



Ricerca di Sistema elettrico

Sviluppo hardware e software di un prototipo sperimentale per la procedura di ricarica automatica del robot NAO

Prof. Vincenzo Bonaiuto

SVILUPPO HARDWARE E SOFTWARE DI UN PROTOTIPO SPERIMENTALE PER LA PROCEDURA DI RICARICA AUTOMATICA DEL ROBOT NAO

Prof. Vincenzo Bonaiuto – Dipartimento Ingegneria Industriale – Università di Roma Tor Vergata

Dicembre 2021

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 – III annualità

Obiettivo: Tecnologie

Progetto: Tecnologie per la penetrazione efficiente del vettore elettrico negli usi finali

Work package: Local Energy District

Linea di attività: *Smart Homes: realizzazione di componenti hardware e software per la ricarica automatica del robot NAO*

Responsabile del Progetto: Claudia Meloni, ENEA

Responsabile del Work package: Claudia Meloni, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "REALIZZAZIONE DI COMPONENTI HARDWARE E SOFTWARE PER FACILITARE L'USO DEL ROBOT NAO NELLA SMART HOME E CREARE SERVIZI INNOVATIVI PER L'USO EFFICIENTE ED IN SICUREZZA DELLE RISORSE ELETTRICHE E PER L'ASSISTED LIVING"

Responsabile scientifico ENEA: Dott. Andrea Zanela

Responsabile scientifico Università di Roma Tor Vergata: Prof. Vincenzo Bonaiuto

Indice

SOMMARIO.....	4
1. INTRODUZIONE.....	5
2. DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI.....	6
3. STATO DELL'ARTE SUI SISTEMI DI RICARICA AUTOMATICA DEL ROBOT NAO ("DOCKING STATION").....	7
3.1. AVATARION TECHNOLOGY AG - NAO POD.....	8
3.2. N. NAVARRO ET AL. – NAO ROBOT CHARGING STATION	10
3.3. ROBOTLAB INC.- NAO DOCKING STATION	11
3.4. STEMFINITY - NAO DOCKING STATION.....	12
3.5. ALDEBARAN ROBOTICS - NAO ROBOT CHARGING STATION	12
4. PROGETTO MECCANICO DELLA STAZIONE DI RICARICA (DOCKING STATION).....	13
4.1. PROGETTO DELLA STAZIONE DI RICARICA.....	15
4.2. PROGETTO DELLA PIASTRA DORSALE DEL ROBOT (NUOVO COPERCHIO VANO BATTERIA).....	18
5. PROGETTO SOFTWARE DEL SISTEMA DOCKING STATION.....	21
5.1. INTERFACCIA SOFTWARE PER IL CONTROLLO DELLA BATTERIA: LIBRERIA NAOQi ALDEBARAN	21
5.2. PROGETTO DEL DRIVER PER LA GESTIONE RICARICA BATTERIA	21
5.3. ALBATTERY	21
6. RICOSTRUZIONE DELLE INFORMAZIONI DI PROFONDITÀ DELLA SCENA.....	23
6.1. INTRODUZIONE AI SENSORI RGB-D (DEPTH CAMERA)	23
6.2. IL sensore RGB-D UTILIZZATO NEL PROGETTO: REALSENSE D455 (INTEL CORPORATION)	24
7. PROGETTO MECCANICO DEL SUPPORTO DEL sensore RGB-D (DEPTH CAMERA).....	25
7.1. CENTRO DI MASSA E INERZIA.	29
8. CONCLUSIONI	30
9. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	31
10. CURRICULUM SCIENTIFICO DEL GRUPPO DI LAVORO.....	32

Sommario

L'attività di ricerca di questo secondo anno dell'accordo di collaborazione si sono rivolte alla necessità da parte del robot NAO di aumentare il suo livello di autonomia progettando un nuovo sistema per la ricarica autonoma della batteria. Una delle limitazioni nel suo utilizzo in applicazioni di Assisted Living è infatti la ridotta operatività dovuta alla limitata capacità della sua batteria (funzione della tipologia di movimento effettuato e tipicamente molto al di sotto un paio di ore).

L'attività ha quindi riguardato, da una parte, la definizione delle specifiche meccaniche ed elettriche di una stazione per la ricarica della batteria che potesse essere utilizzata dal robot in maniera autonoma. Dall'altra si è pensato di aumentare le capacità del robot di orientarsi in ambiente non strutturato mediante l'utilizzo di un nuovo sensore (*depth camera* – fotocamera di profondità) in grado di effettuare una scansione di ciò che lo circonda e di localizzare degli oggetti presenti nella scena.

Il robot NAO dispone già di alcuni sensori che possono essere utilizzati per la propria localizzazione nell'ambiente (es. fotocamere e sensori ad infrarosso) ma per poter operare in autonomia in ambiente non strutturato necessita ulteriori e più complete informazioni riguardo a ciò che lo circonda. Nel corso del primo anno di attività era stato già integrato, dal punto di vista sia meccanico che software, un sensore laser (posto in un apposito caschetto indossabile dal robot) ed in grado di fornirgli una mappa a terra con le informazioni delle dimensioni dell'ambiente che lo circonda insieme alle dimensioni e alla localizzazione degli oggetti presenti nella scena.

L'attività di ricerca ha quindi riguardato il progetto (meccanico ed elettrico) e la rispettiva realizzazione mediante prototipazione mediante stampa 3D di entrambi gli oggetti.

1. Introduzione

Una delle limitazioni nel robot NAO (SoftBank Robotics Corp, Japan) quando è utilizzato in applicazioni di Assisted Living è la sua ridotta operatività dovuta principalmente alla limitata capacità della batteria di bordo che è funzione sia della tipologia dei movimenti effettuati ma che, tipicamente, è sempre molto al di sotto un paio di ore per poi essere nuovamente posto in ricarica. Poiché questa autonomia di operatività è considerata limitante delle funzioni che la macchina potrebbe svolgere è necessario progettare un sistema di ricarica che possa essere utilizzato in autonomia da parte della macchina.

Lo scopo dell'attività di ricerca è ricerca è stata l'individuazione dei requisiti tecnici necessari ad assicurare la sufficiente autonomia della macchina non appena il livello di carica della sua batteria fosse ad un livello tale da suggerirne la ricarica. Autonomia che dovrà essere non solo sia di movimento (riconoscimento degli ambienti e scelta del percorso più adatto per raggiungere la stazione di ricarica) che di valutazione delle tempistiche all'interno delle quali effettuare l'operazione di ricarica.

Le attività svolte in questo secondo anno di attività dell'accordo di collaborazione hanno quindi riguardato, a valle di uno studio dello stato dell'arte riguardo quanto disponibile in letteratura o commercialmente, la definizione delle specifiche ed il progetto hardware (sia meccanico che elettrico) di una stazione di ricarica utilizzabile autonomamente dal robot. Successivamente sono state studiate e definite delle funzioni software necessarie per le procedure di gestione delle operazioni di ricarica.

Per aumentare le capacità del robot di orientarsi in un ambiente non strutturato è stato inoltre progettato un nuovo caschetto indossabile dal robot dove sarà possibile alloggiare un sensore del tipo *depth camera* in grado di aumentare la disponibilità di informazioni a disposizione del robot per il riconoscimento e la localizzazione degli oggetti presenti all'interno della scena.

La presente relazione è organizzata secondo i seguenti paragrafi.

- Stato dell'arte sui sistemi di ricarica automatica del robot NAO ("docking station")
- Progetto meccanico della stazione di ricarica (docking station)
- Sensori RGB-D (*depth camera*)
- Progetto meccanico del supporto del sensore RGB-D

2. Descrizione delle attività svolte e risultati

Le attività di ricerca svolte da parte del Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata" in questa seconda annualità dell'accordo di collaborazione hanno riguardato lo sviluppo di un sistema di carica automatica del robot NAO.

Considerando i tempi di operazione del robot sono limitati a circa un paio di ore dall'effettuazione di una ricarica completa, la possibilità di una gestione autonoma del processo di ricarica da parte del robot è in grado di renderlo maggiormente fruibile e risultando tale operazione spesso assolutamente indispensabile in ambiti operativi, quali ad esempio l'interazione con persone disabili o con capacità motorie e sensoriali limitate, ove la disponibilità della macchina è importante e la gestione delle operazioni di ricarica e del robot non facilmente gestibile da parte degli utilizzatori per incapacità o semplice dimenticanza.

Poiché il robot NAO è dotato a bordo di un'apposita circuiteria per il monitoraggio dello stato di carica della sua batteria, è possibile realizzare opportune routine software per la gestione del processo di ricarica individuando, inoltre, il momento più opportuno per avviarlo (es. intervenendo con urgenza in caso di scarica profonda o gestendo i cicli di ricarica periodici nei momenti di limitato utilizzo della macchina).

Quanto fornito dal costruttore per la ricarica della batteria del robot è rappresentato da un alimentatore e cavo di alimentazione terminato con spinotto di tipo Jack che deve essere collegato ad una apposita presa posta sul dorso dello stesso. Il sistema attuale non sembra quindi essere adatto ad un sistema di ricarica automatica: l'inserimento dello spinotto nella presa in modo autonomo da parte del robot richiederebbe infatti, da parte sua, una serie di movimenti ad elevata accuratezza che esso potrebbe non essere in grado di eseguire sia per la particolare posizione della presa sia per la forza e precisione richiesta.

Partendo da queste considerazioni, l'attività di ricerca si è orientata alla ricerca di sistemi di ricarica automatica già commercialmente disponibili o di tipo prototipale sviluppati presso altri centri di ricerca (un esempio di questi è mostrato in Figura 1). Questa attività ha portato all'individuazione di alcuni sistemi di ricarica automatica con caratteristiche e prestazioni differenti che sono stati descritti nel paragrafo 3. Lo studio non è stato però in grado di individuare, tra i sistemi disponibili al momento, una specifica tipologia di sistema di ricarica che, per costi e prestazioni, presentasse caratteristiche adeguate alle necessità del progetto. Dopo un attento studio delle soluzioni utilizzate dai sistemi che sono stati analizzati, l'attività è quindi proseguita con il progetto meccanico, elettrico e software di una Docking Station (o stazione di ricarica) che presentasse le seguenti caratteristiche:

- essere facilmente raggiunta dal robot per mezzo di una sequenza di movimenti semplici e compatibili con le sue capacità
- presentare un sistema di collegamento elettrico con il generatore di tipo a contatto
- non alterare in modo significativo la struttura e la distribuzione dei pesi sul robot

Il sistema di ricarica realizzato è composto di due parti: una stazione di ricarica fissa e da una piastra dorsale del robot che va a sostituire il coperchio del vano batteria. La realizzazione è stata ottenuta mediante stampa 3D utilizzando un filamento in PLA (Acido PoliLattico), che presenta buone caratteristiche di densità, accuratezza dimensionale e sostenibilità (è infatti realizzato a partire da scarti di frumento e canna da zucchero, ed è quindi biodegradabile).



Figura 1 – Esempio di ricarica del Robot NAO sulla Docking Station NAO POD (Avatarion Technology AG)

Il secondo punto affrontato in questo secondo anno di attività ha cercato di aumentare le capacità di orientamento del robot nell'ambiente circostante (tipicamente non strutturato). Infatti, una volta rilevata, da parte del robot, in modo automatico la necessità di effettuare la ricarica della propria batteria, la macchina deve poter localizzare nell'ambiente circostante la stazione di ricarica e posizionarsi opportunamente secondo le caratteristiche di quest'ultima. A questo scopo il robot NAO è stato equipaggiato da due diverse tipologie di sensori aggiuntivi: un sensore di tipo *Laser Finder*, il cui supporto meccanico sulla testa del robot e i relativi driver software sono stati sviluppati nel corso del primo anno di attività, o, alternativamente, da un sensore tipo "*Depth Camera*" il cui supporto meccanico e relativi driver software sono stati sviluppati nel corso della seconda annualità del progetto. Tali sensori, ognuno per proprio conto, sono in grado di aumentare le capacità da parte del robot di localizzarsi efficacemente nell'ambiente che lo circonda e di aumentare l'efficienza degli algoritmi di avvicinamento e posizionamento fine rispetto alla stazione di ricarica.

3. Stato dell'arte sui sistemi di ricarica automatica del robot NAO ("Docking Station")

Sono state sviluppate numerose piattaforme di ricarica per il robot NAO, sia in ambito di ricerca che commerciale. Alcune sono, al momento disponibili sono in forma prototipale, mentre altre possono essere acquistate presso rivenditori specializzati.

Le soluzioni disponibili commercialmente sono tutte caratterizzate dalla medesima tecnica per la ricarica e basata su una poltroncina provvista, sullo schienale, di contatti elettrici per la ricarica. I due sistemi prototipali disponibili in letteratura presentano invece un approccio differente e che sarà descritto nei relativi sotto paragrafi della presente relazione tecnica. La tabella 1 riporta i riferimenti dei sistemi analizzati.

Tabella 1 – Sistemi, prototipali (P) e commerciali (C), di ricarica automatica del Robot NAO

Produttore/Distributore/ Centro di Ricerca	Modello	Sorgente	C	P
Avatarion Technology AG	NAO POD	www.avatarion.ch	✓	
ROBOTLAB Inc.	NAO Docking Station	www.robotlab.com	✓	
STEMfinity	NAO Docking Station	stemfinity.com	✓	
N. Navarro et al.	NAO Robot Charging Station	Robotics and Autonomous Systems [2]		✓
SoftBank Robotics (ex Aldebaran Robotics)	NAO Robot Charging Station	IEEE Spectrum [5]		✓

3.1. Avatarion Technology AG - NAO POD

NAO POD *Docking Station*, commercializzata dalla svizzera Avatarion Technology AG, è una stazione di ricarica compatibile con tutta la generazione di robot NAO e realizzata da una seduta in materiale plastico (Figura 2a) e da un coperchio batterie opportunamente modificato con l’aggiunta di due contatti elettrici di forma circolare (Figura 2b) e collegati ai terminali della batteria del robot. Al centro dello schienale della seduta sono stati realizzati due contatti elettrici di materiale metallico e posizionati ai lati di una scanalatura in posta, a sua volta, in corrispondenza della sporgenza dell’alloggiamento del connettore di tipo jack posto, a sua volta, al centro della schiena del robot NAO, sul coperchio batteria. La scanalatura ha la funzione di guida per l’allineamento fine dei contatti elettrici rispettivamente del robot e della seduta.

Come mostrato in Figura 2a, la seduta presenta braccioli con forma arrotondata per agevolare e guidare la procedura di avvicinamento del robot NAO ai contatti di ricarica.

La Figura 2d mostra il robot NAO che sta eseguendo l’operazione finale di avvicinamento alla *Docking Station* per iniziare, una volta completata, la procedura di ricarica. In Figura 2c è mostrato il display, installato sul retro dello schienale della seduta, sul quale è possibile monitorare l’avanzamento dello stato di ricarica della batteria. Il sistema è dotato di una batteria ricaricabile attraverso USB ed alloggiata al di sotto del sedile e che garantisce la ricarica wireless del robot.



Figura 2 – Robot in ricarica sulla una Docking Station NAO POD (Avatarion Technology AG)

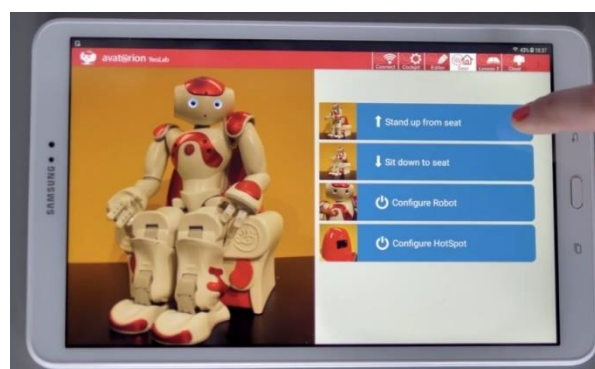


Figura 3 – Software su terminale utente per il controllo della carica, operazioni di avvicinamento al sistema e la gestione del sistema NAO POD (Avatarion Technology AG)

POD è inoltre provvisto di un sistema di comunicazione radio integrato di tipo sia 4G che Wi-Fi che consente la sua connessione con il robot NAO ed un terminale utente (computer, tablet o smartphone) per interagire con il robot durante le procedure di seduta (ad inizio carica) e alzata (a carica terminata) e monitorare il processo di carica (Figura 3). Inoltre, sono disponibili e distribuite con il prodotto, apposite

routine software proprietarie per far eseguire in maniera autonoma al robot tutti i movimenti necessari per posizionarsi e sollevarsi dal POD.

3.2. N. Navarro et al. – NAO Robot Charging Station

La soluzione proposta [2-3] vuole intervenire sul sistema senza grosse modifiche sull'hardware del robot o tali da comprometterne la mobilità o le capacità sensoriali. Nonostante le difficoltà di effettuare manovre all'indietro da parte del robot è stato scelto un sistema di contatti montati sul dorso del robot (Figura 8b e 8c). Questa scelta presenta indubbi vantaggi quali un relativamente facile montaggio sul robot senza limitarne né la mobilità né le funzionalità dei sensori e consente l'utilizzo rapido del robot al termine della ricarica qualora gli fosse richiesto lo svolgimento di un compito urgente. La stazione di ricarica (mostrata in Figura 8a) è provvista di due contatti metallici per la ricarica e tre punti di riferimento (*naomark*) utilizzati per la navigazione. In particolare, il punto di riferimento di maggiori dimensioni viene utilizzato quando il robot si trova a più di 40 cm di distanza dalla stazione di ricarica, mentre i due punti di riferimento a con dimensioni inferiori sono dedicati all'esecuzione delle operazioni di aggancio accurato.

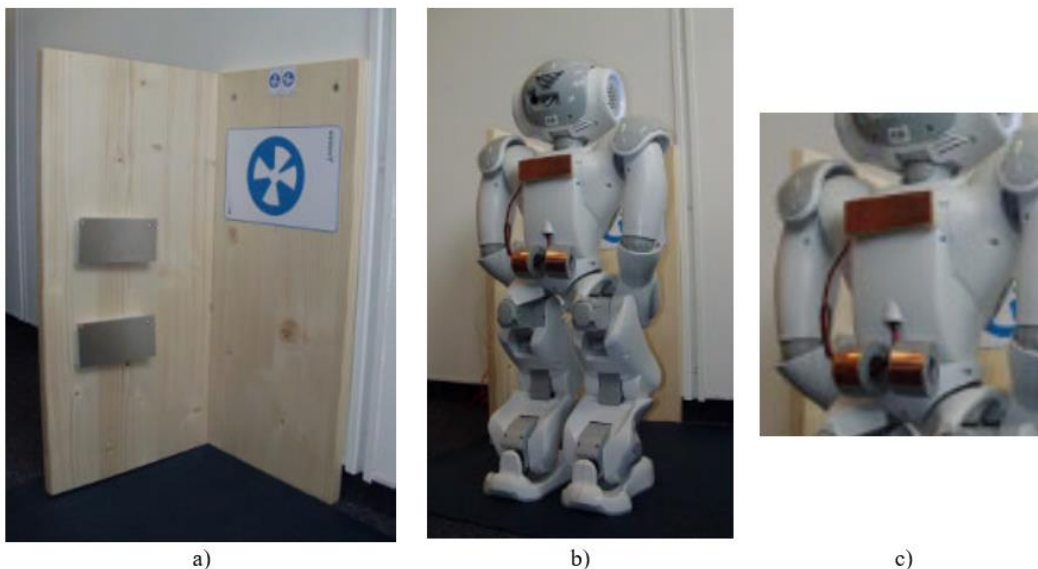


Figura 8 – N.Navarro et al. [2-3] – NAO CHARGING STATION

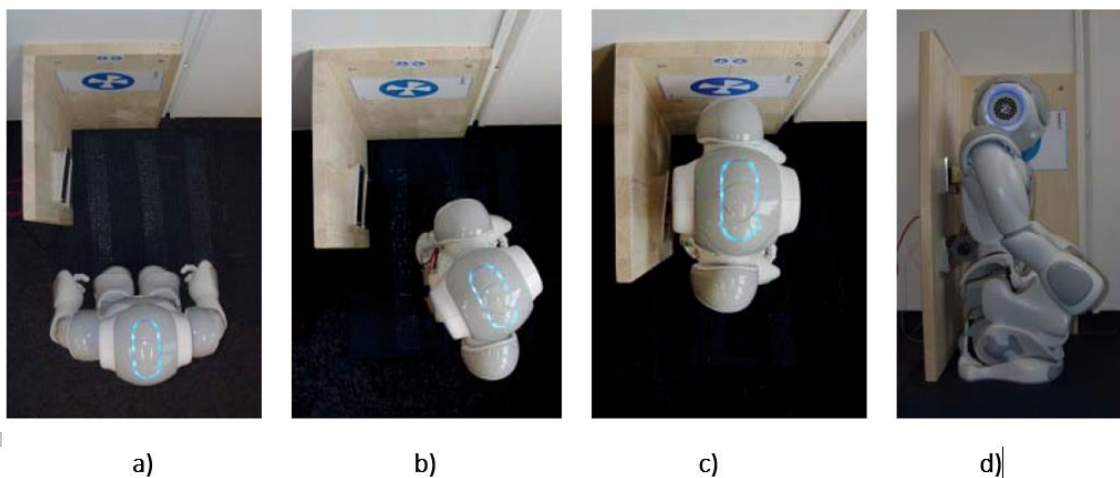


Figura 9 – N.Navarro et al. [2-3]: Operazioni di avvicinamento e collegamento alla stazione di ricarica

3.3. ROBOTLAB Inc.- NAO Docking Station



Figura 4 – ROBOTLAB Inc. – Docking Station (NAO DOCKING STATION)



Figura 5 – ROBOTLAB Inc. – Dettaglio del connettore con i terminali di carica da applicare sul dorso del robot (NAO DOCKING STATION)

Si tratta di un sedile appositamente progettato per la ricarica del NAO [4]. Il sistema prevede due contatti elettrici montati al centro dello schienale. Sul connettore di tipo Jack per la ricarica della batteria posizionato sul dorso del robot è necessario applicare una apposita placca per l'estensione dei contatti elettrici mostrata in Figura 5. Al robot è richiesto di effettuare tutte le operazioni necessari per posizionarsi sul sedile e realizzare in questo modo il contatto elettrico con i terminali posizionati al centro sullo schienale per poter iniziare il processo di ricarica. Il sedile sfrutta l'alimentatore in dotazione con il robot che deve essere collegato ad apposita presa posta sotto il sedile.

Le dimensioni, il peso e le caratteristiche elettriche del sistema di ricarica sono riportate in Tabella 2.

Tabella 2 – Dimensioni e caratteristiche elettriche della NAO DOCKING STATION (ROBOTLAB Inc.)

Dimensioni	9(W) x 11(D) x 12,6(H)
Peso	11.6lbs
Tensione alimentazione	110-240 V

3.4. STEMfinity - NAO Docking Station

È un sedile con caratteristiche del tutto equivalenti al modello proposto da RobotLab. La tipologia di contatti visibile in Figura 6 presuppone una placca per l'estensione dei contatti elettrici da collegare alla presa Jack di ricarica del robot del tutto simile al sistema RobotLab



Figura 6 – NAO Docking Station (STEMfinity)

Tabella 3 – Dimensioni e caratteristiche elettriche della NAO Docking Station (STEMfinity)

Dimensioni	9(W) x 11(D) x 12,6(H)
Peso	11.6lbs
Tensione alimentazione	110 V

3.5. Aldebaran Robotics - NAO Robot Charging Station

Si tratta di un sistema prototipale di una nuova stazione di ricarica automatica per il robot NAO proposto nel 2011 da Aldebaran Robotics (ora Softbank Robotics) [5] che, dalle ricerche effettuate non sembra aver portato ad un prodotto commerciale. Alcuni segnali sono posizionati sulla base del caricabatteria e sulla colonnina dove è montata la spina per la ricarica per indicare al robot le operazioni da effettuare per l'avvicinamento alla stazione. Per procedere alla ricarica della batteria, il robot si dovrà muovere verso il

supporto verticale dove è montata la spina per la ricarica per allinearla con la presa posta sul suo dorso e realizzare il collegamento elettrico. Una volta effettuato il collegamento, un cavo estensibile consentirà di continuare a utilizzare il robot durante il processo della ricarica della batteria seppur con mobilità limitata dalla lunghezza di tale cavo. Al completamento della ricarica, il robot si potrà scollegare dal sistema di ricarica facendo scorrere il proprio braccio sul dorso per scollegare lo spinotto, che, attraverso un sistema a molla si riavvolgerà nel caricatore. La Figura 7 mostra la procedura di avvicinamento ed allineamento del robot rispetto al sistema di ricarica, le operazioni di collegamento, il movimento del robot con il cavo di alimentazione collegato alla presa sul dorso e la procedura di ricarica con il robot seduto a terra.



Figura 7 – Aldebaran (Softbank Robotics) – NAO DOCKING STATION

4. Progetto meccanico della stazione di ricarica (Docking Station)

La possibilità di acquistare una di queste docking station e modificarla secondo le esigenze del progetto è stata a lungo esaminata e infine scartata. A parte i sistemi prototipali, gli unici oggetti commercialmente disponibili sono infatti, ad oggi, rappresentati dalle due poltroncine con annessi contatti elettrici per la ricarica. E, inoltre, anche le altre soluzioni non sono sembrate eccessivamente performanti in termini di facilità di realizzare la connessione e di sicurezza del sistema contro cortocircuiti accidentali della batteria, possibili qualora vengano lasciati accessibili e senza alcun tipo di protezione i contatti di questa (estesi con apposite strutture (vedi ad esempio la Figura 5) e posti sulla schiena del robot.

Per la definizione delle specifiche progettuali si è considerato che le stazioni di ricarica a forma di poltrona su cui fare sedere il robot avrebbero richiesto sequenze di avvicinamento di discreta complessità per poter collocare il robot esattamente nella posizione richiesta e tale da chiudere correttamente i contatti di ricarica. Questo, anche considerando che, di fatto, diversi produttori di Docking Station prevedono il posizionamento manuale del robot sul supporto (ad es. la poltroncina) per poter effettuare la ricarica.

Anche la soluzione proposta da Aldebaran (paragrafo 4.5) sembra essere eccessivamente complessa per quanto riguarda sia le procedure di connessione che di disconnessione del robot dalla stazione di ricarica.

Infatti, nonostante la forma ad imbuto del supporto del connettore di ricarica che tende ad agevolare la connessione e, probabilmente, un sistema magnetico (non riportato in chiaro sull'articolo che lo descrive ma riconoscibile dal filmato che illustra il sistema) per il posizionamento fine del connettore, la soluzione appare eccessivamente complessa sia dal punto di vista delle operazioni di avvicinamento che per la procedura di disconnessione. In particolare, quest'ultima sembra essere particolarmente critica in quanto deve essere realizzata direttamente dal robot utilizzando una delle sue mani sfruttando un dispositivo di richiamo a molla per il riavvolgimento del cavo.

Infine, la soluzione proposta da N.Navarro et al [2,3] seppur molto interessante, presenta caratteristiche, quali ad esempio la presenza di contatti elettrici sul dorso del robot scoperti e ad elevato rischio di corto circuito per la batteria di bordo che ne sconsigliano l'utilizzo nella stessa forma.

Per queste motivazioni si è deciso di progettare e costruire da zero una nuova Docking Station prendendo spunto dalle realizzazioni disponibili in letteratura. In particolare, si è deciso di adottare una postura del robot durante la procedura di ricarica che preveda il busto in posizione verticale: con il robot quindi in posizione eretta oppure in posizione di *rest* (accovacciata), entrambe più semplici da gestire in termini di operazioni di avvicinamento.

Analogamente al casco progettato e realizzato nel corso delle attività di ricerca svolte nel corso del primo anno dell'accordo di collaborazione, la Docking Station è stata progettata mediante software di modellazione solida (Creo Parametric della PTC) e, successivamente realizzata mediante processo di stampa 3D.

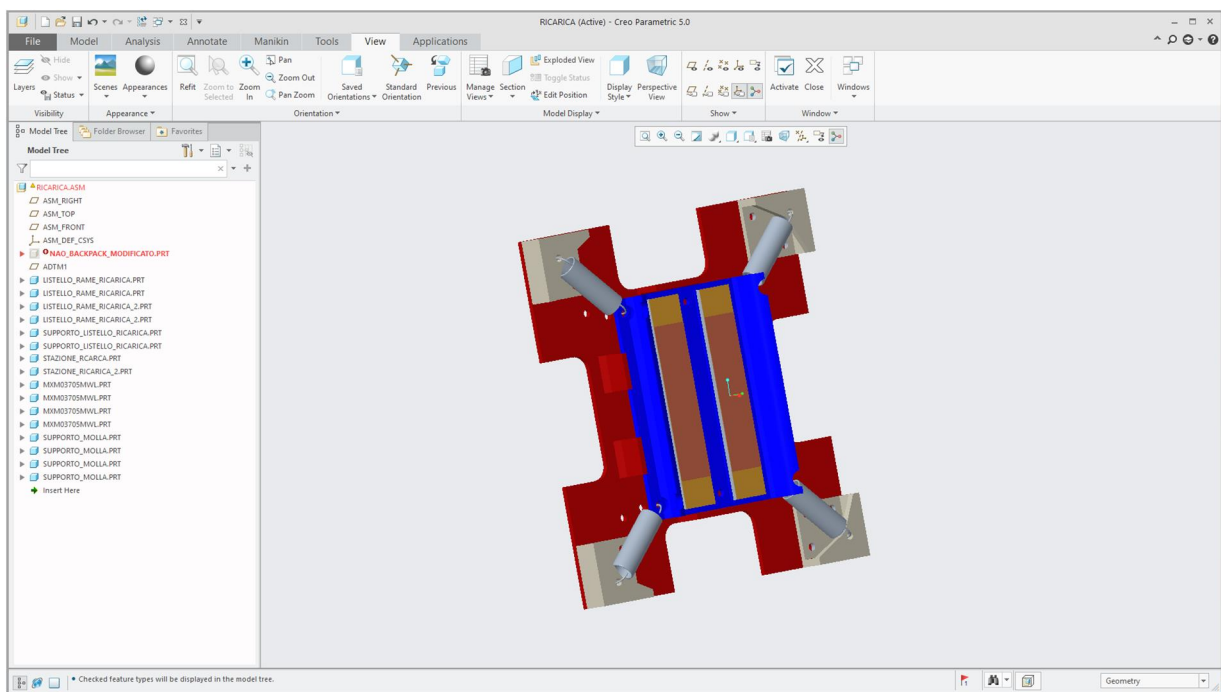


Figura 10 – Ambiente CAD - Creo Parametric della PTC

Il sistema di ricarica progettato consta di due elementi distinti: la stazione di ricarica propriamente detta e una piastra che verrà posizionata sul dorso del robot.

La difficoltà principale nella progettazione del sistema è consistita nel fatto che le specifiche progettuali devono tenere conto che i movimenti del robot non sono mai perfettamente ripetibili: anche imponendo un valore di set-point a tutti i giunti del robot, non si riesce mai ad avere la garanzia che sua la posizione rispetto allo spazio di riferimento sia quella desiderata se non con un margine di errore piccolo ma non sempre trascurabile (cosa invece possibile ad esempio con un braccio manipolatore fisso). A tale posizione

si riesce ad avvicinarsi grazie ai vari sensori di cui è dotato il robot e ai relativi sistemi di controreazione, ma permane comunque un errore di posizione di entità variabile e del quale il progetto deve tenere conto.

Questo rende difficile l'utilizzo di un normale accoppiamento di ricarica del tipo spinotto-presa (jack-socket): il moto del robot non può essere programmato con precisione tale da infilare lo spinotto nella presa. Anche la soluzione proposta da Aldebaran nel 2011 (Figura 7), come precedentemente descritto, sembra infatti essere notevolmente complessa sia dal punto di vista realizzativo che per la procedura utilizzata.

4.1. Progetto della stazione di ricarica

Per ovviare alle problematiche descritte nel precedente paragrafo, la stazione di ricarica è stata progettata per una struttura utilizzando una base di tipo cruciforme con quattro appoggi ove sono state montate delle molle che sorreggono una piastra mobile ove sono stati realizzati i contatti (Figura 9). La presenza delle molle consente infatti di realizzare un accoppiamento con cedevolezza (*compliant coupling*), tipico delle applicazioni robotiche e che consente di compensare piccoli errori di orientamento della schiena del robot rispetto alla parete oltre a mantenere una giusta pressione sui contatti posti sul robot per realizzare un buon accoppiamento elettrico. Di solito per questo tipo di accoppiamenti si opta per una struttura a tre appoggi, in modo da realizzare un sistema isostatico. Nel presente progetto si è invece preferita una soluzione che prevede quattro appoggi (una volta iperstatica) per rispettare la geometria della schiena del robot. Coppie di guide sono state posizionate ai quattro lati della struttura mobile (vedi Figura 9) per evitarne oscillazioni laterali e mantenere un solo grado di libertà nel movimento.

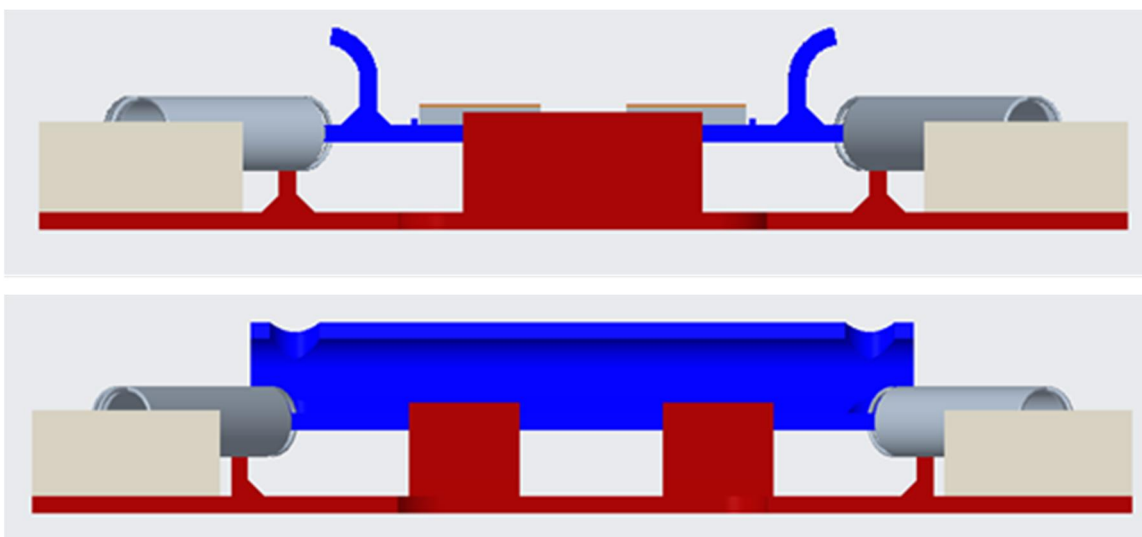


Figura 9 – Progetto CAD della stazione di ricarica (viste laterali)

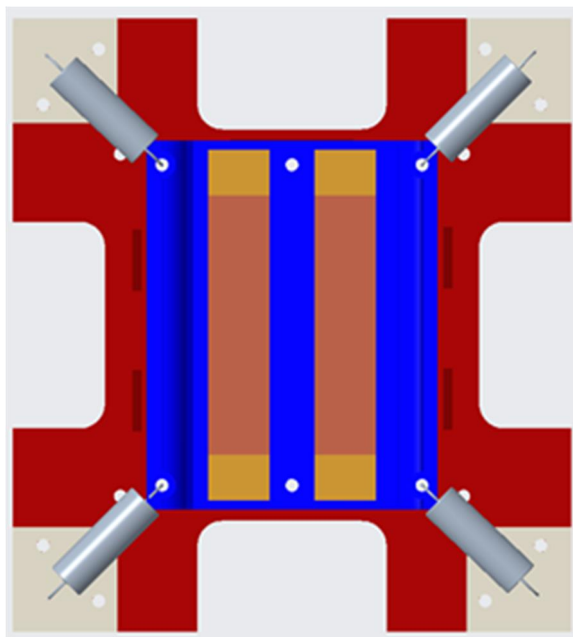


Figura 10 – Progetto CAD della stazione di ricarica (vista alto)

Si è inoltre ritenuto preferibile realizzare i due pad del circuito ricarica, positivo e negativo, mediante ampie superfici conduttive sia dal lato batteria (sul dorso del robot) che dal lato caricabatteria in modo da compensare eventuali errori di posizionamento da parte di questo durante le operazioni di avvicinamento.

I due pad sono stati realizzati tramite strisce di tessuto conduttivo adesivo (3M™ Copper Foil Tape 1181 [5]) che è stato incollato sulle superfici di accoppiamento realizzate a loro volta mediante due strisce di nastro neoprene adesivo in materiale espanso per aumentare ulteriormente la cedevolezza del contatto (es. 3M™ Single-Coated Urethane Foam Tape 4108 [6]). Un dettaglio della zona contatti sulla stazione di ricarica è mostrato nella seguente Figura 11.



Figura 11 – Dettaglio dei contatti elettrici sulla stazione di ricarica

Per quanto riguarda la parte elettrica, si è sfruttato l'alimentatore fornito dal costruttore del robot che è stato collegato, mediante apposito connettore di tipo jack (DC Jack Connector 5.5/2.5mm), (Figura 11) e cavo di collegamento ai due pad sopra descritti.

Le specifiche progettuali assicurano, grazie alla dimensione dei contatti, un'ampia tolleranza nel posizionamento in altezza della stazione di ricarica mentre particolare cura dovrà essere posta, in fase di ancoraggio alla parete, alla verifica del suo orientamento verticale. La particolare struttura a molle e le caratteristiche meccaniche dei contatti (strato in neoprene adesivo) assicurano la buona aderenza dei

contatti con quelli posizionati sulla stazione di ricarica garantendo un'accettabile resistenza di contatto durante la ricarica della batteria. In figura 12 è mostrato la presa Jack dell'alimentazione sulla stazione di ricarica che dovrà essere collegata al connettore dell'alimentatore.



Figura 12 – Dettaglio del connettore Jack per collegare l'alimentatore alla stazione di ricarica

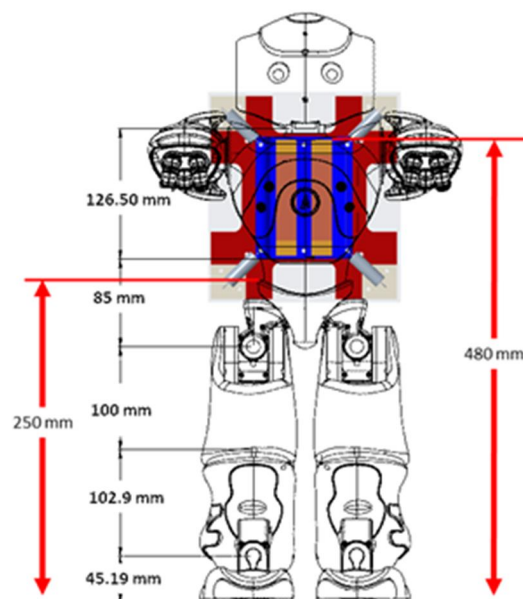


Figura 12 – Misure del robot NAO e posizione ancoraggio stazione di ricarica

La Docking Station dovrà essere ancorata ad una parete in un luogo facilmente accessibile e dotata di marker ottici per favorire il riconoscimento e la pianificazione del moto del robot. Essa dovrà inoltre essere posizionata ad un'altezza tale da permettere il collegamento fra i contatti alle spalle del robot e la stazione di ricarica: ad esempio, nel caso si scelga una modalità di ricarica in posizione eretta, con la parte superiore della stazione di ricarica posta almeno a circa 50 cm di altezza rispetto a terra (vedi Figura 12) mentre la parte inferiore dovrà tenere conto dell'altezza delle anche del robot (poste ad un'altezza rispetto a terra di circa 25 cm) che potrebbero ostacolare l'inserimento dei contatti batteria all'interno della stazione di ricarica. È chiaro che, nel caso si preferisca una ricarica in posizione *rest* del robot, la stazione dovrà essere posizionata ad un'altezza inferiore. Per assicurare un buon contatto elettrico ed agevolare le operazioni del

robot nell'accostamento alla stazione, questa non dovrà essere direttamente alla parete bensì montata su un supporto che ne permetta il discostamento dalla parete di qualche centimetro.

In Figura 13 è mostrata la stazione di ricarica nella quale è possibile osservare i due pad e la struttura a molle necessaria per ammortizzare l'appoggio del robot alla stazione e la successiva tenuta a pressione dei contatti elettrici.

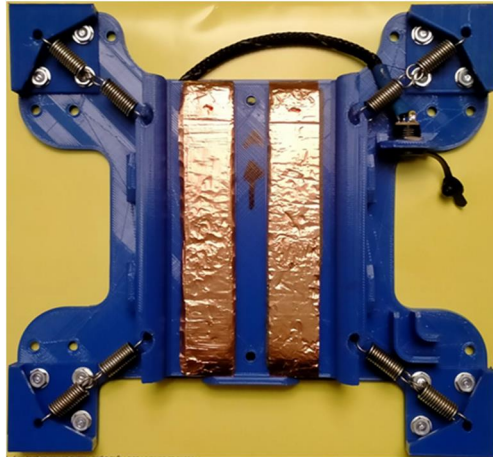


Figura 13 – Vista dall'alto della stazione di ricarica realizzata

4.2. Progetto della piastra dorsale del robot (nuovo coperchio vano batteria)

Anche la piastra dorsale del robot è stata progettata ad hoc e stampata in 3D (Figura 11). Essa va a sostituire, sul dorso del robot, il coperchio vano batteria e andrà ad ospitare, oltre alla batteria, i pad di ricarica, che sono connessi ai poli della batteria del robot mediante un opportuno cavo di collegamento e apposito connettore di tipo jack (DC Jack Connector 5.5/2.5mm). Inoltre, i pad sono stati disposti in modo da rendere impossibile un corto circuito a causa di un possibile errato posizionamento del robot rispetto alla Docking Station, o ad eventuali contatti che possono verificarsi, nel movimento del robot, fra i due pad posti sul dorso del robot con oggetti di materiale conduttore presenti nell'ambiente. Per questo motivo, il coperchio vano batterie, visibile in Figura 12c, è stato progettato prevedendo una sporgenza di qualche millimetro di spessore posta fra i due elettrodi per tutta la loro lunghezza allo scopo di rendere impossibile l'occorrenza di un corto circuito accidentale.

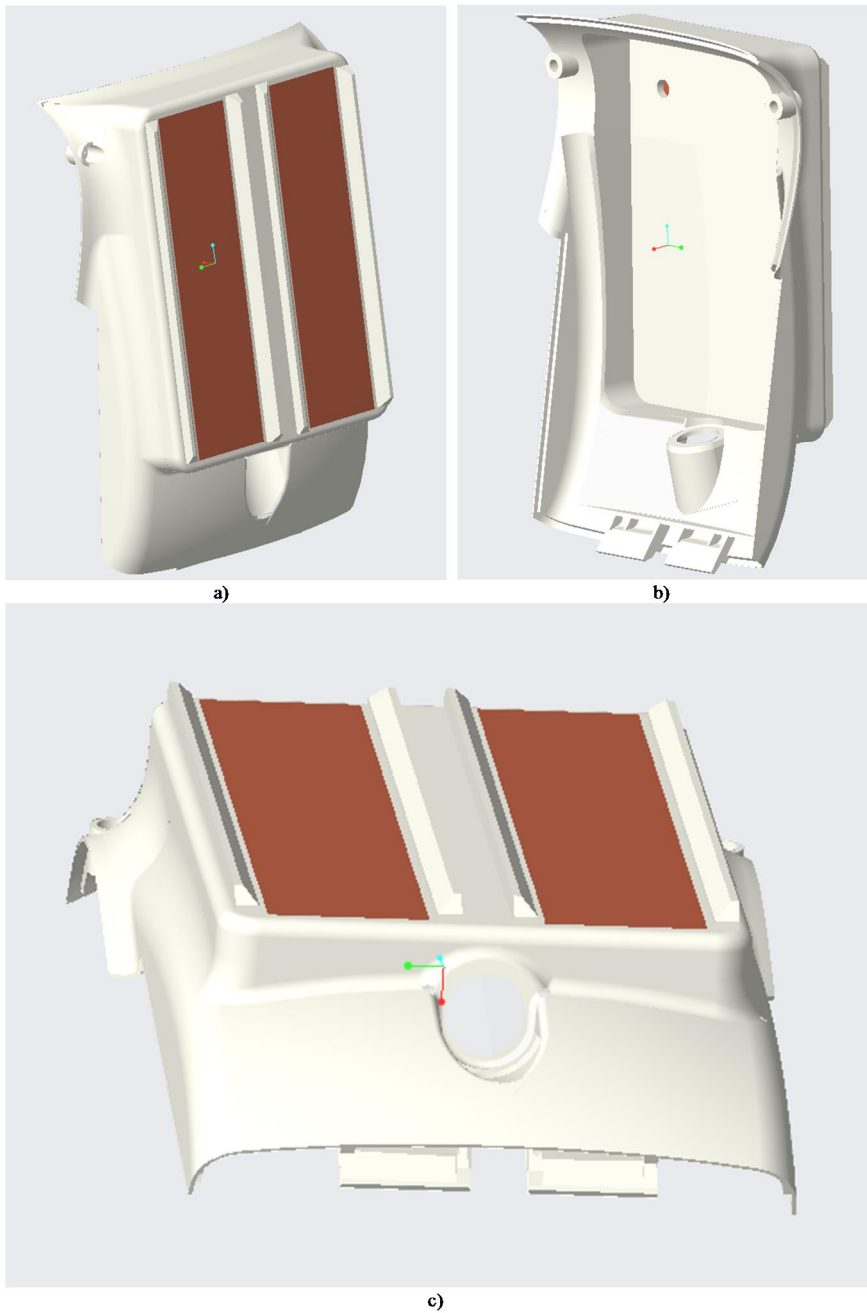


Figura 14 – Progetto CAD del nuovo coperchio vano batterie provvisto di contatti per la ricarica

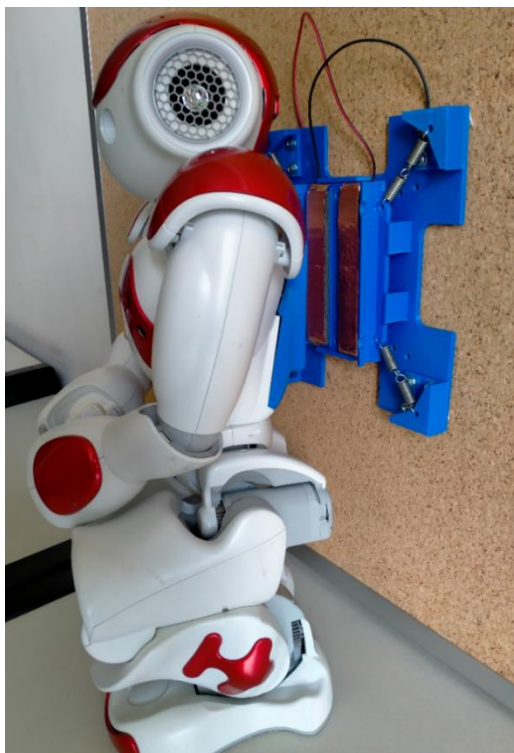


Figura 15 – NAO con il coperchio batterie modificato e docking station ancorata a parete. Robot in posizione di rest per la procedura di ricarica della batteria

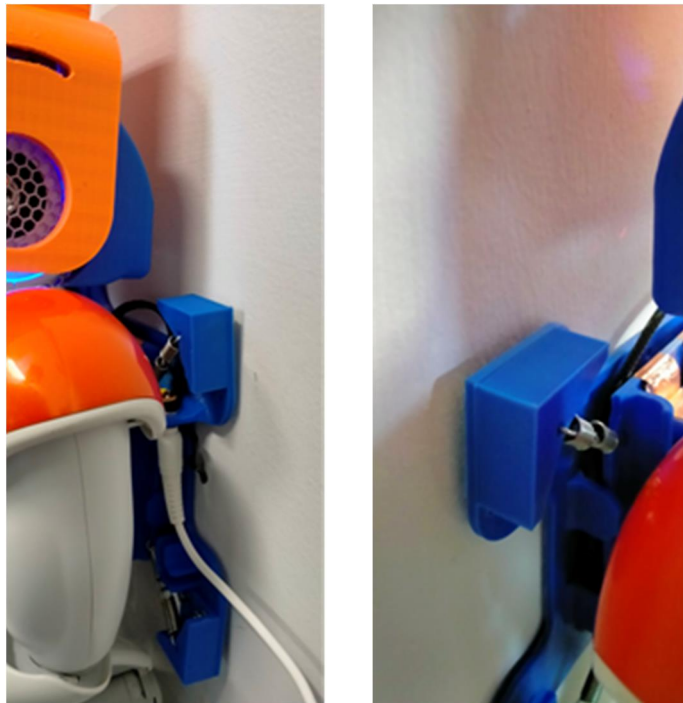


Figura 16 – Dettagli del posizionamento del robot alla stazione di ricarica

Il coperchio è inoltre provvisto di un foro posto nella parte inferiore per l'alloggiamento della presa jack originale e permettere, in questo modo, anche la modalità di ricarica prevista dal costruttore e da realizzarsi mediante cavo ed alimentatore.

Il peso e le dimensioni della piastra dorsale del robot progettata non si discostano in modo significativo (solo qualche grammo di differenza di peso) rispetto al coperchio originale ed assolutamente non in modo tale di essere in grado di modificare, sia per la particolare posizione della nuova struttura sul robot che per l'entità delle differenze in peso, la distribuzione dei pesi a bordo del robot e, per questo motivo, non si è ritenuto necessario, in questo caso, dover calcolare nuovamente la matrice di inerzia del robot.

In Figura 15 è mostrato il robot, in posizione di *rest* in procinto di iniziare la procedura di ricarica della batteria, mentre, in Figura 16 è illustrato un dettaglio del posizionamento del robot sulla stazione di ricarica ed il collegamento fra questa e la piastra dorsale del robot del robot.

5. Progetto Software del sistema Docking Station

Il progetto software ha riguardato esclusivamente alcuni aspetti del processo di carica quali:

- La procedura di controllo dello stato di carica (State of Charge – SoC) della batteria a bordo del robot.
- La valutazione dell'opportunità/necessità di iniziare la procedura di carica della batteria
- Il controllo dell'avvenuto corretto posizionamento del robot sulla stazione di ricarica ed il conseguente inizio carica della batteria
- Il controllo di fine ricarica (batteria completamente carica)

5.1. Interfaccia software per il controllo della batteria: libreria NAOqi Aldebaran

La comunicazione tra ogni sistema di gestione dei componenti hardware montati nel robot (es. tutti i motori, i sensori e i sistemi di controllo dello stato del robot) ed il sistema operativo NAOqi avviene per mezzo di file (altrimenti detti "script") scritto in linguaggio Python. Lo script utilizza la classe software ALProxy, che permette di interfacciarsi con i diversi moduli software dedicati alla gestione di ciascuno di tali componenti hardware.

5.2. Progetto del driver per la gestione ricarica batteria

Sulla base delle specifiche riportate nella documentazione delle API NAOqi, sono state studiate le caratteristiche di una libreria software scritta in linguaggio Python¹ [8-9] utili alla gestione delle operazioni necessarie al processo di carica del robot.

In particolare, la gestione software della batteria a bordo del robot, è realizzabile sfruttando il modulo ALBattery che è l'oggetto dedicato alla lettura dei valori dei registri del circuito di gestione della batteria (es. livello di carica, inizio e fine collegamento all'alimentatore esterno, ecc.).

5.3. ALBattery

Come altri moduli della libreria API NAOqi, questo modulo eredita tutti i metodi dall'API ALModule. Dispone inoltre dei seguenti altri metodi specifici:

```
class ALBatteryProxy

ALBatteryProxy::enablePowerMonitoring()
ALBatteryProxy::getBatteryCharge()

void ALBatteryProxy::enablePowerMonitoring(bool enable)
    abilita o disabilita il monitoraggio della batteria.
```

¹ La versione di Python raccomandata per l'uso con le API NAOqi è la 2.7 - 32 bit

La funzione ha come parametro booleano il valore enable:

- *True* per abilitare il "power monitoring" e le relative notifiche.
- *False* per disabilitare il "power monitoring" e le relative notifiche.

```
int ALBatteryProxy::getBatteryCharge()
    restituisce il valore (in percentuale) dello stato di carica della batteria
```

La classe prevede inoltre i seguenti possibili eventi la cui gestione rende possibile la completa gestione del monitoraggio della batteria e quindi, la scelta dei periodi di ricarica e il controllo del corretto posizionamento del robot.

Questa operazione è infatti realizzabile mediante il controllo dell'effettivo inizio della ricarica (evento *BatteryPowerPluggedChanged* ove il sistema riesce a controllare il passaggio di corrente di carica della batteria) conseguenza del corretto posizionamento del robot sulla stazione di ricarica e la realizzazione del contatto elettrico fra i contatti di quest'ultima e quelli posizionati sulla sua piastra dorsale.

- **BatteryPowerPluggedChanged()**
Restituisce il valore 1 quando il caricatore è collegato e 0 quando scollegato

Altri eventi disponibili per il monitoraggio della procedura di carica sono:

- **BatteryChargeCellVoltageMinChanged()**
Restituisce il valore 1 quando varia il valore di the Minimum cell voltage of the battery changes.
- **BatteryChargingFlagChanged()**
Restituisce il valore 1 quando cambia il flag di "batteria in carica".
- **BatteryFullChargedFlagChanged()**
Restituisce il valore 1 quando cambia il flag "batteria completamente carica"
- **BatteryDisChargingFlagChanged()**
Restituisce il valore 1 quando cambia il flag "la batteria si sta scaricando".
- **BatteryChargeChanged()**
Restituisce il valore 1 quando varia il valore percentuale del livello di carica della batteria.
- **BatteryEmpty()**
Restituisce il valore 1 quando il livello di carica della batteria è zero.
- **BatteryLowDetected()**
Restituisce il valore 1 quando il livello di carica della batteria è basso.
- **BatteryNearlyEmpty()**
Restituisce il valore 1 quando il livello di carica della batteria è molto basso ed è urgente iniziare la ricarica.
- **BatteryNotDetected()**
Restituisce il valore 1 quando, per qualche problema (hardware o software) il sistema non è riuscito a riconoscere la presenza della batteria.

Sfruttando le opzioni messe a disposizione dalla libreria NaoQi **ALBatteryProxy**, è stato progettato una procedura per il controllo automatico dello stato di carica e per valutare e decidere se iniziare la procedura di ricarica. Uno schema a blocchi di questa procedura è mostrato in Figura 17: periodicamente il robot valuta lo stato di carica della batteria, qualora questa fosse in prossimità di una scarica profonda si decide per abbandonare ogni operazione in corso per dirigersi verso la stazione di ricarica e iniziare le procedure necessarie per ripristinare il corretto livello della batteria. Se il livello di carica non è ancora al limite, si decide, in base ad un livello di priorità legato alle attività in corso, di iniziare la procedura di ricarica o rinviarla temporaneamente ovviamente fino a quando è il livello di carica è sufficiente.

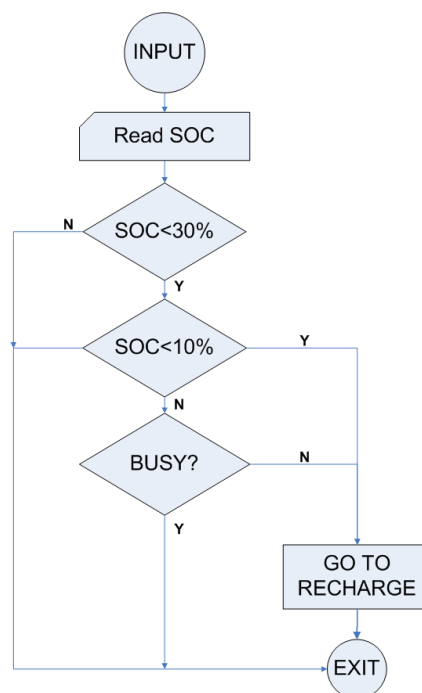


Figura 17 – Flow chart della procedura di controllo del SOC della batteria

6. Ricostruzione delle informazioni di profondità della scena

6.1. Introduzione ai sensori RGB-D (Depth Camera)

I sensori RGB-D sono telecamere di profondità e costituiscono un sistema di misurazione di coordinate ottiche tridimensionali. Esse sono, al momento, uno degli hardware più diffusi per la ricostruzione tridimensionale di una scena e presentano una sempre maggiore diffusione in diversi campi di ricerca e applicazione grazie elevata capacità di acquisizione, alle loro dimensioni, generalmente sufficientemente compatte, i costi contenuti, insieme ad una buona portabilità e relativa facilità d'uso. Trovano infatti ampia applicazione nella robotica, per fornire alle piattaforme robotiche un sistema di visione in grado di interagire con l'ambiente, per l'acquisizione delle informazioni e la loro relativa interpretazione di scene in ambiente sia indoor che outdoor nonché per applicazioni di guida autonoma.

I sensori RGB-D sono dispositivi ottici dedicati all'acquisizione di informazioni tridimensionali dalla scena osservata e sono in grado di integrare, con informazioni di profondità, le informazioni ottenute dalle immagini bidimensionali acquisite creando una mappa di profondità della scena. La precisione ottenuta da queste misure è tipicamente proporzionale alla distanza tra il sensore e il particolare oggetto per il quale si vuole misurare la distanza rispetto al sensore.

I primi prodotti che sono stati commercializzati per questa classe di dispositivi sono stati i Microsoft Kinect nel 2010 [11] e sono stati essenzialmente utilizzati per rilevare il movimento e il tracciamento tridimensionale, essenzialmente nel settore delle applicazioni "gaming" e intrattenimento. Esistono due principali famiglie di questi sensori, la prima è basata su una tecnologia che sfrutta la visione binoculare (sistemi stereoscopici), mentre la seconda utilizza tecniche che sfruttano informazioni ottenute dalla misura del tempo di volo.

La tecnologia alla base della prima famiglia di dispositivi sono in grado di ricostruire la scena mediante il confronto fra due immagini acquisite da due posizioni note e leggermente diverse e sfrutta tecniche di illuminazione attiva della scena (eventualmente sfruttando proiettori operanti a diverse lunghezze d'onda) per migliorare le performance nel calcolo della profondità e aumentare la robustezza del risultato ottenuto. Per quanto riguarda invece la tecnologia utilizzata per la seconda famiglia di sensori, questa sfrutta una

sorgente luminosa posta sul dispositivo e, nelle sue immediate vicinanze, un opportuno sensore ottico in grado di rilevare il particolare segnale luminoso emesso dall'illuminatore. Il sistema è in grado di misurare il tempo (noto come tempo di volo – ToF Time of Flight) necessario al segnale luminoso una per rimbalzare sugli oggetti all'interno della scena e ritornare alla sorgente.

Ovviamente, il principio di funzionamento alla base della tecnologia utilizzata è in grado di influenzare le prestazioni metrologiche del sensore oltre a presentare una diversa tolleranza del sistema di misura rispetto alle diverse condizioni ambientali. [12–17]

6.2. Il sensore RGB-D utilizzato nel progetto: RealSense D455 (Intel Corporation)

Il sensore scelto per l'utilizzo con il robot NAO appartiene alla famiglia di sensori RealSense [18] per la misura della profondità prodotta dalla Intel Corporation. In particolare il dispositivo scelto è il modello D455 la cui distribuzione è iniziata dal 2020 e le cui caratteristiche principali sono riportate nella seguente Tabella 4. La tecnologia della famiglia RealSense consiste in processori di visione e telecamere di profondità che sono efficacemente supportati da un kit di librerie software multipiattaforma e open source (librealsense [19]) che semplifica il supporto della telecamera per sviluppatori di software e integratori di sistemi di terze parti. Il dispositivo RealSense D455 è basato sul processore Vision D4 (realizzato in tecnologia a 28nm) che è in grado di elaborare in tempo reale i dati stereo di profondità ad una risoluzione fino a 1280 × 720 pixel a 30 fps. Il sistema stereoscopico utilizza un proiettore a infrarossi, la cui intensità può essere regolata manualmente, che è in grado di migliorare le capacità del sistema di telecamere stereo di determinare la misura di profondità. Tale caratteristica rende questo sistema di misura adatto per acquisizioni sia *indoor* che *outdoor* anche in condizioni di scarsa illuminazione. Il sistema ha una capacità di rilevamento di distanze fino a circa 10 m utilizzando una tecnologia di tipo *rolling shutter* presentando un campo visivo ristretto che risulta ideale per misure ad alta precisione.

Tabella 4 – Dimensioni e caratteristiche del sensore RealSense D455 (Intel Corporation)

Caratteristiche	
Utilizzo	Interno/Esterno
Range	0.6 m - 6 m
Image sensor technology	Global Shutter
IMU	Bosch BMI055
Misura profondità	
Tecnologia	Stereoscopica con sensori attivi IR
Minimum Depth Distance at Max Resolution	~52 cm
Depth Accuracy	<2% at 4 m
Depth output resolution	Up to 1280 × 720
Depth frame rate	Up to 90 fps
RGB	
Frame resolution:	Up to 1280 × 800
Frame rate	30 fps
Tecnologia sensore	Global Shutter
Sensore FOV (H × V):	90 × 65°
Risoluzione sensore:	1 MP
Vision Processor Board	Intel RealSense Vision Processor D4
Dimensioni	
Lunghezza × Profondità × Altezza	124 mm × 26 mm × 29 mm
Connettore:	USB-C* 3.1 Gen 1*
Supporti di montaggio:	<ul style="list-style-type: none"> • connettore 1/4" UNC • 2 fori filettati M4



Figura 18 – Sensore RealSense D455 (Intel Corporation)

7. Progetto meccanico del supporto del sensore RGB-D (Depth Camera)

Per alloggiare sul robot la Depth Camera RealSense D455 e la relativa circuiteria (una batteria aggiuntiva rispetto a quella del robot, scheda elettronica per la gestione della sua ricarica e cavi di collegamento), è stato necessario progettare e, analogamente a quanto fatto per il sensore laser, realizzare una nuova struttura da montare come un caschetto sul robot NAO (Figura 19). Infatti le dimensioni e la forma del nuovo sensore impediscono di montarlo sul caschetto già precedentemente disegnato e realizzato nella prima annualità dell'accordo di collaborazione. La Figura 20 mostra il rendering ottenuto dal CAD utilizzato per il progetto e le relative assonometrie.

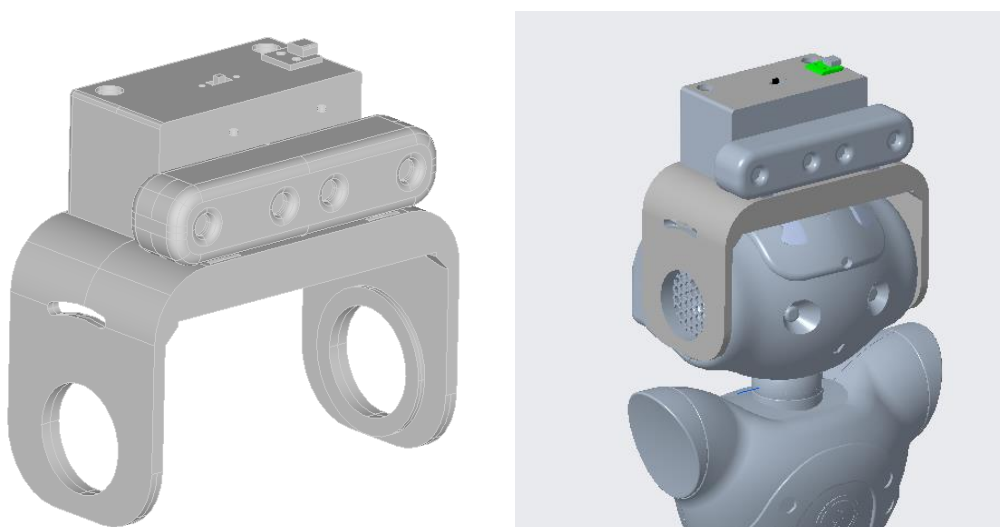


Figura 19 – Caschetto per Depth Camera RealSense D455

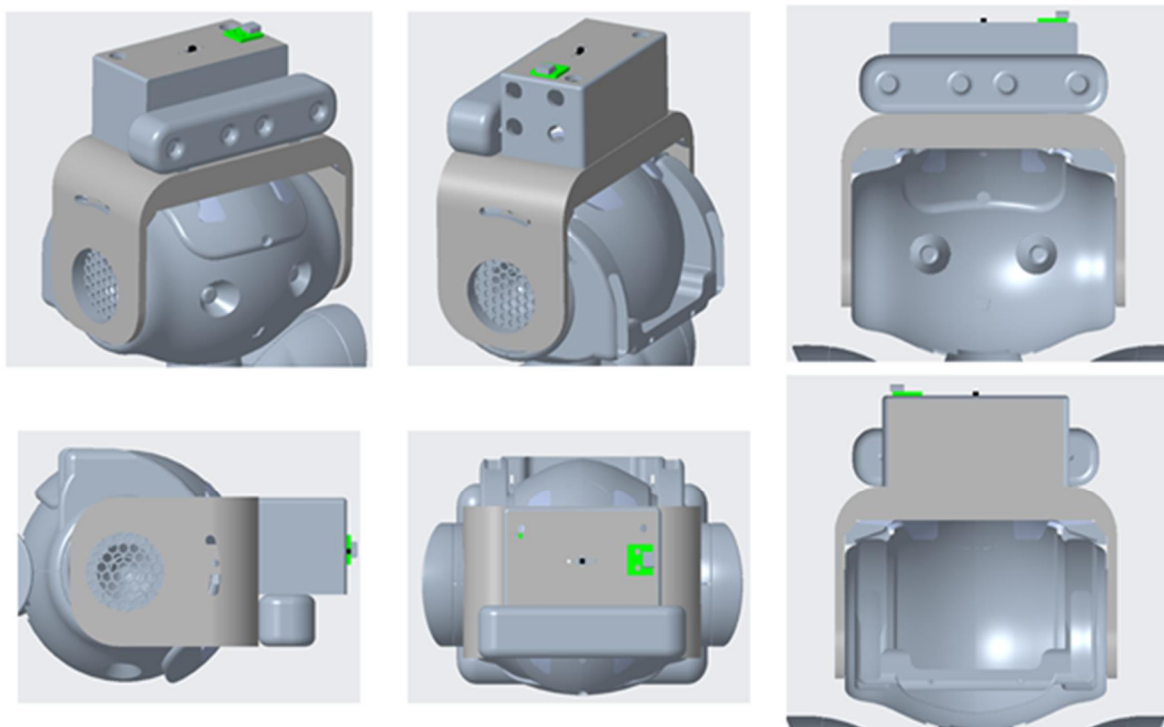


Figura 20 - Caschetto con Depth Camera RealSense D455: viste e assonometrie

Come è possibile notare in Figura 20, anche Il nuovo caschetto è composto da due parti distinte: una staffa di aggancio alla testa del robot (Figura 21) e una base che ospita il sensore e la relativa circuiteria di alimentazione. La staffa di aggancio utilizzata ha la medesima forma e dimensioni di quella utilizzata per il caschetto del sensore laser ma una differente disposizione dei fori per il fissaggio del RealSense D455 attraverso il connettore UNC da 1/4" (tipico di tutte le fotocamere) e permettere la connessione del cavo USB. La struttura posizionata sulla parte posteriore della *depth camera* contiene una batteria LiPo (Polimeri di Litio) aggiuntiva rispetto a quella del robot e il relativo circuito di ricarica a regolazione della tensione dello stesso tipo di quello realizzato, nel corso del primo anno dell'accordo di collaborazione, per il sensore laser. Nella parte superiore del box sono posti un interruttore per disalimentare la batteria del sensore ed un connettore di tipo USB mini necessario per la ricarica della batteria LiPo. Le caratteristiche di fissaggio della *depth camera* sono completamente diverse da quelle presentate dal sensore laser e, per questo motivo, è stato necessario apportare delle modifiche alla staffa di aggancio che è stata quindi completamente ridisegnata (vedi Figure 21 e 22).

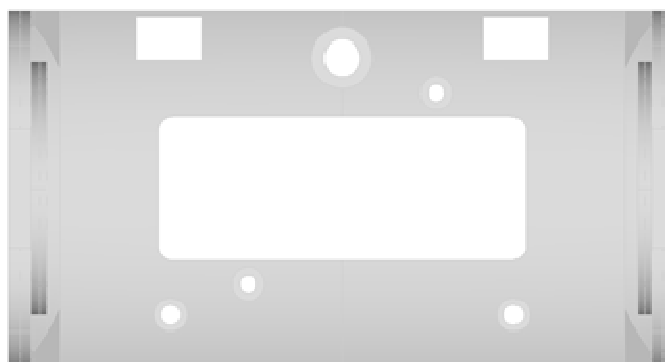


Figura 21 – Vista dall'alto della la staffa di aggancio

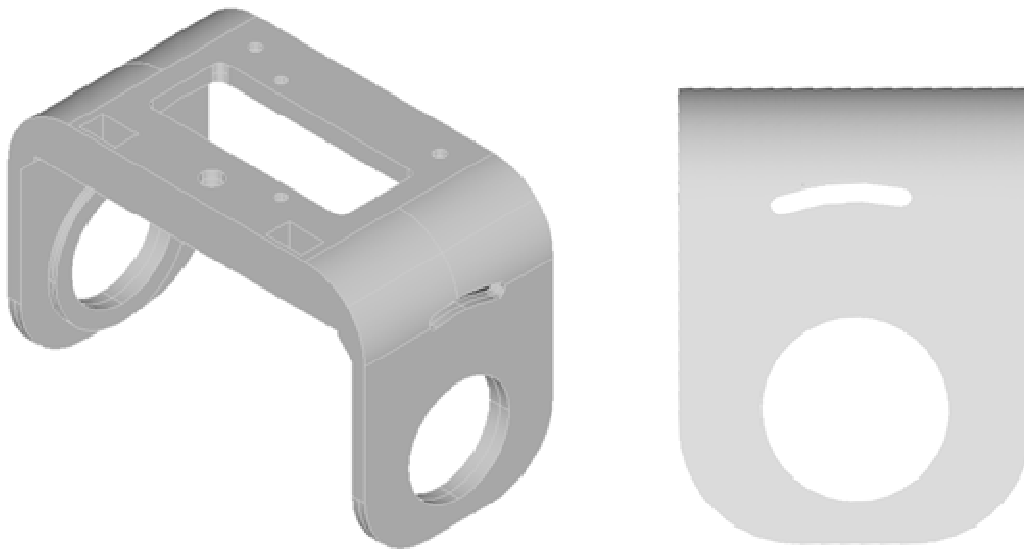


Figura 22 - Dettaglio della la staffa di aggancio del caschetto con le relative scanalature necessarie per il basculamento

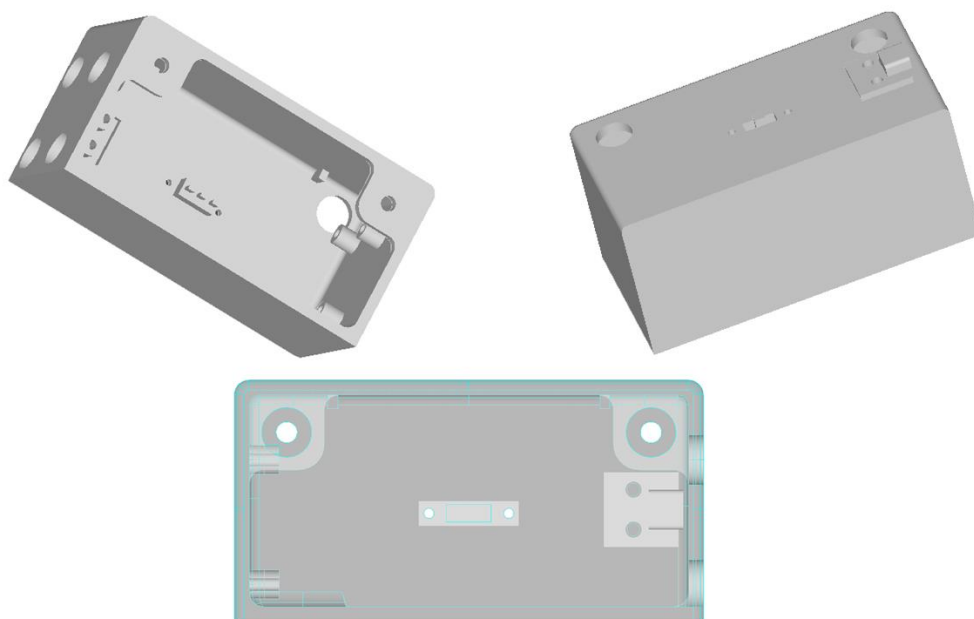


Figura 23 - Dettagli del box per l'alloggiamento della batteria e dei relativi circuiti per la sua ricarica

In particolare, nella vista laterale della Figura 22 sono visibili le scanalature per il blocco della piastra sulla testa del robot ed evitarne il basculamento. Inoltre, tutti i fori sono lamati per permettere l'alloggiamento dei dadi di fissaggio all'interno dell'ingombro del casco.

In Figura 23 è mostrato il disegno del box batteria con vista da diverse angolazioni. I fori presenti sulla staffa di aggancio permettono l'accesso al connettore USB del sensore e il fissaggio del box con i circuiti di alimentazione, mentre l'ampio intaglio al centro ha funzione di alleggerimento.



Figura 25 – Vista frontale e laterali del caschetto per l'alloggiamento della Depth Camera RealSense D455



Figura 26 – Caschetto per l'alloggiamento della Depth Camera RealSense D455

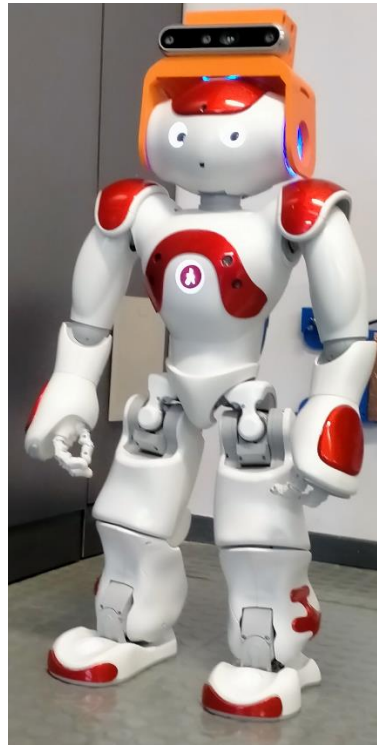


Figura 27 – Robot Nao con caschetto per l'alloggiamento della Depth Camera RealSense D455

7.1. Centro di massa e inerzia.

La conoscenza della distribuzione delle masse e dei momenti di inerzia dei vari segmenti del robot è di fondamentale importanza per un corretto controllo dinamico dei suoi movimenti. Come anche riportato nella relazione relativa al primo anno di attività di ricerca svolte all'interno dell'accordo di collaborazione, i parametri che intervengono nel calcolo della dinamica diretta del robot sono contenuti nella cosiddetta matrice di inerzia I_0 .

L'aggiunta della *depth cam*, del caschetto e degli altri circuiti al di sopra della testa del robot ha sicuramente modificato, come già successo per il sensore laser, la distribuzione dei pesi sulla macchina comportando una possibile riduzione nella stabilità, l'equilibrio e i movimenti del robot.

È stata pertanto studiata la nuova matrice di inerzia del segmento relativo alla testa del robot che potrà essere reimpostata seguendo le procedure disponibili in letteratura.

Il robot con la nuova struttura installata è stato successivamente collaudato eseguendo una serie di movimenti, in un primo momento della sola testa e, successivamente, del robot intero. In tutti i test il robot, grazie alla nuova matrice impostata, mantiene correttamente l'equilibrio e ha risposto eseguendo senza errori i comandi impartiti sia per quello che riguarda i movimenti rotatori della testa che i movimenti di deambulazione.

8. Conclusioni

L'attività di ricerca svolta in questo anno ha portato alla realizzazione di una stazione di ricarica automatica della batteria del robot NAO di proprietà di ENEA allo scopo di aumentare l'operatività della macchina mediante una gestione intelligente della ricarica in modo autonomo della batteria in grado di migliorare l'operatività del robot altrimenti limitata, dalla durata della batteria, ad un massimo di due ore.

L'attività svolta ha riguardato la definizione delle specifiche, ottenute a seguito di uno studio su quanto disponibile commercialmente ed in letteratura, il progetto meccanico ed elettrico e la successiva realizzazione prototipale mediante stampa 3D di una nuova stazione di ricarica della batteria del robot. Successivamente sono state definite le relative procedure software necessarie ad una gestione intelligente di tale processo di carica.

Al fine poi di aumentare le capacità del robot di ricostruire, integrando le nuove informazioni con quelle dei sensori già disponibili a bordo, lo scenario che lo circonda, è stato progettato un nuovo caschetto in grado di alloggiare un sensore di tipo *depth camera*. Tale sensore renderà possibile, da parte del robot, il riconoscimento degli oggetti circostanti e la rilevazione di ostacoli sul suo movimento.

Tutti i disegni, in qualsiasi formato, tutti i file costruttivi dei pezzi per la stampante 3D e il driver per la gestione del sensore laser illustrati all'interno della presente relazione sono stati consegnati su supporto informatico al laboratorio "Robotica e intelligenza artificiale" dell'Enea CR Casaccia.

9. Riferimenti bibliografici

- [1] Mattamala, M., Olave, G., González, C., Hasbún, N. and Ruiz-del-Solar, J., 2017, July. The nao backpack: An open-hardware add-on for fast software development with the nao robot. In Robot World Cup (pp. 302-311). Springer, Cham.
- [2] Navarro-Guerrero, N., Weber, C., Schroeter, P. and Wermter, S., 2012. Real-world reinforcement learning for autonomous humanoid robot docking. *Robotics and Autonomous Systems*, 60(11), pp.1400-1407.
- [3] Navarro, N., Weber, C. and Wermter, S., 2011, August. Real-world reinforcement learning for autonomous humanoid robot charging in a home environment. In Conference Towards Autonomous Robotic Systems (pp. 231-240). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [4] RobotLab, Docking station set-up and instructions
- [5] <https://spectrum.ieee.org/search/?q=Nao+Gets+Clever+New+Self-Charger>
- [6] <https://multimedia.3m.com/mws/media/373700/3m-emi-copper-foil-shielding-tape-1181-data-sheet-78-8127-9953-0-b.pdf>
- [7] https://technicaldatasheets.3m.com/en_US?pif=2011
- [8] <http://doc.aldebaran.com/2-1/naoqi/sensors/albattery-api.html>
- [9] G. Van Rossum, Python 2.7.10 Tutorial: An Introduction to Python, Samurai Media Limited, 2015
- [10] <https://www.python.org/doc/>
- [11] Kinect for Windows. <https://developer.microsoft.com/en-us/windows/kinect/>
- [12] Servi, M., Mussi, E., Profili, A., Furferi, R., Volpe, Y., Governi, L. and Buonamici, F., 2021. Metrological Characterization and Comparison of D415, D455, L515 RealSense Devices in the Close Range. *Sensors*, 21(22), p.7770.
- [13] Arachchi, S.P.K.; Hakim, N.L.; Hsu, H.-H.; Klimenko, S.V.; Shih, T.K. Real-Time Static and Dynamic Gesture Recognition Using Mixed Space Features for 3D VirtualWorld's Interactions. In Proceedings of the 2018 32nd International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (WAINA), Krakow, Poland, 16–18 May 2018; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2018; pp. 627–632.
- [14] Chiang, T.; Fan, C.-P. 3D Depth Information Based 2D Low-Complexity Hand Posture and Gesture Recognition Design for Human Computer Interactions. In Proceedings of the 2018 3rd International Conference on Computer and Communication Systems (ICCCS), Nagoya, Japan, 27–30 April 2018; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2018; pp. 233–238.
- [15] Karambakhsh, A.; Kamel, A.; Sheng, B.; Li, P.; Yang, P.; Feng, D.D. Deep gesture interaction for augmented anatomy learning. *Int. J. Inf. Manag.* 2018, 45, 328–336.
- [16] Bock, R. Low-cost 3D security camera. In Proceedings of the Autonomous Systems: Sensors, Vehicles, Security, and the Internet of Everything, Orlando, FL, USA, 16–18 April 2018; Volume 10643, p. 15.
- [17] Fang, Q.; Kyrarini, M.; Ristić-Durrant, D.; Gräser, A. RGB-D Camera based 3D Human Mouth Detection and Tracking Towards Robotic Feeding Assistance. In Proceedings of the PETRA '18: 11th PErvasive Technologies Related to Assistive Environments Conference, Corfù, Greece, 26–29 June 2018; pp. 391–396.
- [18] Keselman, L.; Woodfill, J.I.; Grunnet-Jepsen, A.; Bhowmik, A. Intel R RealSense TM Stereoscopic Depth Cameras. In Proceedings of the 2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW), Honolulu, HI, USA, 21–26 July 2017.
- [19] Intel® RealSenseTM Cross Platform API (librealsense)
<https://software.intel.com/sites/products/realsense/camera/>

10. Curriculum scientifico del gruppo di lavoro

Prof. Vincenzo Bonaiuto received, in 1997, the PhD in Telecommunication and Microelectronics from University of Rome Tor Vergata. From 1996 to 2002, he was Assistant Professor in Electrical Engineering and, in March 2002, at the same university he joined as an Associate Professor.

His main research interests are in the field of the hardware design for real time signal processing by using analog as well as digital solutions (DSP, FPGA, etc.). He published more than 100 papers on international journal and conferences and he was reviewer of several projects for Italian Ministry of Research as well as for international journals and conferences.

Prof. Bonaiuto, in his research activity, has developed wide skills in the design of systems for conditioning and signal analysis and in the design, construction and testing of electrical and electronic systems.

He participated in several projects funded by Italian Research Ministry (PRIN). Since 2009, he is involved in the experiment NA62 at CERN and he is working on the project of the electronics section of Trigger and Data Acquisition System. In 2017, he founded, at the University of Rome Tor Vergata, the Sport Engineering Laboratory where his research group is developing electronics systems based on multi-sensors wearable devices suited for the monitoring of the human movement for the assessment of sport performances.