

3 SERIES

SEDAN E

< 3 SERIES OVERVIEW



BMW 3 SERIES Full Electric

Sistemi per la Propulsione Elettrica
Alma Mater Studiorum

Matteo Boccadoro
Francesco Bazzani
Nicola Arduini

10/05/2016

matteo.boccadoro@studio.unibo.it
francesco.bazzani2@studio.unibo.it
nicola.arduini@studio.unibo.it

Sommario

Sommario.....1

Introduzione e peso automobile.....2

Power Train Elettrico3

Batterie4

Massima Pendenza e Accelerazione7

Consumi8

Simulazione10



Introduzione e peso automobile

La scelta della macchina è stata dettata da canoni di eleganza, comodità, prestazioni e spazio. È stata scelta la BMW serie 3 in quanto rispecchia questi 4 canoni fondamentali, inoltre può essere un ottimo paragone per la nuova nata di casa tesla (Tesla Model 3) in quanto le due macchine presentano all'incirca gli stessi volumi, si andranno a posizionare nella stessa fascia di mercato e presentano un costo simile.

Dopo il rifiuto della casa automobilistica BMW di fornirci i dati tecnici della serie 3 senza motore, trasmissione, marmitta e serbatoio; quali prima di tutto peso e volumi recuperabili, abbiamo dovuto ridimensionare l'accuratezza della simulazione utilizzando dati di massima.

Il modello base al quale ci riferiremo è il 318i Sedan, avente un motore benzina da 1.5l:

Peso automobile [kg]	1'475
Volume [cc]	1'499
Potenza [kW] ([hp]) a [rpm]	100 (136)/4,400
Coppia [Nm] a [rpm]	220 / 1,250–4,300
Rapporto di Compressione	11.0

Il peso accurato del **motore** ci è purtroppo ignoto, ma analizzando i dati di altri motori simili possiamo attribuirgli un **peso** di circa **120kg** insieme alla trasmissione.

Per quanto riguarda il **serbatoio** da 60 litri e la **marmitta** si può approssimare il peso a circa **55kg** (il peso di 60 litri di benzina è di 43kg).

Arriviamo perciò ad ottenere un peso complessivo dell'automobile privata di motore a combustione e annessi di $1475 - 120 - 55 = 1300 \text{ kg}$.



Power Train Elettrico

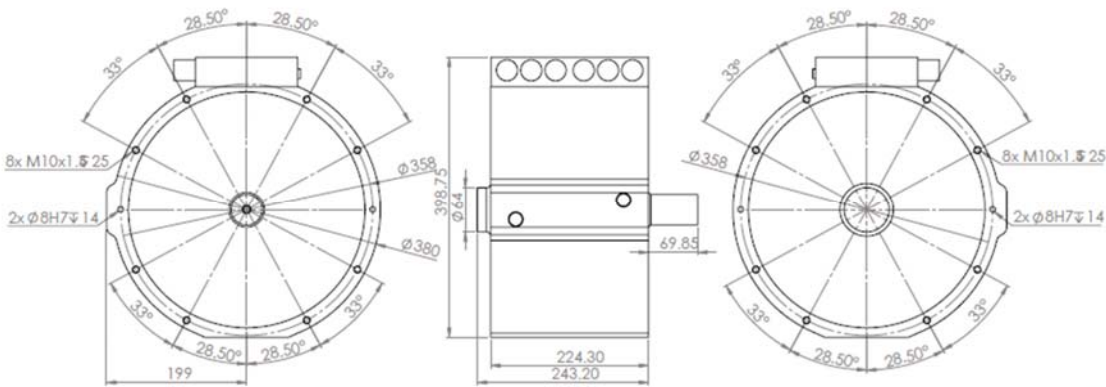
Aggiungiamo ora un Power Train Elettrico:

Motore e Azionamento: è stato scelto un motore da 188kW ovvero 255cv (in modo da eguagliare la potenza fornita dall’auto prima del cambio di power train). Dal peso di **94 kg** (azionamento incluso da 12kg). Di seguito la scheda tecnica.

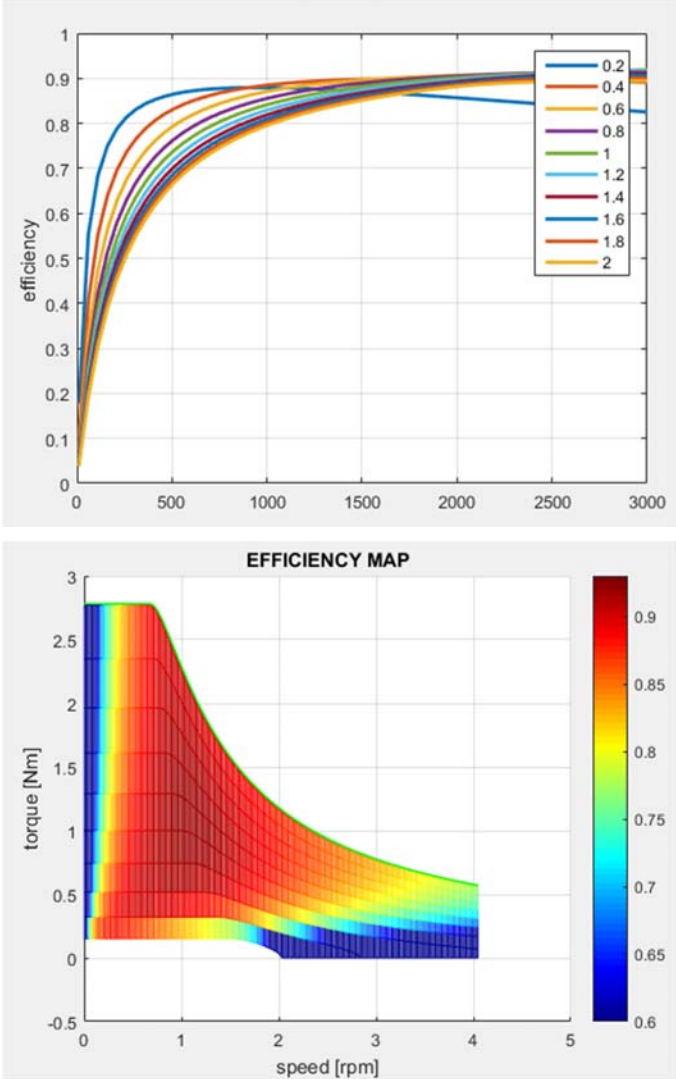
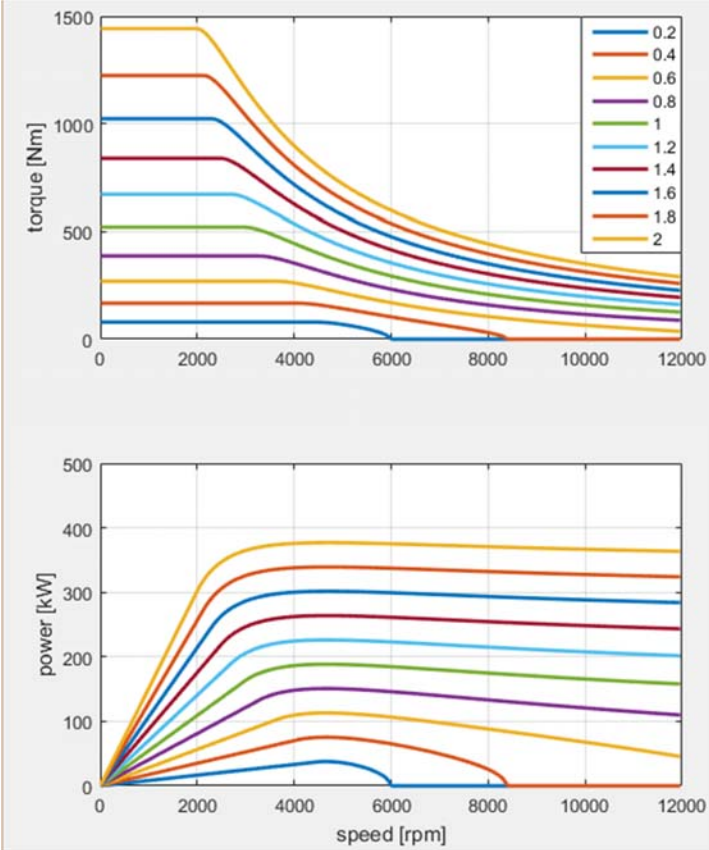
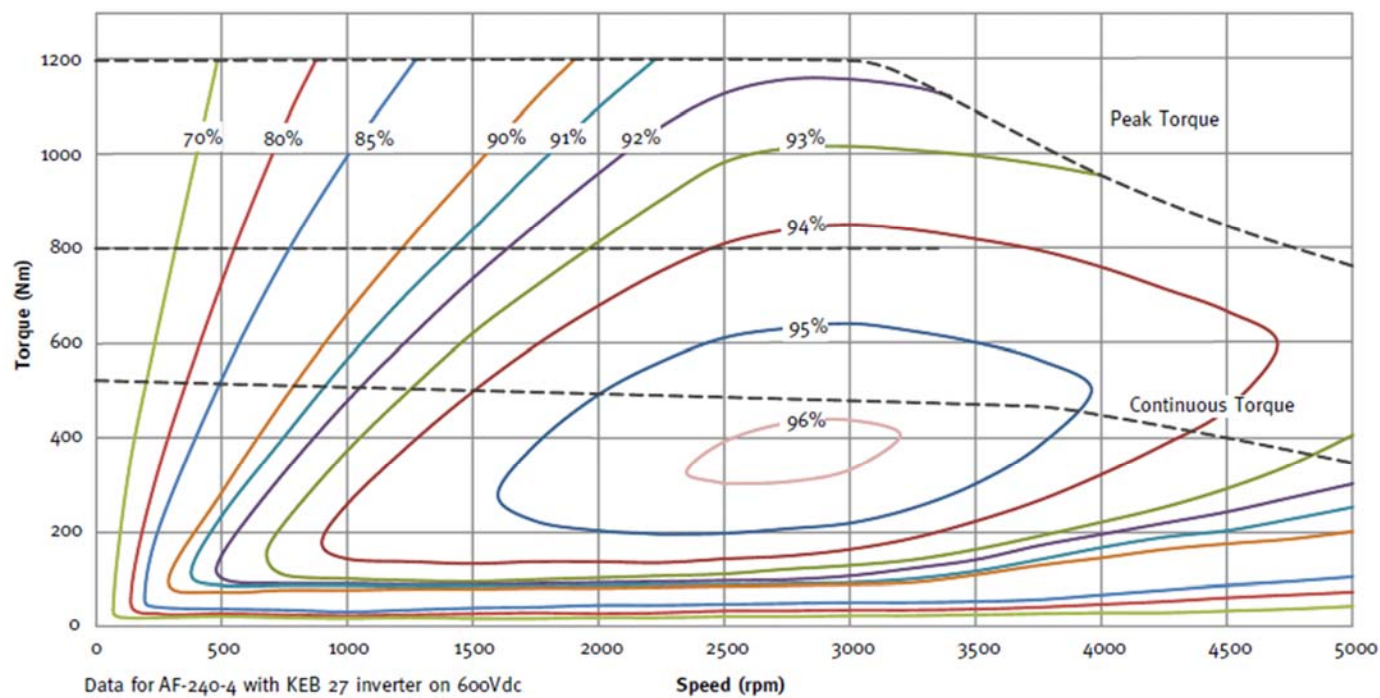
Abbiamo scelto il motore AF-240-3 perché ritenuto il più idoneo. Ha una coppia nominale di 520Nm mantenuta costante fino al punto base che si trova attorno ai 2300rpm. La scelta di una coppia molto alta mantenuta costante per un numero più limitato di giri è stata fatta in modo da limitare il rapporto di trasmissione e quindi le perdite (con un motore di simile potenza ma con coppia base 350Nm mantenuta fino a 4000rpm avremo dovuto optare per un rapporto di trasmissione pari a 15-20 che oltre che impensabile per dimensioni e peso costringe il motore a lavorare sempre a velocità mantenute aumentando le perdite nel ferro e nel rame. I datasheet incompleti si hanno obbligato a simulare un motore che in realtà non è esattamente quello scelto (a causa della mancanza di dati sui parametri induttivi e di eccitazione) cercando di attenerci alla coppia nominale mantenuta fino alla velocità del punto base e al rendimento. Di seguito il confronto tra le curve fornite dai datasheet e quelle ottenute dalle simulazioni. È stato inoltre scelta la tensione di esercizio più bassa possibile in modo da contenere i costi l’ingombro e il peso dei componenti elettronici di potenza.



	AF-240
Maximum Speed	5000 rpm
Nominal Torque	520 Nm
Peak Torque (for up to 60s*)	800 Nm
Peak Torque (for up to 20s*)	1200 Nm
Nominal Output Power	188 kW
Peak Output Power (for up to 60s*)	300 kW
Peak Output Power (for up to 20s*)	400 kW
Peak Efficiency	96.2%
Dimensions (L x D) mm	224 x 380 at 82 kg
Inverter Supply Voltage	320V dc — 600V dc



MOTOR TYPE	MOTOR CONSTANT		BASE SPEED/INVERTER SUPPLY VOLTAGE			
	KR (NM/A)	KG (VS/RAD)	320 VDC	360 VDC	480 VDC	600 VDC
AF-240-3	1.34	1.08	2300 rpm	2600 rpm	3600 rpm	n/a
AF-240-4	1.78	1.44	1700 rpm	1950 rpm	2650 rpm	3400 rpm
AF-240-5	2.23	1.81	1350 rpm	1550 rpm	2150 rpm	2700 rpm
AF-240-6	2.68	2.17	1100 rpm	1300 rpm	1750 rpm	2250 rpm

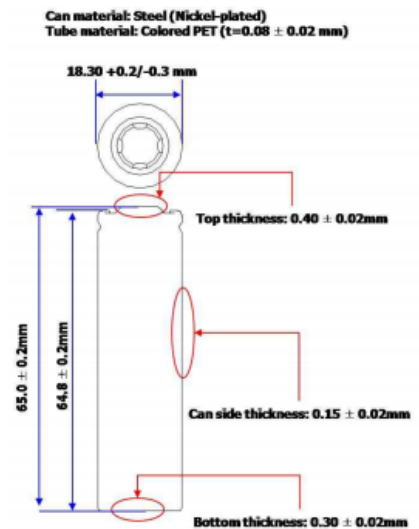


Batterie

Batterie: le batterie al litio per applicazioni automotive hanno una densità energetica di **0.2 kWh/kg** per ottenere una autonomia sufficiente supponiamo di introdurre nella macchina **56kWh** di batterie per un peso totale di **350 kg**.

Utilizziamo delle batterie **LG ICR18650HD2C** aventi le seguenti caratteristiche tecniche:

Capacità:	$C = 2100$	[mAh]
Tensione massima:	$V_{MAX} = 4.0$	[V]
Tensione Media di Scarica:	$V_{mean} = 3.65$	[V]
Tensione di CUT – OFF:	$V_{CO} = 2.6$	[V]
Peso:	$P = 48$	[g]
Resistenza Interna:	$R_{@1kHz} = 20$	[mΩ]
Tensione Massima di Ricarica:	$V_{CHARGE} = 4.2$	[V]



Singolo Pacco: La tensione richiesta dal motore è di circa 320V al bus DC. Ho inoltre il vincolo del Battery Management System (BMS) nel quale ogni generico modulo può gestire un massimo di 8 celle. Dobbiamo quindi trovare un multiplo di 8 che ci fornisca la tensione desiderata. Utilizzo un *pacco da 88 batterie*:

Tensione Media:	$V_{mean} = 3.65 \cdot 88 = 321,2 = 320$	[V]
Tensione Massima:	$V_{Max} = 4.0 \cdot 88 = 352$	[V]
Tensione Minima:	$V_{CO} = 2.6 \cdot 88 \cong 228,8$	[V]

Peso: ora per restare all'interno dei limiti di peso prefissati, il pacco batterie dovrà pesare all'incirca 350kg per cui:

$$\frac{350kg}{48g} * 1000 = 7'291.6$$

allora: $\frac{7291.6}{88} \cong 83$ che sono i pacchi di 88 batterie che andremo a mettere nel veicolo

Ricalcolo il peso effettivo: $88 \cdot 83 \cdot 48 = 350,6[kg]$

Energia:

L'energia totale è:

$$2.1 Ah \cdot 83 = 174,3 Ah \text{ (a circa 320V)}$$

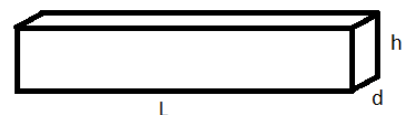
$$174,3Ah \cdot 321,2V = 55,98 kWh$$

Volume: nei singoli pacchi le celle sono tutte in fila, 4 file da 22 celle:

$$L_{pacco} = 6,5cm \cdot 2 = 143cm$$

$$d = 1,83 \cdot 4 = 7,32cm$$

$$h = 1,83 mm$$

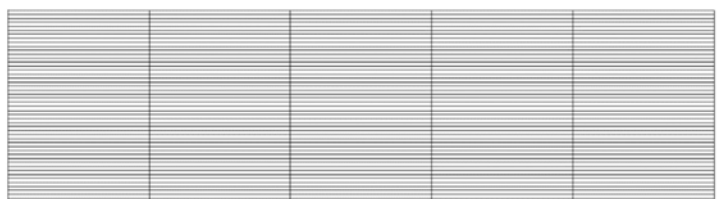


Il layout del pacco totale da 83 pacchi:

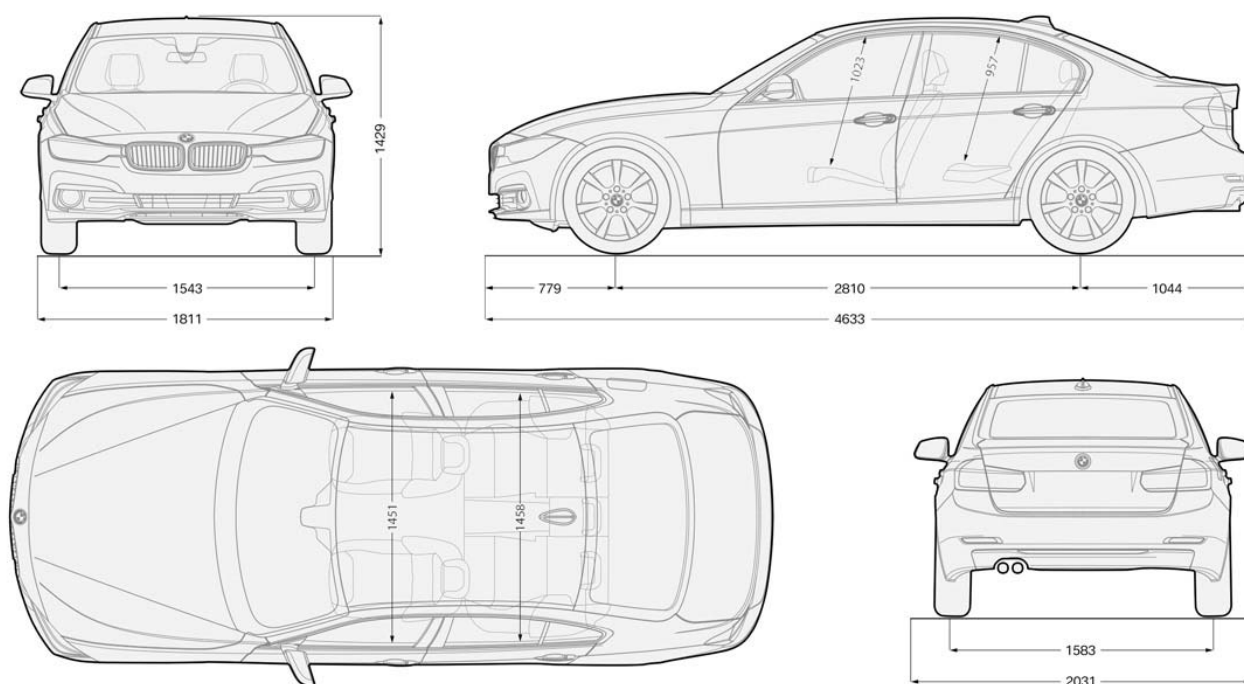
$$L_{tot} = 286cm \quad D_{tot} = 7,32 \cdot 42 = 176cm$$

Il pacco avente altezza 1,83cm, occupa un volume totale di $V_{tot} = 2,86 \cdot 1,76 \cdot 0,0183 = 0,092 m^3$

Confrontandolo con le dimensioni disponibili nel veicolo, in particolare lo spazio tra i semi assi e le ruote, si vede



come il pacco sia effettivamente alloggiabile all'interno del veicolo, al di sotto dei sedili nello spazio occupato prima dalla marmitta.



Calcoliamo ora il **peso totale**:

$$1300 + 350 + 94 = \mathbf{1'744 \text{ kg}}$$

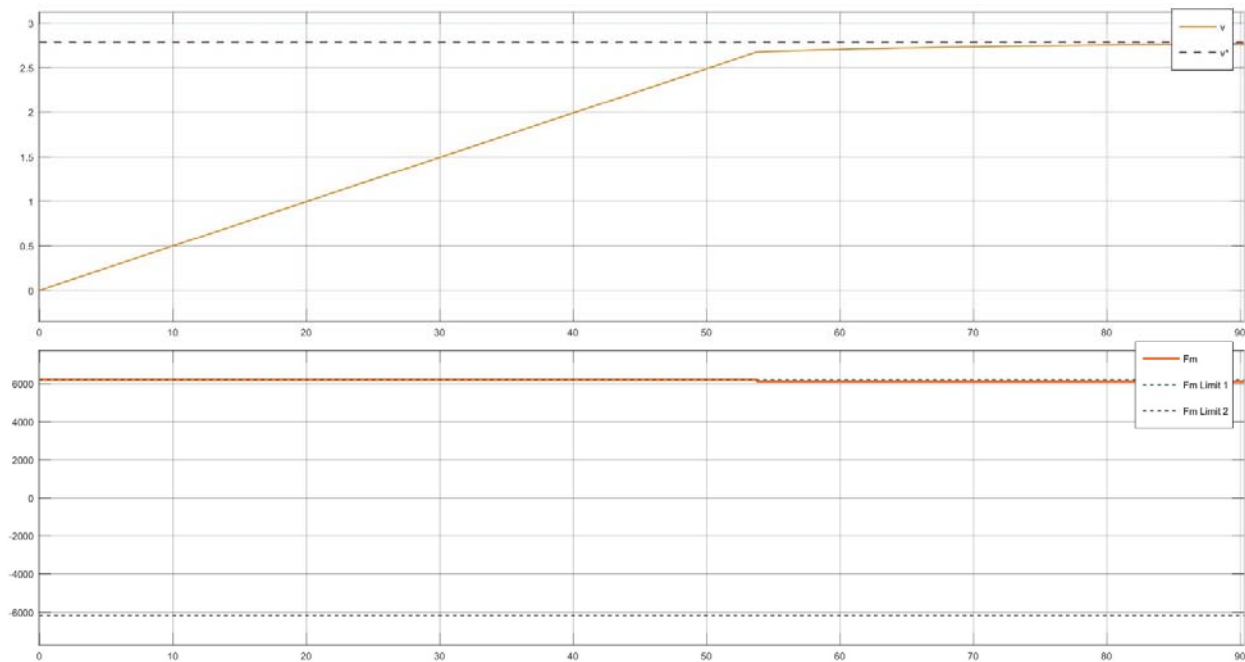
Ovvero il **18% in più** rispetto alla gemella a combustione, questo è anche giustificato dall'assenza di ulteriori attenzioni nei materiali utilizzati.

In linea con le aspettative, ovvero, se confrontassimo altre due macchine aventi simili caratteristiche di volumi occupati e classi di mercato quali ad esempio la BMW serie 5 (dal peso di circa 1700kg) e la Tesla Model S (dal peso di circa 2000kg) troveremmo un aumento di peso nel passaggio da combustione a elettrico pari a **circa il 18%**.

Massima Pendenza e Accelerazione

Pendenza Massima

Abbiamo definito come massima pendenza superabile dalla macchina come il massimo valore di pendenza per il quale la macchina è in grado di raggiungere la velocità di 10 km/h in linea retta. La macchina è stata in grado di superare una pendenza massima del 36.5% , raggiungendo la velocità di 2.78 m/s – pari a 10 km/h - in 87.5 s.



Un'ulteriore calcolo è stato quello della massima pendenza sormontabile dal veicolo stesso considerandone solo dimensioni, peso e baricentro il cui valore è risultato molto più alto di ciò che il motore è riuscito a fornire (pendenze dell'ordine del 70% quasi paragonabili ad una Jeep Cherokee).

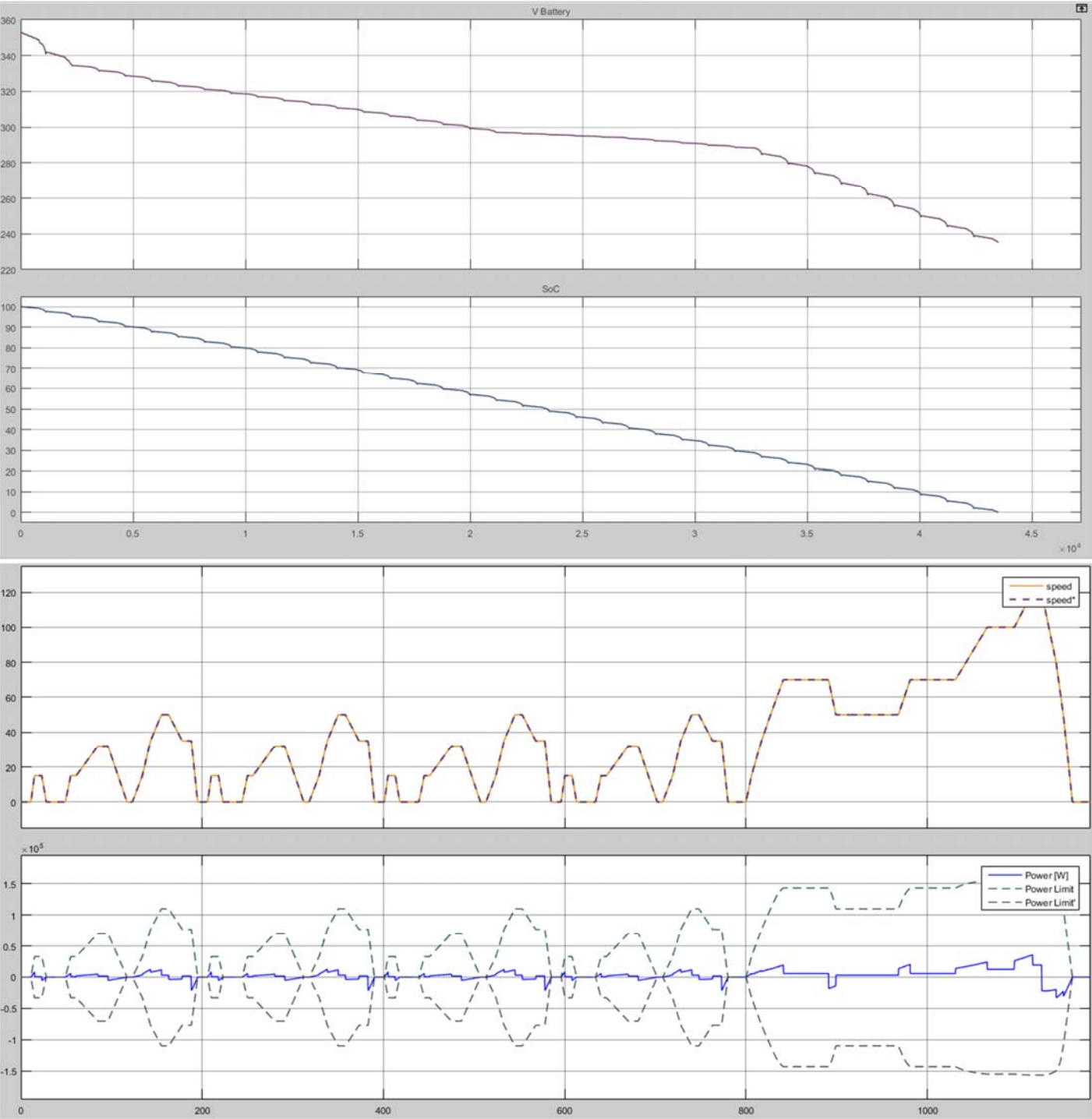
Accelerazione massima:

$$\mu_{MAX} = 0.95 \quad F_{track_w} = \mu_{MAX} \cdot N_w = 0.95 \cdot 1864 \cdot 9.81 \cdot \frac{1}{2} = 8'685$$

$$\Rightarrow a_{MAX} = \frac{F_{track_w}}{m_v} = 4.66 = \mathbf{0.475 \text{ G}}$$

Ma questa accelerazione è quella ottenibile con una macchina di quel peso e un coefficiente d'attrito di quel valore, il motore in realtà riesce a dare (considerando la coppia nominale alle basse velocità e il rapporto di trasmissione scelto in base alle caratteristiche che volevamo ottenere) una accelerazione massima pari a: $a_{MAX} = 3.334 \text{ m/s}^2 \rightarrow \mathbf{0.34G}$ per bassissimi regimi.

Consumi



Valori commerciali:

<i>Autonomia NEDC:</i>	<i>414,7 km (consumo medio 124,2 Wh/km)</i>
<i>Autonomia Urbana:</i>	<i>400 km (consumo medio 128,4 Wh/km)</i>
<i>Autonomia Extraurbana:</i>	<i>256 km (consumo medio di 201 Wh/km)</i>
<i>Autonomia ai 70 km/h:</i>	<i>397 km</i>
<i>Autonomia ai 120 km/h:</i>	<i>220 km</i>
<i>Autonomia ai 130km/h:</i>	<i>206 km (consumo medio di 251 Wh/km)</i>
<i>0 – 100 km/h:</i>	<i>8.05 sec</i>
<i>Velocità massima:</i>	<i>210 km/h</i>

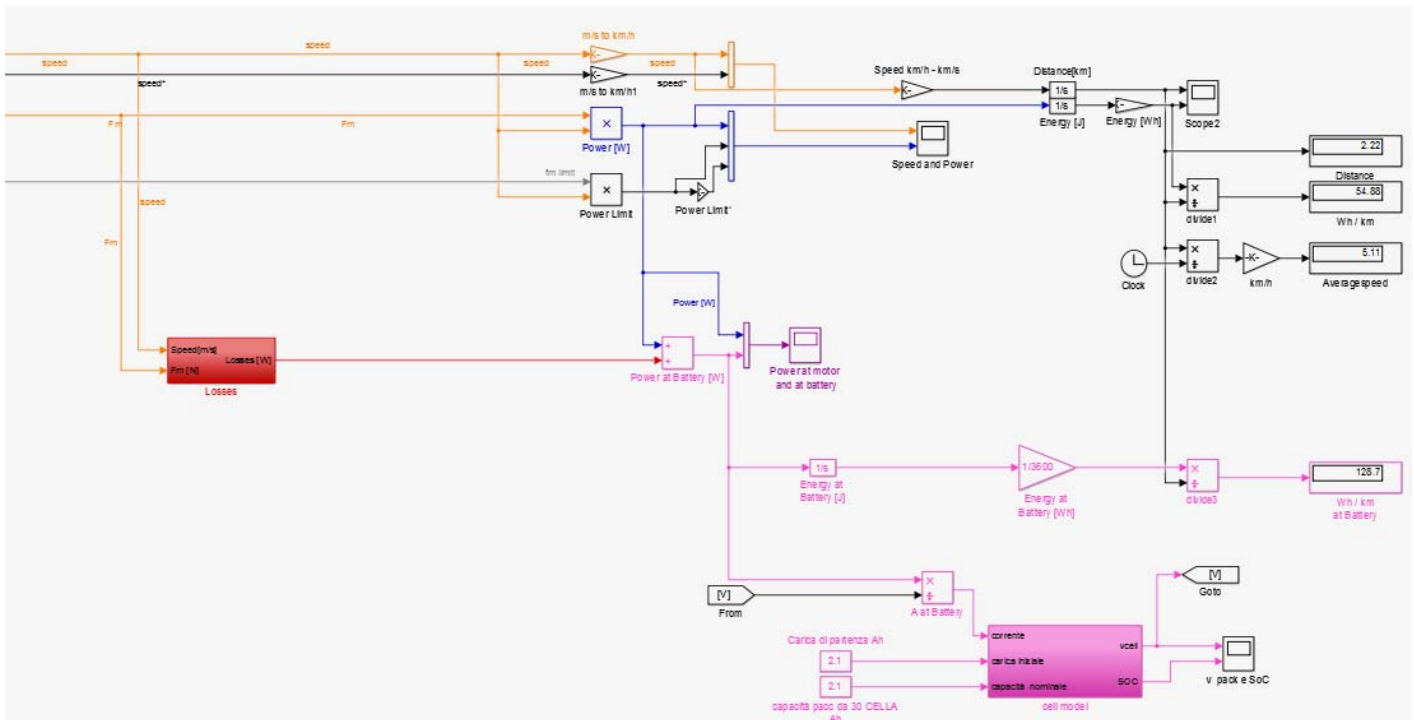
Con un rapporto di trasmissione pari 4,3 abbiamo ridotto le perdite e l'ingombro meccanico ed aumentando la velocità massima raggiungibile ma la macchina ne risente in accelerazione massima.

La scelta di un motore da soli 188kW fa "soffrire" la macchina dal punto di vista dei consumi che sono molto variabili in funzione della velocità. Si può pensare di utilizzare due motori.

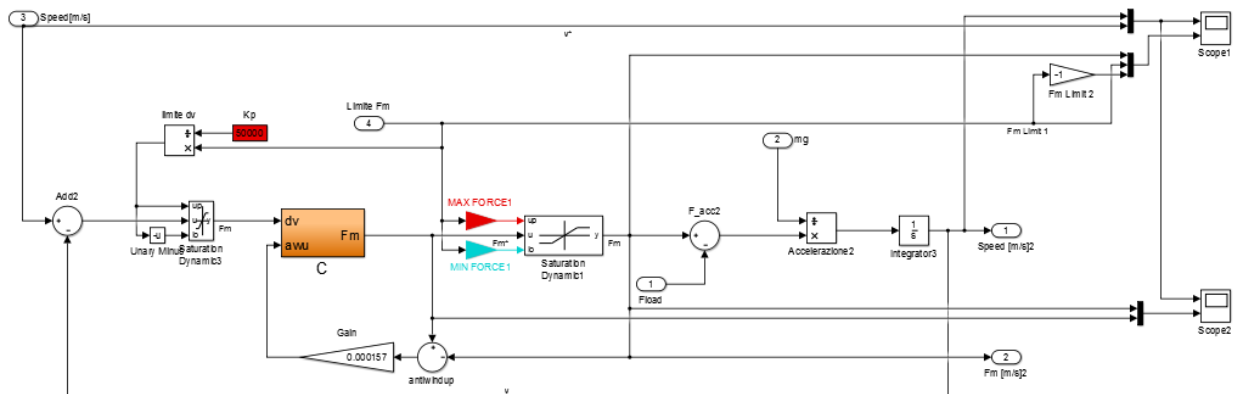
Nella simulazione dei percorsi cittadini, NEDC ed extraurbani le frenate sono considerate rigenerative al 100% andando ad aumentare l'autonomia stimata, in quanto il simulatore non prevede la simulazione dei freni classici. Si potrebbe correggere questo valore con un coefficiente moltiplicativo da inserire nel momento in cui la potenza diventa negativa ma l'approssimazione non rispecchierebbe comunque la realtà.



Simulazione



Calcolo delle potenze/perdite/scarica della batteria, noti i valori di velocità, velocità imposta, Forza motrice, limiti FM



Regolatore di velocità con saturazione dinamica dell'errore di velocità per una maggiore reattività.