



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Ingegneria Industriale DII

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria dell'Energia Elettrica

Modello per la gestione di una stazione di ricarica EV supportata da un sistema di accumulo energetico

Relatore: Mauro Andriollo

Correlatore: Ing. Claudio Brocca - NIDEC - ASI

Studente: Francesco Piazza

Matricola: 1148310

Anno Accademico 2018/2019

*Alla mia famiglia
per l'incondizionato sostegno*

Indice

Sommario	1
1.Introduzione.....	3
2.Mobilità Elettrica.....	7
2.1.Maturità della mobilità elettrica in Italia	10
2.1.1.Incentivi e differenze con i principali Paesi Europei	11
2.1.2.Infrastrutture di ricarica.....	12
2.2.Previsioni e Scenari futuri	16
2.2.1.Impatto degli scenari ipotizzati.....	18
2.2.2.Miglioramenti da attuare nel prossimo futuro.....	19
3. Stato dell'Arte delle Infrastrutture di ricarica	21
3.1.Standard della ricarica in cavo	22
3.1.1.Sfida alla ricarica Fast.....	26
3.2.Ricarica Wireless	29
3.3.V2G: Vehicle to Grid.....	32
4.Sistemi di Accumulo	35
4.1.Tipologie di Accumulo.....	37
4.1.1.Sistemi di accumulo elettrochimico.....	37
4.1.1.1.Batterie al Litio	42
4.1.2.Sistemi di accumulo meccanico	44
4.1.2.1.Volano	44
4.1.3.Sistemi di accumulo dielettrico.....	46
4.1.3.1.Supercondensatori.....	46
4.1.3.2.SMES (Superconducting Magnetic Energy Storage)	47
4.2.Confronto fra i vari sistemi	49
5.Stazione Ultra Fast Charge (UFCS)	51

5.1.Dati utilizzati.....	52
5.2 Schema UFCS.....	55
5.3.Valutazione traffico orario critico	61
5.3.1.Simulazione doppio accumulatore.....	66
5.4.Cariche da modello batterie.....	69
5.5.Simulazioni giornaliere con distribuzione randomizzata	73
5.5.1.Traffico reale	77
5.5.2.Carico basso	79
5.5.3.Carico medio-alto.....	80
6.Gestione del traffico in stazione	85
6.1.Scenario ad alto traffico con cariche ad elevata potenza.....	86
6.2.Gestione lenta delle ricariche	95
6.3.Gestione lenta delle ricariche solo al di fuori delle ore di punta	97
6.4.Ricarica a scelta del proprietario del veicolo	99
6.5.Confronto fra le diverse gestioni.....	100
6.6.Differenze fra l'accumulatore da 160kWh e quello da 240kWh.....	103
6.6.1.Valutazione Aging.....	104
6.6.2.Arrivi cadenzati.....	107
7.Conclusioni	111
Bibliografia	113
Ringraziamenti.....	115

Sommario

La mobilità elettrica è certamente uno dei settori industriali più dinamici ed in continuo sviluppo, le incognite sul futuro però non sono certo poche. Le principali problematiche da affrontare sono, oltre l'abbattimento dei costi dei veicoli incentivandone l'acquisto, l'adeguamento delle ricariche per competere con quelle dei normali veicoli benzina e diesel e il miglioramento delle stazioni di ricarica, in modo che in un futuro non richiedano ingenti potenze interamente alla rete elettrica. In questo lavoro si è quindi valutata una possibile stazione di ricarica per veicoli elettrici che garantisce ricariche fast ed ultra fast per tre tipologie diverse di veicoli, arrivando a caricare quelli con possibilità di compiere ricariche a 320kW in circa 15 minuti. Per usufruire di queste potenze senza impegnare troppo la rete si è ritenuto indispensabile l'utilizzo di un accumulatore, inizialmente dimensionato da 160kWh. Considerando un possibile traffico che quotidianamente potrebbe presentarsi in stazione si è valutato l'utilizzo di un altro accumulatore, sovradimensionato rispetto al primo, da 240kWh. Infine si sono effettuati i necessari confronti fra le due tipologie di accumulatori in termini di durata nel tempo e di traffico massimo sostenibile in una giornata di funzionamento, utilizzando anche delle diverse gestioni delle ricariche.

1.Introduzione

Negli ultimi decenni, uno dei dibattiti più grandi che ha coinvolto l'uomo è stato certamente quello riguardante i cambiamenti climatici. L'obiettivo principale è ovviamente quello di introdurre delle politiche energetiche adeguate e porre degli obiettivi per il prossimo futuro, in modo da ridurre al minimo le emissioni di CO₂ e degli elementi inquinanti. Riguardo queste tematiche, è stato raggiunto alla conferenza del 2015 della COP 21¹, dopo lunghissimi negoziati durati più di dieci anni, un accordo sul clima. I punti focali di questo accordo sono:

- Il riscaldamento globale con l'obiettivo di restare ben al di sotto dei 2 gradi rispetto ai livelli preindustriali.
- Obiettivo a lungo termine sulle emissioni, con ogni paese che deve prendersi i propri impegni, comunicarli e mantenerli.
- Finanziamenti ai paesi in via di sviluppo e la trasparenza per creare una fiducia reciproca.

La conferenza ha dato una grande importanza ai mezzi di trasporto ed ai loro sviluppi futuri, dato che questi al giorno d'oggi sono tra i principali emettitori di CO₂, rappresentando una quota del 24% delle emissioni totali. L'interesse riguardo la mobilità elettrica è intuibile dalle parole del presidente e direttore generale dell'alleanza Renault-Nissan, Carlos Ghosn: "COP21 ci esorta ad agire per limitare le conseguenze del cambiamento climatico, in particolare il riscaldamento del pianeta dovuto ai mezzi di trasporto individuale. I veicoli elettrici rappresentano l'unica soluzione di trasporto esistente, pratica e accessibile, che consente di raccogliere le sfide ambientali cui è confrontato il mondo. Qualunque città o Stato che consideri con serietà il problema della protezione ambientale, deve sviluppare l'infrastruttura necessaria ai veicoli elettrici". Possiamo quindi capire come i veicoli elettrici siano uno dei punti fondamentali su cui agire per raggiungere i prestigiosi obiettivi siglati durante la COP21. Nonostante questo però, al giorno d'oggi ci sono ancora molti vincoli che non permettono la fruibilità dei veicoli elettrici al grande pubblico. Le principali problematiche che preoccupano i consumatori sono quindi:

- Range di guida limitato.

¹ 21^a sessione annuale della conferenza delle parti della Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC).

- Lunghe attese per ricaricare la batteria del veicolo.
- Elevati costi per acquistarlo e il problema della sicurezza.

Se la paura per la sicurezza riguardo la tecnologia può essere correlata ad una comunicazione poco efficace, il problema delle lunghe attese per la ricarica invece è una sfida tecnologica non indifferente. Come approfondiremo in seguito, le UFCS (Ultra Fast Charging Stations) sono ciò che meglio rappresenta il presente ed il futuro dei veicoli elettrici, ovvero, il loro miglioramento tecnologico e la loro sempre maggiore presenza porteranno ad avere una crescente fiducia negli EV (Electric vehicles).

Il lavoro di questa tesi è quindi volto a valutare le criticità che si potrebbero incontrare in una UFCS connessa ad una rete di bassa tensione con accumulo integrato. La stazione dovrebbe consentire ricariche in corrente continua con modalità che permettono di impegnare potenze fino a 160 e 320 kW. Lo scopo principale è quindi quello di definire delle sequenze realistiche di arrivo in stazione e monitorare lo stato di carica dell'accumulatore in base all'affluenza. Inoltre verranno considerate delle gestioni diverse delle ricariche per riuscire ad ottimizzare l'utilizzo dell'accumulatore ed eventualmente sovradimensionarlo valutando anche la perdita di capacità a cui è sottoposto nel tempo (Aging).

Analizziamo quindi le varie tematiche che sono affrontate nel lavoro di tesi. Le macroparti che vanno a costituire il corpo principale sono sostanzialmente 2, ma sono suddivise in 5 capitoli:

- Nella prima parte viene descritta l'evoluzione in Italia e nel Mondo della mobilità elettrica negli ultimi anni, con un occhio di riguardo anche ai possibili scenari futuri.
- Nella seconda parte è presentato lo stato dell'arte delle infrastrutture di ricarica, quindi i vari standard, le modalità di ricarica e le prestazioni che queste possono svolgere.
- La terza parte descrive le varie tipologie di Accumulo e ne fa un confronto in modo da ricavare la più idonea per questo tipo di applicazione.
- La quarta parte introduce ed analizza il sistema studiato, andando a valutare una serie di casistiche del traffico che possono verificarsi in una stazione di ricarica di questo tipo. Vengono svolte inoltre una serie di simulazioni per spiegare il problema a livello pratico.
- La quinta ed ultima parte valuta invece le possibilità di gestione del traffico utili ad evitare le congestioni e quindi l'interdizione della stazione. Viene considerata

Modello per la gestione di una stazione di ricarica EV supportata da un sistema di accumulo energetico

poi la possibilità di utilizzare un accumulatore sovradimensionato rispetto al primo per confrontare i risultati in termini di Aging, potenza impegnata e veicoli caricati. Infine, ipotizzando uno scenario futuro con veicoli richiedenti cariche più veloci, si è valutata una distribuzione diversa del traffico, analizzandola con le due tipologie di accumulatori.

2.Mobilità Elettrica

Le attuali politiche dei governi Mondiali ed Europei, portano verso un'adozione sempre maggiore di veicoli elettrici tendendo all'elettrificazione dei sistemi di trasporto pubblici e privati, per far fronte, in un'ottica di sviluppo sostenibile, alla sempre maggior richiesta di mobilità in ambiente sia urbano che extraurbano.

Al giorno d'oggi i veicoli elettrici non rappresentano una grossa fetta del mercato automobilistico mondiale, però sono una realtà in continuo sviluppo, come testimoniano i dati sulla crescita delle immatricolazioni globali. Nel 2017 sono stati venduti a livello globale 1.2 milioni EV con una crescita del 57% rispetto al 2016 dove sono stati 750mila. La crescita è ancora maggiore se guardiamo al 2015 dov'erano 537mila. Per la fine del 2018 possiamo aspettarci 2 milioni di nuovi veicoli elettrici immatricolati. [6]

Guardando ora la Tabella 1, possiamo notare come a livello globale l'immatricolazione di EV non abbia subito una crescita omogenea. I due paesi principali che spiccano per la crescita del mercato elettrico negli ultimi anni sono il Giappone e la Germania, questi mostrano incrementi percentuali superiori al 100%. Possiamo quindi affermare che il Giappone presenta il mercato più dinamico, con un potenziale di crescita superiore a tutti gli altri.

PAESE	EV immatricolati nel 2017	Incremento rispetto al 2016
CINA	580.000	+72%
EUROPA	290.000	+39%
STATI UNITI	200.000	+27%
GIAPPONE	56.000	+155%
NORVEGIA	62.000	+24%
GERMANIA	55.000	+117%
GRAN BRETAGNA	47.000	+27%
FRANCIA	37.000	+26%

Tabella 1: Incremento immatricolazioni EV

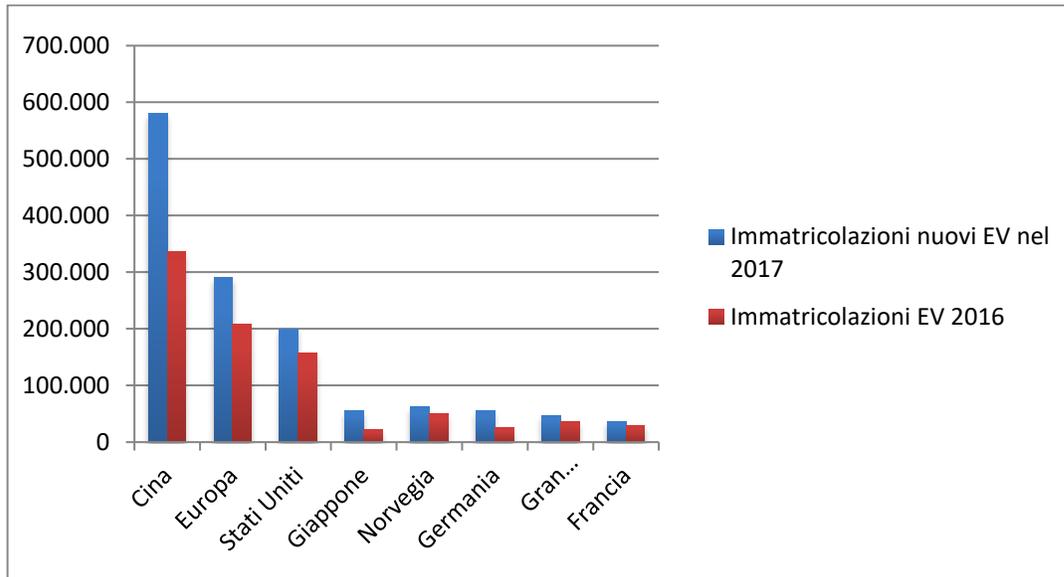


Figura 1: Differenze immatricolazioni 2016/2017

Un dato che non possiamo invece cogliere dalla Tabella 1 e dalla Figura 1 precedenti è il fatto che la Norvegia è il primo paese a livello mondiale come percentuale di mercato di veicoli elettrici sul totale delle vendite. I 62.000 EV immatricolati in Norvegia nel 2017 rappresentano ben il 39% delle vendite, un dato impressionante se rapportato con il resto del Mondo.

Guardando i dati relativi all'Europa ed ai quattro stati europei presi in considerazione nella Tabella 1, possiamo notare come questi rappresentino insieme circa il 70% del mercato europeo. Purtroppo l'Italia è ancora indietro in questa speciale classifica, ed ora analizzeremo come sta evolvendo negli ultimi anni.

Il mercato elettrico italiano ha una dimensione decisamente ridotta rispetto alle principali nazioni europee e mondiali. Infatti, nonostante il totale dei veicoli (tutte le tipologie di veicoli) rappresenti il 13% del mercato europeo, l'Italia incide solo per l'1,7% nella vendita totale di veicoli elettrici in Europa. Come possiamo vedere dalla Tabella 2, le immatricolazioni del 2017 sono di 4827 unità, si parla quindi di numeri 10 volte inferiori a quelli della Gran Bretagna. Il paragone è ancora meno generoso se andiamo a confrontarlo con i numeri di Germania e Norvegia. [6]

Modello per la gestione di una stazione di ricarica EV supportata da un sistema di accumulo energetico

Tipologia veicolo	2012	2013	2014	2015	2016	2017	TOT ad inizio 2018
BEV vendute	524	874	1110	1480	1403	1964	7355
PHEV vendute	153	228	451	740	1160	2863	5595
Totale EV vendute	677	1102	1561	2220	2563	4827	12950
% sulle vendite totali	0,05%	0,08%	0,11%	0,14%	0,14%	0,24%	

Tabella 2: Immatricolazioni EV in Italia negli ultimi anni

Analizzando ulteriormente i dati riguardanti l'Italia, possiamo sottolineare la crescita relativa delle immatricolazioni di BEV e PHEV del quasi 88% tra il 2016 e il 2017, inoltre possiamo vedere come le immatricolazioni delle PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle) siano aumentate di 2,5 volte (150%) superando per la prima volta le BEV (Battery Electric Vehicle). Guardando invece i dati del primo semestre del 2018 vediamo che la crescita dei veicoli elettrici in Italia è ancora più marcata: 4129 nuove auto elettriche immatricolate nei primi 6 mesi (+89% rispetto allo stesso periodo nel 2017).

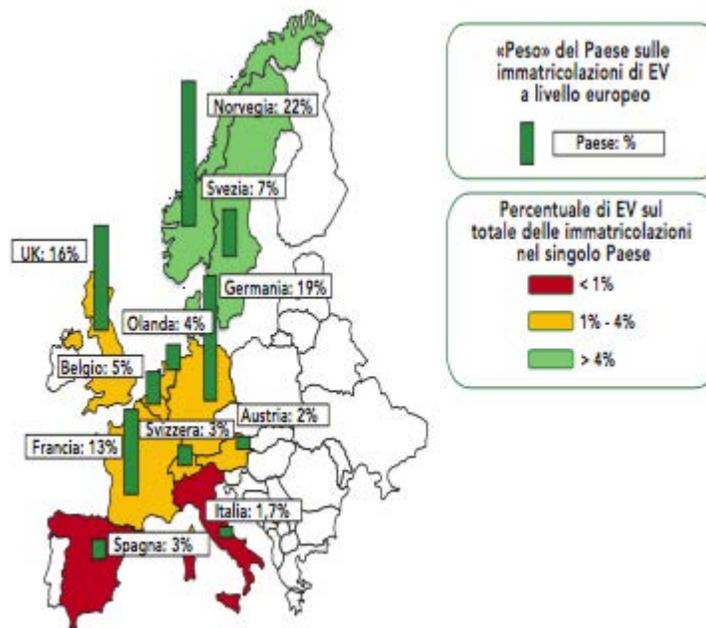


Figura 2: Immatricolazioni EV a livello Europeo. [6]

La Figura 2 mostra le percentuali di mercato della mobilità elettrica che possiedono i vari paesi europei ed inoltre li suddivide in base alla percentuale di veicoli elettrici sul totale delle immatricolazioni nel singolo Paese.

2.1. Maturità della mobilità elettrica in Italia

Per analizzare al meglio la maturità della mobilità elettrica prendiamo in esame tre indicatori principali:

- maturità tecnologica
- maturità normativa
- maturità di mercato

La maturità tecnologica è l'indicatore con meno criticità. L'adattabilità dei veicoli è considerata molto buona, anche se per quanto riguarda autonomia e affidabilità del veicolo si attendono ancora miglioramenti, la cui tendenza è tuttavia promettente. Le infrastrutture invece hanno per il momento una parziale interoperabilità e una discreta affidabilità, ma anche in questo caso i trend futuri fanno ben sperare. Per interoperabilità si intende la possibilità per un veicolo di effettuare una ricarica su tutte le tipologie di colonnine esistenti, ed è stata in parte risolta a livello normativo creando degli standard per le prese, che vedremo in seguito. Le principali sfide tecnologiche a cui si sta lavorando sono il miglioramento delle batterie, tanto in termini di autonomia che di costi, e i sistemi di ricarica, che dovrebbero essere resi più rapidi valutando anche delle possibili alternative tecnologiche (come la ricarica ad induzione, che permetterebbe la ricarica anche durante la marcia del veicolo).

Per quanto riguarda la maturità del mercato, il mercato delle auto elettriche è purtroppo ancora una nicchia, come dimostrano gli indicatori precedentemente riportati. I punti critici comuni sembrano identificarsi con la scarsa domanda di veicoli elettrici e l'inadeguata diffusione dei sistemi di ricarica rapidi. La tendenza sembra essere quella di una crescente fiducia del mercato, probabilmente grazie agli investimenti pianificati per lo studio di tecnologie sempre più efficienti nei sistemi di ricarica.

La maturità a livello di tecnica normativa, è certamente il campo che presenta le maggiori criticità. L'assenza di politiche incentivanti non è necessariamente l'unica causa, come dimostra l'esempio del mercato dei veicoli plug-in in Olanda, che, nonostante numerosi incentivi ha visto un crollo delle immatricolazioni. Pur non dovendo eccedere né in un senso né nell'altro, l'avvento di una nuova tecnologia

normalmente richiede investimenti e incentivi ragionati. In Italia, per quanto riguarda i veicoli, se da un lato i vincoli normativi sono poco stringenti, dall'altro l'acquisto è poco incentivato. Analoghe considerazioni valgono per le infrastrutture di ricarica dove gli obblighi sono molto stringenti e l'acquisto è incentivato indirettamente. [6]

2.1.1. Incentivi e differenze con i principali Paesi Europei

Vediamo ora come l'Italia e le principali potenze Europee incentivano lo sviluppo del mercato della mobilità elettrica, analizzando le differenze che negli anni hanno portato ad avere le disparità che abbiamo potuto precedentemente vedere.

In Italia gli incentivi statali diretti sono durati dal 2013 al 2014 e consistevano in riduzioni sull'acquisto di veicoli elettrici fino a 5000€. Ora le incentivazioni a livello statale non esistono più e le uniche misure di sostegno rimaste sono a livello locale. Generalmente si prevedono incentivi indiretti, come:

- Riduzione dei costi di circolazione dei veicoli.
- Riduzione del pagamento del bollo, come ad esempio l'esenzione totale per 5 anni e il pagamento di 1/4 rispetto all'equivalente veicolo a benzina negli anni seguenti.
- Alcuni comuni consentono gli accessi nelle zone a traffico limitato (ZTL) o anche la possibilità di parcheggiare gratuitamente nelle aree di sosta a pagamento.

Solamente due regioni presentano ancora degli incentivi diretti sul pagamento del veicolo.

1. La Provincia Autonoma di Trento garantisce un incentivo diretto di 4000 euro nel caso di acquisto di un PHEV e 6000 euro per l'acquisto di un BEV.
2. Il Friuli Venezia Giulia mette a disposizione un contributo che va dai 4000 ai 5000 euro nel caso di acquisto di un BEV o PHEV, ma solo nel caso di rottamazione di un veicolo Benzina o Diesel da Euro 0 a Euro 3.

Altri incentivi che riguardano certi comuni d'Italia come ad esempio Milano e Roma sono più che altro dei disincentivi per le altre alimentazioni (principalmente Diesel e Benzina) e consistono sostanzialmente nel divieto di accesso per certi veicoli nelle aree urbane. Nei due comuni precedentemente elencati le limitazioni a questi veicoli saranno progressive fino ad arrivare ad un blocco completo della circolazione tra il 2024 e il 2027.

I Paesi Europei più all'avanguardia sul mercato della mobilità elettrica e per diretta conseguenza nel promuovere incentivi diretti ed indiretti ai consumatori, sono Germania, Regno Unito, Francia e Norvegia.

La Germania fra questi Paesi è quella che ha iniziato più tardi il processo di elettrificazione dei trasporti, ma ha comunque recuperato terreno, piazzandosi ormai seconda in Europa per immatricolazioni. Riguardo gli incentivi garantisce all'acquirente un incentivo diretto sull'acquisto che va da 4000€ per un BEV a 3000€ per un PHEV ed inoltre l'esenzione dalla tassa di circolazione per 10 anni.

La Francia invece, incentiva direttamente l'acquisto garantendo fino a 6000€, in più se è in sostituzione di un veicolo Diesel di 11 o più anni si vanno a sommare altri 4000€ per un BEV e 2500€ per un PHEV.

Il Regno Unito offre invece una riduzione del 35% del costo d'acquisto, quindi con sconti fino a 4500£ per un BEV e 2500£ per un PHEV ed inoltre una riduzione sulle tasse annuali.

Come si può intuitivamente capire dalla differenza con l'Italia, gli incentivi in questi paesi giocano un ruolo fondamentale per la diffusione della mobilità elettrica. Infine la Norvegia, punta di diamante nella diffusione della mobilità elettrica merita a sua volta un discorso a parte: come incentivo diretto viene applicata una riduzione del 25% dell'IVA al momento dell'acquisto e come incentivi indiretti viene garantito l'accesso gratuito, o comunque molto scontato, in parcheggi e traghetti. È stato inoltre introdotto il principio del "polluter pays", ovvero chi inquina paga. In questo modo chi possiede veicoli più inquinanti paga delle imposte annuali di circolazione maggiori, il che si traduce in costi minori per lo Stato e in un'ulteriore incentivazione all'acquisto di veicoli elettrici. La Norvegia, grazie a questa politica innovativa e lungimirante sta guidando la transizione verso una completa mobilità elettrica. L'Italia dovrebbe iniziare a seguire questo modello per non rimanere troppo indietro sulla tabella di marcia.

2.1.2. Infrastrutture di ricarica

Un altro fattore molto importante che ci fa capire meglio il diverso dinamismo della diffusione della mobilità elettrica è certamente la presenza delle infrastrutture di ricarica, che incide senza dubbio alla predisposizione all'acquisto. Una distribuzione capillare delle stazioni di ricarica riduce la "range anxiety", ovvero la paura della scarsa

autonomia di una normale macchina elettrica, che è al giorno d'oggi una delle principali preoccupazioni dei consumatori.

Come prima classificazione dobbiamo suddividere le infrastrutture di ricarica per luoghi e tipologie. Nella Figura 3 possiamo vedere le principali locazioni delle infrastrutture e l'utilizzo che statisticamente i proprietari di auto elettriche ne fanno. Notiamo come la maggior parte dei consumatori utilizza la propria colonnina a casa, mentre i punti di ricarica nelle aree commerciali e quelli Fast charge sono utilizzati più di rado. Questi dati ci possono dare una prima panoramica sulla diffusione delle colonnine.

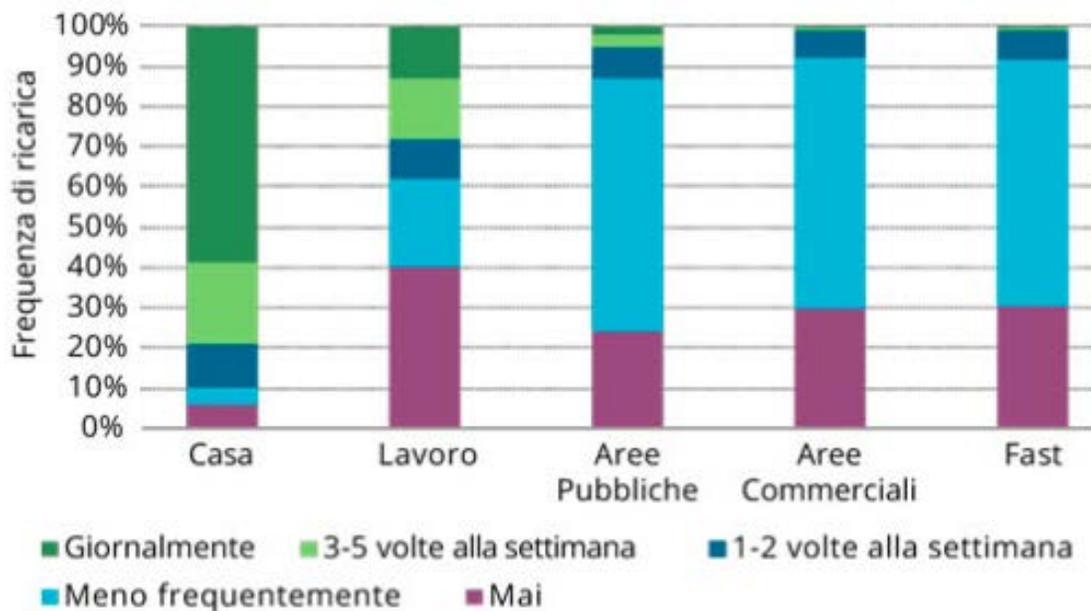


Figura 3: Utilizzo infrastrutture di ricarica [6]

È chiaro come il principale utilizzo della ricarica a casa potrebbe essere legato tanto alla scarsa presenza di colonnine sul territorio quanto ad un utilizzo a basso chilometraggio dei veicoli, che potrebbe però essere comunque dovuto all'inadeguatezza della distribuzione delle strutture di ricarica.

La Tabella 3 mostra invece l'incremento dei punti di ricarica in Italia negli ultimi anni, suddividendoli in quelli a potenza normale (<22kW) e a potenza superiore ai 22kW. Notiamo subito come dal 2016 al 2017 ci sia stato un incremento di circa 750 unità, interrompendo così una situazione di stasi negli anni precedenti.

2. Mobilità Elettrica

Station Power	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	TOT inizio 2018
P<22kW	614	1350	1350	1350	1679	1796	2298	2741
P>22kW	2	2	6	13	70	203	443	

Tabella 3: Incremento punti di ricarica negli ultimi anni in Italia.

La spinta subita dal settore delle infrastrutture di ricarica fa ben sperare per i futuri andamenti del mercato della mobilità elettrica in Italia. Nonostante questo, però la distribuzione geografica è decisamente squilibrata, con il Sud e le isole che detengono una quota del 12% e 9 % rispettivamente delle infrastrutture in AC e in DC.

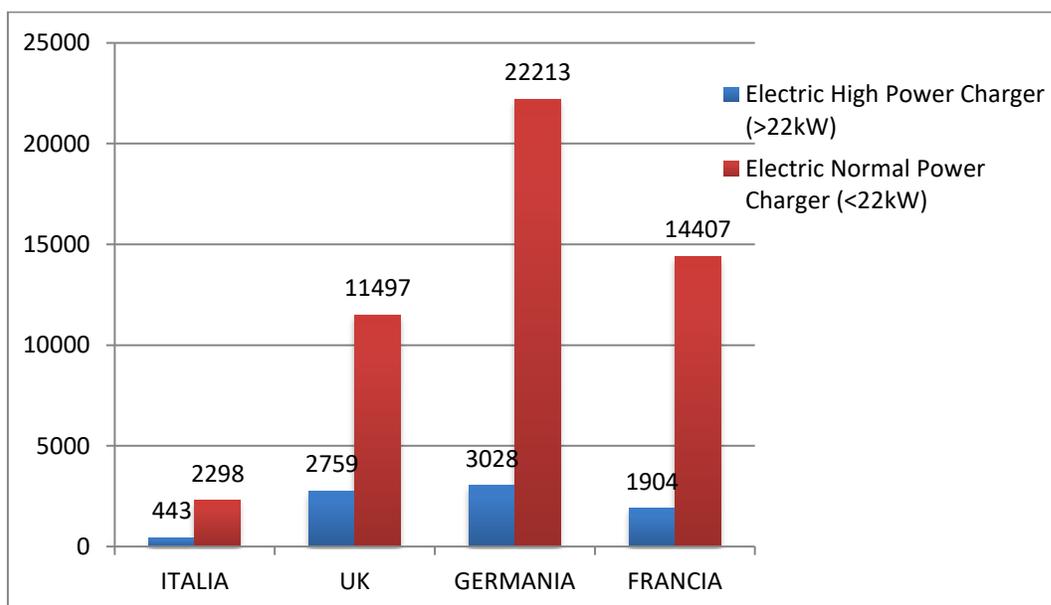


Tabella 4: Infrastrutture di ricarica Fast e Normal nei principali Paesi Europei

Confrontando invece i dati dell'Italia con i principali Paesi Europei, come mostra la Tabella 4, si vede come il numero di infrastrutture di ricarica si attesti attorno al 10-20% di quelle dei Paesi a maggior diffusione.

Un dato molto interessante è la ripartizione sul territorio delle stazioni di ricarica, perché mostra come la mobilità elettrica può evolvere. Le principali locazioni in cui troviamo le stazioni di ricarica sono le strade urbane o i parcheggi pubblici, le zone extra-urbane o Autostrade e i punti di interesse, come potrebbero essere i centri commerciali, i teatri, i cinema, i supermercati ecc... Generalmente un buon 50% si trova nelle zone urbane, un 45% nei punti strategici di interesse, mentre il restante 5% nelle strade extra-urbane, dove viceversa la tecnologia fast charge sarebbe più necessaria. La scarsa presenza di colonnine fast charge condiziona quindi la possibilità di compiere viaggi a raggio più ampio.

Il PNire² ha stabilito un piano di sviluppo nel breve periodo (al 2020) che dovrebbe portare le stazioni di ricarica veloce, ovvero superiori a 40kW, ad un numero che va dalle 2000 alle 6000 unità mentre quelle a ricarica lenta da 4500 a 13000. Tale incremento delle colonnine di ricarica dovrebbe collocarsi soprattutto in ambiente extra-urbano, arrivando ad una quota del 12% del totale. I numeri rispetto ad altri paesi come la Germania rimangono nettamente inferiori, però denotano la volontà dell'Italia di iniziare un percorso di elettrificazione dei trasporti privati. Inoltre l'aumento delle infrastrutture di ricarica fast charge superiori a 40 kW nelle aree extra-urbane (es: autostrade) può far intuire come l'Italia abbia come scopo anche quello di cambiare il ruolo del veicolo elettrico, ovvero portarlo ad essere utilizzato anche per viaggi più lunghi e non solamente per tragitti casa lavoro come i dati degli ultimi anni dimostrano.

Riguardo le infrastrutture di ricarica, molto interessanti sono i due progetti cardine di Ionity ed EVA+:

- Ionity è un progetto Europeo creato dalle case automobilistiche Bmw, Daimler, Volkswagen e Ford che consiste in una rete di ricarica ultra-rapida con l'obiettivo di installare 400 punti di ricarica entro il 2020. Questo è un progetto di punta per la mobilità elettrica perché la potenza dei punti di ricarica raggiunge i 350 kW, permettendo così la ricarica completa delle batterie dei veicoli in 15-30 minuti. All'accordo ha aderito anche Enel X, per cui si prevede di installare 20 di queste stazioni in Italia.
- EVA+ invece è un progetto di cui Enel è il capofila che ha permesso la costruzione di 180 colonnine multi-standard in ambiente extra-urbano in Italia. Grazie all'installazione di colonnine sulla tratta Milano-Roma questo progetto consente di caricare un veicolo ogni 60 km.

² Piano Nazionale infrastrutturale per la ricarica dei veicoli alimentati ad energia elettrica

2.2. Previsioni e Scenari futuri

Il mercato della mobilità elettrica in Italia come abbiamo visto precedentemente è ancora poco sviluppato rispetto ad altri Paesi, però presenta dei grossi margini di miglioramento ed ha il potenziale per diventare uno dei più grossi mercati Europei. Basti pensare che l'Italia detiene il numero più alto di veicoli pro capite fra i Paesi più grandi dell'Unione Europea, con 7 veicoli ogni 10 abitanti. Germania, UK e Francia sono intorno a 5,8-5,9. Inoltre l'età media dei veicoli è in media di quasi 2 anni superiore rispetto a quelli dei Paesi prima elencati. Questo lascia intuire un potenziale di sviluppo molto importante, perché il rinnovo del parco macchine che probabilmente avverrà nei prossimi anni in Italia potrebbe rappresentare un' enorme opportunità per l'introduzione di veicoli elettrici. Si tratta quindi di una possibilità senza precedenti, da sfruttare con le opportune politiche energetiche e incentivando i consumatori all'acquisto di un veicolo elettrico.

Mostrato il potenziale dell'Italia nel futuro della mobilità elettrica, andiamo ora a vedere e valutare i possibili scenari che si potranno presentare nei prossimi anni. Sono stati individuati 3 possibili scenari di sviluppo:

- **BASE:** prevede una crescita delle immatricolazioni, che se pur esponenziale non va comunque a superare gli 1.8 milioni di veicoli elettrici nel 2030. In questo scenario le immatricolazioni di EV nel 2030 saranno il 20%. Questo scenario non prevede troppi stravolgimenti ed ha già cominciato a manifestarsi nell'ultimo anno.
- **SVILUPPO MODERATO:** in questo caso nel 2030 gli EV arrivano ad essere 5 milioni raggiungendo quindi il 50% delle nuove immatricolazioni nel 2030.
- **SVILUPPO ACCELERATO:** in questo scenario i veicoli al 2030 dovrebbero essere 7.5 milioni, rappresentando quindi il 20% sul totale dei veicoli circolanti.

Il secondo e il terzo scenario prevedono chiaramente delle manovre importanti per modificare l'idea e la percezione che ad oggi una persona ha nei confronti della mobilità elettrica. La Figura 4 ci mostra gli scenari precedentemente elencati e da un'idea migliore di come variano le immatricolazioni e la presenza di veicoli elettrici in Italia.

Modello per la gestione di una stazione di ricarica EV supportata da un sistema di accumulo energetico

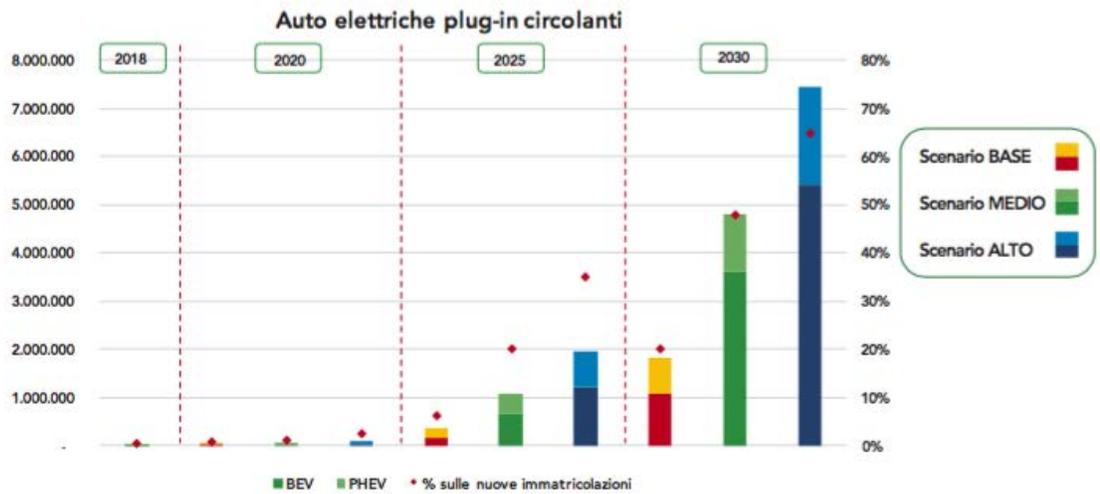


Figura 4: Scenari futuri veicoli elettrici. [6]

Riguardo i punti di ricarica pubblici, si ipotizza un aumento iniziale costante in base al rapporto punti di ricarica / veicoli elettrici circolanti di 1:10, per poi andare a diminuire con l'aumento dei veicoli. Possiamo dire che nel 2025 si considera di avere da 21.000 (scenario base) a 38.000 (scenario accelerato) punti di ricarica, mentre nel 2030 da 28.000 a 48.000. Aggiungendo poi le colonnine private (che variano tra 1.5 e 6.8 milioni) si arriva ad un rapporto di 0.8-0.9. Gli scenari ipotizzati sono visibili nella Figura 5.

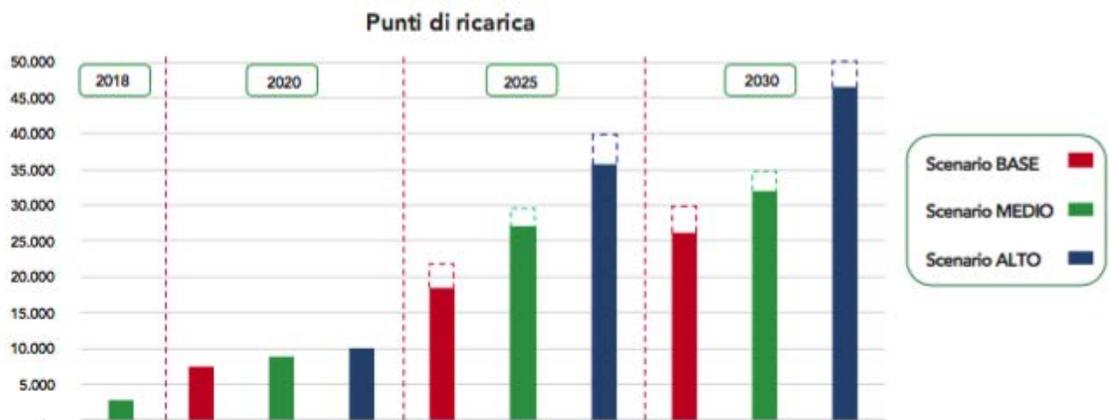


Figura 5: Scenari futuri per i punti di ricarica. [6]

2.2.1. Impatto degli scenari ipotizzati

Una domanda però sorge spontanea: è realmente sostenibile per il sistema elettrico un ammontare così elevato di veicoli elettrici? Non rischia di creare instabilità nella rete? Facendo velocemente due calcoli risulta che una famiglia in un anno consuma circa quanto 1.5 macchine elettriche nello stesso periodo.

$$\text{Consumo medio EV: } 16 \frac{kWh}{100km};$$

$$\text{Percorrenza EV: } 11000 \frac{km}{\text{anno}};$$

$$\text{Consumo medio anno EV: } 1760 \frac{kWh}{\text{anno}};$$

Una famiglia in media consuma circa $2700 \frac{kWh}{\text{anno}}$ (secondo stime AEEG);

Prendiamo ora in considerazione lo scenario moderato e quello accelerato. Nel primo caso i veicoli nel 2030 dovrebbero essere 4.8milioni, quindi secondo le ipotesi precedenti si richiederebbe una domanda di energia elettrica aggiuntiva di circa $8.4 \frac{TWh}{\text{anno}}$, che considerando i $320 \frac{TWh}{\text{anno}}$ di consumi elettrici annuali rappresenterebbe solamente un +2.5%. Nel secondo caso, con 7.8 milioni di veicoli, si avrebbe una domanda di energia incrementata di circa $13.7 \frac{TWh}{\text{anno}}$ che rappresenterebbero il 4.3% dei consumi elettrici nazionali. Se anche andassimo a valutare uno scenario in cui per il 2040 tutti i circa 37milioni di veicoli dovessero diventare elettrici, comunque l'incremento rispetto alla domanda di energia elettrica ad oggi sarebbe del 20%. La percentuale è calcolata rispetto alla richiesta energetica attuale, che chiaramente in 20 anni salirà di molto, rendendo quella percentuale molto più bassa.

Una problematica maggiore è rappresentata invece dalle potenza messa in gioco per le ricariche (principalmente quelle veloci che al giorno d'oggi superano i 100kW, fino ad arrivare a 350kW per le stazioni di ricarica di ultima generazione) che potrebbero creare notevoli problemi alla rete. Infatti, se si ipotizza un parco veicoli completamente elettrificato ed una quota dello 0.5%(185mila) di questi contemporaneamente in fast charge (potenza media di una ricarica veloce di 100kW), la potenza impegnata arriverebbe a circa 18,5GW. Questo dato è più preoccupante perché il picco di potenza impegnata più alto registrato in Italia negli ultimi anni è di 55GW. Per evitare che questo problema influenzi in futuro il nostro sistema elettrico, è necessaria una

adeguata pianificazione della rete e dell'utilizzo di tecnologie che permettano il disaccoppiamento flessibile tra rete e carico, ovvero facendo in modo di ricaricare il veicolo, ma senza l'utilizzo diretto in loco della rete elettrica. Queste tecnologie si basano sui sistemi di accumulo che stanno svolgendo un ruolo sempre più importante a sostegno della rete elettrica e che saranno analizzati più tardi nel testo.

2.2.2. Miglioramenti da attuare nel prossimo futuro

Dopo aver introdotto le prospettive di sviluppo del mercato della mobilità elettrica, con i vari scenari comprendenti le previsioni di crescita dei veicoli elettrici e delle infrastrutture di ricarica, andiamo velocemente a valutare quali sono i punti fondamentali che vanno sviluppati e migliorati per permettere alla mobilità elettrica di prendere sempre più quota in Italia. Gli obiettivi degli Scenari presentati sono chiaramente molto impegnativi e per questo i punti da sviluppare sono specificati con molta precisione da Energy & Strategy Group [6].

Le principali azioni riguardano il potenziamento delle infrastrutture di ricarica dato che ad oggi sono viste come la parte più fragile di tutto il sistema. Con questo si intende anche una localizzazione strategica che permetta al proprietario di un veicolo di trovare più facilmente una stazione di ricarica. Inoltre si necessita di una maggiore interoperabilità tra le infrastrutture esistenti.

Un problema che va fatto presente e risolto nel prossimo futuro, è la normativa. Ad esempio la metà circa delle infrastrutture esistenti non è a norma. La normativa si presenta molto carente anche nell'abilitazione dei veicoli ad interagire con la rete e sui soggetti abilitati alla vendita dell'energia per ricaricarli.

Un'altro vincolo all'incremento della mobilità elettrica è certamente l'elevato costo dei veicoli, quindi per superare questa barriera è doveroso introdurre degli incentivi più corposi, oppure, imitando il modello Norvegese, penalizzare maggiormente i veicoli inquinanti a supporto di quelli elettrici ed ibridi (principio del polluter pays).

3. Stato dell'Arte delle Infrastrutture di ricarica

Le soluzioni principali per ricaricare la batteria di un veicolo elettrico sono sostanzialmente tre, per ognuna delle quali si possono individuare dei sottocasi:

- Il Battery Swap, ovvero il cambio della batteria in una stazione apposita quando è scarica. Questo è un processo che richiede qualche minuto, quindi sarebbe perfetto a livello di tempistiche, però è chiaro come rappresenti un problema di standardizzazione delle batterie dei veicoli.
- Ricarica con cavo, spina e connettore. Può essere in corrente alternata o in corrente continua. Esistono tre tipi di connessione in base alla potenza richiesta che vedremo dopo.
- Wireless (senza cavo). Utilizza un campo magnetico per trasferire energia fra due avvolgimenti di cui uno fisso interrato e l'altro nel veicolo. La ricarica può avvenire con il veicolo in movimento o fermo senza l'intervento del guidatore.

La Figura 6 mostra le varie tecnologie disponibili organizzate secondo quello che viene comunemente chiamato Charging Tree.

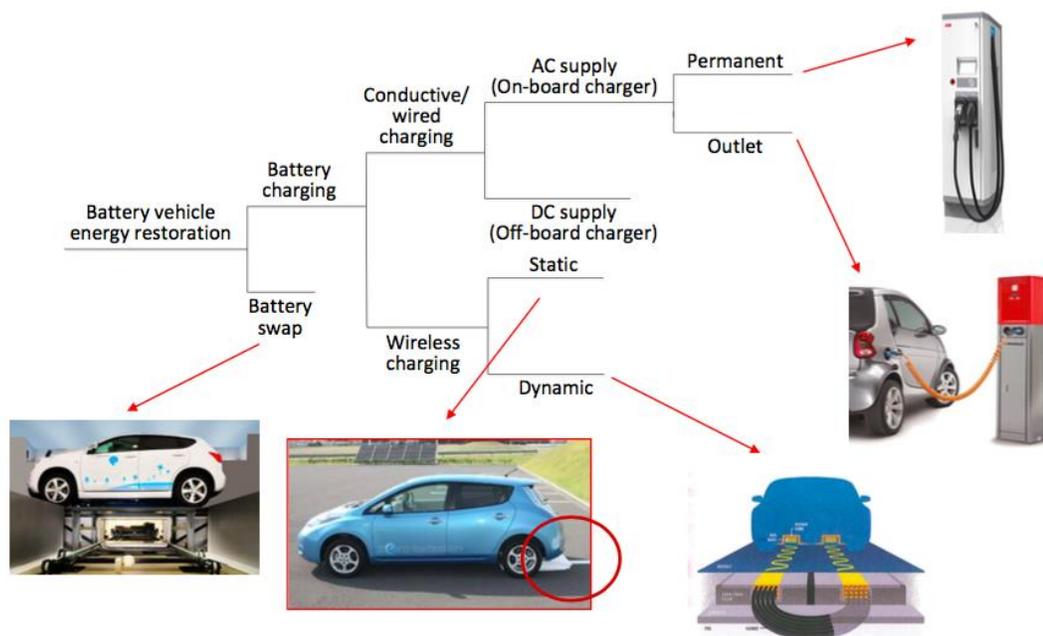


Figura 6: Charging Tree

3.1. Standard della ricarica in cavo

Generalmente esistono 4 modi diversi di ricarica con cavo, 3 tipi di connessioni possibili fra veicolo e colonnina di ricarica e 4 tipi di prese. Si rimanda a [1] per maggiori informazioni riguardo i circuiti di controllo relativi alle prese ed ai connettori delle varie modalità di ricarica.

Modi di ricarica:

Modo 1: utilizza prese di corrente e spine standard che non superano i 16A e i 250V (monofase), 480 (trifase). In questa modalità di ricarica il veicolo è collegato direttamente alla presa di corrente, infatti è adatta soprattutto per i veicoli leggeri ed è utilizzata in ambito domestico. Utilizza un cavo di potenza e un cavo di terra per protezione. Lato fornitura sono presenti, un dispositivo RCD (Residual Current Device) che sarebbe un interruttore differenziale e una protezione da sovracorrenti che sono obbligatorie anche per gli altri modi di ricarica. Questo tipo di carica non necessita di un controllo pin. Negli Stati Uniti non è utilizzabile perché non viene utilizzata la messa a terra per ogni casa. Il Modo 1 necessita solo di un circuito logico che valuta se il veicolo è correttamente connesso (Proximity detection Logic).

I Modi 2,3 e 4 hanno invece funzioni di controllo da parte dell'EV (Electric Vehicle) e dell'EVSE (Electric Vehicle Supply Equipment) per verificare:

1. La corretta connessione del veicolo.
2. La corretta connessione della terra.
3. Che il sistema venga correttamente alimentato.
4. Che il sistema venga correttamente disalimentato quando necessario.
5. Il grado di carico.
6. La ventilazione giusta .
7. Il controllo del flusso bidirezionale nel caso sia una prerogativa della batteria.

Modo 2: La connessione non supera i 32A e i 250V (monofase), 480 (trifase). Questo utilizza plug monofase o trifase e prese di corrente standard. È analoga alla modalità precedente solo che sul cavo di alimentazione è presente un dispositivo di controllo elettronico che garantisce la sicurezza delle operazioni. Necessitano di un conduttore di potenza e uno di protezione di terra, insieme al Control Pilot e al sistema di protezione personale RCD.

Modello per la gestione di una stazione di ricarica EV supportata da un sistema di accumulo energetico

- Monofase: 230V, 32A, P=7.4kW
- Trifase: 400V, 32A, P=22kW

Il Control Pilot utilizza una PWM (Pulse Width Modulation) per codificare le informazioni e permettere una gestione e controllo della corrente di carica. Le informazioni sono dirette dall'EVSE all'EV, ed il segnale utilizzato per codificarle è il Duty Cycle. Le sue variazioni fanno variare il livello di corrente di carico.

Modo 3: Metodo per grossi impianti e stazioni di ricarica pubbliche. Utilizza prese di corrente e plug apposite dove il controllo è esteso anche all'infrastruttura, il control pin è quindi in entrambe le parti. La presa di corrente della stazione di controllo non è alimentata quando non vi è un veicolo in carica. Questa modalità di ricarica permette anche una ricarica veloce con correnti superiori a 250 A utilizzando un cavo speciale, altrimenti è possibile effettuare una ricarica normale con un cavo come quello del modo 2. Nella Figura 7 sono schematizzate le prime 3 modalità di ricarica.

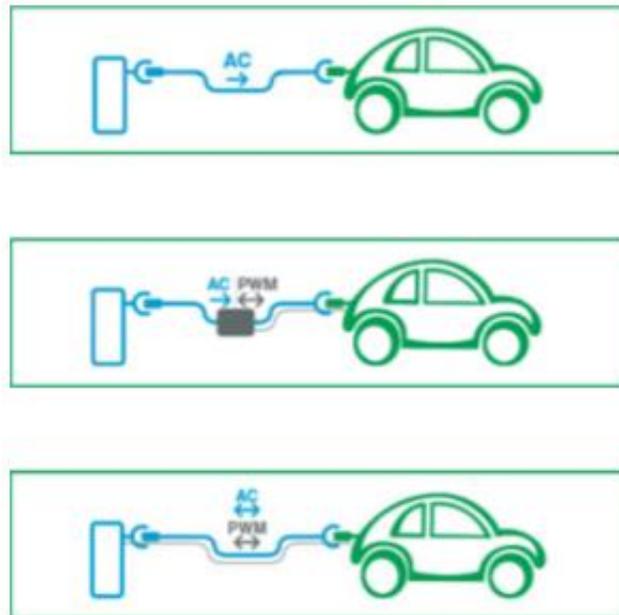


Figura 7: Schema dei primi tre modi di ricarica.[6]

Modo 4: Questo modo utilizza un caricatore che è fuori bordo, ed il controllo è esteso agli strumenti che sono fissi nella stazione di controllo (connessi all'AC). L'alimentazione in AC è convertita in DC nella stazione di conversione e il tipo di plug obbliga ad avere un veicolo apposito per la connessione, ovvero non tutti i veicoli elettrici possono effettuare questa ricarica. Il modo di ricarica 4 è rappresentato nella Figura 8.

3. Stato dell'Arte delle Infrastrutture di ricarica

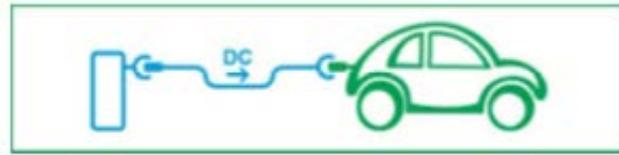


Figura 8: Schema ricarica con modo 4.[6]

La ricarica veloce ed ultra veloce in DC permette elevate correnti sopra i 400 A e la macchina non necessita di un carica batterie a bordo perché la regolazione viene effettuata nella stazione. Il controllo è simile a quello del modo 3.

Tipi di Connessioni:

- Caso di connessione A: Il cavo è fisso nel veicolo e per la ricarica viene esteso fino all'alimentazione. Tipicamente questo tipo di connessione viene utilizzata per le prime due modalità di ricarica.
- Caso di connessione B: Il cavo è mobile e si stacca sia dall'auto che dalla colonnina finita la carica. Utilizzato principalmente per la modalità di ricarica 3.
- Caso di connessione C: Il cavo non è removibile dalla colonnina di ricarica, quindi è praticamente come la pistola della pompa di benzina. È l'unica connessione utilizzabile per la modalità di ricarica in DC, ovvero il modo 4.

Tipi di Prese:

Preso Tipo 1: Introdotta da Yazaki per la ricarica di EV a singola fase. Permette al massimo 32 A e 230 V. (Figura 9)



Figura 9:Plug Yazaki

Preso Tipo 2: Introdotta da Menneskes per la ricarica di EV a singola fase a 230V e a 400V trifase, con fornitura di corrente fino a 63 A. Raggiunge una potenza trifase di 43

Modello per la gestione di una stazione di ricarica EV supportata da un sistema di accumulo energetico

kW . Presenta anche la versione CCS Combo 2, che consente anche la ricarica in DC (Figura 10)



TIPO 2
MENNEKES



Lato veicolo e lato terminale di ricarica

Figura 10: Plug Mennekes

Preso Tipo 3: Utilizzata per la ricarica di un veicolo sia a singola fase che trifase. La corrente massima erogabile è di 32 A, però ci sono due diverse versioni:

- 3 A: per monofase a 16 A e 250 V. Utilizzata solamente per veicoli leggeri. (Figura 11)



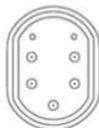
TIPO 3A
SCAME



Solo lato terminale di ricarica

Figura 11: Plug 3A

- 3 C: per trifase fino a 63 A e 500 V. Si trova solo sulle colonnine. (Figura 12)



TIPO 3C
EV PLUG ALLIANCE



Solo lato terminale di ricarica

Figura 12: Plug 3C

Entrambe le soluzioni hanno il control pilot.

Preso Tipo 4: Connettore per ricarica fast ed ultra fast CHAdeMO. Utilizzato solo per ricariche del modo 4 con potenze maggiori di 40 kW. Figura 13



Figura 13: Plug CHAdeMO

3.1.1. Sfida alla ricarica Fast

L'obiettivo principale della ricarica veloce è quello di arrivare a competere con i tempi di rifornimento dei veicoli a combustione interna. Questo vorrebbe quindi dire ridurre ulteriormente le tempistiche già raggiunte da Tesla con la modalità supercharge (ricarica a 145kW circa), scendendo sotto la mezz'ora per la ricarica all'80% della capacità. Tuttavia, al giorno d'oggi la maggior parte delle infrastrutture di ricarica fast permette potenze che limitano a 50kW, non permettendo quindi ricariche veloci. Negli ultimi anni però molte case automobilistiche, tra cui Audi e Porsche, hanno presentato dei progetti molto interessanti con potenze di ricarica rispettivamente fino a 160kW e 320kW. Il consorzio CharIN³ sta lavorando per migliorare gli standard del Combined Charging System (CCS) in modo che, aumentando l'amperaggio, possa sostenere potenze fino a 150kW per arrivare fino a 350kW nel prossimo futuro. Porsche da parte sua lavora a dei progetti che porteranno nel prossimo futuro alla nuova generazione di veicoli elettrici. Per superare questi ostacoli e raggiungere potenze superiori ai 300kW di ricarica bisogna però introdurre tecnologie che permettano ricariche fino a 800V. L'obiettivo dichiarato di Porsche è di arrivare nei prossimi anni alla ricarica dell'80% delle batterie in circa 15 minuti, garantendo un range chilometrico di 400 km. I dati sopra mostrano come ci siano prospettive di un notevole avvicinamento agli standard di ricarica dei veicoli a combustione interna, sia in termini di tempistiche che di autonomia.

³ CharIN: Consorzio che ha l'obiettivo principale di sviluppare e diffondere il sistema di ricarica combinato (CCS) come standard per l'alimentazione dei veicoli elettrici.

Modello per la gestione di una stazione di ricarica EV supportata da un sistema di accumulo energetico

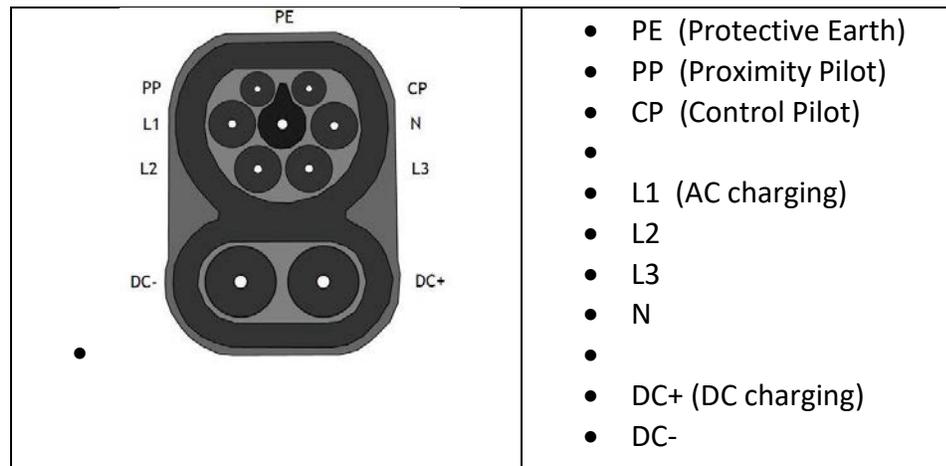


Figura 14: Combo 2 charge. (EU)

La Figura 14 vediamo la presa Combo 2 conforme agli standard CCS. Questo standard permette sia la ricarica in AC con potenze minori, che quella in DC con potenze maggiori. CCS-2 è lo standard utilizzato per i connettori e prese nei veicoli in Europa. Nella Figura 15 sono mostrate le 4 tipologie di connettori e prese riguardanti la ricarica in DC attualmente proposti. CHAdeMO, come abbiamo già spiegato, è diventato lo standard di ricarica DC a livello internazionale, perché oltre ad essere quello più utilizzato in Giappone, si sta ora diffondendo anche in Europa e negli USA. Il CCS-1 è lo standard di ricarica negli Stati Uniti, mentre il CCS-2 si sta imponendo a livello Europeo. Lo standard utilizzato in Cina è invece il GB/T. Come possiamo facilmente intuire, a livello mondiale questo crea un problema di standardizzazione per le case automobilistiche. Tenendo in considerazione anche i due connettori utilizzati da Tesla per Europa e USA, si hanno 6 diverse tipologie di possibili connettori per la ricarica fast in DC .

3. Stato dell'Arte delle Infrastrutture di ricarica

	System A	System B	System C	
	CHAdeMO (Japan)	GB/T (PRC)	COMBO1 (US)	COMBO2 (DE)
Connector				
Vehicle Inlet				
Communication Protocol	CAN		PLC	

Figura 15: Standard Connettori DC charge

Le case automobilistiche si trovano quindi a dover costruire veicoli adattabili a diversi standard per ogni Paese cosa che ha indubbiamente un impatto negativo sullo sviluppo delle infrastrutture e conseguentemente della mobilità elettrica. Nei vari Paesi è quindi possibile trovare:

- U.S.A: CHAdeMO, Combo-1 e connettore Tesla (versione USA)
- Europa: CHAdeMO, Combo-2 e connettore Tesla (versione europea, simile all'AC tipo 2)
- Cina: GB/T
- Giappone: CHAdeMO e Superchargers Tesla.

Rimane quindi un problema la standardizzazione delle connessioni, anche se l'Europa e gli Stati Uniti hanno negli anni aumentato le stazioni di ricarica che utilizzano connettori CHAdeMO. Al momento non sono presenti altre tipologie di connessioni negli altri Paesi, augurandosi che questi si adeguino agli standard già esistenti.

3.2.Ricarica Wireless

Questa tecnologia per la ricarica preleva energia elettrica dall'alimentazione e la trasferisce al carico senza nessun tipo di connessione fisica. Quando la potenza in gioco è elevata prende il nome di Wireless Power Transfer Systems (WPTSs).

Dalla Figura 16 possiamo vedere lo schema generale di una ricarica Wireless, con la sorgente di alimentazione collegata ad un convertitore e ad un dispositivo di trasmissione, mentre lato carico il dispositivo di ricezione collegato ad un altro convertitore e al carico. Parte trasmittente e ricevente sono coordinate da un'unità di controllo ECU (Electronic Control Unit) che permette l'intercomunicazione.

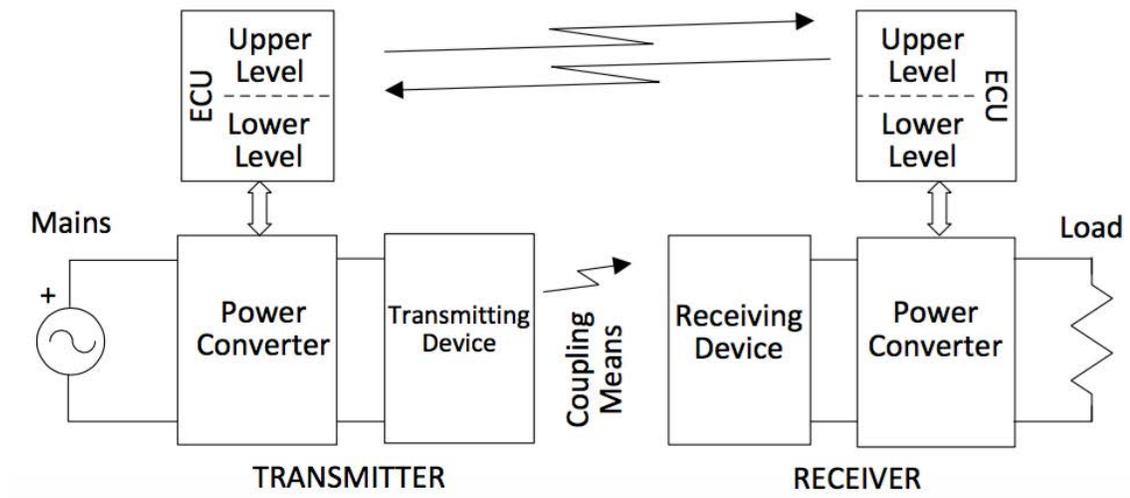


Figura 16: Schema generale di alimentazione WPTS. [2]

La ricarica WPTSs ha molte applicazioni e può spaziare da cellulari e TV fino ad arrivare a veicoli e macchinari industriali. Rispetto alla tecnologia di ricarica con cavo ci si attende una maggiore affidabilità e sicurezza, dato che non presenta nessun tipo di connessione fisica e le componenti non sono esposte all'ambiente e ad atti di vandalismo. L'accoppiamento fra il dispositivo di trasmissione e quello di ricezione può essere fatto in tre modi diversi:

- Campo Elettrico
- Campo Magnetico (variabile a bassa frequenza)
- Campo Elettromagnetico (alte frequenze)

La densità di energia W_m raggiungibile con il campo magnetico nel vuoto è nell'ordine di 10^4 volte più grande di quella raggiungibile con il campo elettrico W_e .

$$W_m = \frac{1}{2} \mu_0 H^2 \gg W_e = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2$$

L'accoppiamento elettromagnetico si realizza attraverso dispositivi microonde e laser.

L'accoppiamento elettrico sfrutta il principio dell'accoppiamento elettrico fra due piastre. Le armature del condensatore sono costituite da piastre collocate sul veicolo (ricevente) e a terra (trasmittente). I vantaggi di questa tecnologia sono certamente le poche perdite, le poche emissioni elettromagnetiche, il fatto che siano meno dannosi e la possibilità di trasferire energia nonostante la presenza di oggetti metallici fra le piastre. Lo svantaggio principale è invece che presentano una bassa densità di energia quindi sono utilizzati per applicazioni a bassa potenza.

L'accoppiamento magnetico sfrutta invece il principio del mutuo accoppiamento fra due bobine. Una sarà interrata mentre l'altra a bordo del veicolo. Chiaramente l'accoppiamento sarà peggiore perché le bobine non possono condividere lo stesso nucleo ferromagnetico. Il principale vantaggio di questa tecnologia è di consentire un'elevata densità di energia magnetica e quindi un'elevata potenza. Per contro, sono presenti delle forti emissioni elettromagnetiche, non devono esserci dei materiali conduttori nelle vicinanze e le perdite negli avvolgimenti possono essere consistenti

Nella Figura 17 possiamo vedere le due tipologie di accoppiamenti.

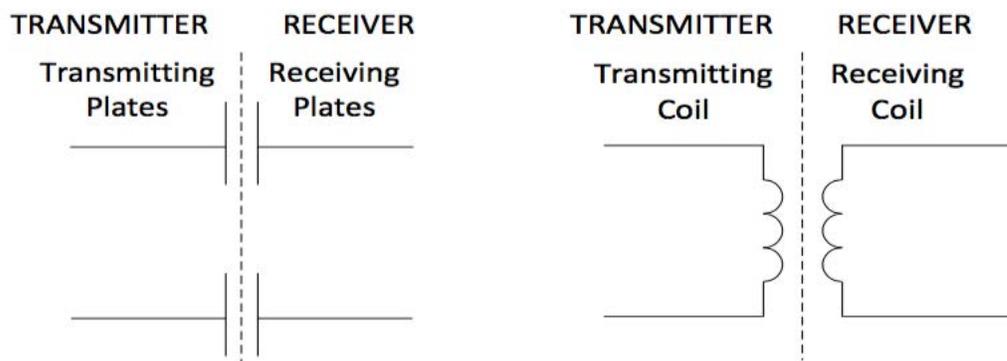


Figura 17: Accoppiamento elettrico e Magnetico [2]

Come funziona l'accoppiamento magnetico fra due bobine? Come possiamo vedere dalla Figura 16 la bobina primaria (trasmittente) è connessa all'alimentazione attraverso un convertitore AC/DC ed un inverter ad alta frequenza (HFI). Quando

questa è percorsa da una corrente genera un flusso magnetico variabile che si concatena con la bobina secondaria (ricevente), inducendo ai suoi terminali una tensione alternata. La tensione indotta nella bobina, una volta ricondizionata dal raddrizzatore ricevente e dal chopper, viene applicata alla batteria del veicolo elettrico per ricaricarlo.

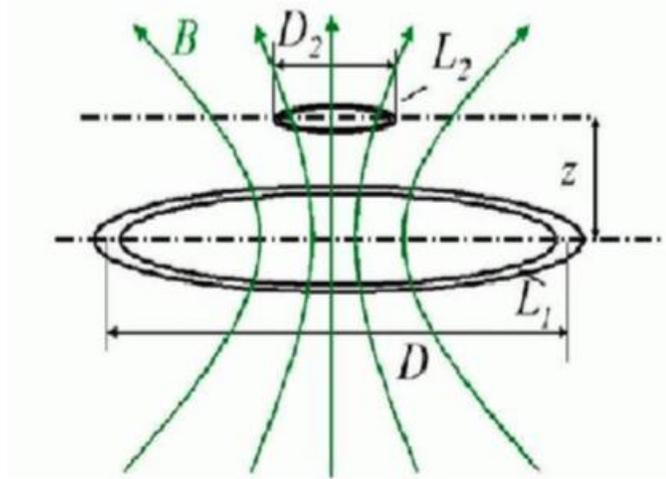


Figura 18: Accoppiamento fra primario e secondario

A causa dell'elevato traferro fra le due bobine, gran parte del campo magnetico non si concatena con la bobina ricevente e viene disperso, comportando quindi una perdita di flusso (Figura 18). Una diretta conseguenza è quindi un basso coefficiente di accoppiamento. Queste problematiche vanno considerate nel dimensionamento della bobina e possono essere in parte superate se le linee della densità di flusso magnetico (B) generate dalla bobina primaria si concatenano con la secondaria, riducendo quindi le perdite di flusso. Possiamo quindi intuire che il coefficiente di accoppiamento diminuirà all'aumentare della distanza fra le due bobine. Un modo per aumentarlo è quello di utilizzare la ferrite (grande permeabilità magnetica e una bassa conduttività elettrica) oppure utilizzare nuclei magnetici di forme particolari (I,C,E). Per ulteriori informazioni in merito si rimanda a [2] e [22].

3.3.V2G: Vehicle to Grid

Oltre che di e-mobility è doveroso parlare di smart-mobility, che rappresenta tutte le nuove possibilità di utilizzo dell'auto e dell'interazione di essa con la rete. Partiamo dal dato di fatto che generalmente un veicolo di proprietà viene utilizzato, nel corso della sua vita utile solo, per il 5% del tempo e per il restante rimane fermo e quindi inutilizzato. Partendo da queste considerazioni sono state concepite delle modalità che permettono l'utilizzo maggiore del veicolo, come il carsharing, ed altre che intendono sfruttarlo come riserva energetica quando rimane inutilizzato. Alla seconda categoria appartengono tutte le varie possibilità legate alla VGI (Vehicle-Grid Integration), ovvero la possibilità di far interagire il veicolo con la rete elettrica a diversi livelli, riassunta dall'acronimo VTX (Vehicle to Everything). Alcune di queste sono ad esempio: V2H (Vehicle to Home), V2B(Vehicle to Building) e V2G(Vehicle to Grid). In questa modalità viene quindi utilizzata la bidirezionalità della batteria per permettere un flusso anche dal veicolo verso la rete. Le batterie dei veicoli immagazzinano molta energia, in media circa 25kWh (ma quelle di ultima generazione arrivano fino a 90 kWh), che corrispondono circa a 2 giorni e mezzo di energia richiesta da un' utenza normale. Si tratta quindi di una consistente energia che può essere utilizzata. Sfruttare questa opportunità non è facile, e risulta conveniente solo quando sono coinvolte grandi quantità di energia (ovvero molti veicoli nello stesso posto), come nei parcheggi vicini alle zone produttive durante le ore lavorative, vicino alle stazioni di ricarica e in zone residenziali durante la notte. Il V2G può essere utilizzato per le seguenti operazioni:

- Servizio Principale: Fornitura di potenza in corrispondenza dei picchi di domanda (un intervento di 4-6 ore ogni giorno).
- Servizi Ancillari: Fornitura occasionale di potenza come soccorso alle difficoltà di sistema (perdita di generazione, trasmissione ecc...). (Interventi singoli circa 20 volte all'anno con durata media di 10 minuti).
- Regolazione: generazione di potenza attiva e reattiva per garantire la regolazione di tensione e frequenza del sistema. (400 interventi al giorno di pochi minuti per volta).

Nella Figura 19 è illustrato il servizio di peak shaving e load leveling.

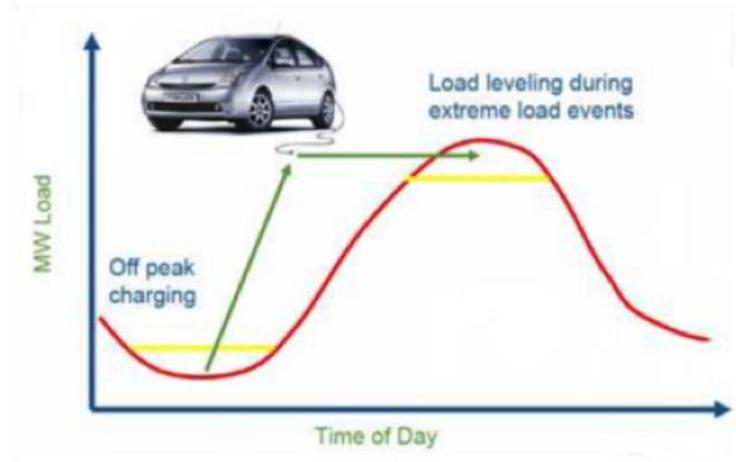


Figura 19: Servizio di Peak shaving e load leveling [1]

Con l'approccio V2G il veicolo elettrico non viene più visto esclusivamente come un carico, ma come una risorsa per la rete, fermo restando che deve essere caricato prima di poter cedere energia.

I concetti principali che vanno tenuti presenti per questa modalità di utilizzo del veicolo elettrico vengono riportati da [1] e sono:

- Sicurezza: il veicolo deve essere connesso molto bene alla rete, questo deve essere accertato dagli standard di sicurezza di back-feeding sanciti dall'IEEE⁴. Controlli simili a quelli svolti sui pannelli fotovoltaici e sulle pale eoliche.
- Aggregato: ci si aspetta che un certo numero di veicoli sia posto insieme come unica fonte, anche per facilitare il lavoro dell'operatore di rete.
- Comunicazione: il veicolo deve comunicare con il sistema elettrico. Questo avviene tramite una connessione apposita all'interno del plug.
- Indennità: Il proprietario deve essere pagato per cedere energia. L'ammontare dipende dal prezzo di mercato e dal tempo in cui il veicolo rimane disponibile per il servizio.
- Asset: il proprietario dovrà essere informato a quanto ammonta la rimanente carica per essere sicuro di poter utilizzare il veicolo dopo aver ceduto energia alla rete. Inoltre caricare e scaricare la batteria per il V2G aumenta i cicli effettuati provocando un maggior degradamento alla batteria. Il proprietario dovrà essere pagato anche per questo motivo.

⁴ IEEE. Institute of Electrical and Electronics Engineers

4.Sistemi di Accumulo

Negli ultimi anni, a livello mondiale, si è assistito ad un rinnovamento tecnologico volto ad accompagnare la forte penetrazione delle energie rinnovabili. Questo ha portato allo sviluppo ed al miglioramento dei sistemi di accumulo di energia elettrica, data la disponibilità aleatoria di gran parte di queste fonti.

I sistemi di accumulo di energia elettrica vengono impiegati per molteplici servizi. Sono quasi indispensabili per gli impianti alimentati da fonti rinnovabili non programmabili e si propone per lo stoccaggio di energia nella reti ad alta tensione, creando un'importante forma di flessibilità e permettendo quindi di disaccoppiare momentaneamente una quota di generazione e carico. Nella stazione di ricarica valutata in questa tesi, l'accumulatore si pone come soluzione per reti in bassa tensione senza l'utilizzo di cabine di conversione. Inoltre serve per aiutare la rete nella provvigione di energia alle varie colonnine in presenza di più veicoli in carica. Più avanti vedremo l'accumulatore utilizzato in questo progetto e lo schema dell'impianto, ora però analizziamo lo stato dell'arte degli accumulatori ed i vari impieghi per cui possono essere utilizzati.

Le prestazioni dei sistemi di accumulo si dividono essenzialmente in:

- Prestazioni di energia: caratterizzati da scambi di potenza relativamente costanti e con durata di alcune ore.
- Prestazioni di potenza: caratterizzati da scambi di potenze molto elevate per brevi periodi di tempo (dal minuto fino a qualche decina di minuti) e da tempi di risposta decisamente rapidi (da frazioni di secondo fino a qualche decina di secondi).

È quindi necessario, come prima cosa, individuare la tipologia e dimensionare il sistema di accumulo a seconda della funzione che questo deve compiere.

I Servizi di Energia posso svolgere 3 principali azioni:

- Time shifting: ci si può servire di un accumulo per traslare temporalmente l'utilizzo dell'energia. Questo viene principalmente utilizzato per regolare il prezzo dell'energia elettrica, ovvero si accumula energia per immagazzinarla in ore in cui il prezzo è più basso per poi rivenderla o utilizzarla nelle ore in cui il prezzo è più alto.

Un altro esempio di time shifting riguarda la flessibilizzazione della curva di carico giornaliera. Infatti è possibile incrementare la domanda di energia elettrica durante le ore notturne (dove generalmente i prezzi sono più bassi) tramite un utilizzo intelligente degli accumulatori. Allo stesso modo è possibile utilizzare gli accumulatori per livellare i consumi (peakshaving) accumulando energia quando gli impianti di generazione sono costretti ad operare nonostante la richiesta sia minore e rilasciandola nei periodi in cui il fabbisogno è più alto, evitando quindi il ricorso ad impianti di generazione a risposta rapida ad elevati costi variabili.

- Integrazione con gli impianti di generazione da fonti rinnovabili: i sistemi di accumulo possono essere utilizzati per migliorare l'interazione degli impianti di generazione da fonti rinnovabili con la rete elettrica. Ciò avviene principalmente limitando i problemi creati dai punti di immissione di potenza che gli impianti rinnovabili comportano. Si può arrivare a modulare il profilo di immissione di potenza dell'impianto, compensando le fluttuazioni della potenza generata che sono causate dall'intermittenza della fonte
- Sicurezza del sistema elettrico: A seguito di un black-out, si ha bisogno di punti di generazione in grado di riattivarsi autonomamente senza l'ausilio della rete elettrica. I sistemi di accumulo di grossa taglia possono quindi essere utilizzati per tale funzione al posto delle centrali di ripartenza, dato che possono partecipare alla regolazione della tensione e della frequenza.

I Servizi di Potenza possono svolgere 2 principali azioni:

- Servizio di rete: in risposta alle nuove esigenze della rete dovute alla forte penetrazione delle fonti rinnovabili, possono essere utilizzati per fornire la capacità utile alla regolazione primaria, garantendo la stabilità della frequenza. Permettono quindi il bilanciamento in tempo reale fra produzione e richiesta, incrementando così la sicurezza della rete. I sistemi di accumulo sono quindi utili per incrementare l'inerzia di un sistema elettrico come quello italiano, in cui molti impianti di generazione convenzionali sono stati sostituiti, a parità di domanda, da impianti di generazione da fonti rinnovabili. Questi potrebbero quindi ricostituire il margine di riserva di regolazione primaria andato perso con il subentro degli impianti di generazione da fonti rinnovabili. Inoltre potrebbero essere anche impiegati per la fornitura del servizio di regolazione secondaria. Possiamo dire che gli accumuli sono particolarmente efficienti nel processo di regolazione della frequenza, sia a salire che a scendere. Riguardo la regolazione

della tensione, l'accumulo inteso come batteria più inverter può gestire gli scambi di potenza reattiva con la rete, livellando così i profili di tensione in rete che vengono squilibrati dalla generazione diffusa.

- **PowerQuality:** La qualità del servizio ha assunto un ruolo sempre più preponderante dato che fenomeni come le sovratensioni, gli squilibri di tensione, i buchi di tensione e i flicker hanno avuto un impatto crescente nei processi produttivi. Per ovviare a queste problematiche si utilizzano dei dispositivi Custom Power (elettronica di potenza + accumuli) atti a compensare i disturbi in rete e limitare l'impatto di carichi distorti. I tempi di intervento tipici variano da qualche secondo a pochi minuti e per questo si utilizzano servizi di potenza e non di energia.

4.1. Tipologie di Accumulo

4.1.1. Sistemi di accumulo elettrochimico

Questi sistemi sono in grado di accumulare energia elettrica e convertirla in energia chimica. Sono delle batterie secondarie e si differenziano dalle pile primarie perché la reazione di conversione dell'energia è reversibile. Queste sono composte da due elettrodi, uno positivo costituito da ferriti o ossidi ed uno negativo costituito da un metallo o un composto intermetallico (solitamente Piombo, Stagno o Terre rare), immersi entrambi in un elettrolita (liquido/ gelatinoso/solido, acido o alcalino), una sostanza chimica a bassa conducibilità per evitare l'auto scarica, nella quale gli ioni sono liberi di muoversi da un elettrodo all'altro. I due elettrodi sono separati da un setto poroso, che evita quando si hanno elettrodi liquidi o gelatinosi, che questi si tocchino provocando un cortocircuito, inoltre è un isolante che è però permeabile agli ioni. Presentano inoltre dei collettori di corrente che raccolgono le cariche dagli elettrodi e le convogliano verso i morsetti o viceversa, creando una corrente elettrica. Infine i morsetti collegano i collettori al circuito esterno.

Il principio di funzionamento di una batteria sono le reazioni chimiche REDOX, opposte in base alla connessione della batteria (carica o scarica). Dallo stato della batteria dipendono anche le definizioni di Anodo, l'elettrodo che si ossida, ovvero che perde un elettrone durante la reazione e Catodo, l'elettrodo che si riduce e quindi acquista un elettrone durante la reazione.

Quando la batteria opera da generatore e quindi è in scarica, il polo positivo sarà il catodo mentre quello negativo l'anodo, gli elettroni andranno da anodo a catodo, mentre la corrente nel verso opposto.

Quando invece opera da carico e quindi è in carica, il catodo diventa negativo mentre l'anodo positivo, quindi la corrente entra nell'anodo ed esce dal catodo.

Una batteria è formata da più unità chiamate celle (range che va da 1.3 a 4.2V in base al materiale), queste si connettono in serie per incrementare il voltaggio o in parallelo per aumentare la corrente erogabile.

Valutiamo ora le principali caratteristiche che definiscono una batteria e che sono indispensabili per un dimensionamento economico, elettrico e termico di questa nel contesto in cui deve essere utilizzata.

Voltaggio:

- V_M è il voltaggio massimo che si presenta ai morsetti di una batteria dopo una carica completa. Ad esempio per una cella al Litio è 4.2V mentre per una cella al Piombo è 2.2V.
- Voltaggio di scarica iniziale, ovvero quello che si ha ai capi di una batteria dopo il 10% di scarica.
- V_{CO} cut-off voltage (voltaggio alla fine della scarica). È il voltaggio minimo ammissibile, al di sotto del quale la durata della batteria si riduce drasticamente.
- Voltaggio di lavoro. È la tensione che presenta ai terminali quando eroga corrente, ovvero, per una data corrente di scarica la tensione decresce, questo è dovuto alla diminuzione di E e all'aumentare della resistenza interna.
- V_N Tensione nominale. È la media della tensione ai morsetti della batteria durante una scarica ammissibile.

Capacità: è la carica che una batteria eroga durante la scarica, sotto determinate condizioni. Si misura in [Ah]. Ne vengono misurate tre diverse tipologie:

- Capacità teorica C_T . Capacità che erogherebbe una batteria da completamente carica fino all'esaurimento dei reagenti.
- Capacità effettiva C_E . Capacità erogabile in scarica da una batteria, partendo da completamente carica fino al raggiungimento del V_{CO} .

$$C_E = \int_0^{t_{co}} i(t) dt$$

- Capacità nominale C_N . Capacità effettiva ottenuta per una scarica lungo il tempo T_d . Il tempo T_d è correlato al tipo di batteria, ad esempio è 2h per le batterie al Litio. $\frac{C_N}{T_d}$ ci da la corrente di scarica standard, quindi per le batterie al Litio la capacità nominale è data per una corrente di scarica $\frac{C_N}{2}$.

Stati di Carica:

- SOD (State of Discharge) è la capacità erogata durante una scarica parziale, partendo dalla piena carica. $SOD(t) = \int_0^t i(t) dt$
- SOC (State of Charge) è la capacità rimanente dopo una scarica parziale, partendo dalla piena carica. $SOC(t) = C - \int_0^t i(t) dt$

Possiamo notare come $SOD(t)+SOC(t)=C$

- DOD (Depth of Discharge) è la capacità erogata durante una scarica parziale partendo dalla piena carica, espresso in % alle condizioni di carica totale.

$$DOD(t) = \frac{SOD(t)}{C} * 100 = \frac{C-SOC(t)}{C} * 100$$

- DOC (Depth of Charge) è la capacità rimanente dopo una scarica parziale, partendo dalla piena carica, espressa in % alle condizioni di carica totale.

$$DOC(t) = \frac{SOC(t)}{C} * 100$$

Energia [Wh]:

- E_T (Energia Teorica) $= V_N * C_T$
- E_E (Energia Effettiva) $= \int_0^{t_{co}} (vi) dt$. Per convenzione $E_E = V_N * C_E$

La potenza di una batteria è convenzionalmente data dal prodotto della tensione nominale V_N per la corrente standard di scarica.

Efficienza:

- Coulomb efficiency: rapporto fra la carica erogata dalla batteria in scarica Q_d e la carica assorbita in carica Q_c .

$$\eta_a = \frac{\int_0^{t_d} i_d dt}{\int_0^{t_c} i_c dt} = \frac{Q_d}{Q_c} \approx 0.95 - 1$$

Decresce quando la carica è fatta velocemente

- Energy efficiency: rapporto fra l'energia erogata in scarica W_d e quella assorbita in carica W_c .

$$\eta_e = \frac{\int_0^{t_d} i_d v_d dt}{\int_0^{t_c} i_c v_c dt} = \frac{W_d}{W_c} \approx 0.85 - 9$$

Minore della Coulomb efficiency per la presenza della resistenza interna che dissipa energia in carica e scarica. ($v_d < v_c$)

Densità di energia: Rapporto fra l'energia che la batteria fornisce durante la scarica partendo dalla piena carica fino ad arrivare alla scarica completa ed il volume o il peso dell'accumulatore. È un parametro molto importante che ci permette di capire se la batteria sarà in grado di soddisfare le specifiche di progetto. Ad esempio se si necessita di un buon livello energetico con spazio e peso contenuti (come ad esempio un veicolo elettrico o un computer) bisognerà utilizzare una batteria con un'elevata densità energetica.

Densità di energia in termini di volume $\rho = \frac{\text{energia}}{\text{volume}} [kWh/m^3]$

Densità di energia in termini di massa $\rho = \frac{\text{energia}}{\text{massa}} [kWh/kg]$

Riportando un esempio che confronta una batteria al Litio con una al Piombo, la prima ha una densità di energia circa di 0,12 kWh/kg mentre la seconda di 0.03 kWh/kg, quindi a parità di peso quelle al Litio immagazzinano un'energia 4 volte più grande.

Densità di potenza: Rapporto tra la potenza del ciclo di scarica rappresentativo della batteria (ovvero quello a cui la batteria è destinata) ed il suo peso o volume.

Densità di potenza in termini di volume $\rho = \frac{\text{potenza}}{\text{volume}} [kW/m^3]$

Densità di potenza in termini di massa $\rho = \frac{\text{potenza}}{\text{massa}} [kW/kg]$

Vita utile di una batteria: è il tempo dopo il quale la batteria diventa inutilizzabile per le performance di capacità. Si ha quindi una riduzione della capacità al 90-80% del valore

iniziale. La vita utile è influenzata dalla temperatura di lavoro, dal sovraccarico, dalle profonde scariche e dalle eccessive correnti di carica e scarica.

Numero di cicli: con un ciclo si intende un ciclo di carica e uno di scarica. Il numero di cicli sono quindi i cicli che può effettuare una batteria sotto specifiche condizioni, fino ad arrivare ad un DOD dell'80%.

Temperatura di lavoro: le performance di una batteria possono variare molto con la temperatura. I limiti sono $(-20 \div 60)^{\circ}\text{C}$, all'aumentare della temperatura sopra questa soglia la conduttività dell'elettrolita aumenta e le reazioni chimiche avvengono più velocemente.

Resistenza interna: assume valori diversi durante la scarica e la carica. In scarica cresce e al suo aumentare l'efficienza diminuisce e a sua volta anche la stabilità termica, dato che più energia è dissipata in calore.

Memory Effect: Questo effetto condiziona principalmente le batterie al Nichel/Idruri metallici che vengono scaricate spesso ad un determinato grado. Quando sono chiamate ad essere scaricate maggiormente danno comunque la scarica precedente che hanno in memoria.

Auto scarica: Reazioni chimiche interne riducono la carica della batteria, queste dipendono dal tipo di batteria, dallo stato di carica e dalla temperatura ambientale. Una bassa temperatura mantiene maggiormente lo stato di carica dato che la conduttività dell'elettrolita viene ridotta. L'auto scarica si misura in % persa in un mese rispetto alla capacità iniziale. Per il Litio è $(2 \div 3)\%$ per mese.

Stato di Salute (SOH): stato della batteria rispetto alle condizioni stabilite dal costruttore. Si misura in punti percentuali.

Esistono più tipi di sistemi di accumulo elettrochimico. Enunciandoli velocemente troviamo:

- Batterie con elettrolita acquoso, come gli accumulatori al Piombo/Acido, Nichel/Cadmio e Nichel/Idruri metallici.
- Batterie ad alta temperatura, come le batterie ZEBRA al Sodio/Cloruro di Nichel e Sodio/Zolfo.
- Batterie a circolazione elettrolitica, come le batterie Redox (VRB) e le Redox al Bromuro di Zinco.
- Batterie al Litio

Per la seguente Tesi è opportuno riportare e spiegare meglio nel dettaglio il funzionamento delle batterie al Litio, dato che saranno quelle che verranno utilizzate in seguito.

4.1.1.1.Batterie al Litio

Esistono due tipologie principali di batterie al litio: Ioni di Litio e Polimeri di Litio.

Ioni di Litio:

L'elettrodo positivo è costituito da ossidi di Litio come l'ossido di Litio-Cobaltato LiCoO_2 , mentre l'elettrodo negativo può essere o carbonio cristallizzato o grafite.

Il funzionamento si basa su un'azione chimica secondaria, detta "intercalazione", ovvero l'inserimento di ioni di litio nel reticolo cristallino del carbonio senza modificarne la struttura. L'elettrolita è sale di Litio sciolto in un solvente organico non acquoso. Questo non partecipa alle reazioni Redox ma agisce come mezzo di conduzione degli ioni di litio.

Scarica: gli ioni di litio inseriti nel reticolo cristallino del carbonio (elettrodo negativo) lasciano il reticolo, migrano verso l'elettrodo positivo portati dall'elettrolita e si legano ad esso.

Carica: gli ioni di Litio si dissociano dall'elettrodo positivo, migrano verso il negativo trasportati dall'elettrolita e si inseriscono nel reticolo cristallino dell'elettrodo negativo.

Reazioni:

- Elettrodo negativo: $\text{CnLi}_x \leftrightarrow \text{Cn} + x\text{Li}^+ + xe^-$
- Elettrodo positivo: $\text{Li}_{(1-x)}\text{CoO}_2 + x\text{Li}^+ + xe^- \leftrightarrow \text{LiCoO}_2$

(\rightarrow scarica \leftarrow carica)

Il litio è un metallo ideale per gli accumulatori perché è l'elemento solido più leggero in natura, resiste ad elevate temperature e la tensione di cella è la maggiore. Ha chiaramente elevate energie specifiche data la sua leggerezza.

Polimeri di Litio:

L'elettrolita è disciolto in un polimero solido (poliacrilonitrile) che non è infiammabile, aumentando quindi la sicurezza della cella. Le celle di questa tipologia di batterie hanno una struttura a fogli flessibili, laminati uno sull'altra. Risultano quindi più leggere, più compatte e con densità di energia maggiore. L'unico problema che sussiste e che va

Modello per la gestione di una stazione di ricarica EV supportata da un sistema di accumulo energetico

considerato maggiormente rispetto agli altri tipi di batterie è la sicurezza. Questo perché il Litio è un materiale molto reattivo e condizioni di incidente, di incendio, di sovraccarico o di aumento della temperatura entro certi limiti possono causare un rilascio incontrollato di energia che può creare situazioni pericolose. Da queste possibili problematiche deriva un maggiore controllo, viene quindi utilizzato un sistema di bilanciamento delle tensioni di cella e un BMS (Battery Management System) che monitora le grandezza di cella ed interviene in caso di anomalie. La famiglia delle batterie agli ioni di litio è costituita da molte combinazioni diverse, ovvero è possibile differenziare le varie batterie in base all'elettrolita (polimerico o acquoso) e in base ai materiali catodici ed anodici. Si da vita quindi ad una diversificazione della batterie, ciascuna delle quali si presta meglio per un certo tipo di applicazioni. Nella Figura 20 possiamo vedere le varie celle che sfruttano la tecnologia agli ioni di litio e le rispettive caratteristiche.

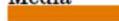
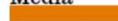
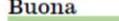
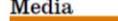
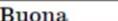
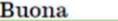
	NCA	NMC	LMO	LFP	LTO
Tensione nominale [V]	3,7	3,7	3,7	3,3	2,2
Tipo di catodo	LiNiCoAlO ₂	LiNiCoMnO ₂	LiMn ₂ O ₄	LiFePO ₄	LiMn ₂ O ₄
Tipo di anodo	C	C	C	C	Li ₄ Ti ₅ O ₁₂
Potenza [W/kg]	Alta 	Buona 	Media 	Media 	Media/Bassa 
Energia [Wh/kg]	Alta 	Alta 	Buona 	Media 	Bassa 
Vita cicli	Buona 	Buona 	Media 	Media 	Alta 
Vita calendario	Buona 	Buona 	Bassa 	Bassa per T>30 °C 	Buona 
Livello di sviluppo	Matura 	Crescita/Matura 	Matura 	Crescita 	Crescita 
Sicurezza catodo	Bassa 	Bassa 	Media 	Buona 	Media 
Sicurezza cella	Scadente 	Bassa 	Bassa 	Media 	Buona 

Figura 20: Differenze fra le principali batterie al Litio [17]

Infine il costo medio di una batteria al litio è nell'ordine dei 1500 ÷ 2200 €/kWh e varia in base alla taglia del sistema. Nella Tabella 5 possiamo vedere inoltre i valori principali dei parametri delle batterie al Litio.

Parametri	Dati
Potenza specifica (W/kg)	200÷3.000
Energia specifica (Wh/kg)	40÷180
Capacità (Ah)	0.1÷10.000
Rendimento Amperometrico(%)	100
Temperatura di funzionamento($^{\circ}C$)	-30÷60
Efficienza energetica di carica/scarica	80÷95%
Durata (numero cicli)	1.500÷5.000

Tabella 5: Parametri generali delle batterie al Litio

4.1.2.Sistemi di accumulo meccanico

I principali sistemi di accumulo meccanico sono tre. Il pompaggio idroelettrico, che prevede l'accumulo sotto forma di energia potenziale gravitazionale di una massa d'acqua, l'accumulo d'aria compressa (CAES: Compressed Air Energy Storage) e l'accumulo di energia cinetica con il Volano. Per l'applicazione che riguarda questo progetto le prime due non verranno prese in considerazione. Questo perché fornisco entrambe prestazioni di energia ed inoltre non sarebbero applicabili per ovvi motivi.

4.1.2.1.Volano

Mediante la rotazione di un rotore i volani permettono di immagazzinare energia elettrica sotto forma di energia cinetica. In fase di ricarica questo rotore viene accelerato, mentre viene poi rallentato quando si entra in fase di scarica. Un volano è composto dalle seguenti parti:

- Il rotore che sarebbe il volano vero e proprio.
- La macchina elettrica che può funzionare sia da generatore che da motore in base a che ciclo compie il volano.
- Il convertitore, ovvero un Inverter che lavorando a quattro quadranti può funzionare anche da raddrizzatore.
- Un sistema di controllo elettronico.

L'energia che viene immagazzinata da un volano dipende dal momento di inerzia e dalla velocità di rotazione del rotore.

$$\text{Energia cinetica: } E_k = \frac{1}{2} I \omega^2$$

Modello per la gestione di una stazione di ricarica EV supportata da un sistema di accumulo energetico

Momento d'inerzia: $I = \int r^2 dm$ descrive il comportamento dinamico di un corpo in rotazione attorno ad un asse. [Kg * m²]

$$I \text{ per un cilindro: } I = \frac{1}{2} r^4 \pi a \rho \text{ con } \rho = \frac{m}{V} = \frac{m}{\pi r^2 a} \Rightarrow I = \frac{1}{2} m r^2$$

L'energia immagazzinata aumenta all'aumentare della velocità angolare e dell'inerzia.

Grazie alle dimensioni molto ridotte di un volano e all'elevata densità di potenza e di energia il loro range di applicazioni è molto vasto. Sono stati testati anche per essere posizionati direttamente sulla navicella di una turbina eolica. Nella Tabella 6 possiamo avere un quadro generale riguardo i parametri fondamentali utili per capire le possibilità di impiego dei volani.

Parametri	Dati
Potenza specifica (W/kg)	500÷5.000
Energia specifica (Wh/kg)	70÷200
Capacità di immagazzinare (MW)	<20
Tempo di scarica (s-min-h-gg)	s÷min
Tempo di risposta (ms-s-min-h-gg)	ms÷s
Efficienza del ciclo (%)	80÷90%
Vita utile (numero cicli)	100.000÷1.000.000
Temperatura di funzionamento(°C)	-35÷40

Tabella 6: Parametri generali dei Volani

Come vediamo in Tabella 6, i punti di forza dei volani sono certamente il gran numero di cicli che possono effettuare e l'efficienza di un singolo ciclo molto elevata per tempi di ricarica molto brevi. Inoltre vediamo come questi siano adatti ad erogare funzionalità di potenza, quindi scariche e ricariche veloci a potenze elevate. Anche se questi presentano un'energia specifica elevata, i brevi tempi di scarica non li rendono adatti ad applicazioni di energia. Il principale contro di questa tecnologia è certamente, ad oggi, il costo molto elevato che si aggira tra i 1000[€/kW] per potenze inferiori al MW e i 5000 [€/kW] per potenze intorno ai 10 MW. Se inoltre teniamo conto della scarsa conoscenza a livello sociale della tecnologia, questa la rende ancora meno applicabile. L'utilizzo di questa tecnologia diventa più appetibile in aree extraurbane, anche perché

per il progetto di un volano si ha bisogno di un edificio dove posizionarlo o nel migliore dei casi, la possibilità di sotterrarlo.

4.1.3.Sistemi di accumulo dielettrico

I due principali sistemi di accumulo elettrico sono i Supercondensatori, che accumulano energia elettrica sotto forma di carica elettrostatica e gli SMES (Superconducting Magnetic Energy Storage) che lo fanno tramite un campo magnetico.

4.1.3.1.Supercondensatori

Questi immagazzinano energia elettrica in maniera molto simile ai condensatori tradizionali, solamente che l'accumulo di cariche non avviene su materiali conduttori ma in un'interfaccia tra la superficie di un conduttore ed una soluzione elettrolitica. A livello costruttivo invece, assomigliano molto ad una batteria perché sono formati da due elettrodi immersi in un elettrolita e separati da una membrana permeabile agli ioni. Le sostanziali differenze con i normali condensatori sono:

- Il materiale dielettrico è molto sottile. Le piastre che vengono utilizzate sono costituite da 2 strati e le proprietà fisiche rendono possibile il distacco di carica nonostante la piccola distanza fra gli strati. Ogni strato è conduttivo, ma tra questi scorre comunque poca corrente nonostante le loro vicinanza, quindi tutto avviene come se ci fosse uno strato isolante fra questi (dielettrico).
- La superficie della piastra non è liscia. Usano materiali nanoporosi, rivestiti con alluminio e l'interno è riempito con l'elettrolita. La superficie interna è quindi molto maggiore di quella esterna ed è per questo motivo che la capacità aumenta di molto rispetto ad un normale condensatore.

Le parti principali da cui è composto un supercondensatore sono le seguenti: Gli elettrodi sono dei fogli di alluminio e fungono da collettori di corrente. La piastra è in carbonio rivestito da alluminio. Il carbonio per renderlo più poroso viene inciso per produrre più pori possibili o tritato in polvere in piccoli grani. L'elettrolita è un acido acquoso o una soluzione organica. Infine il separatore sono dei fogli porosi basati su cellulosa, che presentano una buona bagnabilità e conduzione ionica, quindi bassa conduzione elettronica. Con una tensione applicata gli ioni si muovono da una piastra all'altra creando un flusso di cariche. A bassa tensione il carbonio non reagisce con gli ioni, mentre se la tensione aumenta il supercondensatore funziona da resistore e avviene una reazione Redox. Il voltaggio del singolo è 1÷3V, quindi per l'utilizzo pratico è necessario collegare molti elementi in serie.

Le due principali limitazioni nell'aumentare la capacità sono:

- Elevata porosità del carbonio, ovvero c'è poco carbonio per trasportare la corrente.
- Incollare il carbonio all'elettrodo crea elevate resistenze parassite. Per limitare questa problematica si sono studiate alternative come quella di connettere milioni di nanotubi di carbonio, diminuendo così la resistenza parassita e aumentando la capacità.

La Tabella 7 mostra che i Supercondensatori, come i Volani, sono predisposti per prestazioni di potenza. Inoltre si possono notare una buonissima efficienza ed un grandissimo numero di cicli dovuto principalmente all'assenza di reazioni chimiche. Il costo si è invece ridotto negli ultimi anni, ma non risulta ancora competitivo per lo stoccaggio di energia, si aggira intorno ai 300÷500[€/KW].

Parametri	Dati
Potenza specifica (W/kg)	300÷10.000
Energia specifica (Wh/kg)	1÷10
Capacità delle celle(F)	1÷5.000
Tempo di scarica (s-min-h-gg)	s
Tempo di risposta (ms-s-min-h-gg)	ms÷s
Efficienza Energetica (%)	85÷98
Vita utile (numero cicli)	500.000÷1.000.000
Temperatura di funzionamento(°C)	-40÷65

Tabella 7: Parametri generali dei Supercondensatori

4.1.3.2.SMES (Superconducting Magnetic Energy Storage)

Questi sistemi sostanzialmente immagazzinano energia elettrica sotto forma di campo magnetico, mediante l'utilizzo di una bobina superconduttiva avvolta in un nucleo magnetico e mantenuta a temperature criogeniche. La lega da cui è costituita la bobina è solitamente Niobio/Titanio e deve quindi trovarsi ad una temperatura minore rispetto a quella critica di questi materiali. Il sistema è quindi formato da un contenitore criostatico d'acciaio inossidabile isolato termicamente e messo sotto vuoto, il quale contiene un fluido ad una temperatura minore di quella critica. È presente poi un alimentatore in continua che alimenta la bobina e mantiene la carica in

essa compensando anche le perdite, la bobina è mantenuta in stato superconduttivo in modo da non opporre resistenza ohmica al passaggio della corrente. Quando la carica ottimale viene raggiunta, la bobina viene cortocircuitata da un semiconduttore e la corrente vi circola continuamente. Il nucleo permette quindi l'accumulo di grandi quantità di corrente data la temperatura criogenica. L'energia elettrica viene immagazzinata sotto forma di corrente continua quindi è subito disponibile e per utilizzarla basta l'utilizzo di un inverter che la convertirà in corrente alternata. Gli SMES quindi, rilasciando una grandissima quantità di energia in pochissimo tempo hanno un'elevata specifica e quindi sono perfetti per le prestazioni di potenza. Inoltre hanno un ciclo di vita di circa 20 anni, dovuto principalmente all'assenza di parti meccaniche in movimento e dal fatto che non sono presenti materiali che perdono le proprietà chimiche nel tempo. La parte che più necessita di manutenzione è il sistema di raffreddamento.

Questi dispositivi sono inoltre in grado di controllare la potenza attiva e reattiva, quindi nelle applicazioni industriali sono molto utili per la Power Quality. Nella Tabella 8 possiamo vedere le caratteristiche tecniche principali degli SMES.

Parametri	Dati
Potenza specifica (W/kg)	100.000
Energia specifica (Wh/kg)	3
Capacità delle celle(MW)	<10
Tempo di scarica (s-min-h-gg)	s
Tempo di risposta (ms-s-min-h-gg)	ms÷s
Efficienza Energetica (%)	90÷95
Vita utile (anni)	20
Temperatura di funzionamento($^{\circ}C$)	Non risentono della temperatura

Tabella 8: Parametri generali degli SMES

4.2. Confronto fra i vari sistemi

Come parte finale di questo capitolo, dopo aver introdotto una panoramica generale sui sistemi di accumulo esistenti, vogliamo confrontarli e valutare quali potrebbero essere le tecnologie più consone all'applicazione studiata. I parametri di confronto sono principalmente la potenza, l'energia in gioco, i servizi eventuali che può garantire alla rete e il tempo di risposta. Come già precedentemente fatto presente, una stazione di ricarica ultra fast charge di ultima generazione richiede ingenti potenze per periodi di tempo nell'ordine delle decine di minuti, quindi si parla anche di applicazione altamente energivore.

Per valutare e classificare i sistemi di accumulo elencati in questo capitolo andiamo ad analizzare due grafici che sono rappresentati rispettivamente in Figura 21 e Figura 22. Il primo classifica i vari sistemi di accumulo rispetto alla potenza che possono impegnare e all'autonomia che possono garantire. Il secondo invece è detto Diagramma di Ragone e classifica i sistemi di accumulo secondo la potenza specifica [W/kg] e l'energia specifica [Wh/kg]. Inoltre il secondo grafico ci mostra con delle linee diagonali (azzurre), l'autonomia dei vari sistemi.

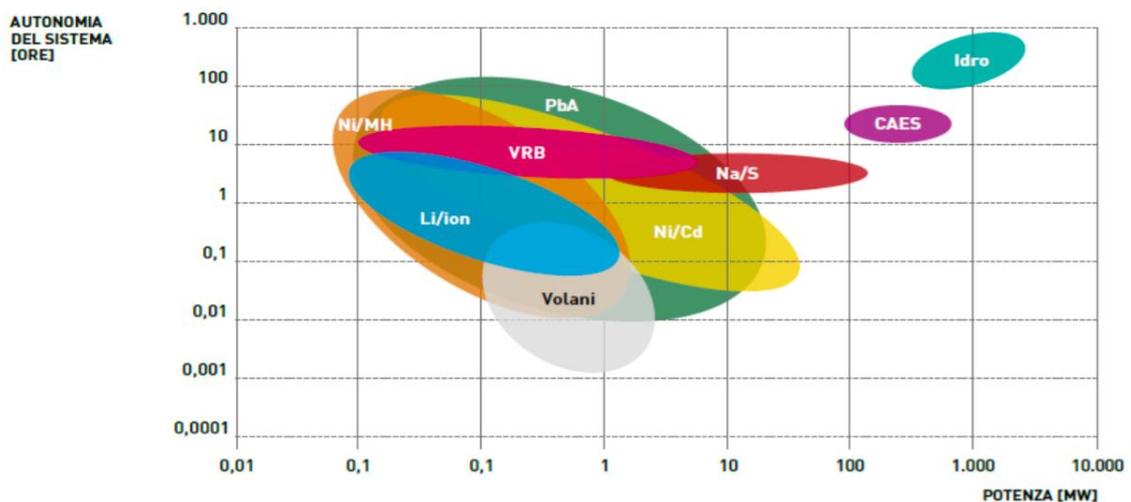


Figura 21: Diagramma di confronto autonomia-potenza fra i sistemi di accumulo elencati [17]

4. Sistemi di Accumulo

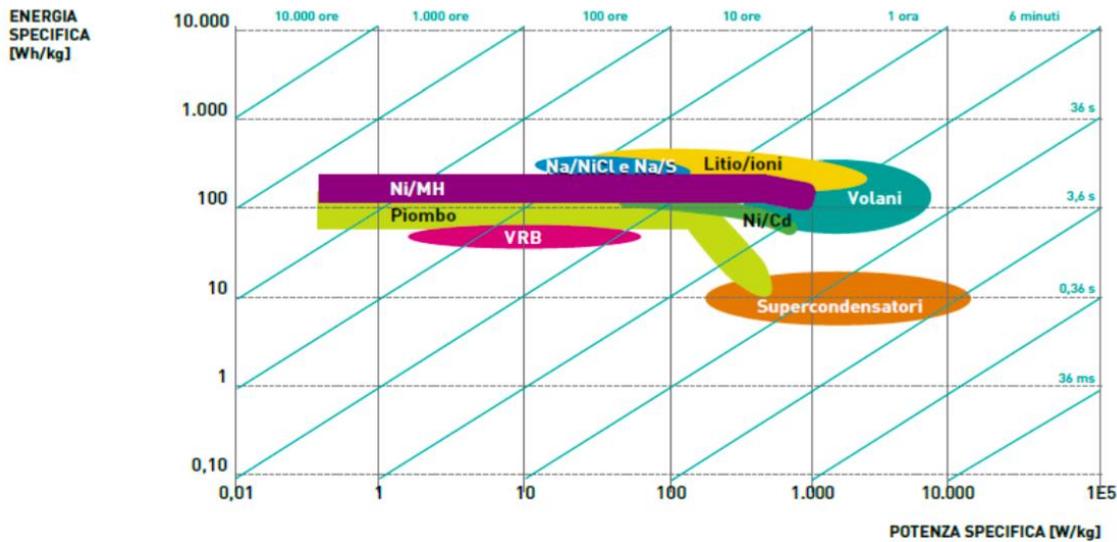


Figura 22: Diagramma di confronto energia specifica-potenza fra i sistemi di accumulo elencati [17]

Sempre nella Figura 22 possiamo facilmente notare come le tecnologie adatte maggiormente ad applicazioni di energia si trovino nella parte alta, mentre a destra del grafico troviamo i volani ed i supercondensatori, che come abbiamo già detto, presentano elevate densità di potenza. Nel diagramma di Ragone si può inoltre vedere il range di autonomia. Ad esempio le Batterie al Litio si trovano tra i 6 minuti e le 10 ore, i volani invece tra 36 secondi e 6 minuti. Concludiamo quindi definendo le varie possibilità di utilizzo. I supercondensatori ed i volani, sono applicazioni ad elevata potenza, erogabile in brevi periodi, quindi possono svolgere importanti funzioni a supporto della rete, come la regolazione primaria della frequenza, la regolazione della tensione e servizi di powerquality. I sistemi con basso rapporto potenza/energia sono principalmente rappresentati dagli impianti di pompaggio idraulico e da i CAES. Questi possono erogare determinate potenze per lunghi periodi, in supporto alla rete di trasmissione possono svolgere servizi di time shift e peak shaving. Gli accumulatori elettrochimici invece presentano buone caratteristiche sia in autonomia che in tempo di risposta ed hanno quindi prestazioni intermedie in rapporto potenza/energia. Tra gli accumulatori elettrochimici spiccano sicuramente le batterie al Litio, le quali possono fornire buonissime prestazioni di potenza con autonomie maggiori di volani e supercondensatori e buoni tempi di risposta. Per le varie necessità che si hanno in questo progetto si è preferito optare per un accumulatore agli ioni di Litio, dato che la batteria in questione deve poter essere funzionale a servizi di potenza ma con tempi di utilizzo che possono arrivare alla mezz'ora e all'ora. [7] [17]

5. Stazione Ultra Fast Charge (UFCS)

Lo scopo principale di questa tesi è quello di valutare la fattibilità di una stazione di ricarica Ultra Fast Charge (UFCS) costituita da un certo numero di colonnine e quindi predisposta ad una certa tipologia di traffico. Queste particolari stazioni, oltre ad essere presenti in zone strategiche come autostrade e postazioni dove si ha la possibilità di collegarsi alla rete elettrica ad alta tensione, dovranno, in un futuro sempre più prossimo, essere posizionate in zone dove la rete ha nodi a potenzialità minore, come centri commerciali o punti di raccordo di strade urbane. Il motivo principale è quello di aumentare la diffusione sul territorio di stazioni che permettano la ricarica più veloce del veicolo, in modo quindi da non creare lunghe attese ai consumatori e ridurre la “range anxiety”, essendo queste le motivazioni principali che scoraggiano l’acquisto di un veicolo elettrico. Guardando invece al futuro della rete ed agli ingenti picchi di potenza che queste stazioni verranno a richiedere (vedi pag. 18), si cerca di integrare la stazione di ricarica con dei sistemi di accumulo che permettano un accoppiamento flessibile con la rete, in modo da poter ridurre l’impatto della stazione sulla rete utilizzando l’accumulatore per la ricarica dei veicoli nei periodi di punta.

In questa tesi verranno analizzate delle modalità di ricarica che non sono ancora tecnologicamente applicate o che comunque non hanno ancora un grosso riscontro applicativo. Come infatti è stato introdotto nel paragrafo 3.1.1 la ricarica fast charge con elevati livelli di potenza, rappresenta tuttora una sfida tecnologica. Nonostante questo, la casa automobilistica Porsche, sembra intenzionata a lanciare sul mercato la vettura mission-E per il 2020. Questa potrà essere ricaricata a 800V e 300+kW, anche se, avrà la possibilità di poter essere ricaricata a 400V e 160kW. La ricarica a 160 kW, come già menzionato nel paragrafo 3.1.1 è anch’essa in fase di sviluppo, dato che CharIN sta lavorando al miglioramento degli standard del Combined Charging System in modo da aumentare l’amperaggio e sostenere i livelli di potenza che veicoli come quelli di Porsche e Audi sarebbero già praticamente pronti a sostenere.

Si tratta quindi di stabilire i limiti di traffico sostenibili da una stazione UFC, utilizzando sistemi di accumulo e disponibilità della rete alle loro massime possibilità per permettere la ricarica del maggior numero di veicoli, tenendo però presente che l’accumulatore dovrà essere gestito in modo da evitare la scarica completa (10%-SOC) perché questo comporterebbe l’interdizione della stazione per permettere la sua ricarica.

5.1. Dati utilizzati

Si è partiti dalle seguenti condizioni operative:

- EVSE grid input Power: 120kW
- EVSE ESS capacity: 160kWh
- Numero di colonnine di ricarica: 5
- Colonnine con DC/DC da 50kW: 3
- Colonnine con DC/DC da 160kW: 1
- Colonnine con DC/DC da 320kW: 1
- Numero massimo di colonnine in servizio: 4

Come possiamo vedere la stazione è composta da 5 colonnine, di cui 3 a potenze che possiamo trovare anche oggi in molte applicazioni di FCS (Fast Charge Station) e che permettono ricariche che al massimo possono caricare un veicolo con batteria da 24kWh (tipo la Nissan Leaf che consideriamo in questo testo) all'80% in circa mezz'ora. Le tempistiche di ricarica che permettono questa tipologia di colonnine, sono certamente un grosso passo avanti rispetto ai sistemi di ricarica in AC più diffusi nelle odierne stazioni di ricarica. Di contro però, bisogna considerare che una ricarica di 30 minuti non è purtroppo paragonabile come autonomia ad un rifornimento di un veicolo benzina o Diesel. La stazione infatti è composta da due altre tipologie di colonnine che come precedentemente spiegato permettono potenze maggiore e quindi di conseguenza tempi di ricarica minori. La colonnina da 160kW dovrebbe indicativamente permettere di caricare il veicolo fino all'80% in circa 22 minuti mentre quella da 320kW in 15 minuti. Queste tempistiche si avvicinano maggiormente agli standard dei veicoli a benzina e Diesel e se implementate permetterebbero quindi un buon passo in avanti per il mercato della mobilità elettrica.

Module Type	JP3_2P
Nominal Characteristics	
Voltage Range	42~58.8 V
Capacity	130Ah
Energy	6.67kWh
Physical Characteristics	
Cells Configuration	14S2P

Tabella 9: Dati accumulatore utilizzato

Nella Tabella 9 possiamo vedere i dati di targa di ogni singolo modulo dell'accumulatore. Ogni modulo è composto da due gruppi di 14 celle in serie, collegati in parallelo. L'accumulatore che verrà utilizzato in queste simulazioni iniziali è composto da due sistemi tipo LG_Chem, ognuno formato da 12 moduli JP3_2P in serie. Questo porta la batteria ad avere una tensione a vuoto che va da 504 a 710 V, una capacità di 260 Ah ed un' energia accumulata di 160kWh.

I veicoli considerati sono di tre tipologie:

- Batteria da 90 kWh (modello Porsche-E) che si ricarica solamente sulla colonnina da 320 kW a 800Vdc con un C-rate di circa 3.5C.
- Batteria da 60 kWh (modello Audi e-tron) che si ricarica solamente sulla colonnina da 160 kW con un C-rate di circa 2.7C.
- Batteria da 24 kWh (modello Nissan Leaf) che si ricarica solamente su una delle tre colonnine da 50 kW con un C-rate di circa 2C

In questa prima parte ho valutato la potenzialità dell'accumulatore preso in considerazione, considerando una carica lineare delle batterie. Quindi ho impostato una potenza di ricarica costante, pari alla media che viene richiesta dai veicoli durante una carica (ovvero 250kW per la Porsche-E, 115kW per l'Audi e-tron e 40kW per la Nissan Leaf). Questo per vedere e valutare le possibili criticità che si potrebbero presentare in stazione. Ad esempio il massimo numero di colonnine utilizzabili nello stesso momento e nel caso di un elevato utilizzo, le tempistiche che servono all'accumulatore per raggiungere una buona percentuale di SOC e quindi essere nuovamente utilizzabile.

Per ricavare i dati di targa delle batterie, non trovando quelli che saranno effettivamente inseriti nei veicoli in questione, ho ricercato tra i vari modelli in commercio quelli che disponevano di una batteria che più si avvicinava alle loro caratteristiche. La Tabella 10 rappresenta le varie tipologie di veicoli elettrici con i relativi dati di targa delle batterie. La tabella, oltre ad indicare la tipologia della batteria e il veicolo attualmente in commercio a cui fa riferimento, descrive le generalità sui parametri principali a cui si fa affidamento quando ci si trova davanti alla scelta fra una batteria e l'altra. I parametri fondamentali sono la Tensione nominale [V], la Capacità nominale [Ah] e l'Energia [kWh]. In tabella sono mostrati i parametri riferiti al blocco totale delle batterie, ma di solito si fa riferimento ai parametri della singola cella che in questo caso non sono stati riportati.

5. Stazione Ultra Fast Charge (UFCS)

Modello	Tipo Batteria	Tensione [V]	Capacità [Ah]	Energia[kWh]
BMW i3	Samsung	347.8	94	32.7
BYD e6	BYD	307.2	200	61.4
Chevrolet Bolt	LG Chem	350.4	177	62.0
Chevrolet Spark	LG Chem	360	54	19.4
Fiat 500e	Samsung	363.8	66	24.0
Ford Focus	LG Chem	318.2	75	23.9
Kia Soul	SK	360	75	27.0
Mitsubishi i	LEJ	325.6	50	16.3
Smart Fortwo	Deutsche ACCUmotive	338.4	52	17.6
Tesla Model S	Panasonic	345.6	247.9	85.7
Volkswagen e-Golf	Panasonic	325.6	75	24.4

Tabella 10: Caratteristiche delle Batterie per EV in commercio

Si sono quindi presi come riferimento i dati di targa della batteria della Fiat 500e per la Nissan Leaf e quelli della Chevrolet Bolt per l'Audi e-tron. Per la Porsche-E non è stato possibile trovare alcun dato riguardante veicoli simili, dato che non ne esistono ancora in commercio. Sapendo però che tale batteria dovrebbe avere una tensione massima ai morsetti durante la carica di circa 800V, si sono fatti dei calcoli indicativi per poter valutare la Capacità della batteria. Facendo riferimento a 320kW come la massima potenza accettabile dalla batteria ed assumendo che la tensione vari tra 700V a 800V, il valore della corrente di riferimento dalla batteria è stato stimato in $\frac{320kW}{\sim 750V} \cong 420A$. Inoltre considerando che questa corrente è approssimativamente quella che permette alla batteria di caricarsi con velocità a C-rate 3.5, si assume un valore di capacità della batteria pari a circa $\frac{420A}{3.5C} = 120[Ah]$. Se ipotizziamo quindi una tensione nominale V_n di 750V e una capacità di 120Ah ricaviamo l'energia, pari a 90kWh. Abbiamo quindi ricavato i parametri principali per la ricarica dei veicoli che accedono nella stazione di ricarica. Resta inteso che si tratta di stime finalizzate a dare indicazioni sulla funzionalità del sistema.

5.2 Schema UFCS

Lo schema generale della stazione di ricarica può essere rappresentato come nella **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**

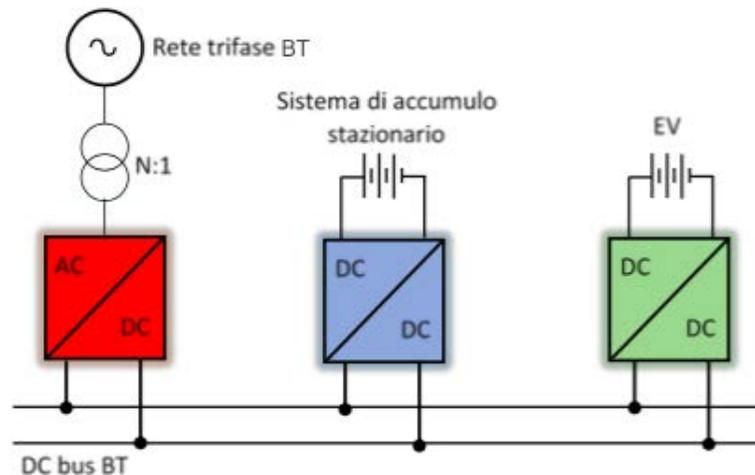


Figura 23: Schema generale UFCS

Possiamo vedere come la stazione sia interfacciata alla rete trifase in bassa tensione tramite un trasformatore che ha il compito di isolamento galvanico ($K=1$), ed un raddrizzatore che converte le tensioni e le correnti da AC in DC. In una stazione che si prefigura per svolgere servizi alla rete elettrica il raddrizzatore dovrà essere un inverter a commutazione con un funzionamento a quattro quadranti, per poter permettere un flusso di potenza bidirezionale. Vi è poi un bus DC che è in bassa tensione (400V) a cui sono collegati due convertitori DC/DC, uno interfacciato al sistema di accumulo e l'altro collegato a quella che è rappresentata come una singola utenza (in realtà 5 colonnine nel nostro caso).

Più in dettaglio i componenti sono:

- L'accumulatore con il relativo convertitore DC/DC. Questo convertitore dovrà essere bidirezionale per permettere la scarica dell'accumulatore durante la carica dei veicoli e la ricarica di questo tramite la rete.
- Le varie colonnine di ricarica in DC contenenti ognuna il proprio convertitore DC/DC che permette la ricarica del veicolo. Questi convertitori sono della tipologia Buck-Boost, affinché possano abbassare ed elevare la tensione rispetto ai 400V del bus DC. La scelta è motivata dal fatto che le batterie dei

veicoli presi in considerazione hanno tensioni massime durante la ricarica maggiori di 400V.

- Il convertitore per la colonnina adibita alla ricarica della Porsche-E deve alzare la tensione da 400 a circa 800 V quindi è possibile utilizzare due convertitori in parallelo lato DC bus e connetterli in serie lato batteria, in modo da poter raddoppiare la tensione. Il dimensionamento e la parte di conversione esulano dal testo, quindi nello schema in Simulink vengono rappresentati come se fossero un unico convertitore DC/DC nella colonnina che permette di ricaricare la batteria della macchina con una potenza di picco di 320kW.

Nella Figura 24 è possibile vedere la semplificazione della rete al bus DC, dove le colonnine di ricarica sono viste come dei generatori di corrente convenzionati da utilizzatori, poi pilotati dalla potenza richiesta dalla batteria. Anche l'accumulatore è visto come un generatore di corrente pilotato, convenzionato però da generatore. In fase di ricarica sarà quindi pilotato con un valore di corrente negativo. Il Bus DC per semplificazione è rappresentato con una tensione costante di 400V.

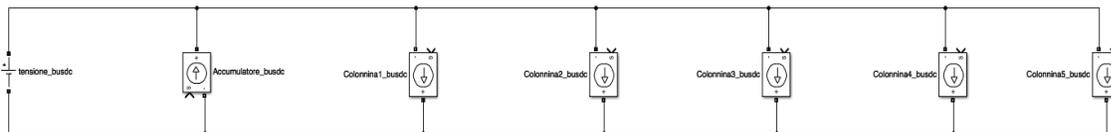


Figura 24: Schema base della stazione di ricarica

La Figura 25 mostra il convertitore DC/DC che è presente a monte dell'accumulatore e che è stato modellizzato con due generatori di corrente pilotati, funzionando come un trasformatore ideale DC/DC (le perdite di commutazione e di conduzione nei componenti allo stato solido vengono comunque calcolate ed inserite nel computo totale del rendimento complessivo). La tensione al Bus DC è fissa a 400V, mentre la tensione lato batteria varia in base al SOC di arrivo di questa e in base alla corrente con cui viene caricata. Il generatore di corrente pilotato lato DC bus è comandato da una corrente chiamata I_{dc_Acc} che corrisponde alla somma delle correnti richieste dalle colonnine riportate alla tensione lato DC bus meno la corrente proveniente dalla rete. Il comando del generatore pilotato lato Accumulatore dipende, oltre che dalle perdite anche dal verso della corrente (a seconda che l'accumulatore sia in carica o scarica). Il blocco perdite è mostrato nella Figura 26 e nella Figura 27.

Modello per la gestione di una stazione di ricarica EV supportata da un sistema di accumulo energetico

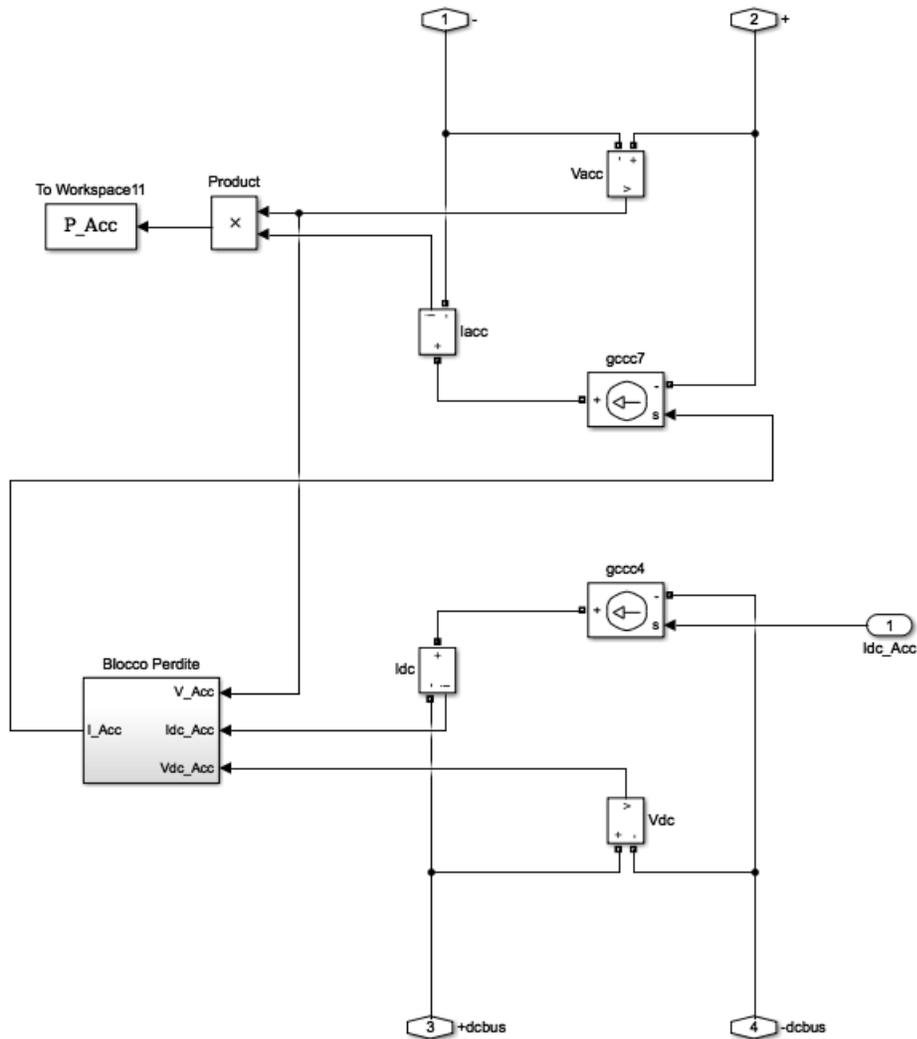


Figura 25: Modellizzazione convertitore DC/DC dell'accumulatore

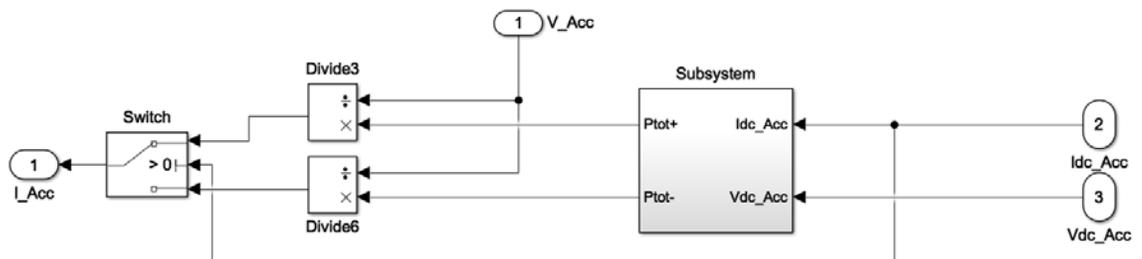


Figura 26: Blocco perdite

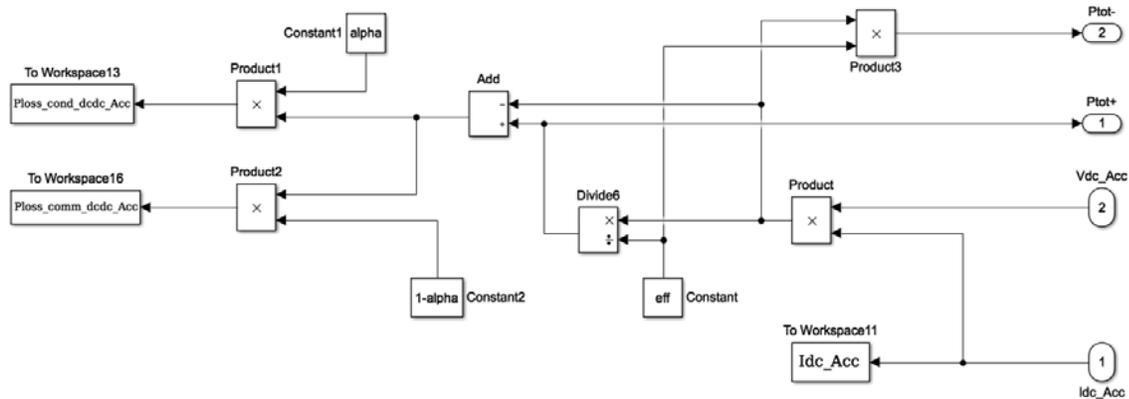


Figura 27: Subsystem

Il blocco perdite calcola le perdite del convertitore, considerando un rendimento del 96% ($\text{eff}=0.96$) e a calcola la corrente I_{Acc} richiesta all'accumulatore. Per calcolare la corrente dobbiamo considerare il caso in cui l'accumulatore viene caricato e quello in cui viene scaricato:

- Scarica dell'accumulatore ($I_{dc_{acc}} > 0$) → In questo caso la corrente fluisce dall'accumulatore al DC bus (corrente positiva). In queste condizioni l'accumulatore dovrà fornire una potenza P_{tot+} maggiore per garantire la potenza richiesta, quindi avremo: $P_{tot+} = \frac{P_{dc_{acc}}}{\eta}$; P_{tot+} viene poi divisa per la tensione dell'accumulatore V_{acc} , ricavando così la corrente I_{acc} che esso deve erogare.
- Carica dell'accumulatore ($I_{dc_{acc}} < 0$) → In questo caso invece la corrente fluisce dalla rete all'accumulatore (corrente negativa). In queste condizioni operative, all'accumulatore arriverà una potenza di carica P_{tot-} minore rispetto a quella che è disponibile al bus dc, avremo: $P_{tot-} = P_{dc_{acc}} \cdot \eta$; P_{tot-} viene poi divisa per V_{acc} ricavando così la corrente I_{acc} assorbita dall'accumulatore.

Vediamo ora come sono stati modellizzati i convertitori delle varie colonnine, assunti unidirezionali, dato che le batterie dei veicoli in questa tipologia di stazione di ricarica devono essere solamente ricaricate (non si considera alcuna funzione di V2G). Possiamo vedere lo schema del convertitore DC/DC nella **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**

Modello per la gestione di una stazione di ricarica EV supportata da un sistema di accumulo energetico

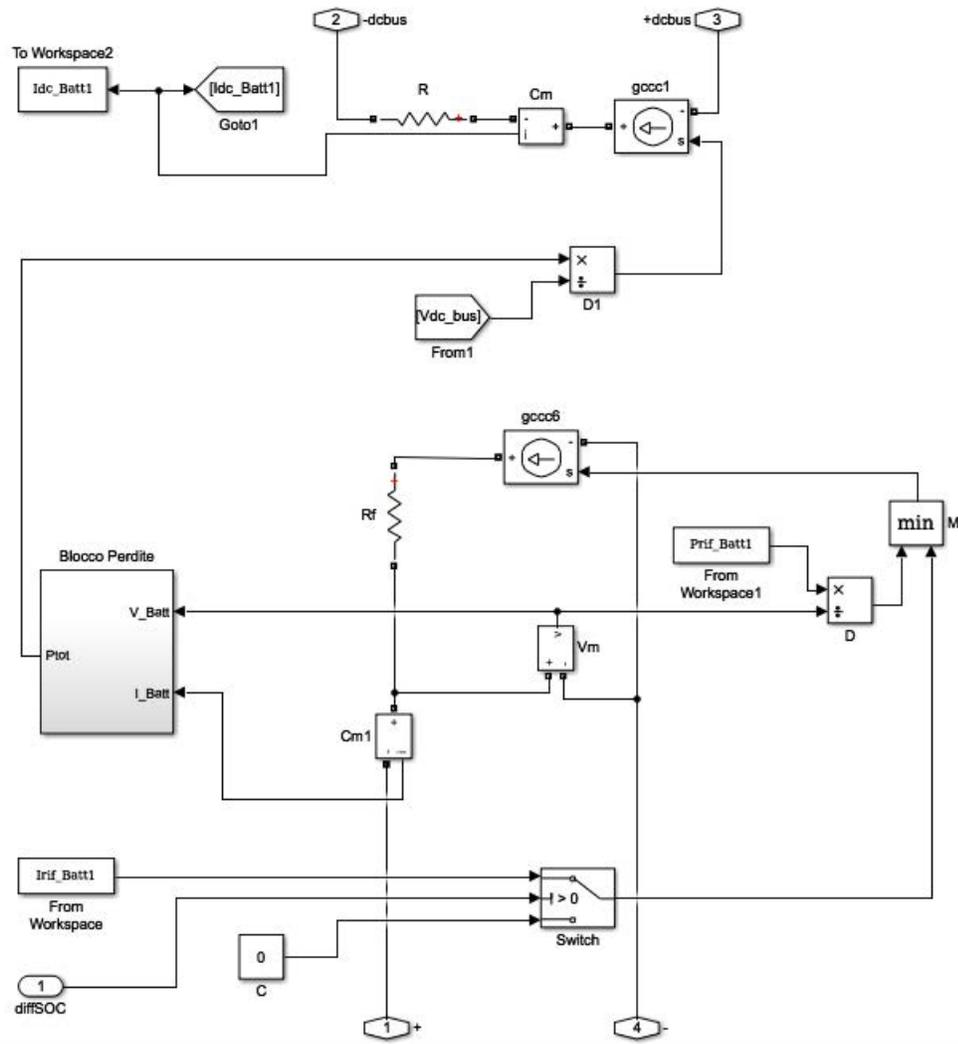


Figura 28: Schema DC/DC colonnine

Il generatore pilotato lato batteria è comandato da una corrente che è presa come il minore tra i seguenti valori:

- Rapporto tra potenza di riferimento della batteria Prif_Batt (o potenza nominale del convertitore) e tensione della batteria (crescente durante la carica).
- Corrente di riferimento della batteria Irif_Batt (valore di corrente costante che permette la carica della batteria nel tempo prefissato).

Dalla Figura 28 si vede che la Irif_Batt può diventare nulla se il segnale di comando diffSOC diventa uguale a zero.

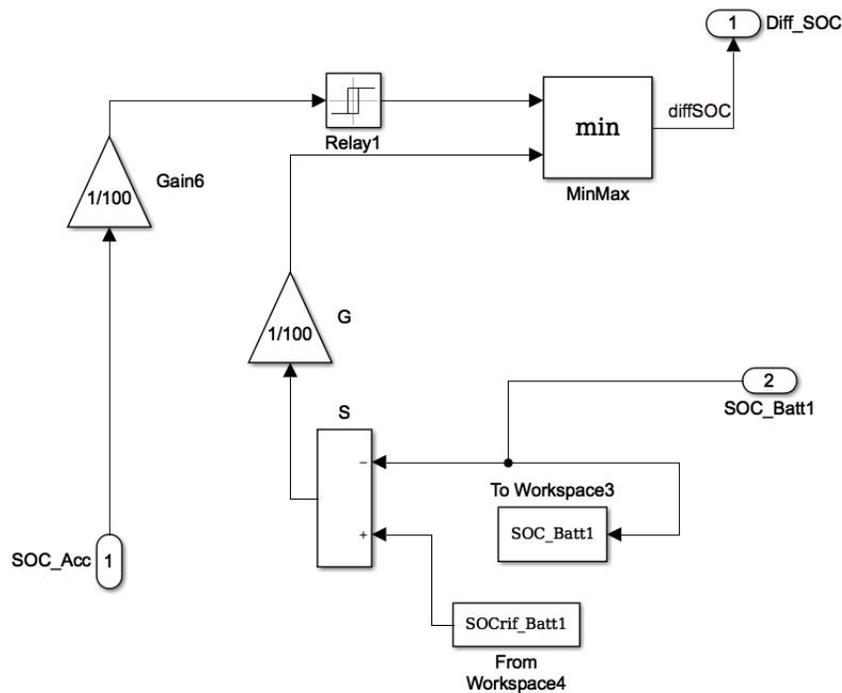


Figura 29: Comando Diff_SOC

Tale segnale è quindi dato dal minimo fra (vediamo in Figura 29):

- La differenza di SOC fra il valore di riferimento di SOC_Crif_Batt impostato a 90% e il SOC della batteria SOC_Batt1.
- Il segnale di uscita da un blocco ad isteresi che diventa zero quando il SOC dell'accumulatore SOC_Acc scende al 10%.

Quindi sostanzialmente diffSOC va a zero –e quindi la corrente richiesta dalla batteria si annulla- quando: o la batteria raggiunge il 90% del SOC o l'accumulatore raggiunge un valore di SOC del 10% e quindi deve ricaricarsi. Questo controllo vale per tutte le colonnine tranne quella adibita alla ricarica della Porsche-E, la quale deve svolgere comunque il suo ciclo di carica. In queste prime simulazioni per comodità e per mostrare la gravosità dei carichi è stata bloccata anche la colonnina a 320kW.

Ritorniamo però allo schema del convertitore delle colonnine, ovvero alla Figura 28. In questo schema, il generatore di corrente lato dc bus è comandato con un valore corrispondente a $\frac{P_{tot}}{V_{dc}}$, dove P_{tot} rappresenta la potenza richiesta dalla batteria, incrementata dalle perdite, cioè divisa per il rendimento, quindi $\frac{P_{batt}}{\eta * V_{dc}}$. Il calcolo delle perdite è invece mostrato nella Figura 30, considerando sempre un' efficienza del 96%.

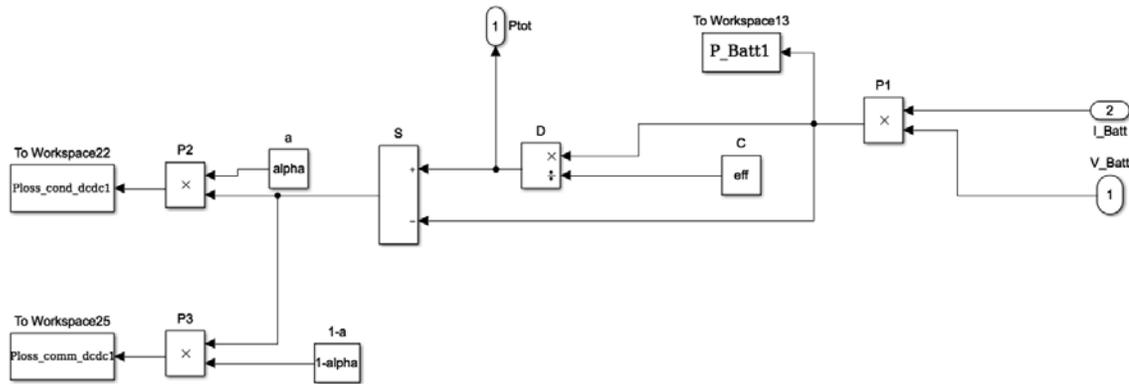


Figura 30: Perdite DC/DC colonnine

Abbiamo quindi introdotto lo schema generale che è stato utilizzato per valutare la gravosità dei possibili carichi in un'ora di funzionamento. Ora analizzeremo questi carichi, ipotizzando inizialmente che tutti i veicoli che si presentano in stazione debbano effettuare una ricarica completa dal 20 al 90% di SOC.

5.3.Valutazione traffico orario critico

Le simulazioni svolte in questa sezione prendono in esame le situazioni più critiche in un'ora di funzionamento. Si è considerata la ricarica di massimo 8 veicoli in un'ora come caso peggiore, ipotizzando le varie possibilità di arrivo. Dato il limite di 4 colonnine al massimo funzionanti nello stesso momento e considerati i tempi di ricarica dei veicoli, si è suddivisa l'ora di funzionamento in mezz'ora. Questo perché il veicolo che ricarica a 40-50kW impiega un tempo di poco meno di una mezzora per caricarsi dal 20 fino al 90% del SOC. Valutate quindi le casistiche peggiori di arrivo si è cercato di capire quanto l'accumulatore precedentemente definito possa rispondere alle esigenze.

Solitamente un veicolo elettrico ricarica la batteria quando questa si trova con un SOC tra il 20 e il 50%, quindi per il momento si è ipotizzato un arrivo di veicoli con batteria al 20% di SOC, così da valutare i casi peggiori in un'ora di funzionamento. Nella Tabella 11 sono riassunte le simulazioni effettuate e i veicoli considerati in carica nella prima e nella seconda mezzora. Per valutare il caso peggiore possibile, dato che non era sostenibile da un solo accumulatore in aiuto alla rete, si è effettuata un'ulteriore simulazione che utilizza due accumulatori in parallelo. Questo solo a titolo di esempio per fare una prima valutazione sulle scelte che poi si potranno effettuare più avanti.

5. Stazione Ultra Fast Charge (UFCS)

Simulazione	EV Prima mezz'ora	EV seconda mezz'ora
1	Porsche-E+ 3 veicoli tipo Nissan Leaf	Porsche-E+ 3 veicoli tipo Nissan Leaf
2	Porsche-E + Audi e-tron +Nissan Leaf	Porsche-E + Audi e-tron +Nissan Leaf
3	Porsche-E + 3 veicoli tipo Nissan Leaf	3 veicoli: uno per ogni tipo
4	Audi e-tron + 3 veicoli tipo Nissan Leaf	Audi e-tron + 3 veicoli tipo Nissan Leaf
Simulazioni con doppio accumulatore	Porsche-E + Audi e-tron + 2 veicoli tipo Nissan Leaf	Porsche-E + Audi e-tron + 2 veicoli tipo Nissan Leaf

Tabella 11: Traffici orari critici

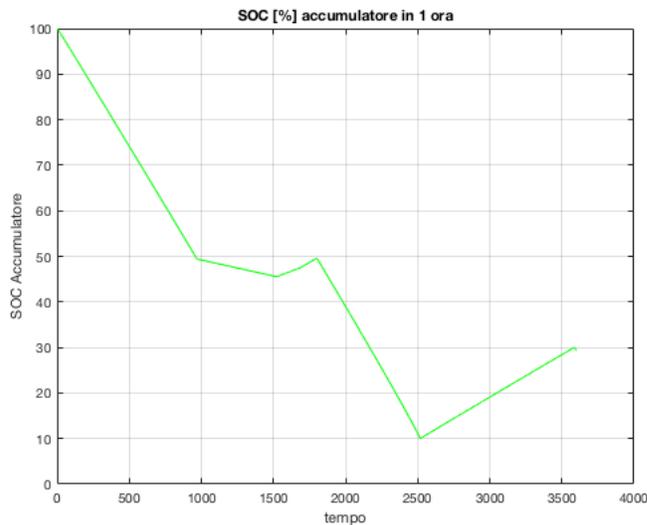


Figura 31: SOC accumulatore sim.2

La simulazione 2, come possiamo vedere in Tabella 11, è il caso peggiore fra quelle elencate data la maggiore potenza richiesta nell'arco di un'ora. Infatti se andiamo a simulare un traffico orario di questo tipo, vediamo subito come questo non può essere supportato da una stazione di questo tipo per più di mezzora. Come possiamo notare il SOC dell'accumulatore raggiunge il 10% dopo 2500s (41.6min) e quindi dopo aver caricato il primo gruppo di veicoli fino al 90% di SOC non riesce a caricare del tutto i

gruppi della seconda mezzora. Certamente questo traffico non può essere supportato dall'accumulatore, o meglio non possono essere supportati i tre veicoli che si presentano in stazione dopo la prima mezzora. Infatti se il carico fosse minore si potrebbe permettere all'accumulatore di essere caricato in parte dalla rete.

La stazione viene quindi interdetta e i veicoli nella seconda mezzora non vengono caricati del tutto. Le ricariche vengono interrotte a diverse percentuali di SOC (che è per la Porsche-E il 73%, per l'Audi e-tron il 54% e per la Nissan il 50%) come possiamo vedere nella **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** Le ricariche non sono complete perché una volta raggiunto il 10% l'accumulatore deve essere caricato dalla rete, così da poter poi essere riutilizzato. La carica dell'accumulatore quindi, in questo caso è molto più lenta rispetto alla scarica.

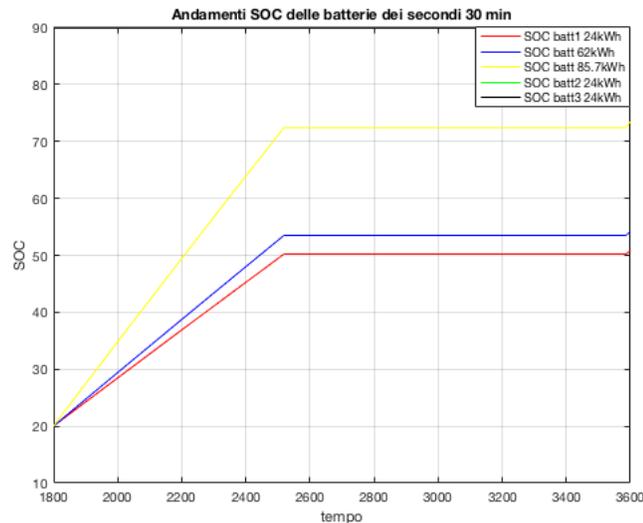


Figura 32: Ricariche veicoli seconda mezz'ora

Nella Figura 32 possiamo quindi vedere il grafico che mostra gli andamenti delle cariche lineari dei tre veicoli fino al punto in cui vengono interdetti. In giallo distinguiamo il veicolo che ricarica nella colonnina da 320kW perché l'inclinazione del SOC è decisamente maggiore rispetto agli altri veicoli.

Nella Figura 33 viene mostrata invece la corrente erogata ed assorbita dall'accumulatore durante l'ora di funzionamento con il traffico della simulazione 2. Notiamo come in scarica la corrente raggiunga valori superiori ai 500 A mentre in carica si attesta intorno ai 180 A. Per capire meglio l'andamento della corrente, vediamo anche l'andamento della tensione ai morsetti dell'accumulatore.

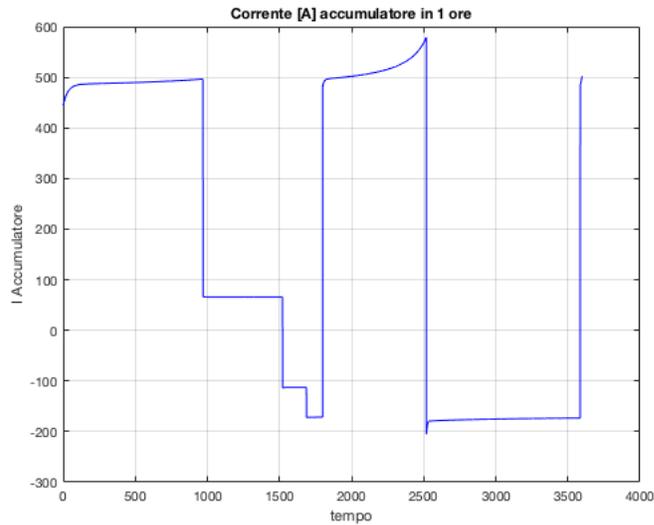


Figura 33: Corrente accumulatore

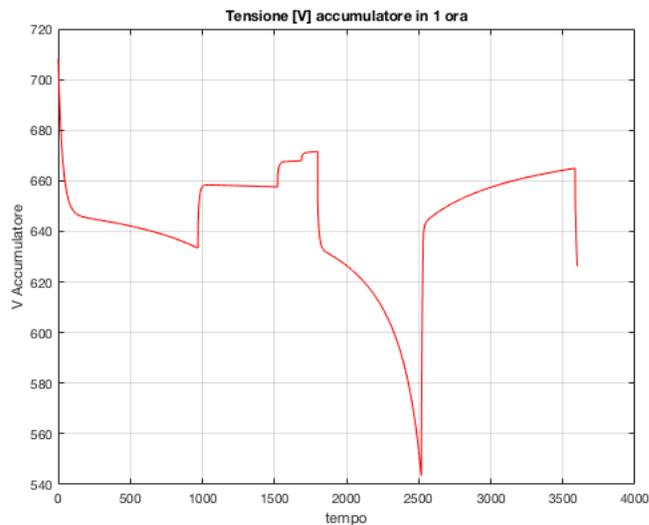


Figura 34: Tensione accumulatore

La Figura 34 rappresenta quindi la tensione ai capi dell'accumulatore. Notiamo subito che quando l'accumulatore raggiunge la soglia minima del 10% di SOC e la stazione viene interdetta, la tensione ha un picco minimo vicino ai 540 V.

Considerando quindi le ultime due figure relative a tensione e corrente possiamo vedere come la scarica dell'accumulatore raggiunga e superi di poco i 2C durante i periodi di carico massimo. Guardando infatti i primi 1000 secondi dei due grafici, la tensione è in media poco inferiore ai 650 V mentre la corrente poco inferiore ai 500 A.

Possiamo quindi dire che l'accumulatore provvede ad erogare una potenza di circa 320kW nei periodi in cui tutti e tre i veicoli sono in carica.

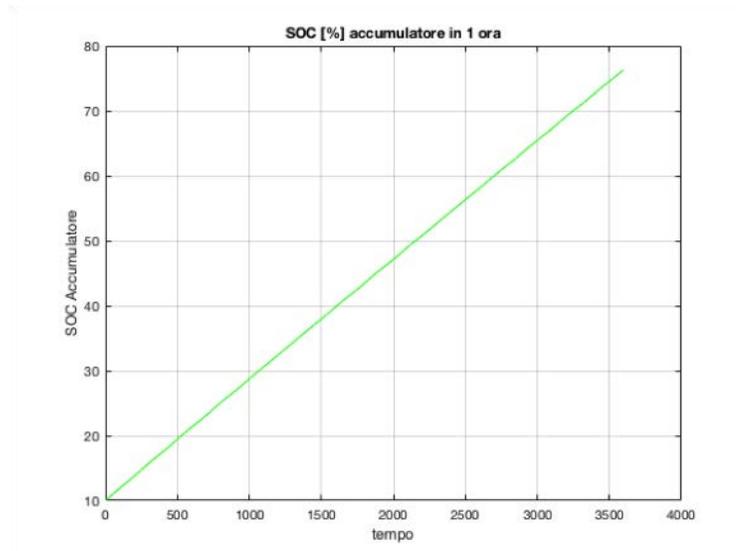


Figura 35: SOC durante la ricarica dell'accumulatore

Quando viene caricato dalla rete è invece soggetto ad una tensione di più o meno 660 V e una corrente di poco superiore ai 180 A, ricaricandosi così con i 120kW disponibili dalla rete. La Figura 35 ci mostra l'andamento del SOC durante la ricarica dell'accumulatore. Partendo dal 10% di SOC vediamo che raggiunge, in un'ora di ricarica senza veicoli connessi alla stazione, il 76.4% di SOC. Possiamo quindi dire che in un'ora si ricarica del 66.4 %.

Come già precedentemente spiegato, i casi che sono stati valutati sono quelli peggiori, ovvero quelli che non riescono a caricare i veicoli fino al valore desiderato o che dopo un'ora di funzionamento della stazione richiedono la sua interdizione per permettere la ricarica dell'accumulatore. La simulazione 1 (vedi Tabella 11) rappresenta la seconda situazione, infatti il SOC dell'accumulatore raggiunge quasi il 10% dopo un' ora di funzionamento, riuscendo però a caricare tutti i veicoli fino al 90%. La simulazione 4 invece ha un carico più leggero, essendo in carica in ogni mezzora il veicolo che utilizza la colonnina da 160kW e tutti e 3 quelli che utilizzano quella da 50kW. In questo caso il SOC dell'accumulatore arriva dopo un'ora al 40% circa, garantendo la continuità dell'utilizzo della stazione. Possiamo vedere gli andamenti del SOC di queste simulazioni nei seguenti grafici in Figura 36.

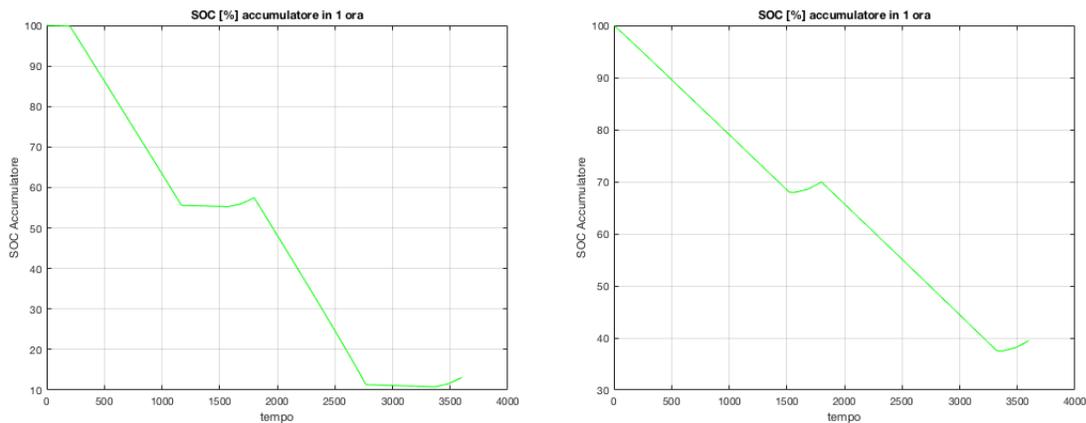


Figura 36: A sinistra SOC con simulazione 1, a destra SOC con simulazione 4.

Alla luce delle simulazioni svolte, riconosciamo come per questo tipo di stazione le caratteristiche dei carichi sono un fattore discriminante per la scelta dell'accumulatore. Se i carichi sopra simulati si verificano in un'ora di punta, questa tipologia di ricariche non è sostenibile, sia per le frequenti fasi di interdizione della stazione che per le eccessive profondità di scarica a cui è soggetto l'accumulatore.

5.3.1. Simulazione doppio accumulatore

Si è cercato quindi di realizzare il profilo di carico massimo in un'ora, ovvero 4 colonnine occupate (quelle da 320kW-160kW-50kW-50kW) ogni mezz'ora. Farlo con un solo accumulatore non è possibile perché la batteria raggiunge il 10% di SOC in 2235 secondi (37,25 minuti) e quindi non permette la ricarica completa dei veicoli. I veicoli in questo caso vengono interdetti per permettere all'accumulatore di essere caricato fino al 30% di SOC (raggiunto in 17,8 minuti) ed essere nuovamente scaricato per proseguire la carica dei veicoli. Nella Figura 37 possiamo vedere l'andamento del SOC dell'accumulatore.

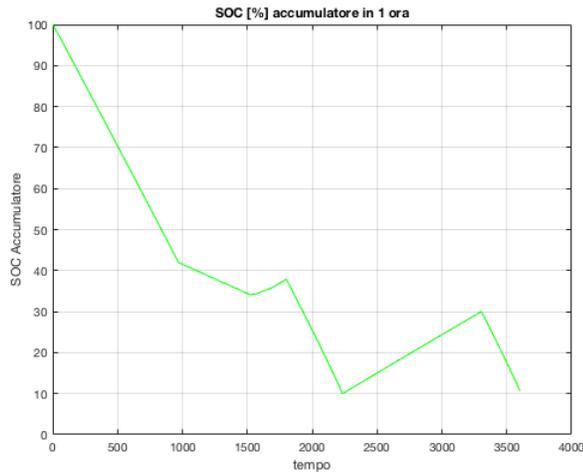


Figura 37: SOC carico massimo

Il traffico considerato è il massimo che si può presentare in stazione, dato il limite di 4 colonnine contemporaneamente. Dato che utilizzando un singolo accumulatore da 160kWh, un carico simile non è sostenibile per un'ora. Si è quindi provato ad inserire un secondo accumulatore avente gli stessi parametri in parallelo al primo. I due accumulatori vengono utilizzati in modo mutualmente esclusivo, ovvero quando uno viene impiegato per la ricarica dei veicoli l'altro viene caricato dalla rete. Questo metodo a lungo andare non è certamente il più efficace né tantomeno il più economico, ma si riportano comunque i grafici principali per dimostrazione.

Partendo con due accumulatori carichi, vediamo in Figura 38 che il primo si scarica erogando una corrente di circa 550 A con una tensione di circa 640 V (350kW). Il secondo accumulatore invece, non essendo aiutato dalla rete nella carica dei veicoli (perché occupata nella ricarica dell'altro accumulatore), arriva ad erogare correnti fino a 750 A avendo una tensione ai suoi capi di 630 V. Erogando circa 480kW, l'accumulatore si scarica con velocità 3C e quindi in meno di 20 minuti raggiunge il 10% di SOC.

5. Stazione Ultra Fast Charge (UFCS)

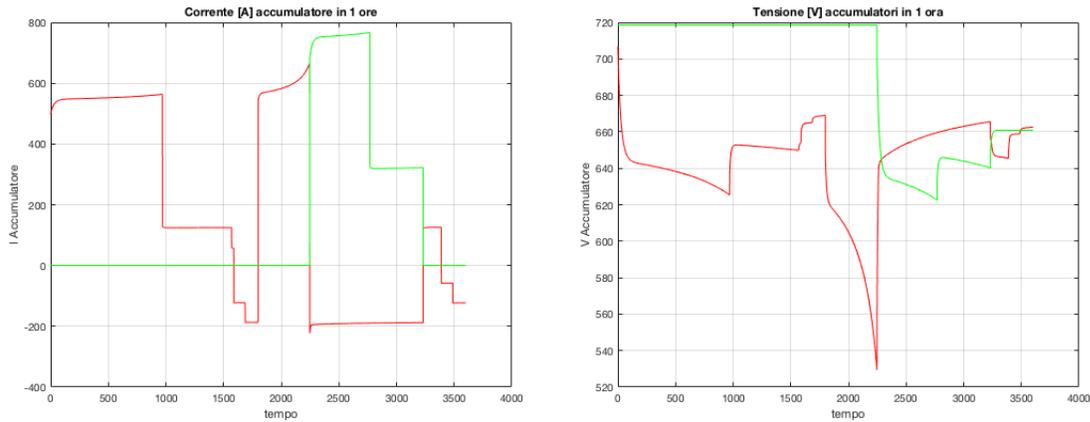


Figura 38: A sinistra grafico correnti, a destra grafico tensioni

Tramite questa modalità, tutti i veicoli vengono caricati senza alcuna interruzione, però l'utilizzo di due accumulatori rappresenta un problema a livello economico. Inoltre, quando un accumulatore viene caricato dalla rete, quello che viene utilizzato per la carica dei veicoli viene scaricato con una velocità di scarica maggiore, dovuta al fatto che la rete non interviene in suo aiuto. Nella Figura 39 possiamo vedere il grafico che mostra i SOC dei due accumulatori.

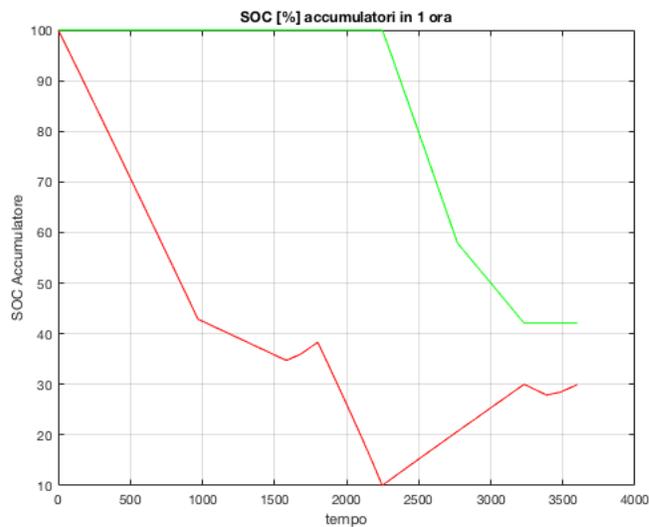


Figura 39: SOC dei due accumulatori

Infine quindi possiamo dire che come scelta non è certamente la più conveniente, anche per l'effetto di un precoce invecchiamento, dovuto alle profonde scariche degli accumulatori.

5.4. Cariche da modello batterie

Nei paragrafi precedenti abbiamo introdotto le generalità dello schema del bus DC e l'accumulatore che è stato preso come riferimento. Inoltre, prendendo in considerazione delle cariche lineari dei veicoli si è valutata la potenzialità massima dell'accumulatore, ovvero il carico massimo che può supportare in un'ora di funzionamento. Il carico considerato però avrebbe come diretta conseguenza l'interdizione della stazione di ricarica per almeno una mezz'ora, o comunque la limitazione dell'arrivo dei veicoli per più tempo.

In questo capitolo si prenderanno in considerazione le ricariche dei veicoli da modello del carica batterie, ovvero una carica a corrente costante fino al raggiungimento del 60-70% di SOC mentre la carica rimanente viene effettuata a tensione costante e con una caduta esponenziale della corrente.

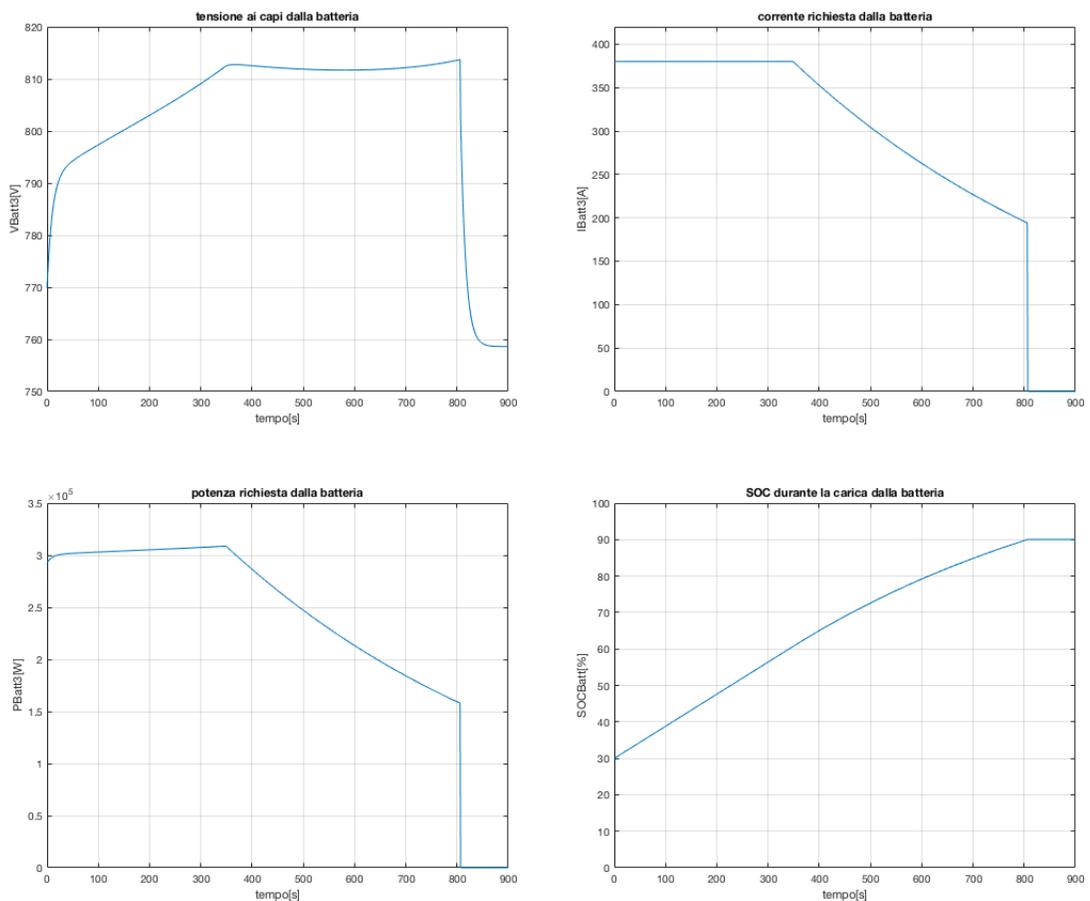


Figura 40: Grafici batteria Porsche-E con SOCin=30

5. Stazione Ultra Fast Charge (UFCS)

Si sono prese in considerazione 4 tipologie di ricarica per ogni veicolo in base al SOC iniziale. Per ognuna di queste si è trovata la funzione di corrente adatta per permettere una ricarica di questo tipo, considerando la potenza massima dei convertitori delle colonnine e garantendo una potenza media durante il tempo di ricarica che si avvicini a quella prima considerata (40kW-115kW-250kW). Nella Figura 40 vediamo gli andamenti delle grandezze elettriche durante la ricarica della Batteria da 90kWh della Porsche-E: tensione, corrente, potenza richiesta e andamento del SOC partendo da un SOC iniziale di 30, fino ad arrivare a 90. Vediamo che la corrente è costante a 380 A nei primi 350s di carica e poi decresce esponenzialmente. La carica della batteria impiega 811 secondi ovvero circa 13.5 minuti. La potenza massima raggiunta si ha a 350s ed è di 308.74kW, rispettando quindi il massimo ammissibile dal convertitore di 320kW. Infine la Potenza media durante il processo di carica è di 257.8 kW.

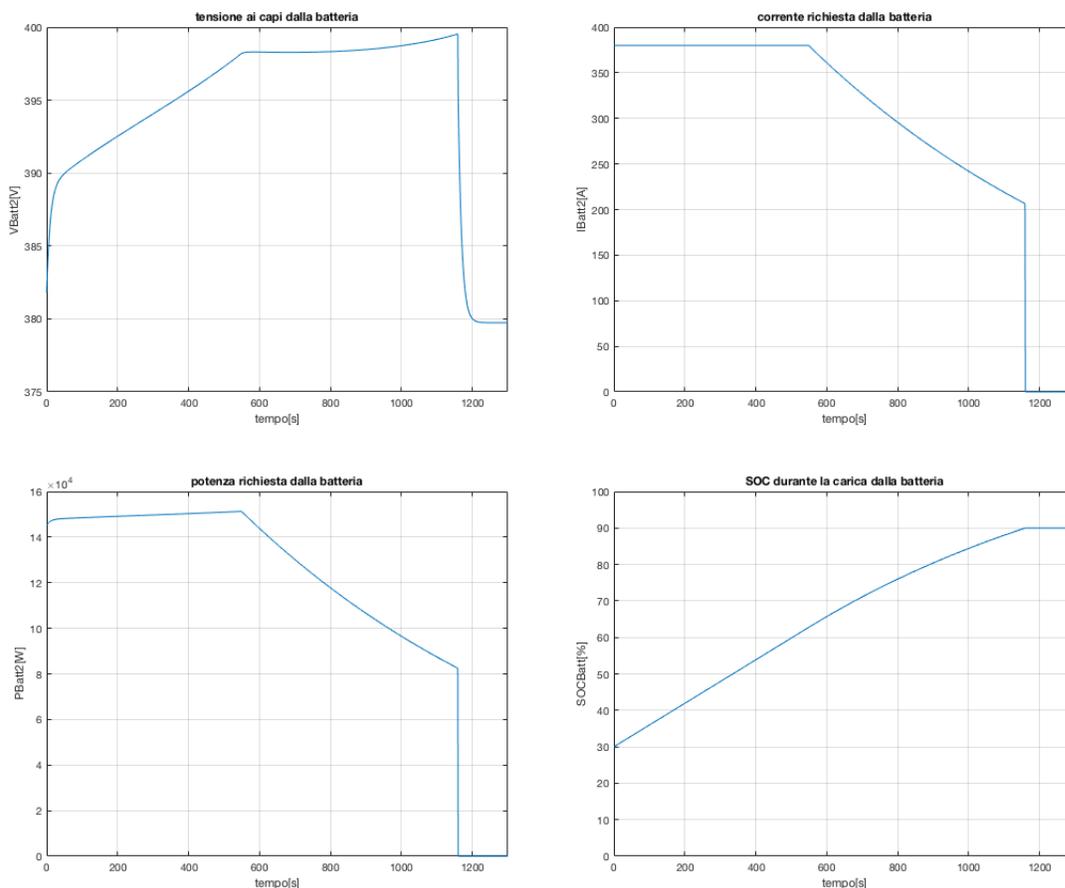


Figura 41: Grafici batteria Audi e-tron con $\text{SOC}_{\text{in}}=30$

La Figura 41 si riferisce alla ricarica della batteria da 60kWh dell'Audi e-tron. Anche in questo caso il SOC di partenza è 30. Vediamo che la corrente è costante a 380 A per i

Modello per la gestione di una stazione di ricarica EV supportata da un sistema di accumulo energetico

primi 550 secondi di carica, per poi decrescere esponenzialmente. A 550 secondi abbiamo il picco di potenza che si attesta sui 151.31kW, rimanendo quindi minore dei 160kW del convertitore. Per caricare questa macchina dal 30 al 90% di SOC si impiegano quindi 1179 secondi (19.67 minuti) e la potenza media richiesta è di 128.3kW.

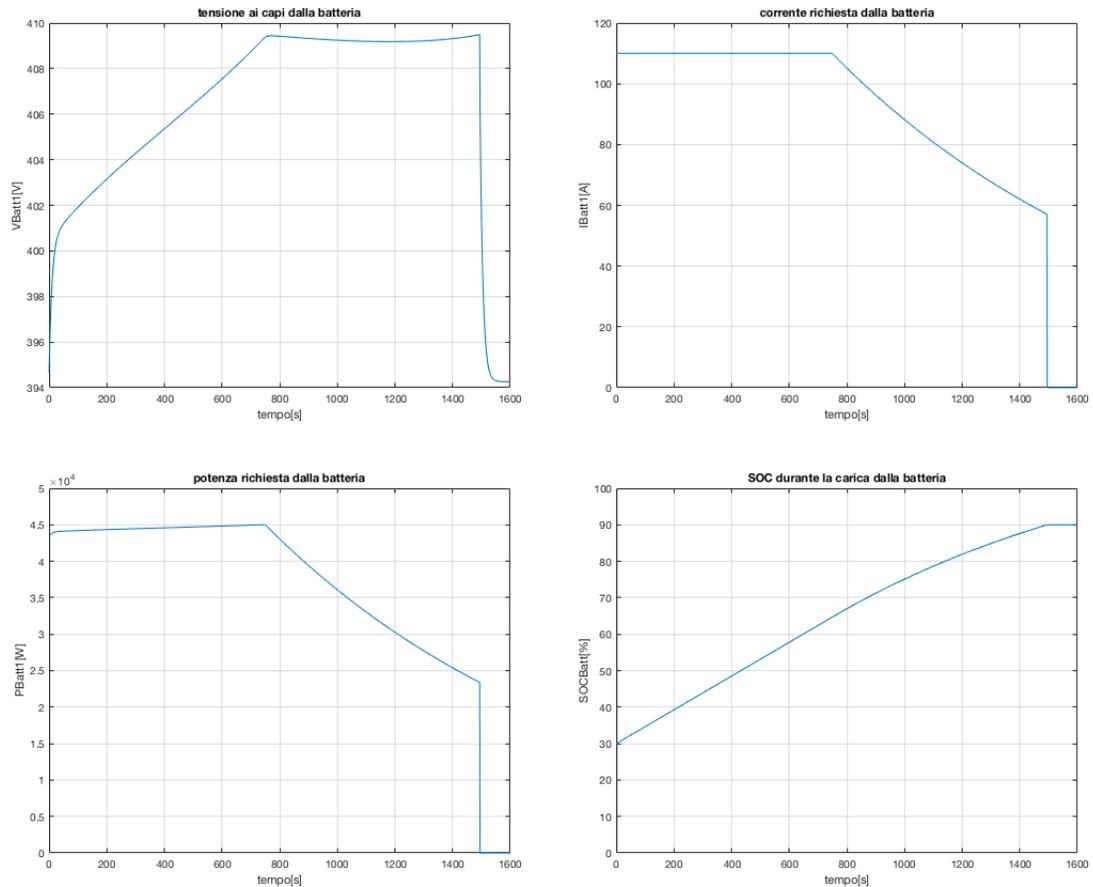


Figura 42: Grafici batteria Nissan Leaf con SOC_{in}=30

I grafici della Figura 42 si riferiscono alla batteria da 20kWh (veicolo tipo Nissan Leaf). La corrente in questo caso è costante a 110 A per 750 secondi e poi decade esponenzialmente con una funzione simile a quella dei casi precedenti. La potenza massima richiesta dalla batteria è 45.03kW e quindi rimane anche questa al di sotto dei 50kW massimi erogabili dal convertitore. La carica del SOC della batteria da 30 a 90 % richiede 1495 secondi (circa 25 minuti) con una potenza media di 38.8kW.

5. Stazione Ultra Fast Charge (UFCS)

Nella Figura 43 seguente vengono mostrati i dati principali di tutte le tipologie di ricarica, quindi anche quelle che partono dal 20, dal 40 e dal 50% di SOC. Le ricariche sono tutte predisposte in modo da fermarsi al 90% di SOC.

Batteria	SOC iniziale	T carica [s]	P media [kW]	P max [kW]	I max [A]
90kWh	20	954	254.2	307.59	380
	30	811	257.8	308.74	380
	40	704	247.85	292.71	360
	50	616	226.6	259.85	320
60kWh	20	1342	131.12	159.05	400
	30	1179	128.3	151.31	380
	40	1009	125.2	143.63	360
	50	826	122.7	136.04	340
20kWh	20	1625	41.6	49.15	120
	30	1495	38.8	45.03	110
	40	1344	36.0	40.93	100
	50	1015	38.3	41.21	100

Figura 43: Ricariche considerate

Come prima valutazione del traffico si è ipotizzato che tutti i veicoli effettuano una ricarica fino al 90%, indipendentemente dal valore di SOC con cui si presentano in stazione.

5.5. Simulazioni giornaliere con distribuzione randomizzata

Nelle seguenti simulazioni si è cercato di riprodurre dei flussi casuali di veicoli alle colonnine, tenendo presente le diverse probabilità di arrivo di un veicolo. Quindi è più probabile che si presenti un veicolo in una delle tre colonnine di ricarica a 50kW piuttosto che dei veicoli tipo Audi e Porsche, essendo questi veicoli di nicchia, non presenti in egual misura nel parco macchine italiano ed Europeo. Ogni veicolo che arriva nella stazione di ricarica è scelto random fra ulteriori 4 possibilità, ovvero può arrivare con uno state of charge (SOC) della batteria di 20, 30, 40 o 50% per caricarsi fino al 90%. Le eventuali altre tipologie di ricarica, come ad esempio una ricarica breve che carica il SOC dal 40 al 70 o dal 20 al 50 (quindi con Δ SOC di 30% o inferiore) verranno valutate più avanti. In ogni colonnina si è considerato un intervallo di arrivo tra un veicolo e l'altro di 1800 secondi (mezzora) garantendo così la ricarica di ogni tipologia di veicolo, comprese le ricariche più lunghe. Le simulazioni che verranno mostrate rappresentano una giornata di esercizio della stazione di ricarica.

Guardiamo quindi il flusso che si crea in ogni colonnina e di conseguenza la potenza richiesta da ognuna di queste.

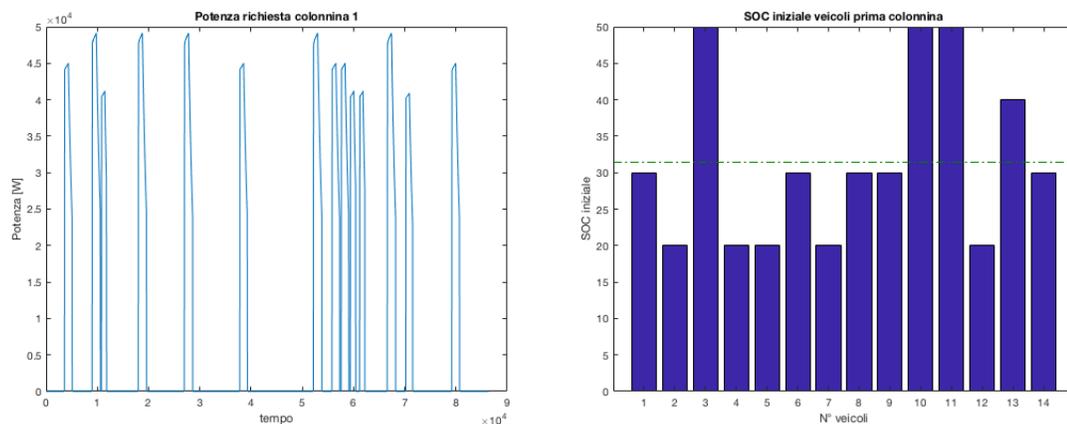


Figura 44: Veicoli colonnina 1

La Figura 44 rappresenta la potenza richiesta dalla colonnina 1 durante l'arco di una giornata, quindi anche il numero di veicoli che usufruiscono dell'infrastruttura di ricarica 1. La figura a destra ci indica il livello di SOC con cui arrivano i veicoli, il valore medio è rappresentato dalla linea tratto punto di colore verde. In questo caso la potenza media richiesta è di 9.179 KW mentre il SOC medio di arrivo è di 31.43%. I veicoli che utilizzano la colonnina 1 per ricaricarsi sono 14.

5. Stazione Ultra Fast Charge (UFCS)

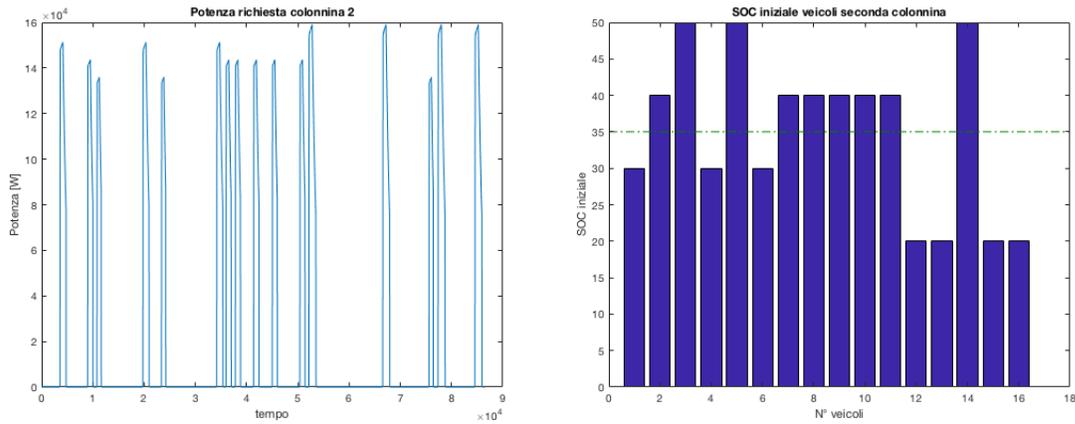


Figura 45: Veicoli colonnina 2

Nella Figura 45 possiamo distinguere il grafico a sinistra, che rappresenta la potenza richiesta dalla colonnina con l'arrivo dei rispettivi veicoli. La potenza media richiesta dalla colonnina 2 è di 25.69 kW. A destra vediamo la percentuali di SOC con cui arrivano i veicoli, la media in questa colonnina è di 35%. I veicoli che usufruiscono di questa colonnina sono 16.

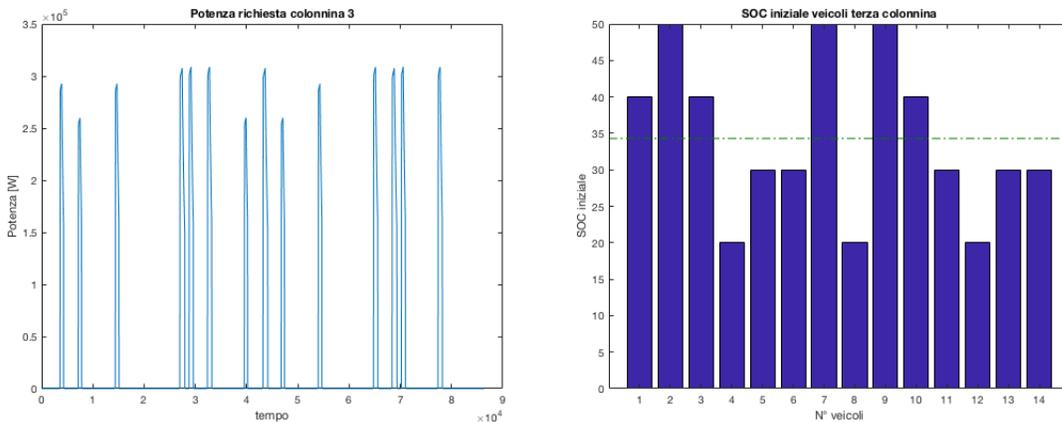


Figura 46: Veicoli colonnina 3

La Figura 46 mostra i dati relativi alla colonnina 3, quella che permette la ricarica dei veicoli a 320 kW. La potenza media richiesta nell'arco di una giornata è di 31.43 kW, mentre il SOC medio di arrivo è di 34.28%. Alla colonnina 3 vengono effettuate 14 ricariche in 24 ore.

Modello per la gestione di una stazione di ricarica EV supportata da un sistema di accumulo energetico

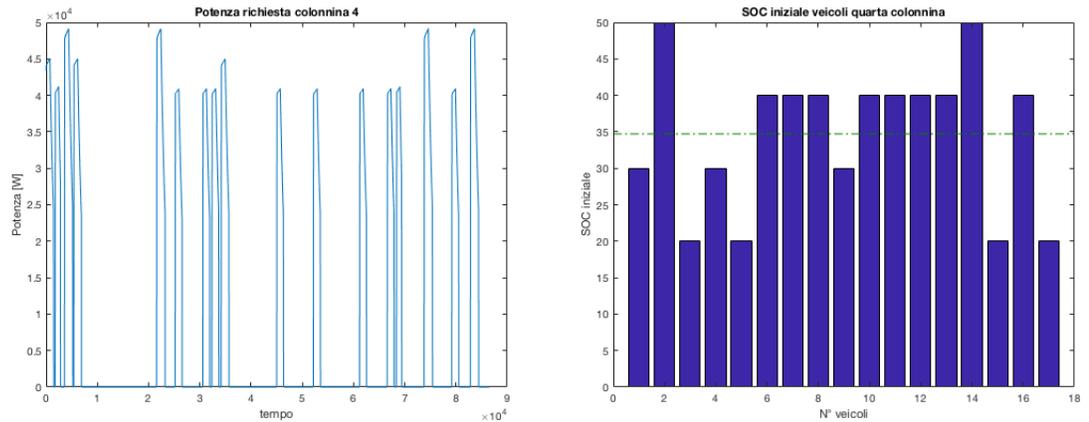


Figura 47: Veicoli colonnina 4

I dati riguardanti la colonnina 4 si possono vedere nella Figura 47 . La potenza media richiesta alla colonnina durante la giornata è di 10.53 kW, mentre il SOC medio di arrivo dei veicoli è di 34.7%. Il veicoli riforniti sono 17.

Nei Figura 48 si possono invece valutare i dati riguardanti la colonnina 5. La potenza media richiesta in 24 ore è di 10.30 kW e il SOC di arrivo è in media 35.88%. Il numero di veicoli che effettua la ricarica è 17.

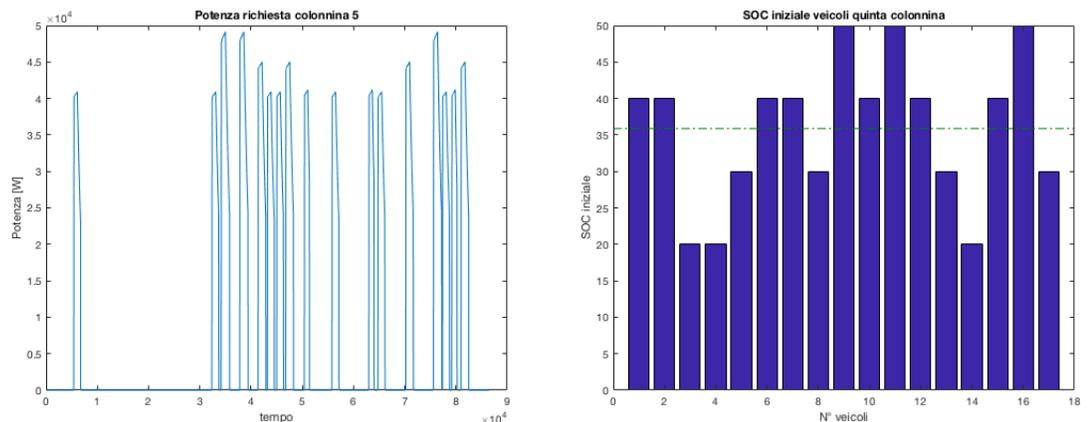


Figura 48: Veicoli colonnina 5

Abbiamo visto il flusso che si crea nelle varie colonnine effettuando delle simulazioni random, ora valutiamo la potenza che istantaneamente viene richiesta alla stazione per adempiere alle ricariche richieste. La potenza totale richiesta dal flusso di veicoli realizzato in modo random e descritto precedentemente è quindi la somma delle potenze richieste alle singole colonnine. Come già detto si assume che il numero massimo di colonnine contemporaneamente in funzione sia 4. Il flusso quindi rispetta

questo vincolo, presentando però due casi peggiori in cui tutte le colonnine meno una sono in funzione. Possiamo vedere nel seguente grafico la potenza totale richiesta.

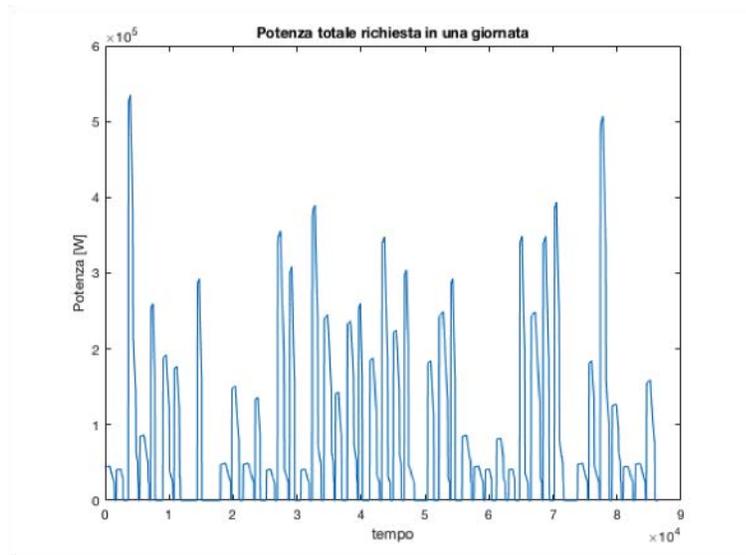


Figura 49: Potenza totale richiesta

Dalla Figura 49 vediamo come questa superi i 500kW (538kW il picco massimo) nei momenti in cui si ha il carico maggiore, ovvero la presenza simultanea di 4 veicoli, di cui ovviamente anche i due che si allacciano alle colonnine da 160kW e da 320kW. Questi sono ovviamente dei periodi critici e per fare in modo che la stazione non venga interdetta dovranno essere seguiti da intervalli con carichi più leggeri o comunque carichi che permettano in parte la ricarica dell'accumulatore. Il carico considerato in questa simulazione richiede una potenza media di 87.123 kW nell'arco di una giornata. Questo è certamente inferiore ai 120kW che riusciamo ad avere al bus DC, però data l'oscillazione di carico che raggiunge picchi elevati, l'accumulatore arriva comunque ad una percentuale che avvicina la soglia del 10-15%. Nonostante questo tutti i veicoli sono stati caricati correttamente e a fine giornata l'accumulatore è tornato ad avere uno state of charge del 95%.

Nella Figura 50 possiamo vedere come varia lo stato di carica dell'accumulatore durante la giornata di funzionamento con il carico sopracitato. La rete, è sempre utilizzata al massimo del suo potenziale, ovvero ricarica l'accumulatore fino al 95% e lo aiuta nel processo di ricarica dei veicoli una volta che questo scende sotto il 90% di SOC.

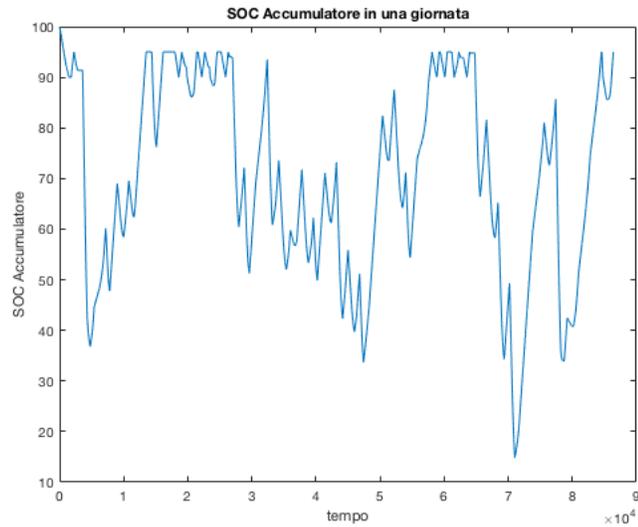


Figura 50: SOC con traffico random

Il traffico valutato però, come possiamo facilmente intuire, non va a rappresentare realmente quello che potrebbe presentarsi in una stazione di ricarica. Nel prossimo capitolo analizzeremo quindi un traffico che rispecchi il più possibile quello che possiamo aspettarci in stazione.

5.5.1. Traffico reale

Dopo aver valutato un traffico random su una giornata di funzionamento, ora si vuole creare un traffico il più possibile veritiero, valutando quindi gli orari di punta di un distributore di carburante e riportarli nell'infrastruttura di ricarica elettrica.

Riporto i dati del documento ufficiale in data 2019 riguardante i distributori di carburante che non sono ubicati lungo l'autostrada. I distributori devono rimanere aperti dal lunedì al venerdì tra le 6.00 e le 21.00 e il sabato fino alle 12.30, garantendo un servizio minimo di 48 ore settimanali ed un massimo di 60. Le fasce orarie che devono essere assolutamente coperte sono:

- Al mattino: 8.00 – 12.00;
- Nel pomeriggio: 15.00 – 18.00;

Spetta poi all' esercente della stazione anticipare l'apertura o posticipare la chiusura dell'impianto rispettando il monte ore minimo e massimo. Gli impianti dotati di apparecchiatura self-service o pre-payment devono ovviamente funzionare

ininterrottamente. Come possiamo facilmente intuire, le ore che devono essere garantite sono quelle con una richiesta di carico maggiore.

Se proviamo a rapportare i motori a combustione con quelli elettrici, vediamo però delle differenze sostanziali riguardo la ricarica. Una buona percentuale dei proprietari di una macchina elettrica dovrebbe possedere una colonnina di ricarica lenta a 3kW AC in casa, quindi ci si aspetta una minore affluenza di questi veicoli nelle prime ore del mattino (si ipotizza infatti che il veicolo venga ricaricato nelle ore notturne). Va comunque detto che non è sempre possibile predisporre per l'installazione di una colonnina in casa, perché questo comporta un cambio del contratto di rifornimento, passando quindi da 3kW a 6kW. Inoltre va specificato che al giorno d'oggi in Italia i veicoli elettrici non godono di un gran mercato, quindi per il progetto di una stazione di ricarica elettrica bisogna pensare in ottica futura, dove si spera che con politiche incentivanti e ricariche più veloci il mercato della mobilità elettrica prenda piede, garantendo quindi al proprietario di un veicolo di poter caricare la macchina senza doversi preoccupare dell'autonomia, delle tempistiche e della presenza di infrastrutture di ricarica. In Figura 51 possiamo vedere le principali preoccupazioni che non motivano i consumatori all'acquisto di un veicolo elettrico. Oltre al prezzo notiamo che una forte preoccupazione è l'inadeguatezza dei sistemi di ricarica pubblica.

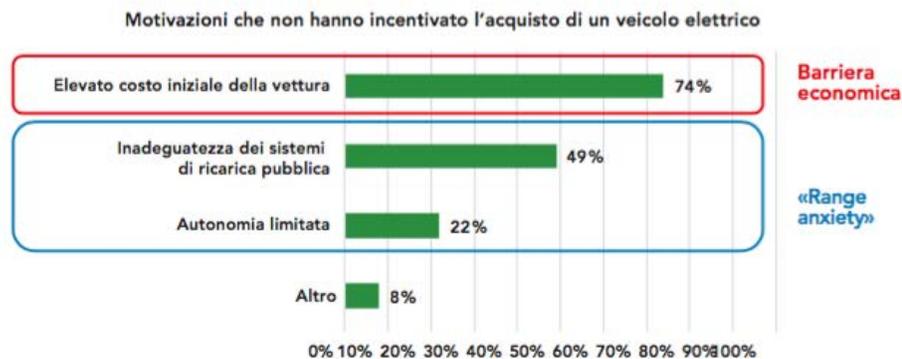


Figura 51: Motivazioni che preoccupano i consumatori

Si ipotizza quindi di poter assimilare il flusso di veicoli di una stazione di ricarica elettrica a quello di un distributore di carburante convenzionale. Gli orari di punta saranno quindi durante le fasce precedentemente elencate con la probabilità di carichi maggiori dalle 7.00 alle 9.00 del mattino e dalle 5.00 alle 7.00 del pomeriggio. Si definiranno quindi dei flussi a basso, medio e alto carico, ognuno con picchi nelle ore di punta e con la possibilità di ricarica dell'accumulatore nelle ore di minor affluenza.

5.5.2. Carico basso

Il primo caso esaminato è quello a carico basso, dove la potenza media richiesta durante una giornata è 64.9 kW. La potenza è chiaramente più bassa rispetto all'esempio precedente e ci saranno periodi in cui i veicoli presenti in stazione saranno pochi o nulli. Come possiamo vedere dalla Figura 52 le ore che presentano il maggior numero di veicoli in carica sono:

- La mattina dalle 7 fino alle 10 circa
- Il pomeriggio dalle 17 fino alle 19
- Vediamo picchi elevati anche alle 11e30, alle 20 e alle 21e30 (questo perché il traffico è sempre generato a Random)

Il traffico è comunque simulato utilizzando delle funzioni tipo random, ma con probabilità modulate secondo i profili di carico prima citati.

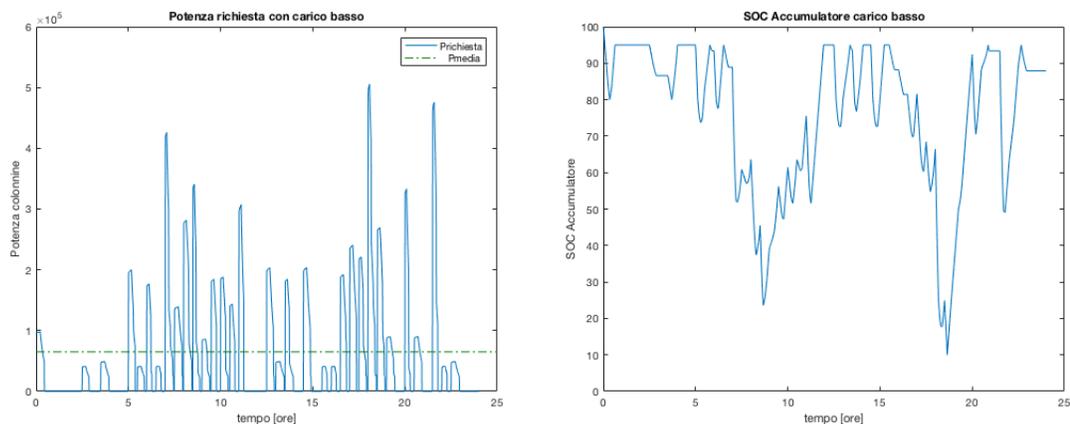


Figura 52: Potenza richiesta e SOC con carico basso

Come è mostrato in Figura 52 , vediamo che il SOC decresce di percentuali consistenti nei due momenti della giornata in cui la stazione è maggiormente impegnata. Verso le 18:40 vediamo che l'accumulatore raggiunge il 10% del SOC. In questo caso la stazione viene quindi interdetta fino alle 19:15 (tempo che serve alla stazione per essere caricata dalla rete fino al raggiungimento del 50% di SOC). I veicoli che si presentano in questi 35 minuti non potranno essere quindi ricaricati.

Un carico di questo tipo con fasce orarie in cui si necessita di una maggiore potenza crea già dei primi problemi, perché, nonostante l'accumulatore dopo 24 ore di funzionamento ritorni ad una percentuale di carica di poco inferiore al 90%, la stazione è stata interdetta in orario di punta, cosa che chiaramente non vogliamo succeda.

5. Stazione Ultra Fast Charge (UFCS)

Nella prossima simulazione quindi, verrà valutato un carico medio-alto considerando sempre le fasce orarie come precedentemente visto. In questo caso però vedremo la possibilità di utilizzare un accumulatore con capacità maggiore (240kWh), ovvero con un'altra serie di 12 moduli in parallelo per garantire una rated capacity di 390 Ah. Verranno quindi confrontati i risultati ottenuti con i due diversi accumulatori per dare un'idea generale di quello che verrà poi esaminato nell'ultimo capitolo.

5.5.3. Carico medio-alto

Uno scenario di questo tipo presenta un flusso di veicoli come quello presentato nella Tabella 12.

Colonnina	N° veicoli	SOCmean	Pmean24h [kW]
1	18	33.33	11.42
2	17	34.70	27.44
3	13	39.23	26.65
4	19	35.26	11.65
5	16	36.25	9.63

Tabella 12: Veicoli con Scenario medio-alto

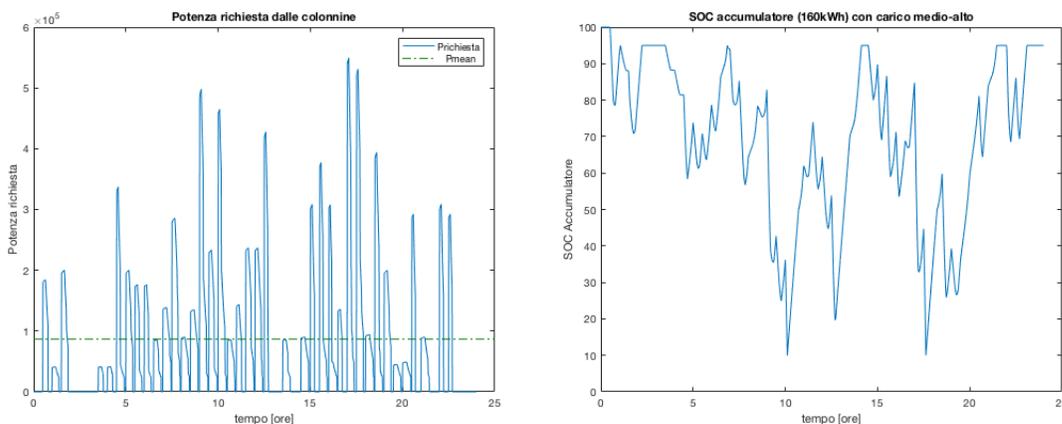


Figura 53: Potenza richiesta e SOC con carico medio-alto

La potenza media totale richiesta è di 86.78 kW quindi decisamente maggiore rispetto al caso con basso carico. Dato che il traffico è cadenzato con un'affluenza maggiore durante le ore di punta e presenta un potenza media richiesta maggiore rispetto al carico a bassa affluenza, non possiamo certamente aspettarci che venga sostenuto dalla stazione di ricarica. Infatti questa simulazione viene fatta per valutare le

differenze che si possono presentare utilizzando i due accumulatori già citati. Nella Figura 53 vediamo rispettivamente la potenza richiesta dalle colonnine durante l'arco dell'intera giornata e la variazione del SOC dell'accumulatore. Valutando la stessa affluenza ma con l'accumulatore da 240kWh otteniamo l'andamento di SOC che possiamo vedere nella Figura 54.

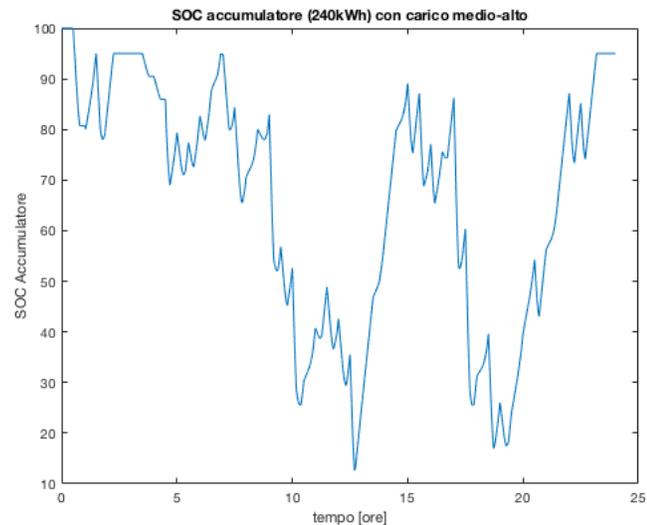


Figura 54: SOC con carico medio-alto e Accumulatore 240kWh

Vediamo come il carico stabilito provoca delle scariche molto profonde anche all'accumulatore da 240 kWh, raggiungendo un valore di carica 12.6%, che si avvicina molto alla soglia minima di 10. La stazione però in questo caso non viene interdetta e tutti i veicoli sono regolarmente caricati. Inoltre dopo 24 ore di funzionamento l'accumulatore torna al 95% di carica. Valutiamo quindi velocemente le differenze che potrebbero indirizzare la scelta di uno rispetto che l'altro, consideriamo quindi una possibile durata nel tempo dei due tipi di accumulatori.

Come si può vedere dai Data sheet, le batterie al Litio hanno una durata garantita per un numero di cicli che al giorno d'oggi si aggira intorno ai 3000 cicli. Con un ciclo si intende un ciclo di carica e uno di scarica ed il numero totale sono i cicli che può effettuare una batteria sotto specifiche condizioni, fino ad arrivare ad un DOD dell'80%. La definizione di DOD è la seguente:

DOD (Depth of Discharge) è la carica erogata durante una scarica parziale partendo dalla piena carica, espresso in % alle condizioni di carica totale.

5. Stazione Ultra Fast Charge (UFCS)

$$DOD(t) = \frac{SOD(t)}{c} * 100 = \frac{c-SOC(t)}{c} * 100$$

Consideriamo gli andamenti dei SOC delle due tipologie di accumulatori durante la giornata ed andiamo a valutare nel computo totale quanta percentuale di SOC è stata caricata e scaricata durante le cariche parziali.

L'accumulatore da 160 kWh, sommando tutte le scariche parziali a cui è stato sottoposto, ha erogato una carica pari al 601.5% della capacità nominale. Dividendo per la carica corrispondente ad un ciclo di scarica (80% SOC) si ottengono un numero di cicli $= \frac{601.5\%}{80\%} = 7.52 \frac{\text{cicli}}{\text{giorno}}$.

L'accumulatore da 240 kWh, considerando la somma di tutte le scariche parziali, ha subito una scarica totale del 418.5% di SOC circa. Con lo stesso ragionamento fatto per l'altro accumulatore otteniamo un numero di cicli $= \frac{418.5\%}{80\%} = 5.23 \frac{\text{cicli}}{\text{giorno}}$.

Ovviamente, non ci si aspetta che tutti i giorni si verifichi un profilo di carico di questo tipo. Però se ipotizziamo un anno di funzionamento con questo regime, vediamo come il primo accumulatore compie 2744.8 cicli, molto vicini ai 3000 di vita utile. Il secondo invece arriva a compiere 1909 cicli, quindi permetterebbe un funzionamento di questo tipo per più di un anno e mezzo. Per fare una valutazione economica dobbiamo considerare che l'accumulatore da 240 kWh avrà grosso modo un costo maggiorato di un terzo rispetto a quello da 160 kWh. Considerando come prezzo medio $2000 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$:

Accumulatore 160 kWh ha un prezzo di 320.000€

Accumulatore 240 kWh ha un prezzo di 480.000€

A parte le considerazioni sui costi, però, bisogna notare come il secondo accumulatore permetta la ricarica di un flusso consistente di veicoli durante la singola giornata, senza dover interdire il funzionamento della stazione di ricarica. Inoltre ha un ciclo di vita notevolmente più lungo.

I calcoli effettuati sono ovviamente puramente indicativi e non pretendono di fornire una valutazione rigorosa, però forniscono utili indicazioni per affrontare gli aspetti di cui si tratterà nel prossimo capitolo riguardo l'invecchiamento e la conseguente perdita di capacità delle batterie nel corso degli anni.

Modello per la gestione di una stazione di ricarica EV supportata da un sistema di accumulo energetico

Ricordiamo che le simulazioni svolte fino ad ora considerano solamente ricariche veloci con potenze che quindi si aggirano in media intorno ai 250kW-120kW-40kW. Inoltre, sono sempre state considerate ricariche complete fino al 90%. Non sono state considerate le possibilità di poter caricare il veicolo più lentamente oppure ad un SOC inferiore. Queste possibilità saranno analizzate nel prossimo capitolo, dove verranno valutate le possibili gestioni per permettere all'accumulatore di non scaricarsi del tutto o comunque di essere sottoposto a scariche meno profonde.

6. Gestione del traffico in stazione

Alla luce delle precedenti simulazioni, si evince che mantenere nelle varie colonnine (in particolare le due più energivore) una ricarica al massimo delle possibilità della stazione, durante tutto il periodo di funzionamento, è controproducente. Rischia infatti di compromettere l'operatività di questa nei momenti di maggior carico (ore di punta). Per ovviare a questo problema si è deciso di ricaricare più lentamente i veicoli al di fuori delle ore di punta, garantendo comunque la completa ricarica, ma in un lasso di tempo maggiore. Inoltre si è valutata la possibilità per i veicoli di poter ricaricare la batteria anche fino ad un SOC minore del 90%, implementando quindi ricariche che dal 20, 30, 40 e 50 % di SOC arrivano, non solo fino al 90%, ma anche al 70% e 80%. Questo permette al proprietario di fermarsi in stazione per un minor tempo, effettuando una ricarica che comunque permetterà di percorrere un buon range chilometrico. Con queste modifiche quindi, il proprietario di un veicolo elettrico che vuole effettuare una ricarica nella stazione avrà la possibilità di ricaricare sia velocemente che lentamente il proprio veicolo. Inoltre, in base al SOC con cui si presenta in stazione potrà decidere che tipo di ricarica effettuare, ovvero se caricare fino al 90% (massimo consentito), 80% o 70%.

Nelle prossime simulazioni verranno quindi valutate le seguenti possibilità:

- Valutando un flusso elevato alle colonnine vengono considerati il grado di operatività, la potenza e l'energia richiesta da esse durante l'esercizio in una giornata. Le ricariche sono scelte random fra quelle possibili e tutte al massimo delle potenzialità.
- Lo stesso traffico viene poi valutato effettuando una ricarica più lenta per i veicoli tipo Audi e Porsche. Richiederanno così una potenza di carica decisamente inferiore.
- Utilizzando sempre gli stessi arrivi alle colonnine viene utilizzata una ricarica più lenta nei periodi non di punta (per i veicoli che si allacciano alle colonnine a potenze più elevate), quindi a parità di Δ SOC la ricarica sarà più lunga ma allo stesso tempo meno costosa.
- Infine verrà inserita la possibilità, a discrezione del conducente, di ricaricare più lentamente le macchine tipo Porsche ed Audi in qualsiasi orario.

Queste simulazione vengono effettuate per valutare come varia lo stato di carica dell'accumulatore al variare della potenza media richiesta da ogni colonnina e del loro

grado di operatività. Si cerca quindi, partendo da un flusso ad alto carico, di regolare la potenza richiesta rallentando le ricariche, così da poter permettere una maggiore affluenza in stazione. Si vuole quindi cercare di eliminare le criticità che si potrebbero presentare in stazione, incentivando la ricarica più lenta e quindi la scarica meno profonda dell'accumulatore.

6.1.Scenario ad alto traffico con cariche ad elevata potenza

Il traffico preso in considerazione in questa valutazione è quello rappresentato nella Tabella 13, dove vengono riportati i SOC iniziali e i SOC finali dei vari veicoli che si presentano in stazione. I veicoli che si presentano nella colonnina a potenza 160 kW sono rappresentati con il pedice 2, quelli che arrivano nella colonnina a potenza 320 kW con il pedice 3, infine i veicoli a potenza inferiore che si ricaricano nelle colonnine da 50 kW sono seguiti dai pedici 1, 4 e 5. Vediamo quindi come in questo caso ad alto traffico i veicoli alla colonnina 1 sono 19, come quelli della colonnina 2. La colonnina 3, che permette le ricariche a potenza maggiore, serve 16 veicoli, 18 la colonnina 4 e 16 la colonnina 5. Questo traffico è controllato in modo da avere al massimo 4 veicoli in carica se la colonnina 3 è libera. Quando invece è presente il veicolo tipo Porsche solo altre due colonnine possono essere utilizzate. La motivazione principale di questa scelta è il fatto che, come abbiamo visto nel capito precedente, la presenza contemporanea di 4 veicoli fra cui i due più energivori, porta l'accumulatore a scariche che possono arrivare fino a velocità dell'ordine di 2.5-3C. Evitando questa eventualità i casi di profondità di scarica elevate vengono ridotti.

SOC1	SOCfine1	SOC2	SOCfine2	SOC3	SOCfine3	SOC4	SOCfine4	SOC5	SOCfine5
30	90	30	90	30	70	30	80	40	70
40	90	30	70	40	90	40	80	40	70
30	70	20	90	20	70	30	70	40	80
20	90	30	80	30	80	20	70	30	70
20	80	40	70	20	70	30	80	30	70
40	70	30	90	20	80	50	90	50	80
40	80	40	70	30	90	30	70	50	70
20	90	20	70	30	90	50	90	50	90
20	70	20	80	20	80	40	90	40	80
20	80	40	90	20	80	20	90	30	90
20	80	40	70	50	90	30	70	20	70
20	70	40	70	30	80	20	90	50	90
50	70	20	70	30	70	20	70	40	80

Modello per la gestione di una stazione di ricarica EV supportata da un sistema di accumulo energetico

SOC1	SOCfine1	SOC2	SOCfine2	SOC3	SOCfine3	SOC4	SOCfine4	SOC5	SOCfine5
40	90	20	70	40	90	40	90	30	80
30	90	20	70	20	80	40	90	50	70
50	80	30	70	20	80	20	90	50	90
40	70	30	90			40	90		
50	70	40	80			20	90		
30	90	20	70						

Tabella 13: SOC inizio e fine dei veicoli in stazione

Per ogni colonnina analizziamo i parametri più importanti, come il grado di operatività, la potenza in media impiegata dalle ricariche e l'energia oraria richiesta. La potenza media ponderata è calcolata nel seguente modo:

$$P_{media} = \frac{\sum_{i=1}^N (PEV1_i * tcarica_i)}{\sum_{i=1}^N tcarica_i}$$

L'energia richiesta: $E_{richiesta} = \frac{Pm * Grado_di_operatività}{3600 * 24}$

tempocarica_col1 [s]	PEV1mean [W]
1496	38769,99924
1177	41283,80154
906	42496,53975
1626	41578,15457
1440	40032,36766
666	43538,71648
917	42252,47954
1626	41578,15457
1156	41464,56205
1440	40032,36766
1440	40032,36766
1156	41464,56205
483	40002,60939
1177	41283,80154
1496	38769,99924
670	43574,85803
666	43538,71648
483	40002,60939
1496	38769,99924
Grado di operatività1 [s]=	21517
Potenza media ponderata1 [W]=	40817,88885
Energia richiesta1 [Wh]=	10165,26058

Nella Tabella 14 possiamo quindi vedere i tempi delle varie ricariche sostenute nella colonnina 1 e la potenza media richiesta dai veicoli. Con questi dati ricaviamo inoltre i parametri di nostro interesse, visibili sempre nella stessa tabella a destra. Vediamo quindi come il tempo di utilizzo (grado di operatività) della prima colonnina sia molto elevato, infatti l'ammontare di tutte le ricariche effettuate in una giornata di lavoro è di 21517 secondi = 5.97 [h], circa 6 ore. Il ΔSOC in questa colonnina è di 47.89%.

Tabella 14: Dati e parametri colonnina 1

tempocarica_col2 [s]	PEV2mean [W]
1161	130372,7682
793	126044,7101
1326	132795,7438
968	129652,511
615	122100,6307
1161	130372,7682
615	122100,6307
960	129862,8321
1129	133071,5664
1003	126054,971
615	122100,6307
615	122100,6307
960	129862,8321
960	129862,8321
960	129862,8321
793	126044,7101
1161	130372,7682
798	126162,962
960	129862,8321
Grado di operatività2 [s]=	17553
Potenza media ponderata2 [W]=	128561,7371
Energia richiesta2 [Wh]=	26118,56681

Nella Tabella 15 possiamo vedere i dati riferiti alla seconda colonnina, quella che permette la ricarica dei veicoli tipologia Audi a 160kW. L'operatività in questo caso è di 4.87 ore quindi circa 4 ore e 52'. A parità di veicoli ricaricati questa colonnina ha un grado di operatività inferiore a quello della colonnina 1, dato che le ricariche effettuate sono più veloci e con potenze sostenute. Il Δ SOC totale invece è di 47.37%.

Tabella 15: Dati e parametri colonnina 2

Nella Tabella 16 possiamo vedere i dati relativi alla colonnina adibita alla ricarica dei veicoli tipo Porsche con potenze fino a 320kW. In questo caso il grado di operatività è ovviamente quello più basso fra le varie colonnine, perché le macchine si ricaricano più velocemente ed a potenze molto maggiori rispetto a tutte le altre. Corrisponde a 3 ore e 8'. Il Δ SOC è di 52.5%. Con questa tipologia di veicolo non è possibile effettuare ricariche inferiori al 40%, perché, dato il tempo di attesa veramente basso, si preferisce caricare maggiormente la vettura.

tempocarica_col3 [s]	PEV3mean [W]
583	235461,3833
702	248613,4503
661	259878,3952
674	256899,5926
661	259878,3952
772	268507,4072
808	258877,9959
808	258877,9959
772	268507,4072
772	268507,4072
615	227017,3565
674	256899,5926
583	235461,3833
702	248613,4503
772	268507,4072
772	268507,4072
Grado di operatività3 [s]=	11331
Potenza media ponderata3 [W]=	256628,9166
Energia richiesta3 [Wh]=	33655,81312

Tabella 16: Dati e parametri colonnina 3

I dati e i parametri più importanti a cui fare riferimento sono quelli relativi alle colonnine 2 e 3, quindi quelle che permettono ricariche a potenze maggiori. Queste infatti, come possiamo vedere dai relativi parametri, rispettivamente nelle Tabella 15 e Tabella 16 hanno dei gradi di operatività minori rispetto alle altre colonnine ed una potenza media ponderata molto maggiore. Anche l'energia richiesta è molto maggiore rispetto alle normali colonnine fast charge da 50kW, perché nonostante le ricariche più veloci richiedono comunque potenze nettamente superiori.

Nella Tabella 17 vediamo a sinistra i dati ed i parametri riferiti alla colonnina 4, che come la 1 è utilizzata da veicoli esclusivamente tipo Nissan Leaf. Anche questa colonnina infatti, come la 1, ha un grado di operatività di circa 6 ore. Stessa operatività della colonnina 1 ma con un veicolo in meno, infatti la potenza media ponderata richiesta dalle cariche è maggiore. Le ricariche effettuate saranno quindi in media con un Δ SOC maggiore, infatti la ricarica media effettuata è del 51.11%. Possiamo notare questa differenza anche andando a guardare la totale energia richiesta, nella colonnina 4 è leggermente maggiore, quindi è un ulteriore dato che conferma la ricarica più lunga in media per il singolo veicolo. Le tempistiche infatti dicono 1132.5 secondi di ricarica in media per la colonnina 1, contro i 1066.65 secondi per i veicoli che si fermano nella colonnina 4. Sempre nella Tabella 17 ma nelle due colonne a destra, si possono vedere i dati ed i parametri relativi alla colonnina 5. Il grado di operatività di questa colonnina è inferiore rispetto alla 1 e alla 4 per il semplice fatto che è sottoposta ad un'affluenza minore. In questo caso sono circa 4 ore di operatività. Inoltre le ricariche effettuate hanno un Δ SOC di 38.13%, decisamente inferiore alle altre colonnine.

6. Gestione del traffico in stazione

tempocarica_col4 [s]	PEV4mean [W]	tempocarica_col5 [s]	PEV5mean [W]
1171	41199,10854	666	43538,71648
917	42252,47954	666	43538,71648
906	42496,53975	917	42252,47954
1156	41464,56205	906	42496,53975
1171	41199,10854	906	42496,53975
916	42630,99229	670	43574,85803
906	42496,53975	483	40002,60939
916	42630,99229	916	42630,99229
1177	41283,80154	917	42252,47954
1626	41578,15457	1496	38769,99924
906	42496,53975	1156	41464,56205
1626	41578,15457	916	42630,99229
1156	41464,56205	917	42252,47954
1177	41283,80154	1171	41199,10854
1177	41283,80154	483	40002,60939
1626	41578,15457	916	42630,99229
1177	41283,80154	Grado di operatività5 [s]=	14102
1626	41578,15457	Potenza media ponderata5 [W]=	41866,30426
Grado di operatività4 [s]=	21333	Energia richiesta5 [Wh]=	6833,317392
Potenza media ponderata4 [W]=	41695,67952		
Energia richiesta4 [Wh]=	10295,06865		

Tabella 17: Dati e parametri colonnine 4 e 5

Abbiamo introdotto il traffico che è stato valutato in una giornata di funzionamento della stazione di ricarica vedendo i relativi gradi di operatività delle colonnine e di conseguenza la potenza media richiesta da una ricarica. Inoltre è stata calcolata l'energia richiesta da ogni colonnina nell'arco della giornata che è un parametro fondamentale per valutare le scariche che potrebbe dover effettuare l'accumulatore. Nella Figura 55 è riportato il grafico della potenza che viene richiesta dalle colonnine durante una giornata di funzionamento. Si possono vedere i picchi di potenza corrispondenti alle ore di maggior affluenza, ed i relativi rilassamenti di carico durante le ore notturne. Se confrontiamo la potenza richiesta con quella dei traffici nella Figura 52 e Figura 53 notiamo che in questo caso nei momenti in cui sono presenti il massimo numero di veicoli, abbiamo una richiesta di potenza minore (di poco inferiore a 500kW). Questo è dovuto al fatto che prima si dava la possibilità di caricare contemporaneamente 4 veicoli, compreso quello a 320kW. La potenza richiesta obbligava l'accumulatore ad una scarica a 3C e venivano impegnati 5 convertitori (2

Modello per la gestione di una stazione di ricarica EV supportata da un sistema di accumulo energetico

della colonnina a 320). Si è quindi scelto di utilizzare come carico massimo le seguenti configurazioni: Veicoli da 320+160+50 e veicoli da 160+50+50+50.

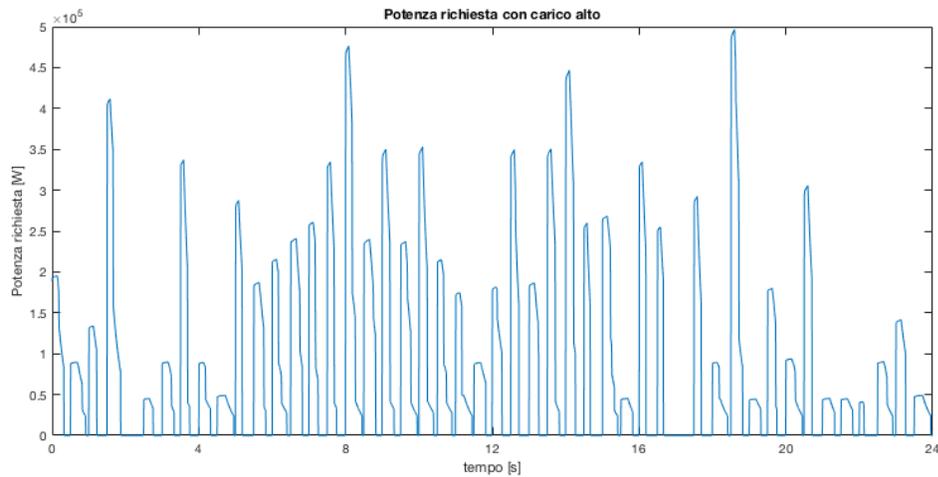


Figura 55: Potenza richiesta con traffico medio-alto

Effettuando quindi una simulazione con il traffico preso in considerazione e con l'accumulatore da 160 kWh ricaviamo l'andamento di SOC visibile nella Figura 56. Come è intuibile dal grafico, la stazione non riesce a supportare un'affluenza di questa portata e quindi l'accumulatore raggiunge il 10% di SOC poco dopo le 10 di mattina. La stazione viene quindi interdetta per permettere la ricarica dell'accumulatore, che serve carico per le ore successive.

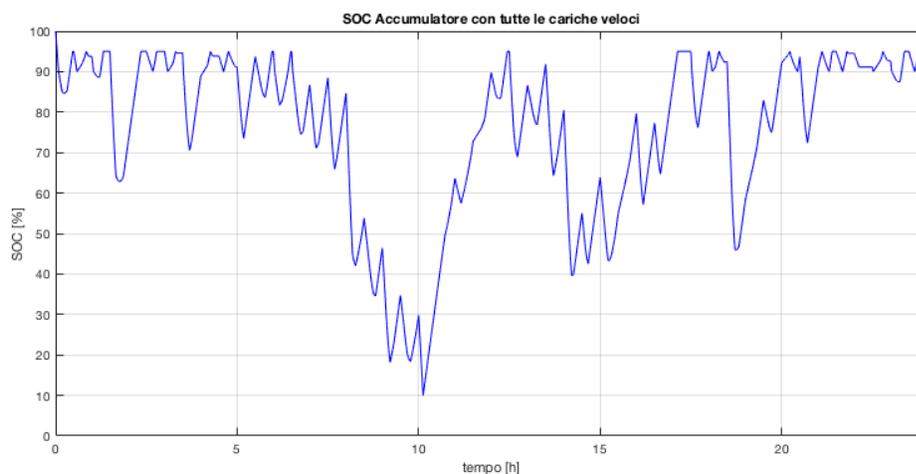


Figura 56: SOC con traffico considerato

È chiaro che questa non è una situazione accettabile per la stazione di ricarica e per ovviare queste problematiche si proveranno ad attuare le tecniche precedentemente elencate. Dato che i veicoli che si ricaricano nelle colonnine da 50 kW non influiscono molto nelle profonde scariche dell'accumulatore, andremo ad attuare delle modifiche nelle ricariche dei veicoli più energivori. Vengono quindi effettuate ricariche in tempi leggermente maggiori rispetto alle ricariche ultra fast, ma senza troppa differenza. Le colonnine così richiederanno correnti e potenze molto minori ma per tempi maggiori.

Le tecniche implementate sono le seguenti:

- Viene effettuata una ricarica più lenta a parità di Δ SOC a tutte le macchine che si presentano nelle colonnine da 160 kW e 320 kW.
- Viene permessa la ricarica veloce alle macchine che si presentano nelle colonnine da 160 kW e 320 kW solo nelle ore di punta. Ovvero dalle 7e30 alle 10 di mattina e dalle 17e30 alle 20 di sera. I veicoli che si presentano nelle altre ore, a parità di Δ SOC effettueranno una ricarica più lenta.
- Il proprietario di un veicolo che si presenta in stazione e vuole ricaricare la propria macchina in una colonnina da 160 kW o da 320 kW può scegliere se ricaricare il veicolo più lentamente o più velocemente.

La ricarica lenta ha chiaramente i suoi pregi, perché avrà un prezzo inferiore alla ricarica veloce. Questo potrebbe essere un modo per incentivare i conducenti ad effettuare una ricarica più lenta o in caso ricaricare la batteria della macchina di un Δ SOC minore. Prima di valutare l'influenza delle ricariche più lente, vediamo un esempio di esse per ogni tipologia di veicolo, così da mostrare come variano le potenze e le tempistiche in gioco.

A titolo esemplificativo vediamo la ricarica da 40 a 90% di SOC. Nel caso del veicolo tipologia Audi e-tron, possiamo vedere di seguito i grafici di tensione, corrente, potenza e SOC.

Modello per la gestione di una stazione di ricarica EV supportata da un sistema di accumulo energetico

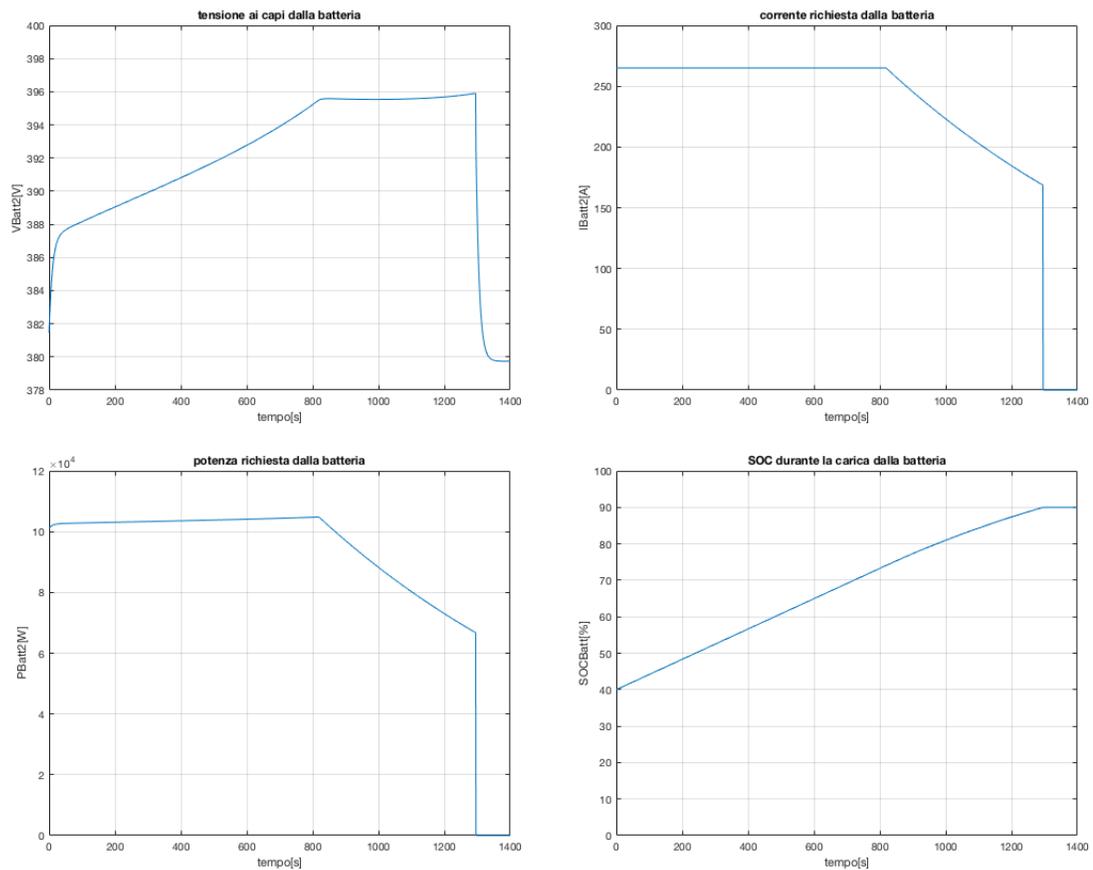


Figura 57: Andamenti parametri principali del veicolo tipo Audi con ricarica lenta

Dalla Figura 57 possiamo notare che la potenza richiesta è decisamente inferiore a quella che si aveva nella ricarica a velocità maggiore. La ricarica UltraFast infatti impiegava 1009 secondi e richiedeva alla stazione una potenza media di 125.2 kW. In modalità lenta invece impiega 1297 secondi e richiede 96.44 kW in media. Questo sicuramente comporterà una scarica meno profonda dell'accumulatore a parità di percentuale di ricarica caricata dal veicolo preso in considerazione.

Il veicolo tipologia Porsche con una ricarica più lenta è caratterizzato invece dagli andamenti riportati in Figura 58. La potenza media richiesta in questo caso è di 171,25 kW con una ricarica da 40 a 90% del SOC in 1000 secondi esatti (16.6 minuti). La stessa ricarica ma UltraFast impiegava 704 secondi e richiedeva una potenza media di 247.85 kW.

6. Gestione del traffico in stazione

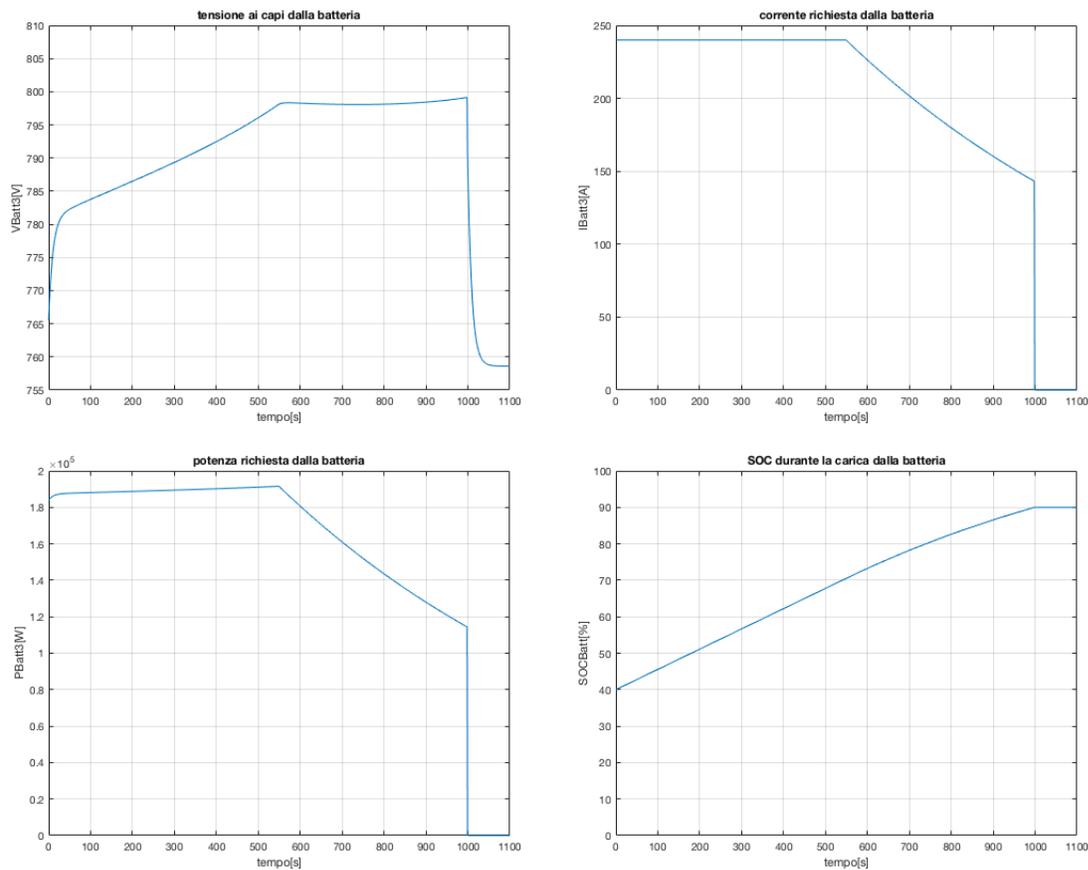


Figura 58: Andamenti parametri principali del veicolo tipo Porsche con ricarica lenta

Data la differenza di potenza media richiesta fra le due tipologie di ricarica per il veicolo tipo Porsche, desumiamo che effettuare una carica lenta può presentare dei notevoli benefici in termini di scarica per l'accumulatore.

Vediamo quindi come vanno ad influenzare lo stato di carica dell'accumulatore le diverse scelte di gestione del flusso. Dato che le ricariche dei veicoli a 50 kW non vengono modificate, riportiamo solamente i dati ed i parametri delle colonnine 2 e 3.

6.2. Gestione lenta delle ricariche

tempocarica_col2 [s]	PEV2mean [W]	tempocarica_col3 [s]	PEV3mean [W]
1515	98837,62357	782	173161,3824
1067	92790,02348	1000	171247,438
1702	102411,6058	962	175385,4056
1272	97679,45549	972	174841,3141
839	88650,29784	962	175385,4056
1515	98837,62357	1148	177135,6541
839	88650,29784	1186	172645,059
1256	98335,81311	1186	172645,059
1480	100499,3578	1148	177135,6541
1297	96439,90201	1148	177135,6541
839	88650,29784	803	171147,8254
839	88650,29784	972	174841,3141
1256	98335,81311	782	173161,3824
1256	98335,81311	1000	171247,438
1256	98335,81311	1148	177135,6541
1067	92790,02348	1148	177135,6541
1515	98837,62357	Grado di operatività3 [s]=	16347
1074	92661,23938	Potenza media ponderata3 [W]=	174610,4332
1256	98335,81311	Energia richiesta3 [Wh]=	33036,53647
Grado di operatività2 [s]=		23140	
Potenza media ponderata2 [W]=		96550,6832	
Energia richiesta2 [Wh]=		25858,59733	

Tabella 18: Dati e parametri gestione lenta colonnine 2 e 3

Considerando quindi delle ricariche lente per tutti i veicoli, vediamo come il grado di operatività della colonnina 2 (Tabella 18 a sinistra) passi da 4:52 ore a 6:26 ore circa mentre la potenza media richiesta dalle ricariche da 128.56 kW a 96.55 kW. La colonnina 3 invece, come possiamo vedere nella parte destra della Tabella 18, è soggetta ad un grado di operatività che incrementa dalle 3:08 ore alle 4:32 ore. La potenza media richiesta subisce un drastico calo passando da 256.63 kW a 174.61 kW. Nonostante la totale energia richiesta rimanga sempre circa la stessa (a meno delle perdite minori nei convertitori quando viene richiesta meno potenza) in entrambe le colonnine, la minore richiesta di potenza ha un impatto decisamente importante sulla scarica dell'accumulatore. La Figura 59 ci mostra la differenza fra il SOC calcolato utilizzando sempre ricariche al massimo del potenziale ed il SOC utilizzando sempre ricariche più lente.

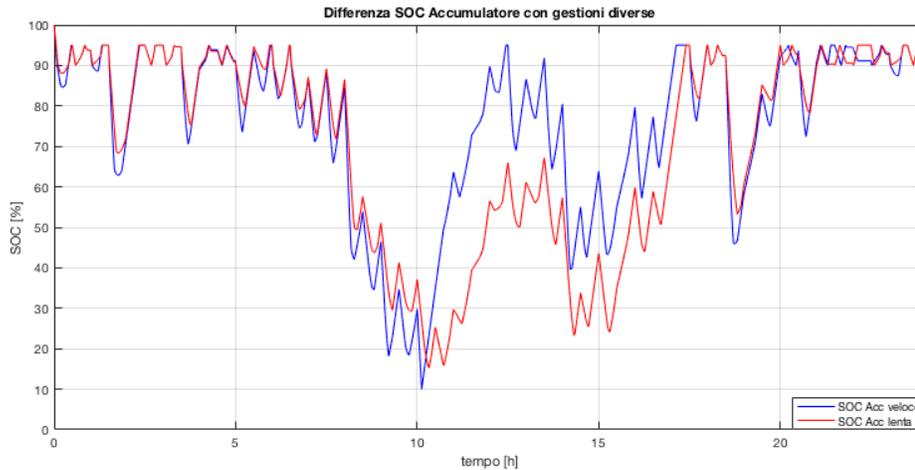


Figura 59: SOC con cariche tutte veloci e cariche lente in colonnina 2 e 3

La linea rossa rappresenta l'andamento del SOC quando in stazione viene utilizzata solamente la possibilità di ricaricare lentamente i veicoli più energivori. Notiamo subito come in questo caso la stazione è sempre funzionante e tutti i veicoli sono regolarmente ricaricati. Inoltre le scariche parziali dell'accumulatore sono meno profonde, permettendo quindi a lungo andare una durata maggiore.

Questa gestione del traffico sarebbe ottimale per garantire un'eventuale affluenza maggiore al di fuori dei periodi di punta. Bisogna però prendere in considerazione che i veicoli come Audi e Porsche, avendo la possibilità di poter ricaricare più velocemente non saranno sempre disposti ad effettuare una ricarica lenta, nonostante l'incentivo a farlo. Preso in considerazione il fatto che non tutti accetteranno di fare una ricarica lenta si sono quindi valutate le altre due possibilità di gestione precedentemente spiegate.

6.3. Gestione lenta delle ricariche solo al di fuori delle ore di punta

Utilizzando la gestione che permette la ricarica veloce solamente nelle ore di punta vediamo i risultati in Tabella 19. In entrambe le colonnine il grado di operatività decresce e la potenza media richiesta aumenta rispetto alla gestione a carica lenta. In questo caso infatti vediamo che durante le ore di punta si presentano 4 veicoli nella colonnina 2 ed altrettanti nella colonnina 3 per effettuare una ricarica veloce (evidenziati in giallo nelle rispettive tabelle). Questi riescono a completare la ricarica senza problemi proprio perché nelle ore precedenti la stessa tipologia di veicolo ha potuto caricarsi solo tramite ricariche più lente.

tempocarica_col2	PEV2mean	tempocarica_col3	PEV3mean
1515	98837,62357	782	173161,3824
1067	92790,02348	1000	171247,438
1702	102411,6058	962	175385,4056
1272	97679,45549	674	256899,5926
839	88650,29784	661	259878,3952
1515	98837,62357	1148	177135,6541
615	122100,6307	1186	172645,059
960	129862,8321	1186	172645,059
1129	133071,5664	1148	177135,6541
1297	96439,90201	1148	177135,6541
839	88650,29784	803	171147,8254
839	88650,29784	972	174841,3141
1256	98335,81311	782	173161,3824
1256	98335,81311	702	248613,4503
1256	98335,81311	772	268507,4072
1067	92790,02348	1148	177135,6541
1161	130372,7682	Grado di operatività3 [s]= 15074	
1074	92661,23938	Potenza media ponderata3 [W]= 190250,4558	
1256	98335,81311	Energia richiesta3 [Wh]= 33192,53901	
Grado di operatività2 [s]= 21915			
Potenza media ponderata2 [W]= 102175,5951			
Energia richiesta2 [Wh]= 25916,41398			

Tabella 19: Dati e parametri colonnine 2 e 3 con gestione a carica veloce solo nelle ore di punta

Nella Figura 60 vediamo cosa comporta per l'accumulatore un carico di questo tipo.

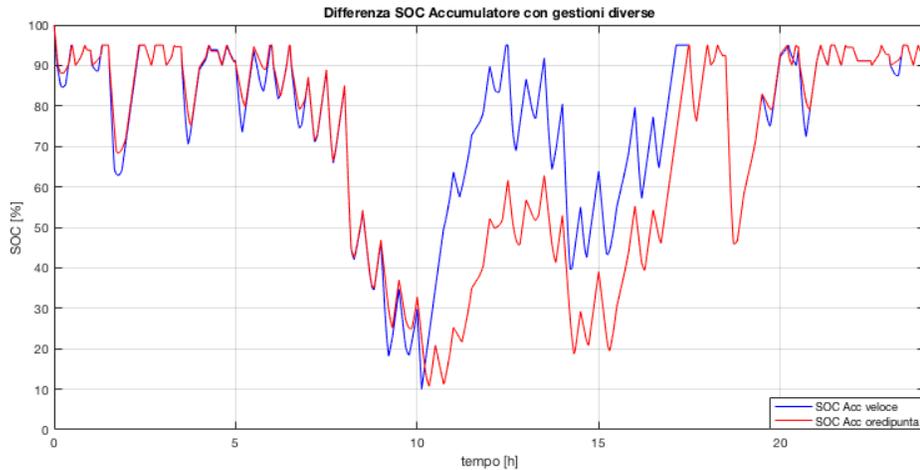


Figura 60: SOC con cariche veloci solo nelle ore di punta per colonnine 2 e 3

In questo caso possiamo vedere come l'accumulatore riesca a non raggiungere la soglia del 10% ed a continuare il suo operato regolarmente. Bisogna però dire che in questo caso il traffico che si presenta in stazione dalle 7 alle 11 circa di mattina è il massimo possibile, perché solamente un veicolo in più in questo frangente farebbe interdire la stazione di ricarica. Al contrario negli altri periodi è possibile un aumento dell'affluenza. Nei casi precedenti la ricarica è forzata, ovvero o veloce o lenta in base all'ora di arrivo in stazione o solamente lenta nel primo caso. È chiaro che se viene obbligata una persona a sostenere un certo tipo di carica (in base a quando arriva in stazione), questa va ulteriormente incentivata, perché non si dà la possibilità di scelta al consumatore. È quindi più plausibile che siano i proprietari a scegliere che tipologia di ricarica svolgere e se lenta o veloce in base alle esigenze. Così risulta anche più fattibile incentivare la ricarica lenta in modo da usurare meno l'accumulatore con le profonde scariche a cui è sottoposto.

6.4. Ricarica a scelta del proprietario del veicolo

tempocarica_col2 [s]	PEV2mean [W]	tempocarica_col3 [s]	PEV3mean [W]
1515	98837,62357	583	235461,3833
1067	92790,02348	1000	171247,438
1702	102411,6058	962	175385,4056
1272	97679,45549	972	174841,3141
839	88650,29784	661	259878,3952
1515	98837,62357	772	268507,4072
839	88650,29784	1186	172645,059
1256	98335,81311	1186	172645,059
1480	100499,3578	772	268507,4072
1297	96439,90201	1148	177135,6541
839	88650,29784	803	171147,8254
839	88650,29784	972	174841,3141
1256	98335,81311	782	173161,3824
1256	98335,81311	1000	171247,438
1256	98335,81311	1148	177135,6541
1067	92790,02348	772	268507,4072
1161	130372,7682	Grado di operatività3 [s]=	14719
798	126162,962	Potenza media ponderata3 [W]=	195059,811
1256	98335,81311	Energia richiesta3 [Wh]=	33230,15461
Grado di operatività2 [s]=	22510		
Potenza media ponderata2 [W]=	99376,56446		
Energia richiesta2 [Wh]=	25890,81558		

Tabella 20: Dati e parametri scelta fra ricarica lenta o veloce colonnine 2 e 3

Nella simulazione seguente la scelta fra carica lenta e carica veloce è fatta Random, con una probabilità maggiore della prima, perché si ipotizza che l'incentivo a ricaricare lentamente porti le persone ad effettuare ricariche più lunghe e a potenze minori.

Nella Tabella 20 a sinistra vediamo i dati e i parametri relativi alla colonnina 2. Il grado di operatività non varia di molto rispetto alla gestione precedente, anche perché in questo esempio i conducenti che scelgono la ricarica veloce sono solamente 2. La colonnina viene quindi utilizzata per 6:15 ore. La potenza media richiesta è leggermente inferiore a quella a gestione nelle ore di punta. A destra vediamo invece i dati ed i parametri riferiti alla colonnina 3. In questa colonnina i conducenti che hanno scelto la ricarica veloce sono 6, infatti il grado di operatività diminuisce leggermente rispetto a prima, mentre la potenza media richiesta aumenta. L'utilizzo della colonnina è di circa 4:05 ore.

Ricaviamo quindi gli andamenti del SOC dell'accumulatore nella Figura 61 e lo confrontiamo con quello ricavato nella gestione a ricariche veloci.

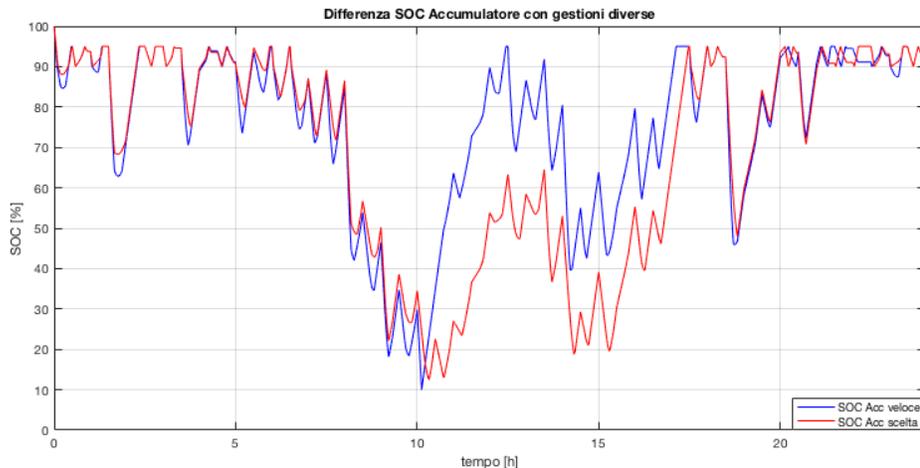


Figura 61: SOC con cariche a scelta dell'utente

In questo caso possiamo notare come l'accumulatore riesca a ricaricare tutti i veicoli in arrivo in stazione, però il suo stato di carica si avvicina alla soglia inferiore toccando quota 13%. Come nel caso precedente, nell'orario fra le 7 e le 11 di mattina quello simulato è certamente il traffico massimo ammissibile, mentre in altre fasce orarie della giornata è possibile un aumento del flusso. Rispetto alla gestione con carica lenta al di fuori dalle ore di punta, però, bisogna ribadire che questa è la soluzione anche eticamente più giusta, perché permette al conducente di scegliere la ricarica che preferisce effettuare.

6.5. Confronto fra le diverse gestioni

Abbiamo valutato come cambia lo stato di carica dell'accumulatore in base alle diverse gestioni attuate. Simulando lo stesso traffico in una giornata con scelte di ricarica differenti, si è potuto constatare che le profondità delle scariche dell'accumulatore variano, permettendo quindi un'affluenza maggiore in stazione o comunque un impegno minore di potenza. Oltre a questo però, vogliamo vedere cosa potrebbe comportare a lungo andare una diversa gestione dell'accumulatore. Nei seguenti grafici vediamo le differenze in termini di Aging e quindi di cicli equivalenti di carica e scarica effettuati.

Il calcolo della capacità è dato da:

$$Q(n) = Q_{BOL} - \varepsilon(n) * (Q_{BOL} - Q_{EOL})$$

Dove Q_{BOL} rappresenta la Capacità della batteria ad inizio vita mentre Q_{EOL} la Capacità a fine vita. ε è invece l'aging factor che dipende proporzionalmente dal DOD (Depth of Discharge) e vale 0 e 1 rispettivamente a Q_{BOL} e Q_{EOL} . La formula utilizzata per l'aging è la seguente ed è ricavata dal modello simulink della batteria:

$$\varepsilon(n) = \varepsilon(n - 1) + \frac{0.5}{N(n-1)} * \left(2 - \frac{DOD(n-2)+DOD(n)}{DOD(n-1)} \right);$$

dove N è il massimo numero di cicli che si possono effettuare, ed è dato dalla seguente formula:

$$N(n) = H \left(\frac{DOD(n)}{100} \right)^{-\xi} * \exp \left(-\psi \left(\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T_a(n)} \right) \right) * (I_{diav}(n))^{-\gamma_1} * (I_{chav}(n))^{-\gamma_2};$$

Con H il numero di cicli iniziali mentre γ_1 , γ_2 e ξ sono dei fattori esponenziali. La parte di formula riferita alla temperatura non è presa in considerazione perché sono considerati 25°C costanti.

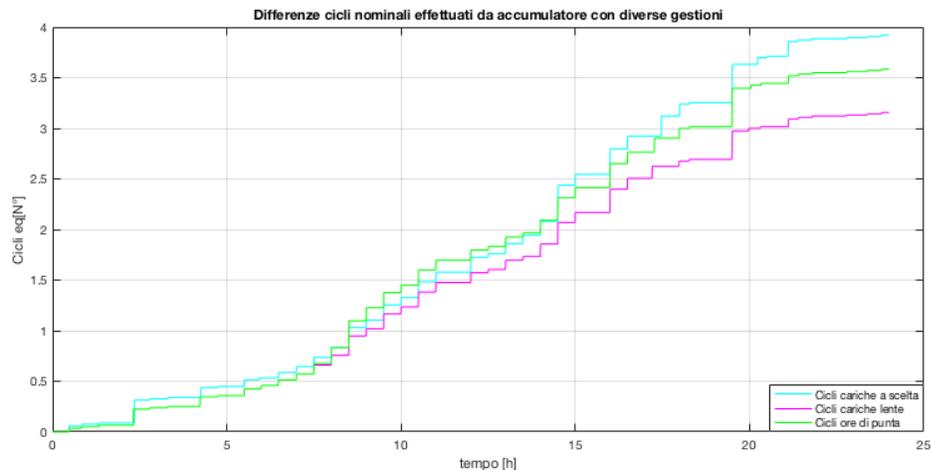


Figura 62: Cicli equivalenti effettuati da accumulatore nelle diverse gestioni

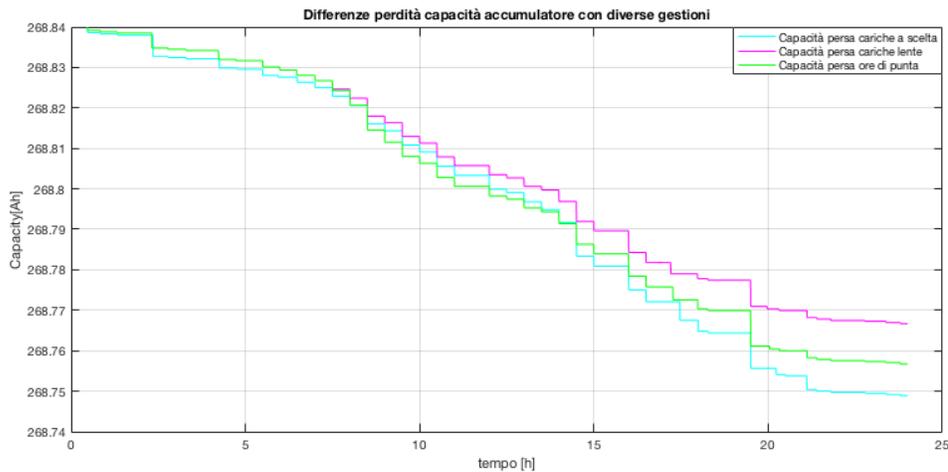


Figura 63: Capacità persa da accumulatore nelle diverse gestioni

La Figura 62 mostra le differenze fra il numero di cicli effettuati dall'accumulatore nelle tre gestioni diverse del flusso, mentre la Figura 63 la relativa perdita di capacità giornaliera. Guardando però ai grafici precedenti e tenendo come riferimento 1500 cicli equivalenti nominali come limite per l'accumulatore, possiamo ipotizzare un'aspettativa di durata in base alla gestione del traffico in stazione, analizzando quanti cicli vengono effettuati in una giornata di esercizio. Dalla Figura 62 vediamo che sono circa 3.9 per la gestione con ricarica a scelta, 3.6 per la gestione con carica veloce solo nelle ore di punta e circa 3.17 per la gestione con ricariche lente (rispettivamente linea azzurra, verde e viola). Possiamo quindi facilmente valutare in quanti giorni l'accumulatore raggiungerà i 1500 cicli. Nel primo caso ci vorranno 387 giorni, nel secondo 417 mentre nel terzo circa 473. Queste sono quindi le diverse durate dell'accumulatore e possiamo notare come cambiando le gestione dei veicoli e depotenziando le ricariche, permettiamo una vita maggiore all'accumulatore. Nella Figura 64 possiamo vedere i cicli e la perdita di capacità che si hanno utilizzando la stazione con ricariche veloci.

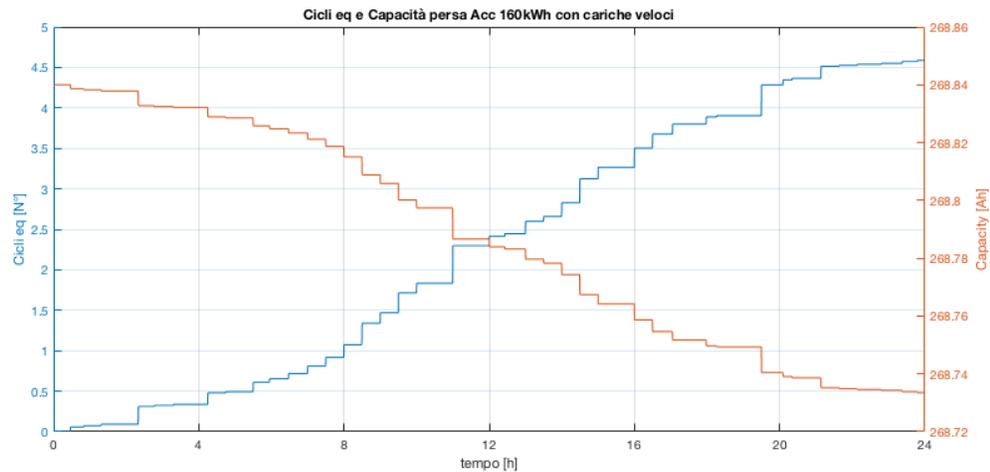


Figura 64: Cicli equivalenti e Capacità persa con cariche veloci

Possiamo vedere dalla figura precedente che i cicli equivalenti che effettua l'accumulatore soggetto a cariche alla massima potenza, sono circa 4.6, mentre la perdita di capacità è superiore a 0.1 Ah al giorno. In queste condizioni si può concludere che l'accumulatore finisce il suo ciclo di vita in circa 326 giorni, ben al di sotto rispetto alle durate che consentono le altre gestioni.

6.6. Differenze fra l'accumulatore da 160kWh e quello da 240kWh

Come abbiamo potuto notare dal capitolo precedente, se consideriamo lo scenario ad alto traffico, indipendentemente dalla gestione che utilizzeremo, il SOC dell'accumulatore si avvicinerà al 10% di carica. Scenderà quindi sotto il 30% di carica per un certo periodo. Questa condizione non è di certo favorevole alla durata nel tempo dell'accumulatore, dato che le scariche profonde pesano maggiormente sull'invecchiamento dell'accumulatore e vanno quindi a ridurre maggiormente la capacità di questo nel tempo. In quest'ultima parte andremo quindi a valutare gli stessi flussi di traffico precedentemente utilizzati per una stazione di ricarica con un accumulatore da 240kWh. Confronteremo i risultati ottenuti ed analizzeremo indicativamente quale taglia potrebbe essere più idonea per un'applicazione di questo tipo. Inoltre verranno effettuate delle valutazioni su simulazioni a traffico non controllato, ovvero con arrivi Random cadenzati da un certo intervallo temporale. Anche in questo caso vedremo la possibilità di utilizzare un accumulatore da 240kWh ed i conseguenti benefici che potrebbe portare.

6.6.1. Valutazione Aging

Utilizzando quindi lo stesso flusso di veicoli alle colonnine con l'accumulatore da 240kWh otteniamo i seguenti risultati. La Figura 65 mostra in blu l'andamento del SOC che si ha con l'utilizzo dell'accumulatore da 160kWh, mentre in rosso si vede l'andamento con l'accumulatore sovradimensionato fino a 240kWh.

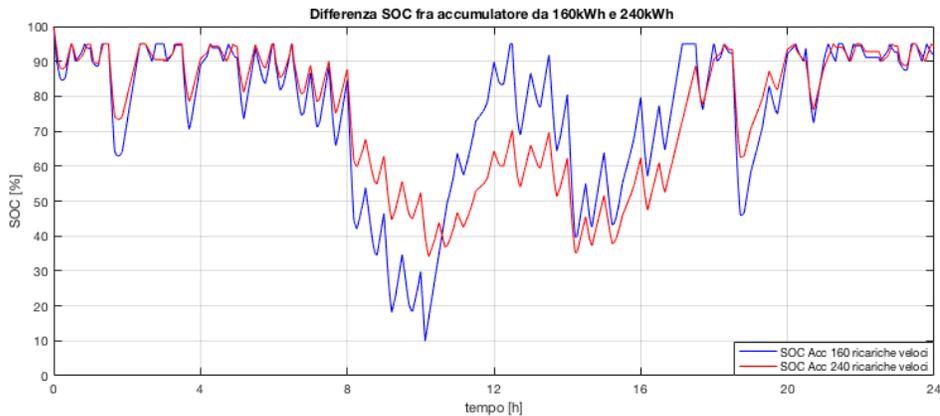


Figura 65: SOC con tutte cariche veloci. Con 160 e 240kWh

Possiamo subito notare come l'utilizzo del nuovo accumulatore permetta la continuazione del servizio per l'intera giornata senza mai scendere sotto il 30% di SOC.

Nella Figura 66 invece viene confrontato l'andamento nel caso di gestione della stazione con ricariche a scelta del proprietario del veicolo.

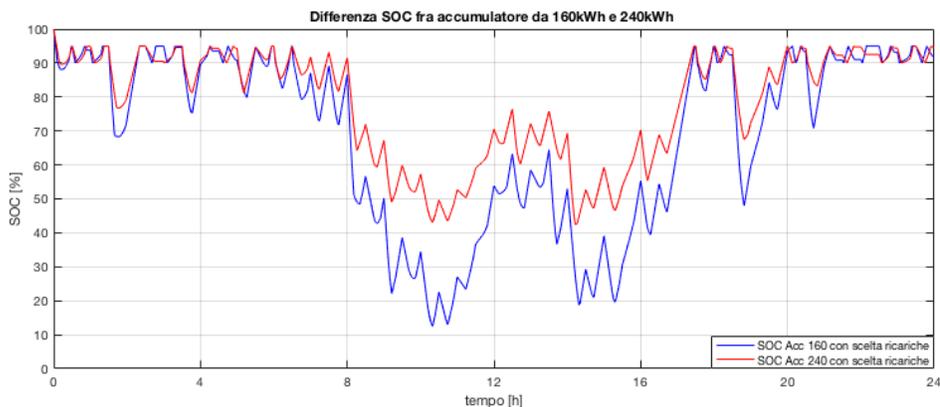


Figura 66: SOC con ricariche a scelta del consumatore. Con 160 e 240kWh

In questo caso entrambi gli accumulatori permettono le ricariche proposte ed arrivano a fine giornata con più del 90% di carica. Si vede benissimo però, come la differenza

Modello per la gestione di una stazione di ricarica EV supportata da un sistema di accumulo energetico

delle profondità di scarica sia marcata nei periodi in cui la densità di traffico è maggiore. Questo nel lungo periodo può portare notevoli differenze fra i due accumulatori, che potrebbero decretare la scelta di uno piuttosto che l'altro. Per valutare cosa può comportare una profondità di scarica maggiore nel tempo valutiamo il numero di cicli equivalenti che vengono effettuati dai due accumulatori durante una giornata e la conseguente perdita di capacità.

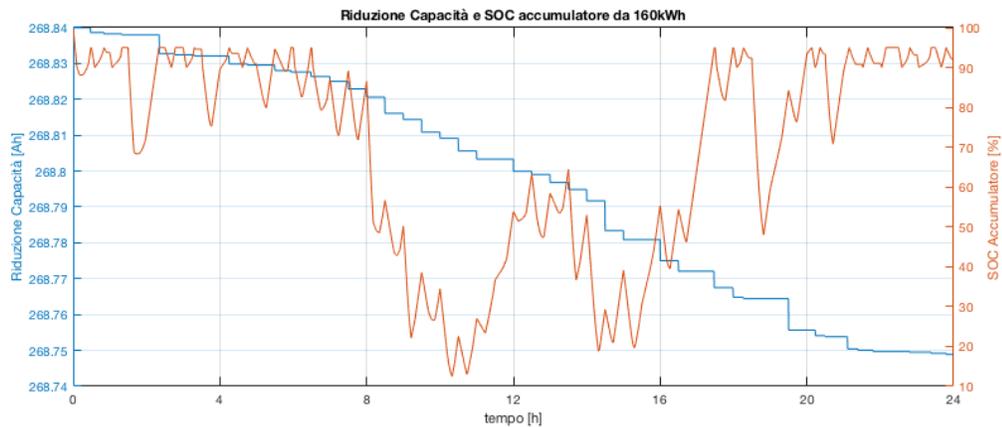


Figura 67: Riduzione Capacità e SOC per accumulatore da 160kWh in 24 ore

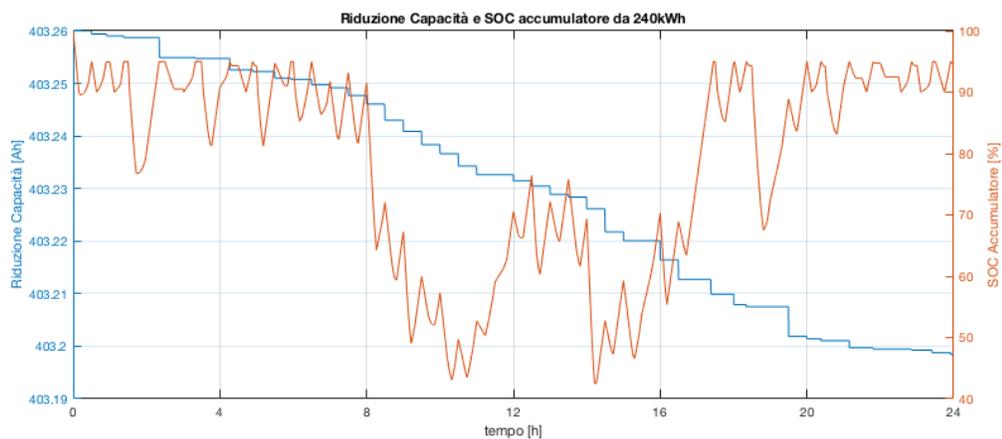


Figura 68: Riduzione Capacità e SOC per accumulatore da 240kWh in 24 ore

Nei grafici precedenti, rispettivamente Figura 67 e Figura 68, vediamo a quanto ammonta la perdita di capacità per i rispettivi accumulatori durante l'arco di una giornata, dato il flusso di traffico precedentemente analizzato.

Il numero di cicli di carica e scarica equivalenti che effettuano le due batterie è invece visibile in Figura 69 . I cicli subiscono aumenti proporzionalmente diversi in base alla

profondità di scarica della batteria. Ogni ciclo corrisponde ad un ciclo completo di carica e scarica a DOD=100% con correnti nominali (43% circa della Rated Capacity). Valutando i grafici precedenti si può stimare a grandi linee la durata dei due accumulatori soggetti quotidianamente a questo flusso di carico.

Come ipotesi si stima che la capacità Q_{EOL} è lo 0.9 della capacità nominale. Per i casi considerati quindi:

$$Q_{EOL_{160}} = 0.9 * 260 = 234 [Ah] ;$$

$$Q_{EOL_{240}} = 0.9 * 390 = 351 [Ah] ;$$

Dai grafici vediamo come nel primo caso la Capacità della batteria scende di 0.09 Ah in una giornata di funzionamento, mentre la batteria da 240kWh ha una riduzione della propria capacità di 0.06 Ah. Ipotizzando quindi un funzionamento annuale a questo ritmo la prima batteria è soggetta ad un decremento di 32.85 Ah. Per raggiungere la capacità di fine vita deve diminuire di 34.84 Ah, quindi in questo caso potrebbe durare 387.11 giorni. L'accumulatore da 240kWh è invece annualmente soggetto ad una riduzione di capacità di 21.9 Ah. Per finire il suo ciclo di vita dovrebbe ridurre la sua capacità di 52.26 Ah che corrispondono ad un funzionamento pari a 871 giorni, circa 2.4 anni.

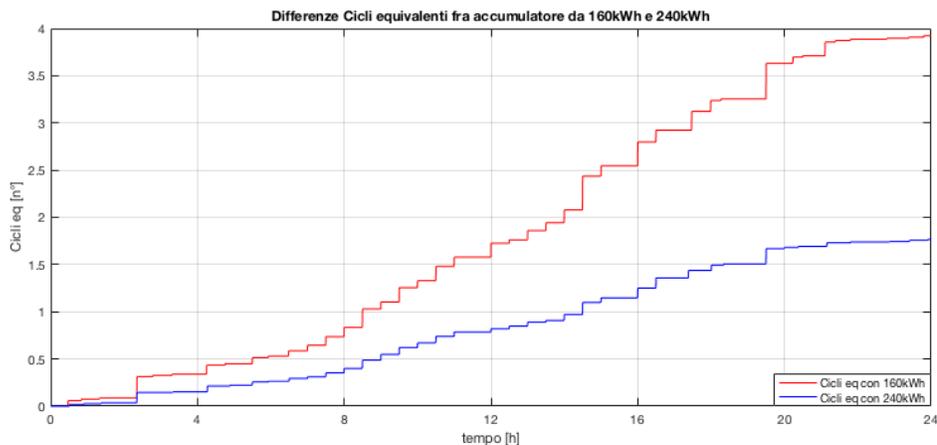


Figura 69: Cicli equivalenti effettuati dai due accumulatori

Abbiamo considerato una durata di 1500 cicli equivalenti a DOD 100% e correnti di carica e scarica nominali. Come possiamo vedere dalla Figura 69, la batteria da 160kWh compie 3.9 cicli in una giornata mentre l'altra circa 1.72. Moltiplicando per i giorni di durata previsti possiamo notare che il conteggio totale è corretto.

Analizzando questi risultati non possiamo che propendere verso un accumulatore del secondo tipo (240kWh) dato che a parità di traffico ha una durata di circa 2.25 volte superiore. Le considerazioni da fare però non si fermano certamente qua, dato che la mobilità elettrica in Italia è ancora un grosso punto di domanda e quindi sovradimensionare l'accumulatore potrebbe non essere la scelta migliore se poi il traffico che si presenta in stazione è decisamente più basso rispetto a quello ipotizzato. Valutando velocemente la differenza fra i due accumulatori quando soggetti ad un traffico a bassa affluenza notiamo i seguenti risultati: l'accumulatore da 160kWh perde quotidianamente 0.035 Ah ed effettua circa 1.52 cicli equivalenti, quindi calcolando come fatto precedentemente raggiungerà la Q_{EOL} dopo circa 2.7 anni. Il secondo accumulatore invece perde 0.027 Ah ogni 24 h ed è soggetto a 0.78 cicli equivalenti. Dai calcoli si vede che raggiungerà la Q_{EOL} dopo circa 5.26 anni. Possiamo quindi notare che il rapporto di durata ora è 1.95, quindi è diminuito rispetto al caso con traffico maggiore. Ipotizzando il traffico che si presenta in stazione possiamo quindi dire a livello indicativo che il rapporto di durata degli accumulatori diminuisce al diminuire del traffico. Può quindi presentarsi come parametro molto utile nel dimensionamento dell'accumulatore di un'eventuale stazione di ricarica.

6.6.2. Arrivi cadenzati

Per finire è stata effettuata un'ulteriore valutazione del traffico. Dato che non si può prevedere con certezza come i veicoli in futuro si presenteranno nelle stazioni di ricarica, possiamo ipotizzare di valutare un arrivo cadenzato senza distinzione oraria. Inoltre in questo caso, possiamo anche pensare che in un prossimo futuro la maggior parte dei veicoli abbia la possibilità di ricaricarsi in modalità ultra fast, potendo quindi utilizzare anche le colonnine da 160kW e 320kW, quindi le probabilità di arrivo verranno considerate uguali. È presente inoltre la possibilità che non si presenti alcun veicolo per un certo intervallo. In queste simulazioni si andranno a valutare vari intervalli di arrivo, fino ad approssimare l'intervallo minimo che permette la ricarica dei veicoli senza la scarica totale dell'accumulatore in 24 ore di funzionamento. Si effettuano quindi una serie di simulazioni sia con l'accumulatore da 160 kWh che con quello da 240 kWh.

I dati che prendiamo in considerazione per queste valutazioni sono la potenza media richiesta durante una giornata, il totale SOC dei veicoli che viene caricato e il numero di veicoli che accedono alla stazione.

6. Gestione del traffico in stazione

Nei seguenti grafici possiamo quindi vedere come variano questi parametri in base all'intervallo di arrivo dei veicoli. Dalla Figura 70 possiamo vedere come l'intervallo minimo di arrivo si aggiri intorno ai 660 secondi, infatti con intervalli più brevi, nella maggior parte dei casi l'accumulatore raggiunge il 10% di SOC e la stazione viene interdetta. Il numero massimo di veicoli che giornalmente possono ricaricarsi si avvicina in media a 107 mentre il SOC totale ricaricato è intorno a 4850%, quindi la ricarica media è di circa 45.11%.

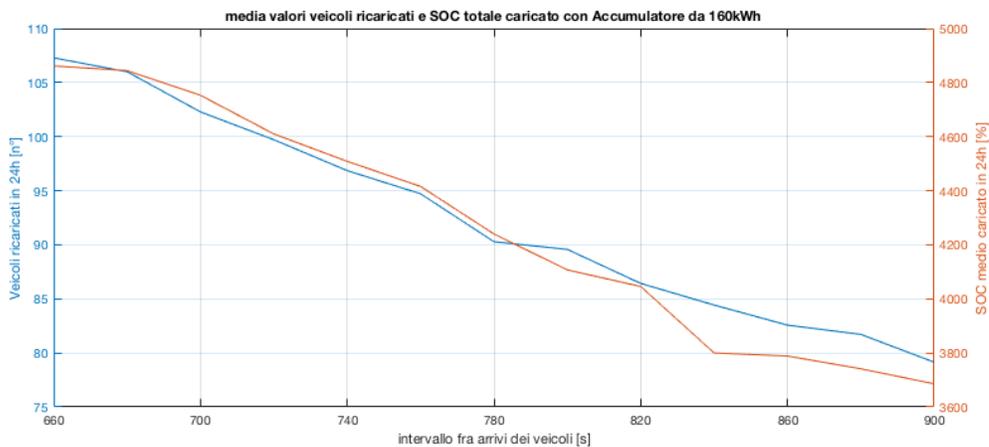


Figura 70: N° veicoli e SOC con accumulatore da 160kWh

Nella Figura 71 vediamo invece la Potenza media richiesta giornalmente, che in questo caso è circa 103kW.

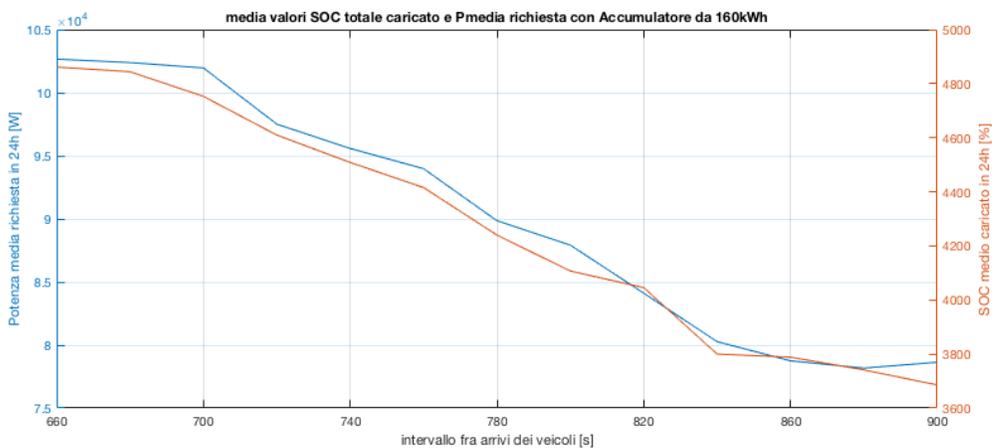


Figura 71: Potenza media richiesta e SOC caricato con accumulatore da 160kWh

Modello per la gestione di una stazione di ricarica EV supportata da un sistema di accumulo energetico

I grafici precedenti rappresentano le simulazioni svolte utilizzando l'accumulatore che è stato preso come riferimento iniziale per la stazione di ricarica. Come è giusto aspettarsi, all'aumentare dell'intervallo abbiamo in media una potenza richiesta minore, meno veicoli e meno SOC ricaricato nel complesso. Bisogna ricordare come questa tipologia di valutazione è utilizzata solamente per comparazione fra i due tipi di accumulatori poiché nella realtà non si avranno veicoli intervallati in arrivo in stazione nelle ore notturne, così come in altri periodi della giornata.

Vediamo ora come variano i parametri se viene considerato l'accumulatore da 240kWh.

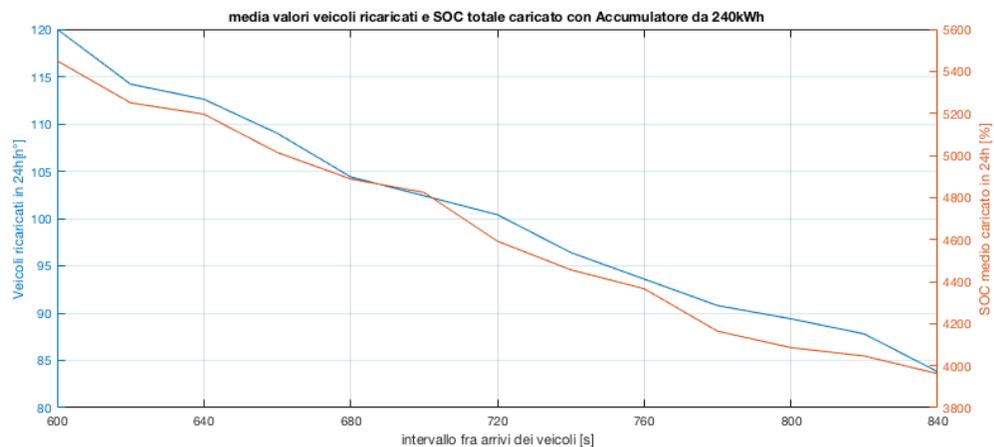


Figura 72: N° veicoli e SOC con accumulatore da 240 kWh

Come possiamo notare dalla Figura 72, l'intervallo di tempo tra un veicolo e l'altro che permette alla stazione di non interdarsi e di caricare tutti i veicoli, è inferiore. L'intervallo è quindi di 600 secondi e permette al massimo la ricarica di circa 120 veicoli. Il SOC totale ricaricato invece si attesta sul 5450%, quindi con una ricarica media del 45.4%.

Nella Figura 73 invece è stata valutata la potenza media richiesta in una giornata di esercizio e vediamo che il massimo che si può raggiungere è circa 114kW. Come era intuibile la stazione di ricarica che usufruisce di un accumulatore da 240kWh garantisce un numero di ricariche maggiori e quindi di conseguenza riesce ad impegnare una potenza maggiore ed a caricare una maggiore percentuale di SOC.

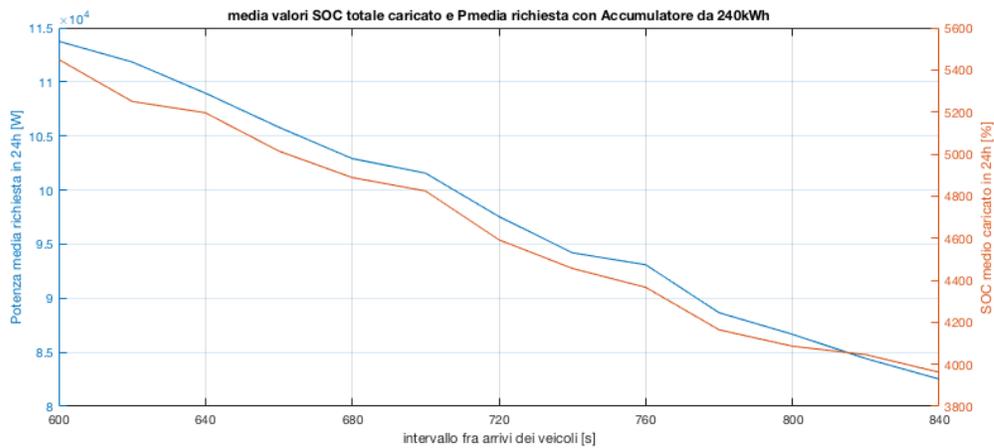


Figura 73: Potenza media richiesta e SOC caricato con accumulatore da 240kWh

Dalle precedenti simulazioni possiamo quindi trarre delle conclusioni a livello generale. L'accumulatore inizialmente utilizzato presenta delle criticità che si accentuano maggiormente quando il traffico supera una certa affluenza. Come abbiamo visto precedentemente, per evitare di interdire la stazione si sono dovuto gestire diversamente le ricariche, permettendo al consumatore di effettuare una ricarica più lenta, in modo da impegnare meno potenza e quindi ridurre le profondità di scarica dell'accumulatore. Riferendoci poi alla differenza di durata di questi possiamo dire che, nonostante l'accumulatore da 240kWh venga a costare 1.5 volte quello da 160kWh permette una durata di 2.25 volte superiore quando sottoposto ad un' alta affluenza. Inoltre come si è potuto vedere dalle ultime simulazioni, riesce a garantire un maggior numero di ricariche e quindi ad impegnare una maggior potenza rispetto a quello da 160kWh.

7. Conclusioni

Le incognite sul futuro della mobilità elettrica, come si è potuto intuire in queste pagine, non sono certo poche. L'incertezza riguarda principalmente l'inadeguato stato dell'arte delle infrastrutture di ricarica, che rappresentano la causa principale alla poca volontà di acquistare un veicolo elettrico. Un altro punto focale è quello riguardante gli incentivi all'acquisto di un veicolo, che in un paese come l'Italia al giorno d'oggi scarseggiano e non sono mirati all'espansione che dovrebbe aspettarsi. In questa tesi si è voluto quindi presentare quali potrebbero essere le criticità a cui si andrà incontro nel prossimo futuro, quando le ricariche dei veicoli saranno sempre più veloci e quindi richiederanno una potenza maggiore. Per permettere la ricarica contemporanea di un certo numero di veicoli in modalità ultra-fast le stazioni avranno bisogno del sostegno di un accumulo energetico, perché la rete non potrà sempre provvedere a simili quantità di potenza. Infatti le stazioni di ricarica non potranno sempre essere presenti in posizioni strategiche vicino a linee ad alta o media tensione (AT, MT) che possono fornire maggiori potenze. Nell'esempio studiato la stazione EV si pone interfacciata con una rete bt. L'accumulatore ha quindi il compito di fornire un disaccoppiamento flessibile con la rete, in modo da non dover sempre richiedere quantità ingenti di potenza dalla rete. Come abbiamo visto nei calcoli svolti a pag. 18, la potenza che in futuro potrebbe essere richiesta per la ricarica dei veicoli necessita un miglioramento notevole delle infrastrutture. Una soluzione a questo problema è certamente l'utilizzo intelligente degli accumulatori.

Nell'ultimo capitolo invece sono state fatte delle valutazioni sull'accumulatore che potrebbe essere utilizzato nella stazione presa in considerazione. Ipotizzando un traffico specifico si è visto come, gestendo diversamente le ricariche dei veicoli si dà la possibilità di una durata maggiore all'accumulatore. Per valutare l'utilizzo di una batteria piuttosto che l'altra si fanno quindi dei compromessi riguardo le capacità considerate ed i relativi costi. Un ulteriore compromesso comprende le sollecitazioni, il degrado e di conseguenza il tempo di vita. Abbiamo ipotizzato che gli accumulatori considerati abbiano un costo di 320.000€ e 480.000€ rispettivamente per 160kWh e 240kWh. Valutando le differenze a traffico alto con cariche a scelta del consumatore per i veicoli più energivori otteniamo che:

- L'accumulatore da 160kWh avrà un costo annuo di circa $320.000 * \frac{365}{387} = 301.808€$

- Quello da 240kWh invece $480.000 * \frac{365}{871} = 201.148€$

Con queste considerazioni possiamo affermare che se la stazione dovesse essere soggetta ad una tipologia di traffico di questo tipo la scelta ricadrebbe doverosamente sul secondo accumulatore. La differenza fra i prezzi annui dei due accumulatori però diminuisce con la diminuzione dell'affluenza in stazione come abbiamo potuto vedere nei capitoli precedenti. Dalle considerazioni fatte e dai parametri valutati sembra comunque più vantaggioso l'accumulatore da 240kWh se estendiamo l'operatività ad una finestra di tempo più ampia.

Queste considerazioni valgono ovviamente nell'ipotesi di un'affluenza molto elevata nella stazione di ricarica in proporzione al numero di colonnine della stazione. Ipotizzando che il numero di veicoli elettrici aumenti esponenzialmente nei prossimi anni ed aumenti notevolmente la quota dei veicoli in grado di effettuare ricariche veloci a potenze maggiori, si può pensare che il maggiore investimento iniziale verrà quasi certamente ammortizzato nel tempo da una maggior durata dell'accumulatore. E si può anche tener conto del fatto che, nel caso di traffico a bassa affluenza, l'accumulatore da 240kWh potrebbe prestarsi a fornire servizi alla rete con scariche meno profonde rispetto a quello da 160kW.

Bibliografia

- [1] Buja, G. (2016). EV charging infrastrutture. *Coure of Electric Road Vehicles* . Padova.
- [2] Buja, G. (2014). Wireless Power Transfer (WPT) Charging. *Course of Electric Road Vehicles* .
- [3] C.Brocca. (2018). *Electric Vehicle Supply Equipment-Control System*. Padova: Nidec ASI S.p.a.
- [4] C.Brocca. (2018). *Power management System for EVSE applications with ESS*. Padova: Nidec ASI S.p.a.
- [5] Contact, P. (2017). *Phoenix Contact E-mobility*.
- [6] D.Chiaroni, F. M. (2018). *E-mobility Report 2018. Le opportunità e le sfide per lo sviluppo della mobilità elettrica in Italia*. Milano: Energy & strategy group.
- [7] *electricity storage*. Tratto da www.electricitystorage.org
- [8] ENEA. (2010). *Valutazione dell'impatto dell'utilizzo delle batterie al litio nelle applicazioni stazionarie*.
- [9] G.Pede, V. F. (2011). Report su test di ricarica rapida di batterie al litio. *ENEA* .
- [10] Giovanni Pede, E. R. (2012). Studio di massima di una stazione di ricarica rapida per linea di trasporto pubblico urbano. *ENEA* .
- [11] Gjelaj M., P. B. (2017). DC Fast-Charging station for EVs controlled by a local battery storage in a low voltage grid . *IEEE* .
- [12] Hossam A.Gabbar, A. M. (2017). Flywheel-Based Fast Charging Station-FFCS for Electric Vehicle and Public Transportation. *Earth and Environmental Science*. IOP.
- [13] IEA. (2010). Electric and Plug-in hybrid vehicle roadmap.
- [14] IEA. (2018). *The global EV outlook*. IEA,EVI.
- [15] M. Conte, G. M. (2011). Analisi e definizione di strategie di gestione e controllo di sistemi di accumulo elettrico per applicazioni in reti di distribuzione attive automatizzate. *ENEA* .

- [16] (2017). *Overcoming the challenges of fast charging*. Automotive IQ.
- [17] RSE. (2011). L'accumulo di energia elettrica. *il Melograno* .
- [18] Stefano Cordiner, V. M. (2014). Studio su prove di invecchiamento e degrado di celle al litio. *ENEA* .
- [19] Thomas S. Bryden, G. H. (2018). Electric vehicle fast charging station usage and power requirements. 322-332.
- [20] Vincente Torres-Sanz, J. A. (2018, Aprile 23). Enhancing the Charging Process of Electric Vehicles at Residential Homes. *IEEE* .
- [21] Xie Wei-dong, L. W. (2011). Modeling and simulation of public EV charging station with power storage system.
- [22] G.Buja, M.Bartoluzzo, Kishore N. Mude (2015). Design and Experimentation of WPT Charger for Electric City-Car. *IEEE*

Ringraziamenti

Eccoci giunti alla parte conclusiva della tesi, i doverosi ringraziamenti. Sperando possano rappresentare l'inizio di un nuovo percorso insieme, magari lontani ma pur sempre vicini.

Ringrazio in primis il Professor Andriollo e l'Ingegnere Brocca per la disponibilità e il tempo dedicatomi durante questi mesi, facendomi acquisire competenze che sicuramente mi aiuteranno nel mio futuro lavorativo.

Ringrazio Mamma e Papà per il supporto incondizionato e per l'aver creduto in me dal primo giorno, nonostante negli anni adolescenziali abbia dato motivo per non farlo. Ringrazio mia sorella Federica, prima fonte di ispirazione e sempre pronta a dare conforto. Ringrazio mio cognato Silvano e le due nipotine Aurora e Iris che hanno portato gioia e felicità in questi ultimi mesi/anni. Ringrazio inoltre le famiglie Piazza, Loner e parenti tutti.

Ringrazio di cuore i ragazzi che ci sono da sempre e per sempre, compagni di una vita passata insieme nonostante la relativa lontananza degli ultimi anni. Alberto, Andrea e Filippo. Ringrazio poi Matteo, Stefano e Francesco per essere dei discreti economisti ma dei buonissimi amici. Ringrazio Davide per l'infanzia passata tra i boschi ed i torrenti delle Laste. Ringrazio i compagni delle superiori per le studiate dell'ultimo giorno al fiorentina e per i bellissimi momenti passati insieme, compresi i 3 rimediati con la Materossi. Ringrazio tutti gli amici presenti oggi e chi non è potuto venire.

Ringrazio gli amici e compagni di studi Enrico, Davide, Matteo e Riccardo per aver contribuito a rendere questi anni fantastici, tra uno Spritz al naviglio e una birretta al Berlino.

Ringrazio gli storici coinquilini e grandi amici Davide, Gianluca e Manuel, insieme abbiamo conquistato Pescarotto e spesso mi avete fatto tornare a casa rotto.

Un sincero ringraziamento va a Rostock per le esperienze che mi ha fatto vivere e per le persone fantastiche che mi ha permesso di conoscere. Francesco, Marco, Jessica, Francesca, Vanessa e Maria. Tranquilla non mi sono dimenticato di te. Un ulteriore

Ringraziamenti

grazie a Rostock per avermi fatto conoscere lei, Sara, che da quasi un anno ormai rappresenta la mia stabilità.

Un ringraziamento speciale va invece a Daniele (il Matto), in cui ho trovato, non solo un grande amico, ma il fratello che non ho mai avuto... E non per la somiglianza. Grazie per esserci sempre stato e per aver compensato la mia serenità con un impareggiabile dose d'ansia. Grazie inoltre ad Angela e Stefano per i numerosi inviti a pranzo ed ai Partigiani per le grandi serate passate insieme.

E come scrisse Battisti, tu chiamale se vuoi...