

Autore:
Luigi Vetrella

Guida operativa sintetica all'utilizzo del robot Panda – Franka Emika



Premessa

Il presente documento è stato composto interamente dall'autore in \LaTeX e sintetizza, ripercorrendo i passi essenziali, la sua esperienza maturata durante il lavoro di tesi nell'utilizzo del cobot Panda della Franka Emika.

Esso non è da considerarsi in alcun modo sostituibile al manuale di utilizzo originale fornito dalla casa costruttrice del robot, disponibile in formato cartaceo o comunque reperibile sulla piattaforma Franka World¹ nella sezione *Hub/Resources*.

Si suggerisce, quindi, comunque un'attenta ed approfondita lettura dell'handbook allegato al manipolatore nella confezione di consegna prima di intraprendere qualsiasi azione con il robot.

All'interno del documento, tutti i riferimenti espliciti ad eventuali indirizzi IP, user-id, password e dettagli simili sono da riferirsi al set-up del robot Panda presente nel laboratorio di Optoelettronica dell'Università degli Studi della Campania "Luigi Vanvitelli" e realizzato dall'autore durante la sua attività di tirocinio.

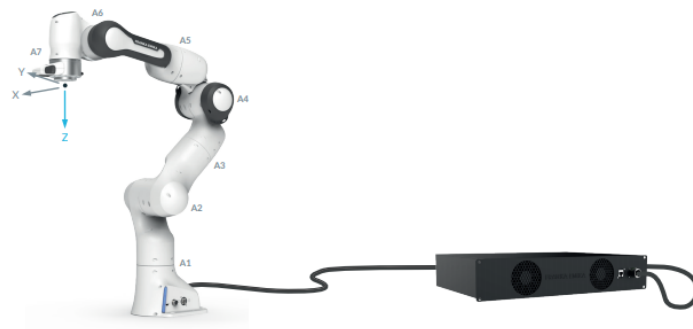


Figura 1: Cobot Panda - Franka Emika

¹Franka World - <https://world.franka.de/> - accessibile in seguito a registrazione

Indice

1	Avviamento e spegnimento del Robot	1
2	Descrizione sezioni App Desk	5
3	Utilizzo del Robot in User-Guidance	9
4	Esecuzione dei Task via FCI	12

Elenco delle figure

1	Cobot Panda - Franka Emika	i
1.1	Controller del robot Panda	1
1.2	Luci di stato poste alla base del braccio	2
1.3	Boot Loader GNU GRUB del Sistema Operativo Linux	2
1.4	Interfaccia App Desk	3
2.1	Sezione DASHBOARD	6
2.2	Sezione NETWORK	6
2.3	Sezione END-EFFECTOR	7
2.4	Sezione FRANKA WORLD	7
3.1	Pilot e Guiding Mode	10
3.2	Tasti di pilotaggio locali	10
4.1	Dispositivi di attivazione del robot Panda	13

Sezione 1

Avviamento e spegnimento del Robot

Supponendo che il manipolatore sia stato collegato correttamente all'alimentazione e saldamente installato sul banco di lavoro, per avviare il manipolatore è sufficiente attivare il Controller agendo sull'interruttore presente sulla parte anteriore (Power Switch in figura 1.1). Durante la fase di avviamento le luci di stato poste alla base del manipolatore (vedere figura 1.2 nella pagina successiva) si illumineranno di un colore giallo lampeggiante che invece diventerà permanente (quindi luce gialla fissa) soltanto alla fine del processo di avviamento del sistema.

A questo punto, supponendo che il Controller del manipolatore sia collegato direttamente alla workstation dalla quale si vuole comandare il robot attraverso un cavo Ethernet, è sufficiente accedere alla postazione PC (per la workstation presente nel laboratorio di Optoelettronica la coppia user-password è panda-panda) scegliendo dalla GNU GRUB il kernel Linux 5.4.0 – 51-generic (vedere figura 1.3 nella pagina seguente) ed aprire un qualsiasi browser per collegarsi all'interfaccia web del robot Panda.

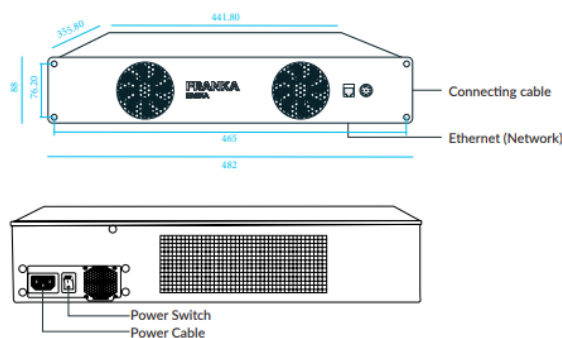


Figura 1.1: Controller del robot Panda

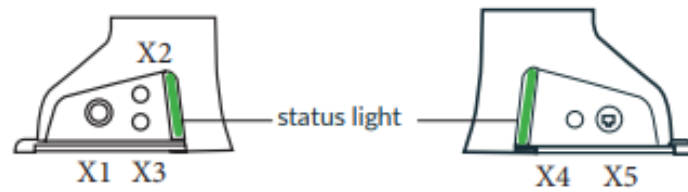


Figura 1.2: Luci di stato poste alla base del braccio

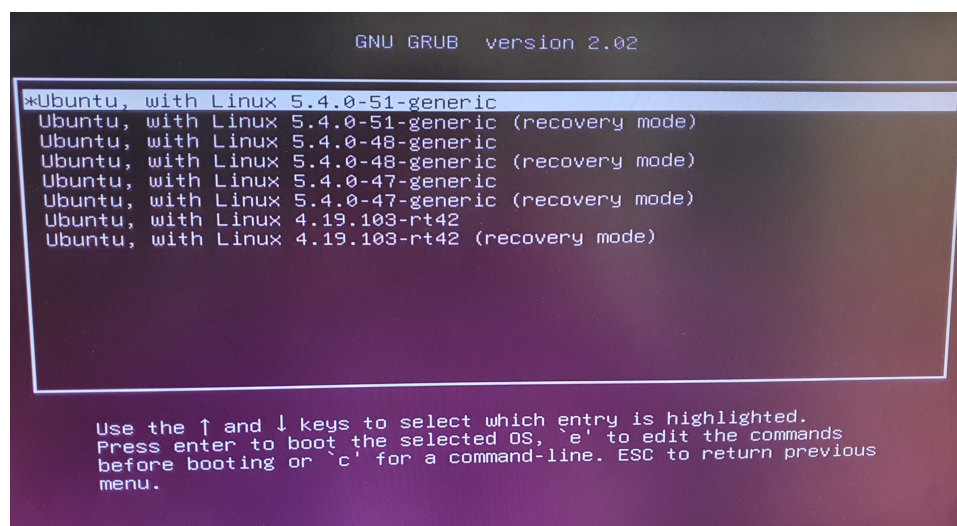


Figura 1.3: Boot Loader GNU GRUB del Sistema Operativo Linux

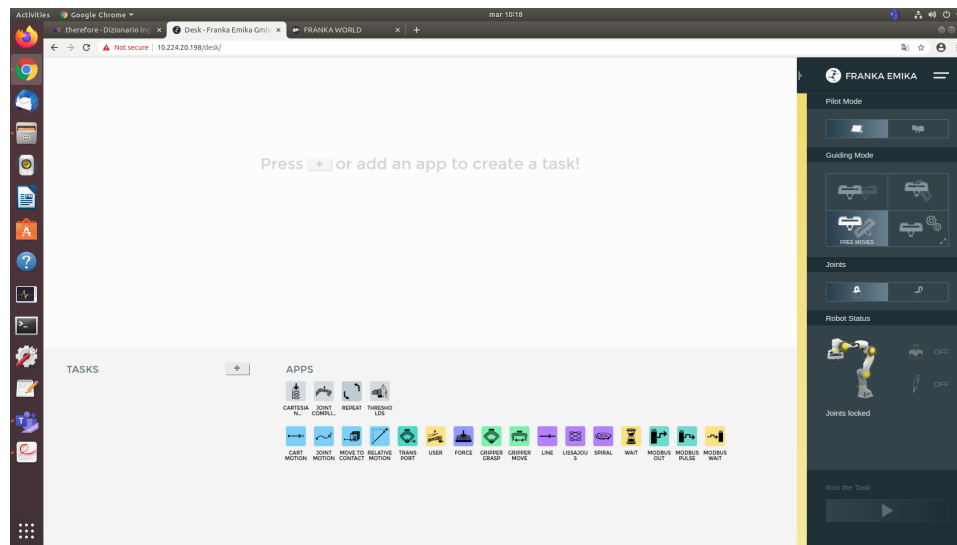


Figura 1.4: Interfaccia App Desk

In particolare, inserendo l'indirizzo IP statico del manipolatore (nel caso del Panda utilizzato durante il lavoro di tesi l'indirizzo IP è settato a 10.224.20.198; è necessario proseguire con la navigazione nonostante il sito web non sia protetto da certificazione SSL) si accede all'App Desk (vedere figura 1.4) da cui è possibile amministrare il robot e programmarlo attraverso un linguaggio di programmazione basato sull'inter-connesione di blocchi elementari estremamente intuitivo, andando a creare task appositi.

È importante sottolineare che qualora il cavo Ethernet non sia collegato direttamente al Controller del robot bensì alla base del braccio, l'indirizzo IP a cui è possibile accedere all'interfaccia web non sarà più quello statico assegnato a piacere dall'amministratore del robot ma quello assegnato dinamicamente dal server DHCP presente alla base del robot stesso. In questo caso è possibile accedere all'interfaccia web inserendo nella barra degli indirizzi del browser l'url `robot.franka.de`.

Dalla schermata principale di figura 1.4 si può, oltre ad avviare un task programmato con il linguaggio a blocchi attraverso il tasto Start e verificare lo stato dei dispositivi di attivazione di cui si parlerà nella sezione 4 a pagina 12 (che devono essere comunque attivi per poter avviare un task), bloccare/sbloccare i freni di giunto e capire qual'è lo stato corrente del robot che è descritto dal colore delle luci di stato. È possibile, inoltre, scegliere la modalità di pilotaggio (*Pilot Mode*) e la modalità di guida del manipolatore (*Guiding Mode*) che saranno trattate nella sezione 3 a pagina 9.

In particolare i colori che possono assumere le luci di stato con il corrispondente significato sono i seguenti:

- giallo: il manipolatore è meccanicamente frenato;

- bianco: il manipolatore non è frenato ed è possibile un'interazione sicura con esso;
- blu: il dispositivo di attivazione è inserito ed il robot è abilitato per la movimentazione;
- verde: il manipolatore sta eseguendo un task programmato indipendentemente;
- rosa: il manipolatore sta ricevendo segnali di attivazione contrastanti (disattivare il dispositivo di attivazione);
- rosso: il manipolatore si trova in stato di errore (provare a bloccare e sbloccare i freni di giunto oppure, alla peggio, riavviare il sistema agendo sull'interruttore del Controller).

Per lo spegnimento del sistema, per il quale si consiglia prima di bloccare i freni di giunto, è sufficiente eseguire lo *Shut down* dalla sezione che si apre cliccando sulle due linee orizzontali presenti sulla parte in alto a destra della schermata di figura 1.4 nella pagina precedente. Durante la fase di spegnimento le luci di stato alla base del manipolatore torneranno ad essere gialle lampeggianti per poi spegnersi, ma soltanto quando a video compare l'apposito messaggio la fase di spegnimento potrà dirsi completata e si potrà procedere con l'abbassamento dell'interruttore del Controller.

Sezione 2

Descrizione sezioni App Desk

Accedendo alle impostazioni dell'App Desk, attraverso le due linee orizzontali presenti sulla parte in alto a destra della schermata di figura 1.4 a pagina 3, è possibile navigare nelle diverse sezioni di settaggio di cui dispone quest'interfaccia web.

Dalla sezione DASHBOARD, rappresentata in figura 2.1 nella pagina successiva, è possibile visualizzare una panoramica dello stato di collegamento del robot, la versione del sistema operativo installato nel Controller, la sigla del Firmware e gli indirizzi IP, con relative maschere di sotto-rete, sia del manipolatore che del Controller.

Nella sezione NETWORK, invece, è possibile scegliere se attribuire un indirizzo IP statico al robot oppure procedere con l'assegnazione automatica attraverso il server DHCP presente alla base del braccio. Nel primo caso, selezionato in figura 2.2 nella pagina seguente, è possibile anche scegliere un'opportuna maschera di sotto-rete, l'indirizzo del gateway e quella del DNS (i settaggi in figura fanno riferimento esattamente a quelli impostati dall'autore per permettere al manipolatore di essere connesso ad Internet attraverso lo stesso cavo Ethernet che lo collega alla workstation). Nel secondo caso, affinché l'interfaccia web sia raggiungibile, è necessario attaccare il cavo Ethernet non al Controller ma direttamente alla base del braccio.

La sezione END-EFFECTOR, visibile in figura 2.3 a pagina 7, può essere utilizzata per effettuare l'inizializzazione o modificare i dettagli meccanici del gripper usato (anche se questo non corrispondesse alla Franka Hand prodotta dalla Franka Emika, previo opportuno upload) quali per esempio massa, centro di massa, tensore di inerzia e matrice di trasformazione omogenea tra la flangia e l'end effector.

Di particolare interesse risulta essere anche la sezione FRANKA WORLD, rappresentata in figura 2.4 a pagina 7, realizzata in seguito al rilascio della versione 4.0.0 del sistema operativo da parte della Franka Emika.

Sebbene la piattaforma Franka World sia ancora in fase di sviluppo e aggiornamento (è comunque accessibile in seguito a registrazione come

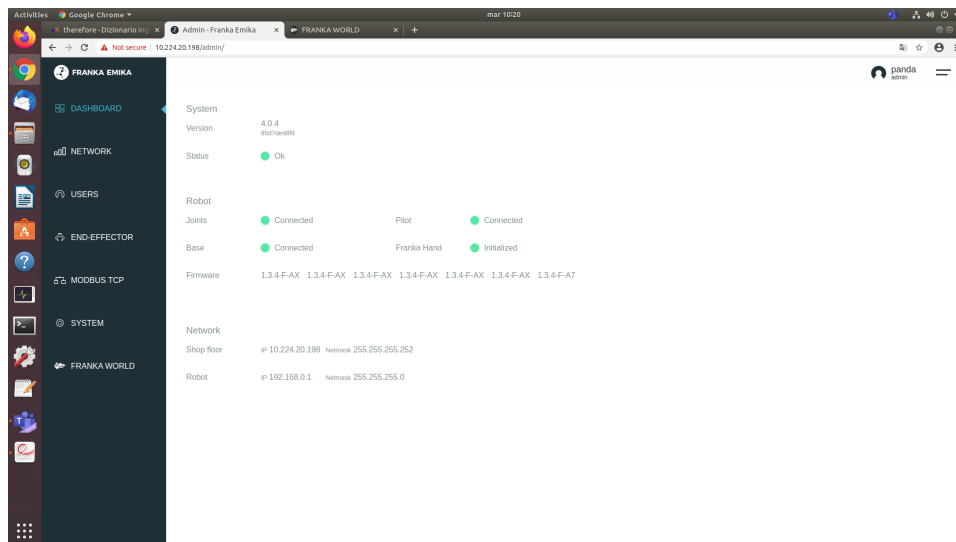


Figura 2.1: Sezione DASHBOARD

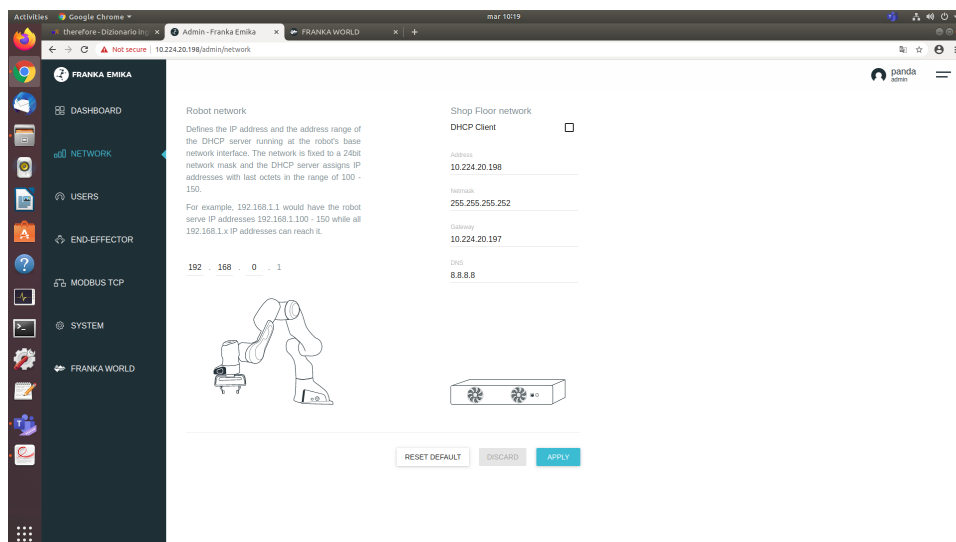


Figura 2.2: Sezione NETWORK

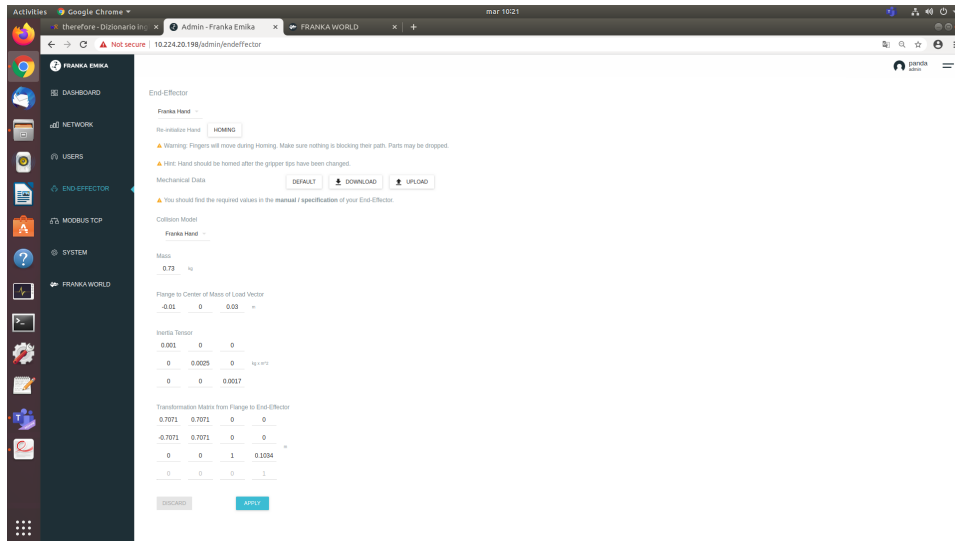


Figura 2.3: Sezione END-EFFECTOR

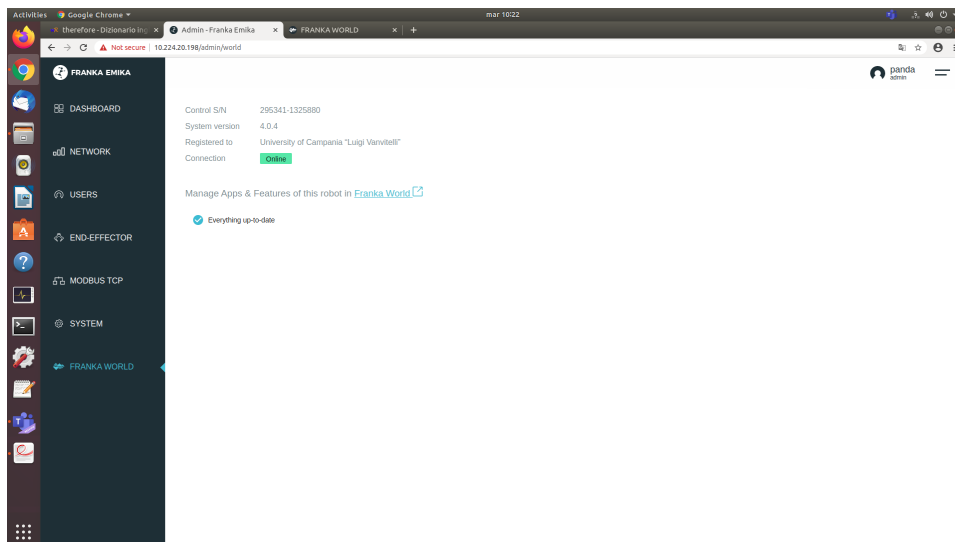


Figura 2.4: Sezione FRANKA WORLD

spiegato nella Premessa; il manipolatore usato per il lavoro di tesi dell'autore è registrato a nome del *Prof. Ciro Natale*), attraverso questa sezione è possibile controllare lo stato di connessione del manipolatore alla piattaforma online dalla quale è possibile scaricare automaticamente eventuali aggiornamenti, se disponibili, agendo sulla funzione *SYNCHRONIZE*.

L'App Desk presenta anche altre sezioni di minori importanza quali per esempio: quella "USERS" per abilitare un utilizzo multi-utente sul robot, quella "SYSTEM" per maggiori informazioni di dettaglio sul sistema e quella "MODBUS TCP" per approfondire i settaggi relativi al protocollo di comunicazione utilizzato dal robot.

Sezione 3

Utilizzo del Robot in User-Guidance

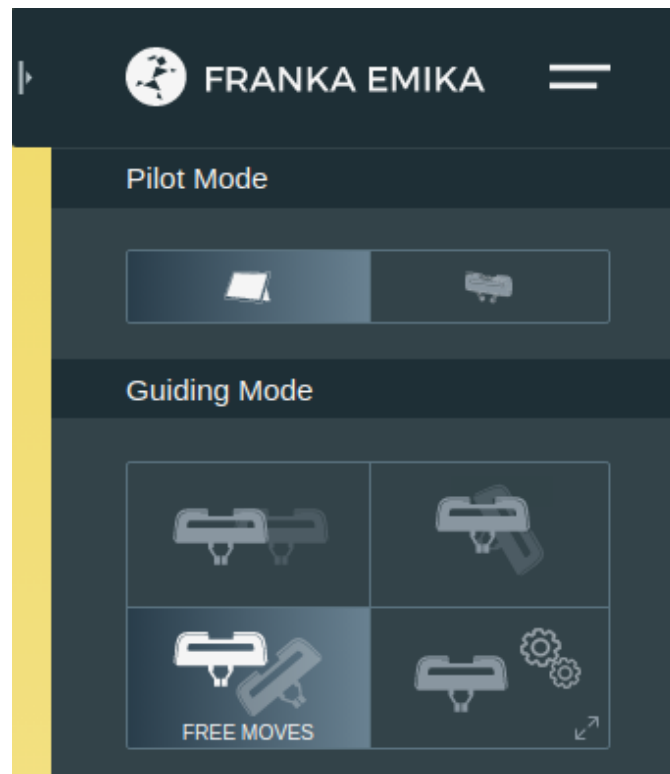
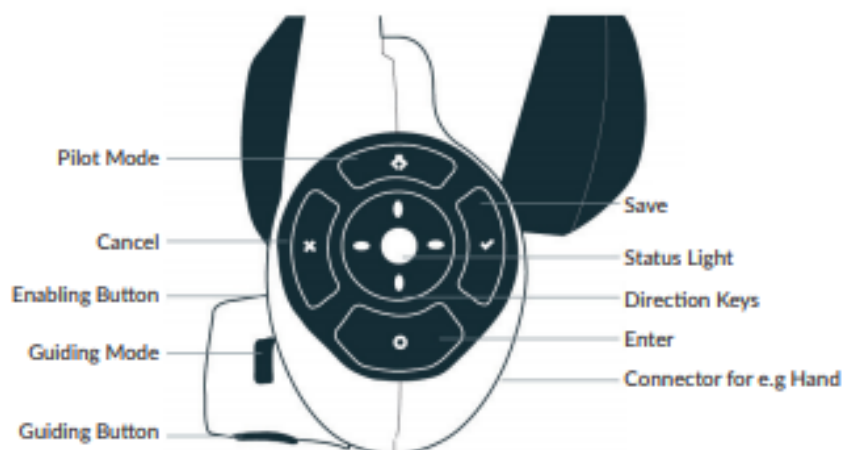
In seguito al rilascio dei freni di giunto dalla schermata principale di figura 1.4 a pagina 3, le luci di stato alla base del robot si illuminano di un colore bianco fisso ed in questa modalità è possibile utilizzare il manipolatore in user-guidance "portandolo a spasso" nello spazio di lavoro (magari per fargli apprendere qualche posizione utile per la programmazione a blocchi o per portarlo in una certa configurazione desiderata).

Per capire però fino in fondo in che modo è possibile utilizzare il robot in user-guidance e con quali limitazioni, è necessario comprendere più nel dettaglio le sezioni poste in alto a destra dello schermata che fanno riferimento alla modalità di pilotaggio - *Pilot Mode* - ed alla modalità di guida del manipolatore - *Guiding Mode* - rappresentate in figura 3.1 nella pagina seguente.

La modalità di pilotaggio permette di scegliere se si desidera pilotare il manipolatore dalla workstation (scelta predefinita) oppure se si vuole attivare il pilotaggio, sia dell'interfaccia web (sezione Guiding mode) che dell'end effector integrato sul manipolatore, direttamente dal braccio visto che sul robot stesso è presente un'interfaccia utente per il pilotaggio diretto come mostrato in figura 3.2 nella pagina successiva.

Ad esempio, utilizzando il tasto "Pilot Mode" presente sull'interfaccia di pilotaggio, è possibile indirizzare le dita del gripper utilizzando i tasti direzionali. In particolare è possibile:

- mantenere il tasto "sinistro" premuto per aprire le dita lentamente;
- mantenere il tasto "destro" premuto per chiudere le dita lentamente;
- premere una volta il tasto "giù" per aprire direttamente le dita alla massima larghezza;

**Figura 3.1:** Pilot e Guiding Mode**Figura 3.2:** Tasti di pilotaggio locali

- premere una volta il tasto "su" per far afferrare qualcosa al gripper, il ch  significa che il gripper si chiude attorno a un oggetto afferrato e lo trattiene con la sua forza di tenuta.

Analogamente, il tasto "Guiding Mode" permette di scegliere direttamente dall'interfaccia di pilotaggio, anzich  da Desk, quale modalit  di guida si intende utilizzare (la modalit  correntemente selezionata   indicata sull'interfaccia web).

La modalit  di guida del manipolatore, nella fattispecie, serve a limitare certi movimenti del braccio per facilitare determinate operazioni. In particolare, le modalit  di guida disponibili sono le seguenti:

- Translation: in questa modalit  di guida, il manipolatore pu  essere mosso esclusivamente per cambiare la posizione Cartesiana dell'organo terminale mentre il suo orientamento rimane come era prima dell'inserimento di questa modalit ;
- Rotation: il manipolatore pu  essere mosso esclusivamente per cambiare l'orientamento Cartesiano dell'organo terminale mentre la sua posizione rimane come era prima dell'inserimento di questa modalit . Il sistema di coordinate di riferimento per questa rotazione   quello predefinito dell'end effector;
- Free: il braccio pu  essere mosso liberamente, quindi tutti e 7 i giunti possono essere movimentati;
- User: in questa modalit  di guida l'utente pu  definire il comportamento di guida, il ch  significa che   possibile definire per ogni asse Cartesiano se il manipolatore deve essere mobile o immobile sia in posizione che in orientamento.

Chiaramente se le direzioni e/o le rotazioni bloccate sono sollecitate eccessivamente dall'operatore con la forza, il Panda potrebbe danneggiarsi.

Una volta scelta la modalit  di guida del manipolatore, questo pu  essere guidato manualmente dall'operatore, coerentemente con la modalit  di guida scelta, premendo il "Guiding Button" e contemporaneamente *premendo a met * l'"Enabling Button" (vedi figura 3.2 nella pagina precedente).

Qualora, infatti, quest'ultimo venga premuto completamente il braccio si stopper  immediatamente alla stessa stregua di ci  che accadesse se questo non venisse premuto affatto (panic function del tasto di abilitazione).

Sezione 4

Esecuzione dei Task via FCI

La grossa potenzialità del robot Panda consiste nel fatto che esso è dotato di una libreria scritta in C++ completamente open-source, chiamata *libfranka*¹, che consente liberamente l'accesso ai parametri cinematici e dinamici del manipolatore e che costituisce l'implementazione lato client della *Franka Control Interface* (in acronimo FCI) che permette, a sua volta, una veloce e diretta comunicazione bidirezionale di basso livello tra il manipolatore e la workstation con cui lo si vuole controllare. Attraverso questa potente libreria è infatti possibile inviare al robot segnali di controllo in real-time alla frequenza di 1 kHz .

Nel caso in cui si voglia comandare il manipolatore in questa modalità, alternativa a quella dei task automatici avviabili dall'interfaccia web come visto nelle sezioni precedenti, è strettamente necessario collegare il cavo Ethernet al Controller (piuttosto che alla base del braccio) e quindi definire per il manipolatore un indirizzo IP di tipo statico.

Fermo restando le premesse fatte sul set-up del manipolatore ad inizio documento, è inoltre necessario riavviare la workstation ed entrare nel sistema scegliendo la patch real-time del kernel Linux selezionando, tra le versioni che sono elencate a figura 1.3 a pagina 2, il kernel 4.19.103-rt42 (con conseguente ed inevitabile, ai tempi del periodo del lavoro di tesi dell'autore, peggioramento della visualizzazione a video).

A questo punto, aprendo il browser ed accedendo all'interfaccia web del manipolatore, prima di eseguire un qualsivoglia task attraverso la FCI è necessario sbloccare i freni di giunto e portare il robot ad essere abilitato per la movimentazione (condizione descritta da luci di stato blu e fisse). Per poterlo fare è necessario abilitare uno dei due dispositivi di attivazione *alternativi* che sono parte del kit di equipaggiamento del Panda. Essi sono:

- un dispositivo vigilante (External enabling device), noto anche come dispositivo dell'uomo morto, costituito da un unico pulsante che va

¹La documentazione delle API della libreria è consultabile al seguente url: <https://frankaemika.github.io/libfranka/>



Figura 4.1: Dispositivi di attivazione del robot Panda

tenuto premuto a metà per poter eseguire le movimentazioni (in caso di emergenza se il tasto viene rilasciato o premuto con forza, il moto del robot si interrompe istantaneamente);

- un dispositivo a fungo nero (External activation device) che va azionato con un gesto d'avvitamento per permettere l'avvio del robot e che può essere premuto per interrompere qualsiasi movimento.

Si sottolinea ancora una volta come i suddetti dispositivi vanno utilizzati alternativamente e che il robot rimane bloccato se si prova ad utilizzarli contemporaneamente. Infatti il manipolatore passa ad uno stato di conflitto (luce di stato di colore rosa) se entrambi i dispositivi di attivazione vengono abilitati oppure se ne viene abilitato uno dei due e contemporaneamente si cerca di usare il robot in user-guidance premendo il guiding button.

Come si può vedere dalla figura 4.1, nel kit di equipaggiamento è anche presente un dispositivo di emergenza a fungo rosso (Emergency stop device) che provvede a staccare completamente l'alimentazione al manipolatore e che va premuto soltanto in caso di estrema necessità.

Dopo aver abilitato correttamente il manipolatore per la movimentazione, per esempio attraverso il dispositivo a fungo nero, per poter lanciare un task è necessario aprire la finestra del terminale su Ubuntu attraverso la combinazione di tasti CTRL+ALT+T sulla tastiera ed eseguire le operazioni descritte di seguito.

Supponendo di voler eseguire uno dei codici di esempio forniti dalla Franka Emika (reperibili anche online sul sito di documentazione delle API di libfranka nella sezione "Examples"), diciamo *communication_test.cpp*, la prima cosa da fare è spostarsi nella sotto-directory *build* della cartella *libfranka* digitando il seguente comando:

```
cd libfranka/build
```

Successivamente è necessario compilare i codici sorgenti presenti nella cartella *examples* per poi eseguire il codice desiderato indicando esplicitamente l'indirizzo IP statico del robot attraverso l'esecuzione dei seguenti due comandi:

```
cmake --build
./examples/communication_test 10.224.20.198
```

A questo punto è sufficiente seguire le indicazioni che vengono stampate a schermo (che consistono tipicamente nel premere invio da tastiera quando si è pronti) per far partire il movimento (in questo caso il manipolatore si porterà in una configurazione predeterminata ed eseguirà un test sulla qualità di connessione con la workstation stampando i risultati a video).

Qualora si voglia scrivere del codice per l'esecuzione di un task specifico, così come fatto dall'autore durante il lavoro di tesi per il task di lucidatura, è sufficiente scrivere il codice in C++ in un qualsiasi editor di testo e salvarlo, con estensione .cpp, nella sotto-directory *examples* della cartella *libfranka* dove sono posizionati anche i codici di esempio forniti dalla Franka Emika.

Fatto ciò, è necessario modificare il file *CmakeList.txt*, posto all'interno della cartella *examples*, inserendo il nome dell'eseguibile scritto privo di estensione nell'apposita sezione. Nel caso del task di lucidatura, il codice scritto è chiamato *cartesian_force_impedance_control.cpp*, ed è stato aggiunto al CmakeList nella sezione di seguito riportata:

```
set(EXAMPLES
  cartesian_impedance_control
  communication_test
  echo_robot_state
  force_control
  . . .
  print_joint_poses
  cartesian_force_impedance_control
)
```

Dopo aver salvato il documento ed averlo chiuso, basta ri-eseguire la compilazione da riga di comando come spiegato in precedenza e se il codice non presenta errori di sintassi è possibile passare all'esecuzione. Alternativamente, sarebbe anche possibile evitare di inserire i codici scritti "a mano" nella cartella di esempio purché si riesca a scrivere e configurare un CmakeList apposito per la cartella in cui i codici vengono salvati.

Nella fattispecie, il codice per il task di lucidatura è commentato nel dettaglio in tutte le sue parti e consente di:

- spostare il manipolatore in una configurazione predeterminata in cui verrà afferrato l'holder con i sensori;
- portare il manipolatore nella configurazione appropriata per poter eseguire il task di lucidatura sulla carta vetrata disposta sul banco;
- eseguire in pochi secondi il calcolo dell'offset da sottrarre per le misure sulle forze esterne applicate all'organo terminale;

- eseguire il task di lucidatura secondo i parametri inseriti nel codice;
- rilasciare l'holder e allontanare il manipolatore dal banco di lavoro.

Sono inseriti all'interno del codice anche delle funzioni che permettono di registrare e scrivere su file alcuni parametri di interesse (quali la configurazione dei giunti istante per istante, le coppie di giunto, le forze/coppie esterne applicate all'organo terminale ecc.) che possono poi essere visualizzati off-line in ambiente MATLAB&SIMULINK.

In particolare, all'interno della cartella *Luigi_Vetrella_Tesi* presente sul desktop, è possibile trovare i file MATLAB per la visualizzazione dei parametri registrati durante l'esecuzione del task così come è possibile trovare il file *panda_kinem* contenente la cinematica diretta del Panda ed un algoritmo di cinematica inversa che può essere utilizzato per capire, per esempio, in quale configurazione iniziale è necessario portare il robot per afferrare l'holder a seconda della posa che questo assume nello spazio Cartesiano rispetto alla terna base del robot.