

# STORYTELLING SCALABILITÀ ec2s

‘ec2s’ è un simulatore ad eventi discreti data-driven per flotte elettriche di car sharing in grado di modellare una domanda di mobilità dai dati provenienti da archivi reali e simulare la risposta del sistema FFCS (*Free Floating Car Sharing System*). In questo caso i dati inerenti alle città analizzate provengono da viaggi reali affrontati dagli utenti nel 2017 attraverso l’operatore car2go. L’obiettivo dello studio è quello di approfondire la scalabilità del sistema, in particolare andandone a variare in maniera significativa la domanda di mobilità e studiando la risposta dell’infrastruttura. Ci si è concentrati in uno scenario di aumento della domanda, coerentemente ad un ipotetico futuro in cui la mobilità urbana condivisa sia sempre più rilevante rispetto alla privata.

## ASSUNZIONI

Alla base di ogni simulazione affrontata ci sono alcune assunzioni rilevanti da precisare: ogni città è stata suddivisa in zone quadrate con lato pari a 500m. Un utente viene soddisfatto se, alla ricerca del veicolo, egli lo trova disponibile e con carica sufficiente per raggiungere la sua destinazione. La ricerca dell’utente avviene nella propria cella e nelle 8 celle adiacenti. Se sono presenti più vetture disponibili, il cliente sceglie quella con carica maggiore.

Un’altra assunzione importante riguarda la disponibilità infinita di lavoratori, per cui un veicolo viene portato immediatamente a ricaricare una volta che un utente rilascia la vettura al termine di un noleggio con una percentuale di batteria al di sotto di uno specifico valore determinato dal parametro *alpha*. Negli scenari analizzati la ricarica può essere effettuata esclusivamente dagli operatori del sistema di car sharing (non dagli utenti), i quali guidano il veicolo alla colonnina di ricarica più vicina.

Si è considerata in ogni scenario un’infrastruttura distribuita: i charging poles (le colonnine di ricarica) sono distribuiti in una frazione delle zone quadrate che è data da *cps zones percentage*. Le zone sono classificate secondo il numero totale di parcheggi che vi si verificano. *Cps zones percentage* pari a 0.1 significa, per esempio, che le colonnine saranno installate nel top 10% delle zone, considerando la metrica appena descritta.

Una volta portati a ricaricare, i veicoli non possono essere prelevati dalla postazione di ricarica prima del raggiungimento di una percentuale di batteria data da *beta*, normalmente pari a 100, poiché ridurre tale fattore significherebbe di fatto avere veicoli con una batteria ridotta e ciò non porta in alcun caso miglioramenti all’infrastruttura.

Non è stato considerato, nel set di simulazioni svolte, un eventuale riposizionamento delle vetture da parte degli operatori di car sharing poiché ciò avviene, seppur parzialmente, attraverso il processo di ricarica precedentemente descritto all’interno di un sistema distribuito.

## 1. PRIMO SET DI SIMULAZIONI – ALPHA CITTA' DI TORINO

Per quanto riguarda la città di Torino si è cercato di approfondire il comportamento di  $\alpha$  al variare della domanda, del numero di vetture e del numero di pole.

- **requests rate factor:** da 0.5 a 2, con passo 0.5
- **n cars factor:** da 0.25 a 1.75, con passo 0.25
- **time\_estimation:** True
- **queuing:** True
- **alpha:** da 10 a 40, con passo 2.5
- **beta:** 100
- **hub:** false
- **n poles n cars factor:** (0.1, 0.2, 0.05)
- **cps percentage zone:** (0.1)
- **relocation:** false
- **distributed\_cps:** True
- **cps\_placement\_policy:** "num\_parkings"
- **willingness:** 0

Per ogni combinazione di domanda e numero di pole per vettura si è visualizzato l'andamento delle curve relative alla percentuale di insoddisfatti (nel dettaglio *percentage not same zone trips* e *percentage no close cars*), *percentage charge deaths*.

A seconda della configurazione si hanno curve diverse: in particolare, per configurazioni con una domanda più alta  $\alpha$  incide di meno su tali grandezze e diminuisce la probabilità di avere charge deaths.

Tendenzialmente a Torino la percentuale di charge deaths si stabilizza intorno allo zero quando  $\alpha$  supera 22.5, nel caso in cui sia le vetture sia i pole non siano insufficienti (**fig 1**, con *requests rate factor:* 2 e *n poles n cars factor:* 0.1).

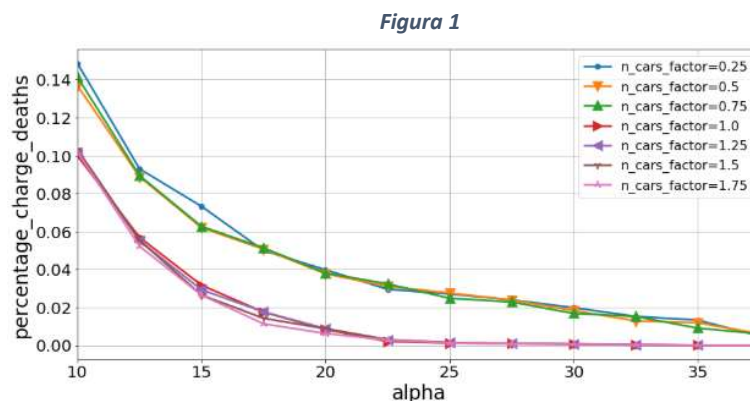
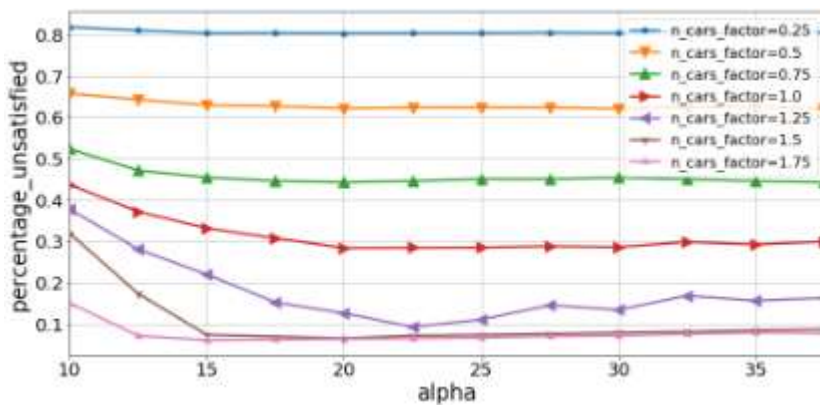


Figura 2

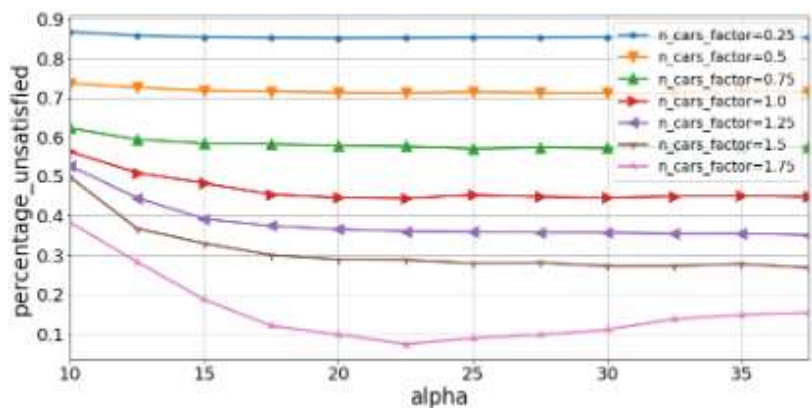


In alcune configurazioni, anche al crescere della domanda, tale valore 22.5 rappresenta anche il minimo sia della curva riguardante la *percentage no close cars* e la *percentage not same zone trips*. Il grafico della **figura 2** riguarda la configurazione con *requests rate factor*: 1.5 e *n\_poles\_n\_cars\_factor*: 0.1.

Anche aumentando *requests rate factor* a 2 si ottiene un andamento simile da parte della curva rosa, rappresentante *n cars factor*: 1.75 (**fig 3**).

Probabilmente ciò accade perché  $\alpha = 22.5$  corrisponde alla frazione di batteria per cui a Torino si può compiere la tratta più lunga percorribile nella zona prevista da car2go, ossia da Torino Sud all'aeroporto di Caselle.

Figura 3



## 2. SIMULAZIONI RIEPILOGATIVE CITTA' DI TORINO

Il procedimento seguito in questo set di simulazioni con lo scopo di studiare la risposta del sistema per quanto riguarda la città di Torino è stato il seguente, in modo da tenere conto delle numerose variabili nel sistema:

per ogni configurazione si rappresentano due grafici che presentano ordinate diverse: nel primo viene visualizzata la percentuale di insoddisfatti e nell'altro il monte ore complessivo dedicato alla relocation (ossia a guidare i veicoli verso la stazione di ricarica più vicina) nell'arco della simulazione.

Per prima cosa si fissa un valore medio di pole per vettura (0.13), un valore medio di *percentage zone* (0.1), dopodiché si studia l'andamento di tali grafici al variare della domanda (*requests rate factor*) e del numero di vetture (*n cars factor*). Siamo così in grado di valutare in queste condizioni quante vetture occorrono per soddisfare una data percentuale di utenti in un determinato contesto di domanda.

In seguito si fissa un valore a piacimento di *requests rate factor* e *n cars factor* e si rappresenta invece l'interazione tra i due parametri precedentemente fissati, ossia *cps zones percentage* e *n poles n cars factor*. Siamo così in grado di apprezzare l'incidenza del numero di pole sulla percentuale di soddisfatti e sui costi di relocation. Inoltre si evidenziano eventuali differenze tra gli scenari a seconda del numero di top zone in cui abbiamo deciso di spargere i pole. Tendenzialmente, a parità degli altri fattori, spargere i pole su più zone ci consente di ridurre i costi di relocation e diminuire la domanda insoddisfatta.

Fissati un valore di *cps zones percentage* e di *requests rate factor*, si valutano insoddisfatti e ore di relocation al variare del numero di pole e di vetture. Tale rappresentazione è particolarmente interessante poiché si evidenzia un chiaro *tradeoff* tra le due grandezze: in ogni caso rappresentato, per ottenere una data percentuale di utenti soddisfatti, si ha la possibilità di scegliere tra configurazioni diverse: numerose combinazioni di vetture e colonnine sono in grado di raggiungere il medesimo obiettivo dal punto di vista della percentuale di soddisfazione. Tendenzialmente all'aumentare dei charging pole e dei veicoli i costi di relocation diminuiscono, ma non sempre tale andamento è significativo.

Per la città di Torino si sono studiati tre scenari diversi a seconda della richiesta: bassa, media e alta intensità.

## 2.1 BASSA INTENSITA'

- **requests rate factor:** 0.33
- **n cars factor:** da 0.1 a 0.6, con passo 0.1
- **time\_estimation:** True
- **queuing:** True
- **alpha:** 25
- **beta:** 100
- **hub:** false
- **n poles n cars factor:** da 0.03 a 0.18 con passo 0.03
- **cps percentage zone:** da 0.05 a 0.2, con passo 0.05
- **relocation:** false
- **distributed\_cps:** True
- **cps\_placement\_policy:** "num\_parkings"
- **willingness:** 0

Figura 4

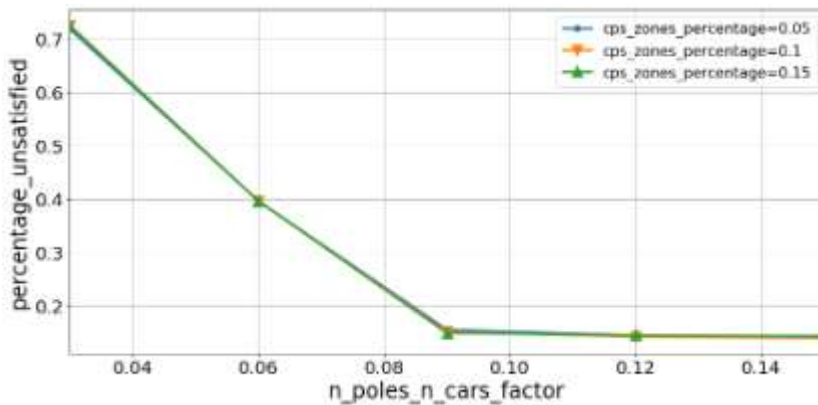
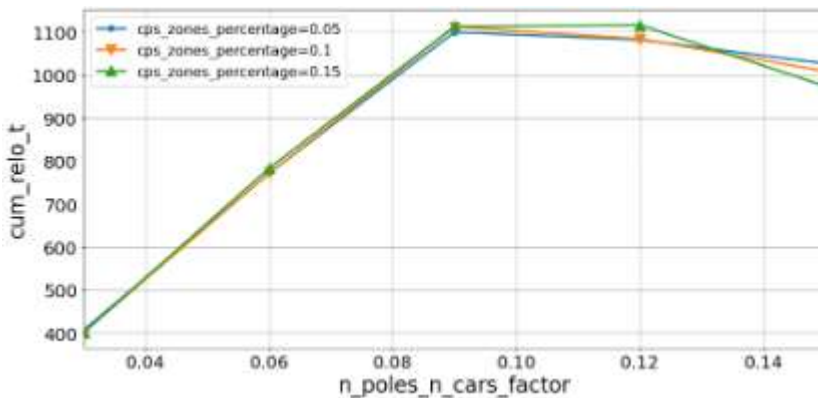


Figura 5



In ogni scenario è chiaro il miglioramento apportato dal numero di pole per vettura. Si nota una certa difficoltà a soddisfare la domanda nello scenario a bassa intensità (poco sotto al 20% di insoddisfatti nella migliore delle ipotesi). Nella **fig 4** e **fig 5** *n cars factor* è stato fissato a 0.3. Non si nota alcun miglioramento aumentando il numero di zone in cui posizioniamo i pole.

Cosa succede se aumentiamo il numero di veicoli portando *n cars factor* a 0.5?

Figura 6

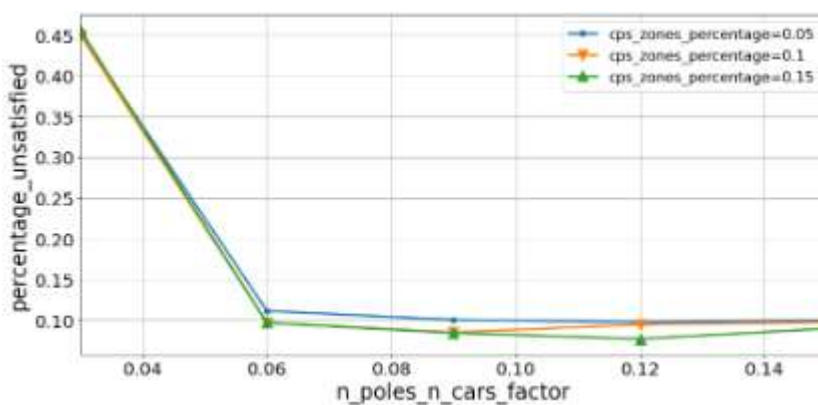
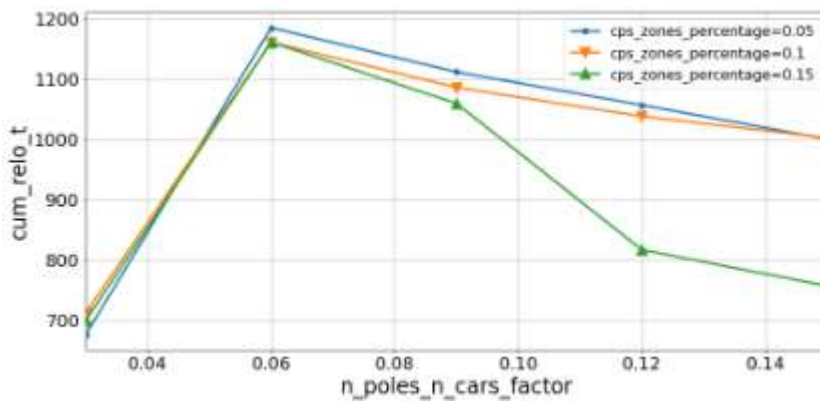


Figura 7



Diminuisce il numero di poles per vettura ma rimangono invariati dal punto di vista assoluto (11). La percentuale di insoddisfatti migliora in modo apprezzabile e, per un grande numero di pole si intravedono i benefici di un posizionamento più accurato delle colonnine (curva verde – *cps zones percentage* = 0.15).

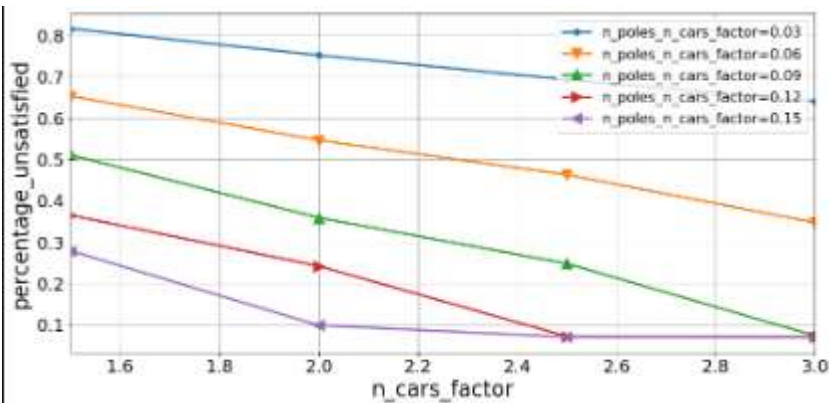
## 2.2 MEDIA INTENSITA'

- **requests rate factor:** 1
- **n cars factor:** da 0.5 a 1.75, con passo 0.25
- **time\_estimation:** True
- **queuing:** True
- **alpha:** da 5 a 95, con passo 10
- **beta:** 100
- **hub:** false
- **n poles n cars factor:** da 0.03 a 0.18 con passo 0.03
- **cps percentage zone:** da 0.05 a 0.2, con passo 0.05
- **relocation:** false
- **distributed\_cps:** True
- **cps\_placement\_policy:** "num\_parkings"
- **willingness:** 0

## 2.3 ALTA INTENSITA'

- **requests rate factor:** 3
- **n cars factor:** da 1.5 a 3, con passo 0.5
- **time\_estimation:** True
- **queuing:** True
- **alpha:** da 5 a 95, con passo 10
- **beta:** 100
- **hub:** false
- **n poles n cars factor:** da 0.03 a 0.15 con passo 0.03
- **cps percentage zone:** da 0.05 a 0.15, con passo 0.05
- **relocation:** false
- **distributed\_cps:** True
- **cps\_placement\_policy:** "num\_parkings"
- **willingness:** 0

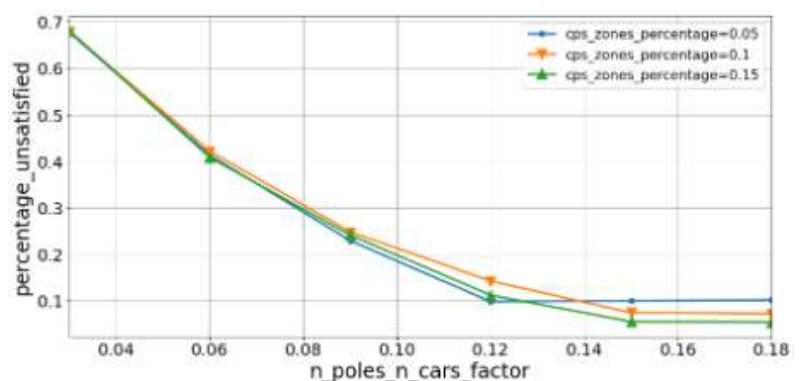
Figura 8



Aumentando il fattore *requests rate factor* a 3 le performance migliorano e in particolare si fanno sentire i benefici apportati da una zonizzazione dei pole più accurata (con il 15%, diminuisce la percentuale di *charge deaths* e il monte ore destinato alla relocation) e si fa

chiaro il tradeoff tra numero di vetture e di poles: la stessa frazione di insoddisfatti ( $\leq 0.1$ ) può essere raggiunta con *n cars factor* = 2 e *n poles n cars factor* = 0.15, *n cars factor* = 2.5 e *n poles n cars factor* = 0.12, oppure ancora *n cars factor* = 3 e *n poles n cars factor* = 0.09. Il rapporto tra numero di pole per vettura e domanda non è lineare: in uno scenario ad alta intensità non bastano più i 9 pole per 100 auto degli altri scenari ma ne servono 15 per scendere sotto al 10% di insoddisfatti. Si noti però che si raggiungono percentuali ancora migliori degli altri scenari. Questo perché diventa sempre meno probabile non trovare una vettura da parte di un utente.

Figura 9



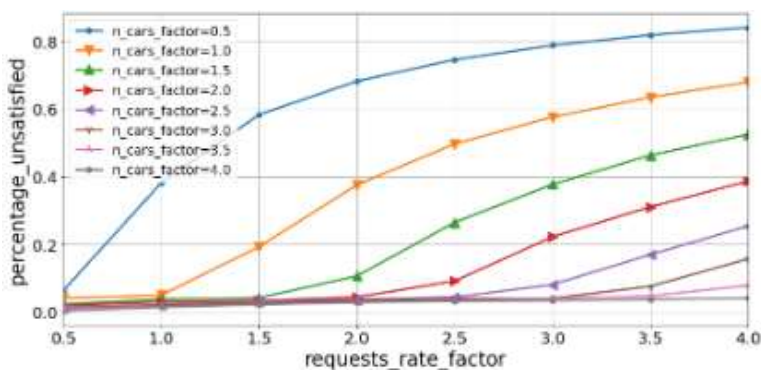


## CONFRONTO TRA CITTA'

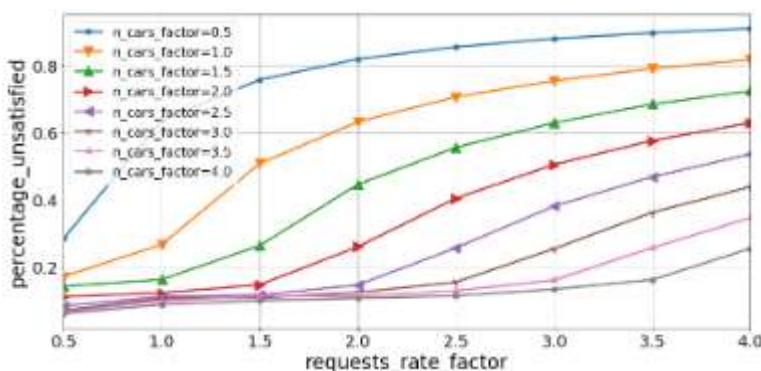
Per tutte e 5 le città presenti nel database (Torino, Milano, New York, Vancouver, Berlino) è stata effettuata una simulazione in modalità multiple runs con questi parametri:

- **requests rate factor:** da 0.5 a 4 con passo 0.5
- **n cars factor:** da 0.5 a 4, con passo 0.5
- **time\_estimation:** True
- **queuing:** True
- **alpha:** 27 per Milano, 25 per Torino, 44 per Vancouver, 45 per Berlino, 30 per New York.
- **beta:** 100
- **hub:** false
- **n poles n cars factor:** da 0.08 a 0.21 con passo 0.03
- **cps percentage zone:** da 0.05 a 0.2, con passo 0.05
- **relocation:** false
- **distributed\_cps:** True
- **cps\_placement\_policy:** "num\_parkings"
- **willingness:** 0

*Figura 10*



*Figura 11*



Nelle **figure 10 e 11** si sta facendo riferimento in particolare a una configurazione con  $n$  poles n cars factor: 0.13 e cps zones percentage: 0.2 rispettivamente per la città di Milano e di Berlino. Si nota la presenza due comportamenti diversi a seconda della città di



riferimento: Berlino e Vancouver sembrano poco gestibili nel caso di una domanda molto elevata (*request rate factor* a 4, **fig 11**). Milano (**fig 10**), Torino e New York raggiungono percentuali più soddisfacenti in questo scenario, con il dovuto numero di autovetture.

Figura 13

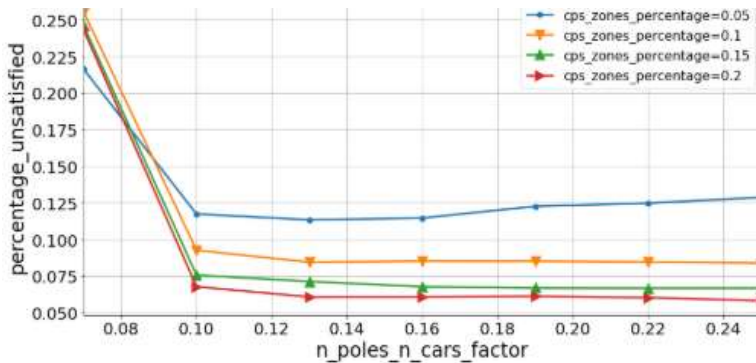


Figura 12

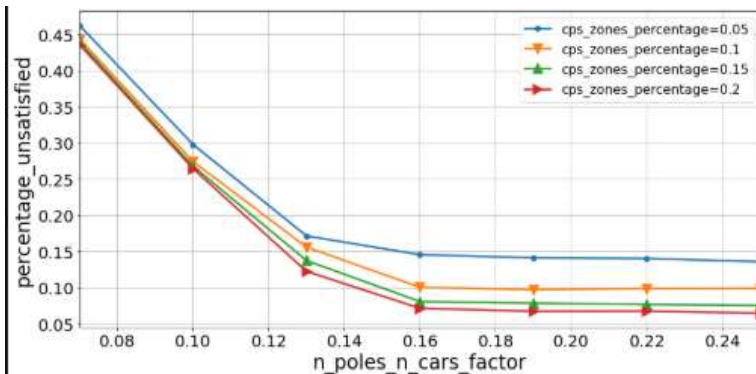
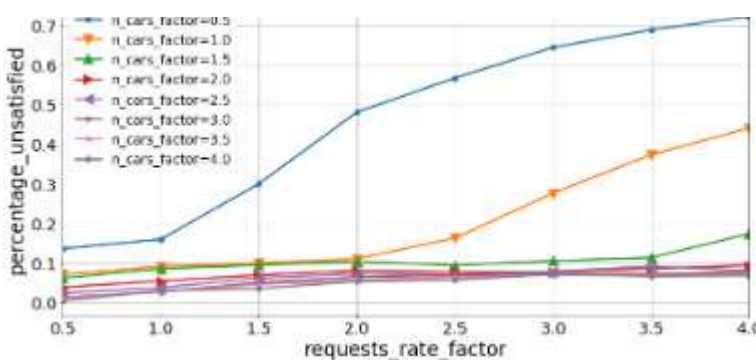


Figura 14



Quest'ultimo aspetto si denota chiaramente nel confronto tra Vancouver e Torino, dove nel caso di una domanda quadruplicata (*requests rate factor*: 4, *n\_cars\_factor*: 4) si riscontra un'ottima prestazione nella città canadese (**fig 13**) da 16 pole per 100 vetture in su, mentre nella città italiana ne bastano 10 (**fig 12**). In entrambi i grafici si intravede chiaramente l'importanza di una zonizzazione accurata (20%) che garantisce 5-6 punti percentuali in meno in quanto a insoddisfatti e anche costi di relocation tendenzialmente più bassi.

Un comportamento decisamente particolare è quello tenuto dalla città di New York, in cui sembra che al variare della domanda il numero di auto non faccia molta differenza (**fig 14**).

Tale comportamento si denota anche nel confronto con Berlino: all'aumentare nel numero di pole per vettura nella città statunitense non si intravedono particolari miglioramenti nella percentuale di insoddisfatti (**fig 15**), mentre a Berlino (**fig 16**), come in tutte le altre città, tendenzialmente un aumento dei pole per vettura causa una diminuzione degli insoddisfatti.

Figura 16

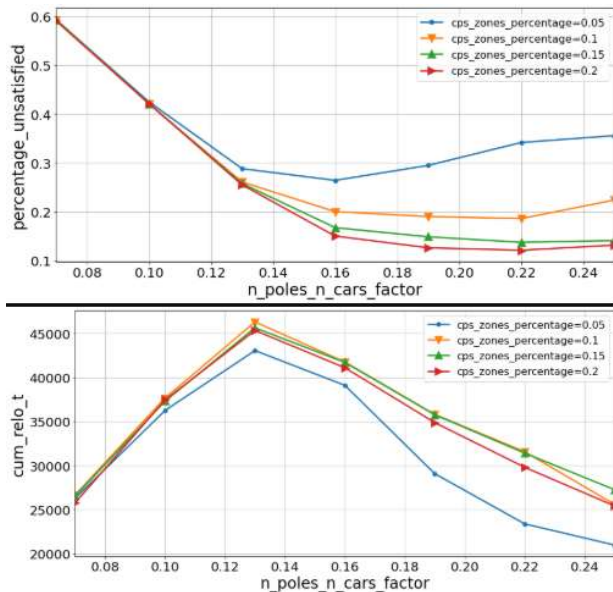
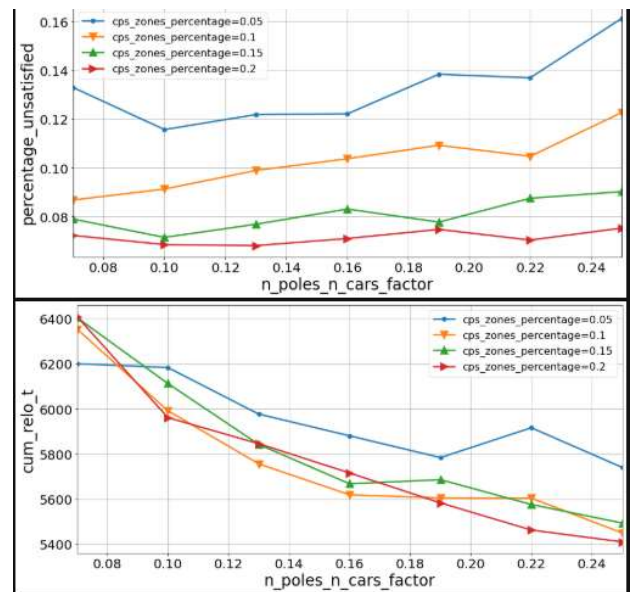
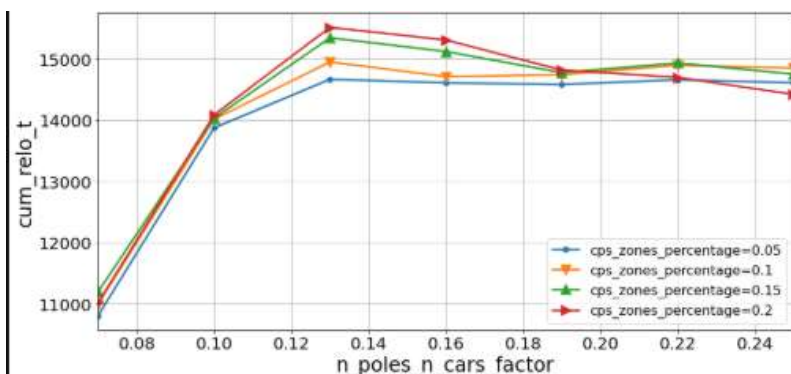


Figura 15



Altre particolarità riscontrate riguardano per esempio il monte ore destinato alla relocation (sostanzialmente a portare le vetture a ricaricare). Tendenzialmente in quasi tutte le città c'è una tendenza a diminuire tale ammontare all'aumentare del numero di pole poiché si riduce

Figura 17



il kilometraggio necessario a portare la vettura al primo pole disponibile da parte degli operatori. Tale tendenza non è uniforme in tutte le città: Milano (**fig 17**) sembra portare molti meno vantaggi rispetto a città come Torino e Berlino, in cui la curva è chiaramente discendente.

La stessa cosa succede con le vetture: anche in questo caso tendenzialmente un aumento delle vetture permette di avere più energia globalmente a disposizione e quindi si portano meno volte le vetture a ricaricare, a parità di domanda soddisfatta. Tale comportamento è particolarmente chiaro nella città di Berlino (**fig 18**), per esempio, mentre si verifica in maniera molto più attutita a New York (**fig 19**).

Figura 19

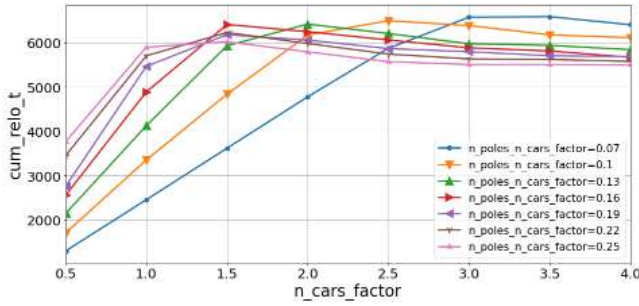
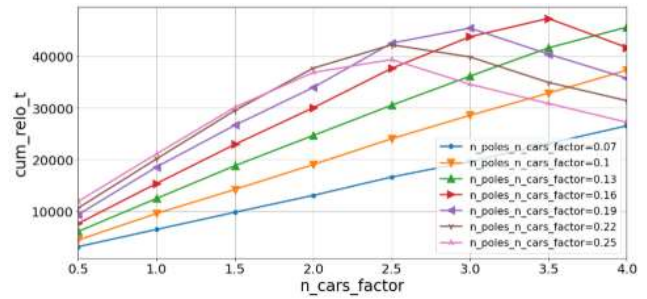


Figura 18



## SDR

Data la notevole quantità di parametri in gioco nell'analizzare i risultati di una simulazione, un indice in grado di racchiuderne alcuni al suo interno diventa importante specialmente nel confrontare scenari relativi a città diverse. Si è pensato di utilizzare un **SDR** (*Supply To Demand Ratio*):

$$SDR = \frac{\text{tot potential charging energy}}{\text{tot potential mobility energy}}$$

Definendo l'SDR in questo modo si è in grado di accorpare in esso informazioni sul parametro *requests rate factor*, che determina la richiesta di mobilità potenziale (non quella realmente soddisfatta, quindi), e di *n poles*, in grado di incrementare il numeratore, ossia l'offerta in termini di energia del FFCS.

L'indice SDR è in grado di determinare l'equilibrio (o lo squilibrio) tra domanda ed offerta in termini potenziali. Un indice SDR superiore a 1 significa che l'infrastruttura sta offrendo agli utenti più energia di quanta ne serva per soddisfare tutti le ipotetiche richieste di prenotazione. Un valore molto superiore a 1 è sintomo di uno squilibrio nell'infrastruttura di ricarica, così come un valore molto inferiore a 1 indica l'impossibilità di soddisfare in termini energetici la domanda potenziale.

Proviamo ad utilizzare l'SDR per confrontare due città come Milano e Vancouver. Immaginiamo di fissare un valore per la domanda, ad esempio *requests rate factor*: 4 e uno per il numero di vetture, ossia *n cars factor*: 4. Rappresentiamo la percentuale di insoddisfatti al variare dell'sdr per le due città:

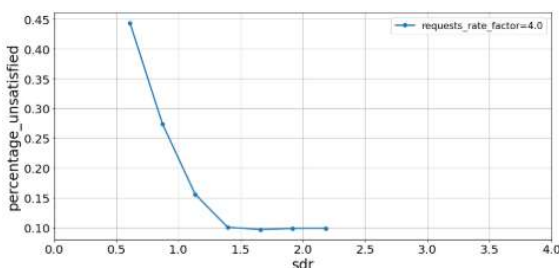


Figura 21

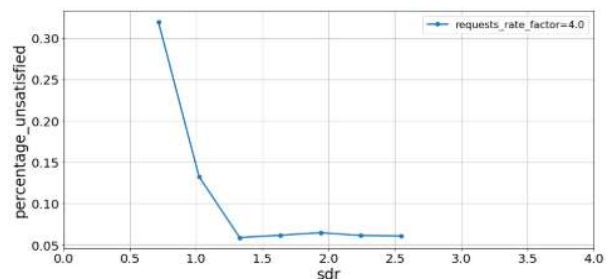


Figura 20

A Milano (**fig 20**), con un completo equilibrio tra domanda e offerta ( $SDR = 1$ ) la percentuale di insoddisfatti si attesta all'incirca al 13%, mentre a Vancouver (**fig 21**) la percentuale è vicina al 20%. Sembra che per soddisfare la stessa percentuale in entrambe le città sia necessario investire di più sulla città canadese. Il numero di viaggi in entrambe le città è sostanzialmente lo stesso, per cui la topologia della città e le abitudini degli abitanti possono fare la differenza in questo contesto.

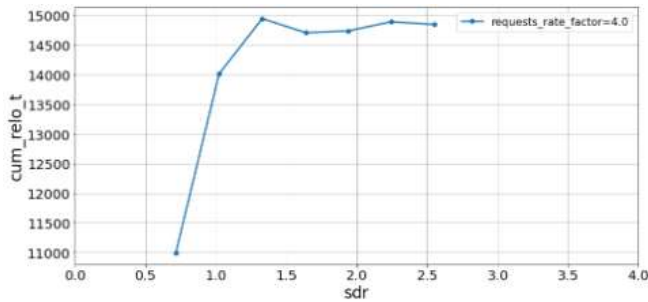


Figura 23

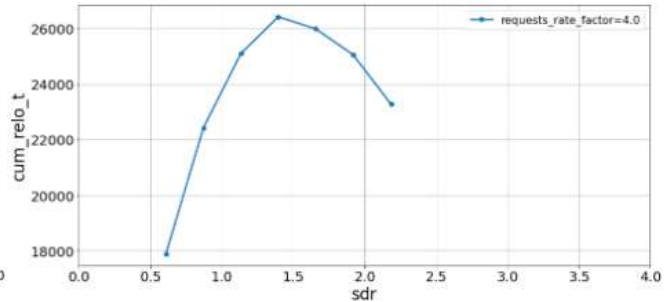


Figura 22

Coerentemente a quanto visto in precedenza, se sovradimensionassimo l'infrastruttura avremmo un guadagno in termini di ore di relocation a Vancouver mentre a Milano tale fenomeno appare fortemente limitato.

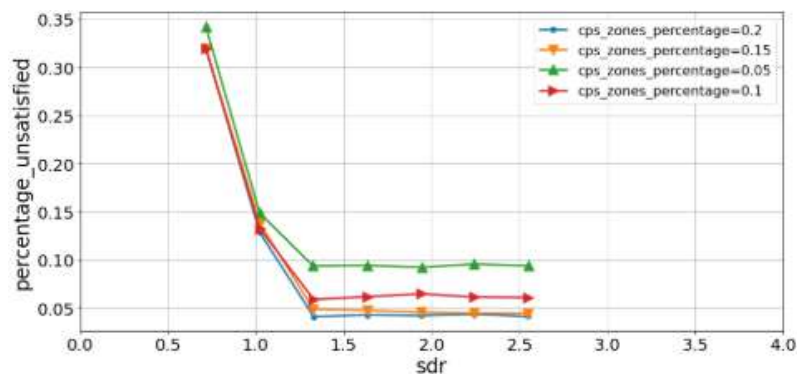


Figura 24

Data una percentuale di insoddisfatti, un aumento della *cps zones percentage* è in grado di diminuire l'sdr per cui tale valore è raggiungibile (**fig 24**, città di Milano).

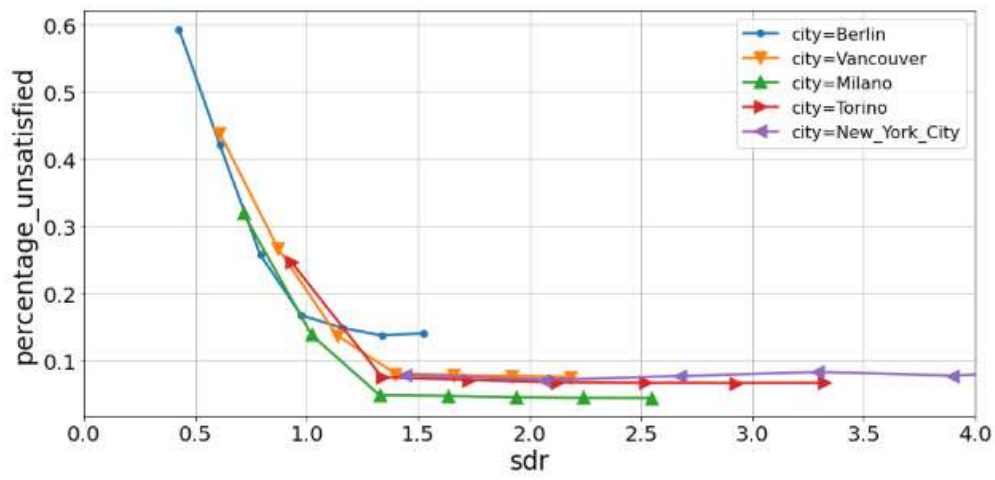


Figura 25

In **figura 25** sono state rappresentate le curve indicate in precedenza per tutte e 5 le città. I valori di riferimento sono:

- **requests rate factor:** 4
- **n cars factor:** 4
- **cps zones percentage:** 0.15

Emerge che dal punto di vista dell'infrastruttura Milano è in grado di soddisfare una maggiore percentuale di utenti con un indice SDR inferiore rispetto alle altre. Berlino invece si contraddistingue per un rapporto ben più sfavorevole. Le altre tre città hanno curve tendenzialmente simili, ma si nota un'evidente sottoutilizzazione dell'infrastruttura a New York dove anche per numero di poles relativamente bassi l'indice SDR non scende al di sotto di 1.4. La stessa tendenza sembra esserci anche a Torino. Si noti come tutte le curve tendano a stabilizzarsi per valori anche molto alti di SDR: ciò significa che un'infrastruttura sovradimensionata non porta sostanziali vantaggi alla percentuale di insoddisfazione degli utenti, se non all'interno di un'ottica di crescita del mercato.

Proviamo a diminuire il numero di vetture - **n cars factor:** 2. Come reagiscono le città?

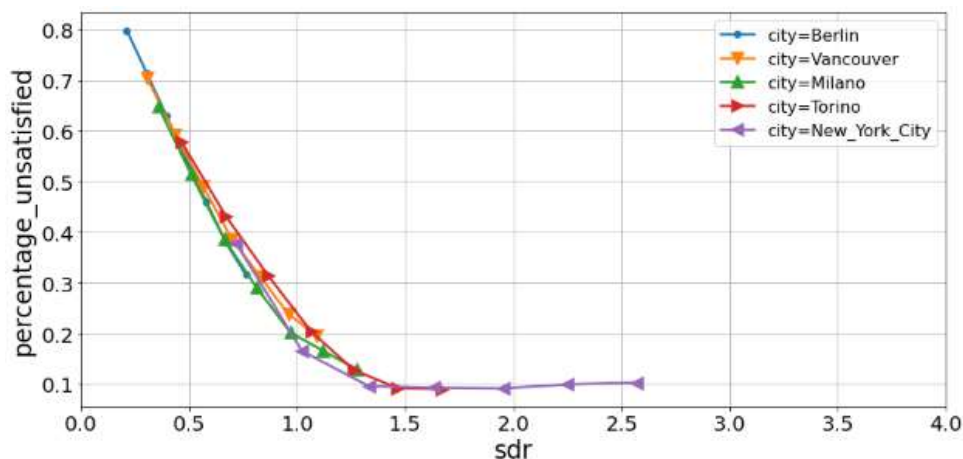


Figura 26

Le curve si spostano verso sinistra poiché, diminuendo **n cars factor**, diminuisce anche la quantità di pole e, a parità di richiesta, il numeratore diminuisce e quindi l'SDR diminuisce. Le città si troverebbero in difficoltà in questo scenario, con Torino e New York che, essendo tendenzialmente sovradimensionate in quanto a infrastruttura, raggiungerebbero performance migliori specialmente per valori di **n poles n cars factor** alti.

Proviamo a fissare invece l'infrastruttura e facciamo variare la richiesta.

- **n cars factor: 2**
- **n poles n cars factor: 0.13**
- **cps percentage zones: 0.15**

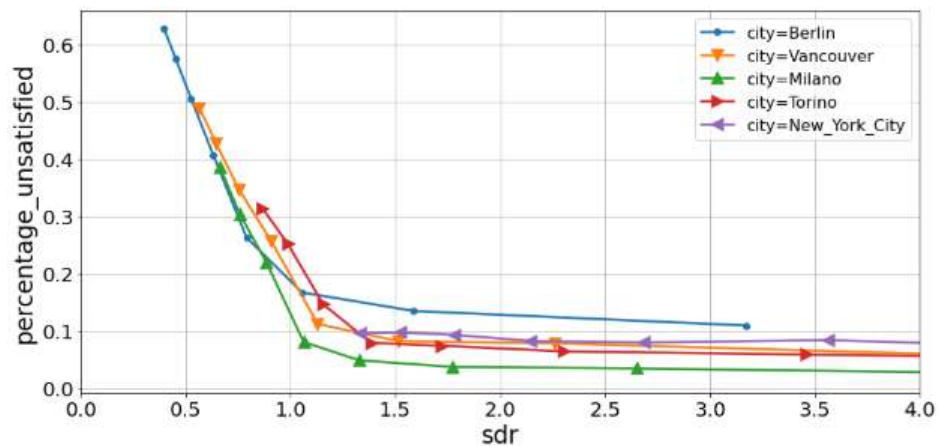


Figura 27

Anche in questo caso vengono confermati i comportamenti descritti in precedenza.