

Mechanical Design Methods in Robotics

Reverse Engineering del Solar Robot “Crab Version”



Questo progetto prevede la modellazione e la realizzazione del robot Solar Robot in scala 2:1 in configurazione “Crab”.

Il robot è un tipo molto semplice di “leg” robot, si muove cioè non su ruote ma su delle “gambe”. Il motore posto dentro al corpo trasmette tramite una serie di ingranaggi il moto a delle ruote (nere nella foto sopra) che girando fanno muovere le gambe, fissate con un pin alle ruote e che percorrono un’asola. Le gambe sollevano tutto il corpo e lo fanno muovere lateralmente.

Due di queste gambe sono collegate tramite dei braccetti alle chele del granchio, che si aprono e chiudono per una funziona puramente estetica.

Per la modellazione e il montaggio del Solar robot, abbiamo diviso il lavoro in tre passaggi:

1. Sketch dei pezzi su carta
2. Modellazione dei pezzi su Creo e simulazione dinamica dell’assembly finale
3. Rifinitura e stampa 3D dei pezzi (con Ultimaker Cura) e montaggio finale

1. Sketch dei pezzi su carta

Abbiamo schematizzato i pezzi assegnati al nostro gruppo riportando tutte le misure necessarie al successivo modellamento su Creo. Abbiamo fatto tutto con proiezioni ortogonali per avere una visione da tutte le viste.

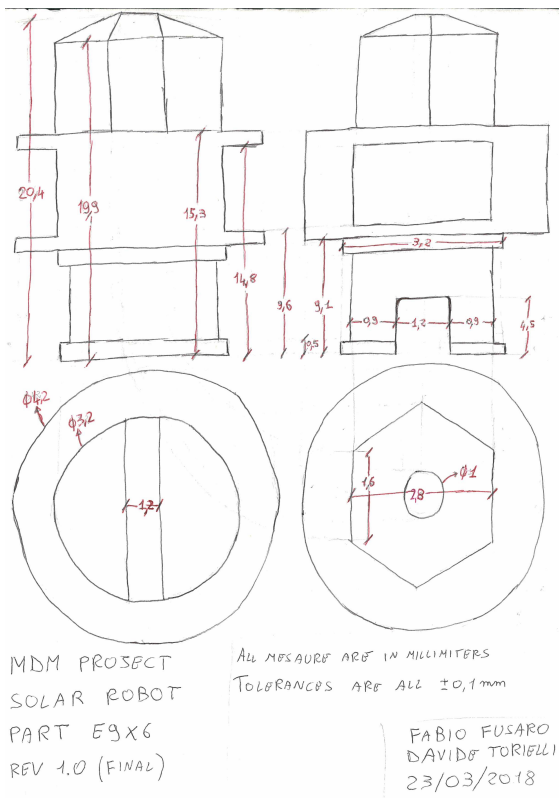
Le misure sono state prese con un calibro digitale con un errore di $\pm 0.1\text{mm}$.

A questi errori vanno aggiunti quelli dovuti alle misurazioni complicate cioè quelle delle parti dei pezzi difficili da misurare o raggiungere.

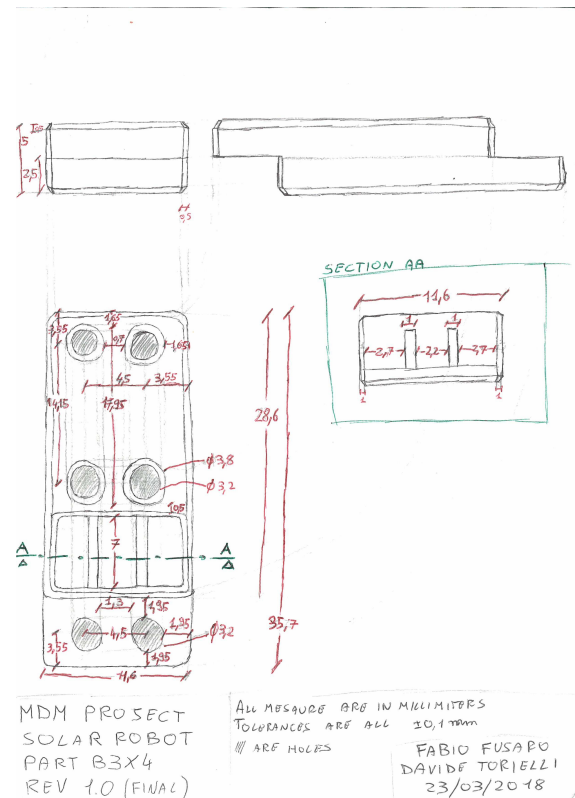
Abbiamo comunque indicato tolleranze $\pm 0.1\text{mm}$ per tutti i pezzi.

Le scale per i vari pezzi non sono importanti, così come non lo sono il fatto di avere cerchi perfetti e linee dritte. Questi sono solo degli sketch dove l'importante è capire le misure delle varie dimensioni.

E9

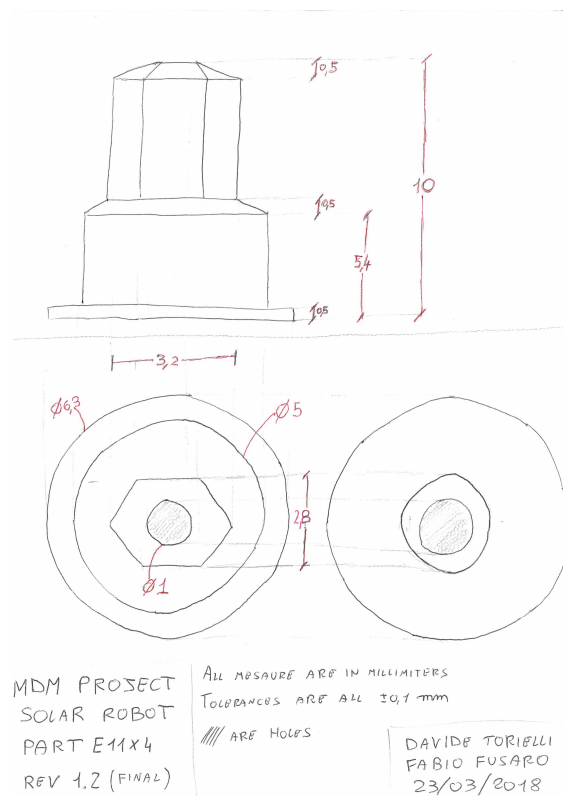
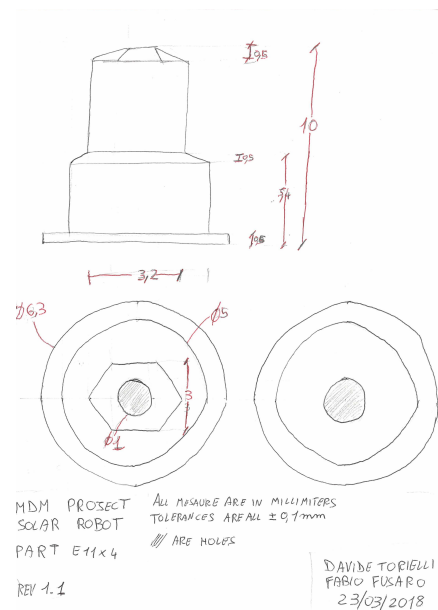
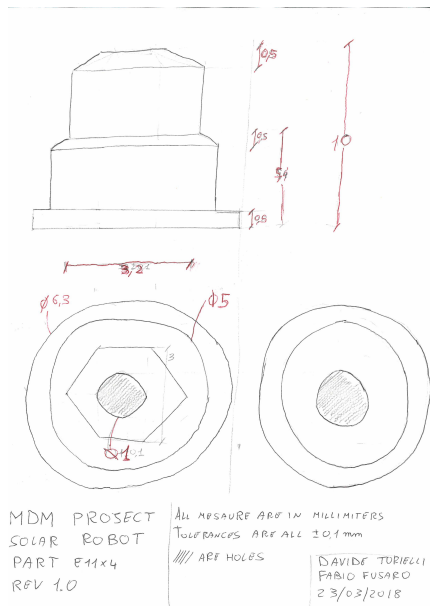


B3



La sezione AA per il pezzo B3 è stata necessaria per capire le misure interne.

E11



Per il pezzo E11 sono state invece necessarie delle revisioni in quanto le prime due si erano rivelate sbagliate.

2. Modellazione in Creo e analisi dinamica

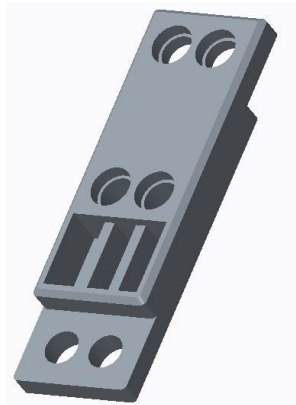
I pezzi disegnati sono stati poi modellati su Creo: un software per la modellazione 3D che consente anche di analizzare dinamicamente l'assembly finale.

Essendo questi pezzi geometricamente semplici (ci sono solo forme geometriche planari come rettangoli e cerchi) per modellarli in Creo bastano delle serie di estrusioni, stando attenti a settare le misure corrette. Non avendo ingranaggi o parti complicate da modellare non sono necessarie le relazioni (equazioni di vincoli) e parametri che modellano, ad esempio, i denti dell'ingranaggio. Abbiamo visto che modellare i pezzi direttamente dallo schema disegnato è abbastanza difficile, in quanto è facile dimenticarsi una misura o prenderla da una parte "scomoda". Quindi è sempre utile avere sotto mano i pezzi reali.

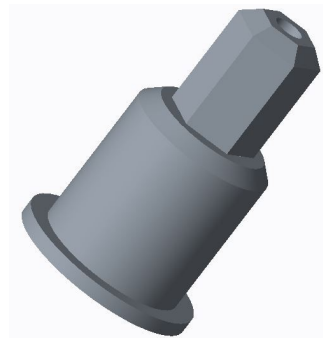
E9



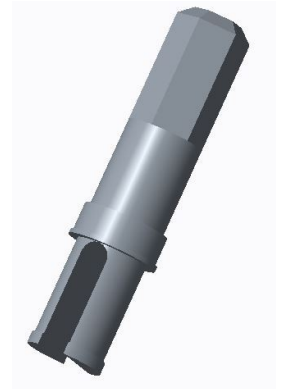
B3



E11



E10



Nelle foto sopra ci sono i pezzi modellati in Creo. Sotto, le versioni reali (1x)

Da ricordare che per tutti i pezzi va specificato il materiale; altrimenti sarebbe "unknown" con una densità settata di default a valori altissimi. Per lo scopo del progetto va bene scegliere un qualsiasi tipo di plastica ad esempio nylon.

Per i vari assembly abbiamo preso le altre parti modellate da altri colleghi. Molti di questi li abbiamo modificati per adattarli al nostro robot.

I pezzi singoli e gli assembly vanno collegati tramite joint; per noi erano necessari solo quelli più semplici: pin (pure rotazioni), e asole. Vanno inoltre settati i vincoli per questi joint e per tutte le parti fisse (rigide): per questo abbiamo usato vincoli di coincidenza, parallelismo e orientamento.



Assembly finale in Creo

Per l'analisi dinamica abbiamo utilizzato l'applicazione Gears di Creo.

Prima vanno inseriti gli accoppiamenti tra gli ingranaggi; tutti sono semplici e le relazioni tra i cerchi di passo (da noi settati) tra ogni coppia sono tutti 1:1 o 1:2.

Abbiamo poi impostato la gravità (impostando una direzione corretta) e gli attriti statici e dinamici tra i vari joint (considerando come materiale il nylon: un attrito statico di 0.25 e dinamico di 0.2).

Il motore va collegato all'ingranaggio giusto e con una potenza adatta al robot e al motore utilizzato. Quella settata da noi è impostata in base ai giri del motore, scelto a 180 deg/s.

Visti gli accoppiamenti tra gli ingranaggi, abbiamo verificato che le ruote attaccate alla gambe ruotino ad una velocità che è metà di quella del motore (90 deg/s).

Questo perché il moto è trasmesso via una serie di ingranaggi il cui rapporto finale è 1:2:

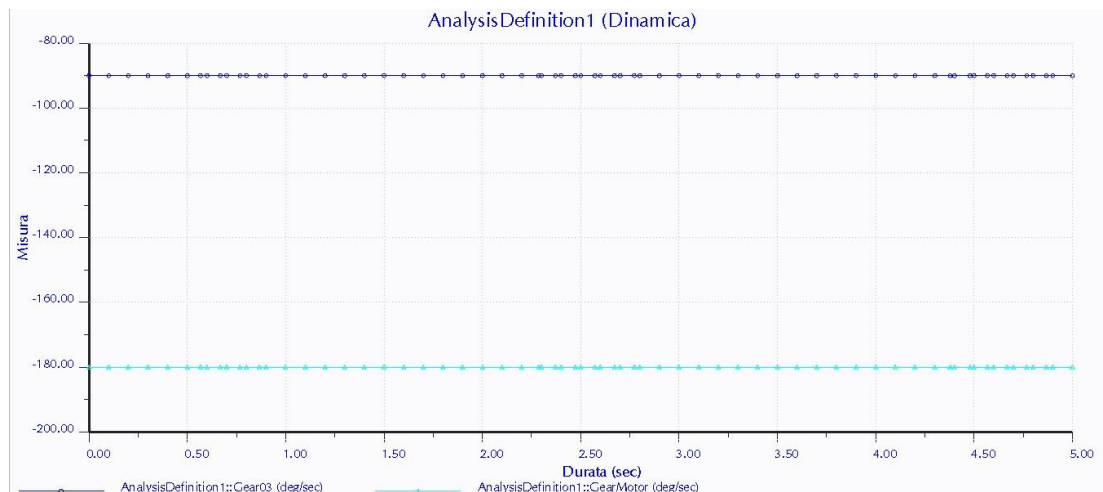
Ingranaggio motore → ingranaggio asse(piccolo) 1:1

Ingranaggio asse(piccolo) → ingranaggio asse(grande) 1:2

Ingranaggio asse(grande) → ingranaggio assembly 3 centrale(grande) 1:1

Ingranaggio assembly 3 centrale(grande) → ingranaggio assembly 3 centrale(piccolo) 2:1

Ingranaggio assembly 3 centrale(piccolo) → ingranaggi assi laterali assembly 3 1:2



Infine l'analisi dinamica con motore scelto l'unico disponibile precedentemente citato:

Video della simulazione dinamica su Creo

3. Stampa 3D e montaggio

Innanzitutto tutti i pezzi sono stati ingranditi per rispettare la scala 1:2 scelta, e poi modificati per tener conto degli errori di precisione che la stampa può fare. Quasi tutti i buchi sono stati allargati di 0.2 mm, per considerare il fatto che la plastica, una volta stampata, tende ad espandersi.

Tutti i pezzi vanno poi rifiniti, levando i supporti e limando in vari punti per farli combaciare tra di loro. Inoltre per inspessire alcuni perni e per impedire la traslazione sull'asse degli ingranaggi, è stato usato del nastro adesivo.

Per unire i fili delle componenti elettriche (motore, batterie e interruttore) abbiamo saldato i fili con un saldatore a stagno.

Dai modelli in Creo (.prt), bisogna esportarli in .stl perché siano trasformabili poi in gcode da Cura. Il .stl è un formato stereolitografico che divide il pezzo in layers di triangoli di varie dimensioni: ciò è necessario per la stampa.



Modello stl del pezzo B1-B2

Per esportare, Creo chiede due parametri. Solo il primo è importante per noi: la chord height cioè la lunghezza del triangolo ideale. Più è piccola più è alta la precisione ma il file viene ovviamente più grande. Visto che abbiamo tutti pezzi semplici di piccole dimensioni, possiamo permetterci di settare questo parametro al valore minimo.

Stampante



La stampante usata è quella presente in laboratorio di meccanica, una Delta WASP 4070. Il filamento usato è di PLA da 1.75mm con temperature dell'extruder adatte che vanno da 190°C a 210°C e temperatura del piatto da 30°C a 50°C, in vari colori (rosso, verde, giallo, grigio, nero).

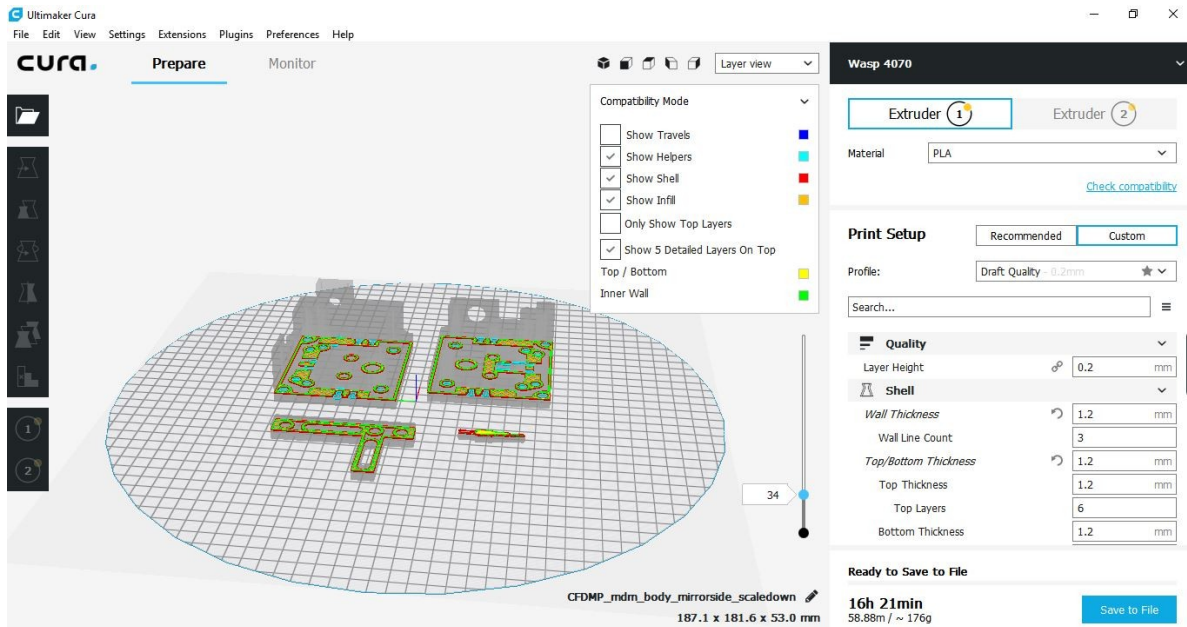
Per passare il file alla stampante abbiamo usato una scheda SD in cui inserire i gcode dei vari pezzi da stampare.

Prima di stampare i vari pezzi, è bene livellare il piatto della stampante in modo che sia il più possibile planare e alla giusta distanza dall'extruder. Basta scegliere l'opzione dal menù della stampante e calibrare in modo che tra l'extruder e il piatto ci sia sempre uno spessore di un normale foglio A4 da 80 grammi. Ciò per tutte le quattro posizioni di calibrazione dell'extruder.

Successivamente va scelto il filamento adatto al pezzo da stampare e alle proprietà che si vogliono dare. Quelli usati da noi sono sempre dello stesso materiale, l'unica cosa che cambia è il colore per un fatto puramente estetico. Cambiare il filamento con questa stampante è molto semplice: si sceglie l'opzione change filament dal menù. Scelta l'opzione, l'extruder dopo essersi scaldato a 220° (entrambi gli extruder) si posiziona a metà altezza per rendere facile l'operazione. A questo punto si rimuove velocemente il vecchio filamento per evitare che rimangano residui che potrebbero tappare i tubi dell'extruder. Si inserisce poi il nuovo filamento e si gira la valvola per eliminare tutte le parti del vecchio filamento.

Creazione dei gcode con Ultimaker Cura

Per preparare i gcode necessari alla stampante abbiamo usato Ultimaker Cura.



Interfaccia grafica di Cura con pezzi pronti per la stampa, suddivisi in layer.

Cura richiede di impostare vari parametri; i più importanti da settare sono:

- **Setting** della WASP 4070 (in quanto in Cura non è presente tra le stampanti di default) : dimensioni del piatto, 2 estrusori da 0.4mm (nozzle size), diametro del filamento nominale (1.75mm), ventole di areazione presenti e piatto riscaldato.

Queste sono impostazioni fisse che riguardano la stampante utilizzata.

Poi, in base ai pezzi da stampare (forme e dimensioni) ci sono degli importanti parametri variabili:

- **Layer Height:** l'altezza di ogni layer, in pratica la risoluzione del pezzo. Più è fine, più il pezzo verrà preciso (ad esempio, le parti curve verranno con meno spigoli). Il tempo impiegato a stampare è linearmente dipendente da questo parametro (raddoppiando uno raddoppia anche l'altro) e quindi settarlo troppo alto implicherebbe dei tempi inutilmente lunghi. Abbiamo usato 2mm per tutti i pezzi.
- **Support density:** questo è il parametro più variabile tra i vari pezzi (abbiamo usato tra 15% e 8%). È la densità che si dà ai supporti, necessari perché la stampante non può stampare nel vuoto. Valori troppo alti rendono molto difficile staccare il supporto col rischio di rompere i pezzi appena stampati. Valori troppo bassi invece creano un supporto non in grado di compiere il proprio lavoro.

- **Wall Thickness** : spessore dei wall (lateral) del pezzo, cioè i bordi. Più è spesso più i bordi del pezzo verranno resistenti.
- **Top-Bottom thickness**: uguale al wall thickness ma per i bordi superiori e inferiori.

Questi due ultimi parametri li abbiamo settati per tutti i pezzi sempre a 1.2mm.

È importante settare questi parametri a un multiplo del nozzle size (0.4mm) così che il numero di passaggi necessari all'estrusore sia intero (3 avendo scelto 1.2mm).

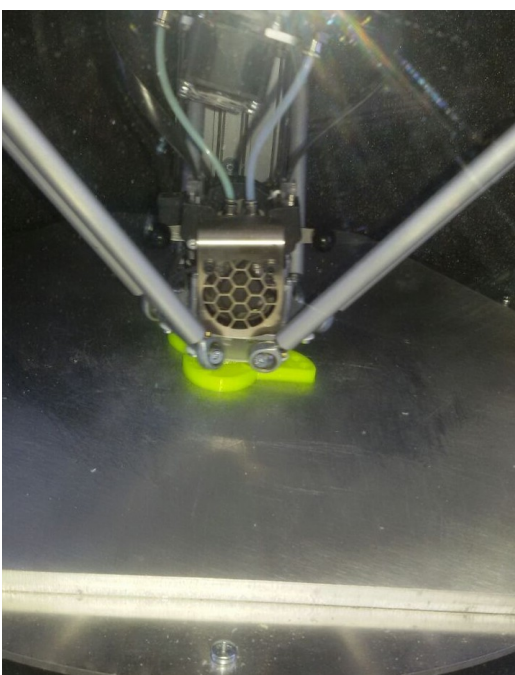
Altri parametri sono:

- **Fill Density**: A parte i bordi sopracitati, il pezzo internamente non è pieno, ma è composto da filamenti posti a griglia. La densità di queste parti interne è data dalla fill density, che abbiamo lasciato a 15% (default) per tutti i pezzi.
- **Printing temperature**: temperatura dell'estrusore in fase di stampa. Deve essere adatto al materiale usato e al pezzo che si sta stampando: più è alto e più il flow della plastica sarà fluido e veloce, ma si rischia che sia troppo caldo e che deformi la plastica; 200 °C è quella settata.
- **Build plate temperature**: la temperatura del piatto. Troppo alta e la plastica appena stampata si squaglia facendo espandere troppo il pezzo. 40 °C è il set usato da noi.

Tutto il resto è stato lasciato al valore di default.

Stampa

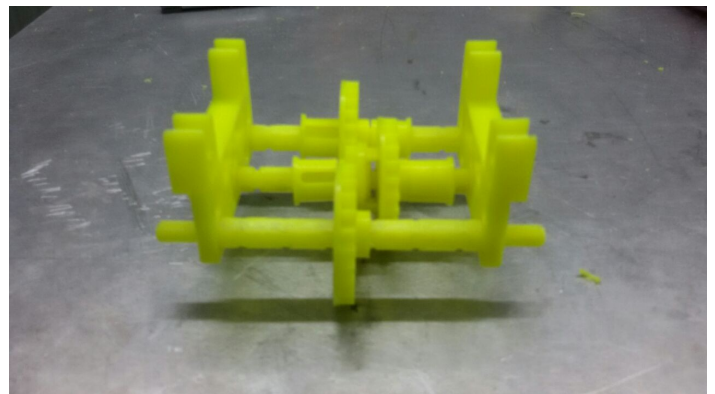
Prima di stampare, bisogna ricordarsi di pulire il piatto da residui di stampe precedenti e mettere un po' di lacca per far attaccare il pezzo al piatto così che non si muova mentre si stampano i layer successivi.



Stampa in esecuzione del pezzo B1-B2



Alcuni pezzi appena stampati



*Per le ultime due figure: nella figura a sinistra è possibile vedere i due pezzi del corpo (quelli neri) con già l'interruttore e il motore (nascosto dall'ingranaggio rosso).
La foto a destra è il dettaglio dell'assembly 3, che andrà messo sotto il corpo del robot e che prende il moto dal motore e lo trasmette alle gambe tramite le ruote (non presenti).*

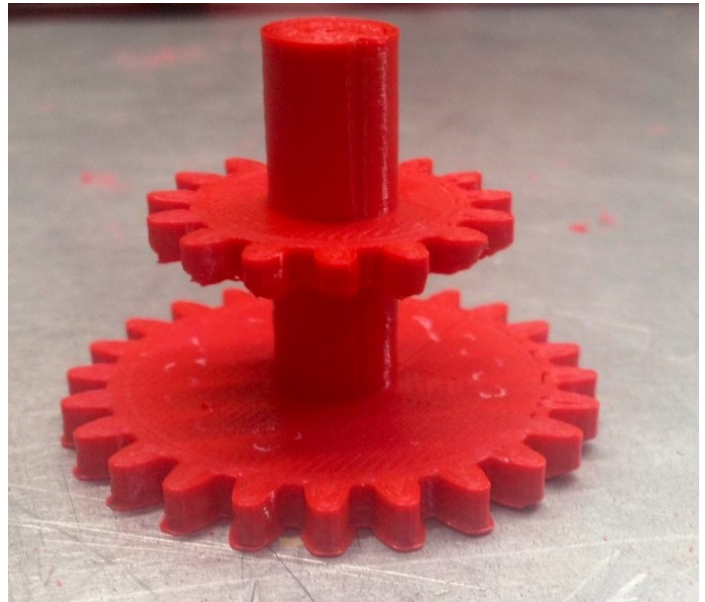
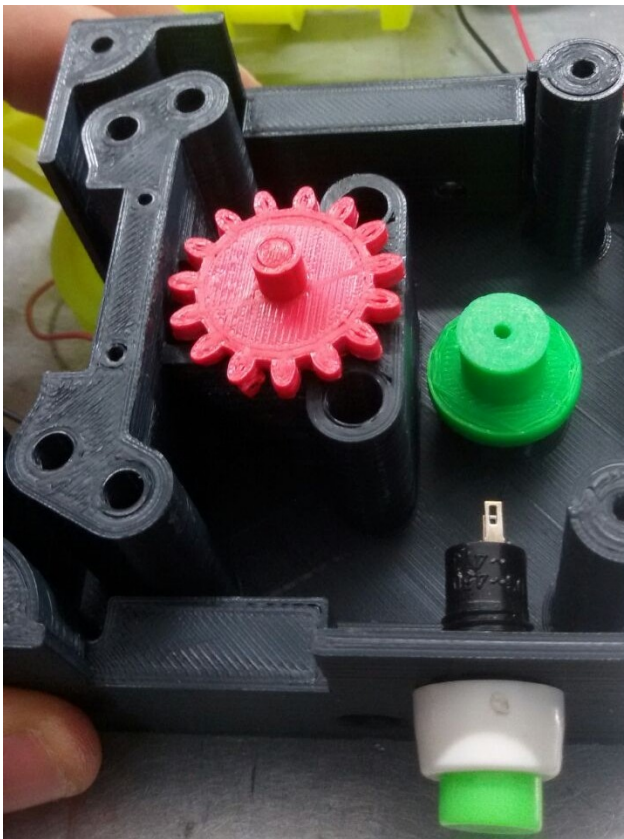
Montaggio

Il corpo del motore è stato progettato da altri colleghi, partendo da quello originale e modificandolo per adattarlo al motore e alle batterie usate (originariamente 2 pile stilo AAA).

Internamente ci sono stati però problemi con gli ingranaggi: essendo tutti di plastica non riescono a seguire il moto degli assi; questi scavano la plastica e non fanno sì che gli ingranaggi siano solidali a loro. Abbiamo provato con diversi tipi di colla e a scaldare la plastica per fonderla sull'asse, ma non è servito a nulla.

Siamo passati da un negozio di modellismo per cercare di risolvere, ma la soluzione che ci è stata proposta (ingranaggi specifici come pignone, corona con grani e seeger) ci è sembrata troppo complicata e costosa per il nostro progetto.

Abbiamo allora deciso di modificare direttamente gli ingranaggi:



Quello da attaccare al motore (*figura a sinistra*) è stato modificato in modo che il foro abbia la forma dell'alberino del motore: un cerchio tagliato in modo che l'ingranaggio segua sempre il motore. Inoltre abbiamo aggiunto un cilindro trasversale per aumentare la superficie di contatto, utile anche se avessimo poi dovuto aggiungere della colla (non necessaria). La difficoltà è stata trovare le dimensioni giuste del foro poiché non sarebbe stato possibile limarlo visto la sua particolare forma, considerandos che durante la stampa la plastica si espande e quindi il foro si riduce.

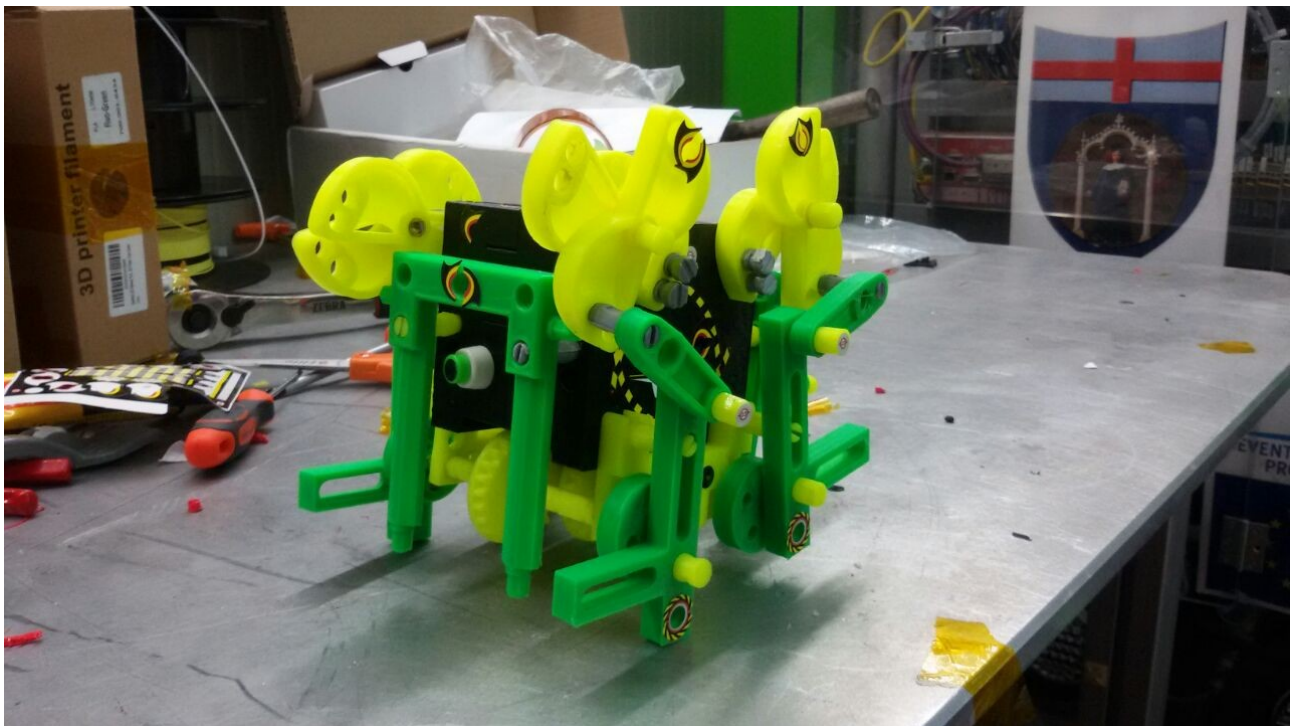
Per quanto riguarda invece gli altri due ingranaggi (*figura a destra*) si è deciso di unirli già tramite un cilindro in plastica (cioè stampandoli già uniti).

Nel modello originale, la trasmissione del moto al primo ingranaggio (quello piccolo) avviene tramite accoppiamento con quello sull'alberino del motore; questo lo trasmette all'altro (quello grande) tramite un asse. L'asse però essendo in metallo aveva lo stesso problema dell'alberino del motore (scava i fori), quindi abbiamo optato per questa soluzione: unire i due ingranaggi evitando il passaggio per l'asse (che è comunque presente per impedire al pezzo di cadere).

Questo nuovo ingranaggio va accoppiato al primo del motore tramite la ruota piccola e all'ingranaggio dell'assembly 3 tramite la ruota grande.

Viste le imperfezioni della plastica e per il fatto che il robot deve muoversi tirandosi su con delle "gambe", abbiamo visto che le due pile AAA da 1.5 volt ciascuna non bastavano. Lo abbiamo quindi "potenziato" usando una pila rettangolare da 9 volt.

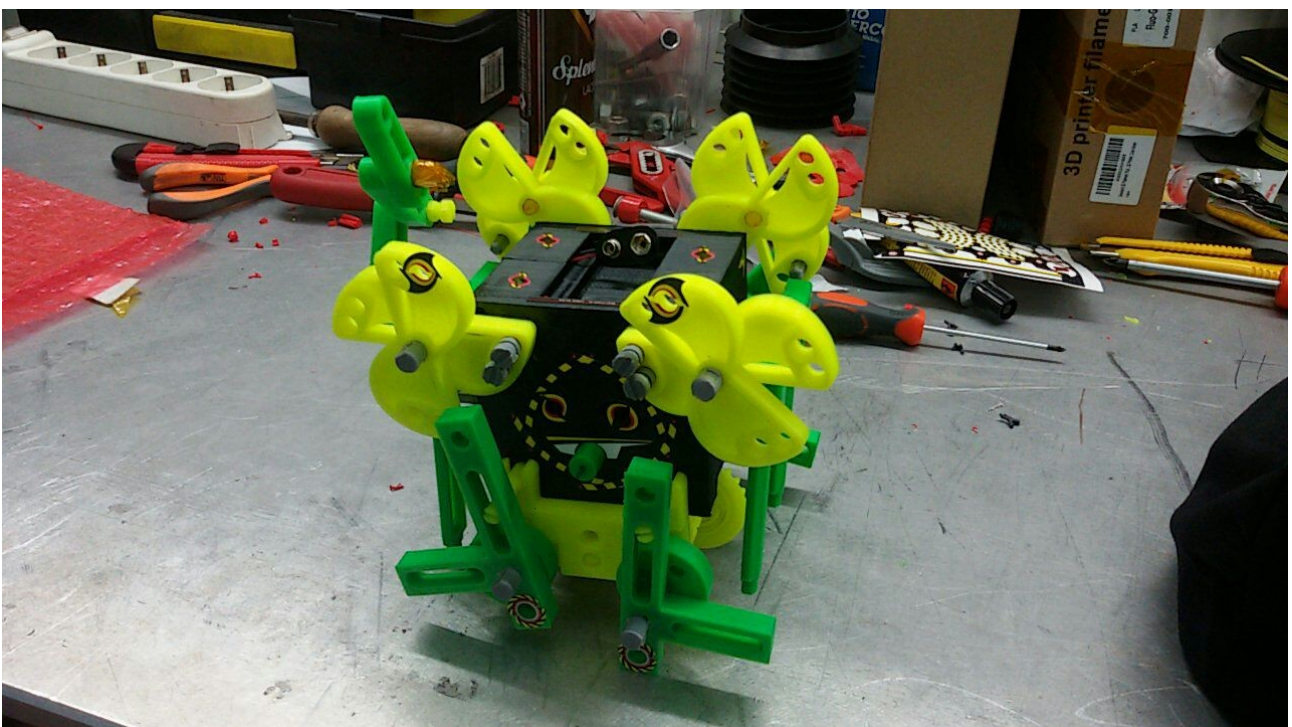
Questo il risultato finale:



Il robot in azione



Fronte del robot



Retro del robot

