrica dell'edificio NZEB;

• l'ottimizzazione del sistema NZEB accoppiato all'EV tramite un adeguato set di controller che gestiscono i flussi elettrici tra i collettori BIPVT, il sistema di accumulo dell'energia elettrica, i dispositivi elettrici dell'edificio e l'EV.

Nella Figura 1 è riportato il layout del sistema.

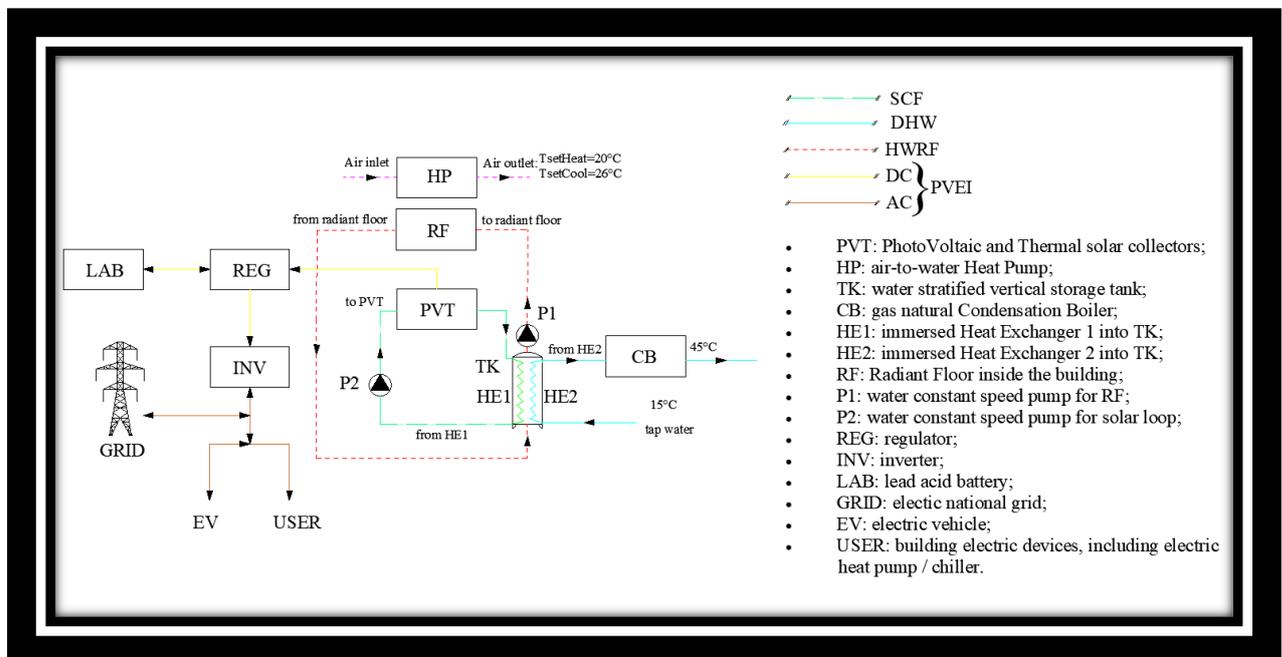


Figura 1-Layout in pianta del Sistema Innovativo.

I collettori BIPVT adottati producono contemporaneamente calore ed elettricità. Il calore è utilizzato per il riscaldamento di una parte dell'ambiente e per la produzione di acqua calda sanitaria. L'elettricità viene utilizzata per alimentare i dispositivi elettrici dell'edificio e il veicolo elettrico, mentre l'eccesso viene immagazzinato nel sistema di accumulo dell'energia. Questo è costituito da batterie al piombo, che durante le ore di bassa produzione di elettricità dei collettori BIPVT, consentono di migliorare l'indipendenza del sistema dalla rete pubblica. L'energia elettrica immagazzinata in questa batteria può essere, anche utilizzata per caricare il veicolo elettrico. Inoltre, viene studiata la strategia "vehicle to home" (V2H), cioè se l'EV è carico e disponibile, e l'energia prodotta o immagazzinata dal sistema di accumulo dell'edificio non è sufficiente per soddisfare la domanda di energia elettrica di quest'ultimo, l'energia immagazzinata nella batteria del veicolo viene utilizzata per fornire la corrente elettrica richiesta dall'utenza. Infine è importante precisare che il sistema interagisce con la rete elettrica nazionale in caso di integrazione o di vendita dell'energia elettrica in eccesso.

Il modello sviluppato è stato adattato ad un opportuno caso studio, nello specifico un piccolo albergo situato nella zona di Napoli. Questo è un Hotel prevalentemente stagionale, con

clientela presente soprattutto da aprile ad ottobre. Il carico elettrico assunto per le simulazioni è un carico elettrico misurato reale, mentre il carico termico viene valutato mediante TRNBUILD. L'EV preso in considerazione è una Renault Zoe 40 con una capacità della batteria agli ioni di litio pari a 41 kWh. Il veicolo elettrico viene messo a disposizione dei clienti dell'albergo tutti i giorni dalle 19:00 alle 24:00. Si è supposta una distanza da percorrere di 80 km alla velocità media di 50 km/h. La ricarica domestica è prevista tramite una tipica stazione di ricarica per veicoli modo 3 IEC61851 con cavo lato veicolo integrato di Tipo 2 - 32A 230V che si adatta perfettamente al veicolo scelto.

Per quanto riguarda il sistema di riferimento: l'edificio ha le stesse caratteristiche del caso proposto, l'EV viene sostituito con un veicolo diesel; le richieste elettriche sono completamente soddisfatte dalla rete; il riscaldamento / raffrescamento delle zone è fornito dalle pompe di calore / chiller elettrici e l'acqua calda sanitaria viene prodotta da una caldaia a condensazione.

Per prima cosa sono state effettuate le simulazioni sul generico sistema innovativo. In seguito per comprendere meglio il comportamento del sistema sono state svolte alcune analisi parametriche facendo variare sia la dimensione del sistema di accumulo elettrico sia la disponibilità e la percorrenza giornaliera del veicolo.

Infine sono state svolte ulteriori analisi del sistema innovativo standard con l'aggiunta di un secondo veicolo elettrico.

Nella Figura 2 è riportato il comportamento dinamico del sistema in un tipico giorno estivo.

Dove:

- $Utenza$  rappresenta la potenza del carico elettrico richiesto dall'edificio;
- $P_{BIPVT\_generata}$  rappresenta la potenza elettrica generata dai collettori solari fotovoltaici integrati;
- $P_{rete}$  rappresenta la potenza elettrica richiesta alla rete elettrica nazionale;
- $P_{eccesso}$  rappresenta la potenza elettrica venduta alla rete;
- $P_{carica\_EV}$  rappresenta la potenza elettrica in fase di carica del veicolo elettrico;
- $P_{carica\_batt}$  rappresenta la potenza elettrica accumulata in fase di carica nel sistema di accumulo elettrico;
- $P_{autocons\_utenza}$  rappresenta la potenza elettrica auto-consumata dall'edificio;
- $P_{scarica\_EV}$  rappresenta la potenza elettrica in fase di scarica del veicolo elettrico;
- $P_{scarica\_batt}$  rappresenta la potenza elettrica fornita all'edificio dal sistema di accumulo;
- $FSOC\_batt$  rappresenta lo stato di carica della batteria utilizzata come sistema di accumulo;

- *FSOC\_EV* rappresenta lo stato di carica della batteria del veicolo elettrico;
- *Disp\_EV* rappresenta quando il veicolo è presente nell'edificio.

Nella Tabella 1 sono riportati i risultati energetici più importanti relativi alla simulazione annuale del sistema innovativo.

Nella Tabella 2 sono riportati i risultati dell'analisi economica.

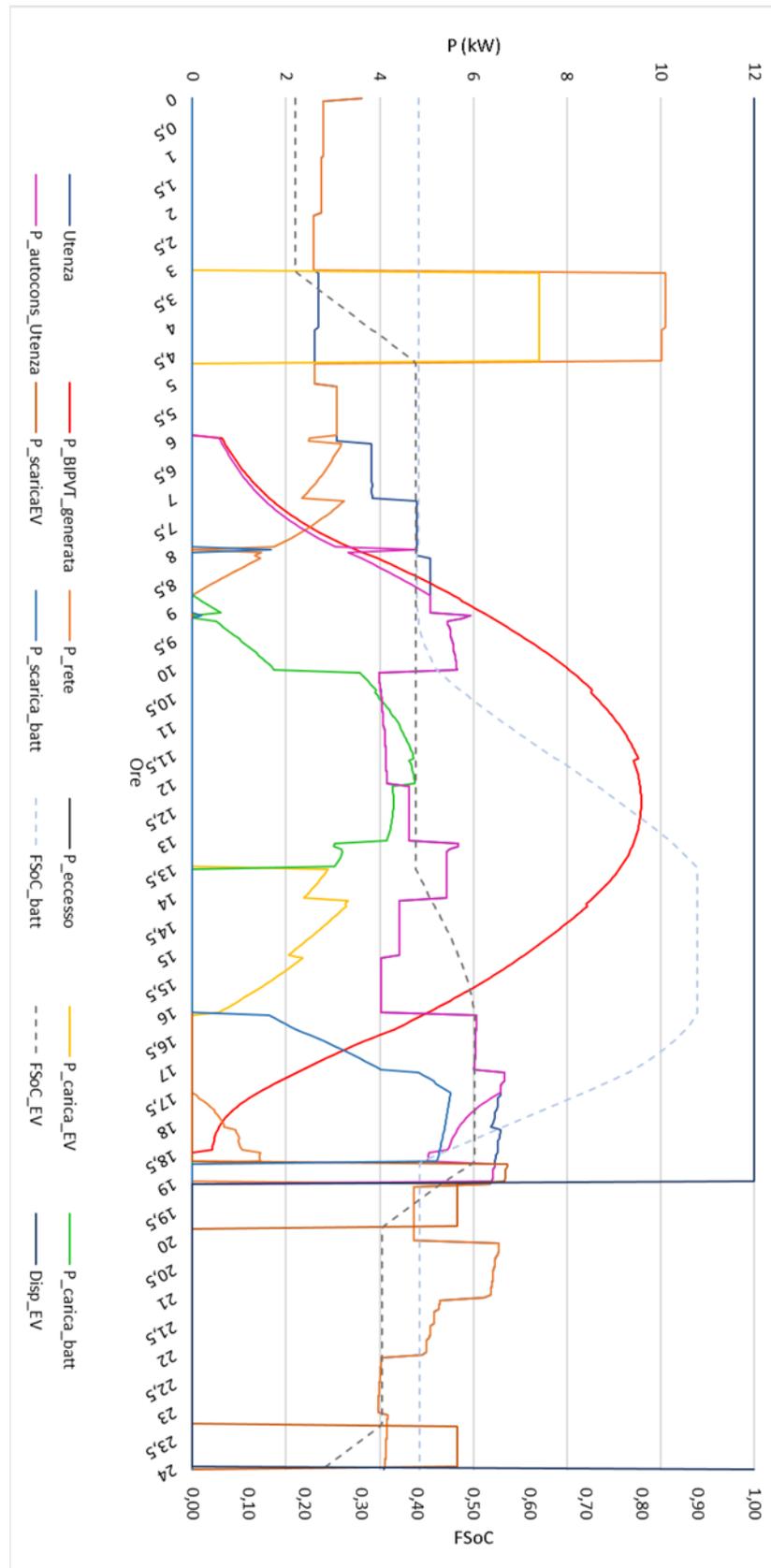


Figura 2 -Profilo dinamico di un giorno tipo invernale.

	<i>Sistema tot</i>	<i>Edificio</i>	<i>Veicolo</i>
<i>Carico elettrico</i>	23,9 MWh	19,3 MWh	4,6 MWh
<i>Generazione</i> <i>BIPVT</i>	17,3 MWh	-	-
<i>Integrazione</i> <i>Rete</i>	41,3 %	42,3 %	37,1 %
<i>BIPVT</i>	45,2 %	41,5 %	61,1 %
<i>Batteria</i>	13,2 %	15,2 %	1,8 %
<i>V2H</i>	0,3 %	1,0 %	-
<i>Auto-consumata</i>	58,7%	57,7 %	62,0 %
<i>ΔEP</i>	39,7 MWh	27,3 MWh	12,4 MWh
<i>PES</i>	56,4 %	50,3 %	77,0 %
<i>ΔCO<sub>2</sub></i>	8708 Kg	6017 Kg	2691 Kg
<i>%CO<sub>2</sub></i>	57,1 %	51,3 %	76,8 %

Tabella 1-Risultati energetici ed ambientali annuali.

<i>Parametro</i>	<i>Valore</i>	<i>Unità</i>
<i>Investimento iniziale</i>	43617	€
<i>Ricavo annuo</i>	3578	€/anno
<i>SPB</i>	12	anni
<i>VAN</i>	1103	€
<i>IP</i>	0,03	-
<i>SPB incentivi</i>	7	anni
<i>VAN incentivi</i>	20412	€
<i>IP incentivi</i>	0,84	-

Tabella 2-Risultati economici.

Il sistema innovativo nella configurazione standard produce 17289 kWh/anno di energia elettrica tramite i collettori solari fotovoltaici, di questi il 78% (13548 kWh) viene autoconsumato, il 6% (1038 kWh) è in eccesso e quindi venduto alla rete mentre il restante 16% viene perso, a causa delle efficienze dei vari componenti elettrici utilizzati (efficienza di conversione dell'inverter, efficienza del regolatore, efficienza di carica e scarica della batteria al piombo acido e al litio). Il 42% del carico elettrico dell'utenza è soddisfatto dalla rete, mentre il 58% è auto-consumato. Di quest'ultimo, il 42% è fornito dal fotovoltaico, il 15% dalla batteria e il restante 1% dal veicolo elettrico. Praticamente, da questi risultati, si nota come nel caso innovativo standard la tecnologia V2H offre un contributo all'edificio quasi nullo.

Per quanto riguarda il soddisfacimento del carico richiesto dal veicolo elettrico, l'aliquota maggiore viene soddisfatta dal fotovoltaico con il 61%, seguono la rete con il 37% e la batteria con il 2%.

Dai valori ottenuti dal PES e dal ΔEp si evince che con un impianto come quello proposto è possibile avere un risparmio notevole in termini di energia primaria di circa 39677 kWh

annui, con un PES del 56%. Se si prende in considerazione solo l'utenza, il risparmio è di 27310 kWh, con un PES del 50%. Nel risparmio dell'utenza rientrano anche il risparmio di acqua calda sanitaria e di energia termica richiesta dal riscaldamento dovuto ai collettori solari e al pavimento radiante. Questi hanno rispettivamente un PES del 5% e del 9%. Nel caso del veicolo, il risparmio di energia primaria è di 12367 kWh, con un PES notevole del 77%.

Per quanto riguarda l'analisi ambientale, con un impianto come quello proposto, è possibile avere un risparmio in termini di anidride carbonica equivalente di 8708 kg/anno, con un risparmio percentuale del 57%. Se si prende in considerazione solo l'utenza, il risparmio è di 6017 kg/anno, cioè il 51%. Infine, per quanto riguarda il veicolo, il risparmio di anidride carbonica è di 2690 kg/anno, vale a dire il 77%.

Il costo capitale del sistema innovativo è di circa 43600 €, con un risparmio economico annuo rispetto al sistema tradizionale di riferimento di 3578 €/anno ed un Simple Pay Back (SPB) di 12 anni. Il sistema presenta un indice di profitto molto basso, pari a 0,03. Praticamente da un punto di vista solo economico, tralasciando le analisi energetiche e ambientali, l'investimento è poco redditizio. Si hanno dei risultati completamente diversi nel caso in cui l'investitore può servirsi di una incentivazione nella costruzione dell'impianto innovativo. Infatti con un incentivo del 50% sui costi di acquisto dei pannelli BIPVT, dell'inverter e del sistema di accumulo di energia elettrica e termica (quindi escludendo dagli incentivi il veicolo elettrico), il SPB si riduce a 7 anni e soprattutto il VAN e l'IP diventano rispettivamente 20412 € e 0,84. Così facendo l'investitore ha dei notevoli vantaggi anche dal punto di vista economico oltre che dal punto di vista ambientale ed energetico.

Nella prima analisi parametrica è stata fatta variare la dimensione del sistema di accumulo elettrico.

All'aumentare della dimensione della batteria, il  $PES_{veicolo}$  diminuisce passando dall' 85% al 60% perché diminuisce l'aliquota di energia da lui auto-consumata fino ad arrivare ad un minimo vicino al 30%, ed aumenta l'aliquota prelevata dalla rete. Il  $PES_{utenza}$ , invece, aumenta passando dal 49% al 55%, dato che come detto in precedenza l'apporto della rete diminuisce all'aumentare della capienza fino ad assumere un valore minimo del 36%. Per quanto riguarda il PES complessivo, esso rimane pressoché costante diminuendo dal 57% al 56% (Figura 3).

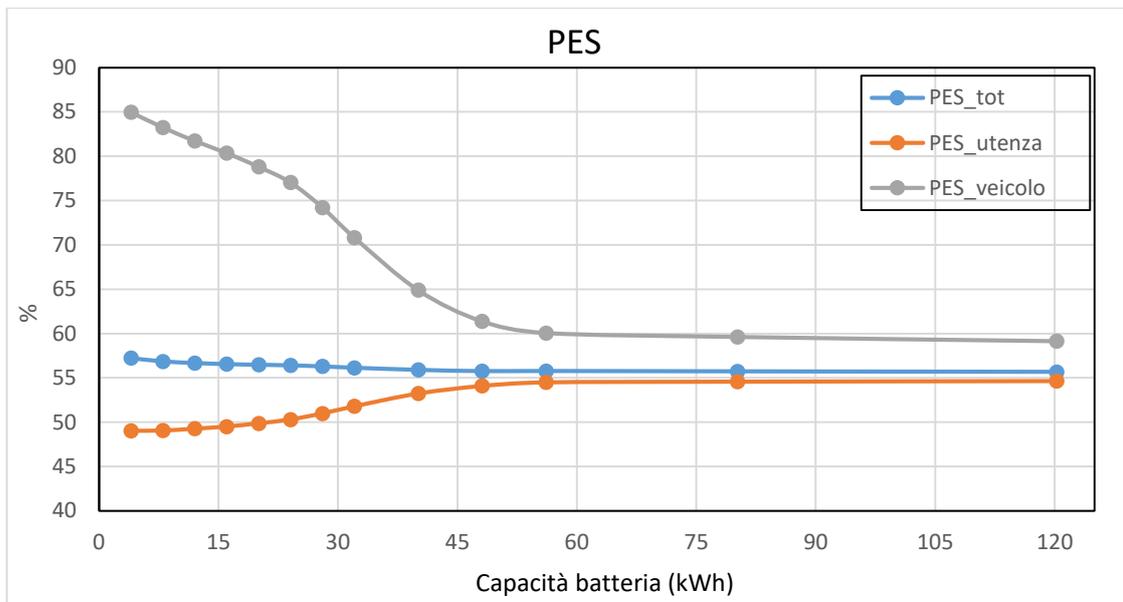


Figura 3-Andamenti dei PES al variare della dimensione della batteria.

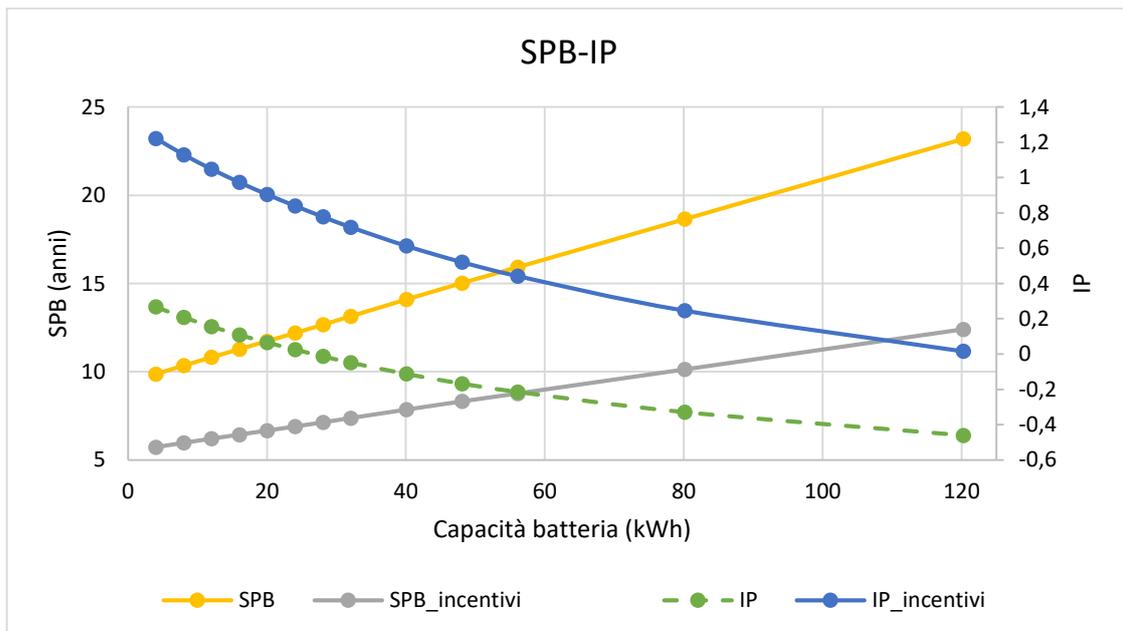


Figura 4-andamenti del SPB e IP al variare della dimensione della batteria.

Dal punto di vista dell'analisi economica (Figura 4), il SPB è direttamente proporzionale all'investimento e inversamente proporzionale al risparmio annuo, infatti cresce all'aumentare dell'investimento, cioè all'aumentare della capienza della batteria, raggiungendo addirittura valori maggiori della vita utile dell'opera, cioè valori superiori ai 20 anni. Per quanto riguarda il risparmio annuo, rimane costante, dato che l'energia richiesta alla rete dal veicolo aumenta mentre quella richiesta alla rete dall'edificio diminuisce. Quindi i due contributi si compensano e la richiesta di integrazione totale (somma della corrente richiesta dall'utenza e dal veicolo) alla rete rimane costante all'aumentare della capienza

della batteria, quindi l'aumento dell'investimento non porta nessun beneficio dal punto di vista economico. Pertanto, anche il VAN peggiora al crescere della dimensione della batteria, diventando addirittura negativo per capienze assolute superiori a 28 kWh. Di conseguenza anche l'altro indice economico, IP, risulta avere lo stesso andamento. Infatti l'aumento legato alla batteria fa crollare l'indice di profitto, il quale risulta essere massimo (0.31) per un sistema d'accumulo piccolissimo, praticamente in assenza della batteria. Anche qui, ovviamente, superata la capacità assoluta di 28 kWh, i valori diventano negativi (Figura 4).

Tutti gli indici economici migliorano notevolmente in caso di incentivi del 50%, tanto che VAN e IP non assumono più valori negativi per nessuna delle capacità considerate.

Quindi, i risultati migliori dal punto di vista economico si hanno nel caso in cui la capienza della batteria è piccolissima, quasi nulla, tanto da poter paragonare questo caso al comportamento del sistema in assenza del sistema di accumulo. SPB, VAN e IP valgono rispettivamente 10 anni, 10600 € e 0,31 nel caso di assenza di incentivi. Viceversa nel caso incentivato assumono i valori di 6 anni, 25000 € e 1,30.

Una altra analisi parametrica, per quanto riguarda il sistema, è stata svolta facendo variare sia la disponibilità del veicolo durante le ore del giorno sia i km percorsi.

L'orario di partenza varia a partire dalle 9:00 alle 19:00 con intervalli di due ore; la durata del viaggio con soste comprese, invece, varia tra 3, 4 e 5 ore; alla durata minima corrisponde 60 km percorsi, alla durata media corrispondono 80 km, infine alla massima durata corrispondono 100 km.

Dal punto di vista della redditività economica i migliori scenari sono senza ombra di dubbio quelli in cui la macchina è presente in albergo durante tutte le ore centrali del giorno, così da sfruttare i momenti in cui si ha energia fotovoltaica prodotta in eccesso, uscendo nelle ore serali per compiere distanze di 100 km. Maggiore è la distanza percorsa al giorno e maggiore è il risparmio tra EV e veicolo diesel, ciò è dovuto al notevole costo del carburante in Italia. Questi scenari presentano, nel caso senza incentivi, valori del SPB, VAN e IP rispettivamente pari a 11 anni, 5800 € e 0,13. Nel caso incentivato questi risultati migliorano notevolmente assumendo i valori di 6 anni, 25000 € e 1,03. Nella Figura 5 è riportato l'andamento del SPB al variare dei casi.

Questi stessi scenari presentano il comportamento migliore anche dal punto di vista energetico ed ambientale se si fa un discorso puramente quantitativo di energia primaria (41000 kWh/anno) e anidride carbonica risparmiata (9000 kg/anno). Se invece si guarda al risparmio percentuale, i risultati sono leggermente migliori per distanze percorse minime,

visto che in questi casi aumenta l'aliquota percentuale fornita dalle fonti rinnovabili al soddisfacimento del carico del veicolo.

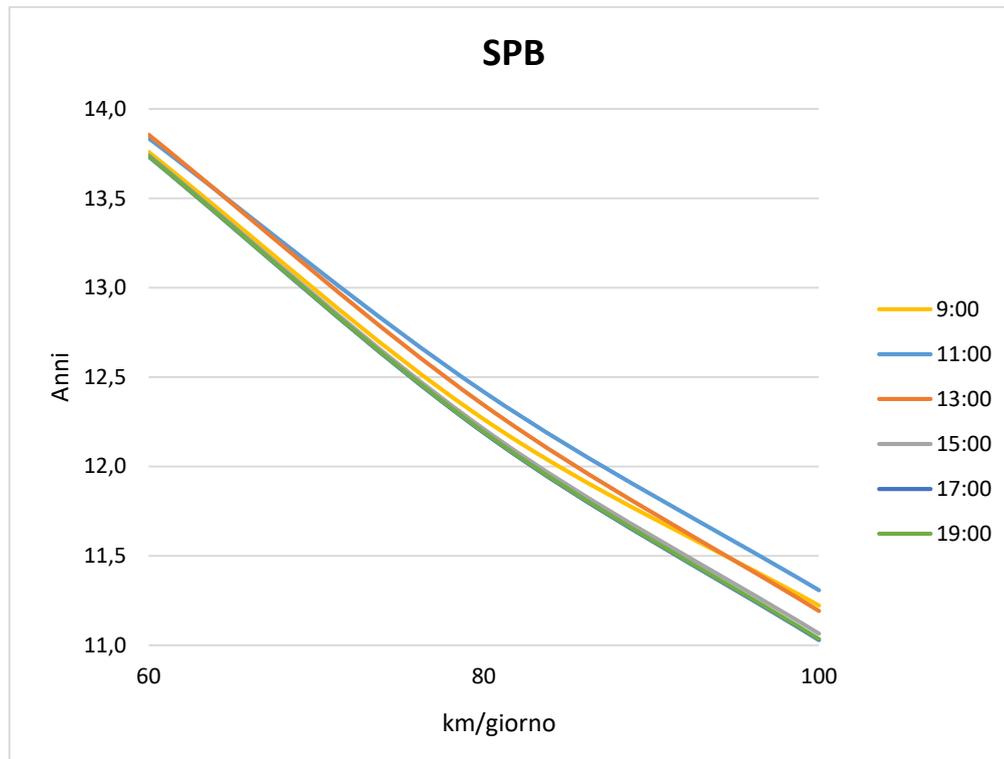


Figura 5- SPB al variare della disponibilità e dei km percorsi dal veicolo.

Infine come ultima analisi è stato aggiunto al sistema innovativo un secondo veicolo. L'aumento del carico totale porta ad una diminuzione dell'eccesso fino a 254 kWh, cioè solamente l'1,5 % dell'energia prodotta. Praticamente il sistema, nel caso di un veicolo, aveva un eccesso pari al 6 % dell'energia prodotta, quindi era un sistema già abbastanza saturo, adesso l'aggiunta di un nuovo veicolo lo satura completamente, causando una diminuzione dell'eccesso e quindi un aumento dell'energia auto-consumata. Inoltre si nota un aumento sia di  $\Delta EP_{\text{veicolo}}$  sia di  $\Delta EP_{\text{totale}}$  grazie all'ulteriore energia primaria risparmiata dal veicolo aggiuntivo. A questo aumento dal punto di vista quantitativo di energia primaria risparmiata però non corrisponde un aumento del PES, infatti sia il PES totale sia il PES veicolo diminuiscono rispettivamente dal 56% a 53 % e dal 77% a 66%. Lo stesso vale per gli indici ambientali. Questa diminuzione è dovuta al fatto che il carico aggiuntivo causato dal secondo veicolo viene assorbito quasi interamente dalla rete, infatti la percentuale di energia autoconsumata dal veicolo passa dal 63% al 43%. Per quanto riguarda l'analisi economica, l'aggiunta di un secondo veicolo porta ad un aumento del risparmio annuo e ad un aumento del costo capitale del sistema innovativo. L'aumento del risparmio, nonostante l'aumento dell'energia acquistata dalla rete elettrica, è dovuto all'elevato costo dei

carburanti fossili (come il diesel) in Italia. In questo scenario l'investimento diventa redditizio anche in mancanza di incentivi, infatti il SPB, VAN e IP diventano rispettivamente 10 anni, 14827 € e 0,30. In caso di incentivi questi valori subiscono un ulteriore miglioramento passando a 6 anni, 36975 € e 1,36.

Questi risultati mostrano che il sistema proposto, per questo specifico caso studio, è un sistema conveniente sia dal punto di vista energetico sia dal punto di vista ambientale, con risparmi complessivi di energia primaria e anidride carbonica equivalente mai inferiori al 55%. La convenienza dal punto di vista economico invece, in assenza di incentivi, dipende molto sia dalla dimensione del sistema di accumulo sia dalle abitudini del guidatore del veicolo elettrico. Infatti la redditività dell'investimento migliora al diminuire delle dimensioni della batteria e all'aumentare dei chilometri percorsi dal veicolo elettrico a causa dell'elevato costo del diesel in Italia. Inoltre a parità di chilometri percorsi si hanno i migliori risultati nel caso in cui l'EV esce la sera così da sfruttare il surplus di energia fotovoltaica per caricare la batteria dell'EV stesso.

In ultima analisi la strategia V2H, in questo particolare caso studio, si è dimostrata essere non efficiente avendo un effetto trascurabile sulle prestazioni energetiche ed economiche del sistema proposto.